

Fonction ventriculaire et IRM

DIU imagerie cardiaque en coupe

Dr N. Varroud-Vial

Département médico-chirurgical de Cardiologie



Fonction ventriculaire

- Remodelage ventriculaire gauche (modification : volumes, forme, fonction contractile) : facteur de mauvais pronostic
- Troubles de cinétique segmentaire : indispensable au diagnostic et au suivi des cardiopathies
- Masse VG : facteur prédictif de mortalité
- Dysfonction VD :
 - mortalité à la phase aigue de l'IDM
 - facteur pronostique (CPA, CPC, HTAP)
- Evaluation des volumes et fonctions ventriculaires
 - méthodes invasives : approximatives et difficilement reproductibles
 - non invasives : échocardiographie (limites : échogénicité, utilisation de modèles géométriques)

IRM : Atouts

- Examen non invasif, multidisciplinaire
- Contraste spontané
- Contraste provoqué (agents de contraste)
- Analyse tomographique dans n'importe quel plan
- Résolution spatiale : 1 à 2 mm
- Résolution temporelle : 30 - 50 msec
- Absence d'irradiation
- Absence d'utilisation de modèle géométrique
- Possibilité de tests de stress

Applications

- Volumes
- Masse
- Fonction systolique globale
- Cinétique segmentaire
- Imagerie de stress
 - ischémie myocardique
 - viabilité myocardique

=> VG et VD

Séquences / évaluation de la fonction ventriculaire

• TGE

- Acquisition en apnée
- Segmentation de l'espace K
- 8 lignes par segment
- Synchronisation à l'ECG
- Nombre de phase 12 à 30
- Temps de répétition 11 ms
- Temps d'écho 6 ms
- Angle de basculement 20°
- Matrice d'acquisition : 256 x 126
- Champ de vue 320 x 320 mm
- Epaisseur de coupe 8 mm
- Espace intercoupe 0-5 mm

• SSFP

- Acquisition en apnée
- Synchronisation à l'ECG
- Nombre de phase 12 à 30
- Temps de répétition 3 ms
- Temps d'écho 2 ms
- Angle de basculement 60°
- Matrice d'acquisition : 256 x 120
- Champ de vue 320 x 320 mm
- Epaisseur de coupe 8 mm
- Espace intercoupe 0-5 mm

Séquences / évaluation de la fonction ventriculaire

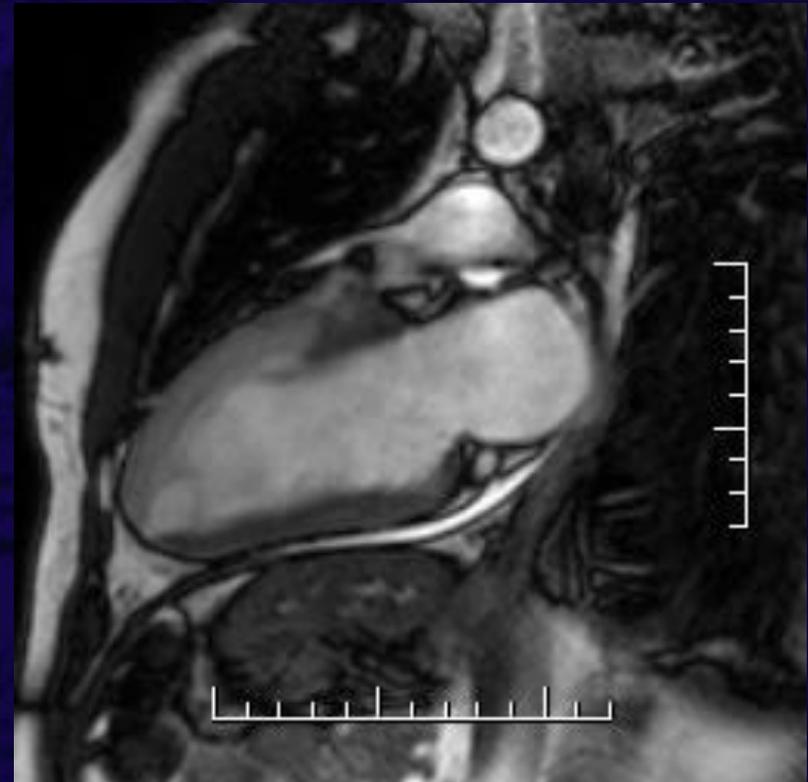
TABLE 1
Image Signal Intensity and Contrast-to-Noise Ratio

Parameter	Short-Axis Images		
	True FISP	FLASH	P Value
Signal intensity of the myocardium	72 ± 20	65 ± 14	NS
Signal intensity of the blood	254 ± 47	125 ± 20	<.01
Noise	5.8 ± 1.7	2.7 ± 0.7	<.01
Contrast-to-noise ratio	35 ± 13	24 ± 7	<.01

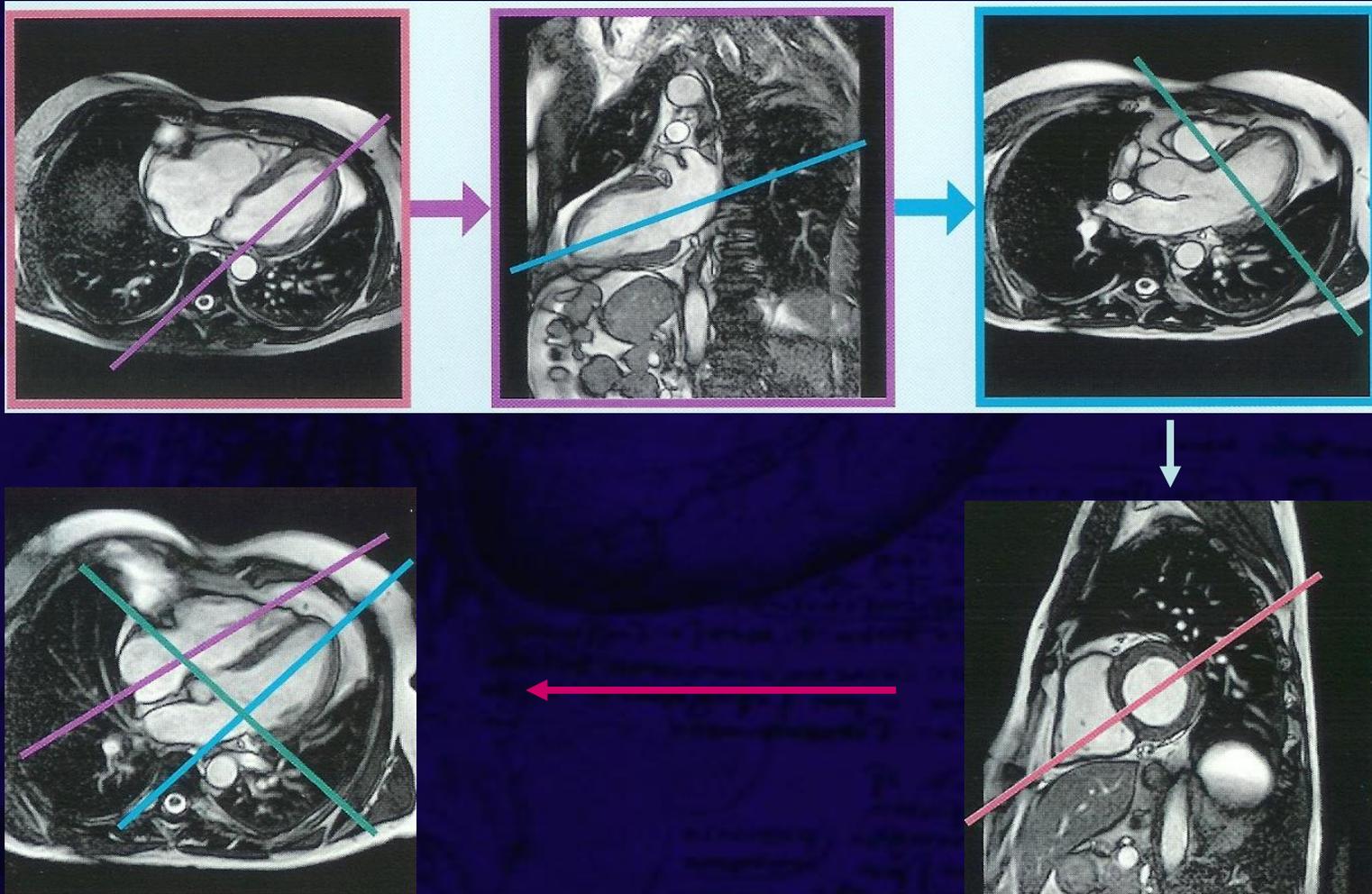
True FISP sequence is characterized by shorter acquisition times and improved image quality compared with FLASH sequence.

Technique

- IRM en écho de gradient :
 - séquences ciné SSFP : True FISP, FIESTA, Balanced FFE ...
 - sang intra-cavitaire : hyper-signal « sang blanc »
 - acquisition en apnée
 - synchronisation à l'ECG



Acquisition



Etapes

- Repérage
 - création des plans de coupes
- Séquences morphologique
 - morphologie + recherche de graisse /œdème intra-myocardique
- Séquence de perfusion
 - analyse de la perméabilité coronaire
- Séquences ciné
 - analyse de la cinétique pariétale, mesures...
- Séquences de rehaussement tardif
 - évaluation de la viabilité 10 minutes après l'injection

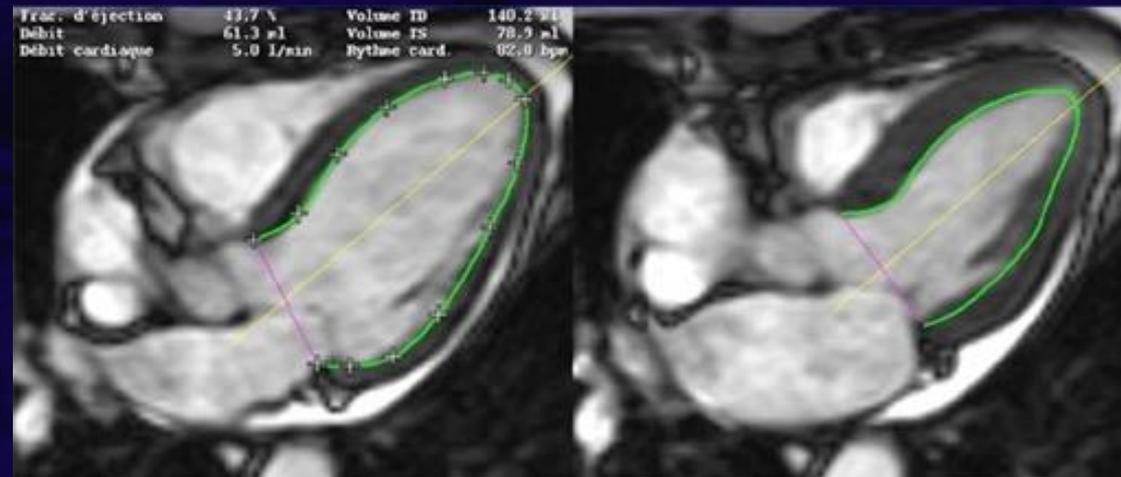
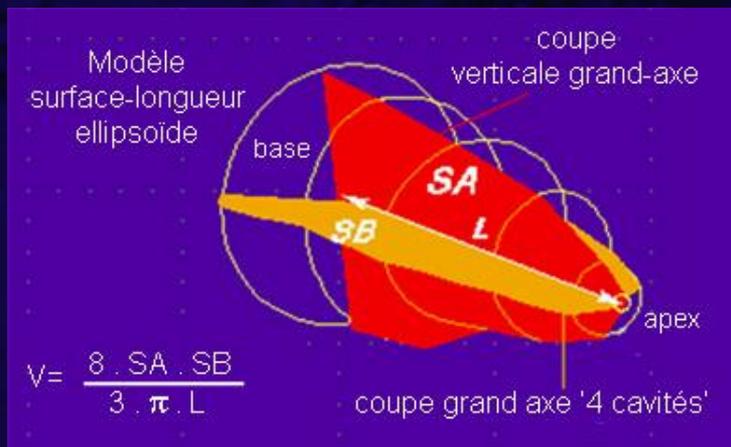
**35 à 45
minutes**

Avant ou après Gado

- SSFP : administration de gadolinium rehausse le signal myocardique
 - atténuation du contraste avec les cavités sanguines
 - contourage endocardique plus difficile
- Réalisation des séquences ciné AVANT injection de gadolinium.
- Deux restrictions :
 - 1 - optimisation du « temps machine »
 - 2 - ciné SSFP sensible au rapport T2/T1 : la rétention pathologique de gadolinium dans le myocarde entraine un contraste entre myocarde sain et lésion tissulaire sur ces séquences ciné

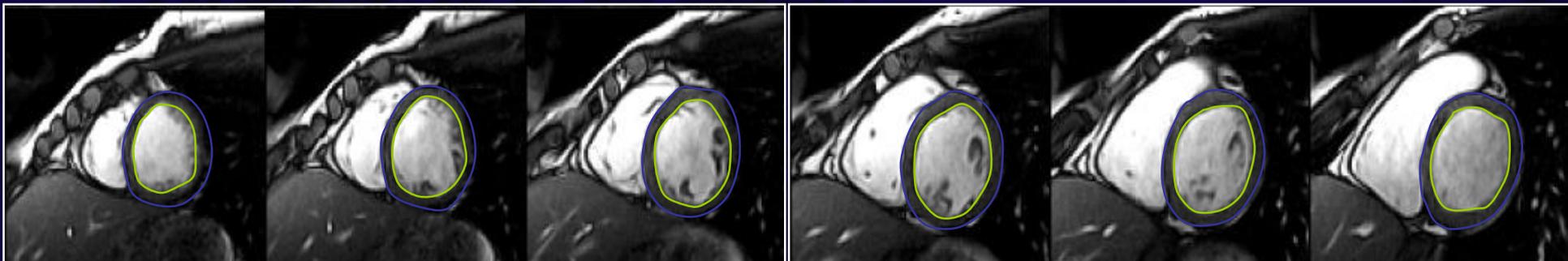
Fonction globale 2D

- VG assimilé à une ellipsoïde de révolution
- $\text{Volume} = (8.SA.SB) / (3.Pi.L)$
- + : rapide (1 coupe 4 cavités)
- - : utilisation d'un modèle géométrique nécessite une géométrie harmonieuse du VG (CMI)

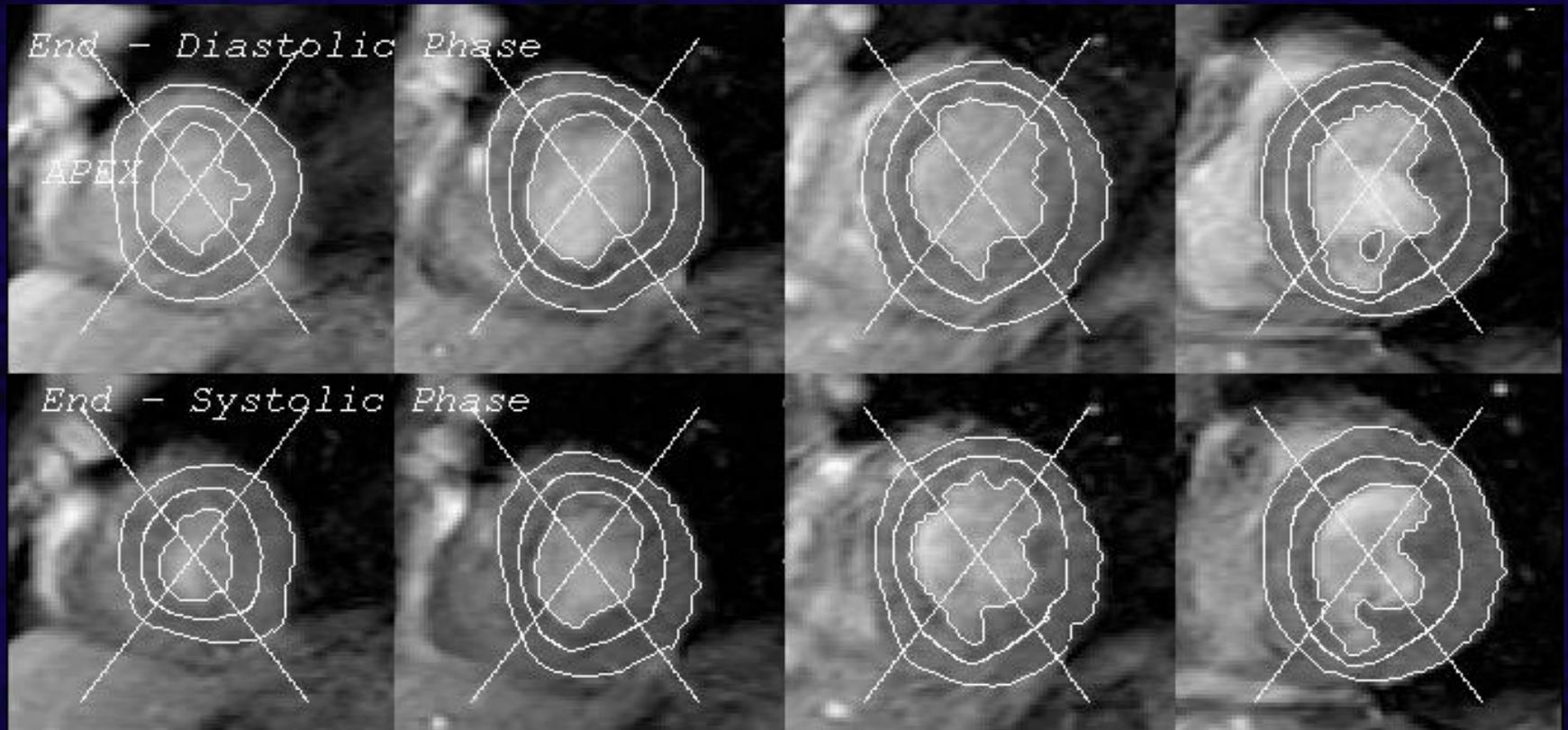


Fonction globale 3D

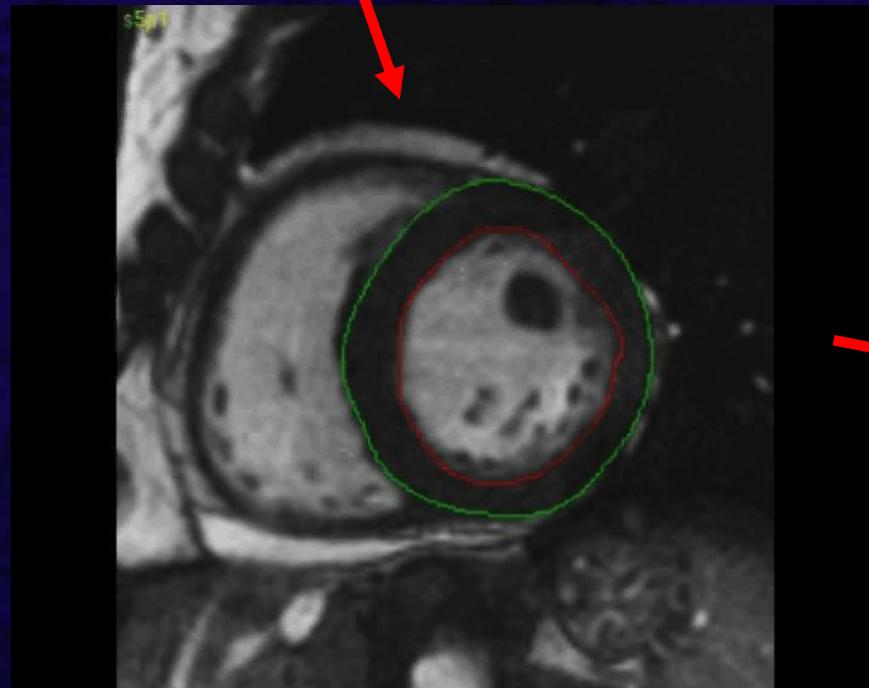
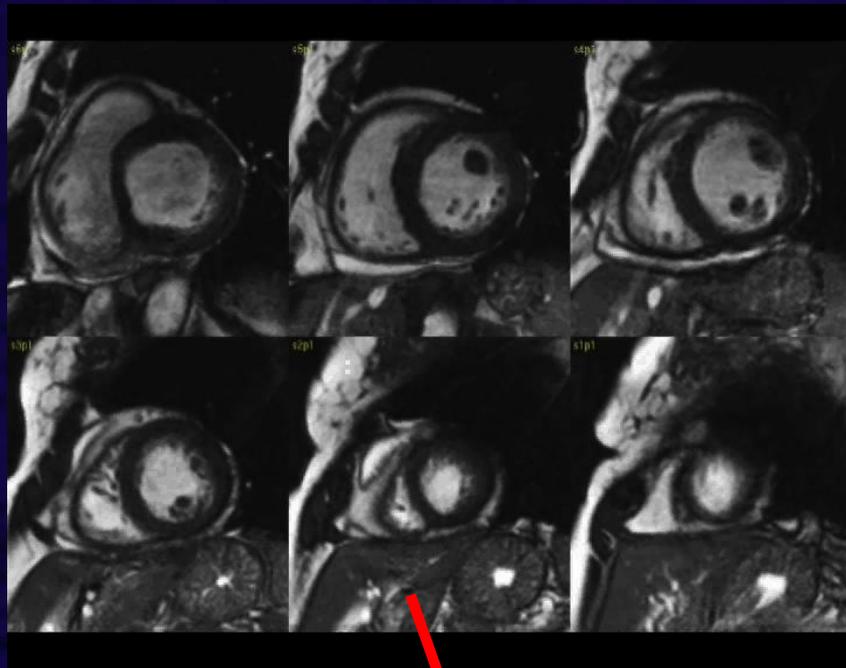
- Séquence ciné SSFP:
 - coupes jointives, épaisseur 7 à 8 mm
 - incidence petit-axe
 - de la base à l'apex (8 à 12 coupes)
- Détection de la coupe basale et de la coupe apicale
- Détection des phases TD et TS
- Détection des contours endocardique et éplicardique
- Exclusion des muscles papillaires de la cavité
- Quantification manuelle, semi-automatique ou automatique



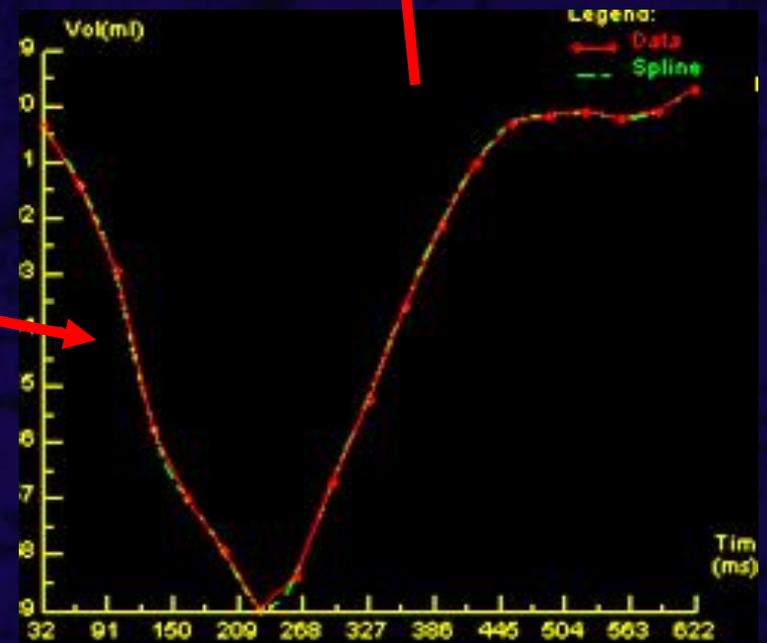
Fonction globale 3D



Mesure VTD, VTS, FEVG, masse VG



FC	62 /min	
VTD	123 ml	
VTS	39 ml	
VES	84 ml	
VTD indexé	68 ml/m ²	
VTS indexé	22 ml/m ²	
FEVG	68 %	
Débit	5,2 L/min	
Phase	TD	TS
	1	10



« Normes » pour le VG

- Dépendantes de multiples facteurs :
- Facteurs physiologiques :
 - taille et surface corporelle ++ (valeur indexée)
 - sexe : valeurs plus élevées chez l'homme
 - age : valeurs plus élevées entre 20 et 45 ans que après 45 ans
 - ethnie (africains > hispaniques > caucasiens > asiatiques)
 - entraînement physique : athlètes VTD VG + 21%, MVG +42%
- Facteurs méthodologiques :
 - mesures sur des coupes grand axe ou petit axe (préférable)
 - volumes et masse VG avec GRE > SSFP
 - apnée (avec ou sans ; inspiratoire ou expiratoire)
 - exclusion ou non les piliers des contours endocardiques
 - « première » coupe basale, chambre de chasse

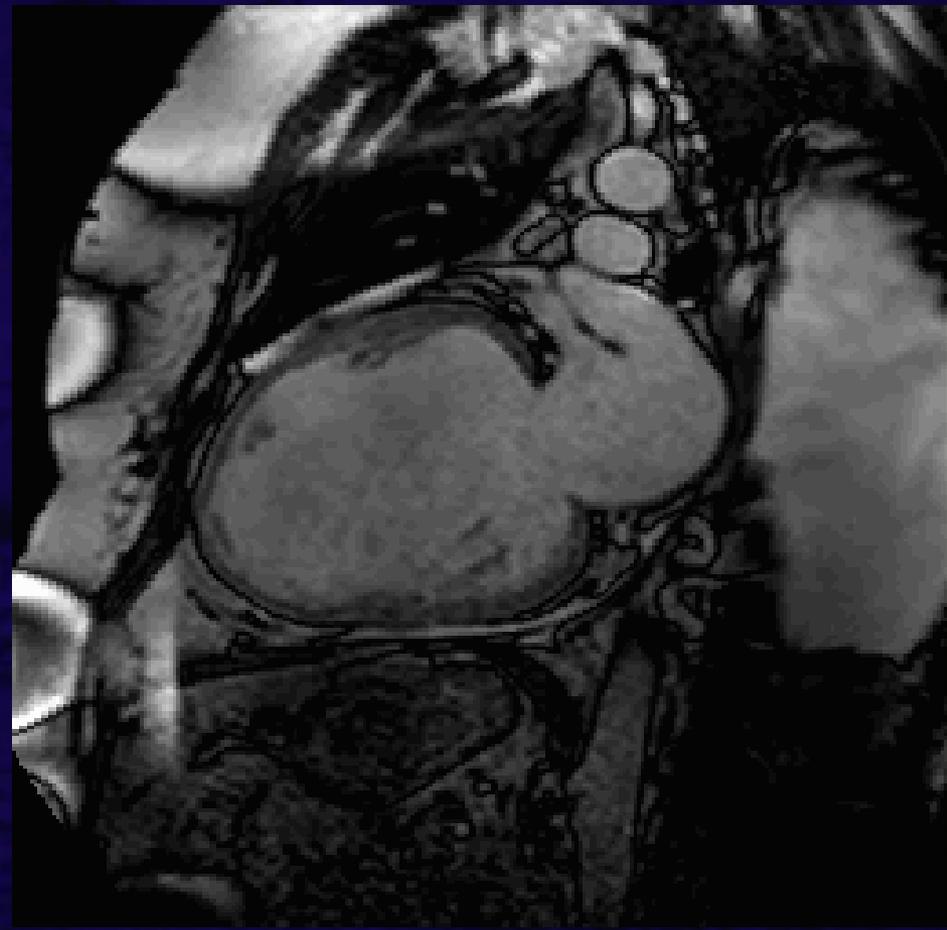
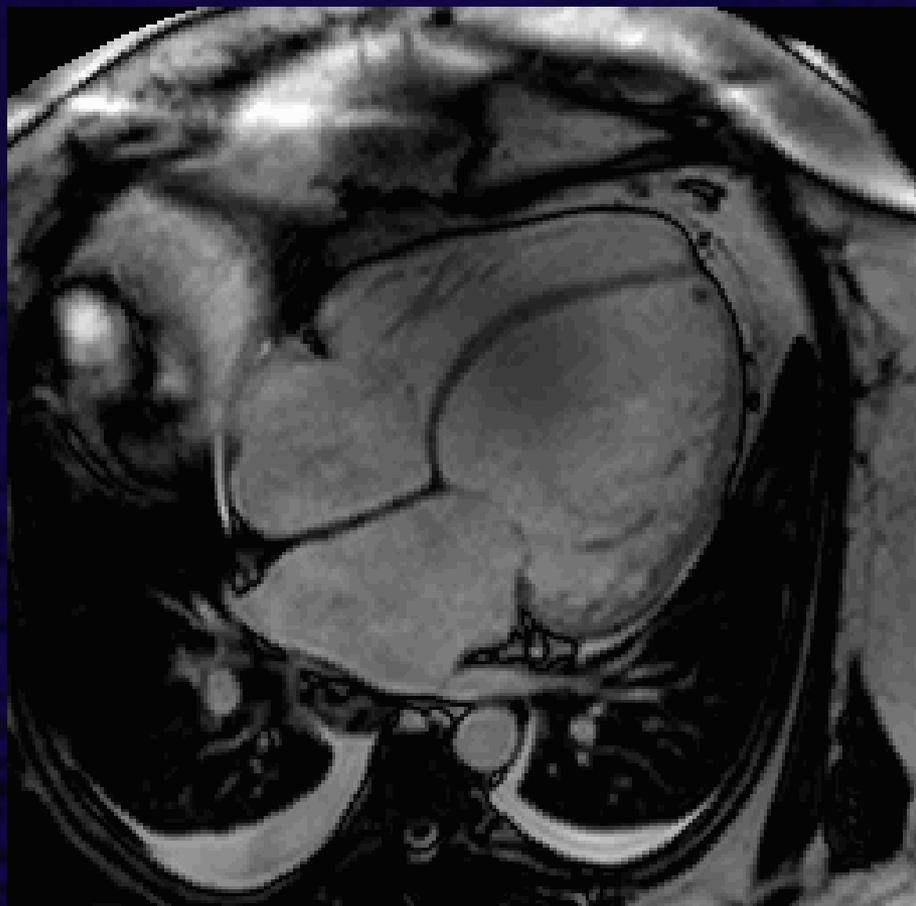
« Normes » pour le VG

Auteur	Technique	N	IVTD (H)	IVTD (F)	IMVG (H)	IMVG (F)
Lorentz 1999	GRE/PA	75	70	61	92	79
Standstede 2000	GRE (<45 ans)	18	66	60	79	64
Standstede 2000	GRE (>45 ans)	18	52	53	77	66
Salton 2002	GRE	142	58	50	78	61
Marcus	GRE		73	62		
Alfaki 2005	GRE/PA	60	74	71	78	62
Natori 2006	GRE/PA	800	74	65	85	67
Petersen 2006	SSFP/PA	38	89	80	66	52
Alfaki 2005	SSFP/PA	60	82	78	65	52
Clay 2006	SSFP/PA	16	83		65	
Clay 2006	TSE	16	79		77	

En coupe petit axe ; IVTD (ml/m²) ; IMVG (g/m²)

« Normes » pour le VG

- VES = 50-60 ml/m² (H) ; 40-50 ml/m² (F) ; FEVG = 56 à 75 %
- Variations :
 - selon la méthode (SSFP, écho de gradient classique)
 - entre normes ETT et IRM (MVG normale < 120 g/m² en écho TM vs 90 en IRM SSFP)
- NE PAS COMPARER LES RÉSULTATS ECHOGRAPHIE / IRM...
- Volumes ventriculaires : plus grands avec le modèle surface-longueur qu'en utilisant la volumétrie 3D



Variabilité en IRM

	Inter observateur	Intra observateur	Inter examen
VTD	2%	2%	6%
VTS	7%	7%	10%
FEVG	2%	2%	3%
Masse VG	2%	2%	4%

Variabilité IRM vs ETT

Variabilité	VTD			VTS			FEVG		
	E2D	E3D	IRM	E2D	E3D	IRM	E2D	E3D	IRM
Intra observateur	17.3%	3.2%	2.6%	22.4%	4.2%	3.5%	13.4%	6.9%	5.1%
Inter observateur	17.5%	4%	3.5%	24.3%	5.6%	4.8%	17.8%	8.3%	3.6%

TDM versus IRM

	VTD (ml)	VTS (ml)	Masse (g)	FEVG (%)
64-DSCT	214.8	94.9	122.1	57.3
MRI	203.8	91.4	121.2	56.9

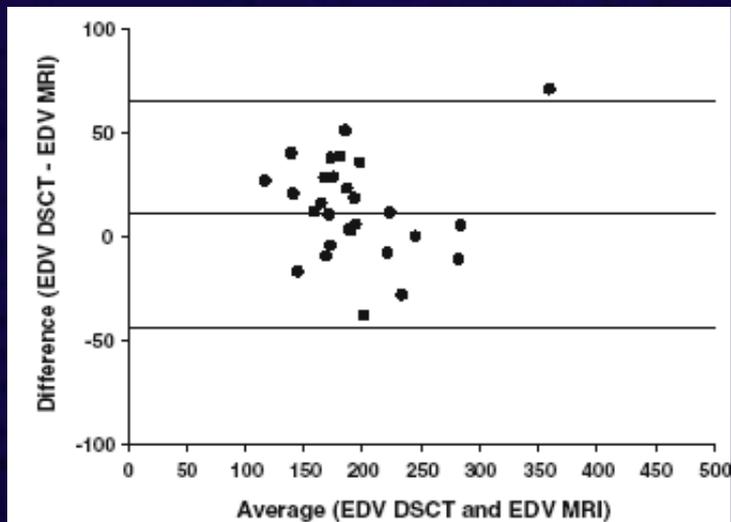


Fig. 3 Bland-Altman plot comparing EDV measured by DSCT with EDV measured by MRI

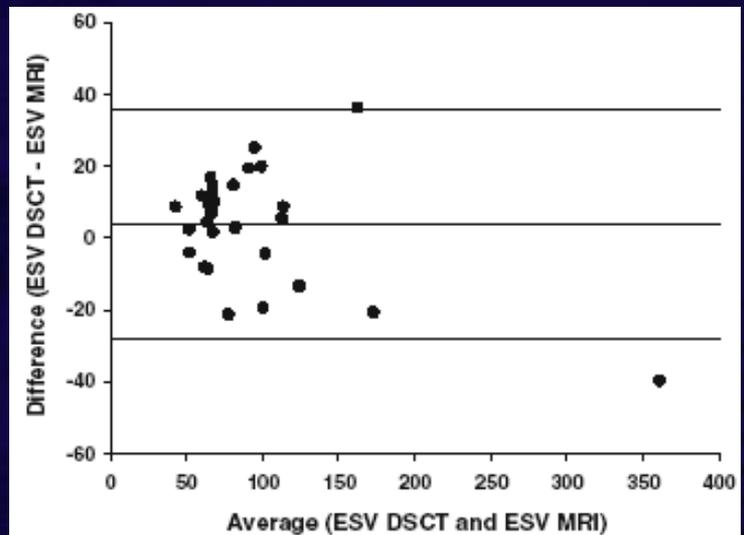


Fig. 4 Bland-Altman plot comparing ESV measured by DSCT with ESV measured by MRI

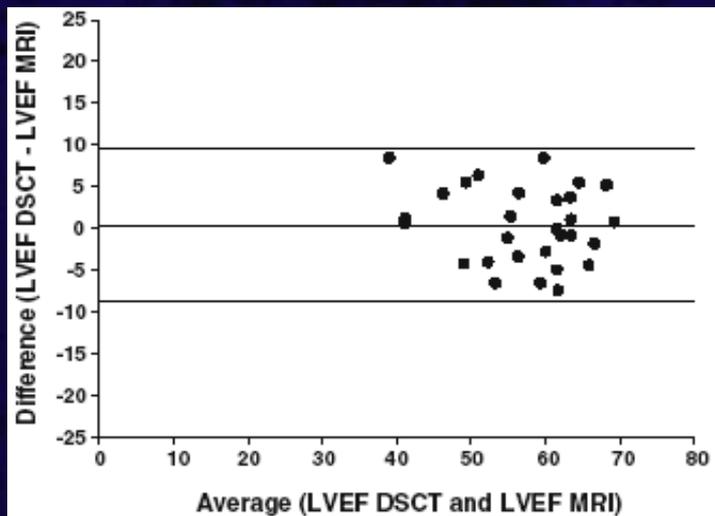


Fig. 6 Bland-Altman plot comparing LVEF measured by DSCT on 29 DSCT datasets with LVEF measured by MRI

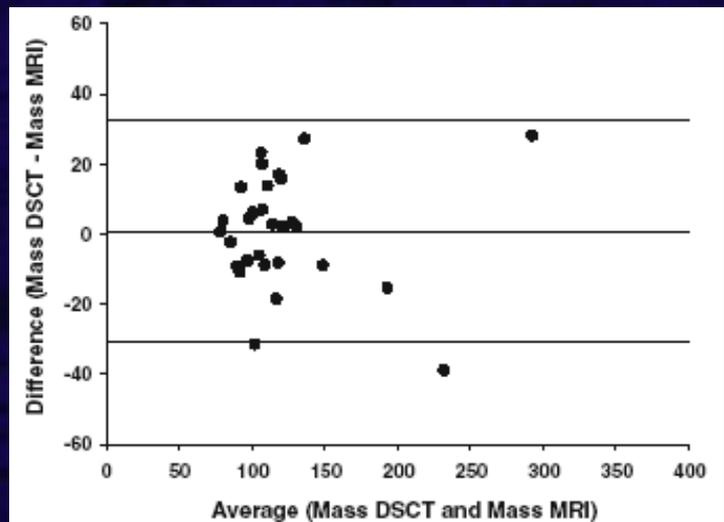
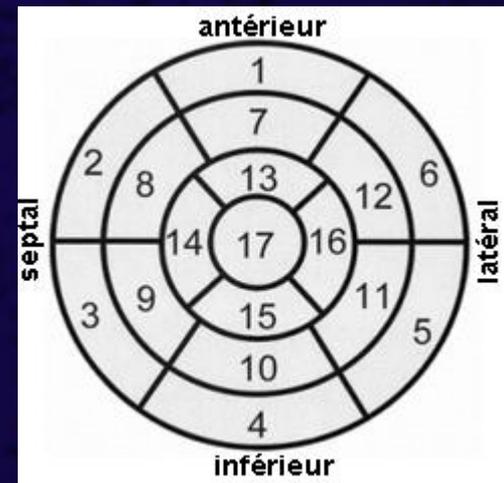


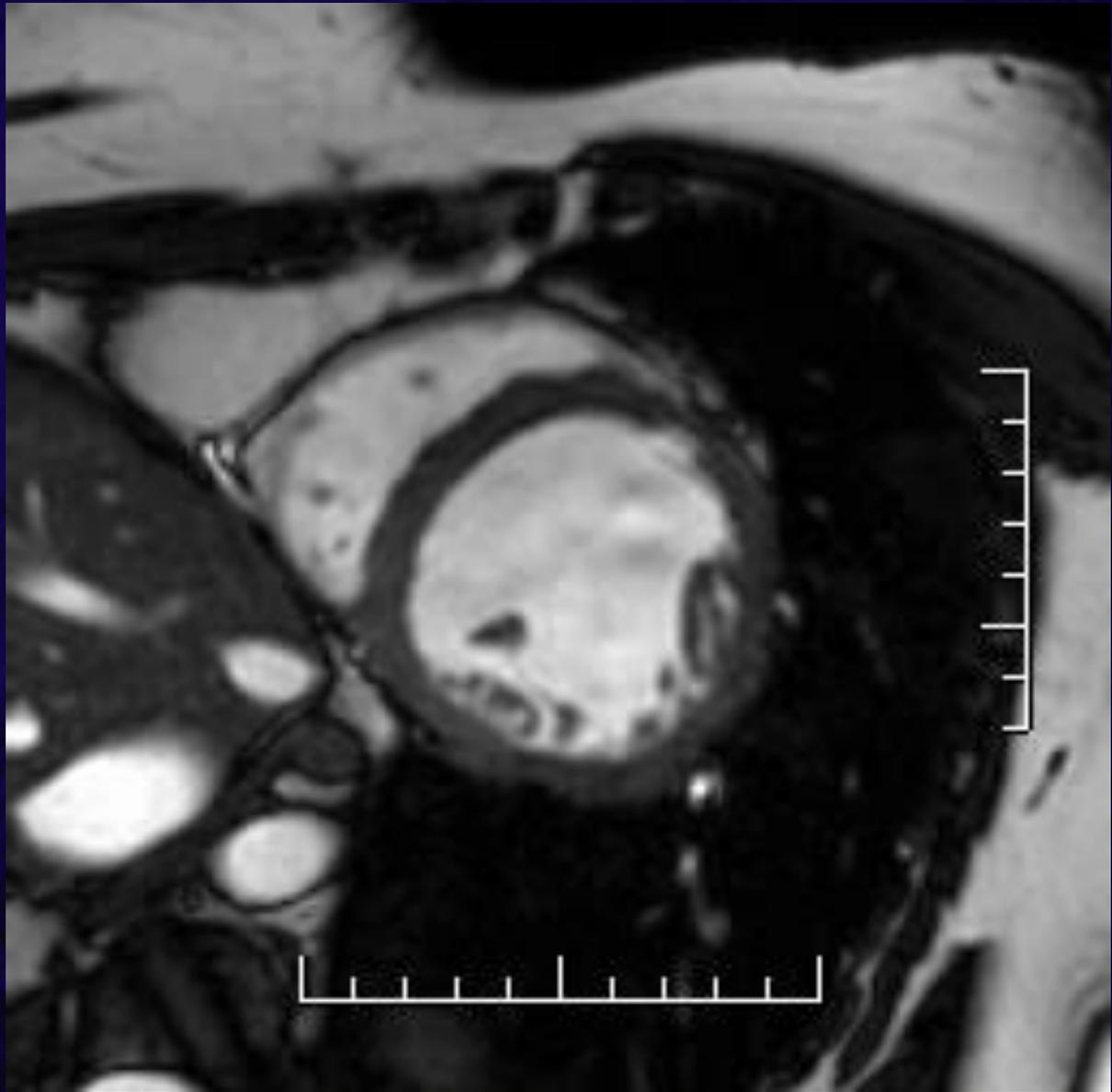
Fig. 5 Bland-Altman plot comparing myocardial mass measured by DSCT with myocardial mass measured by MRI

Global LV functional parameters calculated from DSCT correlated well with MRI

Cinétique segmentaire

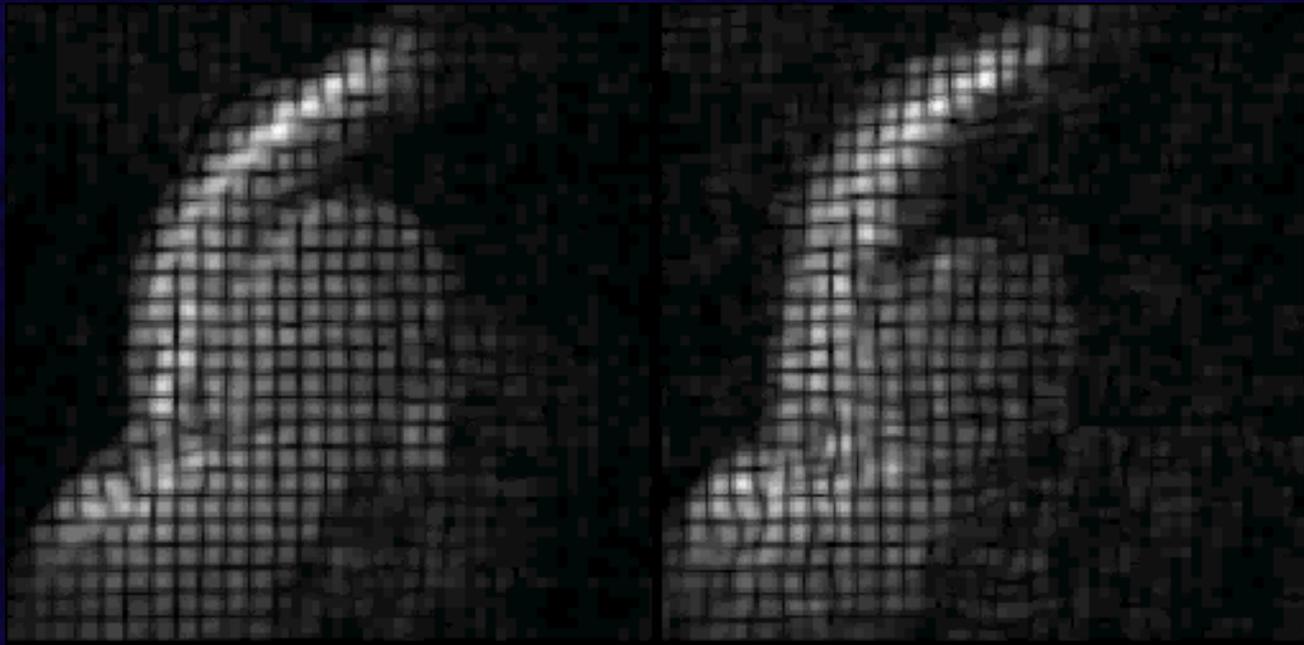
- Evaluation visuelle
- Incidence petit-axe
- Incidence long axe VG ou 4 cavités pour l'apex
- Description systématisée des anomalies :
 - territoires : antérieur, septal, inférieur, latéral, apex
 - segments : basal, médian, apical
 - qualificatif : normo, hypo, a ou dyskinétique





Cinétique segmentaire

- Tagging
 - bandes de pré-saturation appliqué en télé-diastole
 - déformation par la contraction myocardique
 - la déformation des lignes peut être quantifiée
 - expression en échelle de couleur

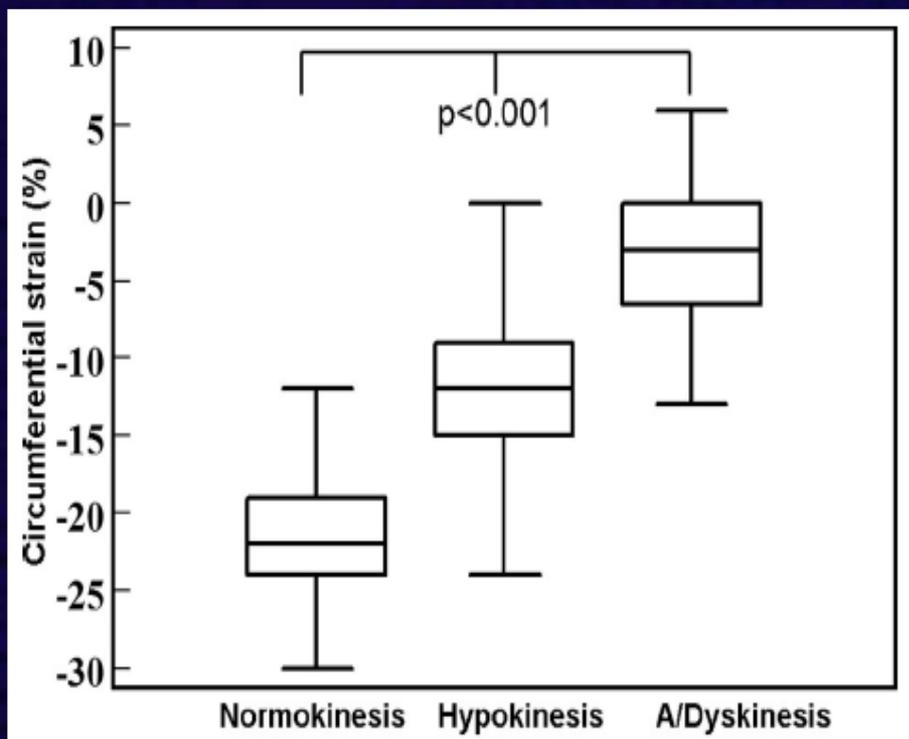


HEGP



Cinétique segmentaire

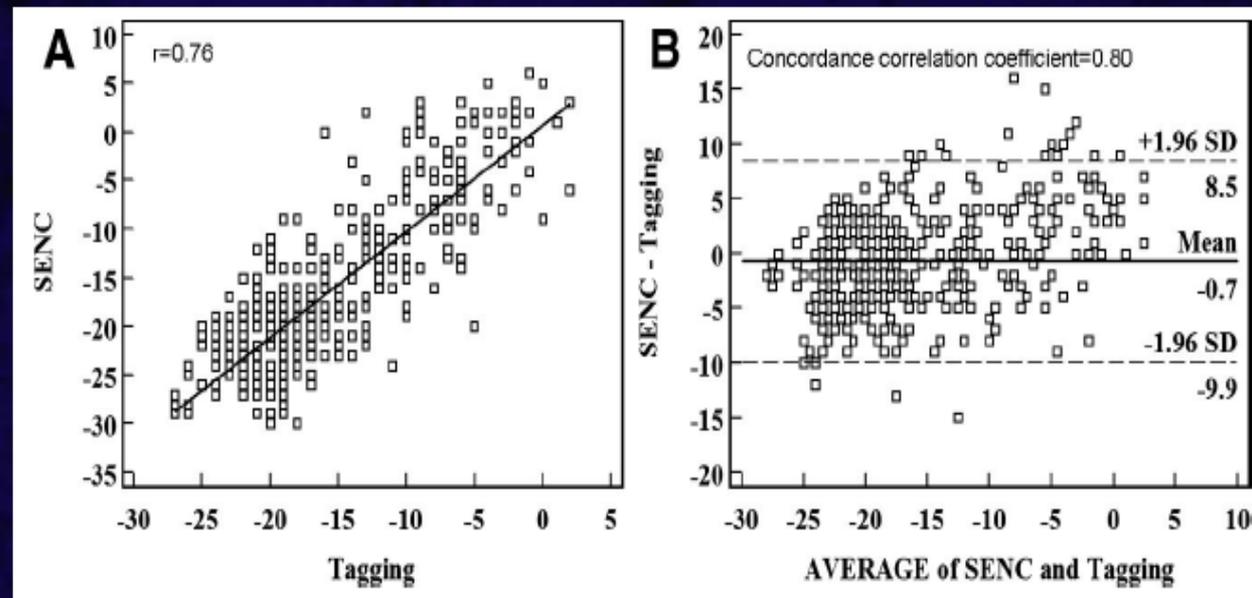
- 38 patients, phase aigue d'un IDM (3 ± 1 j après reperfusion) / 10 volontaires sains
- Strain-encoded imaging (SENC) : mesure du strain circonférentiel et longitudinal / analyse de la cinétique segmentaire



Strain was different in regions defined as normokinetic, hypokinetic, or akinetic

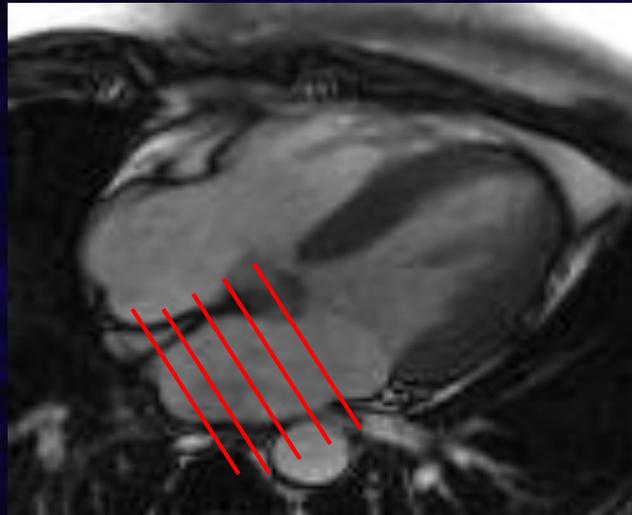
Circumferential and Longitudinal Strain Related to Ejection Fraction

Strain analysis of SENC and MR tagging correlated well



Fonction diastolique et IRM

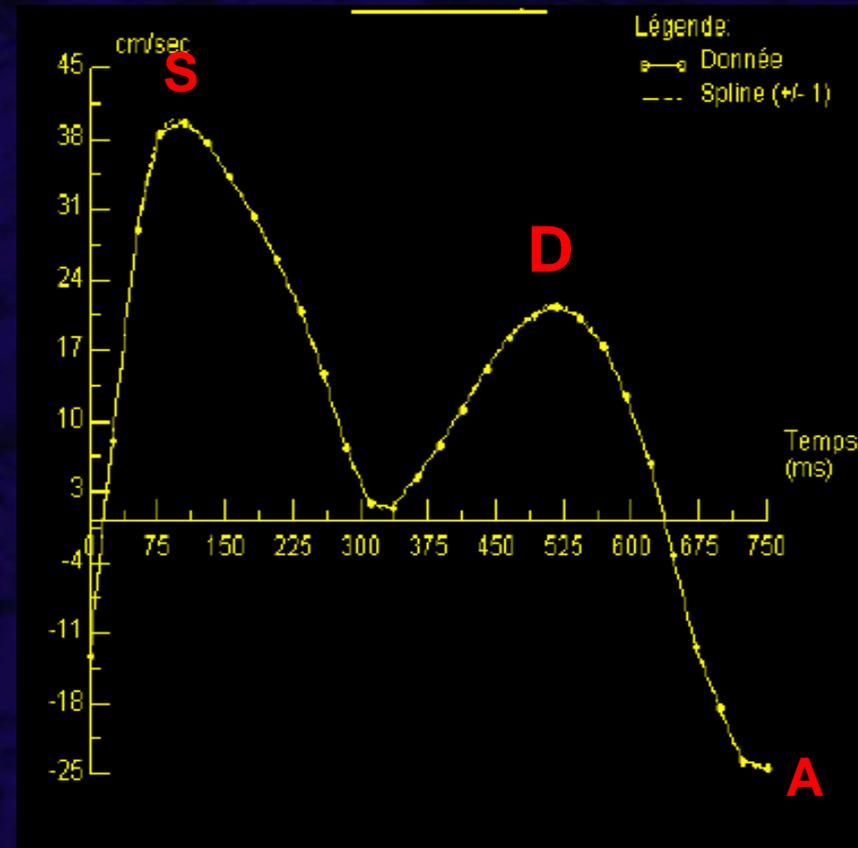
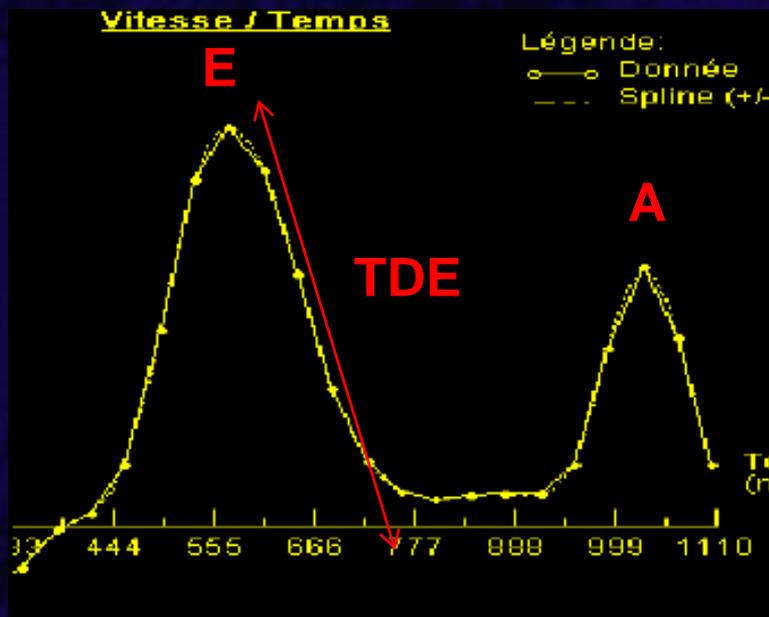
- Taille de l'OG : marqueur chronique de dysfonction diastolique
- Volumétrie par méthode de Simpson :
 - coupes petit axe (base / anneau mitral)
 - contourage endocardique pour chaque coupe.
 - calcul des volumes TD et TS et de la fraction d'éjection de l'OG.



$$V_{\max} = 97 \pm 27 \text{ ml}$$

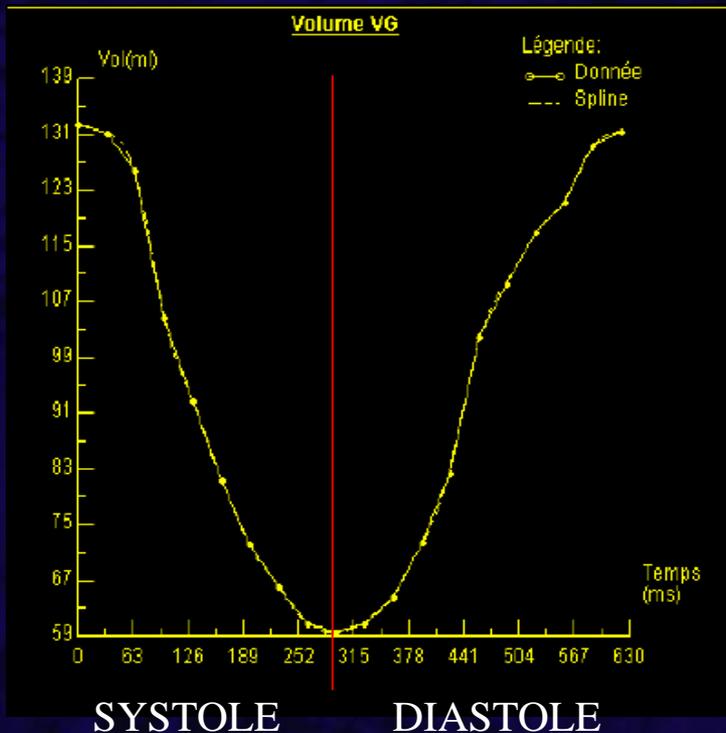
Fonction diastolique et IRM

- Flux trans-mitral et flux veineux pulmonaire
 - séquences en contraste de phase avec acquisition rétrospective en respiration libre



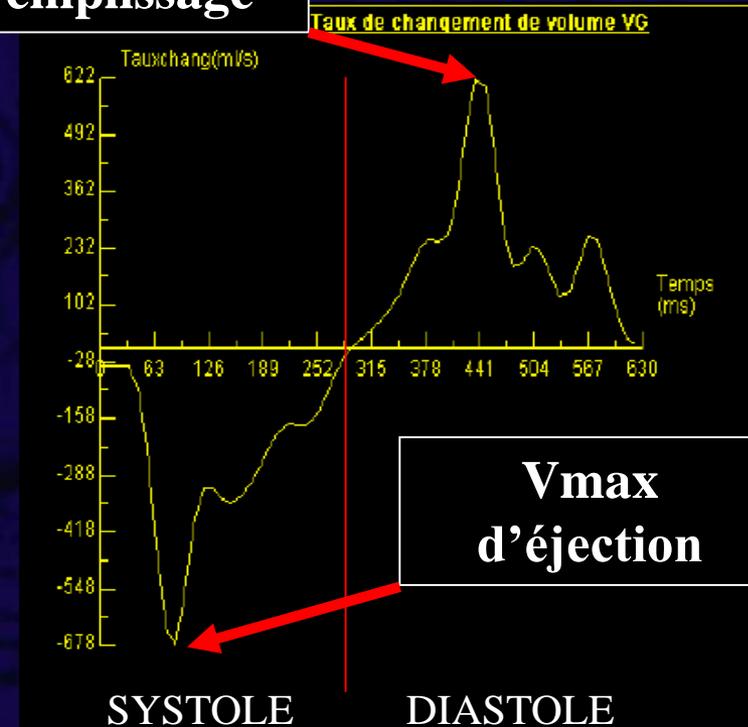
Fonction diastolique et IRM

• Courbe de remplissage VG



Volume de remplissage du VG en fonction du temps

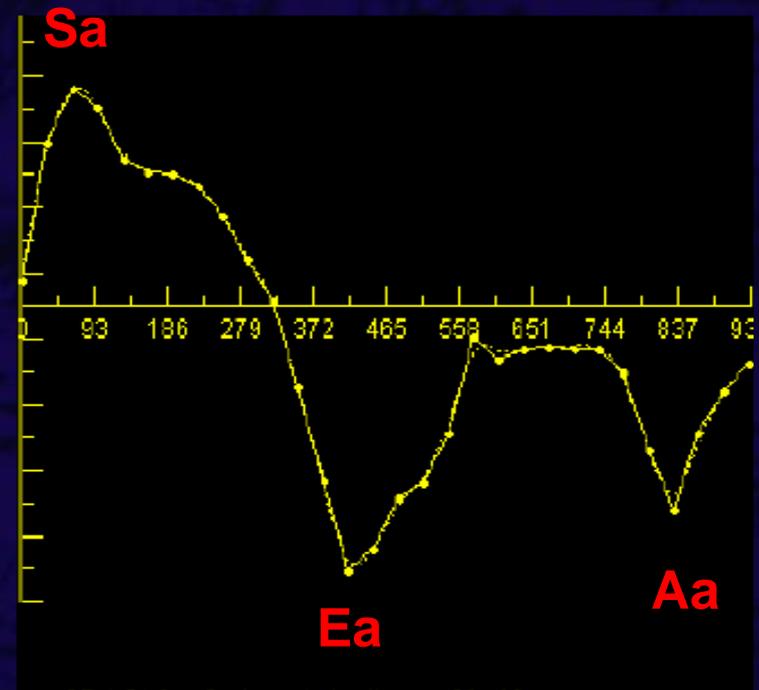
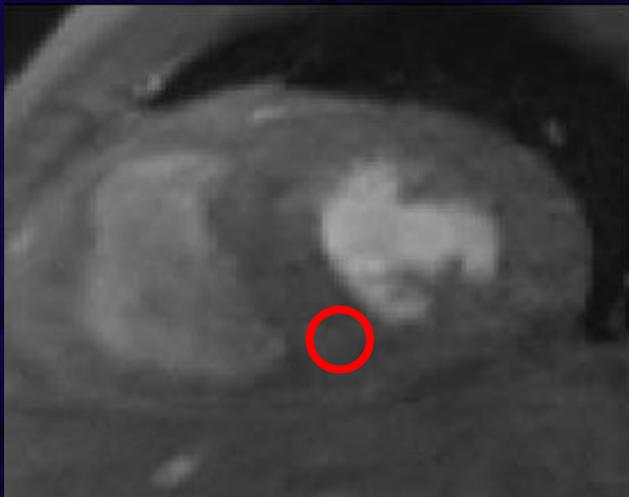
V_{max} de remplissage



Dérivée de la courbe de remplissage du VG en fonction du temps

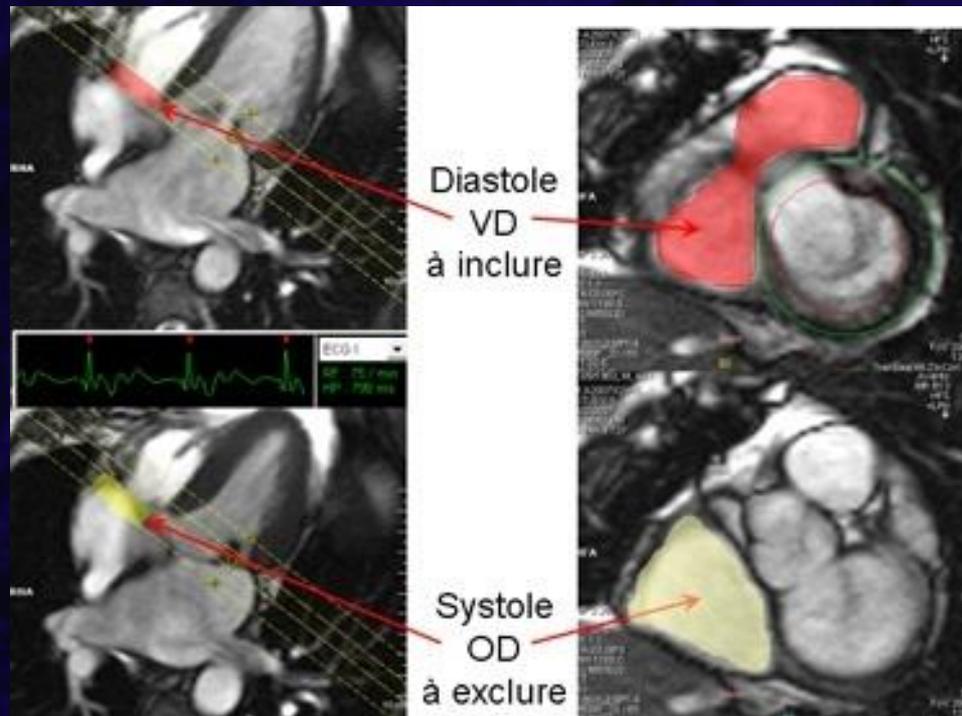
Fonction diastolique et IRM

- Contraste de phase tissulaire
 - vitesse d'encodage à 30 cm/s contre 130 cm/s pour le flux trans mitral
 - ROI au niveau du septum inféro-basal (meilleure corrélation avec l'ETT pour rapport E/Ea)



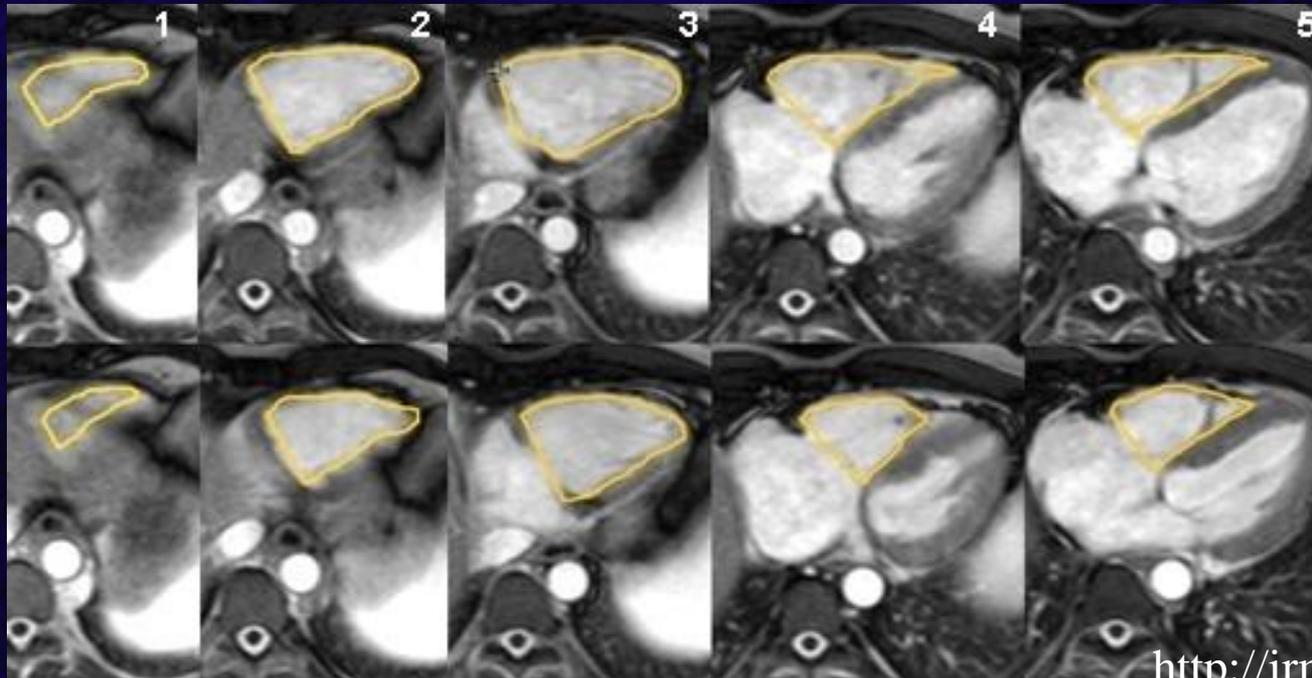
VD, quelle incidence?

- Coupe petit axe
 - contourage facile
 - problème de limite de coupe OD/VD dans la même phase et au cours du cycle cardiaque



VD, quelle incidence?

- Pile de coupes axiales
 - excellente identification du plan tricuspидien
 - contourage facile
 - effet de volume partiel sur les coupes extrêmes



« Normes » pour le VD

	IVTD (H)	IVTD (F)	masse (H)	masse (F)	FE (H)	FE (F)
VG	82	78	65	52	64	64
VD	86	75	25	23	55	60

SSFP ; pile de coupe petit axe ; IVTD (ml/m²) ; IMVG (g/m²) ; FE (%)

- Volumes et masse ventriculaires plus élevés chez l'homme que chez la femme
- Volumes ventriculaires droits un peu plus élevés qu'à gauche
- FEVD plus faible que FEVG

« Normes » pour le VD

- 60 patients sans cardiopathie / IRM 1,5 T / mesures en petit axe

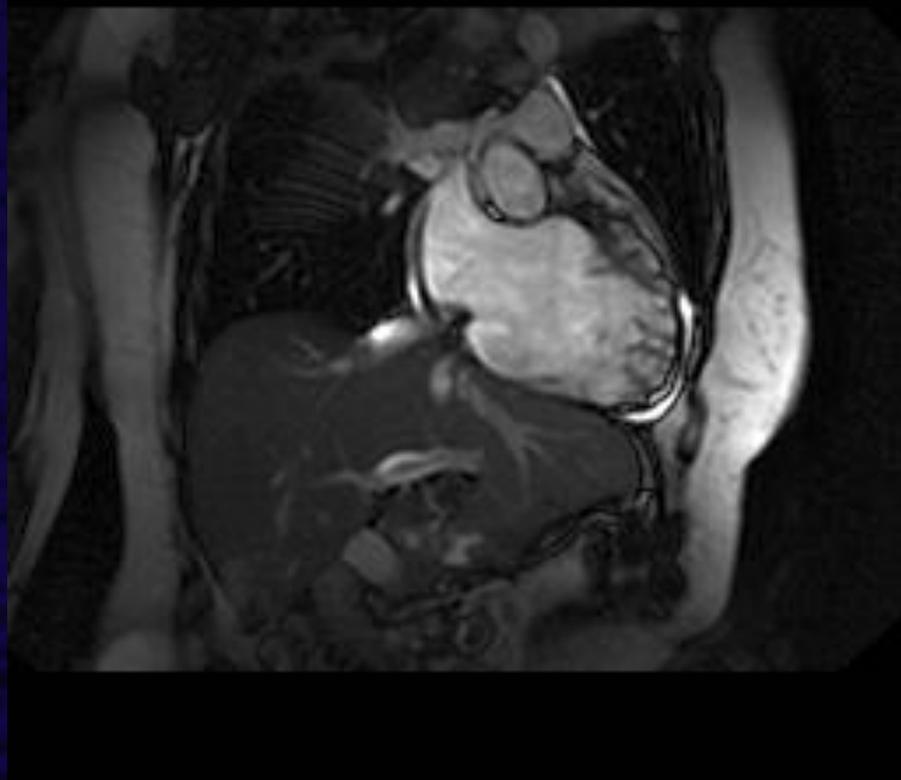
Table 1. Mean values \pm S.D. of left ventricular (LV) dimensions with SSFP MRI

	Combined	Males	Females
EDV (mls)	117.26 \pm 33.40	124.22 \pm 32.95	104.58 \pm 31.24
ESV (mls)	50.03 \pm 20.20	52.92 \pm 20.54	44.77 \pm 19.04
EF (%)	58.52 \pm 7.97	58.62 \pm 8.24	58.35 \pm 7.68
Mass (g)	114.16 \pm 40.61	131.20 \pm 39.85	83.07 \pm 16.66
LV EDV/BSA (ml/m ²)	59.92 \pm 17.31	60.21 \pm 16.69	61.82 \pm 21.26
LV mass/BSA (g/m ²)	58.65 \pm 10.55	71.98 \pm 12.8	52.10 \pm 10.37
LV EDV/HT (ml/m)	66.44 \pm 21.46	69.97 \pm 18.54	64.13 \pm 22.01
LV Mass/HT (g/m ²)	65.59 \pm 17.46	71.98 \pm 12.80	54.09 \pm 11.28

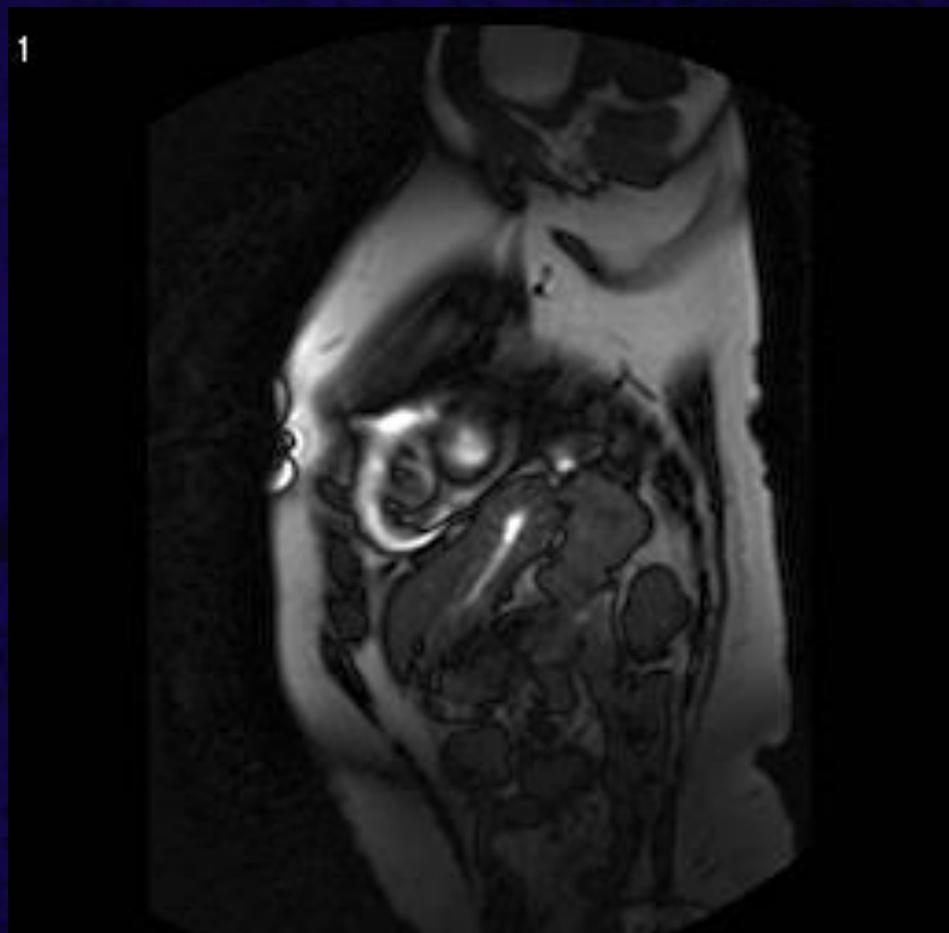
Table 2. Mean values \pm S.D. of right ventricular (RV) dimensions with SSFP MRI

	Combined	Males	Females
EDV (ml)	163.63 \pm 52.21	186.23 \pm 40.60	116.87 \pm 42.69
ESV (ml)	89.48 \pm 34.26	92.74 \pm 26.93	57.11 \pm 23.33
EF (%)	45.59 \pm 11.58	45.89 \pm 9.56	44.75 \pm 16.38
RV EDV/BSA (ml/m ²)	81.43 \pm 23.14	86.95 \pm 28.97	67.03 \pm 24.25

1



1



DAVD / Task force criteria

- Altération de la fonction globale du VD :

- Majeur :

- VTD VD > 110 ml/m² (H)
- VTD VD > 100 ml/m² (F)
- FEVD $< 40\%$

- Mineur :

- VTD VD > 100 à < 110 ml/m² (H)
- VTD VD > 90 à < 100 ml/m² (F)
- FEVD $> 40\%$ à $< 45\%$

Littérature

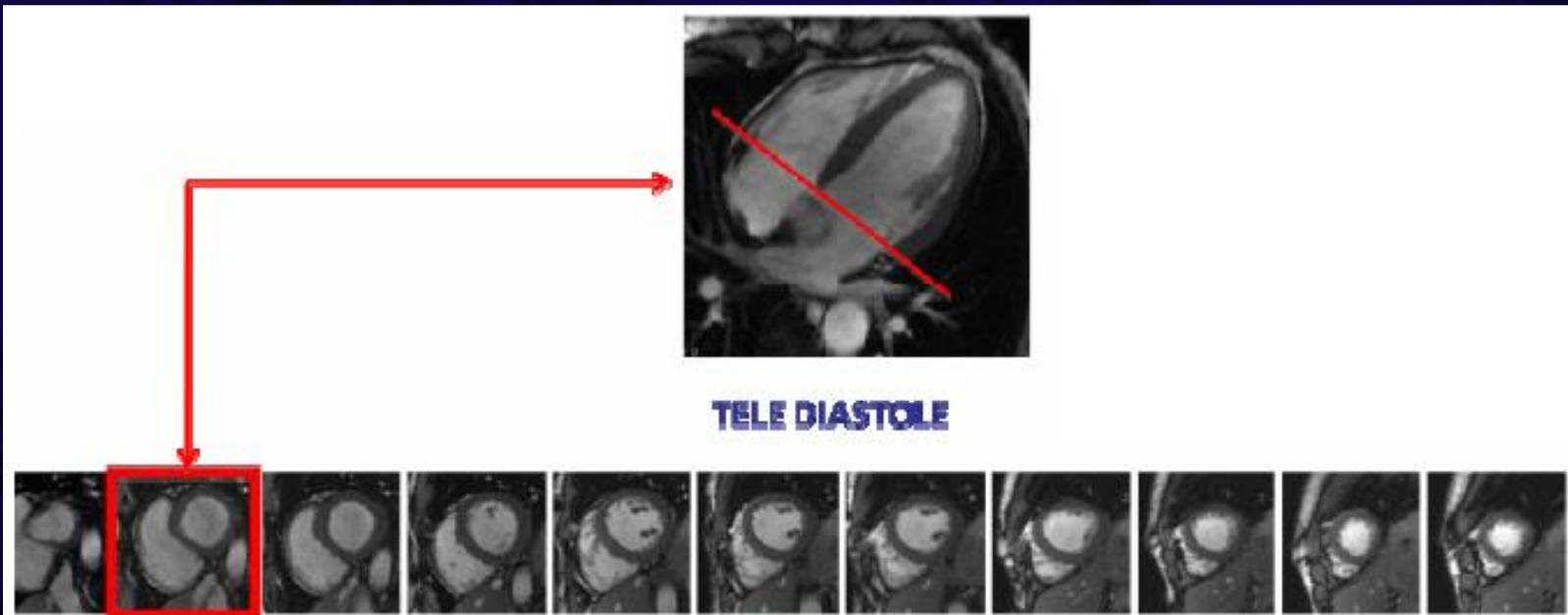
- Excepté pour la masse VD, la reproductibilité intra et inter observateur pour la mesure des dimensions VD est bonne chez des patients ayant un VD normal ou un VD dilaté.
(Mooij C.F. et al. J Magn Reson Imaging. 2008 Jul;28(1):67-73)
- La reproductibilité intra et inter observateur pour la mesure des paramètres VD évalué en IRM est bonne dans une large gamme de dimensions. Toutefois le prudence est requise en ce qui concerne la mesure de la masse et de la FE en cas d'HVD ou d'altération importante de la FEVD
(Catalano J. J Cardiovasc Med. 2007 Oct;8(10):807-14)

Littérature

- Facteurs influençant principalement la variabilité :
 - expérience des examinateurs
 - choix de la coupe petit axe basale (épaisseur de coupe +++)
 - choix de la phase systolique
- Peu d'influence du choix de la coupe apicale

Solutions

- Nouvelle série de coupe petit axe perpendiculaire au grand axe VD
- Coupes basales :
 - coupes présentant une paroi épaisse = ventriculaires
 - coupes présentant une paroi fine = atriales donc exclues
- Repérage des coupes basales et apicales en systole et diastole en repérant l'anneau tricuspide sur une coupe 4 cavités

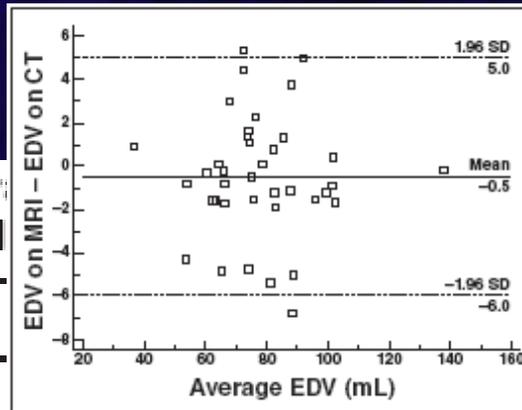


IRM : référence pour le VD!

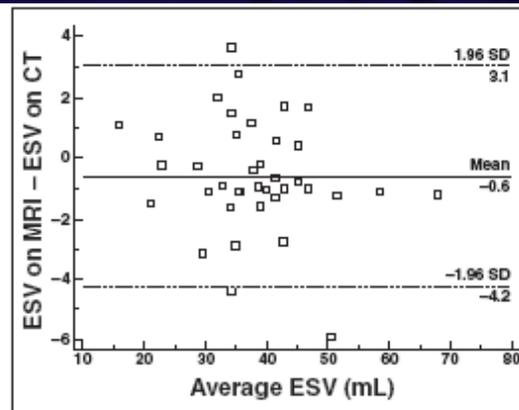
- 38 patients, CMI suspectée, ECG-gated 64-MDCT / 1.5-T MRI

TABLE I: Parameters and

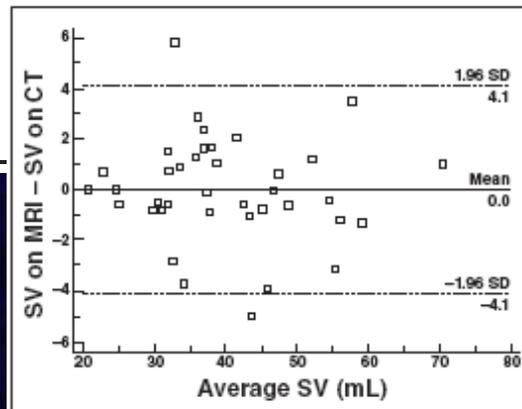
Parameters
EDV [mL]
ESV [mL]
SV [mL]
EF [%]



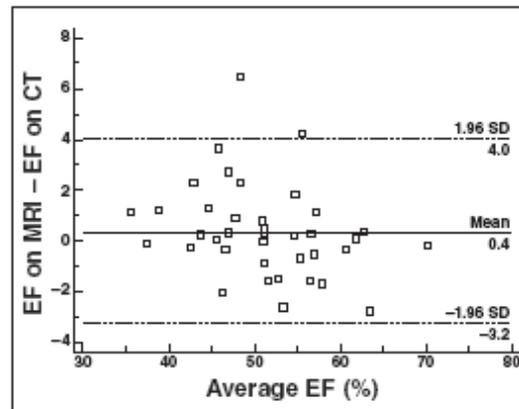
A



B



C



D

ned by MDCT

ANOVA (*p*)

0.9101

0.9101

0.9101

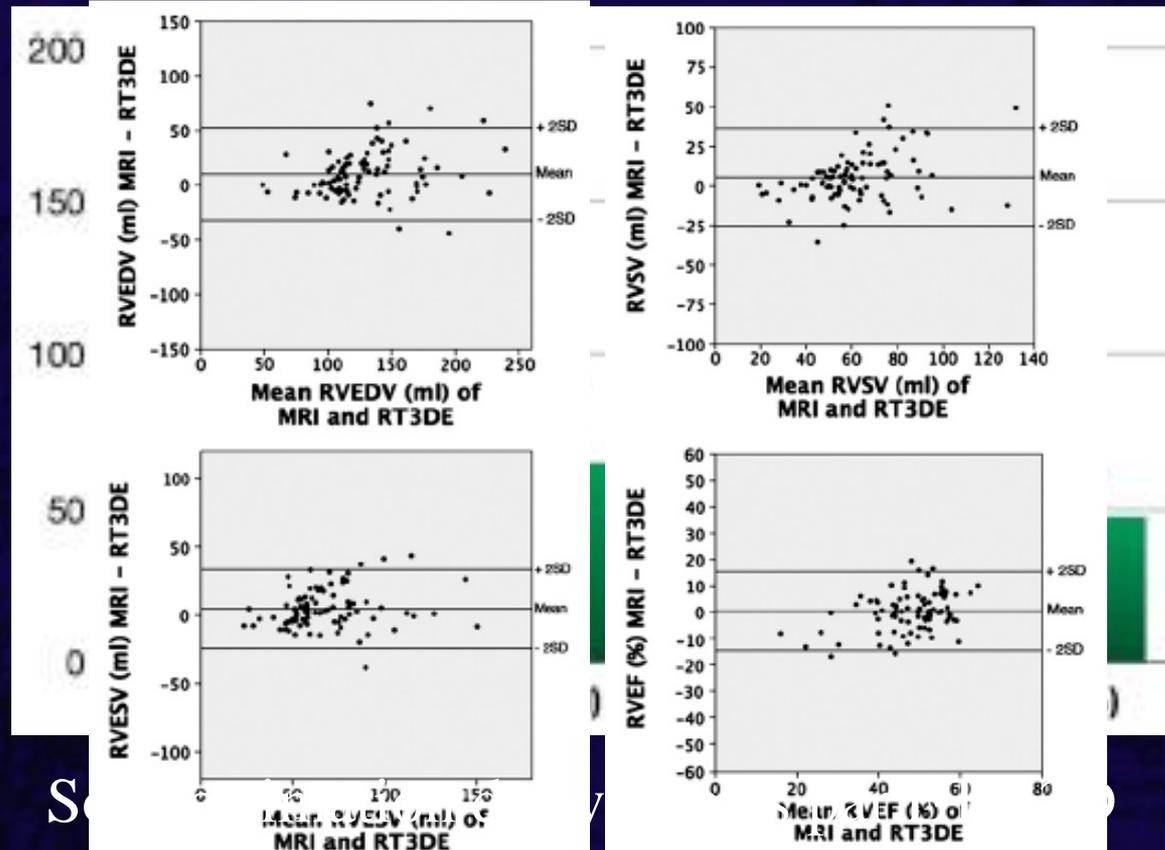
0.9101

Plumhans C. et al. *AJR* 2008; 190:1358–1361

No statistically significant differences between the 2 techniques

IRM : référence pour le VD!

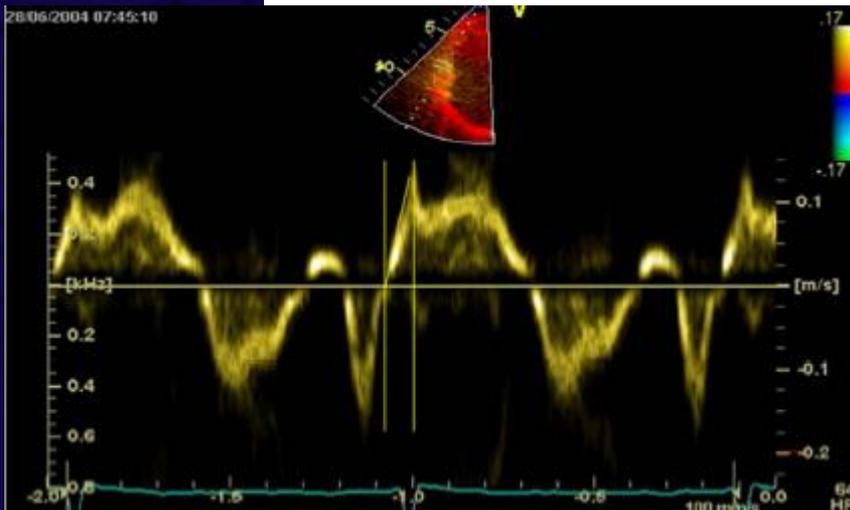
- 88 patients, avec ou sans cardiopathie, ETT 3D / IRM 1,5T



Corrélation ETT 3D / IRM : $r = 0.72$ à 0.84 ($p < 0.001$)

IRM : référence pour le VD!

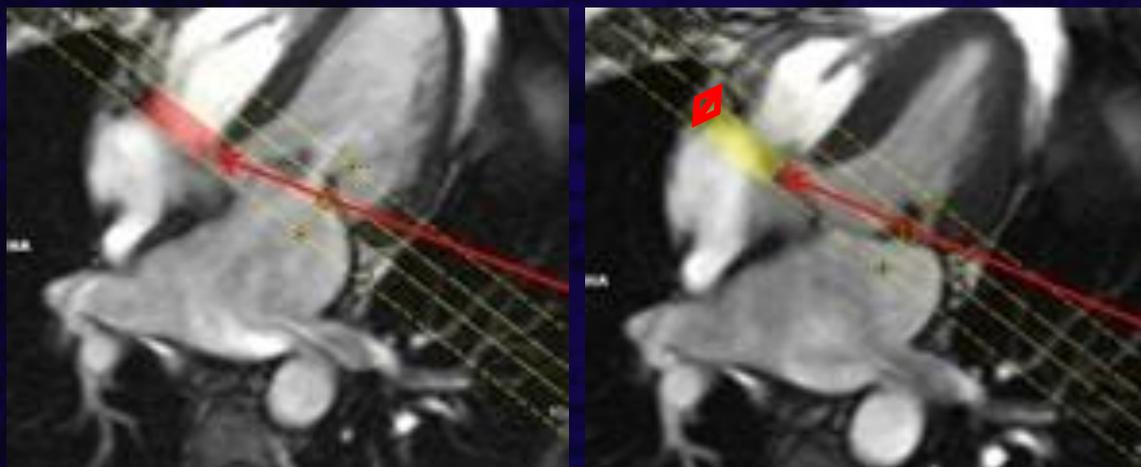
- 32 patients, cardiopathies diverses, ETT / IRM 1,5T
- Param Corrélation entre 2D strain et FE IRM.



A. multivariée : strain apical

TAPSE en IRM

- 75 CMD et 25 DAVD, IRM 1,5T
- Volumes VD et FEVD (petit axe, simpson) ; TAPSE (4 cavités)
- TAPSE et FEVD plus bas si DAVD ($p=0.01$ et $p<0.001$)
- TAPSE corrélé à FEVD ($r=0.68$; $p<0.001$)
- TAPSE < 14 mm permet d'identifier une FEVD $< 35\%$



L'excursion systolique de l'anneau tricuspide en IRM. Azarine A.

Limites

- Accessibilité
- Contre-indications à l'IRM :
<http://www.mrisafety.com/list.asp>
 - objets métalliques intra oculaires ou intracrâniens
 - pompes injecteurs implantables...
- Claustrophobie
- Impossibilité d'apnée
 - navigateurs respiratoires
 - séquences ultra-rapides
- Arythmies: FA, ES fréquentes
 - séquences ultra-rapides

Indications

Table 3 Indications for CMR in coronary artery disease

Indication	Class
1. Assessment of global ventricular (left and right) function and mass	I
2. Detection of coronary artery disease	
Regional left ventricular function at rest and during dobutamine stress	II
Assessment of myocardial perfusion	II
Coronary MRA (CAD)	III
Coronary MRA (anomalies)	I
Coronary MRA of bypass graft patency	II
MR flow measurements in the coronary arteries	Inv
Arterial wall imaging	Inv
3. Acute and chronic myocardial infarction	
Detection and assessment	I
Myocardial viability	I
Ventricular septal defect	III
Mitral regurgitation (acute MI)	III
Ventricular thrombus	II
Acute coronary syndromes	Inv

Recommandations ESC

		Echo	CMR		Cath	SPECT	MDCT
Remodelling/dysfunction							
LV:	EDV	++	+++		++	++	++
	ESV	++	+++		++	++	++
	EF	++	+++		++	++	++
	Mass	++	+++		-	-	++
RV:	EDV	++	+++		+	-	++
	ESV	++	+++		+	-	++
	EF	++	+++		+	-	++
	Mass	++	+++		-	-	++

+ Cinétique segmentaire

Conclusion

- L'IRM permet au cours d'un même examen de :
 - quantifier les dimensions du cœur
 - évaluer les fonctions ventriculaires gauche et droite
 - apprécier la cinétique segmentaire au repos et au stress
- Sans injection de produit de contraste
- La reproductibilité de la technique et la qualité de l'imagerie font de l'IRM la méthode de référence pour l'étude de la fonction ventriculaire gauche et droite.
- La généralisation des machines et la simplification des protocoles en fait un examen de plus en plus accessible en routine.