

Que penser des alternatives à la FFR ?

Nicolas Meneveau
CHU Jean Minjoz, Besançon

Déclaration de Conflits d'Interêts

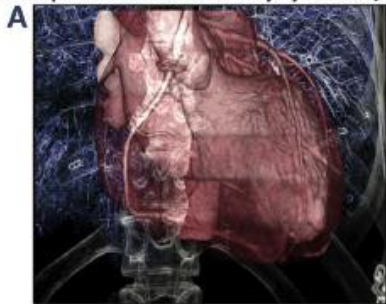
1 – Titulaire de brevets/Porteur de parts sociales ou membre d'une structure de gouvernance ou salarié	➤ NON
2 – Consultant ou membre d'un Conseil scientifique	➤ OUI
3 – Conférencier ou auteur/rédacteur rémunéré d'articles ou documents	➤ OUI
4 – Prise en charge de frais de voyages, d'hébergement ou d'inscription à des congrès ou autres manifestations	➤ OUI
5 – Investigateur principal d'une recherche ou d'une étude clinique	➤ OUI
6 – Co-Investigateur d'une étude clinique	➤ OUI

Alternative à la FFR : Quid de la FFR virtuelle ?

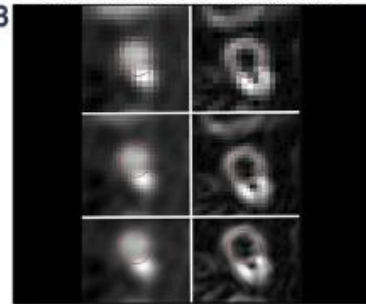
- **Mesurée à parti d'un angioscanner**
- **Mesurée à partir d'une angiographie coronaire**
- **Mesurée à partir d'une imagerie endocoronaire**

FFR_{CT} : FFR à partir d'un coroscanner

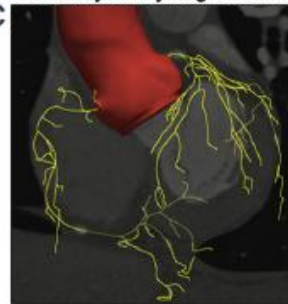
Patient-specific Arterial Geometry by Coronary CTA



Subvoxel Resolution Evaluation



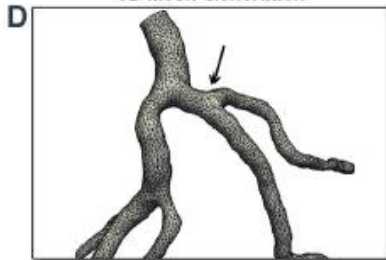
Coronary Artery Segmentation



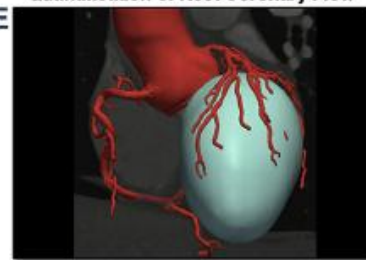
Détermination de l'anatomie coronaire

Reconstruction 3D

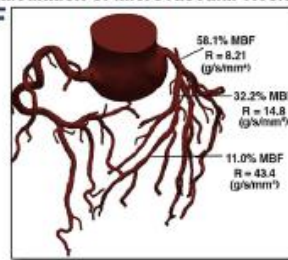
3D Mesh Generation



Quantification of Rest Coronary Flow



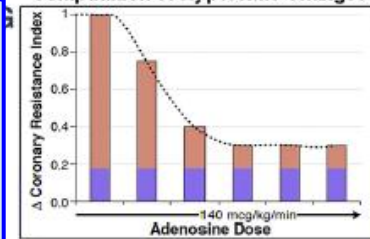
Calculation of Microvascular Resistance



Détermination du flux basal fonction de la masse VG et des résistances

Modélisation de l'hyperémie et de son retentissement sur les résistances microvasculaires

Computation of Hyperemic Changes



Computational Fluid Dynamics

Mass Conservation (1 equation):

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

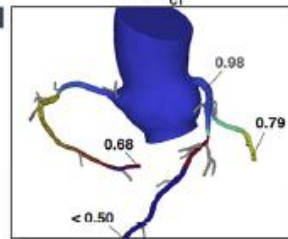
Momentum Balance (3 equations):

$$\rho \frac{\partial v_x}{\partial t} + \rho \left(v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \frac{\partial v_y}{\partial t} + \rho \left(v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \frac{\partial v_z}{\partial t} + \rho \left(v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right)$$

FFR_{CT}



Modélisation de la dynamique des fluides pour évaluer flux, pression, vitesses au repos et en hyperémie.

FFR_{CT} : performances diagnostiques

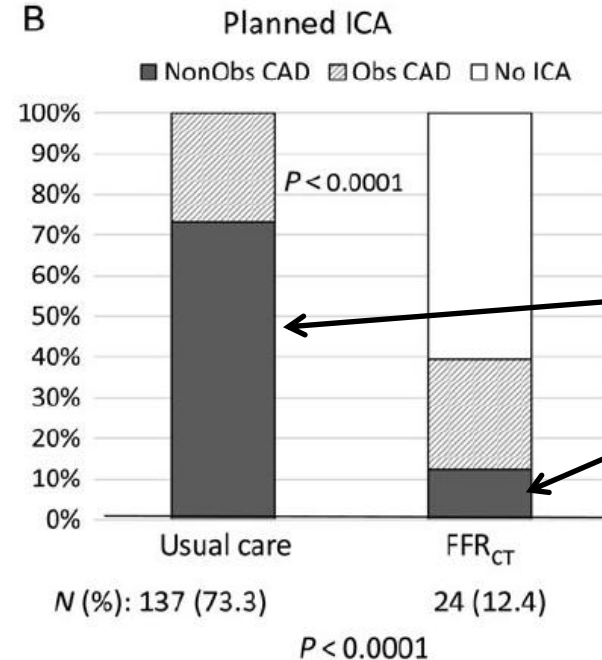
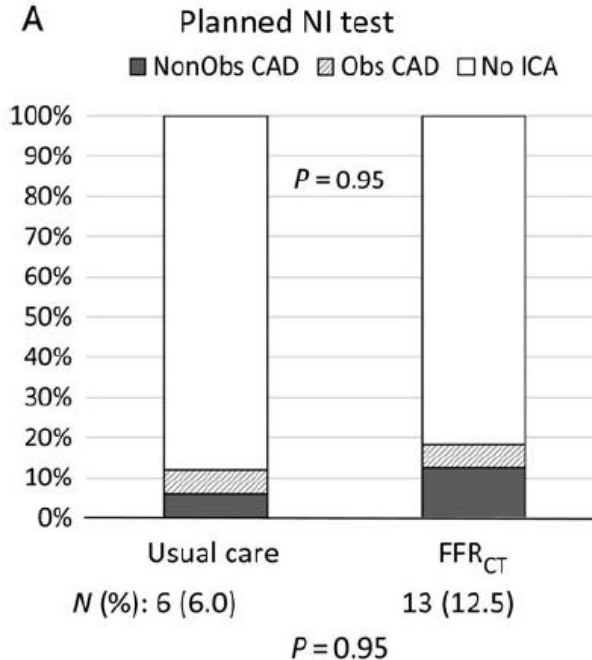
FFR_{CT} vs CTA : improved accuracy, specificity, AUC

	N	Diagnostic accuracy	AUC	Per-Patient Se/PPV		Sp/NPV	
DISCOVER-FLOW	103	84%	0.90	93%	85%	81%	91%
DeFACTO	252	69%	0.81	90%	67%	54%	84%
NXT	254	86%	0.93	86%	65%	79%	93%

FFR_{CT} : quel impact clinique ?

Etude PLATFORM

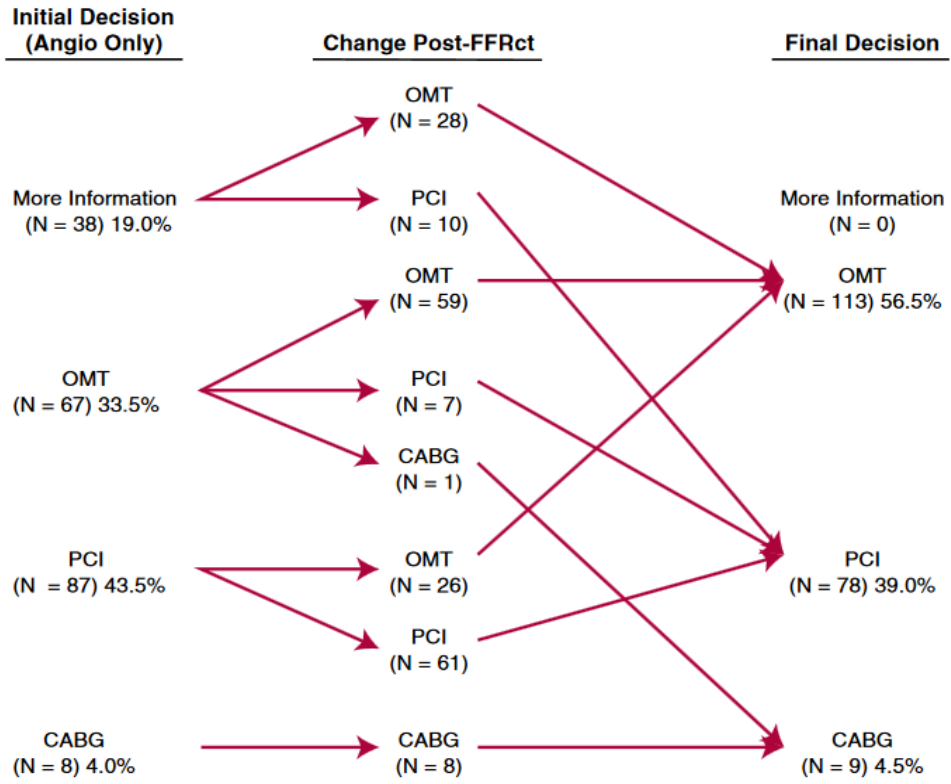
Stratégie diagnostique conventionnelle vs FFR_{CT}
 584 pts avec une probabilité pré-test # 50%



Réduction de 61%
 du risque de
 réaliser une
 coronaro inutile

FFR_{CT} vs CTA: quel impact clinique ?

Etude RIPCORD



↗ 36% de modification de la stratégie thérapeutique

↗ 23% TTT médical optimal

↘ 5% de PCI programmée (18% de modification du vx cible)

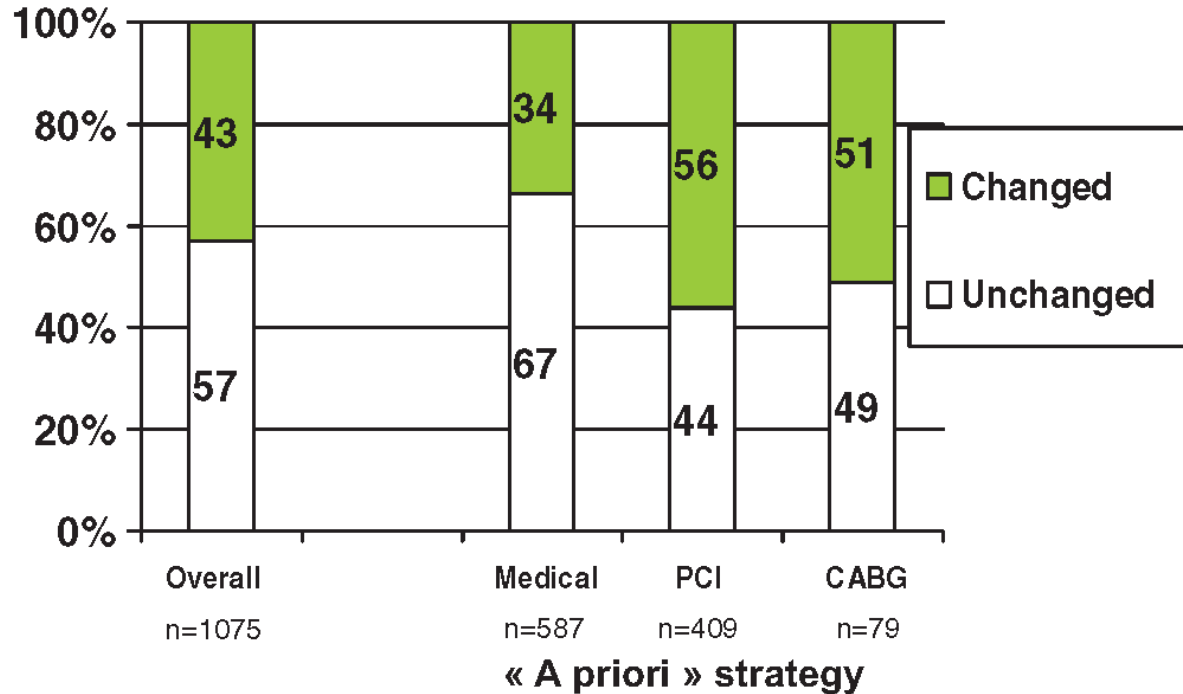
↗ 0.5% de PAC programmés

↘ 8% de revascularisation

FFR : quel impact clinique ?

Registre R3F

Change of Revascularization strategy in
 43% of patients

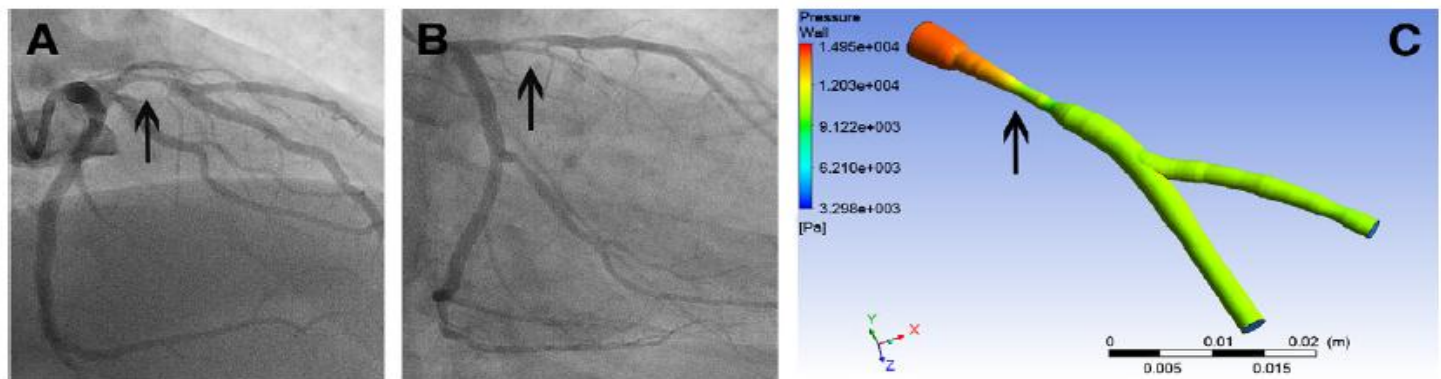


Alternative à la FFR : Quid de la FFR virtuelle ?

- Mesurée à parti d'un angioscanner
- Mesurée à partir d'une angiographie coronaire
- Mesurée à partir d'une imagerie endocoronaire

vFFR : FFR modélisée à partir d'une angio coronaire rotationnelle

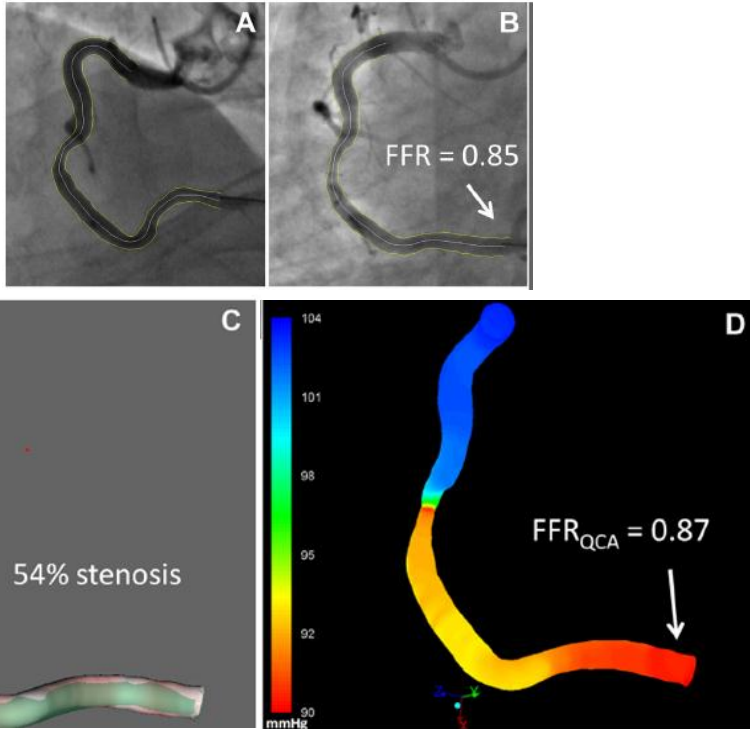
Etude VIRTU-1



Measure of Quantitative Accuracy of vFFR	RCA Cases (n = 15)	LCA Cases (n = 20)	Post-Stent Cases Excluded (n = 22)	Total Cases (n = 35)
Mean difference	0.03	0.01	0.01	0.02
SD	0.08	0.09	0.1	0.09
Average absolute error	±0.07	±0.06	±0.07	±0.06

Accuracy = 97%, sensitivity = 86%, specificity = 100%, PPV = 100%, NPV = 97%.

FFR_{QCA} : FFR virtuelle modélisée à partir d'imagerie angio



- Reconstruction du vaisseau en 3D (3D QCA) à partir de **2 incidences**
- Modélisation de la FFR_{QCA} sur la base de la vitesse d'écoulement du produit de contraste en hyperémie à partir du **TIMI Frame Count**
- FFR_{QCA} = rapport du flux volumétrique hyperémique / flux volumétrique basal

FFR_{QCA} : FFR virtuelle modélisée à partir d'imagerie angio

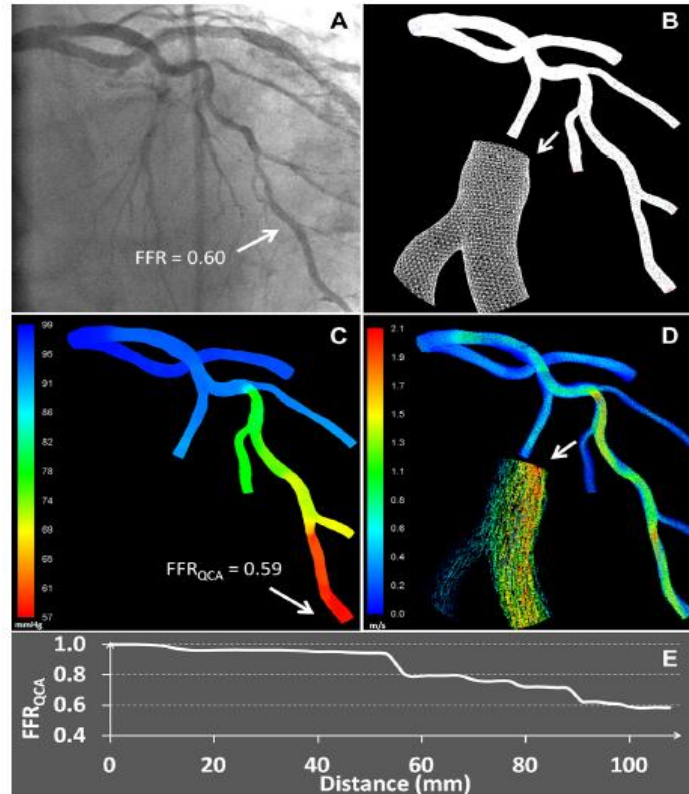
Angio : lésion diffuse IVA

Modélisation de la distribution des pressions en hyperhémie

Valeurs FFR_{QCA} lors d'un pullback virtuel

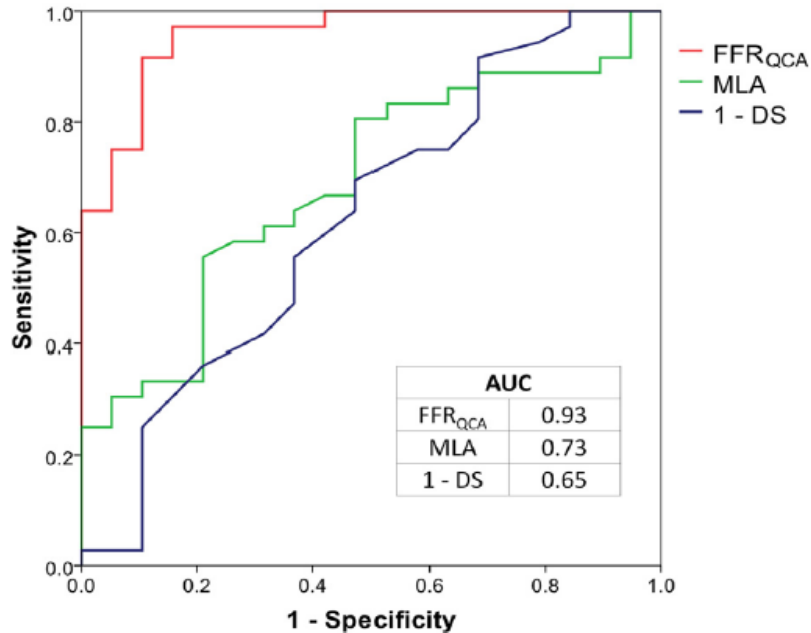
Reconstruction 3D (3D QCA)

Modélisation de la vélocité du flux en hyperémie : cartographie fonctionnelle



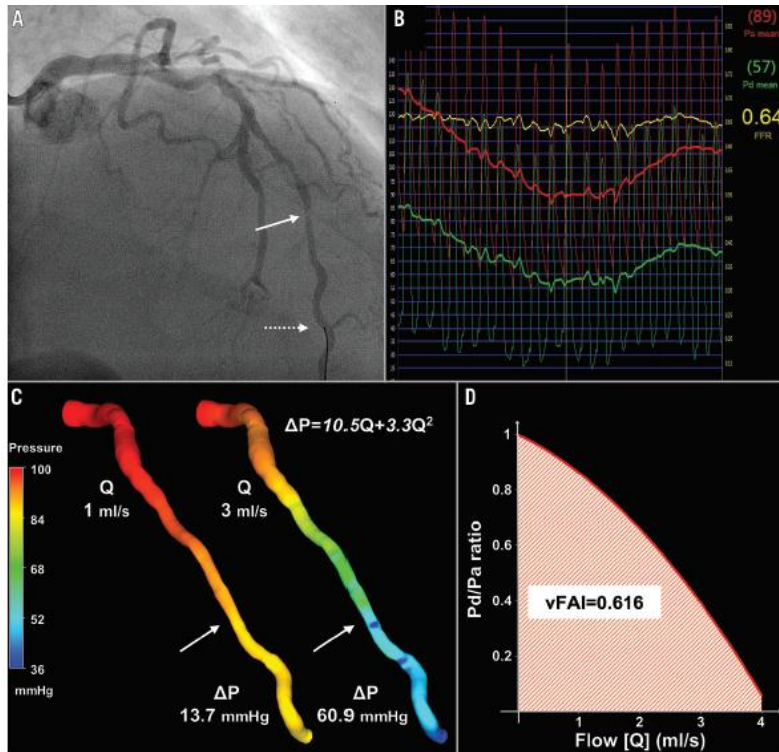
FFR_{QCA} : performances diagnostiques

77 lésions intermédiaires (%DS = 47%)



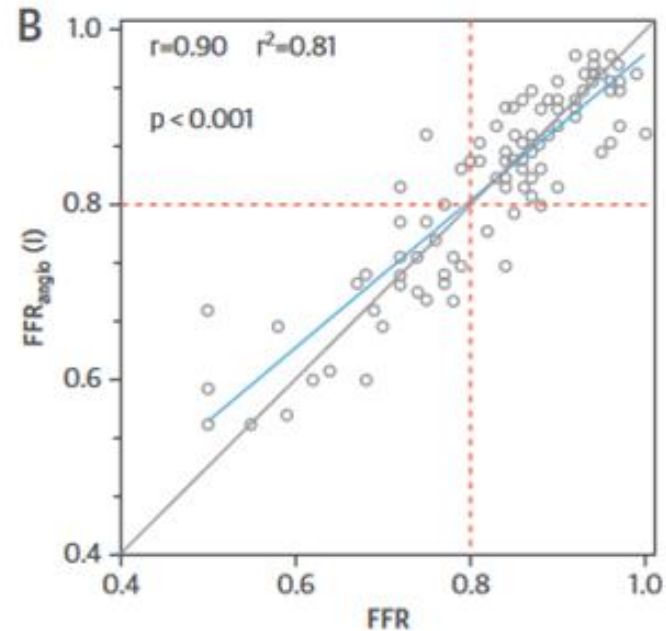
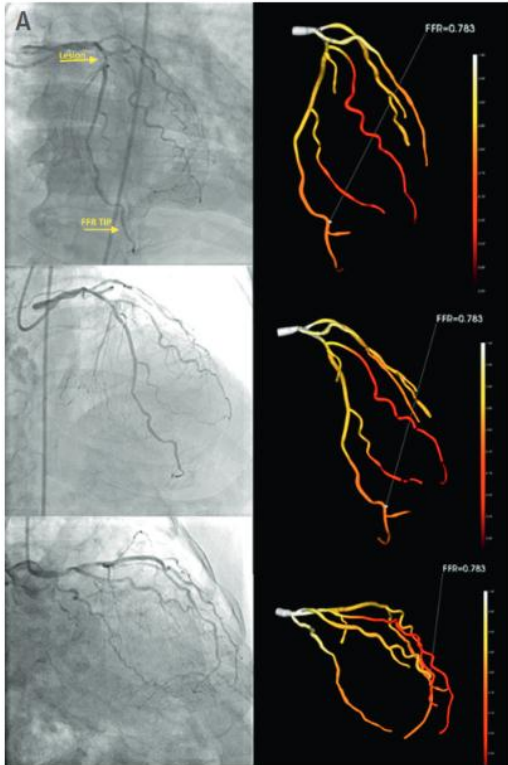
FFR _{QCA} ≤ 0.80	
Accuracy	88 (81–96)
Sensitivity	78 (60–97)
Specificity	93 (85–100)
PPV	82 (64–99)
NPV	91 (83–99)

vFAI : virtual fonctionnal assessment index modélisé à partir d'une angio coronaire



- Application de la dynamique des fluides à un modèle de reconstruction 3D QCA
- Pression d'entrée fixe 100 mmHg
- Simulation débit basal : 1 ml/s
- Simulation débit hyperémique : 3 ml/s
- Non invasif, pas d'hyperémie, on line
- AUC = 92%
- Diagnostic accuracy = 88%
- Se = 90%
- Spe = 86%
- VPP = 80%
- VPN = 94%

FFR_{angio} : FFR virtuelle modélisée à partir d'imagerie angio

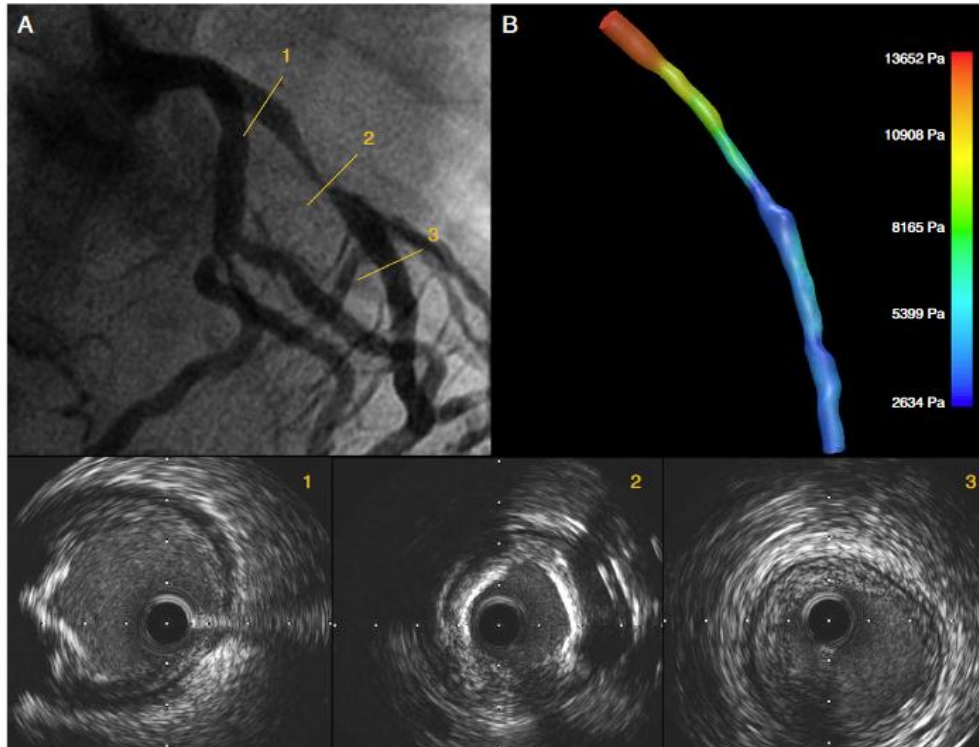


Se = 88%, Sp = 98%, Accuracy = 94%.

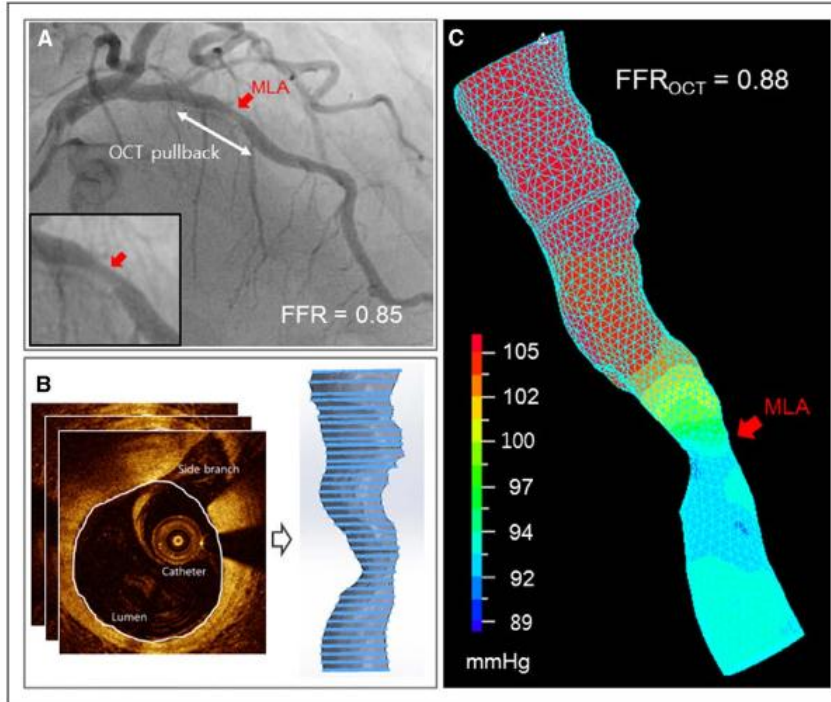
Alternative à la FFR : Quid de la FFR virtuelle ?

- Mesurée à parti d'un angioscanner
- Mesurée à partir d'une angiographie coronaire
- Mesurée à partir d'une imagerie endocoronaire

FFR_{IVUS} : FFR virtuelle modélisée à partir d'imagerie IVUS

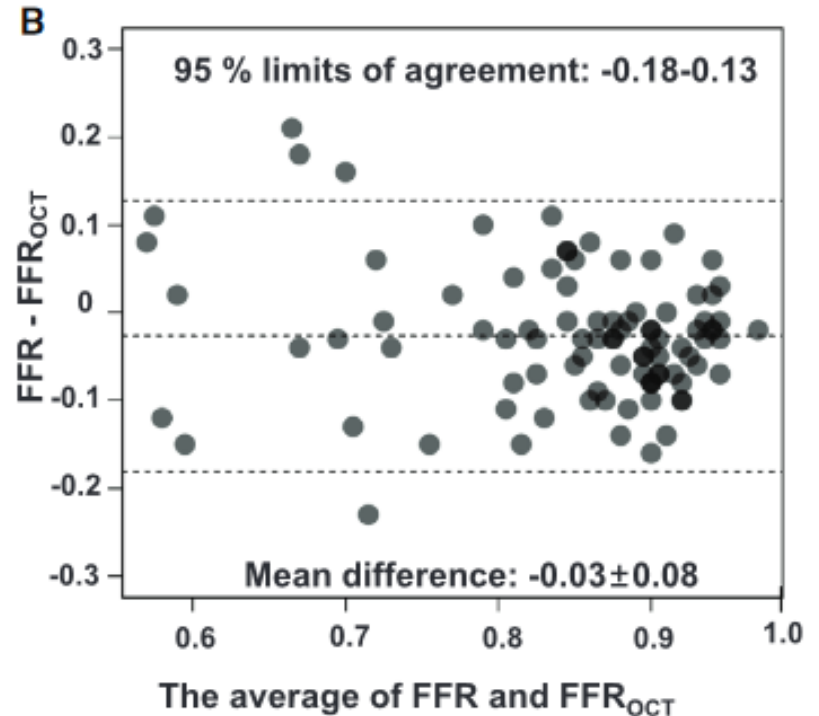
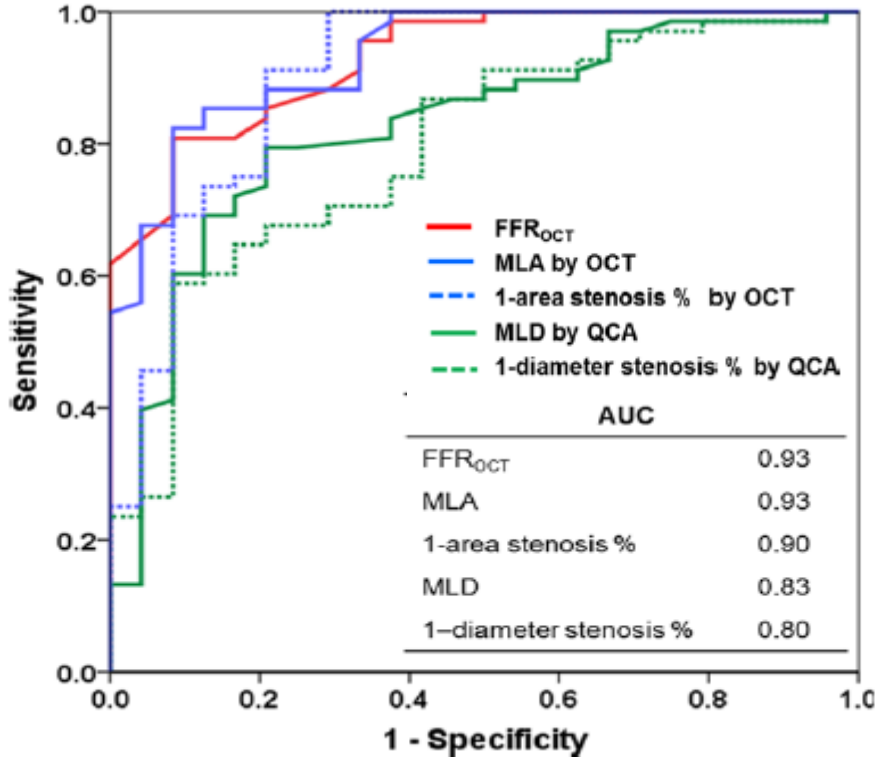


FFR_{OCT} : FFR virtuelle modélisée à partir d'imagerie OCT

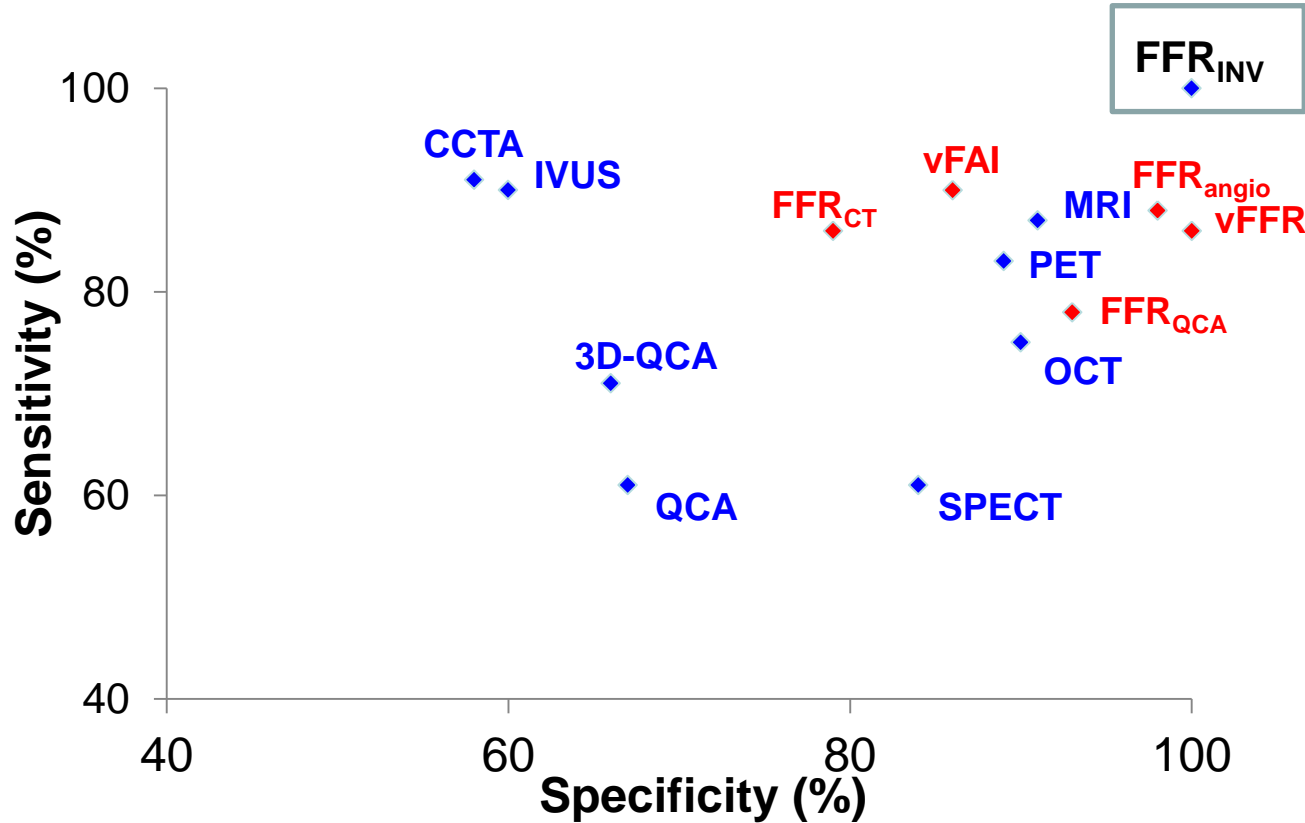


- Reconstruction 3D à partir du contour intraluminal
- Intérêts : évaluation simultanée de l'anatomie endoluminale de la lésion et de son retentissement fonctionnel

FFR_{OCT} : performances diagnostiques



Mise en perspective des performances diagnostiques des FFR virtuelles



Méthodologie et précision des différents modèles de vFFR

Modèle	Invasif	Agent hyperémiant	Durée	Accuracy
Coroscanner				
- FFR _{CT}	Non	Non	1-4 h	82%
Angio coronaire				
- vFFR	Oui	Non	12-24h	97%
- vFAI	Oui	Non	7 min	87.8%
- FFR _{QCA/angio}	Oui	Oui/Non	5 min	88%/94%
Imagerie endocoronaire				
- FFR _{OCT/IVUS}	Oui	Non	?	?

Conclusion

- Il persiste un certain nb de challenges scientifiques, logistiques et commerciaux avant que la FFR virtuelle n'entre dans la pratique clinique courante
- Les performances diagnostiques des différentes techniques évaluées à ce jour sont encourageantes
- FFR_{CT} prometteur dans la détection des pts à risque bas ou modéré, FFR_{QCA/OCT/IVUS} dans la prise en charge invasive des pts à plus haut risque
- Besoin de données élargies au patient « tout venant »
- Nécessité de disposer d'études cliniques comparant vFFR vs FFR dans les situations déjà validées de la FFR