



Interprétation de la courbe de Pression Artérielle Systémique

Exposé Physiologie

Amélie Mazaud, Lille
Tuteur : Pr Saulnier
DESC réanimation
12 décembre 2013, Amiens

Plan

- I. Définitions
- II. Déterminants des composantes de la Pression Artérielle Systémique
- III. Facteurs influençant la forme de la courbe
- IV. Méthodes de mesure
- V. Exploitation du signal

Plan

I. Définitions

- II. Déterminants des composantes de la Pression Artérielle Systémique
- III. Facteurs influençant la forme de la courbe
- IV. Méthodes de mesure
- V. Exploitation du signal

Pression Artérielle Systémique

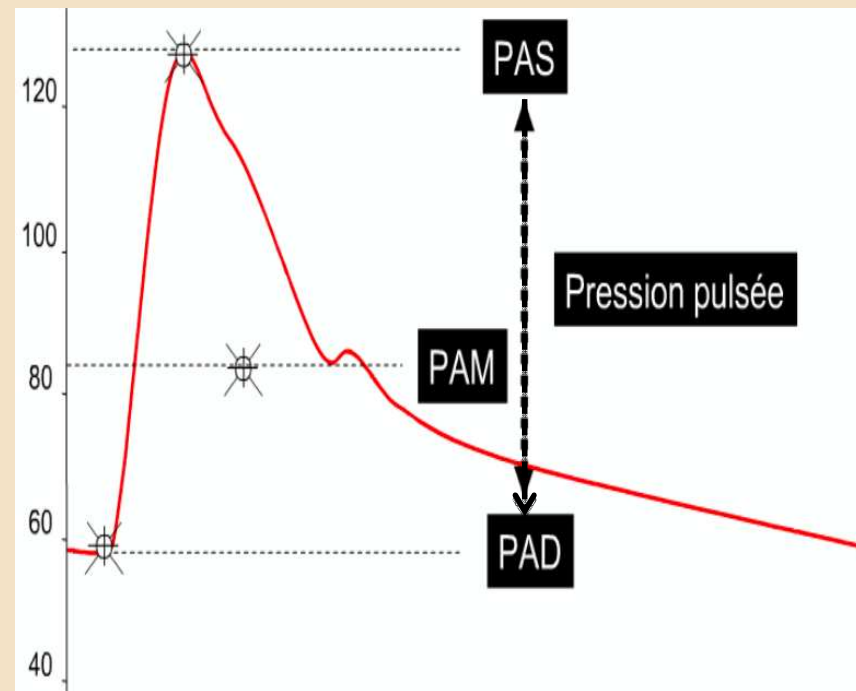


Guyton, Précis de Physiologie Médicale, chapitre 14, page 151,
ed Piccin
Chemla D. in Réanimation Médicale, vol 1 chap 4, p60, éd.
Masson



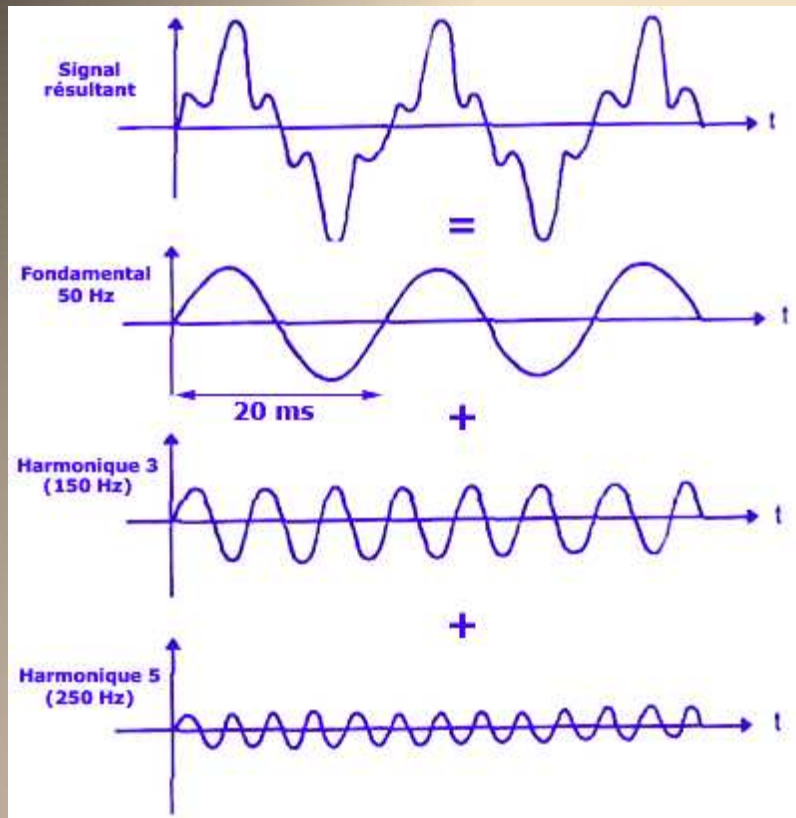
Les différentes pressions

- Systolique
- Diastolique
- Moyenne
- Pression Pulsée

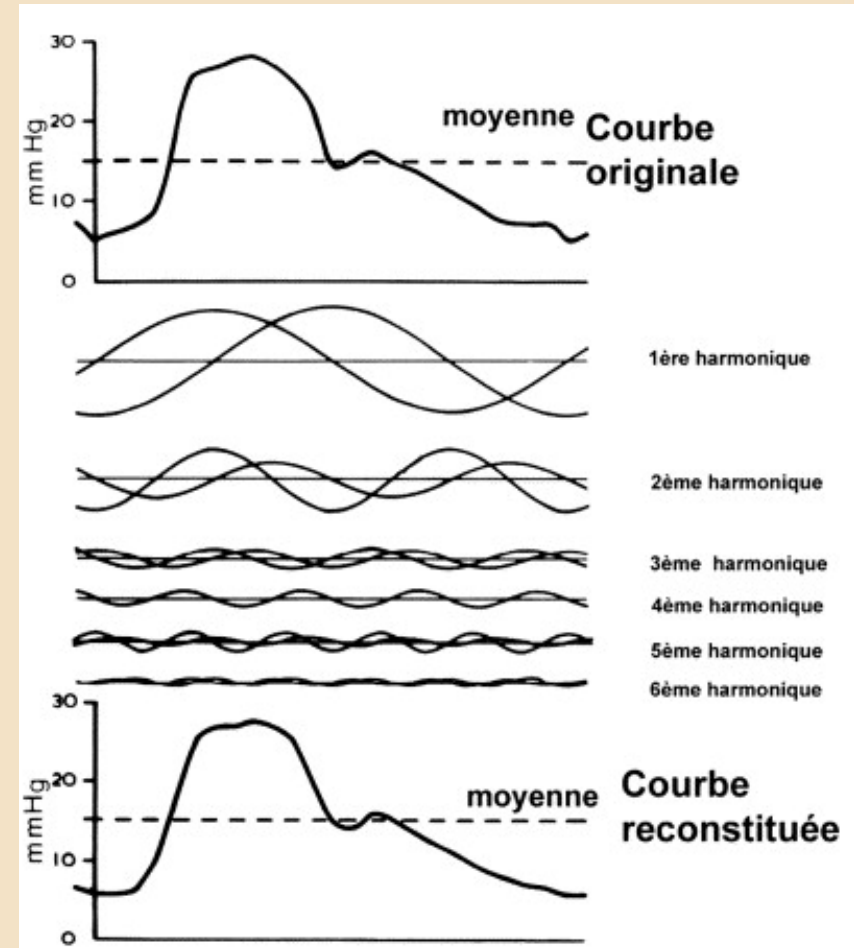


Onde de Pression Artérielle

Fréquence propre, décomposée en harmoniques



Recomposition d'une onde complexe à l'aide d'harmonique



Recomposition d'une onde de PA à l'aide d'harmonique

Plan

I. Définitions

II. Déterminants des composantes de la Pression Artérielle Systémique

- 1. Rappels physiologiques**
- 2. Pression artérielle systolique (PAS)**
- 3. Pression artérielle diastolique (PAD)**
- 4. Pression artérielle moyenne (PAM)**
- 5. Pression artérielle pulsée (PP)**
- 6. Aire sous la courbe**

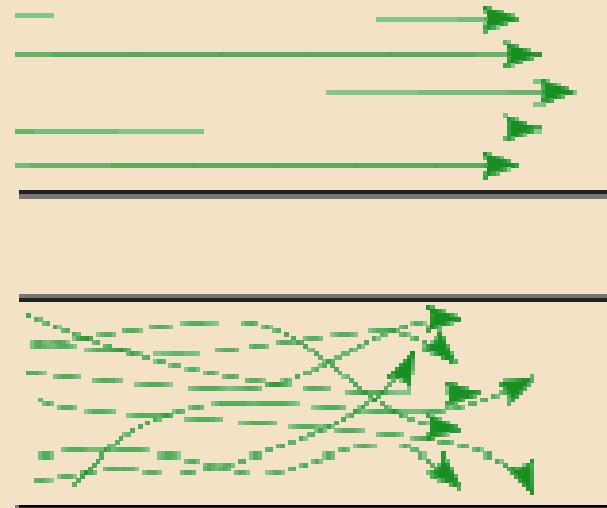
III. Facteurs influençant la forme de la courbe

IV. Méthodes de mesure

V. Exploitation du signal

Rappels physiologiques

- Flux sanguin considéré comme laminaire dans petits vaisseaux
- Turbulent dans gros vaisseaux
- Le sang résiste à son propre écoulement
- La viscosité sanguine est responsable de la résistance à l'écoulement du sang
- Viscosité (η) traduit la force de cisaillement, c'est à dire la résistance de courant les unes par rapport aux autres



Loi de Poiseuille et sang

- Dans l'hypothèse d'un régime laminaire :

$$RVS = 8 \eta l / \pi r^4$$

η = viscosité sanguine

l = longueur fonctionnelle

r = rayon fonctionnel

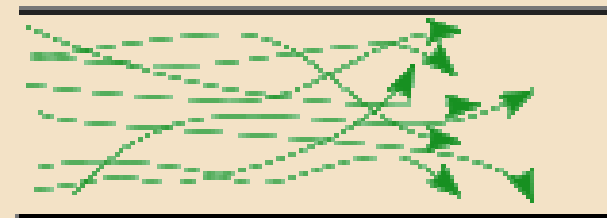
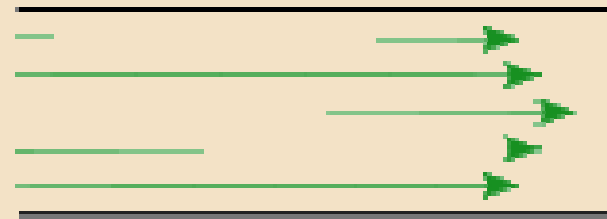
→ η et l sont constantes pour un sujet donné

→ $\Delta RVS = \Delta r$

→ Si r augmente :
diminution RVS, et
inversement

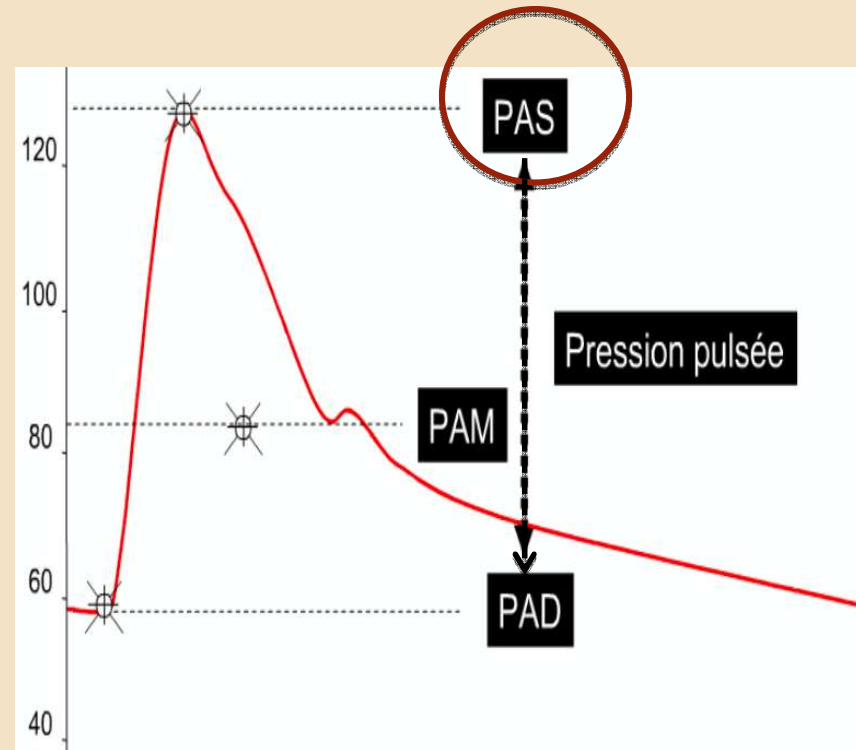
- Limites de poiseuille :

- Viscosité sanguine non constante
- Existence de turbulence = flux non laminaire
- Flux = pulsé



Déterminants de la PAS

- PAS reflète l'action combinée de
 - Compliance artérielle totale
 - ==> si C ↓, PAS ↑
 - Volume d'éjection systolique



Déterminants de la PAD

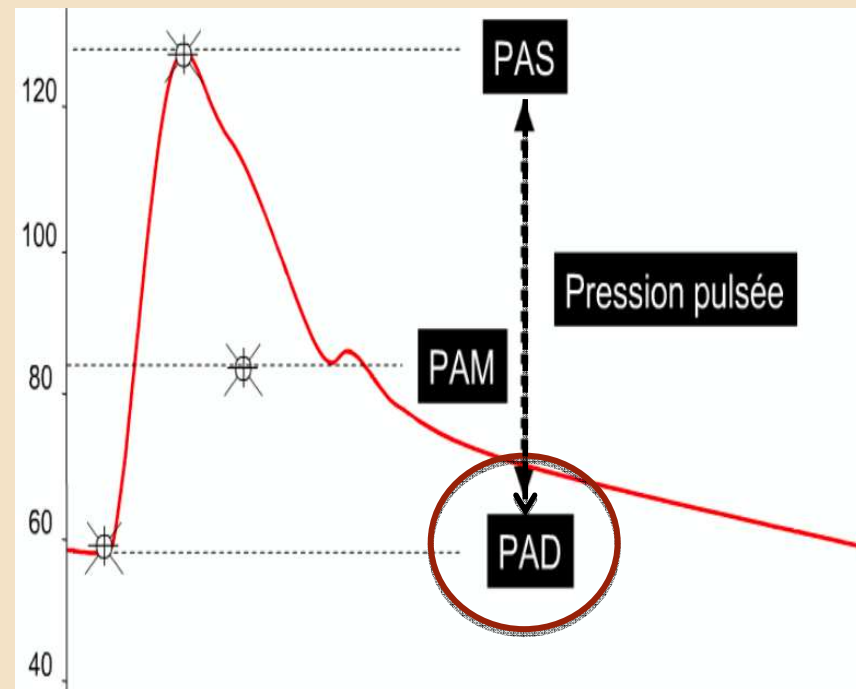
- PAD fonction de :
 - Durée de la diastole = FC
 - Constante de temps de décroissance de la pression artérielle Tau, qui s'exprime ainsi :

$$\text{Tau} = \text{RVS} \times \text{C}$$

Allongement de Tau
s'accompagne de diminution
de PAD (et inversement)

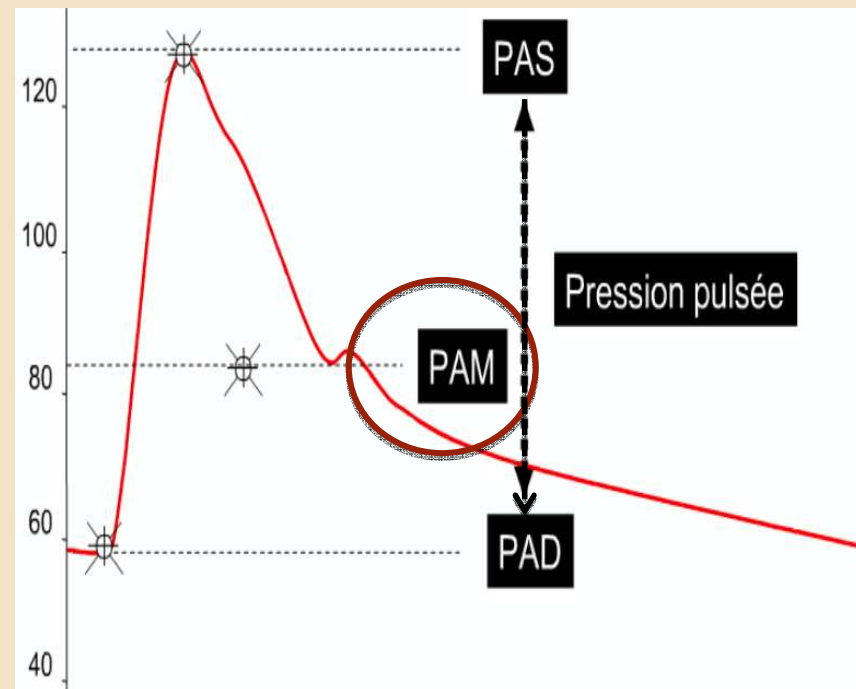
==> si RVS ↓, PAD ↓

==> si C ↓, PAD ↓



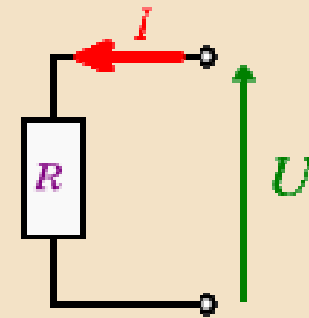
Déterminants de la PAM

- $PAM = 2/3 PAD + 1/3 PAS$
OU
- $PAM = PAD + (PAS - PAD)/3$
- Pression qui s'exercerait dans les conduits si la fonction cardiaque n'était pas pulsatile



Déterminants de la PAM

- Analogie loi d'Ohm : $U=R \times I$
 - U : différence de potentiel ou tension
 - R : résistance
 - I : intensité du courant circulant



$$U = R \cdot I$$

tension (volt) résistance (ohm) intensité (ampère)

Déterminants de la PAM

- En analogie à $U = R \cdot I$:

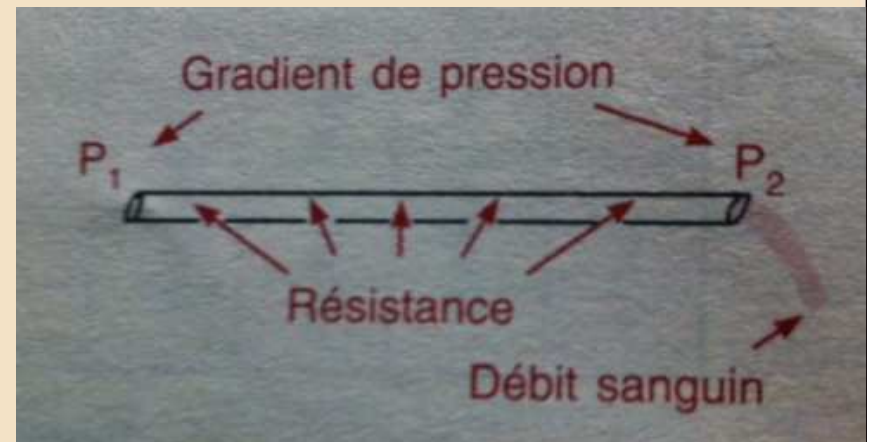
$$\text{PAM-}P_{od} = RVS \times DC$$

Donc :

$$\text{PAM} = (RVS \times DC) + P_{od}$$

Les déterminants de la PAM sont donc :

- RVS
- DC
- P_{od}

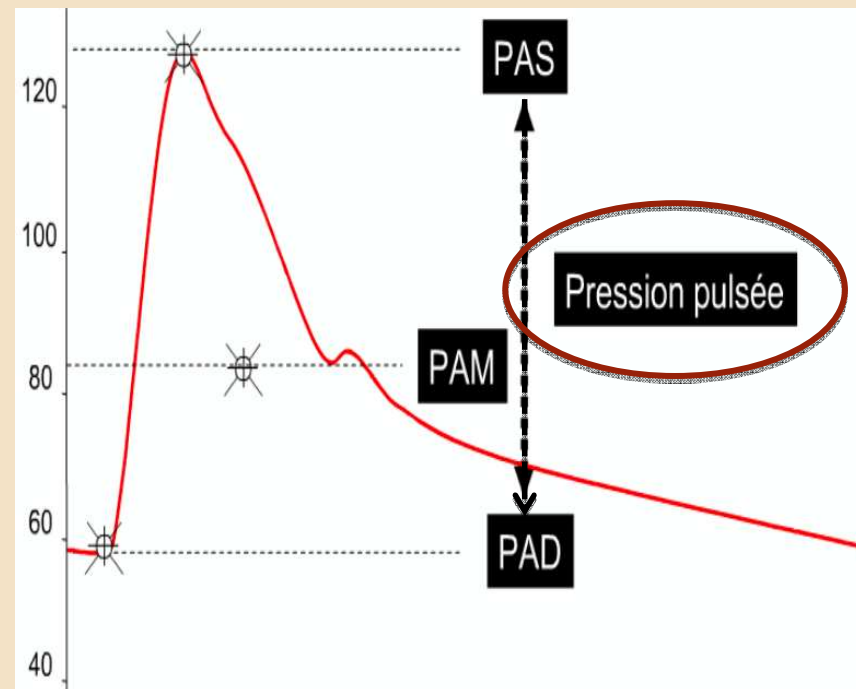


Chemla D. in Réanimation Médicale, vol 1 chap 4, p61-62, éd. Masson

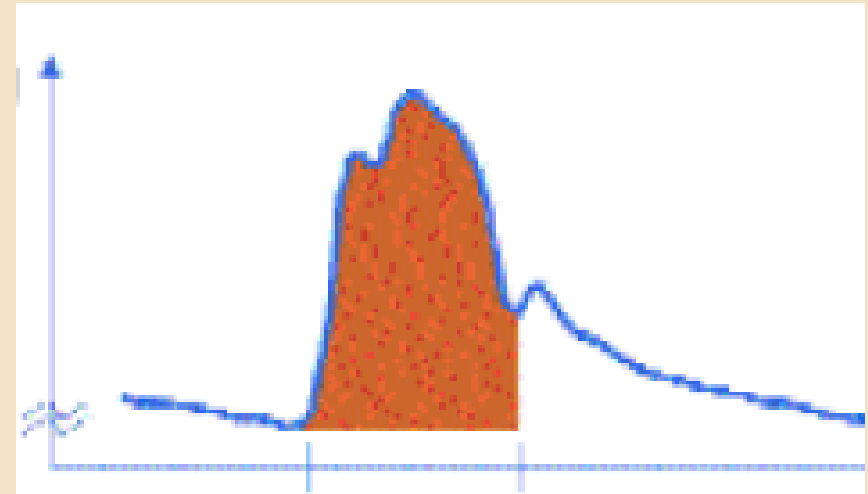
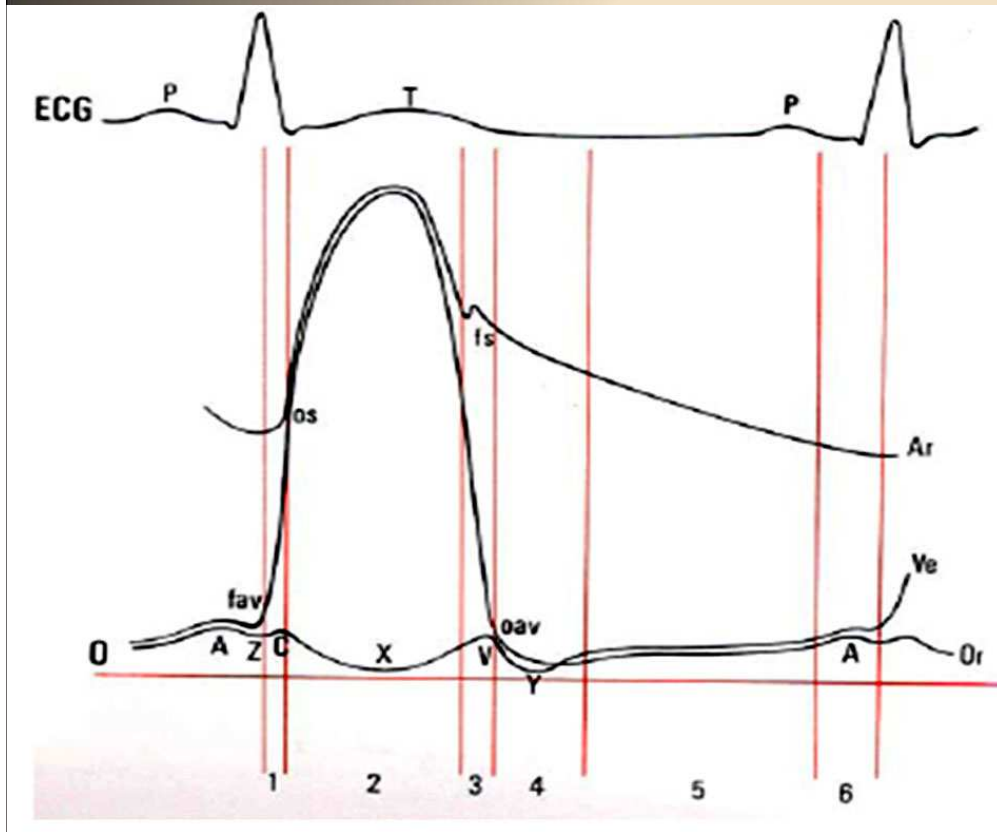
Guyton, Précis de Physiologie Médicale, chapitre 14, page 152, ed Piccin

Déterminants de la PP

- $PP = PAS - PAD$
- Fonction de
 - VES
 - Compliance (C)



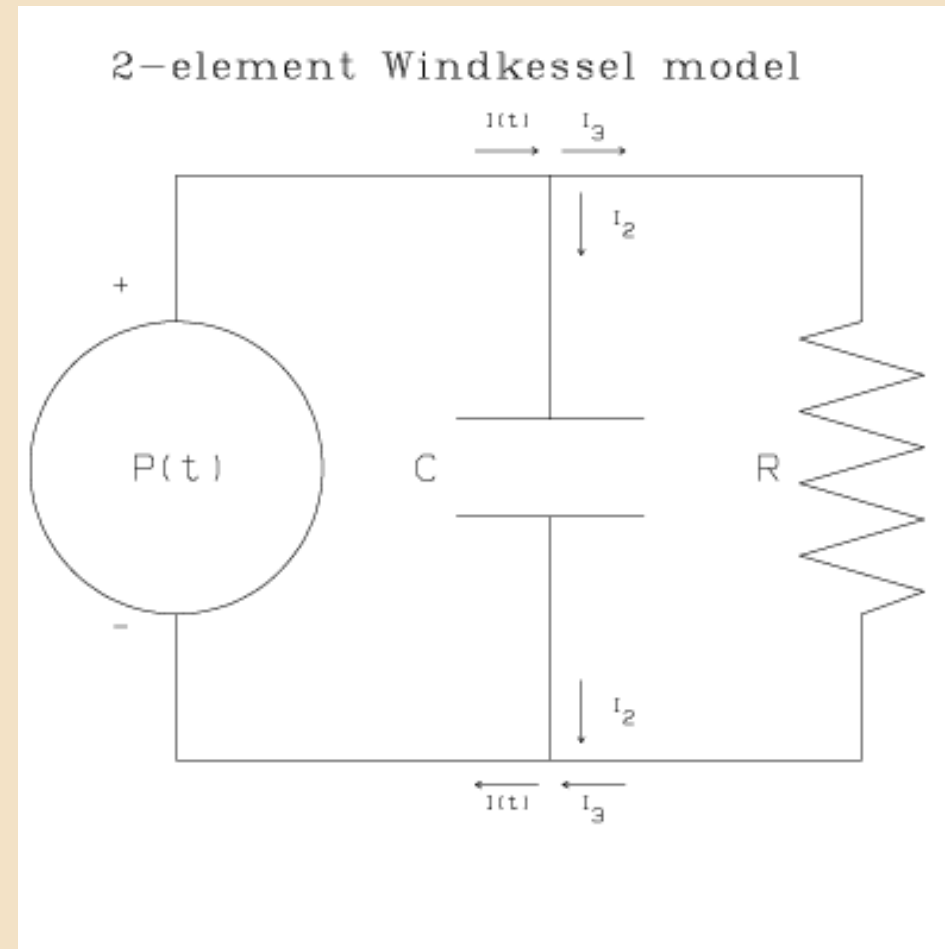
Aire sous la courbe



Aire sous la courbe de l'éjection systolique correspond à une approximation du VES

Aire sous la courbe : Modèle de Windkessel

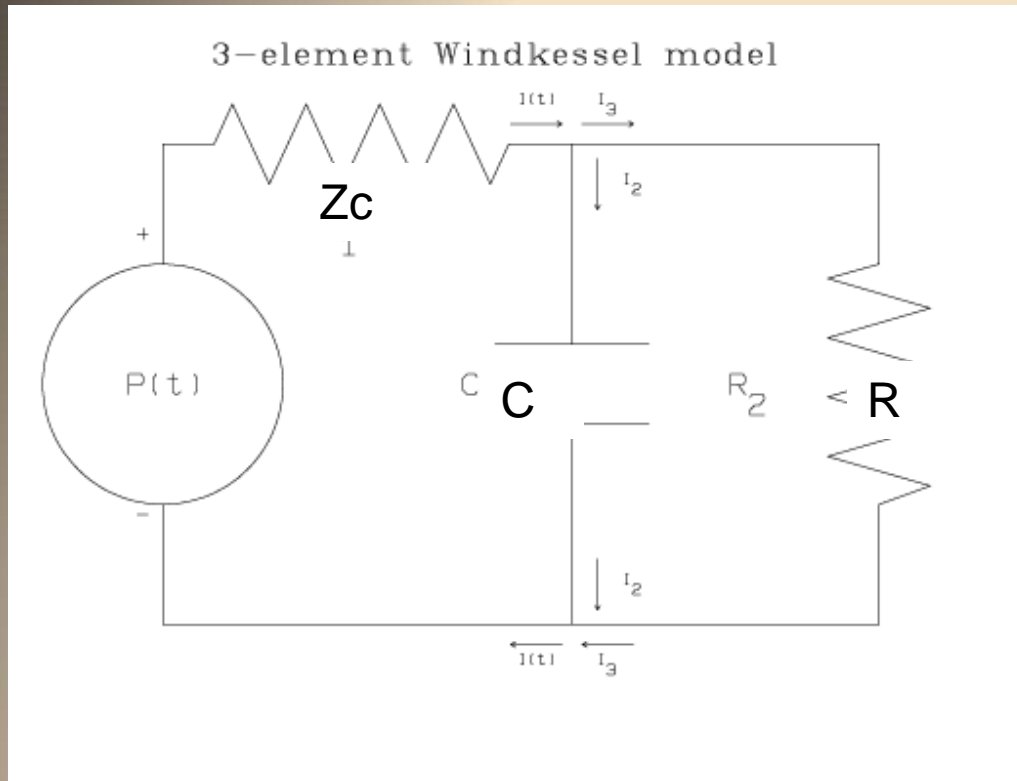
- A 2 éléments
- Basé sur :
 - La compliance artérielle (C)
 - Les RVS



Woods, Rhodes, Insuffisance
circulatoire aigue, Masson 2009, p200

Physiologie humaine appliquée, chap 6
p90, éd Arnette

Aire sous la courbe : modèle de Windkessel



- A 3 éléments
 - Basé sur :
 - Compliance C
 - RVS
 - Impédance caractéristique de l'aorte (Z_c)
- Avec :

$$Z_c = \sqrt{L/C}$$

(L = inertie sanguine)

Physiologie humaine appliquée, chap 6

p90, éd Arnette

Chemla D. in Réanimation Médicale, vol 1 chap 4, p62, éd. Masson

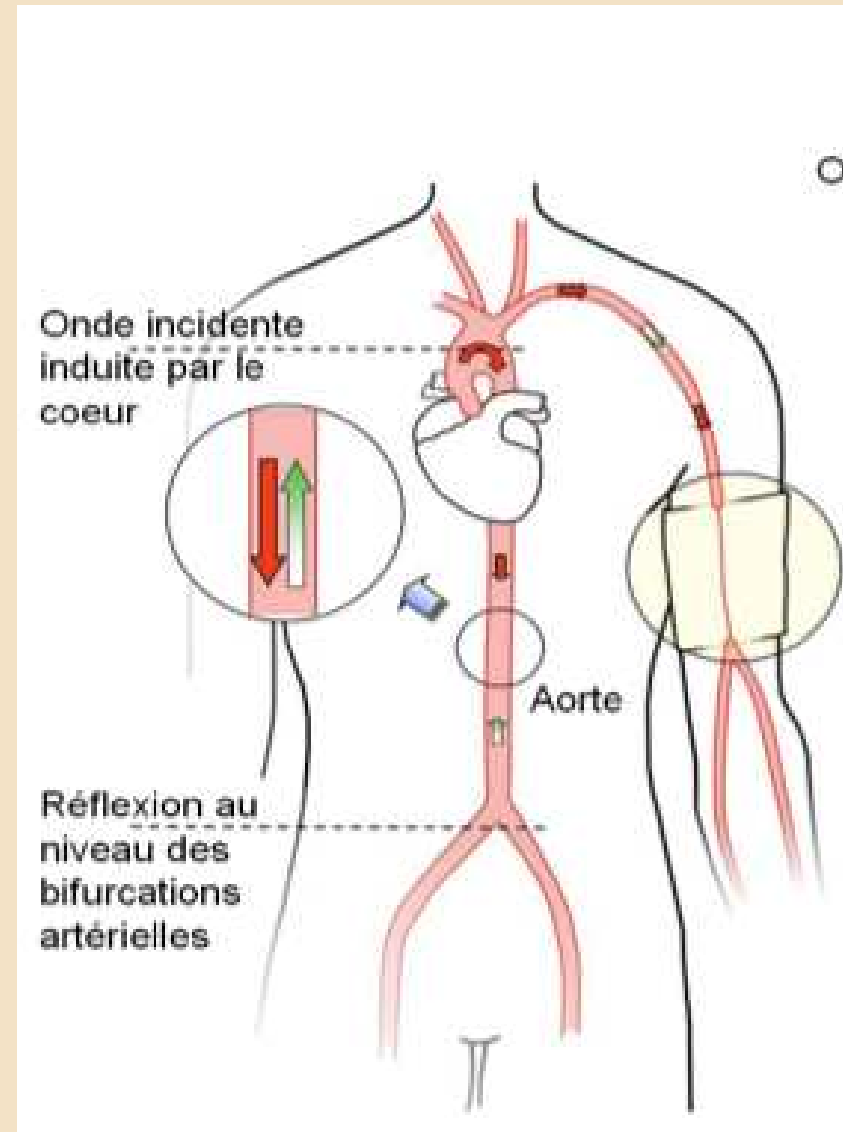
Woods, Rhodes, Insuffisance circulatoire aigue, Masson 2009, p200

Plan

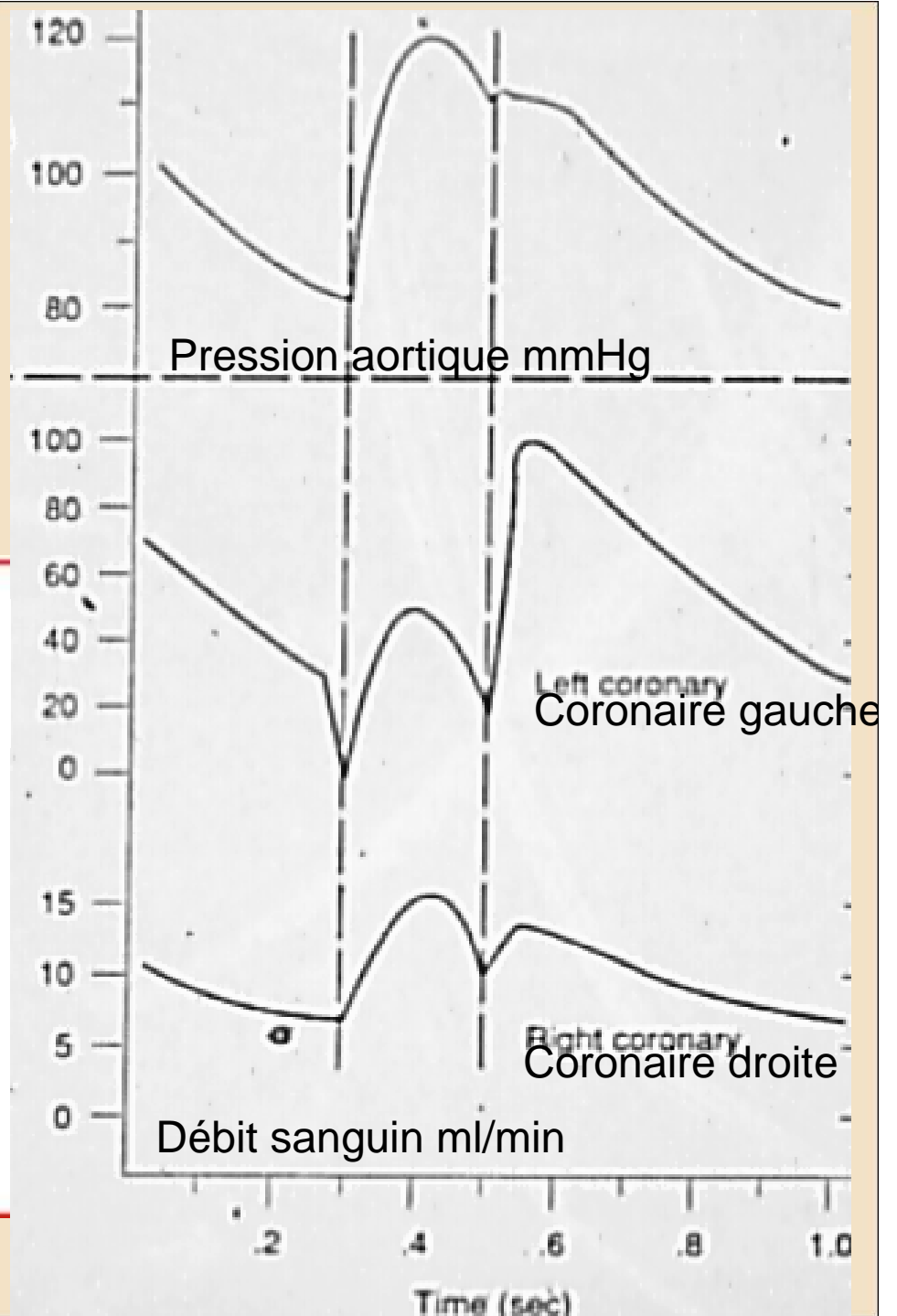
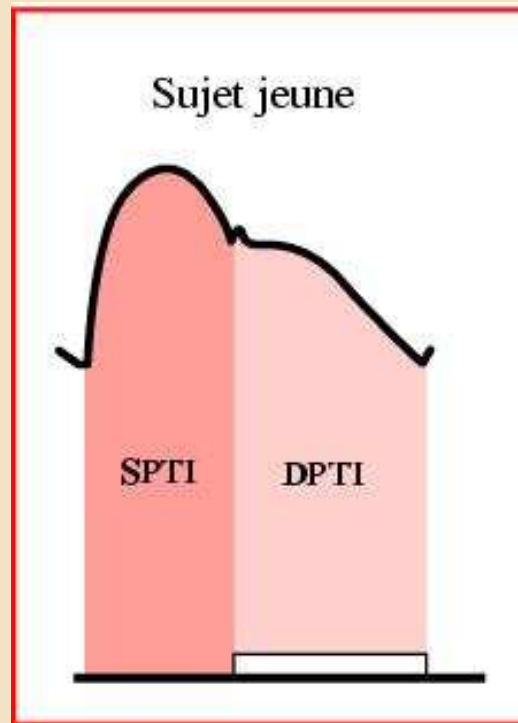
- I. Définitions
- II. Déterminants des composantes de la Pression Artérielle Systémique
- III. Facteurs influençant la forme de la courbe
 1. Ondes de réflexion
 2. Amplification
- IV. Méthodes de mesure
- V. Exploitation du signal

Ondes de réflexion

- À chaque bifurcation artérielle : différence de résistances
- Onde de pression « bute », et donne une onde de réflexion, d'une vitesse de 8-10m/s
- Vitesse de l'onde de réflexion augmente pour des vaisseaux à paroi peu compliant (vieillesse) ou pour des pressions élevées (HTA)

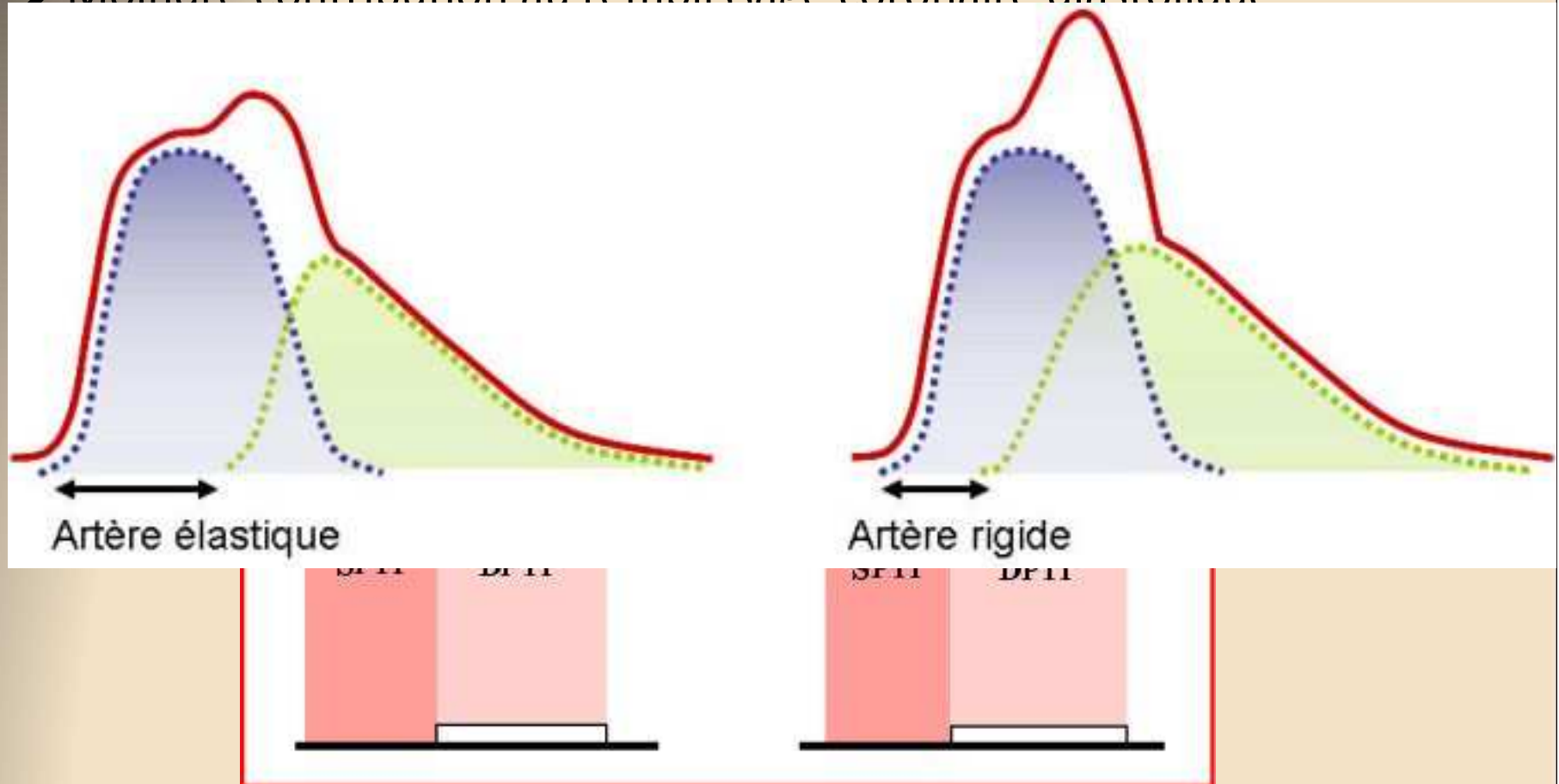


- Chez le sujet jeune, l'onde de réflexion arrive au niveau de la valve aortique en protodiastole → favorise le remplissage coronaire



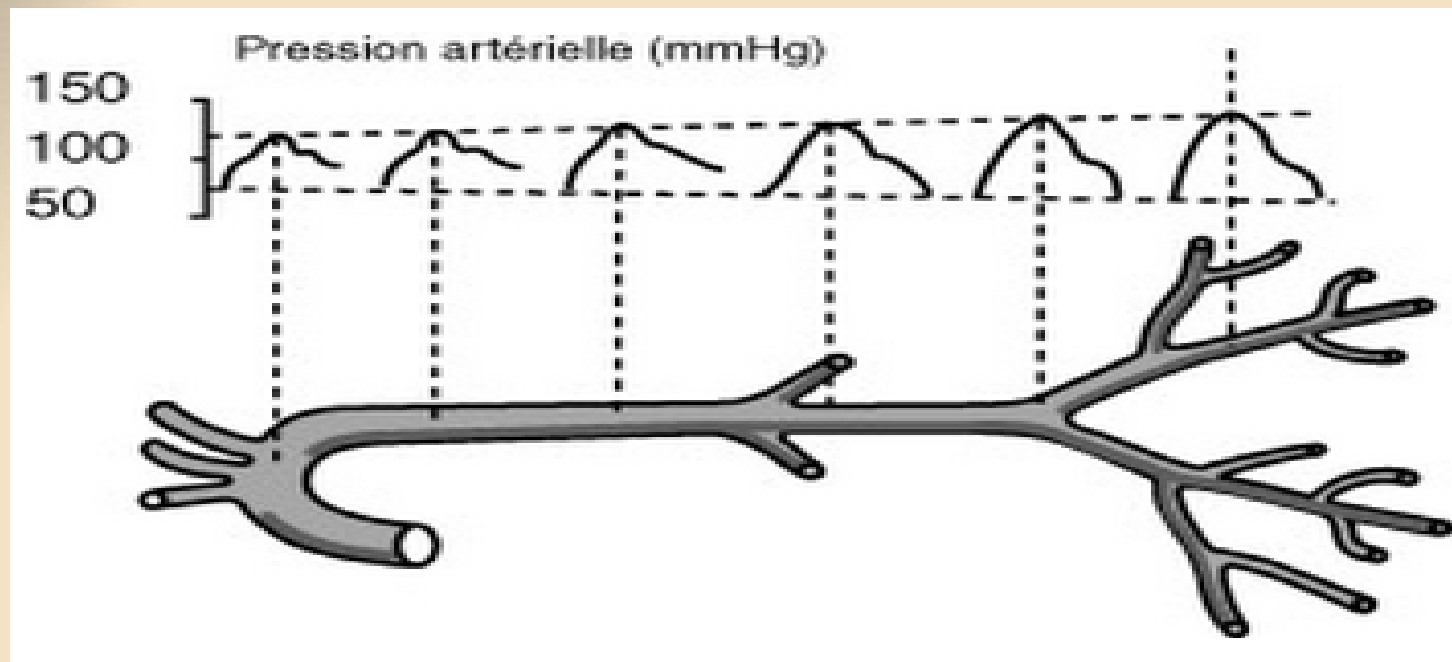
Berne et Levy.
 Cardiovascular
 Physiology 1972
 Boutouyrie P et al. Sang
 et thrombose
 vaisseaux. 16(2), 2004.
 Chemla D. in
 Réanimation Médicale,
 vol 1 chap 4, p63, éd.
 Masson

- Chez le sujet âgé et/ou HTA, onde de réflexion survient plus précocement, en mésosystole
- ➔ Augmentation de la PAS
 - ➔ Risque d'HTA et d'hypertrophie myocardique
- ➔ Moindre contribution au remplissage coronaire diastolique



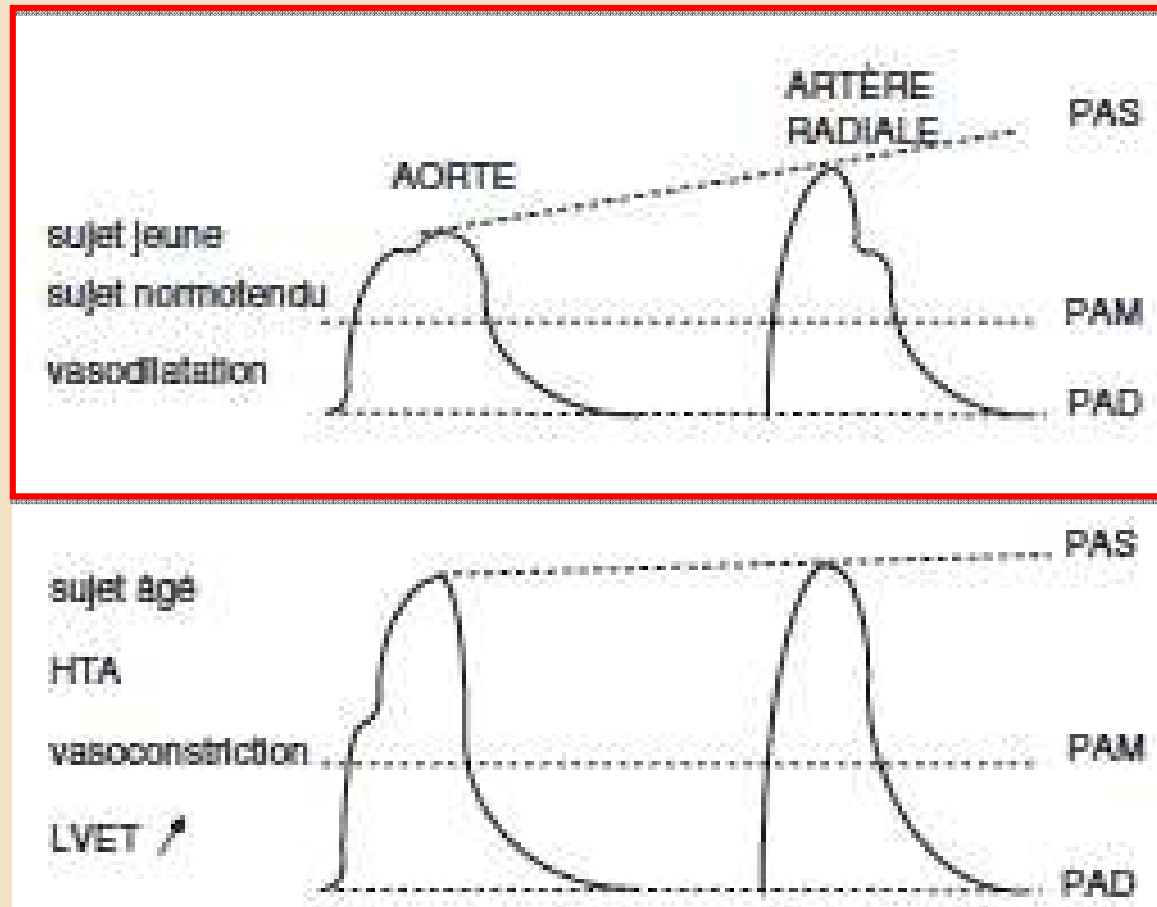
Amplification

- PAM et PAD considérées comme constantes de l'aorte vers périphérie
- PAS et PP augmentent d'environ 15mmHg de l'aorte vers la périphérie (amplification)



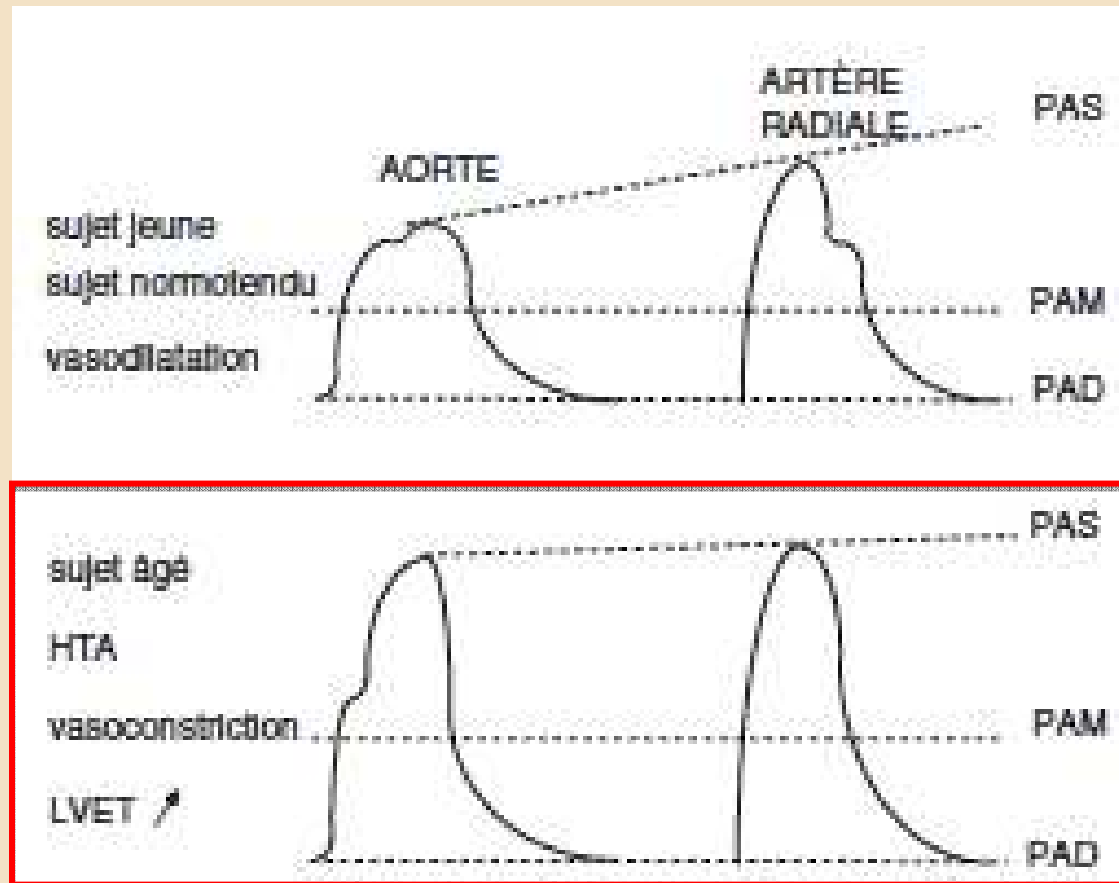
Amplification franche

- Sujet jeune
- Normotendu
- Homme
- Grande taille
- Vasodilatation
- TEVG raccourci



Amplification faible

- Sujet âgé
- Hypertendu
- Femme
- Petite taille
- Vasoconstriction
- TEGV allongé



Plan

- I. Définitions
- II. Déterminants des composantes de la Pression Artérielle Systémique
- III. Facteurs influençant la forme de la courbe
- IV. Méthodes de mesure**
 - 1. Méthodes non invasives**
 - 2. Méthodes invasives**
- V. Exploitation du signal

Historique

- 1628 : Harvey : découverte de la circulation du sang
- 1726 : Hales : mesure de la pression artérielle d'une jument en cathétersant son artère crurale (la jument décède)
- 1905 : Korotkov : brassard à tension + auscultation = bruits de Korotkov

Mesures non invasives : méthodes occlusives, discontinues

- Sphygmomanomètre
= brassard à tension + auscultation

Apparition des bruits = systolique

Disparition des bruits = diastolique

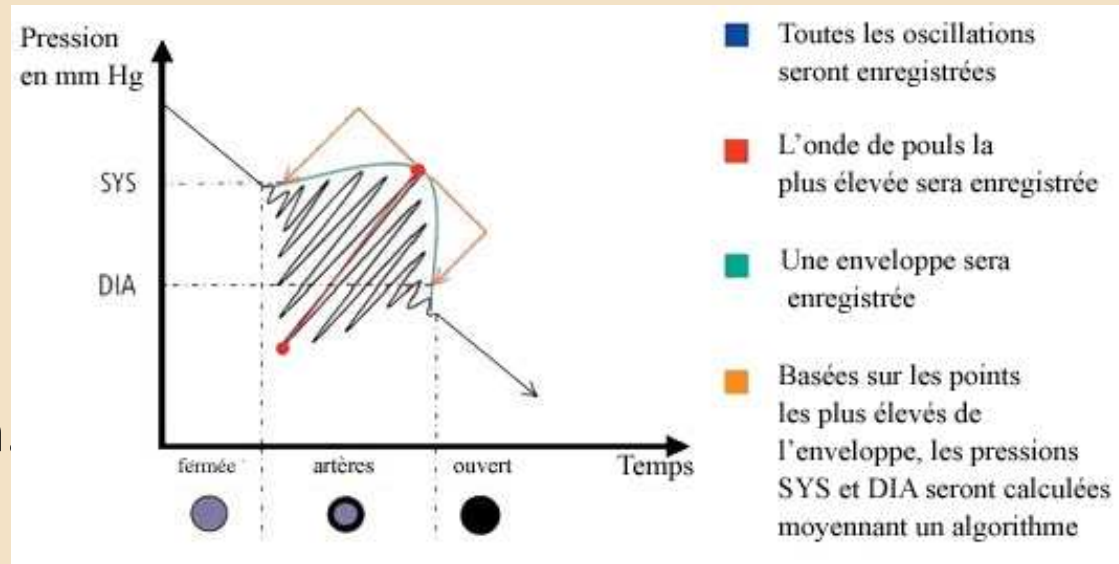


Mesures non invasives : méthodes occlusives, discontinues

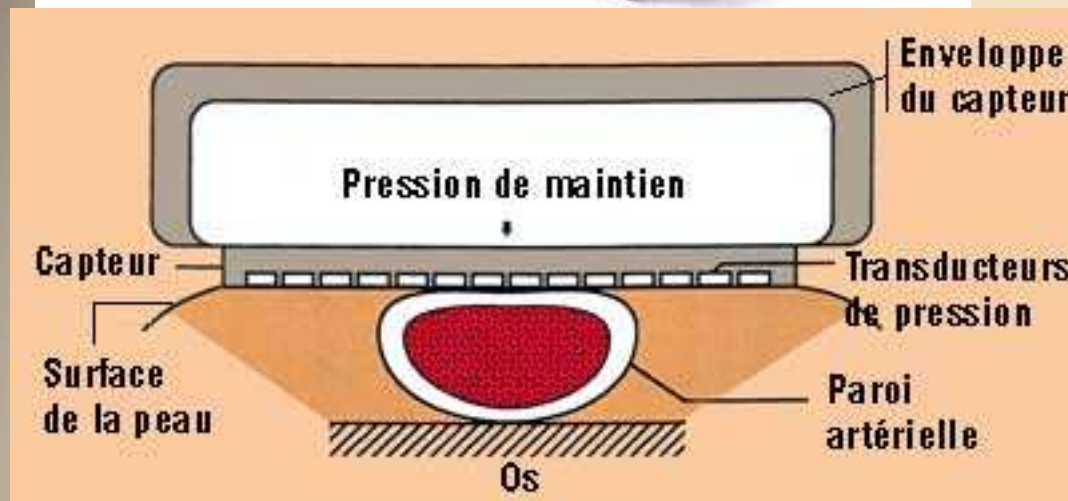
- Oscillométrie

= brassard à tension électronique

Petites oscillations de contre pression perçues, passant par un maximum. PAS et PAD calculés dans la zone d'apparition et de disparition des oscillations



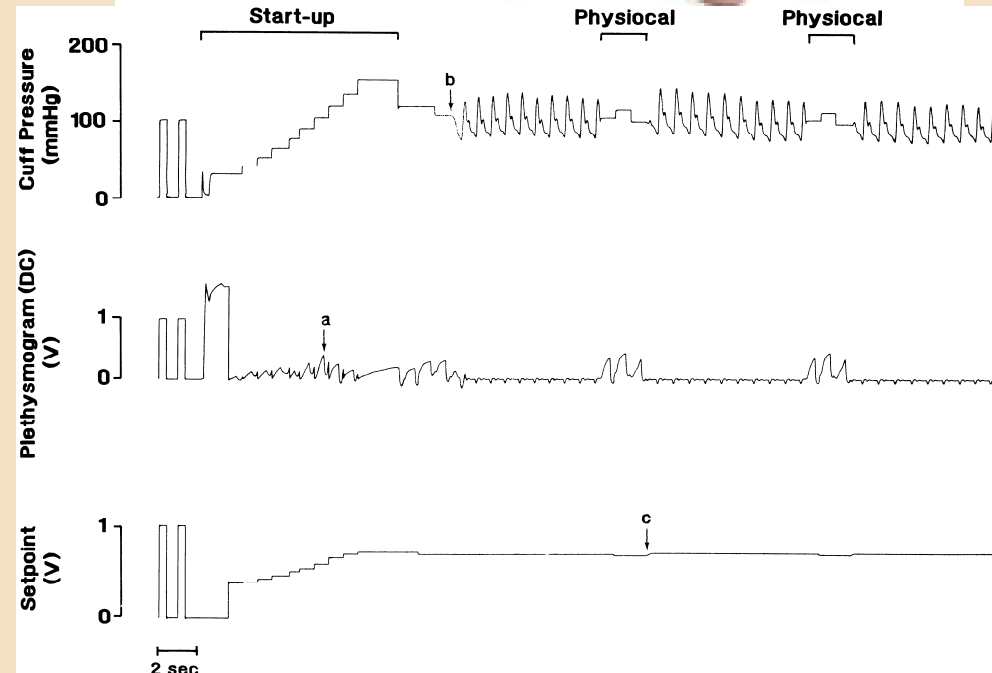
Mesures non invasives : méthodes non occlusives, continues



- Tonométrie
 - Technique utilisée en ophtalmo
 - Application d'un transducteur de pression avec éléments piezo-électriques sur artère radiale, calibration par méthode oscillométrique en humérale
 - A partir algorithmes, reconstitution courbe de pression aortique

Mesures non invasives : méthodes non occlusives, continues

- Photopléthysmographie digitale
Méthode FINAPRES (FINGER Arterial PRESSure), ≈ 1980
Manchette sur le doigt appliquée avec pression permettant d'annuler pression transmurale artérielle, après calibration
Mesure de la variation de la taille du doigt / infrarouge
==> systèmes Nexfin et CNAP

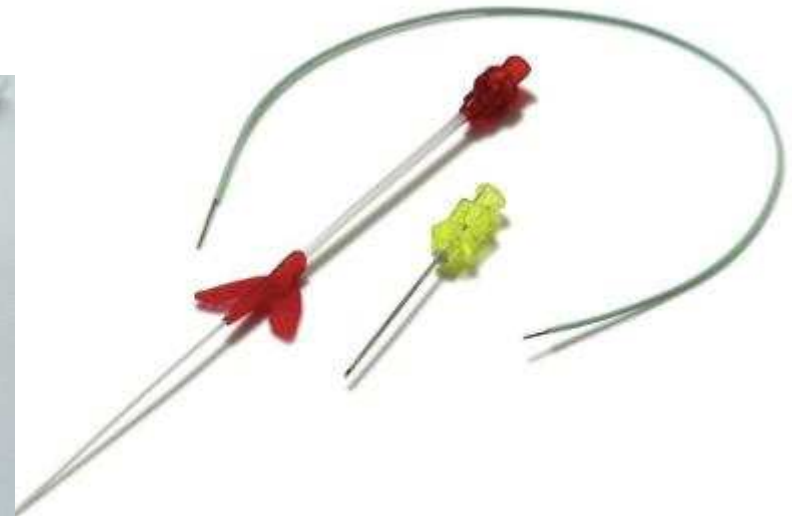


Mesures invasives

- Technique
- Montage
- Zéro de référence
- Fréquence naturelle, coefficient d'amortissement
- Limites

Technique

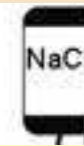
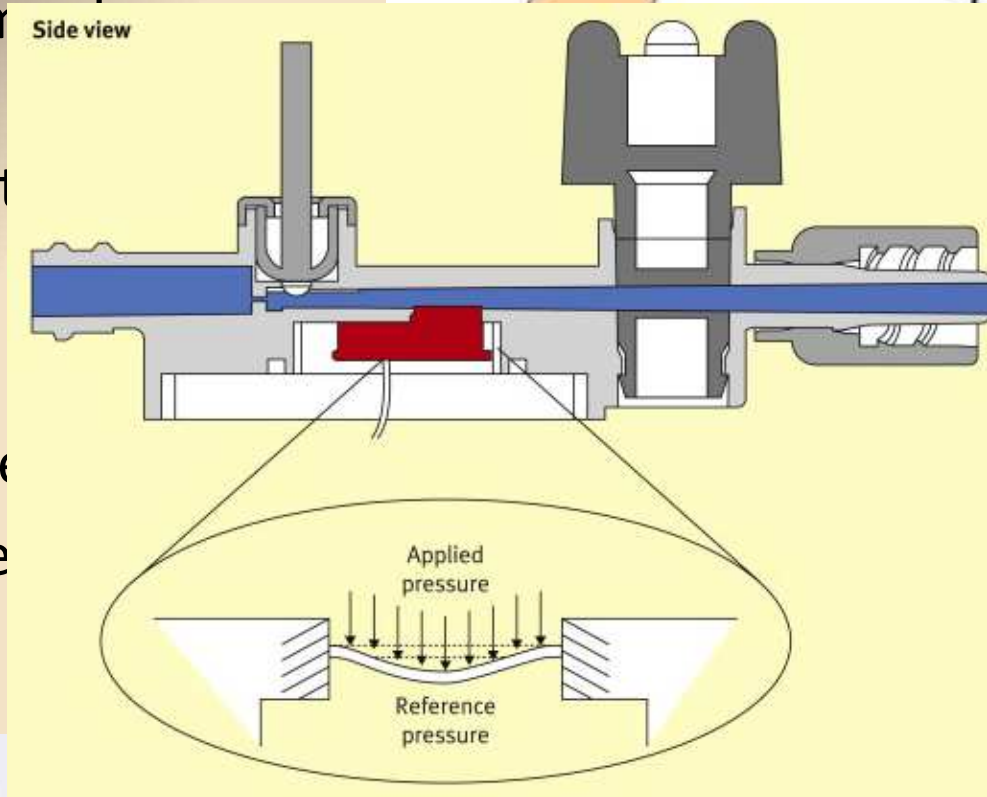
- Cathétérisation d'une artère périphérique
 - Radiale
 - Fémorale
- Test d'Allen
- Plusieurs techniques...
- Attention, thrombose artérielle directement en rapport avec la taille du KT ; max 20G en radial, 18G en fémoral.
- Longueur de KT : 5cm max en radial



Montage

Relié à un système de
transduction

- Poche cont
- SSI
- Tubulure
- Tête de pro
- Module de
du signal



Poche à pression



pression
ducteur)

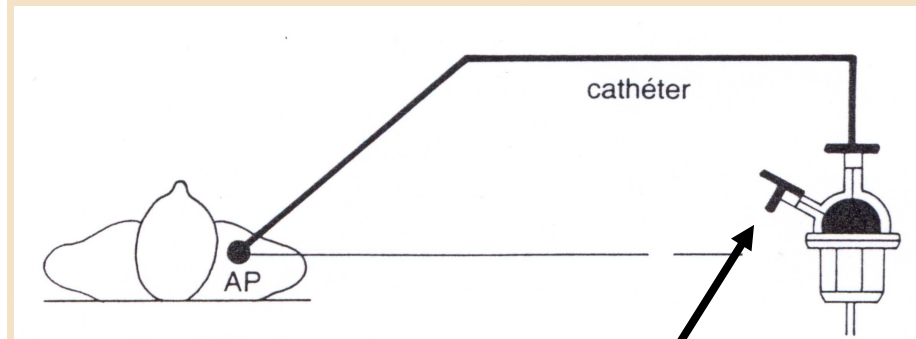
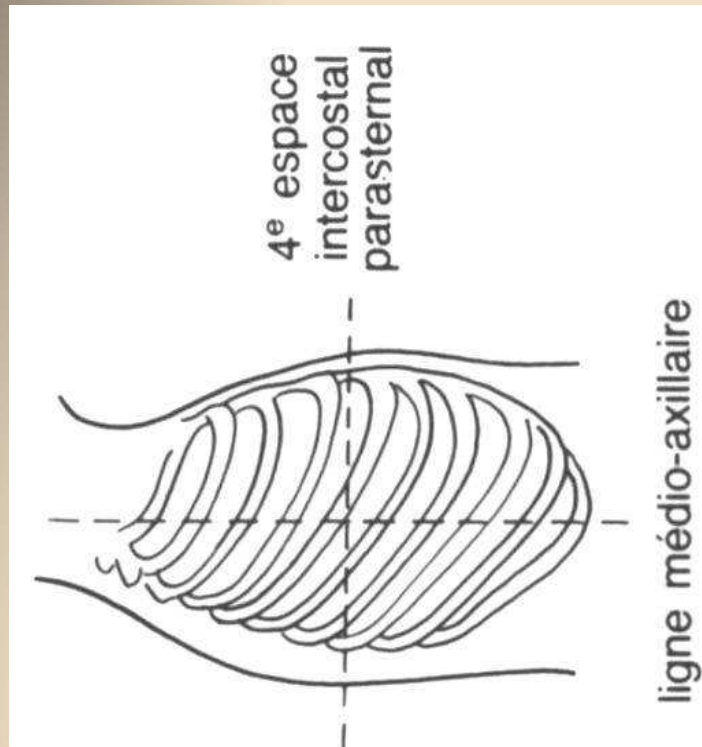
Courbe de pression
et
Valeurs numériques

pression



Zéro hydrostatique de référence

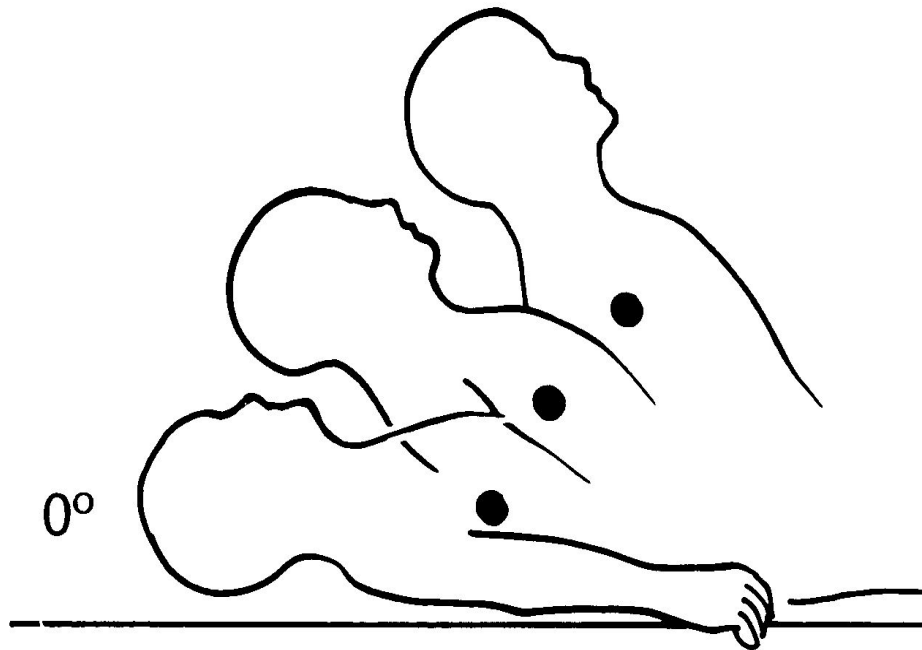
Point phlébostatique = niveau de l'abouchement du sinus cave dans l'oreillette droite



Ouverture à l'atmosphère

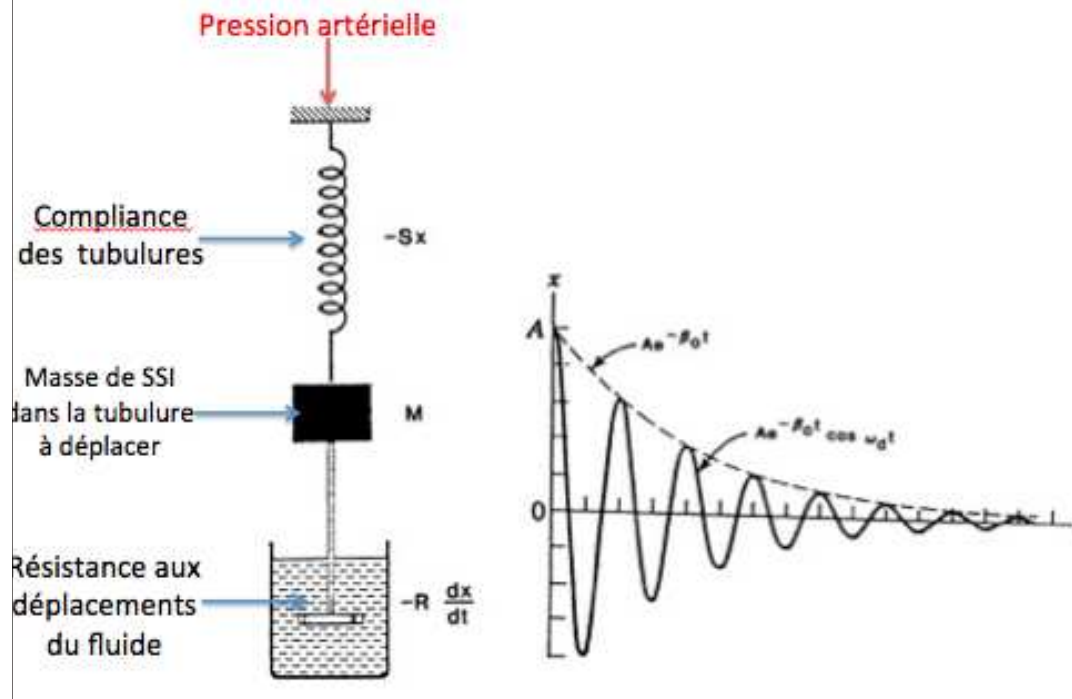
Zéro hydrostatique de référence

Point phlébostatique (●)
selon la position 45°



- Inclinaison $> 45^\circ$
?
- Décubitus latéral
?
- Décubitus ventral ?

Fréquence naturelle et coefficient d'amortissement

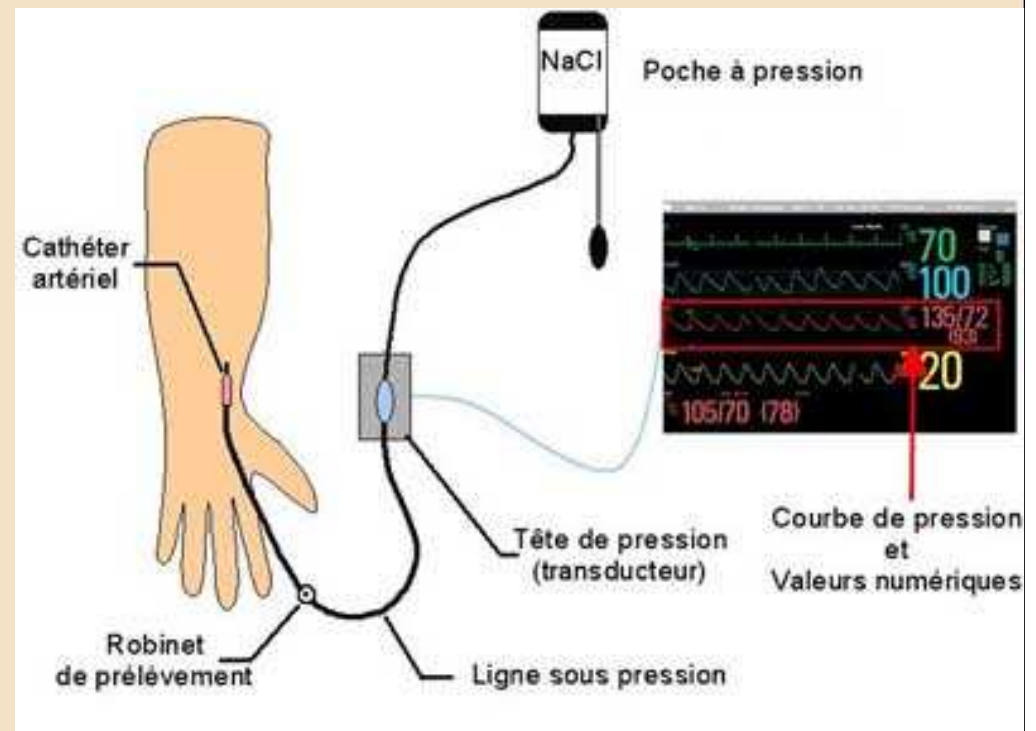


La qualité du système dépend de 2 facteurs principaux

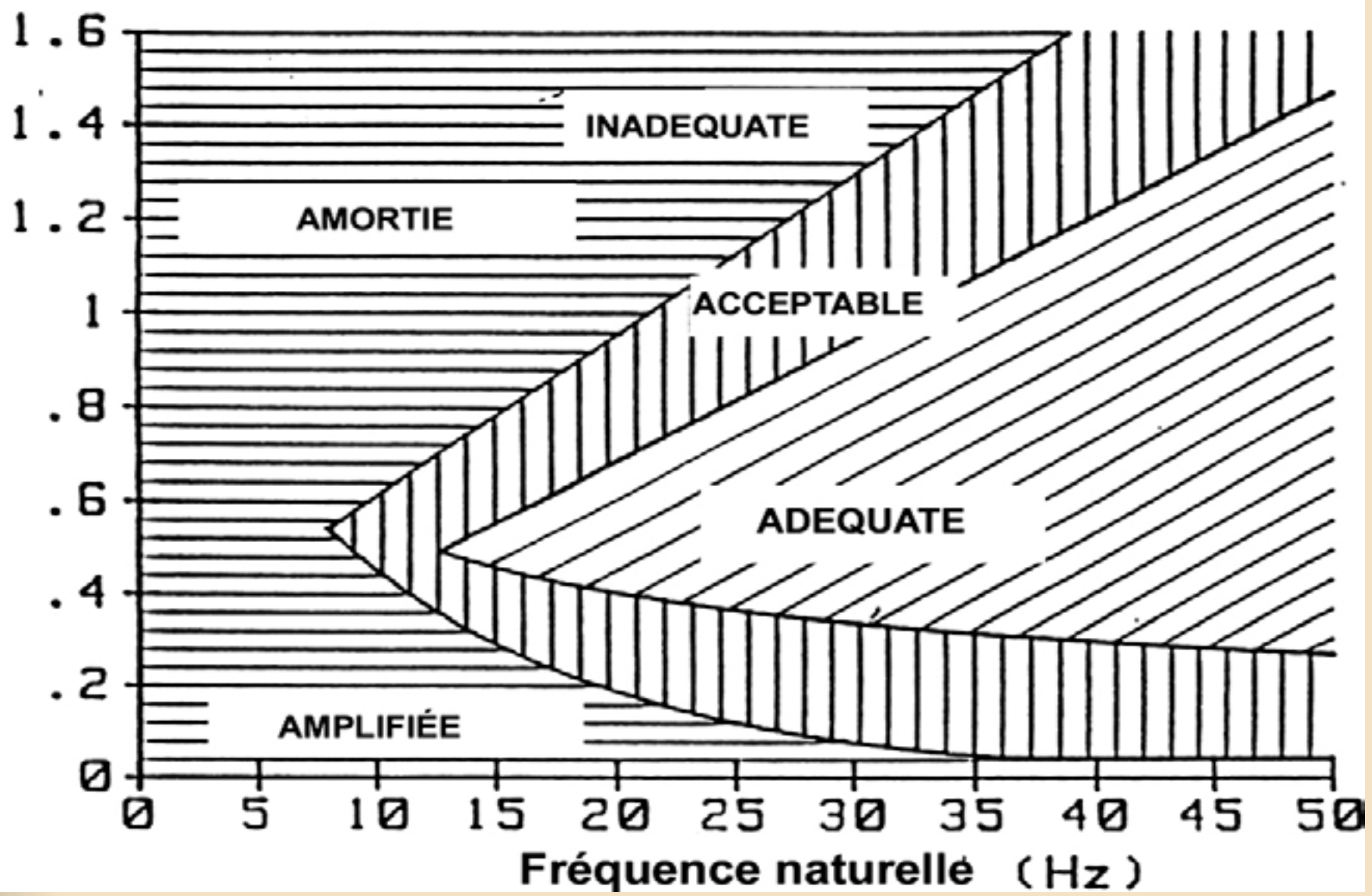
- La **fréquence naturelle** du système
- Le **coefficient d'amortissement** (coefficient de damping)

Limites physiques

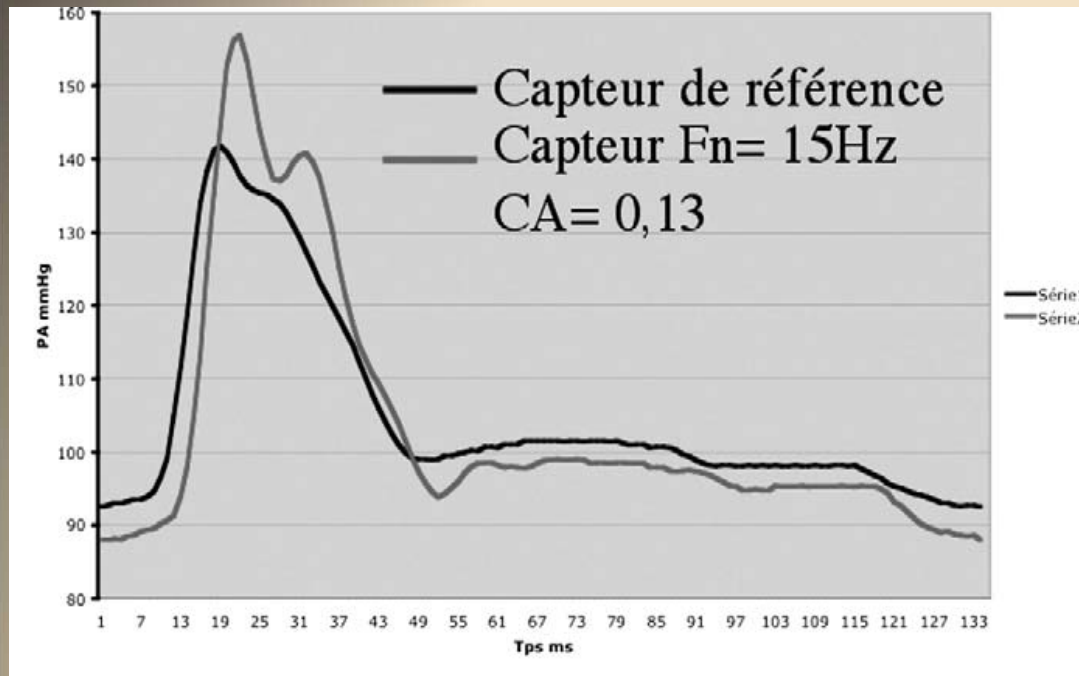
- Les caractéristiques du transducteur seul sont excellentes (fréquence naturelle de 100 à 500hz)
- Mais connecté au système rempli de liquide, F_n et C_a peuvent être altérés:
 - Caractéristiques des lignes et cathéter (longueur, diamètre)
 - robinet
 - Présence de bulles d'air



Coefficient de damping



Limites physiques : distorsion



Exemple :

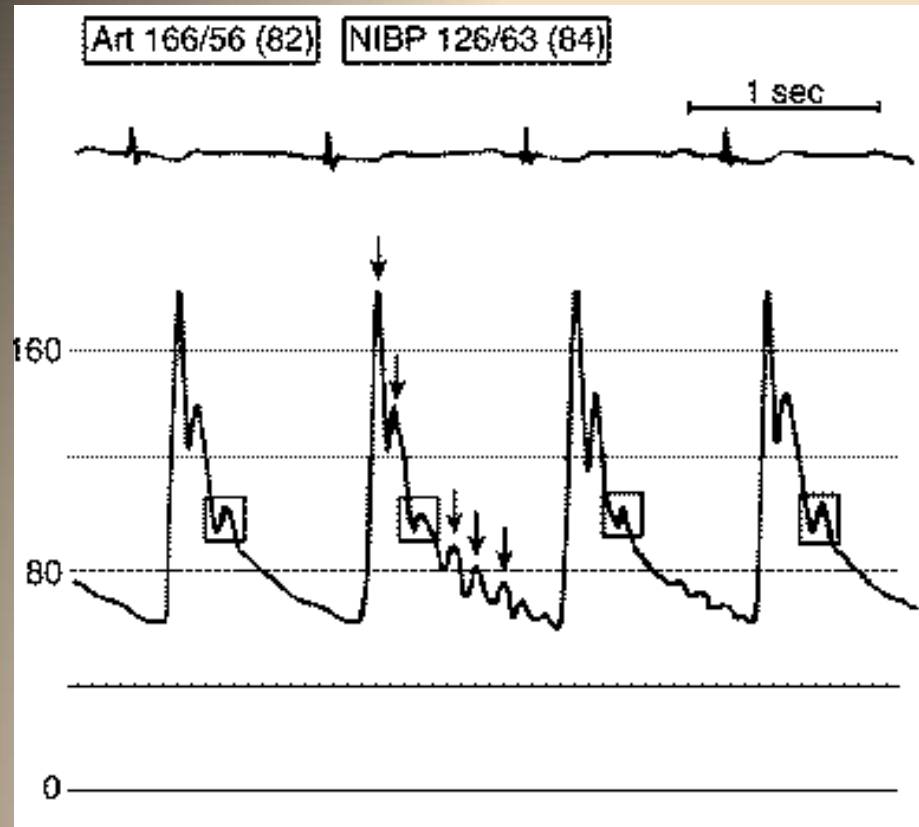
FC à 60bpm = 1Hz

Et capteur de pression
avec Fn 15Hz et Ca 0,13

➔ Amplification du signal

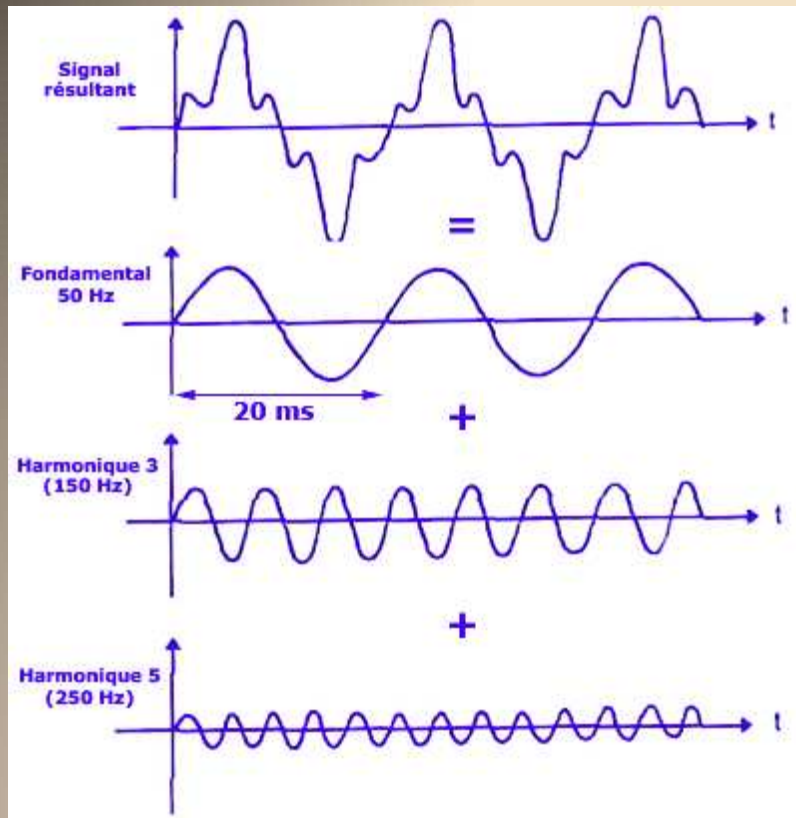
➔ Va se majorer avec
augmentation de FC

Limites physiques : résonance

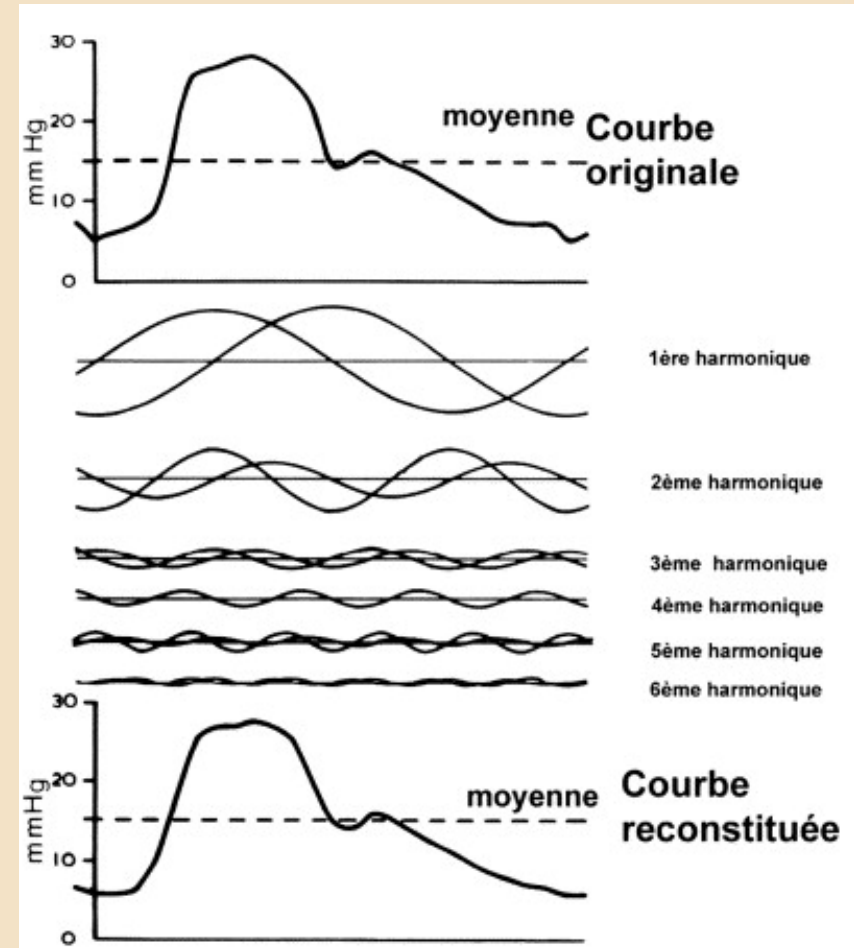


Onde de Pression Artérielle

Fréquence propre, décomposée en harmoniques

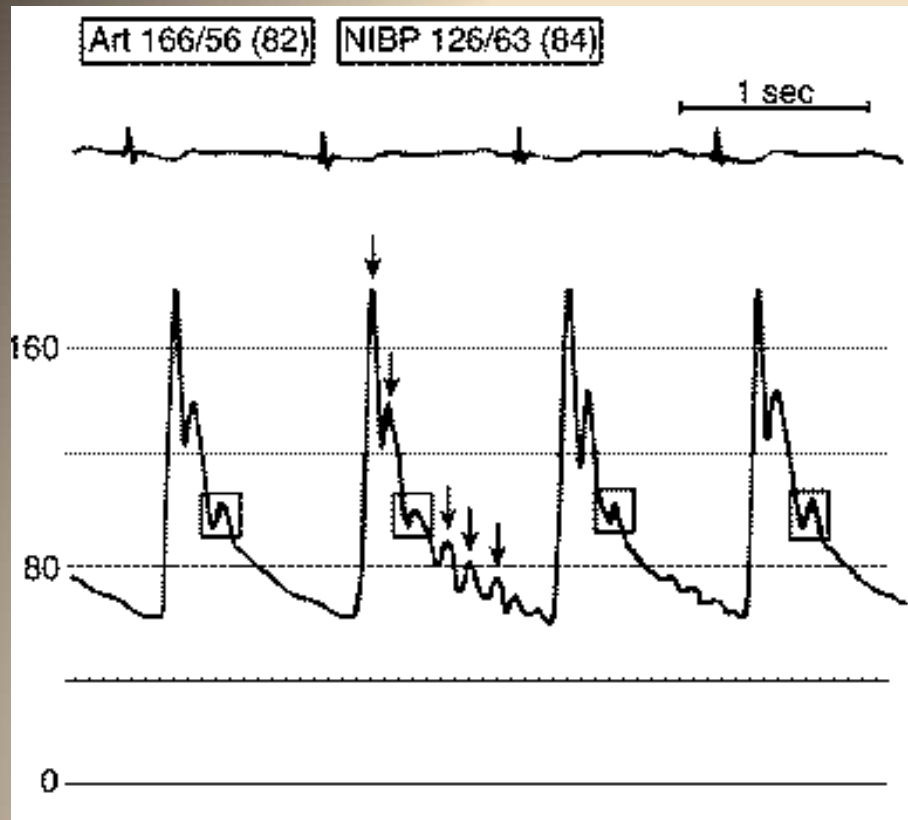


Recomposition d'une onde complexe à l'aide d'harmonique



Recomposition d'une onde de PA à l'aide d'harmonique

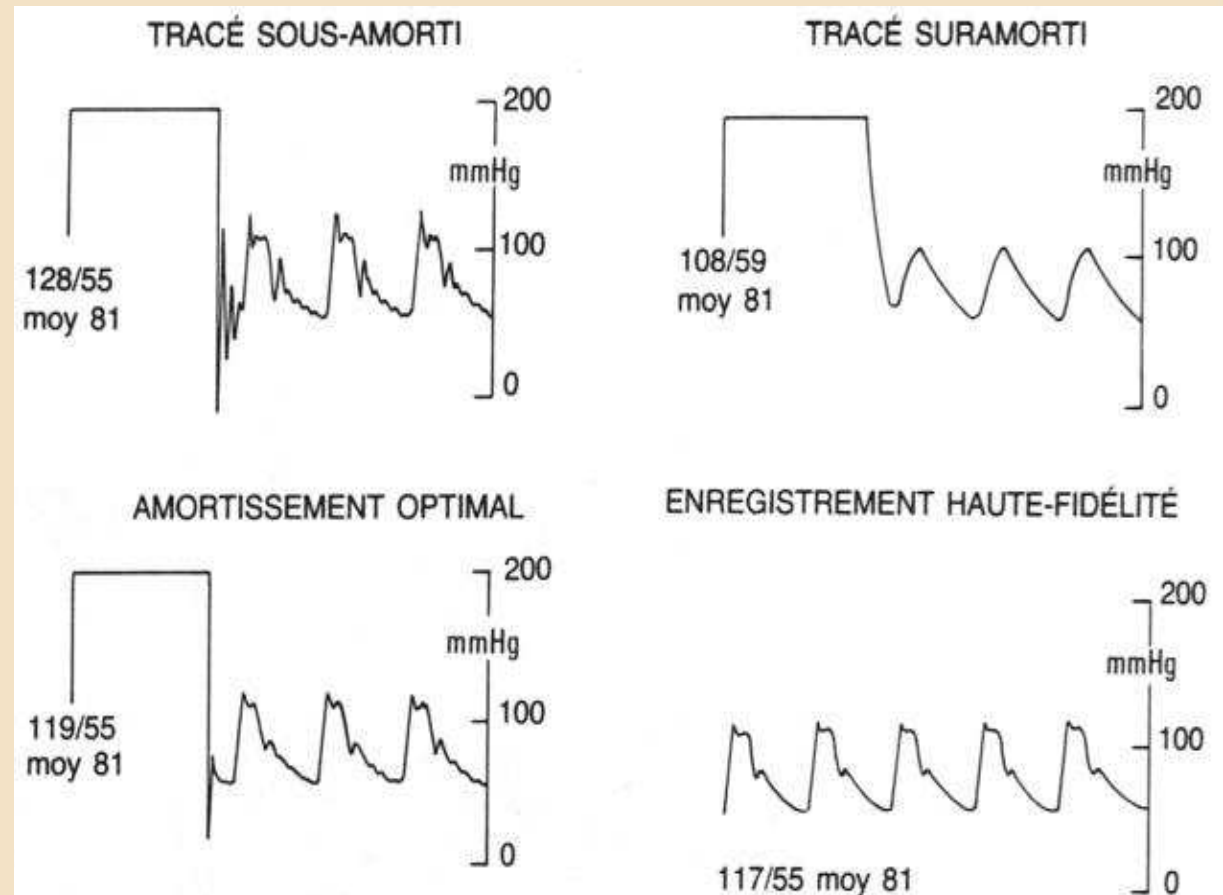
Limites physiques : résonance



- Un patient à une fréquence cardiaque de 120 BPM
- Un concours de circonstances fait tomber la fréquence naturelle du système à 15Hz.
- Fréquence de la 8ème harmonique de la PA du patient = 16Hz (= $120/60 \times 8$)
- La fréquence naturelle du système est alors très proche de la fréquence de la huitième harmonique. Le système peut entrer en résonance et peut sur estimer la pression artérielle réelle du patient.

Limites physiques : amortissement

- Sur-amortissement :
P syst. \searrow , P diast. \nearrow
Causes : bulles,
cathéter bouché,
tubulures souples,
longues, fines (Fn \searrow)
- Sous-amortissement :
P syst. \nearrow , P. diast \searrow
Causes : tubulures
courtes, rigides,
épaisses, de gros
diamètre (Fn \nearrow)



Shinozaki T. Anesthesiology 1980 ; 53 : 498-504

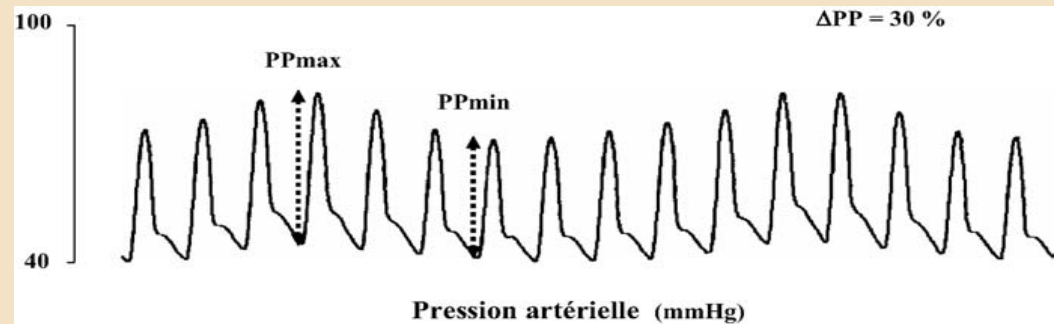
Gardner RM. Anesthesiology 1981 ; 54 : 227-36

Plan

- I. Définitions
- II. Déterminants des composantes de la Pression Artérielle Systémique
- III. Facteurs influençant la forme de la courbe
- IV. Méthodes de mesure
- V. Exploitation du signal**
 - 1. Méthodes invasives**
 - 2. Méthodes non invasives**

Méthodes invasives : DeltaPP

- Cathéter artériel
- Patient sous ventilation mécanique, mode contrôlé
- Rythme sinusal
- Ventilation mécanique entraîne modifications du VES seulement si les 2 ventricules ont une réserve de précharge



$$\Delta PP = (PP_{max} - PP_{min}) / [(PP_{max} + PP_{min}) / 2]$$

- Prédicatif de la réponse au remplissage
- Plus élevé est le ΔPP , plus est marquée l'augmentation de l'index cardiaque
- Plus le ΔPP est élevé, plus l'application d'une PEP sera délétère pour le débit cardiaque

Teboul et al, Am J Respir Crit Care Med Vol 162. pp 134–138, 2000
Teboul et al, Am J Respir Crit Care Med 1999;159:935–939.

Méthodes invasives : Picco[©]

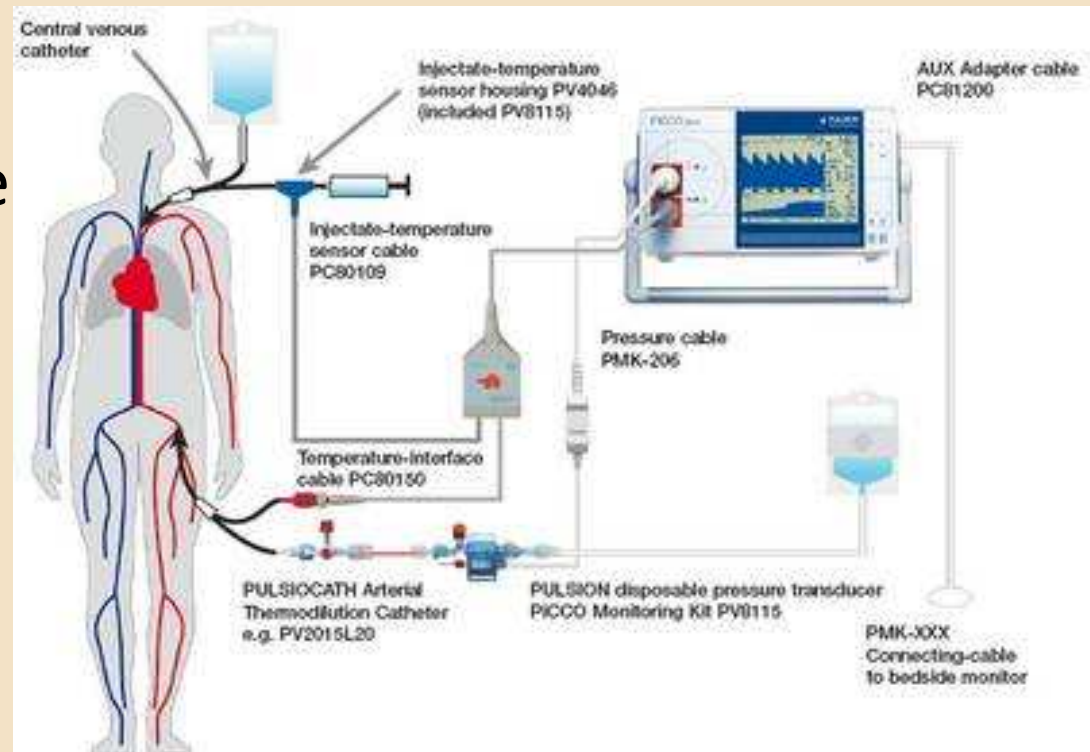
- Basé sur le principe de Windkessel à 3 éléments
- Utilise une calibration par thermodilution (soluté froid)
- Permet analyse battement par battement et détermination DC en continu



Woods, Rhodes, Insuffisance circulatoire aigue,
Masson 2009, p200
Godje, Crit Care Med 2002 Vol. 30, No. 1

Méthodes invasives : Picco[©]

- Nécessite un cathéter artériel spécifique, avec fibre optique et thermistance
- Nécessite cathéter veineux central avec thermistance



Méthodes invasives : Picco ©

- MAIS une partie de l'algorithme n'est connue que du constructeur...

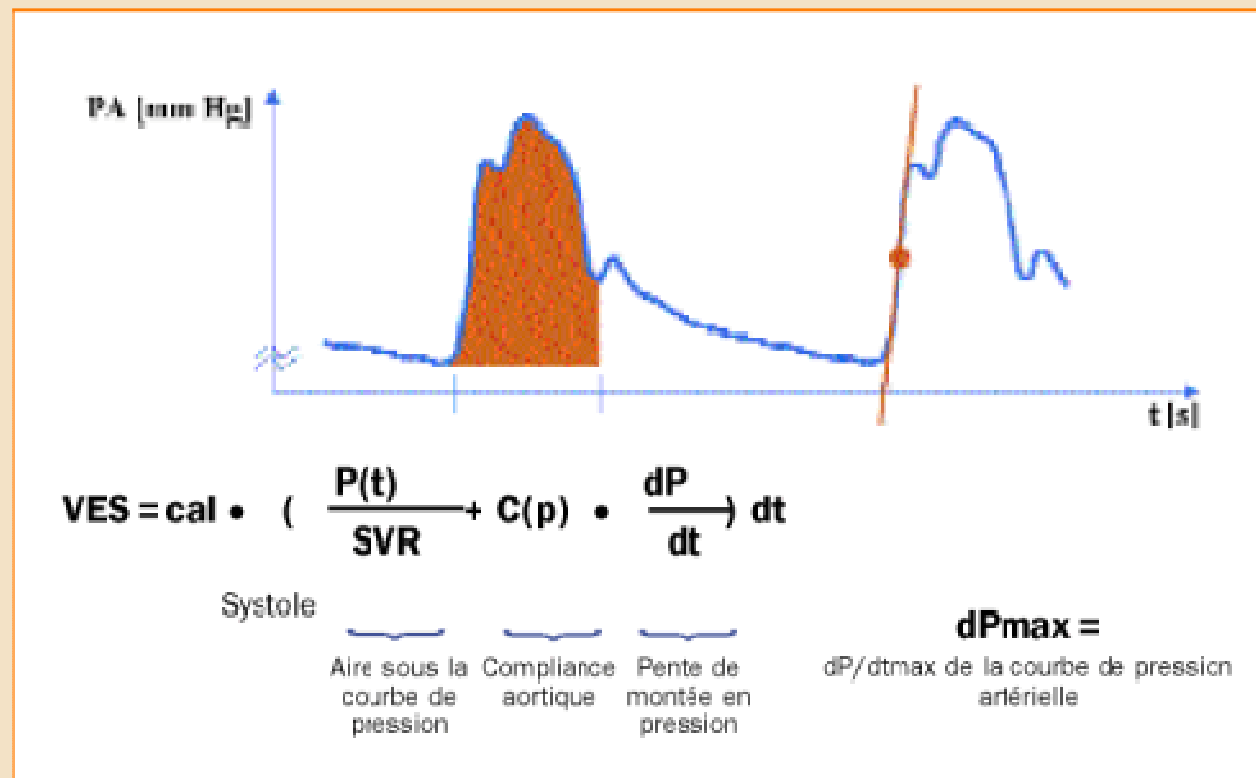


Fig. 5. Analyse de la courbe de pression artérielle.

Principe de calcul du volume d'éjection systolique par l'intégration de la courbe de pression artérielle et de l'indice de contractilité ventriculaire gauche (dPmax).

Vigileo avec FloTrac

- Basé sur l'analyse statistique de la variation de la forme de l'onde de pouls
- Pas de calibration
- Modèle de régression logistique comprenant résistance et compliance, données démographiques
- Compare écart type de PP à chaque battement, à une base de donnée démographique



Woods, Rhodes, Insuffisance circulatoire aigue, Masson 2009, p200
Button et al, Br J Anaesth, 2007, 99(3)329-36

Méthodes non invasives... ?

- CNAP
- Nexfin
- Tonométrie...



Vincent JL, Anaesthesia 2013, 68, 917-923
Ameloot, Scientific World J, 2013



Chemla et al, curr opin crit care 2008 14:317-21
Chemla et al, CHEST 1998; 113:1466-74
Osman, Intensive Care Med (2011) 37:942-949

Merci de votre attention.

Bibliographie

- Guyton, Précis de Physiologie Médicale, chapitre 14, ed Piccin
- Chemla D. in Réanimation Médicale, vol 1 chap 4, éd. Masson
- Cochard, Réanimation 15 (2006) 103–108
- Physiologie humaine appliquée, chap 6, éd Arnette
- Woods, Rhodes, Insuffisance circulatoire aigue, Masson 2009
- Berne et Levy. Cardiovascular Physiology 1972
- Boutouyrie P et al. Sang et thrombose vaisseaux. 16(2), 2004
- Asmar R, Néphr & Thérap, 3(4), 2007, 163-184
- Ramsey, J Clin Monit. 1991 Jan;7(1):56-67
- O'Rourke, Curr Opin Cardiol 20:275-281, 2005.
- Wesseling et al., CardVasc Research 38 (1998)
- Pedersen A. Acta Med Scand 1951
- Mark JB: Atlas of Cardiovascular Monitoring, 1998: Fig. 9–4
- Shinozaki T. Anesthesiology 1980 ; 53 : 498-504
- Gardner RM. Anesthesiology 1981 ; 54 : 227-36
- Godje, Crit Care Med 2002 Vol. 30, No. 1
- Button et al, Br J Anaesth, 2007, 99(3)329-36
- Vincent JL, Anaesthesia 2013, 68, 917-923
- Ameloot, Scientific World J, 2013
- Chemla et al, curr opin crit care 2008 14:317-21
- Chemla et al, CHEST 1998; 113:1466-74
- O'Rourke Med Biol Eng Comput (2009) 47:119–129
- Osman, Intensive Care Med (2011) 37:942–949
- Chemla J Cardiovasc PharmacolTM 2008;51:111–117)
- Merci à Melle le Professeur Saulnier pour le prêt de diaporamas personnels ainsi que d'éléments de bibliographie.