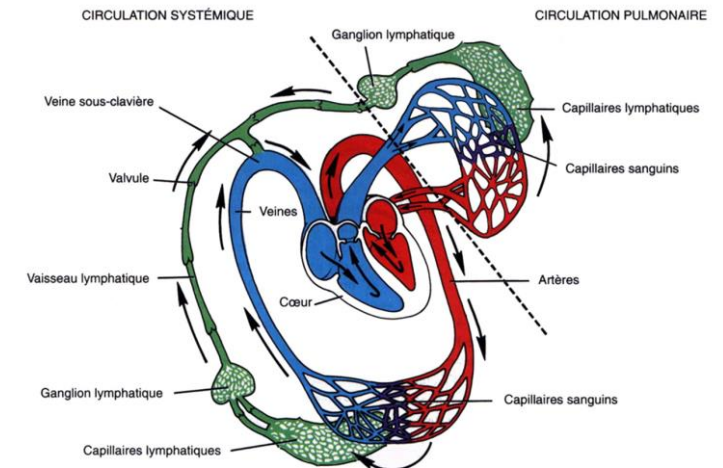


# CIRCULATIONS CAPILLAIRE, VEINEUSE ET LYMPHATIQUE

UEF 106

Pr Kaouthar Masmoudi

2025- 2026



# CIRCULATION CAPILLAIRE

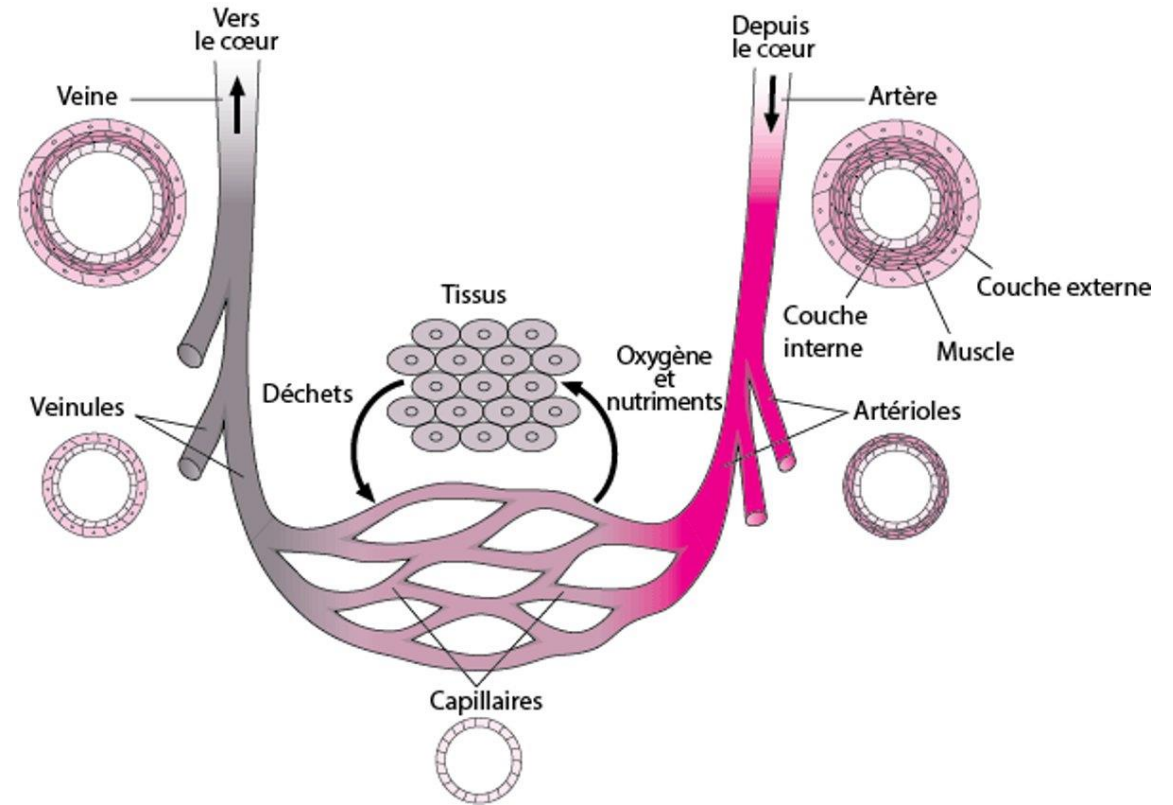
# PLAN

- Spécificité du système capillaire
- Caractéristiques morphologiques
- Caractéristiques hémodynamiques
- Le filtre capillaire
- Le problème de la capillaromotricité

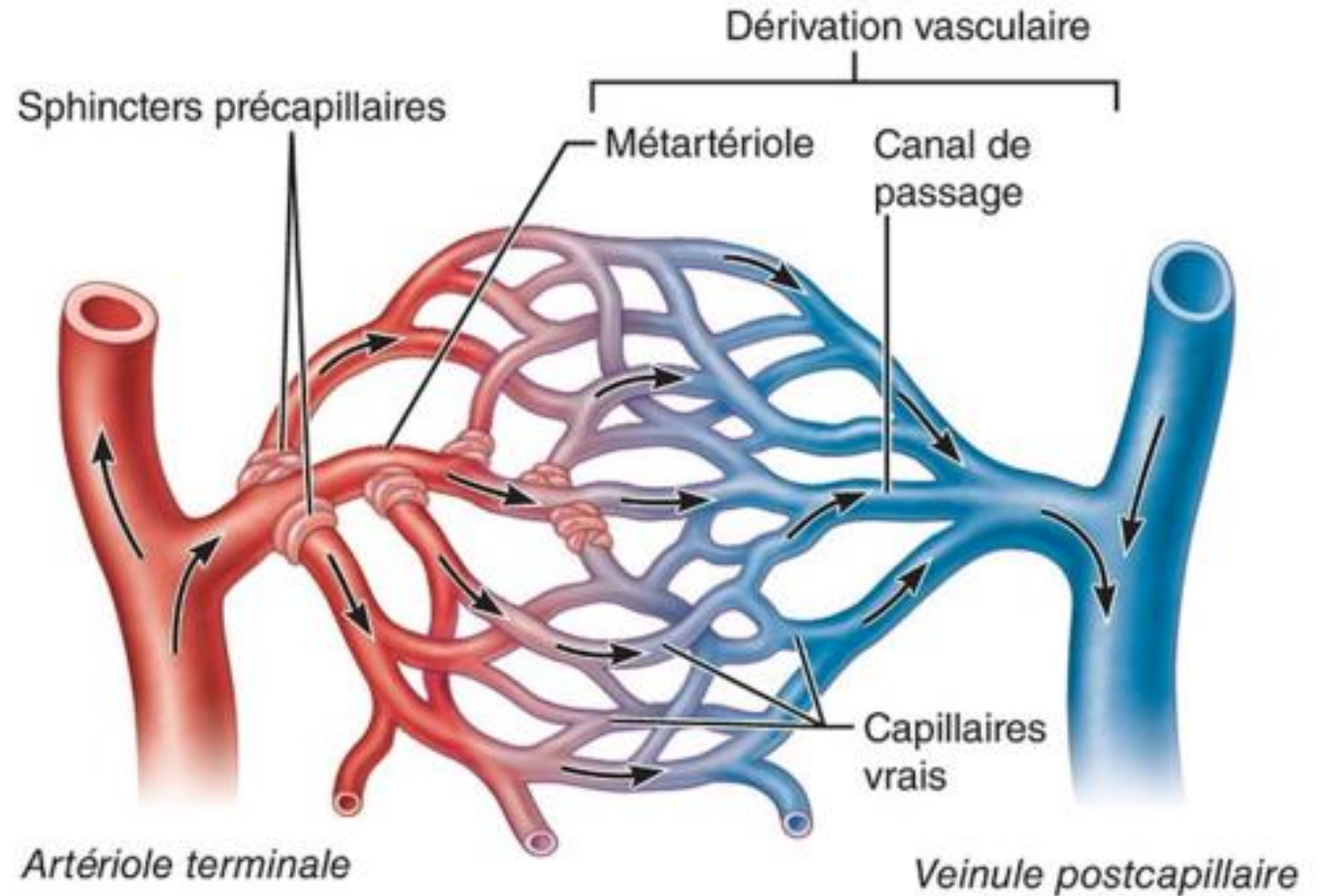
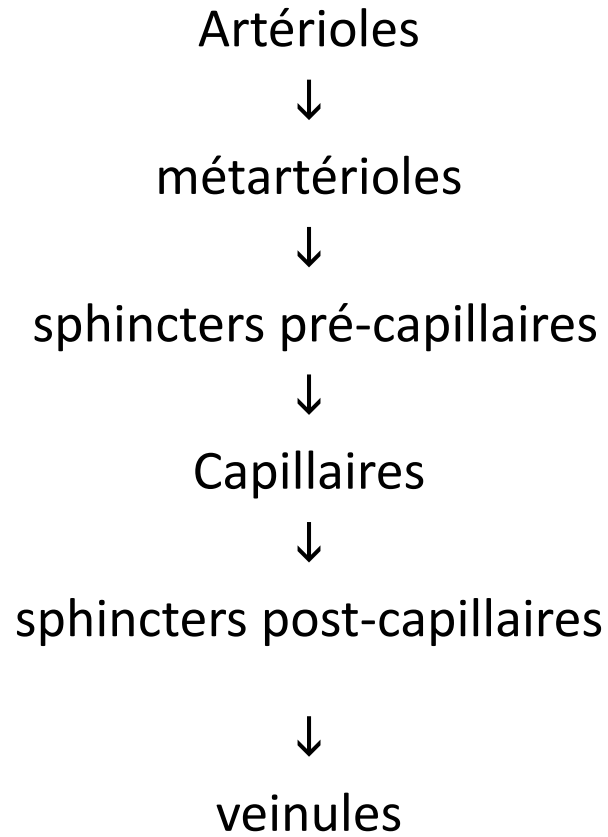
# SPÉCIFICITÉ DU SYSTÈME CAPILLAIRE

## 2 Caractéristiques fondamentales :

- Morphologique :
  - Absence de fibres musculaires lisses dans les parois
- Physiologique :
  - Échanges plasma - milieu interstitiel



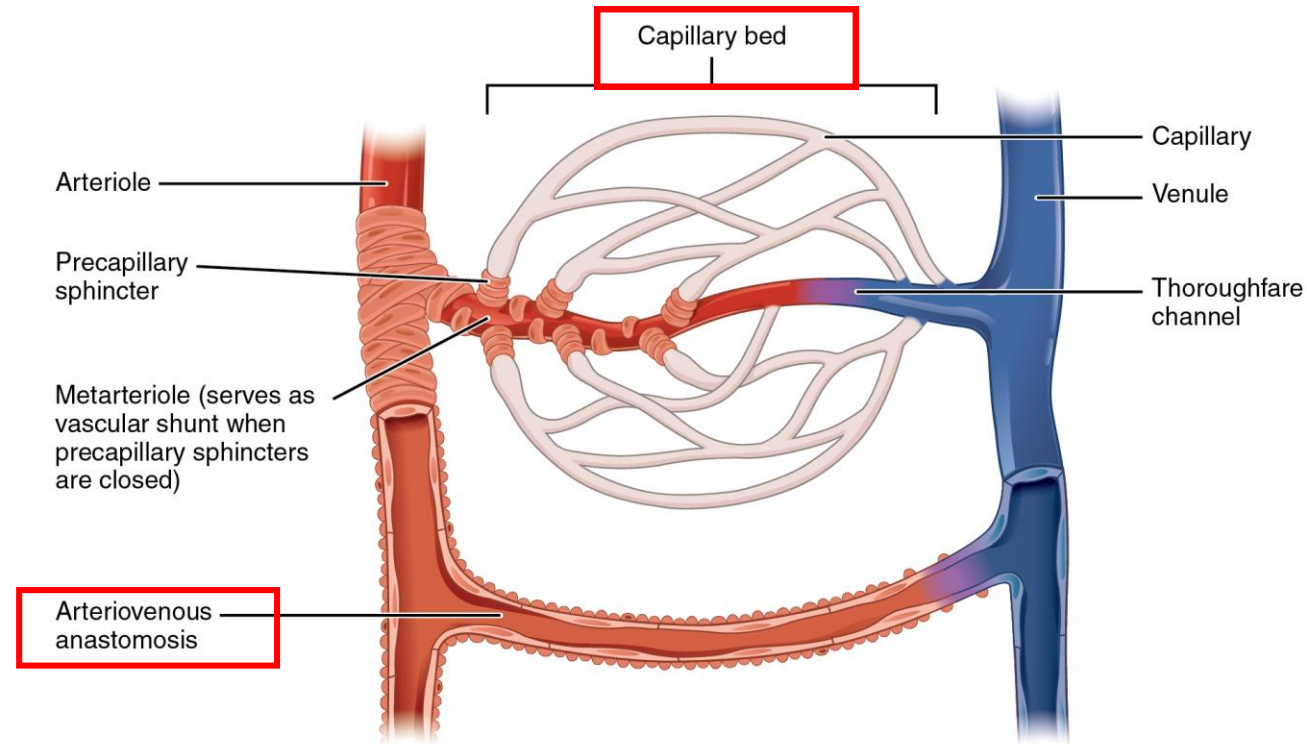
# SPÉCIFICITÉ DU SYSTÈME CAPILLAIRE



**(a) Sphincters ouverts** – le sang passe à travers les capillaires vrais.

# SPÉCIFICITÉ DU SYSTÈME CAPILLAIRE

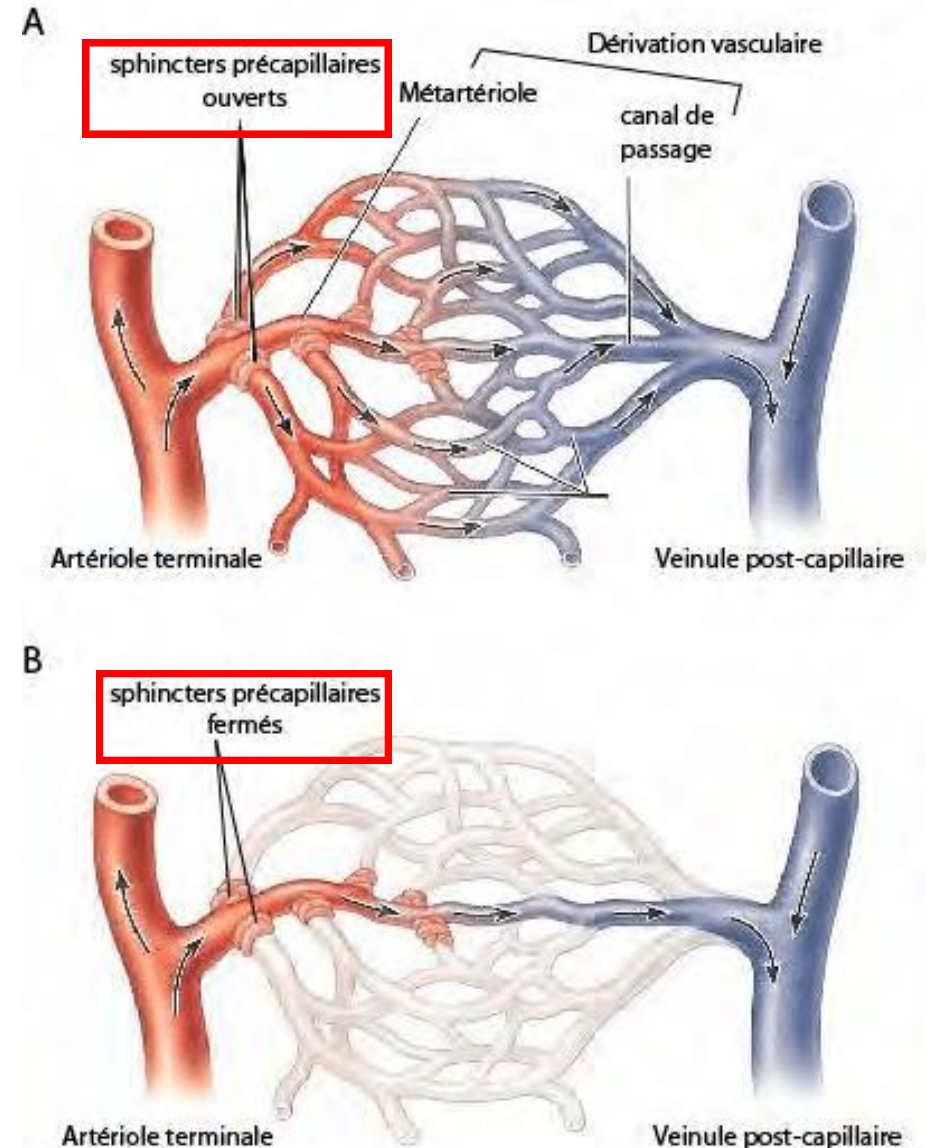
- Réseau complexe :
- Organisation générale :
  - varie d'un organe à l'autre
- Dans la peau et les muscles :
  - Court-circuit par une anastomose directe entre artériole et veinule riche en fibres musculaires



# CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

## Capillaires :

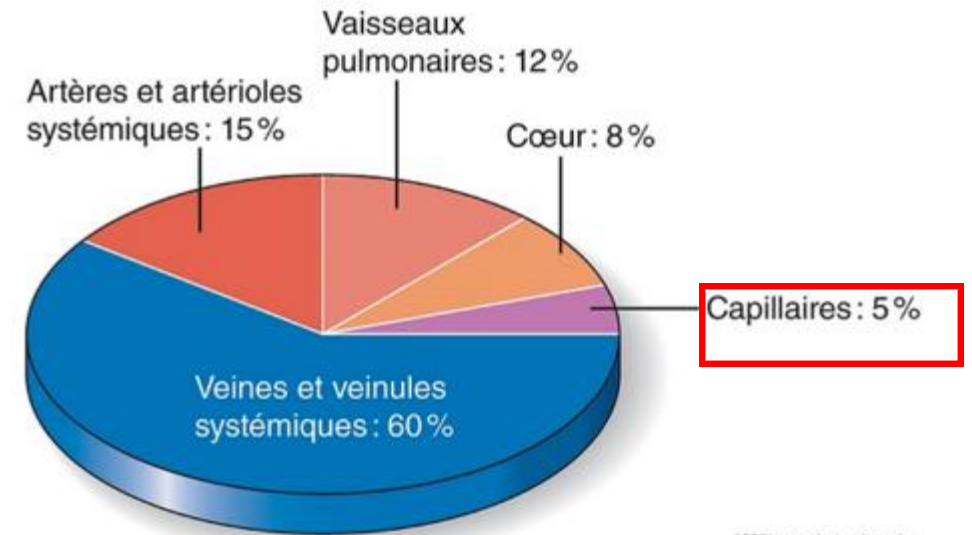
- Petit diamètre :  $8\mu\text{m}$
- Très courts :  $0.75\text{mm}$
- Nombre : élevé :  $10^{10}$ :
  - Varie d'un organe à un autre
- État d'ouverture :
  - Varie selon le niveau métabolique de l'organe
- Volume : faible :
  - 5% du volume sanguin total





- Volume sanguin dans les capillaires : faible :
  - 5% du volume sanguin total

Proportions relatives du volume sanguin

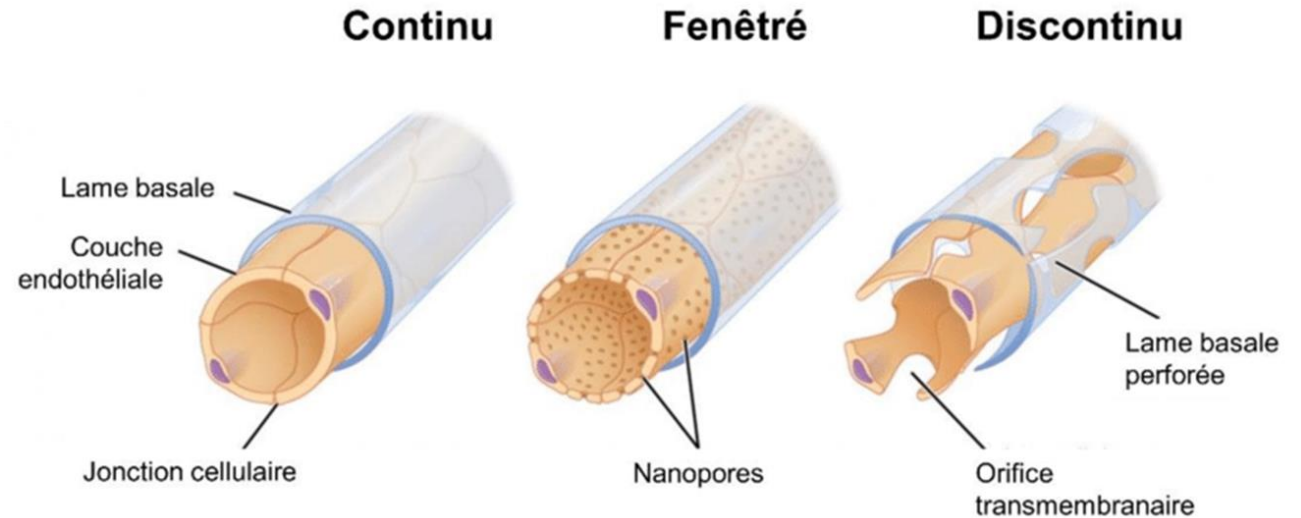




# CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

## Paroi capillaire :

- Couche cellulaire endothéliale reposant sur une membrane basale
- Structure : varie selon les organes :
  - Paroi **continue** : muscles
  - Paroi **fenêtrée** : rein, glandes endocrines, système digestif
  - Paroi fortement **discontinue** : foie, rate, moelle osseuse



# CARACTÉRISTIQUES HÉMODYNAMIQUES

- Modalités de l'écoulement
- Les grandeurs hémodynamiques

# Modalités de l'écoulement

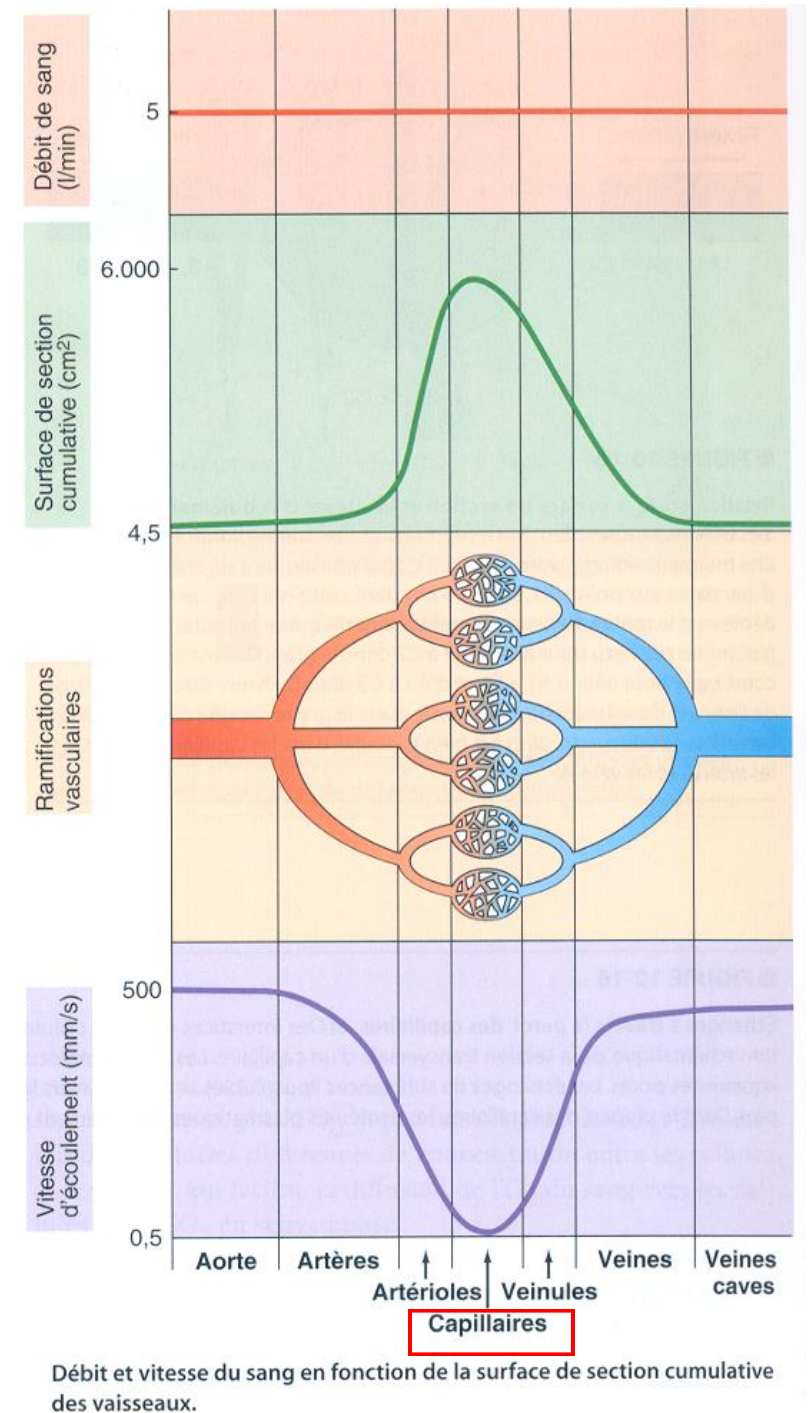
Selon :

- la taille des capillaires :
  - Grande taille : GR passent facilement
  - Petite taille : GR passent isolément
  - Très petite taille : GR ne passent pas; Plasma passe
- la viscosité apparente du fluide
- Le degré d'ouverture des sphincters pré et post-capillaires



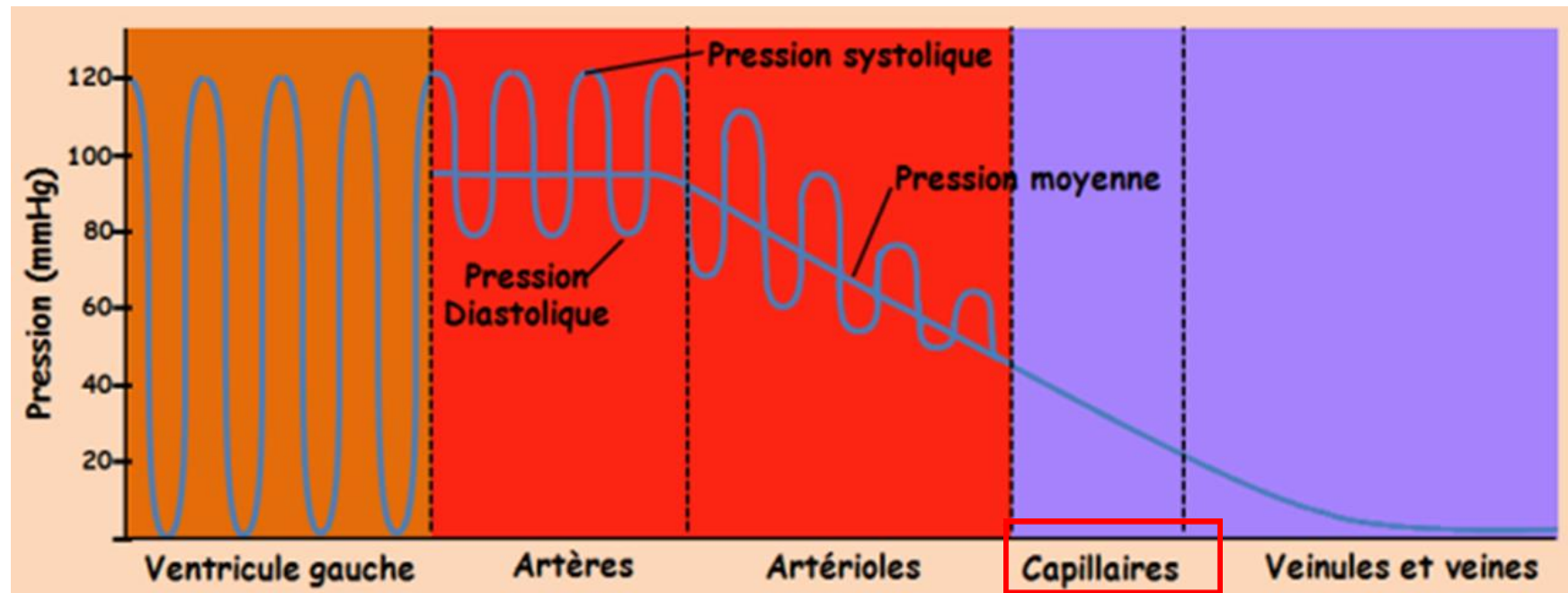
# Les grandeurs hémodynamiques

- Vitesse moyenne :  $< 1\text{mm/s}$
- Surface de section totale : x 800 celle de l'aorte
- Perte de charge : 20%
- Débit sanguin capillaire:
  - global = débit cardiaque = 5L/min
  - Local : dépend de l'organe



# Les grandeurs hémodynamiques

- Pression :
  - à l'entrée : 35 mmHg → à la sortie : 25 mmHg
  - Différence selon les organes



# LE FILTRE CAPILLAIRE

- Transferts d'eau et de solutés
- Transfert des gaz
- Transfert de chaleur

# Transferts d'eau et de solutés

- *La filtration*
- *La diffusion*



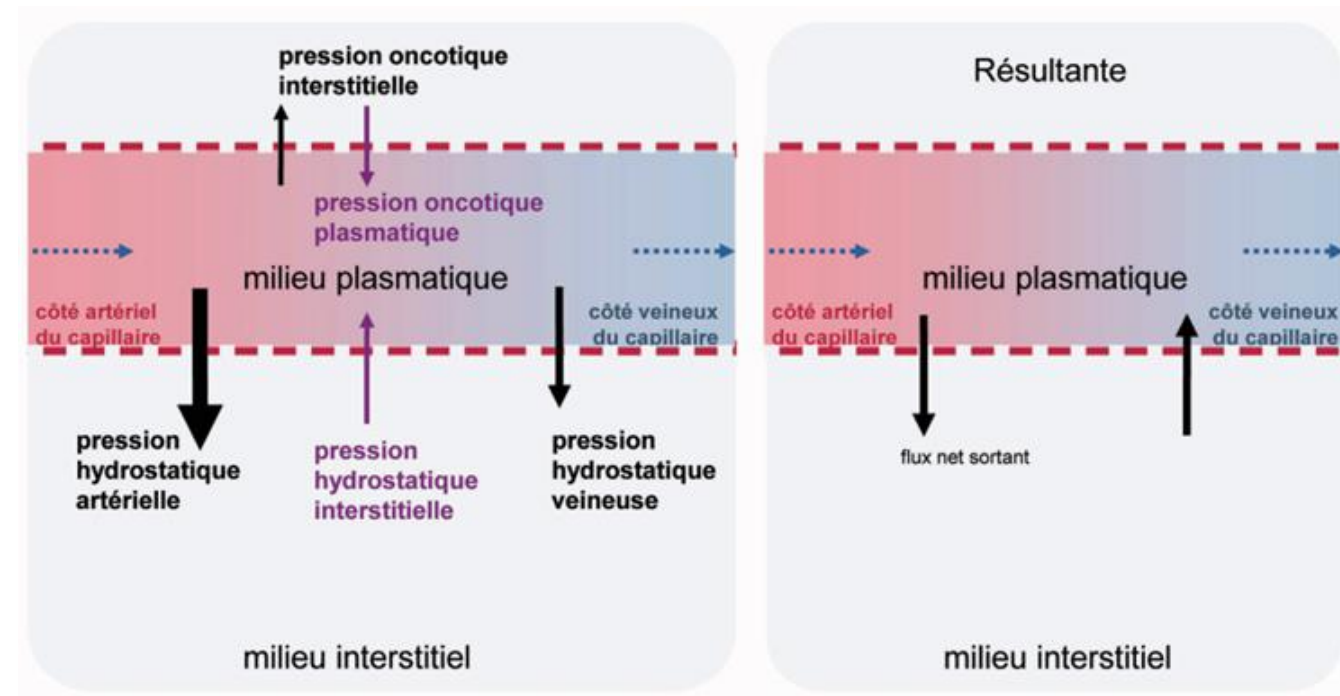
## La filtration

- Forces de Starling :
  - Gradient de pression hydrostatique
  - Gradient de pression osmotique
- Mouvement liquidien =  $K \times PUF$
- $PUF = K \times [(P_{cap} - P_{int}) - (\pi_{cap} - \pi_{int})]$ 
  - PUF : pression d'ultrafiltration
  - K : coefficient de perméabilité :  $\nearrow$
  - $P_{cap}$  : pression hydrostatique capillaire
  - $P_{int}$  : pression hydrostatique interstitielle
  - $\pi_{cap}$  : pression oncotique capillaire
  - $\pi_{int}$  : pression oncotique interstitielle

$$\phi F = k [(P_{cap} - P_{int}) - (\pi_{cap} - \pi_{int})]$$

Diagram showing the components of the Starling forces equation with arrows pointing from the terms to their definitions:

- $\phi F$ : Débit de filtration
- $k$ : Coefficient de Perméabilité
- $P_{cap}$ : Pression hydrostatique capillaire
- $P_{int}$ : Pression hydrostatique interstitielle
- $\pi_{cap}$ : Pression oncotique capillaire
- $\pi_{int}$ : Pression oncotique interstitielle



## La filtration

### Exemple :

- Du côté artériel du capillaire :

$P_c = 25 \text{ mmHg}$

$P_i = -5 \text{ mmHg}$

$\pi_c = 30 \text{ mmHg}$

$\pi_i = 12 \text{ mmHg}$

$PUF = (25 + 5) - (30 - 12) = 20 - 18 = (+) 2 \text{ mmHg}$

→ Filtration (eau : capillaire → interstitium)

- Du côté veineux du capillaire :

$P_c = 5 \text{ mmHg}$

$P_i = -5 \text{ mmHg}$

$\pi_c = 30 \text{ mmHg}$

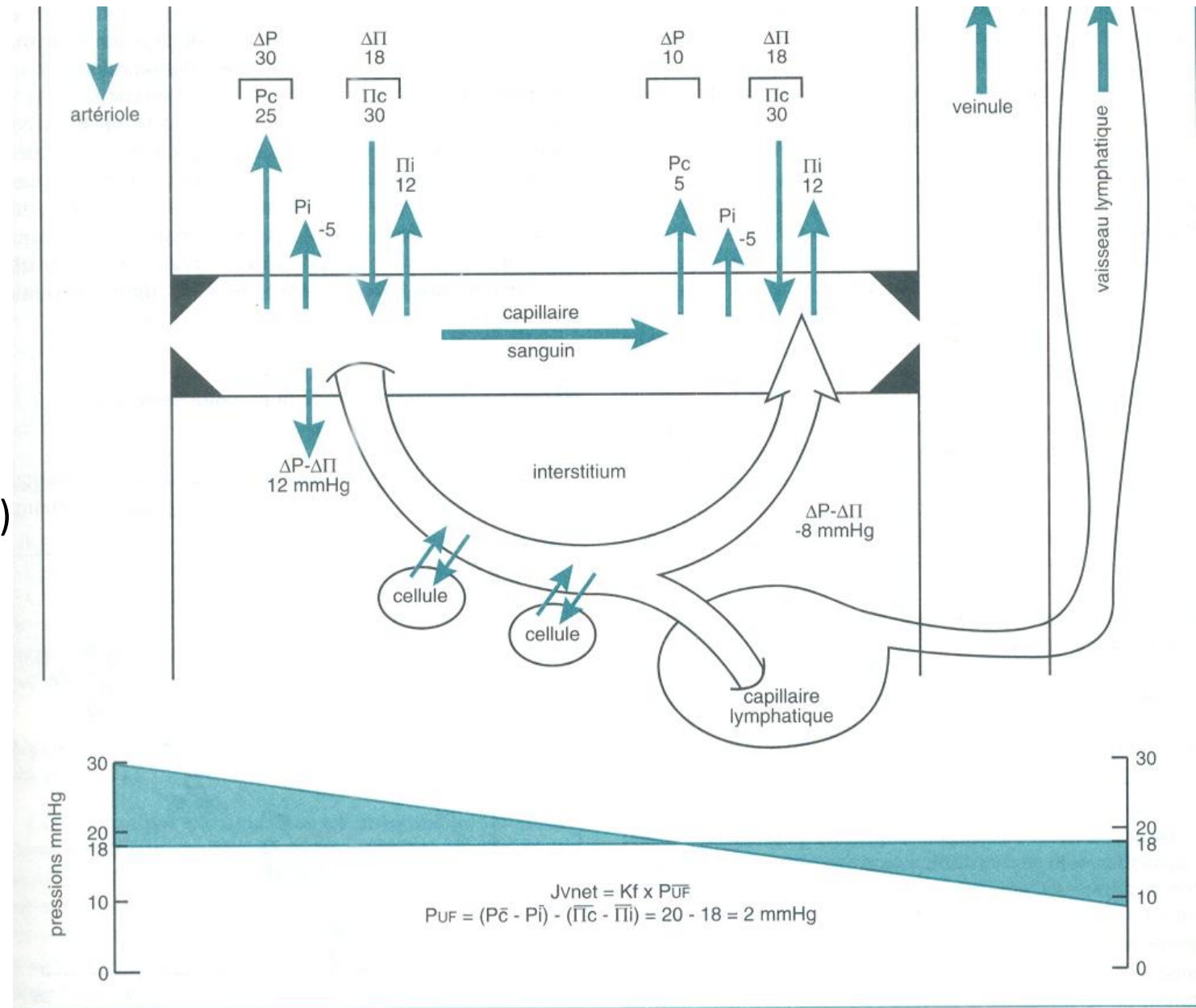
$\pi_i = 12 \text{ mmHg}$

$PUF = (5 + 5) - (30 - 12) = 10 - 18 = (-) 8 \text{ mmHg}$

→ Réabsorption (eau : interstitium → capillaire)

$$\phi F = k [(P_{\text{cap}} - P_{\text{int}}) - (\pi_{\text{cap}} - \pi_{\text{int}})]$$

↓	↓	↓	↓	↓	↓
Débit de filtration	Coefficient de Perméabilité	Pression hydrostatique capillaire	Pression hydrostatique interstitielle	Pression oncotique capillaire	Pression oncotique interstitielle



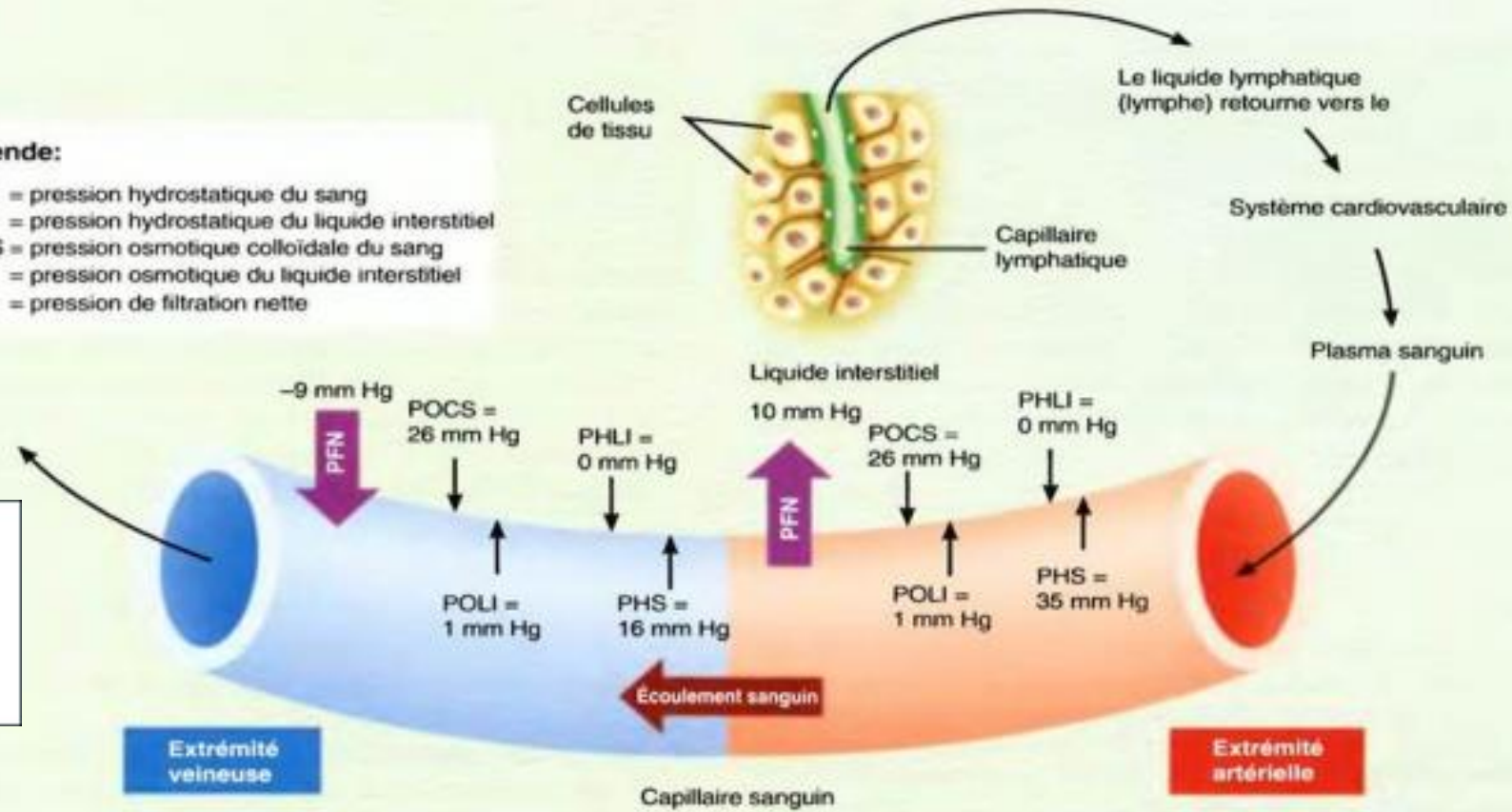
Mouvements d'eau et de solutés à travers l'endothélium capillaire et leurs déterminants.  $P_c$  : pression hydrostatique capillaire ;  $P_i$  : pression interstitielle ;  $\pi_c$  : pression oncotique capillaire ;  $\pi_i$  : pression oncotique interstitielle.

**Légende:**

PHS = pression hydrostatique du sang  
 PHLI = pression hydrostatique du liquide interstitiel  
 POCS = pression osmotique colloïdale du sang  
 POLI = pression osmotique du liquide interstitiel  
 PFN = pression de filtration nette

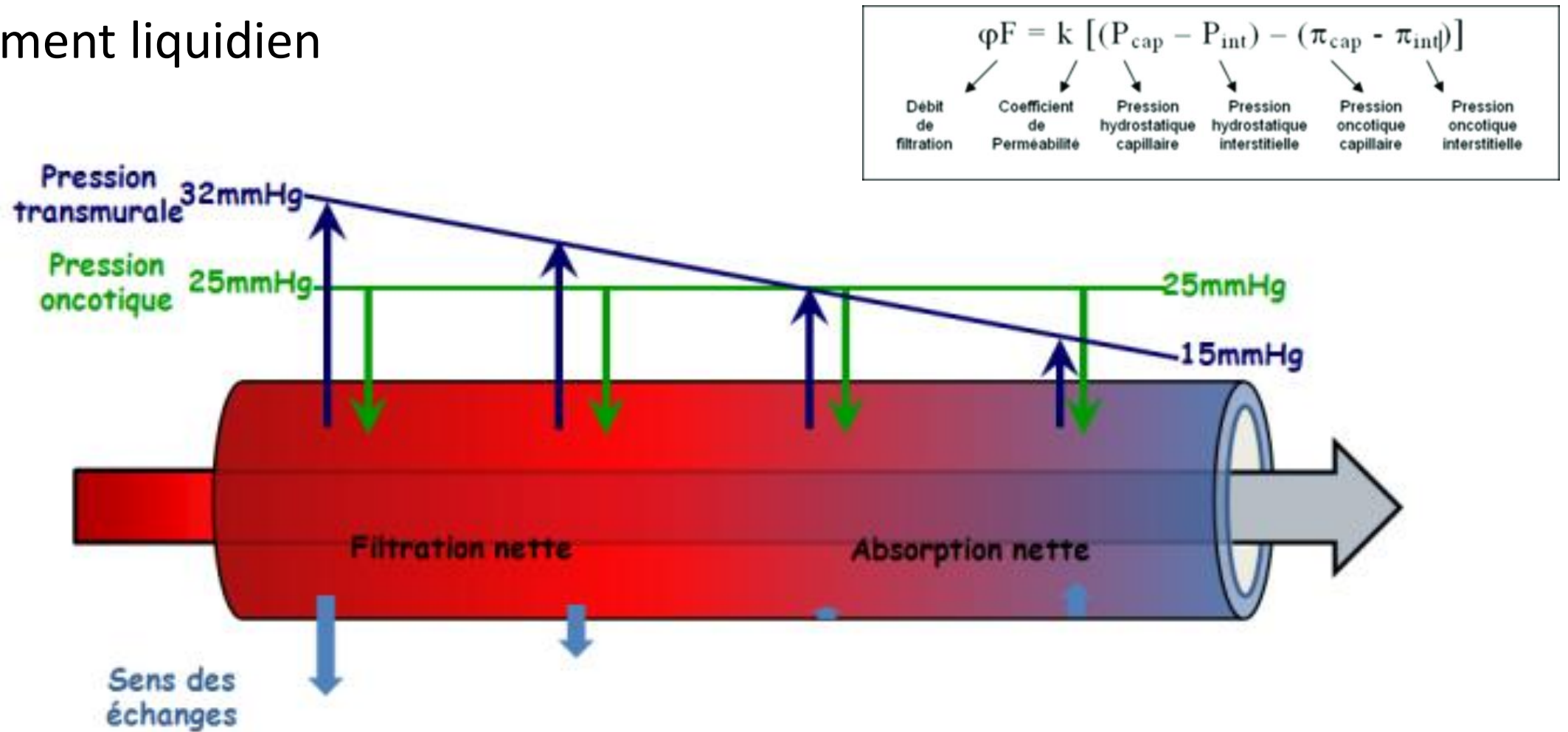
$$\phi F = k [(P_{cap} - P_{int}) - (\pi_{cap} - \pi_{int})]$$

Débit de filtration  
 Coefficient de Perméabilité  
 Pression hydrostatique capillaire  
 Pression hydrostatique interstitielle  
 Pression oncotique capillaire  
 Pression oncotique interstitielle



	Pressions favorisant la filtration	Pressions favorisant la réabsorption
Pression de filtration nette (PFN)	$= (PHS + POLI)$	$= (POCS + PHLI)$
	<b>Extrémité veineuse</b>	<b>Extrémité artérielle</b>
	$PFN = (16 + 1) - (26 + 0)$ $= -9 \text{ mm Hg}$	$PFN = (35 + 1) - (26 + 0)$ $= 10 \text{ mm Hg}$
Résultat	Réabsorption	Filtration

- Mouvement liquidien





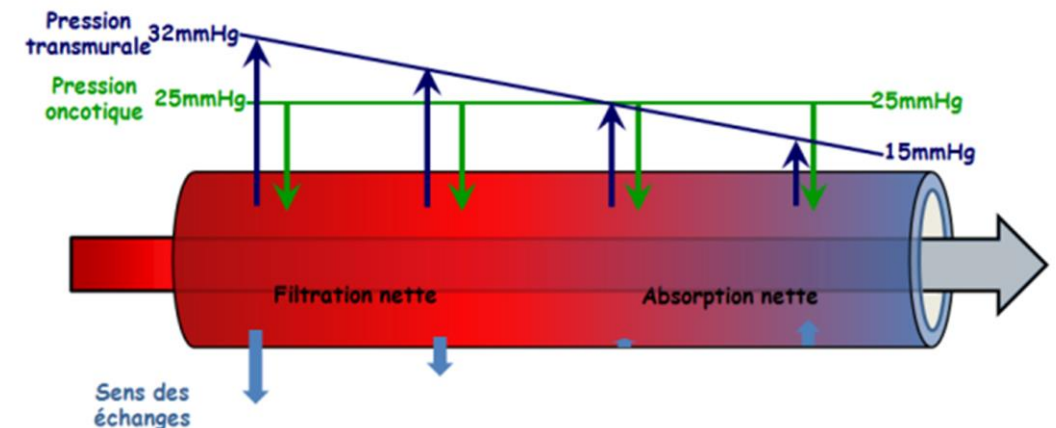
# Causes de l'œdème :

Filtration > réabsorption

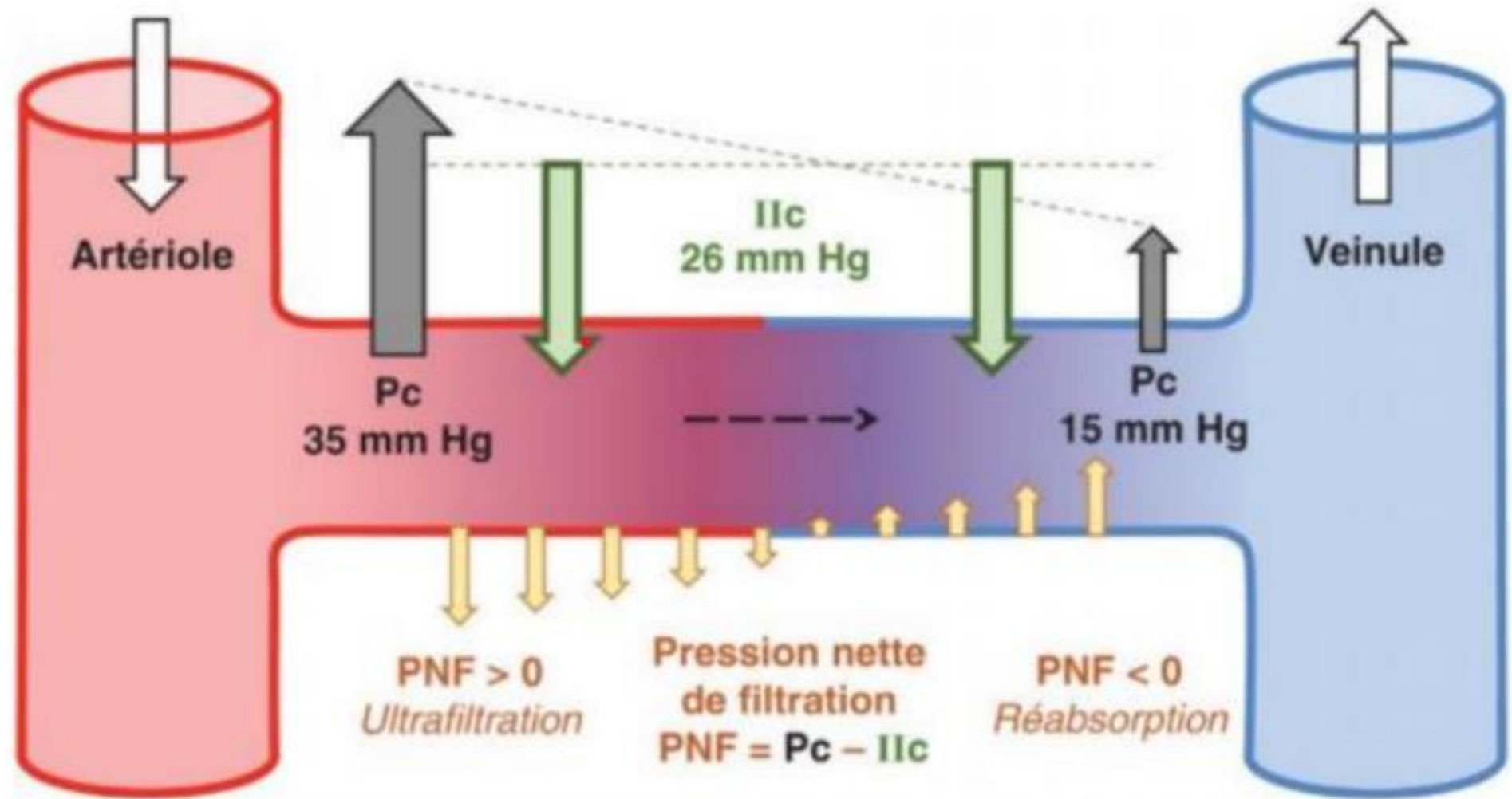
- $PUF = K \times [(P_{cap} - P_{int}) - (\pi_{cap} - \pi_{int})] : \nearrow$ 
  - PUF : pression d'ultrafiltration
  - K : coefficient de perméabilité :  $\nearrow$
  - $P_{cap}$  : pression hydrostatique capillaire :  $\nearrow$
  - $P_{int}$  : pression hydrostatique interstitielle  $\searrow$
  - $\pi_{cap}$  : pression oncotique capillaire :  $\searrow$
  - $\pi_{int}$  : pression oncotique interstitielle :  $\nearrow$

$$\phi F = k [(P_{cap} - P_{int}) - (\pi_{cap} - \pi_{int})]$$

Débit de filtration	Coefficient de Perméabilité	Pression hydrostatique capillaire	Pression hydrostatique interstitielle	Pression oncotique capillaire	Pression oncotique interstitielle
---------------------	-----------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------



# Causes de l'œdème :



Formation des œdèmes : **PNF reste positive**

## Pression hydrostatique capillaire augmentée ( $P_c \nearrow$ )

- Insuffisance cardiaque globale, droite
- Insuffisance rénale aiguë anurique
- Insuffisance rénale chronique sévère
- Cirrhose hépatique
- Obstruction veineuse ou lymphatique bilatérale

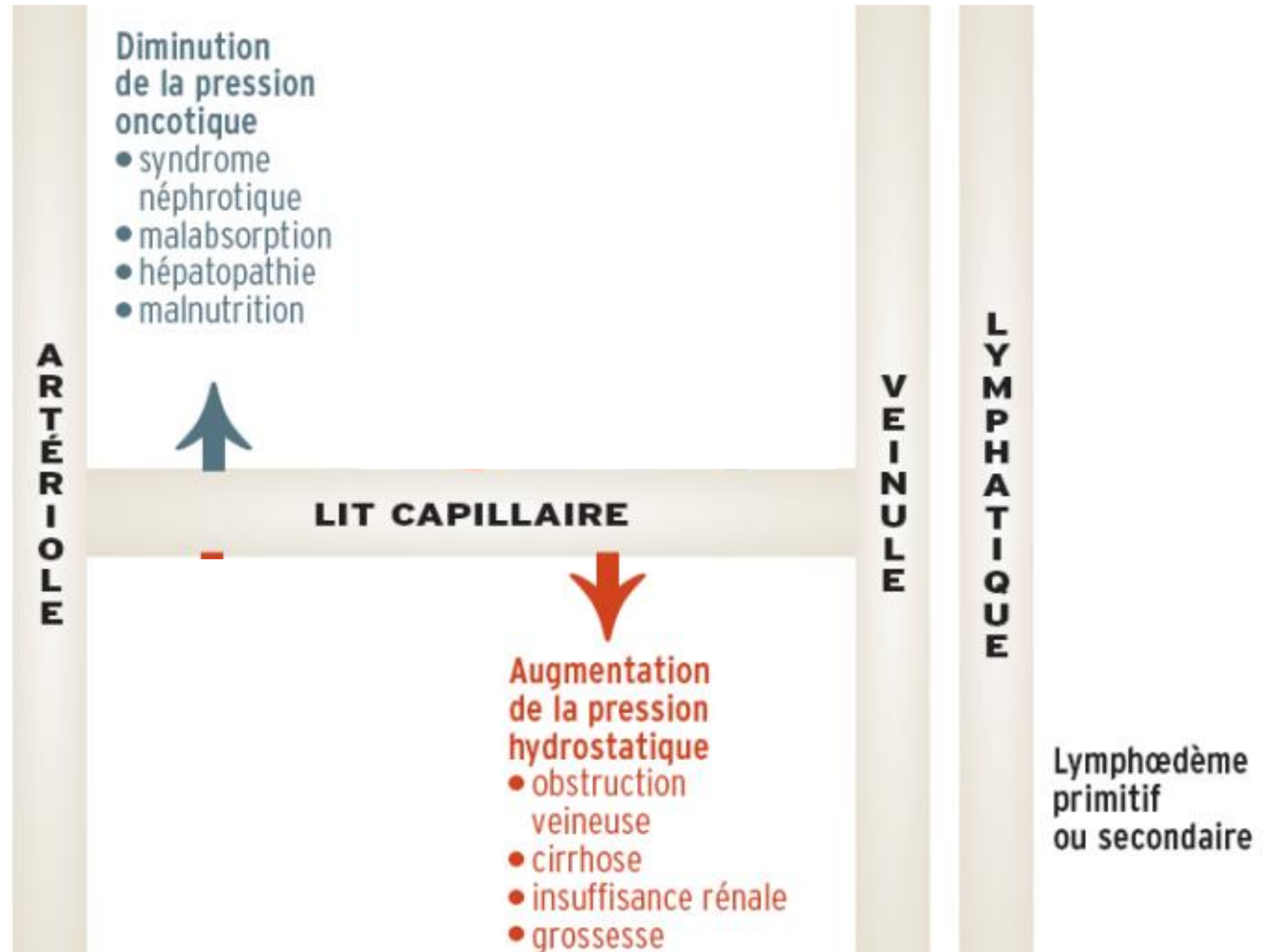
## Augmentation de la perméabilité capillaire

- Œdèmes cycliques idiopathiques
- Médicaments

## Pression oncotique plasmatique diminuée ( $IIc \searrow$ )

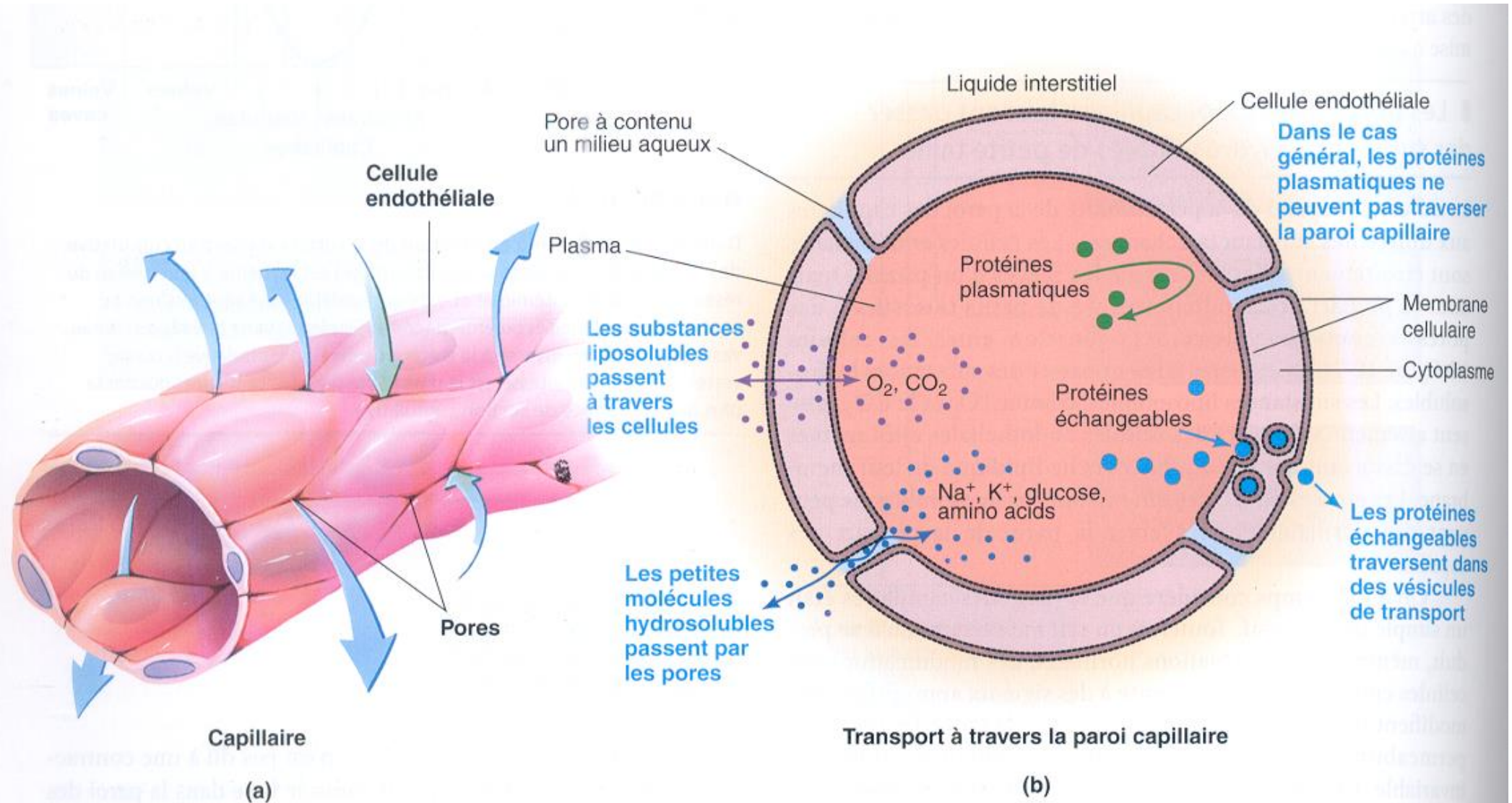
- Hypoalbuminémie
- Syndrome néphrotique
- Syndrome néphritique

# Physiopathologie de l'œdème

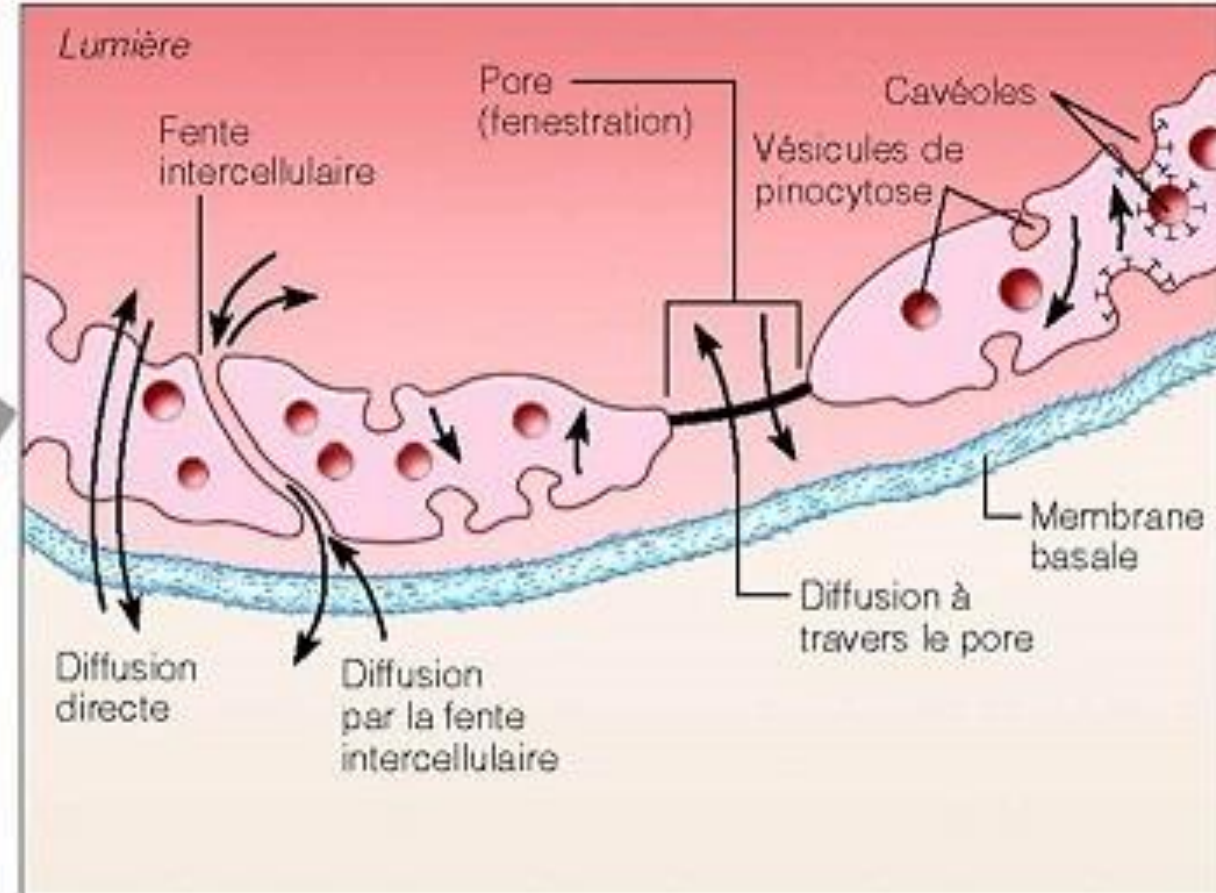
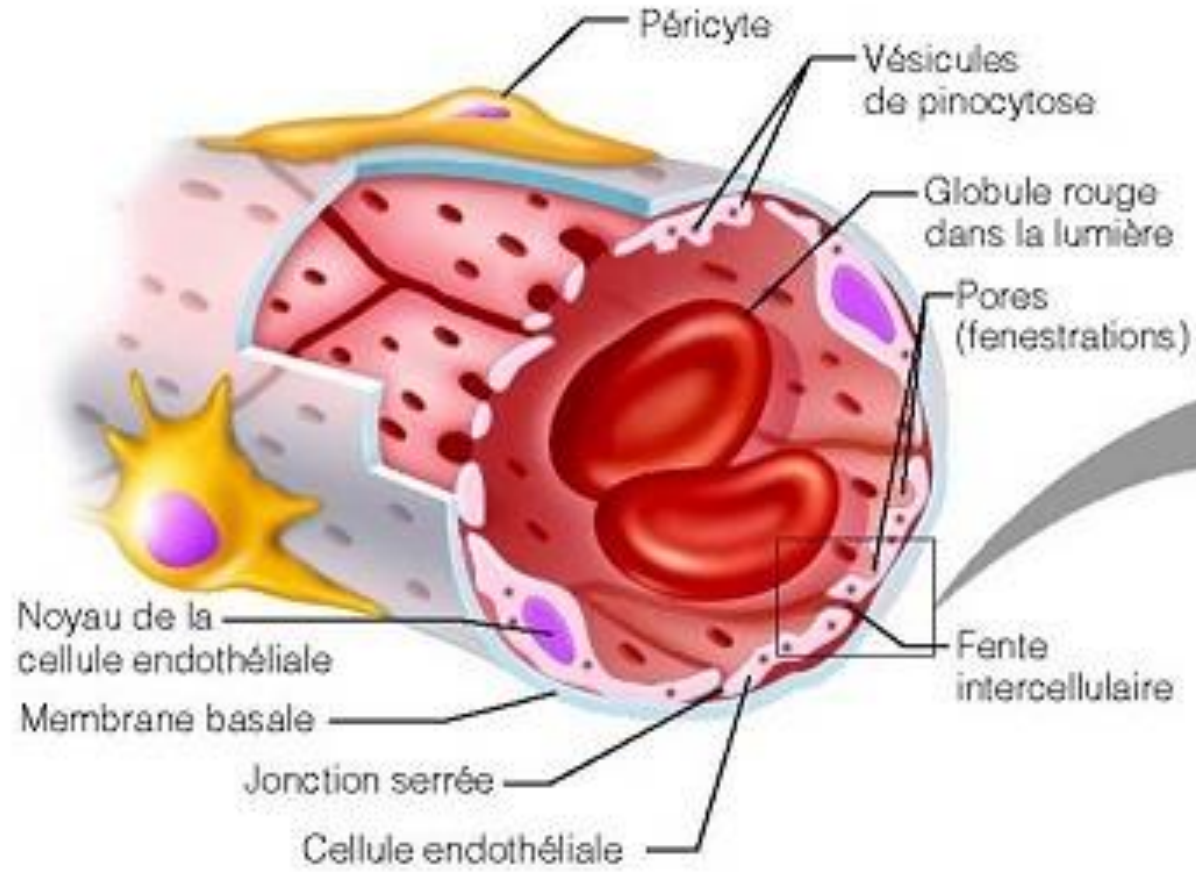




# La diffusion

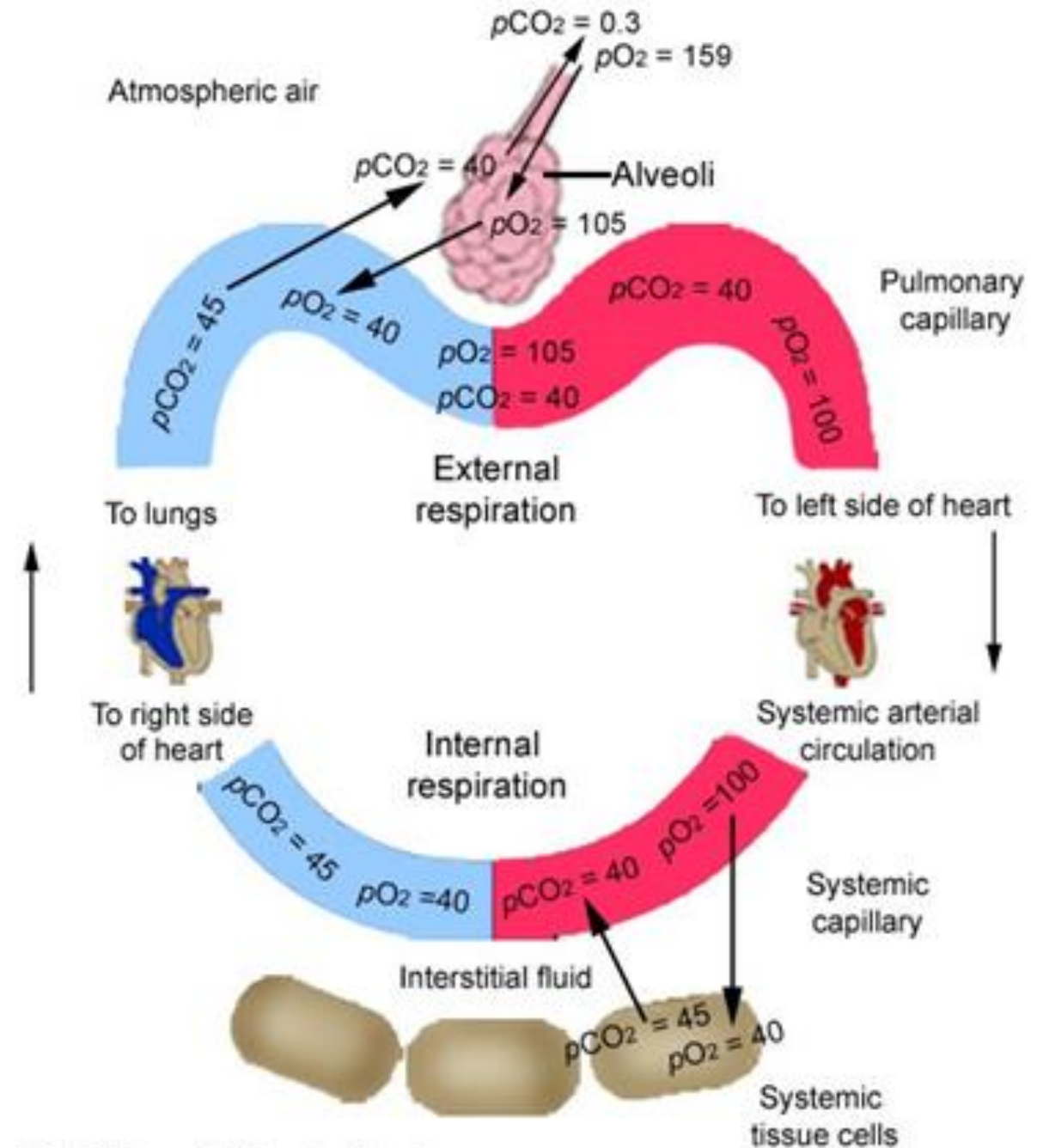


# La diffusion



# Transfert des gaz

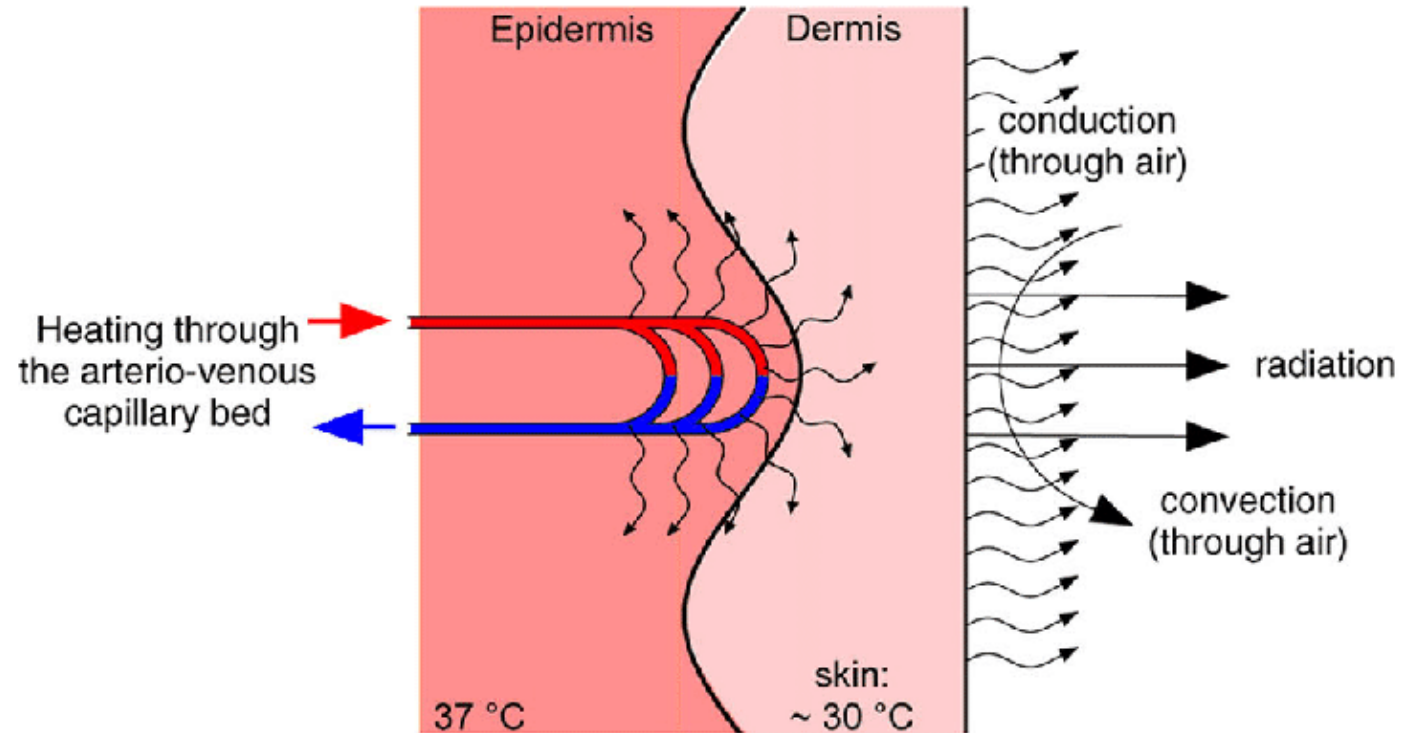
- O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> : sens opposé
- Différence de pressions partielles



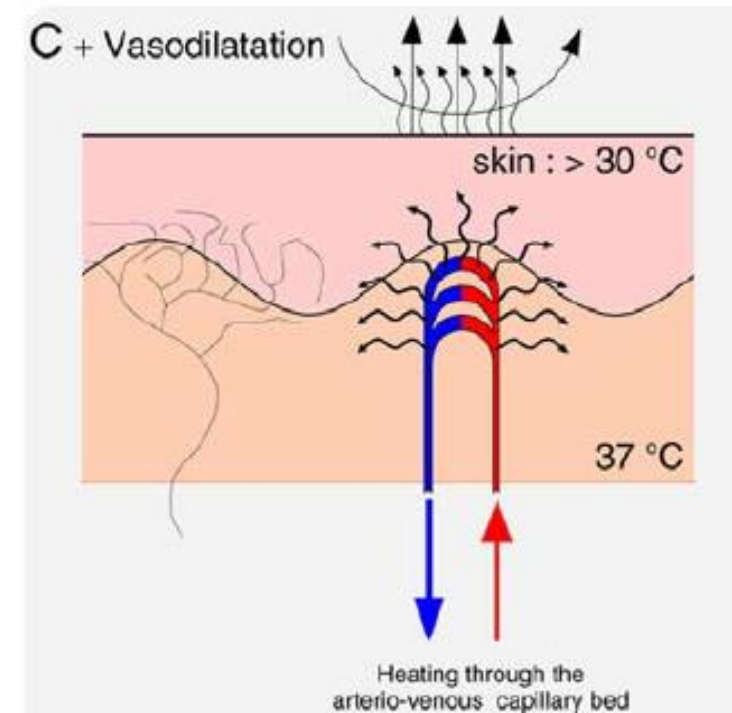
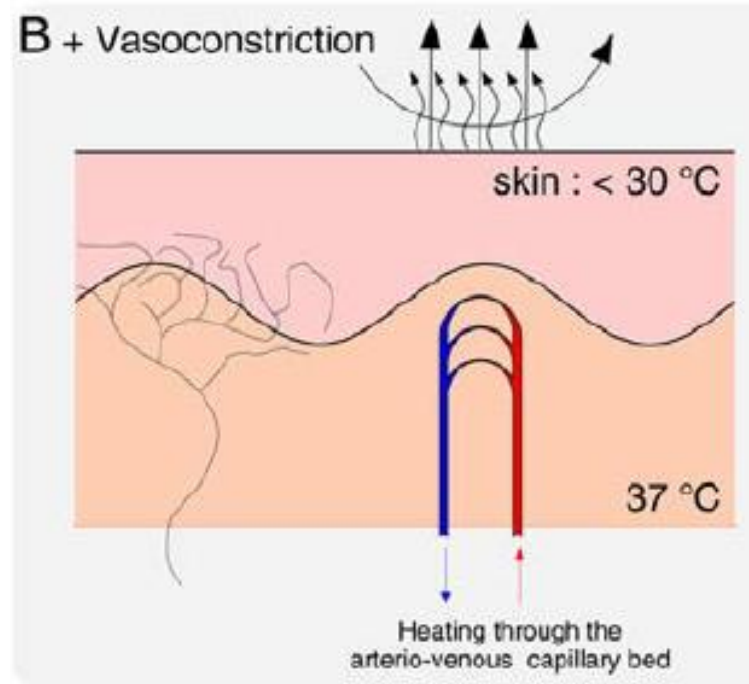
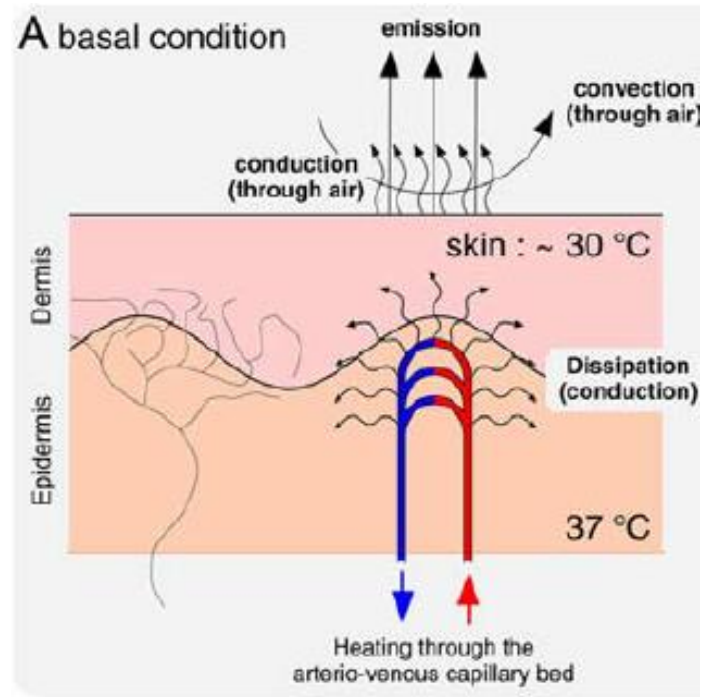


# Transfert de chaleur

- Du milieu chaud vers le milieu froid

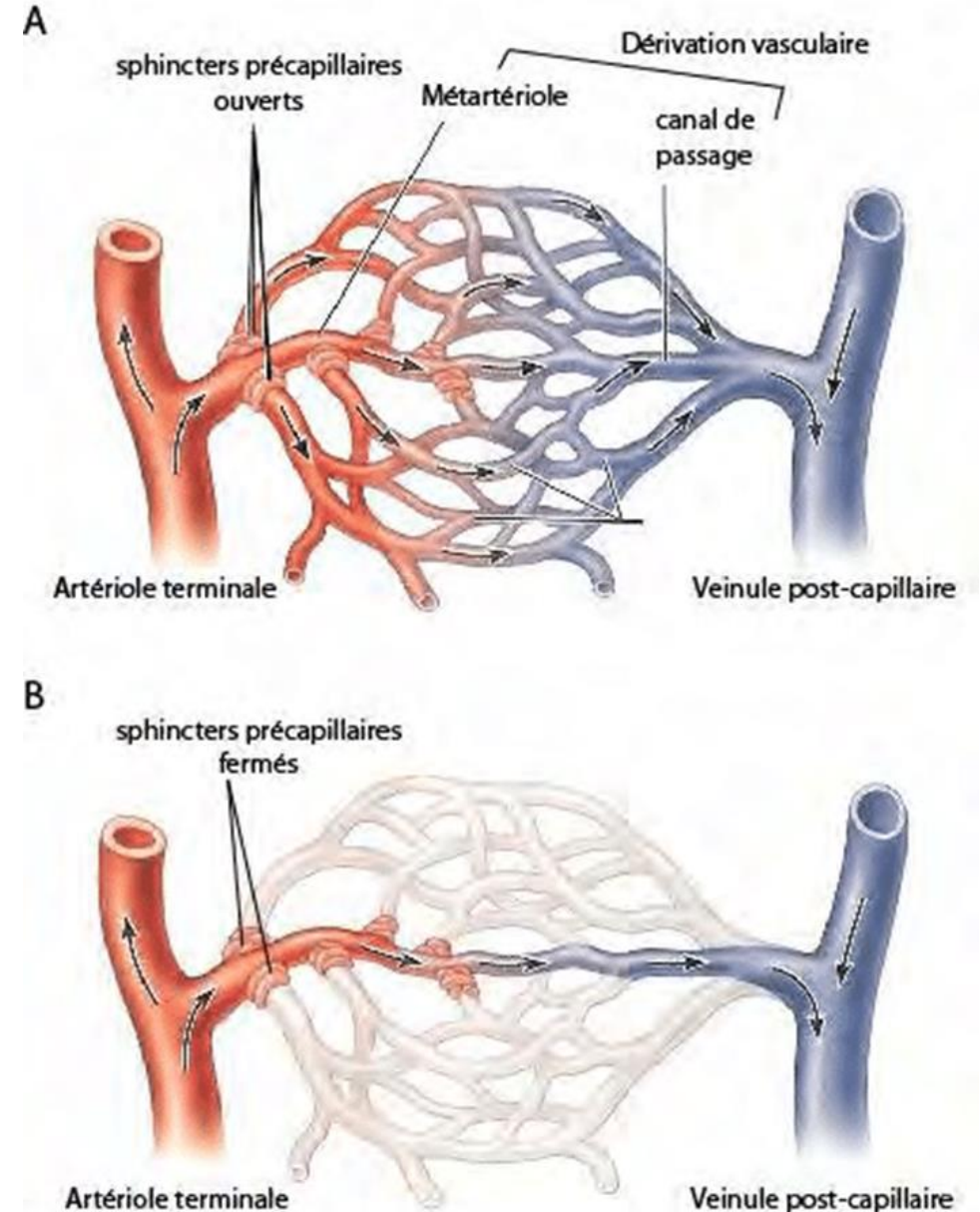


# Transfert de chaleur



# LE PROBLÈME DE LA CAPILLAROMOTRICITÉ

- Pas de motricité active :
  - Absence de fibres musculaires lisses
- Distensibilité :
  - S'adapter au volume sanguin qui lui parvient
  - Motricité passive
- Sensibilité aux produits du métabolisme :
  - $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}^+$   $\rightarrow$  relâchement pariétal
- Notion de microcirculation



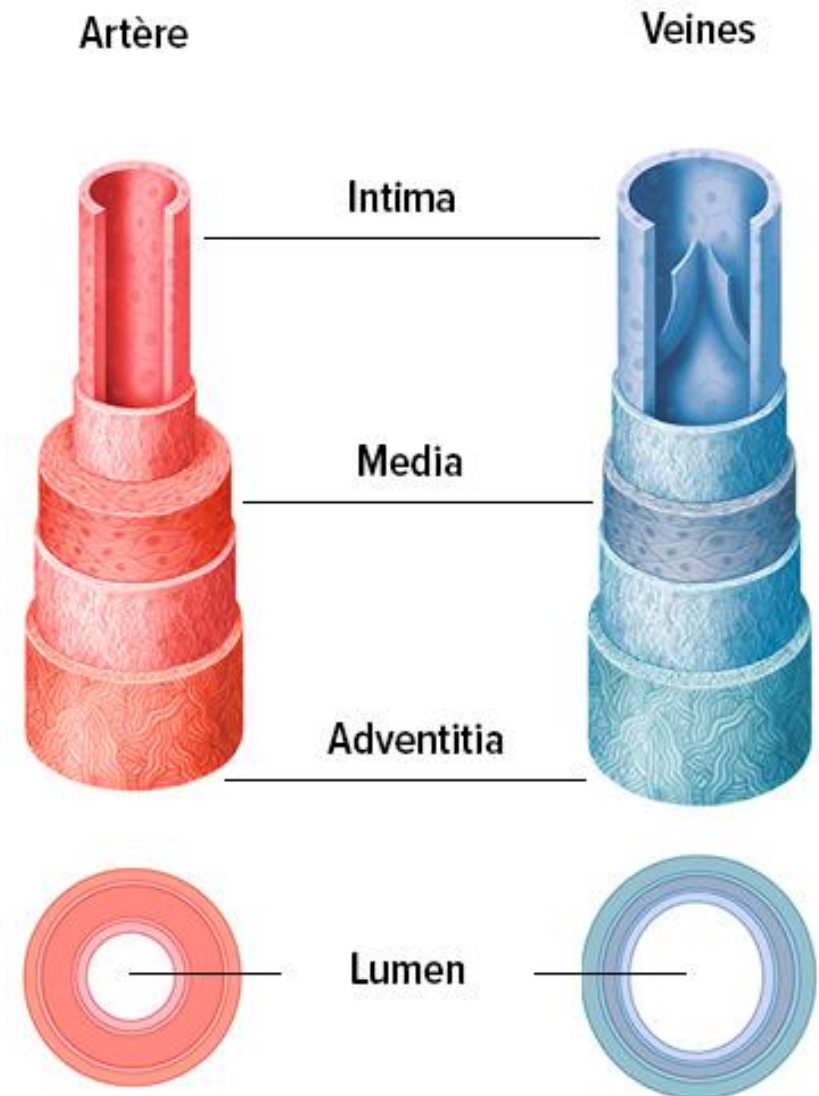
# CIRCULATION VEINEUSE



# MORPHOLOGIE FONCTIONNELLE

## Veines :

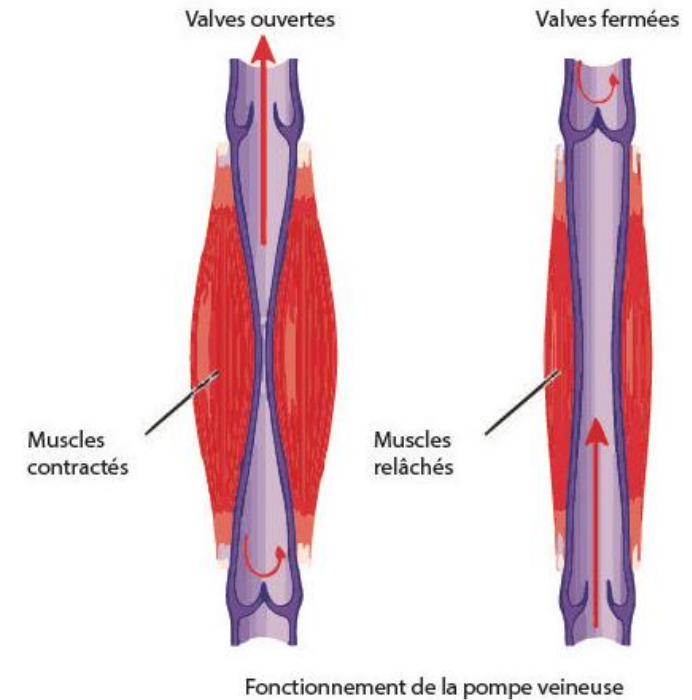
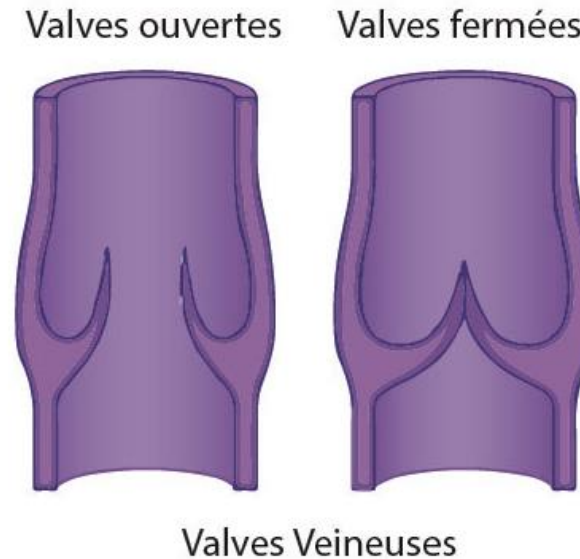
- sang :périphérie →cœur : Circulation de retour
- Capillaires → sphincters post-capillaires → OD
- 3 tuniques : intima, média, adventice
- Comparées aux artères :
  - Paroi plus mince
  - Fibres musculaires : (-) abondantes
  - Présence de valvules
  - Plus nombreuses : 2V pour 1A
  - Diamètre plus élevé



# MORPHOLOGIE FONCTIONNELLE

## Valvules :

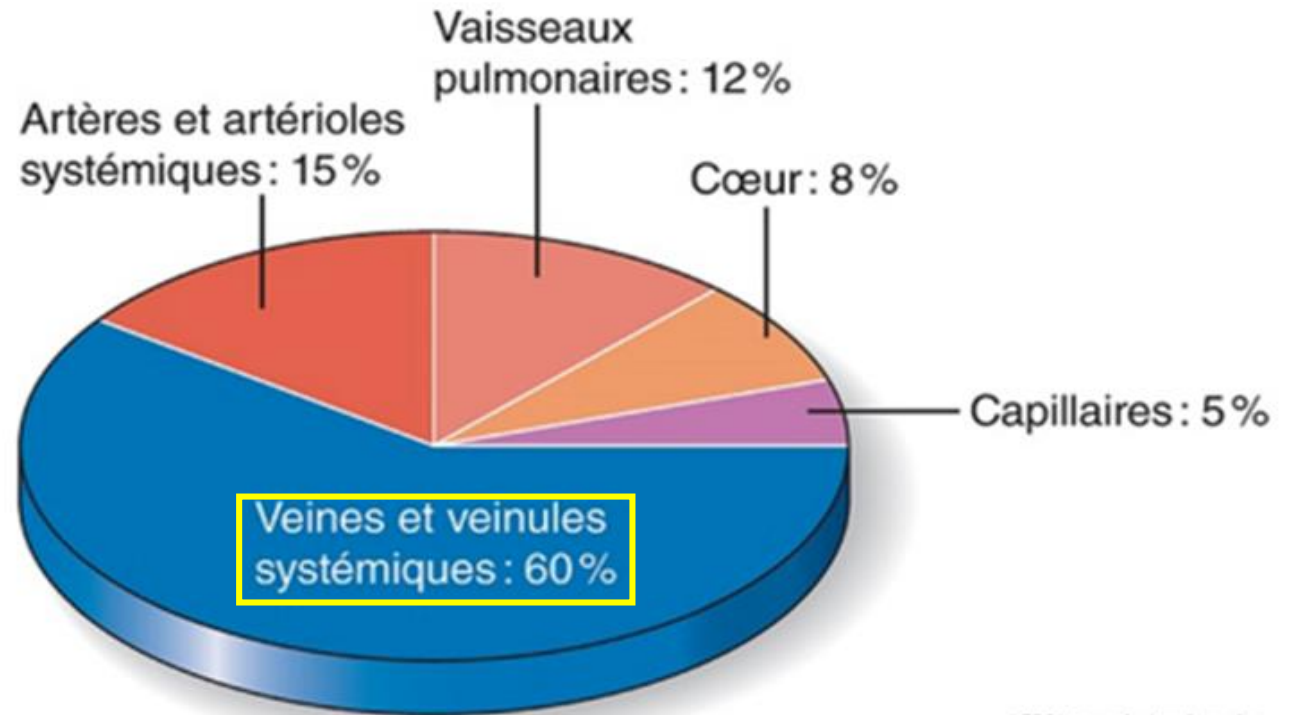
- Replis fibro-élastiques
  - recouverts d'endothélium
  - Disposées par paires
- S'opposent au reflux du sang
- Membres inférieurs ++



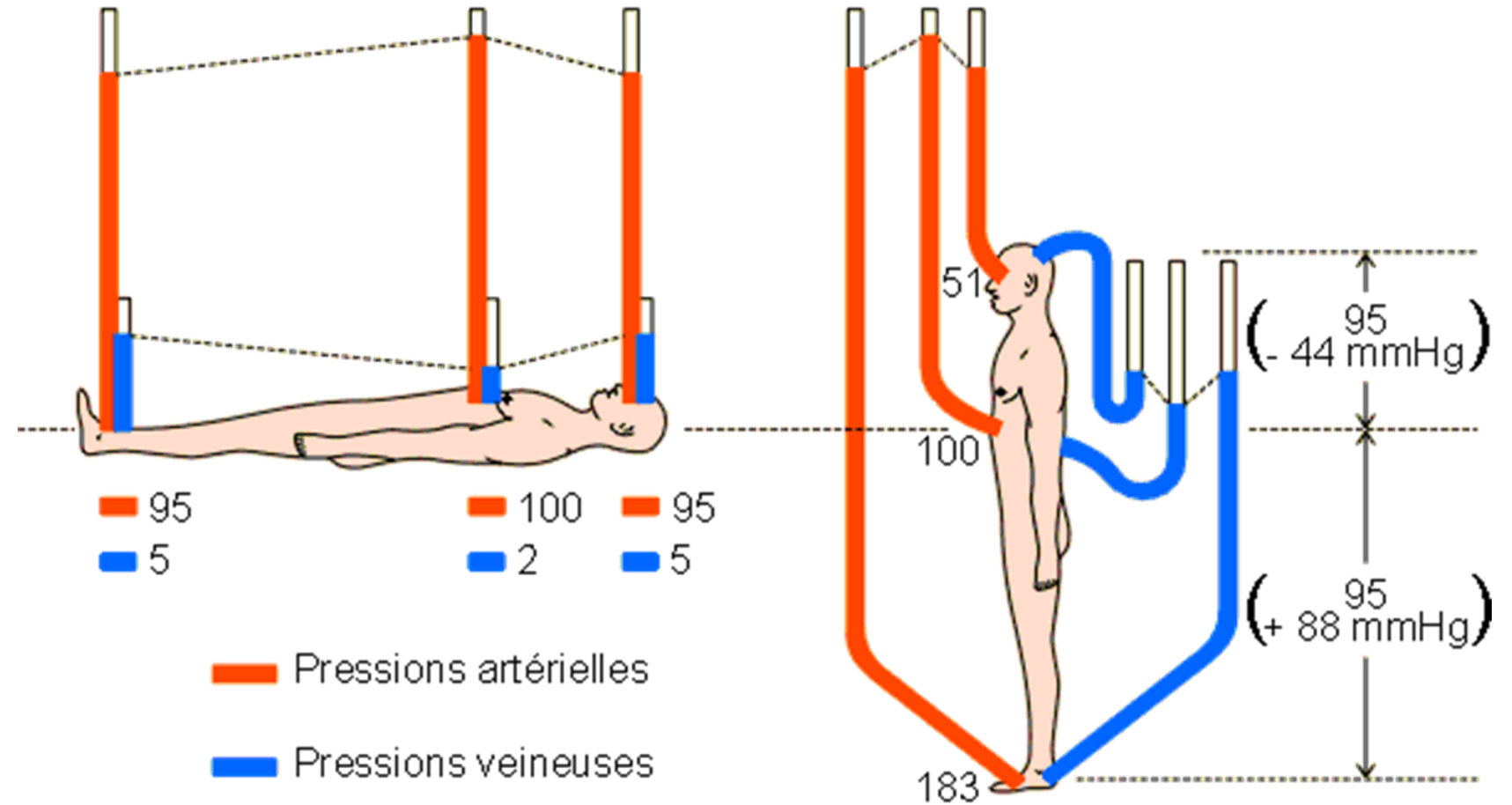
# MORPHOLOGIE FONCTIONNELLE

- Capacité du système veineux :
  - Nombre des veines
  - Leur calibre
  - Leur extensibilité→ Rôle de réservoir de sang
- Faibles résistances
- Pression basse

Proportions relatives du volume sanguin



- Sujet couché
- Sujet debout

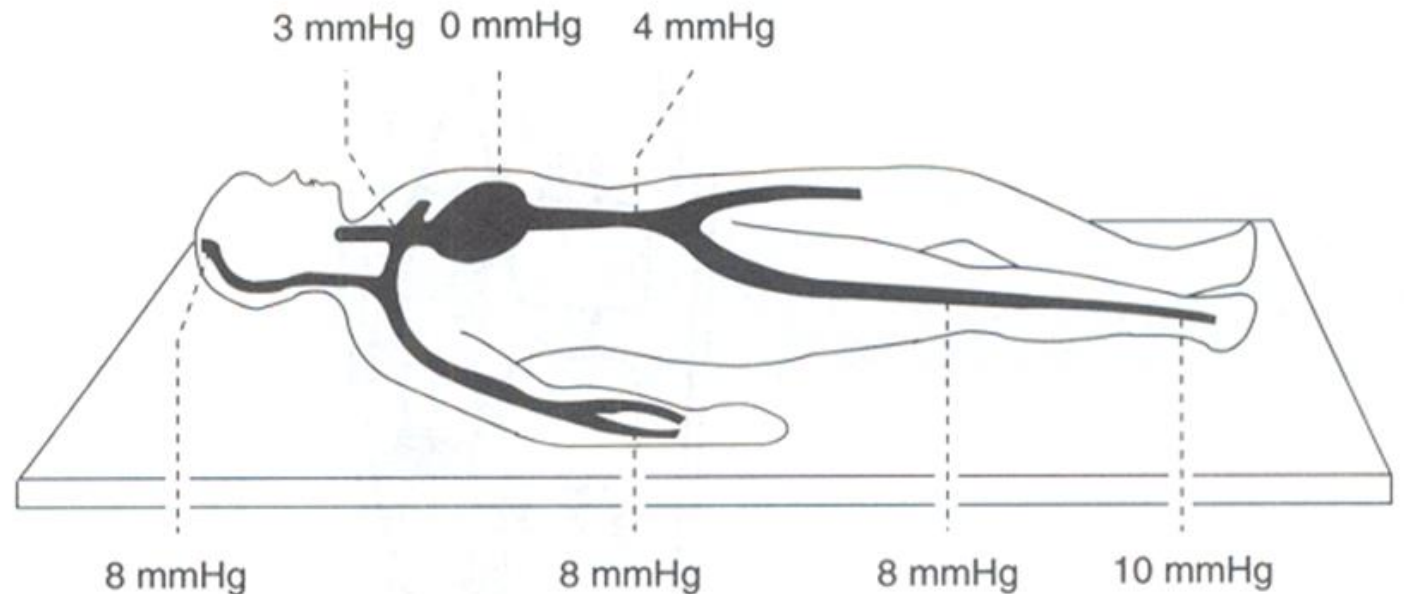


- Pression :
  - $<$  pression capillaire
  - $< 15$  mmHg
- Écoulement du sang :

périphérie tissulaire  
(haute pression)

↓

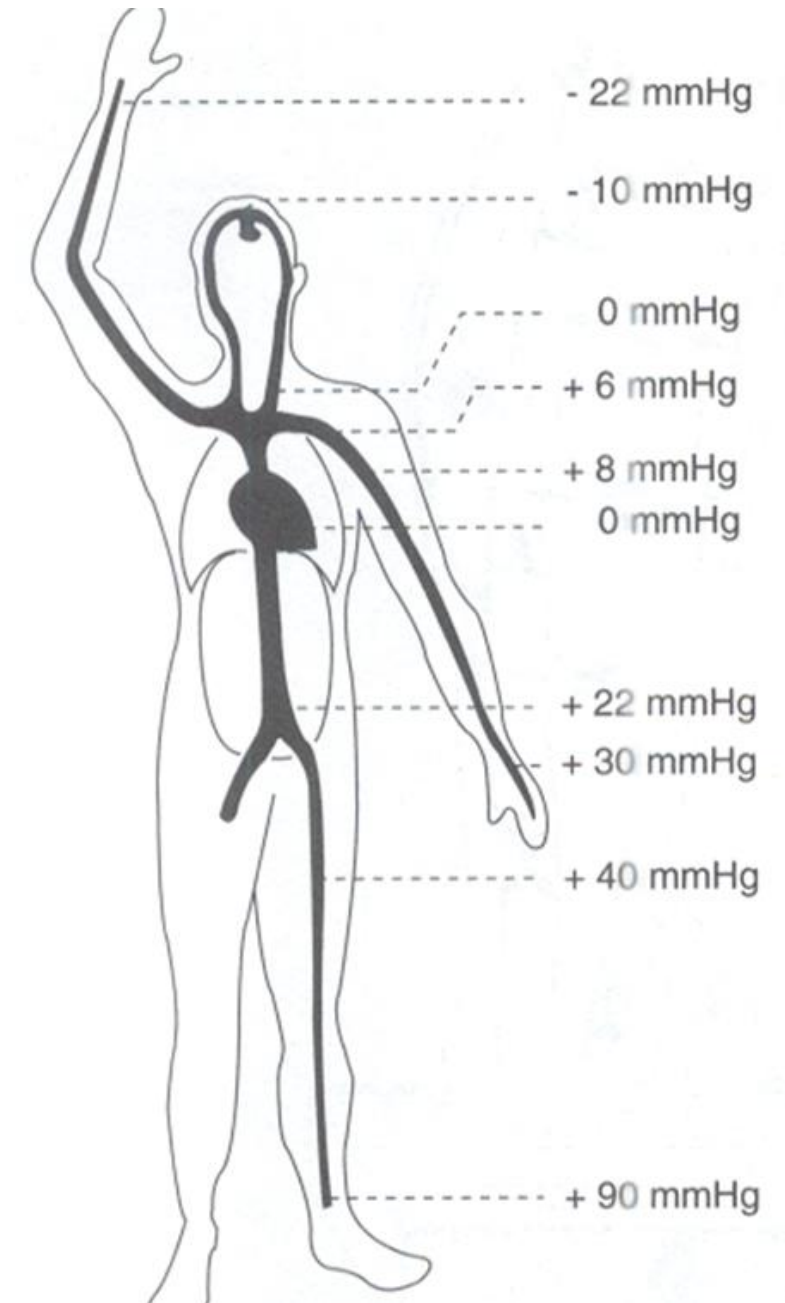
OD  
(basse pression)



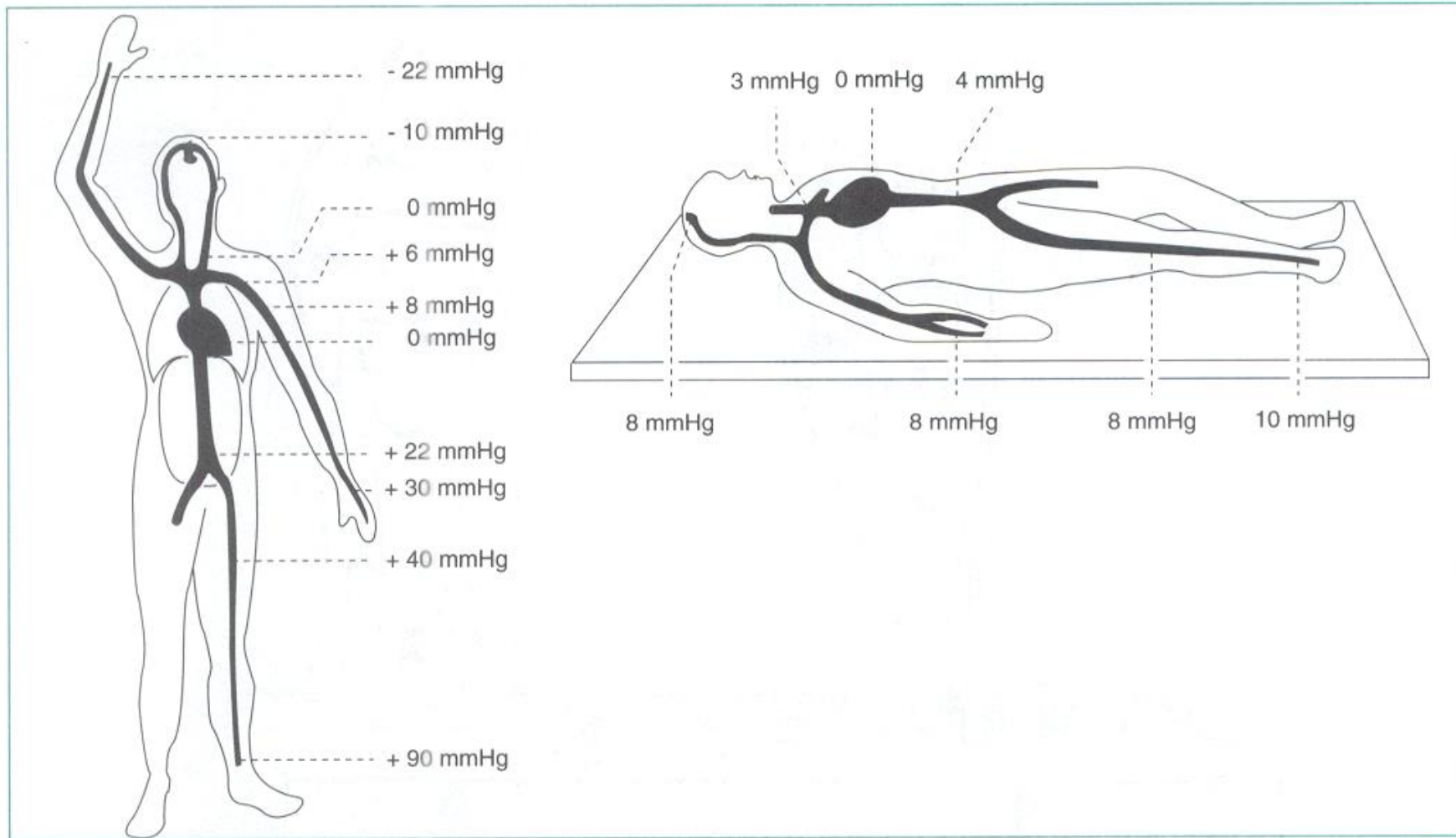
# Sujet debout

## Orthostatisme :

- → fort gradient de pression hydrostatique
- Pression :
  - ↘ dans les territoires supra-cardiaques
  - ↗ dans les territoires infra-cardiaques





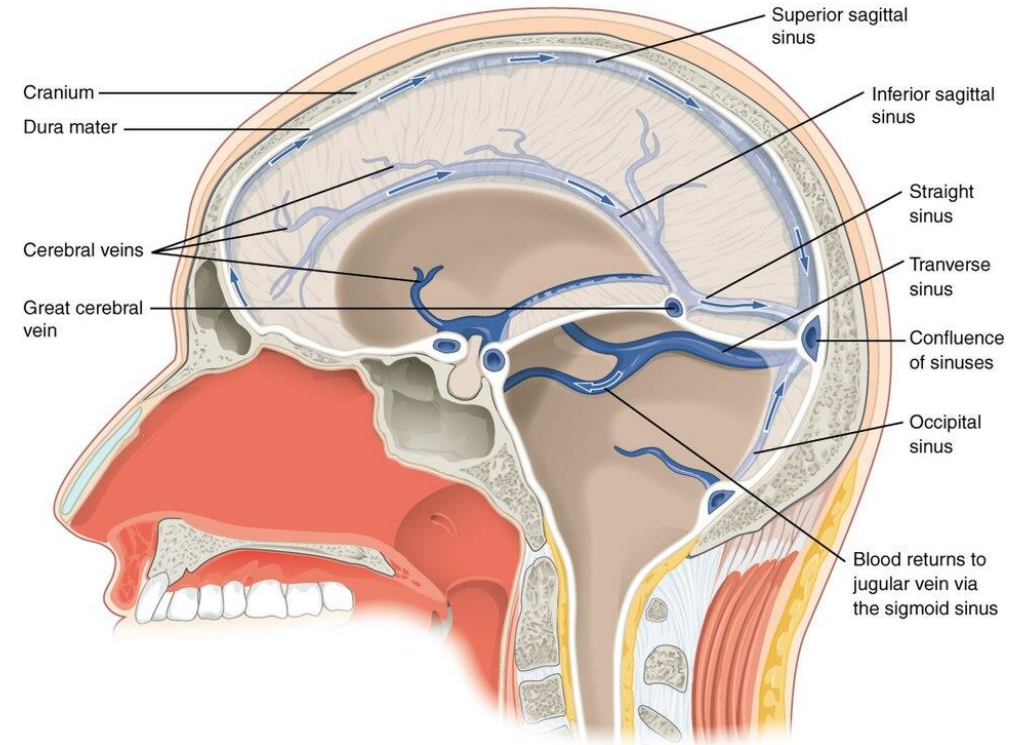


*Pressions dans l'oreillette droite et dans les veines systémiques, mesurées en position debout et en position couchée.*



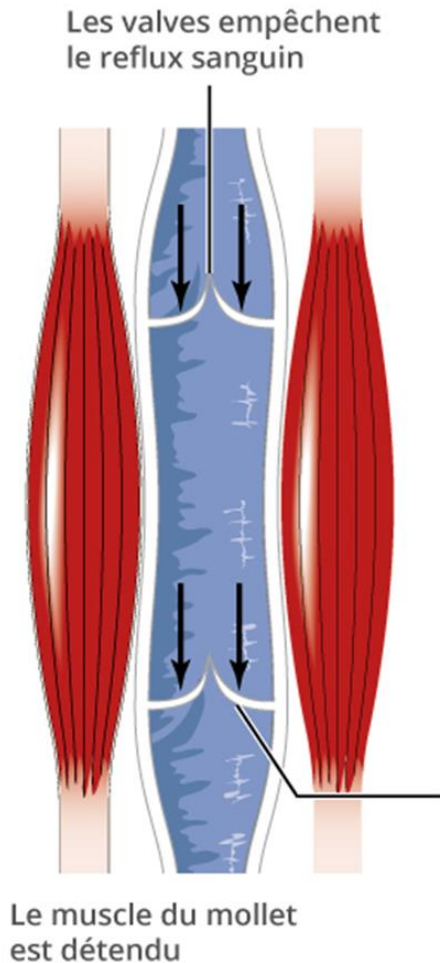
# Sujet debout

- Dans les veines intra-craniennes :
  - $P \simeq 20\text{mmHg} < P \text{ barométrique}$
  - Dure-mère : structure rigide
  - $P \text{ du LCR} \simeq$  aussi
- $P \text{ transmurale}$  : ne varie pas qlq soit la position



# Sujet debout

- Au niveau des pieds :
  - $P \nearrow$  de 100mmHg
  - P tissulaire : varie peu
  - $\rightarrow$  P transmurale  $\nearrow$  : 120mmHg : (x) 4 à 5 fois
  - Tension pariétale  $\nearrow$
  - $\rightarrow$  distension des veines
  - $\rightarrow$   $\nearrow$  du volume sanguin
- Si sujet immobile :
  - la présence de valvules ne permet pas de couper la colonne sanguine et donc de s'opposer à l'augmentation de pression



# Vignette clinique

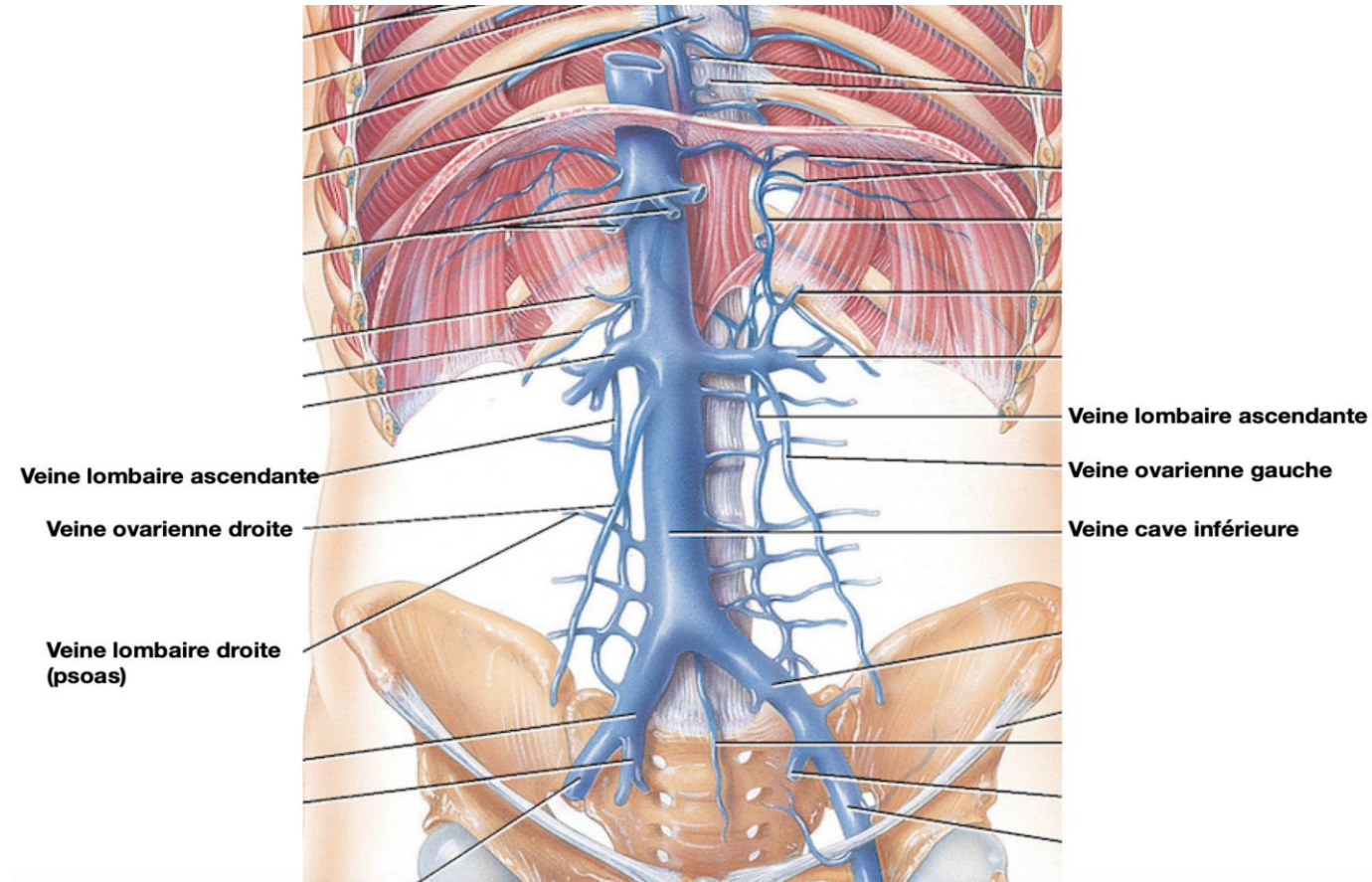
## La position debout prolongée

- provoque des **œdèmes** (gonflements) dans les jambes
  - le sang stagne,
  - le liquide s'accumule, surtout par gravité,
- ceci est accentué par l'insuffisance veineuse
- pour soulager, il faut :
  - **surélever les jambes** (au-dessus du cœur),
  - **marcher**,
  - **utiliser des bas de contention**



# Sujet debout

- Au niveau abdominal :
  - P cavité abdominale ↗
  - P intra-veineuse ↗
  - → P transmurale : peu modifiée



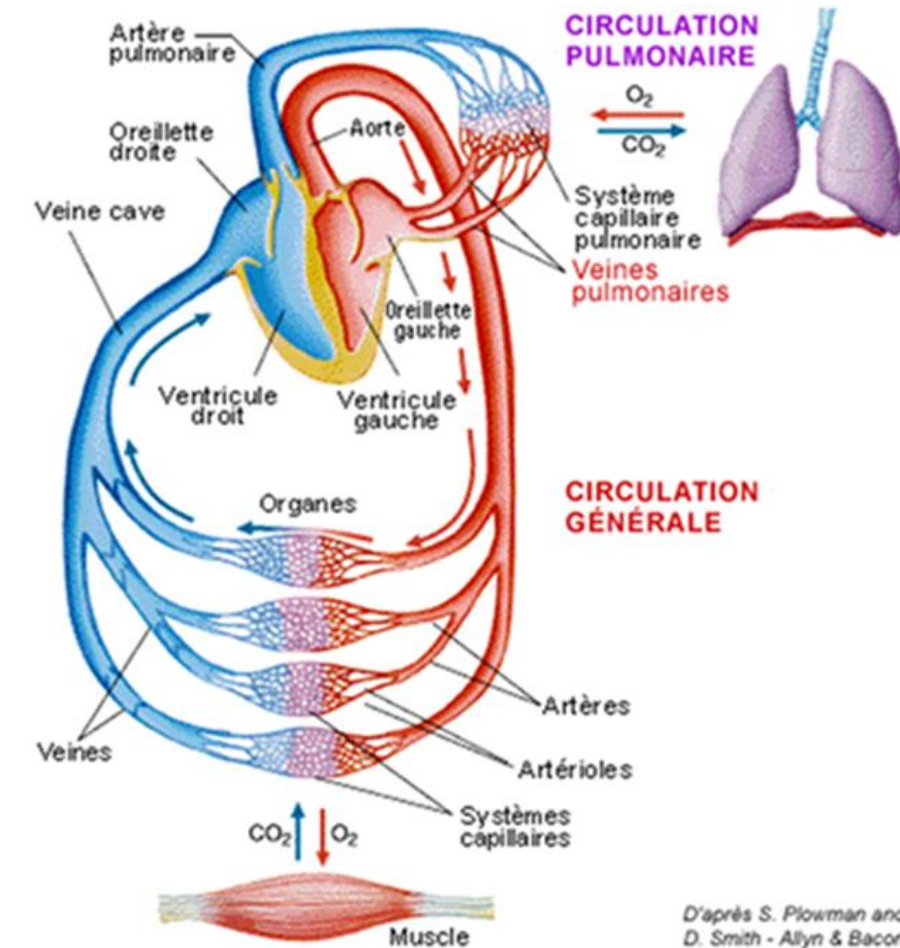
# LE MÉCANISME DE LA CIRCULATION VEINEUSE

- La contraction du VG, cause unique de la circulation veineuse
- Facteurs agissant sur la circulation veineuse
- Le rôle de vase d'expansion: l'aspect capacitif



# La contraction du VG, cause unique de la circulation veineuse

- Contraction VG → création de différence de pression entre l'entrée (veinules) et la sortie (OD) de la circulation de retour
- Arrêt contraction VG → arrêt de la circulation
- ↗ P OD → ↘ gradient de pression → gêner la circ V
- ↘ P OD → ↗ gradient de pression → favoriser circ V



D'après S. Plowman and  
D. Smith - Allyn & Bacon

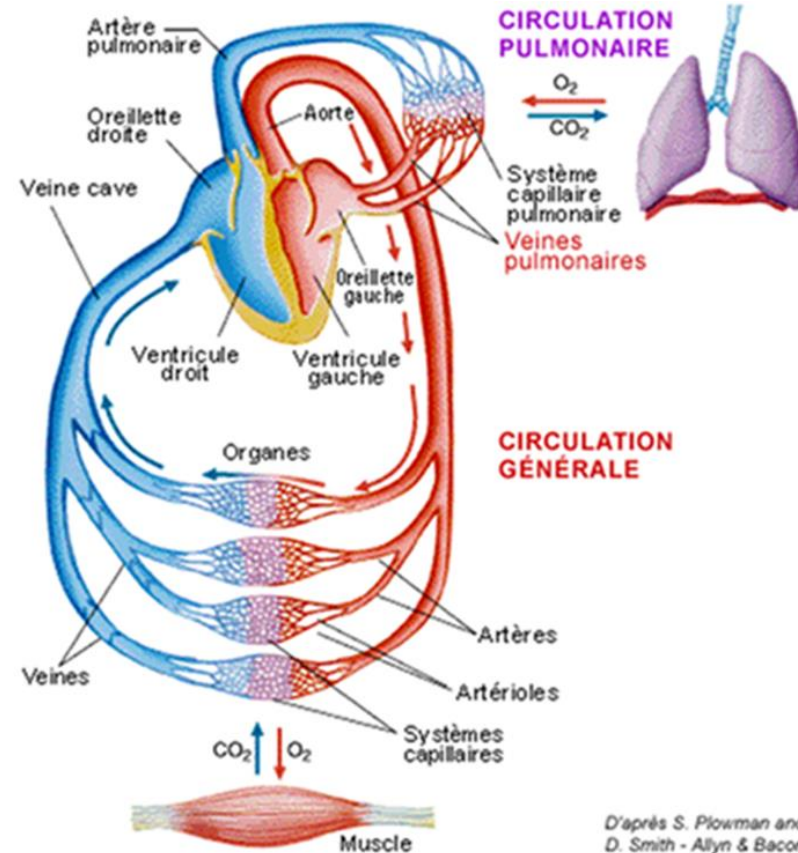


# Facteurs agissant sur la circulation veineuse

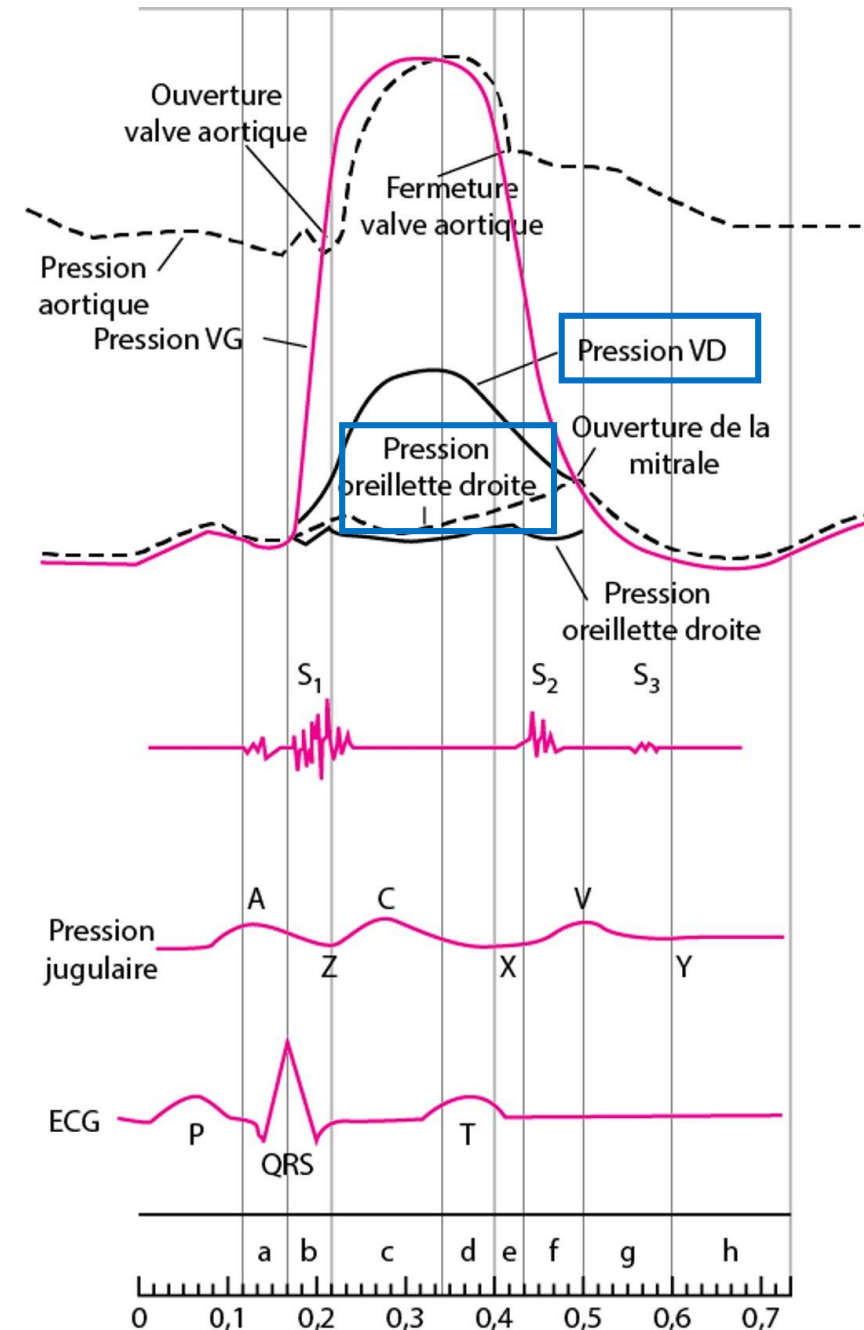
- Facteur ventriculaire droit
- Facteur ventilatoire
- La position du corps
- La contraction musculaire et l'intervention .des valvules

# Facteur ventriculaire droit

- En diastole :
  - Sang : OD → VD →  
↘ P OD
- En systole :
  - Éjection systolique dans l'A pulmonaire
  - → ↘ P OD



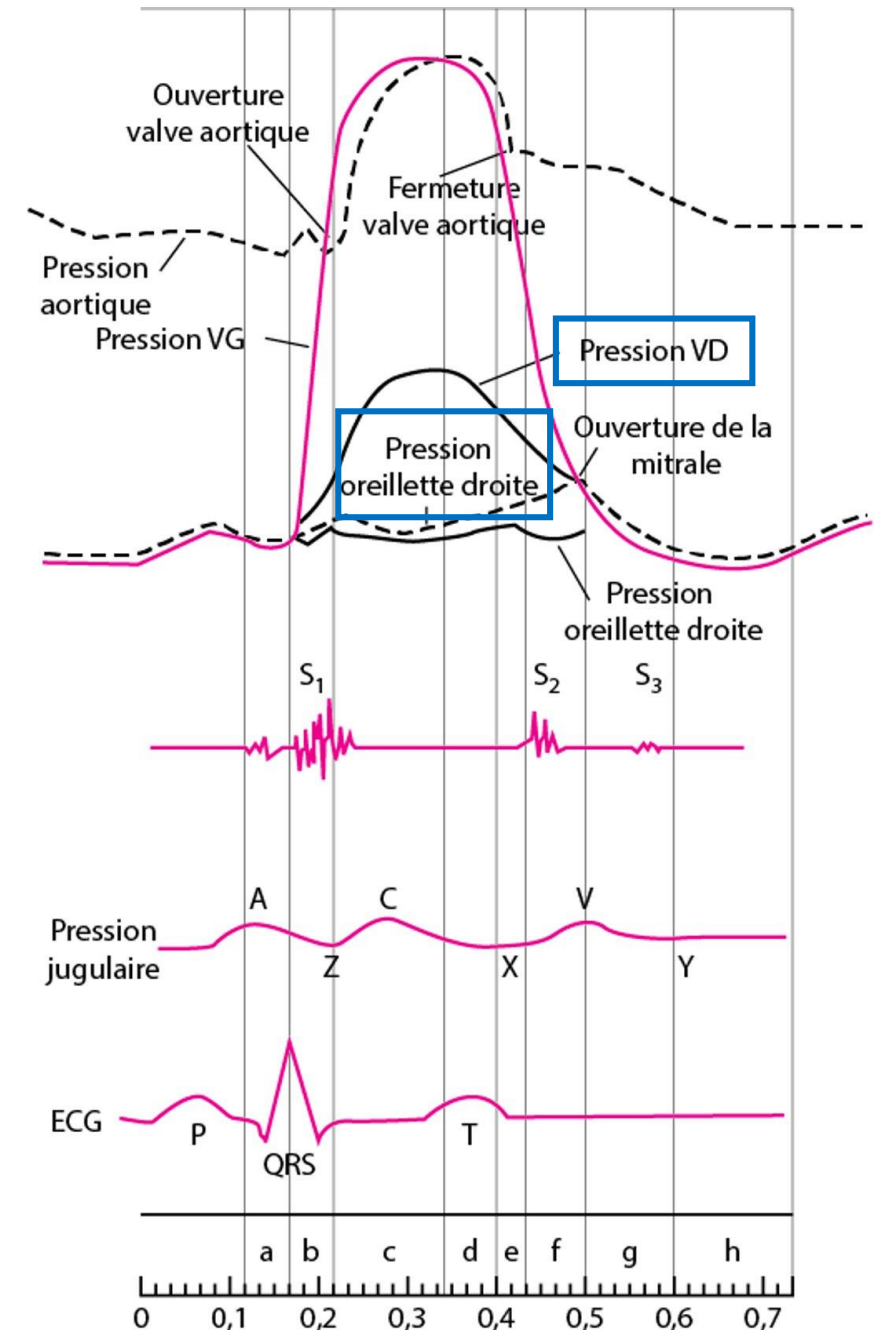
D'après S. Plowman and  
D. Smith - Allyn & Bacon



# Facteur ventriculaire droit

OD	a	6
	v	5
	moyenne	3
VD	pic	25
	télédiastole	4
AP	pic	25
	diastole	9
	moyenne	15
Capillaire moyen		8
OG	a	10
	v	12
	moyenne	8
VG	pic	130
	télédiastole	8
Ao	pic	130
	diastole	70
	moyenne	85

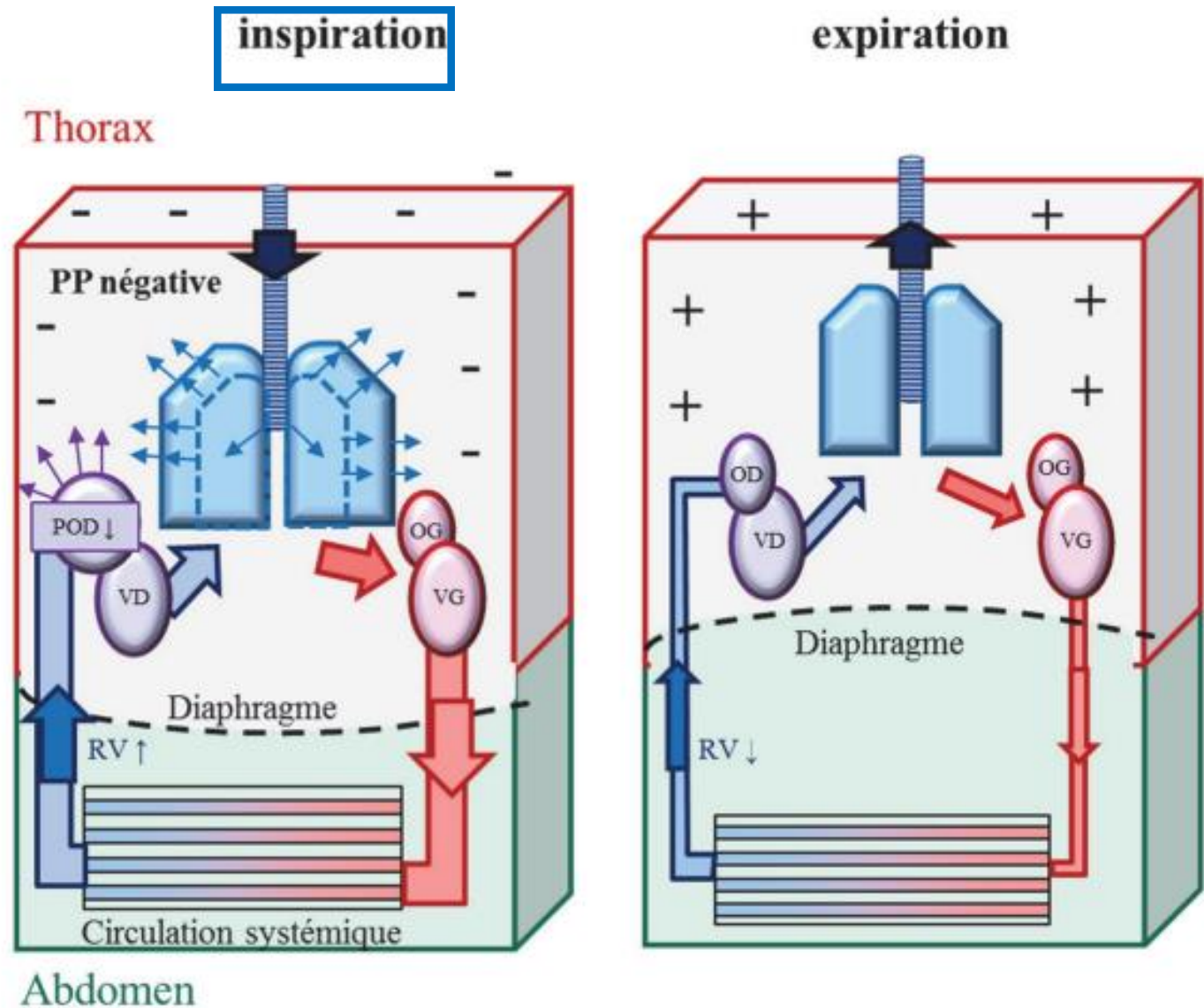
**Valeurs normales  
des pressions  
en mm de Hg**



# Facteur ventilatoire

- Inspiration

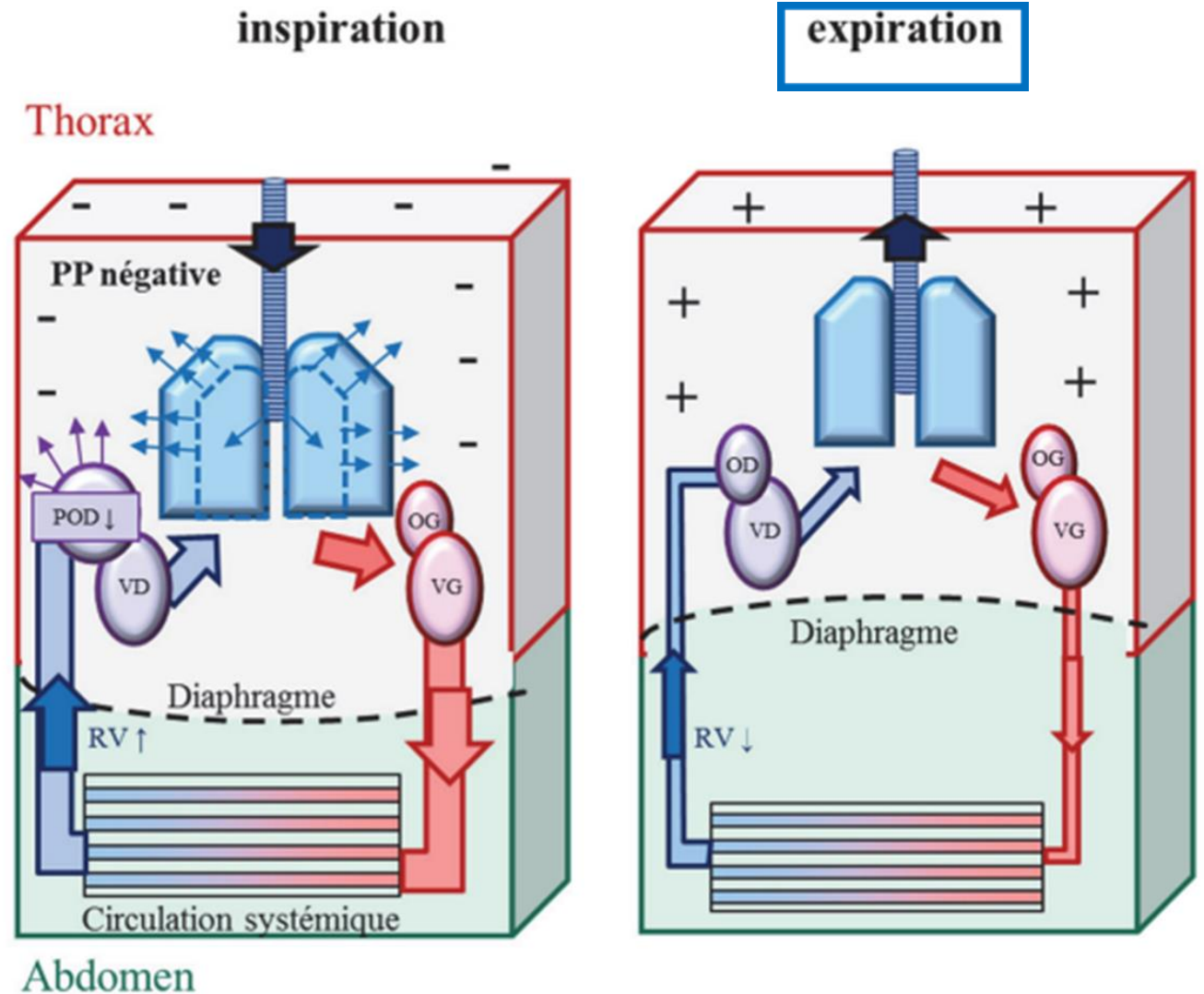
- Contraction des muscles inspiratoires
  - → ↓ pression intra-thoracique
  - → ↓ P OD
  - → ↗ retour veineux
- 
- Inspiration forcée +++



# Facteur ventilatoire

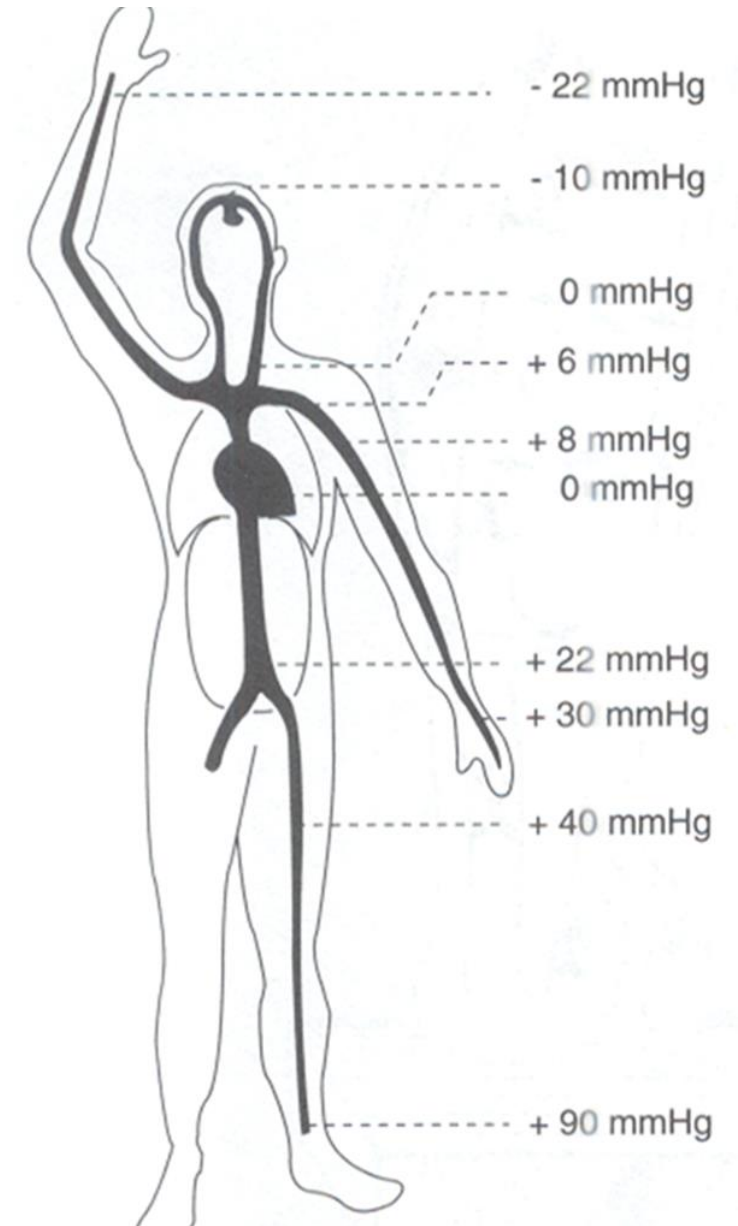
- Expiration

- Relaxation des muscles inspiratoires
  - → ↗ pression intra-thoracique
  - → ↗ P OD
  - → ↘ retour veineux
- 
- Expiration forcée +++



# La position du corps

- Position verticale :
  - Gêne la circulation de retour des membres inférieurs
  - Facilite la circulation de retour des régions supra-cardiaques

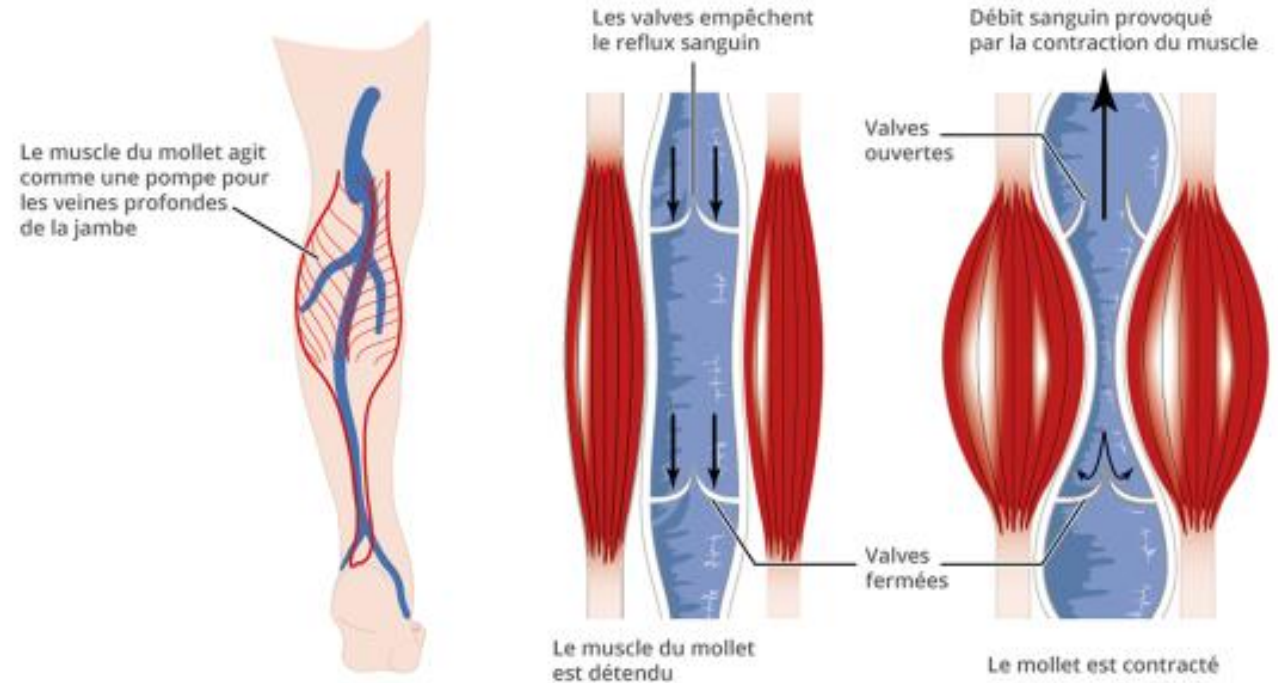




# La contraction musculaire et l'intervention des valvules

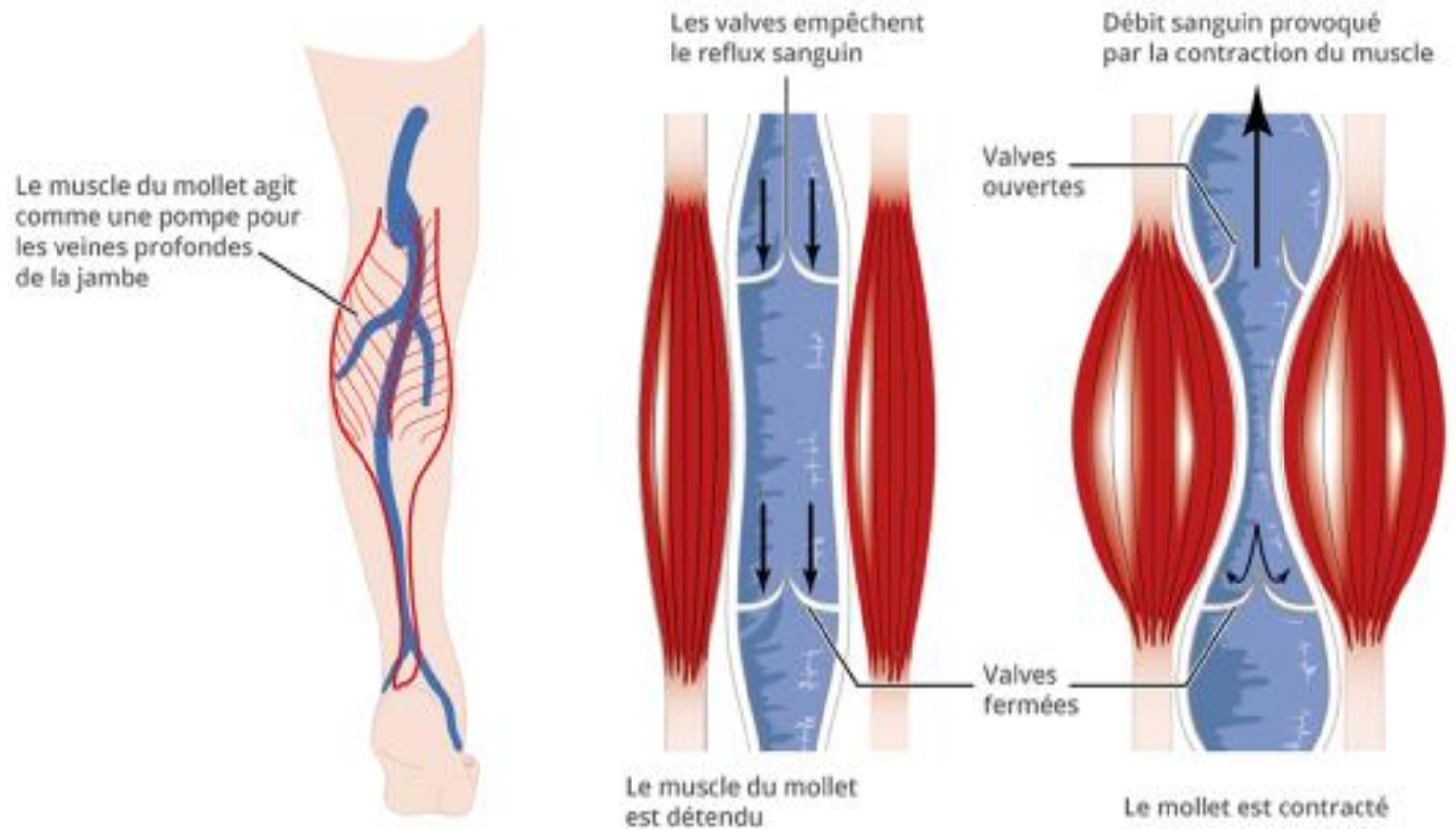
Au niveau des membres inférieurs :

- Type de contraction :
  - Statique
  - Discontinue : dynamique : marche
- Position du corps
- Valvules veineuses



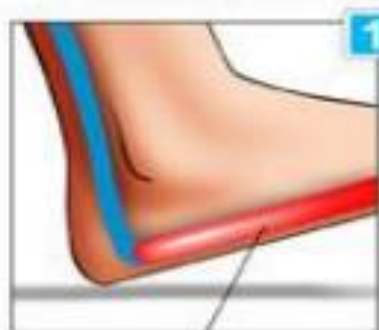
# La contraction musculaire et l'intervention des valvules

- Lors d'un effort statique :
  - Contraction des muscles → comprimer les veines → ↘ la circulation veineuse de retour voir même l'arrêter
- Lors d'un effort dynamique : marche :
  - Relaxation musculaire → remplissage des segments veineux
  - Contraction musculaire → propulser le sang vers les segments veineux d'aval

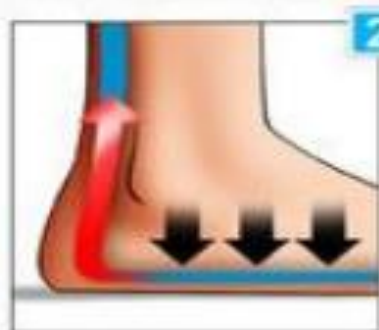


## LE RÔLE DE LA MARCHÉ

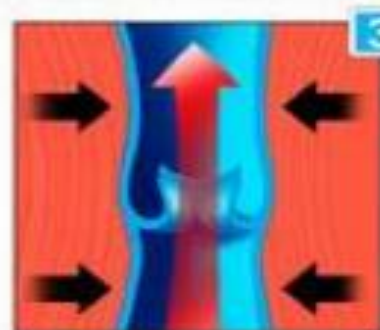
Écrasement des collecteurs veineux du mollet à chaque pas, les valvules obligeant à une progression vers le haut (cœur)



Sang contenu dans la semelle veineuse



Écrasement de la semelle veineuse



Contraction musculaire



Valvule empêchant le reflux du sang



Lourdeurs

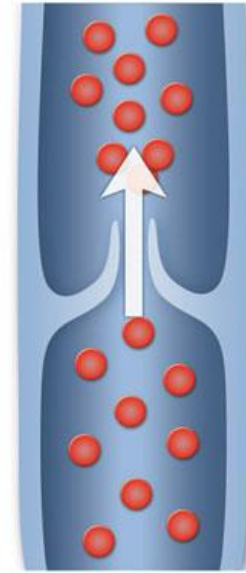


Soulagement

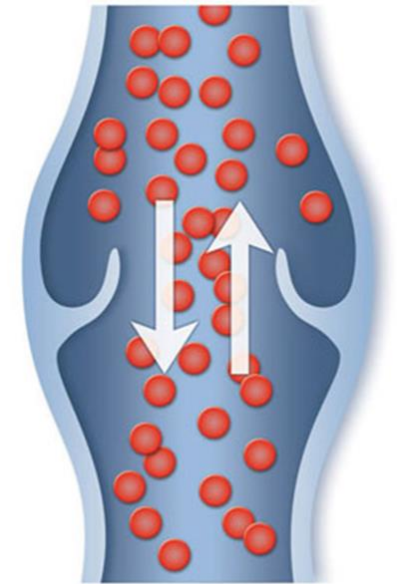
# La contraction musculaire et l'intervention des valvules

Perte d'étanchéité des valves :

- Exp : Varices
- ↗ le volume sanguin dans les MI
- ↘ l'effet facilitateur de la contraction musculaire sur le retour veineux



Valves normales

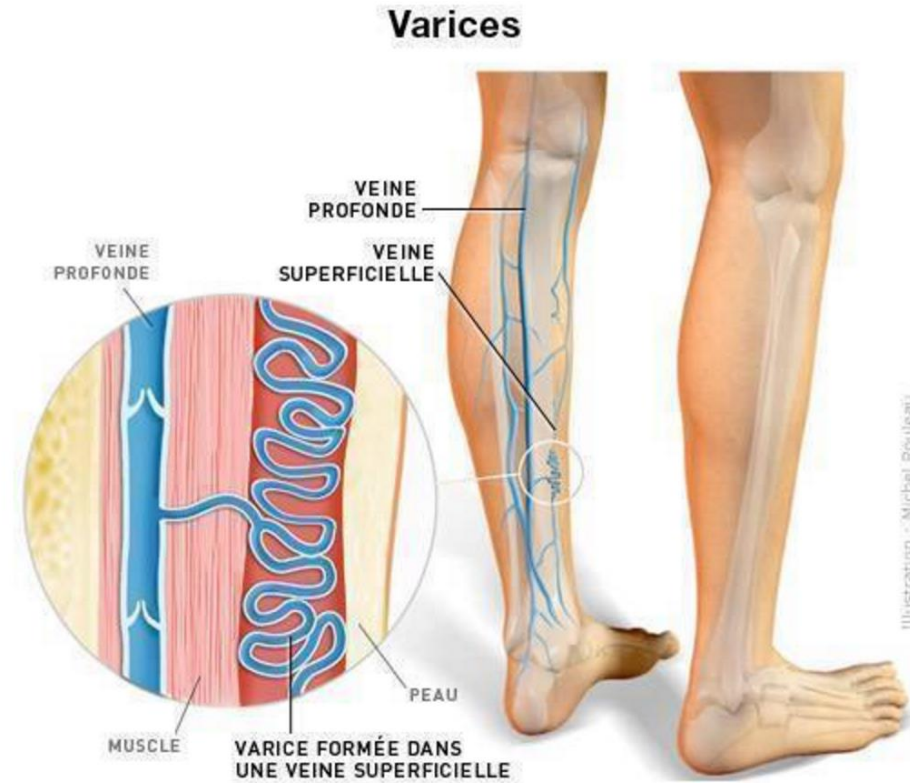


Valves défailiantes et incontinentes

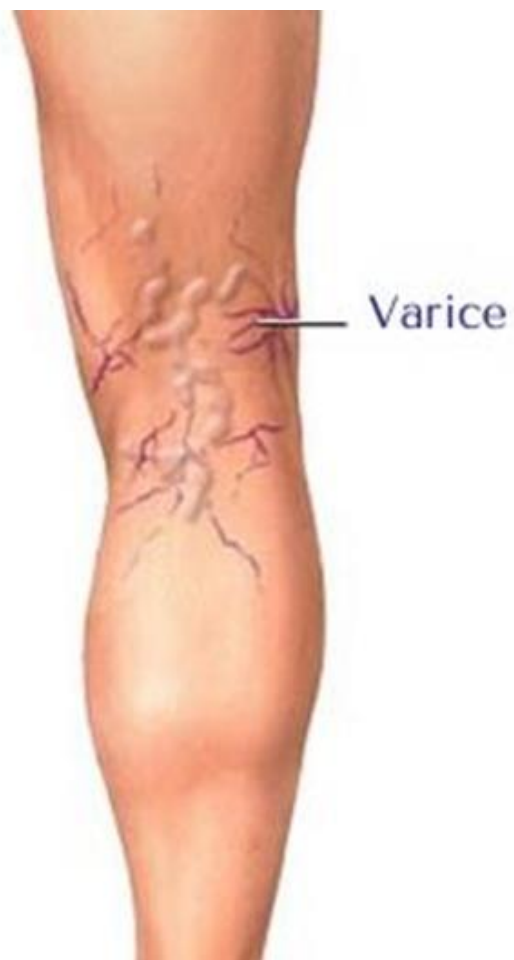
# Vignette clinique : Varices des MI

- Varice (OMS) :

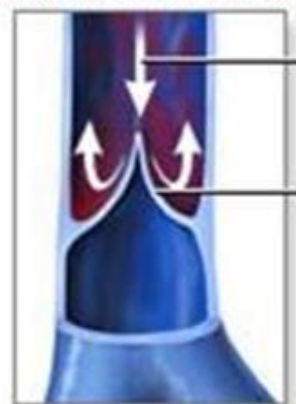
veine superficielle dilatée et tortueuse dans laquelle le sang circule à contre courant,



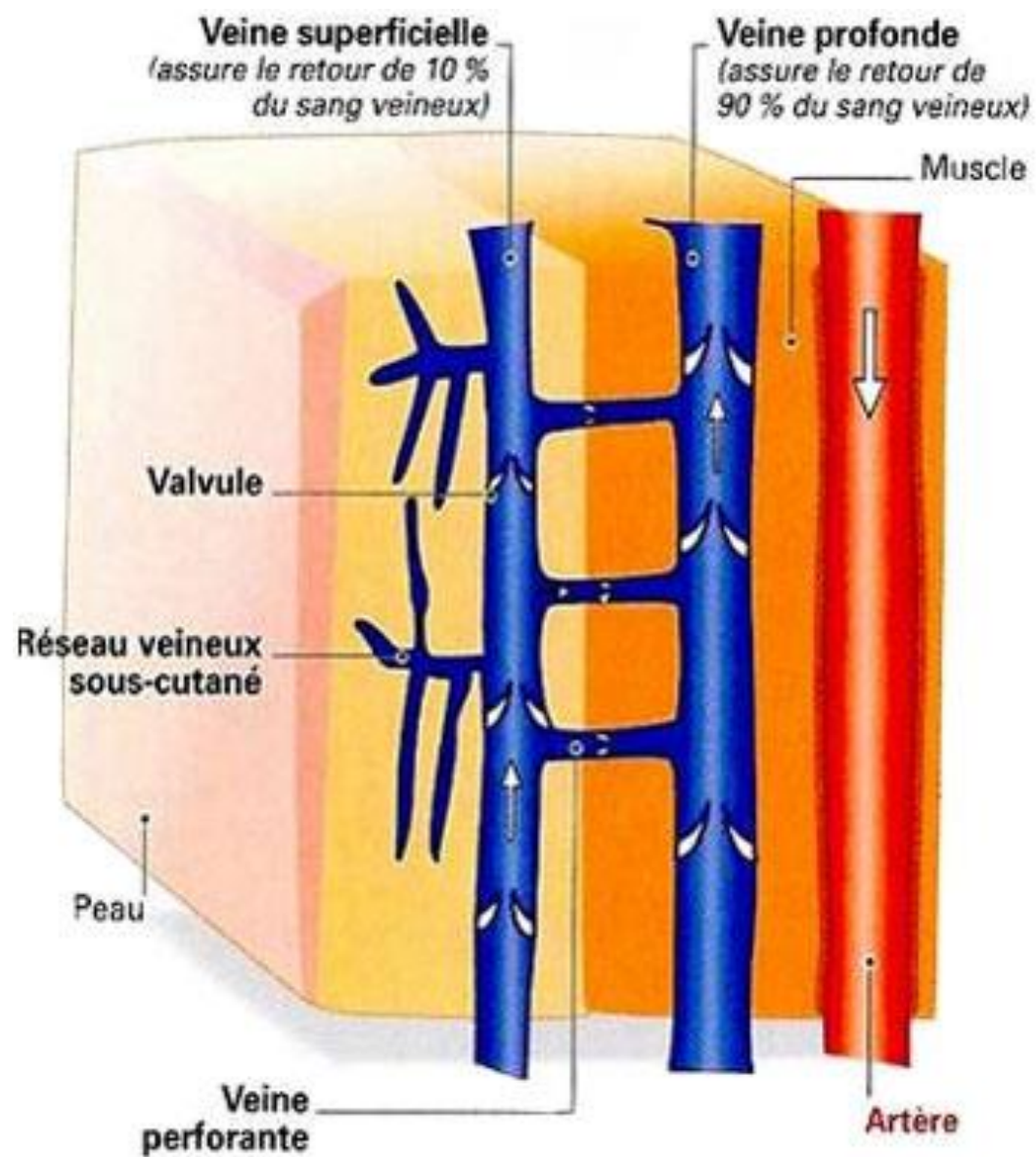
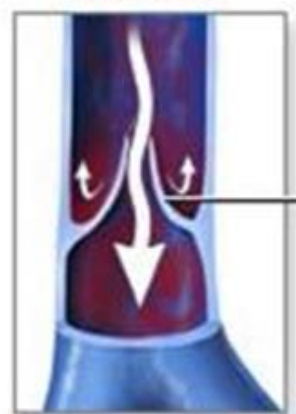




Veine normale



Varice





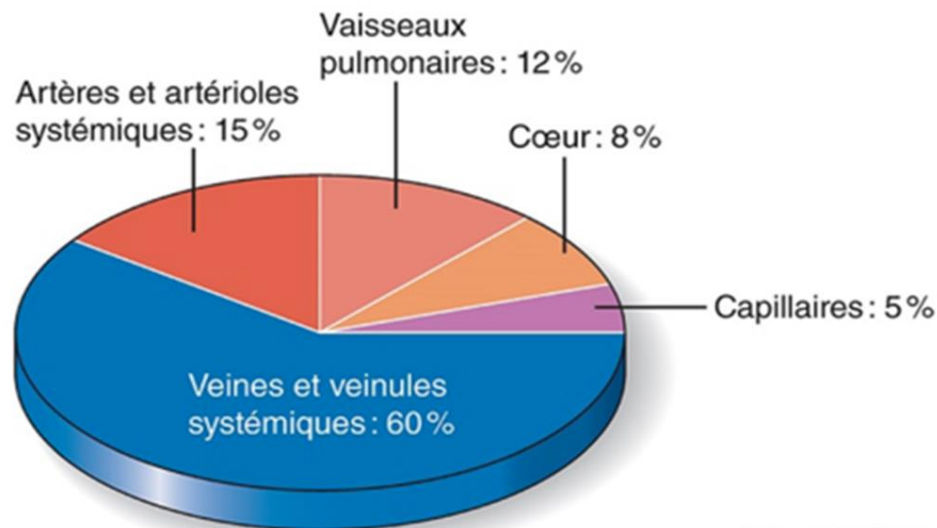
# Le rôle de vase d'expansion: l'aspect capacitif

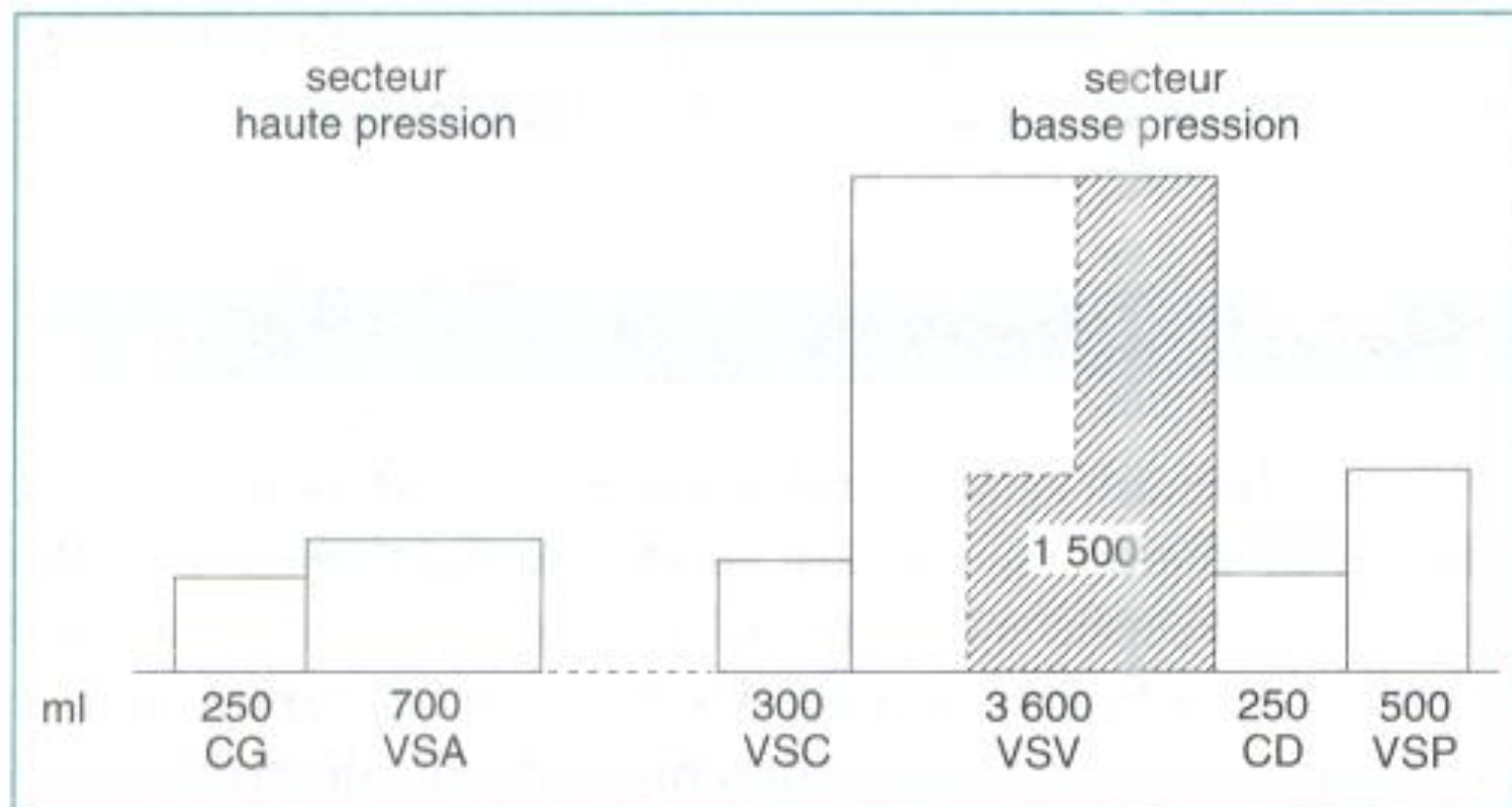
- Orthostatisme

- → accumulation du sang dans les MI
- ↘ volume sanguin dans le système à basse pression : circulation pulmonaire



Proportions relatives du volume sanguin

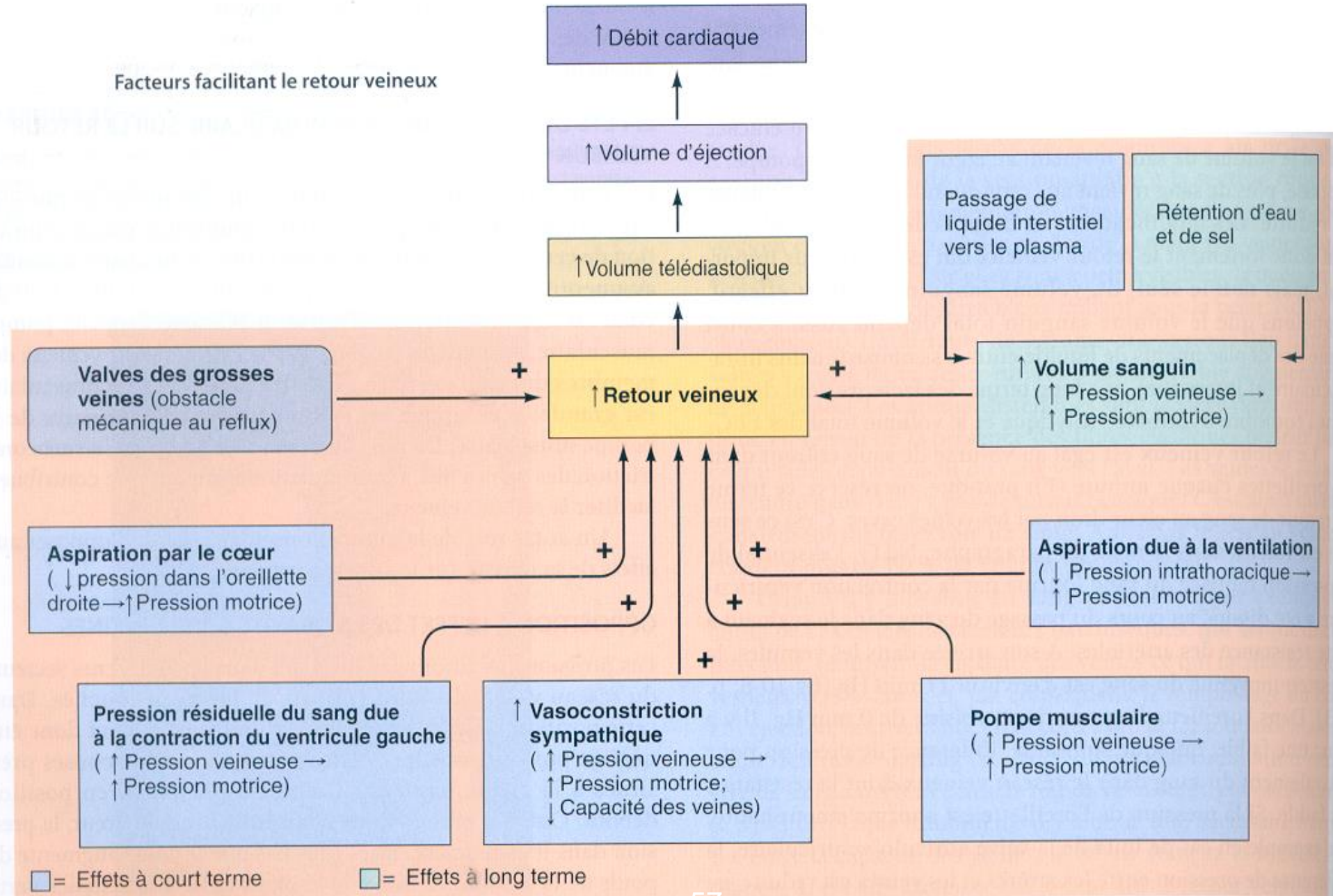




*Répartition du volume sanguin total entre les différents secteurs du système circulatoire. Le schéma fait apparaître l'importance de la capacité veineuse, en particulier dans les vaisseaux du système porte (en hachuré).*

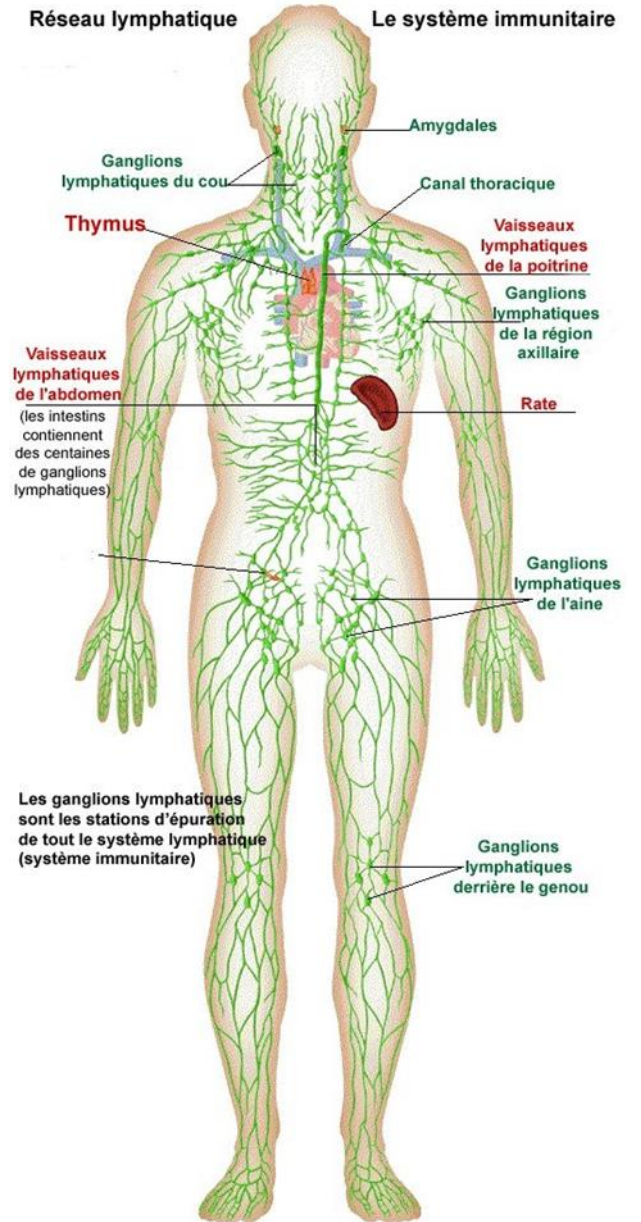
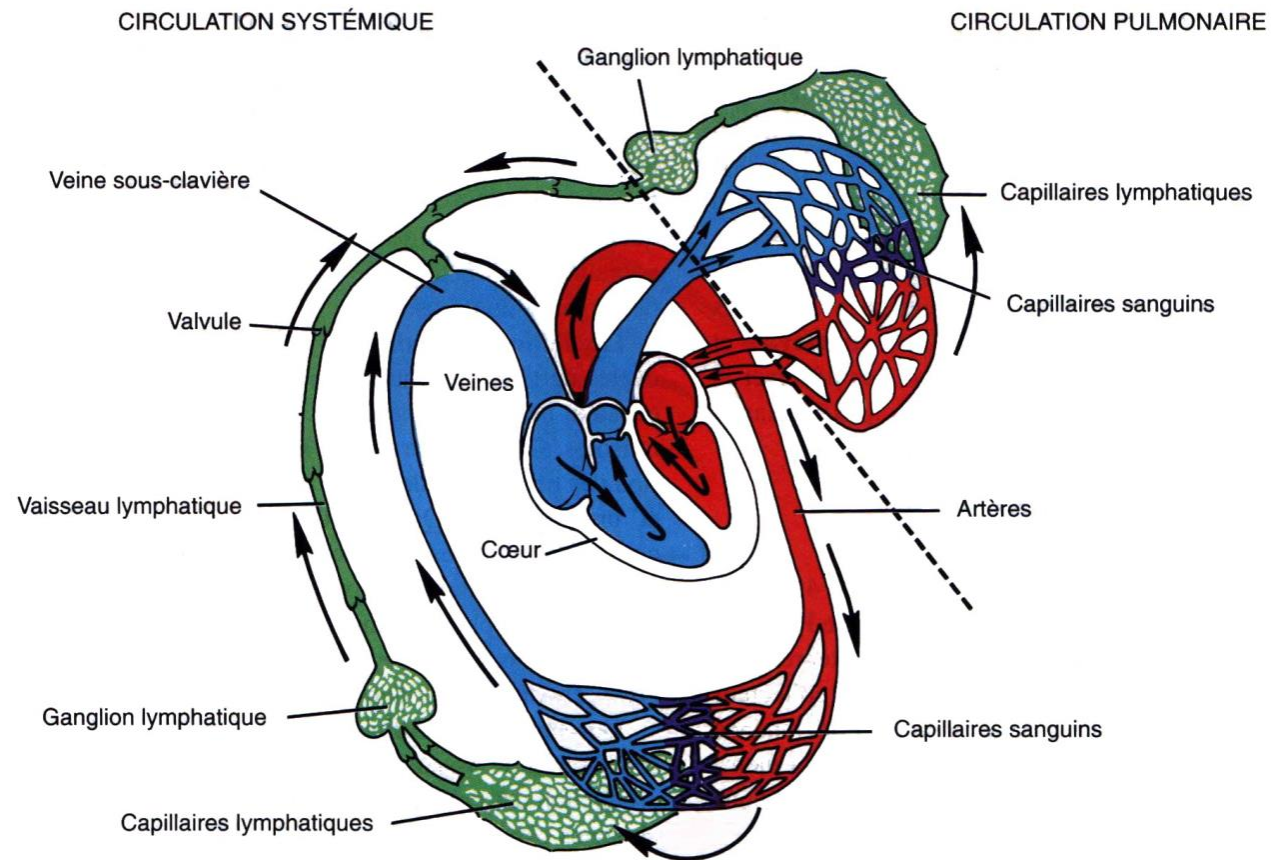
*CD, CG : cavités cardiaques droite et gauche ; VSA : volume sanguin artériel ; VSC : volume sanguin capillaire ; VSV : volume sanguin veineux (dont le système porte) ; VSP : volume sanguin pulmonaire.*

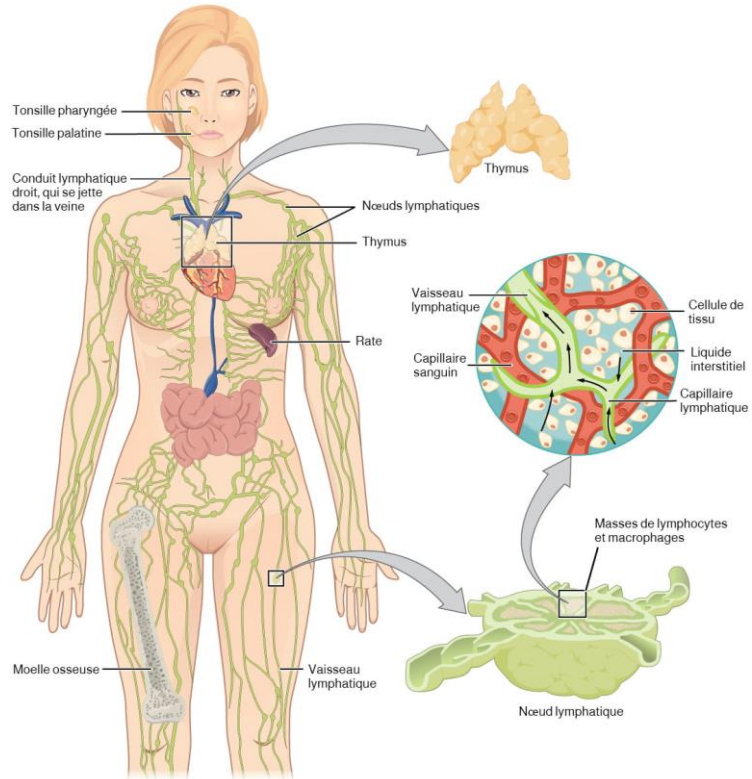
## Facteurs facilitant le retour veineux



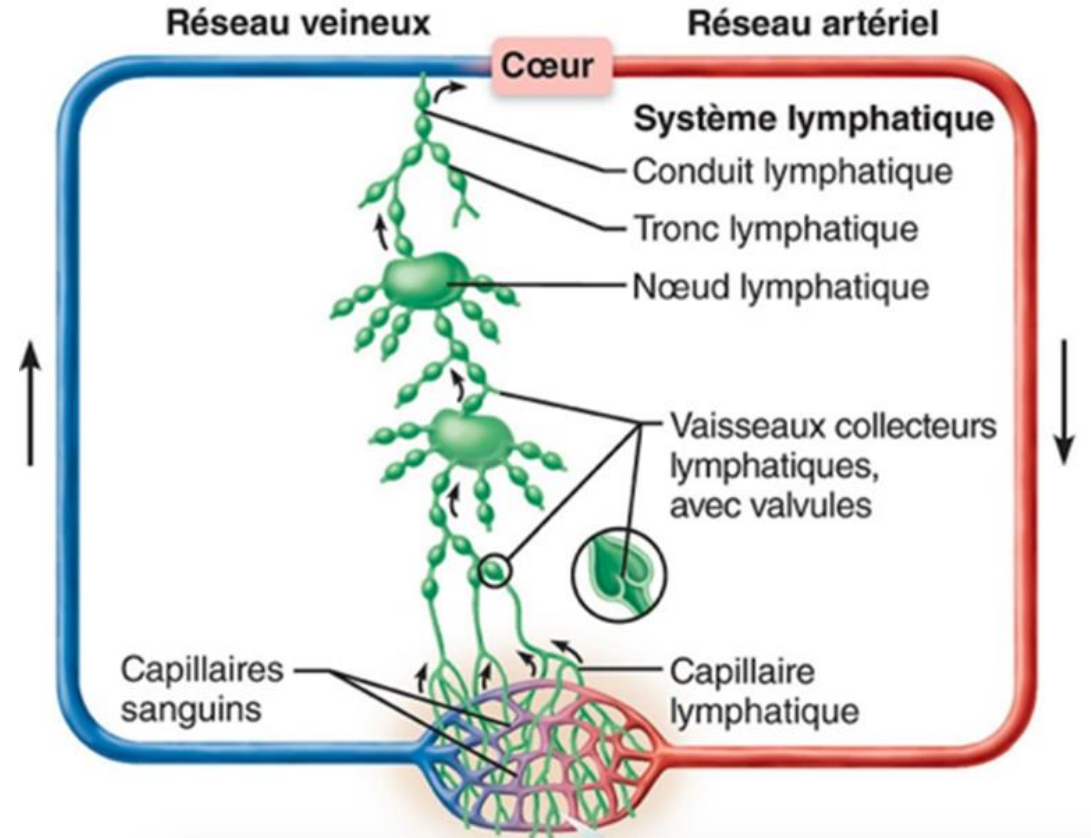
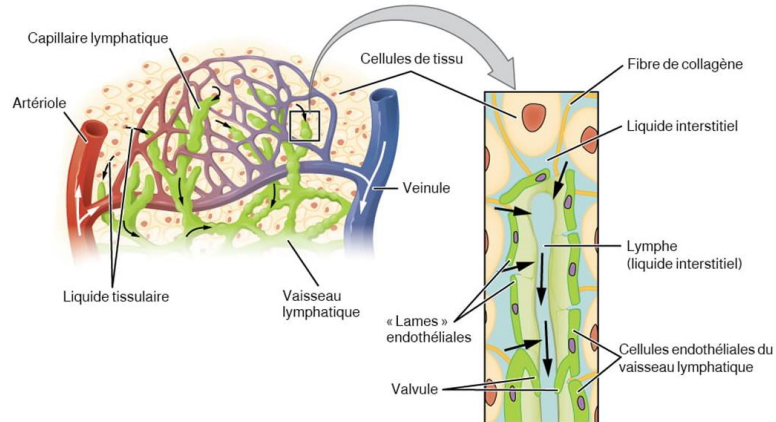


# CIRCULATION LYMPHATIQUE



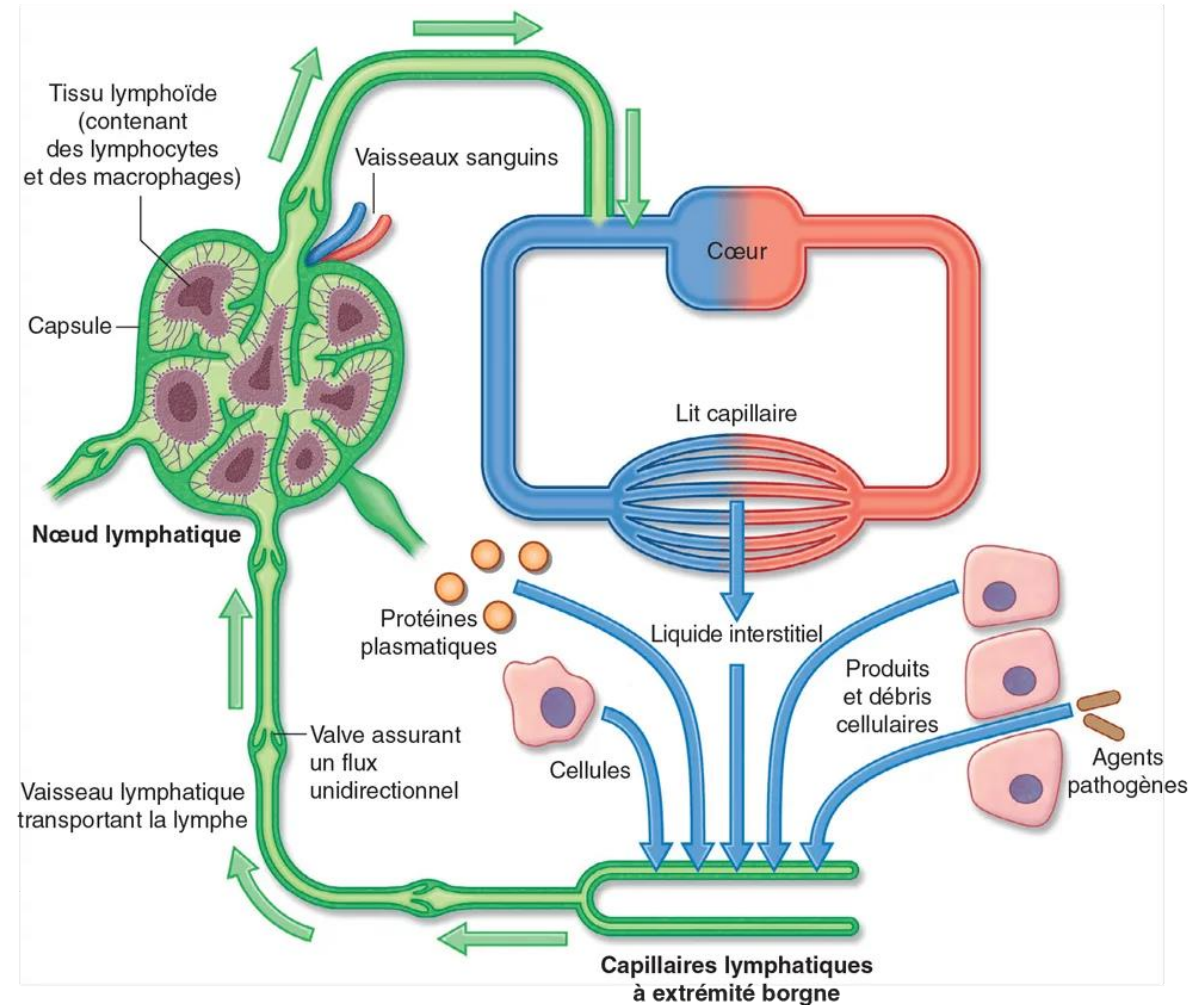


Capillaires lymphatiques dans les espaces tissulaires



# Circulation lymphatique

- Circulation de retour
- Caractéristiques :
  - Vaisseaux initiaux : dans l'interstitium
  - Drainer les macromolécules qui ont pu s'échapper hors du système capillaire normal
  - Doubler la circulation veineuse systémique et pulmonaire

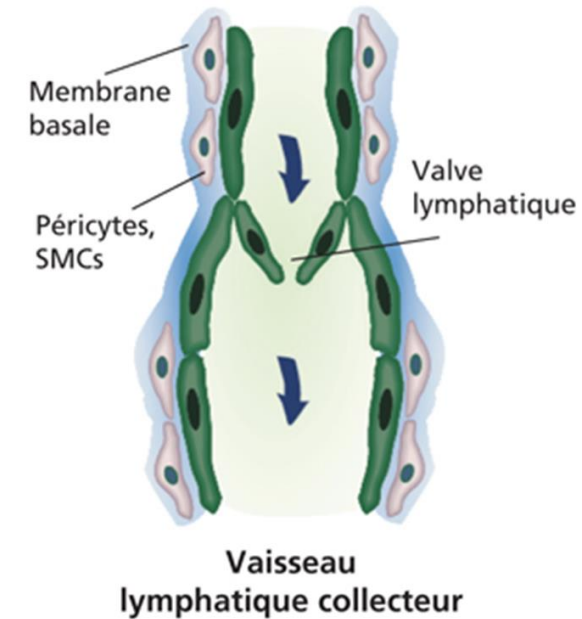
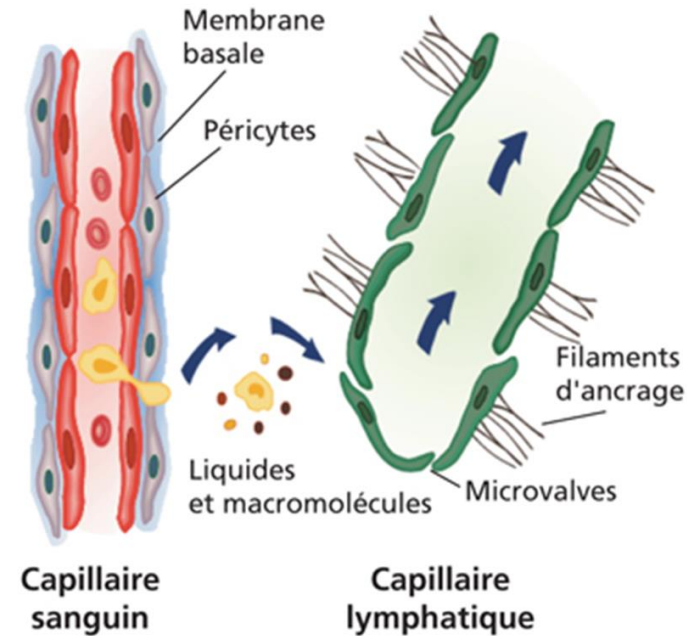




# ASPECTS MORPHOLOGIQUES

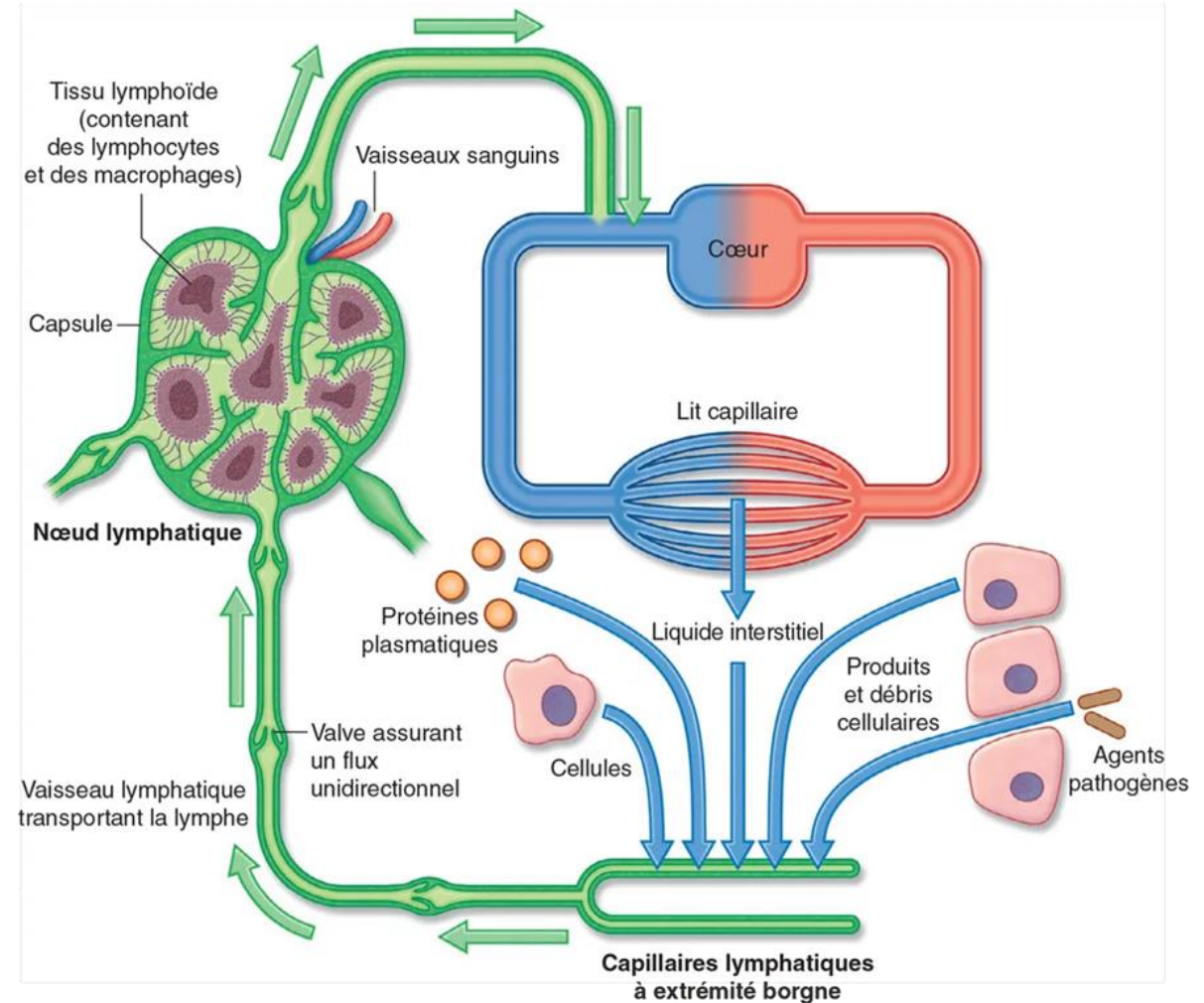
61

- Lymphatiques initiaux :
  - Cylindre de cellules endothéliales non jointives
  - Extrémité initiale : ouverte directement dans l'interstitium
- → anastomoses
- → canalicules lymphatiques
- → vaisseaux lymphatiques
  - Paroi musculaire lisse



# ASPECTS MORPHOLOGIQUES

- Collecteurs lymphatiques :
  - Valves, Fibres musculaires → lymphangion
  - Réseaux → ganglions lymphatiques
- → Collecteurs terminaux
- → Canal thoracique
  - Citerne de Pecquet
- → Circulation veineuse
  - Confluent jugulo-sous-clavier

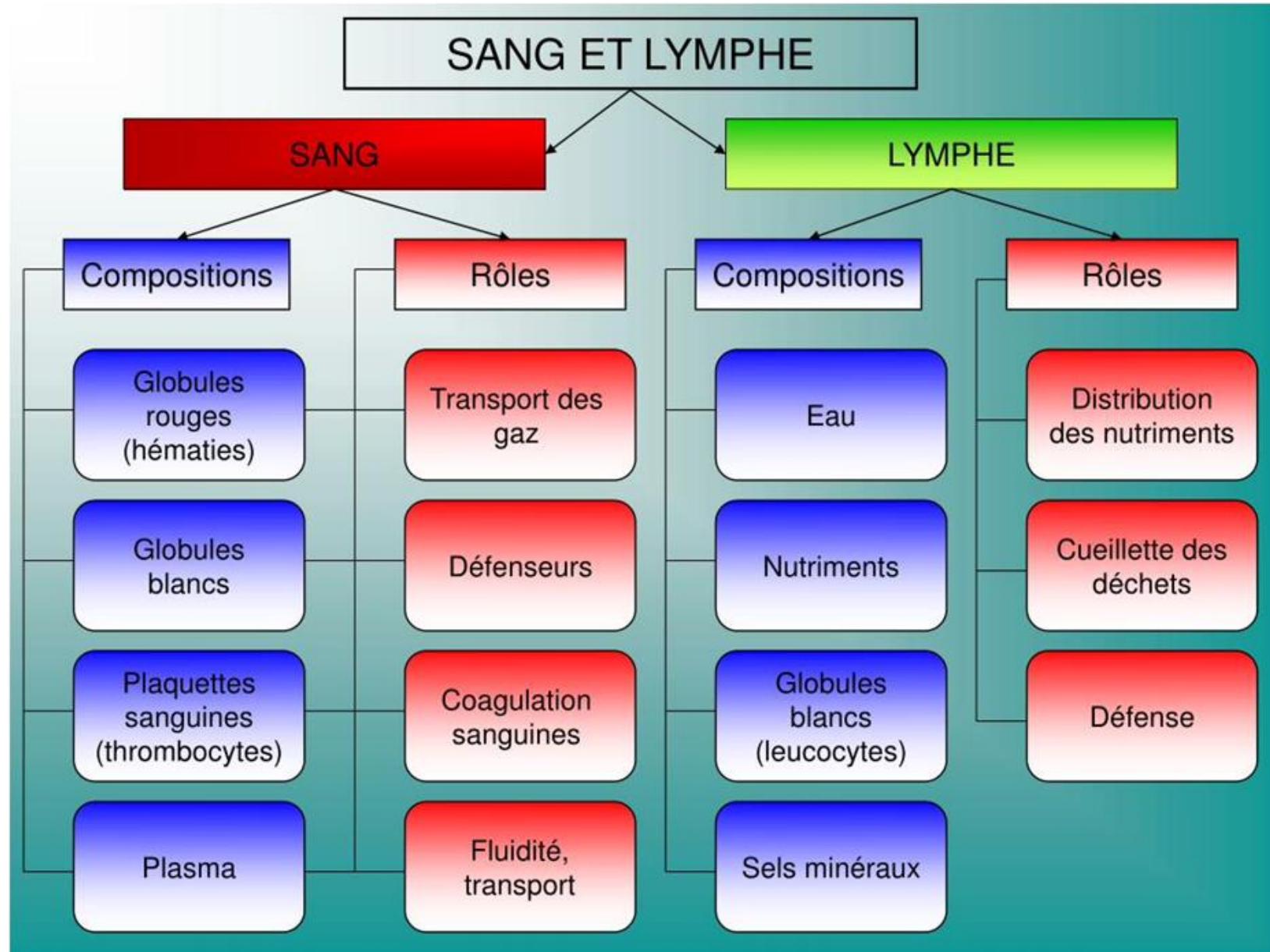


# LA LYMPHE

- Composition ionique  $\approx$  plasma
- Concentration en petites molécules  $\approx$  plasma
  - Cependant, plus pauvre en protéines

## Composition en substances organiques

Composition en g.L <sup>-1</sup>		Lymph	Plasma
Protides		3	75
Lipides		6	6
Glucides		1	1
Déchets	Urée	0,3	0,3
	Autres	0,04	0,04

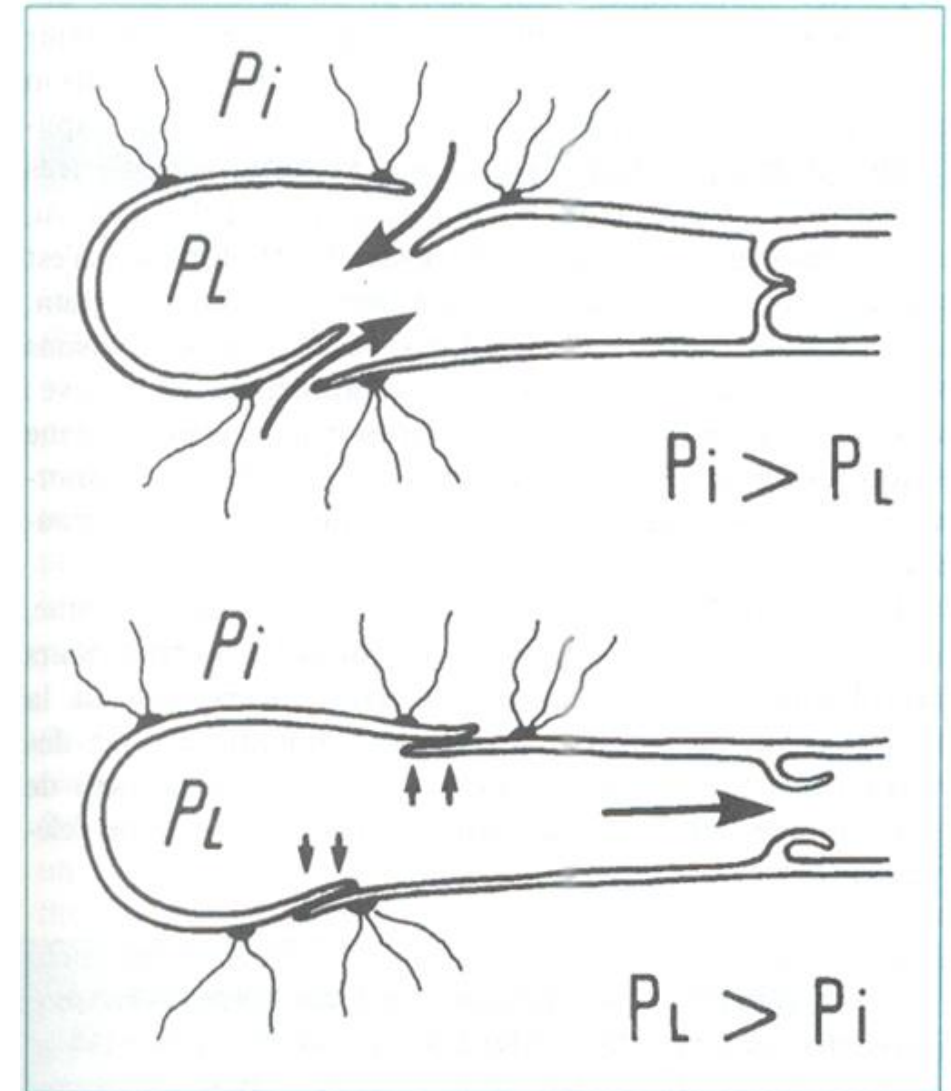
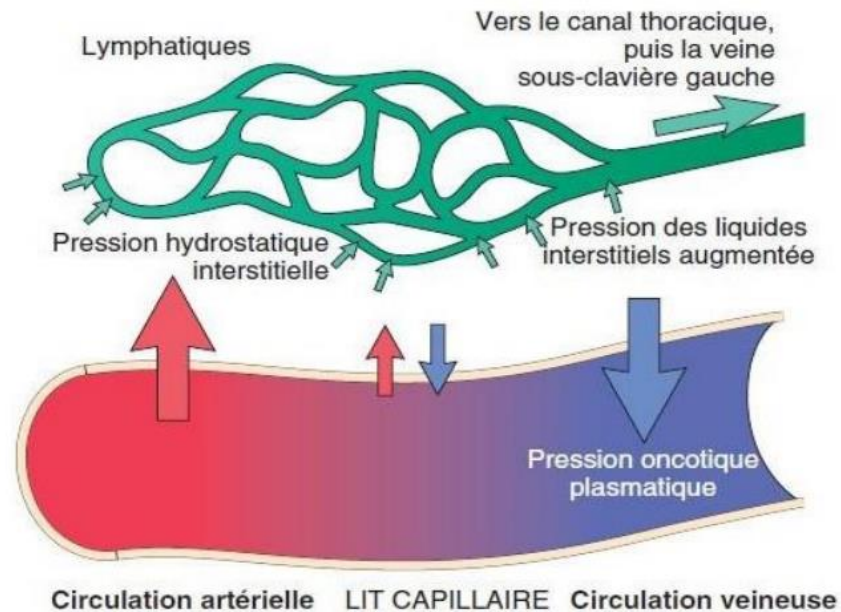


# CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES GÉNÉRALES

- Formation de la lymphe
- Ecoulement de la lymphe
- La pression
- Le débit.

# Formation de la lymphe

- A partir du liquide interstitiel
- Protéines :
  - 200g/jour : Transport actif



*Schéma de fonctionnement d'un capillaire lymphatique selon les pressions régnant de part et d'autre des cellules pariétales.  $P_i$ : pression mécanique interstitielle ;  $P_L$ : pression mécanique lymphatique.*

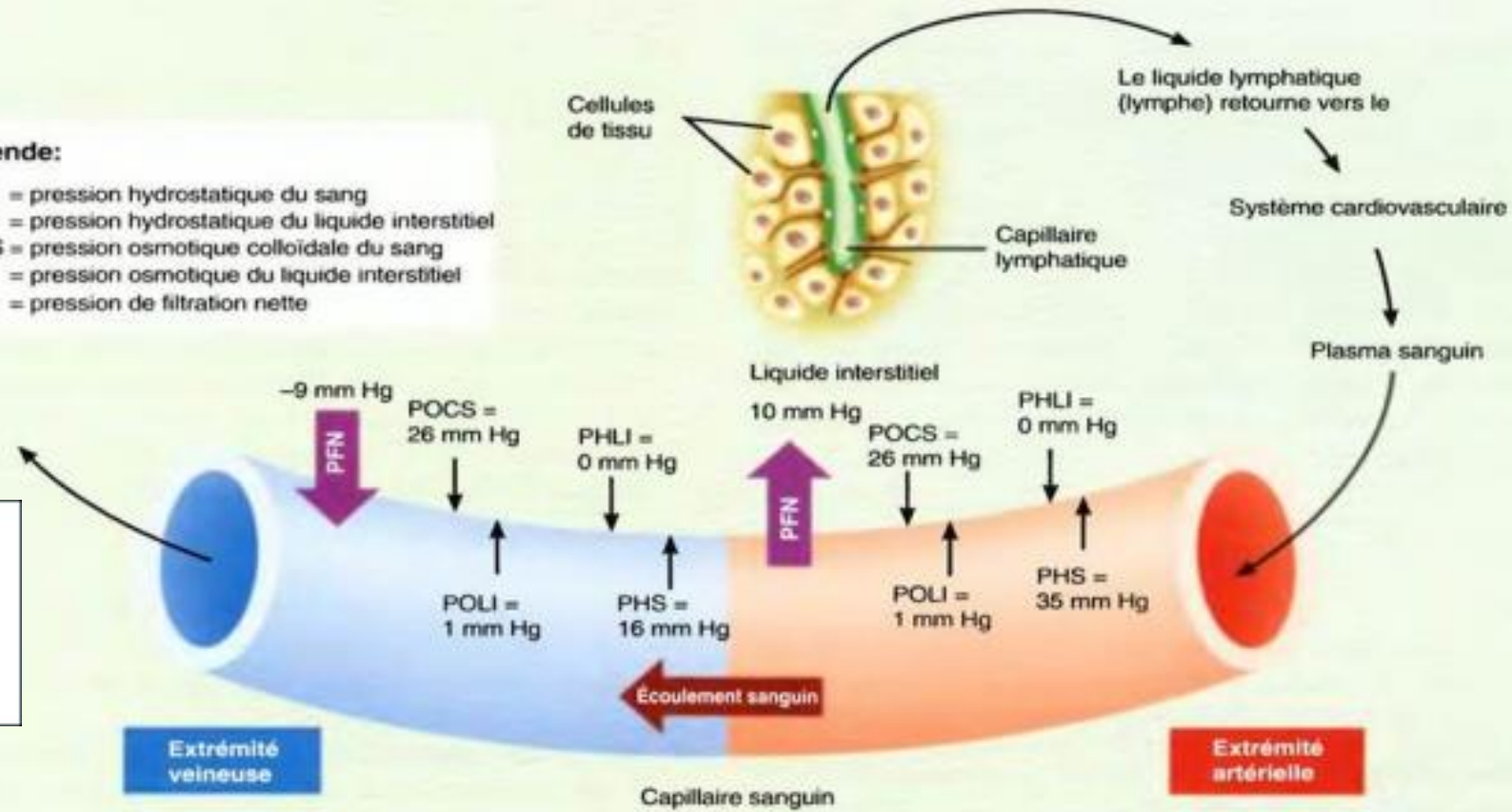


**Légende:**

PHS = pression hydrostatique du sang  
 PHLI = pression hydrostatique du liquide interstitiel  
 POCS = pression osmotique colloïdale du sang  
 POLI = pression osmotique du liquide interstitiel  
 PFN = pression de filtration nette

$$\phi F = k [(P_{cap} - P_{int}) - (\pi_{cap} - \pi_{int})]$$

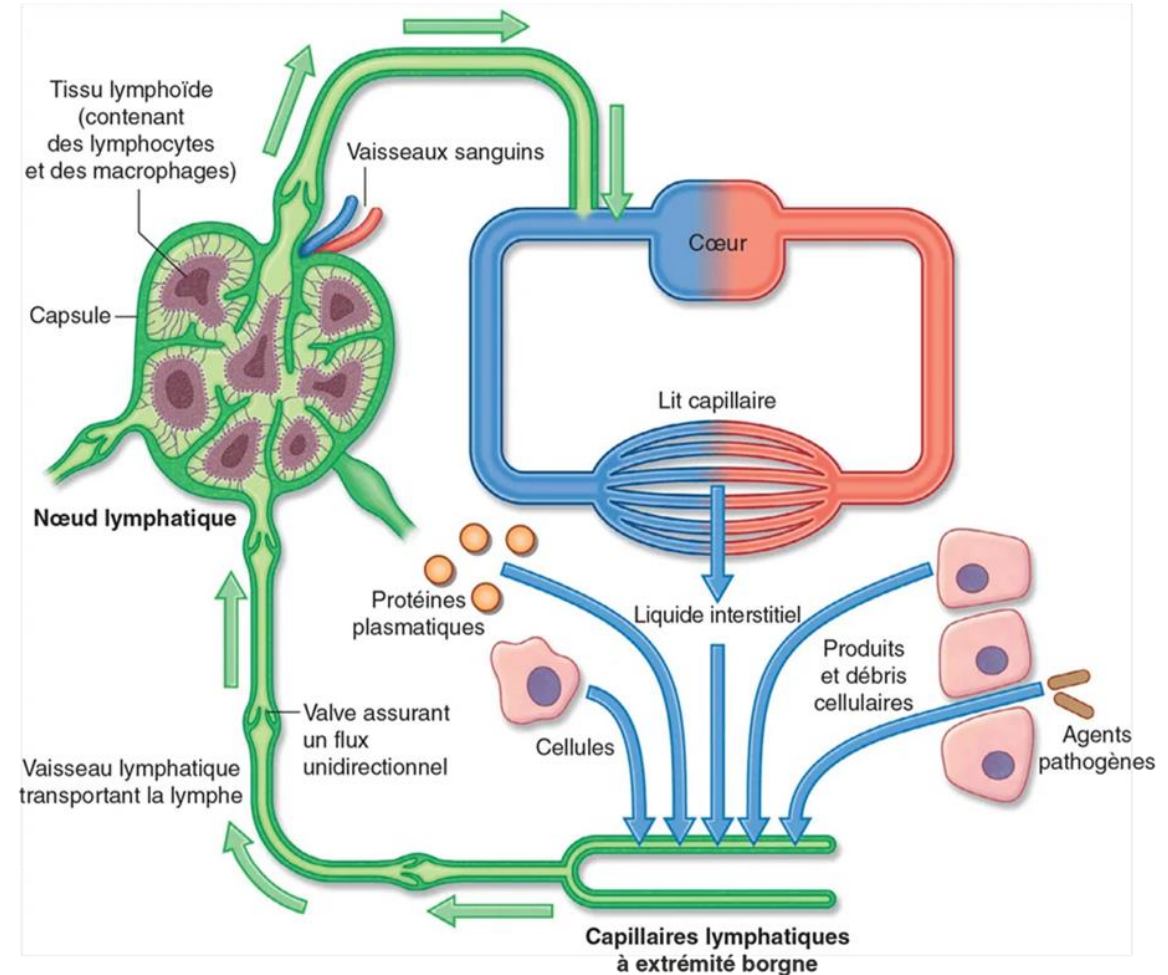
Débit de filtration  
 Coefficient de Perméabilité  
 Pression hydrostatique capillaire  
 Pression hydrostatique interstitielle  
 Pression oncotique capillaire  
 Pression oncotique interstitielle



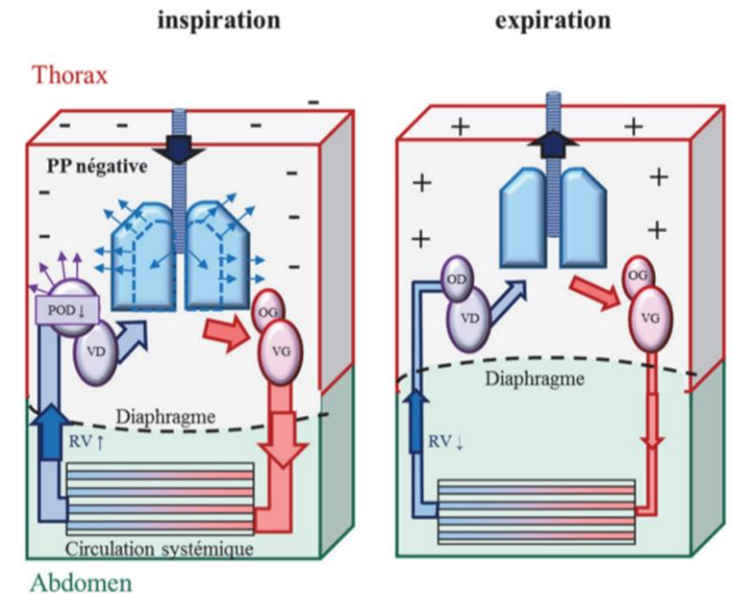
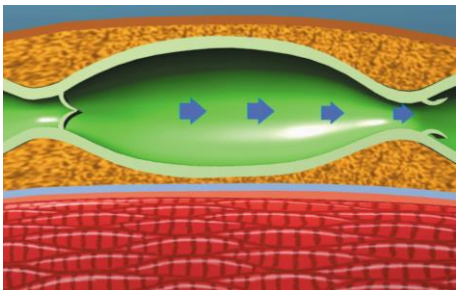
	Pressions favorisant la filtration	Pressions favorisant la réabsorption
Pression de filtration nette (PFN)	$= (PHS + POLI)$	$= (POCS + PHLI)$
	<b>Extrémité veineuse</b>	<b>Extrémité artérielle</b>
	$PFN = (16 + 1) - (26 + 0)$ $= -9 \text{ mm Hg}$	$PFN = (35 + 1) - (26 + 0)$ $= 10 \text{ mm Hg}$
Résultat	Réabsorption	Filtration

# Ecoulement de la lymphe

- Motricité autonome des parois des vaisseaux :
  - Contraction
  - ↗ pression de la lymphe
  - Ouverture des valvules
  - Laisser passer la lymphe dans un seul sens vers le cœur
- Contraction coordonnée entre les lymphangions successifs



- Autres facteurs favorisant l'écoulement de la lymphe:
  - Inspiration :
    - ↗ pression intra-abdominale
    - ↘ pression intra-thoracique
  - Exercice musculaire :
    - Contraction musculaire

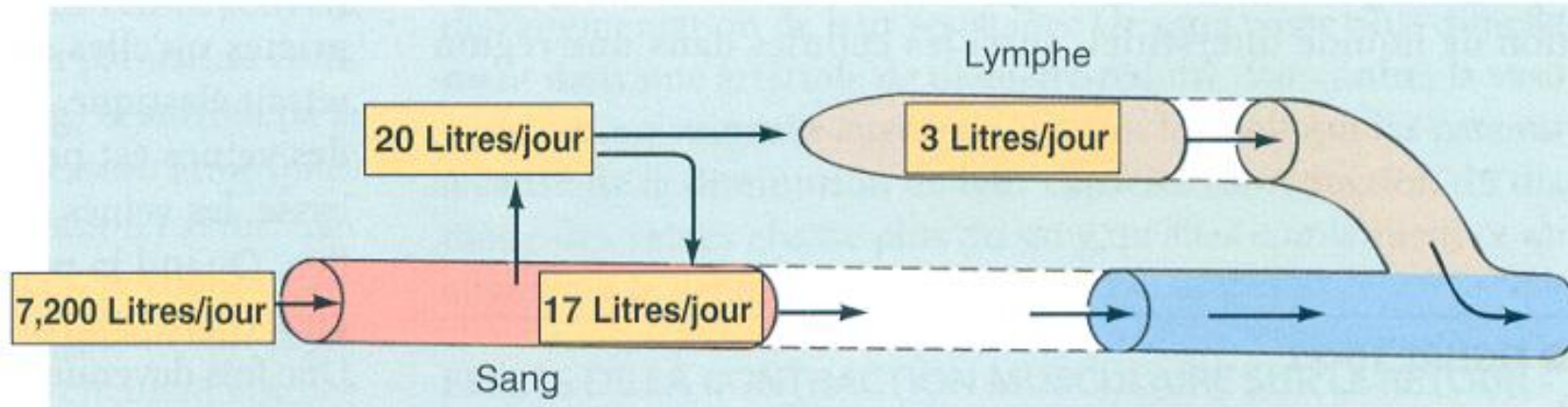


# La pression

- Faible :
  - Au début : qlq mmHg
  - Lymphangions : 20 mmHg
- Variations périodiques :
  - En rapport avec la contraction propre des parois des collecteurs

# Le débit

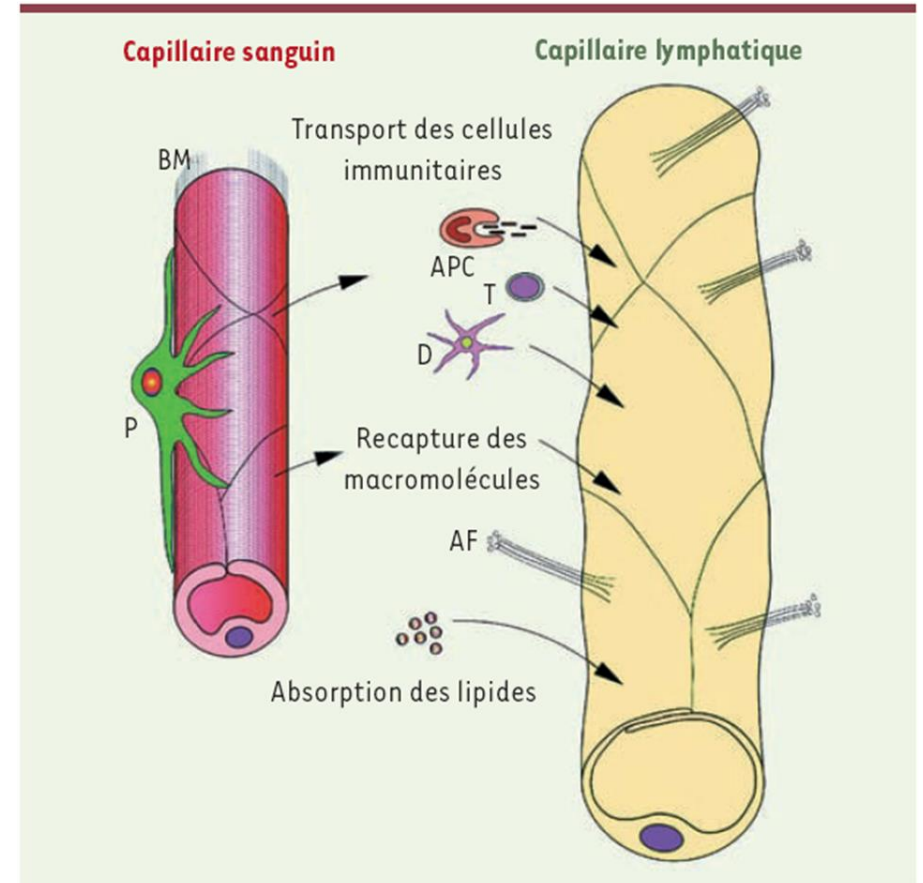
- Très faible : 2-4 litres/j
- Augmente :
  - Exercice musculaire
  - Conditions pathologiques





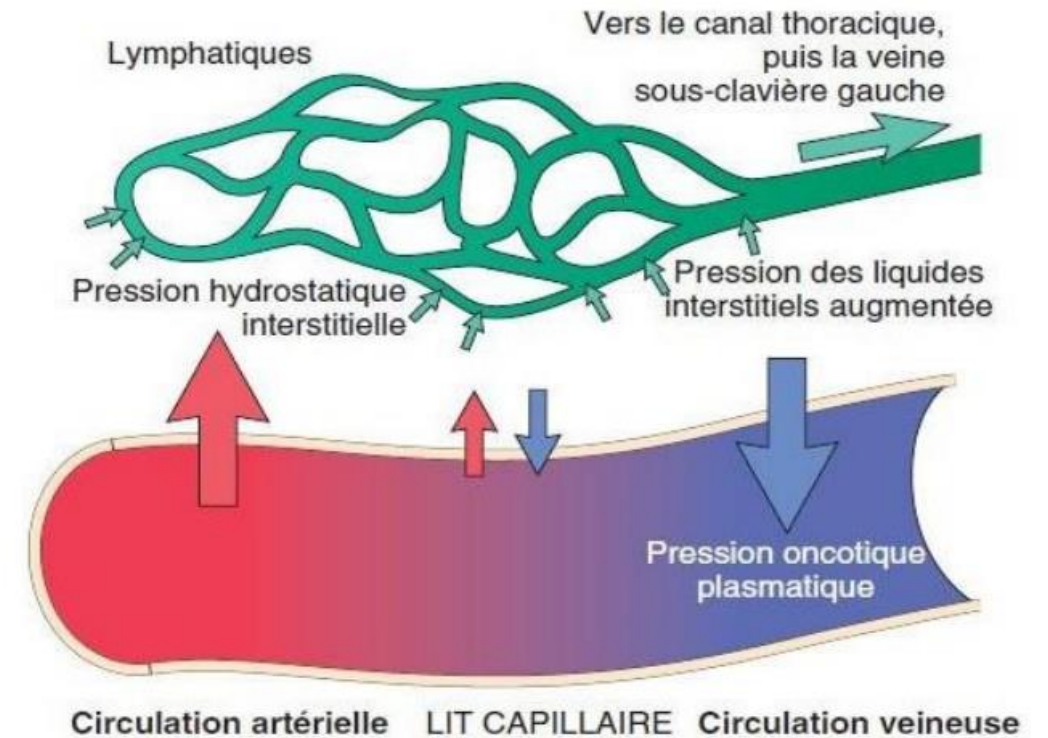
# RÔLE DE LA CIRCULATION LYMPHATIQUE

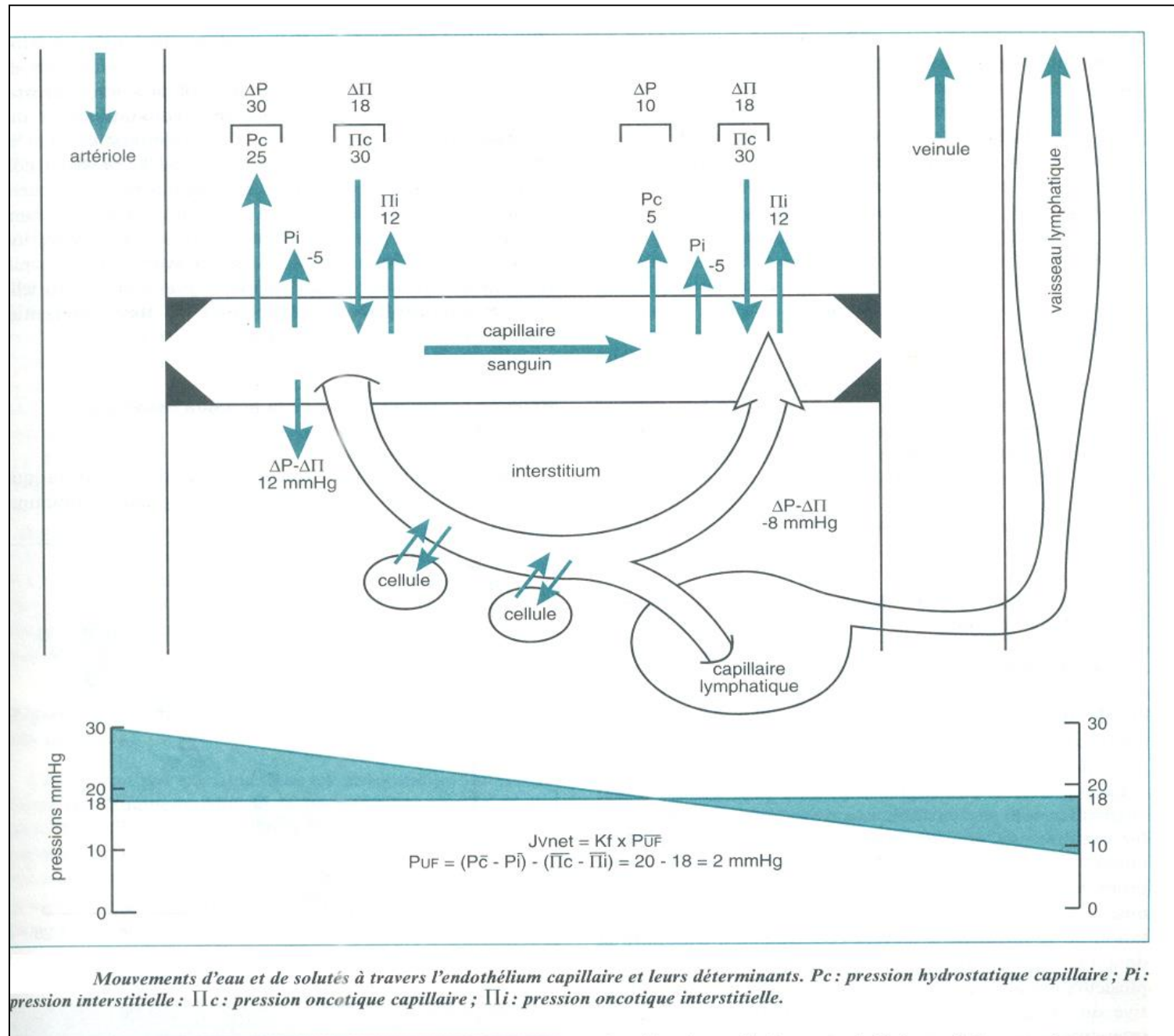
- Récupération des protéines
- Récupération des éléments figurés



# Récupération des protéines

- Récupération dans l'interstitium des grosses protéines qui ont pu sortir hors des capillaires sanguins
- → Contrôle la pression oncotique du milieu interstitiel
- → contrôle l'état d'hydratation du milieu interstitiel





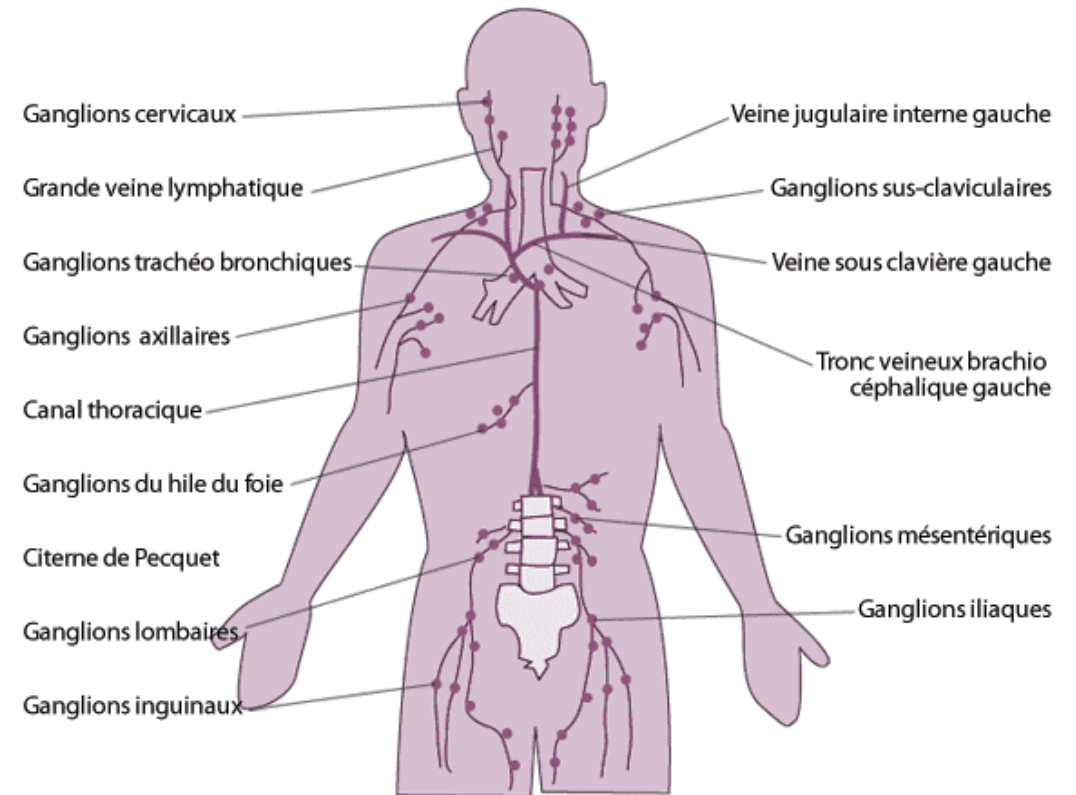
Mouvements d'eau et de solutés à travers l'endothélium capillaire et leurs déterminants.  $P_c$ : pression hydrostatique capillaire ;  $P_i$ : pression interstitielle ;  $\Pi_c$ : pression oncotique capillaire ;  $\Pi_i$ : pression oncotique interstitielle.

Sang	Lymph	Rôle du sang et de la lymph
Eau	Eau	Transport de l'eau
Substances nutritives et vitales (protides, lipides, glucides, sels minéraux et vitamines hydrosolubles)	Substances nutritives et vitales (protides, lipides et vitamines liposolubles)	Transport des substances nutritives aux cellules
Hématies	Aucune	Transport des hématies par le sang uniquement
Leucocytes	Lymphocytes et macrophages	Transport des globules blancs (défense immunitaire)
Anticorps	Anticorps	Transport des anticorps (défense immunitaire)
Fibrinogène	Fibrinogène	Coagulation plasmatique

# Récupération des éléments figurés

76

- En pathologie :
  - Globules, cellules, microbes
  - Frein de propagation :
    - Exp : microbes
  - Facteur favorisant de dissémination :
    - Exp : cellules cancéreuses





# Merci

