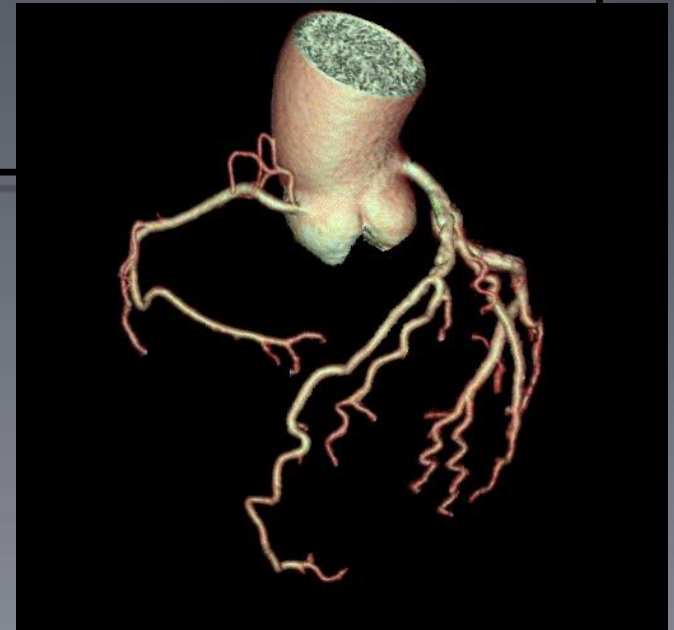
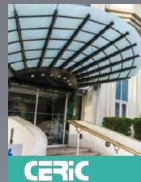


# Scanner cardiaque: Evolutions techniques

David Pesenti Rossi

DIU IMAGERIE CARDIAQUE  
CHU de Poitiers 27 Mars 2019



# Conflits d'intérêts

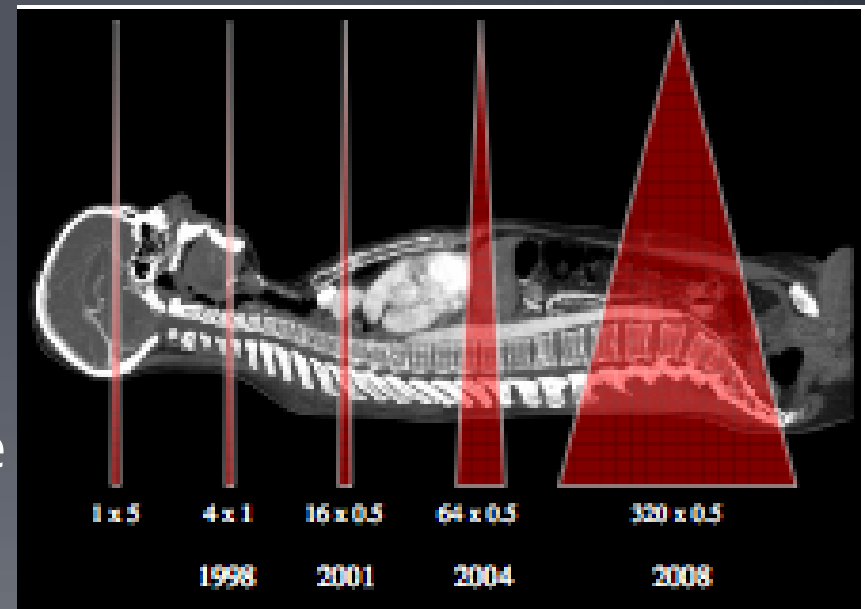
---

- Aucun
-

# Le chemin parcouru

---

- 2000: 4 détecteurs
- 2001: 16 détecteurs
- 2004: 64 détecteurs
- 2006: 64 détecteurs/double tube
- 2008: 128 détecteurs
- 2008: 320 détecteurs



# Evolution techniques

---

- La guerre des barrettes ou coupes est dépassée
- Les avancées actuelles sont dans l'amélioration de la dosimétrie, la qualité d'image et le post-traitement

# Aspects techniques

- Principes physiques

Le dispositif est constitué d'un ensemble rotatif composé d'un *tube à rayons X* faisant face à des *rangées de détecteurs*, cet ensemble tournant autour du patient. Le nombre de ces détecteurs ou barrettes est en augmentation à chaque nouvelle génération de détecteurs (4, 16, 64, 128...)

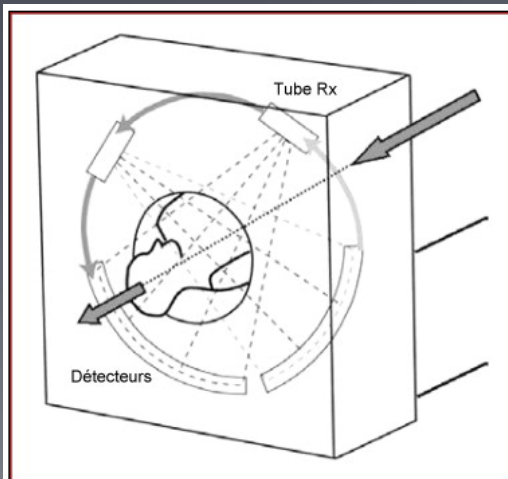


Figure 1 :

Scanner à rayons X. Le tube et les détecteurs tournent autour du patient. De multiples mesures d'atténuations sont effectuées selon différents angles de rotation du tube.

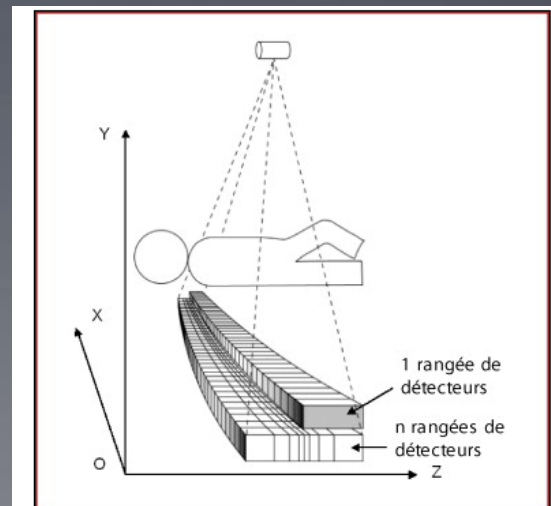


Figure 2 :

Rangées de détecteurs alignées en face du tube à rayons X.

# Aspects techniques

- Principes physiques

La tomodensitométrie X : Coupes axiales reconstruites à partir du coefficient d'atténuation des rayons X dans le volume exploré.

Il s'agit de l'absorption des rayons X au sein d'un volume exploré, à l'aide de multiples incidences d'un faisceau de rayons X.

Le Scanner est constitué d'un ensemble rotatif composé d'un *tube à rayons X* faisant face à des *rangées de détecteurs*, cet ensemble tournant autour du patient.

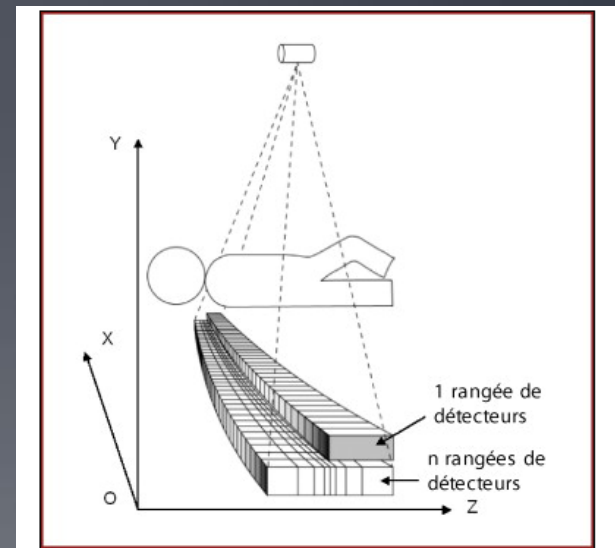
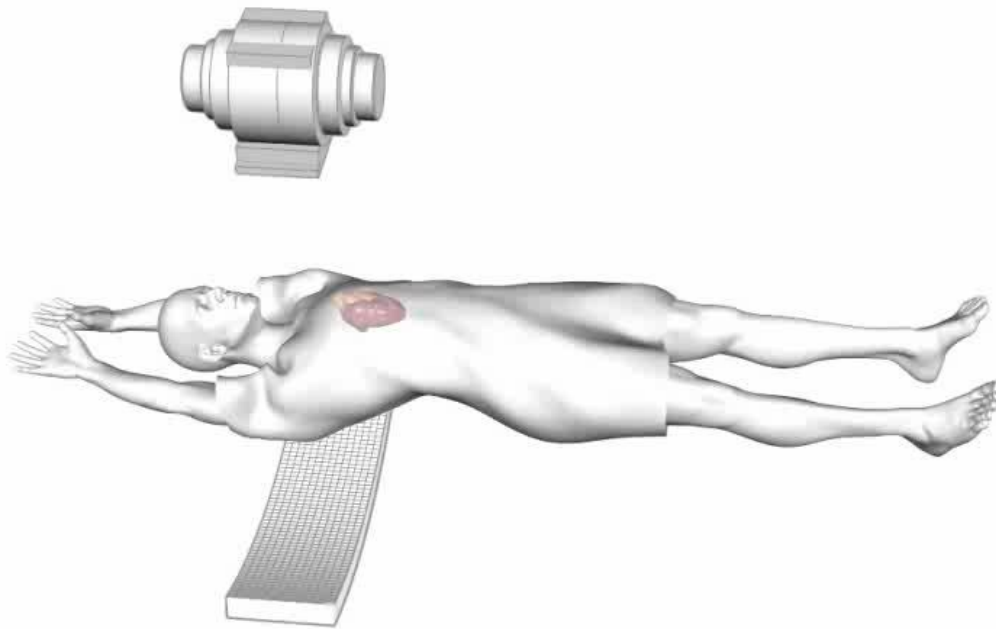


Figure 2 :

Rangées de détecteurs alignées en face du tube à rayons X.

## Mixed axial / helical acquisition for TAVR planning



2s transition from axial to helical scanning

# Aspects techniques

---

- Création de l'image

De multiples mesures d'atténuation sont effectués selon les angles de rotation du tube.

Traitement informatique pour définir la valeur du coefficient d'atténuation des rayons X de chaque voxel.

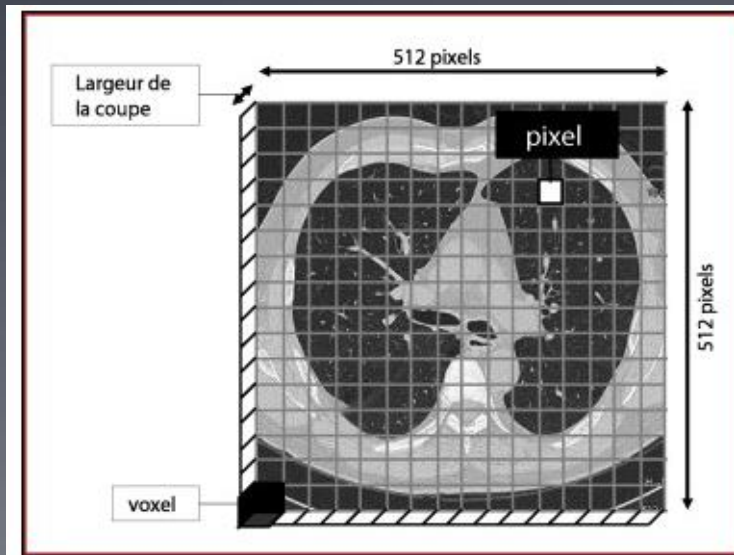
---



# Aspects techniques

- Création de l'image

En pratique, une image a toujours une certaine épaisseur, et chaque pixel à l'écran, représente donc une unité de volume élémentaire appelé voxel.



**Figure 3 :**

La matrice définit la taille des pixels. Chaque pixel de l'image représente par l'échelle de gris défini par la fenêtre, la densité d'une unité de volume qu'est le voxel.

# Quels sont les besoins du clinicien ?

---

- Examen fiable
    - Bonne résolution spatiale
    - Bonne résolution temporelle
    - Pas d'artéfact
  - Peu irradiant
  - Rapide et facile à interpréter
-

# Imager tous les patients

---

- Rythmes élevés, ESV, Apnée, FA

→ Solutions:

Couverture sur l'axe Z / Nombre de détecteurs

Acquisition sur 1 battement

Résolution temporelle optimale

---

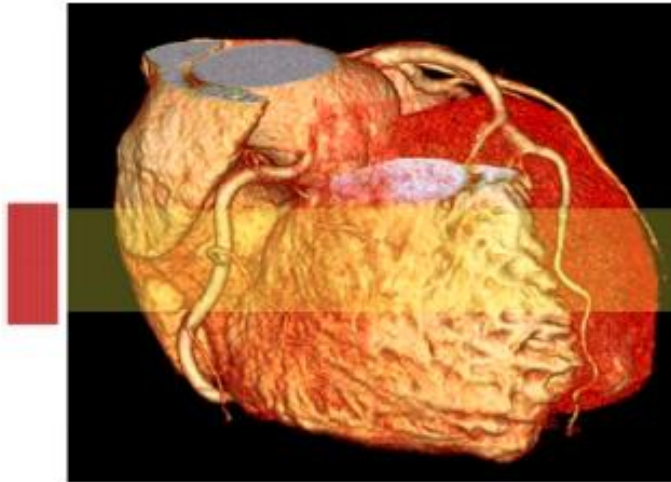
# La multiplication des détecteurs

---

→ Epaisseur d'acquisition à chaque rotation = Durée de l'apnée

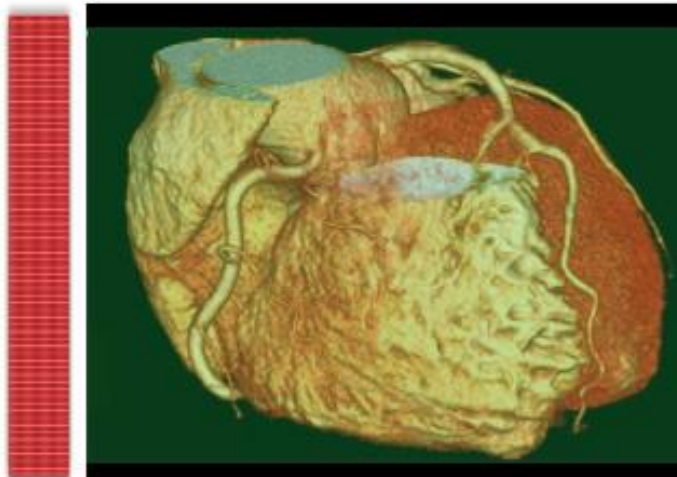
- 4 barrettes: 40 secondes
  - 16 barrettes: 20 secondes
  - 32 barrettes: 10 secondes
  - 64 barrettes: 6 secondes
  - 256/320 barrettes: 0.7 secondes
-

## Coverage Comparison



**64-detector  
row CT**

A depiction of the coverage acquired with today's 64-detector row CT technology



**256/320-détecteurs**

**Couverture=16c  
m**

Unlike any other CT system, the Aquilion ONE can scan one organ – including the heart, brain and other organs – in one rotation because it covers up to 16 cm of anatomy using 320 ultra high resolution 0.5mm detector elements.

# Scanners MSCT de 4<sup>e</sup> génération

	Détecteurs	#Coupes	Epaisseur (cm)
Siemens Def, As+	64 * 0.6 (mm)	128	3.8
GE 750 HD	64 * 0.625	128	4
Philips ICT	128 * 0.625	256	8
Toshiba Genesis	320 * 0.5	?	16
GE Revolution	256 * 0.6 (mm)	512	16
Siemens Double tube Force	192 * 0.6	192	12?

# Exemple de système

## Revolution CT (GE)

### New Gemstone Clarity detector

- 160 mm whole organ coverage
- 0.23 mm spatial resolution



# Gemstone Clarity Image chain



imaginative 510(k) pending at FDA. Not available for sale in the United States. Not yet CE marked. Not available for sale in all regions.

\* Trademark of General Electric Company | © 2013 General Electric Company – all rights reserved.

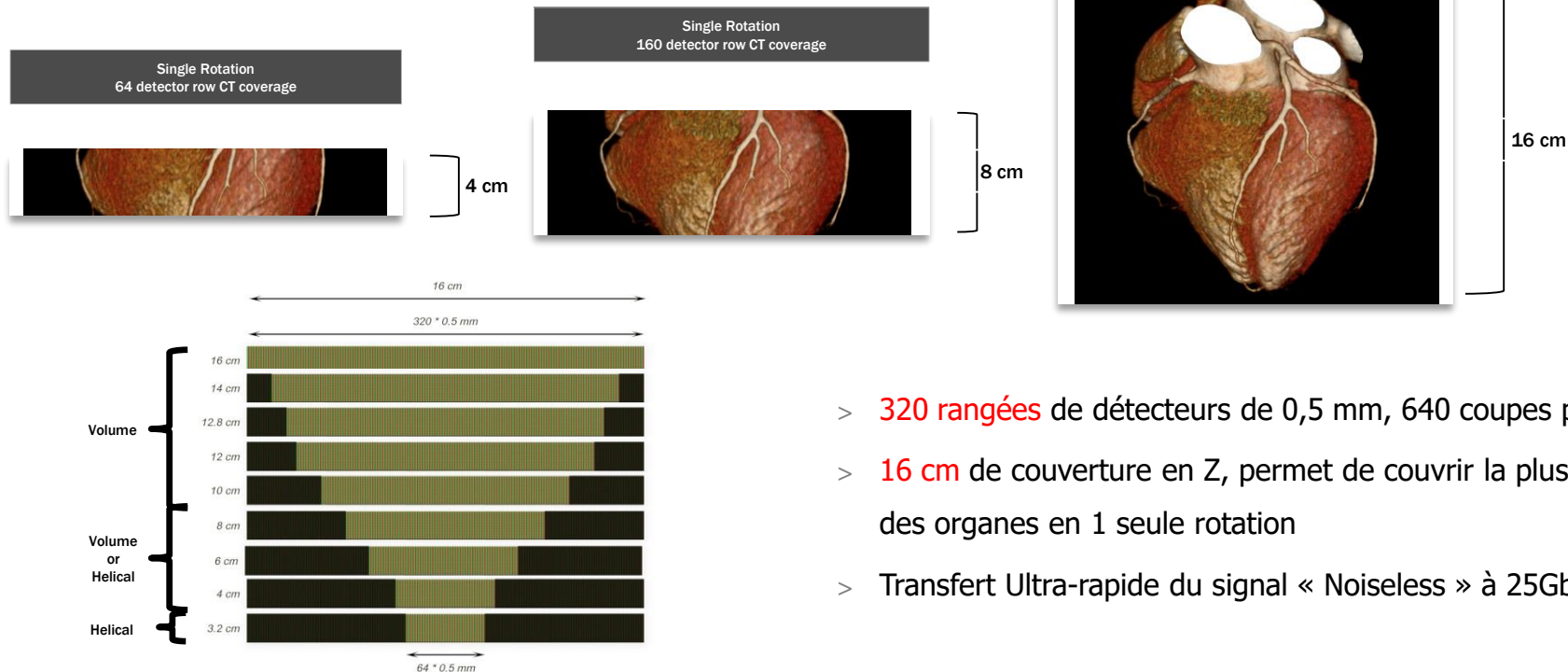


# Acquisition sur 1 battement

---

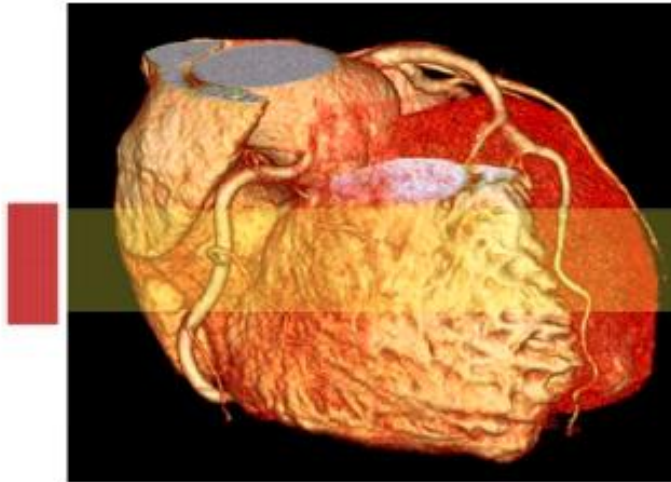
- 320 détecteurs ou 256 détecteurs selon constructeur.
  - 16 cm de couverture ( $320 * 0.5\text{mm}$  ou  $256 * 0.6\text{mm}$ )
  - Acquisition massif cardiaque en 1 ou 2 diastoles.
  - Limite les artéfacts de reconstruction
-

# GENESIS | DETECTEUR - PURE VISION



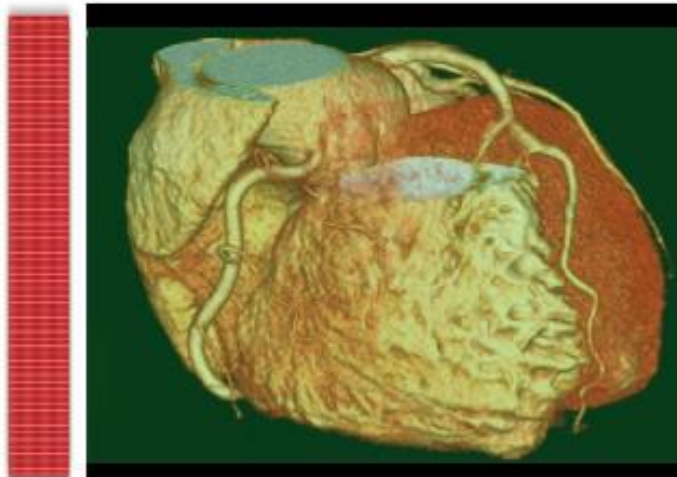
- > 320 rangées de détecteurs de 0,5 mm, 640 coupes par rotation
- > 16 cm de couverture en Z, permet de couvrir la plus part des organes en 1 seule rotation
- > Transfert Ultra-rapide du signal « Noiseless » à 25Gb/sec

## Coverage Comparison



**64-detector  
row CT**

A depiction of the coverage acquired with today's 64-detector row CT technology



**256/320-détecteurs**

**Couverture=16c  
m**

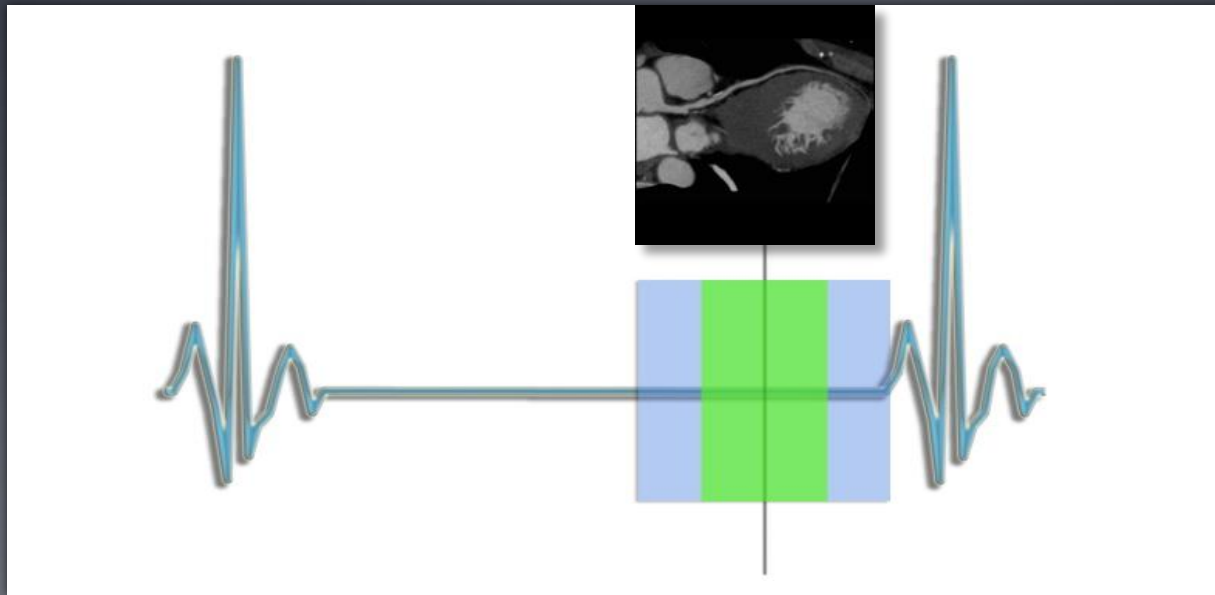
Unlike any other CT system, the Aquilion ONE can scan one organ – including the heart, brain and other organs – in one rotation because it covers up to 16 cm of anatomy using 320 ultra high resolution 0.5mm detector elements.

# Acquisition 1 battement

## Toshiba Aquilion 1

---

### Cœur – Mode Prospectif



Acquisition sur un seul battement  
Résolution Temporelle Volumique 16 cm: 175 ms

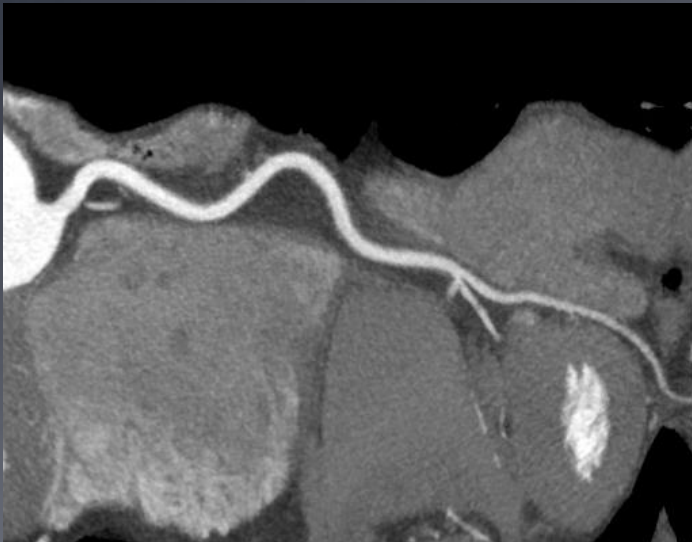
---

# Acquisition 1 battement

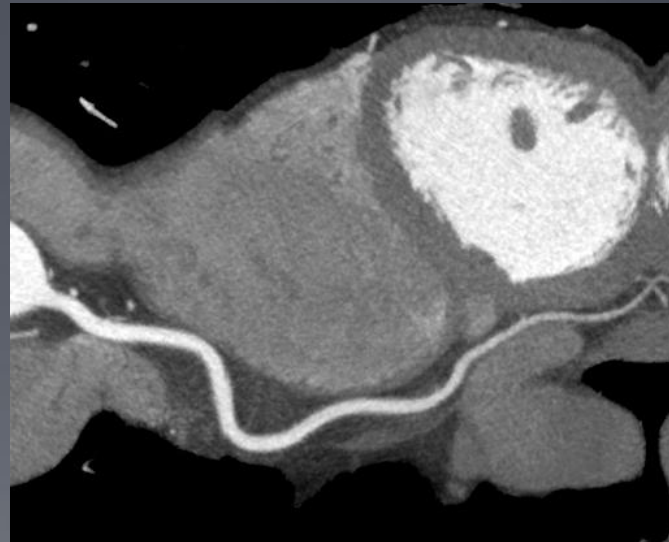
---

## Coeur Isophasique

RCA



RCA



- 16 cm Couverture sans mouvement Table
  - 1 seul Battement / Pas d'artéfacts de reconstruction / Opacification coronaire homogène
  - Apnée 0,35 – 2,5 s
-

# Imager tous les patients

---

- Rythmes élevés, ESV, Temps d'apnée

→ Solutions:

Résolution temporelle:

Dépend de la vitesse de rotation du statif ( $RT = V/2$ )

-Toshiba / Canon:  $V = 0.35\text{s/tour} \rightarrow RT = 175\text{ms}$

-Philips (technologie coussin d'air):  $V = 0.27\text{s/tour} \rightarrow RT = 135\text{ms}$

-Siemens (Bitube):  $V = 0.25\text{s/tour} \rightarrow RT/2 = 66\text{ms} (< 100\text{ms})$

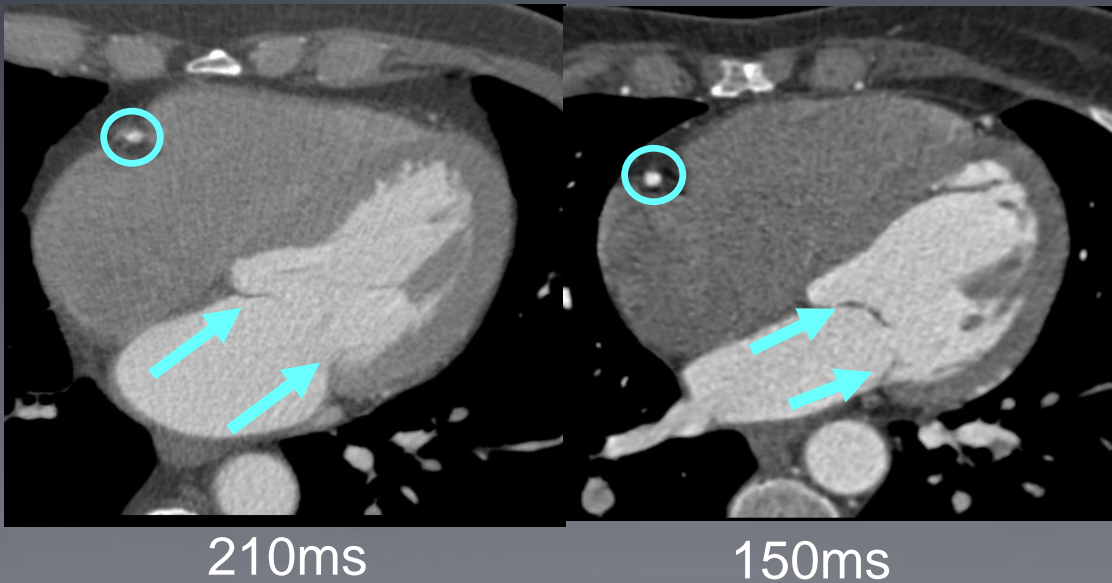
-GE:  $V = 0.28\text{s/tour} \rightarrow RT = 140\text{ms}$

---

# Résolution temporelle

---

Le flou cinétique



# Améliorer la vitesse de rotation de l'ensemble tube détecteur

---

- 2000: 520ms
- 2002: 470ms
- 2003: 380ms
- 2004: 330ms
- 2009: 270ms
- 2015: 200ms

?

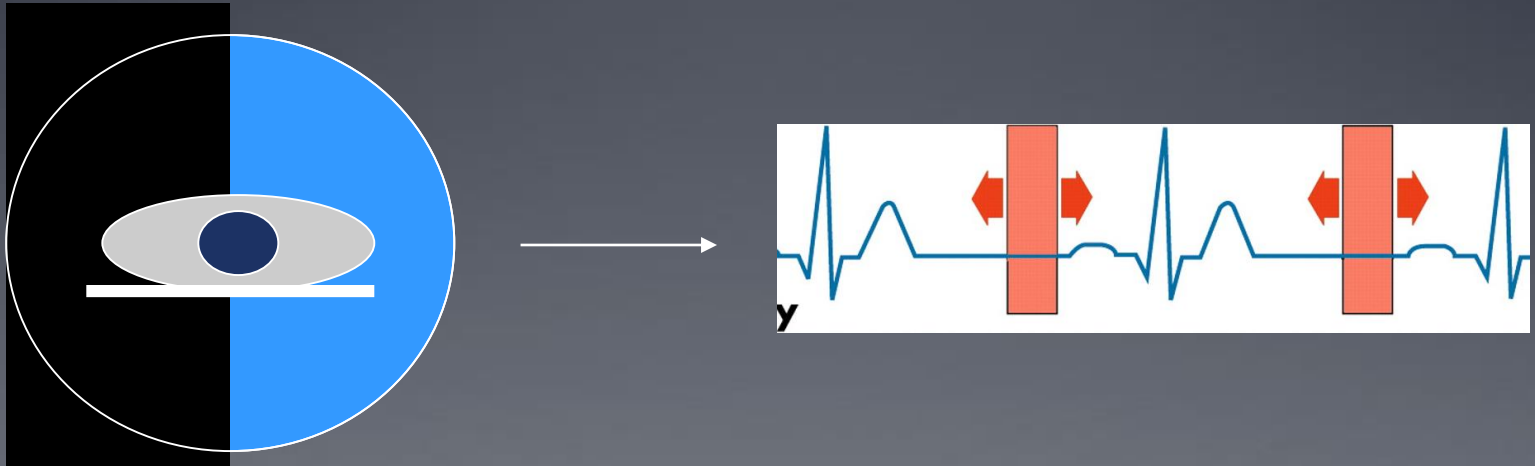




# Technologie monotube

---

VR: 0.3 seconde/tour pour une acquisition sur  $180^\circ$

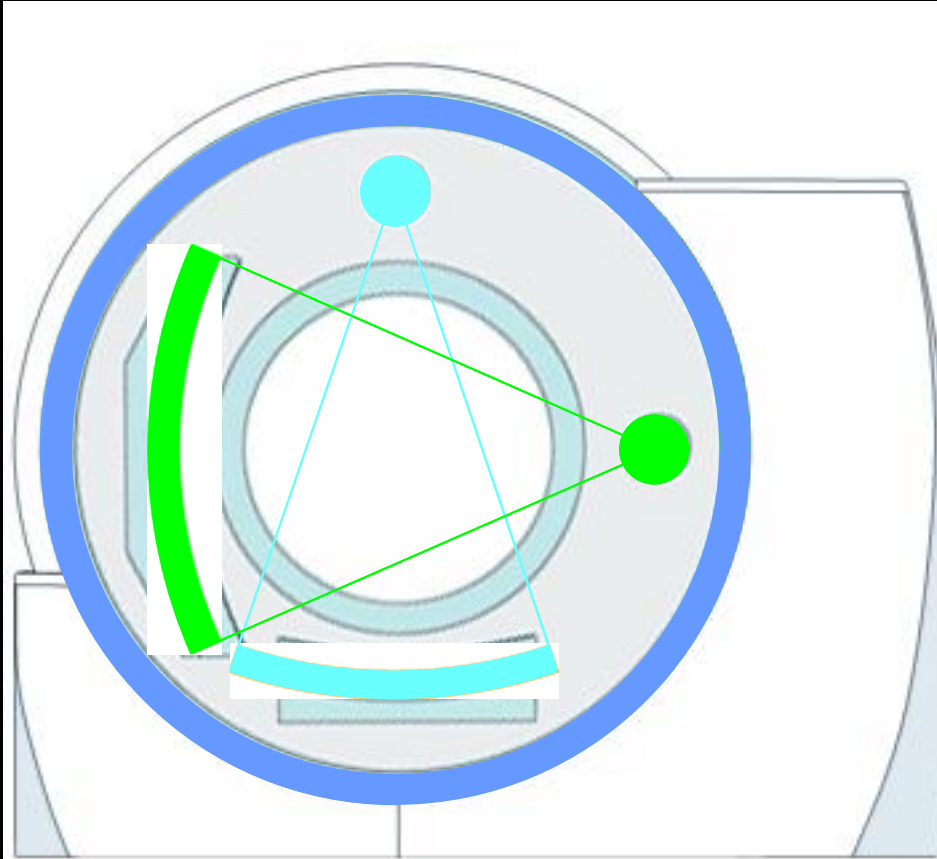


Rotation  $180^\circ$  = 150 ms résolution temporelle

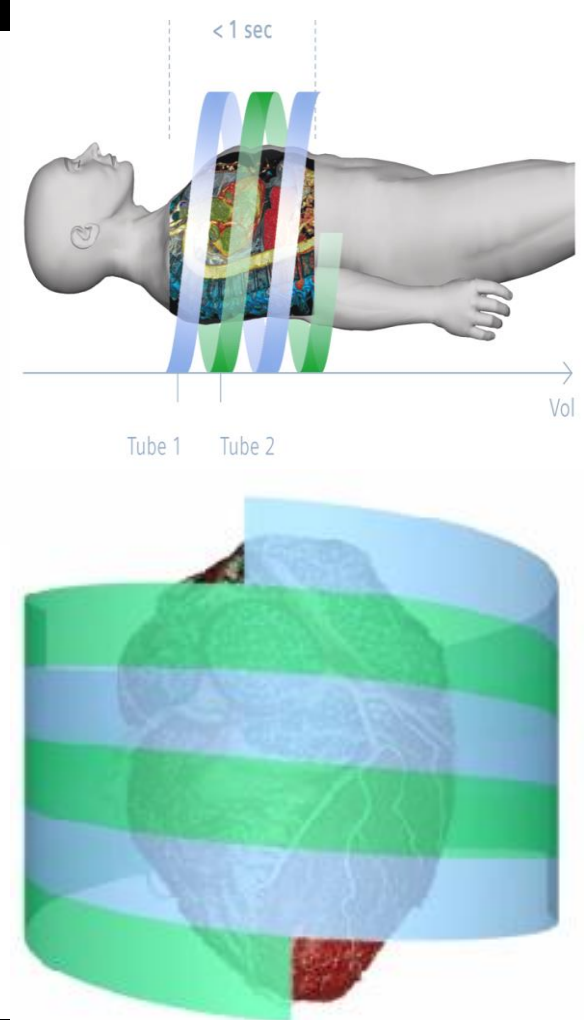
---

# Double Source

## Résolution temporelle 75 ms



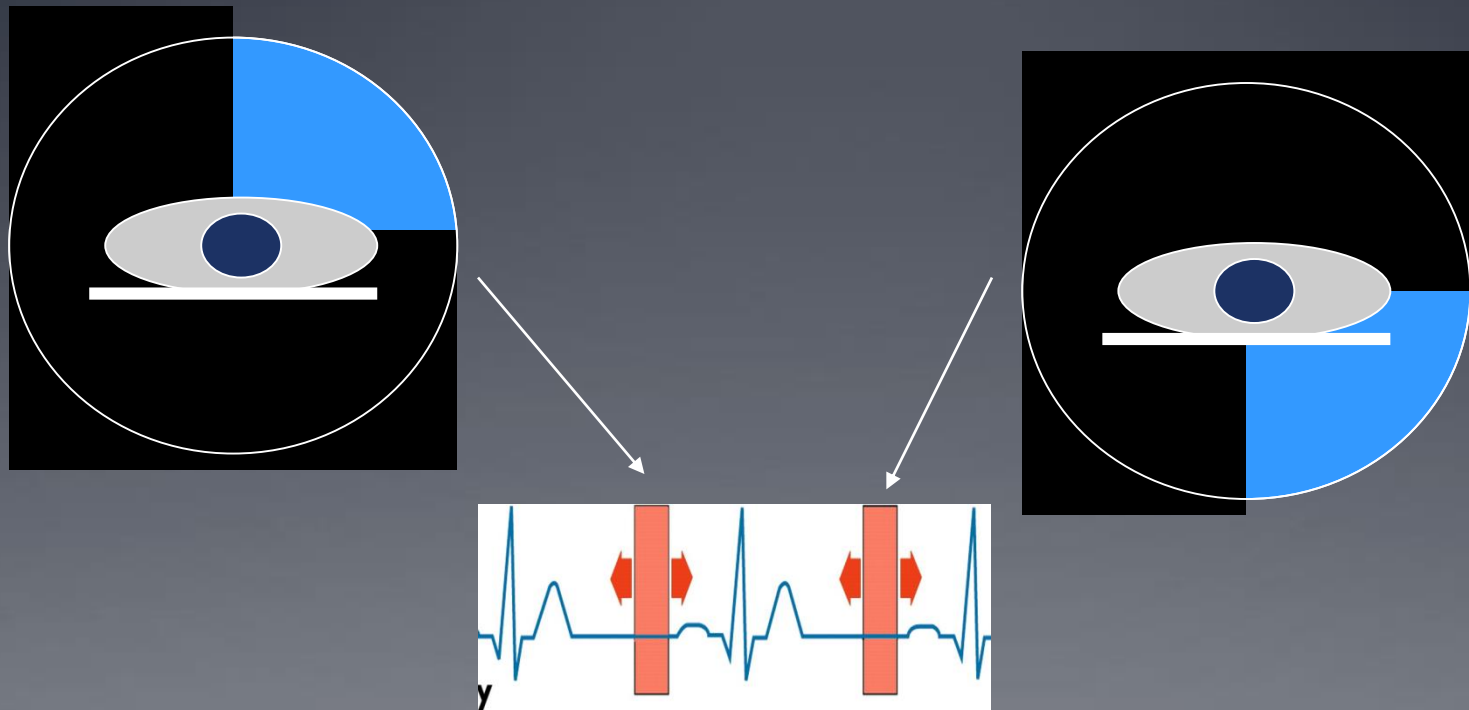
$$\text{Temp. Resolution} = \frac{\text{rotation time}}{4} = 75 \text{ ms}$$



# Technologie double tube

---

VR: 0.3 seconde/tour pour une acquisition sur 90°

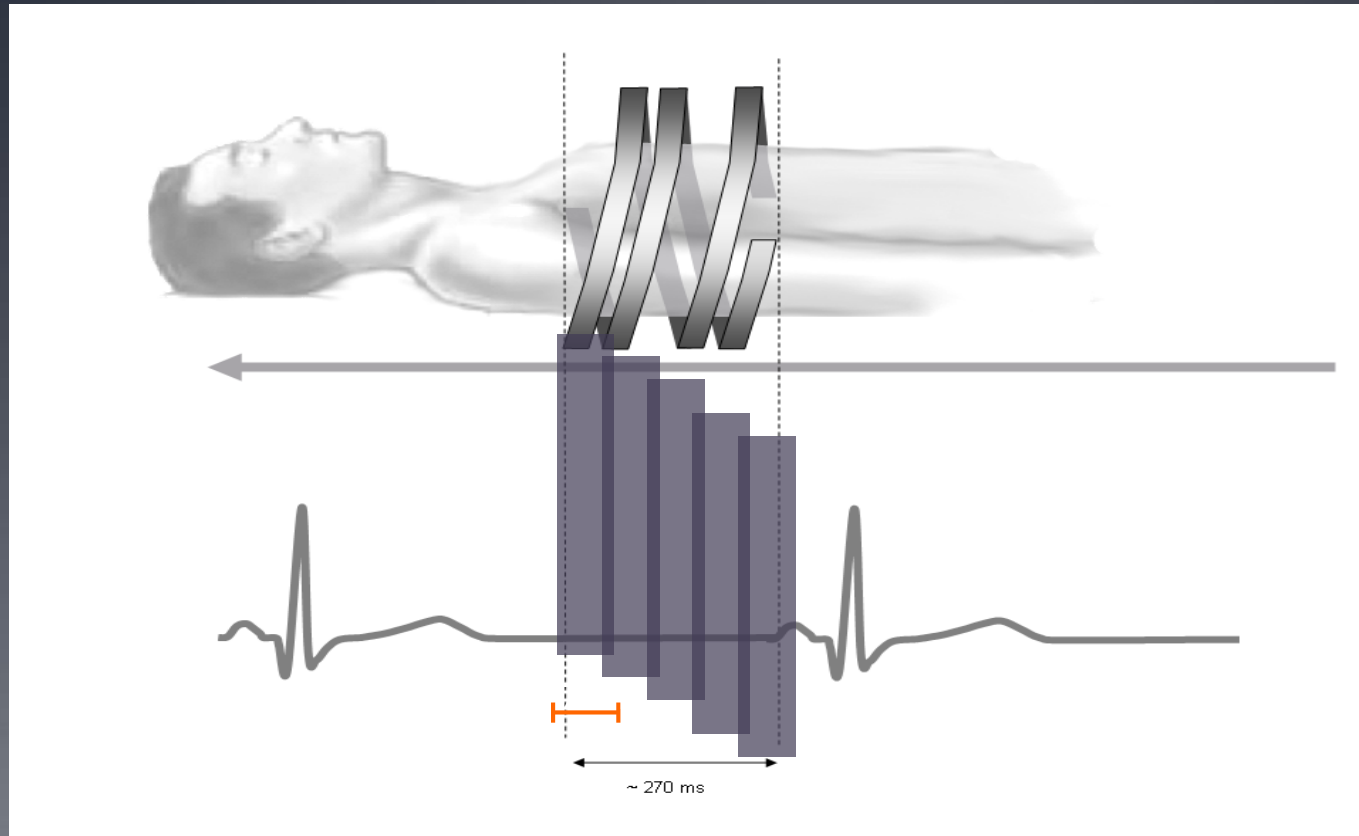


---

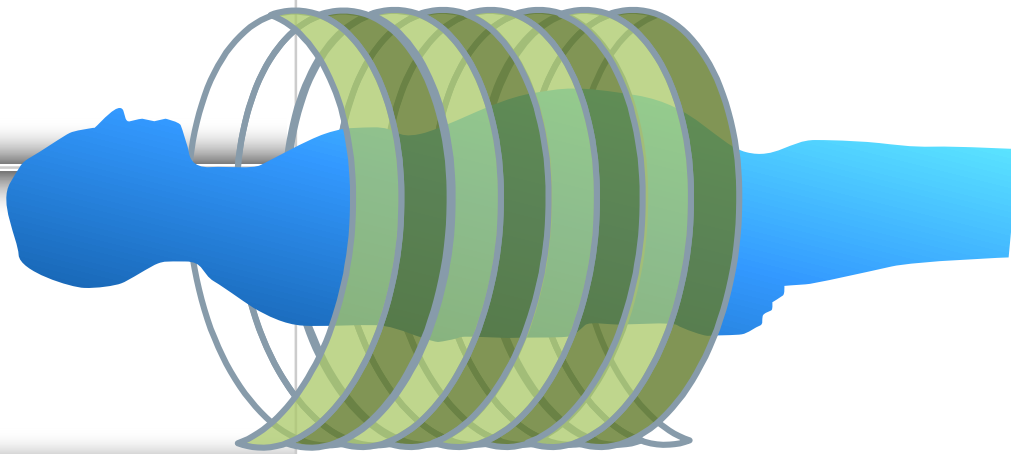
Rotation 90° = 75 ms de résolution temporelle

# SOMATOM Definition Flash

## Spirale Cardio Flash



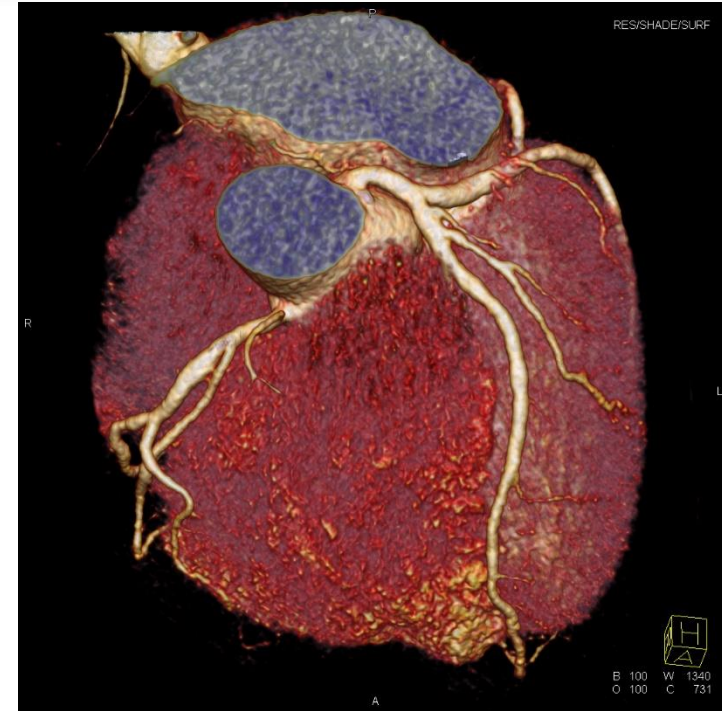
# Turbo Flash CT for coronary CTA at doses far below 1 mSv



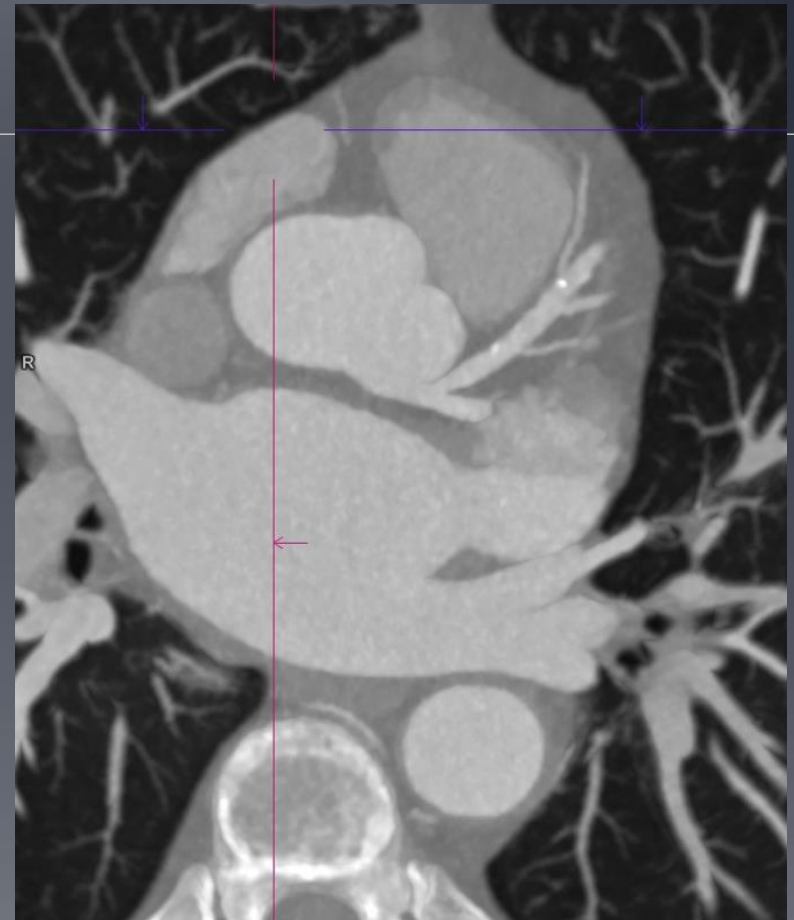
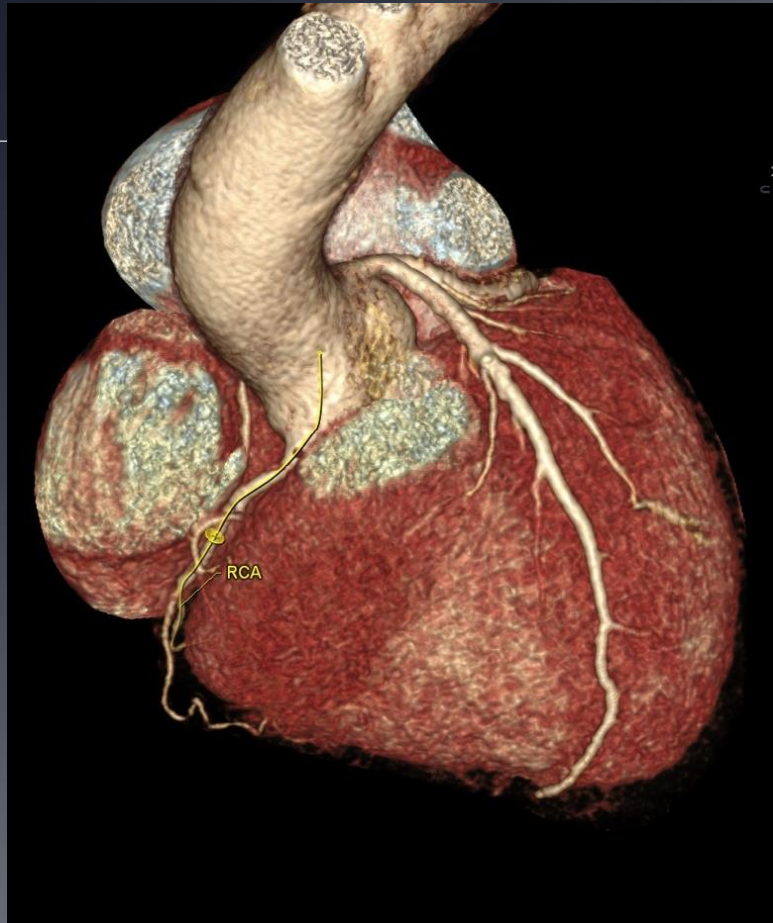
**RT 66 ms**

**Acquisition 0.15s**

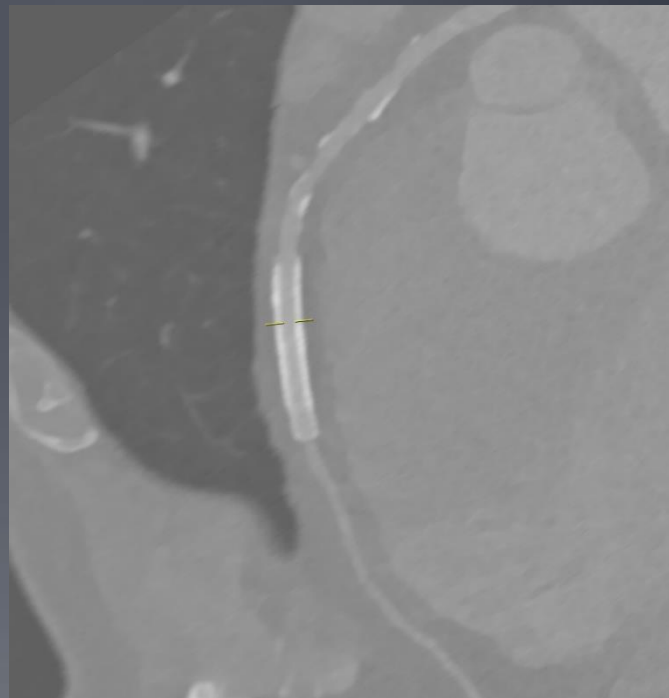
(Somatom Force Double tube)



Acquisition Turbo Flash:  
Eff. dose: 0.4 mSv



*H 72 ans, FA lente, dysfonction VG.*



*H 69 ans, FA lente, Stent IVA*

---



# Voir mieux

---

- Quantification sténoses
- Interprétation plaques calcifiées
- Visualisation lumière intra-stent

→ Solutions:

Résolution spatiale

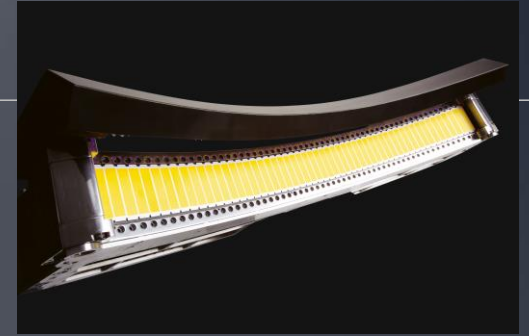
Reconstruction itérative

---



# Résolution spatiale

Dépend des détecteurs:



Nouveaux détecteurs (GE Gemstone, Siemens Stellar)

- Meilleur rapport Signal / Bruit:

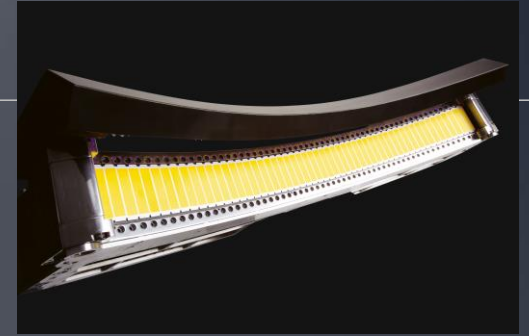
Bruit: fluctuations statistiques du signal non informatives

- Amélioration de la résolution spatiale: 0.23mm (Vs 0.33mm)
- Pas d'augmentation de la dose

(Historiquement, dose augmentée par facteur  $\times 4$  / R. spatiale)

# Résolution spatiale

Dépend des détecteurs:



Nouveaux détecteurs (GE Gemstone, Siemens Stellar)

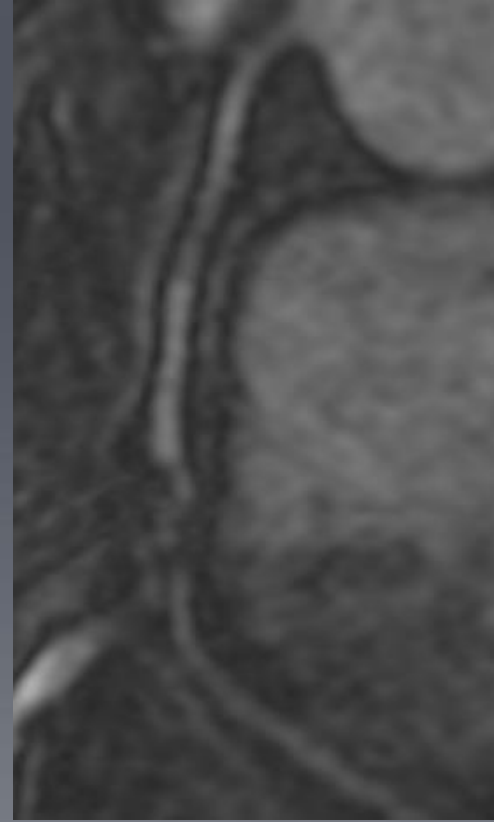
- Amélioration de la résolution spatiale: 0.23mm (Vs 0.33mm)
- OCT: 10 $\mu$  / IVUS:100 $\mu$  / Coro: 200 $\mu$  / IRM: >1mm

# Résolution spatiale

---



CT



MR

# Routine

---

- Outils pour maîtriser la Dose

→ Solutions:

Modulation de dose / Optimisation des constantes

Prospectif

Reconstruction itérative / ASIR, AIDR, SAFIRE, IDose

Mise au point

Scanner cardiaque basse dose : comment l'obtenir ?

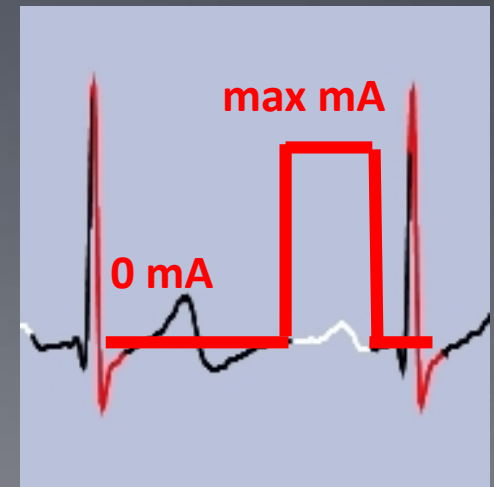
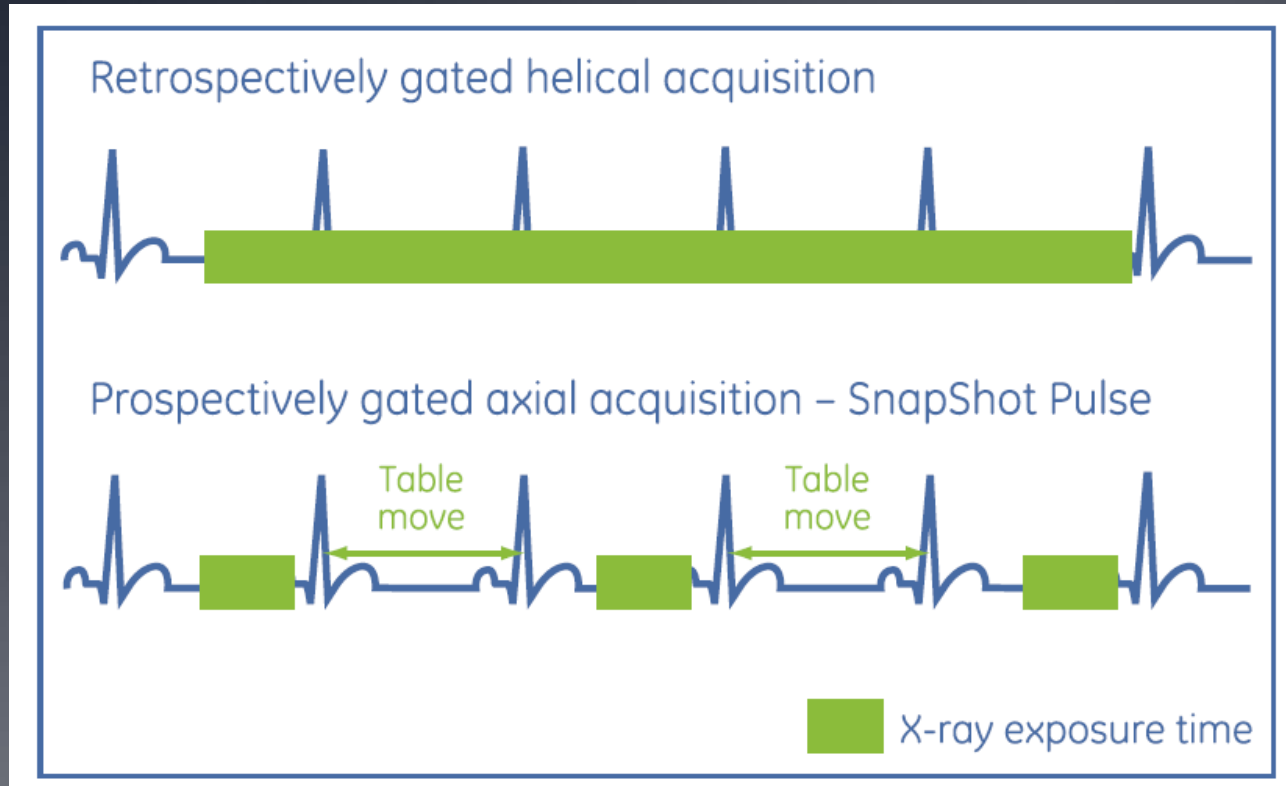
*Low dose cardiac computed tomography: How to obtain it?*

# Limiter l'irradiation

---

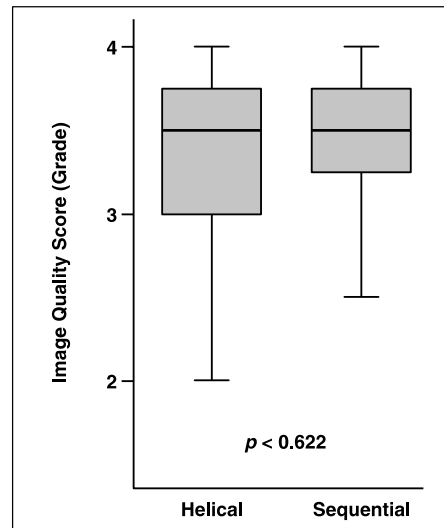
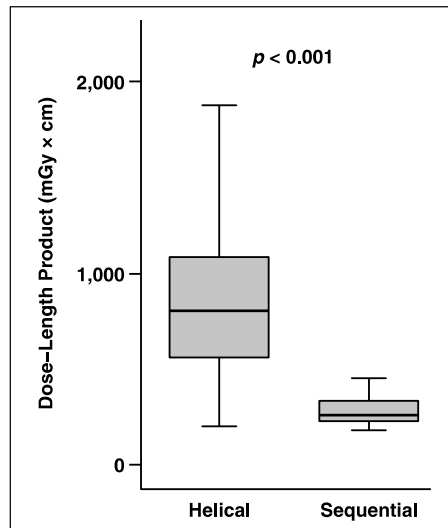
- Acquisition axiale (pas de spirale) GE et Philips
  - 4 rotations axiales indépendantes
  - Déclenchement prospectif sur l'ECG

# Acquisition Snap Shot Pulse :



Modulation d'intensité du tube pendant la systole

# Protection Study



Multi Systèmes

Hélice Vs séquentiel

Réduction de dose: 68%  
11.2 mSv Vs 3.6 mSv

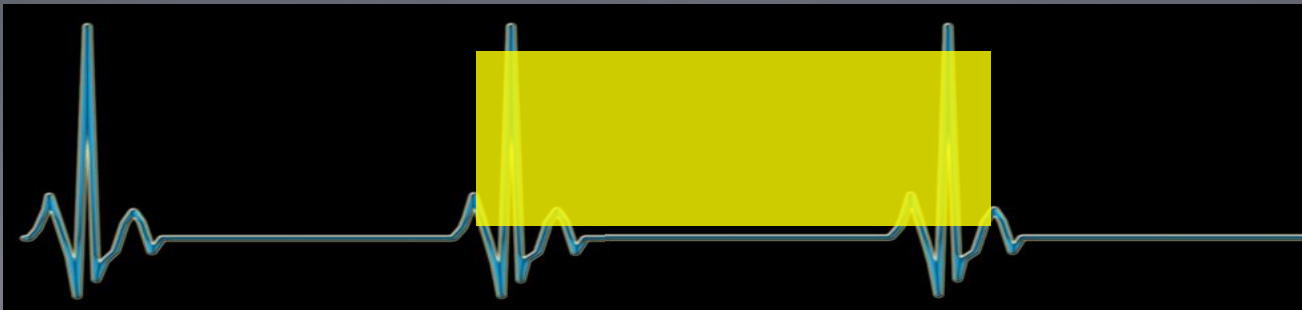
Bischoff et al. AJR 2010

# Protocoles

---

## MODE RETROSPECTIF CONTINUE

- > L'exposition en mA fixe.
- > Reconstruction est disponible dans n'importe quelle phase de cardiaque.
- > Fraction d'éjection, analyse des valves



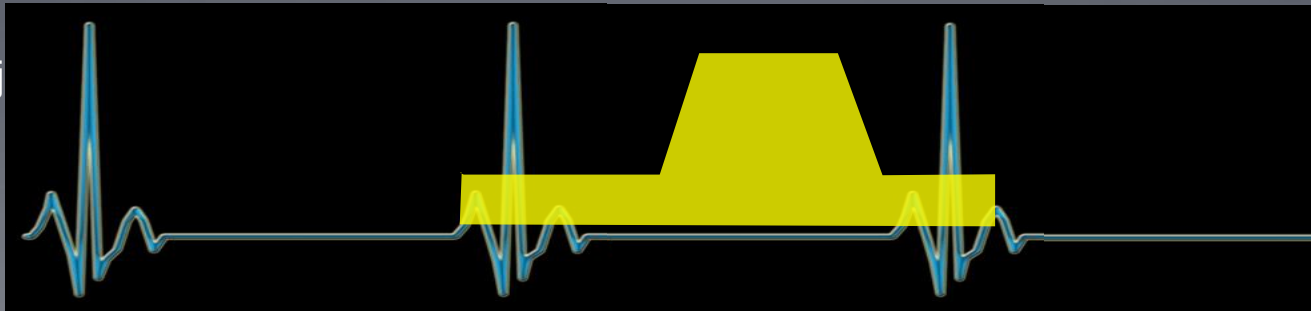


# Protocoles

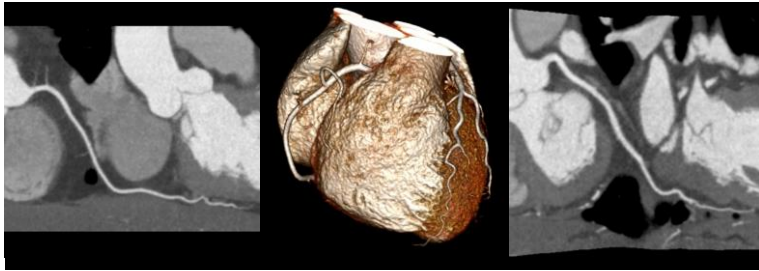
---

## MODE RETROSPECTIF MODULATION

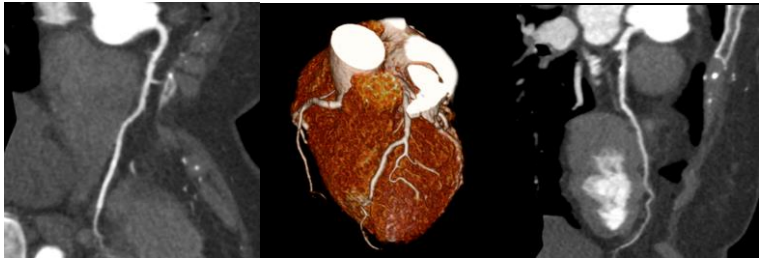
- > Les mA sont réduites sur la phase systolique
- > Offre une réduction de la dose jusqu'à 30 %.
- > Fenêtre d'exposition en full dose est déterminée par l'exercice de respiration.
- > Reconstruction est disponible dans n'importe quelle phase de cardiaque
- > Fraction d'éj



# MODE PROSPECTIF CTA

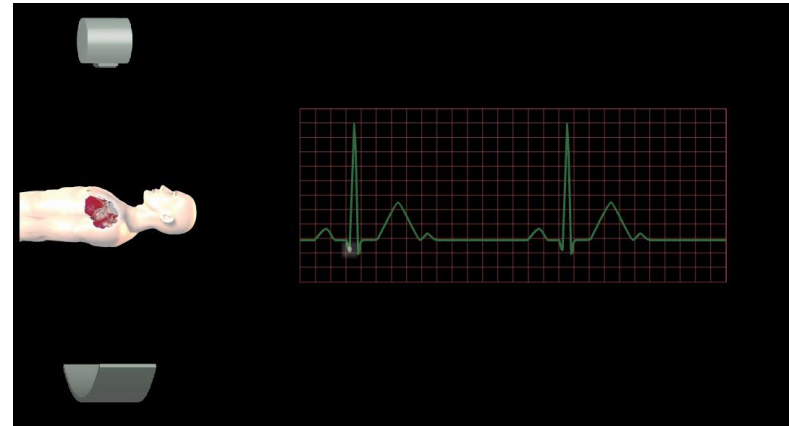


0,87 mSv



0,37 mSv

Courtesy CHU Strasbourg, France



## Le Coeur en 1 battement

- > Etude des Coronaires – Low Dose – sur un seul battement
- > Temps acquisition total 0,275s/0,35s
- > Mode prospectif quelque soit la fréquence cardiaque
- > 35cc quantité Produit Contraste
- > 80% Réduction Dose



*GE VCT64 Hélice Rétrospective  
DLP: 1882 mGy.cm (26 mSv)*



*2012:GE 750 HD Axiale Prospective  
Padding: 0 ms /ASIR 50%  
DLP: 103 mGy.cm (1.7 mSv)*

# Routine

---

- Dose maîtrisée

→ Reconstruction itérative:

- ASIR (GE)
  - AIDR / FIRST (Toshiba / Canon)
  - SAFIRE (Siemens)
  - Idose (Philips)
-

# Reconstruction Itérative

---

- \* Utilisée depuis longtemps en médecine nucléaire
  - \* Améliore la qualité d'image et/ou permet une baisse de la dose, comparée à une reconstruction traditionnelle par rétroprojection filtrée
  - \* Réduction de dose de 30-50%
  - \* Réduction de l'effet blooming ( $\text{Ca}^{2+}$ , Stents)
-

# GE Adaptive Statistical Iterative Reconstruction

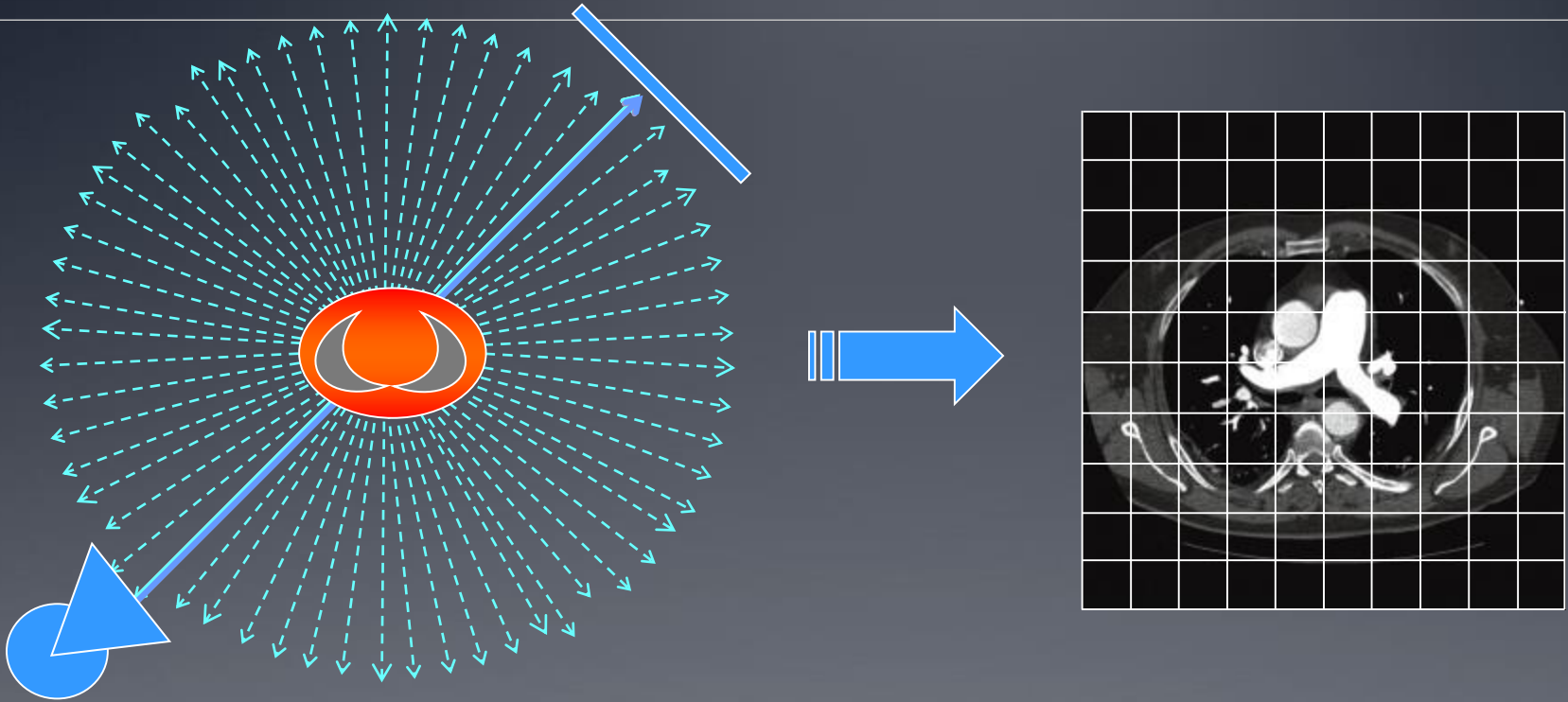
## Algorithme de reconstruction révolutionnaire

---

$$f(x, y, z) = \int_{\beta_{\min}}^{\beta_{\max}} \frac{R^2}{L^2(x, y, \beta)} w(\gamma, \beta, \alpha) \int_{-\infty}^{\infty} h(\gamma' - \gamma) p(\gamma, \beta, \alpha) d\gamma d\beta$$

$$\chi(x', \lambda', \beta) = \int_{\beta_{\min}}^{\beta_{\max}} \frac{\Gamma_{\Sigma}(x', \lambda', \beta)}{K} w(\lambda', \beta, \alpha) \int_{-\infty}^{\infty} p(\lambda_1 - \lambda) b(\lambda', \beta, \alpha) q \lambda q \beta$$

# Petit rappel sur la création de l'image en Scanner



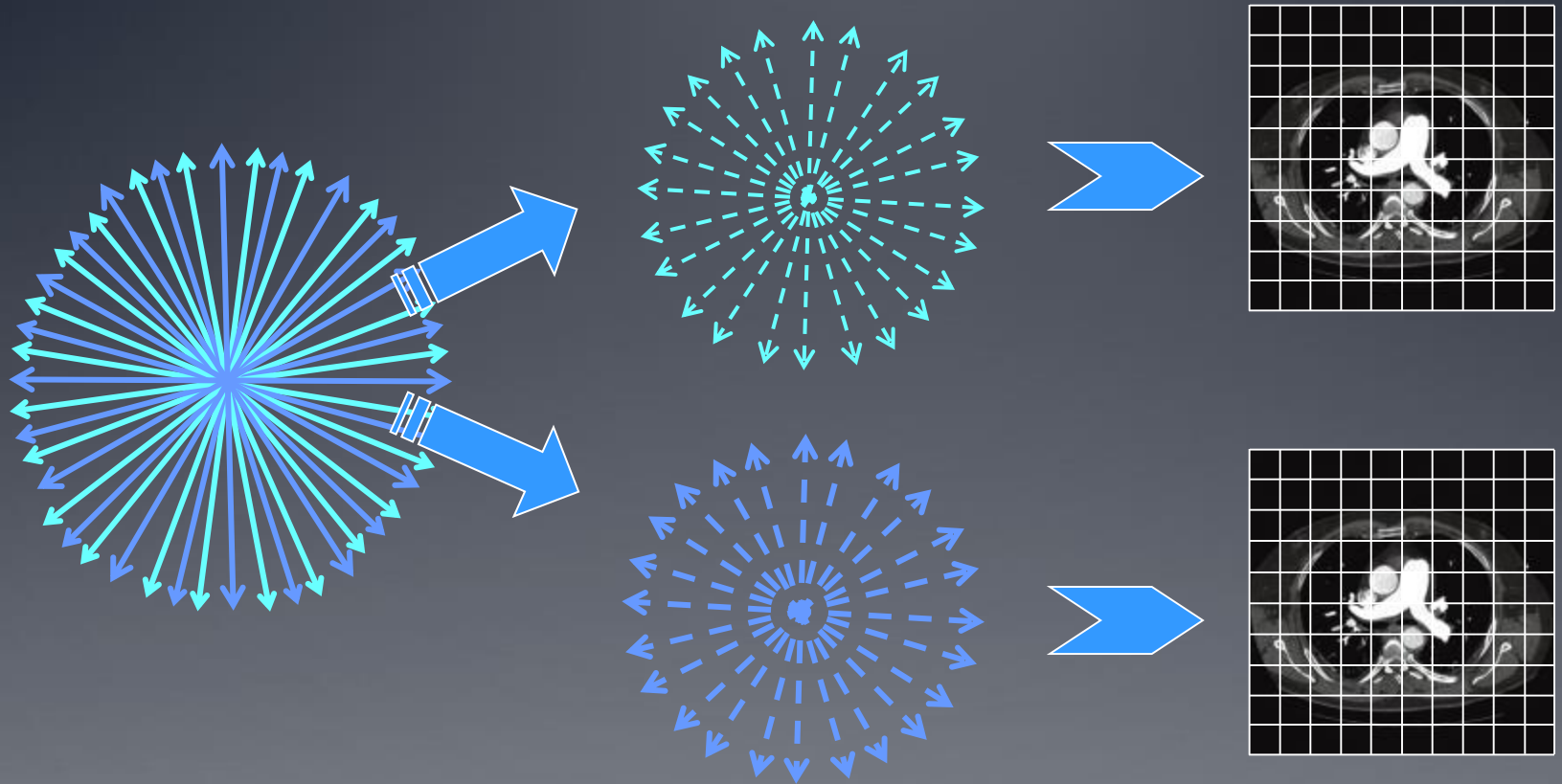
## La rétro-projection:

La valeur de chaque pixel de l'image est déterminée à partir d'un ensemble de projections.



# Principe de l' A.S.I.R. :

## 1/Création de deux images



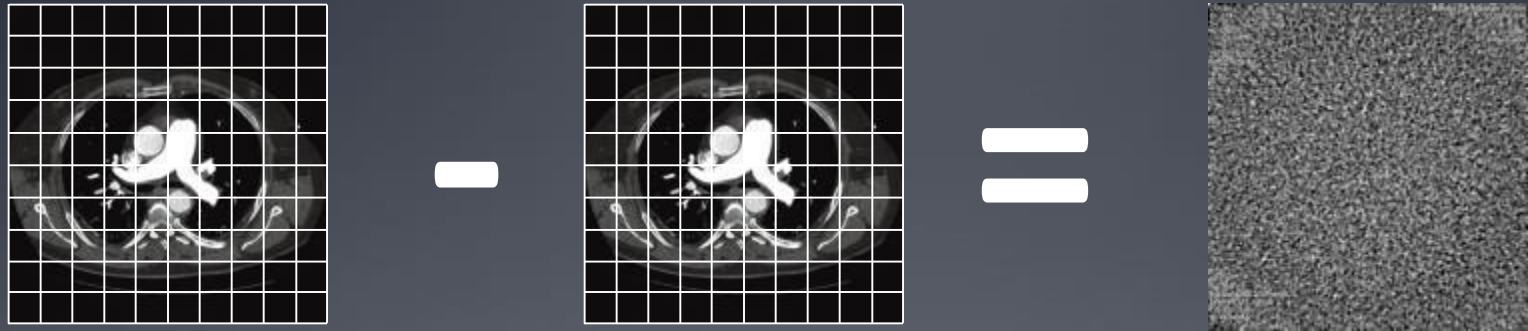
A partir de l'ensemble des projections, le système ASIR crée deux images, l'une résultant des projections paires, l'autre des projections impaires.

On obtient donc deux images du patient qui diffèrent par l'angle de création des artefacts potentiels.

# Principe de l' A.S.I.R. :

## 2/création de l' image de bruit

---



Par soustraction des deux images ( projections paires et impaires ),  
le système ASIR crée une image qui ne contient que le bruit présent.  
Les valeurs communes aux deux images étant dues uniquement au patient.

---

# IR: Réduction de la dose

## ERASIR Study

Characteristic	FBP ( <i>n</i> = 331)	ASIR ( <i>n</i> = 243)	<i>p</i>
DLP (mGy × cm)	292 (167–370)	165 (134–248)	< 0.001
Effective dose (mSv)	4.1 (2.3–5.2)	2.3 (1.9–3.5)	< 0.001
Study interpretability (%)			
Per patient	96.1	97.1	0.50
Per artery	98.5	99.3	0.08

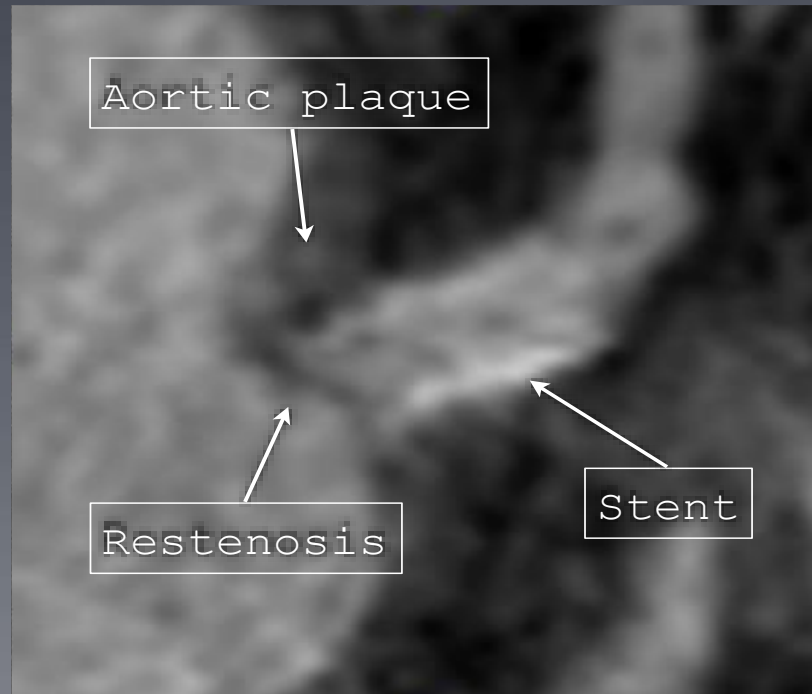
Réduction de dose 44%: 4.1 mSv Vs 2.3 mSv

*W 42 years old, History of Hodgkin's disease treated by RX*

---

*Stable angina in 2009: Angioplasty with stent of a significant Left main stenosis*

*Dyspnea in 2010: Evaluation of the stent by CT / Diagnostic of in-stent restenosis*



---

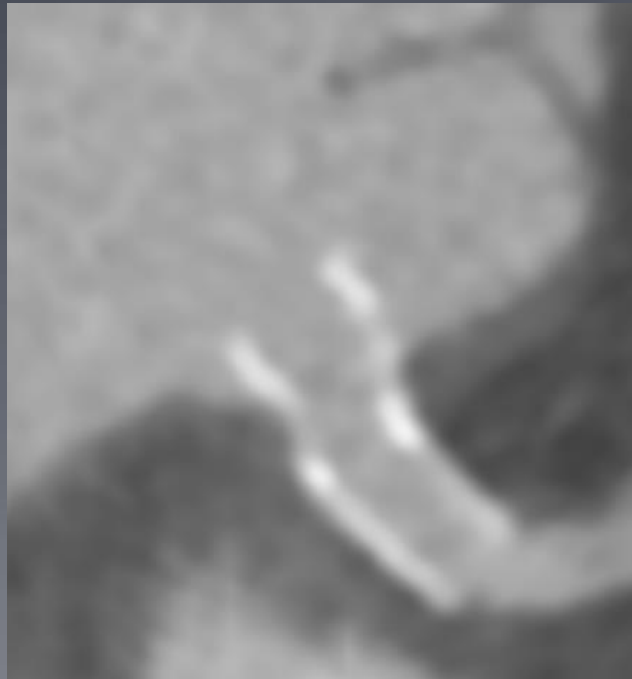
*GE VCT 64 Helical acquisition / DLP: 673 mGy.cm (9.4 mSv)*

*W 42 years old, History of Hodgkin's disease treated by RX*

---

*Dyspnea in 2010: In-stent restenosis / Angioplasty with DES*

*Evaluation of the DES in 2011: aortic protrusion and no restenosis*



---

*GE 64 Pulse / ASIR / Padding 100ms / DLP: 151 mGy.cm (2.1 mSv)*

# Routine

---

- Dose maîtrisée

→ Solutions:

Modulation de dose / Optimisation des constantes

Prospectif

Reconstruction itérative / ASIR, AIDR, SAFIRE

---

# Routine

- Dose maîtrisée DLP 45 mGrays\*cm / 0.63mSv

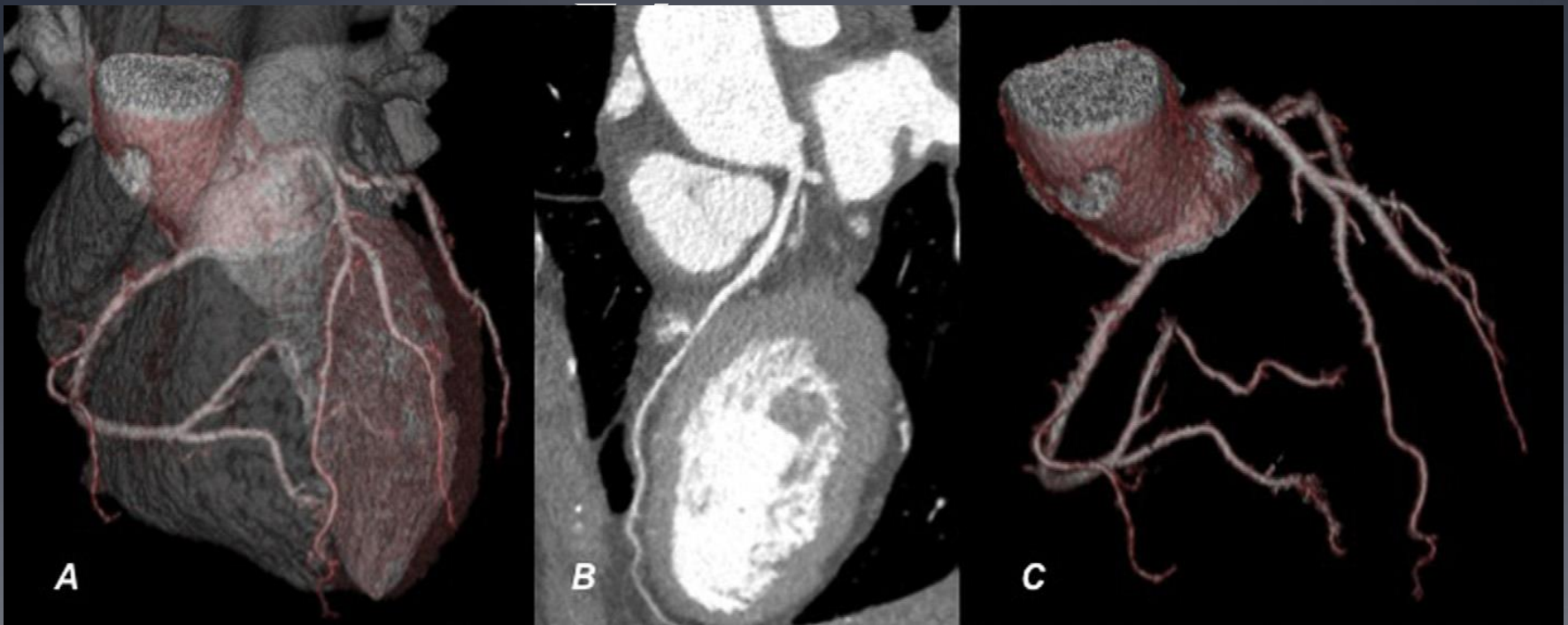
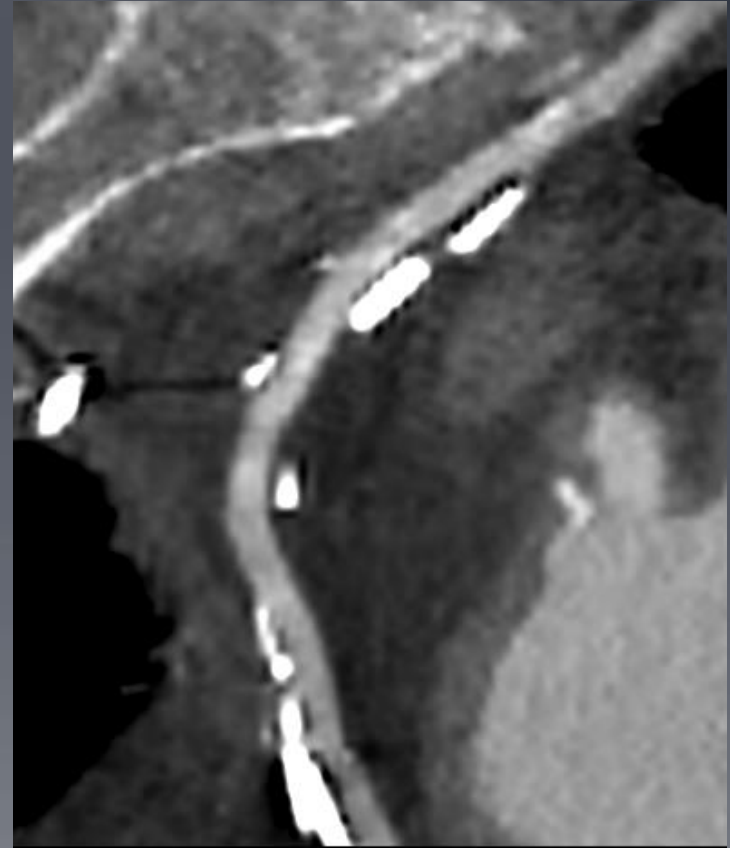
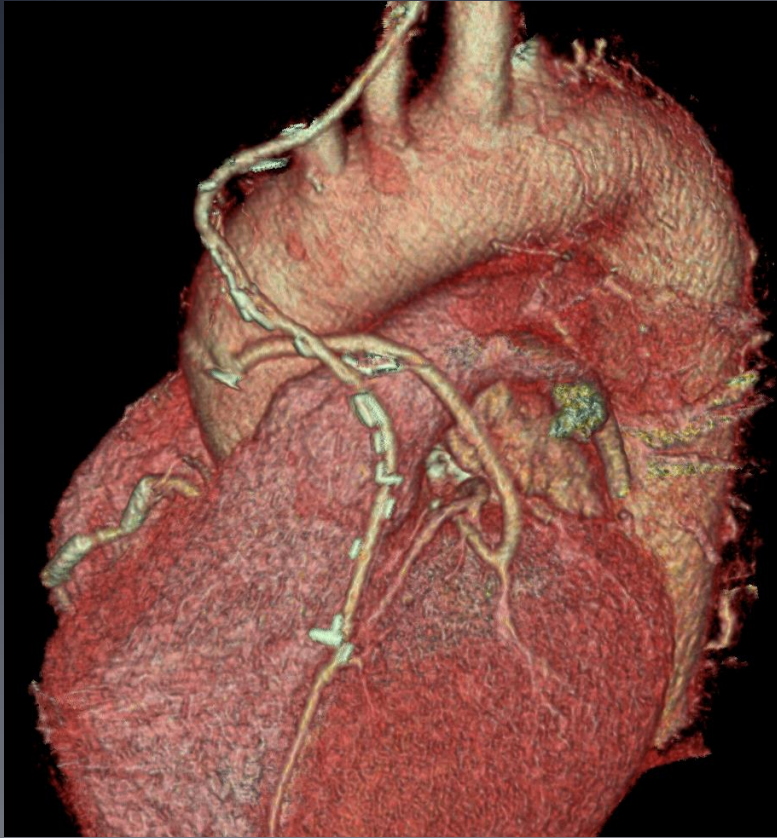


Fig. 8. Scanner cardiaque basse dose obtenu par le cumul de différentes techniques : scanner GE Discovery 750 HD. Acquisition prospective avec *Padding* de 0 ms (fréquence cardiaque = 55/mn)/80Kv, 500 mA (IMC = 20,7 kg/m<sup>2</sup>)/reconstruction itérative. DLP 45 mGrays\*cm (0,63 mSv). Coronaires normales, en reconstructions *Volume rendering* (A, C) et curviligne (B), avec simplement un trajet intramyocardique de l'IVA moyenne (flèche).



# IR: Réduction du blooming effect

---



*2012:GE 750 HD Axiale Prospective  
Padding: 0 ms /ASIR 50%  
DLP: 157 mGy.cm (2.6 mSv)*

---



## Reduction of calcium blooming

**Sub-mSv scan without IR**



**Sub-mSv scan with IR**



# Love of children touched mother's heart

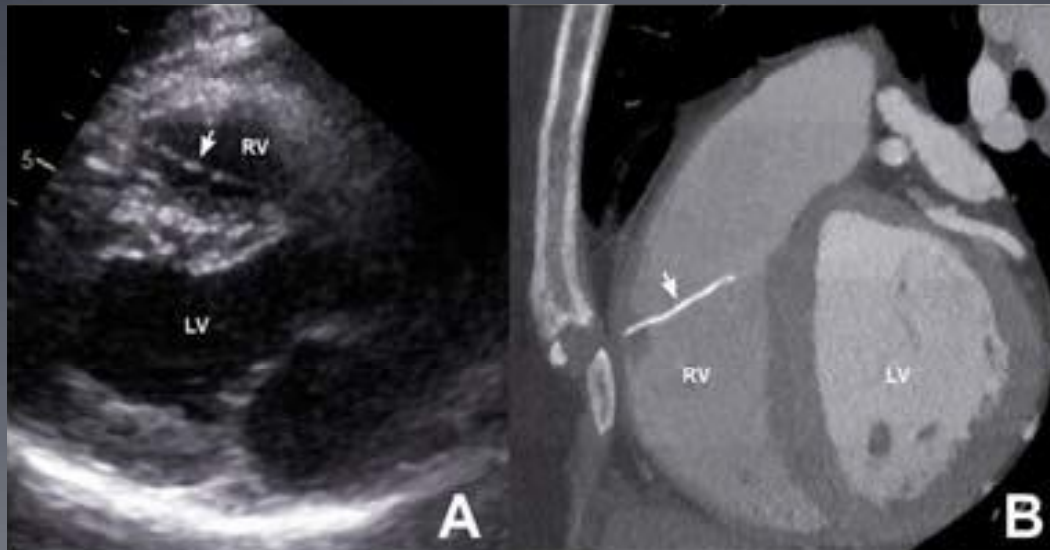
*W 52 Y, No previous disease,  
Syncope and atypical chest pain*

# Love of children touched mother's heart

*Stress test: Right Ventricular Tachycardia*

*TTE: RV hyper-echogenic image*

*CT: RV foreign body*



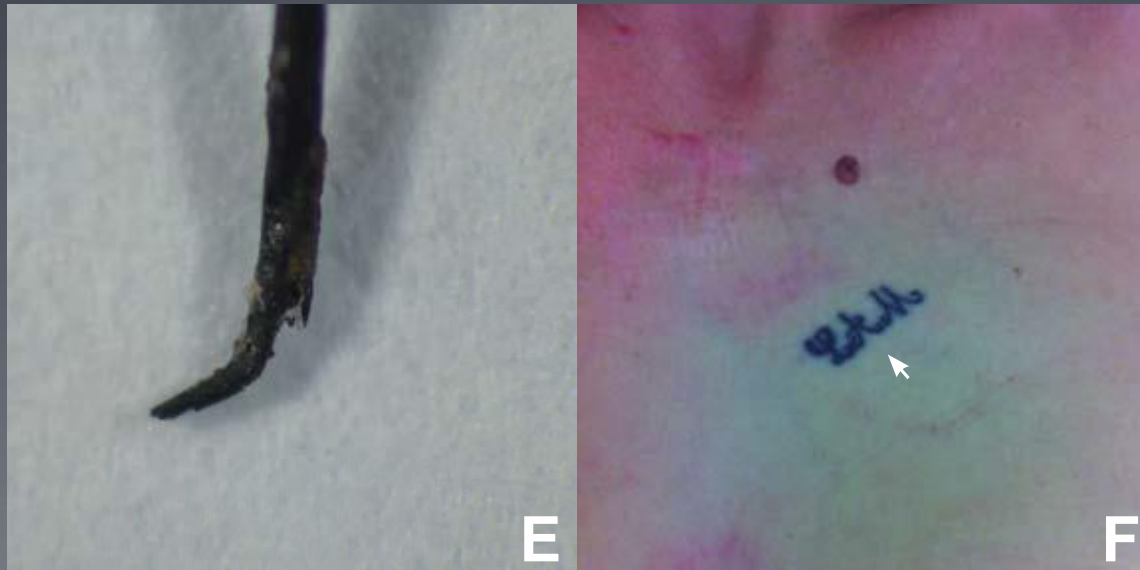
*Pesenti-Rossi D et al.*

*Circulation Interventions 2012. Aug 1;5(4):e51-2*

# Love of children touched mother's heart

*Analysis by the french scientific police:*

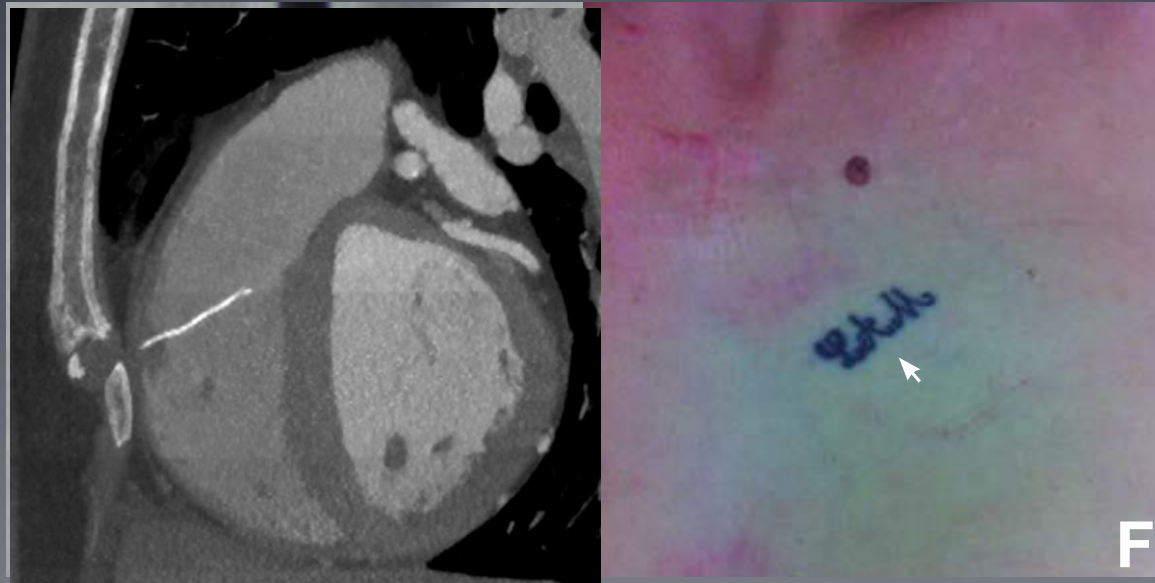
*Black wire, 28mm in length, composition is mostly iron  
Tests consistent with a piece of needle used by tattoo artists*



# Love of children touched mother's heart

*A piece of needle used by tattoo artists*

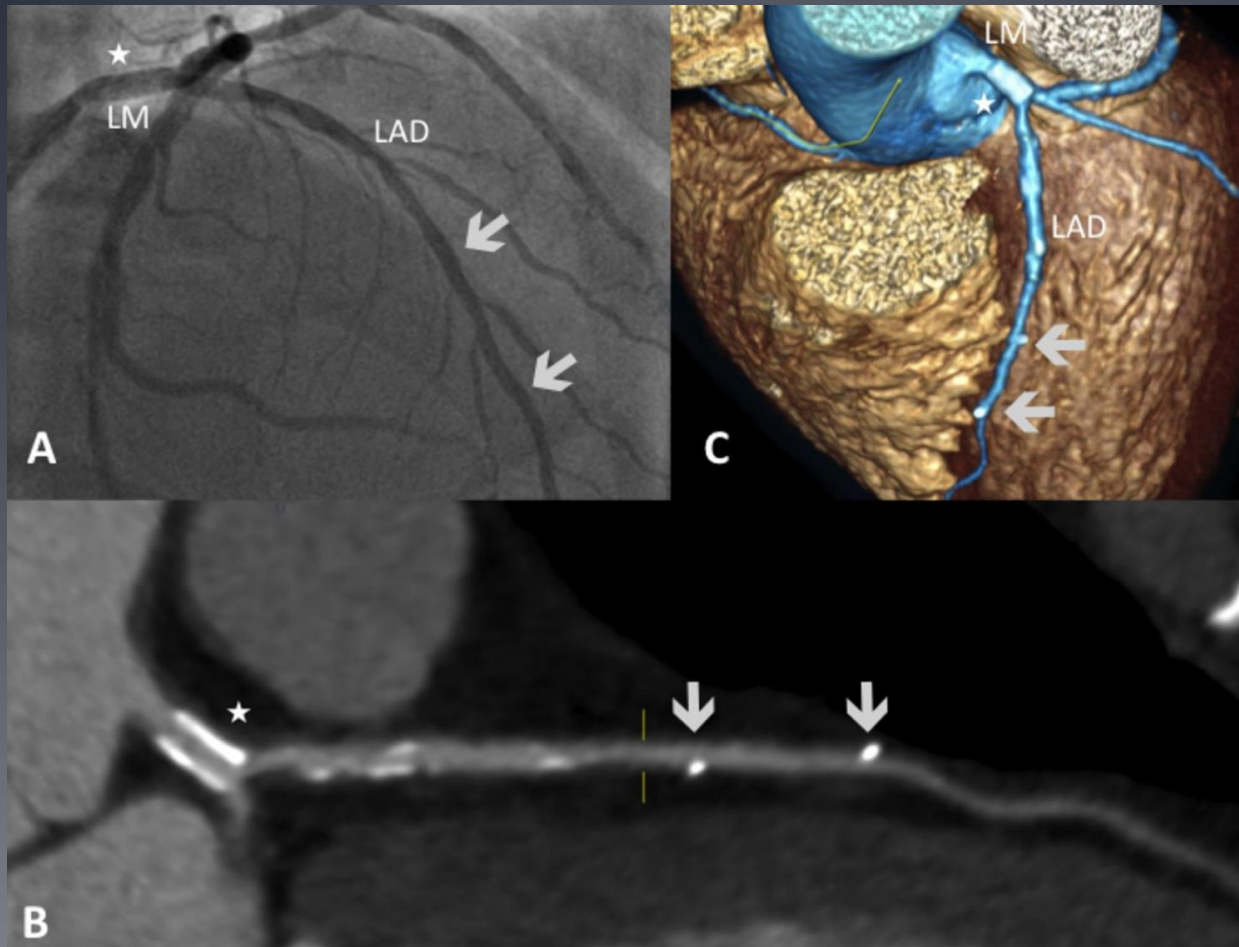
*Main hypothesis: Migration through the venous system  
from the mammary veins*



*Pesenti-Rossi D et al.*

*Circulation Interventions 2012. Aug 1;5(4):e51-2*

# Contrôle d'un stent biorésorbable



# Routine

---

- Post-Traitement

→ Reconstruction semi-automatique des coronaires

Analyse de la composition des plaques

Analyse des valves

Fraction d'éjection semi-automatique

Fonction myocardique régionale

Analyse hybride

---



# Routine

- Post-Traitement

→ Reconstruction semi-automatique des coronaires

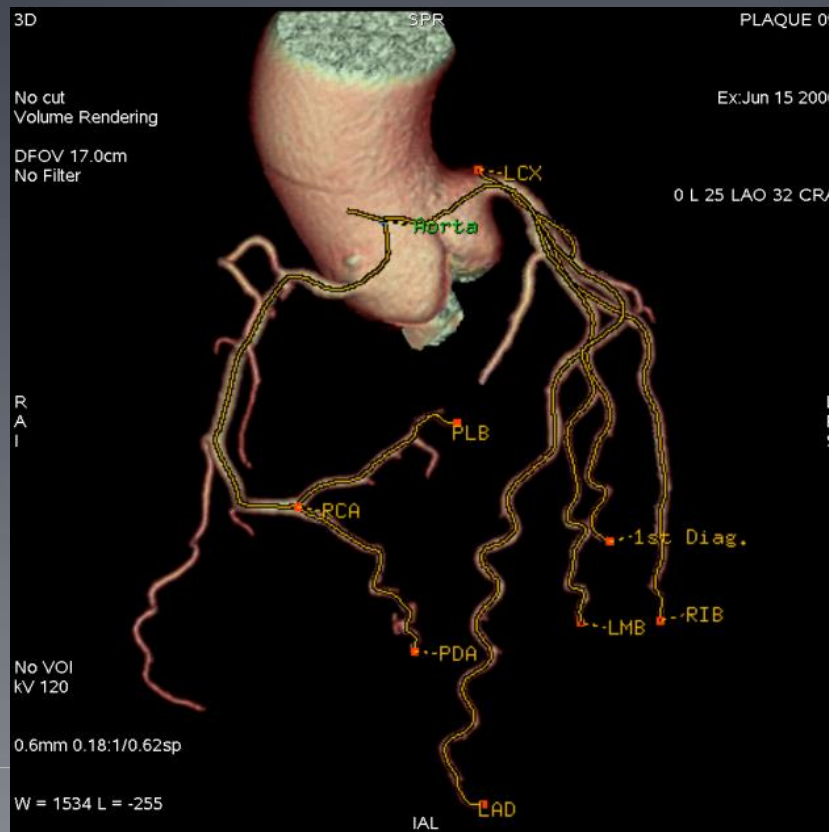




# Routine

- Post-Traitement

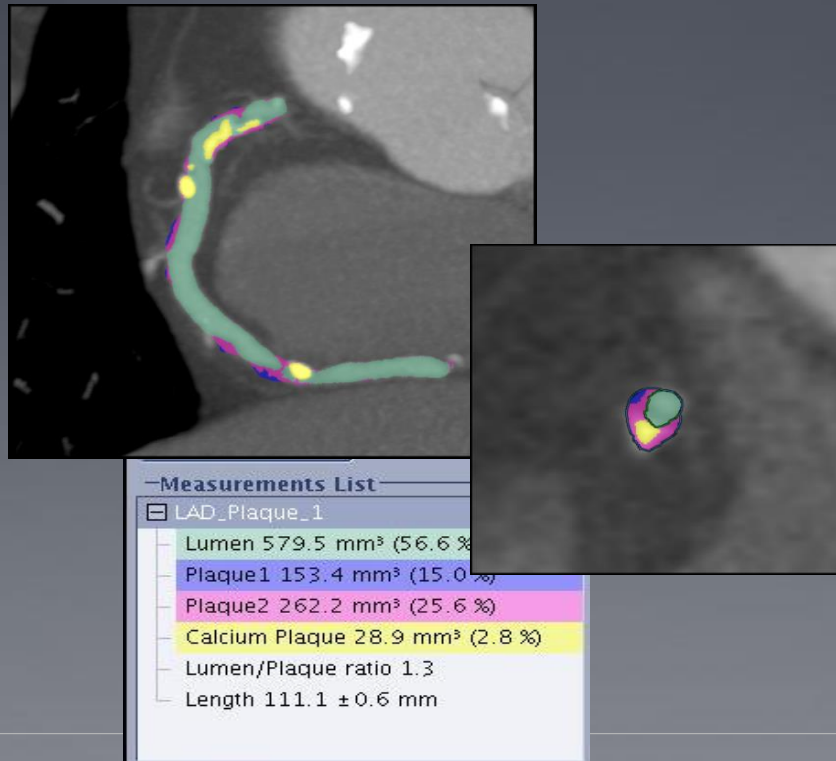
→ Reconstruction semi-automatique des coronaires



# Routine

- Post-Traitement

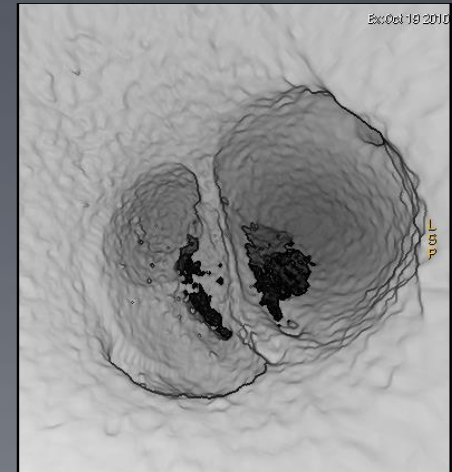
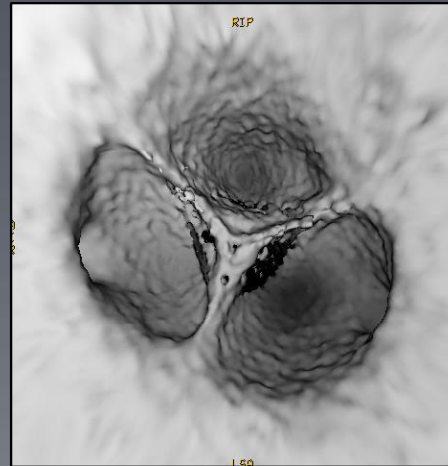
→ Analyse de la composition des plaques



# Routine

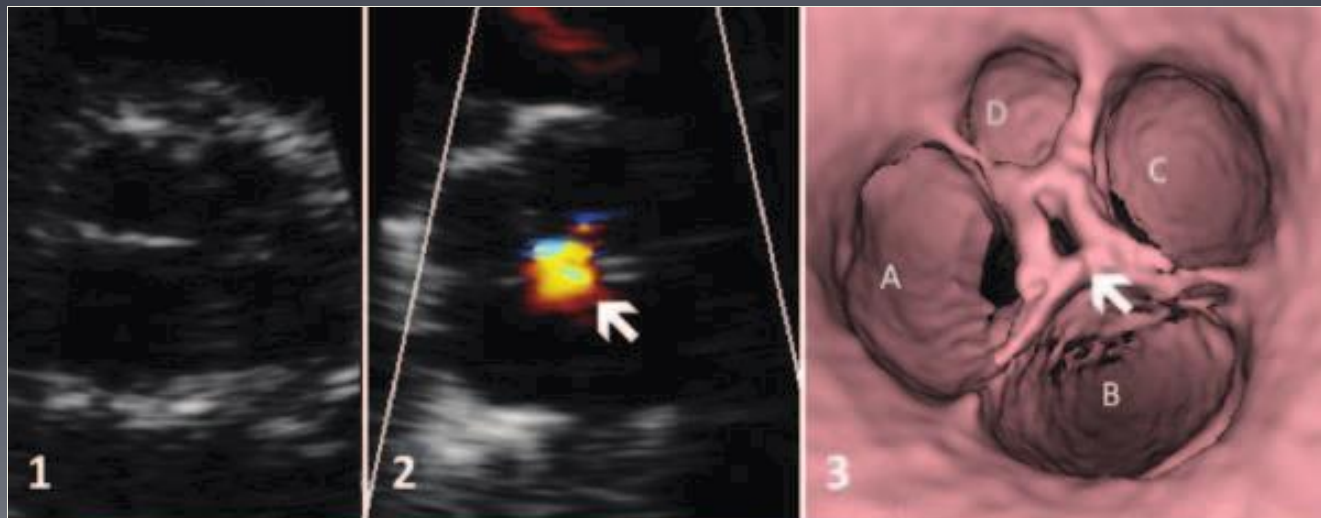
- Post-Traitement

→ Analyse des valves



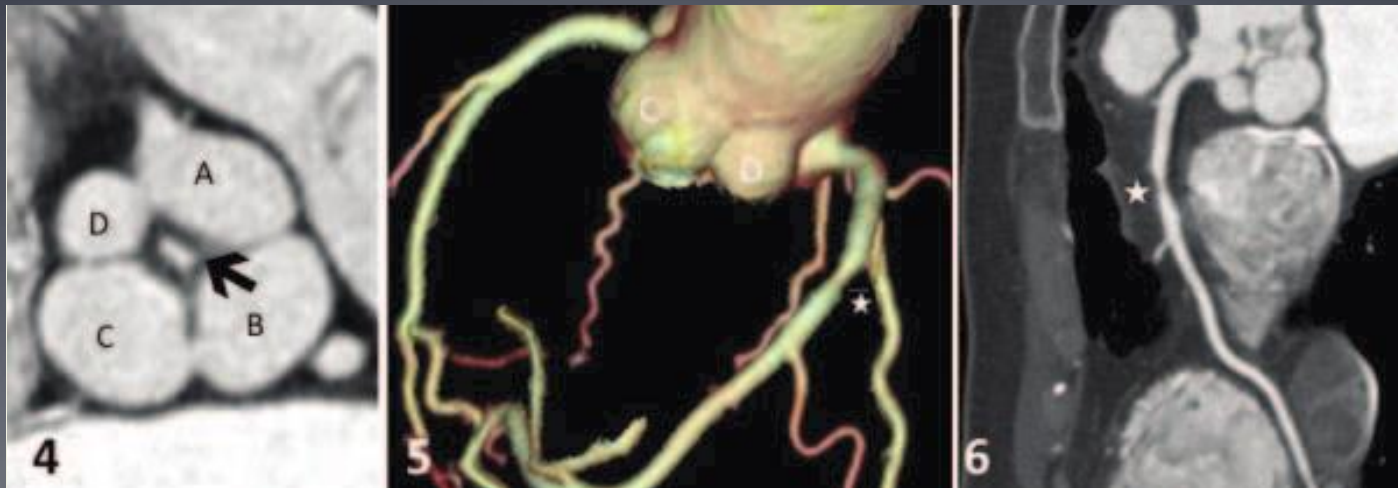
# An unexpected quadricuspid aortic valve revealed by multislice computed tomography

*58 year-old woman, Atypical chest pain, normal ECG and 2 negatives Tni  
TTE: Medium aortic incompetence*



# An unexpected quadricuspid aortic valve revealed by multislice computed tomography

*CT: Quadricuspid aortic valve  
Right coronary significant stenosis*



*Pesenti-Rossi D et al.  
European Heart Journal Imaging 2013*

# Routine

- Post-Traitement

→ Fraction d'éjection semi-automatique



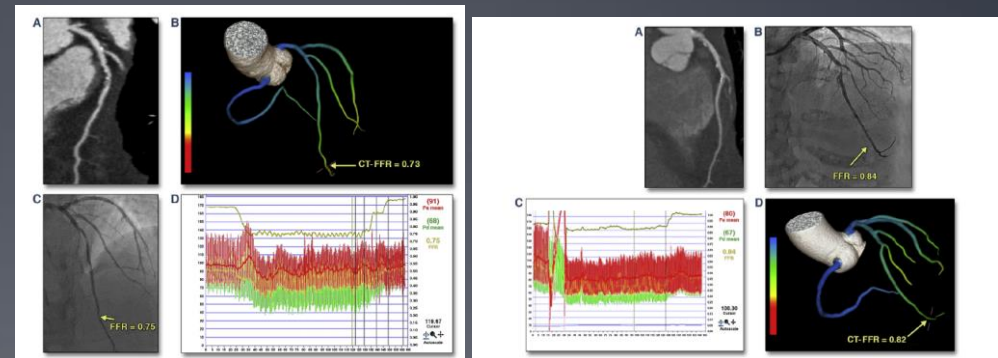
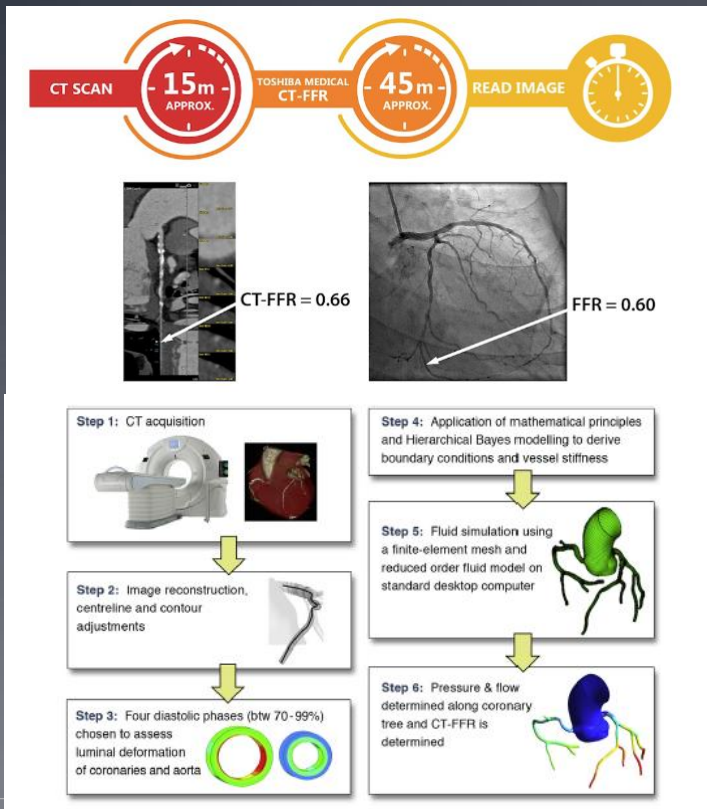


# Routine

- Post-Traitement

CT – FFR (WIP / Heart Flow)

→ FFR CT



## CT-FFR (WIP)

- > L'étude de l'anatomie et de la réserve coronaire (FFR) peut être réalisée lors d'un seul examen -
- > CT-FFR calculée sur la déformation de la lumière des coronaires et de l'aorte puis mécanique des fluides
- > Résultats en moins de 45 minutes

# Routine

---

- Post-Traitement

→ FFR CT

143 patients, angor stable

Comparaison FFR CT et SPECT

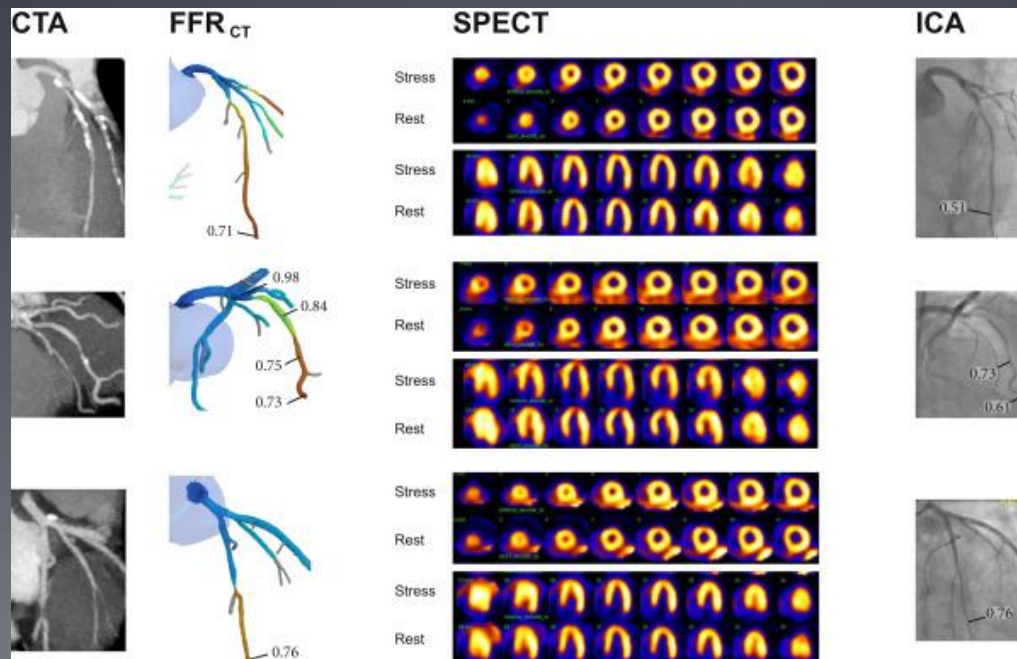
Plaques intermédiaires au scanner.



# Routine

- Post-Traitement

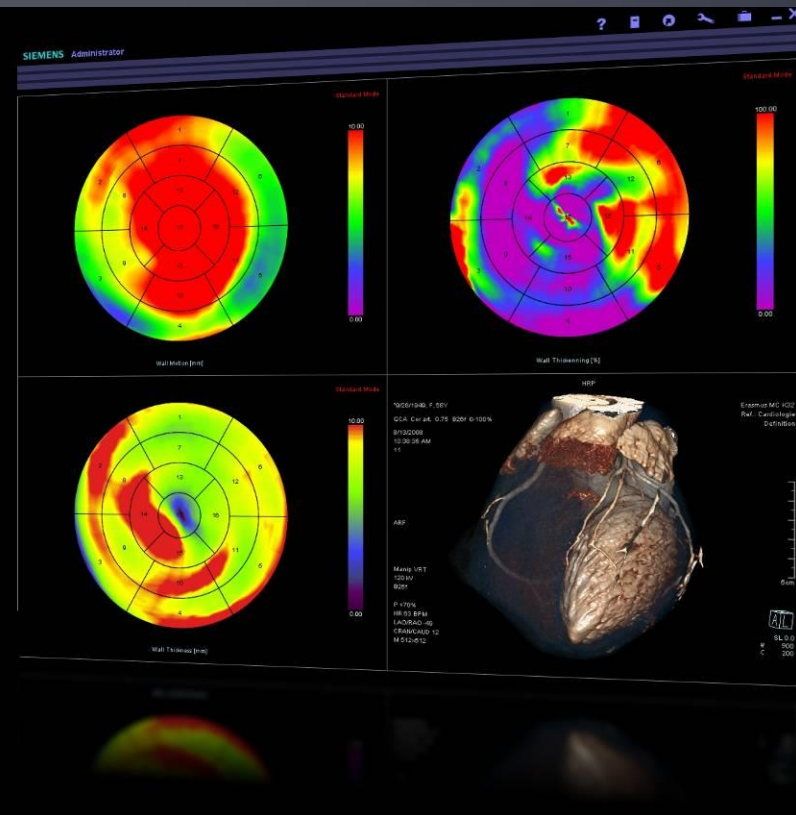
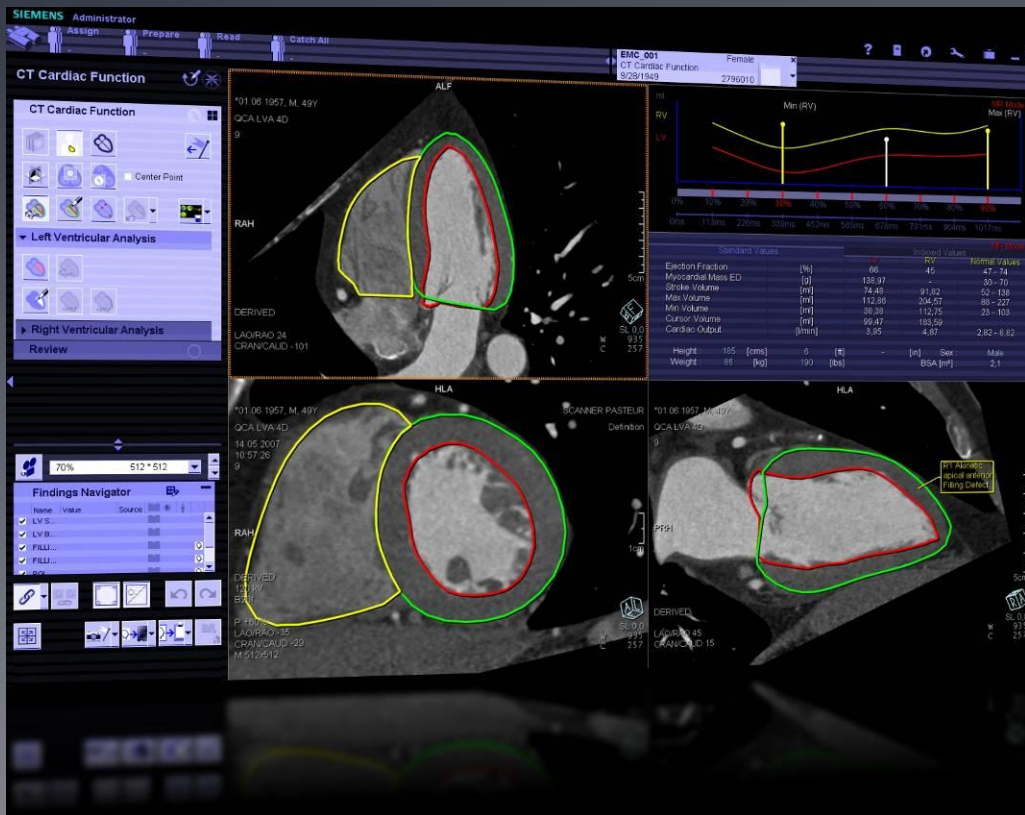
→ FFR CT



# Routine

- Post-Traitement

→ Analyse de la fonction myocardique régionale

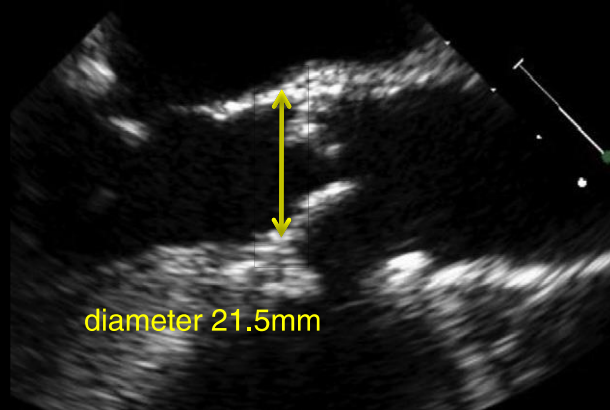


# Routine

- Post-Traitement

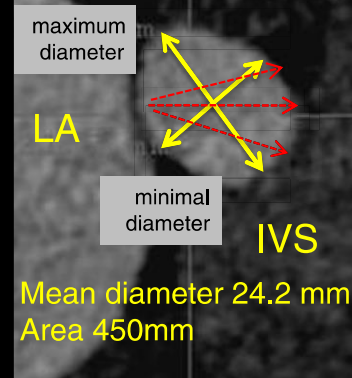
→ TAVI

TEE



23mm Valve

CT double oblique

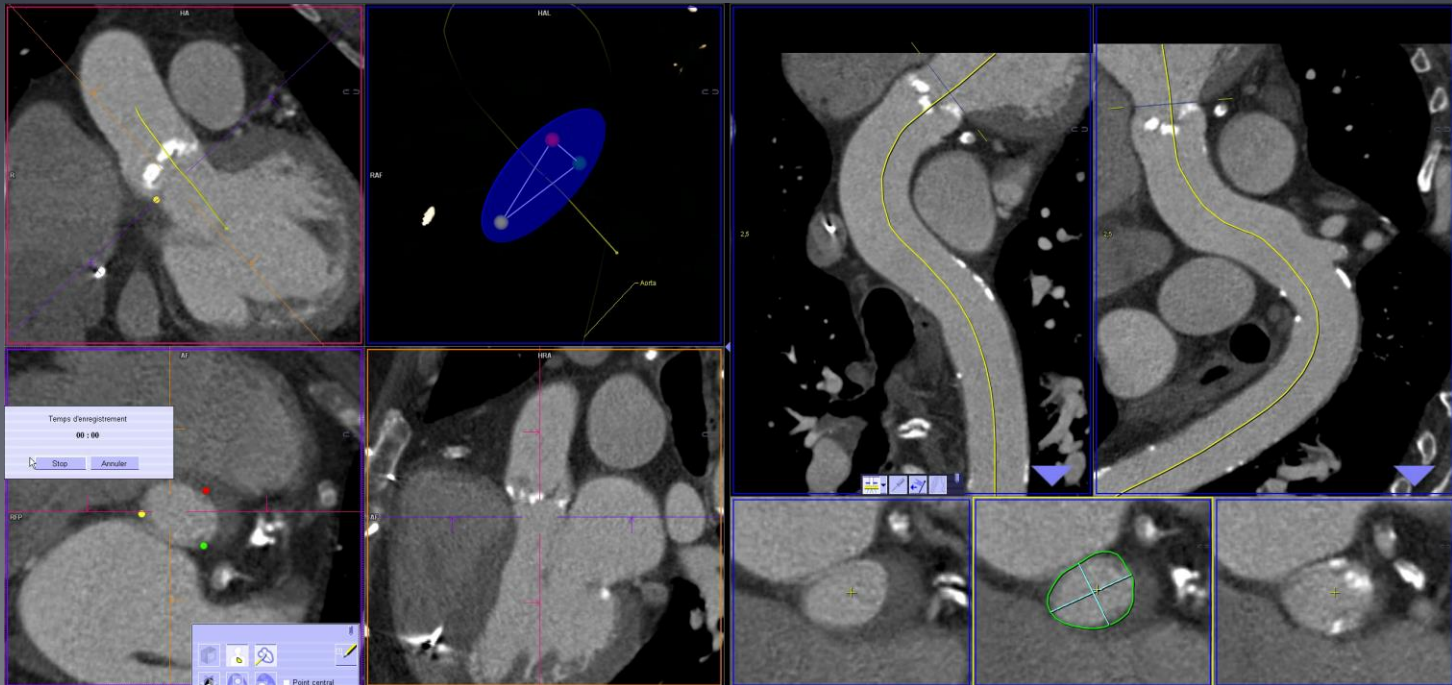


26mm Valve

# Routine

- Post-Traitement

→ TAVI



# Conclusion

- Evolution technologique impressionnante du scanner cardiaque
- La limite n'est pas encore atteinte
- Le scanner reste un examen irradiant?

