

Physiologie de la Circulation

PR BRUNO CHENUEL

UE3 PACES - 2012-2013

Plan

Généralités - Introduction

A- Agencement du système vasculaire

- 1) Circ. systémique et pulmonaire en série
- 2) Réseaux capillaires systémiques en parallèle
- 3) Territoires « haute pression » et « basse pression »

B- Propriétés des vaisseaux

- 1) Les arbres vasculaires, surface de section totale
- 2) Elasticité, distensibilité, contractilité
- 3) Répartition de la masse sanguine

C- Principes généraux d'hémodynamique

- 1) La relation Pression-Débit-Résistance
- 2) Régimes d'écoulement
 - Laminaire (loi de Poiseuille-Hagen)
 - Turbulent (Nombre de Reynolds)
- 3) Les résistances vasculaires
 - R. locales et contrôle des débits locaux
 - R. Périphérique Totale (RPT) et contrôle de la pression artérielle

Nécessité de la circulation :

- Echanges de matière avec l'environnement (apport, élimination)
- Transport rapide de matière entre différentes parties du corps
- Echanges de chaleur (noyau - enveloppe)

Fonction de convection de l'appareil cardiovasculaire qui comprend :

- ensemble de pompage (cœur)
- ensemble de distribution (vaisseaux)
- liquide (sang)

permet d'amener du sang jusqu'au voisinage immédiat des cellules
(échanges par diffusion +++)

DEBIT

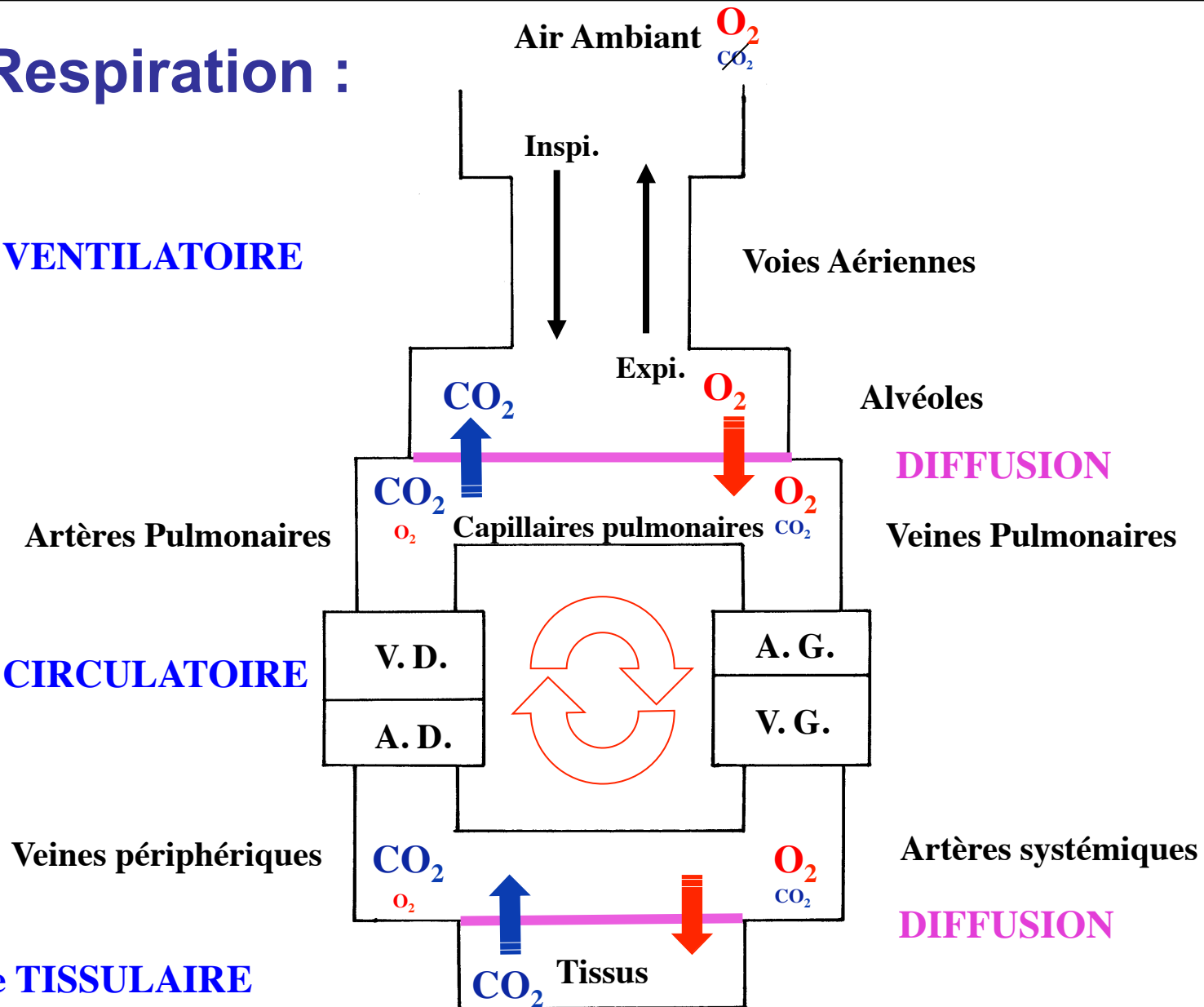
Au delà de 3 à 5 minutes d'arrêt circulatoire,
lésions neurologiques irréversibles - mort cérébrale

La Respiration :

1) Etape VENTILATOIRE

2) Etape CIRCULATOIRE

3) Etape TISSULAIRE



Plan

GENERALITES

A- Agencement du système vasculaire

- 1) Circ. systémique et pulmonaire en série
- 2) Réseaux capillaires systémiques en parallèle
- 3) Territoires « haute pression » et « basse pression »

B- Propriétés des vaisseaux

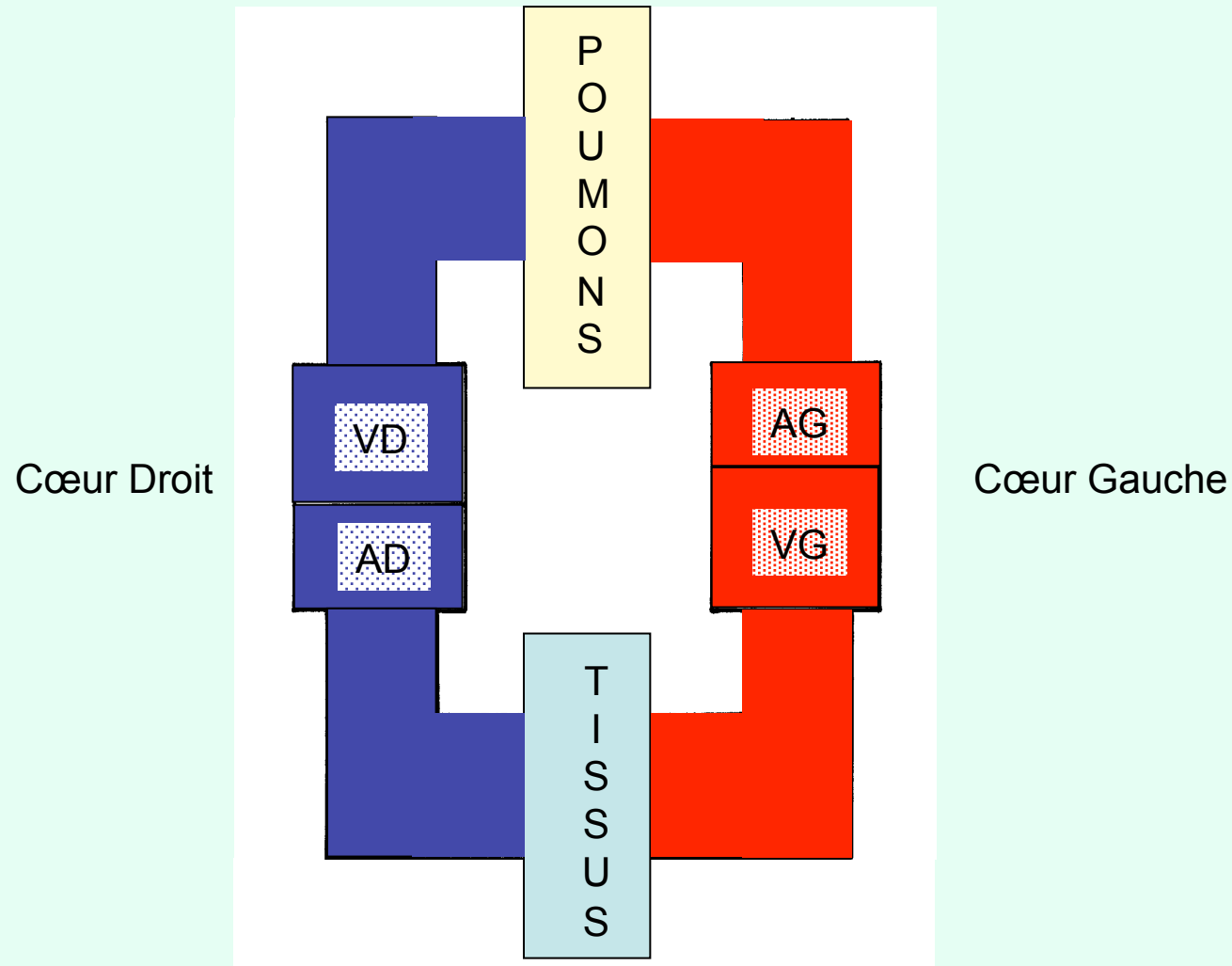
- 1) Les arbres vasculaires, surface de section totale
- 2) Elasticité, distensibilité, contractilité
- 3) Répartition de la masse sanguine

C- Principes généraux d'hémodynamique

- 1) La relation Pression-Débit-Résistance
- 2) Régimes d'écoulement
 - Laminaire (loi de Poiseuille-Hagen)
 - Turbulent (Nombre de Reynolds)
- 3) Les résistances vasculaires
 - R. locales et contrôle des débits locaux
 - R. Périphérique Totale (RPT) et contrôle de la pression artérielle

A- Agencement du système vasculaire

1) Circ. systémique et pulmonaire en série



Circuit FERME d'où débit cœur G = Débit cœur Dt

Distinction anatomique entre artère et veine:

- artère : vaisseau qui part du cœur
- veine : vaisseau qui revient au cœur

Distinction physiologique entre sangs artériel et veineux :

- **sang artériel** : sang oxygéné, venant des poumons et distribué par les artères systémiques
- **sang veineux** : sang appauvri en O_2 et enrichi en CO_2 en provenance des tissus

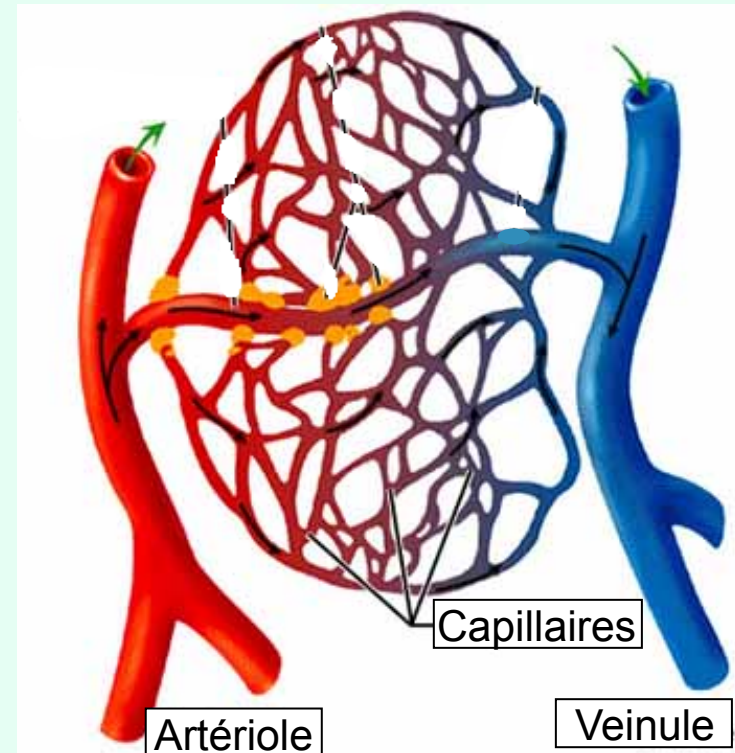
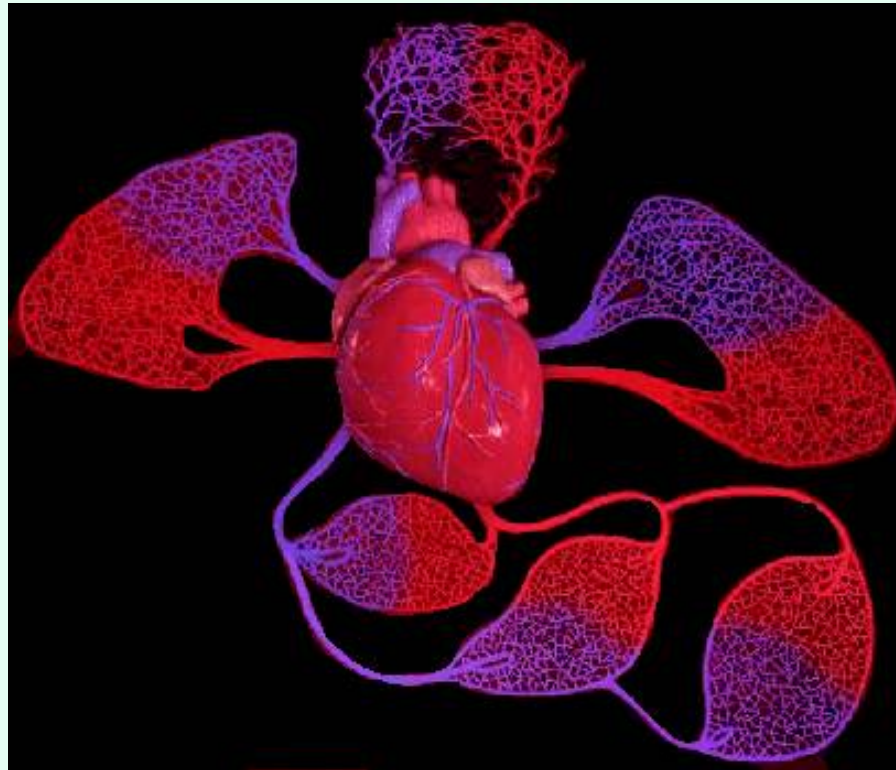
Attention :

- ❖ les artères systémiques contiennent du sang artériel (composition identique dans toutes les artères)
- ❖ les veines systémiques contiennent du sang veineux (composition variable selon les métabolismes du tissu d'où il provient)

Mais

- ✓ l'artère pulmonaire et ses branches contiennent du sang veineux mêlé (mélange de tous les sangs veineux)
- ✓ les veines pulmonaires ramènent à l'atrium gauche du sang artériel

2) Réseaux capillaires en parallèle :



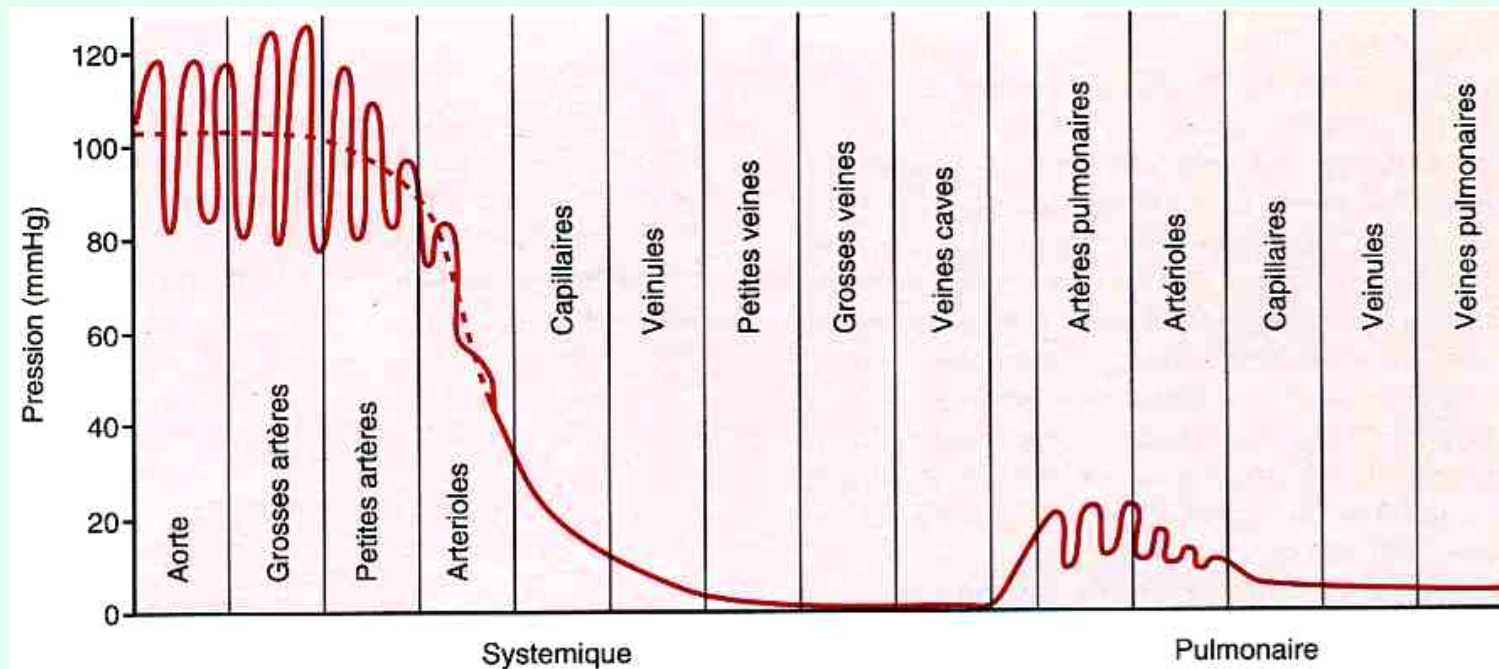
Zones d'échanges entre sang et tissus

Débits différents

3) Territoires « haute pression » et « basse pression » :

Sur le plan hydrodynamique, on distingue 2 systèmes fonctionnels :

- un réseau à haute pression : en amont des capillaires systémiques, comprenant VG et artères systémiques.
- un réseau à basse pression : en aval des capillaires systémiques, comprenant les veines systémiques, le cœur Dt, la circulation pulmonaire et l'atrium G. Contient la plus grande partie du volume sanguin total



Plan

GENERALITES

A- Agencement du système vasculaire

- 1) Circ. systémique et pulmonaire en série
- 2) Réseaux capillaires systémiques en parallèle
- 3) Territoires « haute pression » et « basse pression »

B- Propriétés des vaisseaux

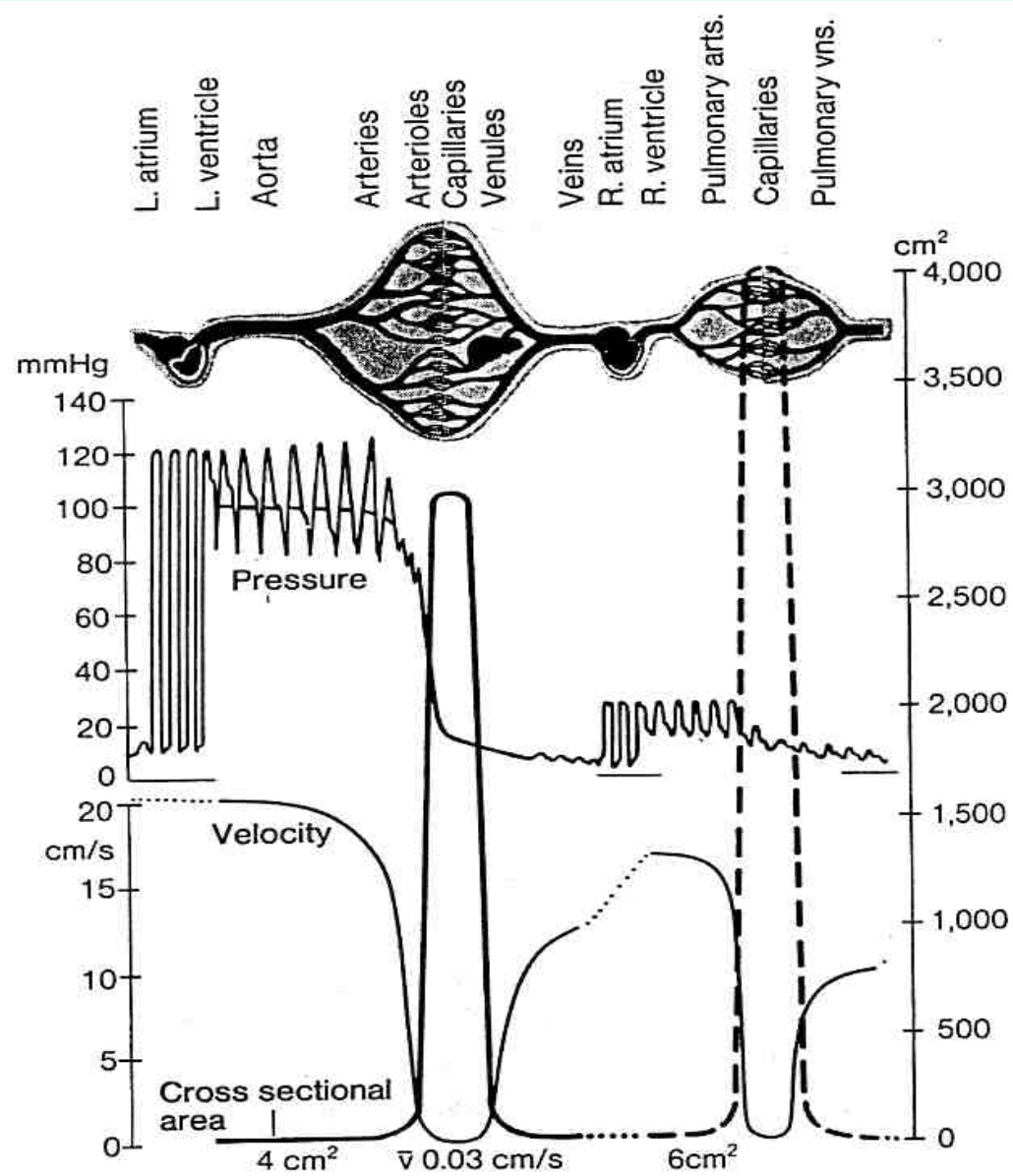
- 1) Les arbres vasculaires, surface de section totale
- 2) Elasticité, distensibilité, contractilité
- 3) Répartition de la masse sanguine

C- Principes généraux d'hémodynamique

- 1) La relation Pression-Débit-Résistance
- 2) Régimes d'écoulement
 - Laminaire (loi de Poiseuille-Hagen)
 - Turbulent (Nombre de Reynolds)
- 3) Les résistances vasculaires
 - R. locales et contrôle des débits locaux
 - R. Périphérique Totale (RPT) et contrôle de la pression artérielle

B- Propriétés des vaisseaux :

1) Les arbres vasculaires, surface de section totale



2) Elasticité, distensibilité, contractilité

Le diamètre des vaisseaux augmente quand la pression interne augmente, ils sont dits « distensibles » mais de façon très variable selon le type de vaisseau considéré

Les parois des vaisseaux sont constituées en proportions variables de :

- fibres d'élastine
- fibres de collagène
- muscle lisse
- endothélium

Ces différents éléments sont responsables de propriétés :

- élasticité
- distensibilité
- compliance
- contractilité (vasomotricité par musculature lisse)

Distensibilité : augmentation relative en volume pour une augmentation de pression

= augmentation en volume / (augmentation de pression . volume original)

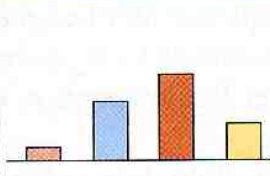
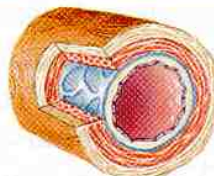
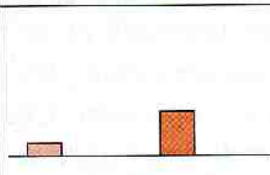
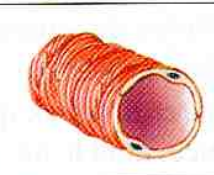
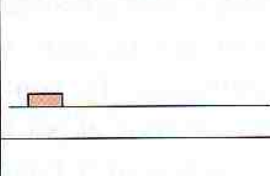
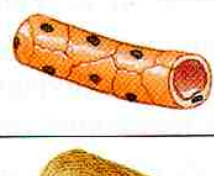
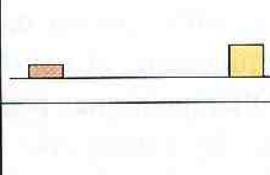
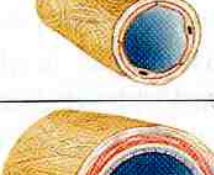
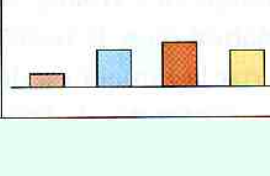
Ex: si l'augmentation de 1 mmHg dans un vaisseau contenant 10 ml augmente le volume de 1 ml, la distensibilité est de 0,1 / mmHg ou 10 %

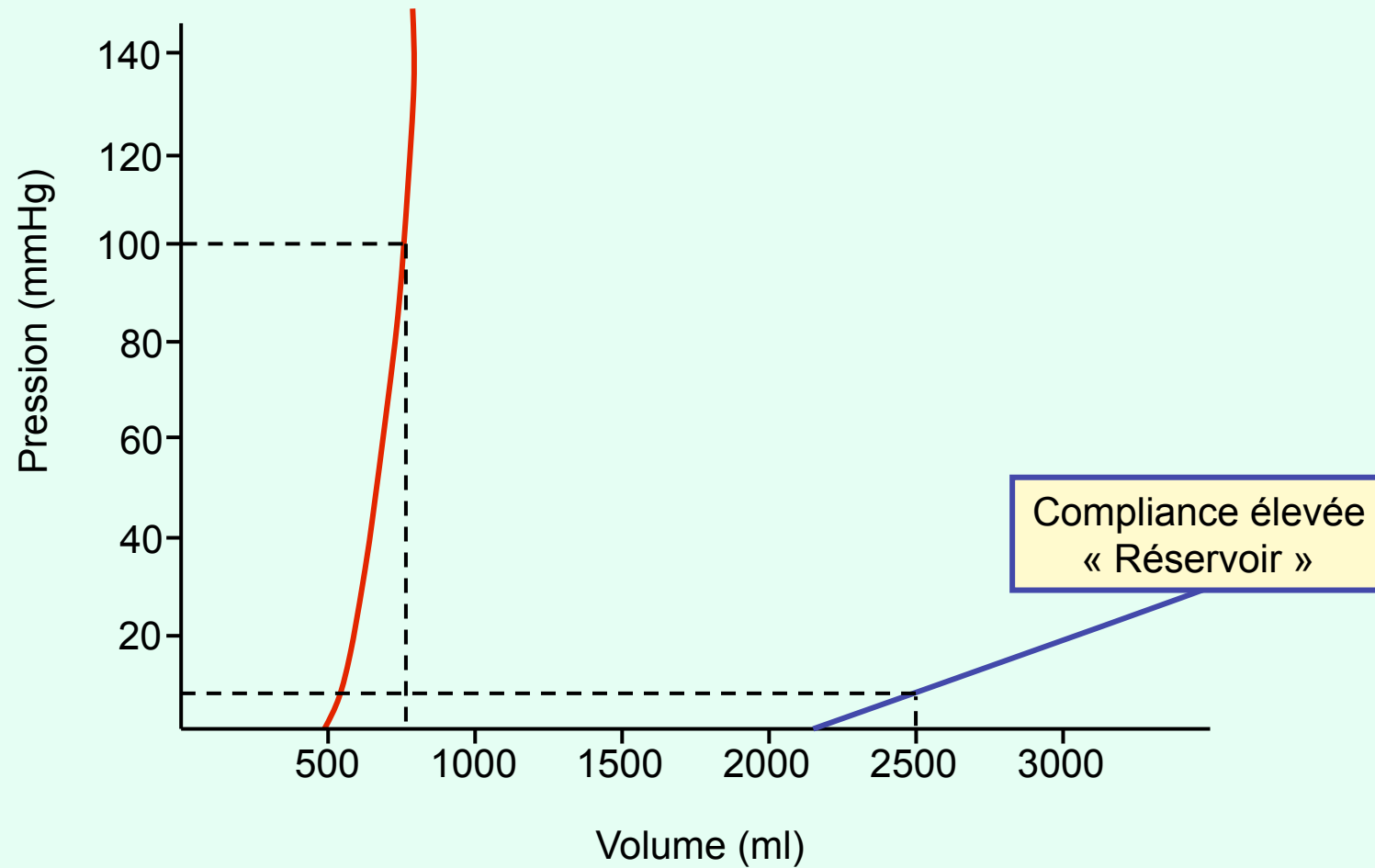
La distensibilité des veines est 6 à 10 fois supérieure à celle des artères

Compliance (ou capacitance): augmentation de volume pour une augmentation de pression = $\Delta V / \Delta P$

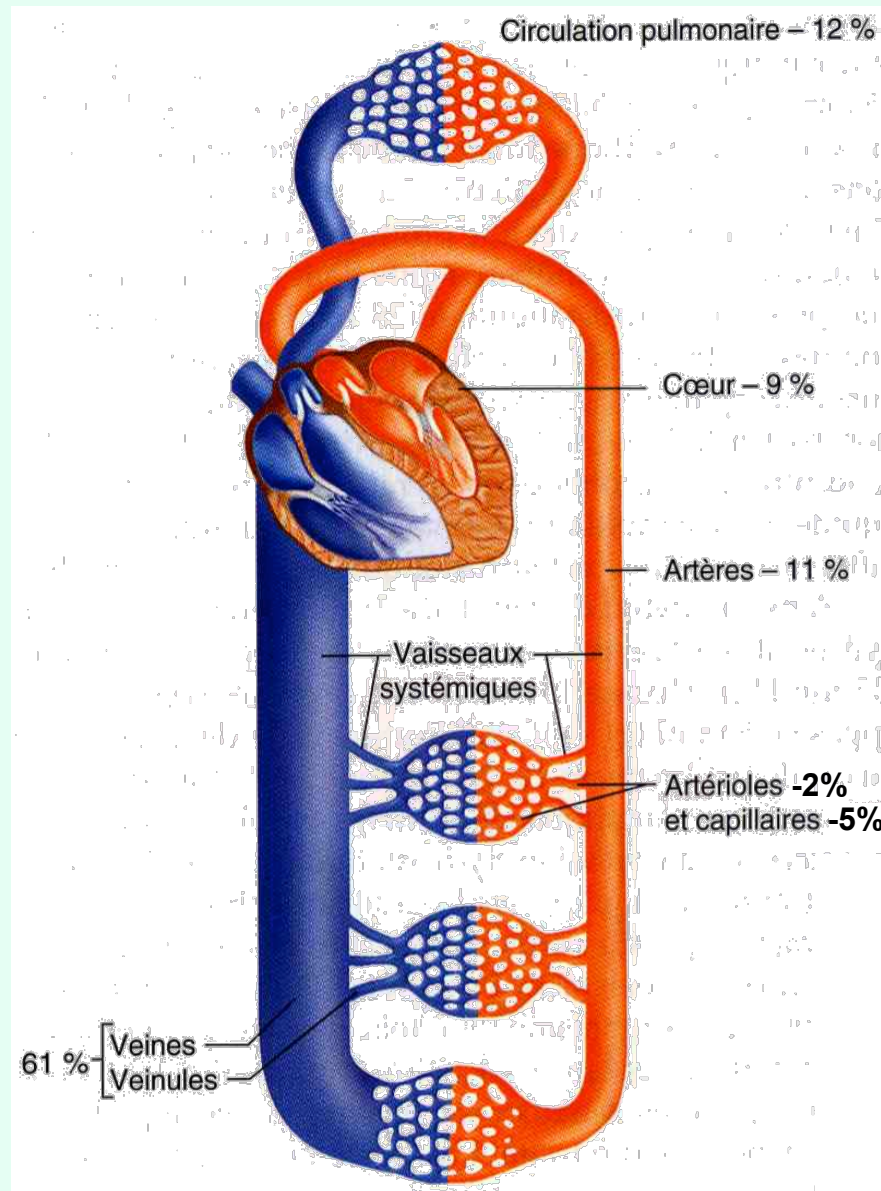
= distensibilité . volume

La compliance d'une veine est environ 24 fois supérieure à celle d'une artère (~8 fois plus distensible et contient ~3 fois plus de sang)

	Diamètre moyen	Épaisseur moyenne de la paroi	Endothélium Tissu élastique Muscle lisse Tissu fibreux	
Artère	4,0 mm	1,0 mm		
Artériole	30,0 µm	6,0 µm		
Capillaire	8,0 µm	0,5 µm		
Veinule	20,0 µm	1,0 µm		
Veine	5,0 mm	0,5 mm		



3) Répartition de la masse sanguine



Circulation Systémique > 80%
dont 60 % dans les veines et veinules

Plan

I- GENERALITES

A- Agencement du système vasculaire

- 1) Circ. systémique et pulmonaire en série
- 2) Réseaux capillaires systémiques en parallèle
- 3) Territoires « haute pression » et « basse pression »

B- Propriétés des vaisseaux

- 1) Les arbres vasculaires, surface de section totale
- 2) Elasticité, distensibilité, contractilité
- 3) Répartition de la masse sanguine

C- Principes généraux d'hémodynamique

- 1) La relation Pression-Débit-Résistance
- 2) Régimes d'écoulement
 - Laminaire (loi de Poiseuille-Hagen)
 - Turbulent (Nombre de Reynolds)
- 3) Les résistances vasculaires
 - R. locales et contrôle des débits locaux
 - R. Périphérique Totale (RPT) et contrôle de la pression artérielle

C- Principes généraux d'hémodynamique :

1) La relation Pression-Débit-Résistance

Le débit dans un vaisseau est entièrement déterminé par 2 facteurs :

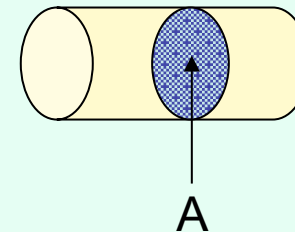
- différence de pression entre ses deux extrémités (ΔP)
- l'opposition à ce débit = résistance vasculaire (R)

$$\dot{Q} = \frac{\Delta P}{R} \quad (\text{en ml.s}^{-1})$$

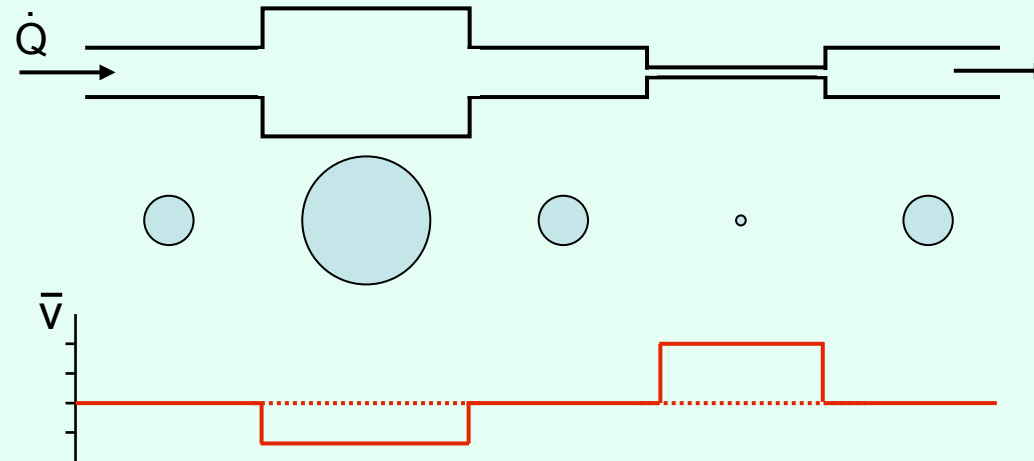
Pour un vaisseau de section constante $A (= \pi.r^2 ; \text{en cm}^2)$:

$$\dot{Q} = \bar{v} \cdot A$$

où $\bar{v}$ = vitesse moyenne (en cm.s^{-1})



Si système constitué de tubes de $\varnothing$ différents mis bout à bout, la vitesse dans chaque segment est inversement proportionnelle à sa section (carré du rayon).



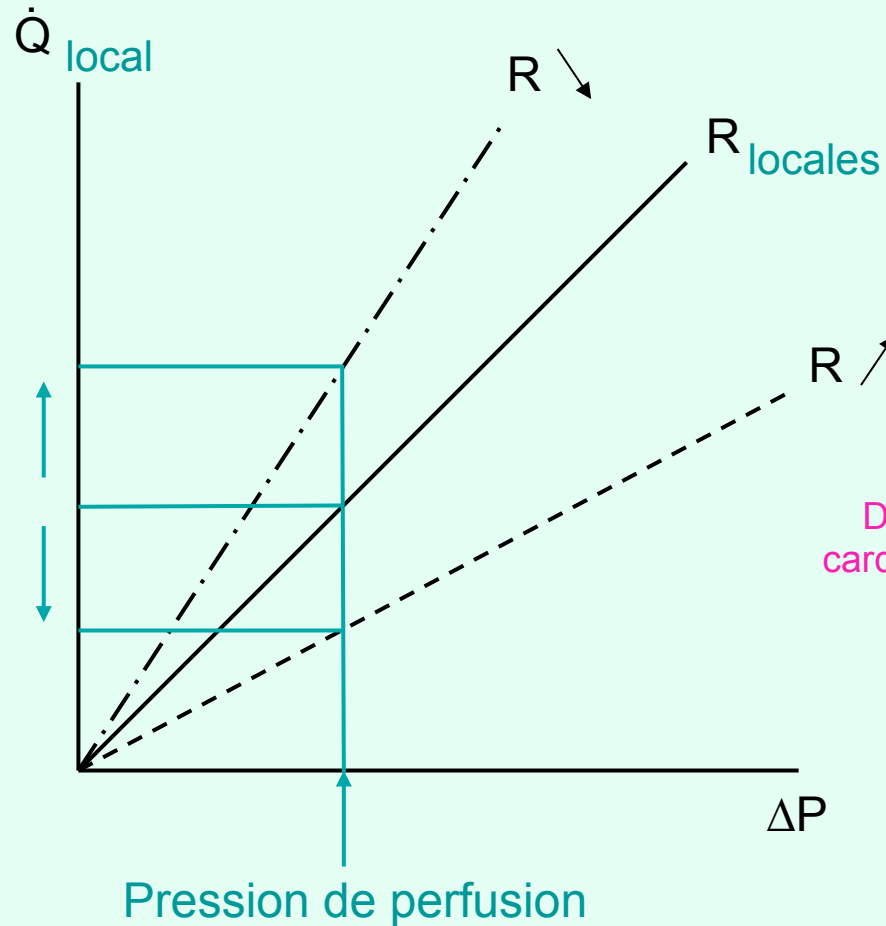
Exemples : $\bar{v}_{\text{aorte}} \sim 30 \text{ cm.s}^{-1}$ (plus d'un m.s^{-1} à l'effort)

$\bar{v}_{\text{veine cave}} \sim 2/3$ de $\bar{v}_{\text{aorte}}$ (section veine cave $\sim 1,5$ fois celle aorte)

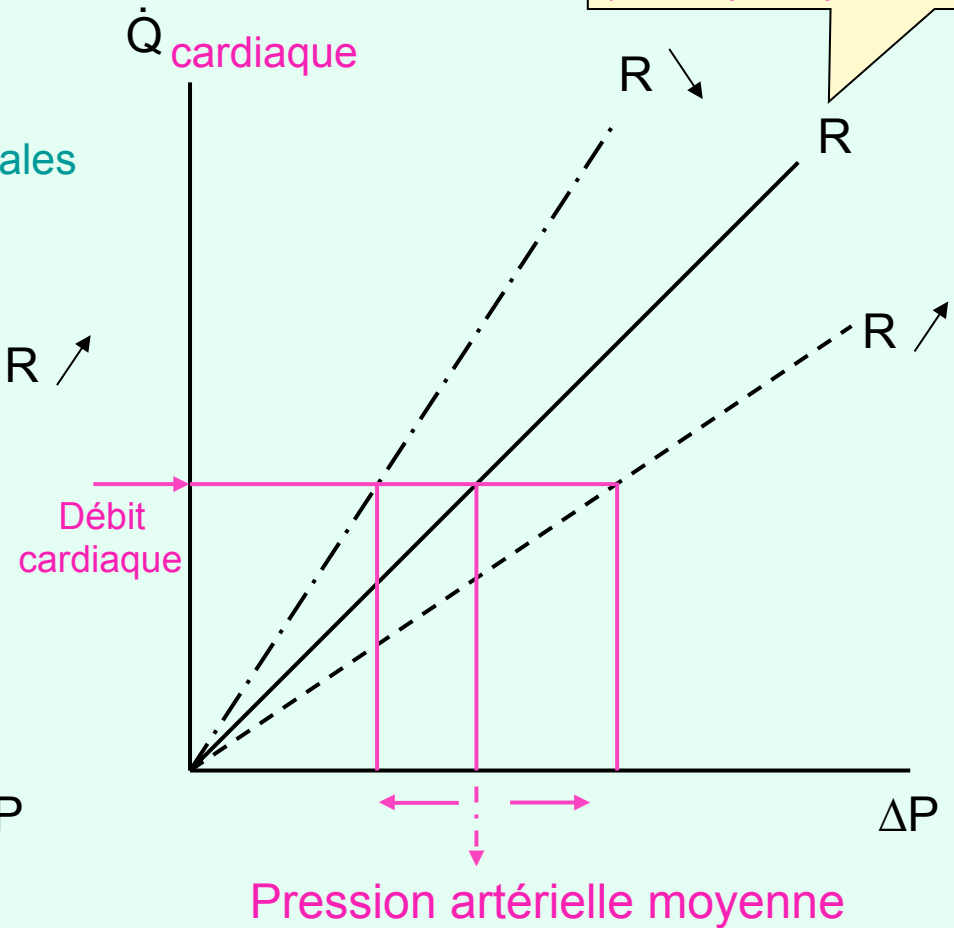
$\bar{v}_{\text{capillaires}} \sim 0,3 \text{ mm.s}^{-1}$ (section totale 1000 fois celle aorte)

(En cas d'hémorragie, la vitesse de jaillissement du sang est commandée, non pas par la vitesse (ou débit) du sang dans le vaisseau, mais par la différence de pression entre vaisseau et atmosphère - notion de contre-pression)

La relation Pression-Débit-Résistance



Pour une pression donnée, le débit local de perfusion est réglé par les variations de résistance locale ($\emptyset$ vaisseau)

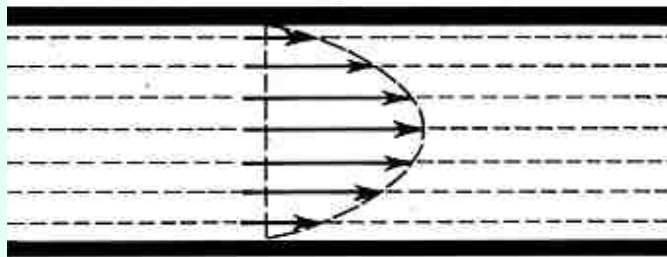


Pour un débit cardiaque donné, la pression artérielle moyenne est réglée par la Résistance Périphérique Totale.

2) Régimes d'écoulement

- Laminaire (loi de Poiseuille-Hagen)
- Turbulent (Nombre de Reynolds)

Quand le sang s'écoule à vitesse constante, dans un conduit long à paroi lisse
= écoulement laminaire avec profil de vitesse parabolique



Loi de Poiseuille-Hagen :

$$\dot{Q} = \frac{\Delta P}{R}$$

Résistance = inverse de la conductance (C)

$$R = \frac{8.\eta.l}{\pi.r^4} \quad \text{où : } \eta = \text{viscosité}$$

$l = \text{longueur}$
 $r = \text{rayon}$

Pour une pression donnée, si le rayon du vaisseau est divisé par 2, le débit diminue d'un facteur 16 !

Ecoulement turbulent lorsque la vitesse d'écoulement est très rapide, si obstacle intra-vasculaire, changement de direction ou encore surface irrégulière. Alors, mouvements sanguins transversaux aboutissant à des tourbillons (↑ R, phénomènes vibratoires-souffles+++).

$$\text{Nombre de Reynolds} = \frac{\varnothing \cdot \bar{v} \cdot \rho}{\eta} \quad \text{où} \quad \begin{aligned} \varnothing &= \text{diamètre du vaisseau} \\ v &= \text{vitesse d'écoulement (cm.s}^{-1}\text{)} \\ \rho &= \text{masse volumique} \\ \eta &= \text{viscosité (poises)} \end{aligned}$$

Si $Re > 2000$ -2500 régime turbulent

Dans les grosses artères, $Re \sim 2000$

(turbulences possibles racine de l'aorte et embranchements)

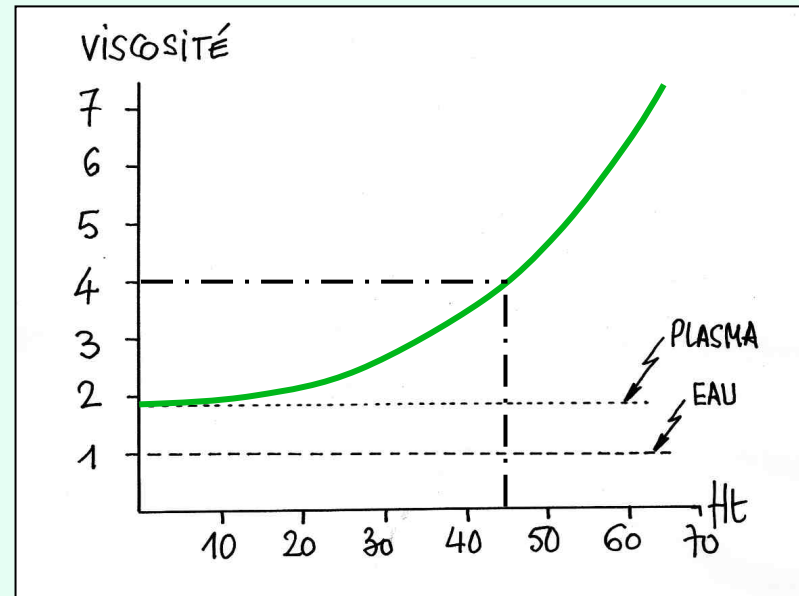
Viscosité :

« Résistance interne » d'un fluide

Exprimée en unité relative par rapport à celle de l'eau = 1

Plasma = 1,8

Sang : - fonction de l'hématocrite pour Ht ~ 45% ~ 4



- fonction de la vitesse d'écoulement :

plus la vitesse augmente, plus la viscosité diminue (comportement rhéofluidifiant)

- diamètre des vaisseaux : pour $\varnothing < 0,5$ mm, la viscosité diminue par alignement en colonne unique. Effet Fåhræus-Lindqvist

- température : la viscosité augmente lorsque la θ° diminue.

Mais variation faible du fait de l'homéothermie

3) Les résistances vasculaires :

Résistance = opposition qu'offre un vaisseau au passage du débit sanguin

Dépend de : - de la longueur et du calibre ($\varnothing$) du vaisseau
- de la viscosité du sang
- du type d'écoulement

Si résistances en séries : les résistances s'ajoutent

$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Si résistances en parallèles : les conductances s'ajoutent

$$C_{\text{tot}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

d'où

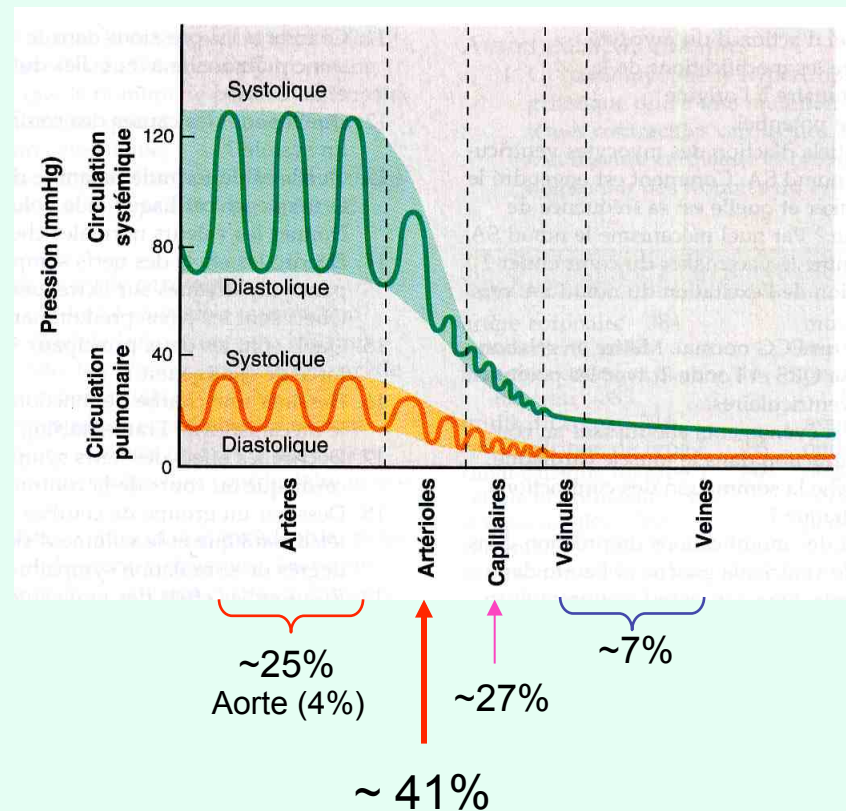
$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{C_{\text{tot}}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

alors, résistance totale $\ll$ Résistance individuelle de chaque vaisseau

Siège des résistances vasculaires dans l'ensemble du système ?

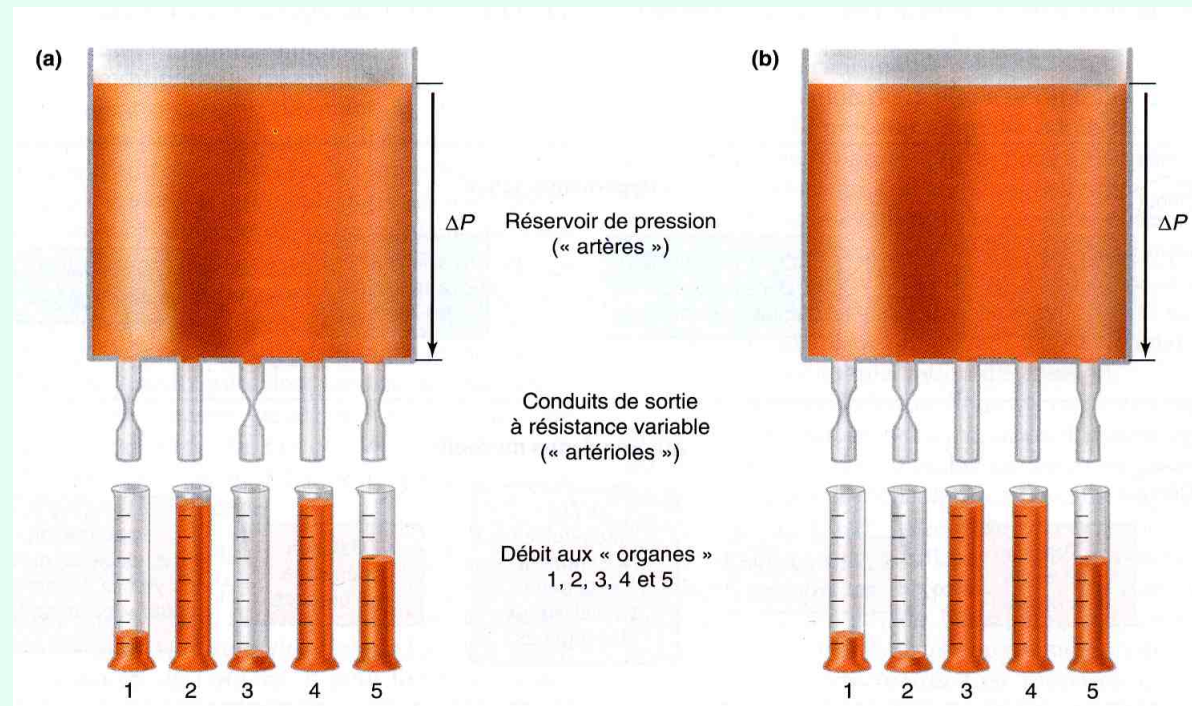
$$\dot{Q} = \frac{\Delta P}{R}$$

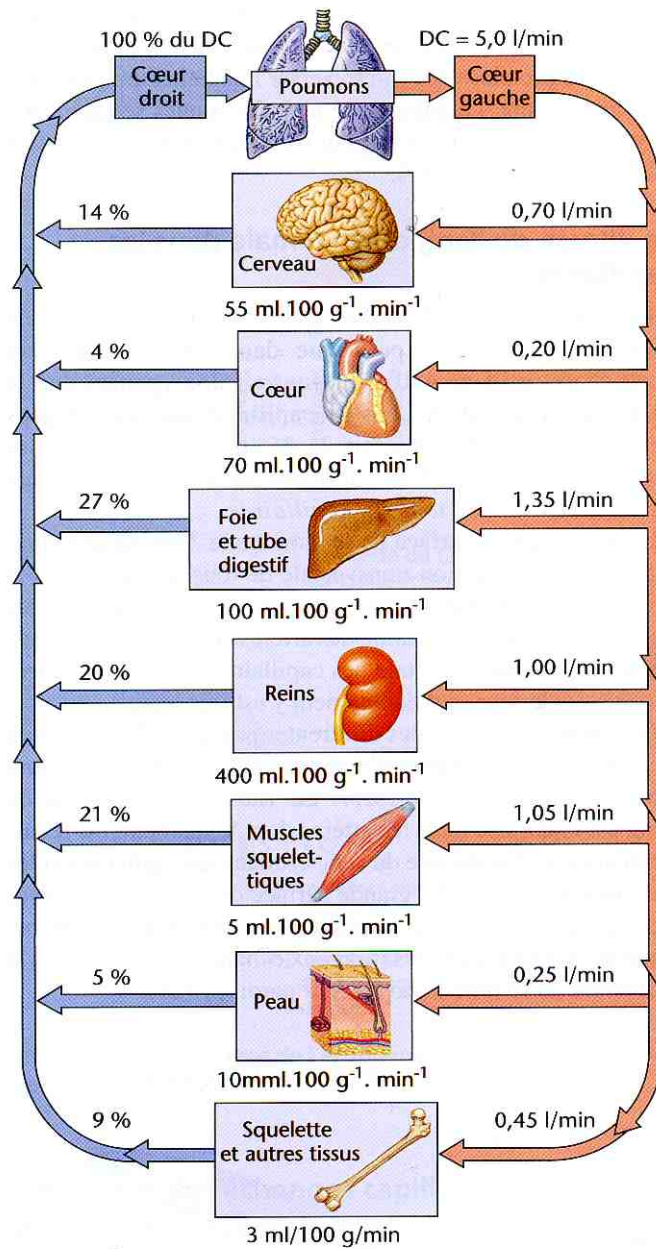
où chute de pression maximale



- R. locales et contrôle des débits locaux:

$$\dot{Q}_{\text{local}} = \frac{\Delta P}{R_{\text{locale}}}$$

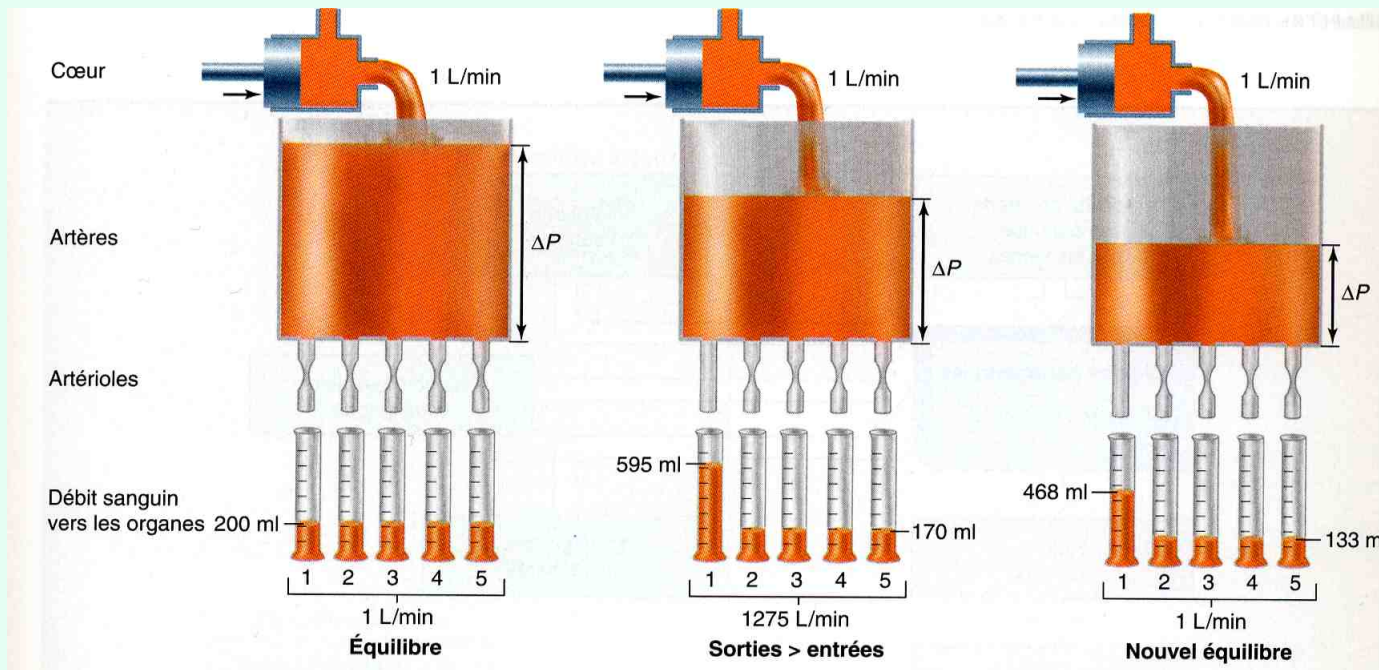




- R. Périphérique Totale (RPT) et contrôle de la pression artérielle :

$$\dot{Q}_{\text{card.}} = \frac{\overline{Pa}}{RPT}$$

RPT = résistance globale de l'ensemble de la circulation systémique



En cas de vasoconstriction générale, peut être multipliée par 4.

En cas de vasodilatation, peut être divisée par 5.

II- Un exemple: LA CIRCULATION ARTERIELLE SYSTEMIQUE

A- Les éléments de la pression artérielle

- 1) Description : PS, PD, Pdiff, Pmy
- 2) Evolution le long de l'arbre artériel

B- Rôle de l'élasticité: compartiment « WINDKESSEL »

C- Facteurs influençant la pression systolique

D-Facteurs influençant la pression diastolique

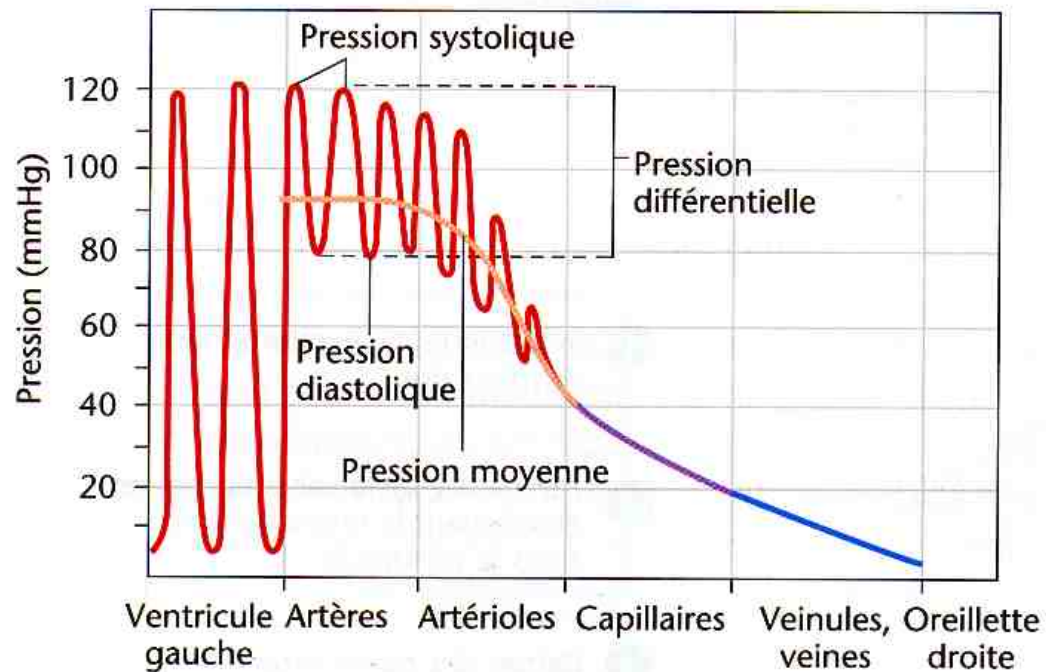
E- L'onde pulsatile, le pouls artériel :

F- La vitesse du sang dans les artères :

G- Mesure de la pression artérielle :

A- Les éléments de la pression artérielle :

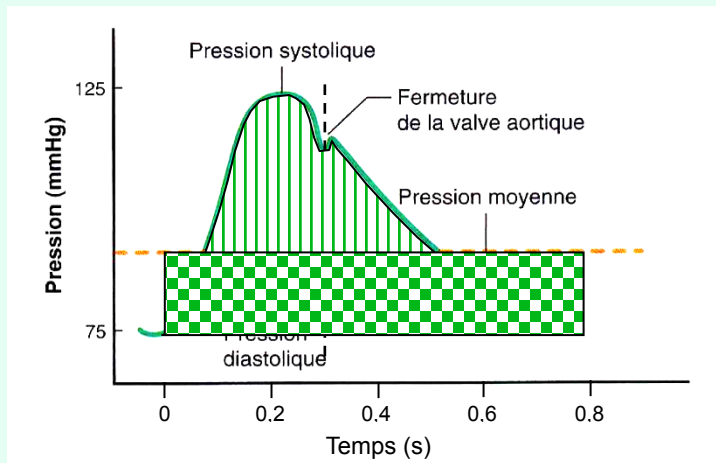
1) Description : $P_{\text{syst.}}$, $P_{\text{diast.}}$, $P_{\text{diff.}}$, $P_{\text{moy.}}$.



$$P_{\text{syst.}} = 105 \text{ à } 140 \text{ mmHg}$$

$$P_{\text{diast.}} = 60 \text{ à } 90 \text{ mmHg}$$

$$P_{\text{diff.}} = P_{\text{syst.}} - P_{\text{diast.}} \sim 50 \text{ mmHg}$$

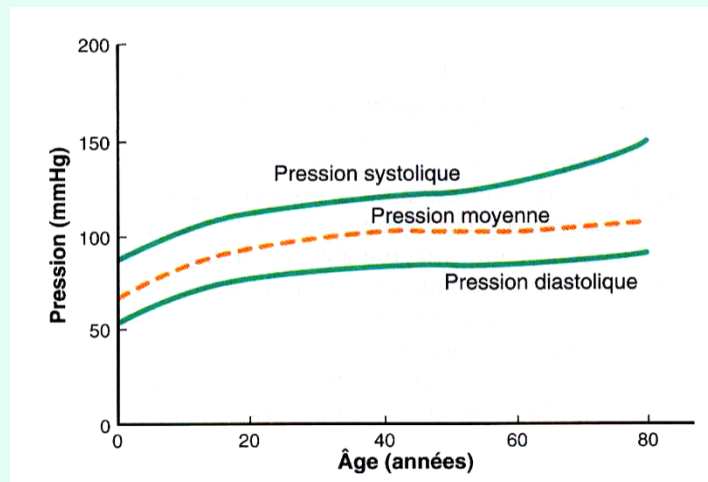


Description : - montée rapide (systole)
 - incisure
 - onde dicrote (recul aorte)
 - diminution progressive

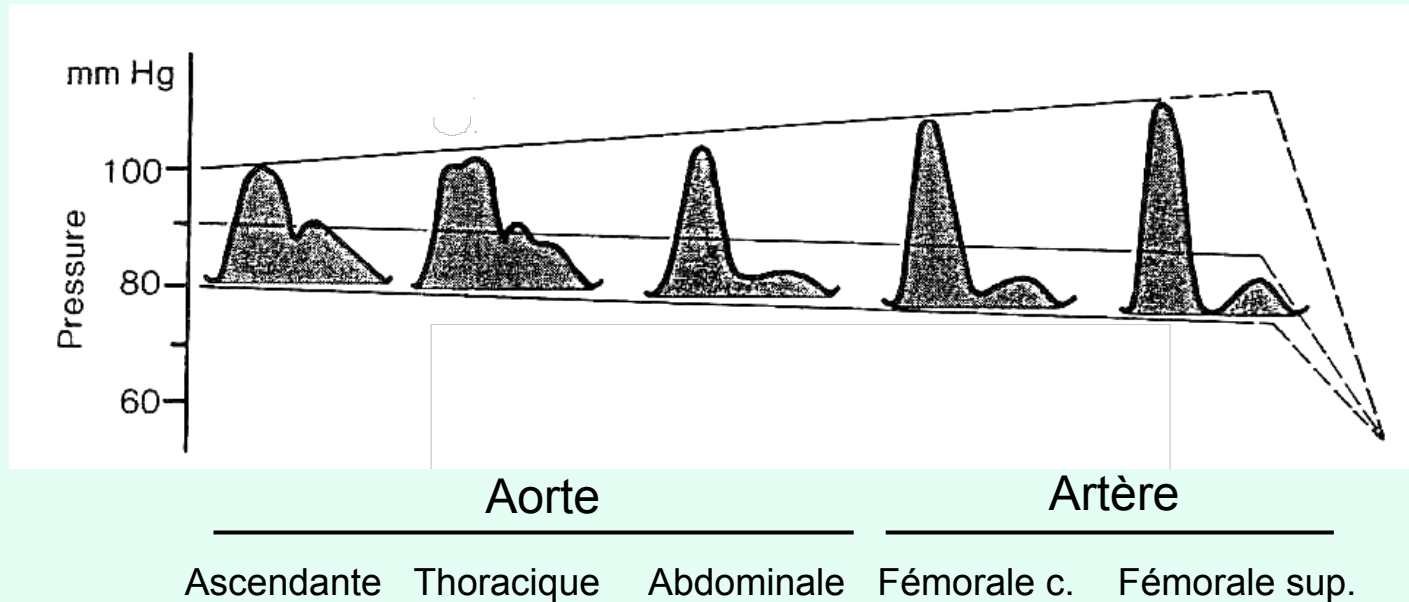
$$P_{\text{moy.}} = \frac{1}{3} \cdot P_{\text{syst.}} + \frac{2}{3} \cdot P_{\text{diast.}}$$

ou encore $P_{\text{moy.}} = P_{\text{diast.}} + \frac{1}{3} \cdot P_{\text{diff.}}$

~ 90-100 mmHg



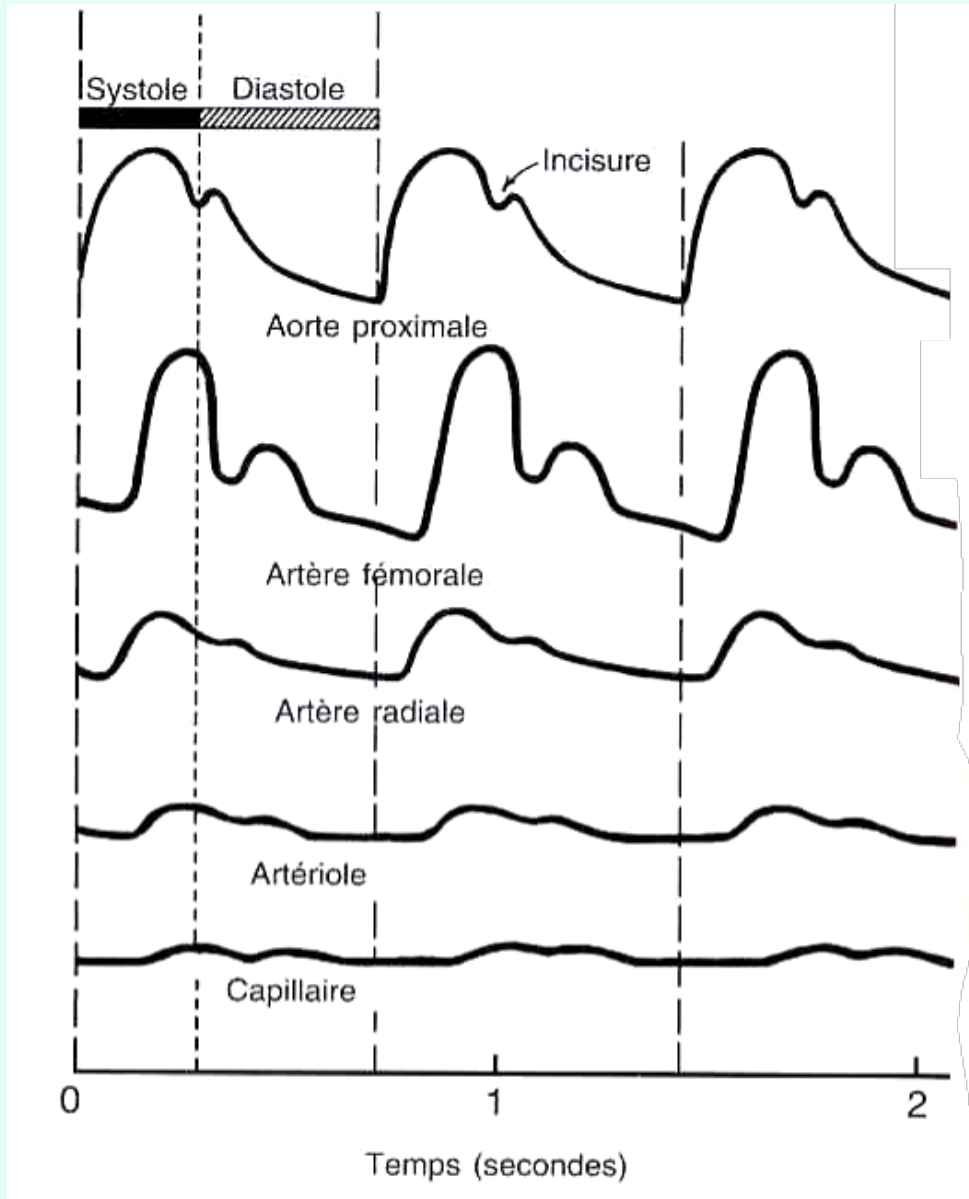
2) Evolution le long de l'arbre artériel du signal de pression :



❖ L'onde systolique devient plus étroite et pointue, l'incisure disparaît et l'onde dicrote apparaît plus tardivement et s'élargit.

❖ $\nearrow P_{\text{diff.}}$

❖ $\searrow P_{\text{moy.}}$ (« perte de charge »)



Amortissement des oscillations de pression dans les plus petites artères, les artérioles et les capillaires

II- Un exemple: LA CIRCULATION ARTERIELLE SYSTEMIQUE

A- Les éléments de la pression artérielle

- 1) Description : PS, PD, Pdiff, Pmy
- 2) Evolution le long de l'arbre artériel

B- Rôle de l'élasticité: compartiment « WINDKESSEL »

C- Facteurs influençant la pression systolique

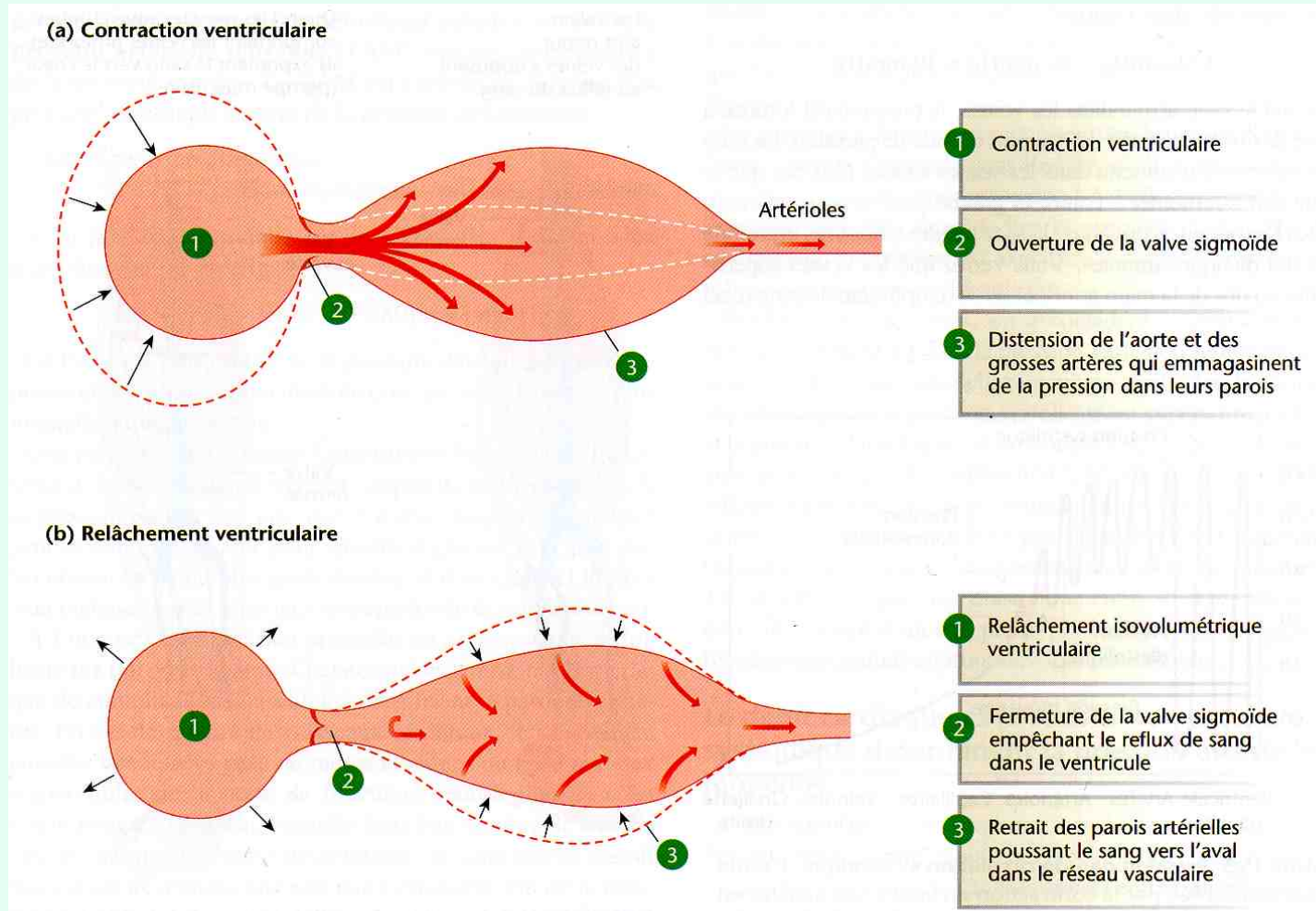
D-Facteurs influençant la pression diastolique

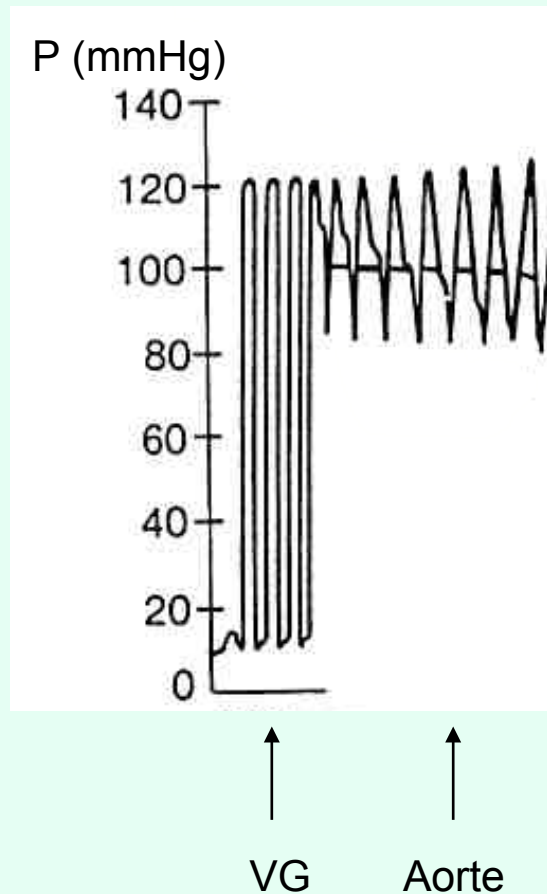
E- L'onde pulsatile, le pouls artériel :

F- La vitesse du sang dans les artères :

G- Mesure de la pression artérielle :

B- L'élasticité : compartiment « WINDKESSEL »





Stockage d'une partie du volume systolique (~60%) par déformation de la paroi artérielle durant la systole.

Durant la diastole, restitution par rétraction élastique de ce volume pour être propulsé vers la périphérie.

Empêche la pression de chuter dans les artères pendant la diastole, à l'image de celle dans le VG.

Permet de convertir le débit intermittent du VG en débit continu en périphérie (même si non uniforme)

II- Un exemple: LA CIRCULATION ARTERIELLE SYSTEMIQUE

A- Les éléments de la pression artérielle

- 1) Description : PS, PD, Pdiff, Pmy
- 2) Evolution le long de l'arbre artériel

B- Rôle de l'élasticité: compartiment « WINDKESSEL »

C- Facteurs influençant la pression systolique

D-Facteurs influençant la pression diastolique

E- L'onde pulsatile, le pouls artériel :

F- La vitesse du sang dans les artères :

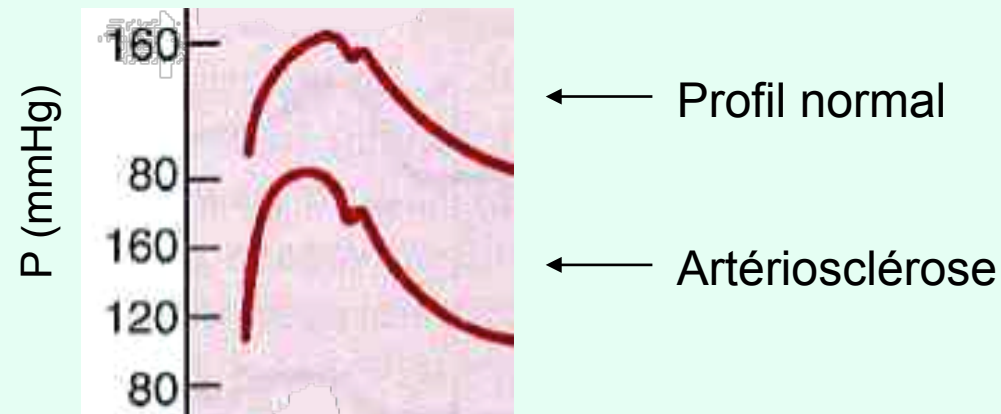
G- Mesure de la pression artérielle :

C) Facteurs influençant la pression systolique

C.1) Volume d'éjection systolique }
C.2) Débit d'éjection } Puissance de la pompe cardiaque

C.3) Altération de la distensibilité artérielle

Plus la paroi artérielle est rigide (artériosclérose, vieillissement),
plus élevée est $P_{\text{syst.}}$



II- Un exemple: LA CIRCULATION ARTERIELLE SYSTEMIQUE

A- Les éléments de la pression artérielle

- 1) Description : PS, PD, Pdiff, Pmy
- 2) Evolution le long de l'arbre artériel

B- Rôle de l'élasticité: compartiment « WINDKESSEL »

C- Facteurs influençant la pression systolique

D-Facteurs influençant la pression diastolique

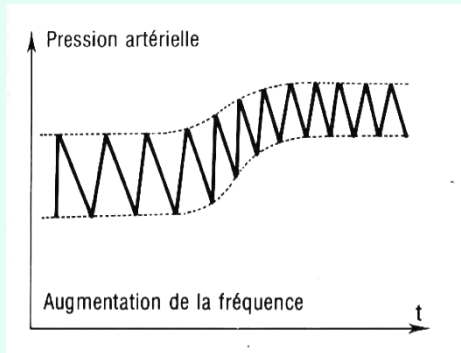
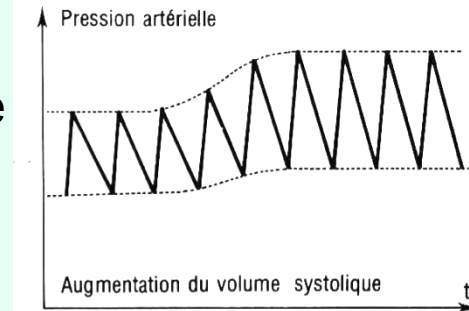
E- L'onde pulsatile, le pouls artériel :

F- La vitesse du sang dans les artères :

G- Mesure de la pression artérielle :

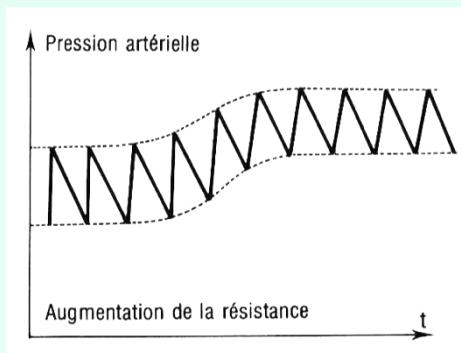
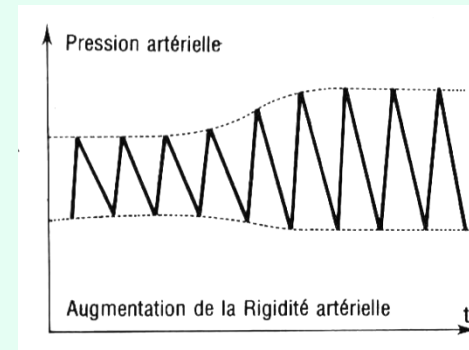
D) Facteurs influençant la pression diastolique

D.1) Effet de la pression systolique



D.2) Fréquence cardiaque

D.3) Altération de la distensibilité artérielle



D.4) Résistance Périphérique Totale

II- Un exemple: LA CIRCULATION ARTERIELLE SYSTEMIQUE

A- Les éléments de la pression artérielle

1) Description : PS, PD, Pdiff, Pmy

2) Evolution le long de l'arbre artériel

B- Rôle de l'élasticité: compartiment « WINDKESSEL »

C- Facteurs influençant la pression systolique

D-Facteurs influençant la pression diastolique

E- L' onde pulsatile, le pouls artériel :

F- La vitesse du sang dans les artères :

G- Mesure de la pression artérielle :

E- L' onde pulsatile, le pouls artériel :

1) Description:

Connu depuis l' antiquité (Hippocrate)

Durcissement passager de l' artère, perçu par le doigt qui palpe le vaisseau en le comprimant légèrement sur un plan résistant.

Chez l' homme : art. radiale+++ (carotide, humérale, fémorale, tibiale postérieure, pédieuse)

Le pouls est une onde de pression qui se propage sans transport de matière et à grande vitesse.

Tracé identique au tracé de pression. Enregistrement par un sphygmographe.

Attention, ce n' est pas l' arrivée de l' onde de débit qui est responsable du pouls (vitesse de seulement quelques dizaines de cm.s^{-1})

2) Vitesse de propagation :

Mesurable en enregistrant le pouls en différents points, $\pm$ éloignés du cœur (retard de la pulsation artérielle sur la systole ventriculaire - distance)

Plusieurs m.s^{-1} (aorte $\sim 4 \text{ m.s}^{-1}$, artères périphériques $7-12 \text{ m.s}^{-1}$, augmente quand la compliance diminue)

II- Un exemple: LA CIRCULATION ARTERIELLE SYSTEMIQUE

A- Les éléments de la pression artérielle

1) Description : PS, PD, Pdiff, Pmy

2) Evolution le long de l'arbre artériel

B- Rôle de l'élasticité: compartiment « WINDKESSEL »

C- Facteurs influençant la pression systolique

D-Facteurs influençant la pression diastolique

E- L' onde pulsatile, le pouls artériel :

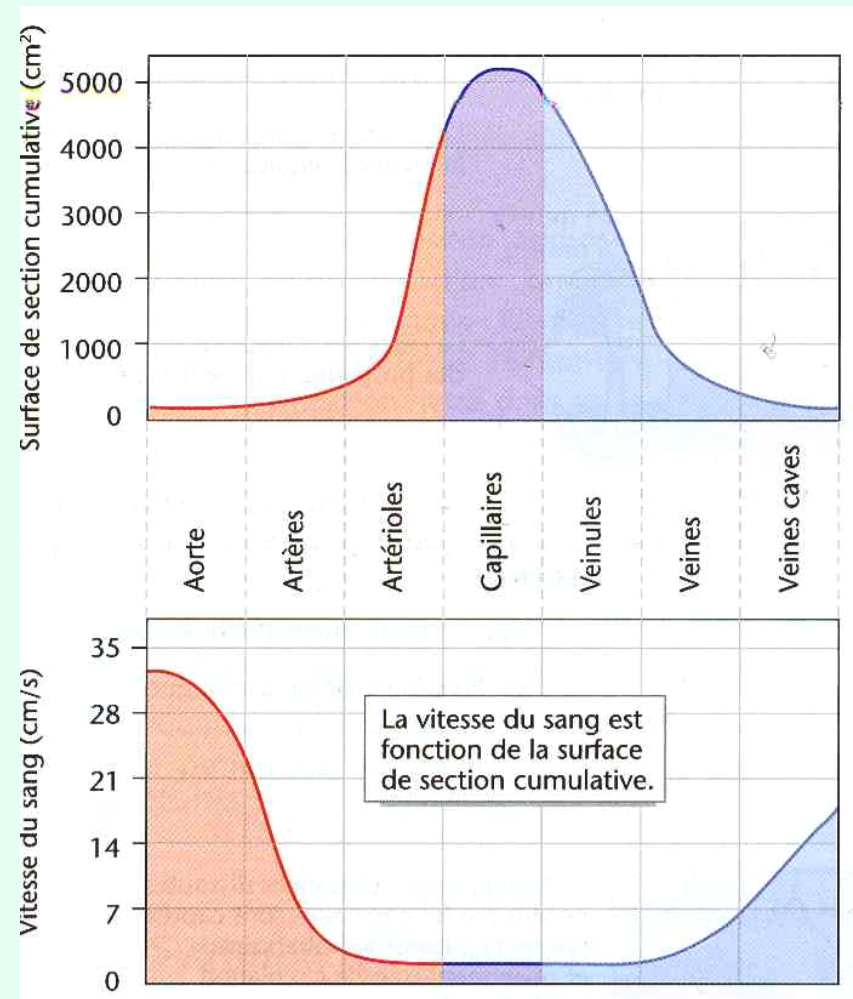
F- La vitesse du sang dans les artères :

G- Mesure de la pression artérielle :

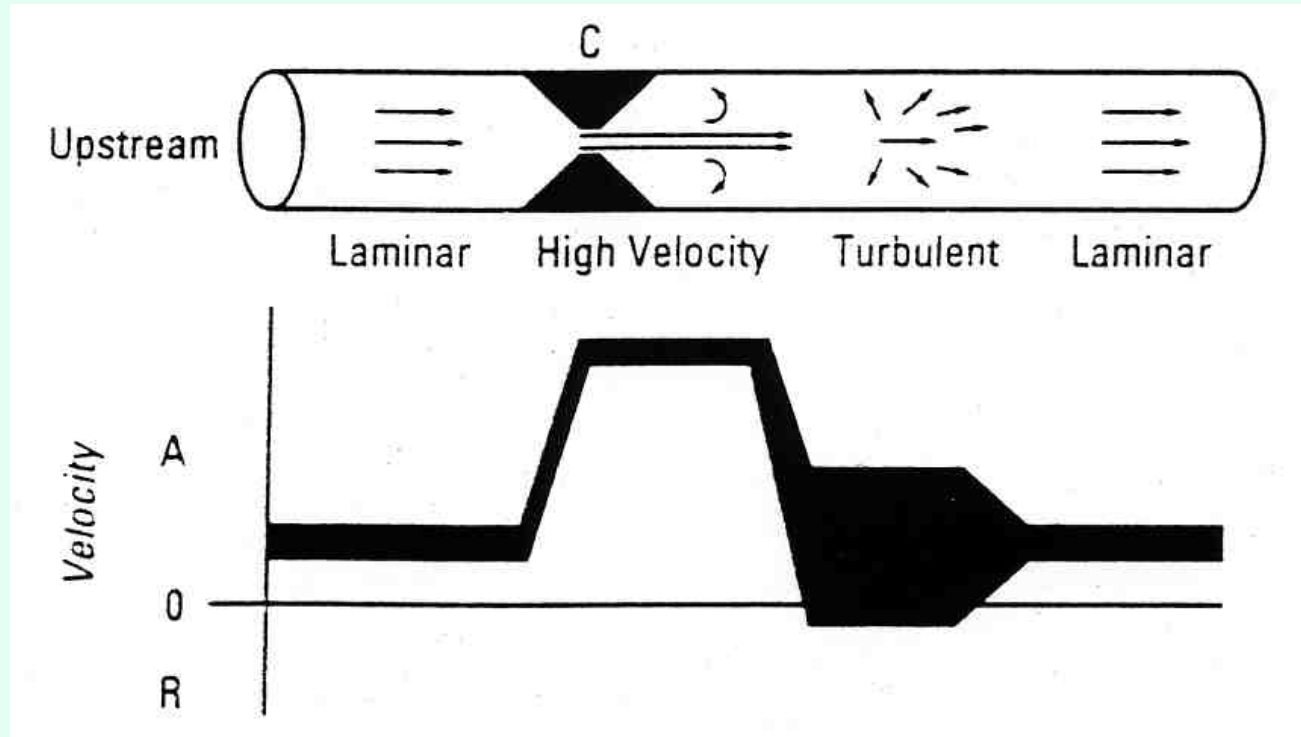
F- La vitesse du sang dans les artères :

Indépendante de la vitesse de propagation du pouls

1) Vitesse moyenne



2) Vitesse instantanée (vélocimétrie)



Examen Doppler : émission d'un faisceau ultra-sonore dont une partie est réfléchi et recueillie, permettant d'évaluer la vitesse instantanée d'écoulement.

II- Un exemple: LA CIRCULATION ARTERIELLE SYSTEMIQUE

A- Les éléments de la pression artérielle

1) Description : PS, PD, Pdiff, Pmy

2) Evolution le long de l'arbre artériel

B- Rôle de l'élasticité: compartiment « WINDKESSEL »

C- Facteurs influençant la pression systolique

D-Facteurs influençant la pression diastolique

E- L'onde pulsatile, le pouls artériel :

F- La vitesse du sang dans les artères :

G- Mesure de la pression artérielle :

G- Mesure de la pression artérielle :

1) Mesure directe :

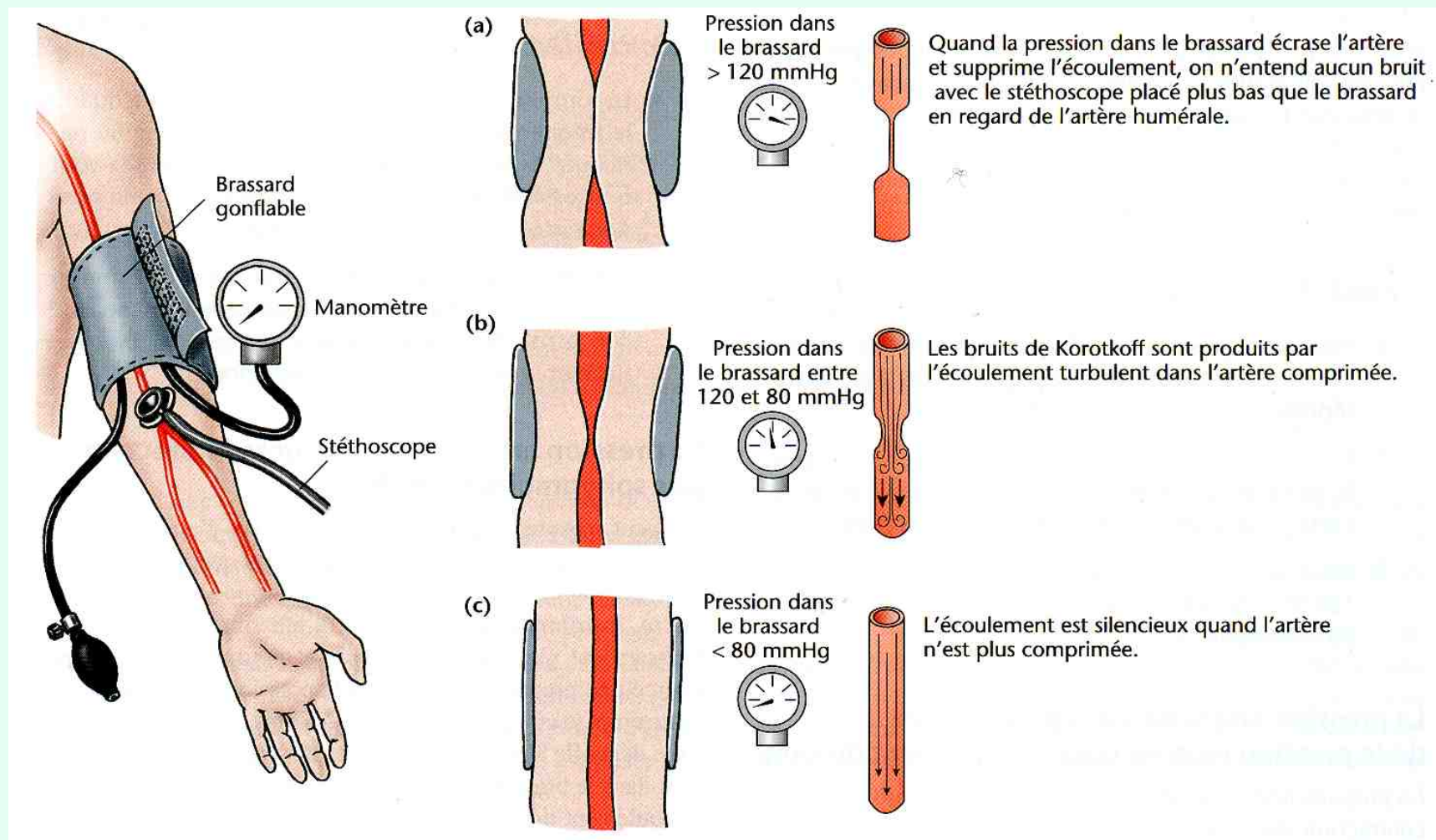
« Sanglante » - nécessite la ponction d'une artère et sa connexion à un dispositif manométrique.

Permet un enregistrement en continu et la mesure instantanée de la pression artérielle au cours du cycle cardiaque.

Utilisées lors de surveillances hémodynamiques (anesthésie-réanimation) en milieu spécialisé mais ne conviennent pas à l'exploration quotidienne de routine.

2) Mesure indirecte - la SPHYGMOMANOMETRIE

Méthode auscultatoire de Riva-Rocci



Méthode palpatoire :

Idem mais on prend le pouls radial, lorsqu' on dégonfle le brassard, la réapparition du pouls signe le point P_{syst} .

En général sous-estime P_{syst} .