

# BIOPHYSIQUE DE LA CIRCULATION 3

*J'ESPERE QUE VOUS ETES CHAUDS CE SOOOOOOOIR ! On se retrouve avec Biophy Circu 3 aka le plus intéressant, donc on enfle ses lunettes, on prend son café, on va sur la bu virtuelle et on est au taquet. C'est un vrai petit bonheur, ça coulisce tout seul.*

## I) MESURES DES PRESSIONS EN SANTÉ

### A) MODE DE MESURE ET UNITÉS

#### 1) MODE DE MESURE

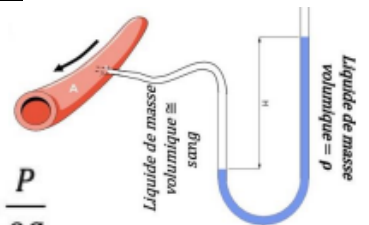
- ❖ Les unités dépendent du **mode de mesure**
- ❖ Le mode de mesure est basé sur des manomètres à colonnes de liquide

Ex au niveau des artères :

→ On place un capteur dans la lumière de l'artère, relié à un système de tube en U

→ La différence de hauteur entre les branches du U nous donne accès à la **mesure de la pression** :

$$P = \rho g h \Rightarrow h = \frac{P}{\rho g}$$



En santé, on n'utilise pas le Pa, on va utiliser les **unités issues des manomètres** :

- Le **mmHg** (millimètre de mercure)
- le **cmH2O** (centimètre d'eau)

#### 2) UNITÉS

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



Le millimètre de mercure (mmHg)	Le centimètre d'eau (cmH2O)
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Avec <math>\rho_{Hg} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}</math></li> <li>❖ Cette unité est utilisée pour mesurer la pression artérielle ++</li> <li>❖ PA moy = 13kPa soit <math>h = \frac{13 \cdot 10^3}{13,6 \cdot 10^3 \cdot 9,8} = 97 \text{ mmHg}</math> donc une dizaine de mm de mercure</li> </ul> <p><b>1 mmHg = 133 Pa +++++</b></p> <p><i>Pour passer de l'un à l'autre on fera un produit en croix classique</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Avec <math>\rho_{H2O} = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}</math></li> <li>❖ Cette unité est utilisée pour la pression veineuse ++</li> <li>❖ PVC moy <math>\leq 1 \text{ kPa}</math> soit <math>h = \frac{1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3 \cdot 9,8} = 10 \text{ cmH2O}</math> la pression veineuse est bien moins importante que la pression artérielle donc le cmH2O est adapté</li> </ul> <p><b>1 cmH2O <math>\approx</math> 100 Pa +++</b></p>

## B) LA PRESSION ARTERIELLE

### 1) DEFINITION

→ La pression artérielle est la pression du sang dans les artères, produites par le cœur

On appelle communément la PA, la « tension artérielle » mais c'est un abus de langage :

→ La pression s'exprime en  $\text{N.m}^{-2}$  alors que la tension s'exprime en  $\text{N.m}^{-1}$

→ La pression exerce une force sur une paroi, il est donc plus approprié de parler de pression

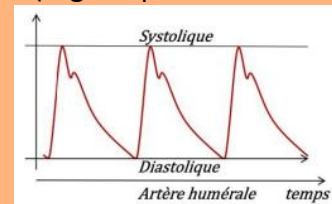
*En pathologie on parle d'« Hypertension Artérielle » mais là aussi c'est un abus de langage*

La valeur du PA **varie dans le temps en fonction du cycle cardiaque** (régime pulsatile → systole/diastole) avec un :

→ **Minimum diastolique** (quand le cœur se dilate)

→ **Maximum systolique** (quand le cœur se contracte)

→ **Valeur moyenne de 13 kPa (98 mmHg)**



→ La pression est directement liée au cœur, elle correspond à la pression statique dans **l'équation de Bernoulli ++**

### 2) LES CONDITIONS DE MESURE

La pression est **liée à l'activité du cœur** → On considère que c'est la **pression à la sortie du cœur**.

On la mesure quel que soit la position du sujet **au niveau du cœur = au niveau du bras**

La relation de Bernoulli va nous permettre de déterminer la PA en fonction des différentes positions car **la pression statique (= latérale) de l'équation va correspondre à la PAmoy ++**

#### Position allongée

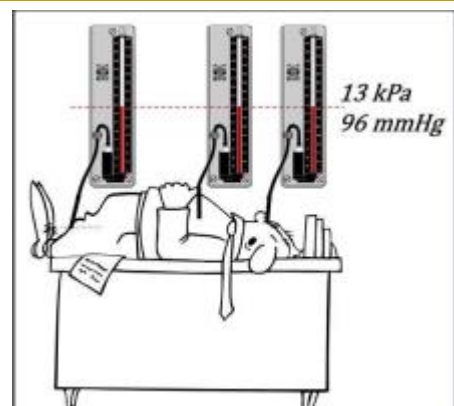
**La PA est la même dans tout le corps +++**

On considère que :

- **$v = 0$**  (sang immobile)
- **$h = 0$**  (allongé, pas de différence de hauteur)

$$\text{PA (tête)} = \text{PA (cœur)} = \text{PA (pieds)}$$

On a donc **PA = 13kPa** quel que soit l'emplacement



### Position debout (situation statique)

Au niveau du cœur,  $z=0$  par référence et on note  $PA(z=0) = PA(0)$

Mesure au bras → Plan du cœur

Bernoulli donne (on néglige encore la Pcinétique) :

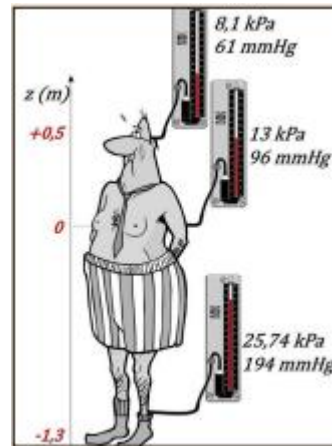
$$\rho gh + PA = 13 \text{ kPa}$$

Donc la pression artérielle va être modifiée car il faut prendre en compte la pression de pesanteur.

Pour connaître la PA, on applique la formule :

$$PA(h) = PA(0) - \rho gh$$

$$PA = 13 \cdot 10^3 - \rho gh$$



- Si  $h > 0$  alors  $PA(h) < PA(0)$ 
  - $PA(\text{tête}) = PA(+0,5) = 8,1 \text{ kPa}$
- Si  $h < 0$  alors  $PA(h) > PA(0)$ 
  - $PA(\text{pieds}) = PA(-1,3) = 25,7 \text{ kPa} > 13 \text{ kPa}$

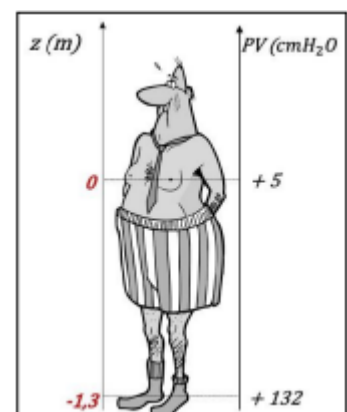
$$PA(\text{tête}) < PA(\text{cœur}) < PA(\text{pieds})$$

### C) LA PRESSION VEINEUSE

- ❖ La pression veineuse est plus faible que la pression artérielle
- ❖ Elle est utilisée en pratique en réanimation
- ❖ La **PVC** (*PolyVinyl Chloride... Ha non pardon ça c'est votre tuteur de biocell*) (Pression Veineuse Centrale) = pression veineuse au niveau du cœur, elle est **mesurée de façon directe ++** par cathéter veineux au niveau de l'oreillette droite avec un manomètre à eau (cmH<sub>2</sub>O)

Valeur Normale :  $PVC \leq 1 \text{ kPa}$

$$h \leq \frac{1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3 \cdot 9,8} = 10 \text{ cmH}_2\text{O}$$



On prend comme référence la pression veineuse au niveau du cœur.

On la notera  $PVC(0) = 5 \text{ cmH}_2\text{O} = 500 \text{ Pa}$

**En position debout, la valeur de la PV dépend de la distance au cœur +++**

- ❖ En position debout, la pression est + élevée au niveau des membres inférieurs, ce qui pourra entraîner des stases veineuses, des varices et des œdèmes des MI.

#### D) LA PRESSION DU LCR

Le **liquide céphalo-rachidien (LCR)** est le liquide physiologique qui entoure le SNC (système nerveux central), le cerveau et la moelle épinière. *Vous reverrez tout ça dans l'anat du système nerveux #meilleurlcoursdanat*



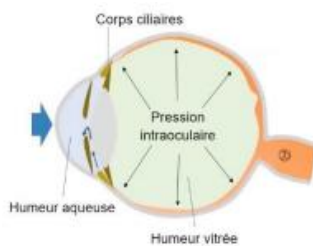
→ Valeur **proche de la PVC, exprimée en cmH2O**

→ Peut être mesurée par ponction lombaire sur sujet couché (*très rarement utilisée car on dispose d'autres méthodes d'explorations*)

→ Manœuvre de vérification du blocage du LCR :

**Compression des veines jugulaires → ↑ PVC → ↑ P du LCR → sinon = blocage**

#### E) LA PRESSION INTRA-OCULAIRE



→ Exprimée en mmHg, valeur normale = 15 mmHg

→ Augmentée en cas de glaucome

→ Mesurée par un tonomètre oculaire

Importante à dépister avant qu'elle ne produise des anomalies de pression !

### CONCLUSION MESURES DES PRESSION

- ❖ Deux unités pour les pressions physiologiques (mmHg et cmH2O) utilisant des hauteurs de liquide
- ❖ La pression artérielle varie conformément à la loi de Bernoulli

## II) MESURES DES PRESSIONS EN SANTÉ

### A) AUSCULTATION CARDIAQUE

- ❖ **Ecoulement laminaire** → silencieux, pas de bruits à l'auscultation
- ❖ **Ecoulement turbulent** → bruyant, audible à l'auscultation, **souffle ++**

### 1) CONDITIONS D'APPARITIONS D'UN SOUFFLE

On considère que l'écoulement est turbulent si  $Re = \frac{\rho d v}{\eta} > 10\,000$

- ❖ **Le diamètre est un facteur de turbulence**, il est lié à la vitesse (aussi un facteur de turbulence) → si d diminue, v augmente
- ❖ Si on considère le nombre de Reynolds : si **d diminue, le risque de turbulence diminue aussi**
- **ATTENTION : ce n'est vrai QUE si d varie seul ! +++**
- ❖ Il est donc nécessaire de reformuler le nombre de Reynolds en introduisant le débit
- **On réalise que si d diminue, le risque de turbulence augmente !**
- Réécriture du nombre de Reynolds :

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

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

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

*Moyen Mnémotechnique des familles : Re = 4 gros culs sur des petits états*

**En pratique, on utilisera cette formule lorsqu'on parle de variations diamètres  
SAUF quand on parle de variation de diamètre isolée ++**

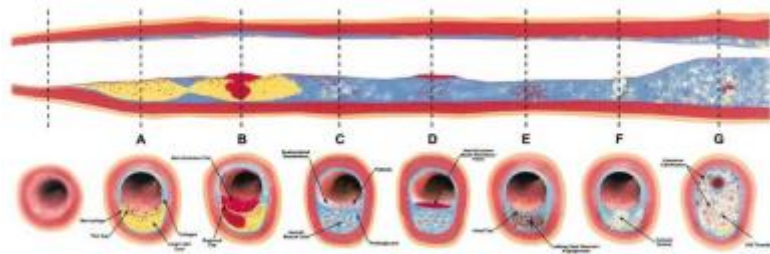
→ **Les causes d'un souffle sont liées à la diminution de  $\eta$  ou de  $d$  et à l'augmentation de  $Q$**   
+++

<b>CAUSES LESIONNELLES</b>	<b>d ↓</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Souffle vasculaire</b> : sténose vasculaire</li> <li>• <b>Souffle cardiaque</b> : sténose ou fuite valvulaire cardiaque</li> </ul>
<b>CAUSES FONCTIONNELLES</b>	<b>Q ↑ η ↓</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Souffle vasculaire</b></li> <li>• Souffle lié à l'<b>anémie</b> (η ↓ et Q ↑)</li> </ul>

## 2) SOUFFLE VASCULAIRE

### Athérosclérose

- ❖ Formation de plaques d'athérome → **diminution progressive du diamètre**  
→ dépôts lipidiques puis fibrose
- ❖ Souffle vasculaire audible au stéthoscope (écoulement localement turbulent) en regard de l'artère sténosée



## B) MESURE AUSCULTATOIRE DE LA PRESSION ARTERIELLE

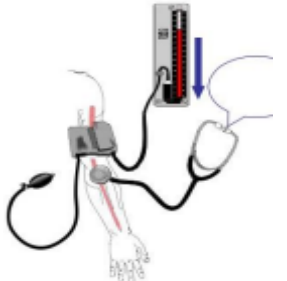
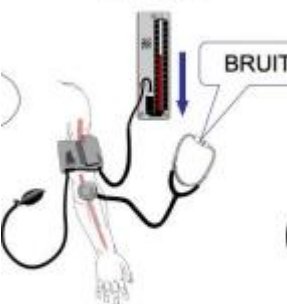
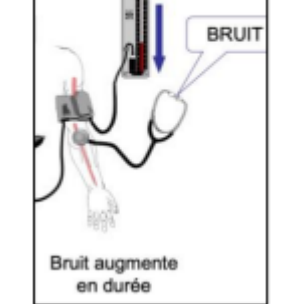
### 1) PRINCIPE DE LA MESURE

La mesure auscultatoire de la PA (stéthoscope) est :

- ✓ Non invasive (pas douloureuse, ne nuit pas au patient)
- ✓ Indirecte ++
- ✓ Basée sur la création d'une sténose par le brassard
- ✓ Réalisée au niveau

→ Puis auscultation en aval (en dessous de l'artère humérale) : interprétation des bruits de KOROTKOV ++

## 2) METHODE DE MESURE

<p><b>1) <math>P_{\text{brassard}} &gt; P_{A_{\text{systole}}}</math></b></p> <p>→ <b><u>Aucun bruit</u></b></p> <p>On gonfle le brassard jusqu'à contrer la PA → cela <b>collabe l'artère</b></p> <p>→ <b>On n'entend rien car le sang ne circule pas</b></p>	<p>① <math>P_b &gt; P_{A_{\text{systolique}}}</math></p> 
<p><b>2) <math>P_{\text{brassard}} \leq P_{A_{\text{systole}}}</math></b></p> <p>→ <b><u>Bruit sec intermittent</u></b></p> <p>Peu à peu on diminue la pression du brassard jusqu'à passer <b><u>en dessous de la PA maximale = <math>P_{\text{systole}}</math></u></b></p> <p>Bruit bref audible à chaque moment où l'artère est perméable (ouverte) sous l'effet de la pression artérielle</p> <p>→ On entend un <b><u>bruit dû à l'écoulement turbulent en systole</u></b></p> <p>→ Apparition du 1<sup>er</sup> bruit sec : c'est la <b><u>PA maximale soit la PA systolique</u></b></p>	<p>② <math>P_b \leq P_{A_{\text{systolique}}}</math></p>  <p>BRUIT</p> <p>Bruit à chaque bref instant où l'artère est ouverte: <b>PA max</b></p>
<p><b>3) <math>P_{A_{\text{diastole}}} &lt; P_b &lt; P_{A_{\text{systole}}}</math></b></p> <p>→ <b><u>Bruit qui s'allonge et qui persiste</u></b></p> <p>On continue à diminuer la pression du brassard, on entend alors un <b><u>bruit qui augmente en durée et change de timbre</u></b></p> <p>En <b><u>systole la circulation est redevenue laminaire, mais est turbulente en diastole</u></b></p>	<p>③ <math>P_b &lt; P_{A_{\text{systolique}}}</math> <math>P_b &gt; P_{A_{\text{diastolique}}}</math></p>  <p>BRUIT</p> <p>Bruit augmente en durée</p>

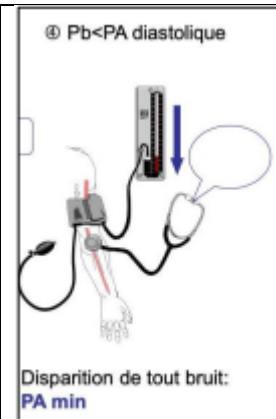
#### 4) $P_b < P_{A_{diastole}}$

→ **Disparition de tout bruit**

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**



*Retenez bien ça +++ le prof aime beaucoup ça donc ça tombe souvent et en plus c'est super important pour les études médicales par la suite*

### 3) INTERPRETATION DES BRUITS DE KOROTKOV

#### Interprétation des bruits de Korotkov

$P_b$  = pression dans le brassard

$P_b > P_{A_{systolique}}$

$P_{A_{max}}$

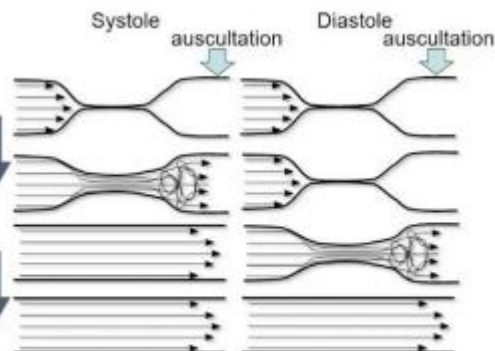
Turbulence sys = bruit sec

$P_{A_{dia}} < P_b < P_{A_{sys}}$

Turbulence dia = bruit qui s'allonge

$P_{A_{min}}$

$P_b < P_{A_{diastolique}}$



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

1) Tant que  $P_b > P_{syst}$  : L'artère est collabée, le sang ne passe pas → **pas de bruit**

2/3)  $P_{A_{diastole}} < P_b < P_{A_{systole}}$  :

→ D'abord turbulence systolique (**bruit sec**), rien en diastole (**1<sup>er</sup> bruit = PA systolique**)

→ puis au fur et à mesure : laminaire en systole, turbulent en diastole (**bruit qui s'allonge et + doux**)

4)  $P_b < P_{A_{diastole}}$  : Laminaire en systole et en diastole → **plus de bruit**

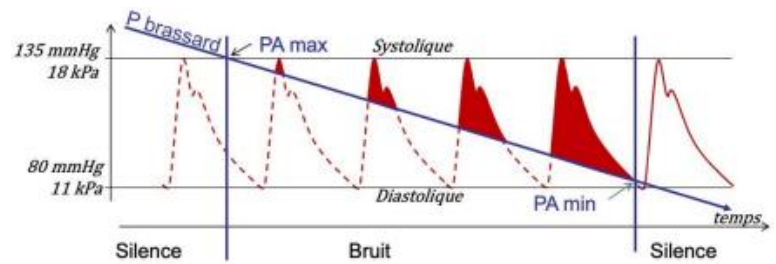
→ **Moment où le bruit disparaît =  $P_{A_{min}}$**

**Les bruits de Korotkov correspondent aux limites entre écoulement laminaire et turbulent**

+++

→ **L'APPARITION** du bruit sec correspond à la **PA SYSTOLIQUE**

→ **LA DISPARITION** de tout bruit correspond à la **PA DIASTOLIQUE**



La **pression maximale** est exactement égale à la **PA<sub>systolique</sub>** mais la **PA minimale** surestime la **pression diastolique** car on mesure la **PAmin** lors du passage du sang en écoulement laminaire. On considère que **PAmin = PA diast + 2mmHg +++**

La pression artérielle moyenne est donnée par la relation :

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

#### 4) RECOMMANDATION POUR LA MESURE DE LA PRESSION ARTERIELLE (HAS)

- ❖ Au moyen d'un appareil validé, avec un brassard adapté à la taille du bras, en veillant à placer le brassard sur le plan du cœur
- ❖ Chez un patient en **position couché** ou assise depuis plusieurs minutes
- ❖ Au minimum 2 mesures, à quelques minutes d'intervalle
- ❖ **Valeurs normales :**
  - **PA max** ≤ 140 mmHg
  - **PA min** ≤ 90 mmHg

### CONCLUSION MESURES DES PRESSION EN SANTE

- ❖ **Souffle audible** = écoulement turbulent (cause lésionnelle ou fonctionnelle)
- ❖ **Mesure auscultatoire** de la pression artérielle par création d'une sténose
- ❖ **Les bruits induits (Korotkov)** donnent accès aux pressions max et min qui reflètent indirectement les pressions systoliques et diastoliques
- ❖ « Tension artérielle de 13/8 » = pression artérielle max de 130 mmHg et min de 80mmHg

### III) APPLICATION L'IMAGERIE

#### A) IRM CARDIAQUE

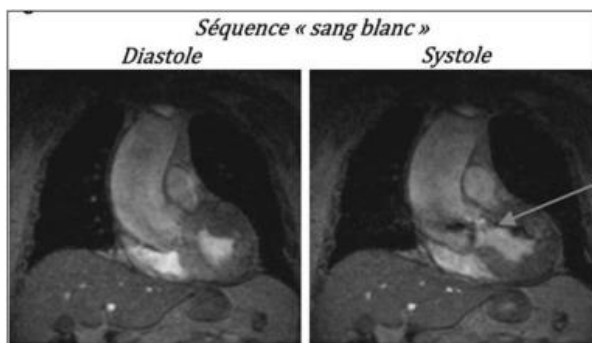
→ Avec l'IRM (le signal **est lié aux protons**) on va pouvoir utiliser différentes séquences capables de générer différents contrastes (*coucou la Biophysique <3*)

On va utiliser deux types de séquences :

- ✓ **Séquence en « sang noir »** : signal de la relaxation des **protons du sang en mouvement = 0**
  - A l'intérieur des ventricules, il n'y a **pas de signal** → **noir**
  - Le sang ne donne pas de signal car les protons en mouvement ne donnent pas de signal



- ✓ **Séquence en « sang blanc »** : sang en **hypersignal** lié aux protons qui circulent en **écoulement laminaire** / **perte de signal** (sang noir) si **écoulement turbulent**



*Diastole: le sang est blanc, écoulement laminaire.*

*Systole: il y a une tâche noire (au niveau des valves aortiques) -> écoulement turbulent -> perte de signal*  
☐ Rétrécissement de la valve aortique

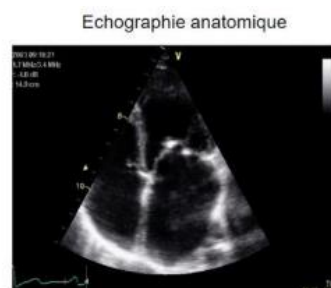
- Cette séquence permet la visualisation des conditions de circulations et l'aide aux diagnostics des anomalies hémodynamiques

#### B) ECHOGRAPHIE CARDIAQUE

→ **Méthode d'imagerie utilisant les ultrasons**

On peut distinguer deux types d'échographies :

- ✓ **L'échographie simple (2D)** qui permet d'étudier les structures anatomiques (mouvements cavités et valves cardiaques)
- ✓ **L'échographie Doppler** qui permet de mesurer les vitesses locales d'écoulement. Les vitesses sont codées en couleur.



## 1) PRINCIPE DE L'EFFET DOPPLER

→ C'est la **variation de fréquence d'une onde sonore perçue par rapport à la fréquence émise** lorsque la distance entre la source et le récepteur change.

La fréquence **augmente** lorsque l'émetteur **se rapproche**

La fréquence **diminue** lorsque l'émetteur **s'éloigne**

→ Un transducteur échographique **envoie des US** et **réceptionne ces US** qui seront réfléchis sur par exemple un vaisseau. Ce **transducteur** (= sonde d'ultrasons) va envoyer les US avec une fréquence initiale  $F_0$  et réceptionner en retour un écho ultrasonore avec une autre fréquence réfléchi  $F_r$ .

Un code couleur nous indique la vitesse du sang et son sens de circulation :

→ **Si  $F_r > F_0$  alors  $v > 0$  : la cible se rapproche, codage en rouge**

→ **Si  $F_r < F_0$  alors  $v < 0$  : la cible s'éloigne, codage en bleu**

Si l'écoulement du sang est turbulent on obtient une **mosaïque (mélange de rouge et de bleu)** : les tourbillons vont à la fois s'éloigner et se rapprocher du transducteur

Un faisceau d'US envoyé par une sonde échographique (émetteur immobile), va être réfléchi par les récepteurs cibles : **les GR** et va ainsi changer de fréquence. Ces US ayant changé de fréquence sont **réceptionnés à nouveau par la sonde**.

Le son émis à une fréquence  $F_0$  donnée va aller percuter les GR et être réfléchi avec une fréquence  $F_r$ . On peut établir que :

$$F_r - F_0 = \frac{2F_0 v \cos \theta}{c} \rightarrow \text{valeur de } v$$

$F_0$  = fréquence du faisceau incident

$F_r$  = fréquence du faisceau réfléchi

$v$  = vitesse de déplacement des GR (m/s)

$c$  = vitesse des US (m/s)

$\theta$  = angle d'inclinaison du transducteur par rapport au vaisseau

## **CONCLUSION IMAGERIE**

- ❖ Les conditions hémodynamiques peuvent être appréciées en imagerie
- ❖ En IRM : une séquence appropriée permet de visualiser la circulation laminaire ou turbulente
- ❖ En échographie :
  - Le Doppler permet d'accéder à la mesure des vitesses de circulation
  - Grâce à ces mesures, on peut appliquer les relations connues pour calculer des paramètres hémodynamiques additionnels

*C'est maintenant l'heure des dernières dédis de la circu T.T :*

- *Dédi à mes fillots, on est fier de vous avec Audrey*
- *Dédi à Carla et Meïli, je sors cette fiche mercredi, vous savez ce que ça veut dire*
- *Dédi au vélo de Kiki*
- *Dédi à l'appart de Tom (j'ai bientôt le double des clés les gars)*
- *Dédi à mes co-tut, je vous aime et ce monde ne vous mérite pas (En pièce jointe une photo de nous essayant d'être sérieux)*
- *Dédi à Milan et Louis qui depuis que je les ai vu en robe, me font beaucoup réfléchir*
- *Dédi à Camille qui est sûrement en train de faire des headbang*
- *Dédi à PL qui essaye de me ramener corps et âme à la salle*
- *Dédi à Virgile qui me fait découvrir le monde des crackhead*
- *Dédi à ma famille de P2, Nina, Colin et Sarah, je vous lov fort*
- *Dédi à la BUV (sur laquelle je n'étais jamais allé en P1, quelle erreur)*
- *Dédi à tous mes potes et ma famille qui ne liront jamais cette fiche*
- *Dédi à vous qui venez de terminer le circu mais vous allez bientôt la recommencer parce que c'est quand même super fun*

