

UTILISER LA PRESSION
ARTERIELLE ET SES
PARAMETRES DERIVES

Dr A. LANDAIS

Lille 07.12.06

Argenteuil



Figure 9 : courbe de pression artérielle normale. 1 : montée de pression systolique, 2 : pic de pression systolique, 3 : décroissance systolique, 4 : onde dicrote (fermeture des sigmoïdes aortiques), 5 : décroissance diastolique, 6 : pression télé diastolique.

Quelques caractéristiques de la PA

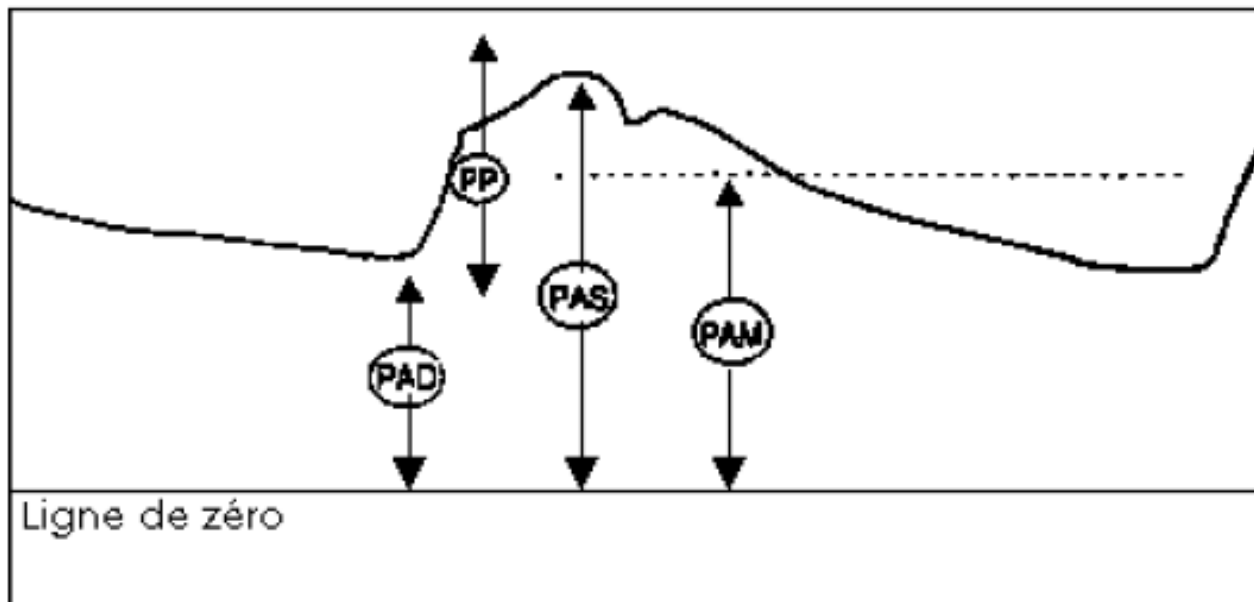
- ✿ Classiquement : PAS et PAD
- ✿ Accessoirement : PAM

Mais il existe bien d'autres informations portées par l'onde pulsée de pression artérielle :

- ◆ La pression pulsée
- ◆ La PAM
- ◆ La variabilité respiratoire de la pression artérielle

Définition et caractéristiques

- ☀ La PA est un phénomène périodique constitué de 2 composantes :
 - ✗ La PAM
 - ✗ La Pression Pulsée



Définition de la Pression Artérielle Systolique (PAS),
Diastolique (PAD), Moyenne (PAM) et de la Pression Pulsée (PP)

La PAM = Pression Motrice de la
circulation systémique

$$= DC \times RVS$$

$$= (FC \times VES \times RVS) - PODm$$

$$= PAD + \frac{1}{3}(PAS - PAD)$$

$$= (\frac{2}{3}PAD) + (\frac{1}{3}PAS)$$

La Pression Pulsée

- ☀ La PP = PAS - PAD : marqueur de l'état artériel
 - ✗ Reflète l'état des gros troncs artériels
 - ✗ PP augmente quand la compliance (élasticité) diminue
 - ✗ Compliance = VES/PP aortique (inversement liée)
 - ✗ Directement proportionnelle au VES du VG
 - ✗ Linéairement corrélée aux modifications du VES sous VM

Les déterminants

✿ PAS :

- ✗ Ejection ventriculaire gauche
- ✗ Compliance des gros troncs artériels
- ✗ Onde de réflexion
- ✗ Résistances périphériques

✿ PAD :

- ✗ Résistances périphériques des petites artères
- ✗ Rigidité de la paroi des gros troncs
- ✗ Modification du tonus vasculaire

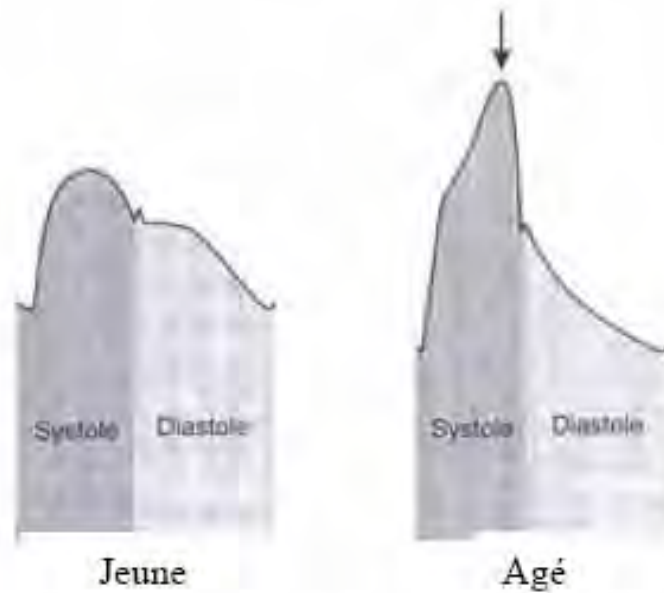


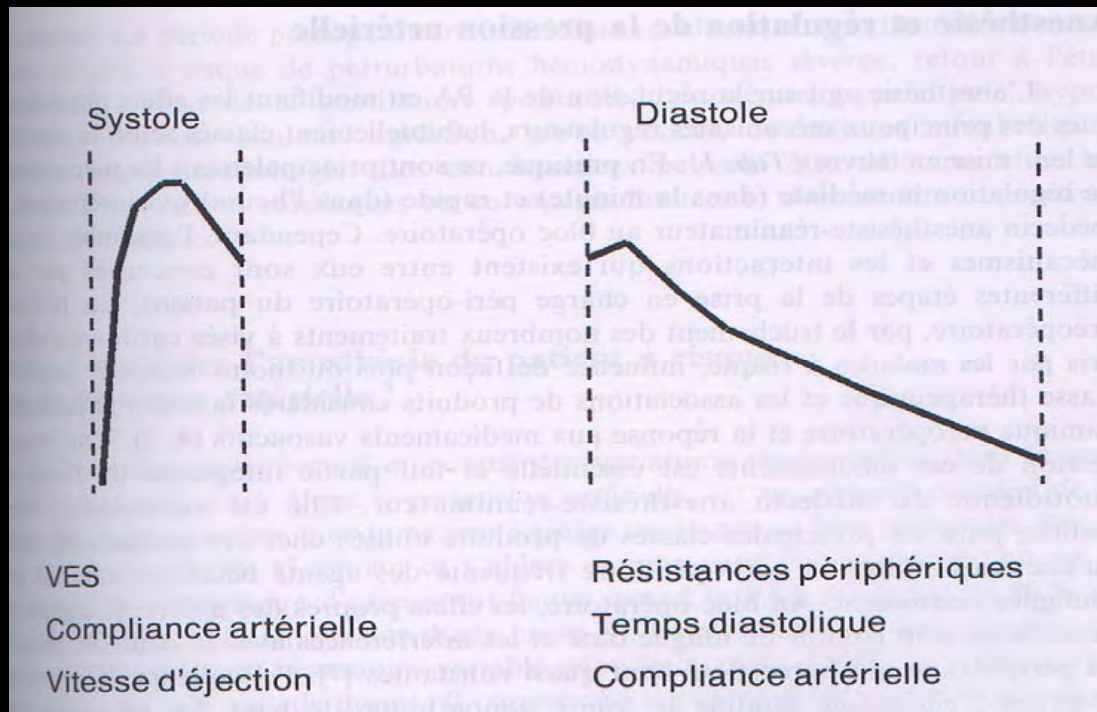
Figure 10 : Impact de l'âge sur la morphologie de la courbe de pression artérielle.

Caractéristiques de la PA(1)

PAS dépend : du VEVS,
de la compliance artérielle aortique
de la vitesse d'éjection dans l'aorte

PAD = Pt de pression le plus bas de la vidange diastolique
(effet Windkessel : Transformation d'un débit pulsé en un débit continu)

PAD dépend : des RPT
du temps diastolique (↗ la FC ↗ PAD)
de la compliance



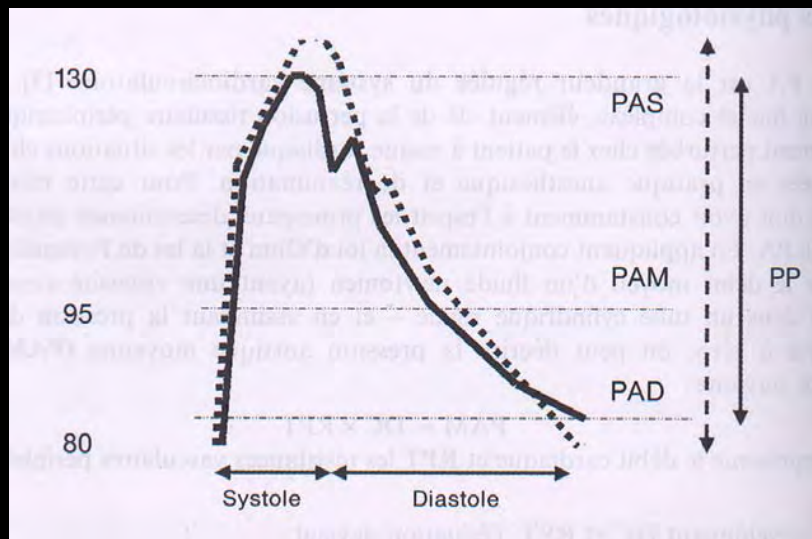
Caractéristiques de la PA(2)

La transmission de l'onde de pression le long de l'arbre artériel modifie à la fois la valeur et la forme du signal aortique.

De l'aorte vers la périphérie :

PAM et PAD diminuent

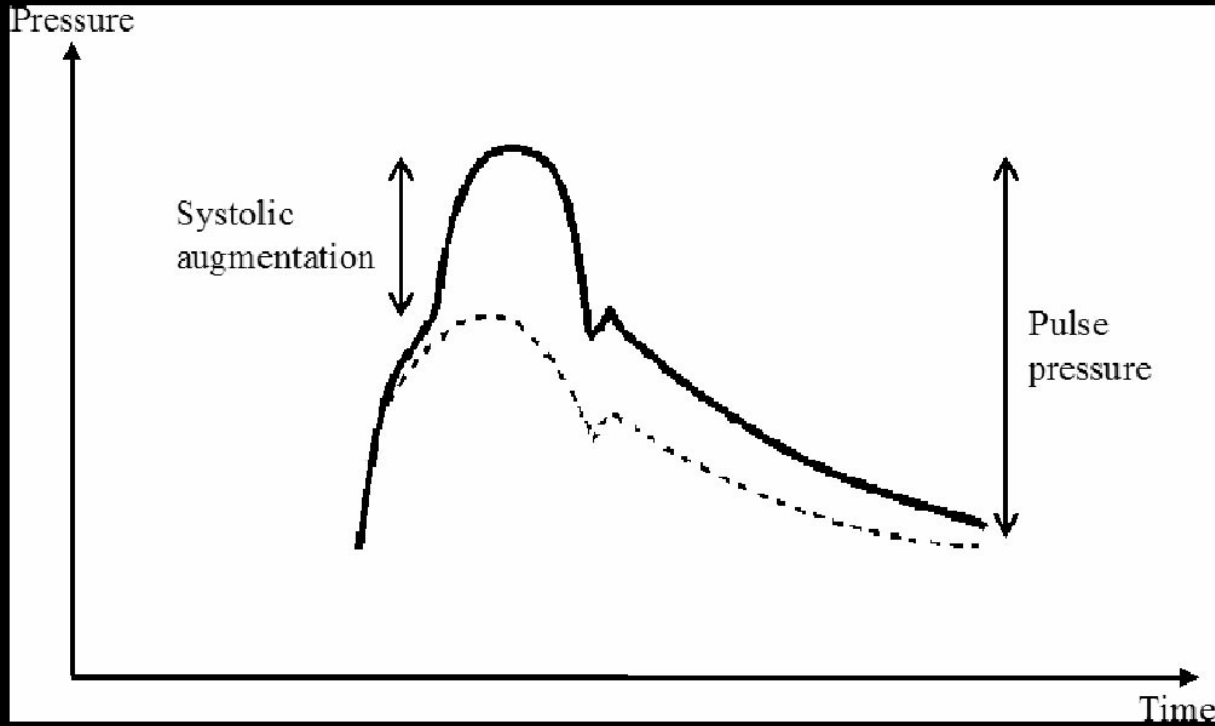
PAS et PP augmentent (réflexion de l'onde de pouls)



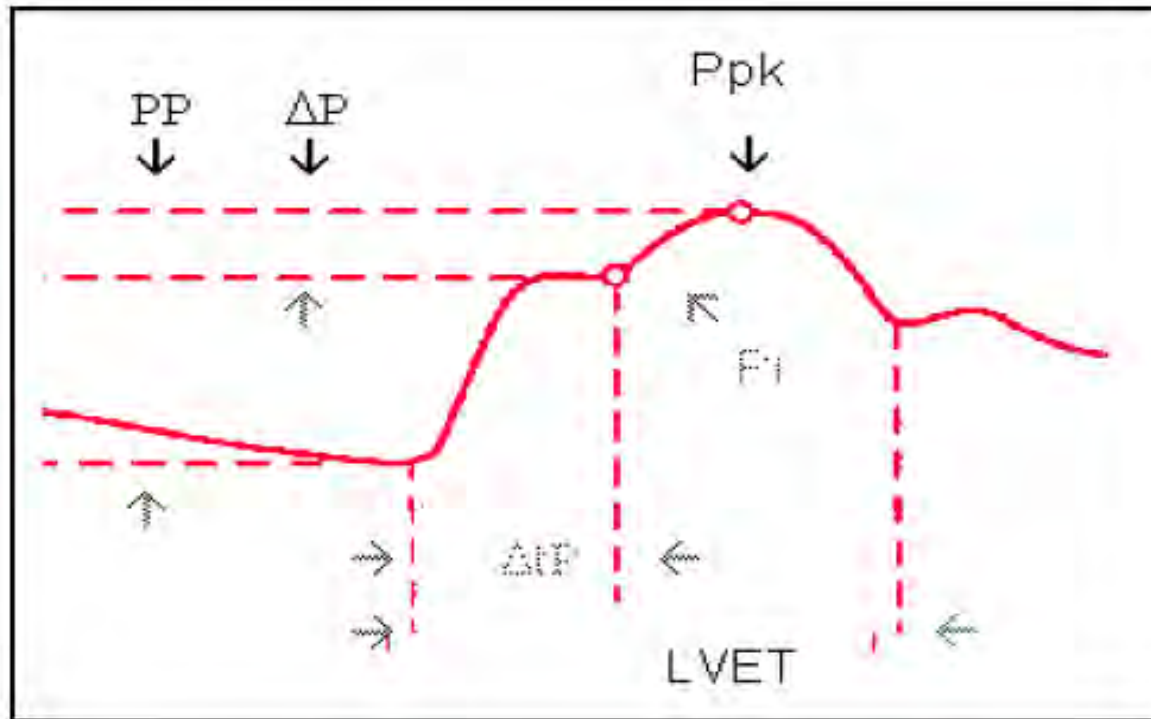
L'onde de réflexion (1)

- ✿ Onde de pression se propage d'une manière complexe
- ✿ Vitesse élevée (8 à 10 m/s)
- ✿ Réflexion contre le barrage artériolaire distal
- ✿ S'additionne à l'onde de pression incidente
 - ✗ En protodiastole chez le sujet sain (remplissage coronaire)
 - ✗ En télésystole chez le sujet âgé (augmentation post charge)

L'onde de réflexion (2)



L'onde de réflexion (3)



Onde de pression carotidienne

- ☀ Double point d'inflexion précoce (P_i) et semi-retardé (P_{pk})
- ☀ Ce Pic = Retour systolique de l'onde réfléchie :
 - ✘ élévation de la PAS et de la PP

☀ Quelles sont les informations exploitables ?

☀ Quels sont les paramètres dérivés ?

- ☀ Variations respiratoires de la pression artérielle
(interaction cœur - poumon)
- ☀ Analyse du contour de l'onde de pouls (Pulse Contour)

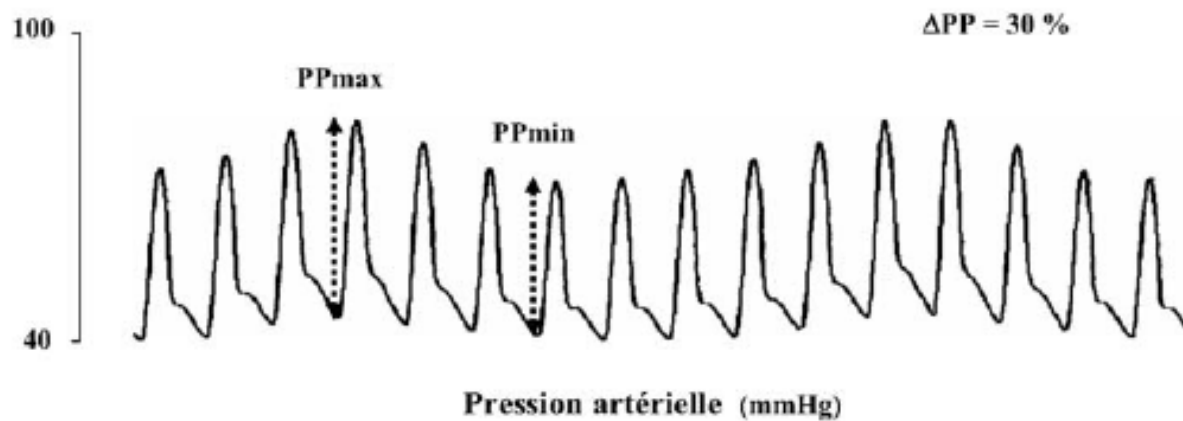
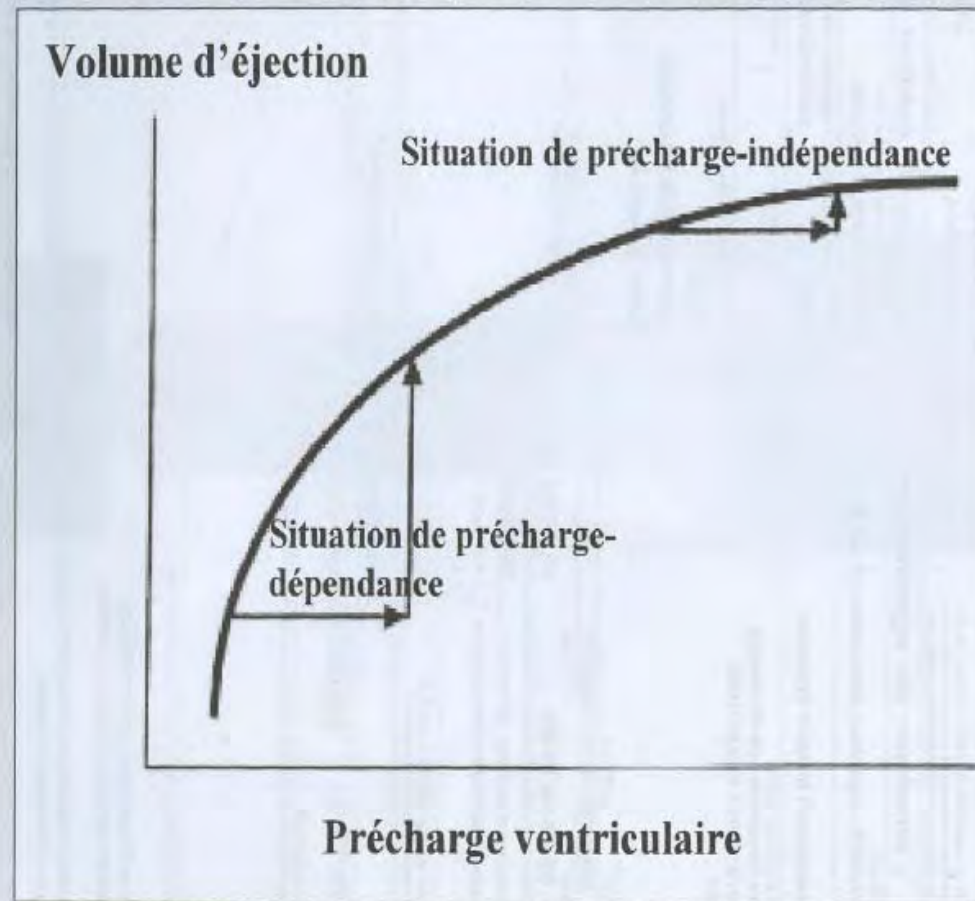
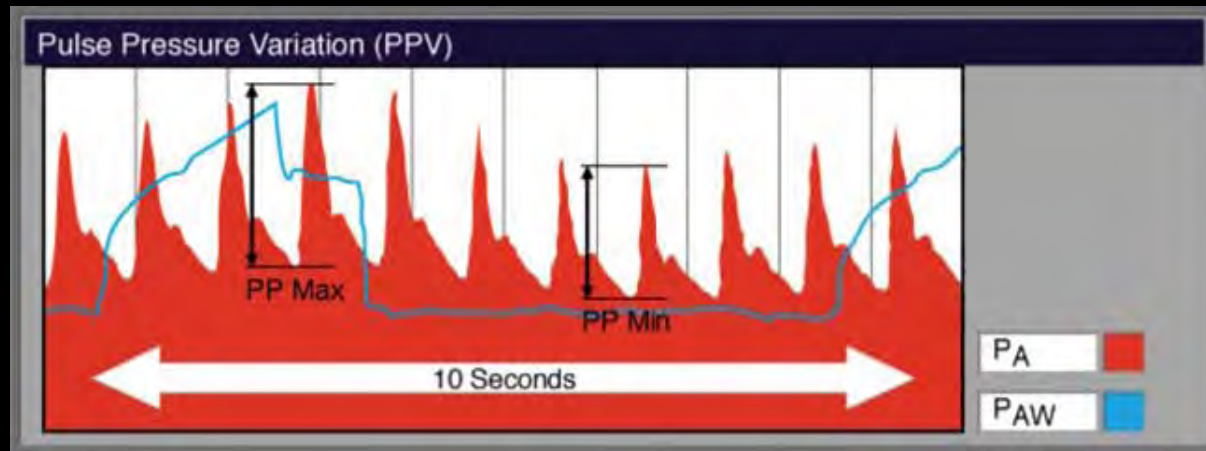


Fig. 1. Variation respiratoire de la pression artérielle chez un patient sous ventilation mécanique.

Représentation schématique de la relation de Frank-Starling entre précharge et volume d'éjection ventriculaire



Variations respiratoires de la Pression Pulsée



Variations respiratoires de la Pression Pulsée

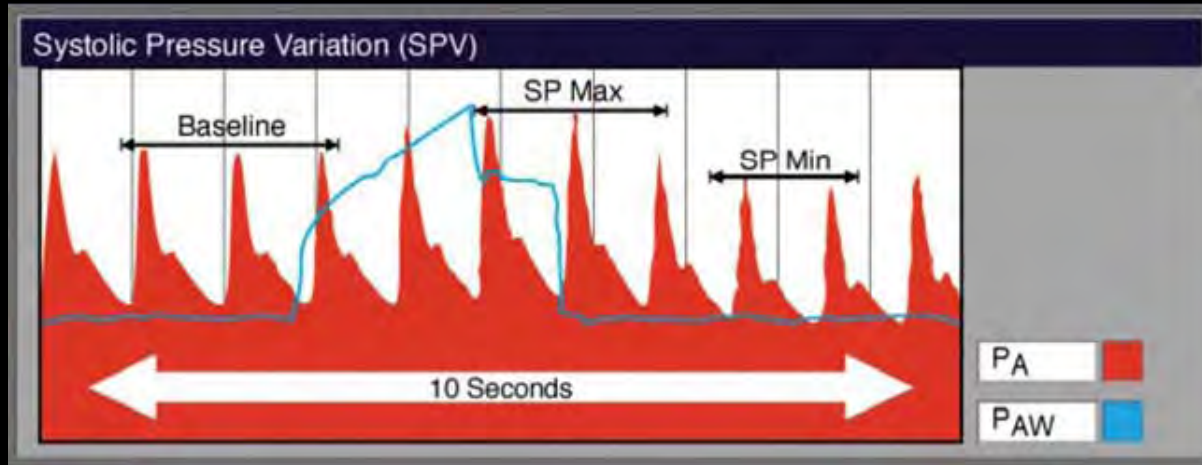
☀ ΔPP = marqueur du degré de réponse au remplissage vasculaire

$$\Delta PP (\%) = (PP_{\max} - PP_{\min}) / [(PP_{\max} + PP_{\min})/2] \times 100$$

valeur seuil $\Delta PP \geq 13 \%$

☀ Plus ΔPP est élevé, plus grande sera l'augmentation du DC après remplissage.

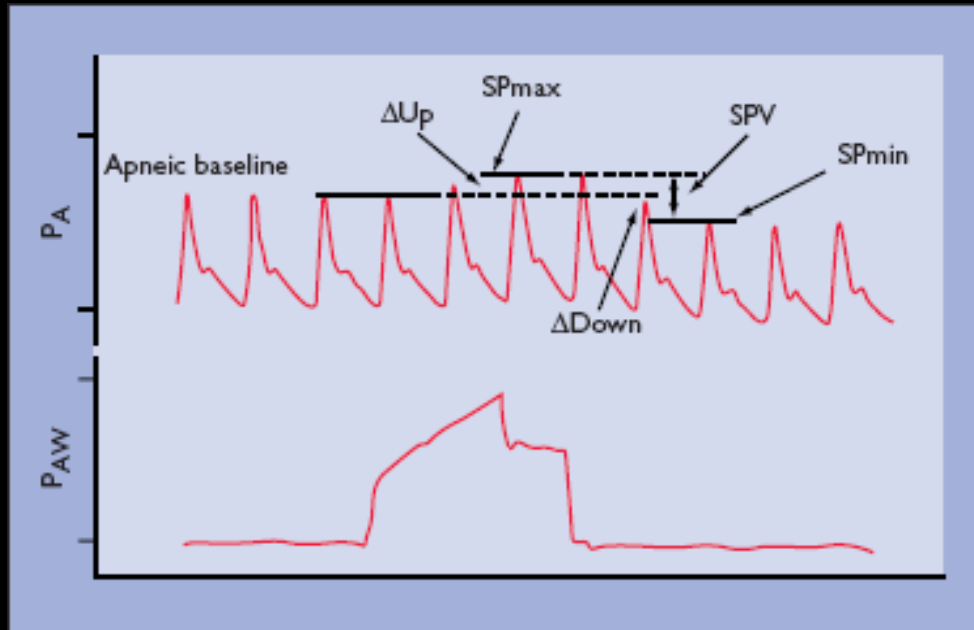
Variations respiratoires de la Pression Artérielle Systolique



3 valeurs informatives :

- ✘ La variation de Pression Systolique
- ✘ Le Δ up
- ✘ Le Δ down

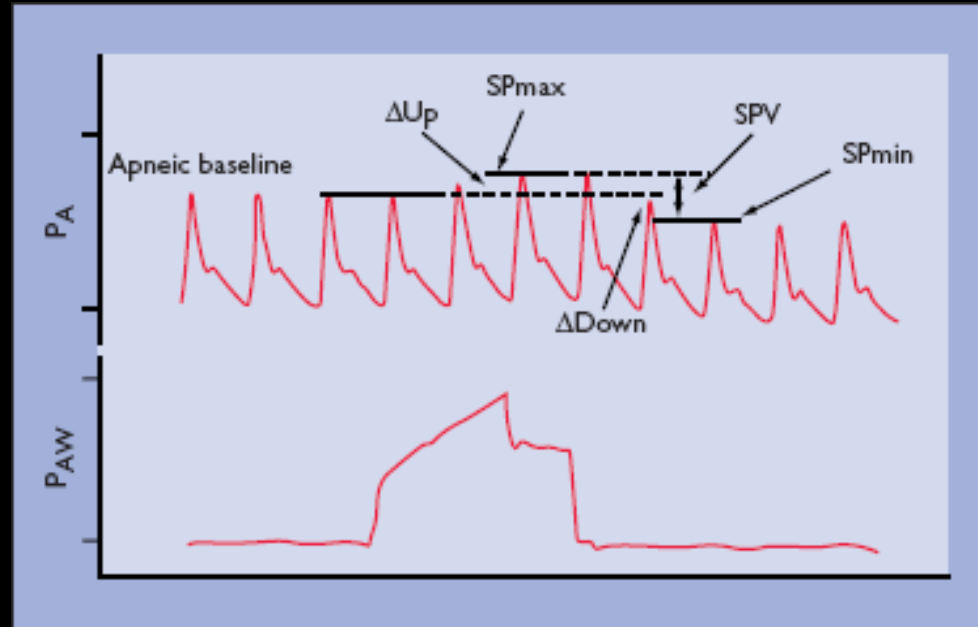
La variation de Pression Systolique



$$SPV = \Delta \text{ up} + \Delta \text{ down}$$

$$= PS_{\text{max}} - PS_{\text{min}} / (PS_{\text{max}} + PS_{\text{min}}/2) < 10 \text{ mmHg}$$

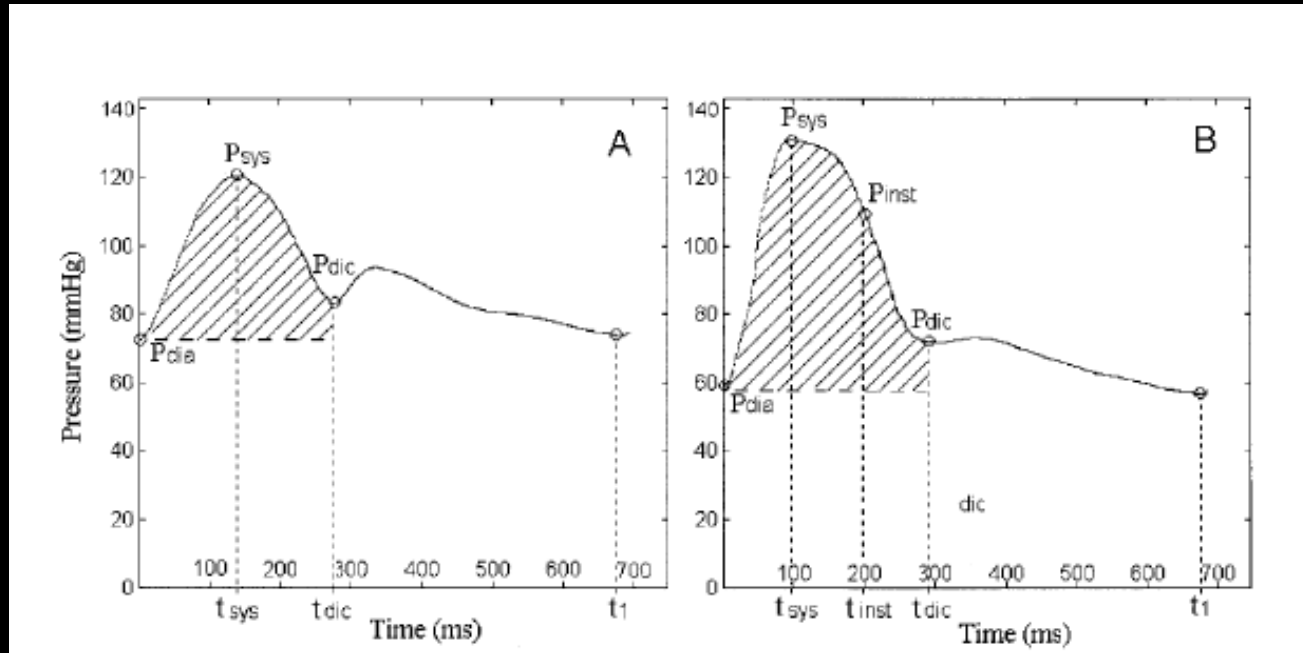
Δ up et Δ down



Delta up = $PS_{max} - \text{ligne de base apnéique} < 5 \text{ mmHg}$
 ΔPS par \nearrow du VT DVG et \searrow de la post charge du VG

Delta down = $\text{ligne de base apnéique} - PS_{min} < 5 \text{ mmHg}$
 $\searrow \searrow$ VT DVG et \nearrow de la post charge du VG (1er temps expiratoire)
= reflet de la diminution expiratoire du VES du VG

Analyse du contour de l'onde de pouls



✿ L'aire sous la portion systolique de la courbe de Pression Artérielle est proportionnelle au VES (au moins au niveau aortique).

✗ Au moins 1 condition : connaître le facteur de proportionnalité

Pb : Ce facteur de proportionnalité va varier, battement par battement, en fonction du couple dynamique Compliance / Résistance

Principes de la Mesure(1)

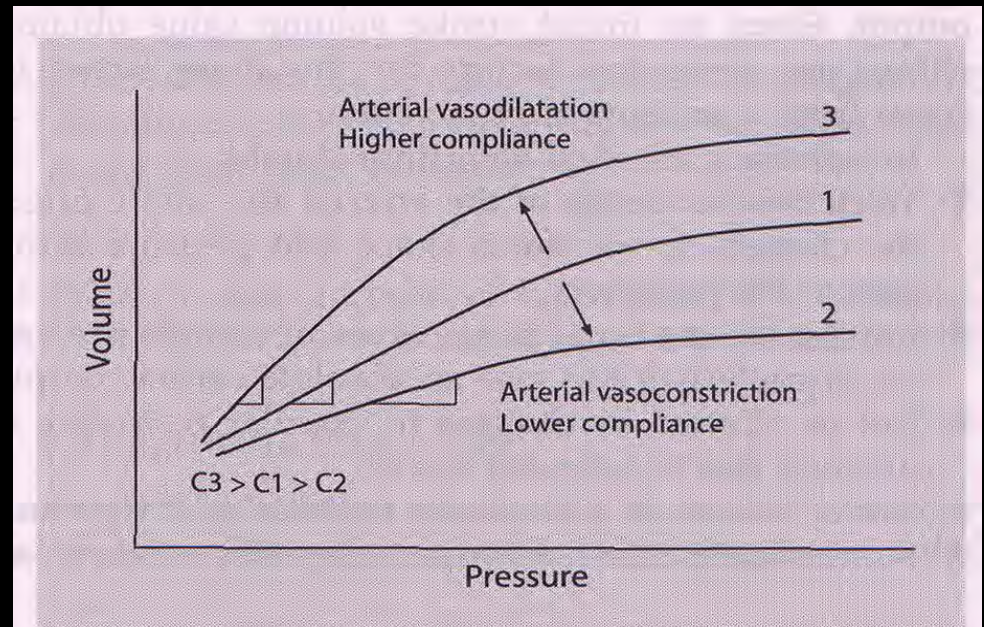
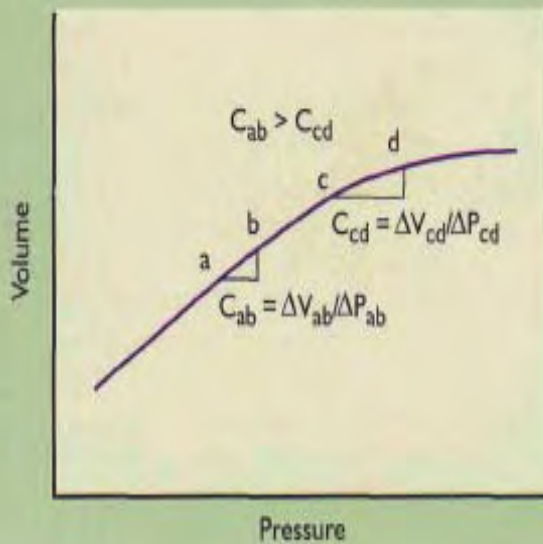
$PA=DC \times RPT$. Les RPT sont très rapidement variables

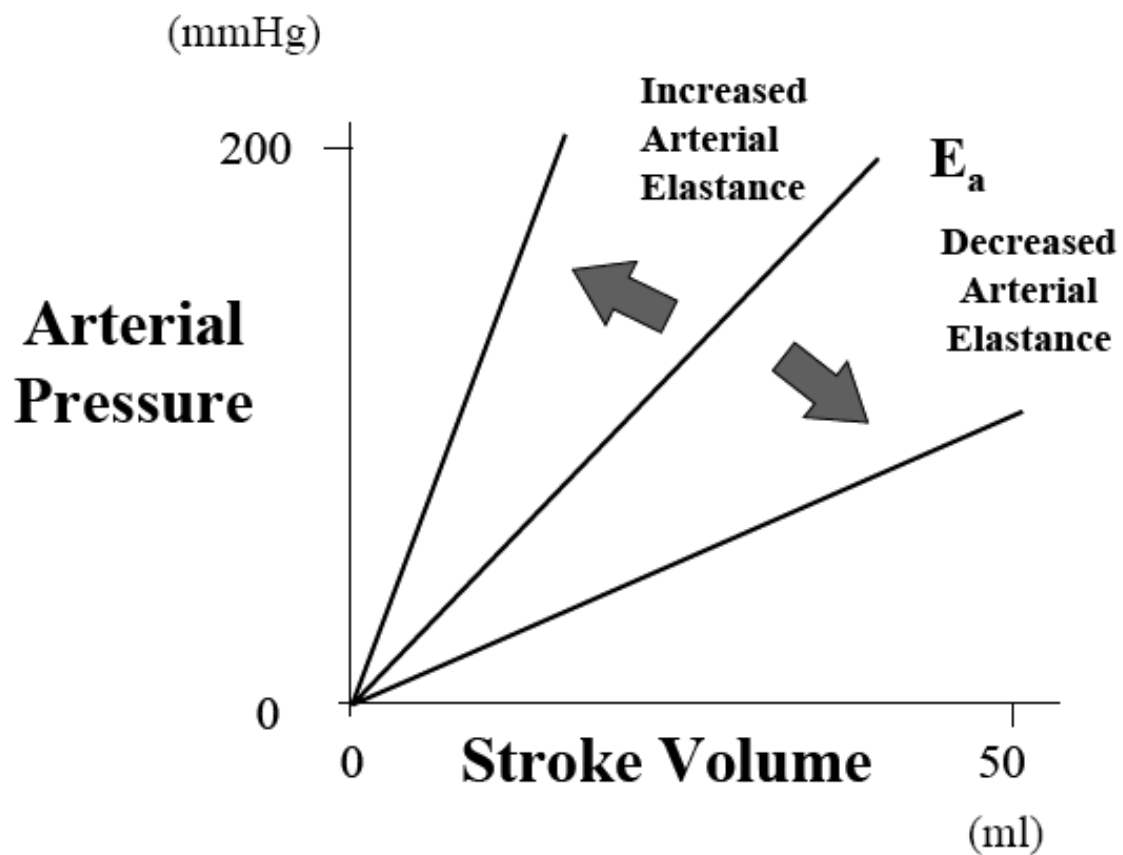
Les résistances ne sont ni constantes ni linéaires

Un point commun; La compliance vasculaire

La compliance vasculaire: $C=\Delta V/\Delta P \iff C \times \Delta P=\Delta V$

Où : $\Delta V=VEVS$ et $\Delta P=$ variation simultanée de Pression artérielle



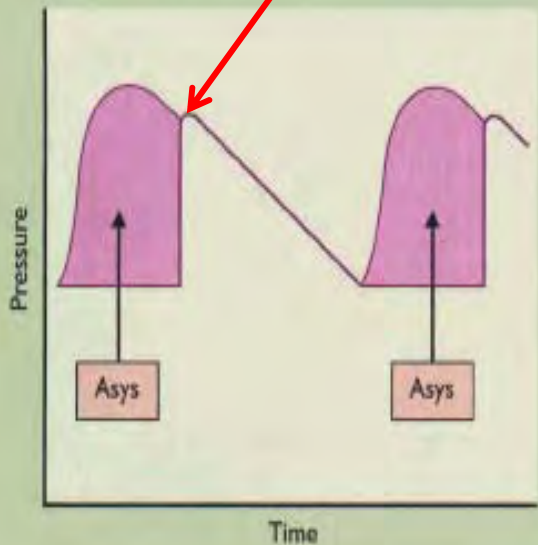


Principes de la Mesure(2)

Modèles de Frank(1899) et de Wessling(1983)

L'algorithme est basé sur l'hypothèse que le contour de l'onde artérielle pulsée est corrélé au VEVS et peut être calculée à partir de l'aire sous la courbe entre la fin de la diastole et la fin de la systole

Onde dicrote



$V_z = A_{sys} / Z_{ao}$ ajusté à la FC, L'age, la PAM

$$V_{cz} = V_z [0.66 + 0.005 \text{ HR} - 0.01 \text{ Age} (0.014 \text{ MAP} - 0.8)]$$

Après calibration

$$CO_{cz} = cal \times HR \times V_{cz}$$

Wesseling a développé un nouvel Algorithme qui tient compte de la relation pression/volume et de la compliance (Modelflow)

Les deux modèles sont bien corrélé au « gold standard » : la thermodilution

Principaux Déterminants du Pulse contour

1) La non linéarité des systèmes artériels :

Démontrée dès 1928

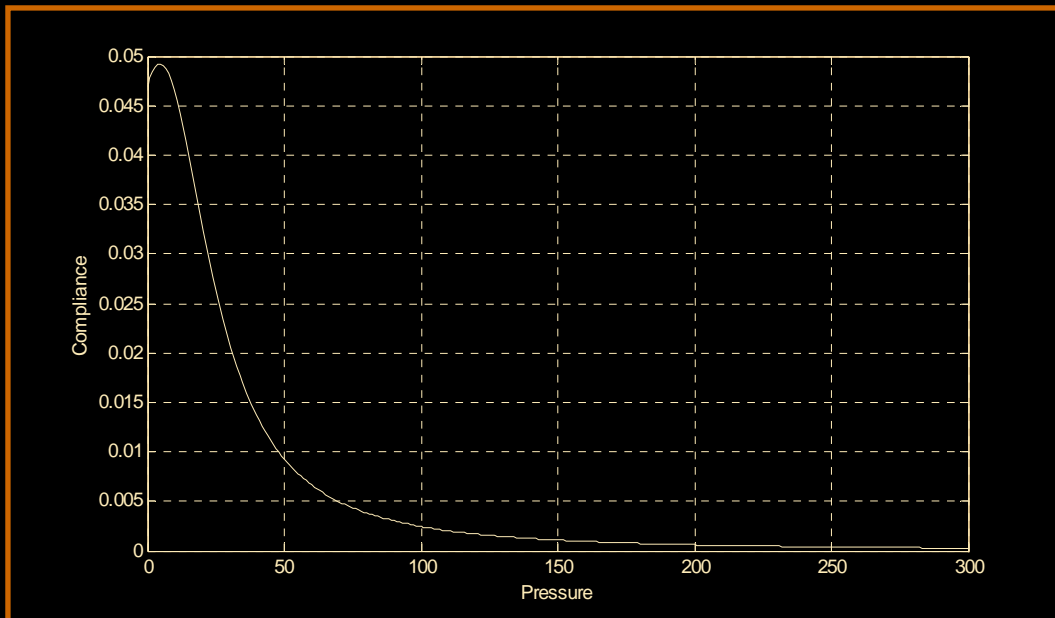
une compliance importante pour des pressions artérielles basses ou faibles

Une compliance faible pour des pressions artérielles élevées

2) La non linéarité augmente avec l'âge

Démontrée dès 1954

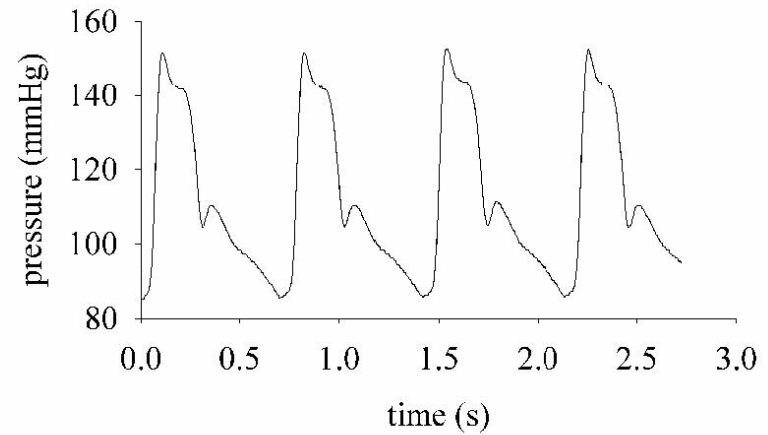
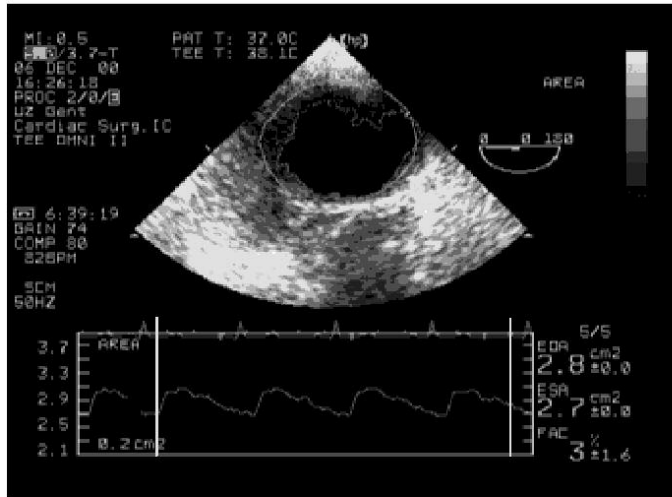
3) Rôle du Tonus vasculaire sur le calcul du Débit



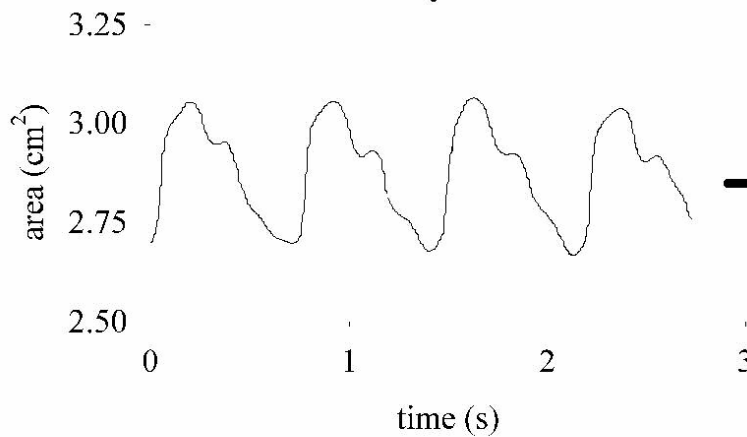
La relation de Langewouters
1984

La compliance vasculaire
est liée à l'âge, au sexe et à
la valeur de PA

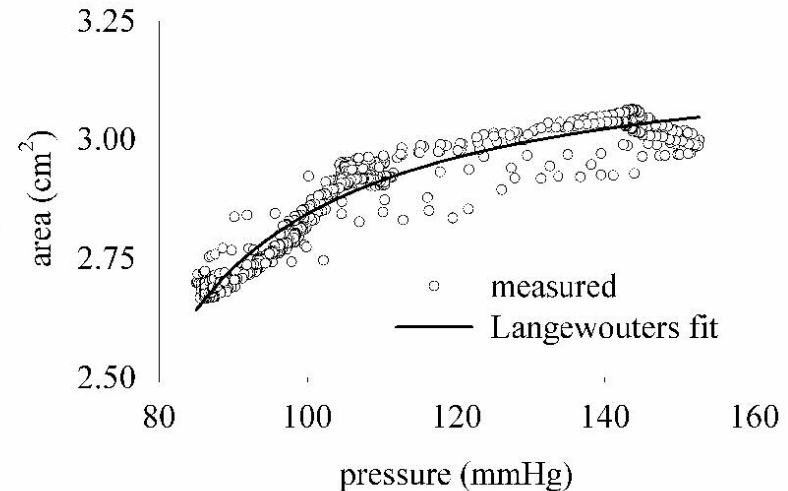
Echocardiographic Assessment of Aortic Elastic Properties with Automated Border Detection in an ICU: In vivo application of the Langewouters' arctangent model.



↓ area extraction



↓



4) La pression de l'artère radiale

Le Facteur déterminant du VEVS : pression proximale de l' Aorte

En pratique : les artères périphériques des bras sont une bonne représentation de la pression aortique

(S Soderstrom BJA 2002)

- ✘ Sous réserve de déterminer un coefficient liant la radiale à l'aorte dans une bande passante large
- ✘ La bande passante physiologique est de 15 Hz
- ✘ De compenser le phénomène de résonance (facteur d'antirésonance)
- ✘ Relation flux/pression: l'onde de pression est 20 plus rapide que l'onde de flux générant un système pulsatile dans l'aorte (coïncidence des deux ondes) versus un système en périphérie plus continu

Pressure Wave Reflection Assessed From the Peripheral Pulse

Is a Transfer Function Necessary?

Sandrine C. Millasseau, Sundip J. Patel, Simon R. Redwood, James M. Ritter, Philip J. Chowienczyk

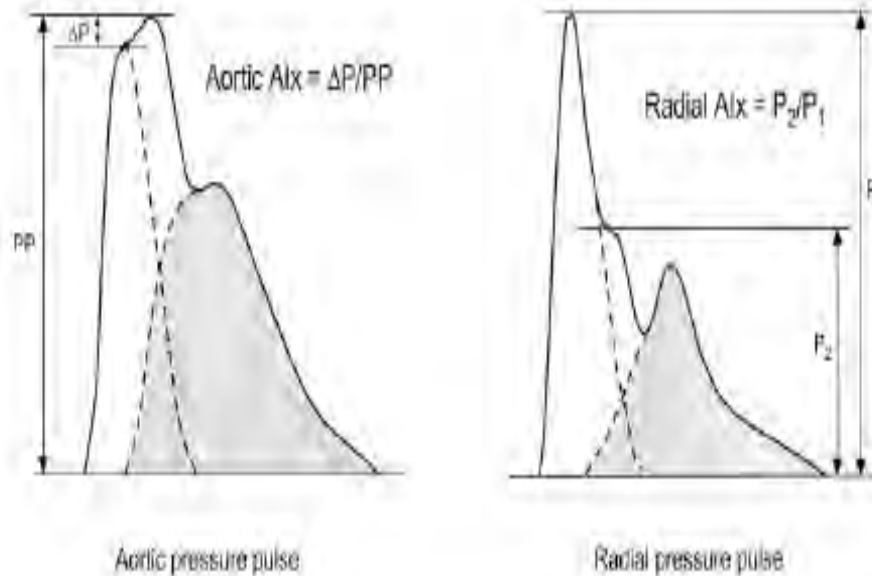


Figure 1. Alx, the ratio of pressure augmentation to local pulse pressure (PP), can be defined for both the aortic and radial pulse waveforms. It depends on the relative amplitude and timing of the direct and reflected (shaded) pressure waves that sum to produce the overall waveform.

5) L'atténuation de la courbe de pression

(Damping)

est un problème habituel en pratique clinique.

Les prolongateurs de têtes de pression possèdent une résonance propre qui une fois rempli peuvent osciller.

La performance d'un tel système est déterminée par sa fréquence d'oscillation et son coefficient d'atténuation

La mise en résonance ou l'amortissement aboutissent à des erreurs de pression artérielle

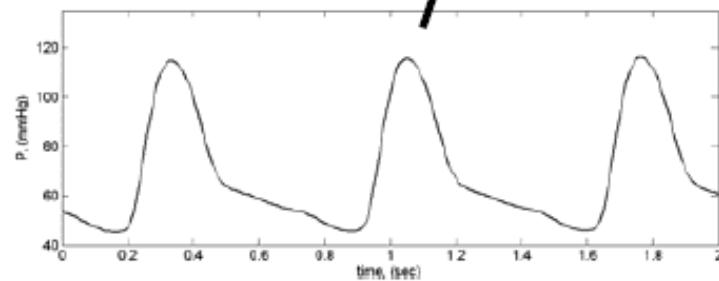
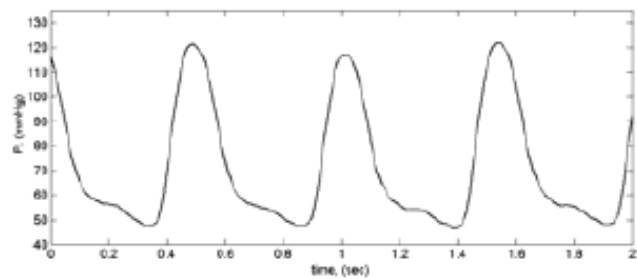
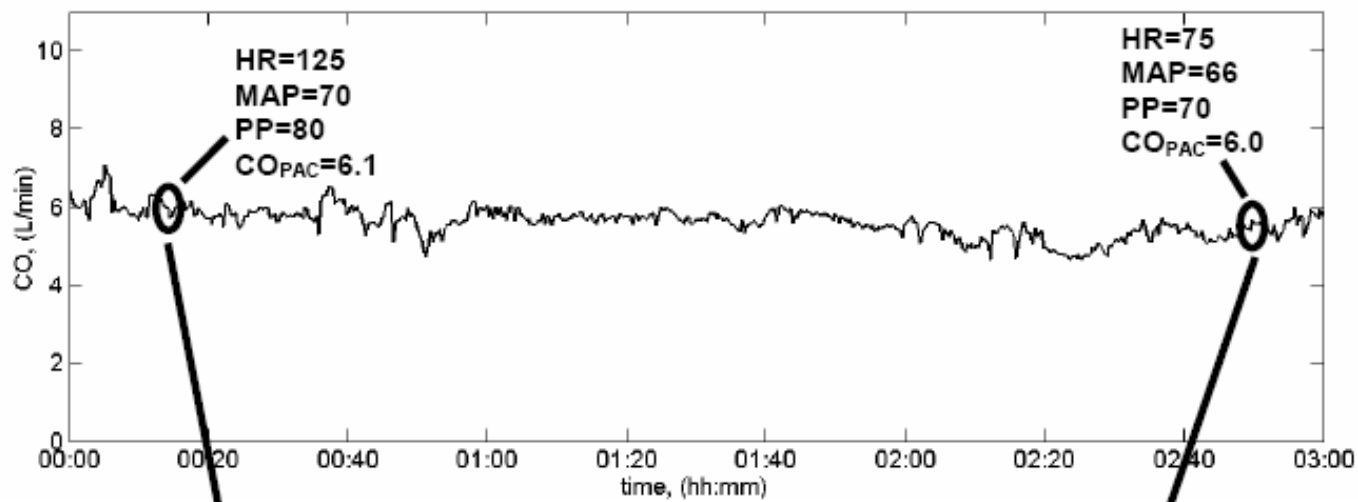
Il est nécessaire d'avoir une tête de pression adéquate avec

Une Purge à flux continu

Un Système de détection

Attenuation in invasive blood pressure measurement systems

A. Ercole British Journal of Anaesthesia 96 (5): 560-2 (2006)



Les Différents Calculateurs disponibles pour la mesure du DC à partir de la pression artérielle

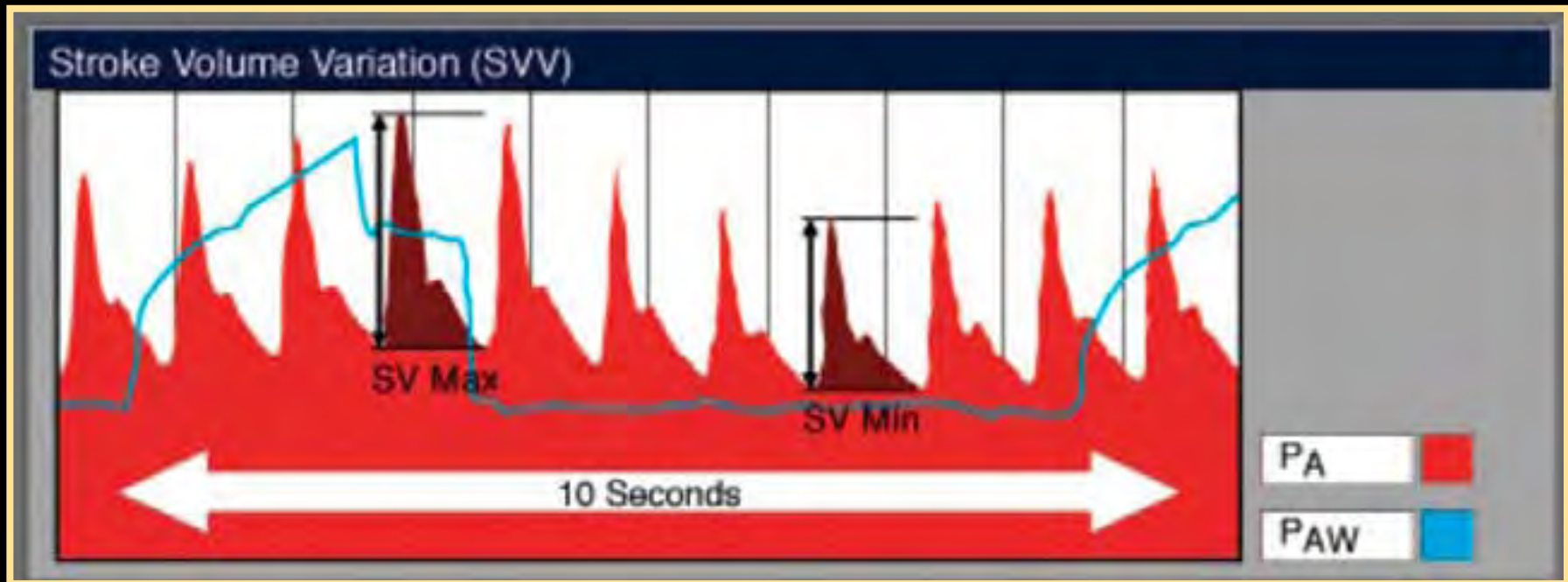
Picco (Pulsion, Munich, Germany)

LiDCO plus (LiDCO, Cambridge, UK)

PRAM (FIAB SpA, Florence, Italy): Pas de calibration

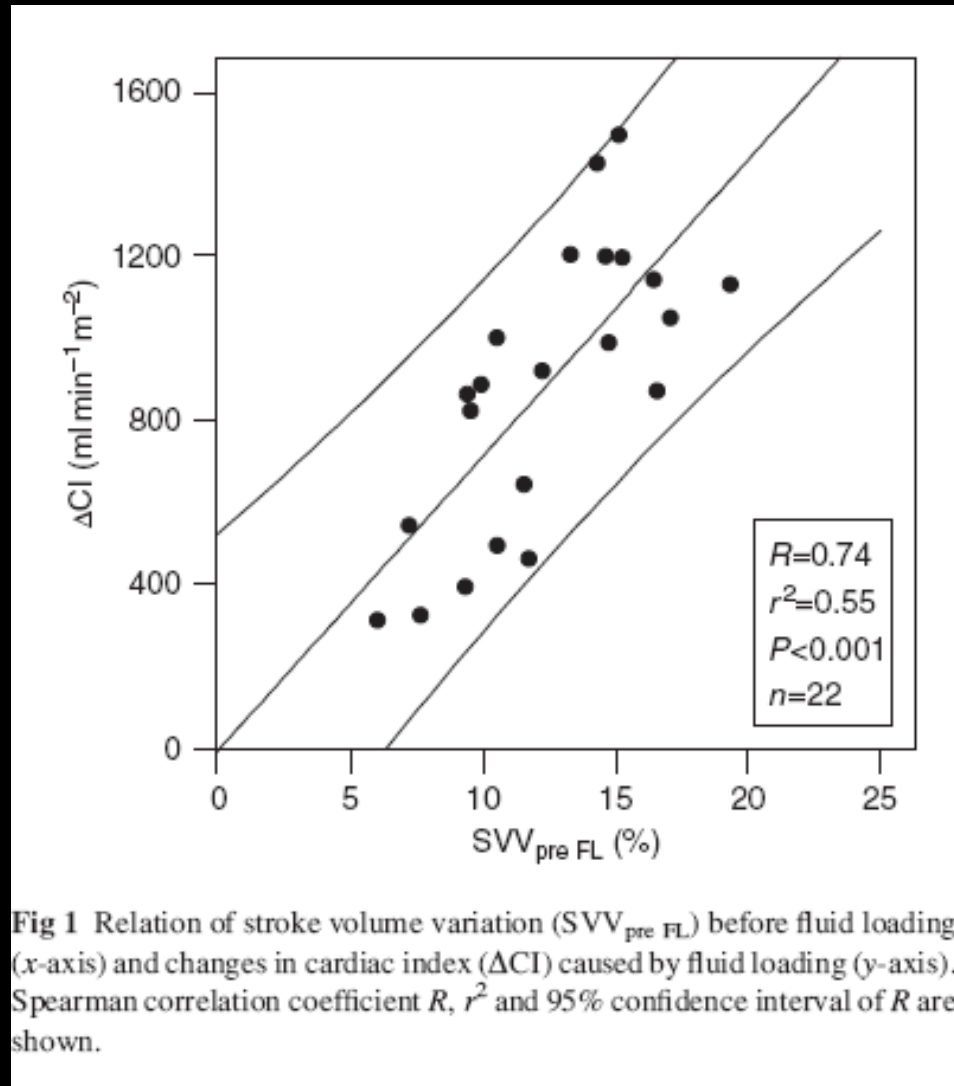
Vigileo et FloTrac (Edwards Lifesciences Irvine, CA, USA): Pas de calibration

Arterial pressure and stroke volume variability as measurements for cardiovascular optimisation



Assessing fluid responsiveness during open chest conditions

D. A. Reuter^{1*}, M. S. G. Goepfert¹, T. Goresch¹, M. Schmoeckel², E. Kilger¹ and A. E. Goetz



British Journal of Anaesthesia
94 (3): 318-23 (2005)

»FIN.....

De la Pression Artérielle au Débit Cardiaque

$$P = C_0 \times R$$

$$C = \Delta V / \Delta P$$

$$\Delta V = C \times \Delta P$$

☀ La Pression aortique :

- ✘ Analyse en fonction de 2 composantes :
 - La PAM
 - Pression Pulsée
- ✘ La PAM est constante de l'aorte aux artères périphériques de gros calibre
- ✘ PAS, PAD, PP ou PP - PAS - PAD
- ✘ PAD est constante de l'aorte à la périphérie
- ✘ PAS et PP augmentent de l'aorte à la périphérie (sujet jeune et sain)
- ✘ Amplification est de 15 mmHg (âge, sexe, FC, SC, tonus vasomoteur, rigidité artérielle)
- ✘ Au final :
 - PAM et la PAD reflètent les valeurs de Pressions aortiques Pulsées
 - PP et PAS ne reflètent pas nécessairement les valeurs de Pression aortique pulsée

- ☀ La Pression Motrice de la circulation
 - ✖ PAM - Pression Systématique moyenne

- ☀ Pression systématique moyenne = valeur de la pression théorique observée dans l'ensemble du système circulatoire à débit nul

☀ Lien entre PAM et débit moyen dans le secteur systémique

(PAM) Pression Motrice = DCX RVS

$$\text{PAM} = (\text{FC} \times \text{VEVS} \times \text{RVS}) + \text{PODm}$$

☀ 3 remarques :

✘ RVS = paramètre calculé à partir de PAM, DC, PODm

✘ RVS = Loi de Poiseuille RVS \neq

✘ RVS \Leftrightarrow DC pour une PAM $\frac{1}{\text{donnée}}$ indépendamment des déterminants du DC

☀ Si PODm est négligeable / PAM

$$\text{RPT} = \frac{\text{PAM}}{\text{DC}}$$

☀ Affirmation non valide chez l'hypertendu et l'insuffisance cardiaque droite

Les artères systémiques et l'aorte proximale

- ✱ Structures élastiques
 - ✱ Amortissement de l'éjection cardiaque discontinue
 - ✱ Stockage énergétique d'une partie du VES en systole
 - ✱ Redistribution en diastole
 - ⇒ Flux continu en périphérie
 - ⇒ Modèle de Windkessel : RVS + compliance artérielle totale (système capacitif)
- Compliance = VES / PP aortique

Propagation de l'onde de pression

- ☀ Complexe le long de l'arbre artériel
- ☀ Rapide (8 à 10 m/s)
- ☀ Réflexion sur barrage artériolaire distal
 - ⇒ Retourne au niveau central pour s'ajouter à l'onde de pression incidente
 - ✗ Onde de réflexion physiologique en protodiastole (perfusion coronaire ++)
 - ✗ Onde de réflexion en télésystole (↗ rigidité artérielle)
Accroît la post charge du VG en cours d'éjection

Pression artérielle périphérique (1)

☀ Facteurs clefs :

- ✘ La pression à la racine de l'aorte
- ✘ Les caractéristiques de l'onde de propagation et de réflexion

☀ VEVS, la rigidité artérielle ($1/\text{compliance}$), la FC, la PAM, la distance aorte-artère périphérique interfèrent avec la pulsatilité périphérique

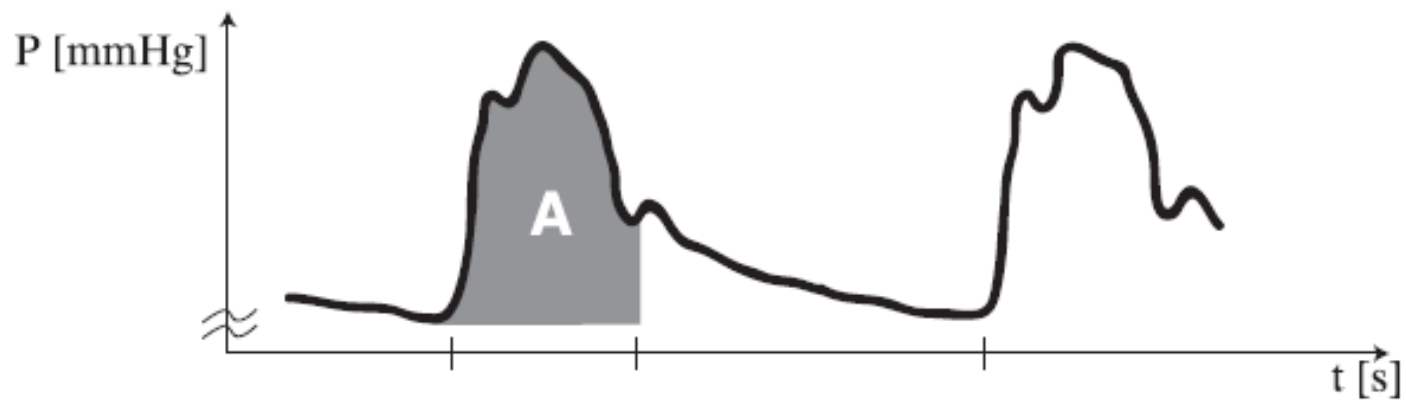
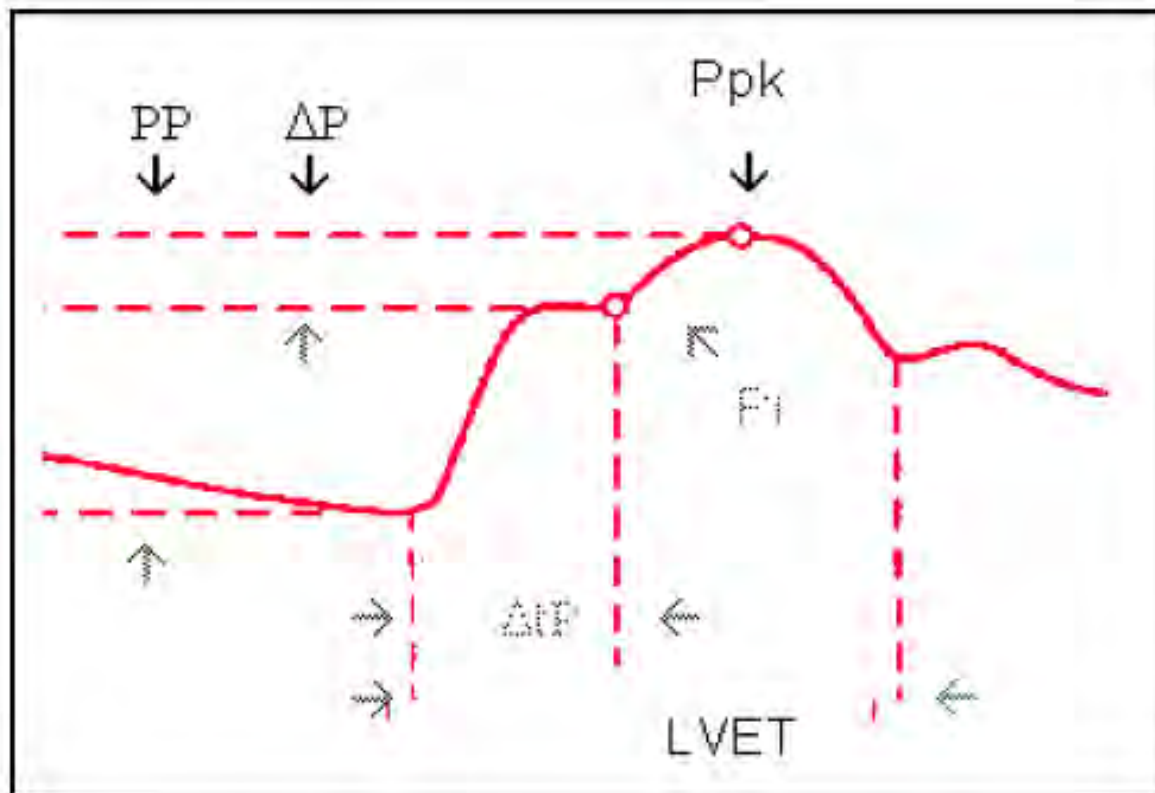


Fig. 4. - Mesure du débit cardiaque par analyse du contour de l'onde de pouls.



Onde de pression carotidienne

