



# INDICES DE FONCTION SYSTOLIQUE ET DIASTOLIQUE DU VENTRICULE GAUCHE

**Daniel De Backer**  
**Department of Intensive Care**  
**Erasme University Hospital**  
**Brussels, Belgium**

# Indices de fonction systolique et diastolique du VG

L'évaluation de la fonction cardiaque passe par l'évaluation de la fonction systolique et diastolique du ventricule gauche.

Bien qu'il soit important de tenter de mesurer les indices de fonction VG, ces indices ne sont qu'une facette de l'évaluation hémodynamique et doivent toujours être évalués en fonction des autres variables ainsi que des thérapeutiques utilisées.

# RAPPEL 1

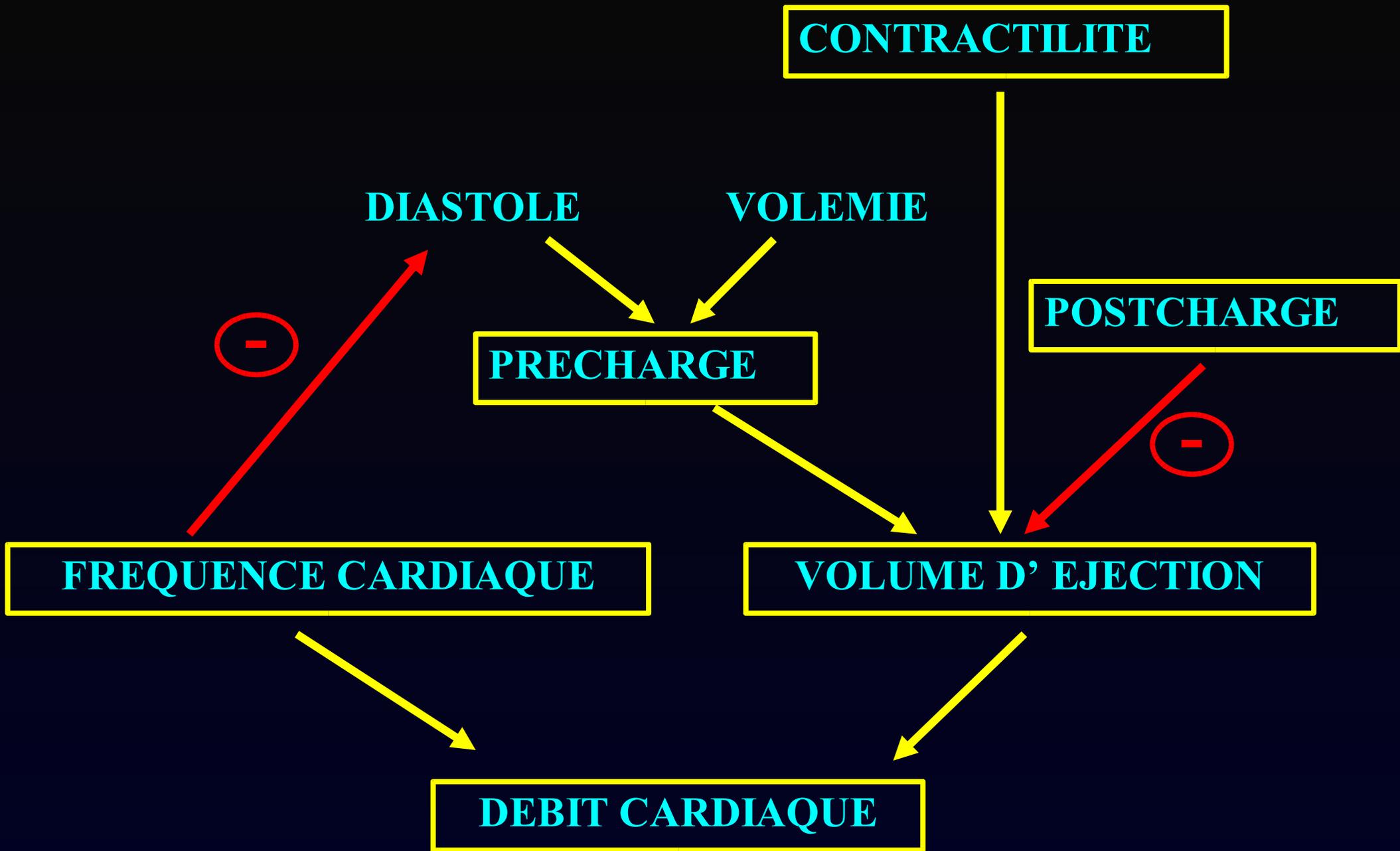
Fonction cardiaque

$\neq$

Débit cardiaque

$\neq$

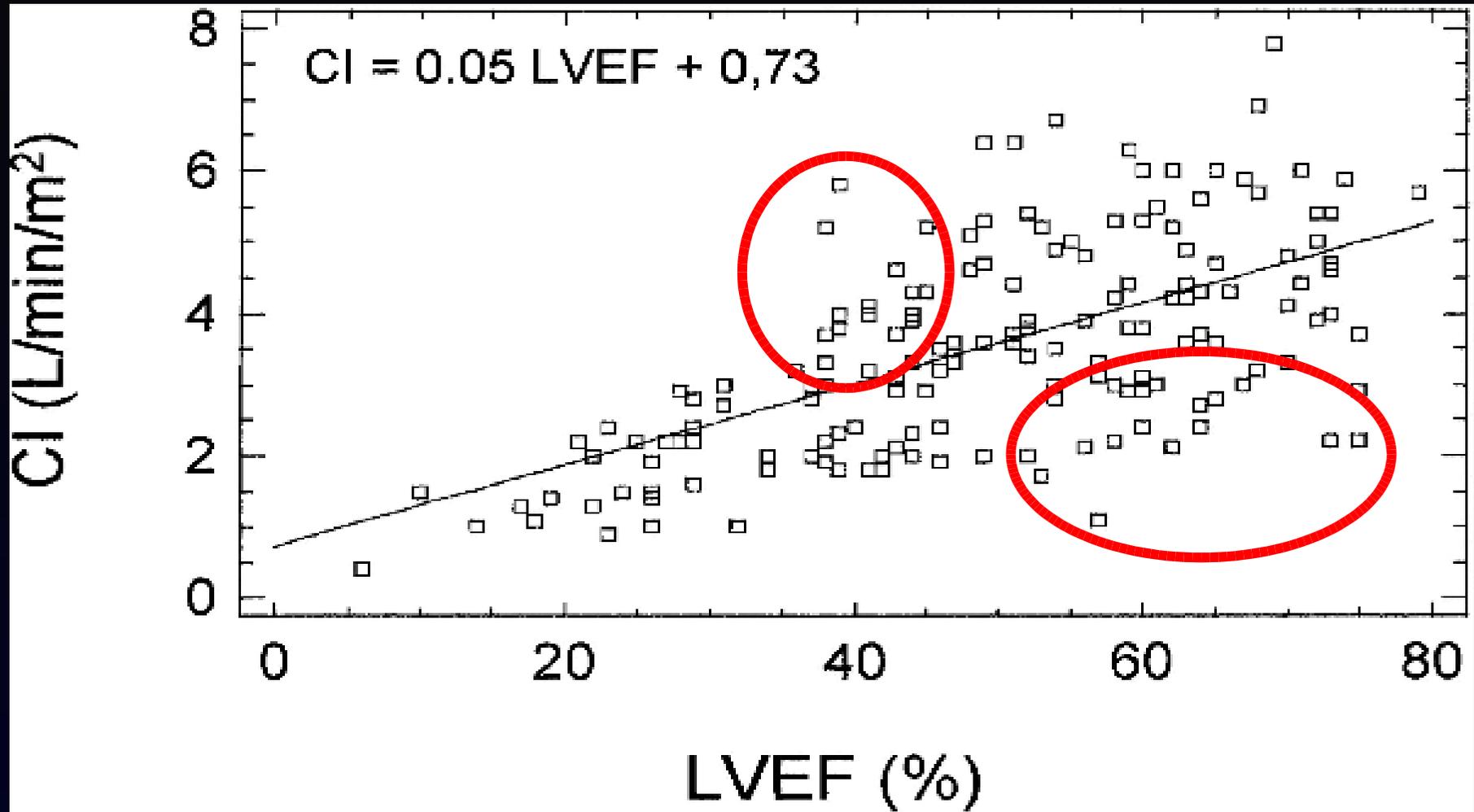
Volume éjectionnel



## RAPPEL 2

**La fonction systolique peut donc être altérée tout ayant une hémodynamique préservée (cardiopathie dilatée sans insuffisance cardiaque / dépression myocardique du sepsis).**

**Le débit cardiaque peut être abaissé ou inadéquat en présence d'une fonction systolique préservée (hypovolémie, postcharge élevée).**



**=> Se contenter de mesurer la FEVG ou le débit induisent en erreur**

# **Indices de fonction systolique du VG**

# Indices de fonction systolique et diastolique du VG

**Fonction systolique  
~ contractilité (+/- efficacité)**

Différents indices échocardiographiques sont utilisés en pratique pour tenter d'estimer la contractilité.

Cette foison d'indices reflète l'incertitude sur ce que l'on mesure réellement (et sur les facteurs influençant l'indice) et sur les méthodes employées (et les sources d'erreur).

# Indices de fonction systolique et diastolique du VG

**Fonction systolique  
~ contractilité (+/- efficacité)**

Différents indices échocardiographiques sont utilisés en pratique pour tenter d'estimer la contractilité.

Le choix de l'indice dépendra plus de la qualité technique de l'examen et des conditions spécifiques au patient que des qualités intrinsèques de l'indice.

# **Critères de choix d'un indice de fonction cardiaque**

- **Un seul cycle cardiaque (par facilité)**
- **Reproductibilité inter et intra patients**
- **Sensible aux faibles variations de l'inotropisme**
- **Faible dépendance par rapport aux conditions de charge et de la fréquence cardiaque**

# Paramètres de fonction systolique

- . **Mode imagerie:**

- Fraction d'éjection

- 

- 

- . **Mode Doppler:**

- 

- 

- 

- 

- . **Détection automatique des contours**

-

# FRACTION D' EJECTION

La fraction d'éjection se définit comme le volume éjecté rapportée au volume télédiastolique:

$$EF = VE / VTDTV$$

Ou  $EF = (VTDTV - VTDS) / VTDTV$

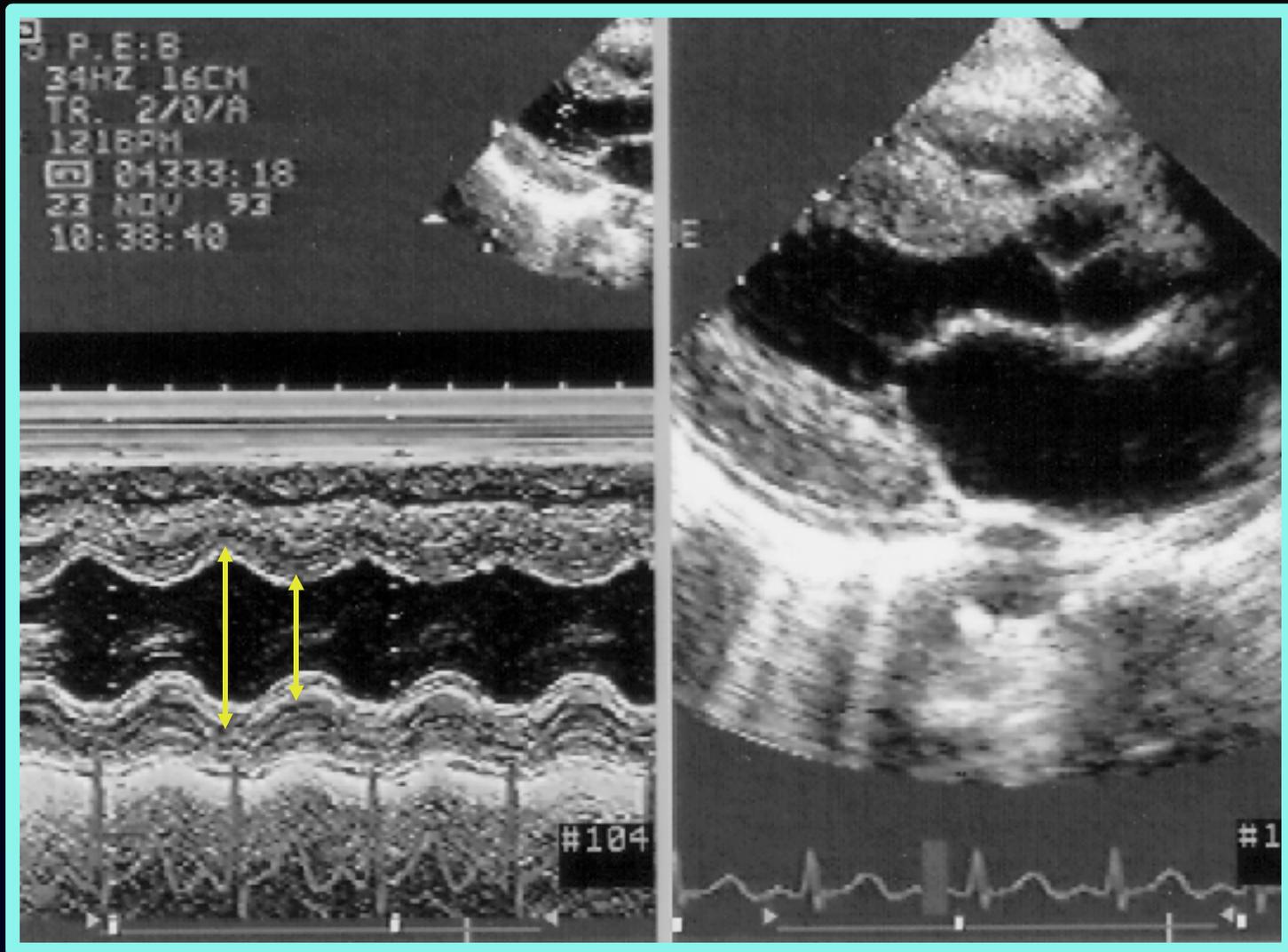
On peut la mesurer comme:

Différence de volume (mais écho 2D)

Différence de surface

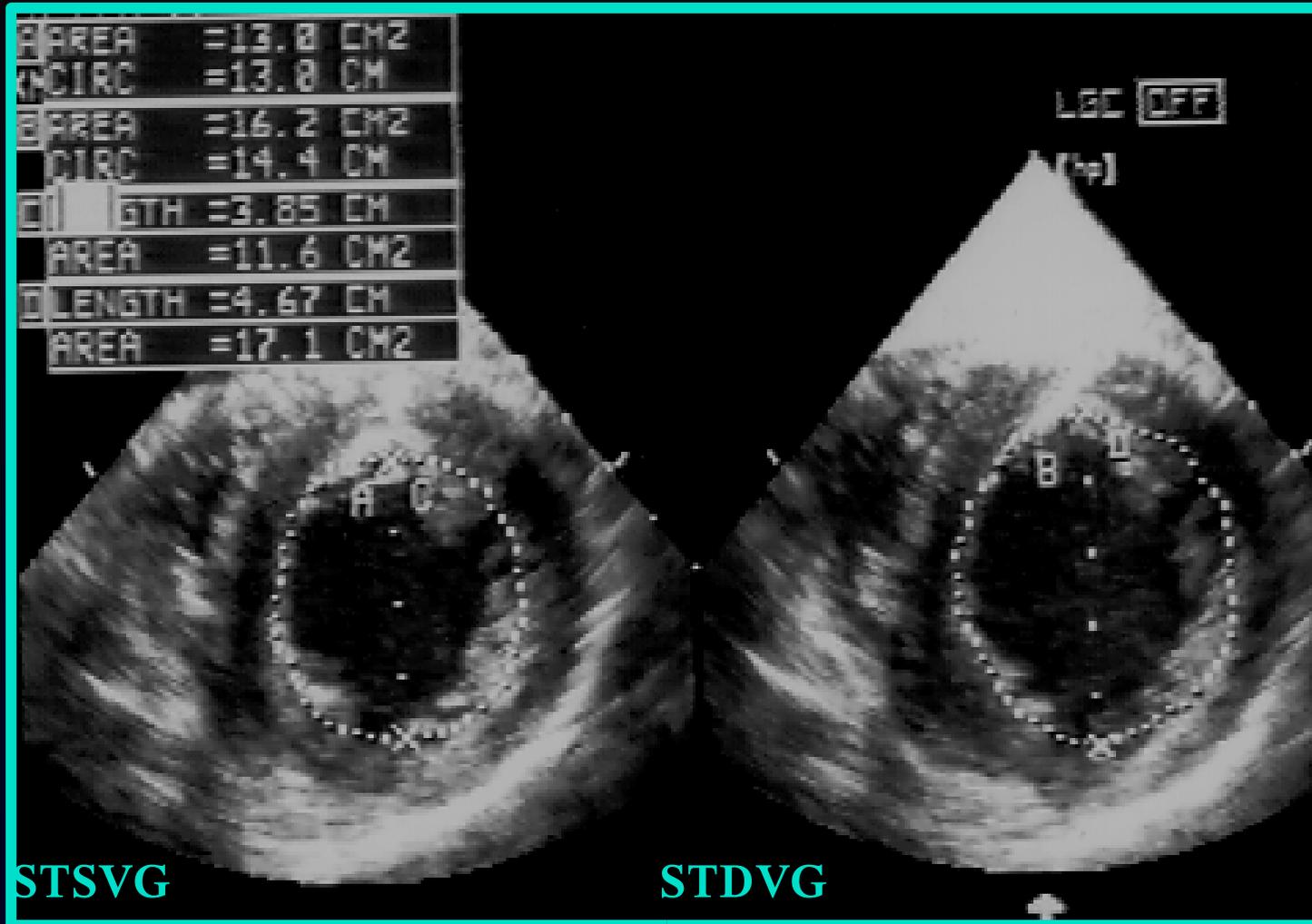
Différence de diamètre (frn de raccourcissement)

# Fraction de raccourcissement



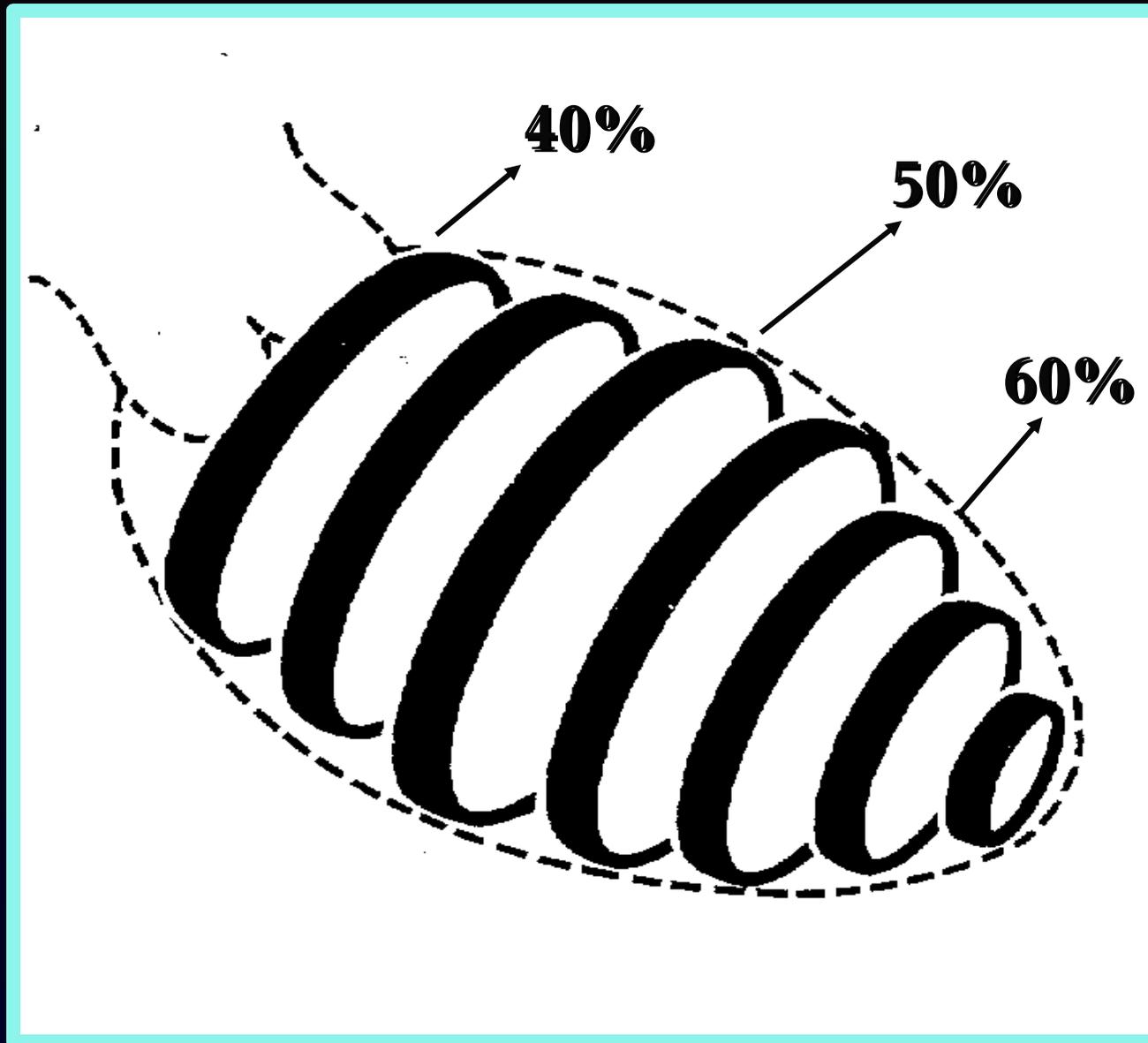
*Nle: 25 - 42 %*

# Fraction de raccourcissement de surfaces



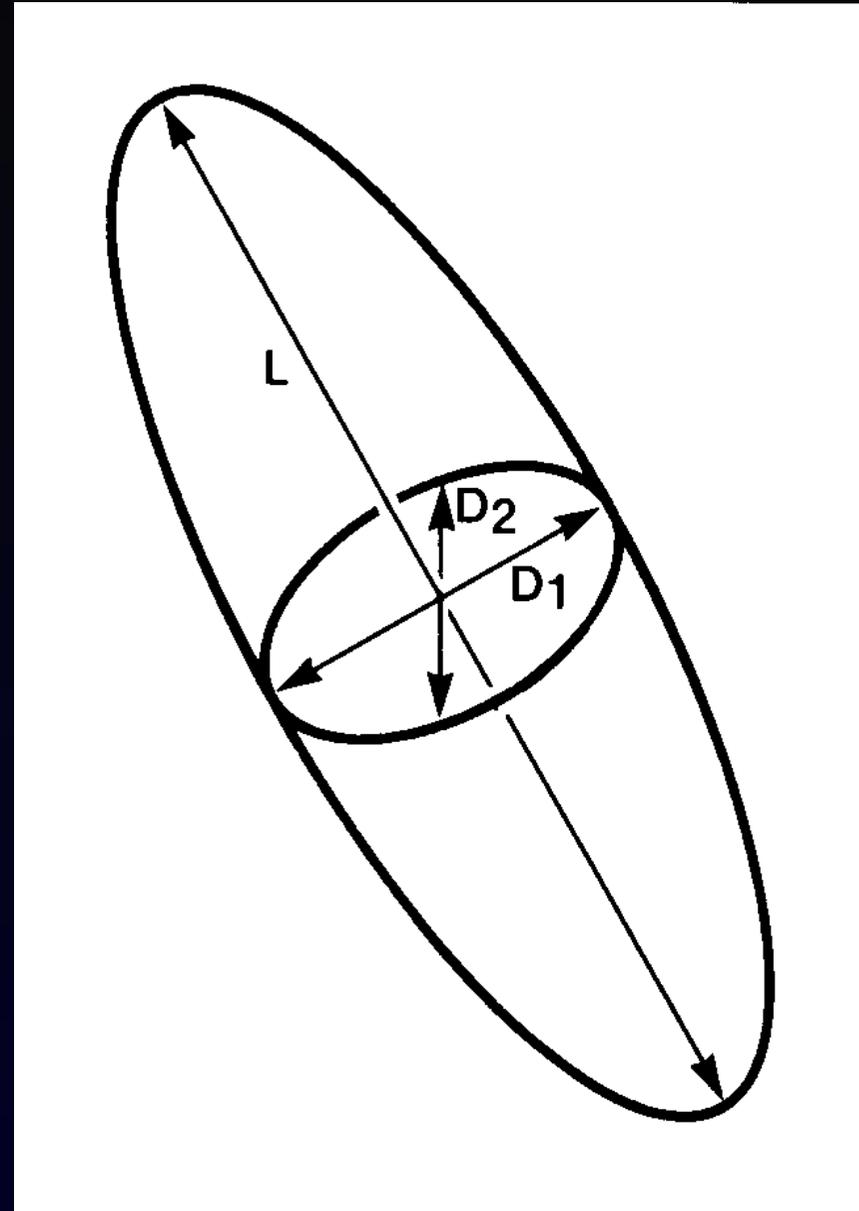
*Nle: 38 - 64 %*

# Fraction de raccourcissement de surfaces



# Mesures des volumes

- Teicholz
- Surface-longueur

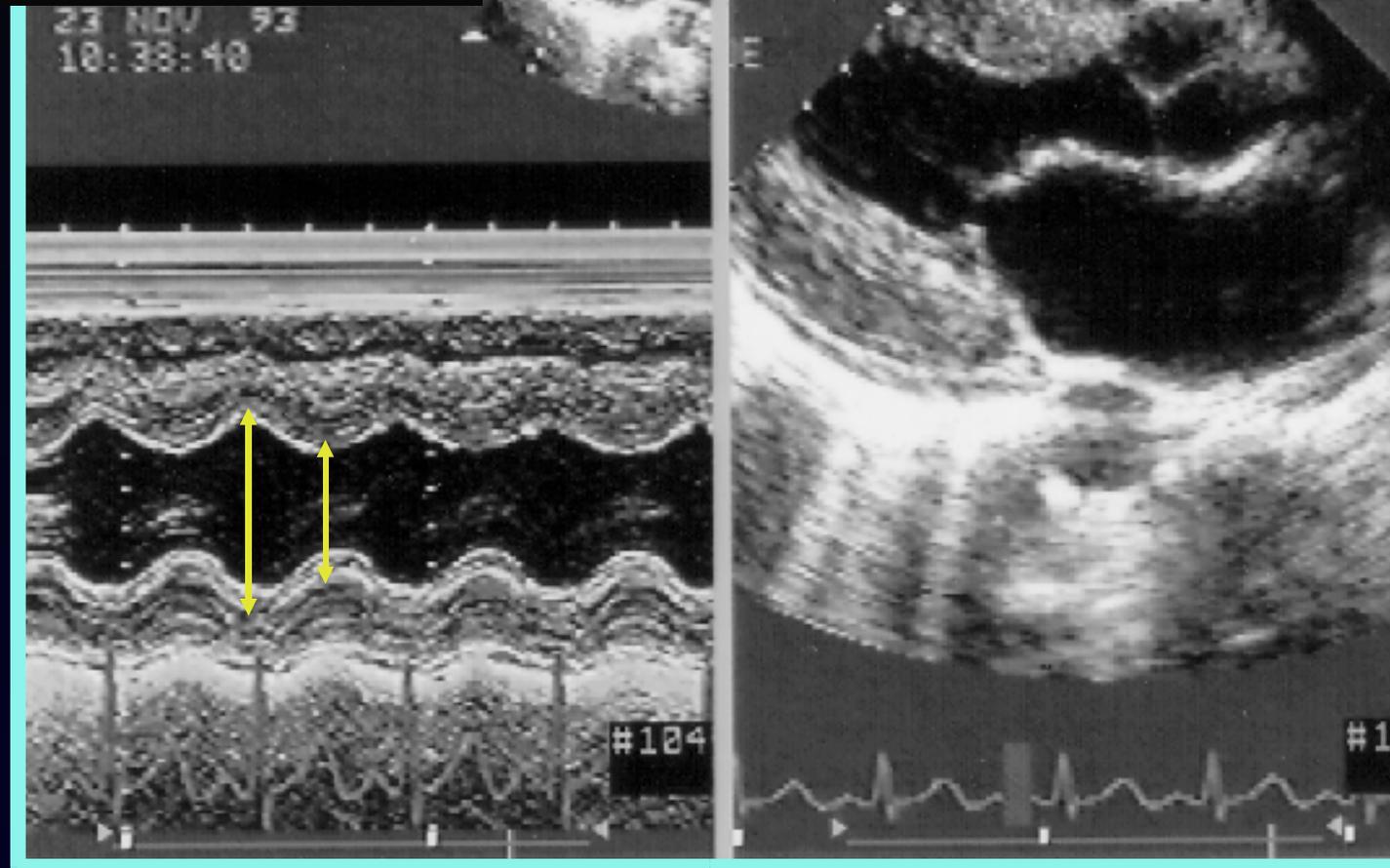


# Mesures des volumes

Teicholz: formule "Historique"

$$V = 7 D^3 / (2.4 + D)$$

D = diamètre Vg (PGA en TM)

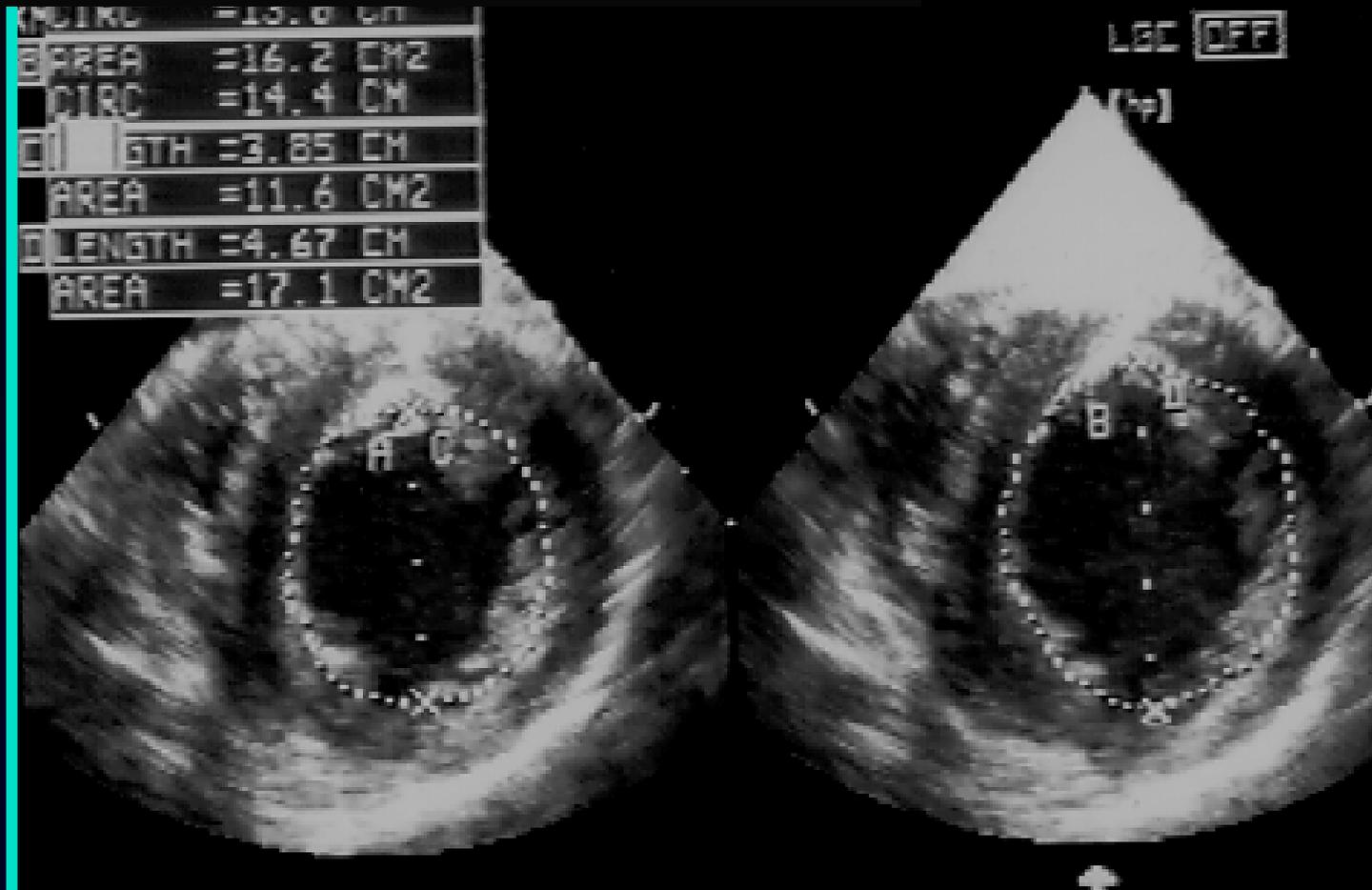


# Mesures des volumes

Surface longueur: (postulat coeur = ellipse)

$$V = (5 A L)/6$$

A = surface (planimétrie PA)



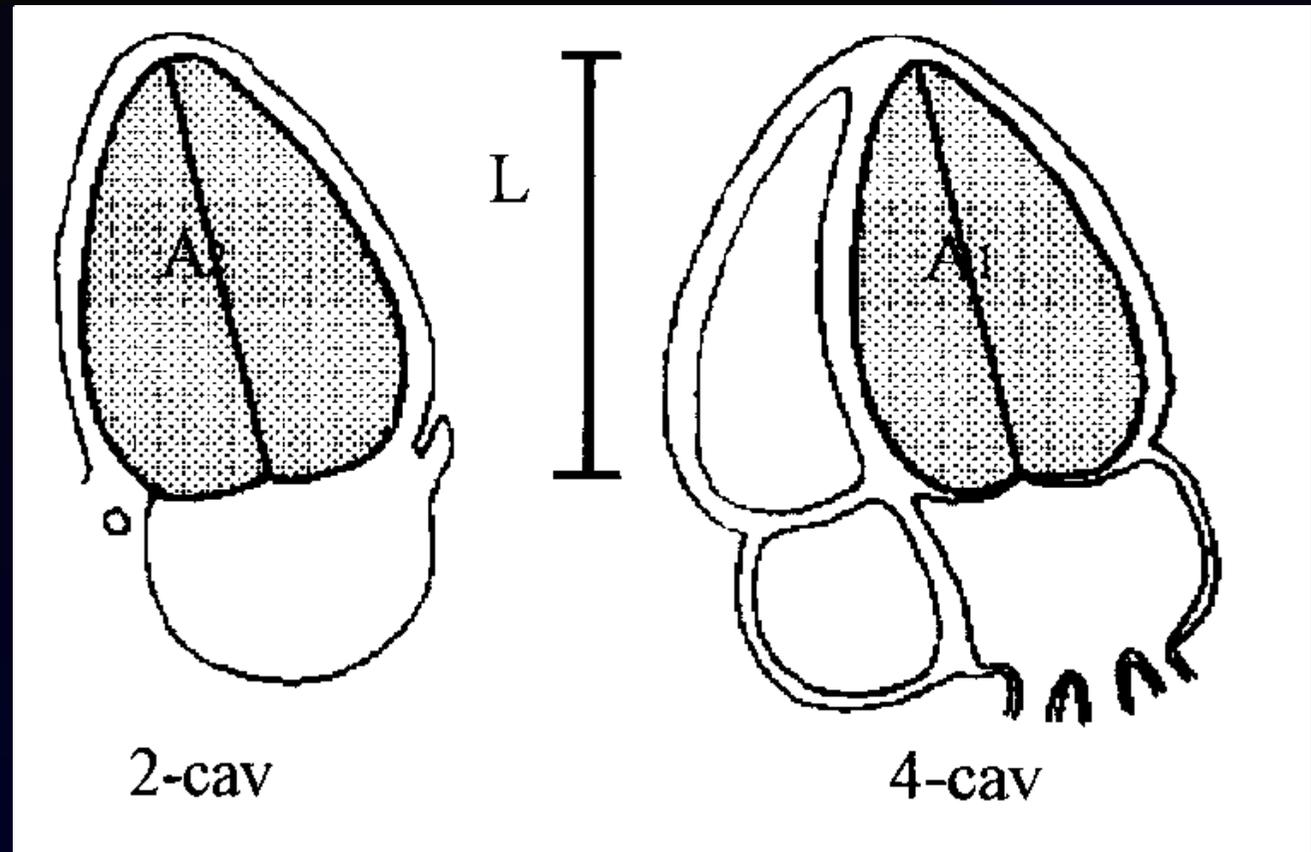
# Mesures des volumes

Surface longueur: (postulat coeur = ellipse)

$$V = (5 A L)/6$$

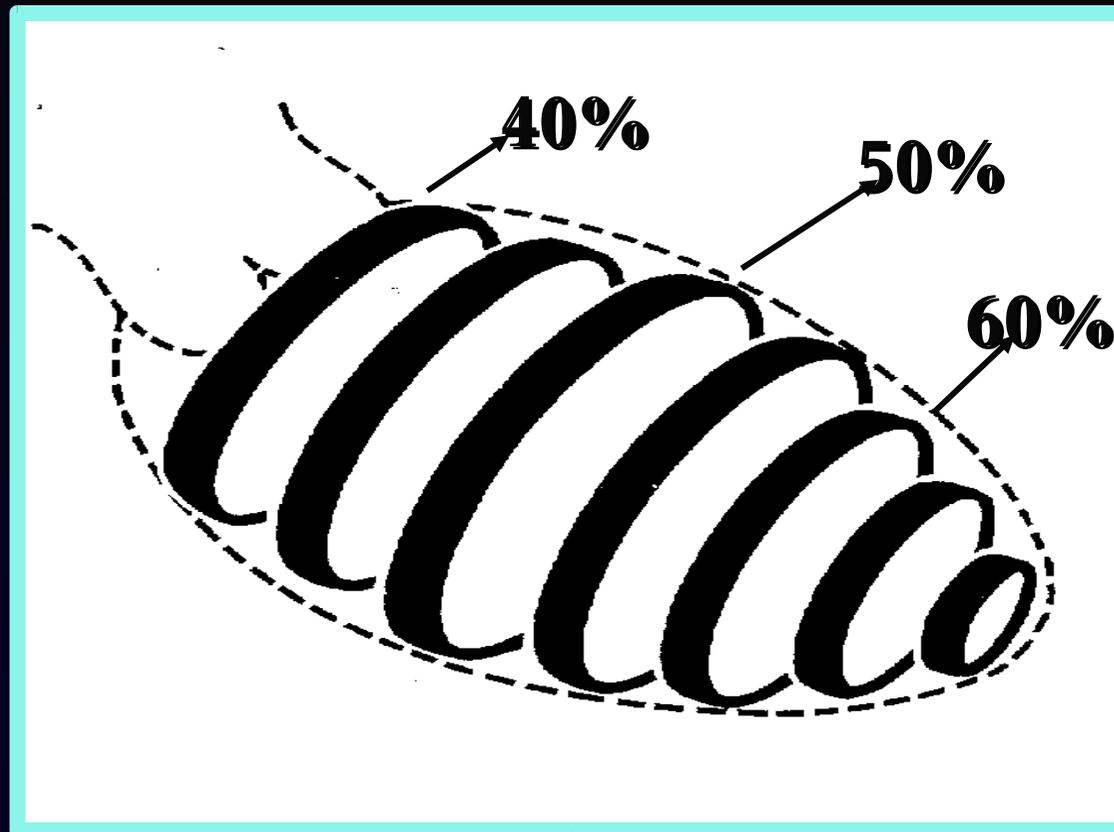
A = surface (planimétrie PA)

L = longueur A4C



# Mesures des volumes

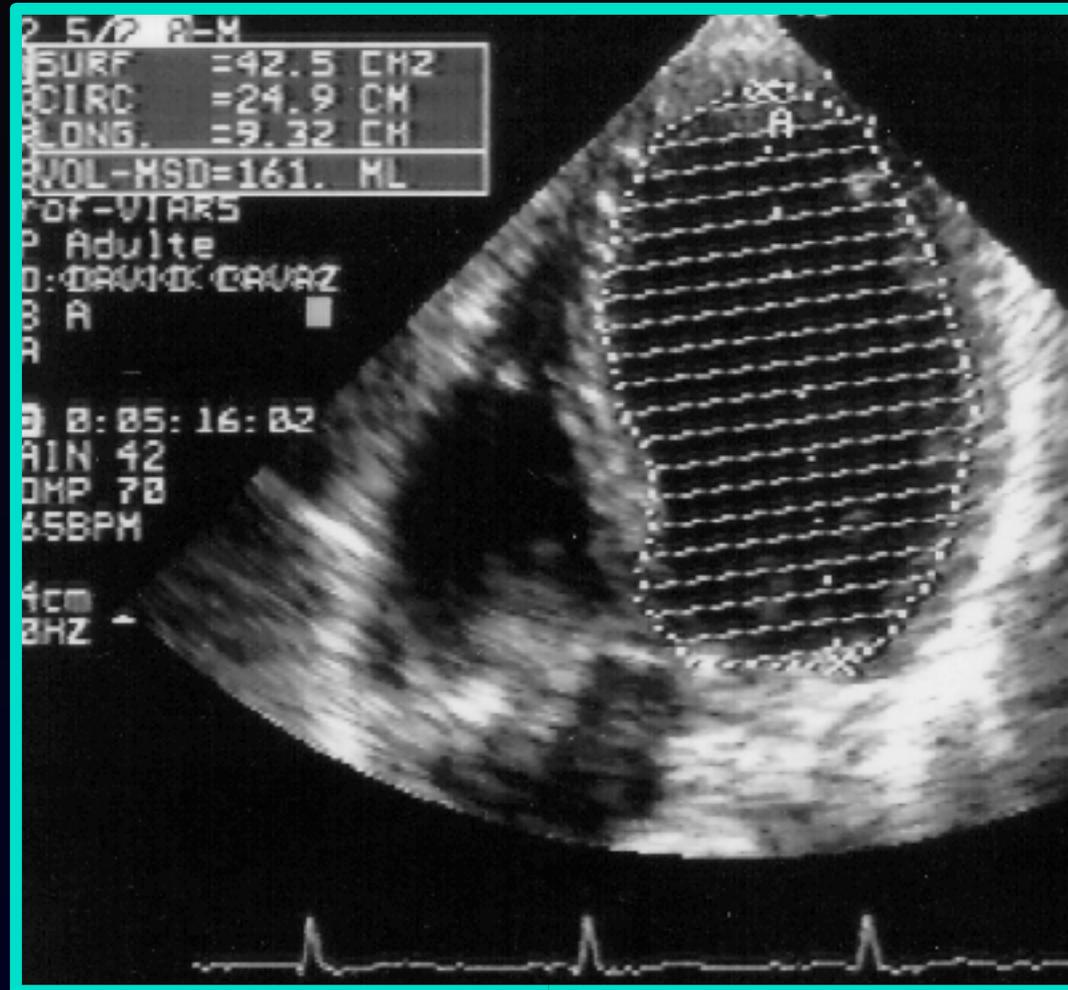
- Teicholz
- Surface-longueur
- Disques (Simpson)



# Fraction d'éjection (volumes)

*Nle: 55 - 75 %*

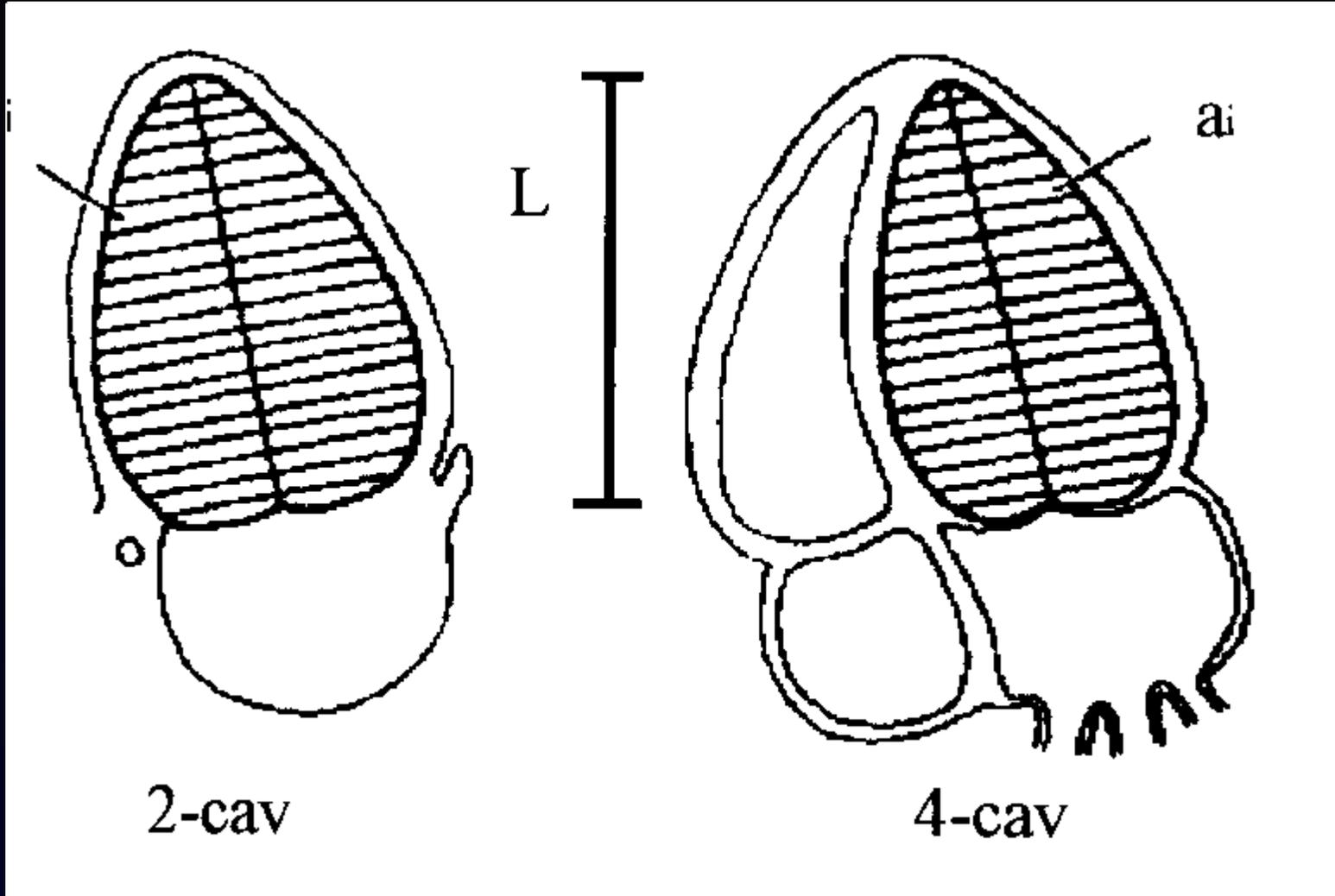
**Simpson**



**Technique la + fiable, malgré ses limitations intrinsèques**

# Fraction d'éjection (volumes)

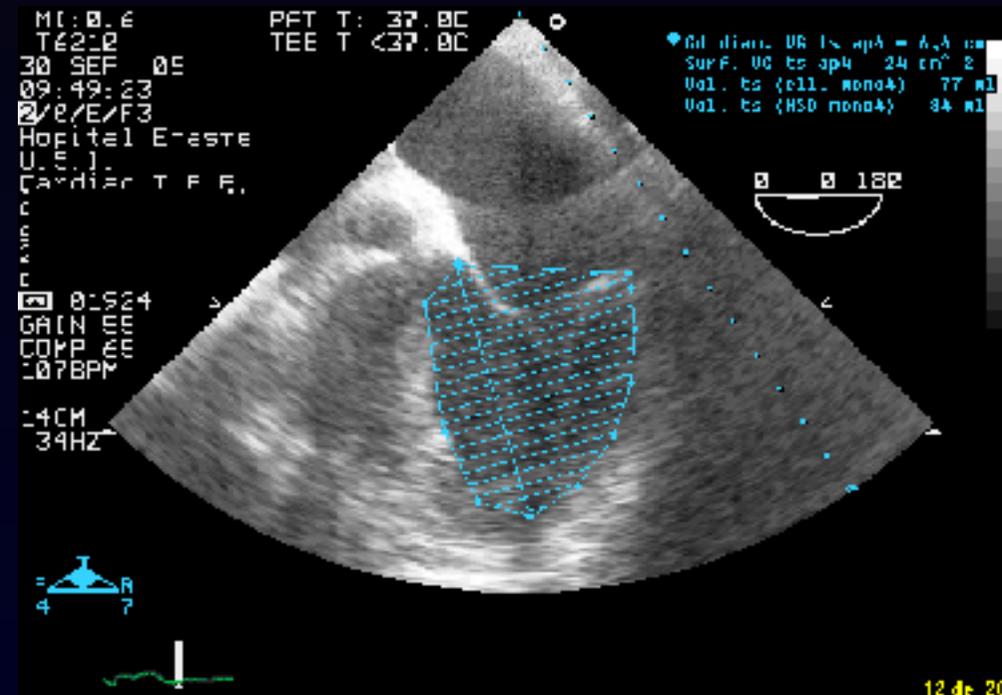
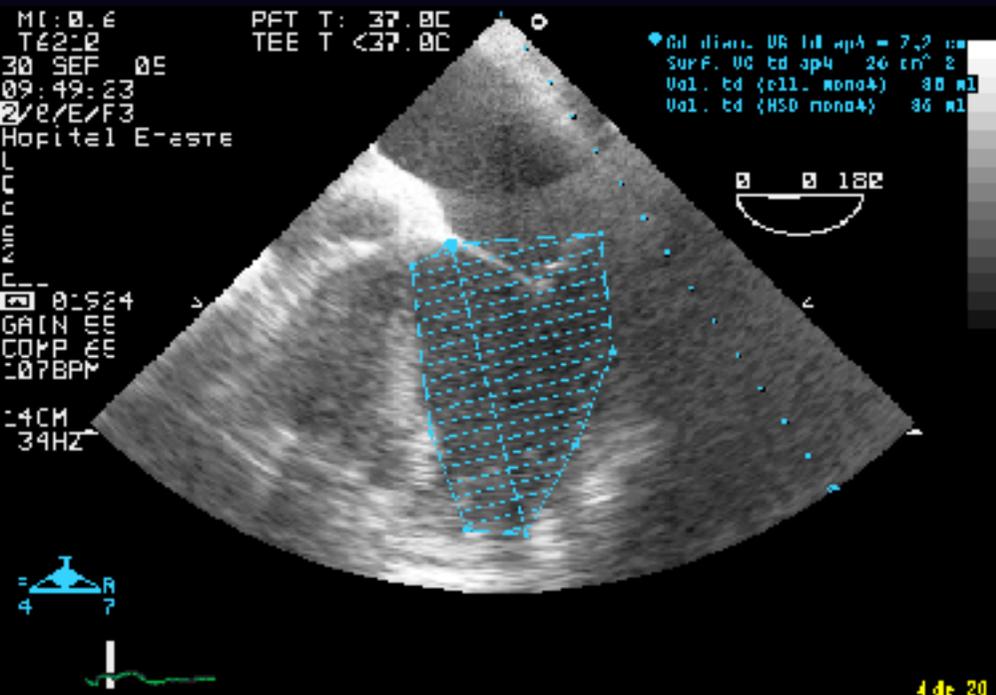
Simpson



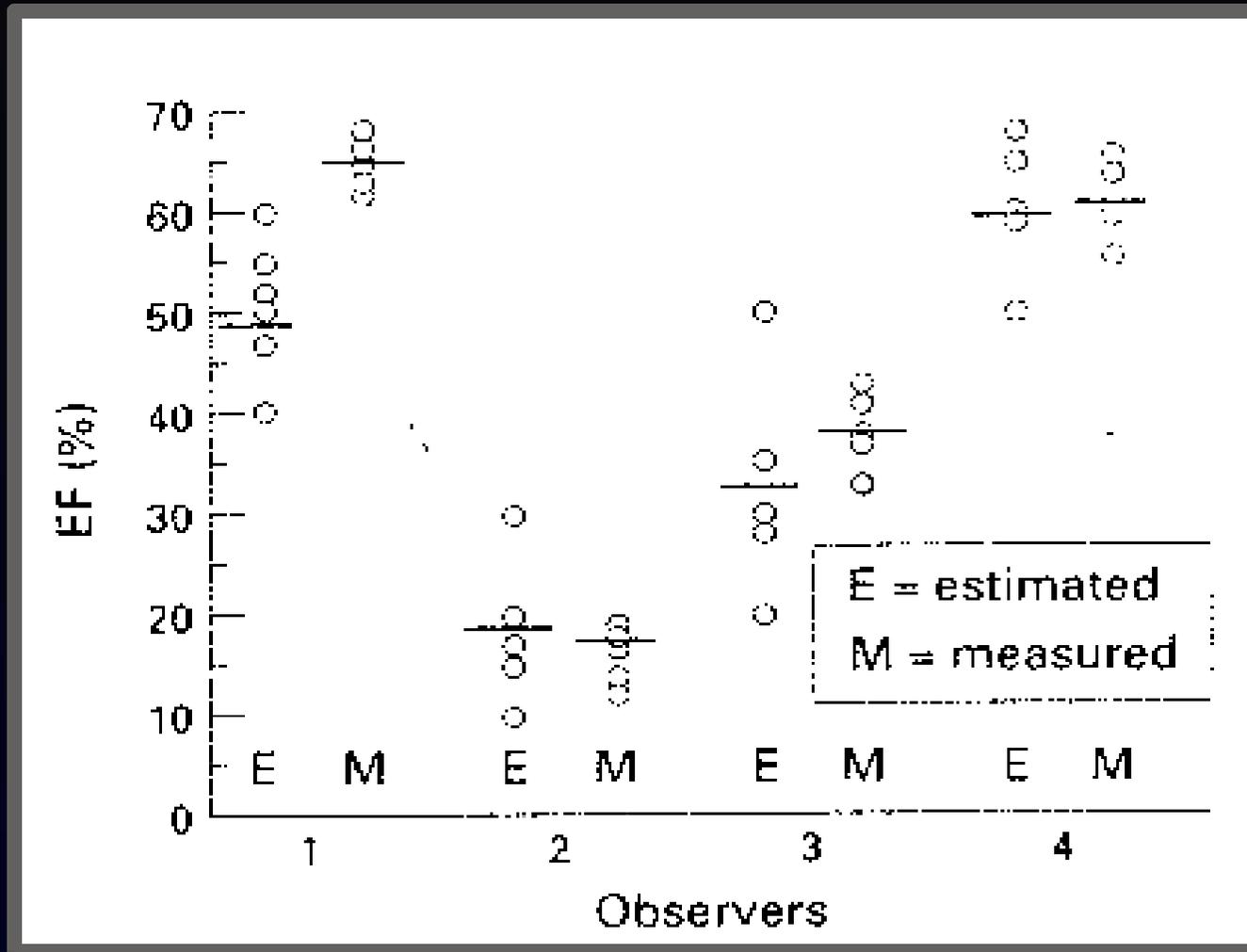
# Fraction d'éjection (volumes)

Volumes calculés selon le principe des disques (formule de Simpson):

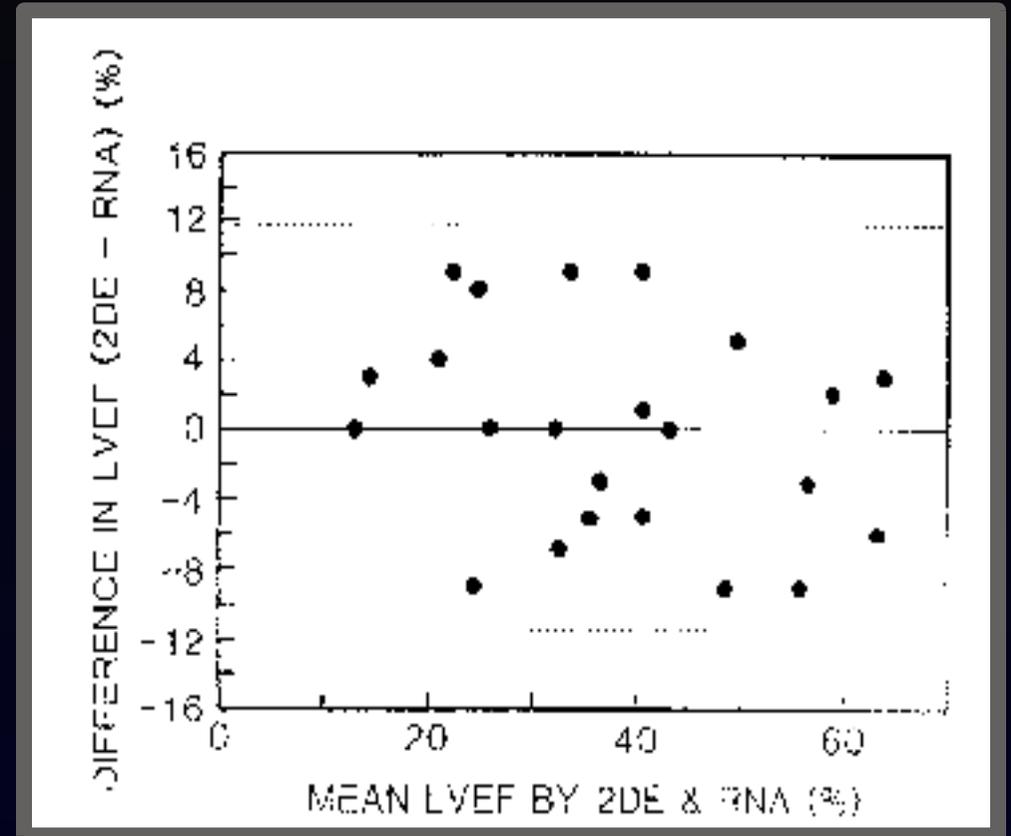
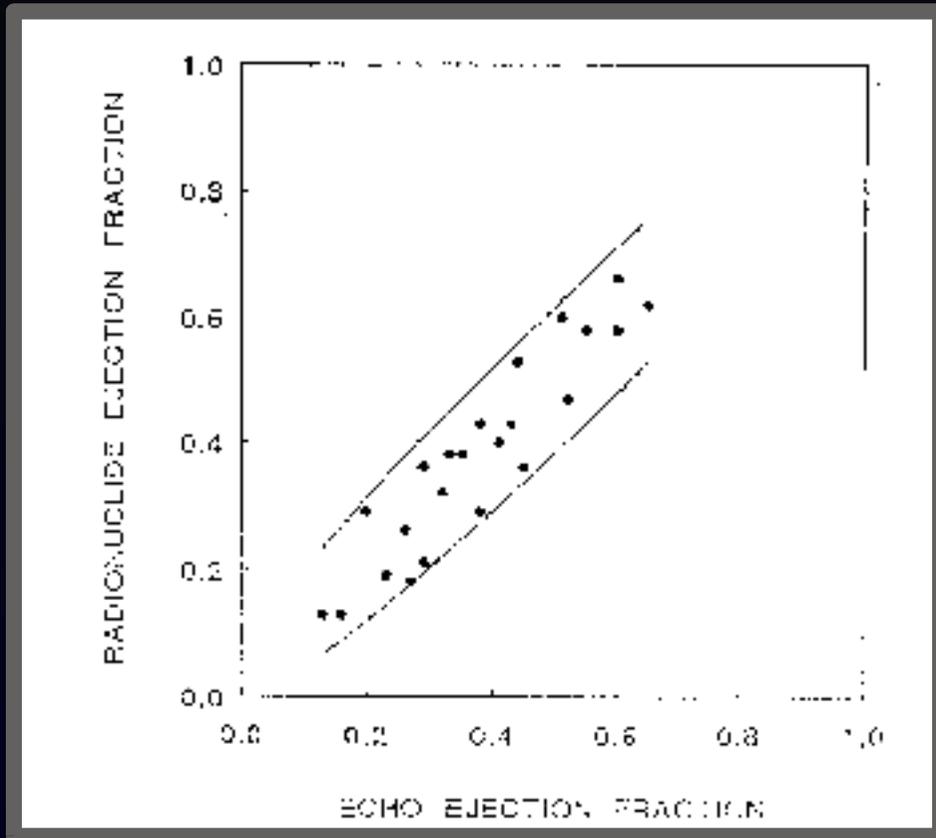
$$\text{Vol} = (\pi / 4) (\Sigma^{20} a_i b_i) \times (L / 20)$$



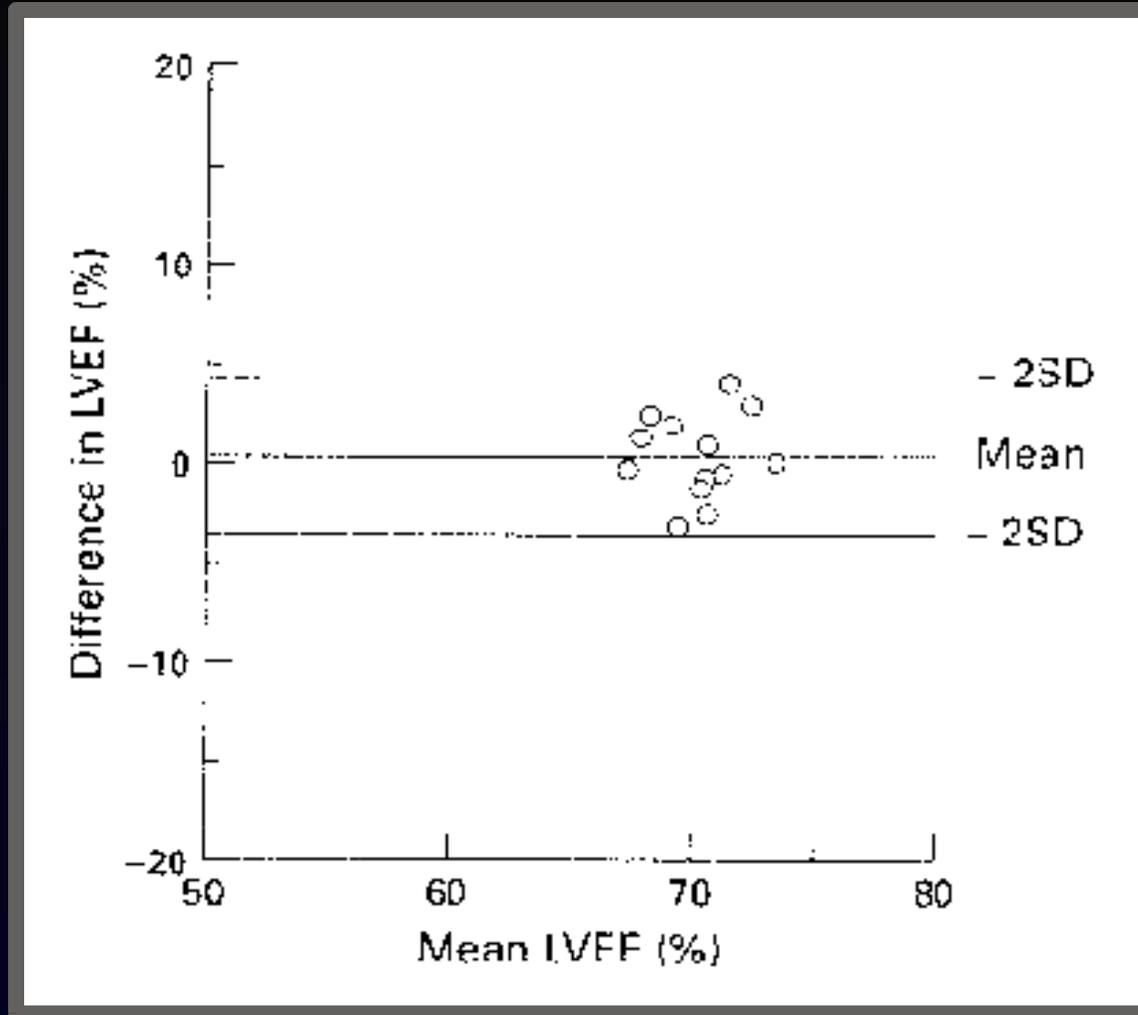
# FE estimée Vs FE mesurée



# Différence dans la mesure de la FEVG entre écho 2D et ventriculographie isotopique



# Variabilité inter individuelle



*Kuecherer HF, J Am Soc Echo, 1991;4:203-14*

# FRACTION D' EJECTION

15 pts\*4

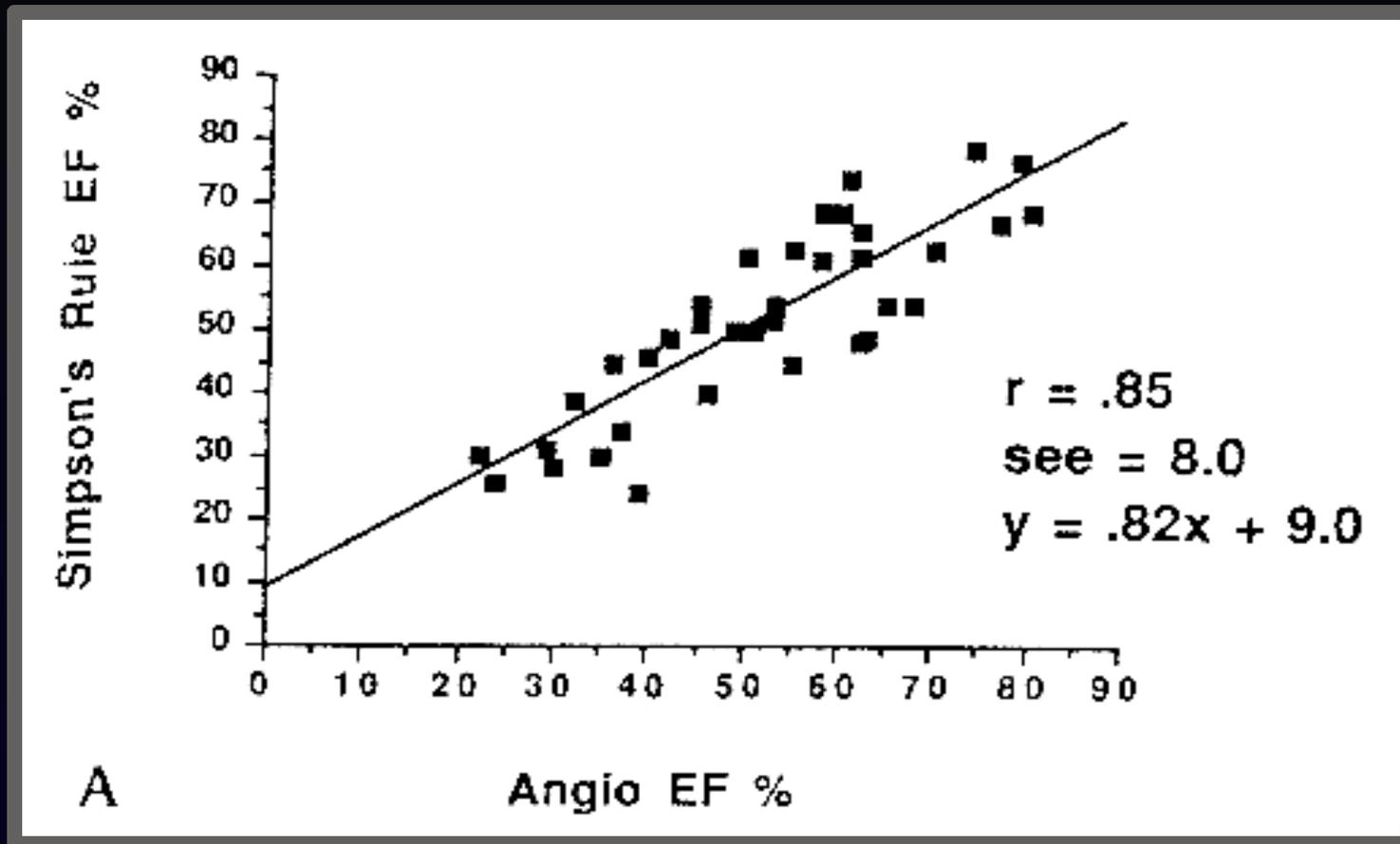
2 tech

2 anal.

## PROBLEMES

« *Of the two-dimensional echocardiographic indexes tested, **ejection fraction varied least (SD, 6.6%)** and left ventricular mass varied most (SD, 35.3 gm). Of the Doppler indexes, normalized early diastolic filling velocity integral varied least (SD, 8.4%) and deceleration time varied most (SD, 48.6 msec). Technical (image acquisition and quantitation) variability contributed most (and subject variability least) to total variability of stroke volume (68%) and deceleration time (67%). Technical variability contributed least (and subject variability most) to variability of **ejection fraction (43%)** and diastolic filling time (25%). The acts of image acquisition and quantitation varied more between than within technicians and readers. Peak atrial filling velocity and the ratio of peak early to atrial filling velocity significantly differed between technicians. **Left ventricular ejection fraction**, left ventricular mass, peak atrial filling velocity, early filling integral, and deceleration of early filling **differed significantly between readers** »*

# Validation FEVG en coupe longitudinale transoesophagienne



*Smith MD, JACC, 1992;19:1213-22*

# FRACTION D' EJECTION

## PROBLEMES

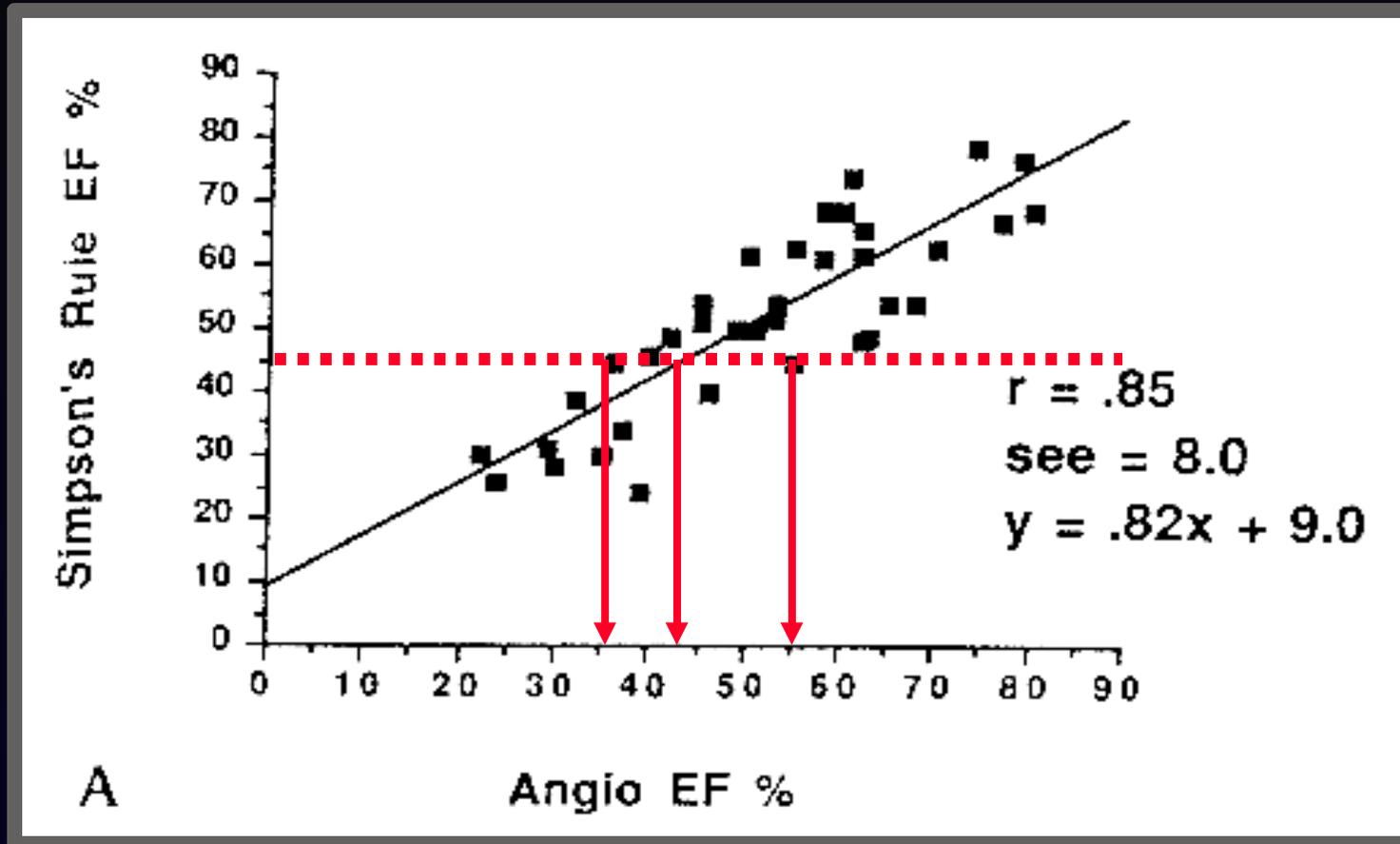
36 pts

### Echo TEE (4 chamber view) vs Angio:

- Each of the methods resulted in significant underestimation of diastolic and systolic volumes compared with values assessed with angiography ( $p$  less than 0.003).*
- Ejection fraction was best predicted by using the **Simpson's** rule formula ( $r = 0.85$ ) in comparison with **area-length** ( $r = 0.80$ ) or **diameter-length** ( $r = 0.73$ ) formulas.*
- Measurements of left ventricular length by transesophageal echocardiography were smaller for systole (mean 5.7 +/- 1.6 cm) and diastole (mean 7.7 +/- 1.2 cm) than values by ventriculography (mean 9.2 +/- 1.4 and 8.1 +/- 1.6 cm, respectively;  $p$  less than 0.0001), suggesting that underestimation of the ventricular length is a major factor contributing to the smaller volumes obtained by transesophageal echocardiography.*

# Validation FEVG en coupe longitudinale transoesophagienne

Attention: l'intervalle de confiance est large !



*Smith MD, JACC, 1992;19:1213-22*

# FRACTION D' EJECTION

## PROBLEMES

Relative imprécision de la mesure

Dépendance de la postcharge

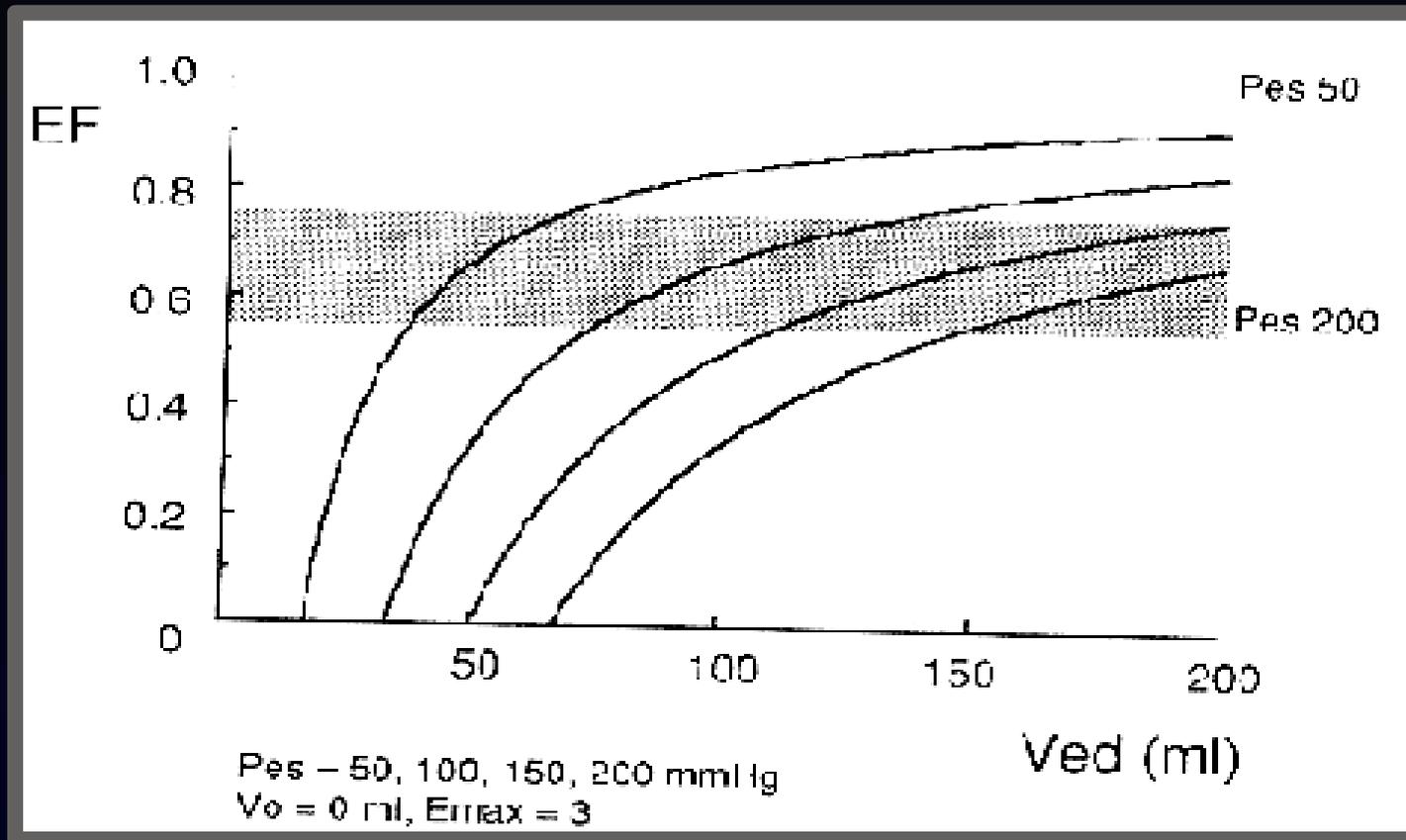
(postcharge augmentée et VE préservé => dil VG)

Interdépendance FE / Volume TD / contractilité

$$FE = VE / VTD$$

# Relation entre contractilité ( $E_{max}$ ), fraction d'éjection (FE), pression systolique (PTS) et le volume diastolique (VTD)

$$EF = 1 - (PTS / VTD) (1 / E_{max})$$



# FRACTION D' EJECTION

## PROBLEMES

Relative imprécision de la mesure

Dépendance de la postcharge

Dépendance de la précharge (précharge insuffisante => diminution VE > diminution VTD)

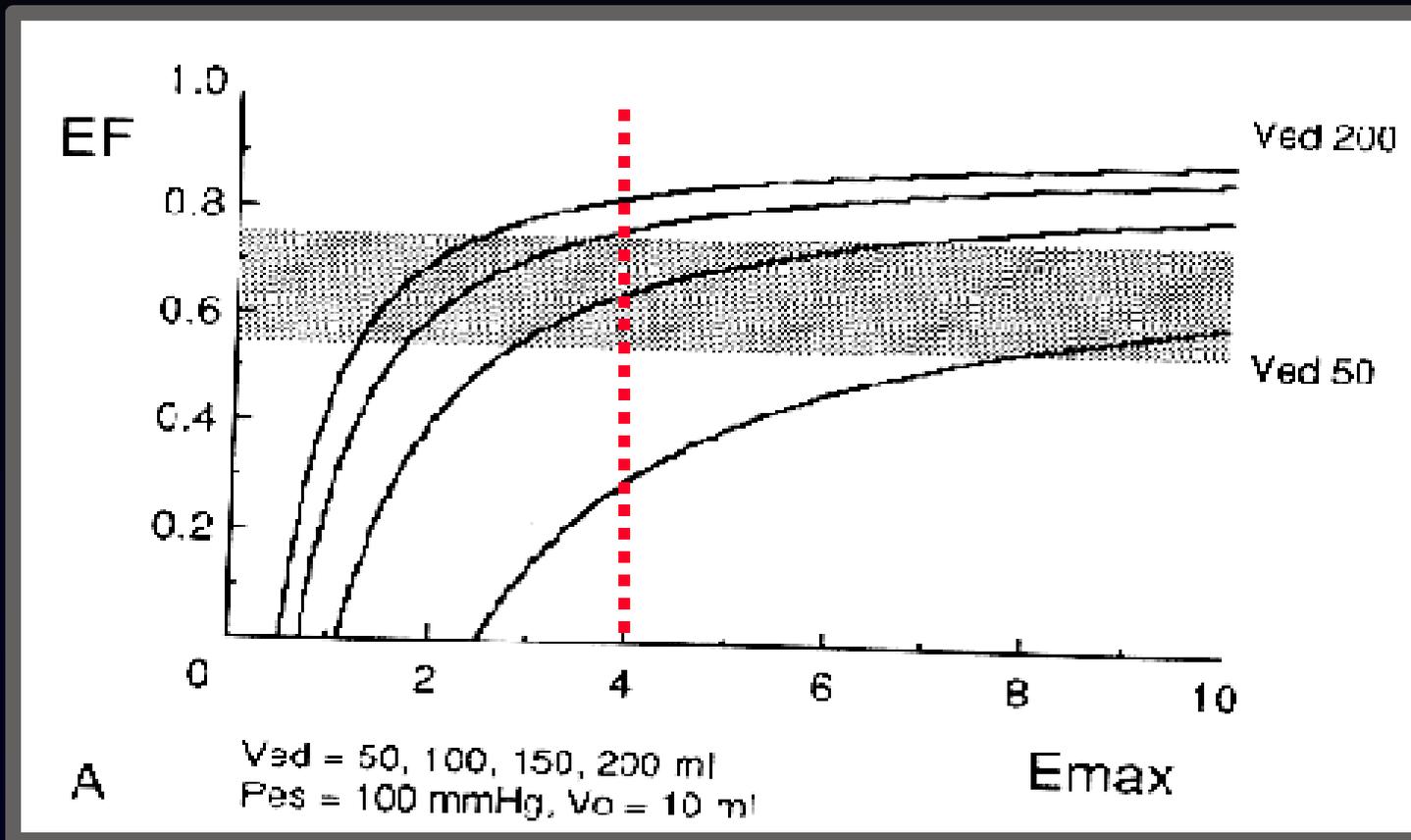
$$FE = VTS - VTD / VTD$$

Interdépendance FE / Volume TD / contractilité

$$FE = VE / VTD$$

# Relation entre contractilité ( $E_{max}$ ), fraction d'éjection (FE), pression systolique (PTS) et volume diastolique (VTD)

$$EF = 1 - (PTS / VTD) (1 / E_{max})$$



# FRACTION D' EJECTION

## PROBLEMES

Relative imprécision de la mesure

Dépendance de la postcharge

Dépendance précharge

Dépendance fction systolique et diastolique

(altn fction diast => dim VTCVG)

Interdépendance FE / Volume TD / contractilité

# Les paradoxes de la FE

- **Effet du remplissage vasculaire**

- augmentation  $VE > VTD$  (précharge dépendance)

- peut diminuer la FE (baisse de la réponse sympathique à l'hypovolémie et augmentation de la postcharge)

- **Effet de l'accélération de la fréquence cardiaque**

- améliore la contractilité

- diminue la FE (altération du remplissage ventriculaire)

-

# Intérêt clinique de la fraction d'éjection en réanimation

- **Élément pronostic** de morbi-mortalité
- **Index de contractilité imparfait** car trop dépendant des conditions de charge et de la fréquence cardiaque. Toutefois et indépendamment des conditions de charge, une FE < 40% implique une altération de la contractilité
- **Reflet instantané de l'équilibre hémodynamique** du patient et de l'intégrité du système cardiovasculaire pour maintenir de l'homéostasie

# Paramètres de fonction systolique

## . Mode imagerie:

- Fraction d'éjection
- **Contrainte systolique \***
- vitesse de raccourcissement des fibres myocardiques \*

## . Mode Doppler:

- Flux d'éjection aortique \*
- $dp/dt_{\max}$  sur flux IM \*
- Intervalles isovolumétriques \*
- Puissance maximale

**\* Principe: "VG performant ejecte facilement"**

## . Détection automatique des contours

- Élastance maximale

# Paramètres de fonction systolique

## . Mode imagerie:

- Fraction d'éjection
- vitesse de raccourcissement circonférentiel des fibres myocardiques

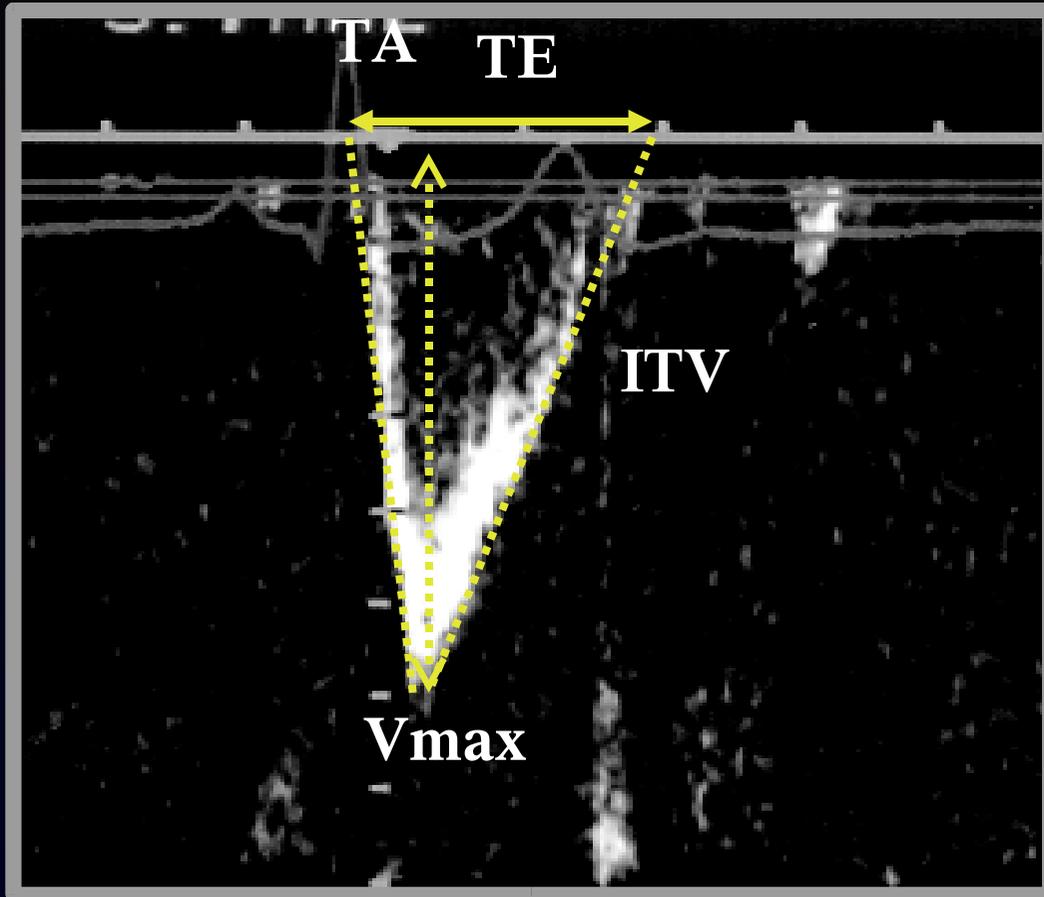
## . Mode Doppler:

- Flux d'éjection aortique
- Intervalles isovolumétriques
- Puissance maximale

## . Détection automatique des contours

- Élastance maximale

# Flux d'éjection aortique



**Vélocité max ( $V_{max}$ )**

N: 72-120 cm/s

**Intégrale temps-vitesse (ITV)**

N: 18-22 cm

**Temps d'accélération (TA)**

N: 83-118 ms

**Temps d'éjection (TE)**

N: 265-325 ms

**Accélération moyenne**

N: 6 -11  $m/s^2$

**Pente d'accélération max reflète la contractilité, mais indice peu utilisé (incertitude due à l'erreur de mesure)**

# Paramètres de fonction systolique

## . Mode imagerie:

- Fraction d'éjection
- vitesse de raccourcissement circonférentiel des fibres myocardiques

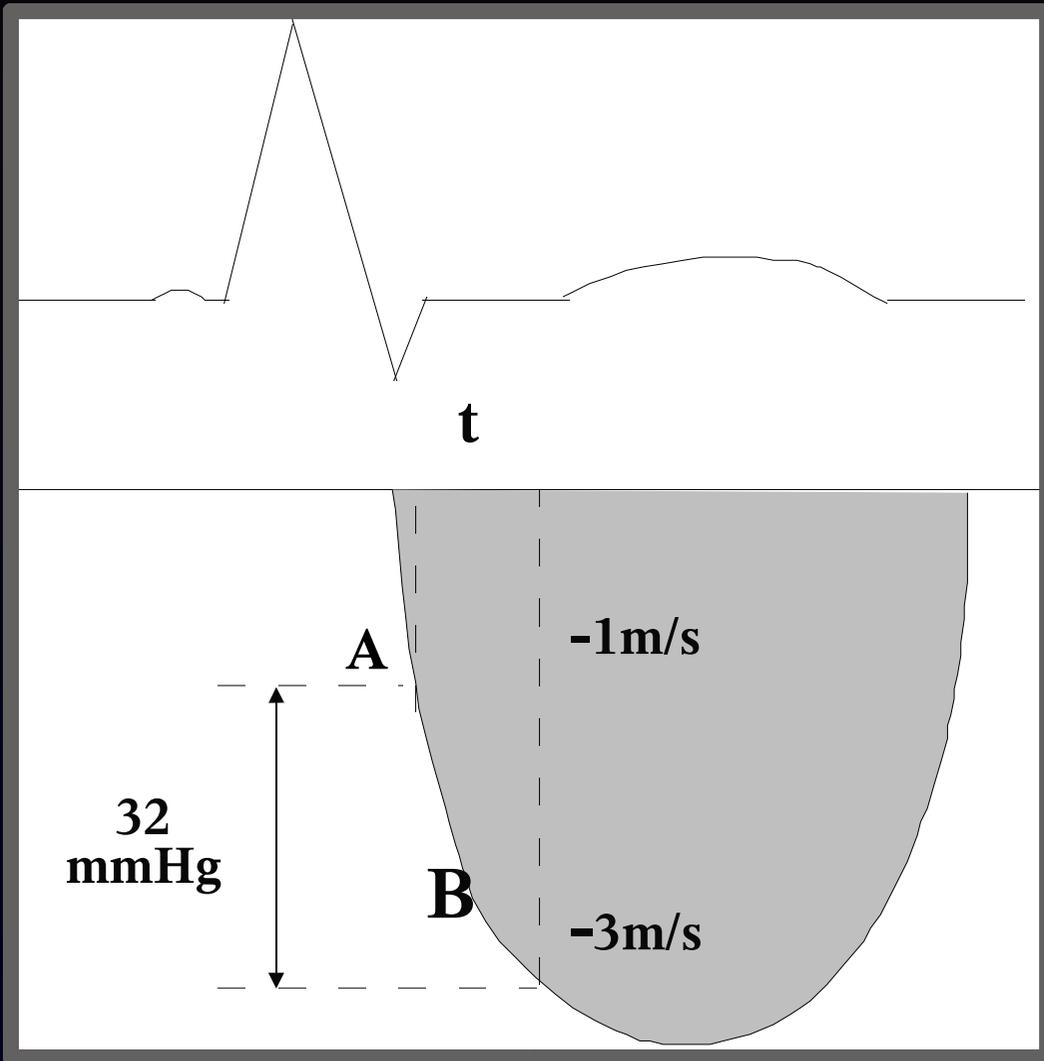
## . Mode Doppler:

- Flux d'éjection aortique
- Rate of pressure rise (IM)
- Intervalles isovolumétriques
- Puissance maximale

## . Détection automatique des contours

- Élastance maximale

# Rate of pressure rise (RPR)



*Mathematical basis:*

*Bernoulli equation*

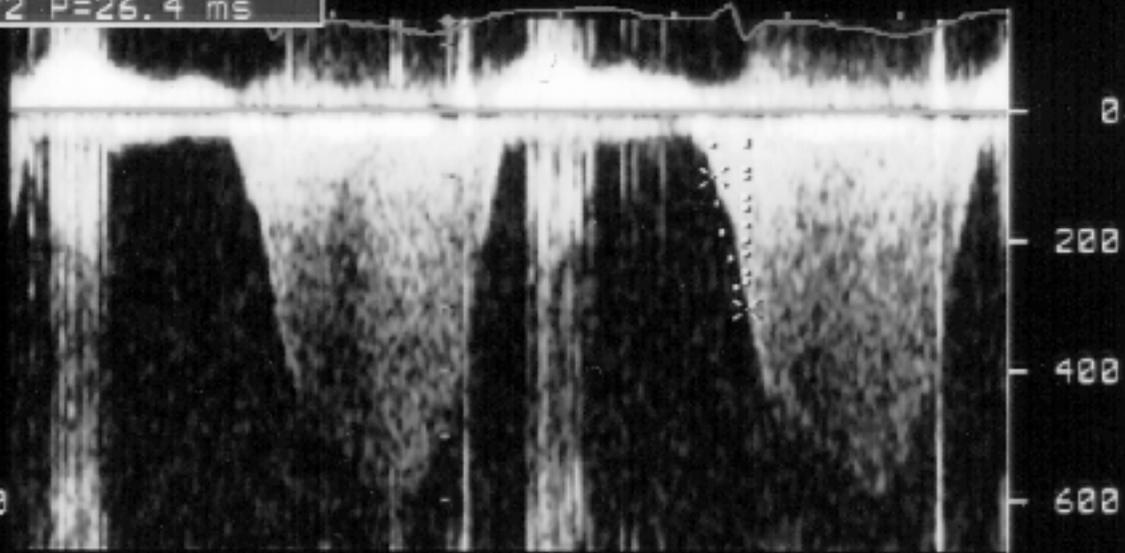
$$dP = 4VA^2 - 4VB^2$$

$$RPR = \frac{32\text{mmHg}}{t \text{ (sec)}}$$

TITLE: CAL RETRIEVE  
A XVEL. =102. cm/s  
HP GrPress=4.16 mmHg M  
B +VEL. =305. cm/s 26:27  
ABDB GrPress=37.2 mmHg C 99  
C :: V. MAX =305. cm/s : 32  
DUREE =.060 s  
PENTE =3386 cm/s<sup>2</sup>  
GRD MAX=37.2 mmHg  
T 1/2 P=26.4 ms

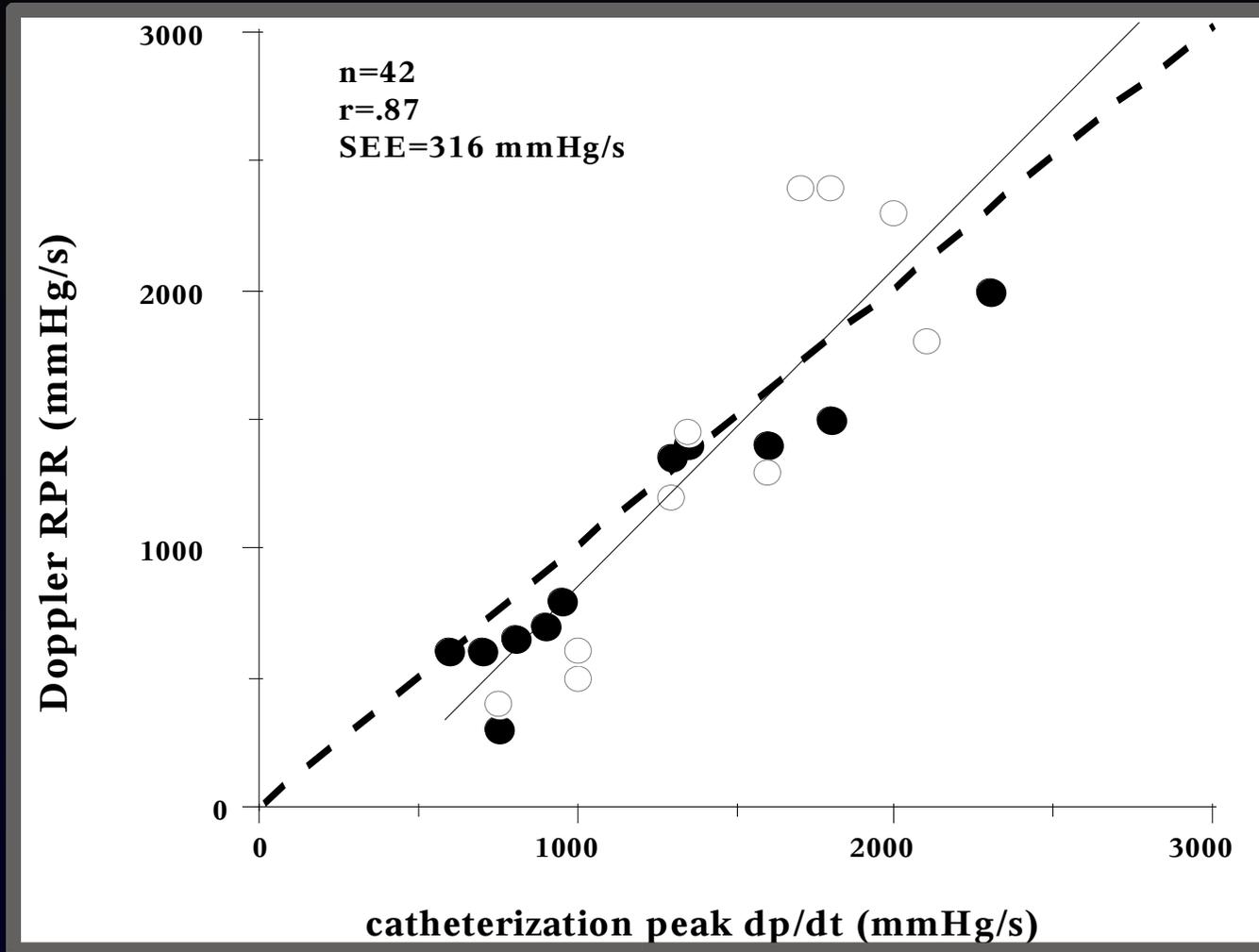
RPR = 533mmHg/s

◆= 100



# Estimation of LV dP/dt with CW Doppler

## Validation at cardiac catheterization



# Limites de la méthode

- IM enregistrable
- POG élevée
- Alignement parfait
- $dp/dt_{\max}$  précharge dépendant

# Paramètres de fonction systolique

## . Mode imagerie:

- Fraction d'éjection
- vitesse de raccourcissement circonférentiel des fibres myocardiques

## . Mode Doppler:

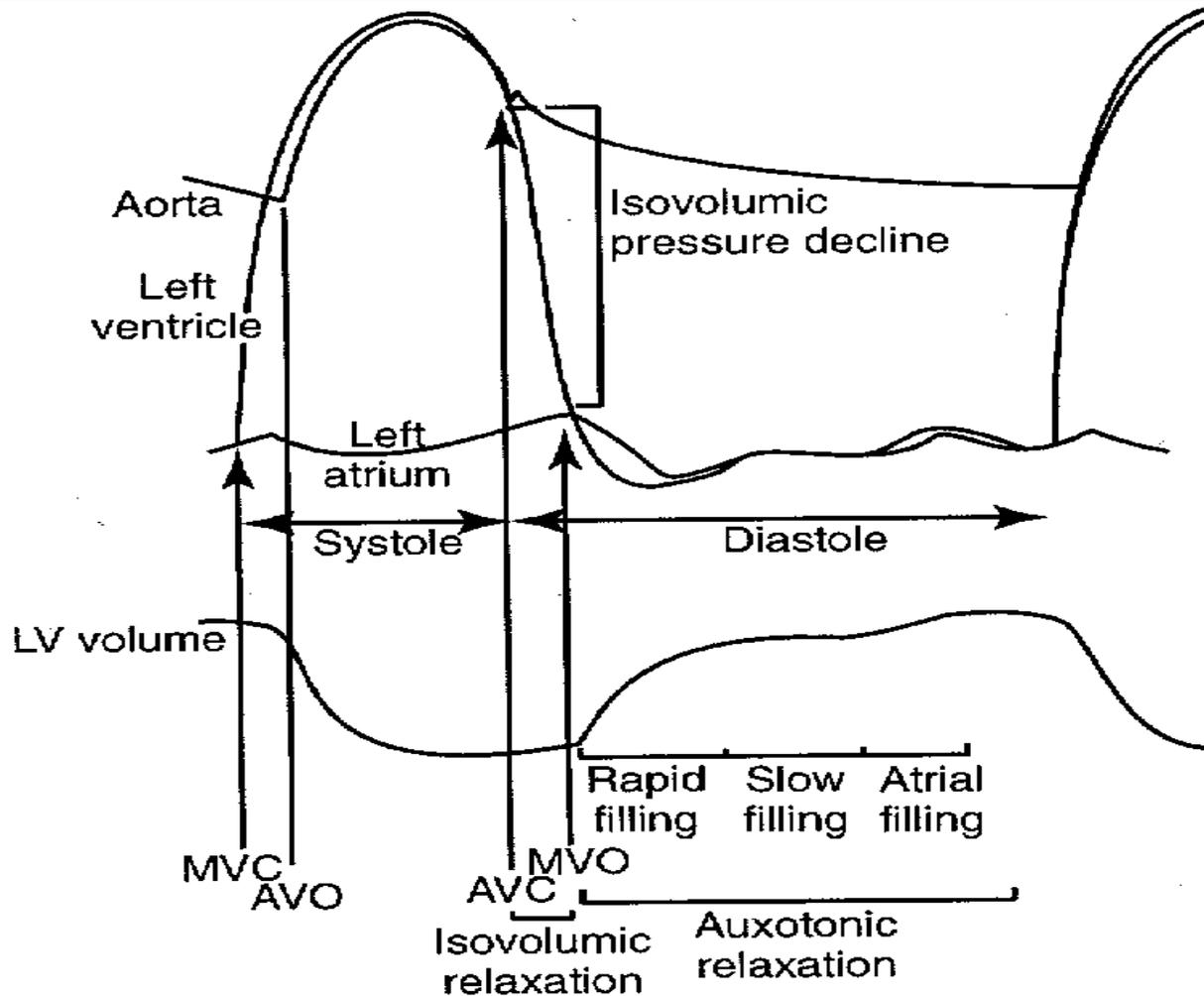
- Flux d'éjection aortique
- Rate of pressure rise (IM)
- Intervalles isovolumétriques
- Puissance maximale

## . Détection automatique des contours

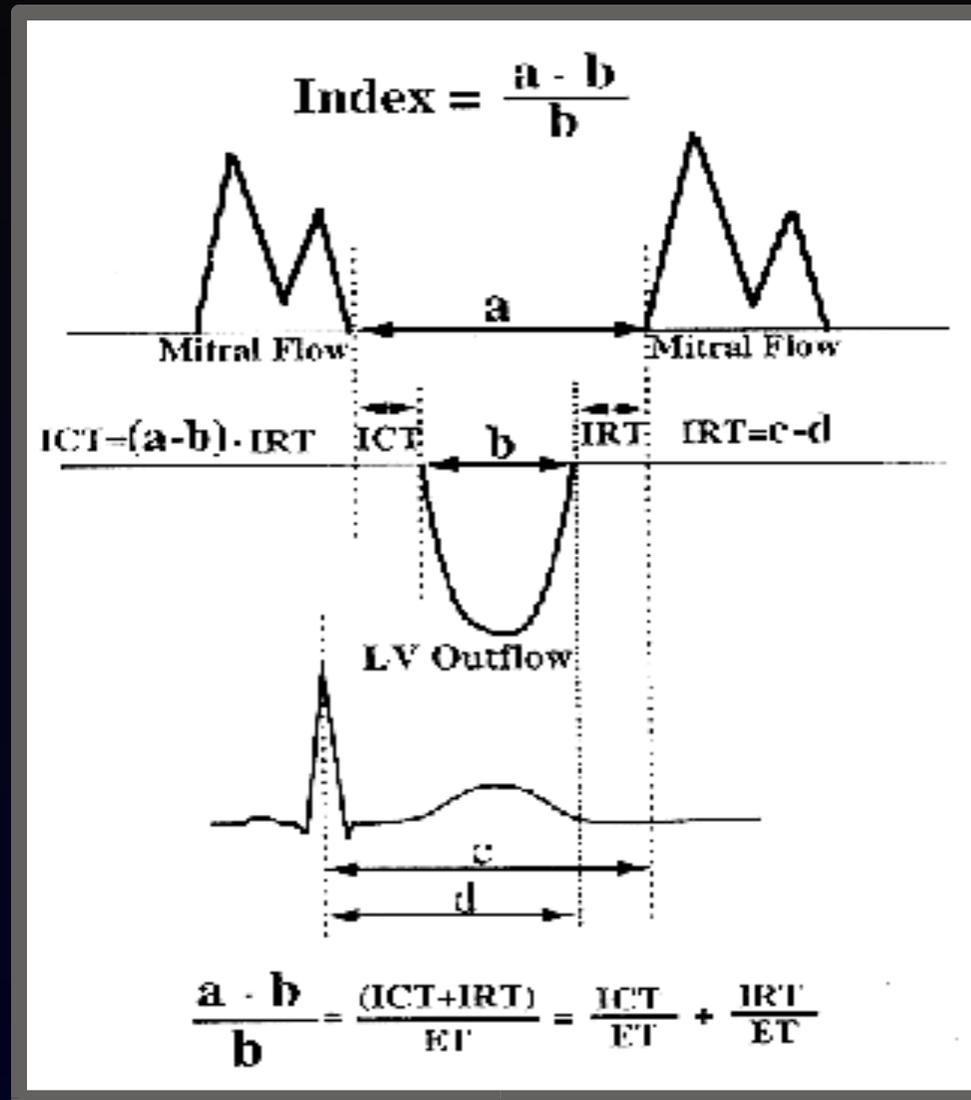
- Élastance maximale

# Intervalles isovolumétriques

Temps de contraction et relaxation isovol / temps ejection



# Intervalles isovolumétriques



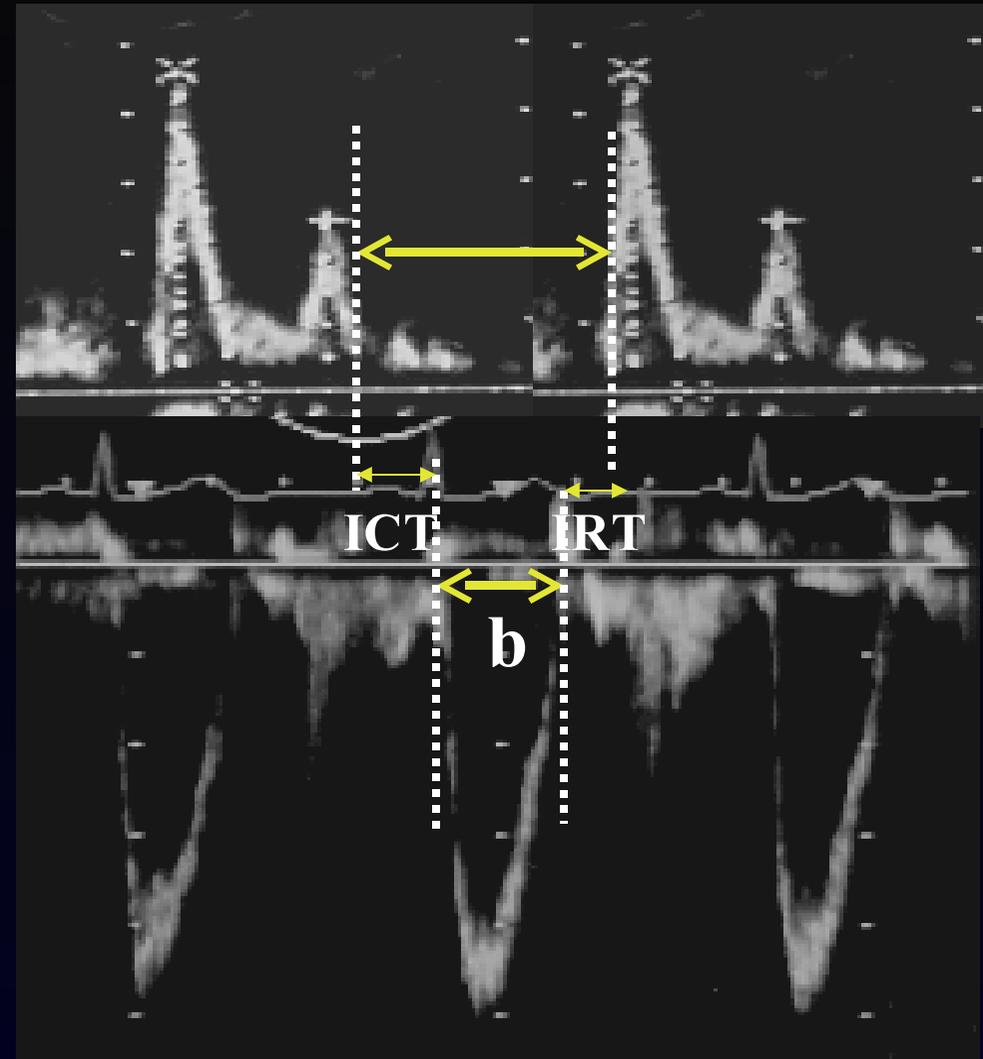
## Intervalles

### isovolumétriques:

Contraction (TCI)

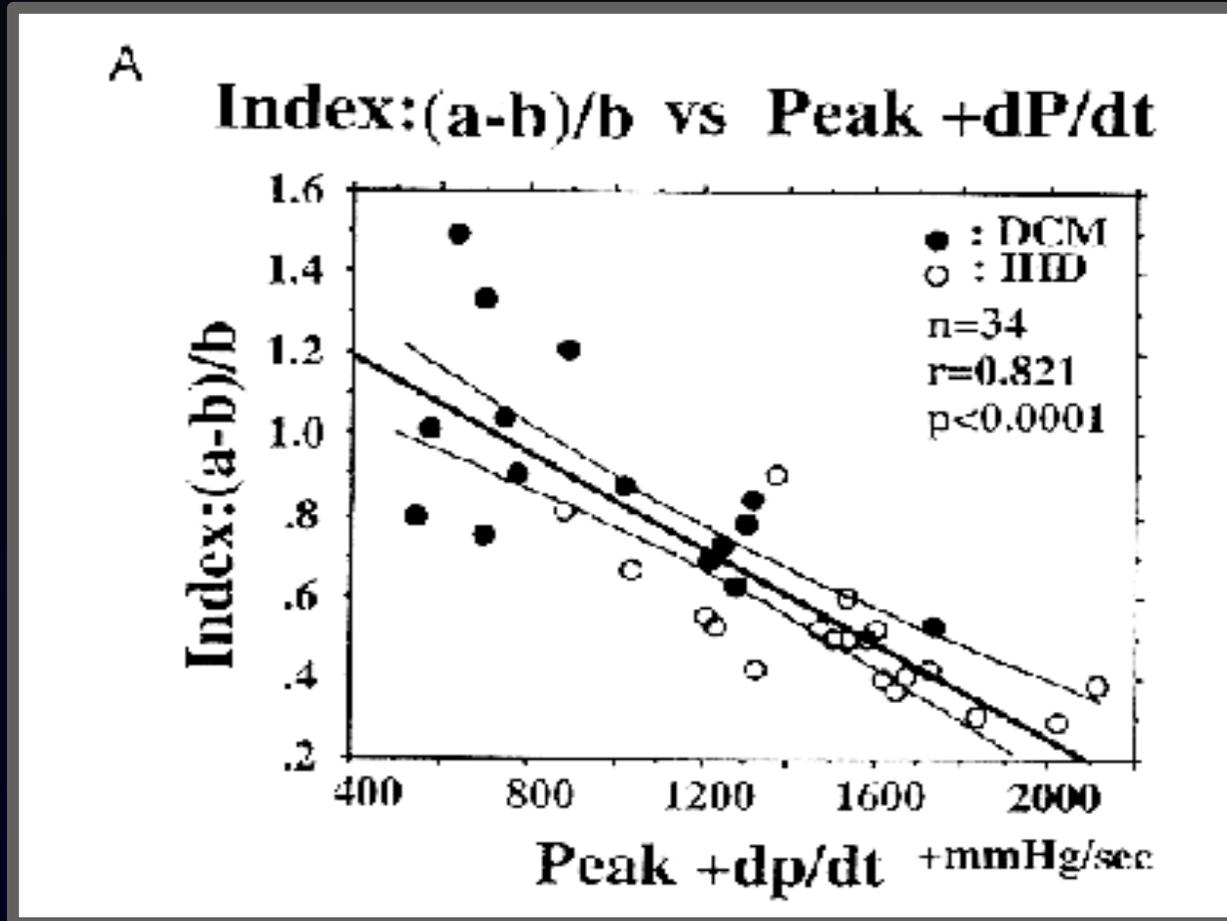
Relaxation (TRI)

IPM:  $(ICT + TRI) / TE$



# Intervalles isovolumétriques: validation en hémodynamique invasive

*34 patients, cardiopathie ischémique*



# Intervalles isovolumétriques: Limitations

- **Tachycardie >120**
- **Troubles de conduction**
- **FA**
- **Dépendant des conditions de charge**
- **Validés par rapport à une dérivée de pression**

# Paramètres de fonction systolique

## . Mode imagerie:

- Fraction d'éjection
- vitesse de raccourcissement des fibres myocardiques

## . Mode Doppler:

- Flux d'éjection aortique
- Rate of pressure rise (IM)
- Intervalles isovolumétriques
- Puissance maximale

## . Détection automatique des contours

- Élastance maximale

# Peak power

**Power = Flow . Pressure**

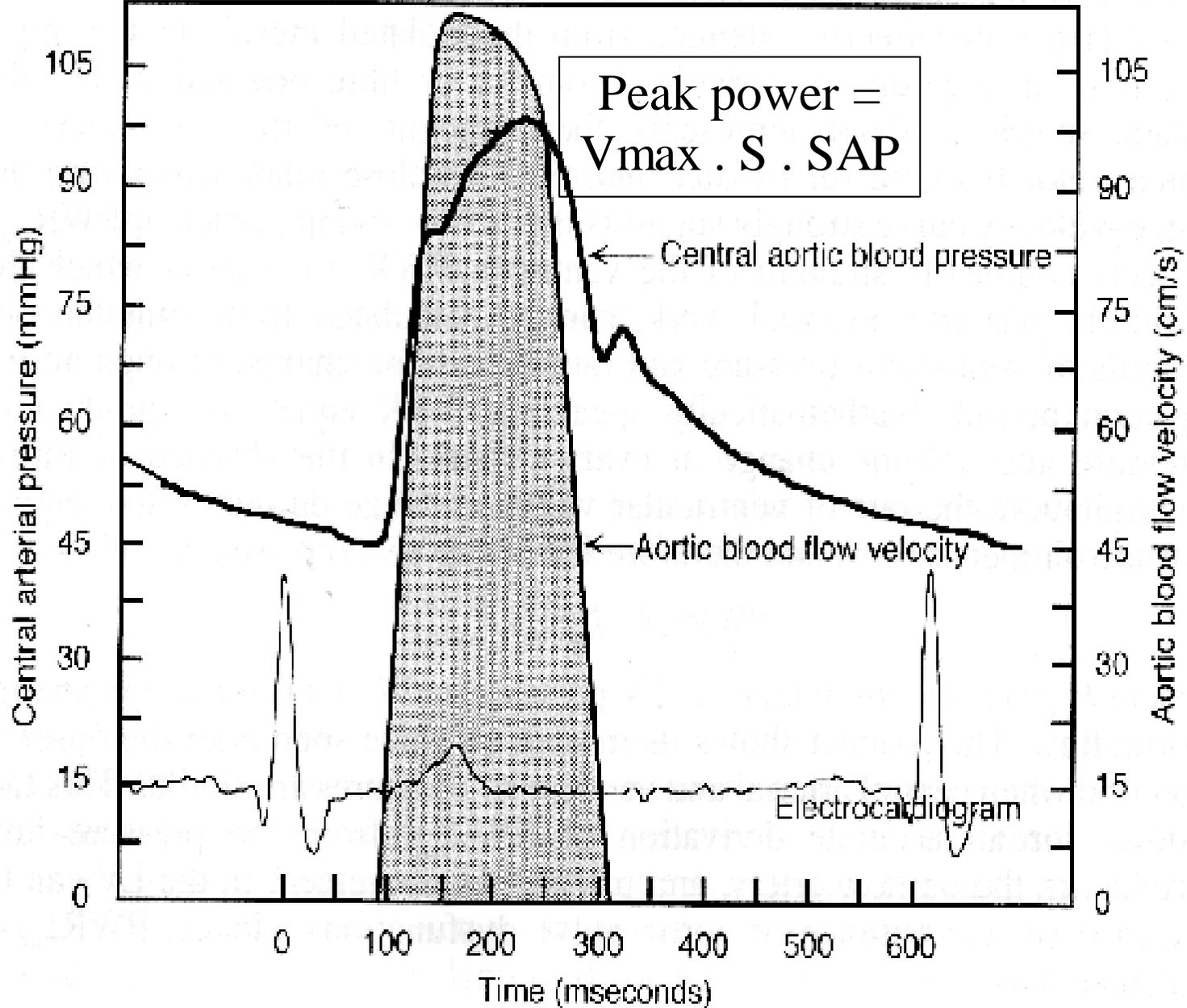
**(Watts)**

**(ml / s)**

**(mmHg)**

*Mandarino WA, J Am Coll Cardiol, 1998;31:861-8*

*Armstrong GP, Heart, 1999,;82:357-64*



# Preload adjusted maximal power

$$\text{Preload adjusted maximal power (mW /cm}^4\text{)} \\ = (\text{instantaneous maximal flow} \cdot \text{Sao} \cdot \text{SAP}) / \text{EDA}^2$$

Cardiac output

Preload

Pressure  
Afterload

# Preload adjusted maximal power

## Calcul:

- **Vélocité Ao maximale (A4C)**
- **Surface Ao (ou ccvg \*) (Gd axe)**
- **STDVG (coupe petit axe)**
- **Pression artérielle systolique CENTRALE**

\* fonction endroit mesure flux ao)

# Paramètres de fonction systolique

## . Mode imagerie:

- Fraction d'éjection
- vitesse de raccourcissement des fibres myocardiques

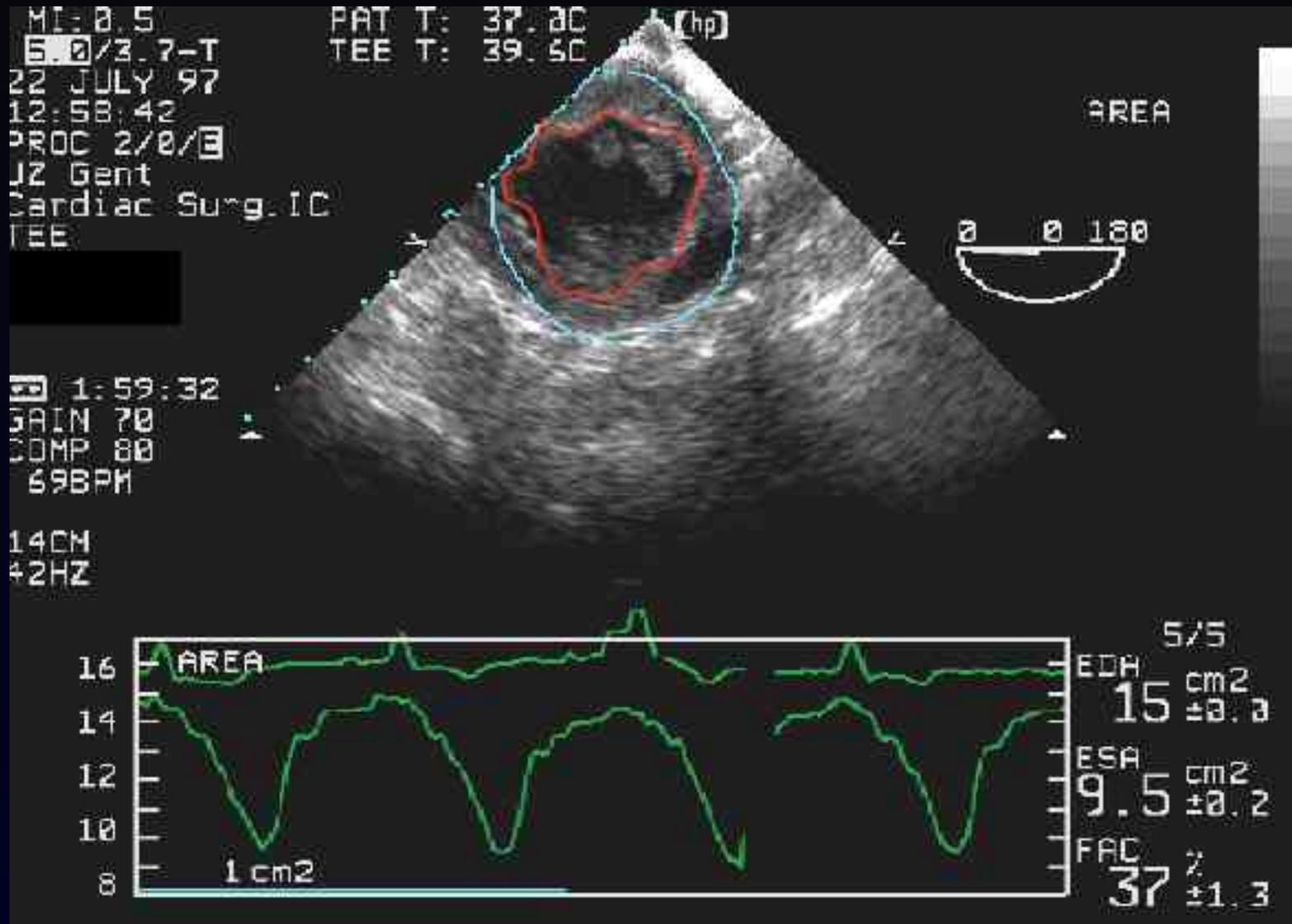
## . Mode Doppler:

- Flux d'éjection aortique
- Rate of pressure rise (IM)
- Intervalles isovolumétriques
- Puissance maximale

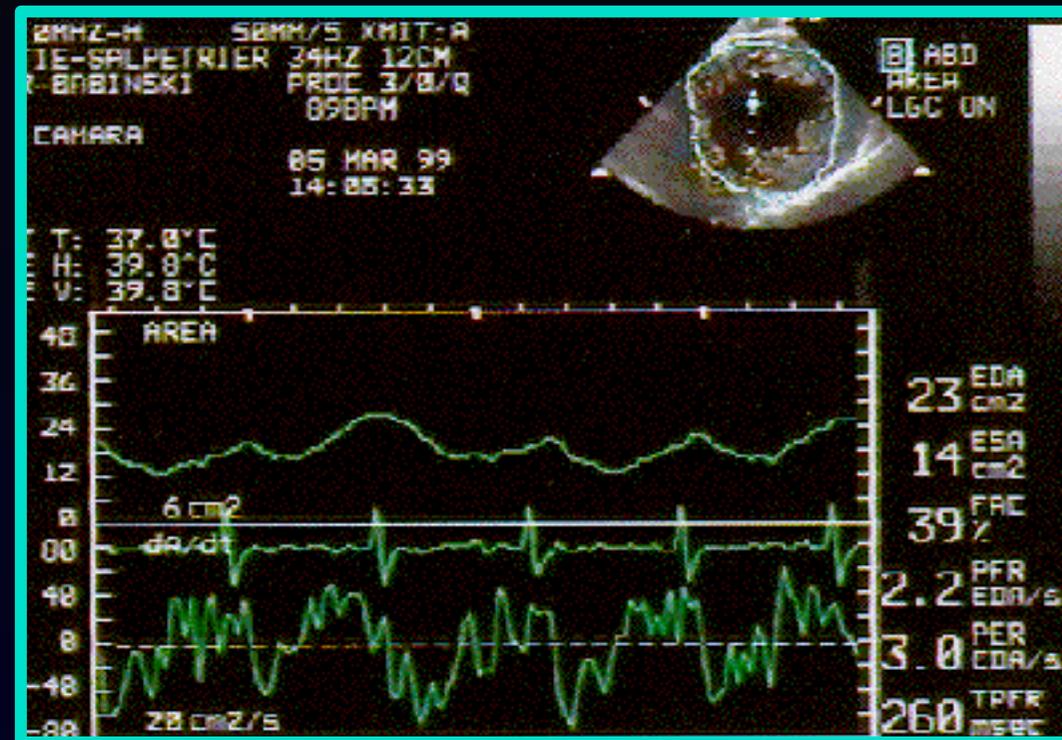
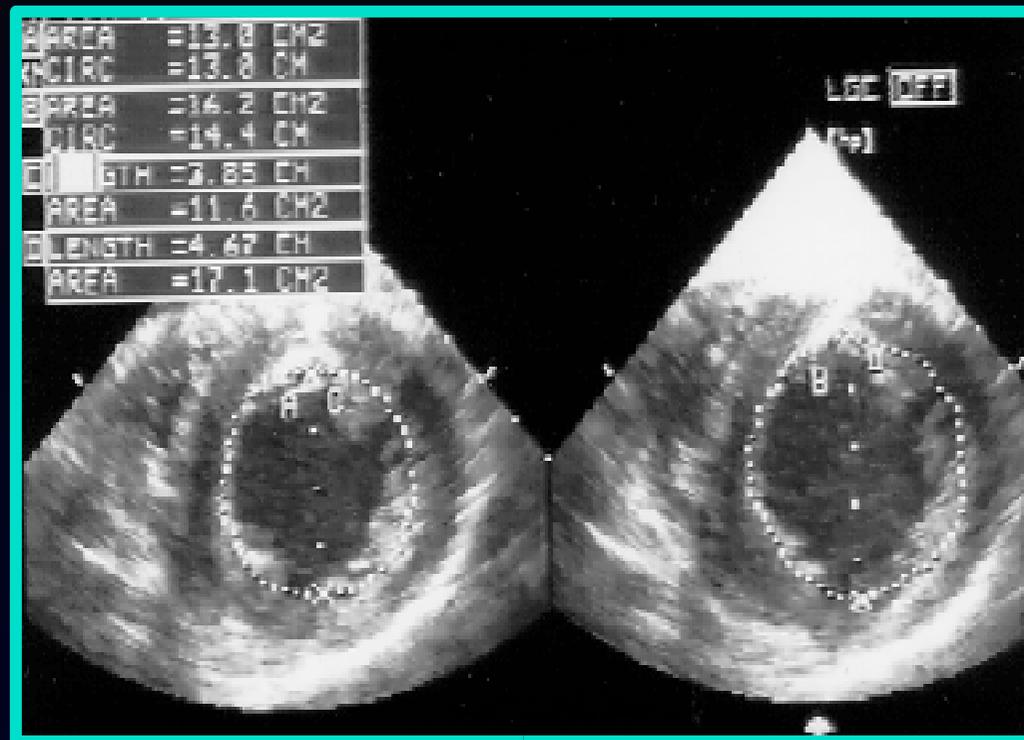
## . Détection automatique des contours

- Élastance maximale

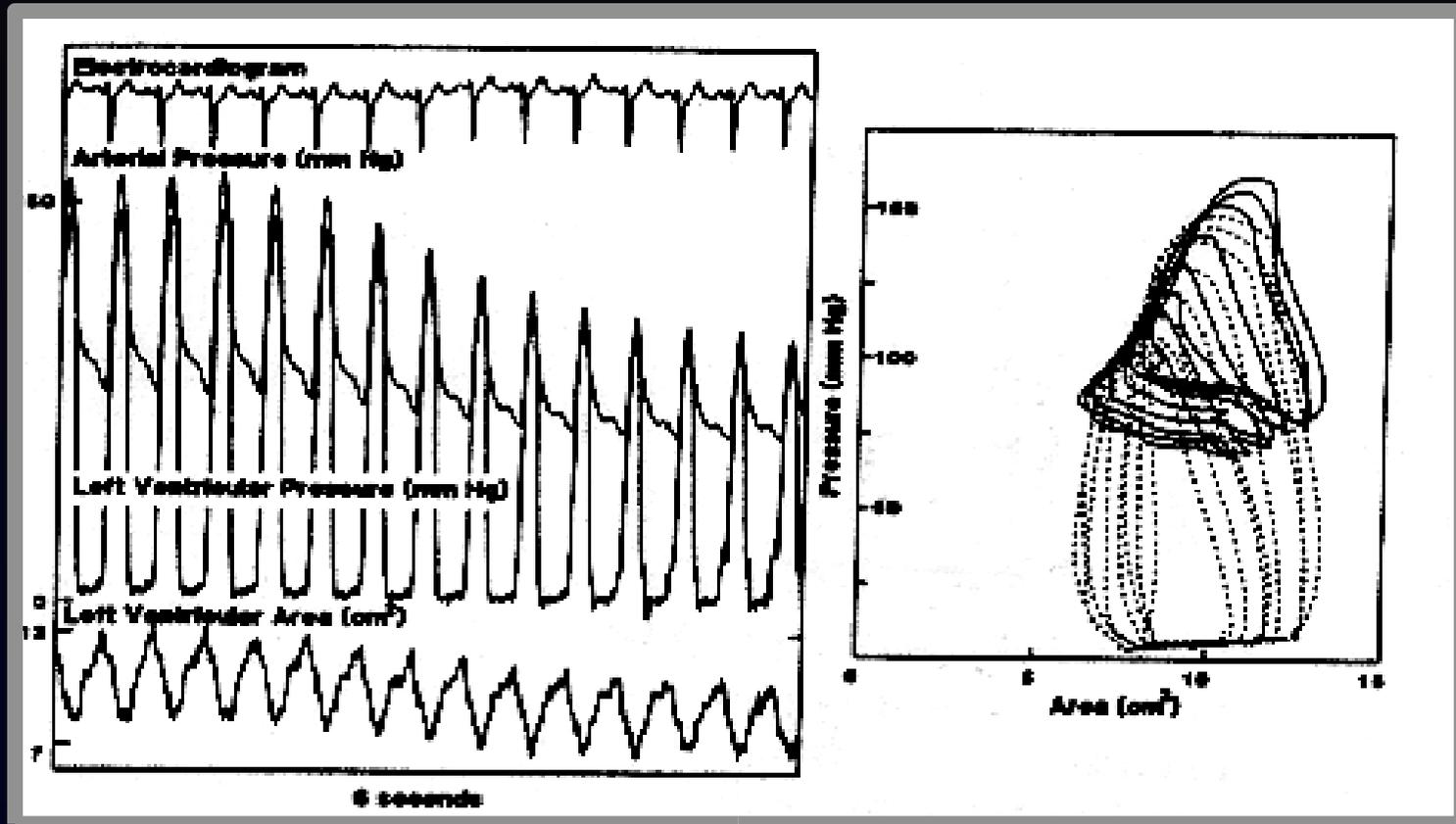
# Détection automatique des contours



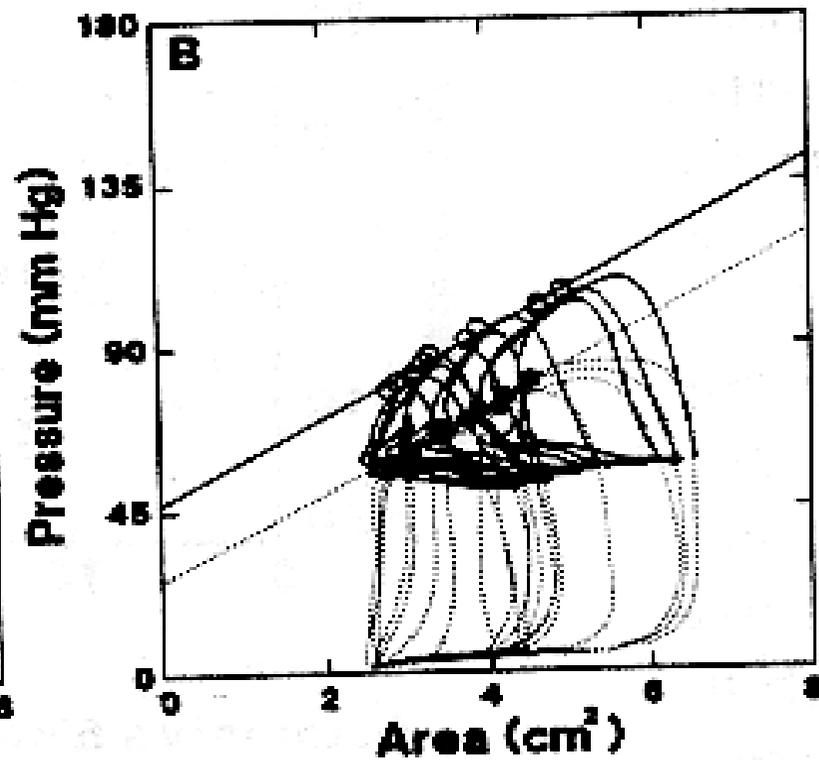
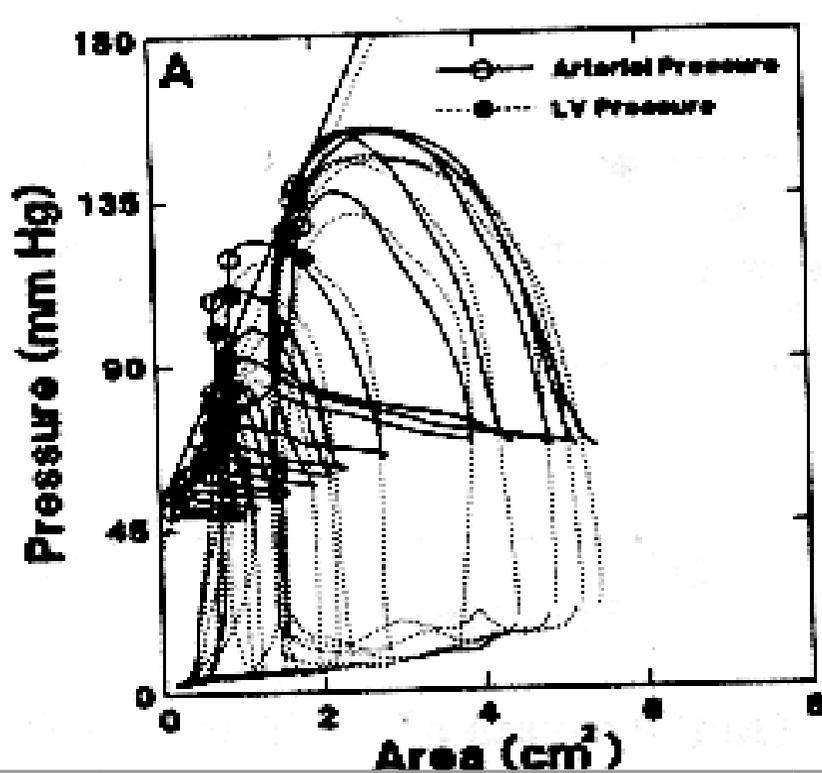
# Détection automatique des contours



# On-line pressure-area relations



## On-line pressure-area relations



# Inidices de fonction systolique

## . La routine:

- Fraction d'éjection

## . Parfois:

- Puissance maximale (corrigée)

## . Le futur ???

- Élastance maximale

# **Indices de fonction diastolique du VG**

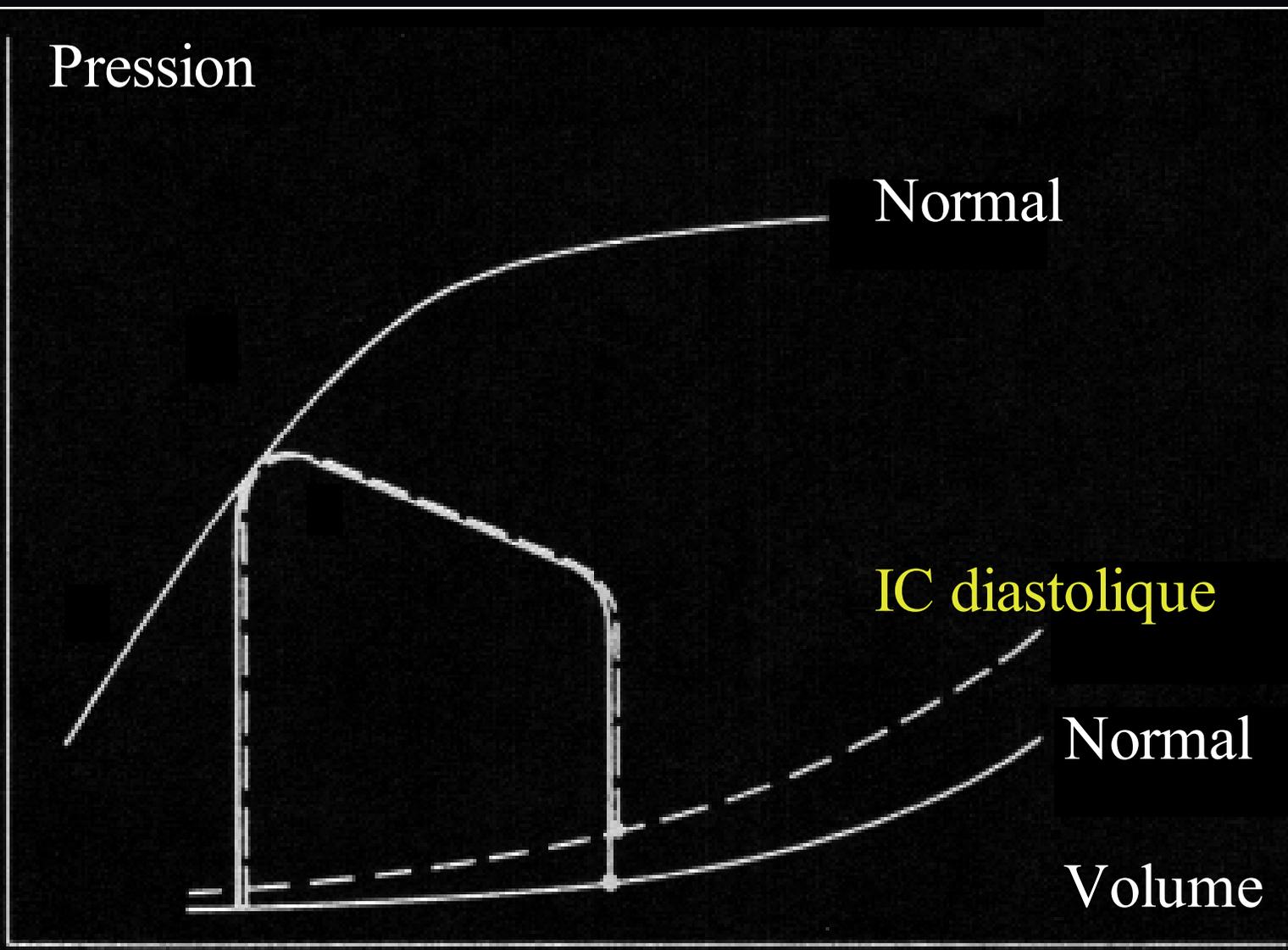
Pression

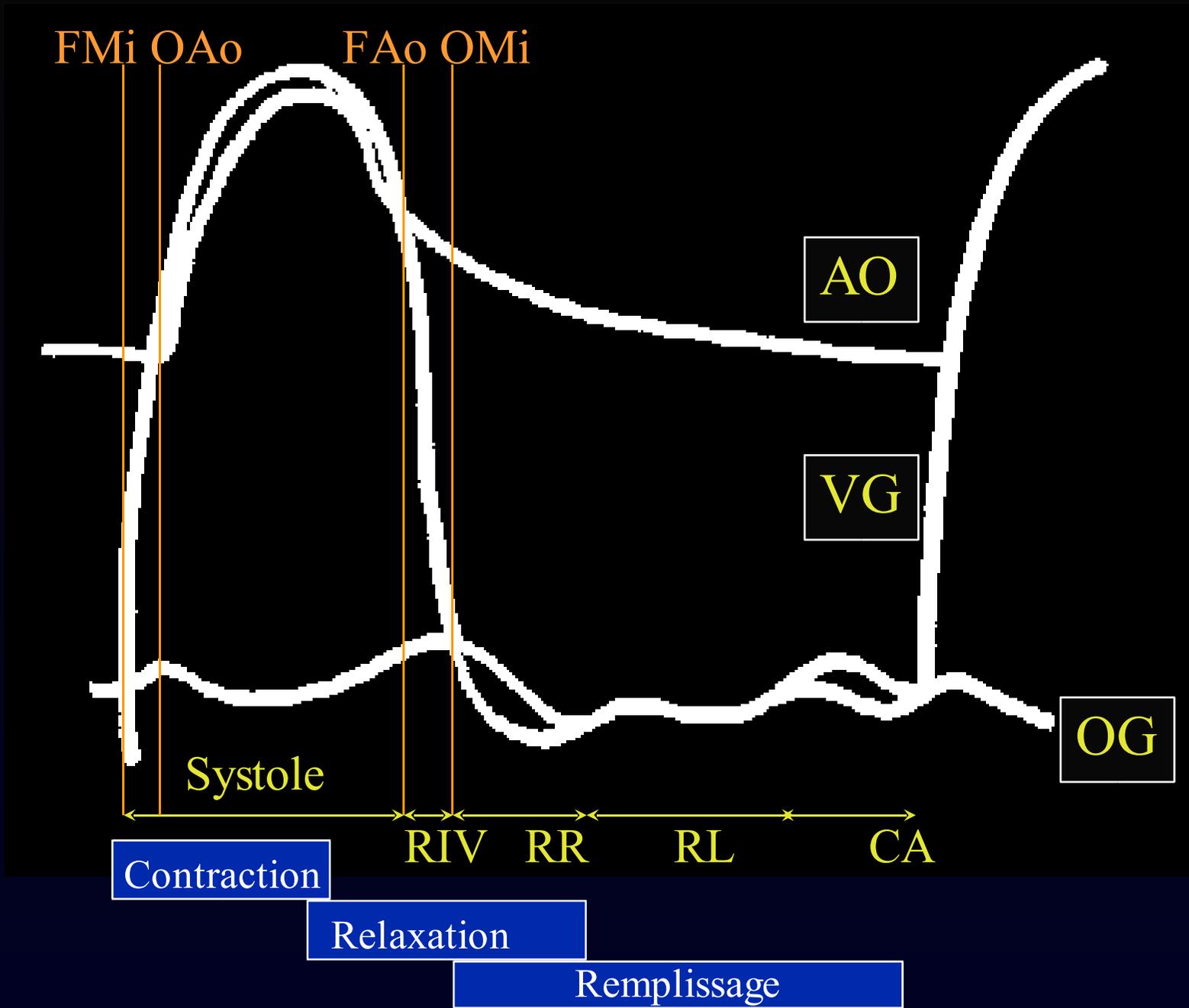
Normal

IC diastolique

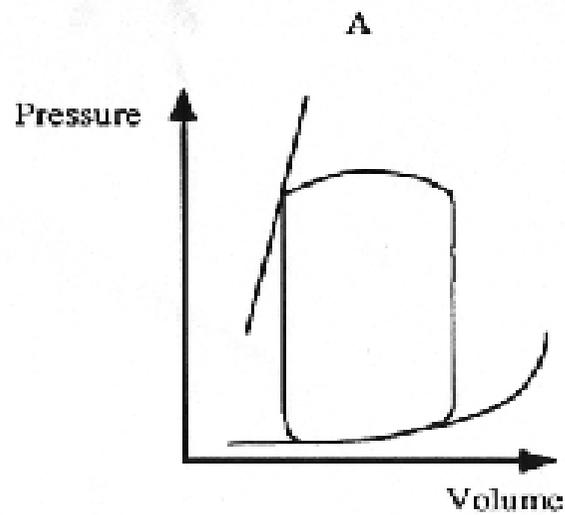
Normal

Volume

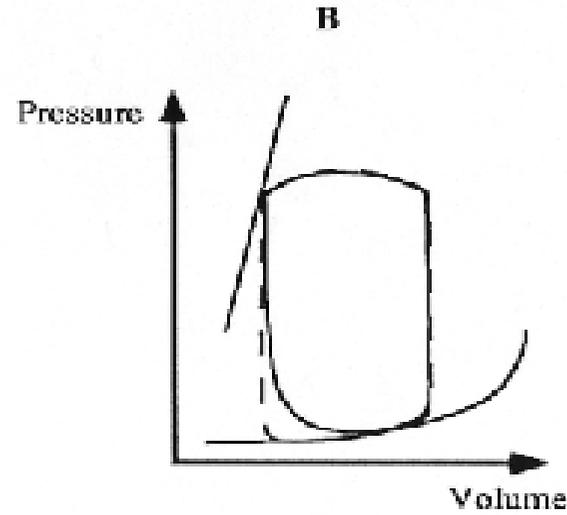




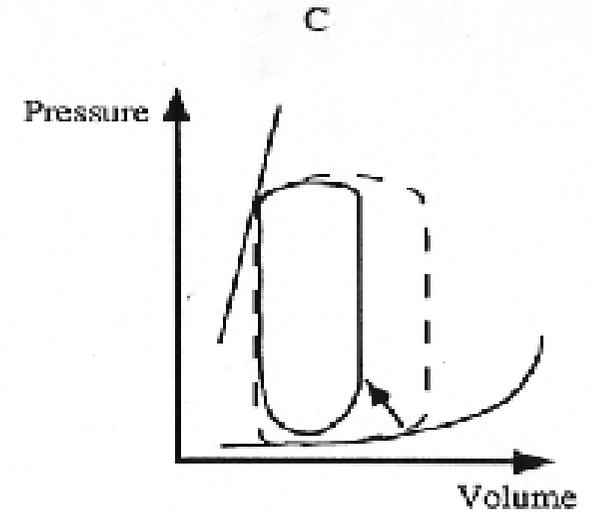
# Anomalie relaxation vs aspect restrictif



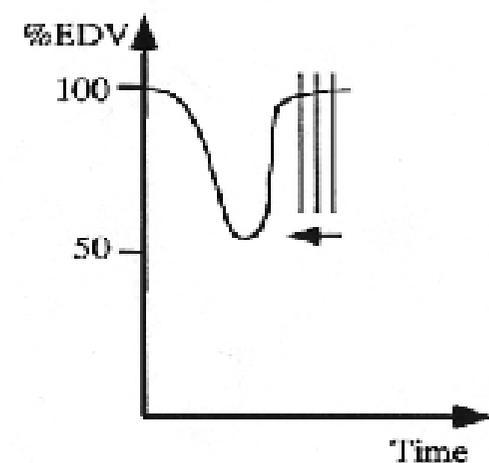
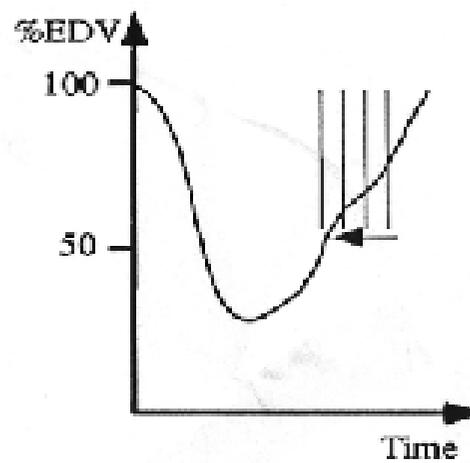
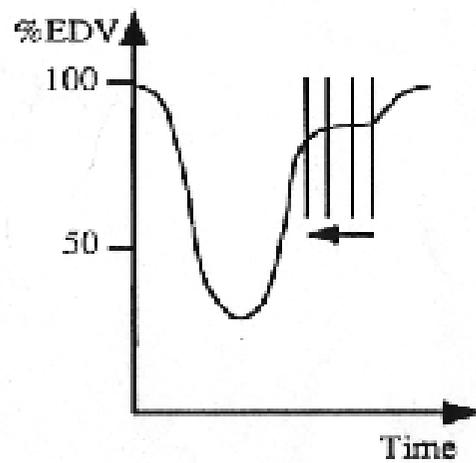
**Normal**



**Impaired relaxation**



**Increased chamber stiffness**



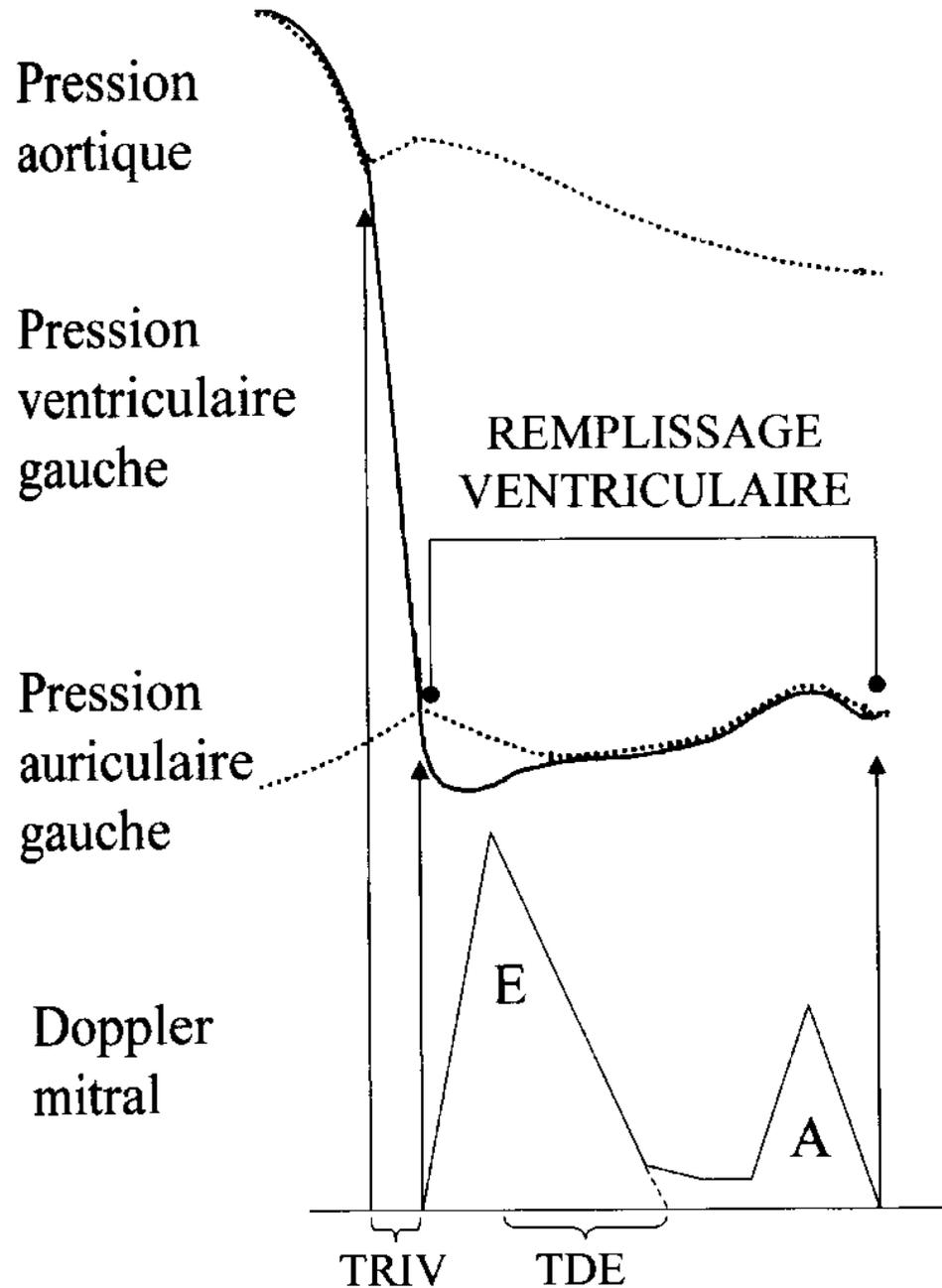
**Figure 4**

# Comment évaluer ?

- I) TRIV et Flux mitral
- II) Flux veineux pulmonaire
- III) Ea : Vitesse déplacement anneau mitral en protodiastole en Doppler tissulaire (DTI)

# I TRIV et Flux Mitral

# PQ TRIV et E/A ?

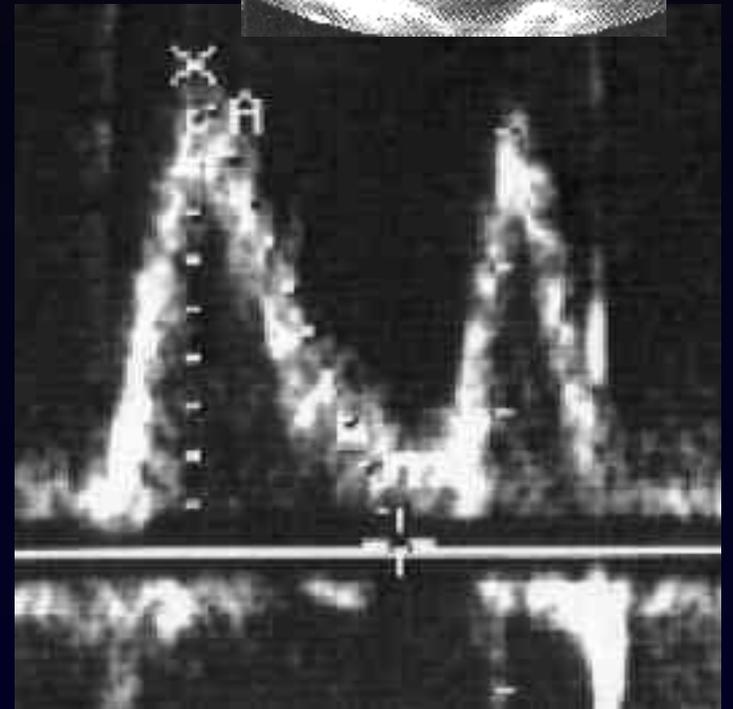
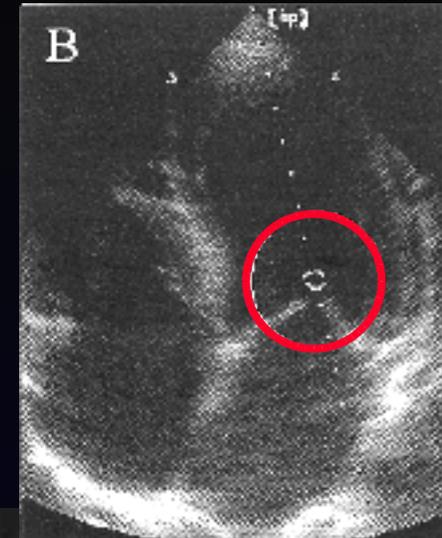


## TRIV : COMMENT MESURER ?

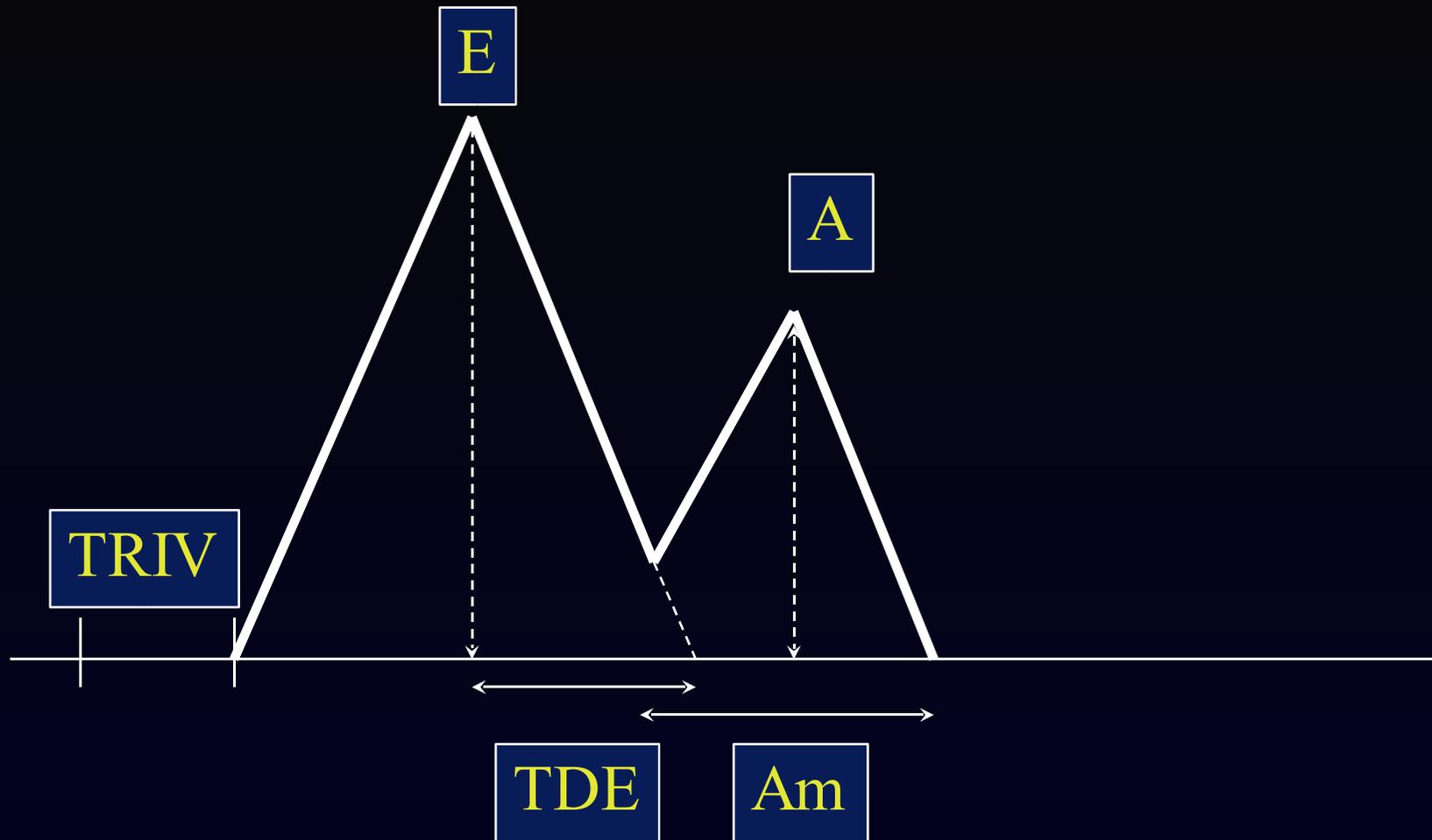
- Apicale
- Doppler continu
- Doppler pulsé  
(enregistrement clic aortique et flux mitral)
- 70 – 90 ms

## FLUX MITRAL : COMMENT MESURER ?

- Doppler pulsé
- Alignement correct (fenêtre apicale)
- Volume de mesure minimum
- **Position: extrémité feuillets mitraux (sauf durée onde A)**
- Défilement 100 mm/s
- Moyenne de 3 mesures (variabilité TDE)



# Flux mitral : que mesurer ?



# Flux Mitral

## Valeurs normales : attention car dépendantes de 'âge

(Appleton et al, J Am Coll Cardiol 1988 ; 12 : 426-40)

### - Temps de relaxation isovolomique

avant 40 ans :  $69 \pm 12$ ms

après 40 ans :  $76 \pm 13$ ms

#### Normales:

- E/A = 1 - 2
- TDE = 150-220 ms
- TRIV = 60 - 100 ms

- vitesse maximale E :  $86 \pm 13$  cm/s

- vitesse maximale A :  $56 \pm 13$  cm/s

- rapport E/A :  $1.6 \pm 0.4$

- temps de décélération E :  $199 \pm 32$  ms

# Etude du remplissage ventriculaire VG

## Facteurs qui influencent E/A et TDE

- Age
- Fréquence cardiaque
  
- Relaxation ventriculaire gauche+++
- Compliance ventriculaire gauche+++
- Condition de charge+++
- Valvulopathie mitrale
  
- Bloc de branche gauche

# Flux Mitral et Age

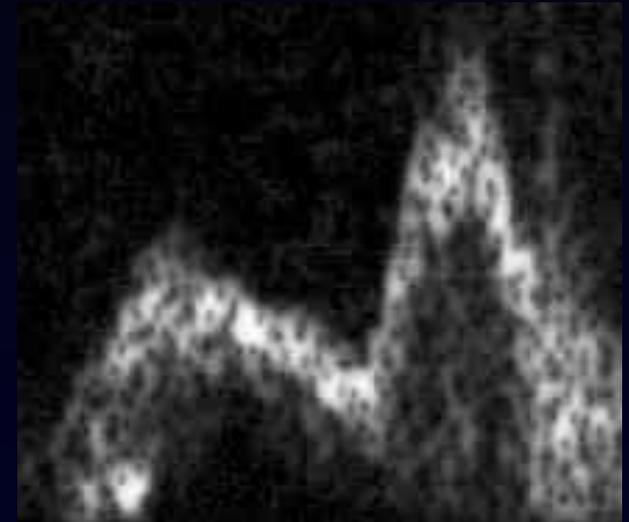
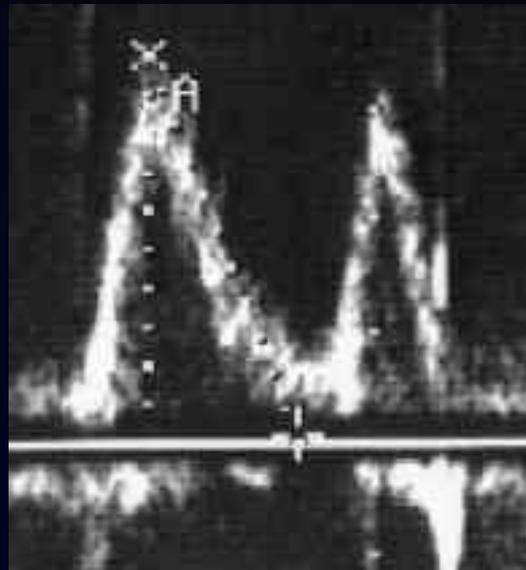
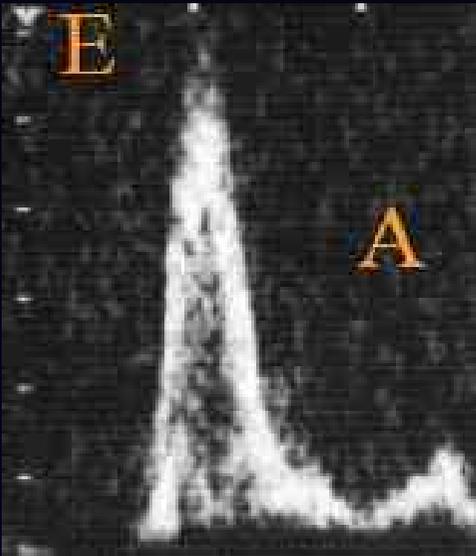
- Sujet jeune

↗ E, ↘ A, ↗ E/A  
↘ TDE

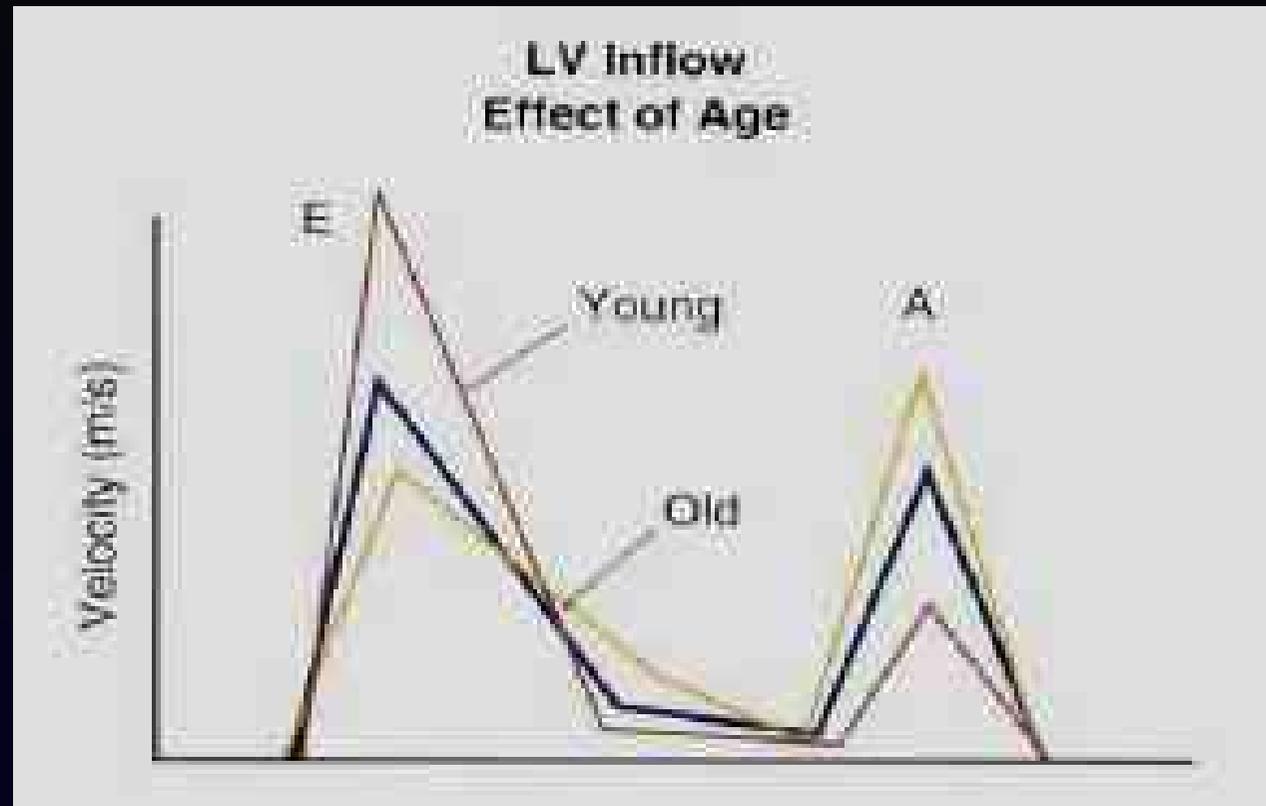
Rapport E/A < 1 chez 85% des  
sujets > 70 ans (Sagie et al. JASE 1993)

- Sujet age moyen

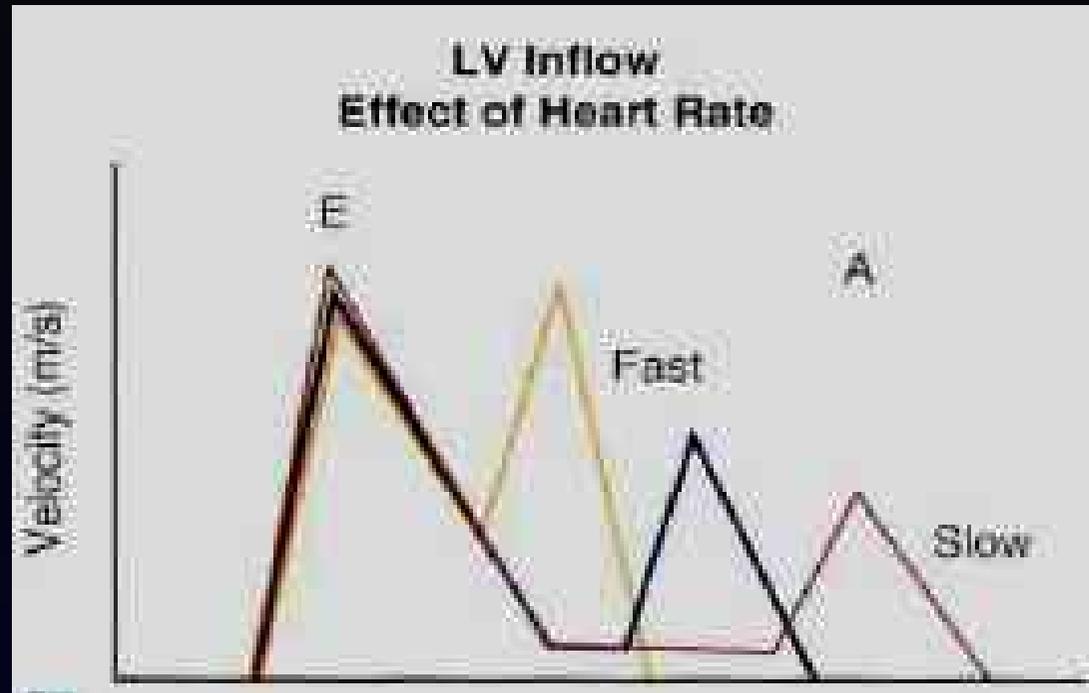
Sujet âgé



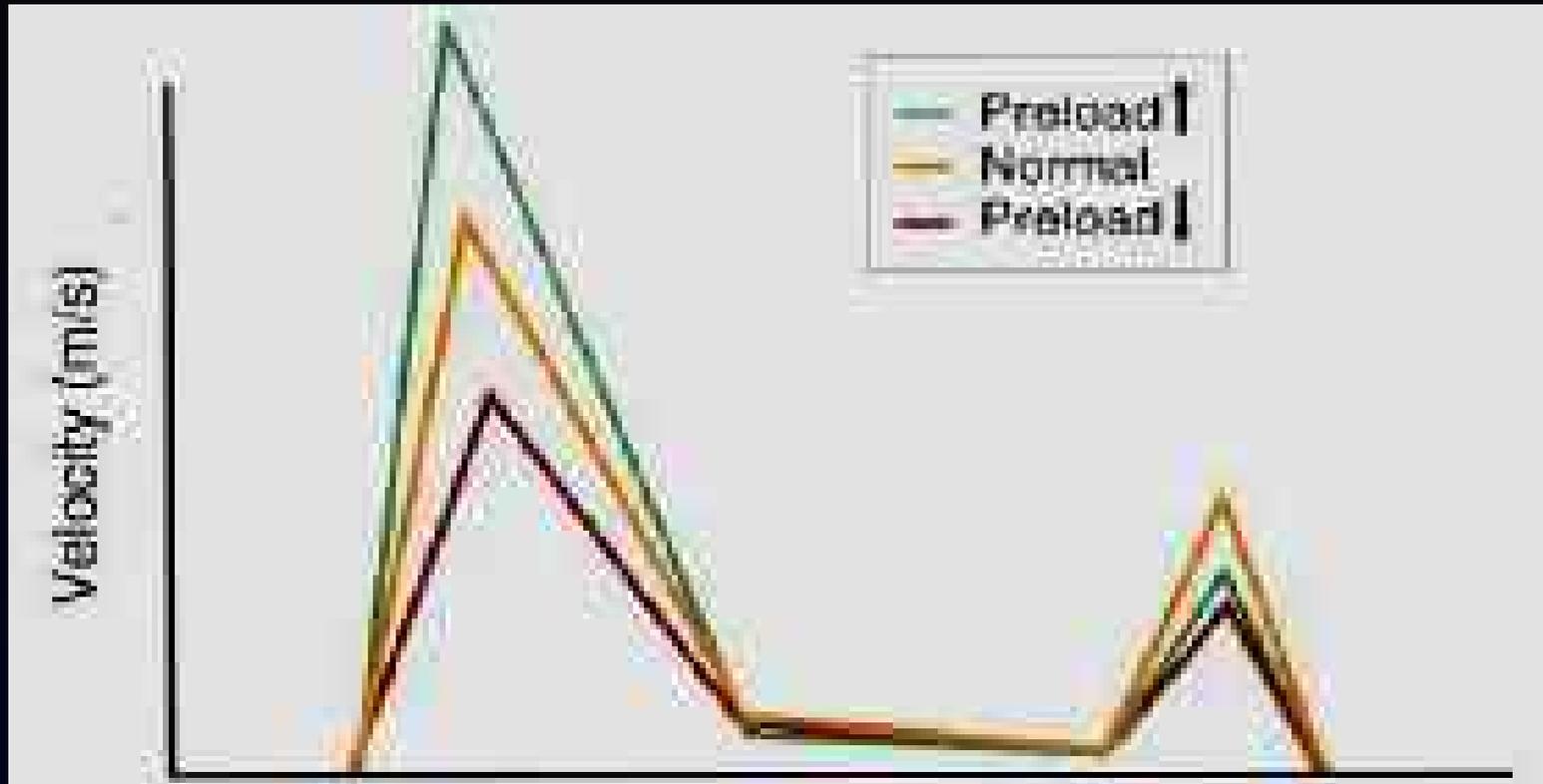
# Influence âge



# Influence fréquence cardiaque



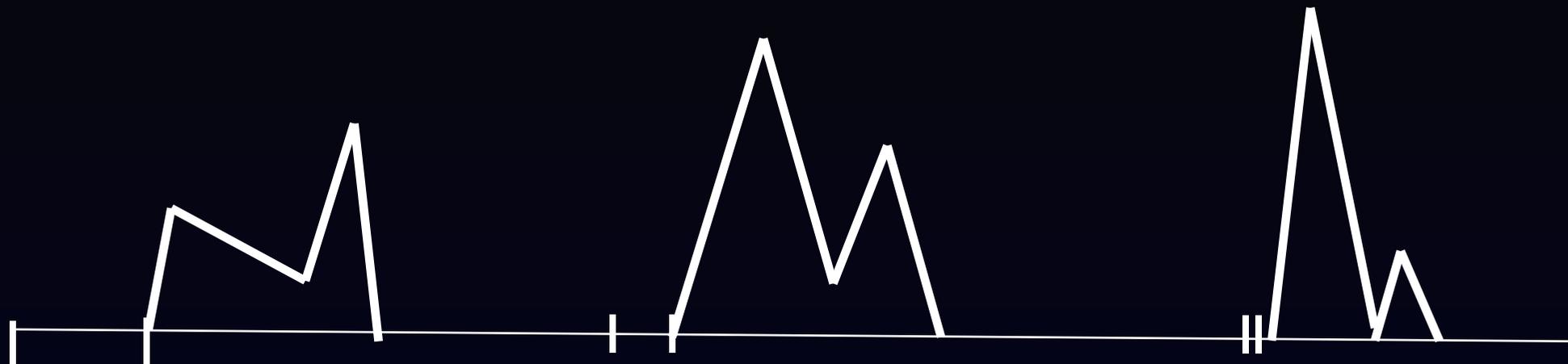
# Influence précharge



**Anomalie  
relaxation**

**Normal**

**Anomalie  
compliance**



**Allongement TRIV**  
**Abaissement E et E/A**  
**Allongement TDE**

**Raccourc. TRIV**  
**Elevation E et E/A**  
**Diminution TDE**

**Type I**

**Type II**

**Type III**

**Flux mitral**



E

A

**Normal**



*D'après Appleton et al*

## II Flux veineux pulmonaire

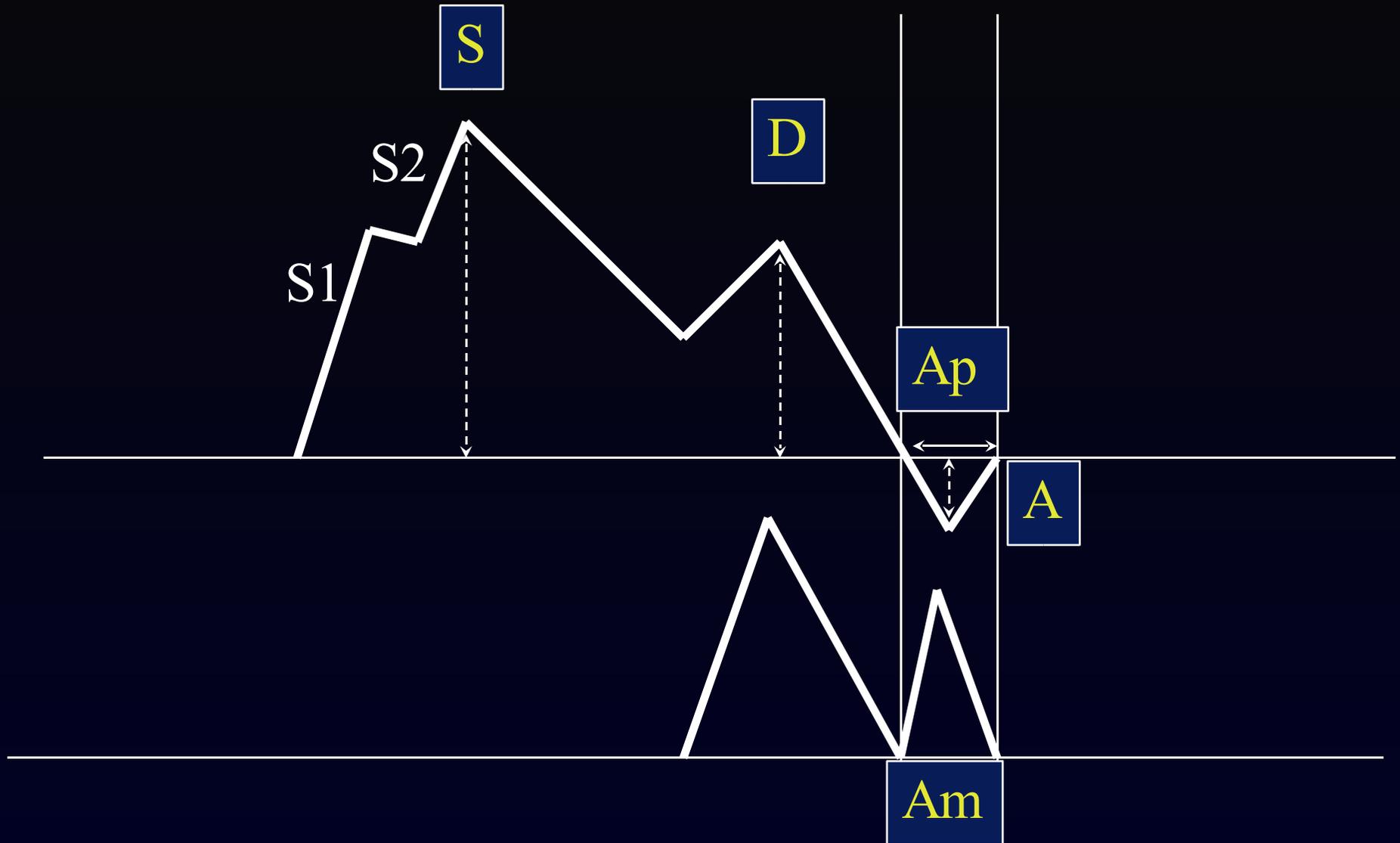
# Flux veineux pulmonaire : comment mesurer ?



- **4C-Angulation supérieure**
- **Volume mesure minimum**
- **1 à 2cm dans VP**
- **gains minimum**
- **filtres minimum**
- **défilement 100mm/s**
- **faisabilité en ETT:**
  - S et D : 70 à 95%
  - Ap : 40 à 90%
  - durée de Ap difficile +++
- **reproductibilité Ap (Yamamoto 97)**  
**10 ± 8ms (inter)**



# Flux veineux pulmonaire : que mesurer ?



**Type I**

**Type II**

**Type III**

**Flux mitral**

E

A

**Flux VP**

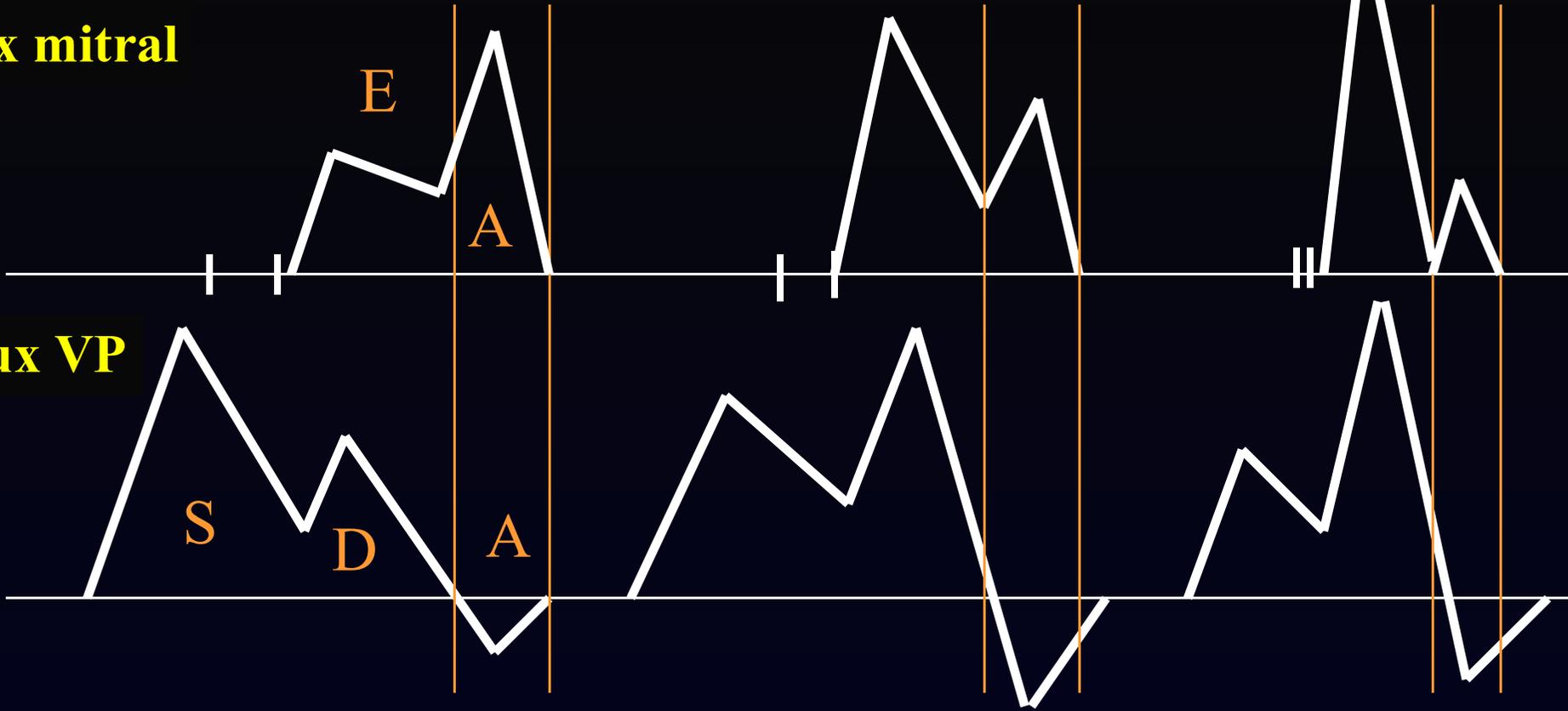
S

D

A

**Inversion S/D**  
**Augm vit et duree flux retrograde**

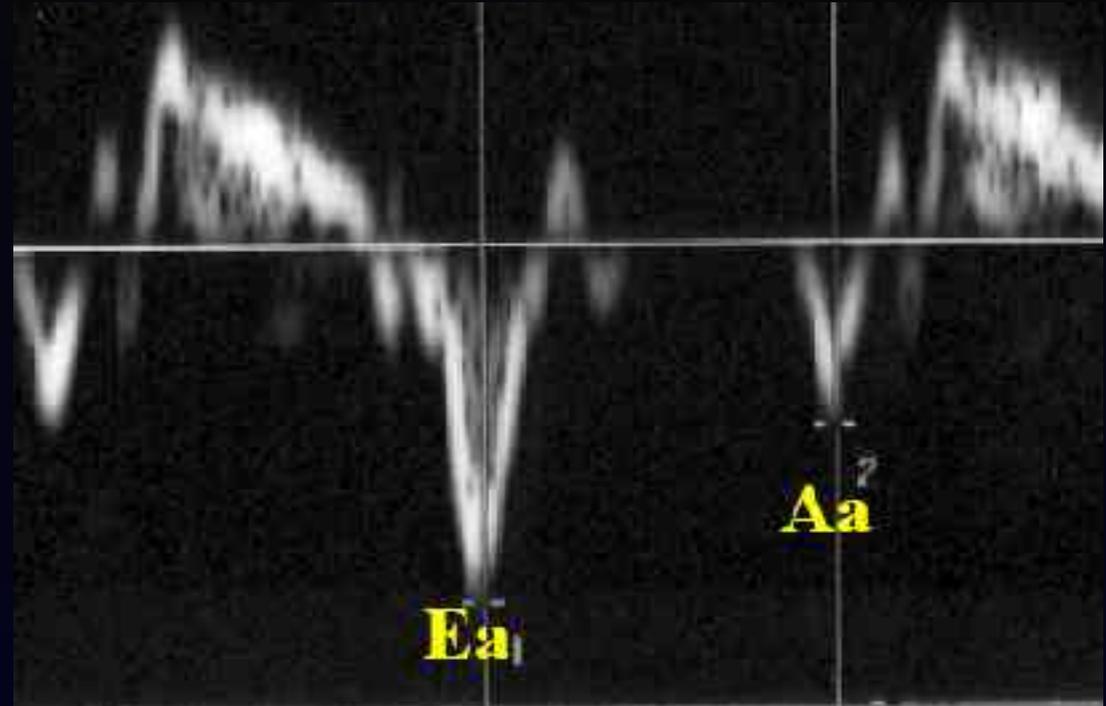
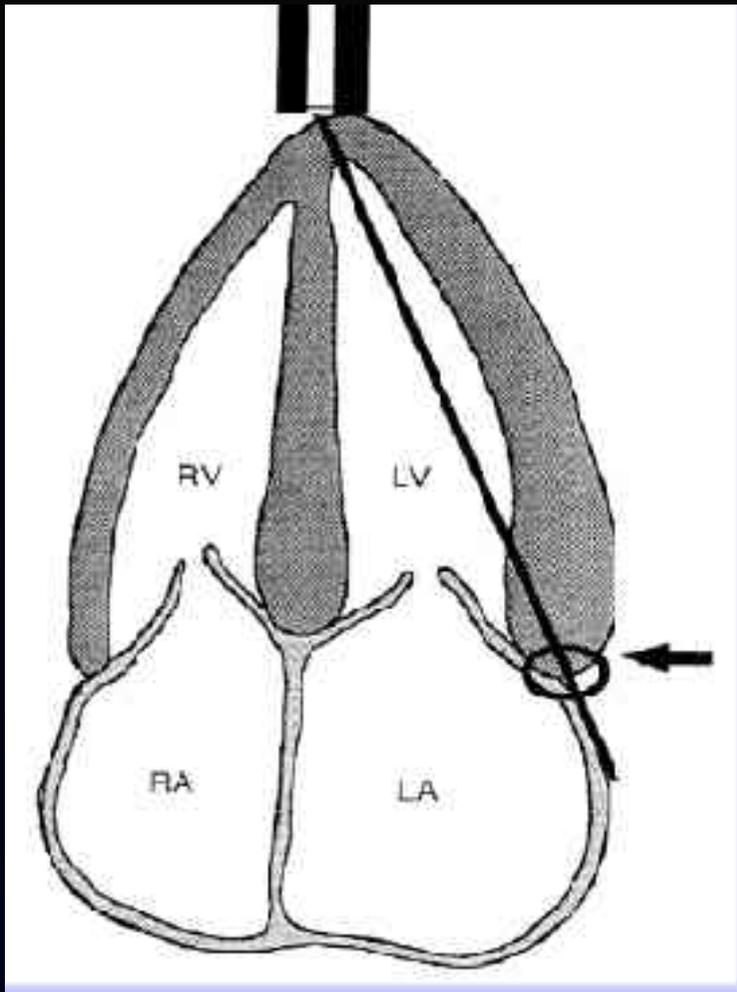
*D'après Appleton et al*



**IV Vitesse de déplacement Ea de l 'anneau  
mitral en protodiastole  
(Doppler tissulaire)**

## Valeurs normales

$Ea > 8 \text{ cm/s}$  et  $Ea / Aa > 1$

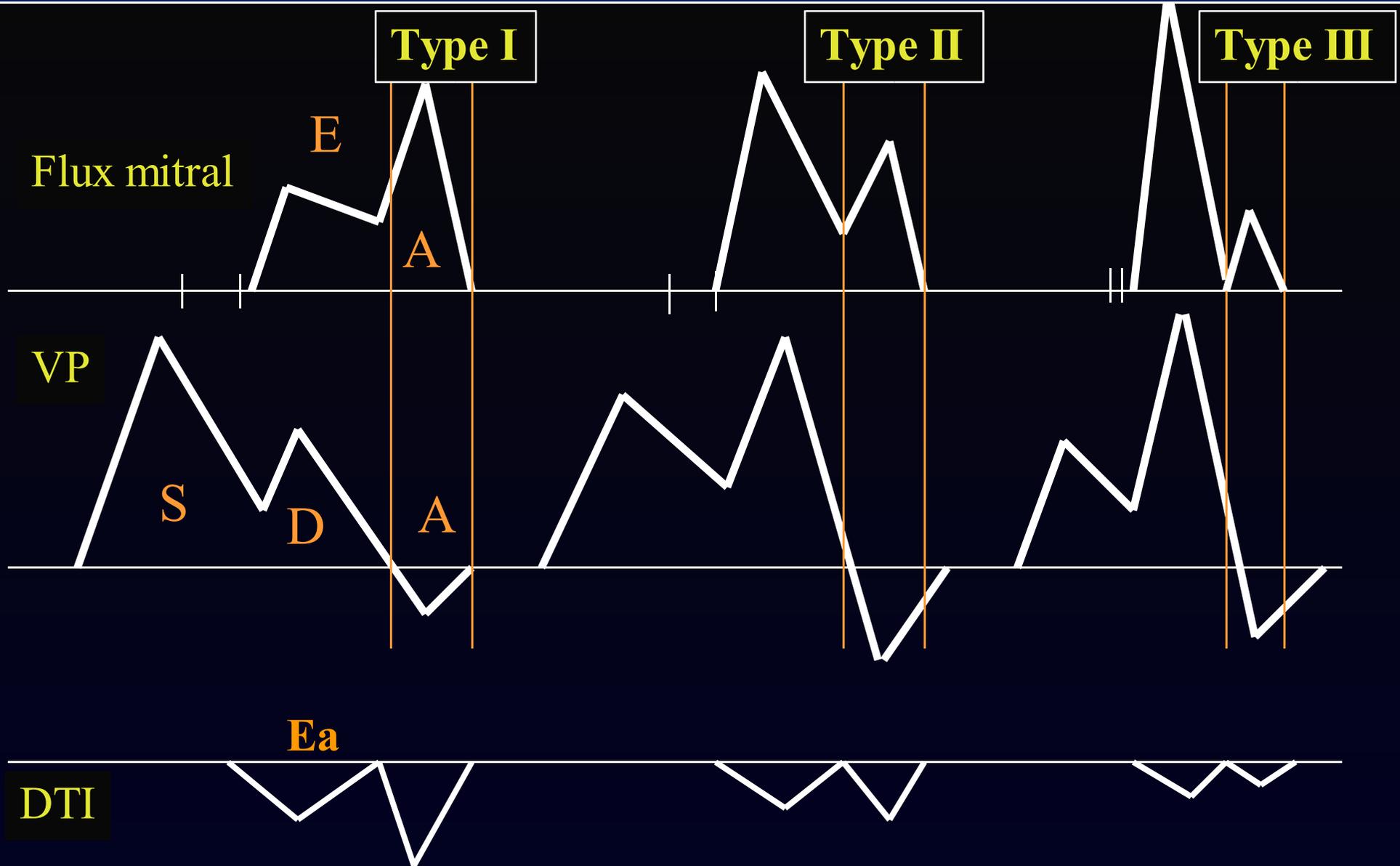


- Doppler tissulaire (DTI) mode pulsé
- Anneau mitral (septale, latérale)
- Filtres au minimum

# VITESSE DE DEPLACEMENT DE L'ANNEAU MITRAL EN PROTODIASTOLE EN DTI (Ea) : INTERETS

- Reflète l'allongement des fibres dans le plan longitudinal
- **Indice de relaxation** :  $Ea < 8 \text{ cm/s}$  en faveur anomalie relaxation
- **Indice peu dépendant de la précharge** : absence de variations significatives de  $Ea$  après trinitrine ou remplissage d'après Sohn et al. (JACC 1997)
- **Intérêts  $Ea$ :**
  - distinction entre flux mitral normal ( $Ea$  normal) et flux mitral pseudo-normal avec  $Se$  88% et  $Sp$  67% (Sohn et al. JACC 1997)
  - distinction entre PCC ( $Ea$  normal) et CMR ( $Ea$  abaissé) (Garcia et al. JACC 1996)
- **Limites** : invalide en cas de trouble de la cinétique de la zone analysée

# Diagnostic du type de dysfonction diastolique



# Indices de fonction systolique et diastolique du VG

L'évaluation de la fonction cardiaque passe par l'évaluation de la fonction systolique et diastolique du ventricule gauche.

Bien qu'il soit important de tenter de mesurer les indices de fonction VG, ces indices ne sont qu'une facette de l'évaluation hémodynamique et doivent toujours être évalués en fonction des autres variables ainsi que des thérapeutiques utilisées.

# 左室流入血流速波形

## ① 左室流入血流速

