

# BIOPHYSIQUE DE LA CIRCULATION COURS 3 :

## Sommaire :

### 1/Mesure des pressions

#### A) Mode de mesure et unités

Mode de mesure

Unités

#### B) La pression artérielle

Définitions

Conditions de mesure

### 2/Applications cliniques en santé

#### A) Auscultation cardiovasculaire

Condition d'apparition d'un souffle

Souffle vasculaire

#### B) Mesure auscultatoire de la PA

Recommandation de la HAS en 2005 pour la mesure de la PA

**Les ajouts du cours présentiel seront de cette couleur.**

*Ce qui est en italique n'est pas à apprendre mais peut aider à la compréhension.*

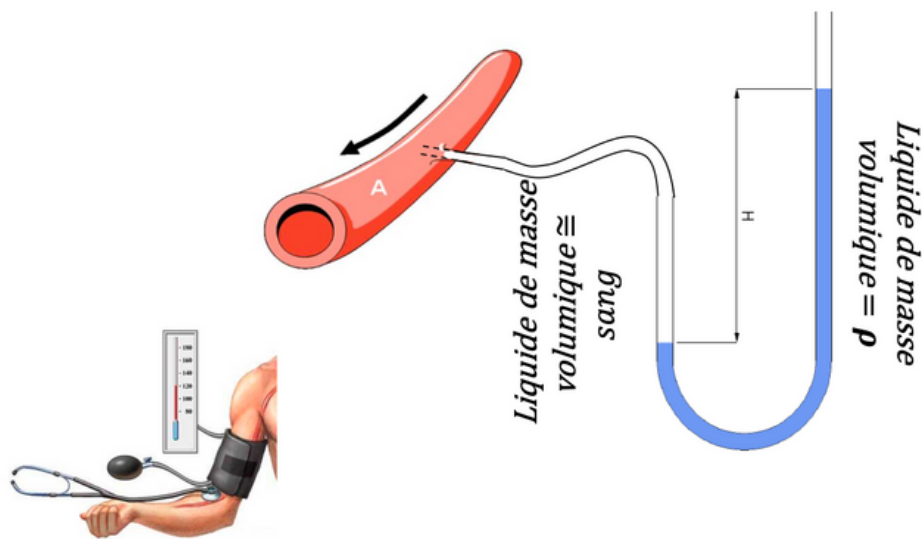
# I. Mesure des pressions

## A) Mode de mesure et unités

### Mode de mesure

L'unité des pressions va dépendre des modes de mesures que l'on va utiliser. Le mode de mesure est basé (et surtout au début) sur des manomètres à colonne de liquide.

Si on prend l'exemple au niveau d'une artère (schéma ci-contre) :



- On place un capteur au niveau de la **lumièrre d'une artère** et on le relie à un système de tube en U dans lequel il y a un liquide.
- La **différence de hauteur entre les branches du U va équilibrer la pression** qui règne et va donner accès à la mesure de cette pression grâce à la relation donnée :

$$P = \rho \cdot g \cdot h \Leftrightarrow h = \frac{P}{\rho \cdot g} \quad g = \text{accélération de la pesanteur} \approx 9,8 \text{ m.s}^{-2}$$

Lorsqu'on s'intéresse aux fluides corporels, on va se baser sur des unités hors S.I :

- **Millimètre de mercure (mmHg)** : c'est l'unité utilisée pour mesurer la **Pression Artérielle (PA)** : **1mmHg = 133Pa** (= 400/3 Pa, pratique pour les calculs)

- **Centimètre d'eau (cmH<sub>2</sub>O)** : on utilisera cette unité pour mesurer la **Pression Veineuse Centrale (PVC)** : **1cmH<sub>2</sub>O = 98Pa**

	Eau H <sub>2</sub> O	Mercure Hg
$\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	1.10 <sup>3</sup>	13,6.10 <sup>3</sup>

## Unités

Les unités de pression en pratique sont **basées sur des hauteurs de liquides**. Les fluides sont ainsi choisis en fonction des valeurs des pressions moyenne à mesurer :

→ **mmHg** : on a  **$\rho_{Hg}=13,6 \cdot 10^3 \text{kg.m}^{-3}$**

C'est l'unité utilisée pour mesurer la **Pression Artérielle (PA)** +++

**PAmoyenne=13kPa** soit :

$$h = \frac{13 \cdot 10^3}{13,6 \cdot 10^3 \times 9,8} = 97 \text{ mm Hg}$$

Cela correspond à **une dizaine de centimètres de mercure** et rend ainsi la colonne manipulable en pratique (la colonne ne s'élèvera que de quelques cm et c'est donc très raisonnable en pratique à manipuler).

Ainsi, **1 mmHg = 13,6 · 10<sup>3</sup> x 9,8 x 10<sup>-3</sup> = 133 Pa**

Les manomètres de mesure de la PA classiques sont organisés sous la forme d'un **tube en U** un peu modifié particulier. Une des branches du U est un réservoir permettant de considérer que ce niveau du côté du U est stable, qu'il ne se modifie pas significativement. On peut ainsi **lire la pression directement sur la partie la plus fine du tube.**

→ **cmH<sub>2</sub>O** : on a  $\rho_{H_2O} = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

On utilisera cette unité pour mesurer la **Pression Veineuse Centrale (PVC) +++**

A la différence de la PA, la PVC est inférieure ou égale à 1kPa (**PVC ≤ 1kPa**).

Donc PVC ≤ 1kPa soit :

$$h \leq \frac{1.10^3}{1.10^3 \times 9,8} = 10 \text{ cm } H_2O$$

Ainsi, le **cmH<sub>2</sub>O** est **plus adapté aux pressions veineuses**, bien moins importantes que les pressions artérielles.

Ainsi, **1 cmH<sub>2</sub>O = 1.10<sup>3</sup> x 9,8 x 1.10<sup>-2</sup> = 98Pa ≈ 100Pa**

Astuce :

- Pour passer de Pa à mmHg, divisez par 1,33
- Pour passer de kPa à mmHg, multipliez par 7,5

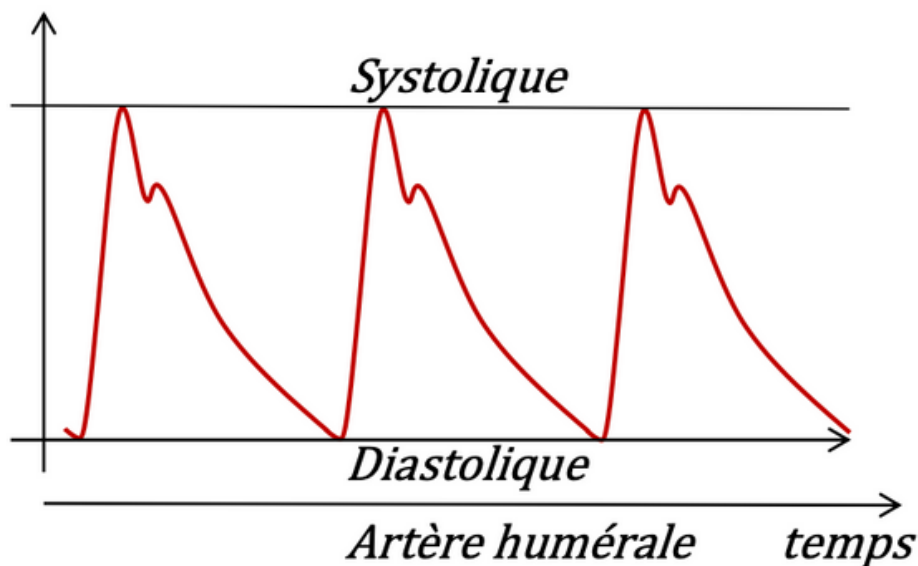
## B) La pression artérielle

### Définitions

La **PA**, c'est la pression du sang produite par le **cœur** dans les **artères** (qu'on appelle aussi souvent tension artérielle à tort, dont l'hypertension artérielle découle, que l'on devrait appeler hyperpression).

La pression artérielle moyenne est égale à **98mmHg** soit **13 kPa**.

Mais elle est en fait **variable au cours du cycle cardiaque**. Elle évolue entre un **minimum diastolique** (lorsque le cœur se dilate/distend, il se remplit) et un **maximum systolique** (lorsque le cœur se contracte et envoie le sang dans les artères).



Cette **pression artérielle moyenne** qui règne dans les artères correspond à la **pression statique** selon **Bernoulli** (cf *circu 1*), la **pression qui s'exerce sur les parois**.

## Conditions de mesure

Pression artérielle (PA): C'est la **pression du sang dans les artères produite par le coeur**. Elle est liée à l'activité du coeur => on considère que c'est la **pression à la sortie du coeur**.

On la mesure **quelle que soit la position du sujet au niveau du coeur**, c'est-à-dire au **niveau du bras** → Niveau 0 = **niveau du Coeur**.

Rappel :L'équation de Bernoulli en termes de pression:

$$P_t = \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 + P = \text{constante}$$

$\rho gh$  = pression de pesanteur

$\frac{1}{2}\rho v^2$  = pression cinétique

$P$  = pression statique

### Mesure debout:

Pour déterminer les pressions artérielles mesurées au niveau de la tête ou des pieds quand le sujet est en position debout, on va utiliser l'**équation de Bernoulli**.

En effet, la relation de Bernoulli va nous permettre de **déterminer la PA** en fonction des différentes positions, avec comme **pression statique (=latérale)** la **PAmoy**.

→On prend pour valeur de référence la **pression artérielle au niveau du coeur**

→On prend **PA(0) = 96 mmHg = 13 kPa**

→Et on soustrait à la PA (0)  $\rho gh$ , ce qui nous donne **PA = 13 kPa -  $\rho gh$**

→Pour  $\rho$  on considère que le sang a une masse volumique égale à celle de l'eau donc  **$10^3 \text{kg/m}^3$**

## Equation de Bernoulli :

Calcul des pressions en position debout :

$$\rho gh + PA = 13kPa = 96 mmHg$$

$$PA = 13.10^3 - \rho gh$$

$$\rho_{sang} = \rho_{eau} = 10^3 kg.m^{-3}$$

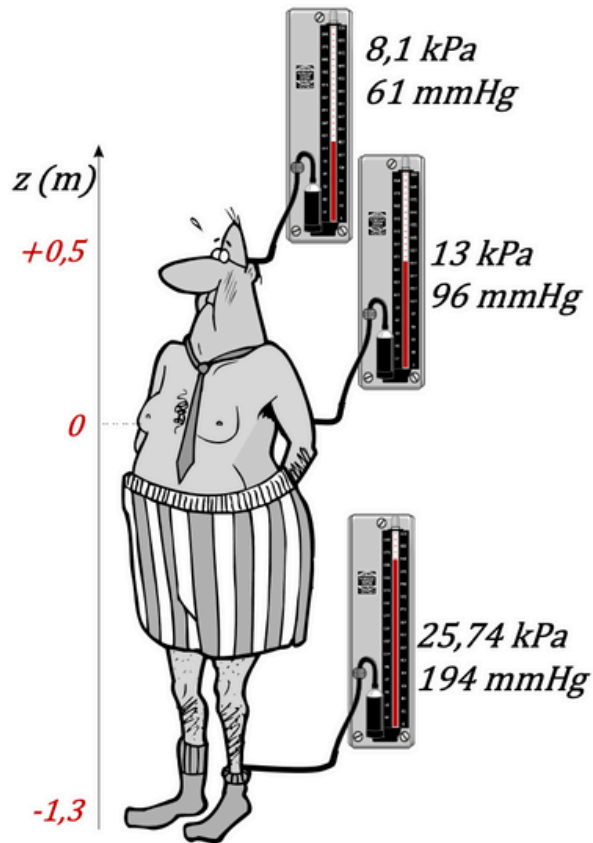
- Au niveau de la **tête**, si on considère la tête à une distance de 50 cm du **coeur** on obtient :

$$\begin{aligned} \text{Tête: } PA(+0,5) &= 13.10^3 - (10^3 \times 9,8 \times 0,5) \\ &= 13.10^3 - 4,9.10^3 = 8,1 kPa \\ &= \frac{8,1.10^3}{133} = 61 mmHg \end{aligned}$$

- Au niveau des **pieds** c'est pareil, si on considère que les pieds son situés en dessous du **coeur** à 1,30m on a:

$$\begin{aligned} \text{Pieds: } PA(-1,3) &= 13.10^3 + (10^3 \times 9,8 \times 1,3) \\ &= 13.10^3 + 12,74.10^3 = 25,74 kPa \\ &= \frac{25,74.10^3}{133} = 194 mmHg \end{aligned}$$

**La valeur mesurée de la PA dépend du niveau de la mesure**

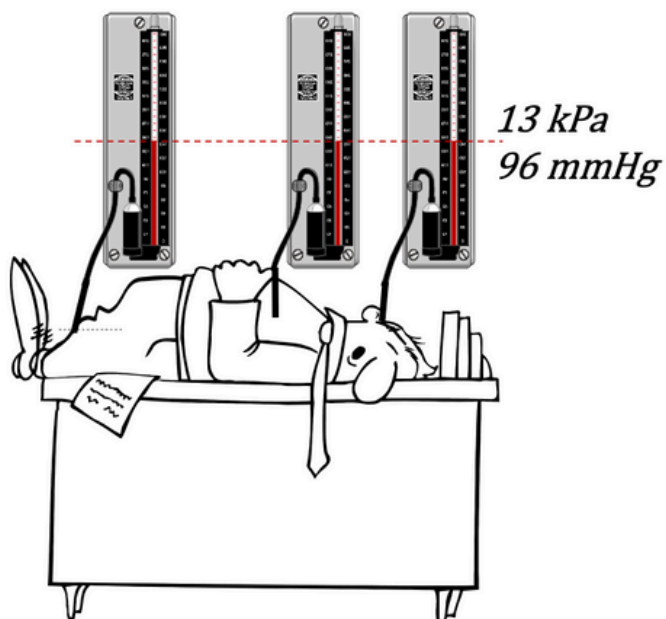


Mesure allongé :

$$\rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 + PA = 13 \text{ kPa}$$

$$h = 0 \text{ et } v = 0 \Rightarrow PA = 13 \text{ kPa}$$

quelle que soit la position de mesure



**La valeur de PA sera la même quelle que soit le niveau de mesure**

## Conclusion :

Les pressions physiologiques utilisent des unités liées aux méthodes de mesures utilisant des **hauteurs de liquide**.

La **pression artérielle varie**, en **position verticale**, en application de la **loi de Bernoulli**.

## II. Applications cliniques en santé

### A) Auscultation cardiovasculaire

#### Condition d'apparition d'un souffle

*rappel sur le nombre de Reynolds :*

- *On parle d'écoulement laminaire lorsque c'est silencieux*
- *L'écoulement sera dit turbulent lorsque c'est bruyant à l'auscultation (on entend un « souffle »)*

*Afin de déterminer si le régime est turbulent ou laminaire, on utilise le nombre de Reynolds.*

- *Si  $Re > 10\ 000$ , alors il est turbulent.*
- *Si  $Re \leq 2000$ , alors il est laminaire.*
- *Entre les 2, instabilité.*

Le **diamètre** est un **facteur de turbulence** et est **lié à la vitesse** (elle-même un facteur de turbulence) : **si d diminue, v augmente**.

Si d diminue, le risque de turbulence diminue aussi.



**ATTENTION +++ Ceci ne s'applique que si le diamètre varie de manière isolée**

En pratique, si d diminue, v augmente (principe de continuité du débit).

Il faut donc réécrire la formule en introduisant le débit, ce qui donne :

A débit constant,  $Q = Sv$  ; avec une section circulaire :  $Q = \frac{\pi d^2 v}{4} \Rightarrow d \cdot v = \frac{4Q}{\pi}$

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\eta} = \frac{\rho \cdot 4Q}{\eta \cdot \pi \cdot d}$$

**Ainsi, lorsque d diminue, le risque de turbulence augmente.**

En pratique, on utilisera plutôt cette formule lorsque l'on parle de variations de diamètre SAUF : lorsque l'on parle augmentation/diminution isolée du diamètre.

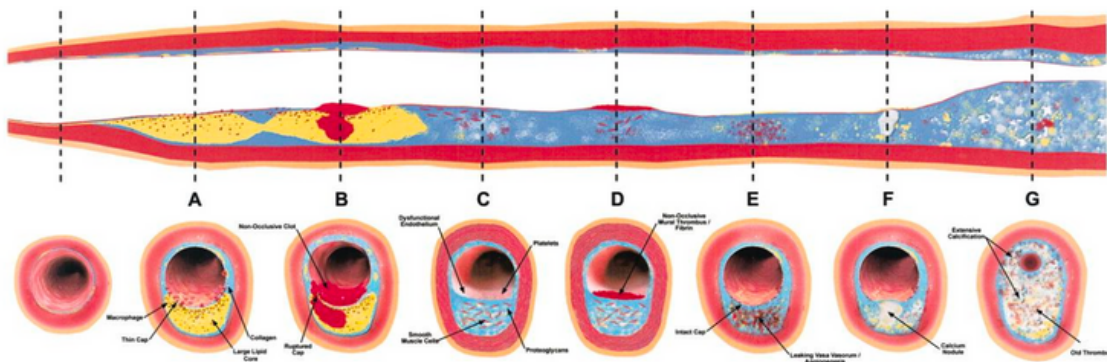
**Causes de souffles (↗ Re) :**

<p><b>Causes LÉSIONNELLES</b></p>	<p>d ↓</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Souffle <u>vasculaire</u> : sténose vasculaire</li> <li>✓ Souffle <u>cardiaque</u> : sténose ou fuite valvulaire cardiaque</li> </ul>
<p><b>Causes FONCTIONNELLES</b></p>	<p>Q ↑</p> <p>η ↓</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Souffle <u>d'effort</u></li> <li>✓ Souffle lié à l'anémie (anémie: η ↓ et Q ↑ )</li> </ul>

# Souffle vasculaire

Athérosclérose :

- Formation de **plaques d'athérome** -> **diminution** progressive **du diamètre**
- Processus : **dépôts lipidiques** au début + **fibrose** ensuite -> **réduction calibre** d'une artère
- Un **souffle vasculaire** est audible au **stéthoscope** (écoulement localement **turbulent**) en regard de l'artère sténosée (carotide, rénale, fémorale).



## B) Mesure auscultatoire de la PA

La mesure auscultatoire de la PA (stéthoscope) est :

- **Non invasive** (pas douloureuse, aucun caractère qui nuit au patient)
- **Indirecte** (on vient pas placer un capteur directement sur les vaisseaux)
- Basée sur la **création d'une sténose par le brassard** (par contrepression)
- Réalisée **au niveau de l'artère humérale**

-> Puis, on effectue l'auscultation en aval (c'est-à-dire en dessous de l'artère humérale) : interprétation des **bruits de KOROTKOV**

# Souffle cardiaque

## Exercice

Résultats de l'auscultation au niveau d'une sténose aortique dans les 2 situations suivantes ?

Situation 1 :  $d = 20 \text{ mm}$  et vitesse d'éjection  $v = 0,4 \text{ m.s}^{-1}$

Situation 2 :  $d = 15 \text{ mm}$  et vitesse d'éjection  $v = 4 \text{ m.s}^{-1}$

On donne :  $\eta = 4.10^{-3} \text{ kg.m}^{-1} .\text{s}^{-1}$      $\rho = 1.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

Résultats de l'auscultation = régime d'écoulement = calcul de  $Re = \frac{\rho dv}{\eta}$

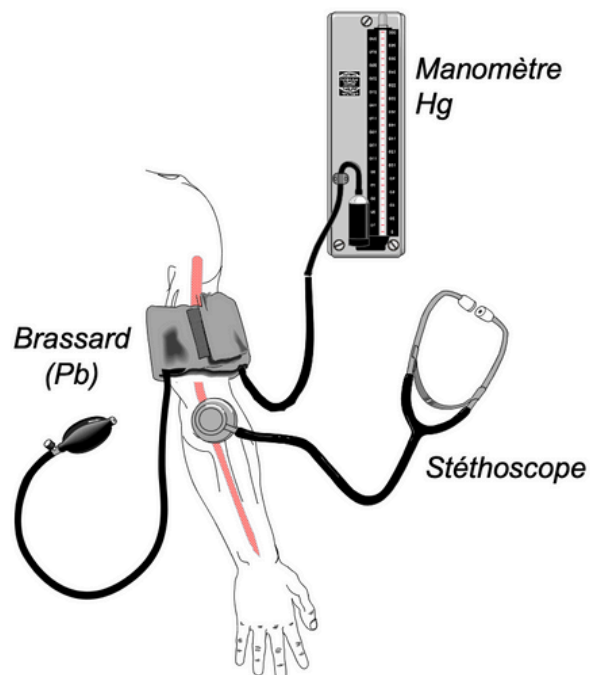
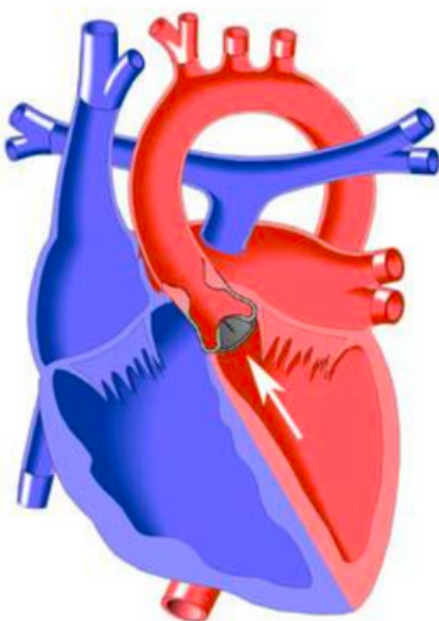
*Rappel*

si  $Re \leq 2000 \Rightarrow$  régime laminaire

si  $Re > 10000 \Rightarrow$  régime turbulent

$$\text{Situation 1: } Re = \frac{\rho dv}{\eta} = \frac{1.10^3 \times 2.10^{-2} \times 0,4}{4.10^{-3}} = \frac{8.10^3}{4} = 2000 \quad \Rightarrow \text{ laminaire = pas de souffle}$$

$$\text{Situation 2: } Re = \frac{\rho dv}{\eta} = \frac{1.10^3 \times 15.10^{-3} \times 4}{4.10^{-3}} = \frac{60.10^3}{4} = 15000 \quad \Rightarrow \text{ turbulent souffle}$$

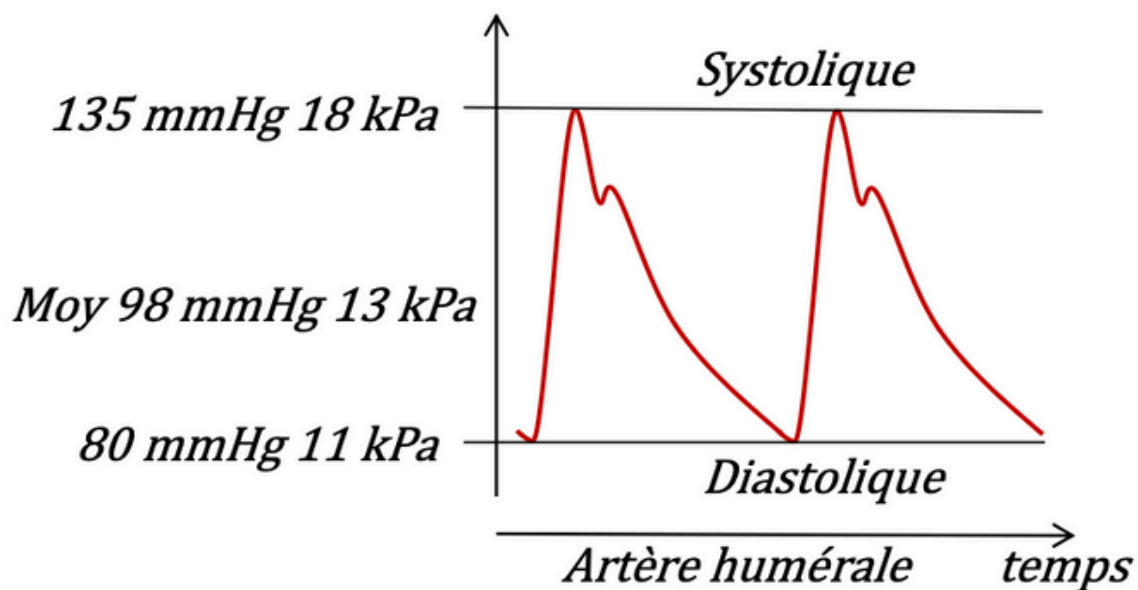


## B) Mesure auscultatoire de la PA

La mesure auscultatoire de la PA (stéthoscope) est :

- **Non invasive** (pas douloureuse, aucun caractère qui nuit au patient)
- **Indirecte** (on vient pas placer un capteur directement sur les vaisseaux)
- Basée sur la **création d'une sténose par le brassard** (par contrepression)
- Réalisée **au niveau de l'artère humérale**

-> Puis, on effectue l'auscultation en aval (c'est-à-dire en dessous de l'artère humérale) : interprétation des **bruits de KOROTKOV**



**1 -  $P_{\text{brassard}} > P_{\text{A systole}}$  : aucun bruit**

⇒ On gonfle le brassard jusqu'à contrer la PA : cela collabre l'artère

On n'entend rien car le sang ne circule pas !

①  $P_{\text{b}} > P_{\text{A}}$   
systolique



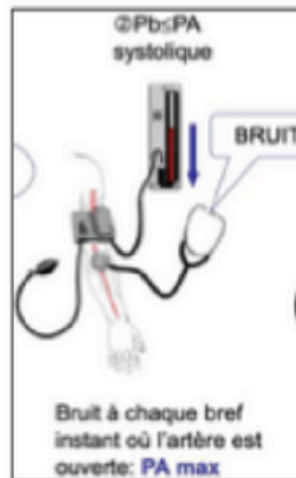
**2 -  $P_{\text{brassard}} \leq P_{\text{A systole}}$  :  
Bruit sec intermittent**

⇒ Peu à peu on diminue la pression du brassard jusqu'à passer en dessous de la PA maximale =  $P_{\text{systole}}$

⇒ Bruit bref audible à chaque moment où l'artère est perméable (ouverte) sous l'effet de la pression artérielle

- ⇒ On entend un bruit dû à l'écoulement turbulent en systole.
- ⇒ Apparition du 1er bruit sec: c'est la PA maximale soit la PA systolique

②  $P_{\text{b}} = P_{\text{A}}$   
systolique

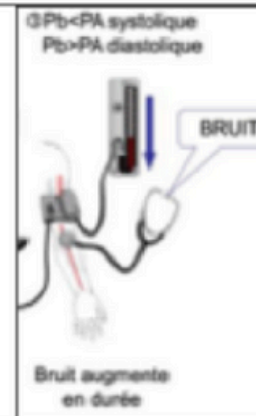


**3 -  $P_{\text{A diastole}} < P_{\text{b}} < P_{\text{A systole}}$  :  
Bruit qui s'allonge et qui persiste**

⇒ On continue à diminuer la pression du brassard, on entend alors un **bruit qui augmente en durée et change de timbre**

⇒ En systole, la circulation est redevenue laminaire, mais est turbulente en diastole

③  $P_{\text{b}} < P_{\text{A systolique}}$   
 $P_{\text{b}} > P_{\text{A diastolique}}$



**4 -  $P_{\text{b}} < P_{\text{A diastole}}$   
Disparition de tout bruit**

奈 On diminue toujours la pression du brassard jusqu'à ne plus rien entendre le sang circule à nouveau de manière laminaire en diastole et en systole, l'artère n'est plus compressée.

On obtient donc la PA minimale = PA diastolique ++

④  $P_{\text{b}} < P_{\text{A diastolique}}$



### 8.2.3- Interprétation des bruits de Korotkov

Pb= pression dans le brassard

Pb > PA systolique

PA max

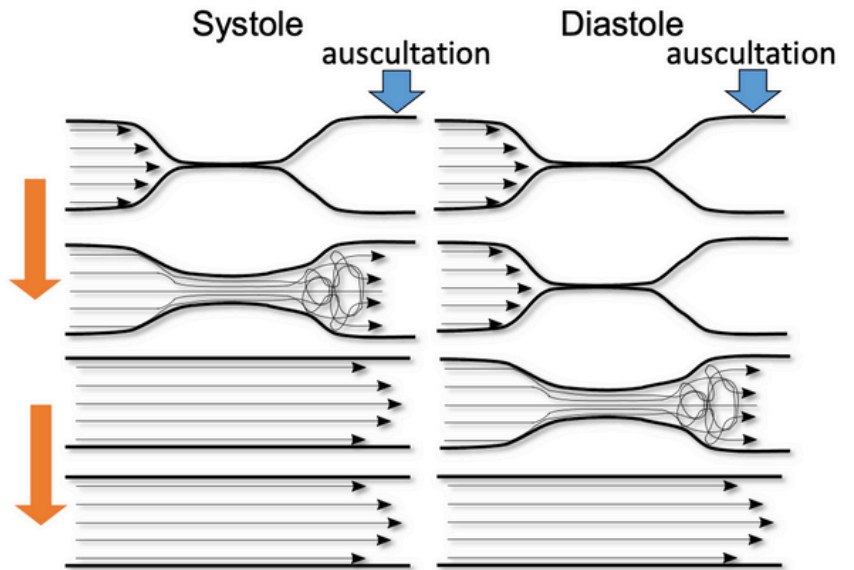
Turbulence sys= bruit sec

PA dia < Pb < PA sys

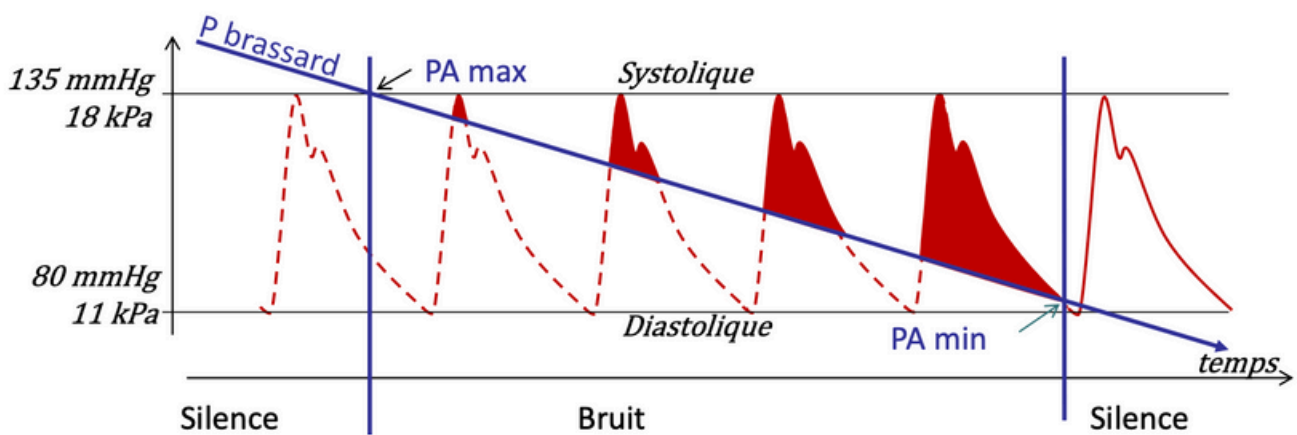
Turbulence dia = bruit qui s'allonge

PA min

Pb < PA diastolique



Du point de vue physique, les **bruits de Korotkov** correspondent aux **limites entre écoulement laminaire et turbulent**.



La **pression maximale** est **exactement égale** à la **pression artérielle systolique** ; mais la **PA minimale surestime** la **pression diastolique** car on mesure la **PAmin** lors du passage du sang en écoulement laminaire (on attend qu'il n'y ait plus du tout de bruit).

On considère que **PAmin = PAdiast + 2mmHg**.

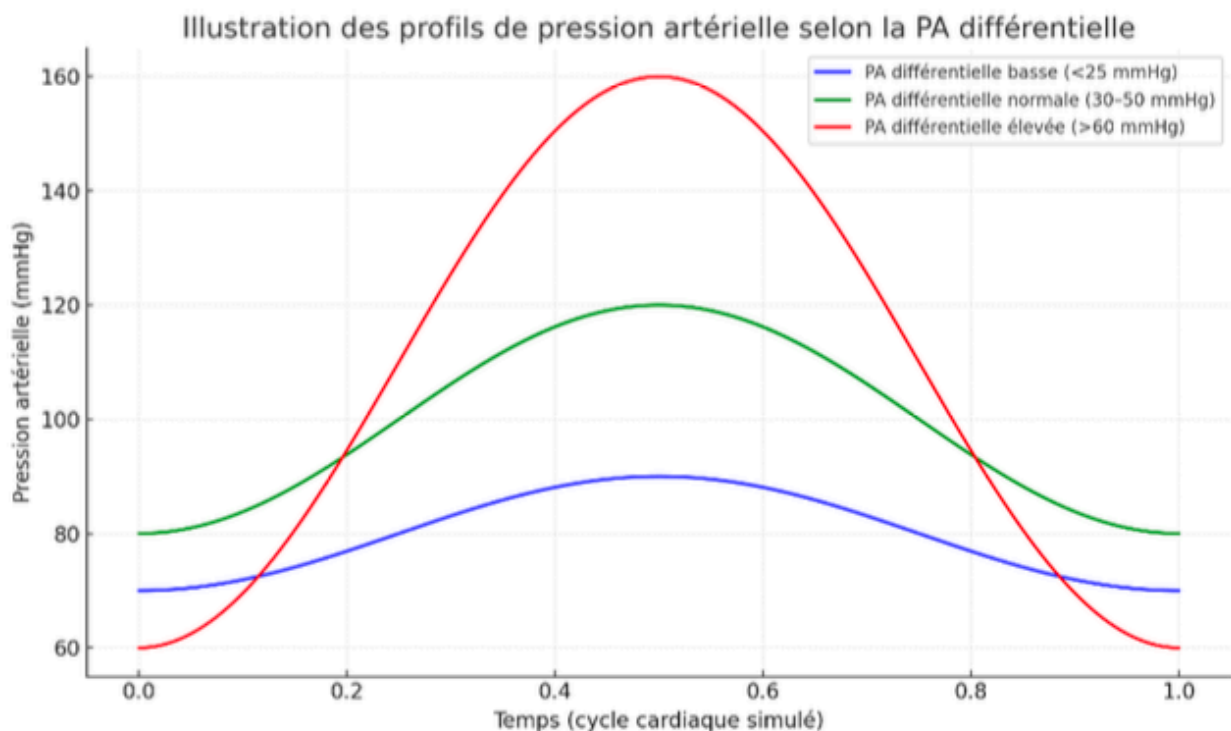
La Pression Artérielle moyenne est donnée par la relation suivante :

$$PA_{moy} = \frac{PA_{sys} + 2PA_{diast}}{3} = 13 \text{ kPa (98 mmHg)}$$

→ Valeurs normales : **PA max < ou = 140mmHg ; PAmin < ou = 90mmHg**

**La Pression Artérielle différentielle est donnée par la relation suivante :**

$$\text{Pression Artérielle différentielle} = PA_{diff} = PA_{syst} - PA_{diast}$$



C'est une valeur extrêmement importante également pour mesurer l'état de votre patient, C'est un marqueur de la compliance artérielle.

Si votre patient a vieilli, que ses artères se sont rigidifiées, vous allez avoir tendance à avoir une augmentation de votre pression artérielle différentielle:

La normale c'est entre 30 et 50 mmHg, si votre différence est supérieure à 50 mmHg. ça veut dire que vous avez une baisse de la compliance artérielle, une rigidification des vaisseaux. Si, à l'inverse, votre différence est inférieure à 30 mmHg, donc vous voyez un profil assez plat, cela veut dire que vous avez un bas débit cardiaque et une mauvaise perfusion de vos tissus (hypoperfusion)

C'est un marqueur aussi de gravité, de mauvais pronostic du patient.

## Conclusion :

- Un **souffle audible** = écoulement **turbulent**
  - Cause **lésionnelle** : **sténose** vasculaire ou valvulaire.
  - Cause **fonctionnelle** : modifications de **débit** et/ou de **viscosité**.
- Mesure auscultatoire de la pression artérielle par création d'une sténose.
- **Les bruits induits (de Korotkov)** donnent **accès aux pressions max et min** qui reflètent (indirectement) les pressions **systoliques** et **diastoliques**.

*Langage courant : « une tension artérielle de 13/8 »*

*Une pression artérielle **maximale** (systolique) de **130mmHg** et **minimale** (≈ diastolique) de **80mmHg**.*

# Recommandation de la HTA pour la mesure de la PA

**Ce sont les recommandations de la société savante de la pression artérielle, qui nous dit comment mesurer la PA et on y retrouve tout ce qu'on a vu en biophysique aujourd'hui.**

## RECOMMANDATION 1

Il est recommandé de mesurer la pression artérielle à l'aide d'un tensiomètre électronique. En cas de doute sur la fiabilité de la mesure électronique, la mesure auscultatoire est recommandée. Il est recommandé d'exprimer les valeurs de la pression artérielle en **mmHg**.

## RECOMMANDATION 2

Il est recommandé d'utiliser les tensiomètres ayant obtenu le **marquage CE** et validés. CE : Conformité Européenne

## RECOMMANDATION 3

Il est recommandé d'utiliser des tensiomètres avec **brassard huméral**, les tensiomètres au poignet exposant à plus d'erreurs d'utilisation.

## RECOMMANDATION 4

Il est recommandé d'utiliser des tensiomètres dont le **brassard est adapté à la circonférence du bras**.

## RECOMMANDATION 5

Il est recommandé de mesurer la pression artérielle **en position assise ou couchée après quelques minutes de repos**.

## RECOMMANDATION 6

La mesure répétée en consultation doit comporter **au moins 3 mesures consécutives**, la moyenne des 2 dernières mesures détermine le niveau de pression artérielle

*Dédi à ma copine qui est tout simplement la meilleure*