

Hémodynamique:
Rappels de physiologie,
Pourquoi monitorer le débit cardiaque ?

Le bon outil pour le bon patient

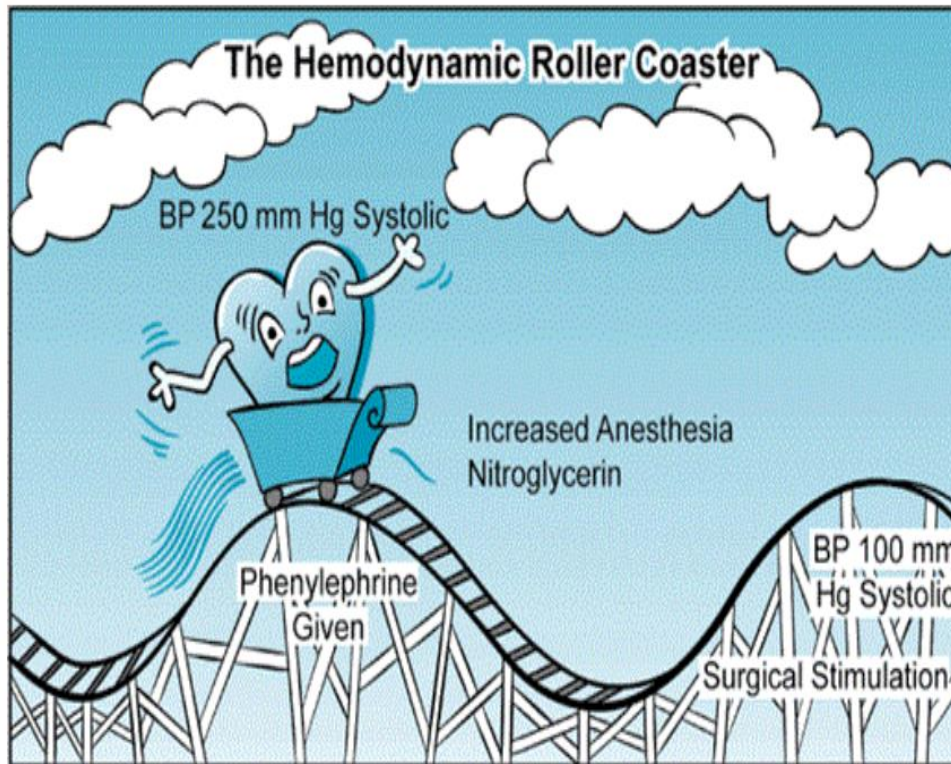
joaquim.mateo@aphp.fr



AP-HP - 7

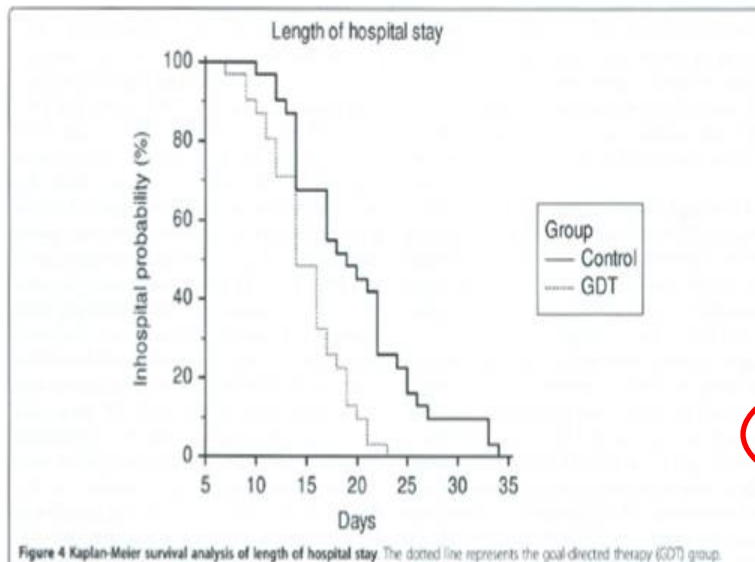


Pourquoi mesurer le débit cardiaque ?



Pourquoi mesurer le débit cardiaque ? VES (DC) + PAS continue

*N = 60 patients de chirurgie abdominale lourde randomisés en 2 groupes
+ de colloïdes et dobutamine, - de cristalloïdes dans groupe GDT (objectif IC > 2,5 L/min/m²)*



<i>Postoperative complications</i>	<i>GDT Group</i>	<i>Control Group</i>	<i>P value</i>
Number of patients	6 (20)	15 (50)	0.03
Number of complications	17	49	0.001

15 (12-18) days vs. 19 (14-23) days, $P=0.006$

Mayer, Crit Care 2010

Pourquoi mesurer le débit cardiaque ?

Des résultats

Prospective Trial of Supranormal Values of Survivors as Therapeutic Goals in High-Risk Surgical Patients*

William C. Shoemaker, M.D.; Paul L. Appel, M.P.A.;
Harry B. Kram, M.D.; Kenneth Wiseman, M.D.; and
Tai-Sham Lee, M.D., F.C.C.P.

Goal-directed Intraoperative Fluid Administration Reduces Length of Hospital Stay after Major Surgery

Tong J. Gan, M.B., B.S., F.R.C.A.;¹ Andrew Scott, B.Sc., M.B., B.S., F.R.C.A.;¹ Mohamed Marot, M.D.;²
Hafid El-Moham, Ph.D.;³ Kent M. Robertson, M.D.;⁴ Eugene Moretti, M.D.;¹ Peter Dwane, M.D.;¹
Peter S. A. Glass, M.B., F.F.A. (S.A.)

Intraoperative intravascular volume optimisation and length of hospital stay after repair of proximal femoral fracture: randomised controlled trial

Susan Sinclair, Sally James, Mervyn Singer

Research

Open Access

Early goal-directed therapy after major surgery reduces complications and duration of hospital stay. A randomised, controlled trial [ISRCTN38797445]

Rupert Pearse, Deborah Dawson, Jayne Fawcett, Andrew Rhodes, R Michael Grounds and E David Bennett

Meta-analysis of hemodynamic optimization in high-risk patients*

Jack W. Kern, PharmD; William C. Shoemaker, MD

Effects of maximizing oxygen delivery on morbidity and mortality in high-risk surgical patients

Suzana M. A. Lobo, MD; Paula F. Salgado, MD; Vânia G. T. Castillo, RN; Aldenis A. Borim, MD;
Carlos A. Polachini, MD; José C. Palchetti, MD; Sergio L. A. Brienzi, MD; Granville G. de Oliveira, PhD

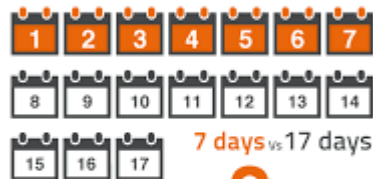
Research

Open Access

Prospective, randomized trial comparing fluids and dobutamine optimization of oxygen delivery in high-risk surgical patients [ISRCTN42445141]

Suzana M Lobo, Francisco R Lobo, Carlos A Polachini, Daniela S Patini, Adriana E Yamamoto,
Neymar E de Oliveira, Patricia Serrano, Helder S Sanchez, Marco A Spegiorin, Marcio M Queiroz,
Antonio C Christiano Jr., Elzangela F Saviolo, Paula A Alvarez, Sílvia P Teixeira and
Geri S Curral

REDUCED LENGTH OF STAY



Enhanced Recovery

Surgey
Normothermia
Preoperative
Intraoperative
Postoperative
Team Education
Communication
Nutrition
Fluid Management
Multidisciplinary
Pathway
Optimize
Counseling
Mobilization
Patient
Cost Reduction
Satisfaction
Collaboration
Length of Stay

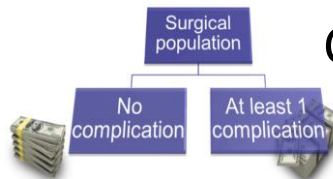
Pourquoi mesurer le débit cardiaque ?

Contexte

Le défi médical : complexité et sécurité



- > 65 ans opéré 4 fois plus jeune
- chirurgie fonctionnelle ou de confort



Conséquences catastrophiques

- Patient et sa famille
- Réadmissions
- Survie à long termes
- Augmentation de la durée de séjour
- Cout
- Impact sociétal
- Sur les équipes soignantes...
- Accident vasculaire cérébral
- Infarctus du myocarde
- Dysfonction cognitive postopératoire
- Delirium postopératoire
- Insuffisance rénale
- Ischémie digestive



Une société exigeante, sécurisée



SCIENCES

11

Le système de santé français au 15^e rang mondial

La qualité des soins s'améliore à l'échelle de la planète, mais les pays les plus pauvres progressent moins vite que les autres.

PAULINE FRÉOUR  @P_freour

SANTÉ PUBLIQUE Le projet, colossal, a nécessité la collaboration de plus de 2000 chercheurs à travers le monde. Pour la première fois, pas moins de 168 pays ont été jugés sur l'accessibilité et la qualité des soins entre 1990 et 2015.

Le bilan est plutôt positif : la tendance générale est à l'amélioration des systèmes de santé, conclut l'étude parue hier dans la revue britannique *The Lancet*. La tendance n'est malheureusement pas homogène et l'écart entre le haut et le bas du classement tend à se creuser, précisent les auteurs, qui ont travaillé sous l'égide de l'Institute for Health Metrics

and Evaluation, financé par la Fondation Bill et Melinda Gates.

En 2015, les meilleures places sont occupées par des pays européens (Andorre, Islande, Suisse, Suède), quand la queue du peloton est essentiellement composée de pays africains (République centrafricaine, Afghanistan, Somalie, Guinée-Bissau). Les plus belles progressions sont attribuées à la Chine, à la Turquie, à la Corée du Sud ou au Pérou.

La France se situe pour sa part à la 15^e place, entre l'Autriche et la Belgique. Une position « à laquelle on pouvait s'attendre compte tenu de son niveau de richesse », analyse François Alla, professeur de santé publique à l'université de Lorraine et coauteur de l'étude.

Les chercheurs ont pris en compte la mortalité observée dans 32 pathologies choisies parce que le décès peut en théorie être évité grâce à une prise en charge médicale rapide (tuberculose, diphtérie, coqueluche, appendicite...). « La méthode est pertinente car elle consiste à juger la qualité d'un système de santé sur le résultat qui intéresse le plus les usagers, la mortalité », commente François Alla.

Les États-Unis à la 35^e place

La performance nationale individuelle est par ailleurs évaluée à l'aune du développement sociodémographique (richesse nationale, taux de fertilité, niveau d'éducation de la population...). Les chercheurs l'ont utilisé pour calculer les performan-

ces que chaque pays est censé atteindre. Ainsi, en 1990, la France était en léger retrait (-5 points sur une échelle de 100) par rapport à ce que l'on était en droit d'attendre, mais le retard a été comblé en 2015, année où ses performances dépassaient les prévisions.

Une dynamique qui ne va pas de soi dans tous les pays développés. Ainsi, les États-Unis ne sont que 35^e dans le classement. « Une honte, surtout quand on considère que le pays dépense plus de 9000 dollars par an par habitant, soit plus qu'aucun autre pays », commente le Pr Christopher Murray, principal auteur de l'étude. En cause : une forte inégalité d'accès aux soins. En 2015, le pays accuse 10 points de retard sur les performances

auxquelles il pourrait prétendre. Les résultats mettent aussi en lumière des leviers d'amélioration pour chaque pays. Ainsi la France peut se vanter d'un « bon système de santé, d'un accès égalitaire aux soins et d'un bon accès aux thérapeutiques innovantes », selon le Pr Alla, mais fait figure de mauvais élève quand on se penche sur les risques liés aux soins (maladies nosocomiales, effets secondaires des médicaments...). « Des milliers de morts pourraient être évitées chaque année en s'attendant à améliorer l'organisation des soins, la formation des soignants, l'observance des patients, les prescriptions médicales, constate le spécialiste. Il y a là un vrai enjeu qui devrait devenir une priorité du ministère de la Santé. » ■

Healthcare Access and Quality Index based on mortality from causes amenable to personal health care in 195 countries and territories, 1990–2015: a novel analysis from the Global Burden of Disease Study 2015

GBD 2015 Healthcare Access and Quality Collaborators*

Pour la France

- Bon système de santé
- Accès égalitaires aux soins
- Bon accès aux thérapeutiques innovantes
- Mais...
 - « mauvais élève »
 - Risques liés aux soins
 - Maladies nosocomiales
 - Complications postopératoires
 - Effets secondaires des médicaments

Enjeu majeur de Santé publique

Amélioration

- l'organisation des soins
- Formation des soignants
- Observance des patients
- Prescription médicale
- Prévention des risques associés aux soins

PRIORITE POUR LE MINISTERE DE LA SANTE

MESURER CE QUE L'ON FAIT !



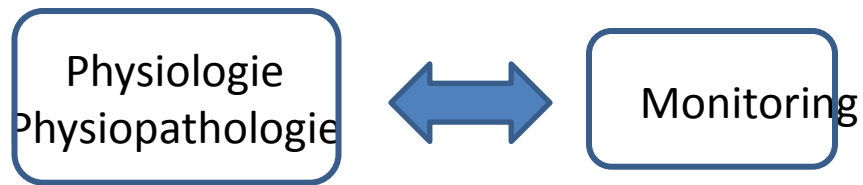
Recommandations

		Risque lié à la chirurgie		
		Faible	Modéré	Elevé
Risque lié au patient	Faible	Non	VPP/VVE/P VI	VES
	Modéré	VPP/VVE/P VI	VPP/VVE/P VI	VES
	Elevé	VES	VES	VES + lactates /ScVO2

Pression artérielle
Variations

Débit cardiaque
VES

Débit
cardiaque
Adéquation en O2



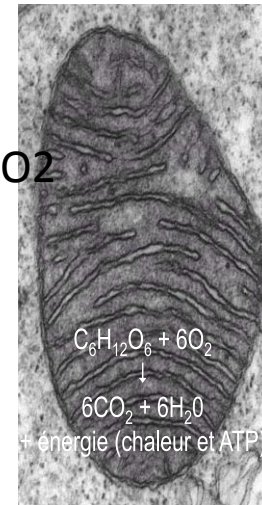
Physiologie et physiopathologie

Rappels de physiologie cardiOVASCULAIRE

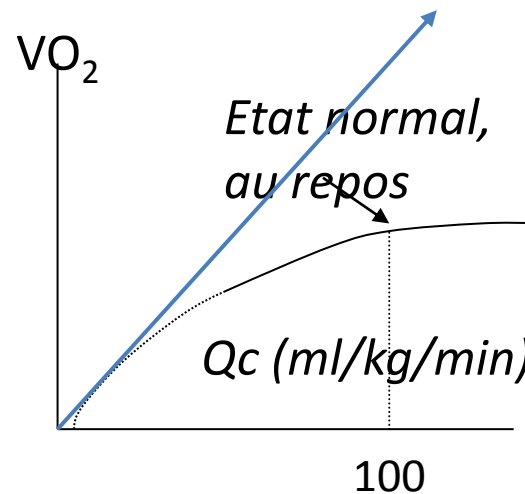
Finalité de la circulation

- Transport en O₂ (DO₂)
- Délivrance d'O₂ aux cellules
- Fonction de l'organe
- Eliminer le CO₂, déchets
- Adéquation
Le débit cardiaque est adapté au besoin en O₂
apport / consommation
(VO₂)

Consomme de l'O₂
PaO₂ < 5 mmHg



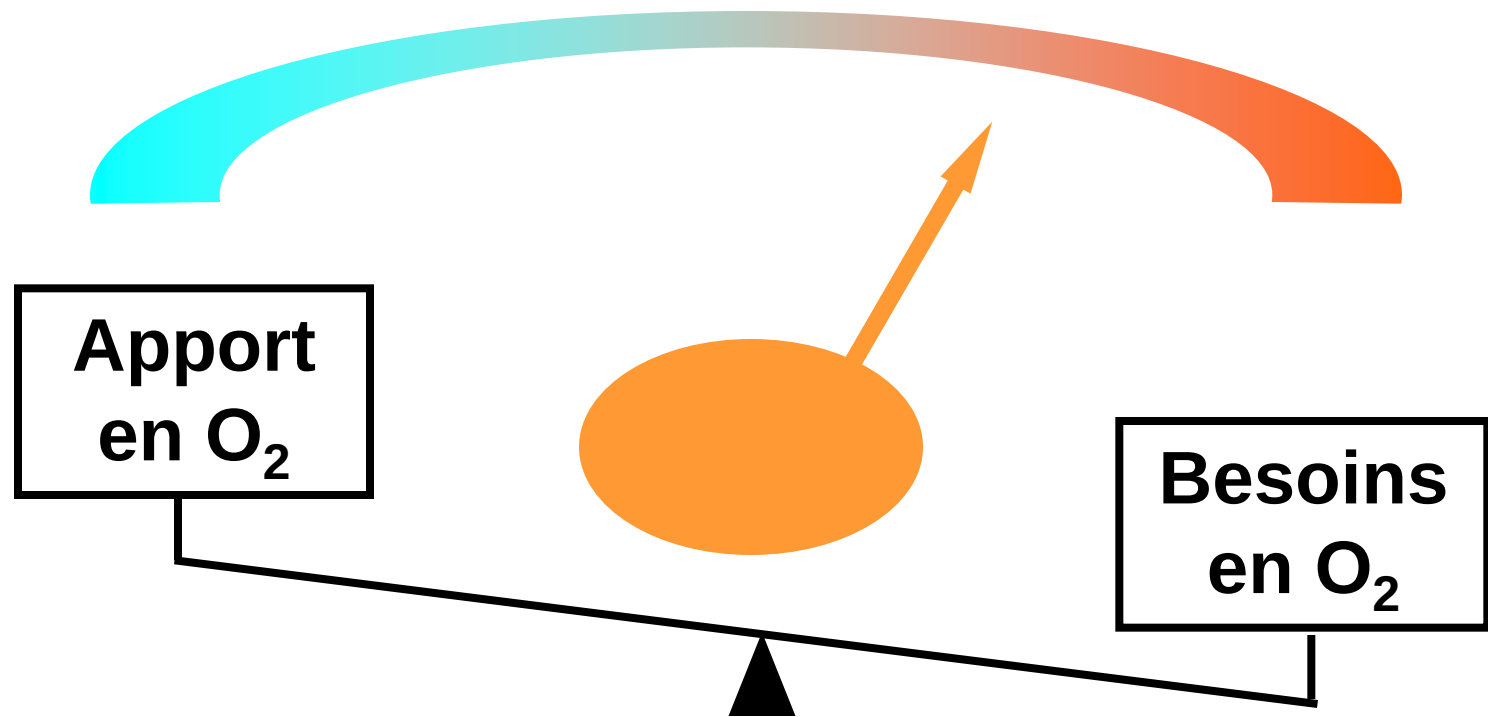
Produit du CO₂
PtCO₂ > 45 mmHg



Perfusion et débit

Etat de choc

Inadéquation entre les besoins et l'apport en O₂



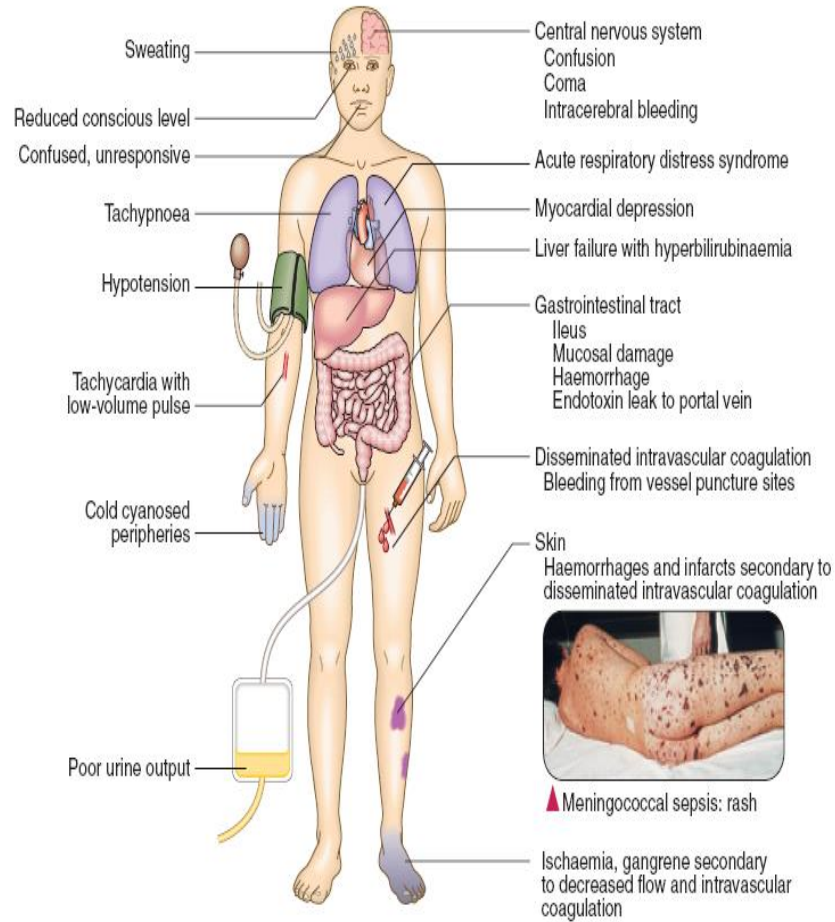
Définition physiopathologique



Shock



Multi-organ failure



▲ Meningococcal sepsis: rash



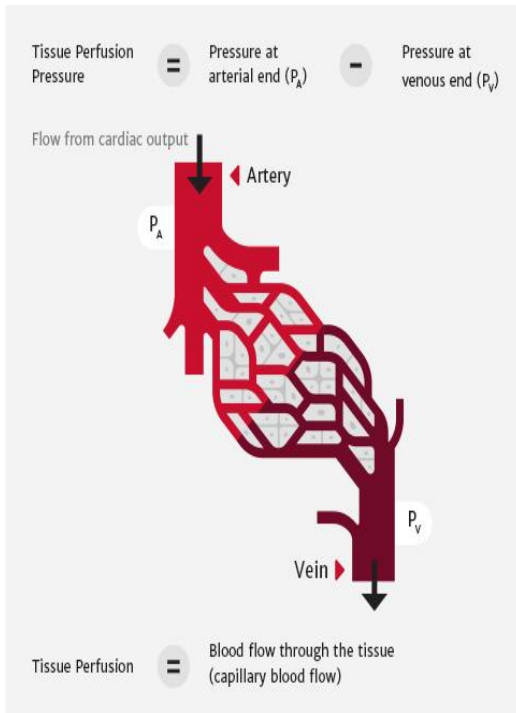
adaptable to various environments



La pression artérielle

Pression de Perfusion et oxygénation tissulaire

- Maintient les parois du système artériel distendues et assure l'écoulement

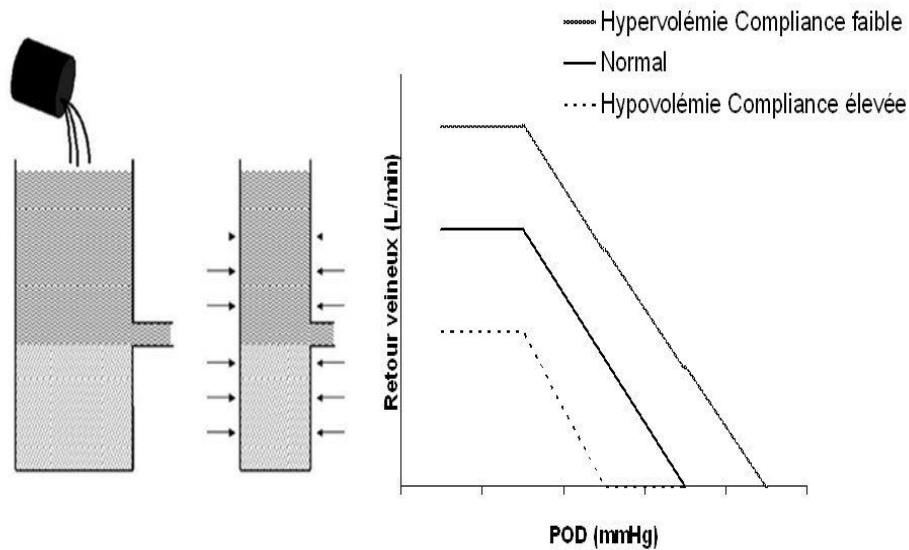


- Son maintien assure une perfusion dans toutes les circonstances
- PA moyenne constante, sauf en distalité
- Distribution du débit cardiaque (résistances tissulaires)

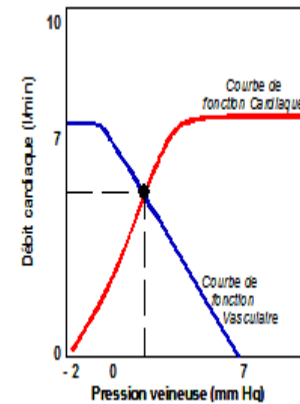
La pression artérielle valeur **régulée**

Le retour veineux

Les déterminants du retour veineux



Loi de Poiseuille
 $RV = \frac{PSM - POD}{RRV}$



PSM = pression systémique moyenne
 Pression motrice

POD = pression de l'oreillette droite
 Pression « frein », à vaincre

Loi de Poiseuille
 Débit = $\frac{\Delta P}{R}$

$$RV = \frac{PSM - POD}{RRV}$$

RRV = Résistance au retour veineux

$$TaO_2 = CaO_2 \times 10 \times DC \quad \leftarrow$$

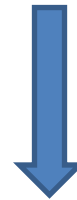
- $CaO_2 = (Hb \times SaO_2 \times 1.36) + 0.003 \times PaO_2$
 - 1.36 = pouvoir oxyphorique de l'Hb = O_2 /g d'Hb
 - $0.003 \times PaO_2 = O_2$ dissout dans le plasma
- Hb = 15g/dL, $SaO_2 = 100\%$, $PaO_2 = 100$ mmHg
- ≈ 200 ml d' O_2 / 1L de sang
- DC = 5L/min
- $TaO_2 \approx 1L$ d' O_2 /min

$$VO_2 = C(a-v)O_2 \times DC \quad \swarrow$$

- $SaO_2 = 100\%$, $SvO_2 = 75\%$
- ≈ 250 ml d' O_2 /min

$$CO = \frac{VO_2}{C_a - C_v}$$

Le transport en O_2



$$DC = VES \times FC$$

La consommation en O_2

Transport et consommation en O_2

Débit Cardiaque

Volume d'Ejection Systolique x Fréquence Cardiaque

70 mL x 70 batt/min

$\sim 5 \pm 1 \text{ L/min}$

Index Cardiaque

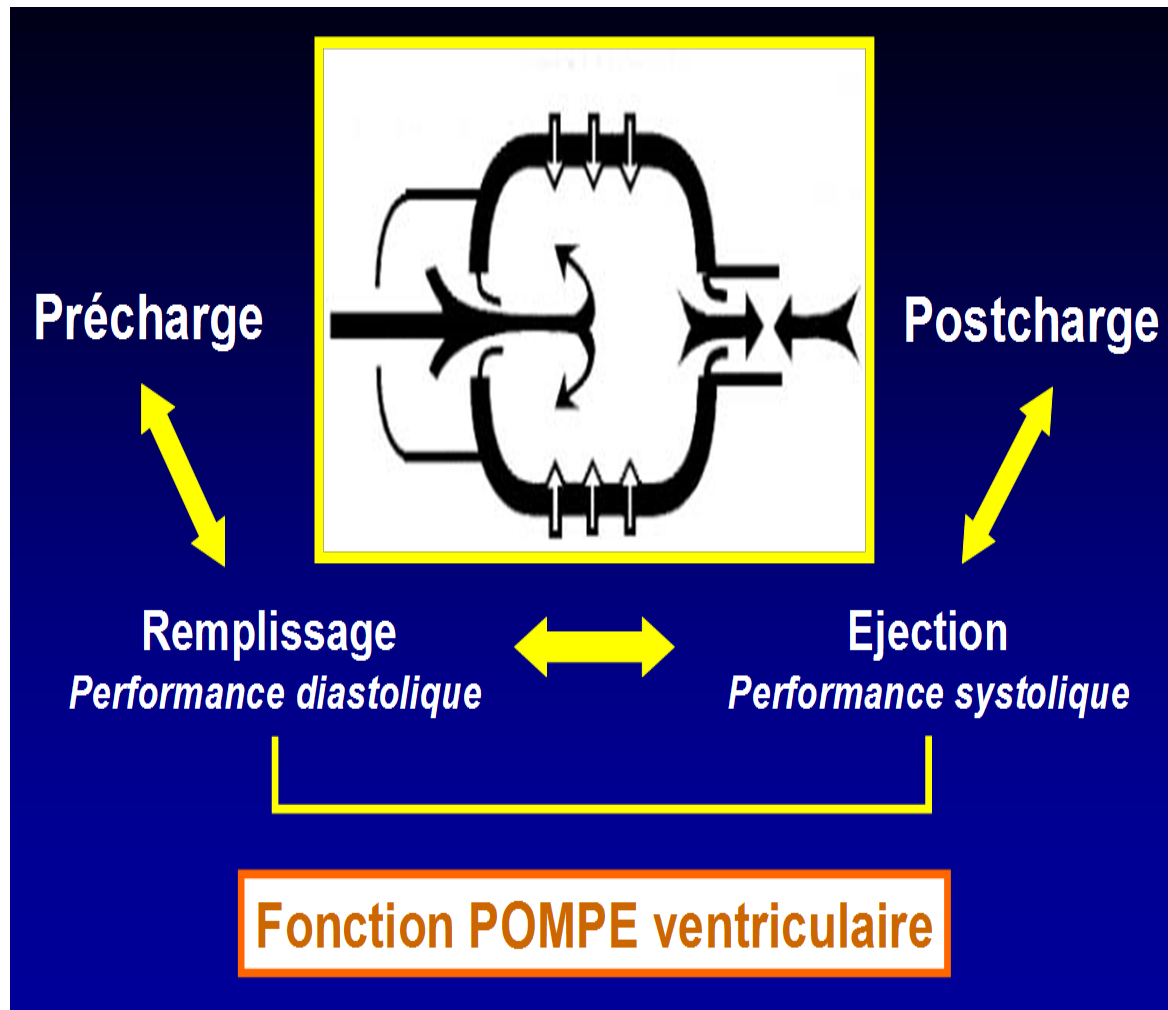
Débit Cardiaque / Surface Corporelle

$3,3 \pm 0,3 \text{ L/min/m}^2$

$$\text{DC} = \text{VES} \times \text{FC}$$

Le Volume d'éjection systolique VES

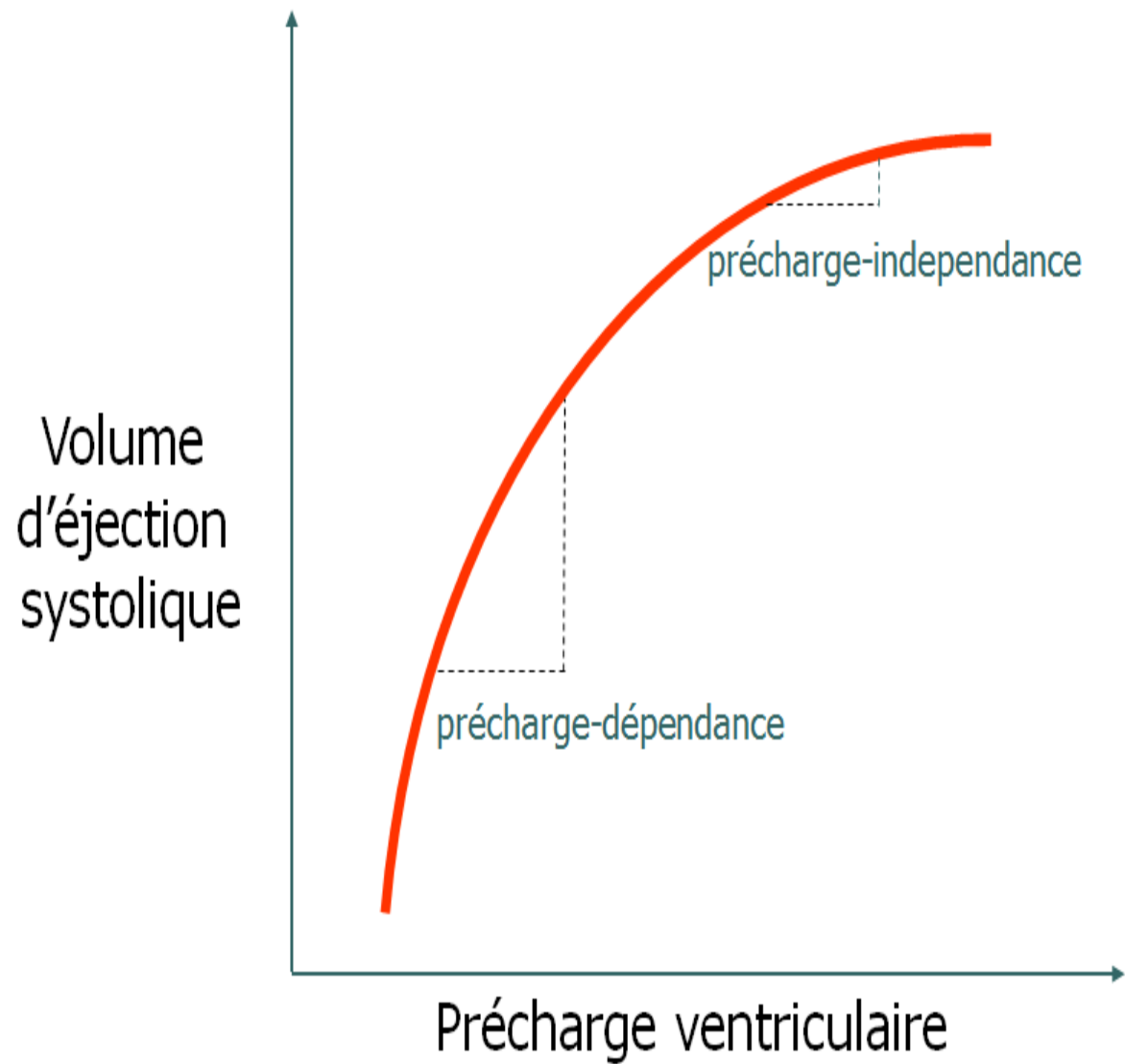
les déterminants



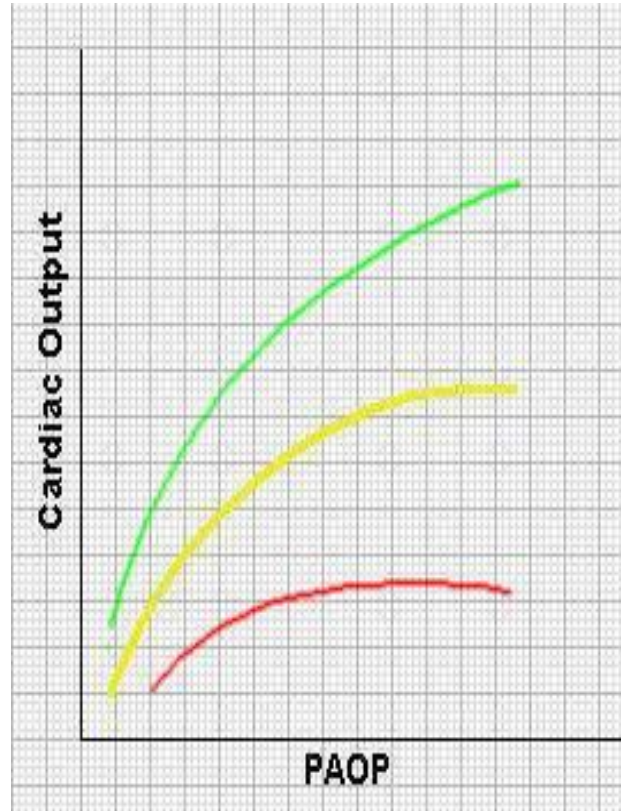
Pour le ventricule gauche mais aussi pour le ventricule droit

Déterminants du VES

Pré-charge



Différentes courbes de fonction cardiaque



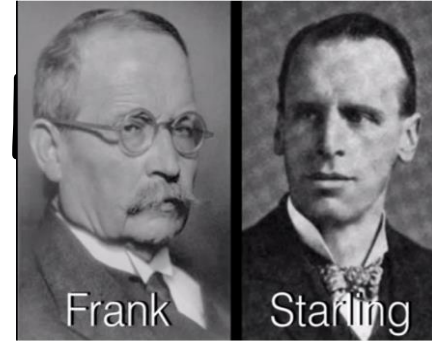
Insuffisance cardiaque



Déterminants du VES : Franck-Starling (1895)

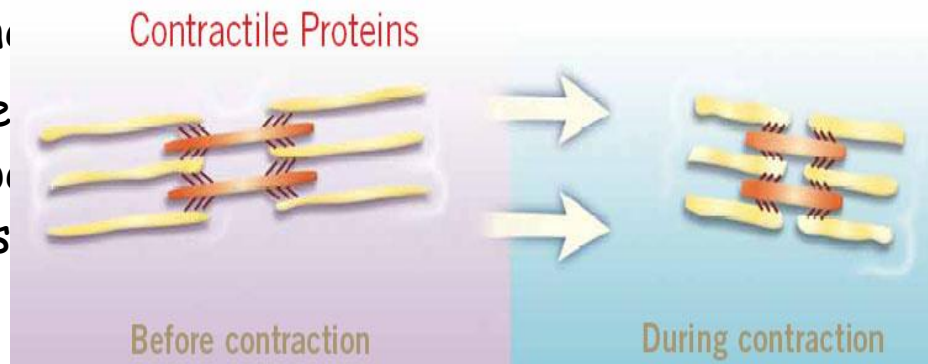
CONTRACTILITÉ

Loi de Franck-Starling



- Loi de Starling:
 - Plus le volume télédiastolique ventriculaire augmente, plus importante sera l'énergie générée par la contraction du ventricule et plus important sera le volume de sang éjecté et la pression générée
- Loi de Franck:
 - L'augmentation du volume télédiastolique s'accompagne d'une augmentation de la vitesse de raccourcissement des fibres, d'une force générée plus importante et d'une

- Donc de lusitropie télédiastolique

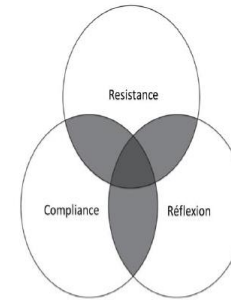


Déterminants du VES

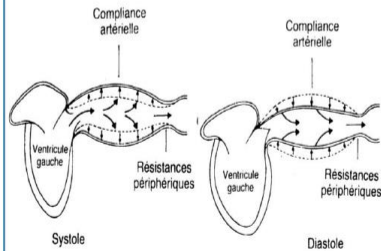
Post-charge

Couplage ventriculo-atériel

Déterminants Vasculaires de la post-charge ventriculaire



Compliance



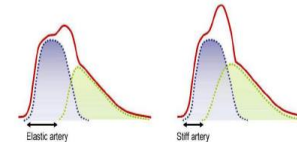
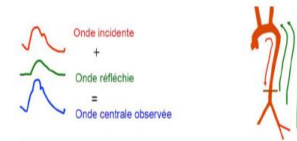
$$C_{tot} = \frac{VES}{PP_{Ao}}$$

Résistance

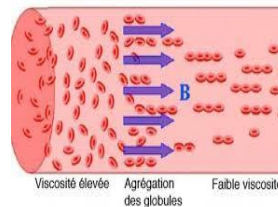


$$RVP = \frac{MAP_{Ao}}{DC}$$

Réflexion



$$AIx = \frac{cPS - AP}{cPP}$$

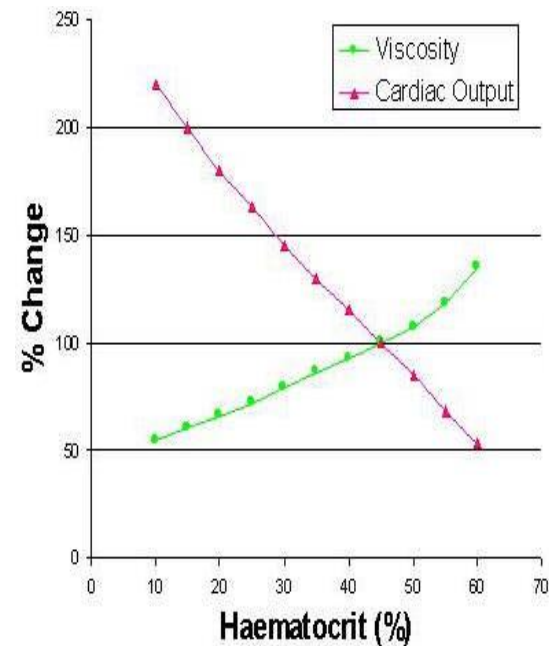
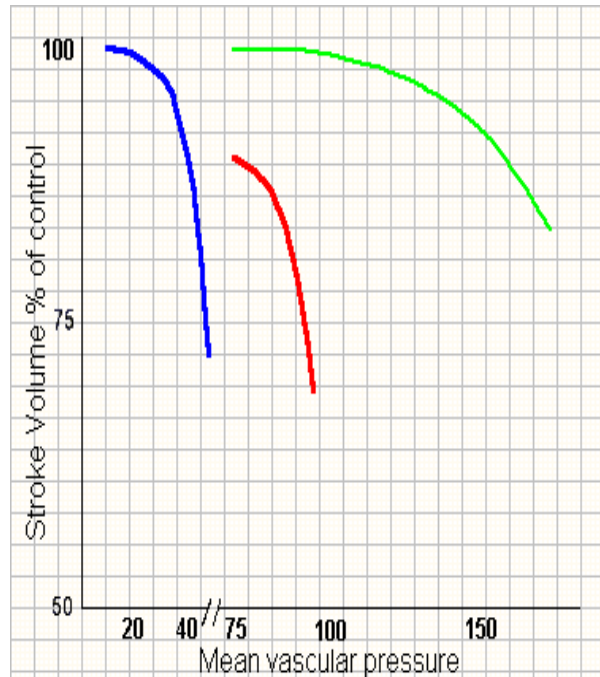


Viscosité sanguine

Post-charge à l'éjection

Impédance-Compliance-résistance

Viscosité du sang



Couplage ventriculo-atériel

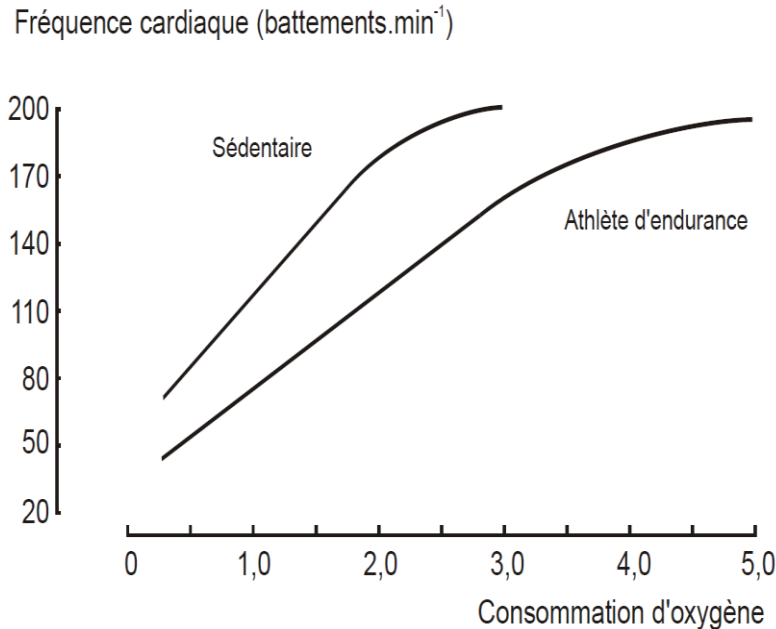
What is Stroke Volume?



VES : une valeur...

- De combien peut augmenter le VES ?
- De combien peut augmenter la fréquence cardiaque ?

Fréquence cardiaque maximale réelle ou estimée



La fréquence cardiaque maximale (FCmax) peut être mesurée ou estimée.

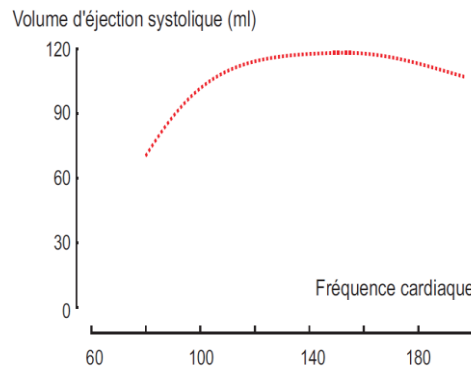
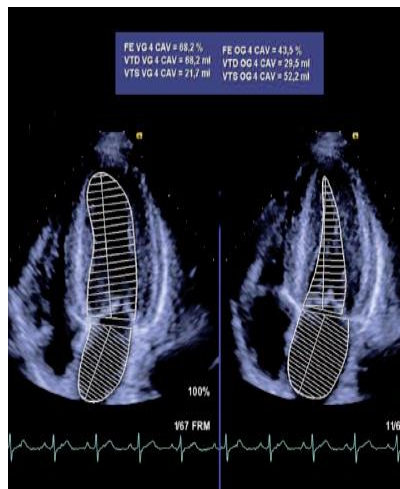
La formule la plus connue donnant la fréquence cardiaque maximale en fonction de l'âge est la suivante :

$$\text{FCmax} = 220 - \text{Age}$$

Où Age correspond à l'âge du sujet en années.

Variation des valeurs

- Fréquence cardiaque : 200 %
- VES : 30 à 50 % (grand sportif)

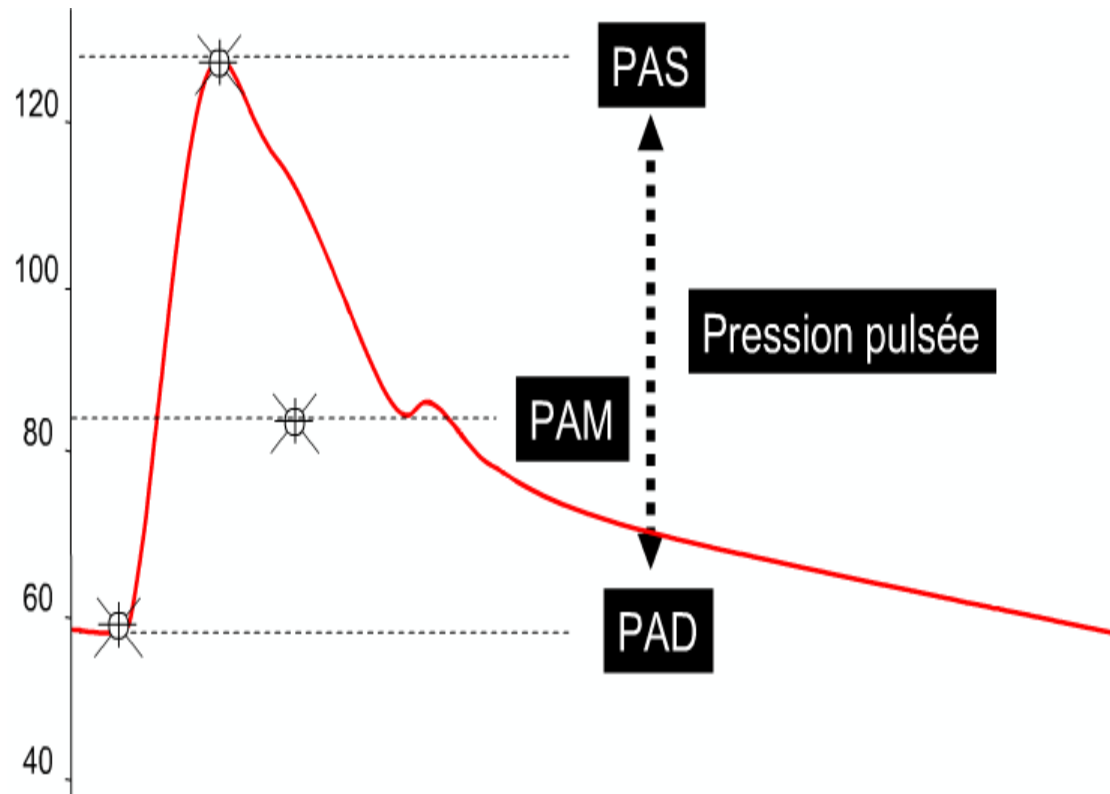


Evolution du volume d'éjection systolique à l'exercice dynamique:
atteinte d'un plateau puis décroissance

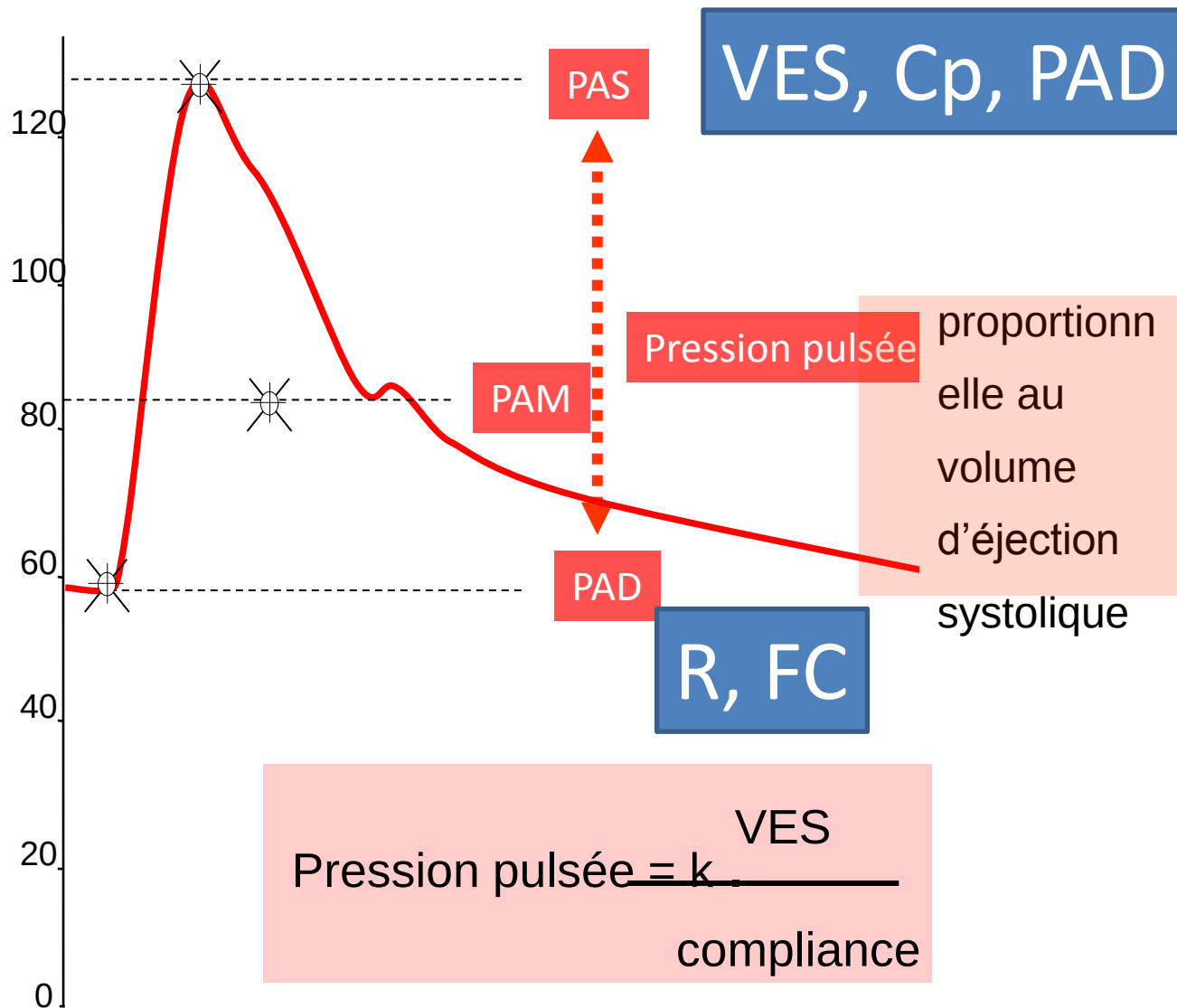
La pression artérielle

LE COUPLAGE VENTRICULO- ARTÉRIEL

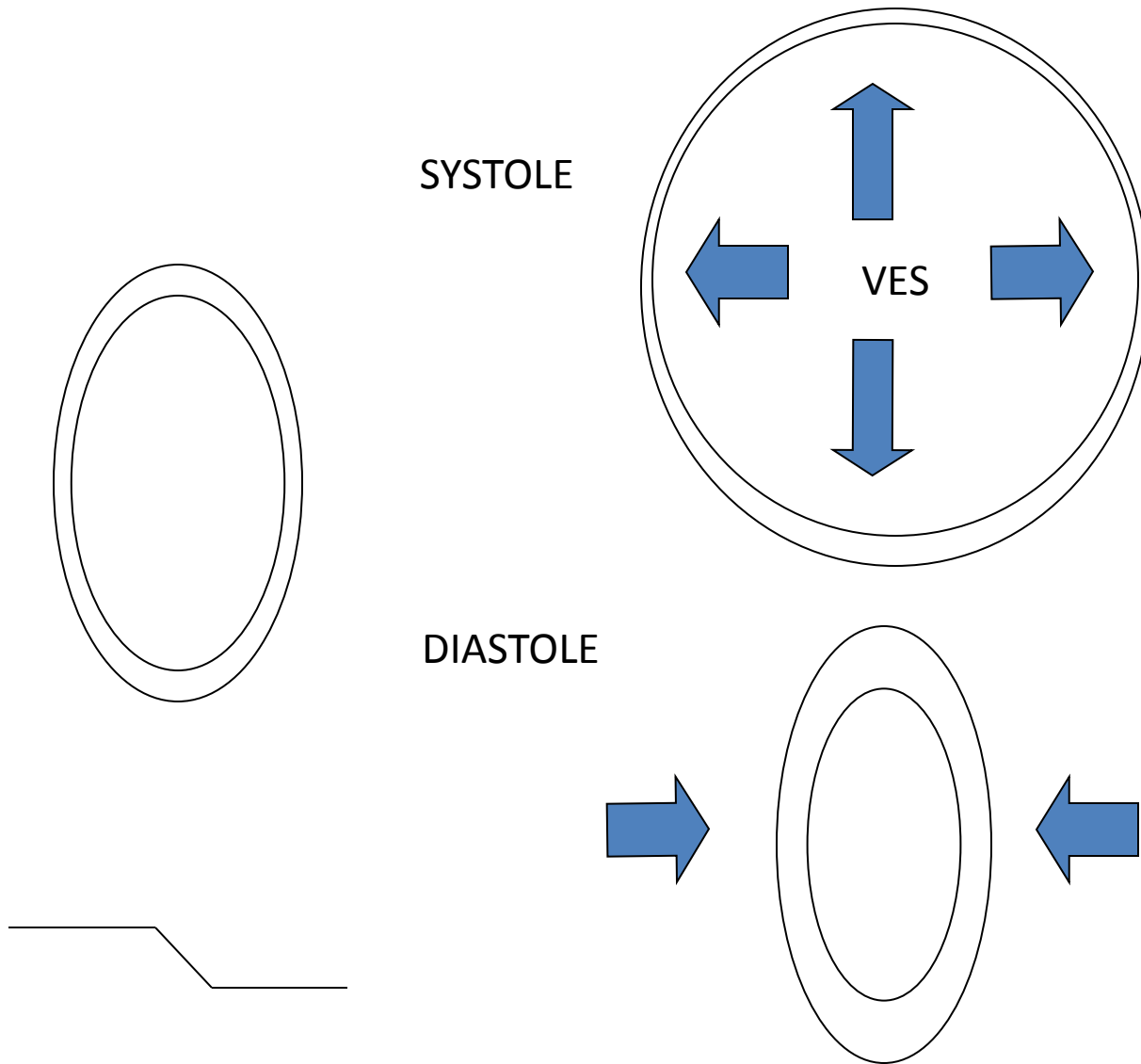
Pression artérielle



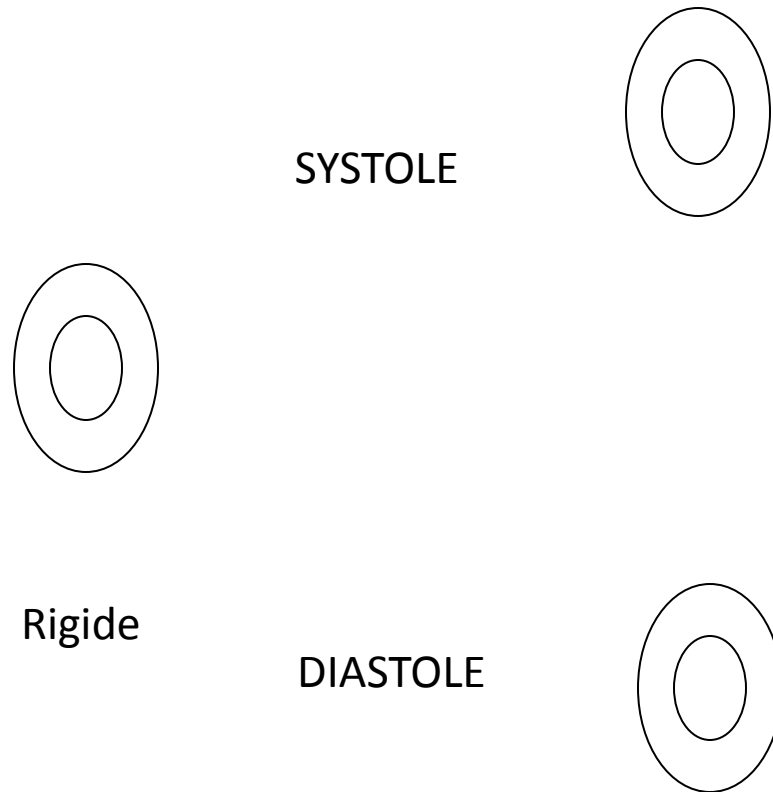
4 pressions



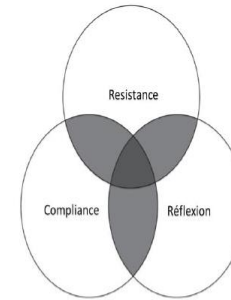
Compliance artérielle



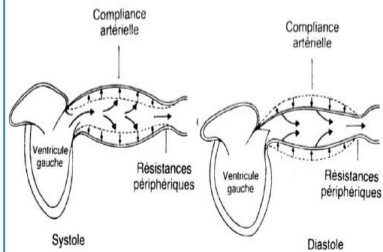
Compliance artérielle



Déterminants Vasculaires de la post-charge ventriculaire



Compliance



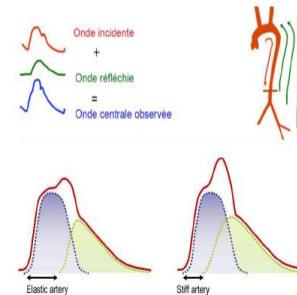
$$C_{tot} = \frac{VES}{PP_{Ao}}$$

Résistance

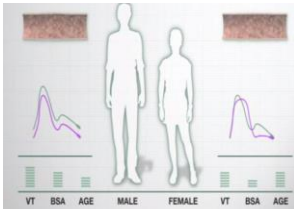


$$RVP = \frac{MAP_{Ao}}{DC}$$

Réflexion

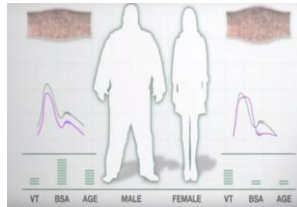


$$AIx = \frac{cPS - AP}{cPP}$$



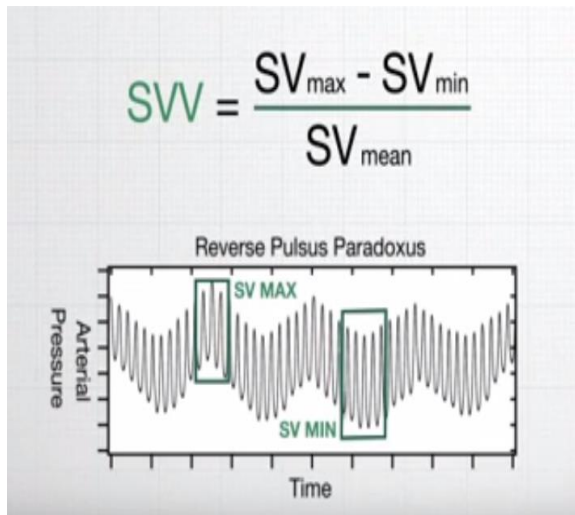
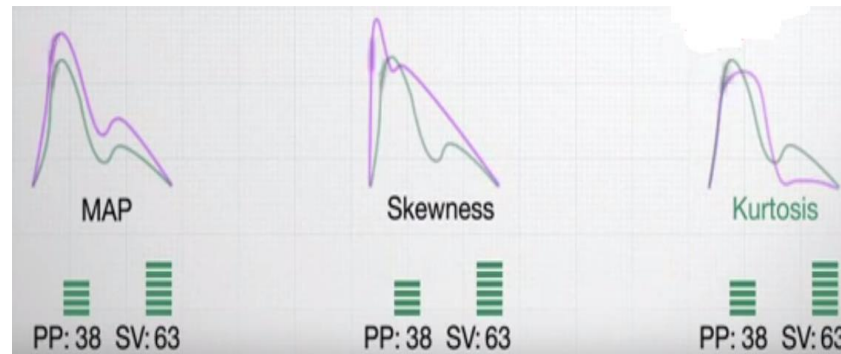
$$CO = HR * SV$$

$sd(AP) * Khi$

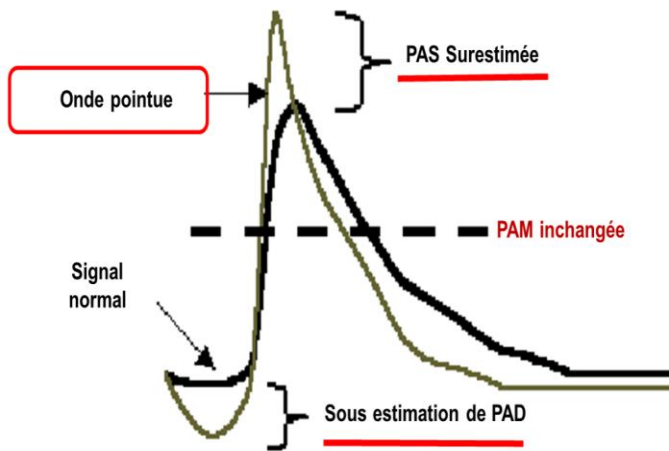


$$SV = sd(AP) * Khi$$

Khi represents changes in vascular tone



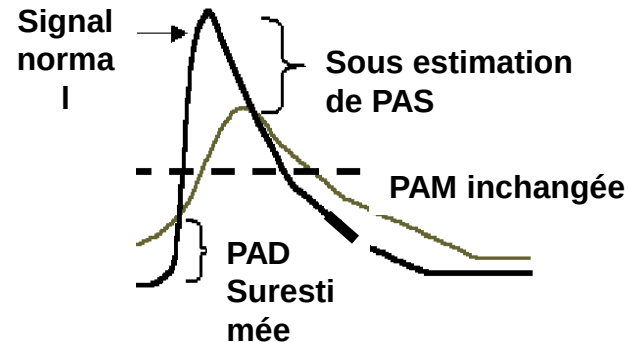
Résonnance



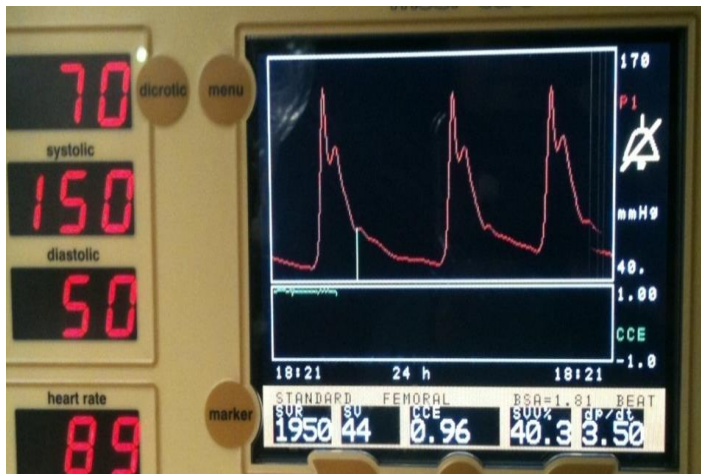
Causes :

- 1) Tubulure longue
- 2) Augmentation des résistances vasculaires

Amortissement

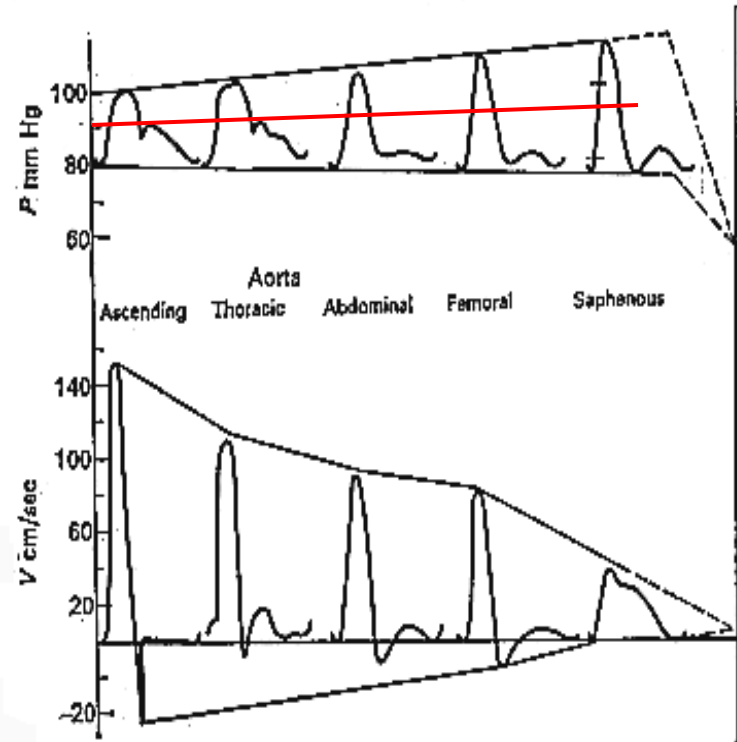
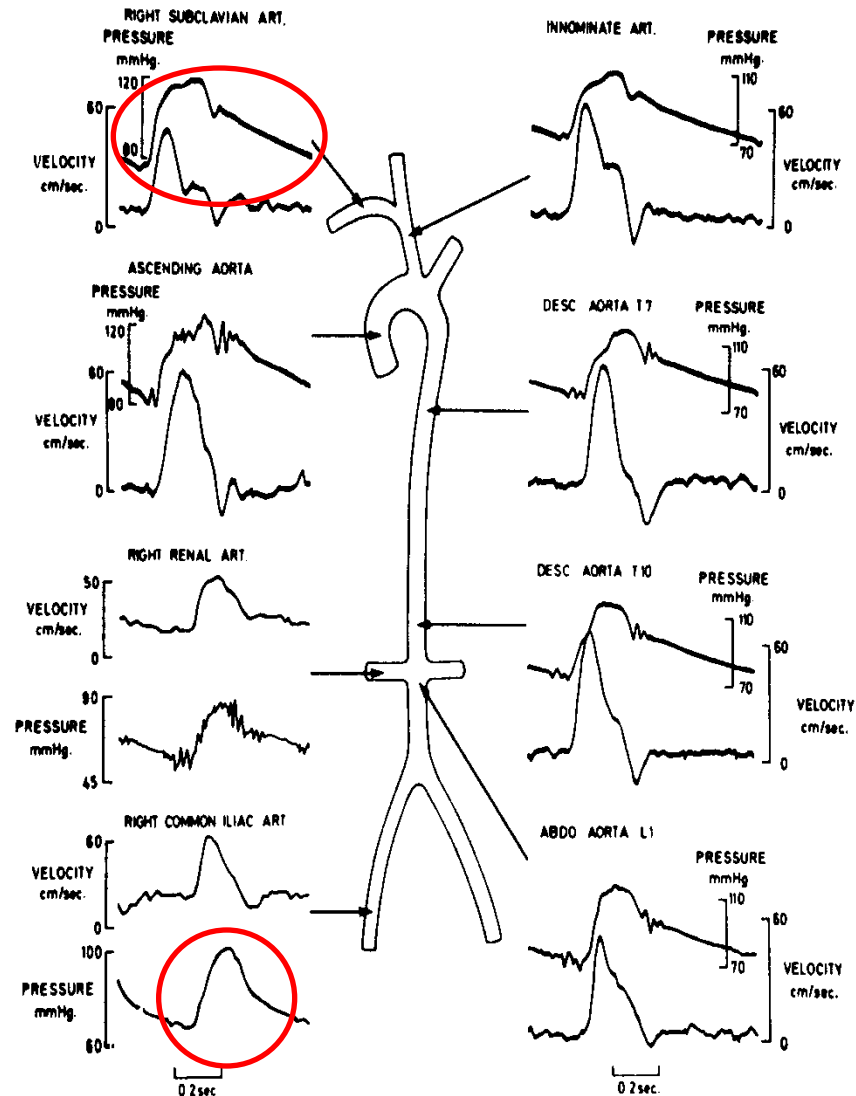


- Bulle d'air, caillot
- Ligne artérielle plicaturée
- Ligne artérielle trop COMPLIANTE
- Contrepression dégonflée
- Poche de contrepression vide



OU MESURER LA PRESSION ARTERIELLE?

Différentes pressions à différents endroits de l'arbre artériel. Idéal: la pression Aortique



Mills, Cardiovasc Res 1970;4:40-7

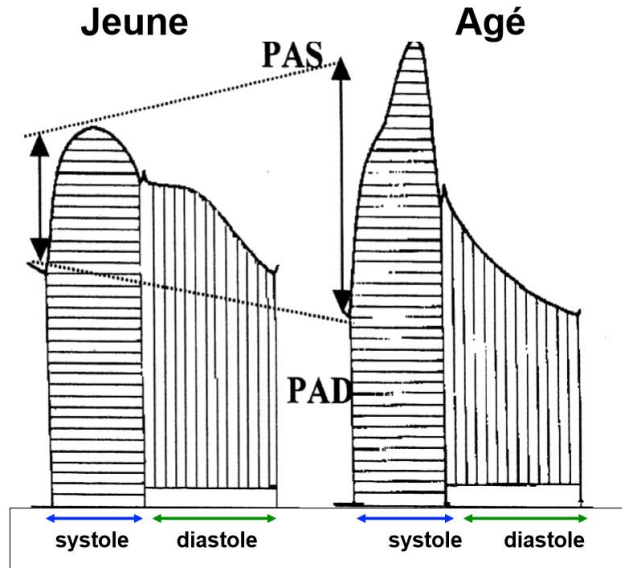
Conséquences physiopathologiques de l'augmentation de la pression pulsée

PAS augmente :

post charge augmente
→ HVG
→ élévation M'O2

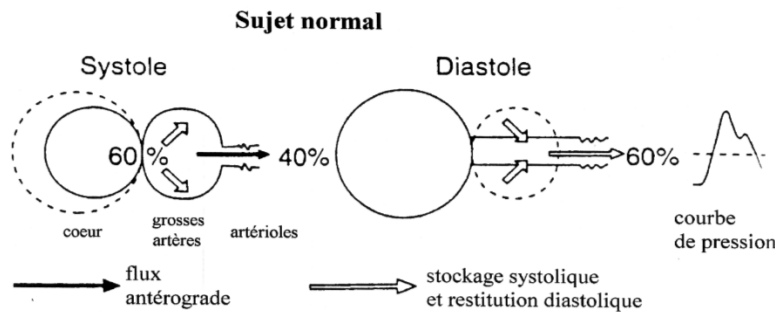
PA diastolique diminue :

→ baisse débit coronaire
→ baisse apport oxygène

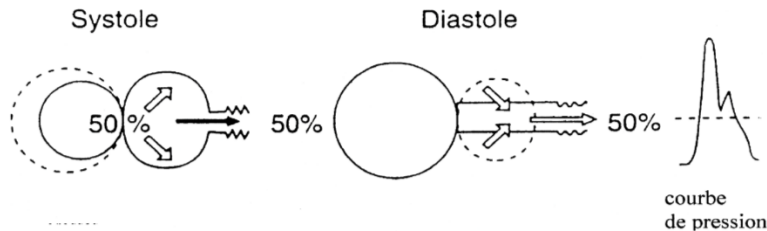


Augmentation de la pression pulsée

Baisse distensibilité des grosses artères



Rigidité artérielle



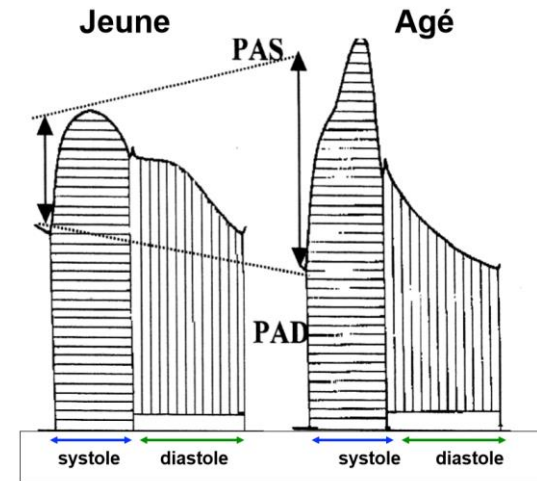
Conséquences physiopathologiques de l'augmentation de la pression pulsée

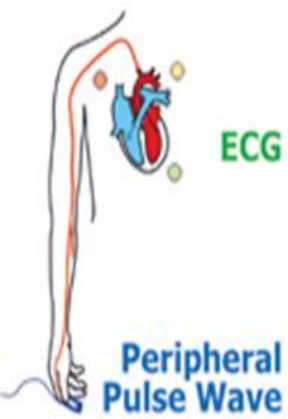
PAS augmente :

post charge augmente
→ HVG
→ élévation M'O2

PA diastolique diminue :

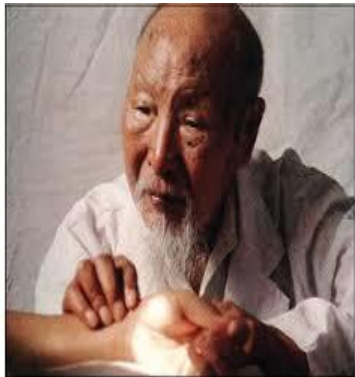
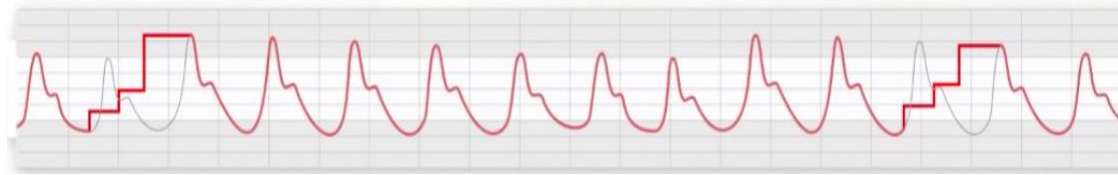
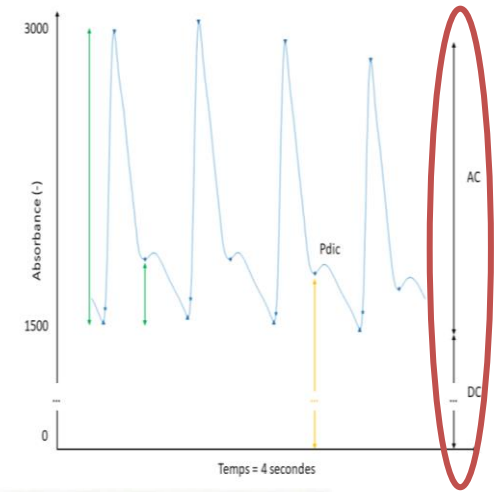
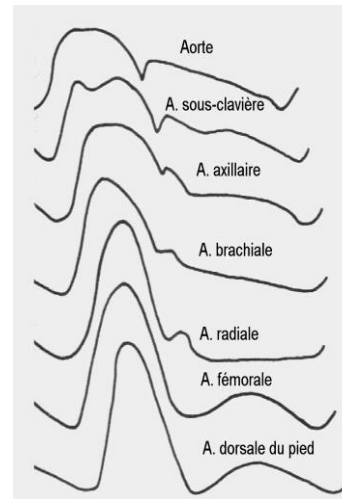
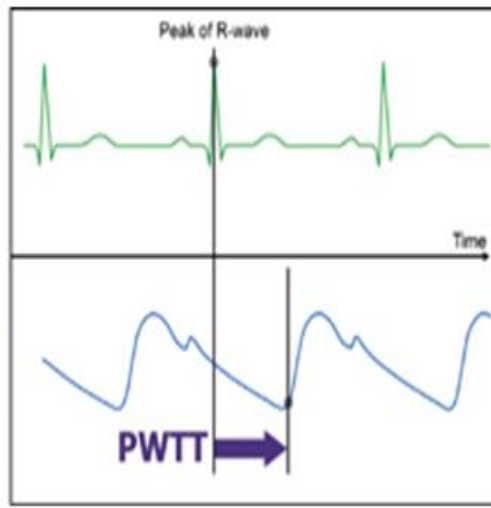
→ baisse débit coronaire
→ baisse apport oxygène





ECG

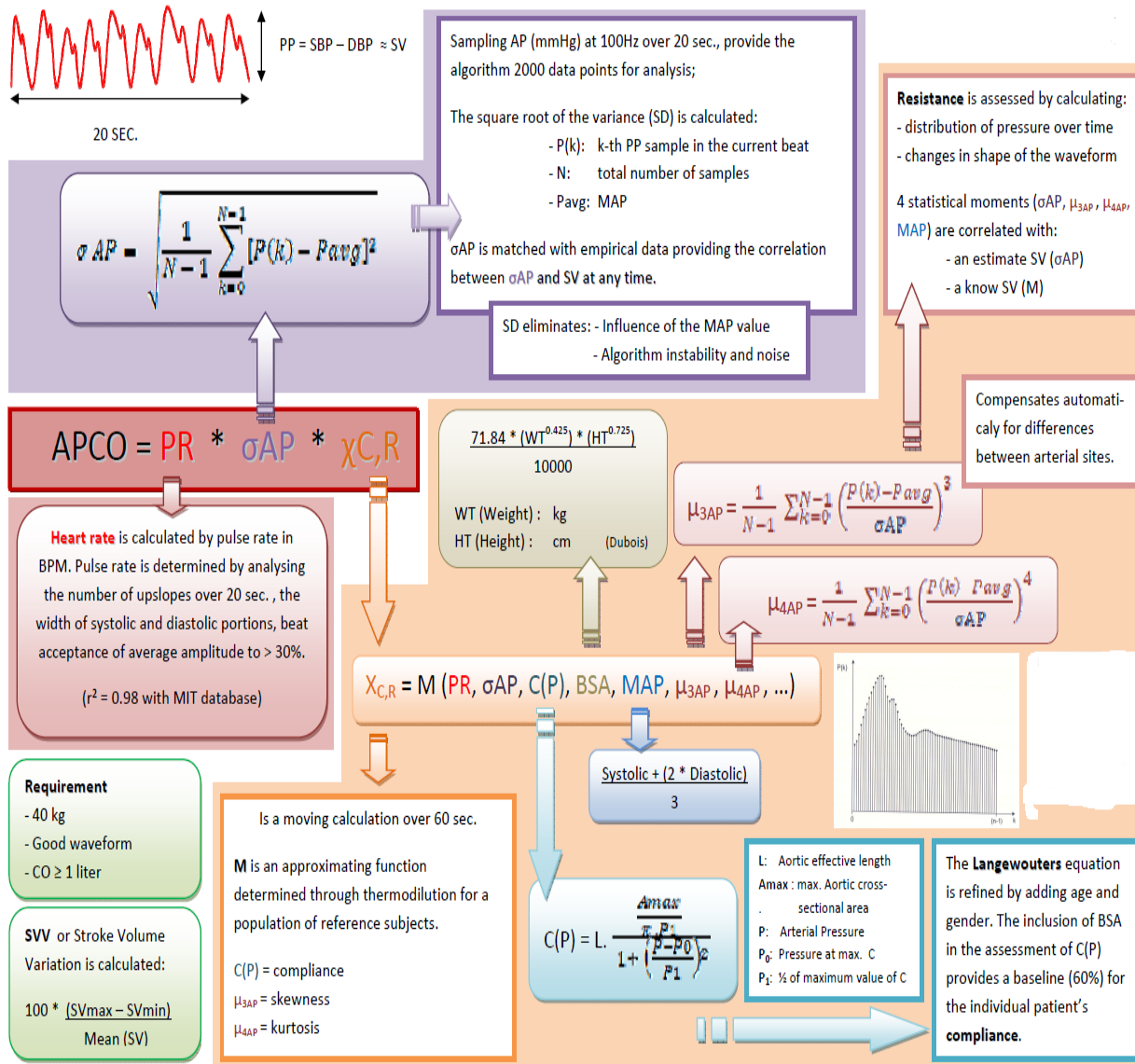
Peripheral
Pulse Wave



Traditional Chinese medicine practitioner performing pulse diagnosis

Contour de l'onde de pression artérielle ou du pouls.
ou de la pléthysmographie au doigt

$$PP = k \cdot \frac{VES}{C_p}$$



QUALITÉ DU SIGNAL

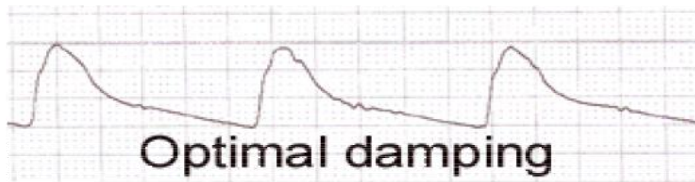


Figure 7: An optimally damped waveform



Figure 6: An overdamped waveform

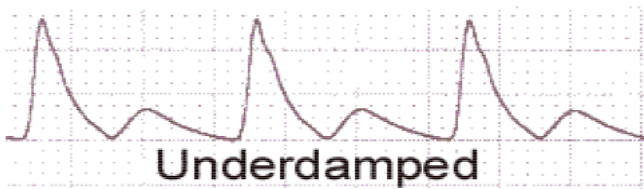
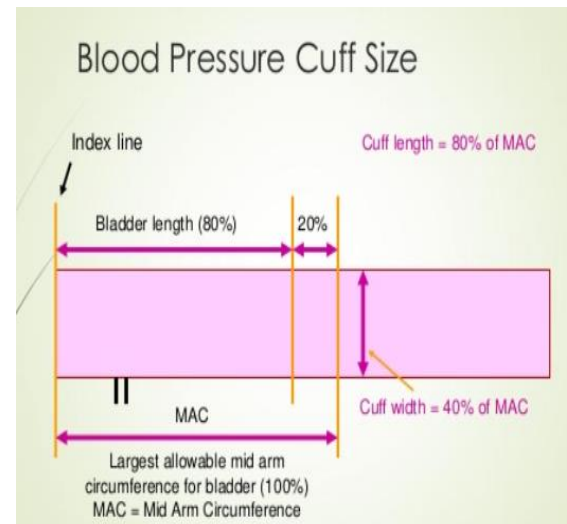
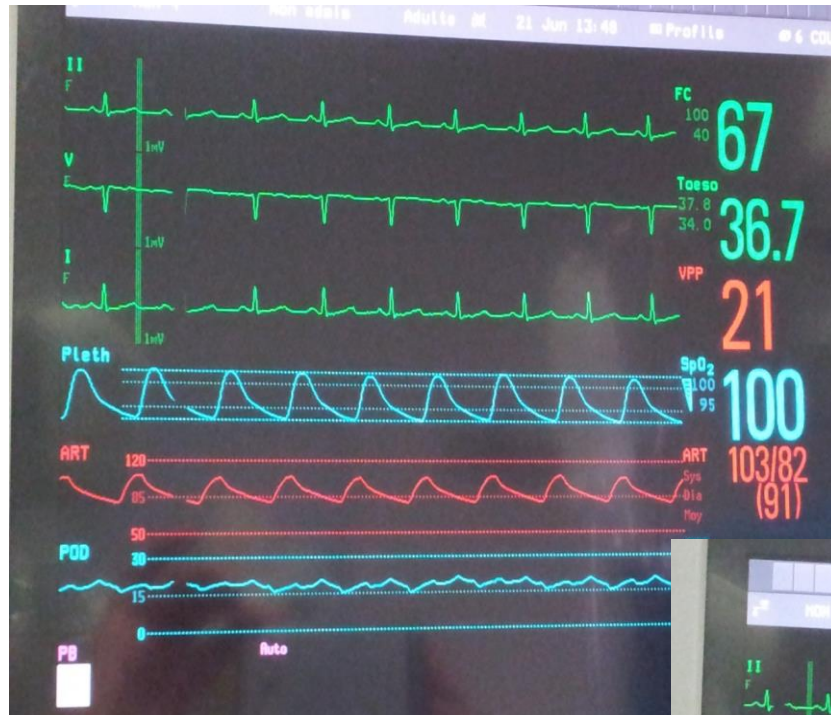


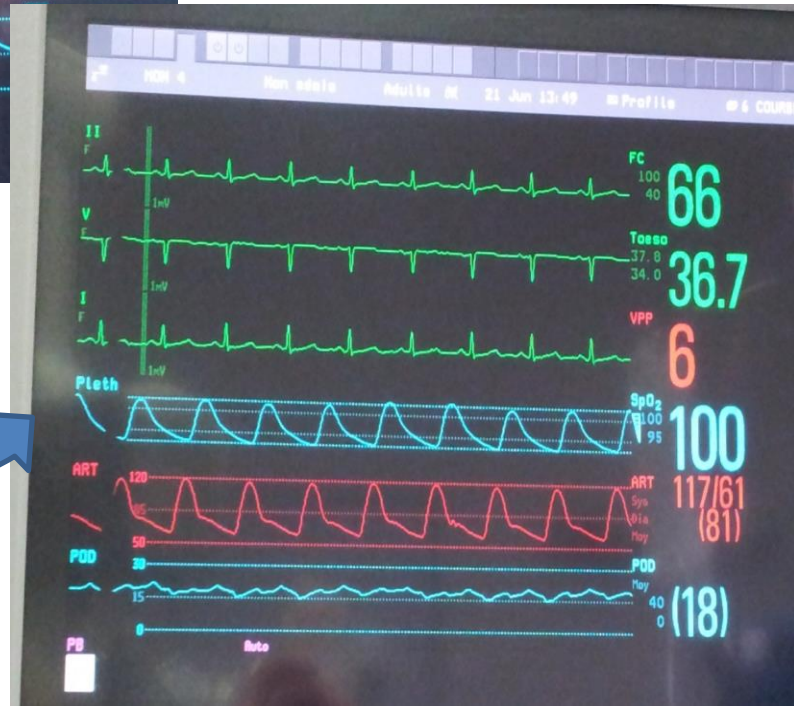
Figure 5: An underdamped waveform



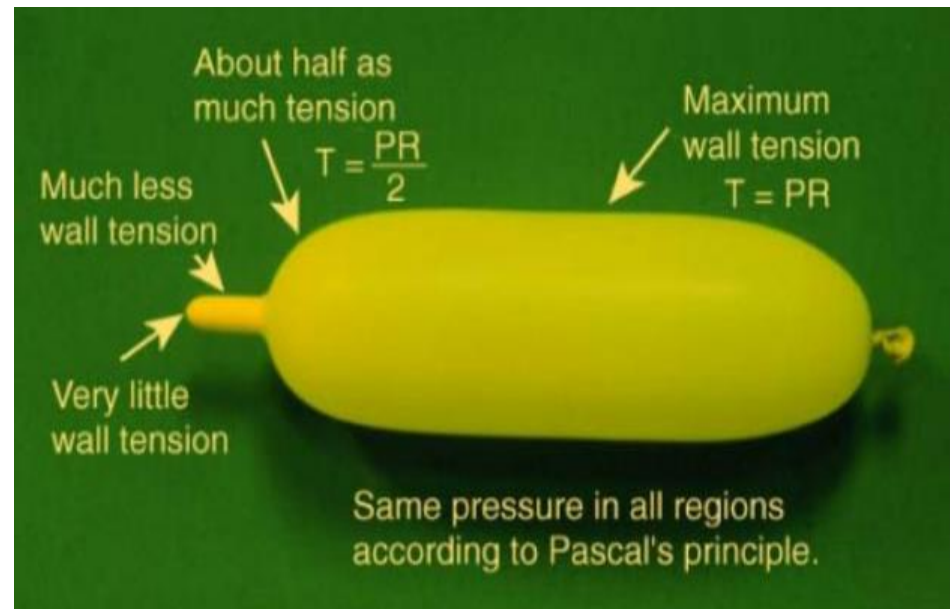
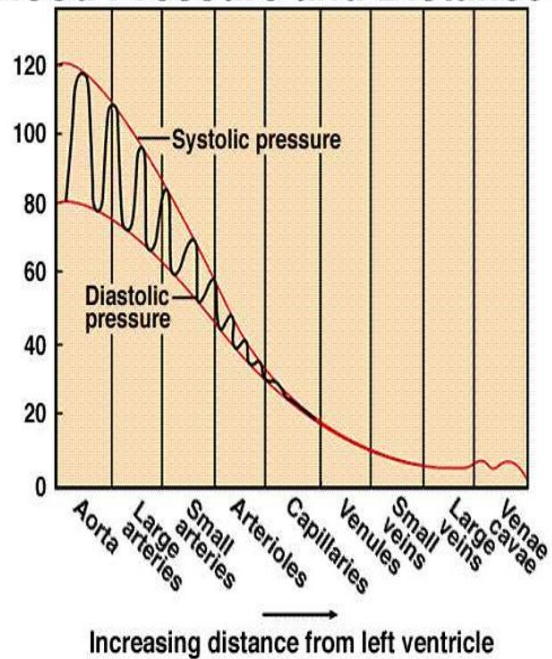
Qualité du signal de pression artérielle



Purge du système



Blood Pressure and Distance

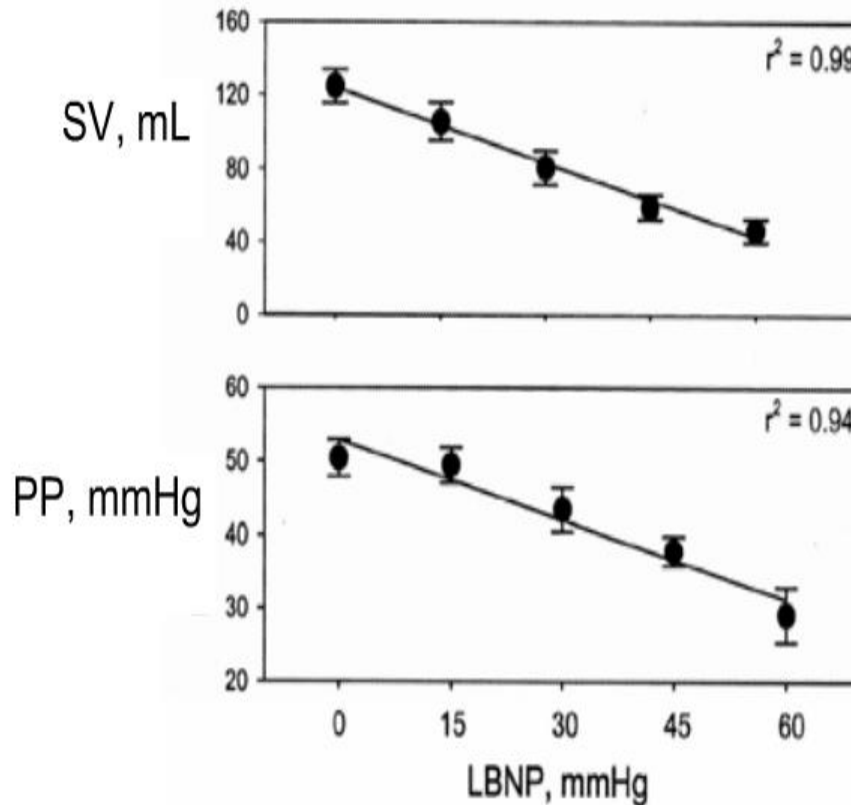


la pression artérielle pulsée

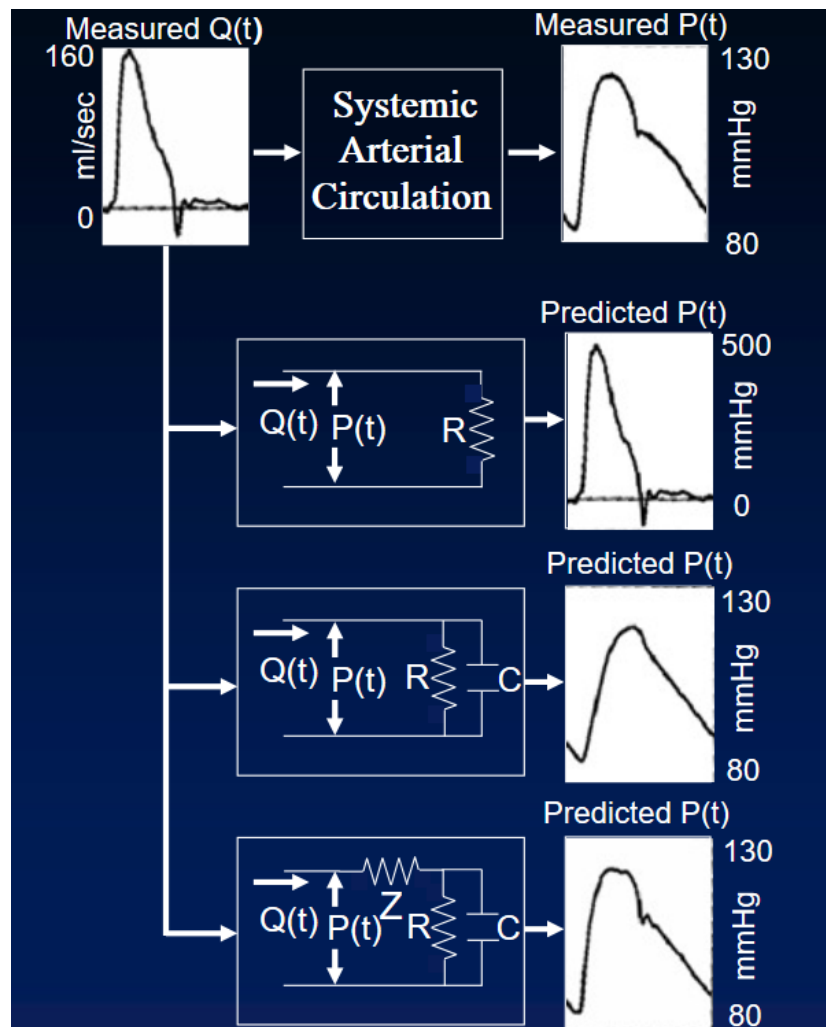
Arterial Pulse Pressure and Its Association With Reduced Stroke Volume During Progressive Central Hypovolemia

Victor A. Convertino, PhD, William H. Cooke, PhD, and John B. Holcomb, MD

J trauma 2006;61;
629-634



**La PP
varie
parallèlement
au VES**



Ces variations

LA VALEUR...

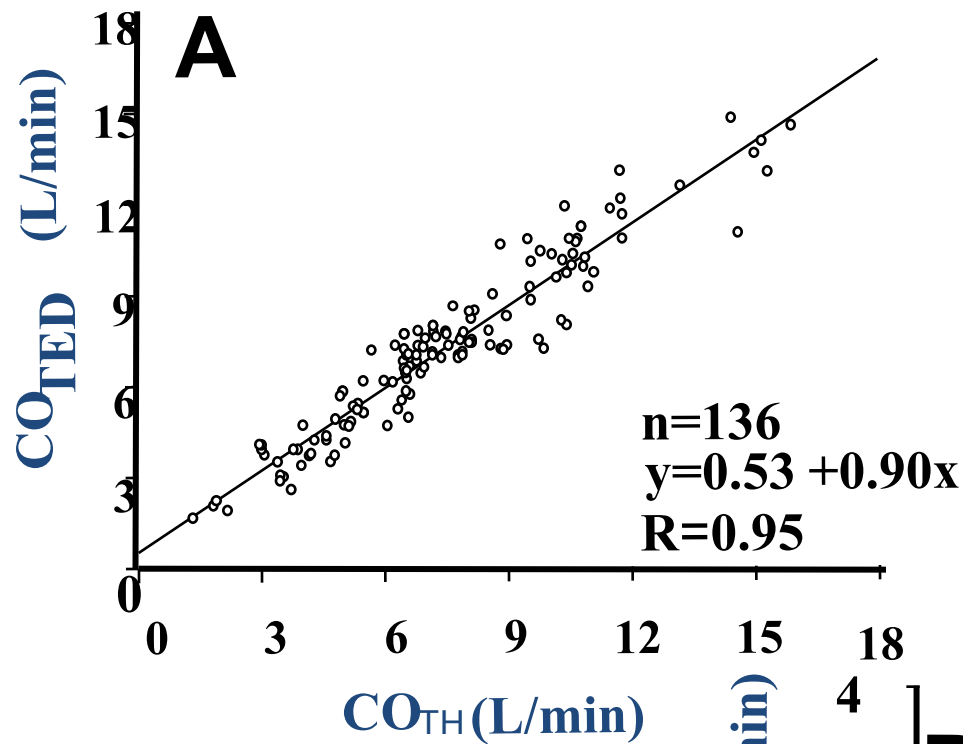
Noninvasive Monitoring of Cardiac Output in Critically Ill Patients Using Transesophageal Doppler

BRUNO VALTIER, BERNARD P. CHOLLEY, JEAN-PIERRE BELOT, JEAN-EMMANUEL de la COUSSAYE, JOAQUIM MATEO, and DIDIER M. PAYEN

Department of Anesthesiology, Lariboisière Hospital, Paris; Medical Intensive Care, Louis Mourier Hospital, Colombes; and Department of Anesthesiology, Nîmes, France

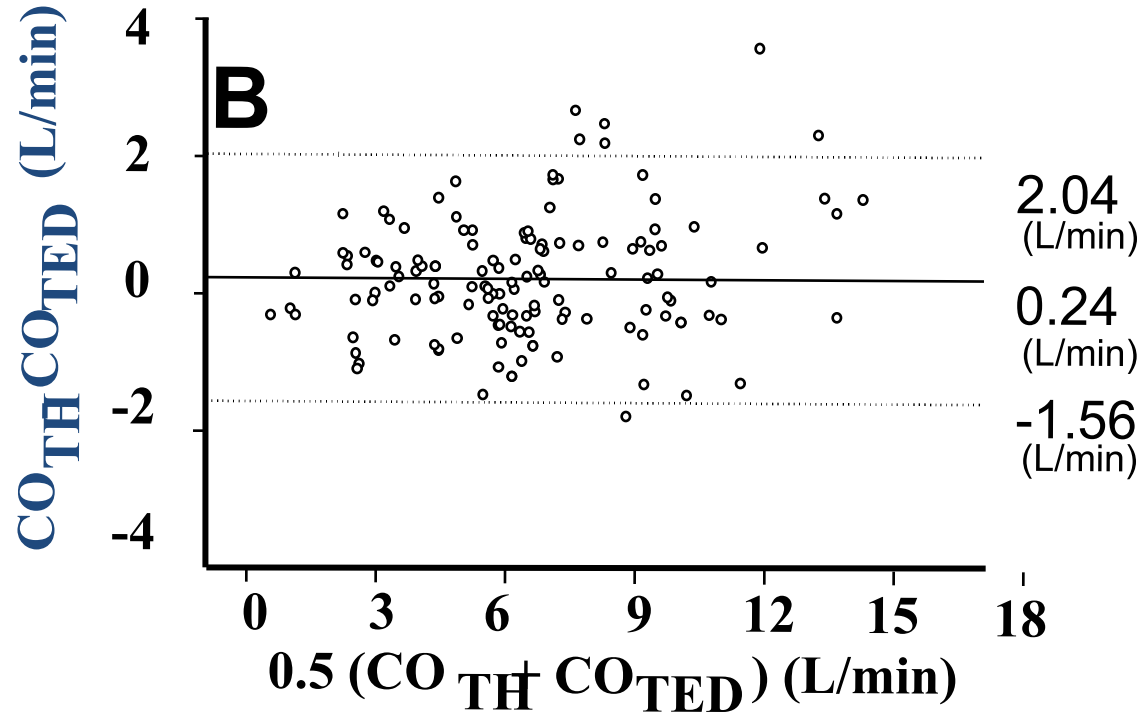
Am J Respir Crit Care Med, 158, 77; 1998

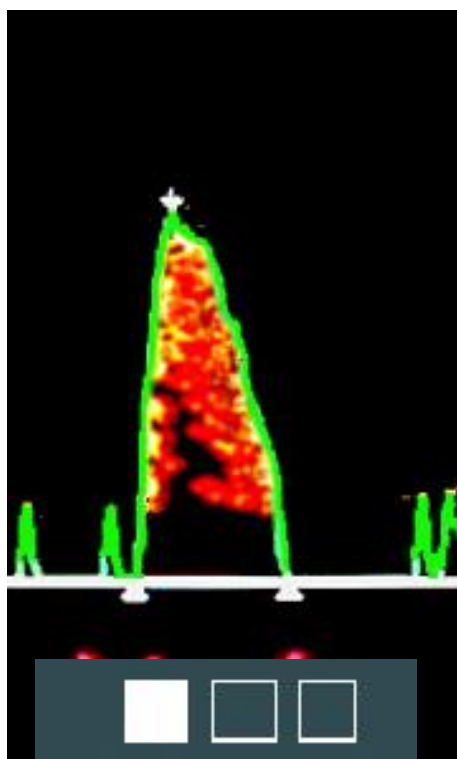
A multi-centric, multi-technic validation of TEDoppler



Deltex machine

ValtierB et al
AJRCCM, 1998





Vue du
Jeu 10:13

CO = 4.5

SV = 64

HR = 69

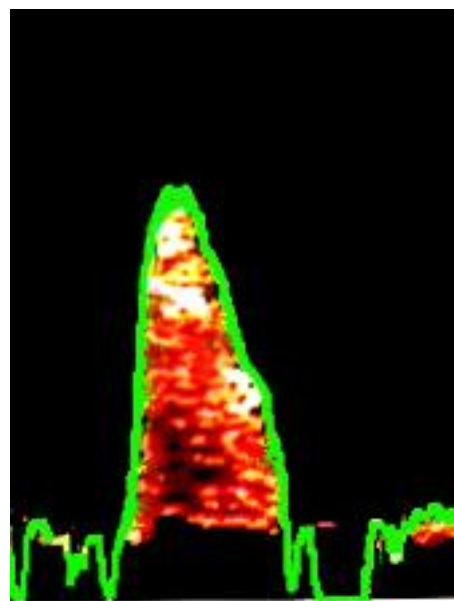
MD = 650

SD = 9.3

FTc = 303

MA = 6.93

PV = 56.7



Vue du
Jeu 10:27

CO = 6.1

SV = 95

HR = 64

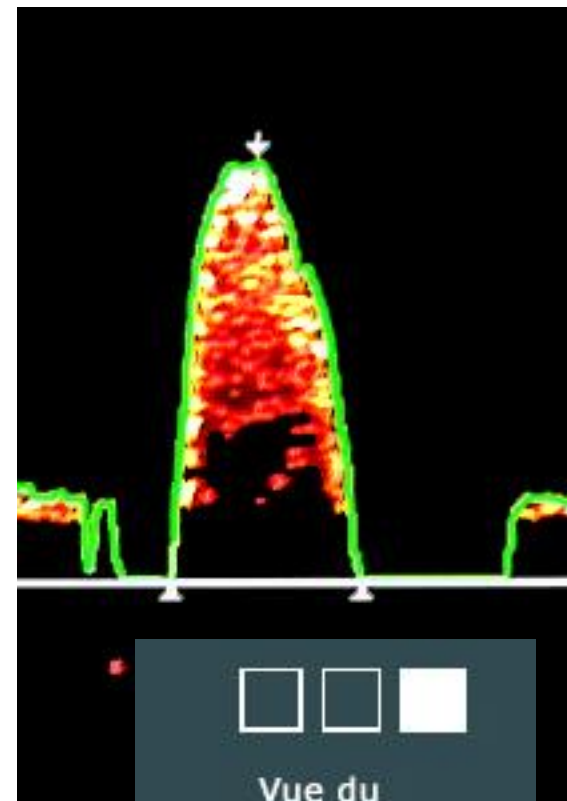
MD = 883

SD = 13.7

FTc = 354

MA = 6.40

PV = 63.3



Vue du
Jeu 10:34

CO = 6.4

SV = 101

HR = 63

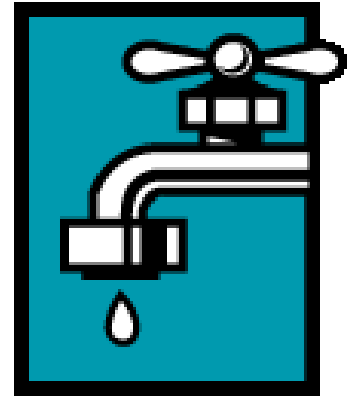
MD = 930

SD = 14.7

FTc = 366

MA = 5.60

PV = 62.5

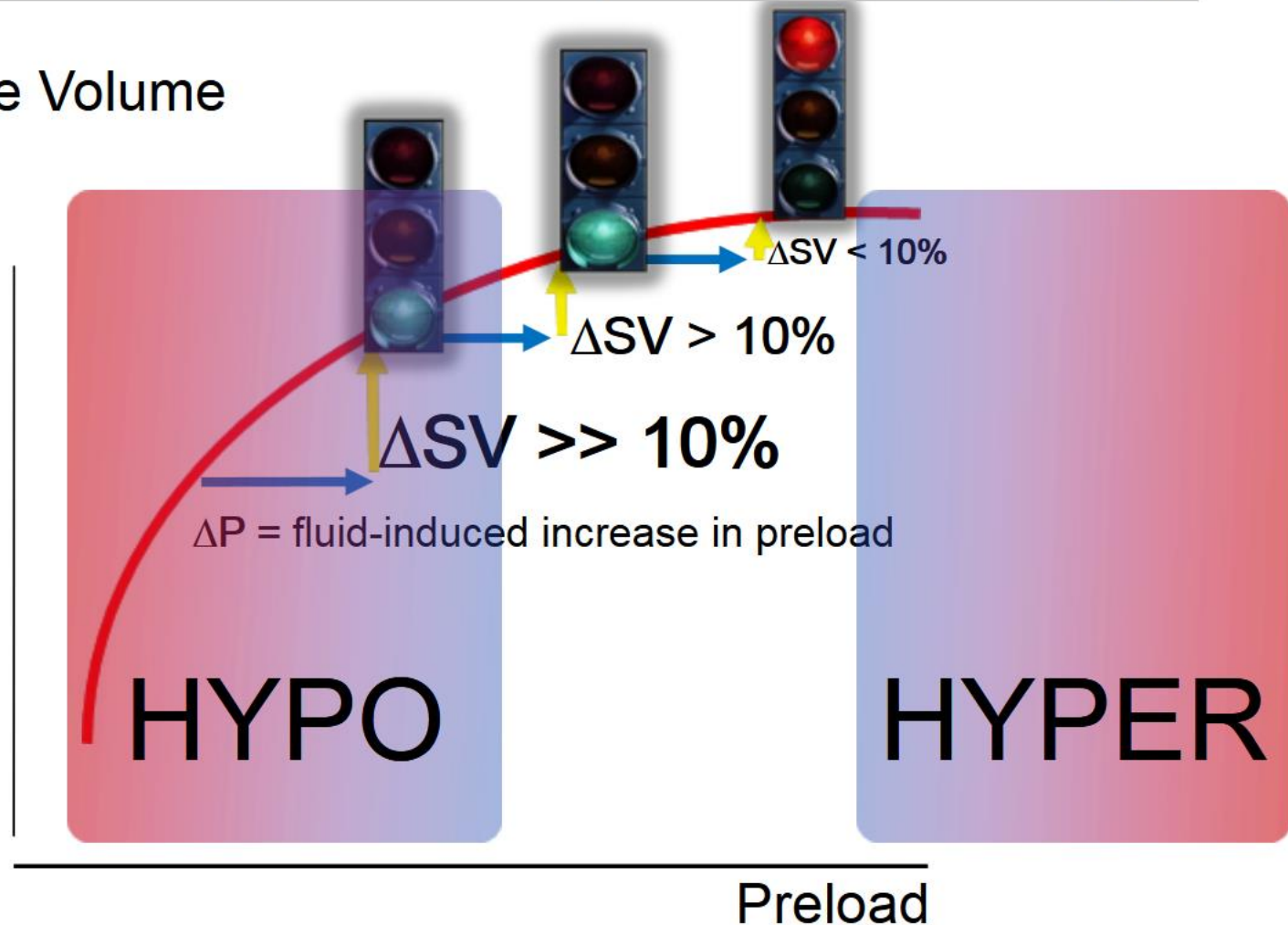


Stratégie d'optimisation du remplissage vasculaire

Pour éviter de trop remplir !

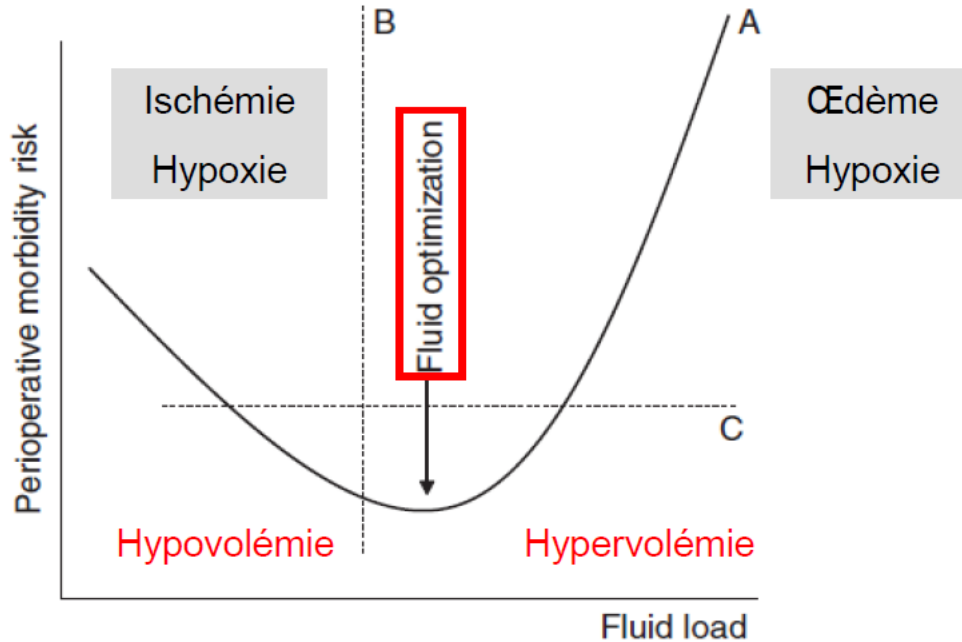
The Stroke Volume Optimization Strategy

Stroke Volume



Wet, dry or something else ?

Bellamy, BJA 2006;97:755-757



Whom to believe?



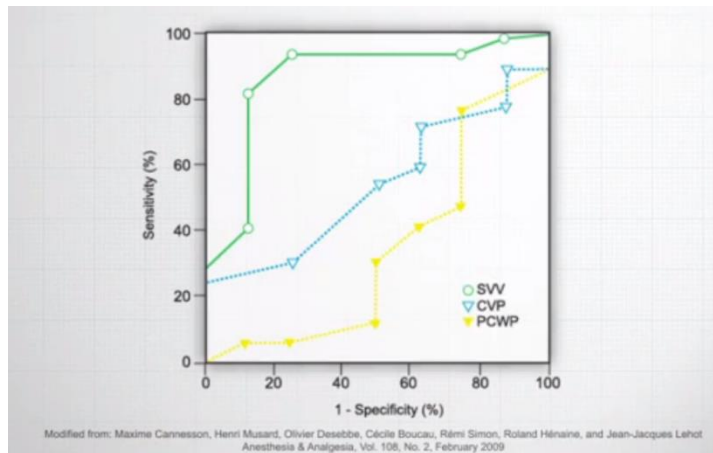
Dans hémodynamique il y a...
DYNAMIQUE

VVE une variable physiologique

- Mesure l'interaction cardiopulmonaire
- Bonne discrimination du VVE mesurée par l'analyse du contour de l'onde de pression pour prédire la réponse au remplissage vasculaire.
- VVE Indicateur robuste de la réponse au rempliss



$$VVE = \frac{VE_{max} - VE_{min}}{VE_{moy}}$$



Variations du volume d'éjection VVE...



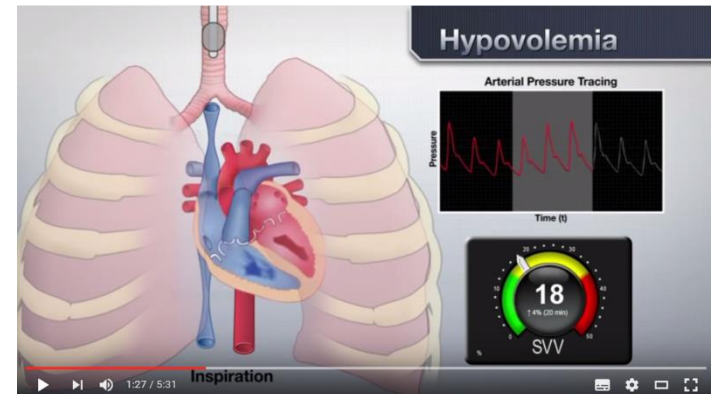
Statique



Dynamique

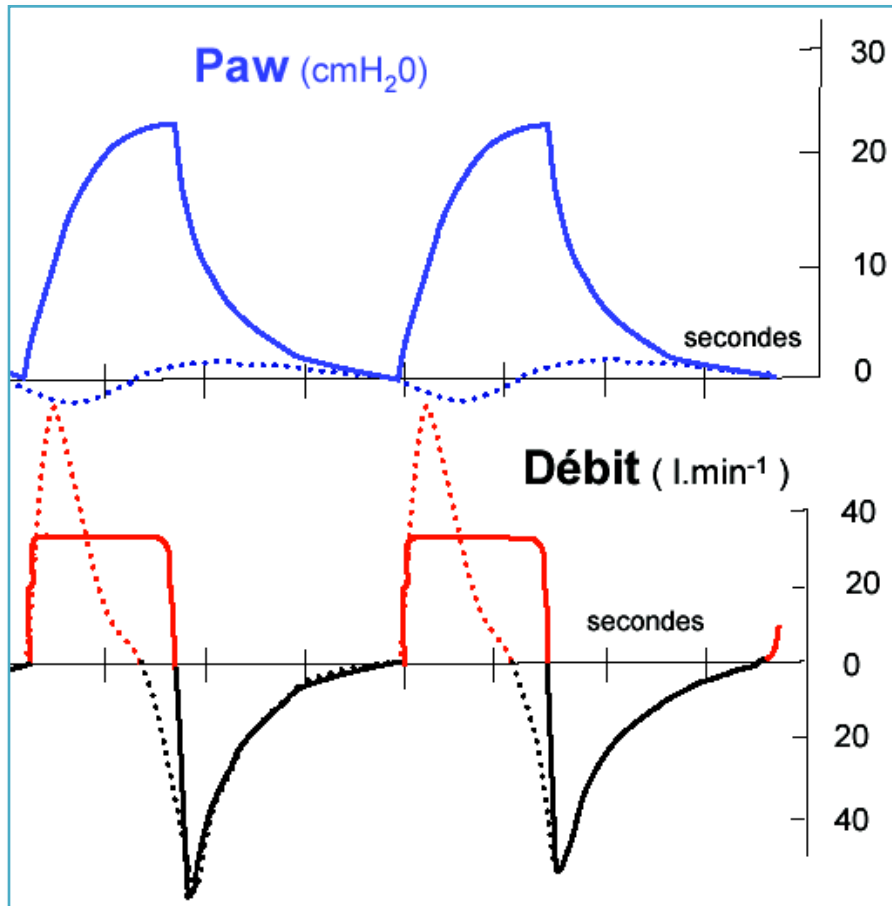
Interaction cœur-poumon

$$VVE = \frac{VE_{max} - VE_{min}}{VE_{moy}}$$



Les conditions ... Celles de l'anesthésie générale

Ventilation en pression positive

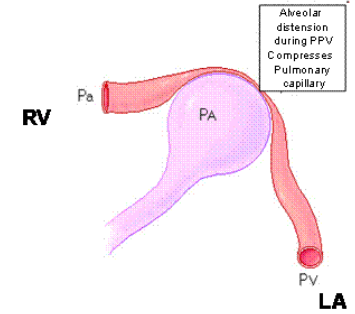


- Le **débit inspiratoire** généré par le ventilateur est constant
- A l'inspiration, la **pression** dans les **voies aériennes supérieures** est **positive** et constitue la **pression motrice**
- *On doit régler :*
 - ▶ Le **VT** = 7-8 ml.kg⁻¹
 - ▶ la**FR** = 15-20 c.min⁻¹
 - ▶ **I / I+E** = 33-50 %
 - ▶ **FIO₂** = 30-60 %

VVE : mécanismes

Ventilation en pression positive

↑ Pression intra-thoracique



↓ Pré-charge VD
↑ Post-charge VD

↑ Pré-charge VG
↓ Post-charge VG

Diminution du VES du VD

Augmentation Rapide du VES VG

3-4 battements après

Diminution du VES du VG

P° mmHg

Inspiration

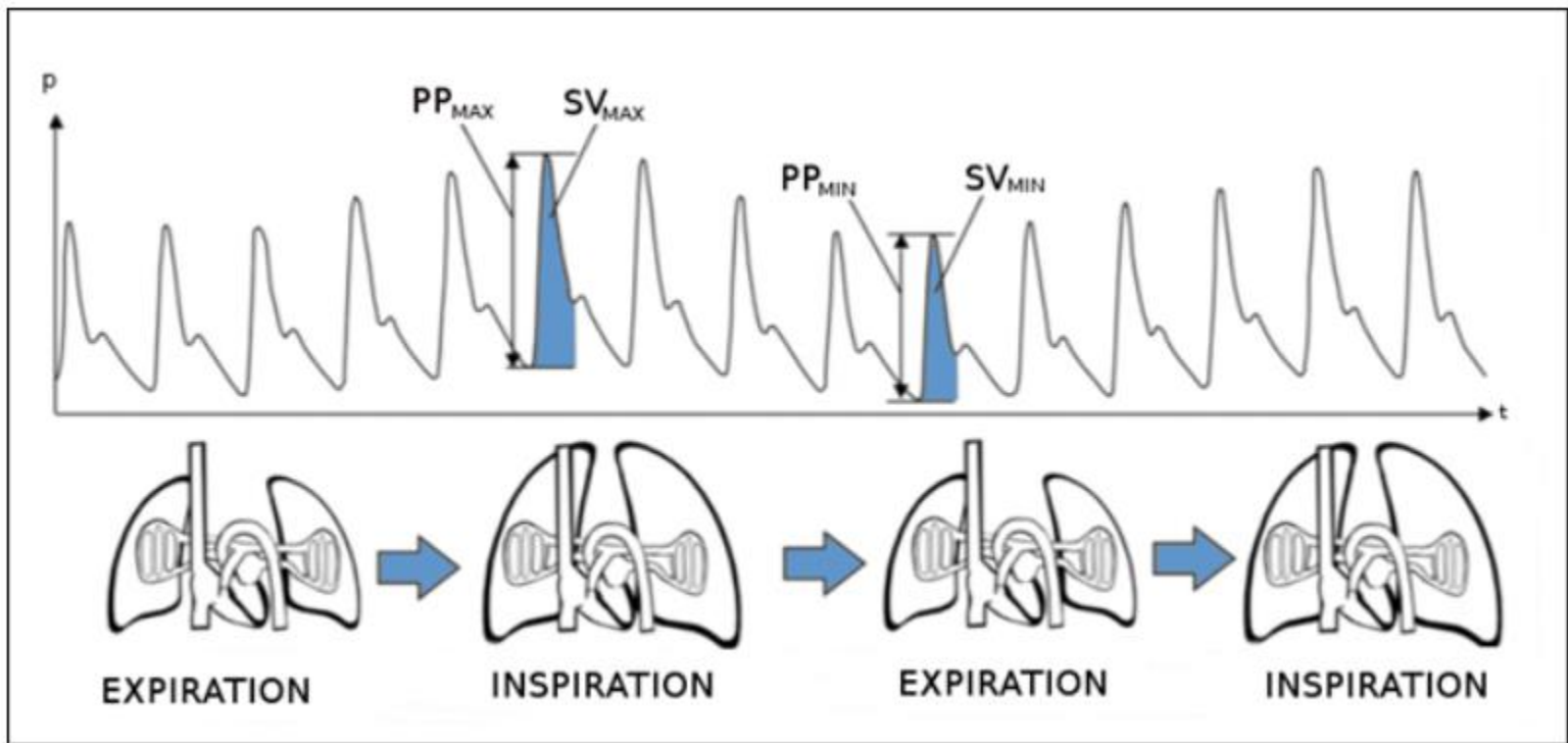
Expiration

SVV - Stroke Volume Variation



PPV - Pulse Pressure Variation



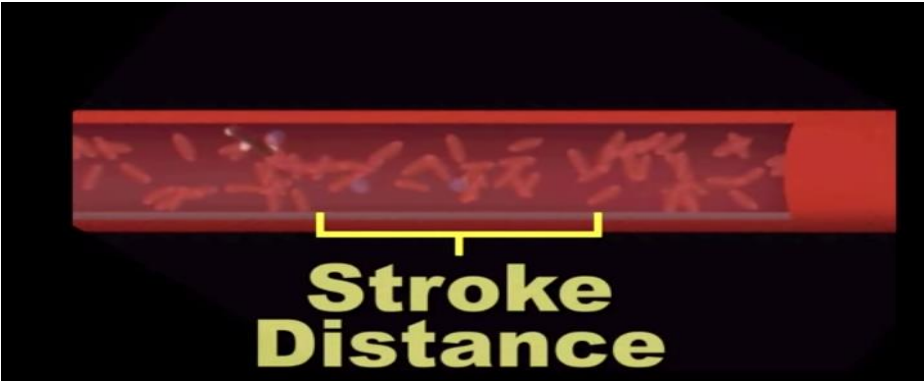


Variation du volume d'éjection; VVE - SVV

COMMENT LA MESURER ?

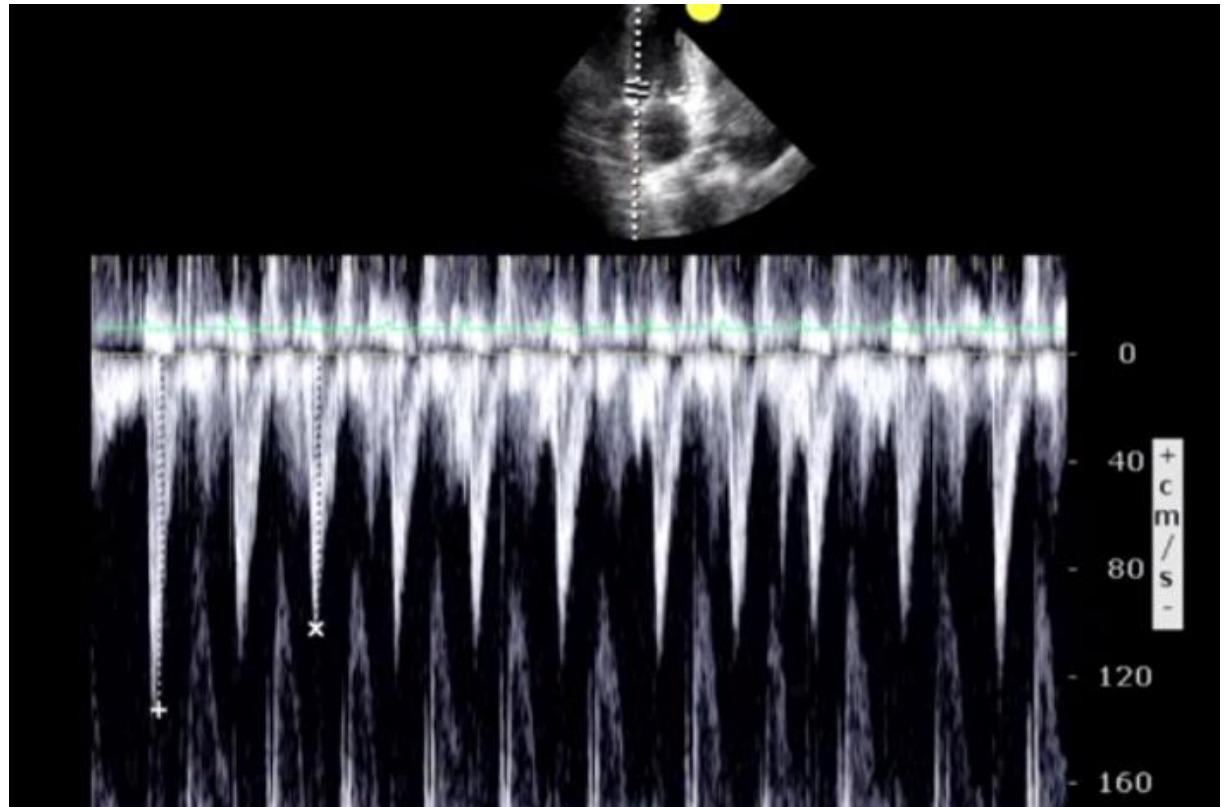


**Velocity
Time
Integral**

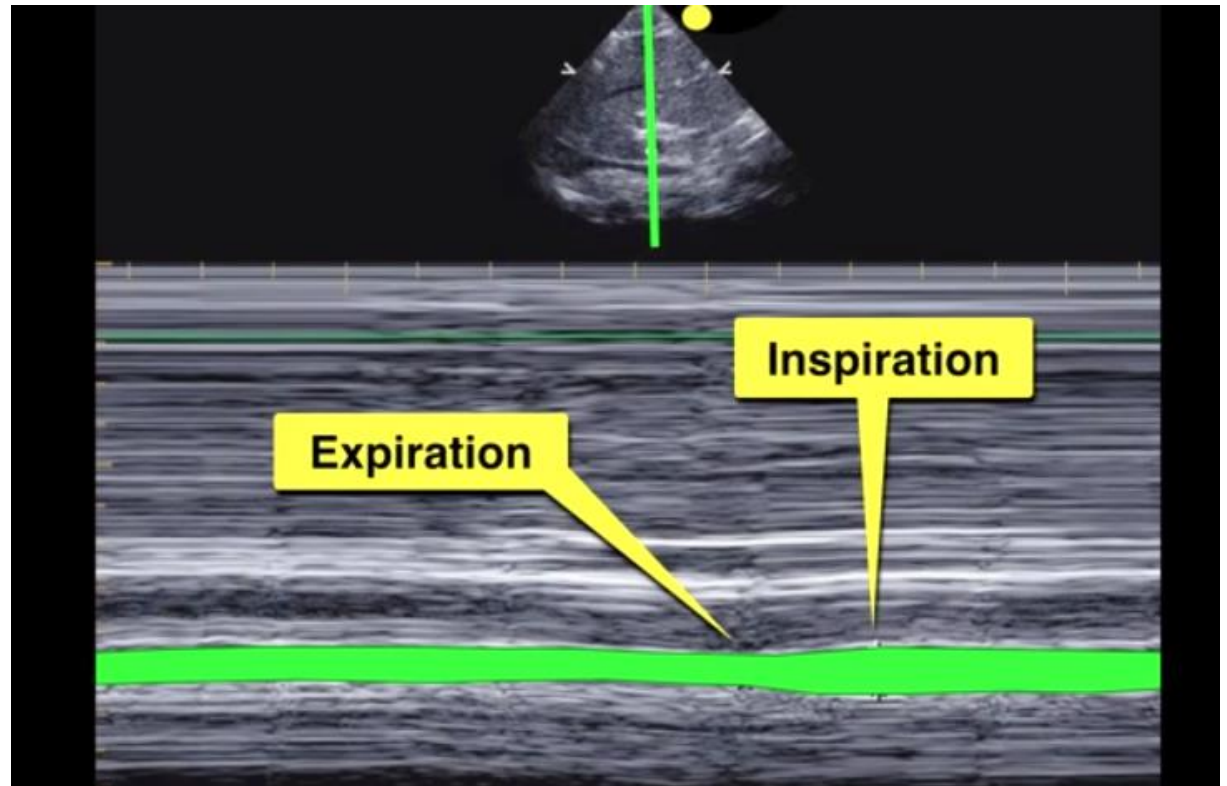
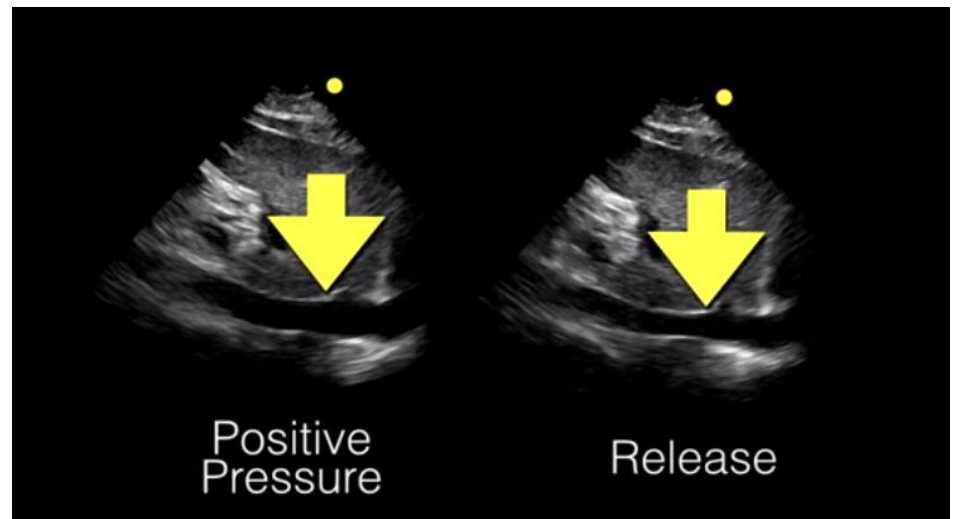


**Stroke
Distance**

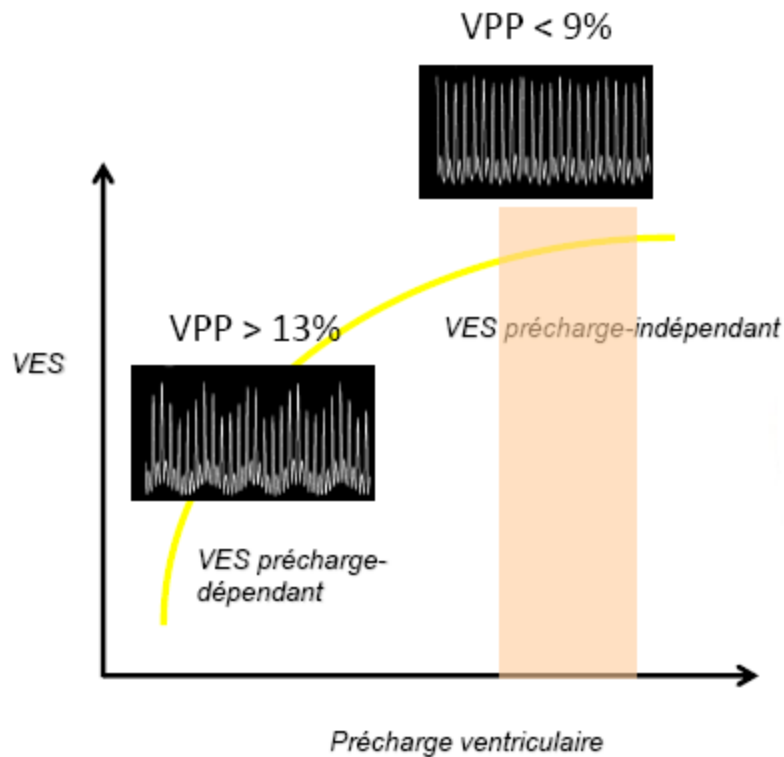

$$3.14 \times r^2 \times \text{VTI}$$



Inferior Vena Cava



Evaluation de la précharge-dépendance *indices dynamiques*



SVV Flotrac/Vigileo
Edwards

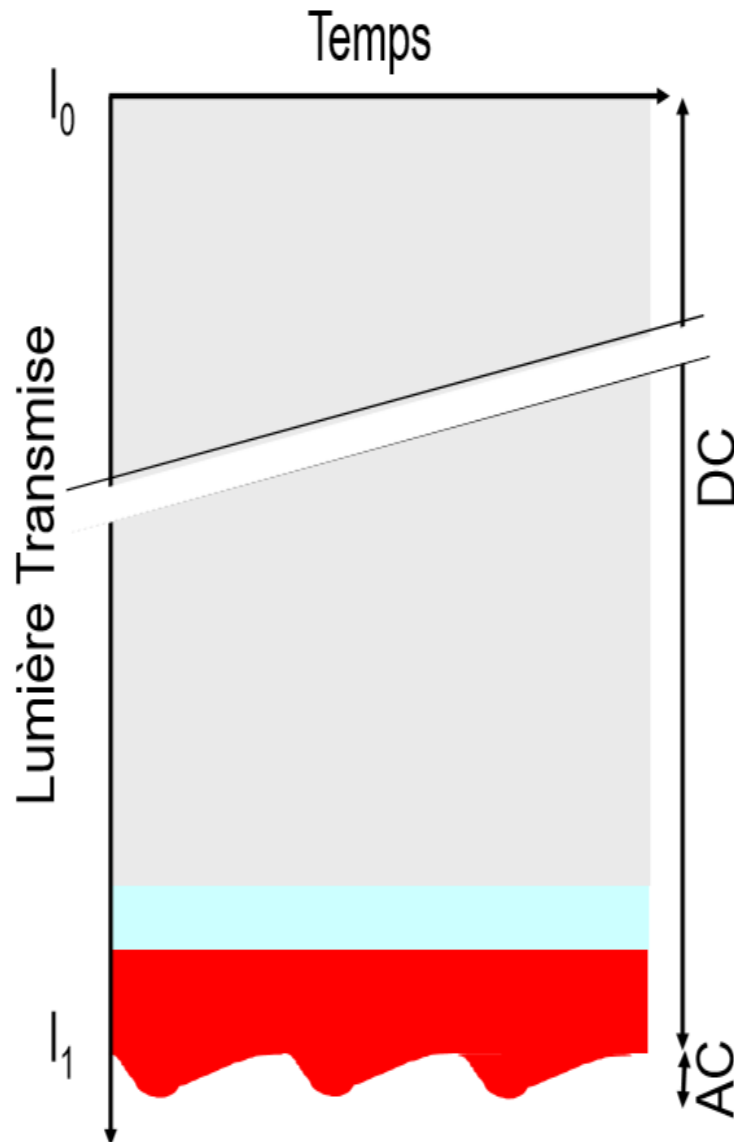


SVV PPV PICCO plus
Pulsion



IntelliVue
Philips

L'indice de Perfusion - PI



- > Une quantité constante de lumière (DC) émise par l'oxymètre de pouls est absorbée par la peau, les autres tissus et les signaux non pulsatiles, comme le flux veineux
- > Une quantité variable de lumière (AC) est absorbée par le flux artériel pulsatile
- > L'indice de perfusion (PI ou IP) est le rapport AC sur DC:

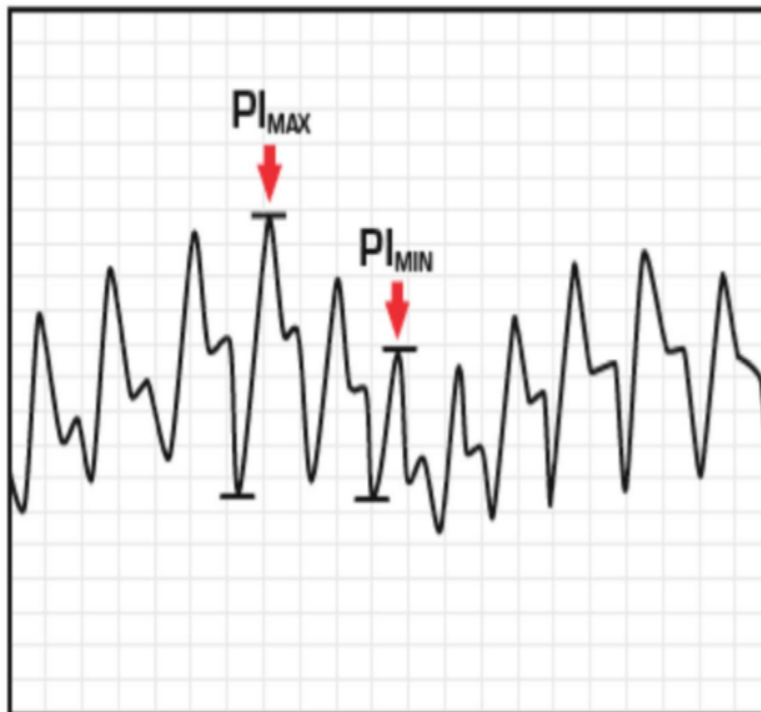
$$PI = \frac{AC}{DC} \times 100 \%$$

Le PI est donc une mesure non invasive de l'état de perfusion périphérique au site de surveillance.

L'index de Variabilité de la Pleth - PVI

L'Index de Variabilité de la Pleth (PVI) est une mesure dynamique des changements du PI apparaissant durant les cycles respiratoires.

Le calcul est effectué en mesurant les changements du PI sur un intervalle de temps couvrant plusieurs cycles respiratoires complets.



$$PVI = \frac{PI_{Max} - PI_{Min}}{PI_{Max}} \times 100 \%$$

Il est possible de configurer la fenêtre de détermination de la valeur PVI:

- > Courte : 2 – 3 min
 - > Longue : 4 – 5 min
- Valeurs plus longues que les méthodes invasives !

VVE : un index dynamique de réponse au remplissage

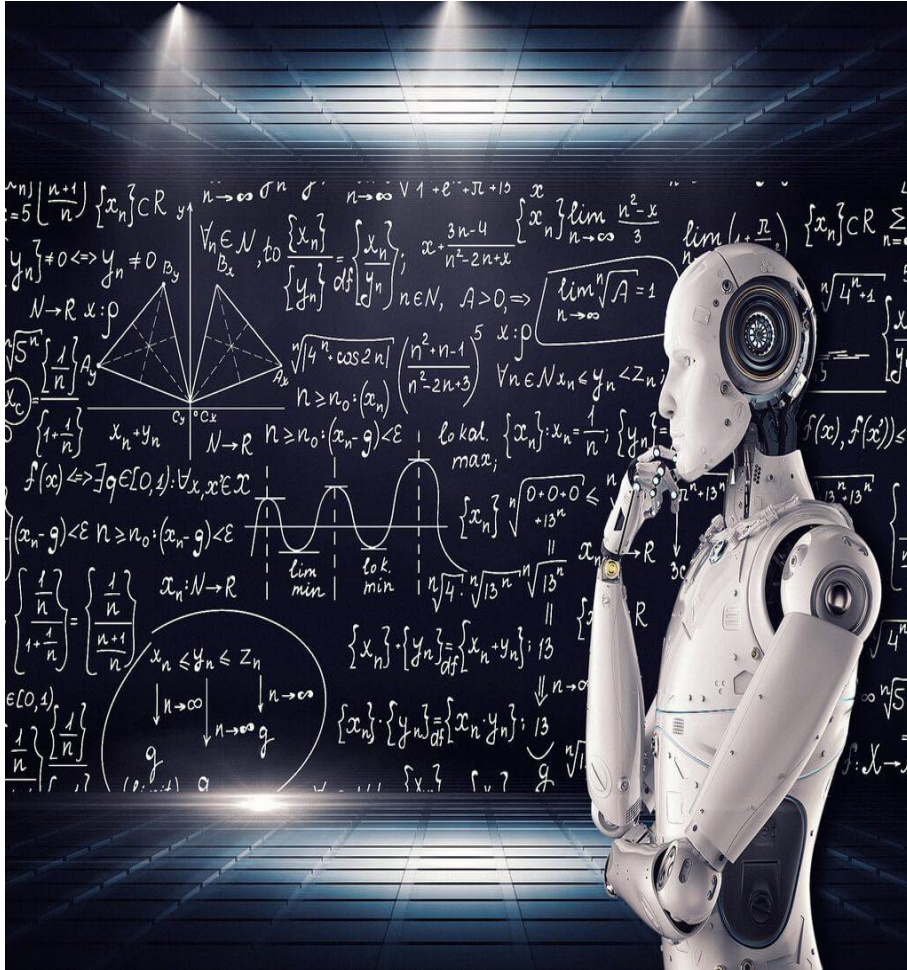
- Mesurer l'effet sur le débit cardiaque du remplissage vasculaire
 - **Si le VVE baisse le patient avait besoin de remplissage**
 - On peut quantifier le remplissage, régler la vitesse d'administration
 - Diminuer le risque de trop remplir si la VVE est corrigée ou si la VVE persiste
 - Trouver une autre cause que l'hypovolémie à la persistance de la VVE



Quelles sont les limites du VVE

Critères	Conditions de validité
Ventilatoires	Absence de ventilation spontanée
	Ventilation contrôlée en pression positive
	Volume courant > 7 ml/kg
	Compliance pulmonaire > 30 ml/cmH ₂ O
Cardiaques	Rythme sinusal
	Rapport FC/FR > 3,6
	Absence de défaillance cardiaque droite
	Absence de défaillance cardiaque gauche
Autres	Absence d'hyperpression intra-abdominale Thorax fermé





Ingénierie
Technologies innovantes

Les outils ...



Mesure directe



Débimètre électromagnétique

Vitesse circulatoire
Ultrasons, Doppler

$$VES = S_{ao} \times ITV$$

Contour de l'onde de la
pression artérielle

$$PP = k \cdot \frac{VES}{C_p}$$

Poiseuille

$$CO = \frac{\Delta P}{R}$$

Débit cardiaque
: VES

Principe de Fick
Thermodilution
Indicateur dilution

$$CO = \frac{VO_2}{C_a - C_v}$$

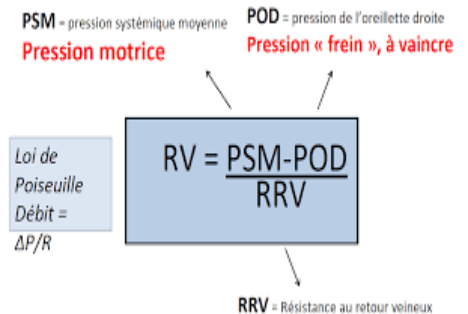
$$CO = \frac{\Delta VCO_2}{S \times ETCO_2}$$

Plethysmographie
Bioimpédance
Bioréactance

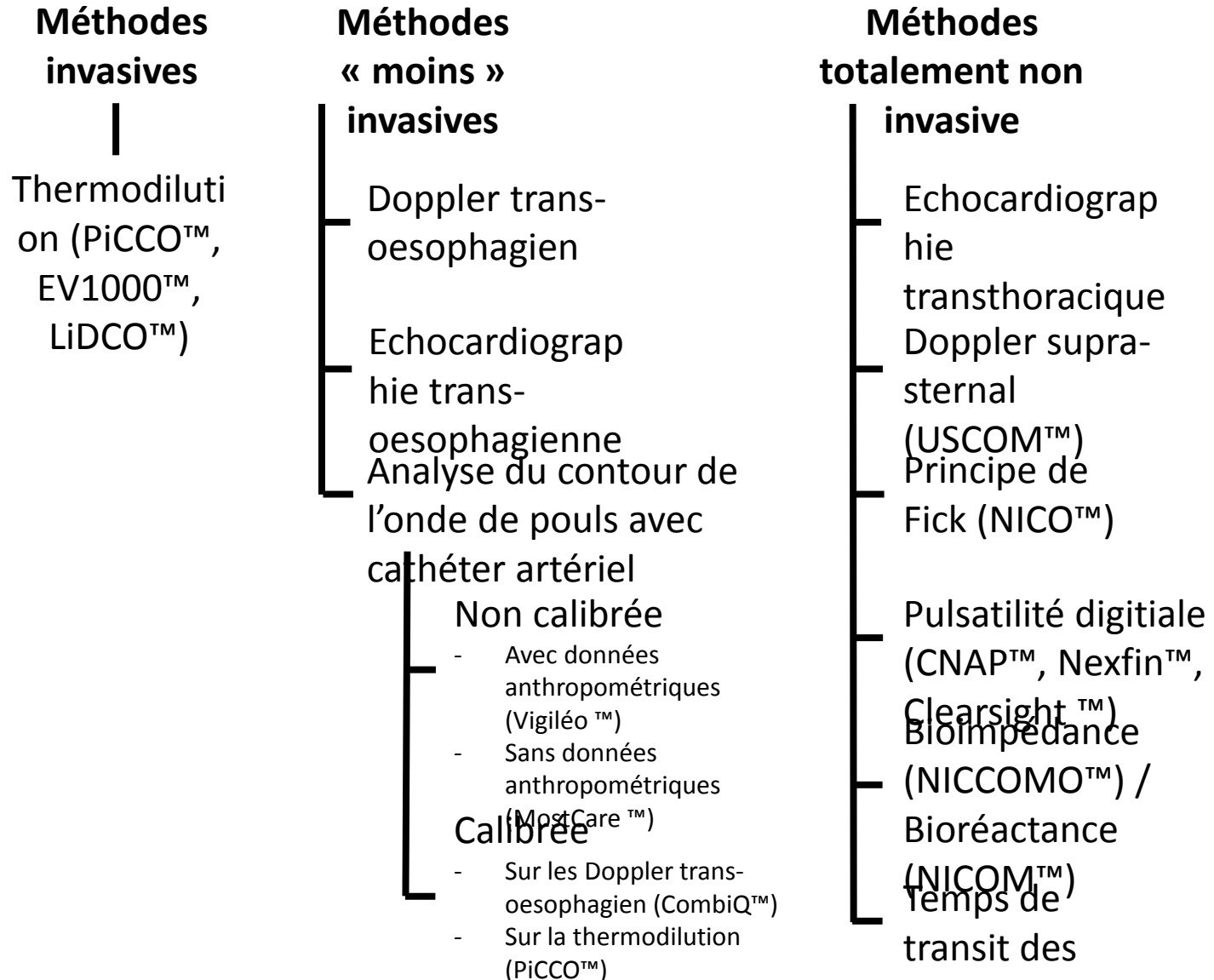
$$I = \frac{U}{Z} \text{ with } Z = p \frac{l}{A} = p \frac{l^2}{V}$$

IRM

Reto
ur
veine
ux

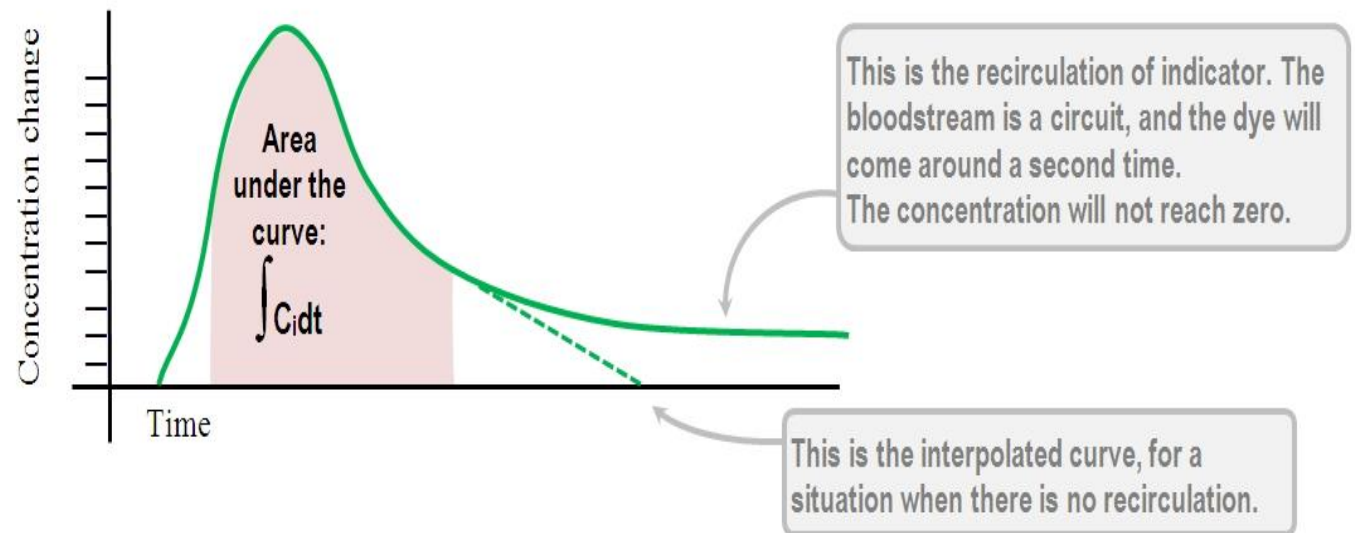


De nombreuses alternatives ...



LES LIMITES...

Toutes les méthodes

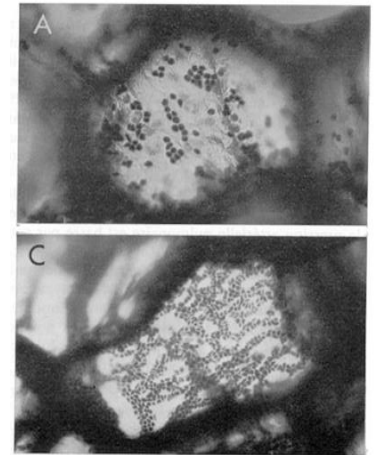


L'optimisation hémodynamique ce n'est pas seulement obtenir des valeurs « normales ou physiologiques »

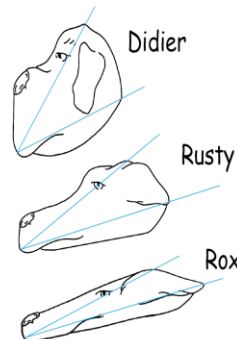
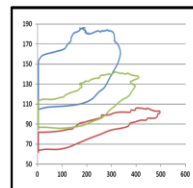
**la microcirculation et la fonction des organes
peuvent être altéré malgré une « hémodynamique
macrocirculatoire normale »**

L'adéquation...

- Clinique, Diurèse, lactate, SpO2 et Index de perfusion, ETCO2, PTCO2....
- Paramètres de microcirculation,
- Paramètres d'oxygénation NIRS
- Paramètres de fonction QEEG/BIS
- Paramètres de couplage ventriculo-artériel
- Pas de complication...



TOSCA 500 (Radiometer SA)



Norepinephrine reduces arterial compliance less than phenylephrine when treating general anesthesia-induced arterial hypotension

F. Vallée^{1,2,3,4,5} , O. Passouant^{1,2,3,6}, A. Le Gall^{1,2,3,4,5}, J. Joachim^{1,2,3,4,5}, J. Mateo^{1,2,3}, A. Mebazaa^{1,2,3} and E. Gayat^{1,2,3}

¹Département d'Anesthésie – Réanimation – SMUR, Assistance Publique – Hôpitaux de Paris, Hôpitaux Universitaires Saint Louis – Lariboisière, Paris, France

²Université Paris Diderot, Paris, France

³UMR-S 942, INSERM, Assistance Publique – Hôpitaux de Paris, Hôpitaux Universitaires Saint Louis – Lariboisière, Paris, France

⁴LMS, Ecole Polytechnique, CNRS, Université Paris-Saclay, Palaiseau, France

⁵M3DISIM, Inria, Université Paris-Saclay, Palaiseau, France

⁶Réanimation Polyvalente, CHU REIMS, Hôpital Robert Debré, Reims, France

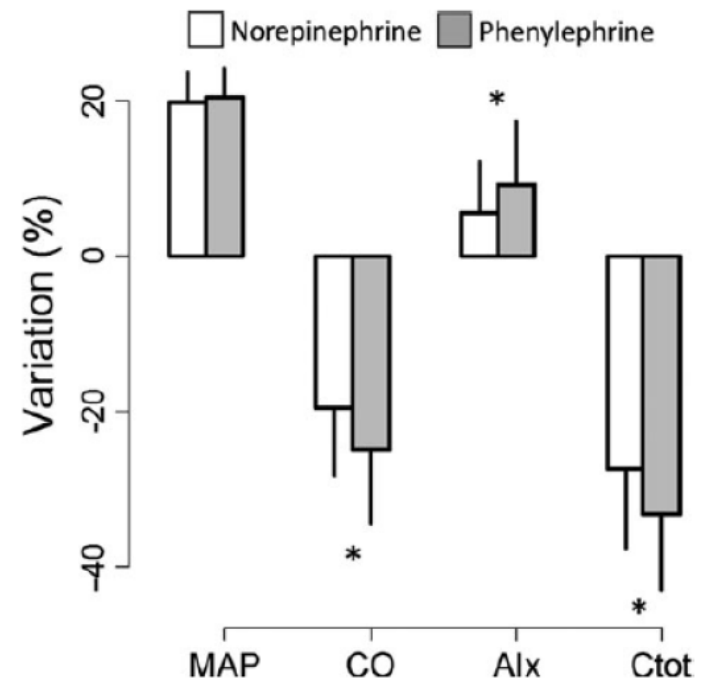
Acta Anaesthesiologica
Scandinavica



AN INTERNATIONAL JOURNAL OF ANAESTHESIOLOGY AND INTENSIVE CARE, PAIN AND EMERGENCY MEDICINE

Pourquoi mesurer le débit
cardiaque ?

Limiter l'augmentation de post-charge

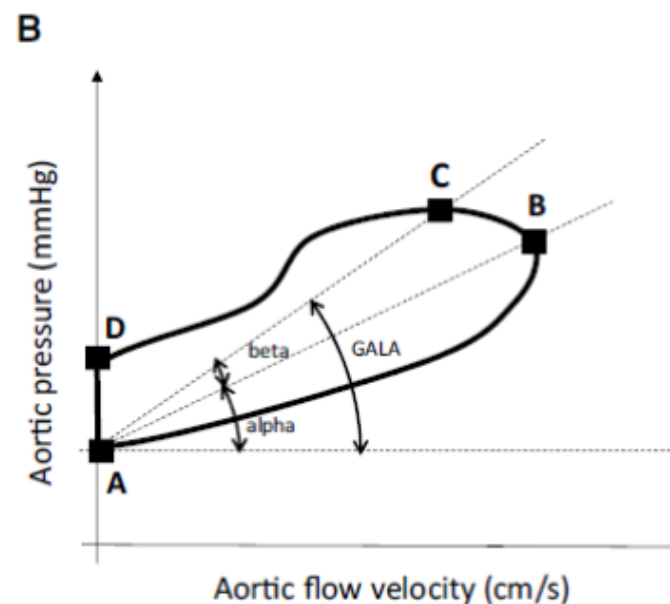
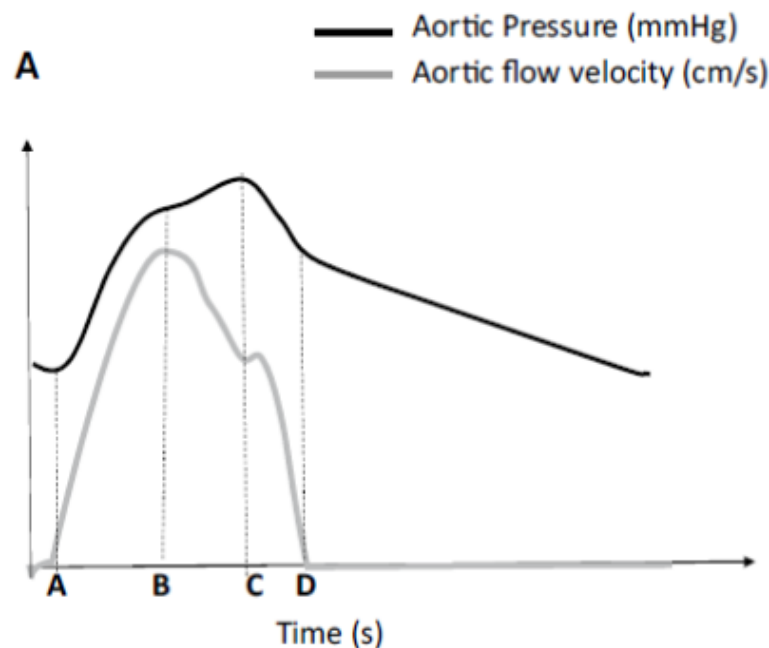


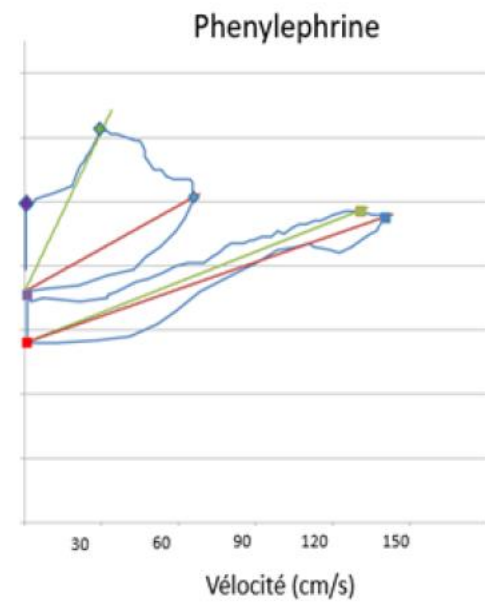
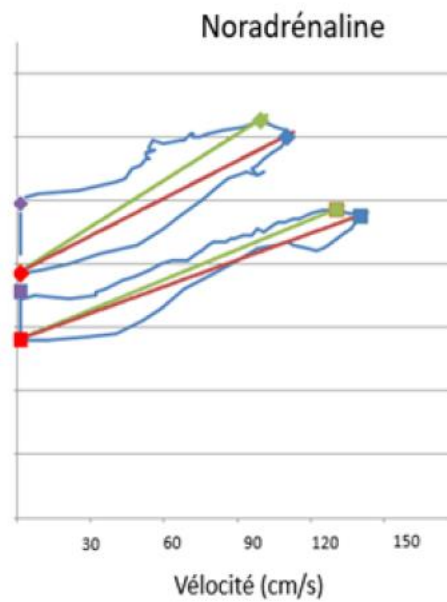
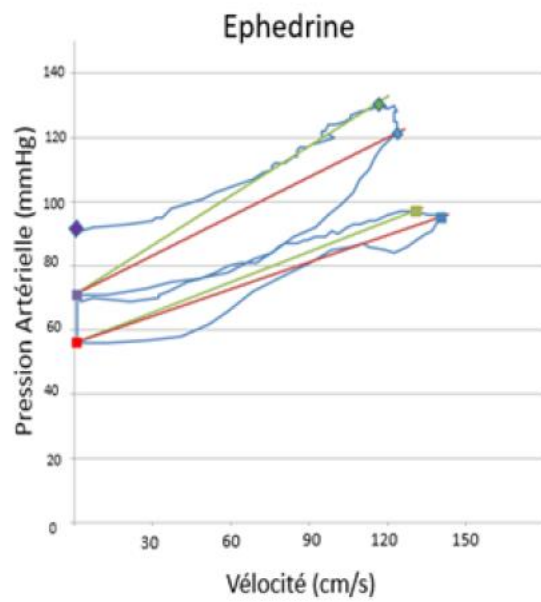


Beat-by-beat assessment of cardiac afterload using descending aortic velocity–pressure loop during general anesthesia: a pilot study

Fabrice Vallée^{1,2,3,4} · Arthur Le Gall^{1,2,3,7} · Jona Joachim^{1,2,3,7} · Olivier Passouant^{1,2,3} · Joaquim Matéo^{1,3} · Arnaud Mari⁵ · Sandrine Millasseau⁶ · Alexandre Mebazaa^{1,2,3} · Etienne Gayat^{1,2,3}

A : Telediastole, Débit Aortique = 0
B : Débit aortique maximal
C : Pression artérielle maximale
D : Télésystole, Débit aortique = 0



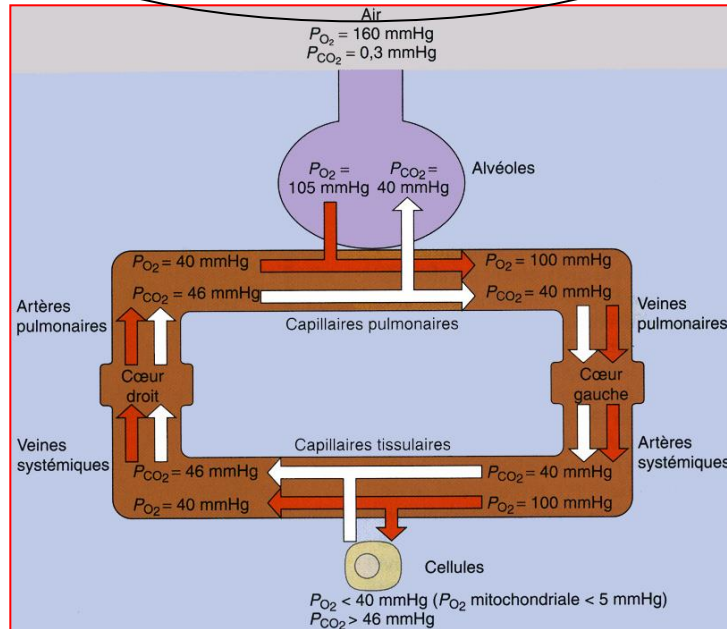




Brevet APHP

Les gradients de pression partielle en

ETCO2 = 37 mmHg



PtCO2 = 46 mmHg

PaCO2 = 40 mmHg

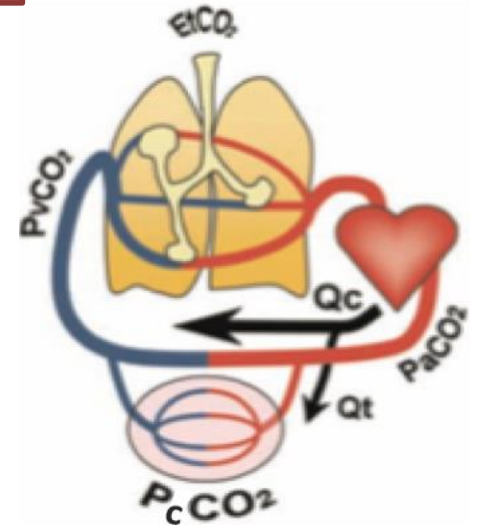
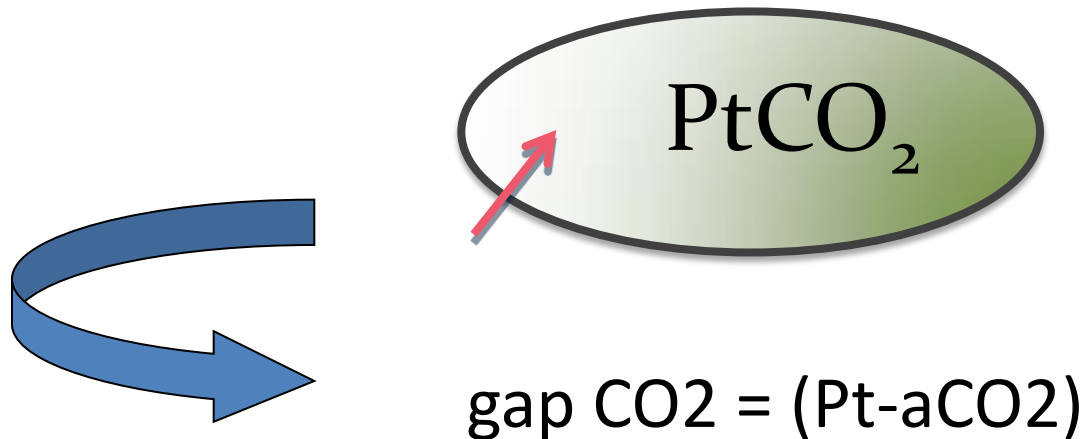
$PtCO_2 - PaCO_2 = 4$ mmHg
 $PtCO_2 - ETCO_2 = 9$ mmHg



TOSCA 500 (Radiometer SA)

PtCO₂ transcutané

Augmentation du gradient



= baisse de la perfusion tissulaire



TOSCA 500 (Radiometer SA)



Tugetkin & al, Intensive Care Med (2001); 27: 757-766

Dubin & al, Critical Care (2002); 6: 514-520

Nevière & al, Crit Care Med (2002); 30: 379-384

Dubin & al, J Trauma (2004); 57: 1211-1217

Pellis, Weil & al, J Trauma (2005); 58: 817-824

Vallée & al, Chest (2010); 138(5): 1062-1070

Brevet APHP

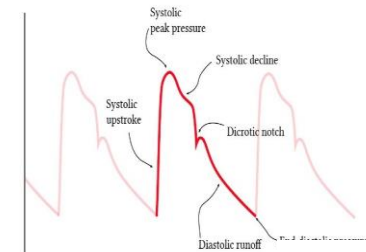
Le PlethoM, Non invasif



Brassard à tension



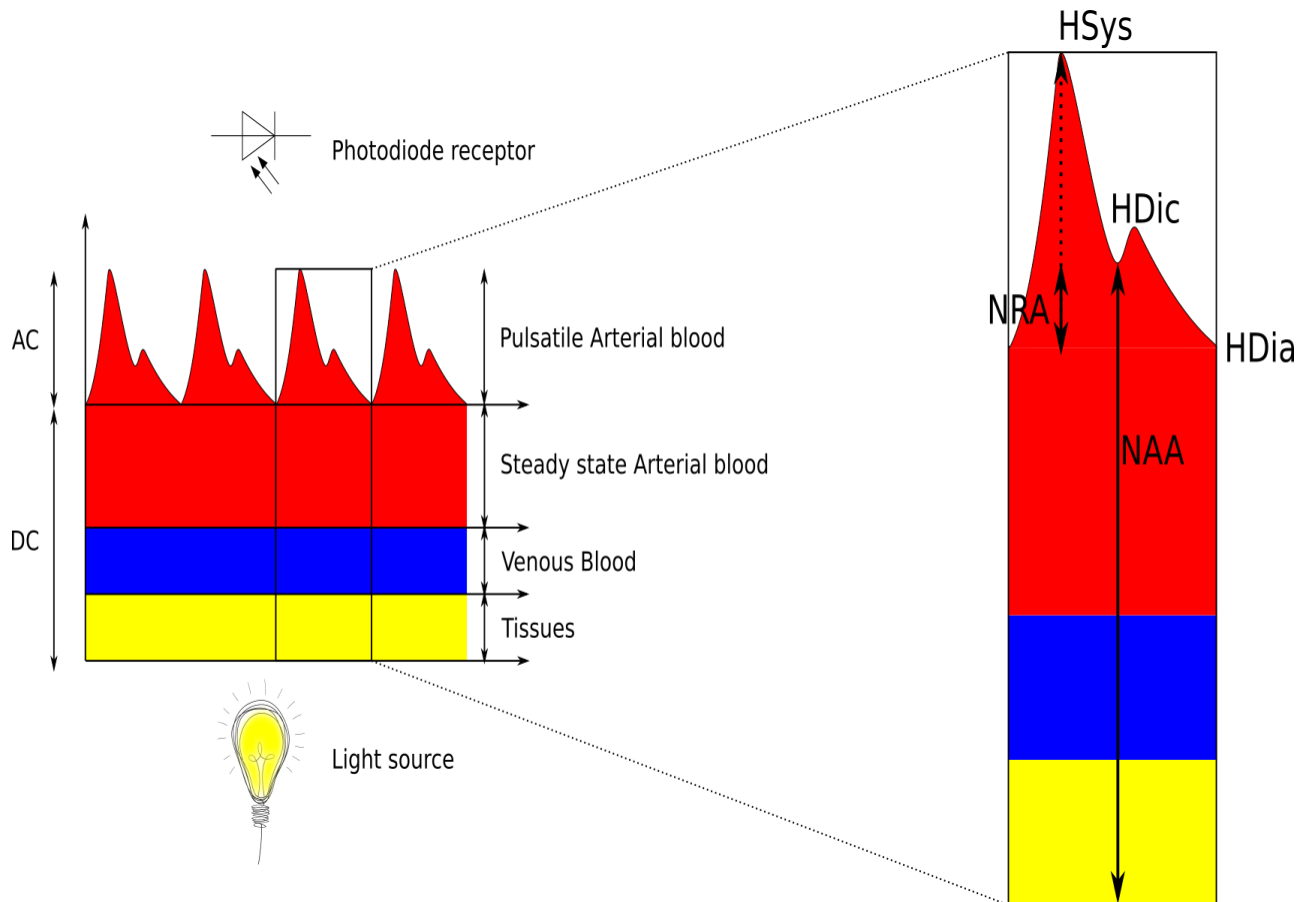
SpO₂
PPG / PI



Estimation continue de la pression art

Brevet APHP

Points d'intérêt de la courbe de PPG



Algorithmes de prédiction de la PAM

Algorithme 1 (PlethoMAP₁)

$$PAM_{est} = k \cdot \frac{P_{dic} - P_{dic}}{P_{sys} - P_{dic}}$$

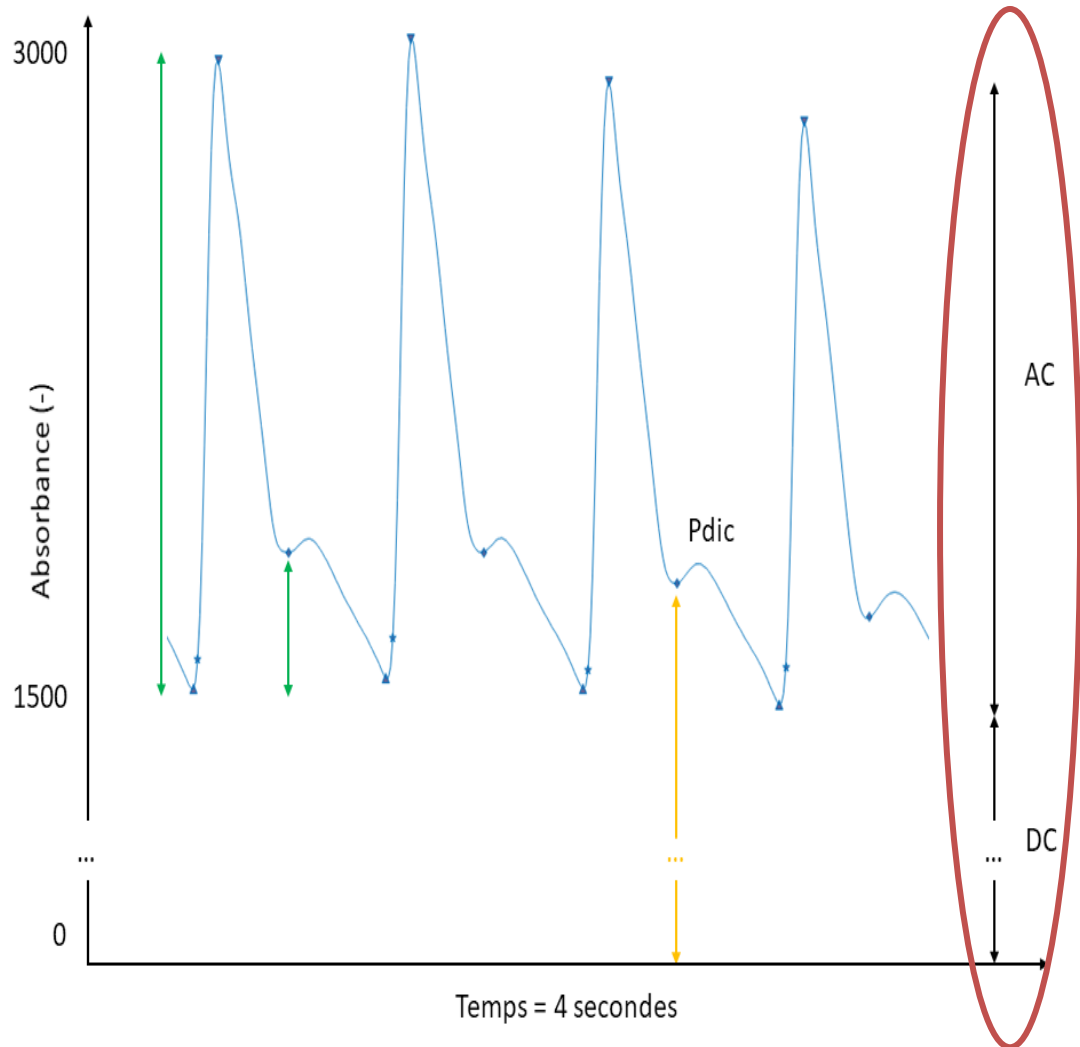
Algorithme 2 (PlethoMAP₂)

$$PAM_{est} = k \cdot P_{dic}$$

Algorithme 3 (PlethoMAP_{PI})

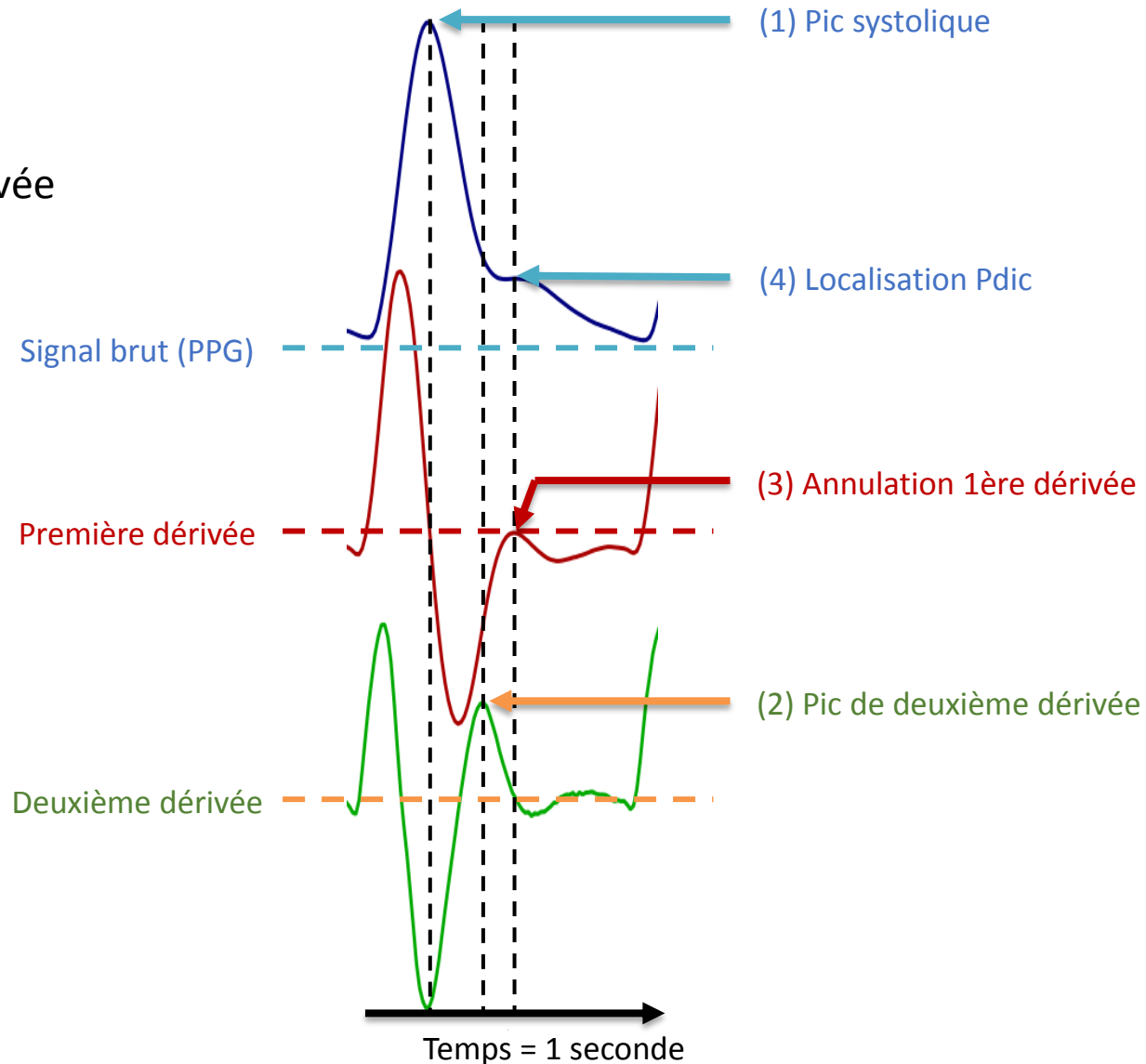
$$PAM_{est} = k \cdot mPI$$

$$mPI = 10 \cdot \ln\left(\frac{1}{PI} + 1\right)$$

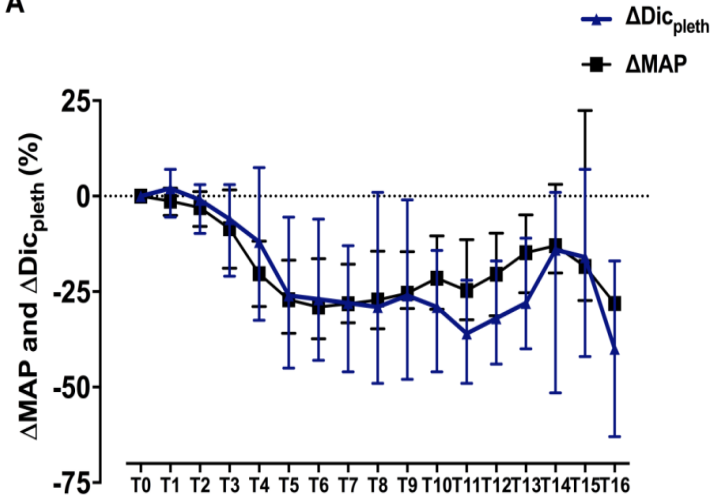


Détection de l'onde dicrote

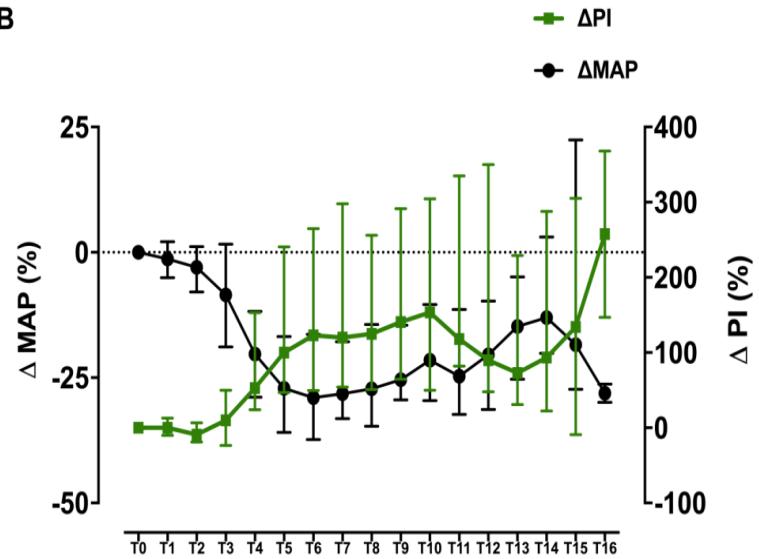
Algorithme 1:
Deuxième dérivée



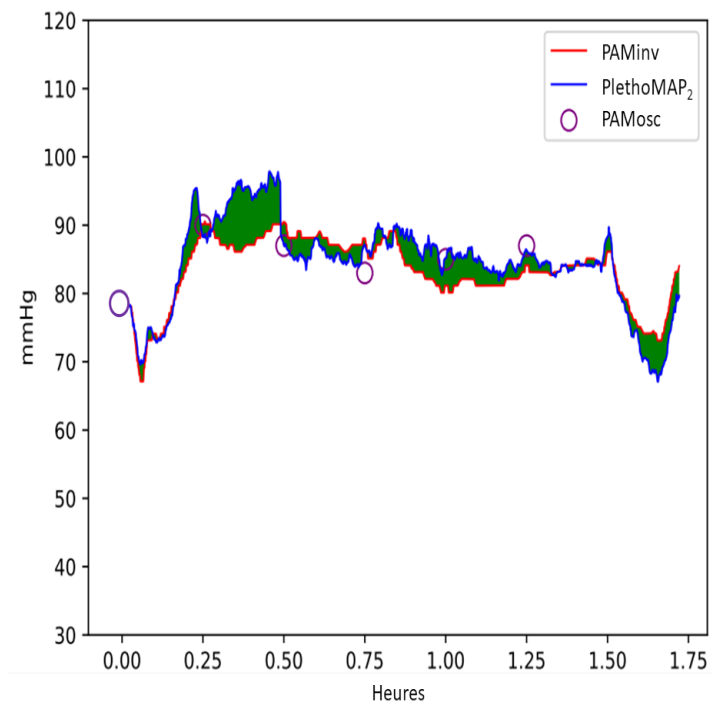
A



B



Résultats



MAE
(mmHg)

PlethoMAP_N 9 [7 – 18]

RA

PlethoMAP_N 6 [5 – 9]

AA

Définir des objectifs individuels
Le patient est sa propre référence

Permet d'évaluer l'effet des thérapeutiques et leur ajustements.



Monitoring NON INVASIF

Couplage métabolique : fonction/oxygénation

Les paramètres doivent être combinées et intégrées .
(redondance de l'information)

Ergonomie

Visuel agréable

Pas trop de pollution sonore

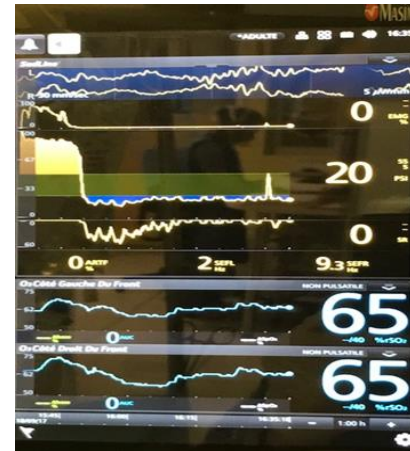
De l'alerte plutôt que de l'alarme

QEE

G

NIRS

NIBP



Noradrénaline

QEEG

PSI

BSR

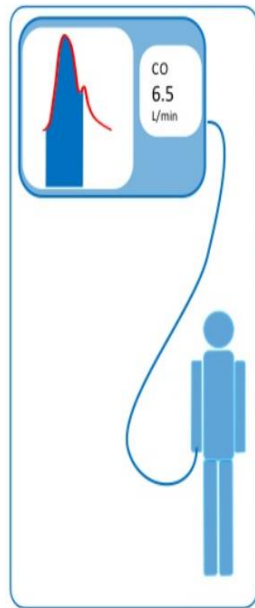
ScO2 droite

ScO2 gauche

Pression artérielle

Uncalibrated pulse contour analysis

How does it work?



- 1 Stroke volume is proportional to the amplitude of the aortic pressure
- 2 Their relationship is influenced by vascular compliance and **resistance**
- 3 Aortic and peripheral pressures are related through the pulse wave amplification phenomenon
- 4 Pulse wave amplification depends upon vascular **resistance**

Uncalibrated pulse contour analysis is not reliable if vascular resistance changes a lot

Peri-op monitoring

Which patients ?

Surgical patients **at high-risk**

Which devices ?

No change in vascular resistance



Major change in vascular resistance

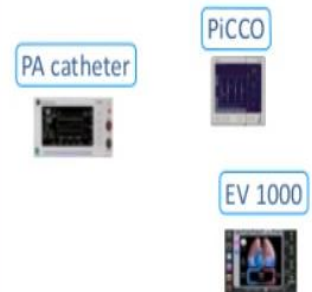


ICU monitoring

Which patients ?

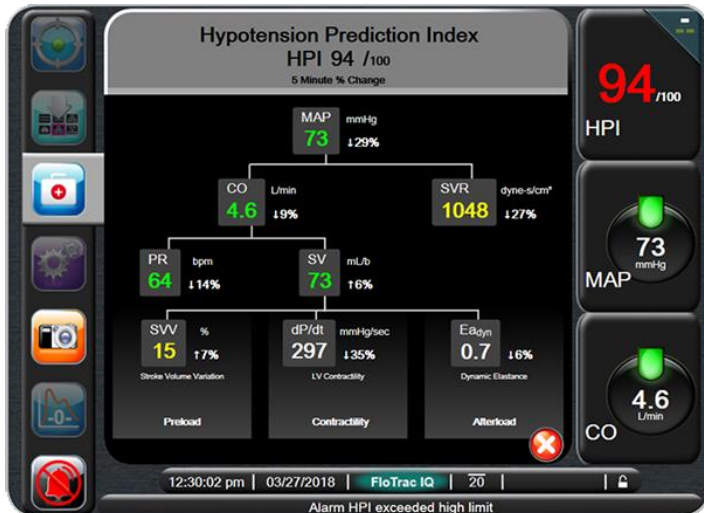
Patients who receive vasopressors

Which devices ?



Les outils

- Innovations technologiques
- Non invasif- fiable - continu
- Numérisation
- Combinaison de pression et débit
- Intelligence artificielle



Choisir le bon outil

Noninvasive Hemodynamic Monitoring

No High-heels on the Farm; No Clogs to the Opera



“... choosing the most appropriate hemodynamic monitor is context dependent (‘no high-heels on the farm; no clogs to the opera’).”

