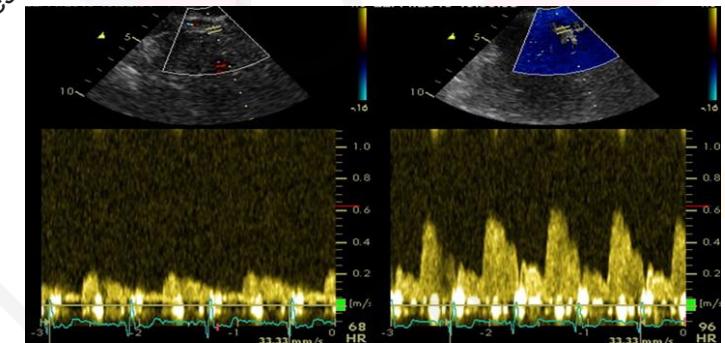
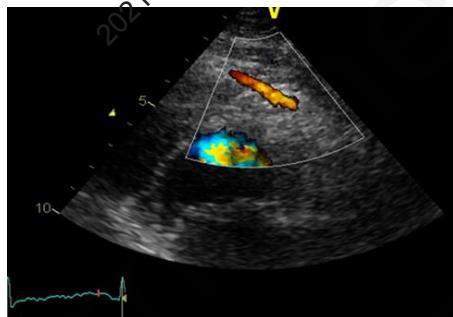


Groupe Imagerie

ÉVALUATION DE LA PERFUSION MYOCARDIQUE : QUELLE MODALITÉ

Principes et techniques de la mesure du flux et de la réserve coronaire En échocardiographie

Meimoun Patrick
CH Compiègne





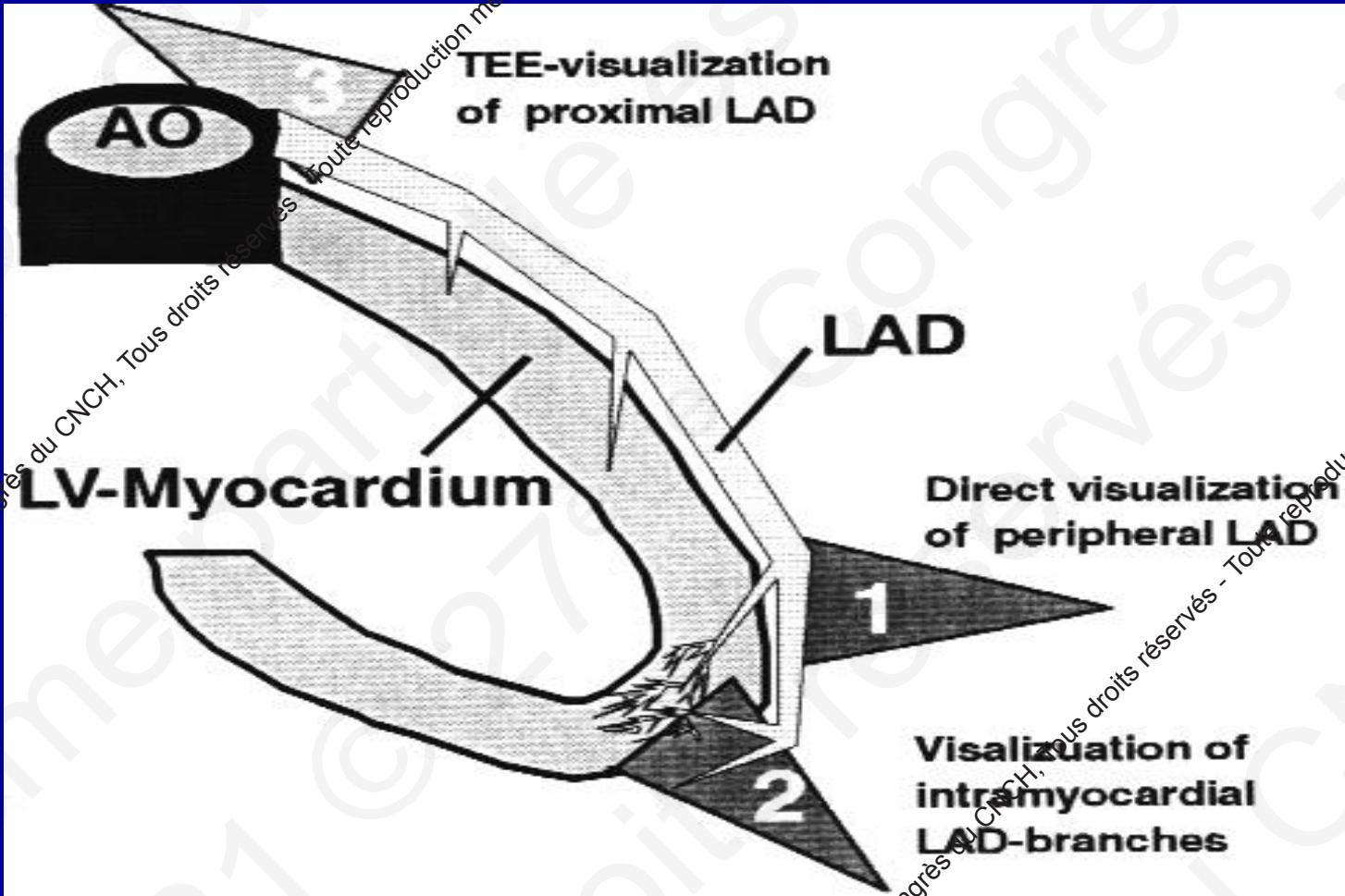
27^{ème}
Collège
National des
Cardiologues des
Hôpitaux

Jeudi 25 et Vendredi 26 novembre 2021
Novotel Paris Centre Tour Eiffel

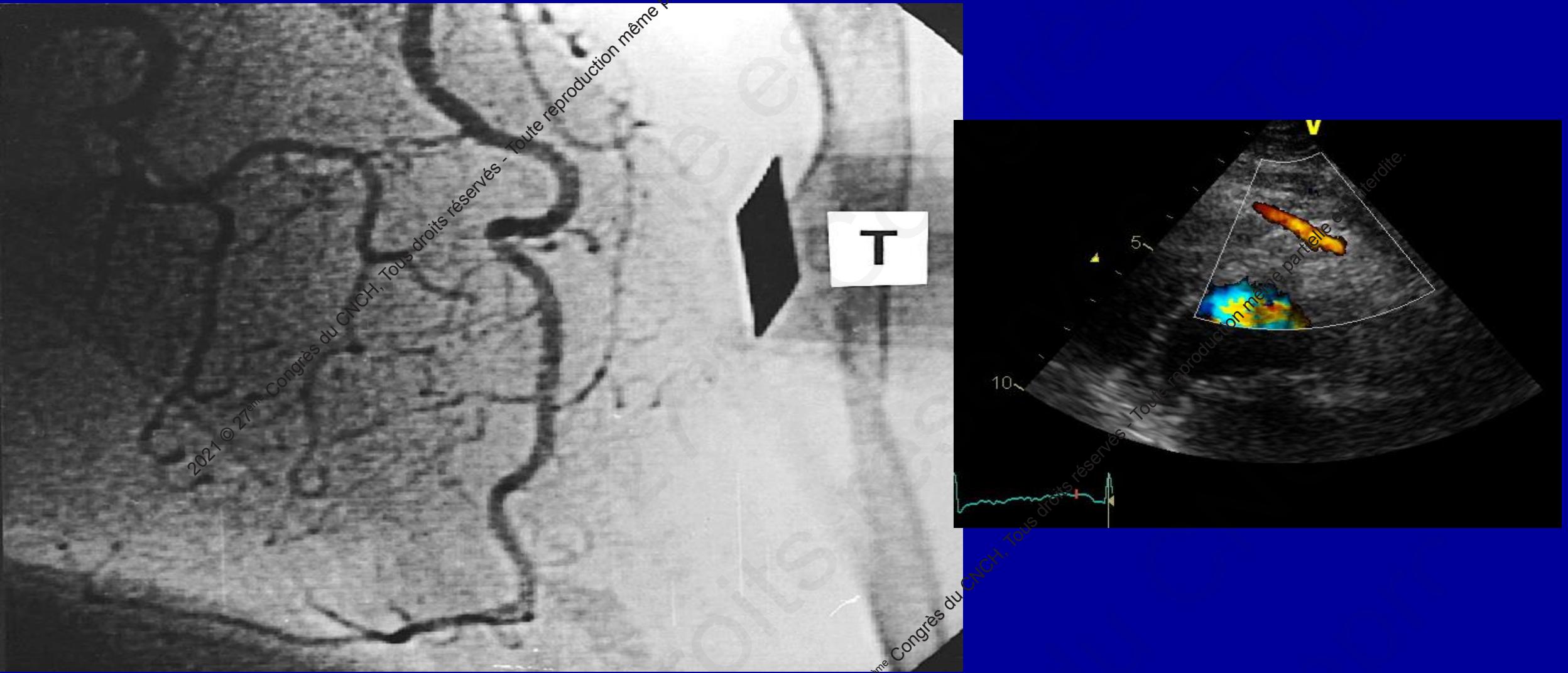
Orateur : Patrick Meimoun, CH Compiègne

- Je n'ai pas de lien d'intérêt potentiel à déclarer

Différentes portions d'IVA analysables



IVA distale



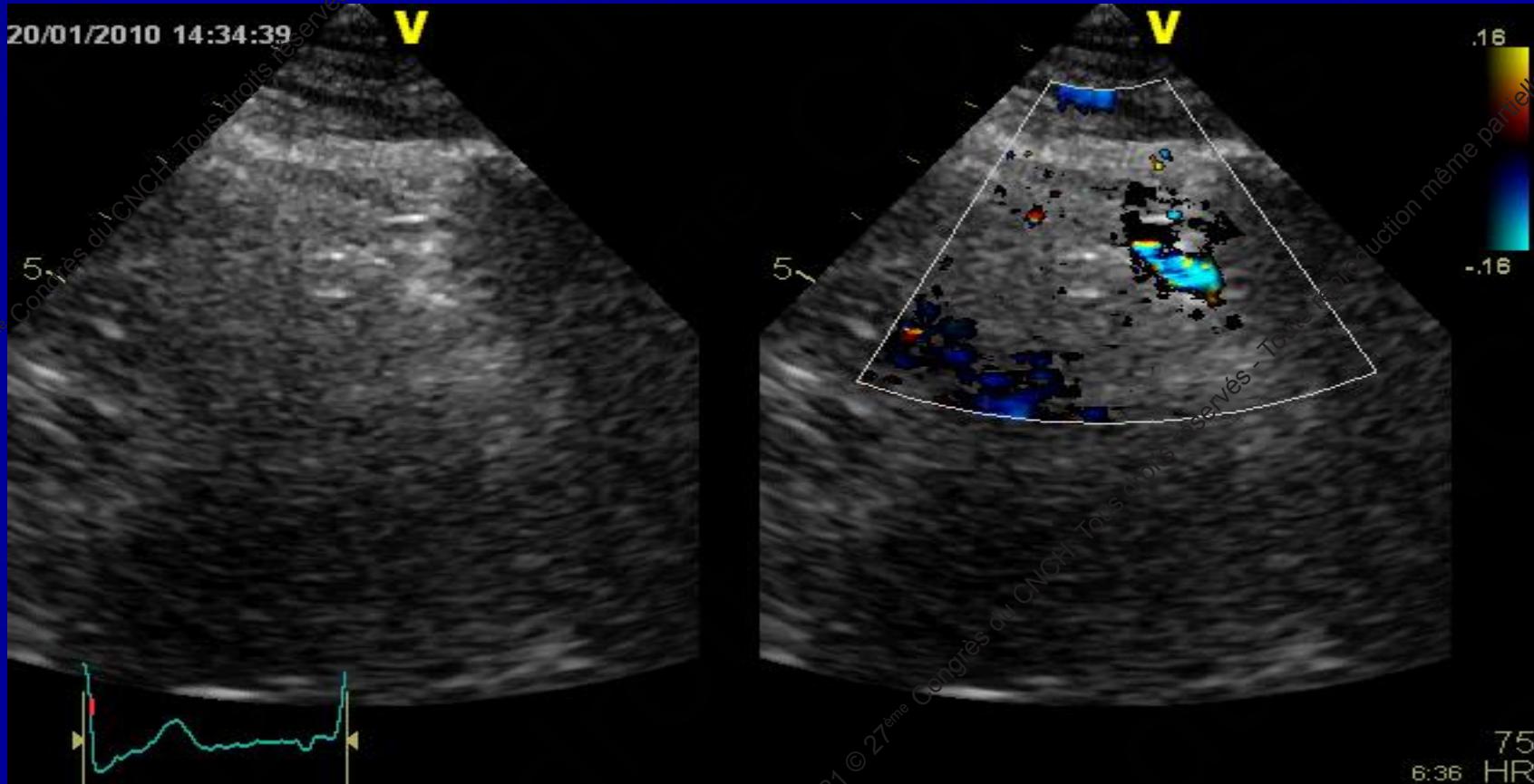
2021 © 27^{ème} Congrès du CNQH. Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.

IVA distale

Parasternale modifiée

Sonde multifréquence (3V2C, M5S) ou haute fc (7 MHz)

Échelle de vitesse basse en Doppler couleur



Exploration de l'artère IVP par Échographie transthoracique

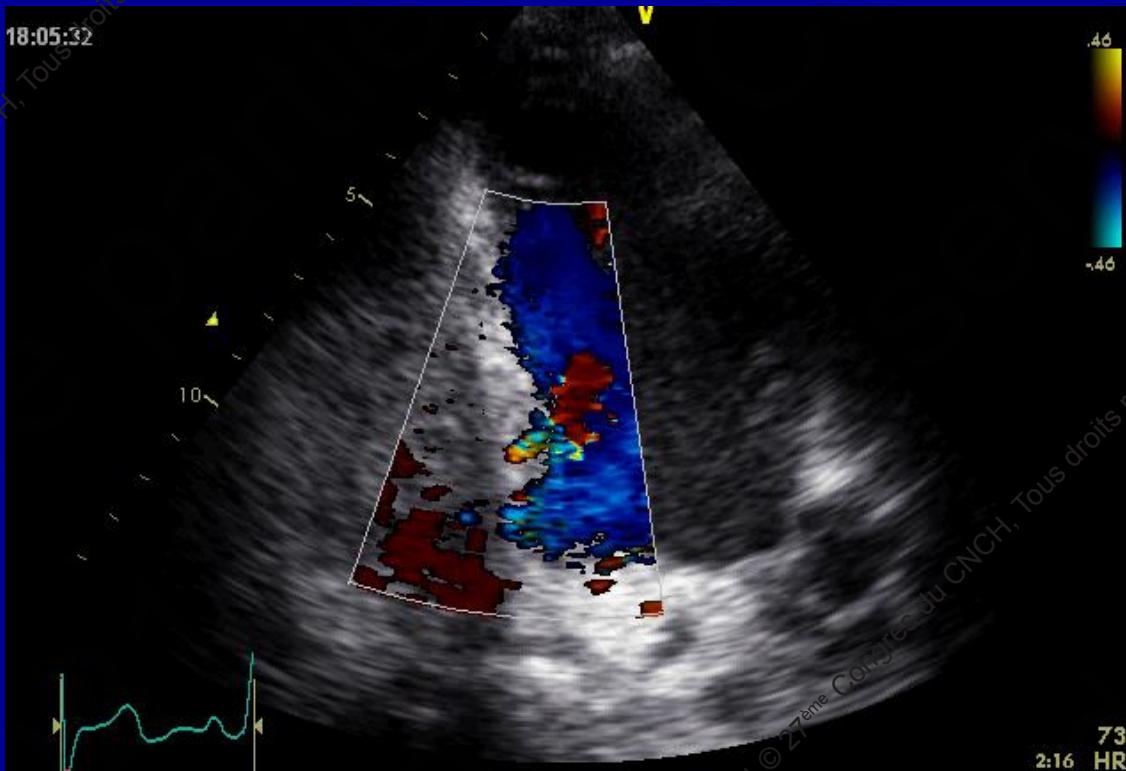
Artère profonde (sonde M5S)

Incidence 2 cavités modifiée

sinus coronaire: repère

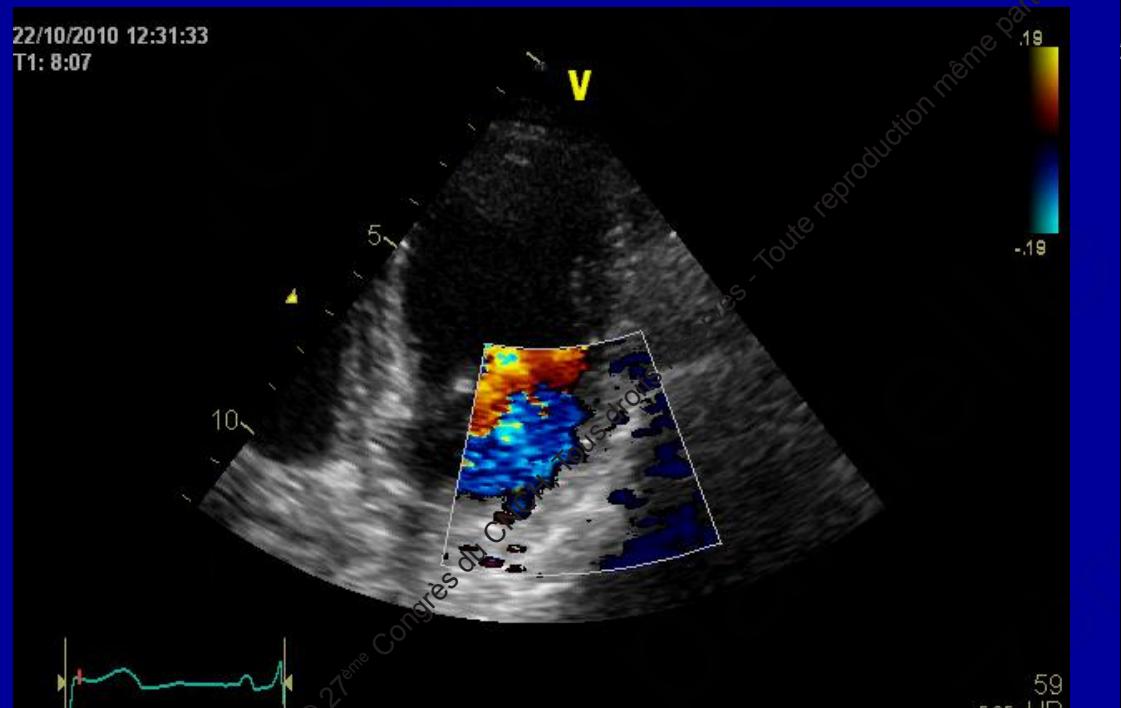
parallèle au flux Doppler

notion de dominance coronaire

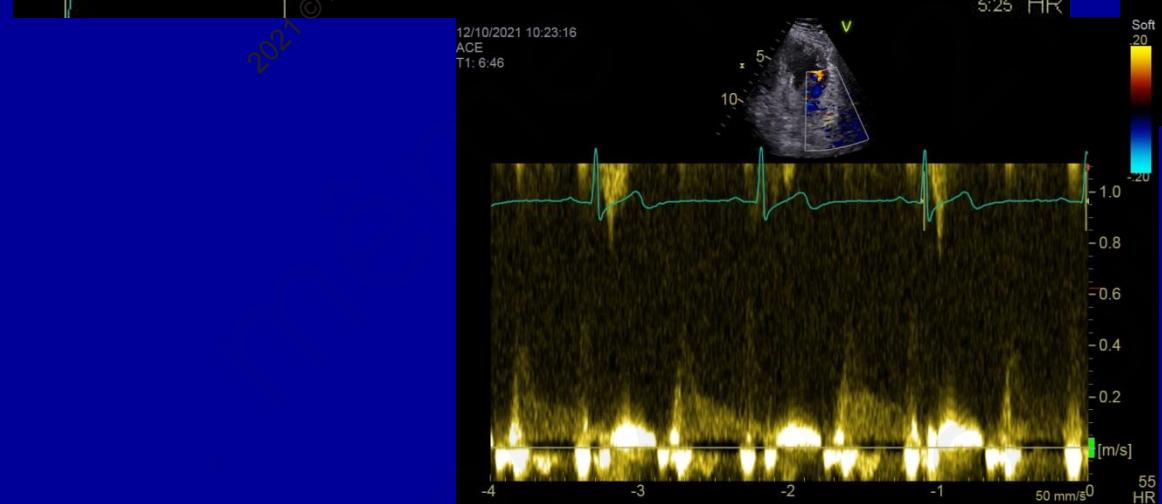
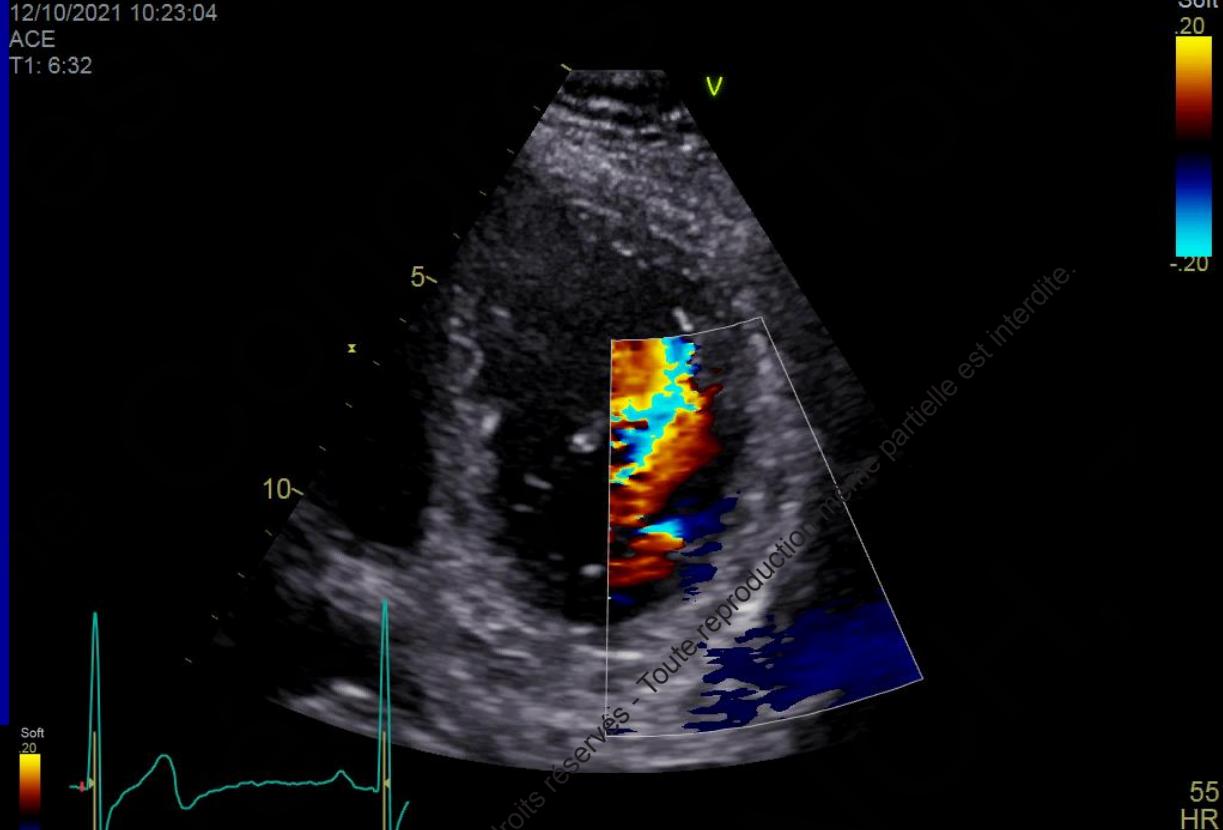


artère circonflexe et branches

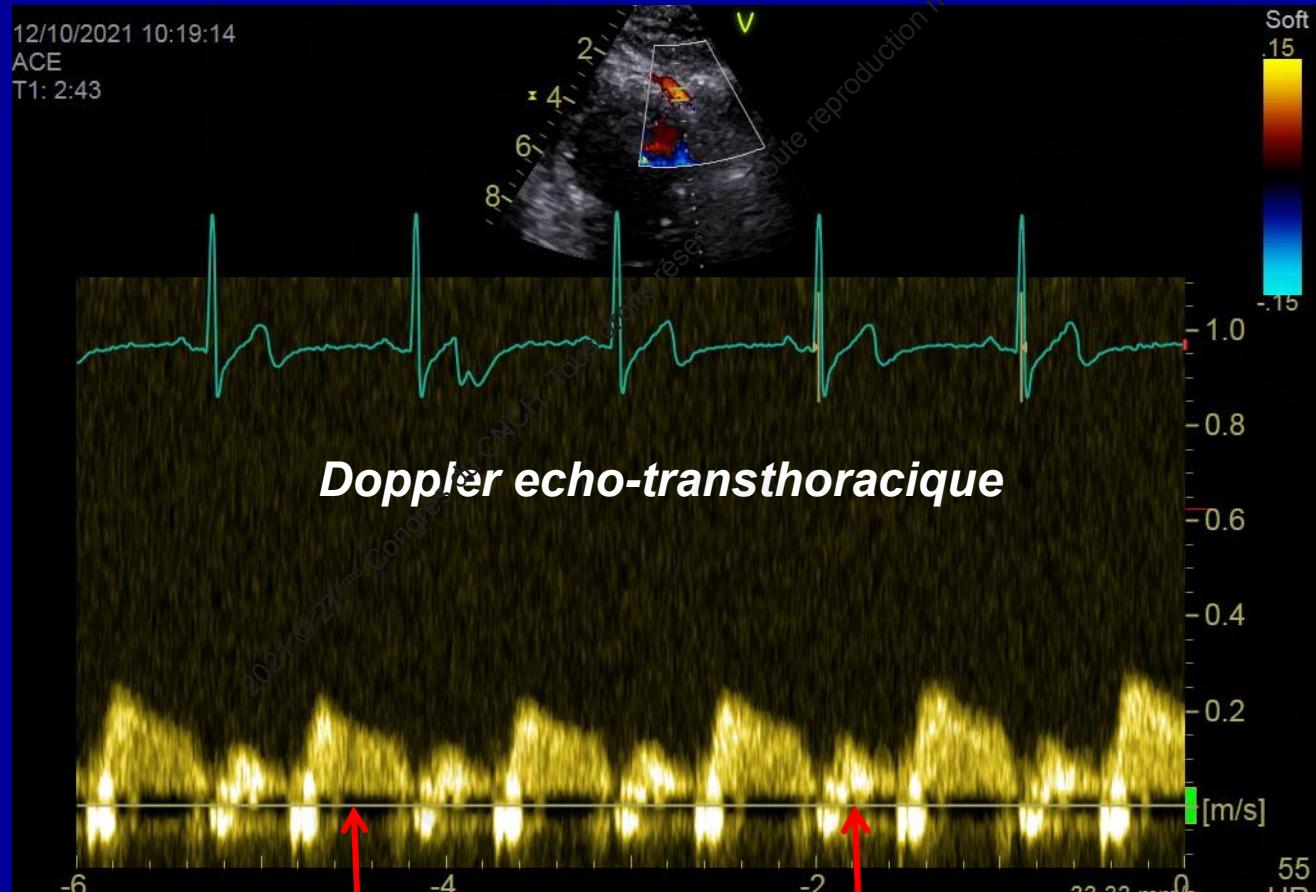
22/10/2010 12:31:33
T1: 8:07



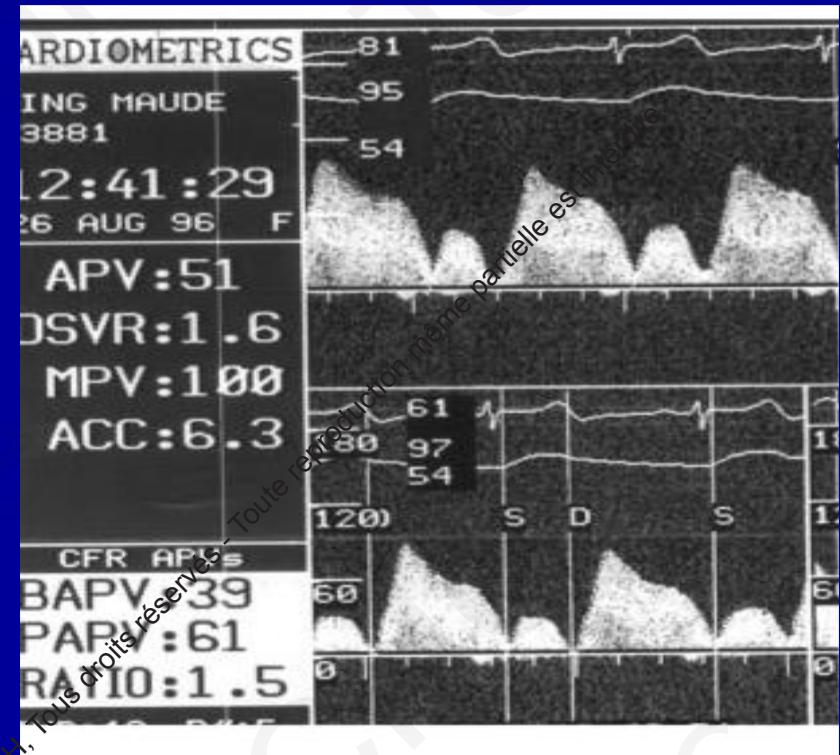
12/10/2021 10:23:04
ACE
T1: 6:32



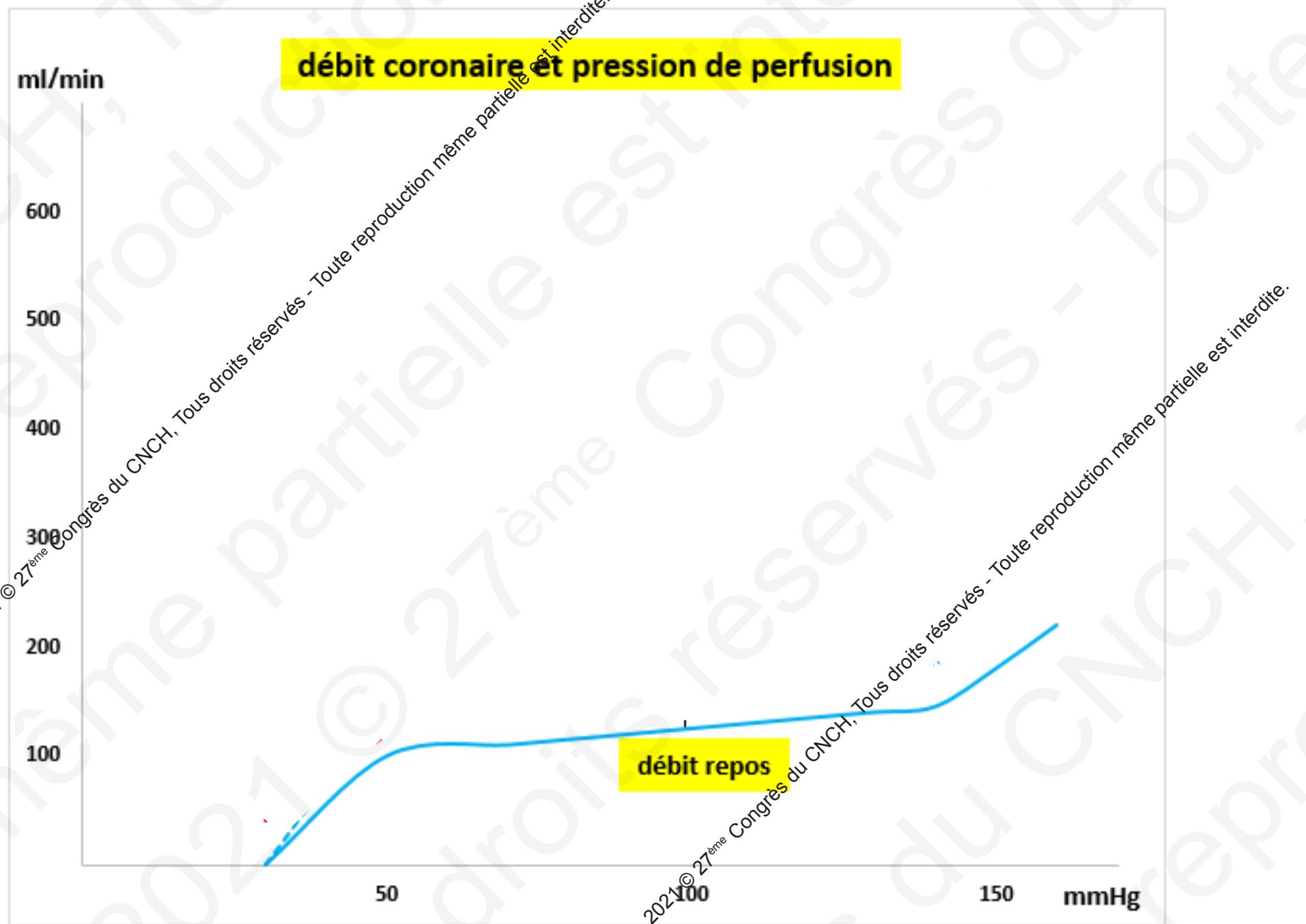
Flux Doppler pulsé coronaire

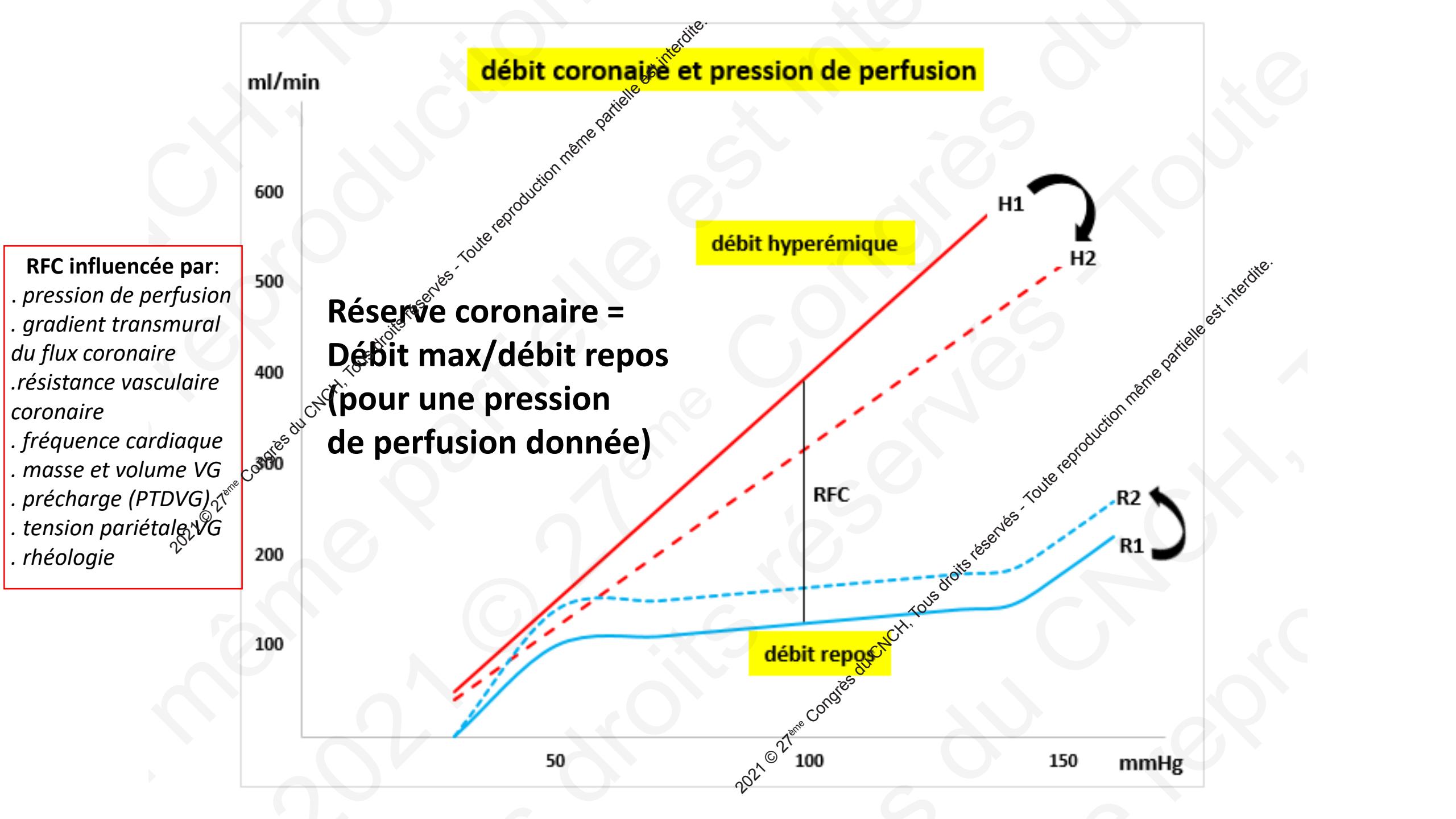


Flux diastolique Flux systolique



Doppler invasif





vasodilatateurs pour mesurer la réserve coronaire

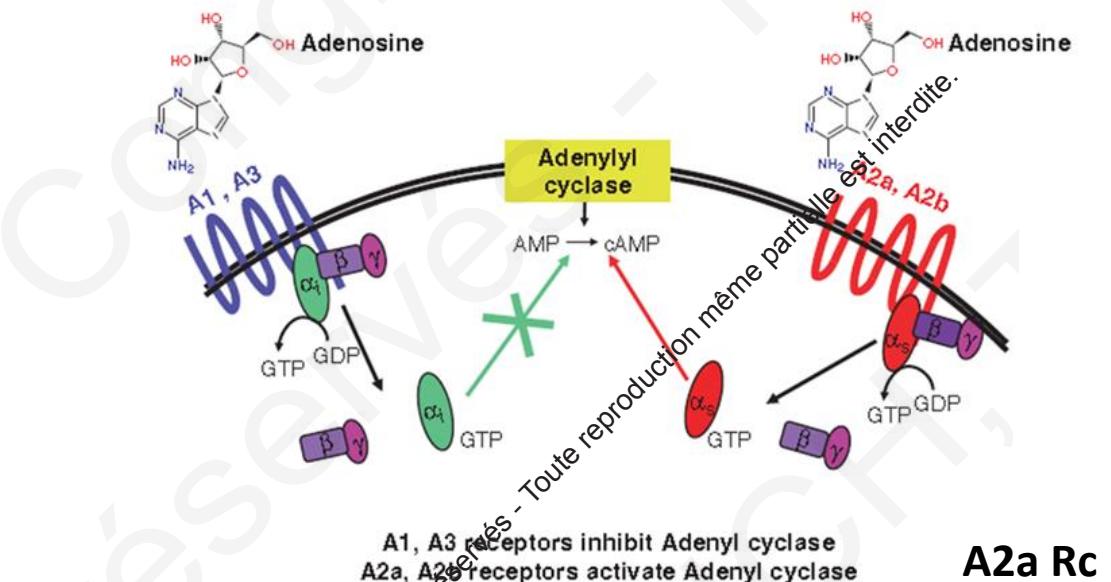
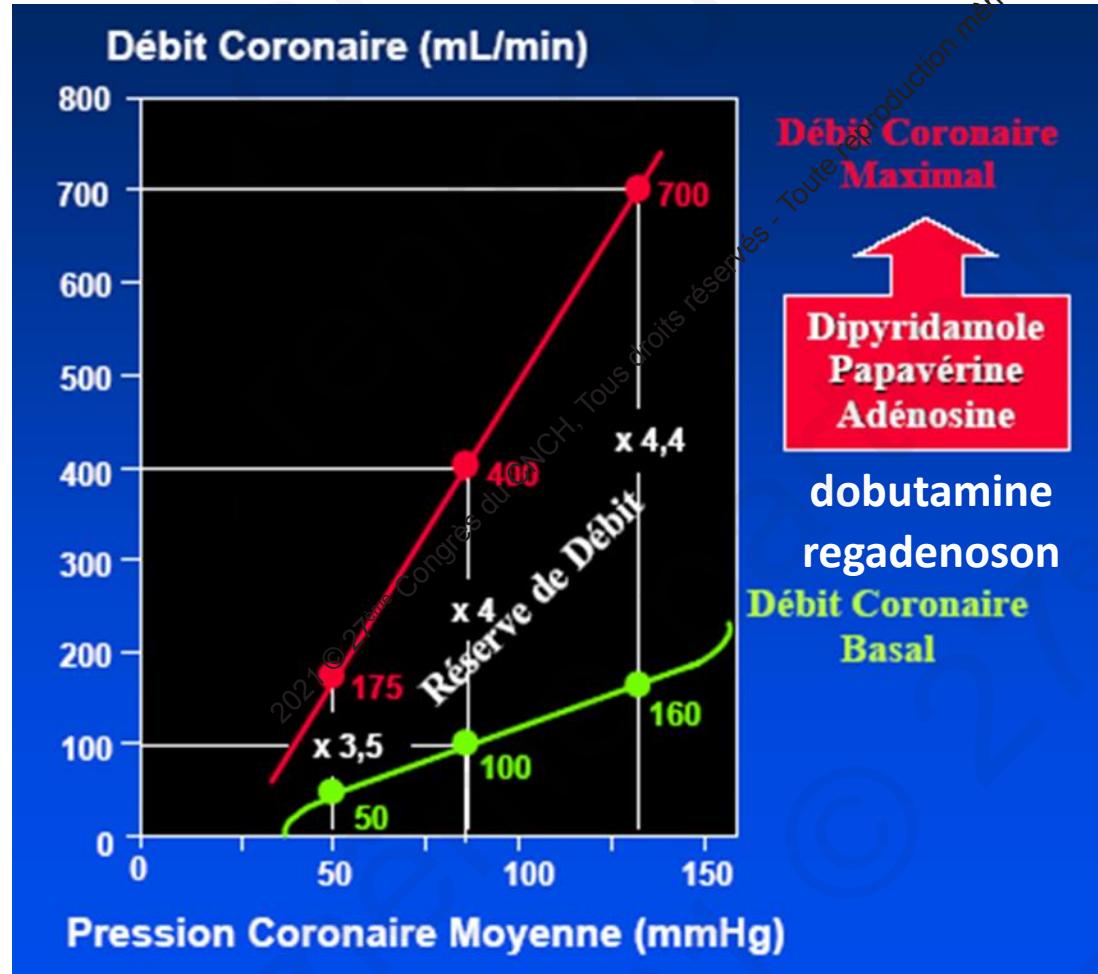


Fig. 14.1 The molecular structure of adenosine receptors

Adénosine intraveineux
(140 µg/kg/min sur 2 min)



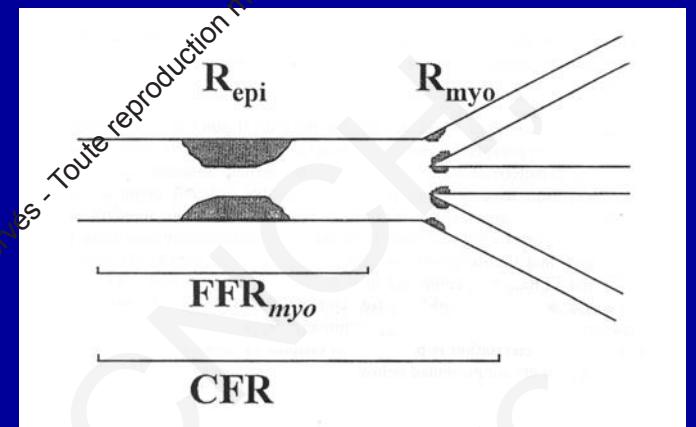
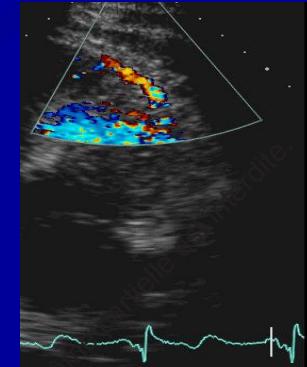
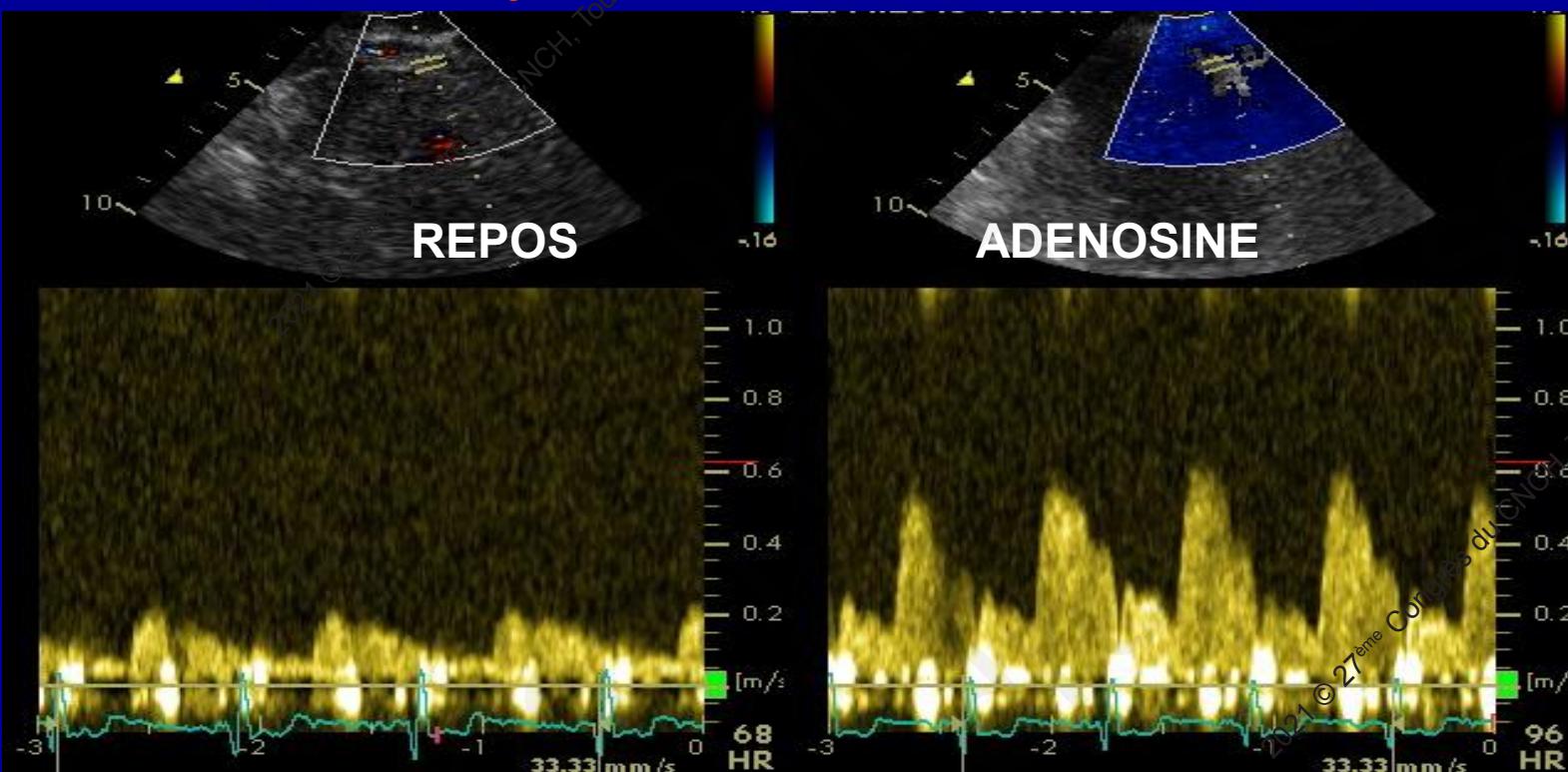
Branchement accès veineux pour la RFC

adénosine:

- . Robinet à 3 voies directement à la sortie du KT**
- . Branchement direct de la seringue graduée en ml contenant l'adénosine**
- . Accès latéral, perfusion de sérum physiologique**

Mesure de la Réserve Coronaire par Echographie Doppler Transthoracique

- Calcul de la réserve du flux coronaire: RFC
- $RFC = V \text{ hyperémie} / V \text{ repos}$
- V :Vitesse de flux coronaire
- V_{max} ou V moyenne



RFC= évaluation globale:
artère épicardique
+ microcirculation coronaire

Two-Compartment Model of the Coronary Circulation



Conductance Arteries

Resistance Arteries

$>500 \mu$

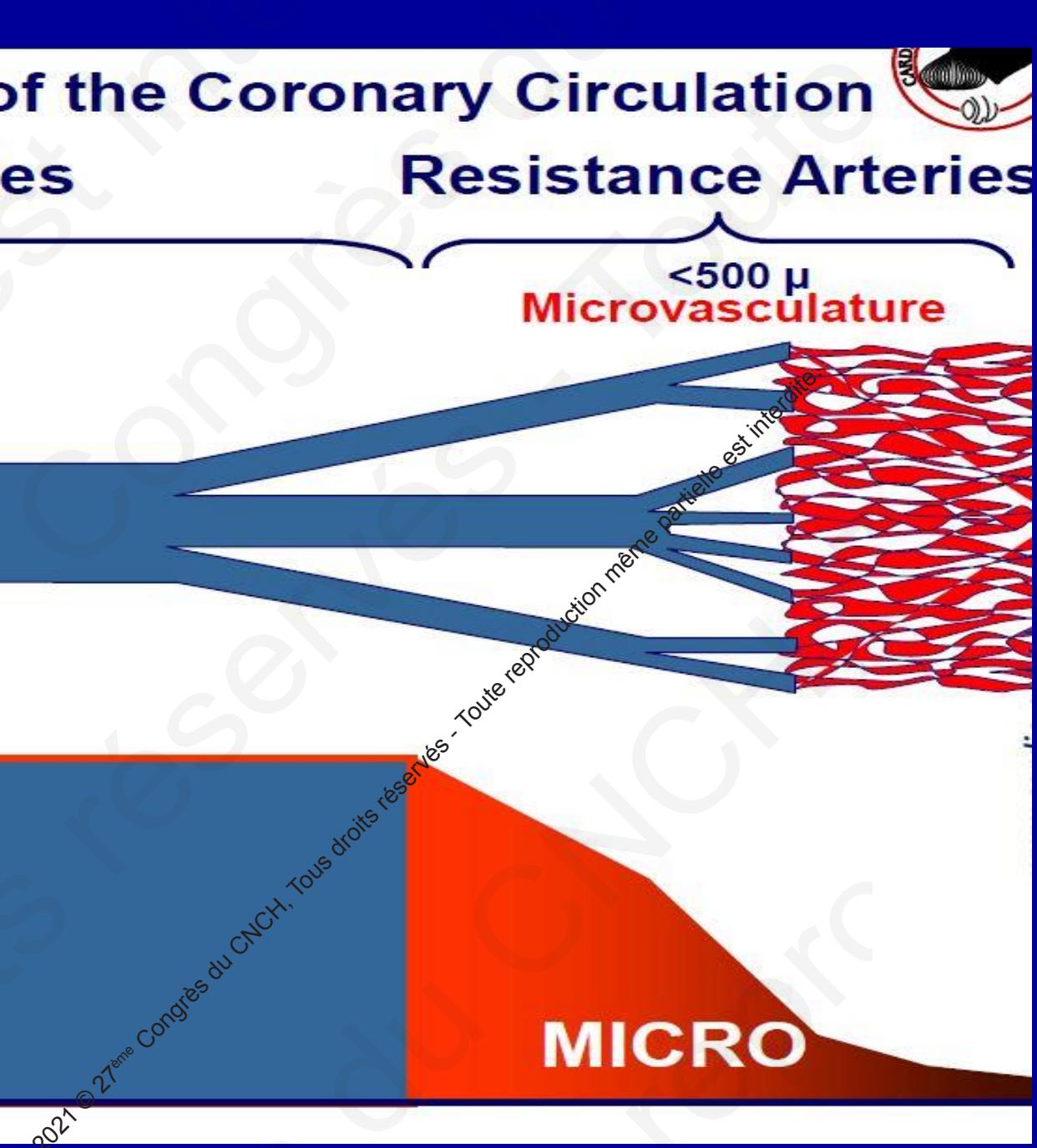
$<500 \mu$
Microvasculature

P_a
100

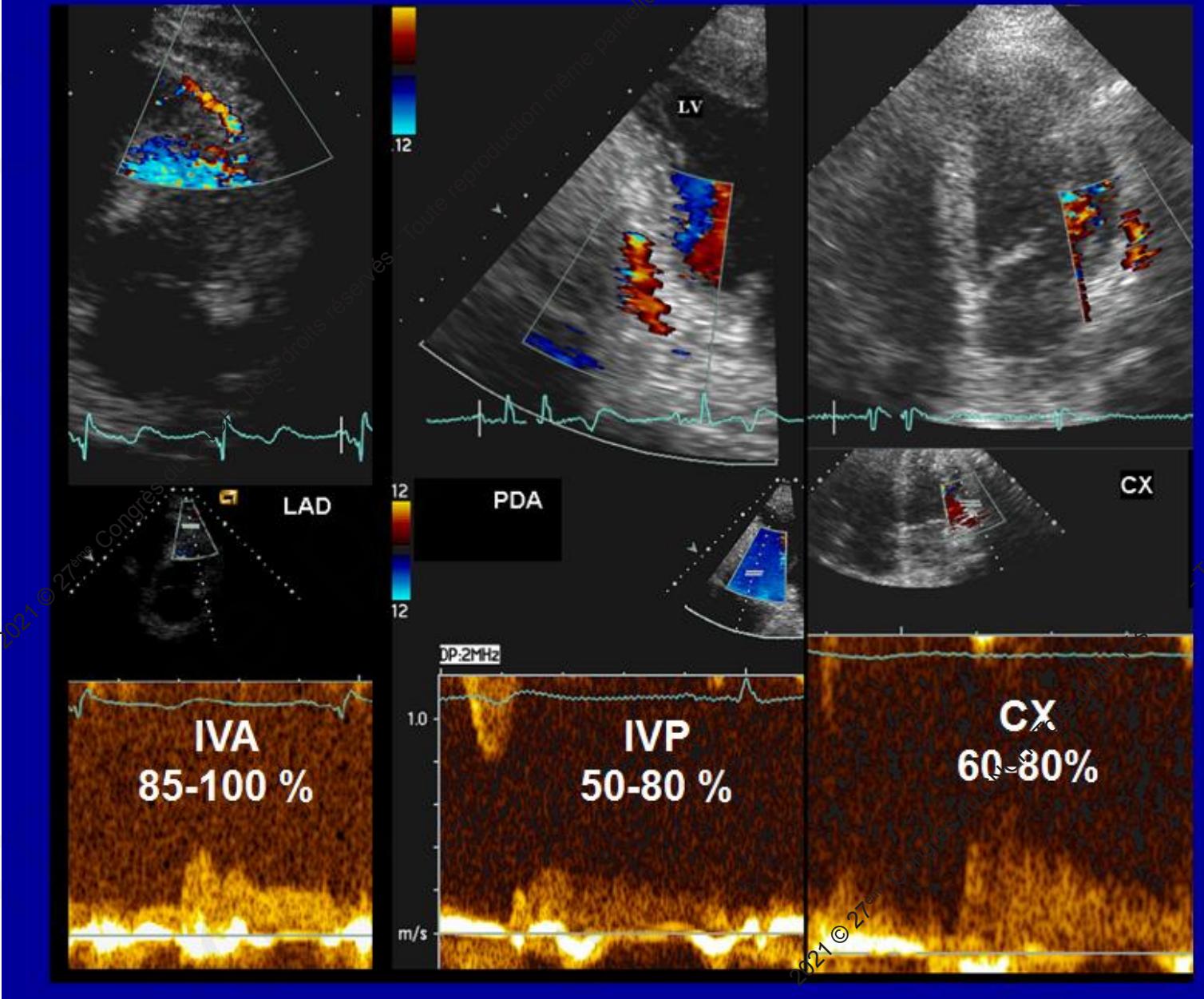
MACRO

MICRO

2021 © 27^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.



FAISABILITE DE LA RFC NON INVASIVE



- 2021 © 27^{ème} Congrès du CHU de Bordeaux
Toute reproduction même partielle est interdite.
- Hozumi et al, JACC 1998
Lambertz et al, JASE 1999
Caiati et al, Circulation 1999
Lethen et al, Eur Heart J 2003
Voci et al, JASE 2003
Hyodo et al, JASE 2010
.....

Produit de contraste et étude du flux coronaire par ETT

- SONOVUE IV en bolus de 0.1 ml (répété si nécessaire)

UTILISATION DE CONTRASTE IV:

Augmente la faisabilité de mesure du flux coronaire par ETT
iva, ivp, cx

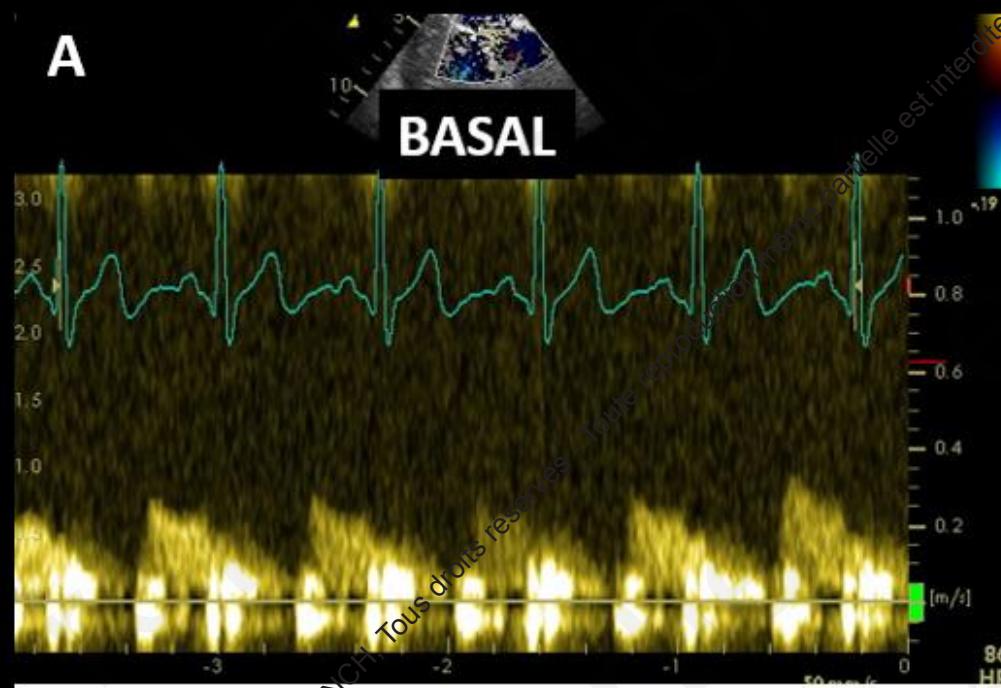
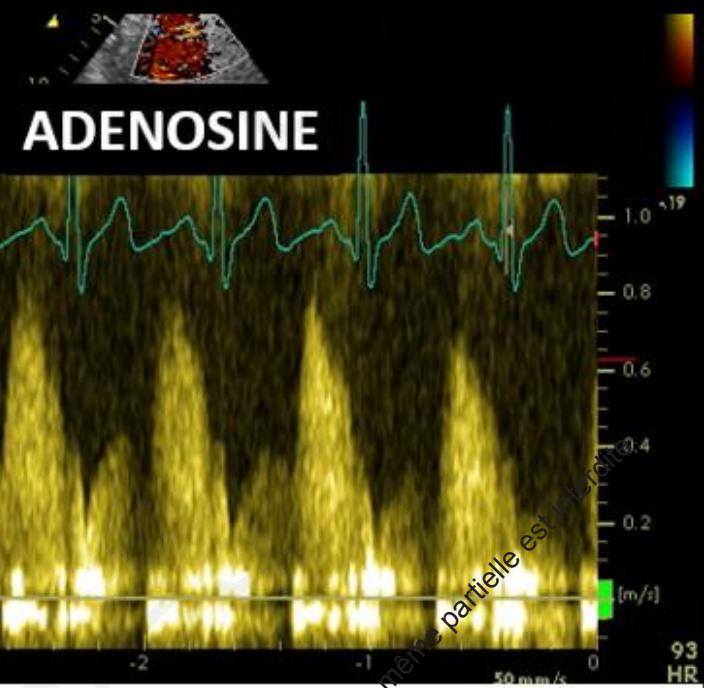
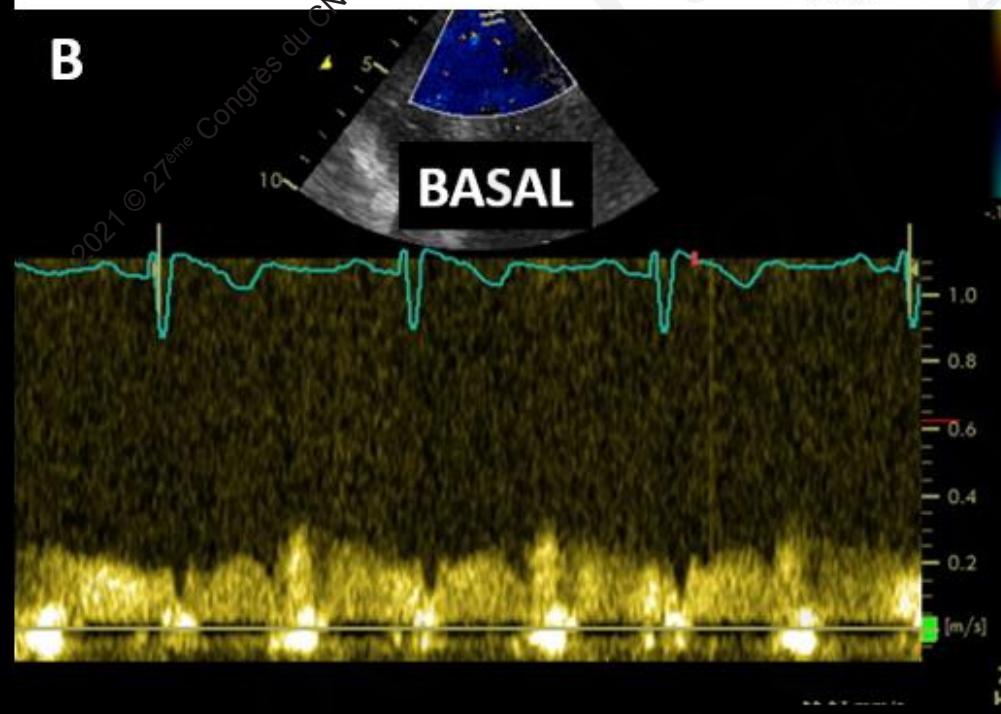
Jusqu'à 100 % au niveau de l'IVA



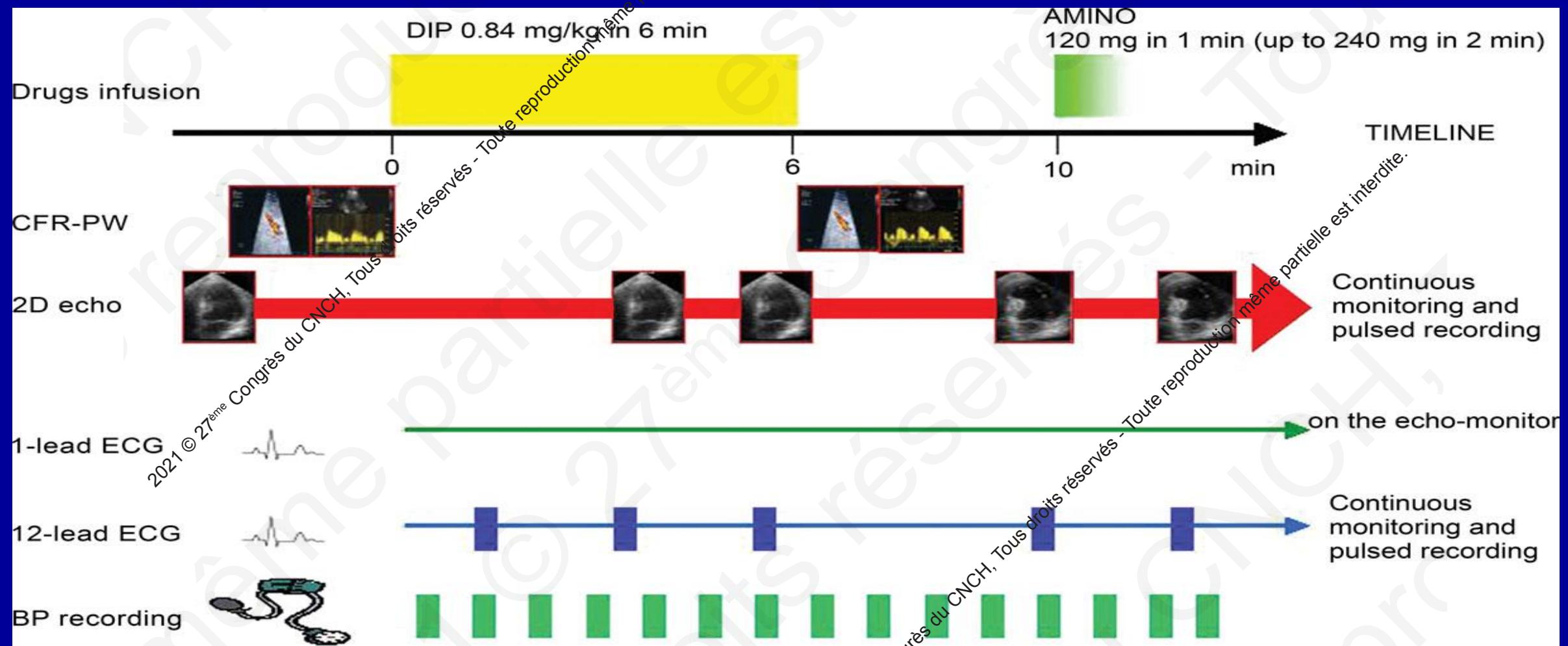
Caiati et al, *Circulation* 1999 (100% au repos après levovist versus 68% avant); CFR(dipyridamole) 98 % avec levovist vs 58% sans); Caiati et al, *JACC* 1999 (100% CFR adénosine avec levovist)

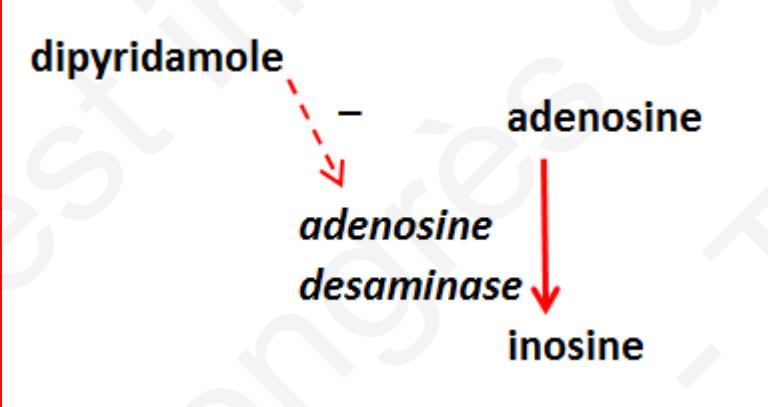
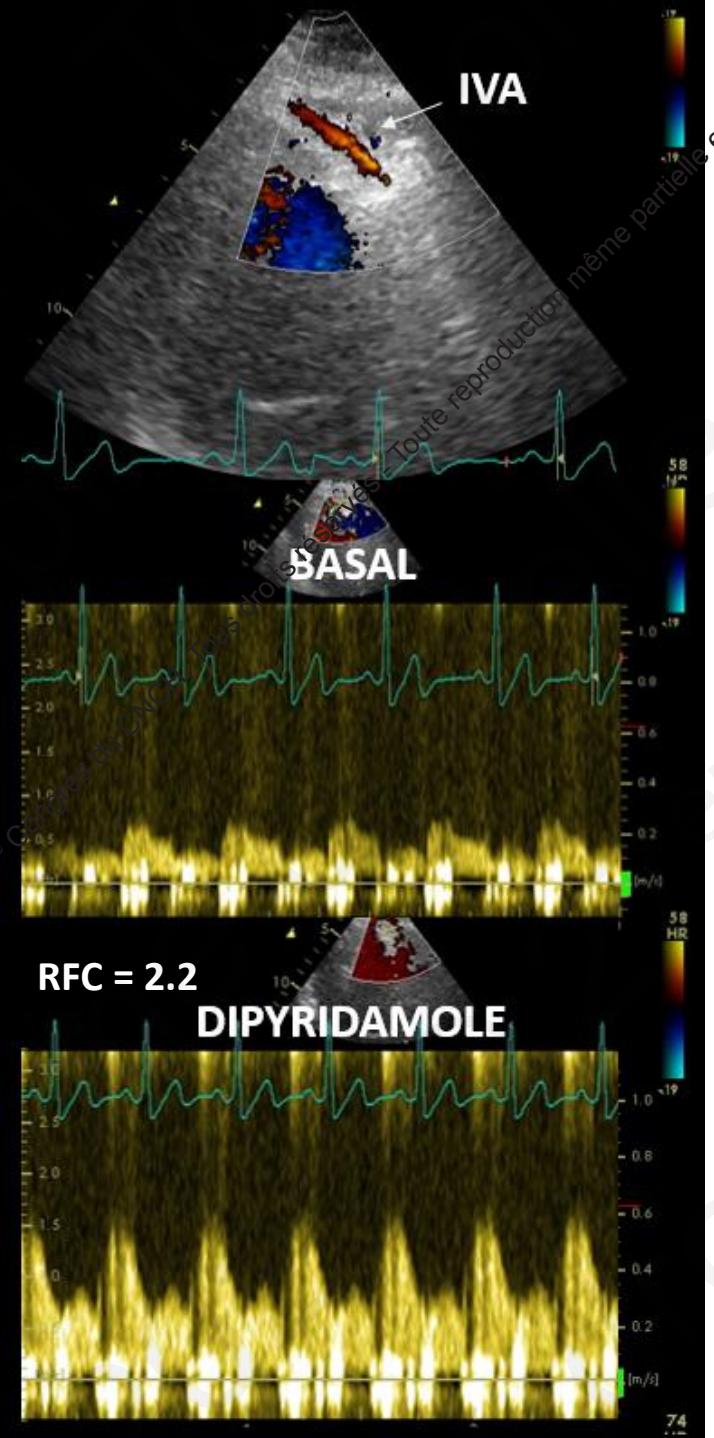
Mesure de la Réserve Coronaire par Echographie Doppler Trans thoracique Adénosine

- Adénosine 0.14 mg/kg/mn IV sur 2 min
- effet max $55 \pm 33\text{s}$ (demi-vie 10s)
- effets 2° : **hyperpnée** (flush, oppression, bradycardie, hypotension)
- monitoring : TA, fc, scope, ECG
- arrêt des dérivés avec xanthine (café, thé, 12h avant, théophylline 24h avant)
- Cl: asthme, BAV 2 et 3

A**RFC = 2.7****ADENOSINE****B****75****HR****79****HR**

Dipyridamole stress écho





Dipyridamole 0.84mg/kg (sur 6 min):

CFR adénosine = 2.85 ± 0.78

CFR dipyridamole = 3.03 ± 0.7 (P = NS)

N = 20 patients, IVA perméable

Lim et al, JASE 2000

Flux coronaire et dobutamine

DOBUTAMINE

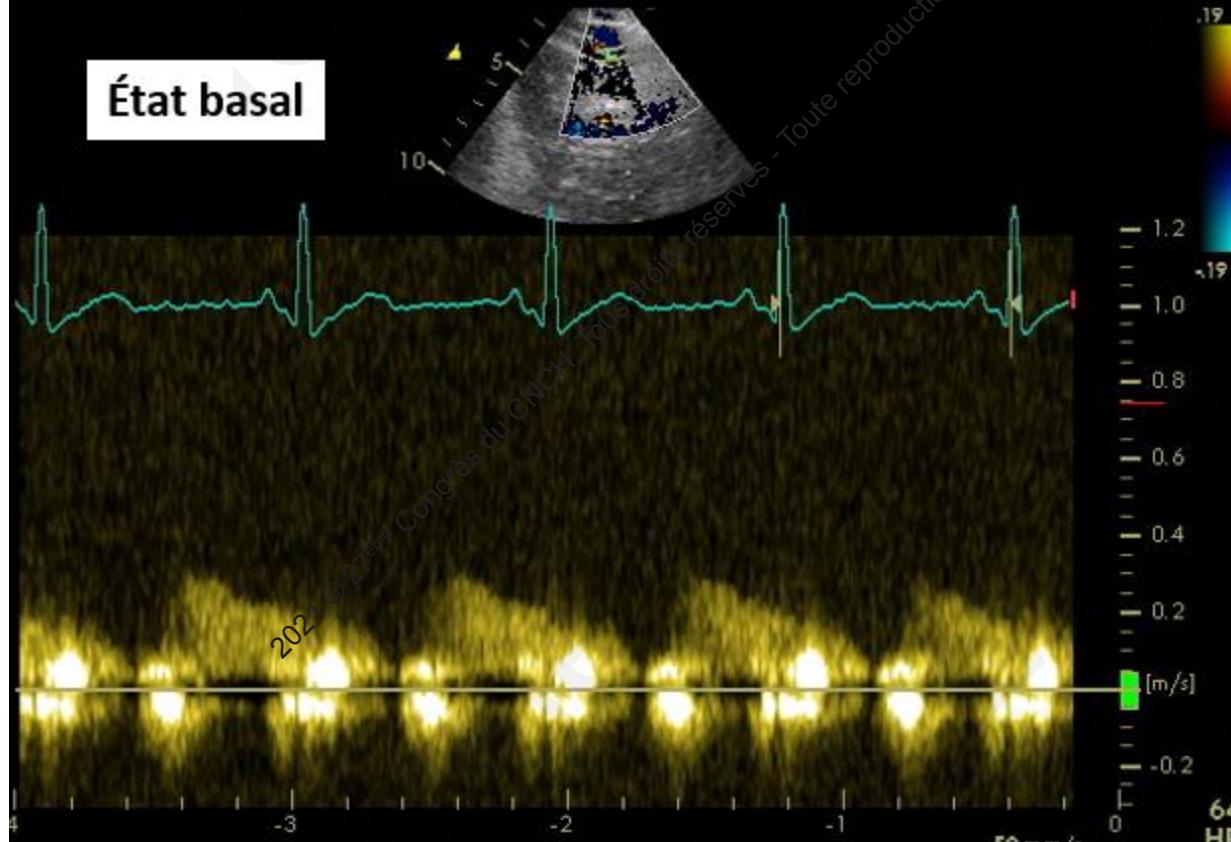
Flow dependent
vasodilatation
endothelium dependent

heart rate ↑ contractility ↑ MVO₂ ↑
(adrenergic system)
⇒ hyperemia

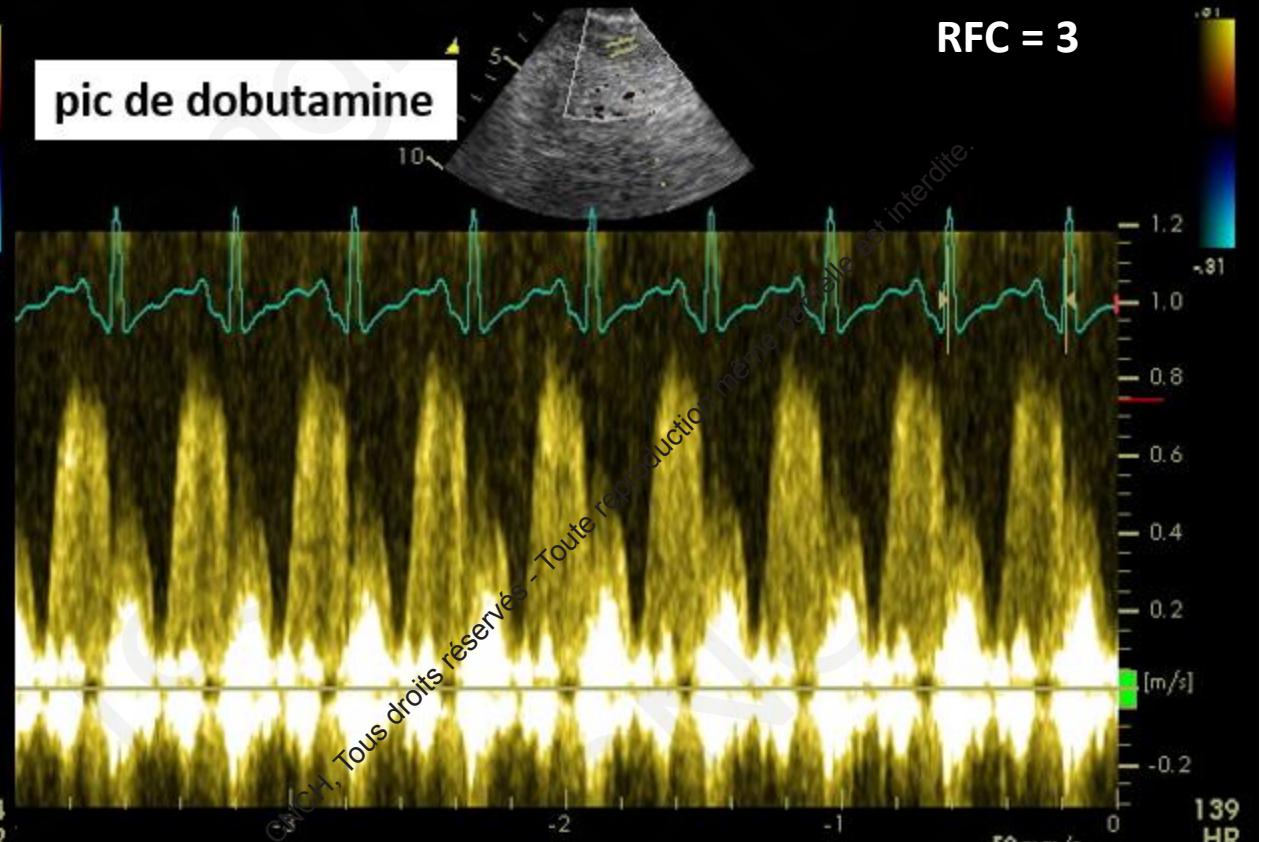
β1 β2 Receptors:
direct vasodilatation
(epicardial and microcirculation)

Vasodilatation and decrease in microvascular resistance (dose dependent)
in normal (19%) and mildly atherosclerotic coronary arteries (8%)

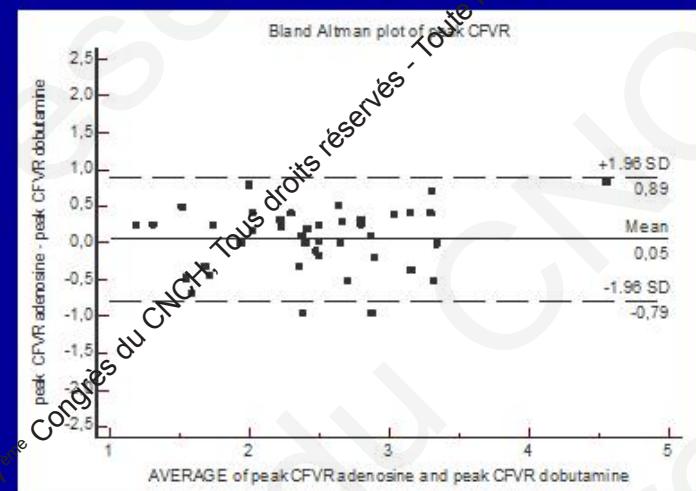
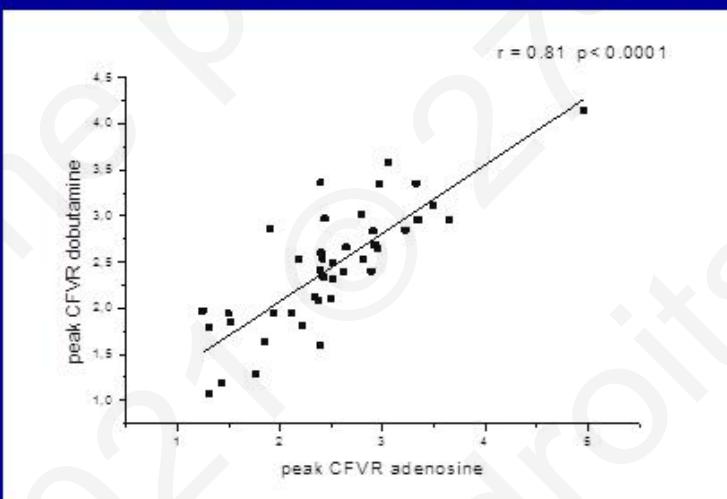
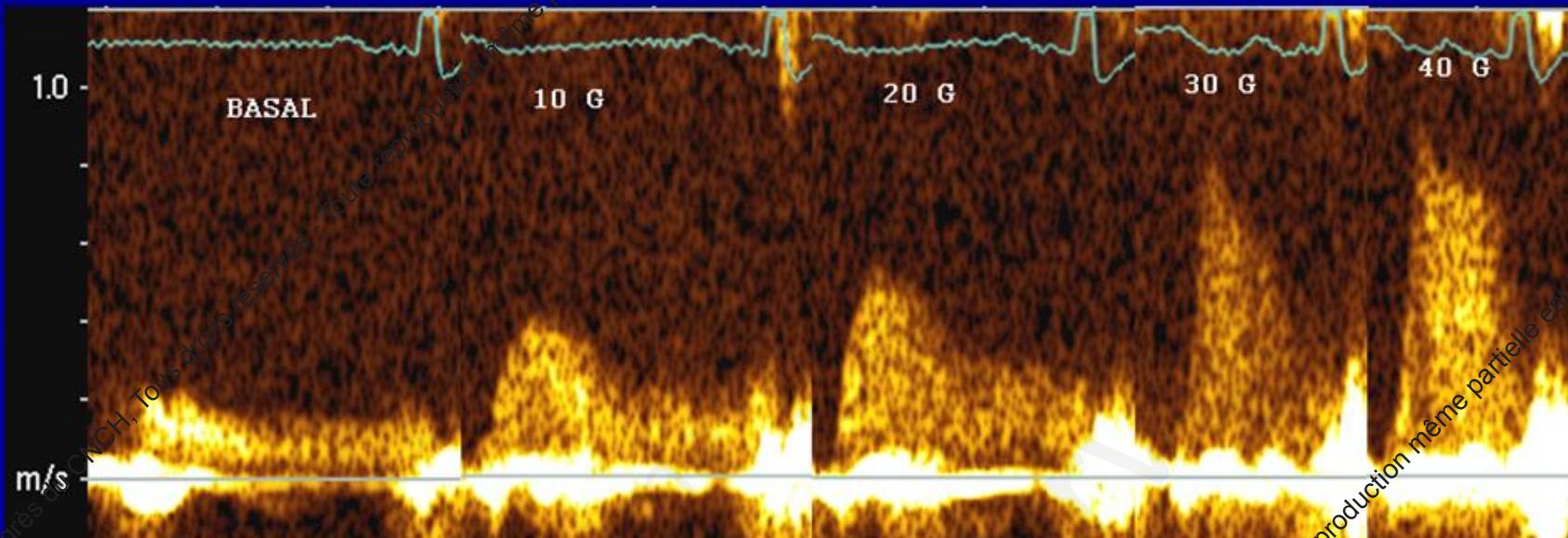
Etat basal



pic de dobutamine



CORONARY FLOW RESERVE: COMPARISON BETWEEN ADENOSINE AND DOBUTAMINE

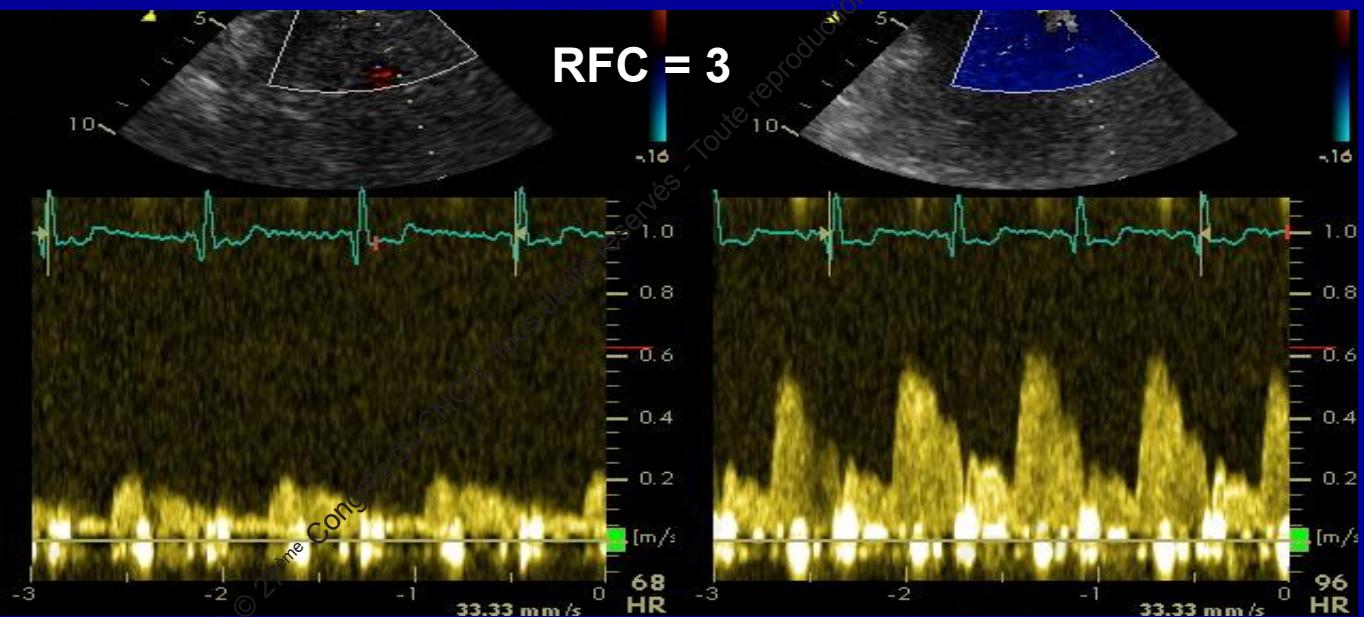
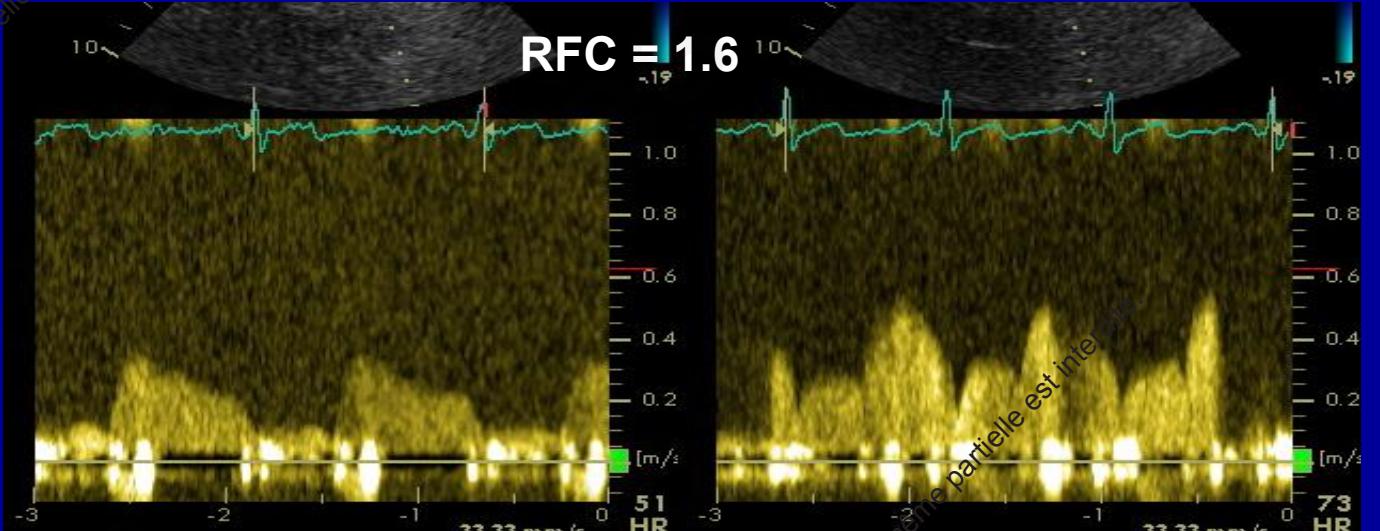


ARTERE EPICARDIQUE

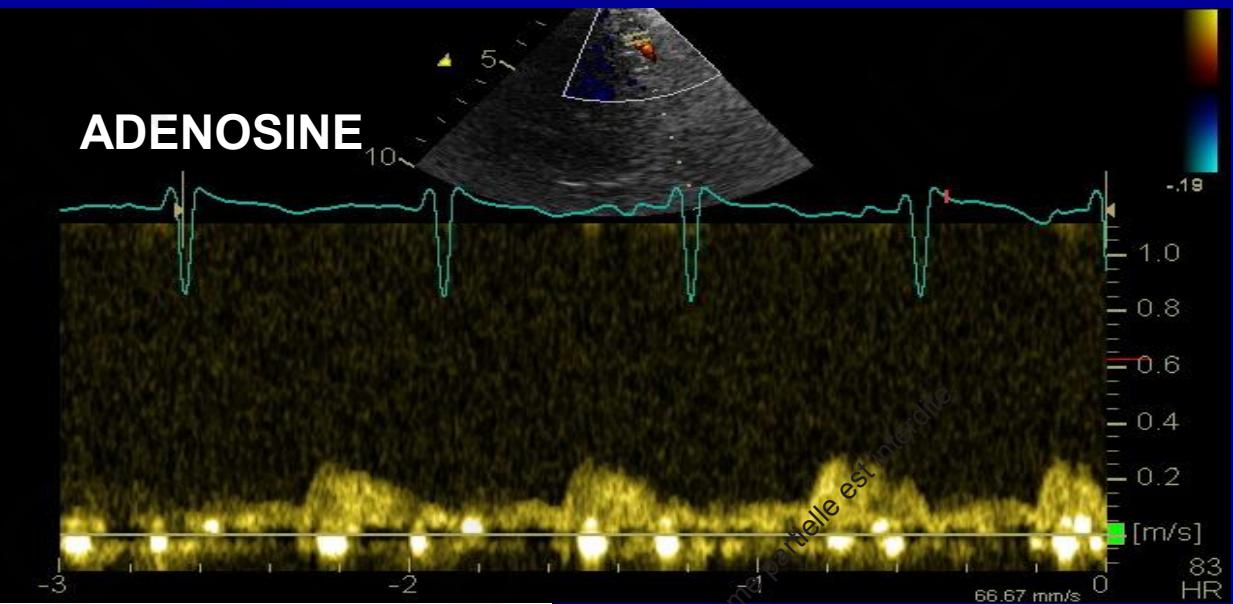
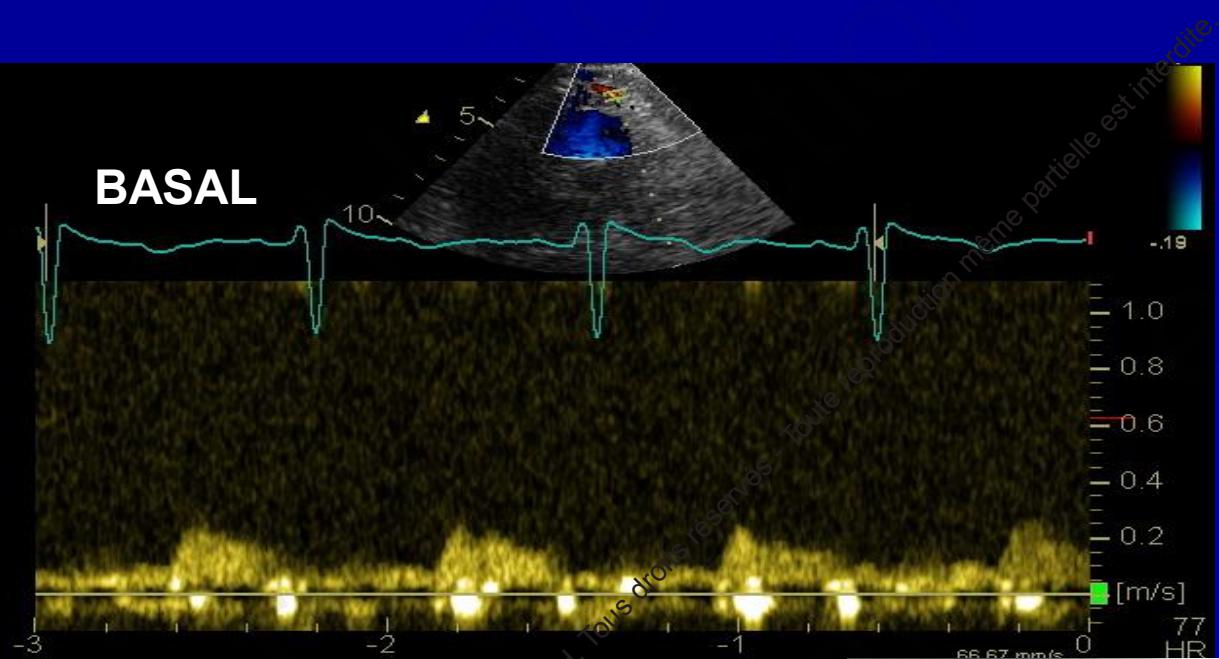
Valeur seuil de RFC = 2

pour le diagnostic
de sténose significative

IVA, IVP, CX
Se 86-92%
Sp 76-90%



Hozumi et al, *Circulation* 1998; Caiati et al, *Circulation* 1999; J Am Col Cardiol 1999; Matsumara et al, *Am J Cardiol* 2003; Voci Am J Cardiol 2002; Lethen et al, *Eur Heart J* 2003; Meimoun et al, *JASE* 2005; Diamon et al, *JACC* 2001; Wada et al, *Eur Heart J Cardiovasc Im* 2014;



RFC = 1.2

Microcirculation coronaire

Valeurs de RFC variables selon les populations étudiées

influence de:

- . âge
- . Facteurs de risque vasculaires
- . Habitudes de vie (café, thé, repas,...)
- . Pathologie sous jacente
- . Sexe
- . Traitement en cours
- . État hémodynamique

TABLEAU 1

Valeur de la réserve coronaire par Doppler transthoracique chez des patients sans sténose coronaire épicardique

| TYPE DE POPULATION | RFC |
|-------------------------------|-------------|
| Athlètes endurance (54) | 5.9 ± 1 |
| Hypertension (40) | 2.5 ± 0.6 |
| RAC serrée (57) | |
| avant RVA | 1.8 ± 0.5 |
| après RVA | 2.6 ± 0.7 |
| femme jeune (53) | |
| phase folliculaire | 4.8 ± 0.4 |
| phase menstruelle | 3.7 ± 0.8 |
| homme jeune (53) | 4.5 ± 0.9 |
| RAC serré asymptomatique (88) | 2.4 ± 0.8 |
| tako-tsubo (51) | |
| phase aigue | 2.2 ± 0.4 |
| réécupération | 2.9 ± 0.3 |
| CMH (56) | 2.1 ± 0.5 |
| CMD (49) | 2 ± 0.5 |
| diabète (59) | |
| < 10 ans | 1.89 ± 0.37 |
| ≥ 10 ans | 1.71 ± 0.23 |

RAC, retrecissement aortique calcifié
CMH, cardiomyopathie hypertrophique
CMD, cardiomyopathie dilatée

A quoi sert la mesure de la RFC et du flux coronaire ?

TABLEAU 2

Indications potentielles de la mesure de la réserve de flux coronaire (RFC) par Doppler transthoracique

- détection de sténose coronaire significative
- détection de restenose après revascularisation
- évaluation de sténose coronaire intermédiaire (40-70%)
- détection d'atteinte microcirculatoire après infarctus
- évaluation des pontages coronaires
- couplage perfusion-fonction lors de l'échographie de stress
- évaluation de la microcirculation dans diverses pathologies (HTA, valvulopathies, cardiomyopathies, ...)
- évaluation pronostique (maladie coronaire, cardiomyopathies, transplantation cardiaque)

Indications potentielles du recueil du flux coronaire basal

- diagnostic de reperfusion après infarcus aigu (thrombolyse)
- diagnostic différentiel avec syndrome de tako-tsubo typique
- diagnostic de no-reflow microcirculatoire après infarctus recanalisé
- évaluation des pontages coronaires
- aide au réglage du ballon de contre pulsion intra aortique
- détection de pont myocardique *
- diagnostic d'occlusion coronaire d'amont
- diagnostic de sténose coronaire très sévère par le rapport D/S **

* aspect en doigt de gant de la portion initiale du flux diastolique

** D/S rapport du flux diastolique sur le flux systolique:
 $D/S < 1.5$ si la fonction systolique et la taille du VG sont normales
et $D/S < 1.8$ si dysfonction systolique et dilatation VG

Réserve coronaire non invasive

. Comparaison avantageuse de la RFC non invasive avec

Médecine nucléaire (scintigraphie myocardique, TEP); Échographie de stress;

Coronarographie, Coro scanner; FFR IFR

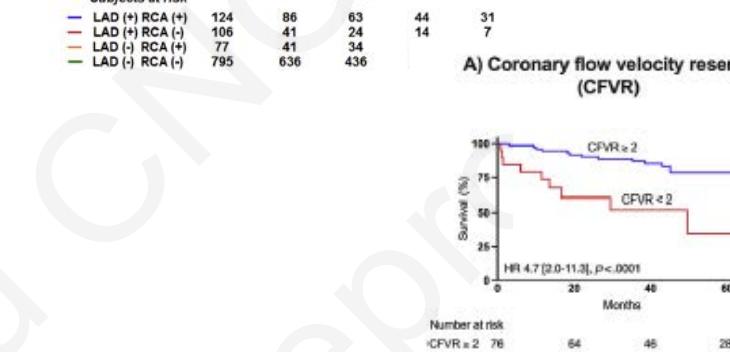
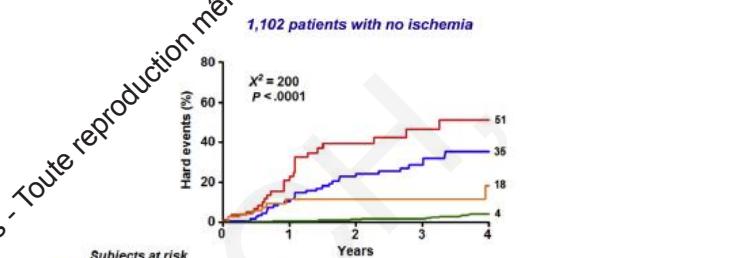
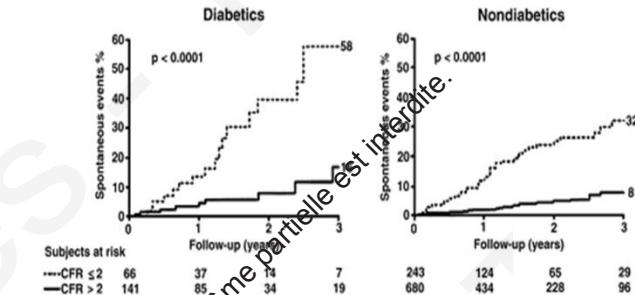
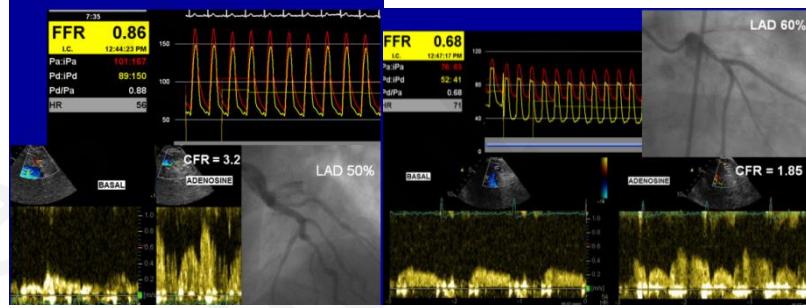
pour prédire une sténose fonctionnellement significative

. Valeur pronostique indépendante dans maladie coronaire,

cardiomyopathies diverses, après transplantation cardiaque, ...

. Prédit la capacité d'effort dans des situations diverses,

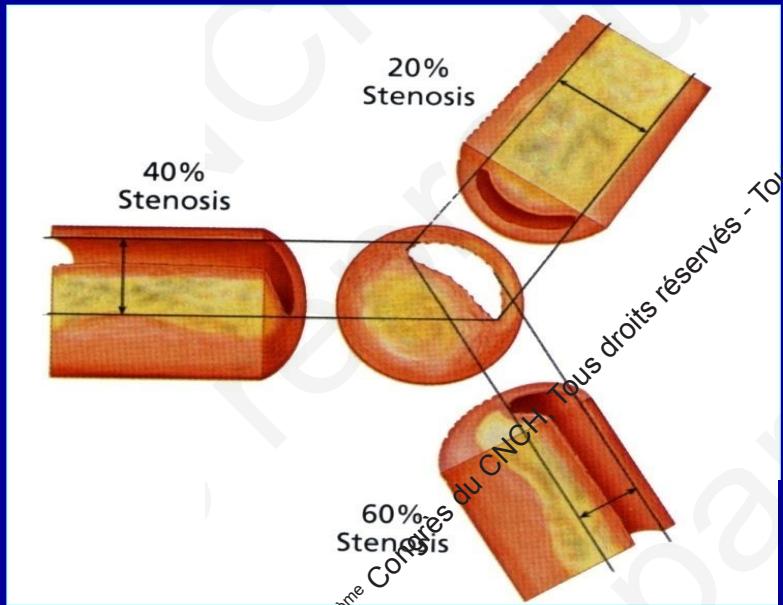
incluant le RAC serré, la maladie coronaire



Rigo et al, Eur Heart J 2006, 2008; Cortigiani et al, JACC 2007, JACC 2012, JASE 2019, Lowenstein t al, JASE 2014; Meimoun et al, JASE 2005,

JASE 2011, JASE 2017, Diamon et al, JACC 2001, Fujimoto et al, J Cardiol 2004, Tona et al, Circulation 2006, Bjerre et al, JASE 2021, Gan et al, J Am Heart Assoc 2017

Évaluation de sténose intermédiaire



Faible corrélation entre degré de sténose et retentissement fonctionnel coronaire, surtout dans les sténoses intermédiaires. Miller, *Circulation* 1994

Table 2

Lesion Characteristics per Category of Angiographic Stenosis Severity

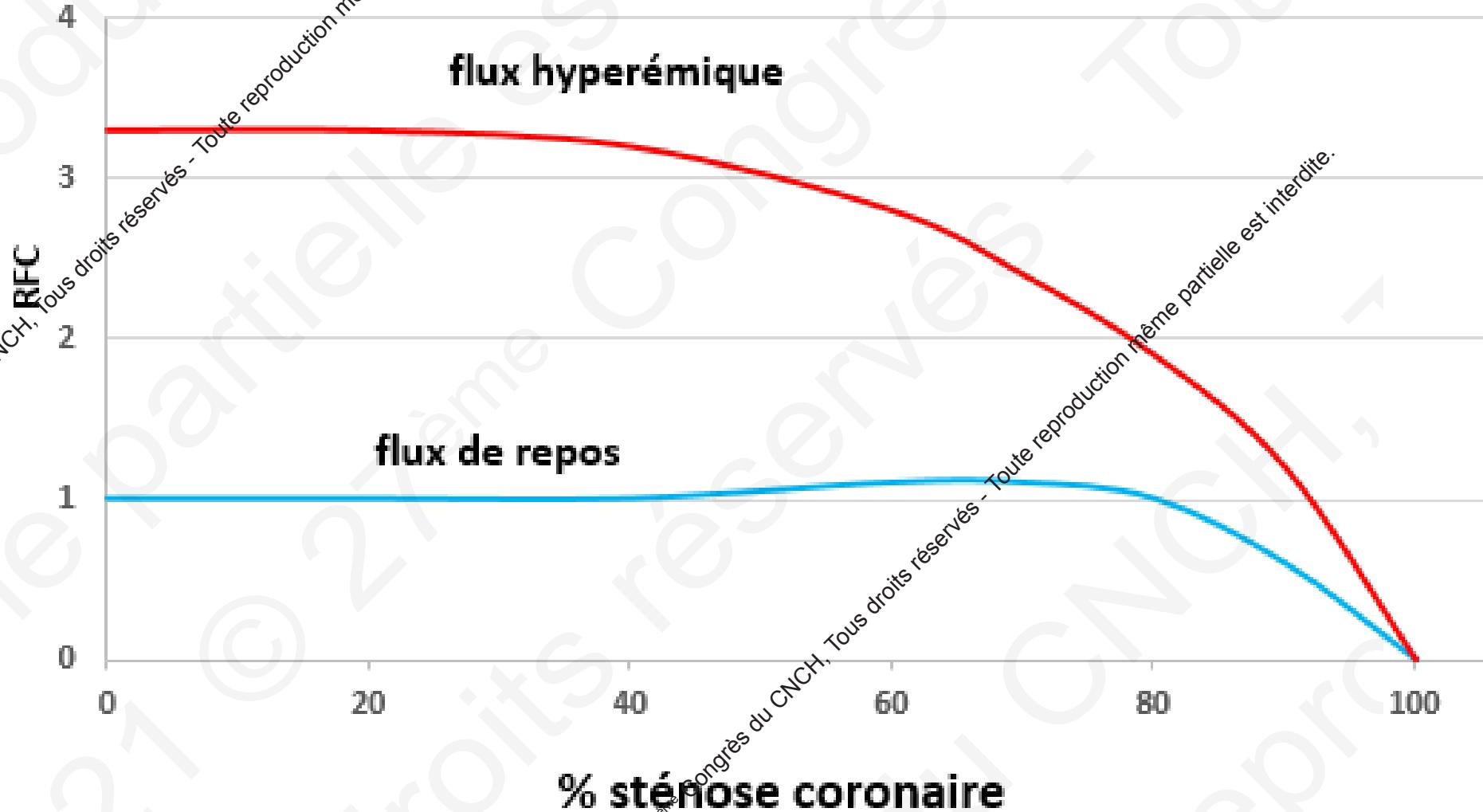
| | % Stenosis by Angiography* | | |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | 50% to 70% (n = 620, 47%) | 71% to 90% (n = 513, 39%) | 91% to 99% (n = 96, 15%) |
| FFR >0.80 | 402 (65) | 104 (20) | 7 (4) |
| FFR ≤0.80 | 218 (35) | 409 (80) | 189 (96) |
| Mean FFR for all lesions | 0.81 ± 0.12 | 0.67 ± 0.15 | 0.52 ± 0.15 |
| Mean FFR >0.80 | 0.89 ± 0.05 | 0.87 ± 0.05 | 0.87 ± 0.04 |
| Mean FFR ≤0.80 | 0.68 ± 0.10 | 0.62 ± 0.13 | 0.51 ± 0.13 |

Tonino et al, *FAME study*,
J Am coll Cardiol 2010

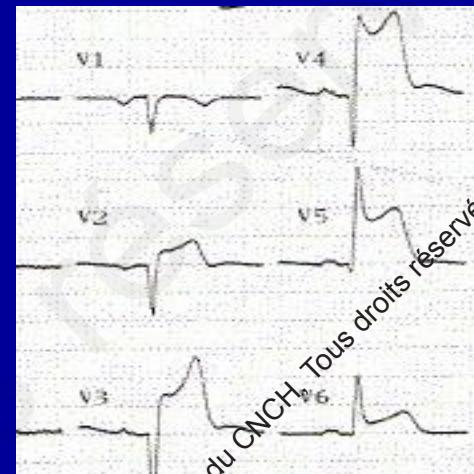
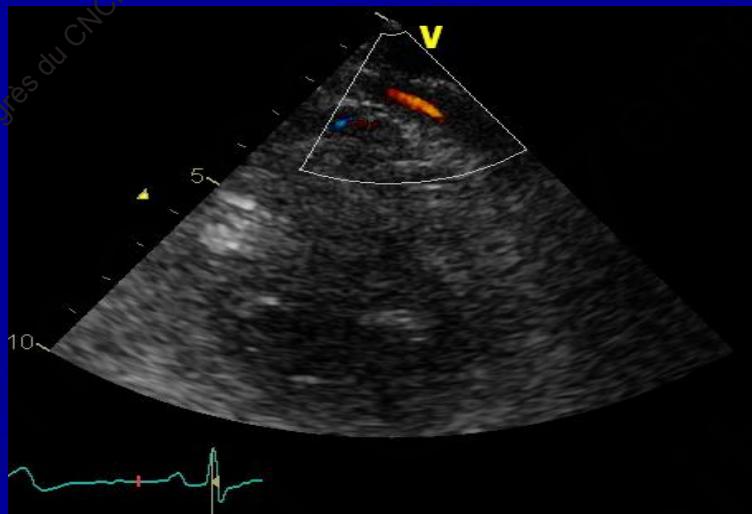
Réserve
coronaire
inversement
corrélée au
degré de
sténose
coronaire

Gould
© 27^e Congrès du CNCH, tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.
Am J Cardiol 1974

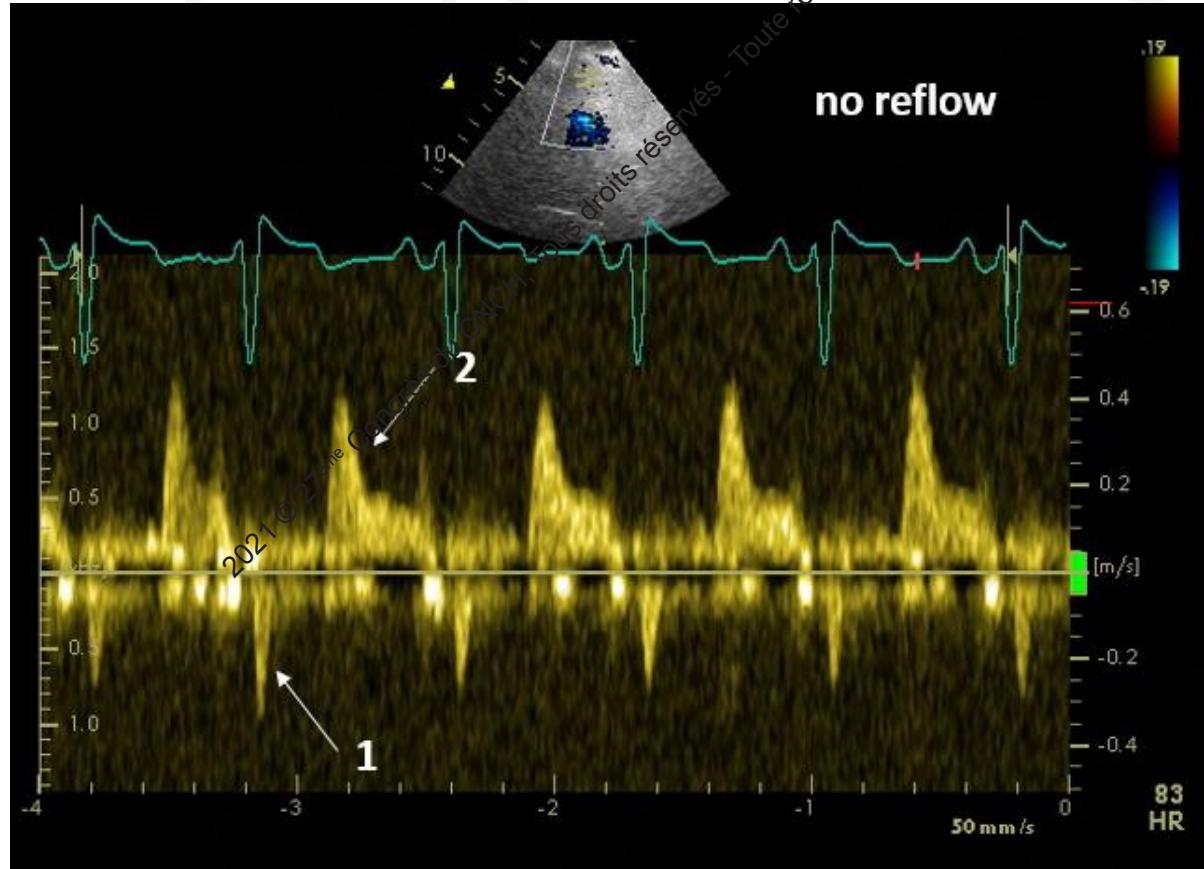
Evolution du flux coronaire en fonction du degré de sténose



Flux coronaire réserve de flux coronaire et syndrome coronaire aigu



Intérêt de repérer le flux coronaire à l'état basal dans SCA



1. Reflux systolique précoce
2. Temps de décélération diastolique court

Reperfusion réussie après thrombolyse (flux TIMI 3)

Lee et al, *Circulation* 2003

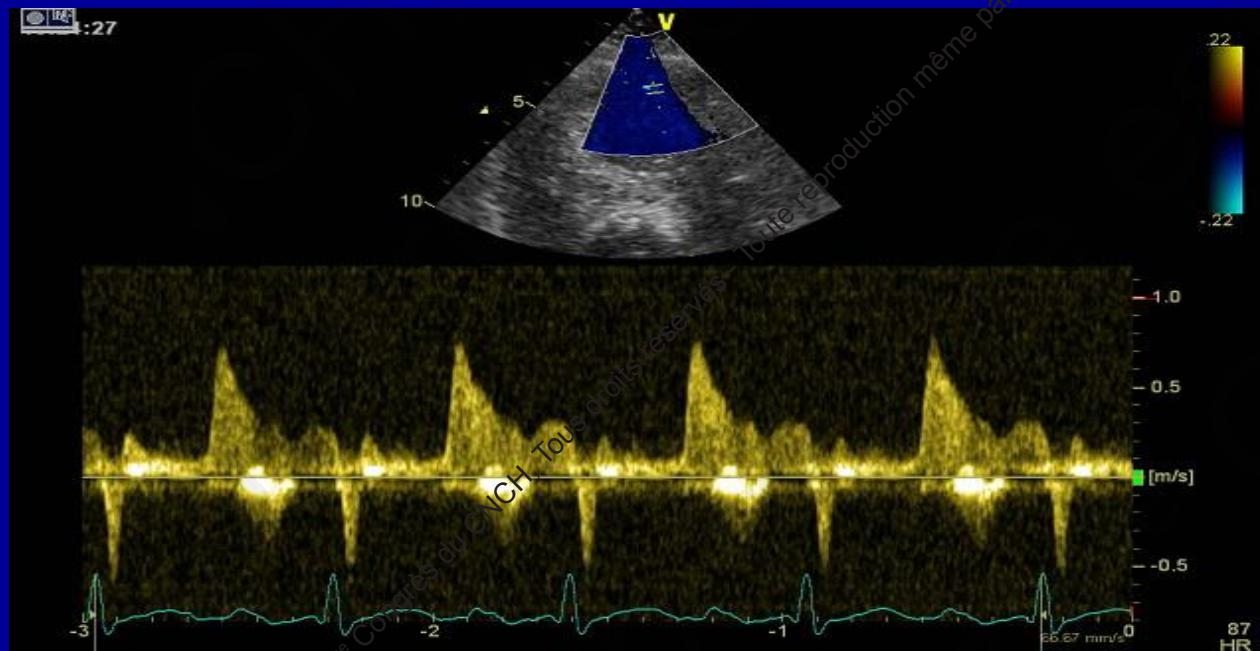
No-reflow après angioplastie

Hozumi et al, *Heart* 2003; Nohtomi et al, *Heart* 2003;
Iwakura et al, *Eur Heart J* 2004

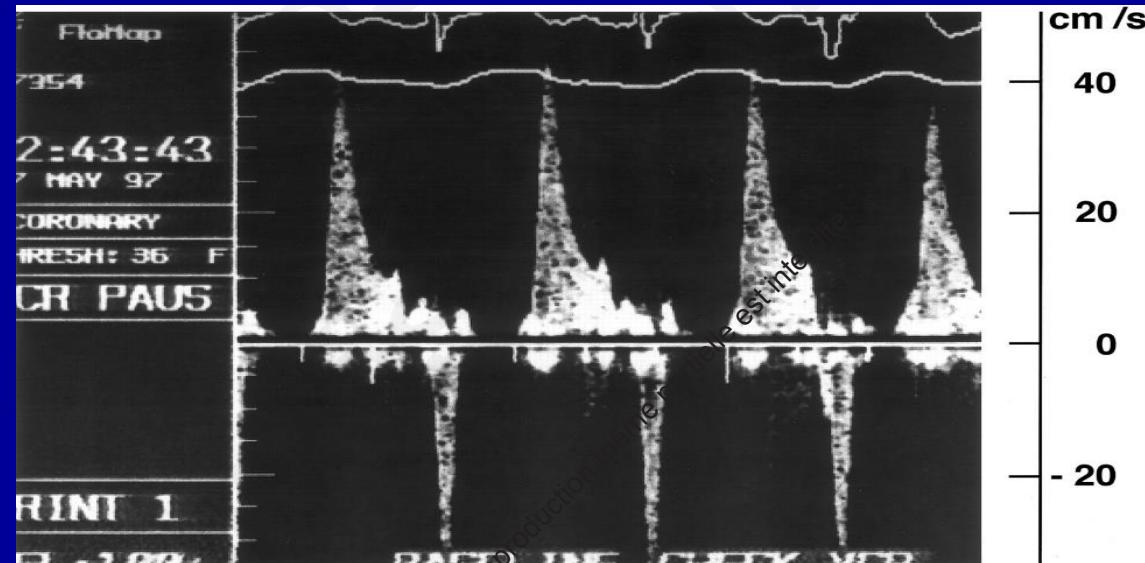
Dg différentiel avec tako-tsubo

Melimoun et al, *Eur Heart J cardiovasc Imaging* 2012

NO REFLOW PATTERN



Blood flow spectrum 24 h after primary PCI in a patient without recovery



Invasive coronary blood flow spectrum immediately after recanalization in patient from the nonviable group

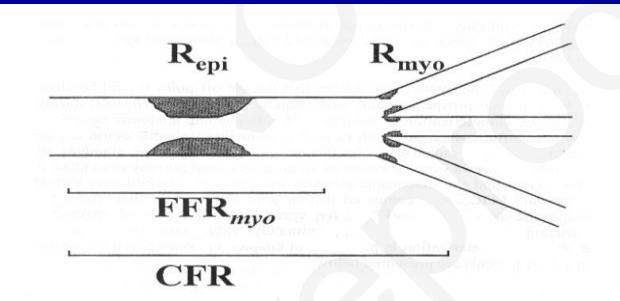
Several invasive and non invasive studies demonstrated the usefulness of this pattern for the prediction of REGIONAL LV recovery, LV remodeling and complications after anterior STEMI:

Shintani et al, Am J Cardiol 2004, Iwakura et al, Eur Heart J, 2004

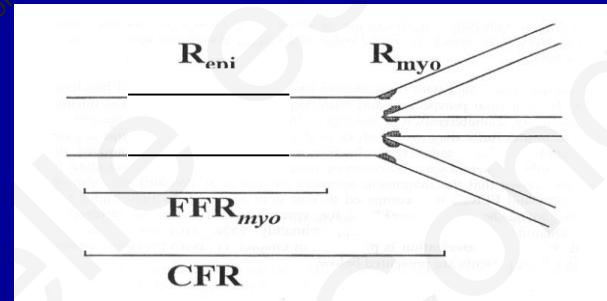
Nohtomi et al, Heart 2003, Hozumi et al, Heart 2003,

Kawamoto et al, Circulation 1998, Feldman et al, Circulation 2004, ...

Évaluation de la RFC à J + 1 après angioplastie: Teste la microcirculation coronaire



Primary
PCI



RFC reliée de façon indépendante à:

- la récupération de la fonction VG segmentaire et globale
- Aux complications hospitalières
- Taille de l'infarctus
- Au remodelage adverse du VG à distance

RFC corrélée significativement à:

- Résolution du sus décalage ECG
- Leucocytose avant et après angioplastie
- Pic de troponine

Mécanismes de l'atteinte Microcirculatoire:

- Afflux de leucocytes
- Activation plaquettaire
- Œdème myocardique
- Thrombose
- Micro-embols
- Vasoconstriction
- Destruction capillaire

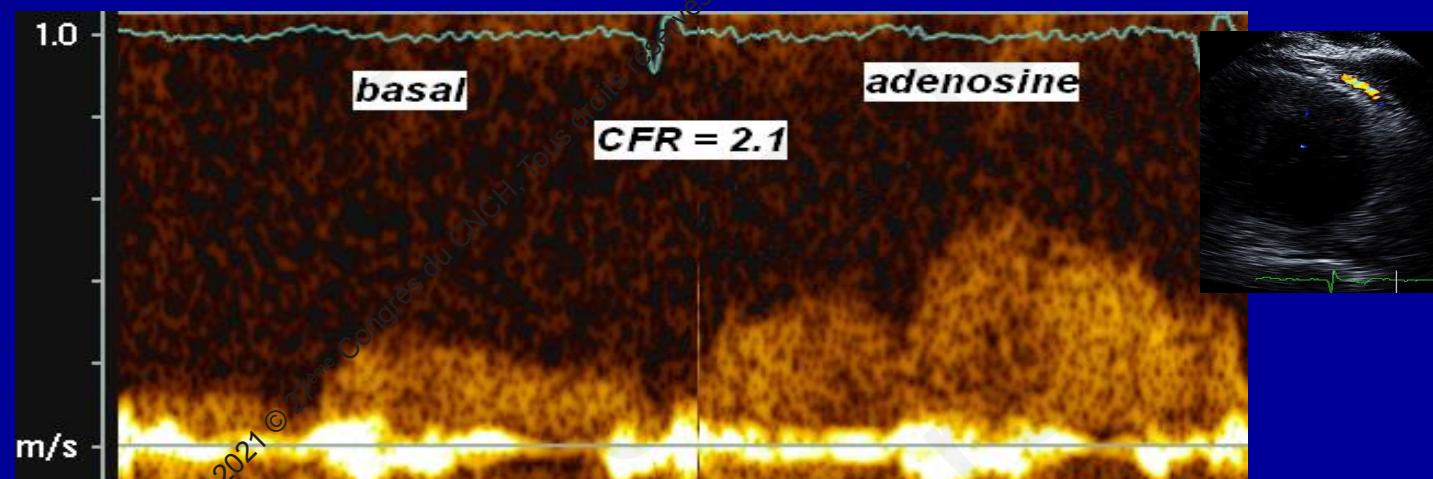


TABLEAU 3

QUELQUES ETUDES EVALUANT LA RFC EN PHASE AIGUE D'INFARCTUS ANTERIEUR PAR DOPPLER TRANSTHORACIQUE

| uteur | date | n patients | age (ans) moyen | délai moyen avant angioplastie primaire | la RFC prédit | seuil RFC | délai RFC après angioplastie primaire | analyse statistique |
|--------------------------------|------|------------|-----------------|---|--|-----------|---------------------------------------|---------------------|
| Ueno et al (65) | 2002 | 29 | 61 ± 13 | 325 ± 213 min | récuperation régionale fonction VG à J 20 | 1.5 | J1 | univariée |
| Rigo et al (66) | 2004 | 31 | 58 ± 13 | 113 ± 119 vs 197 ± 283 min | remodelage VG à 6 mois | nc | J1 | univariée |
| Montisci et al (67) | 2006 | 44 | 54 ± 7 | 180 min | viabilité sous dobutamine intégrité en ECM | < 2,5 * | J 4 ± 2 | multivarié |
| Florenciano Sanchez et al (69) | 2007 | 57 | 60 ± 15 | 150 min | récuperation globale VG 1 mois | 1,54 | J 4 (médiane) | univariée |
| Meimoun et al (68) | 2009 | 51 | 59 ± 13 | 4.9 ± 2.9 h | récuperation régionale et globale fonction VG à 3 mois complications hospitalières | 1.7 | J1 | multivariée |
| Meimoun et al (70) | 2010 | 65 | 58 ± 13 | 4.9 ± 2.6 h | remodelage VG à 6 mois | 1.7 | 23 ± 3 h | multivariée |
| Sadauskienė et al (73) | 2011 | 44 | 51 ± 10 | 44% vs 5.2 % > 6 h | taille infarctus à 5 mois fonction VG globale | 1,75 | H 72 | univarié |
| Trifinovic et al (71) | 2014 | 59 | 57 ± 12 | 274 ± 165 min | taille infarctus à 6 semaines en médecine nucléaire | 1.7 | J 2 | multivariée |

VG, ventricule gauche; ECM, échographie de contraste myocardique; le délai moyen, dans la ref 66 entre patients avec et sans remodelage, p = NS et dans la ref 73 p < 0.01 entre infarctus de petite et grande taille; * dans la ref 67, le seuil de rfc est défini à priori, tandis que dans les autres études il est obtenu par analyse statistique des résultats (courbe ROC)

CONCLUSION

Mesure du flux et réserve coronaire par Doppler transthoracique:

- . Intérêt diagnostique, pronostique, physiopathologique dans multiples situations
- . Facilement accessible au lit du malade
- . Peu coûteux en matériel, temps, personnel,..
- . Non irradiant, RFC-10 min d'examen
- . Non limité par:
 - la capacité d'exercice du patient
 - La présence d'une anomalie ECG de repos (BBG, ...)
 - Des troubles de cinétique de repos
 - L'arrêt ou non d'un bêta-bloquant
- . Par contre, faisabilité non équivalente pour tous les territoires ...