



FFR-CT où en sommes-nous ?

2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.

2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.



DÉCLARATION DE LIENS D'INTÉRÊT POTENTIELS

Intervenant : Alain TAVILDARI, Aix-en-Provence

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

2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.

2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.



Fusée à 3 étages

Pratique clinique

Validation scientifique

Développement technologique



2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.

2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.



Développement technologique

Modélisation mathématique

- Approche CFD (*Computational Fluid Dynamics*)
- Modélisation 3D de l'arbre coronaire
- Simulation du flux sanguin basée sur l'équation de Navier-Stokes (1840) : mouvement des fluides visqueux dans un milieu intégrant pression, viscosité et forces de cisaillement

Intelligence artificielle et machine learning

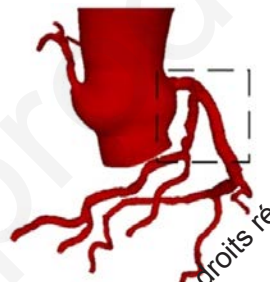
- Extraction des caractéristiques pertinentes dans l'image (taille et forme des vaisseaux, des sténoses, etc.)
- Entraînement des modèles sur des images scanner et des mesures FFR invasives associées
- Prédiction de la FFR à partir de nouvelles images scanner



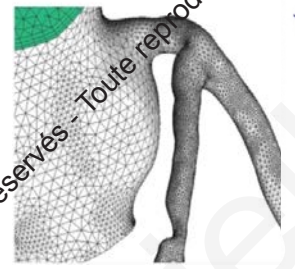
CFD vs IA-ML



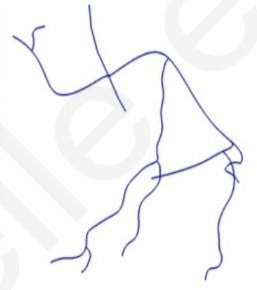
Acquisition CT



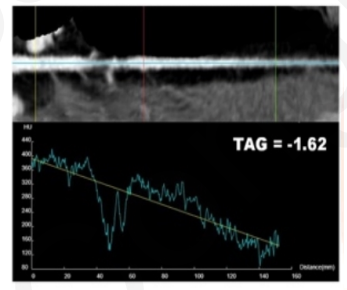
Segmentation



Vectorisation



Extraction

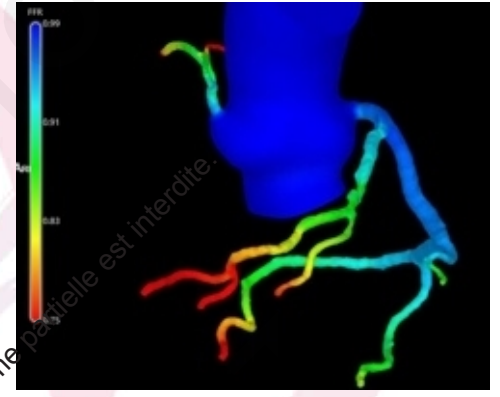


Perte de charge (densité)
[Transluminal Attenuation Gradient]

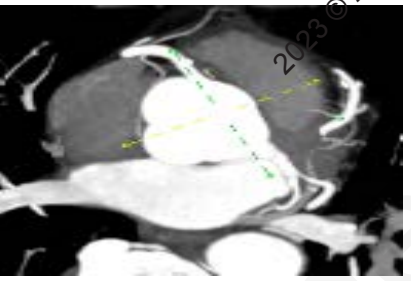
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = \nabla \cdot \sigma$$

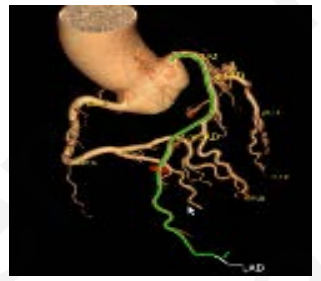
Equation de Navier-Stokes



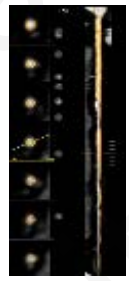
CFD



Acquisition CT



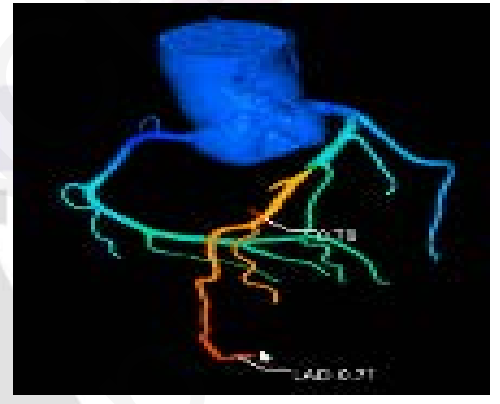
Segmentation



Extraction



Image Processing



IA-ML

2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.

2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.



Limites technologiques

Modélisation mathématique

- Requiert des paramètres physiologiques et géométriques
- Dépendant de la qualité image
- Perte de précision dans les bifurcations et les lésions en tandem
- Pas d'étude chez les patients déjà revascularisés
- Temps d'analyse (minimum 1 à 4h)

Intelligence artificielle et machine learning

- Dépendant de la qualité et de la quantité des données d'entraînement
- Effet "boite noire" : résultats précis mais pas d'explication sur la base des prédictions rendant l'interprétabilité difficile
- Pas de généralisation aux nouvelles données (nouveaux scanners, nouvelles populations, nouvelles caractéristiques) par manque d'entraînement sur ces modèles



Choix technologiques

Modélisation mathématique

- FFR_{CT} : HeartFlow, Redwood, CA, USA
- $uCT-FFR$: United Imaging Healthcare, Shanghai, China
- $CT\ FFR$: Canon (Toshiba) Ōtawara, Tochigi, Japan

Intelligence artificielle et machine learning

- $esFFR$: EScope Ltd, Shenzhen, China
- $cFFR$: Siemens Healthcare, Erlangen, Germany
- FFR_{AI} : Spimed-AI, Paris, France
- $CT-\mu FR$: Pulse Medical, Shanghai, China



Validation scientifique

- FFR scanner vs CCTA seul
- FFR scanner vs FFR invasive
- Autres FFR scanner vs FFR_{CT}

2023 © 29^{ÈME} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.

2023 © 29^{ÈME} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.

Etudes FFR_{CT}

Etude	Année	Nb Pts	Résultats
DISCOVER-FLOW	2011	103	FFR _{CT} améliore la spécificité du scanner
DeFACTO	2012	252	FFR _{CT} améliore la sensibilité du scanner pour les lésions intermédiaires
NXT	2014	254	FFR _{CT} améliore la spécificité du scanner
PACIFIC	2017	208	Supériorité par rapport aux autres tests <u>si bonne qualité image</u>
ReASSESS	2018	143	Se FFR _{CT} > scinti mais Sp FFR _{CT} < scinti
Artzner et al	2018	50	Plus de certitude dans le résultat et plus rapide (-5)
RIPCORD	2016	200	Modification de stratégie thérapeutique (36%) vs scanner seul
PLATFORM	2015	584	FFR _{CT} : moins de « coro blanches » (12% vs 73%)
ADVANCE	2018	5083	Modification de stratégie thérapeutique (67%) vs scanner seul FFR _{CT} < 0,80 = moins de « coro blanches »
SYNTAX III Revolution	2019	223	Modification de stratégie thérapeutique (7%) vs scanner seul Modification du choix de l'artère à traiter (12%)

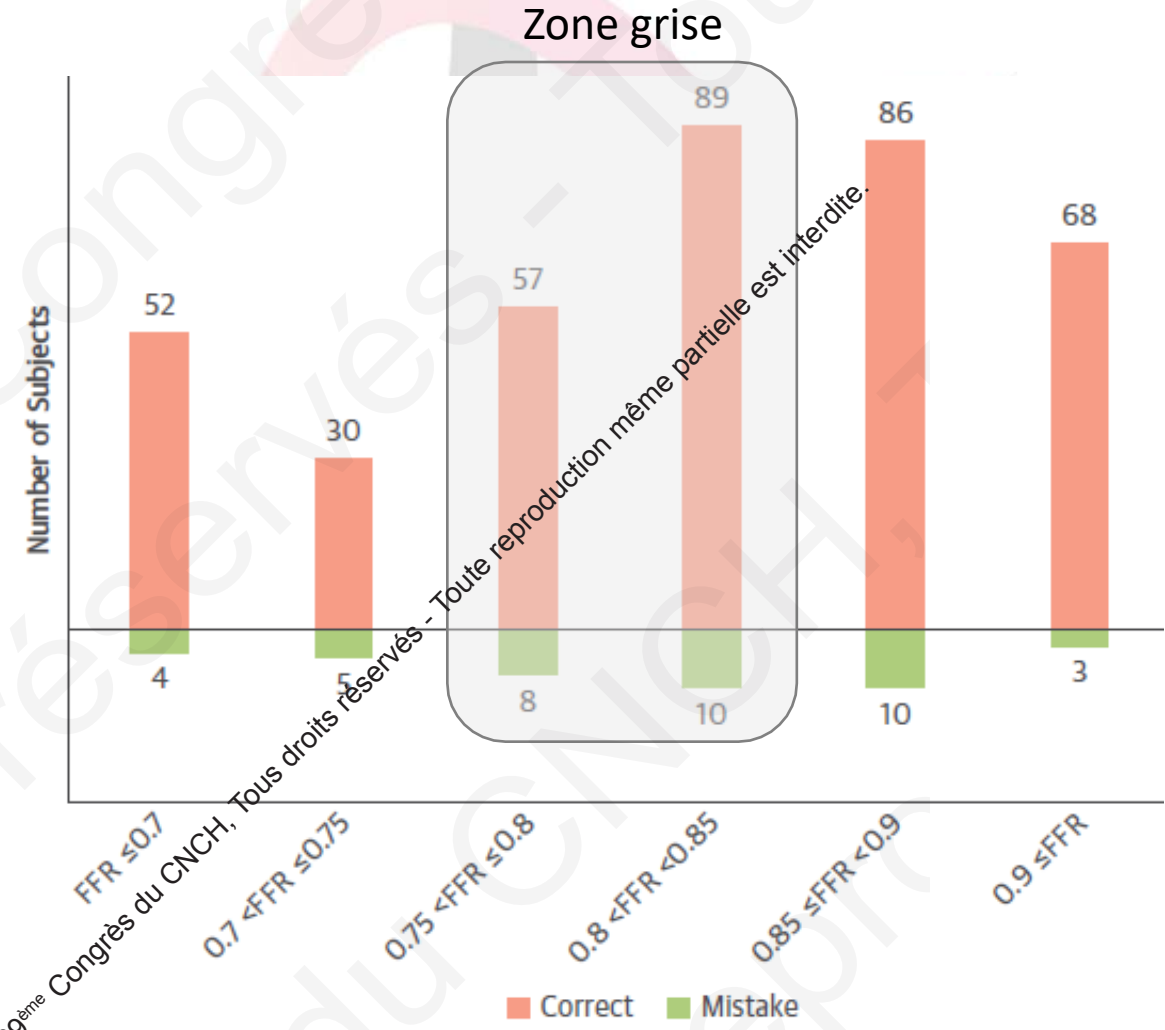
2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.

Etude uCT-FFR

CT FFR for Ischemia-Specific CAD with a New Computational Fluid Dynamics Algorithm : A Chinese Multicenter Study



2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.



2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.

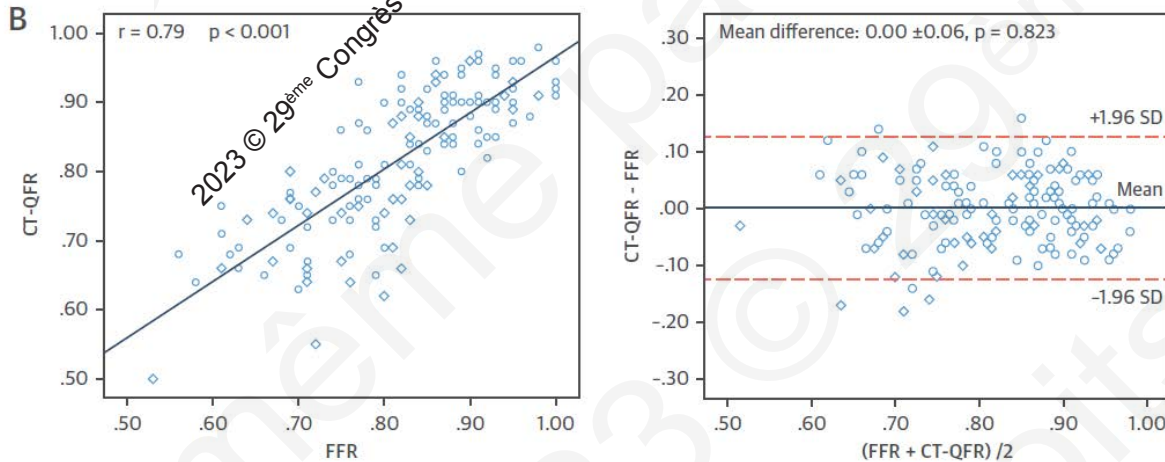
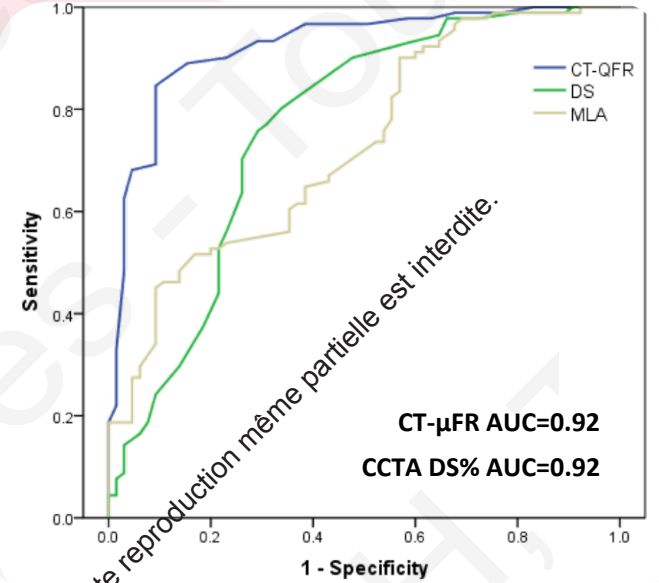


Etude FFR_{AI}

- **Proof of Concept:** *Invasive Fractional Flow Reserve prediction using Coronary CT angiography analyses by Artificial Intelligence versus Computational Fluid Dynamics software in patients with intermediate-grade stenosis.*
 - Conclusion : La prédiction de la sténose de grade intermédiaire FFR $\leq 0,80$ a donné des valeurs diagnostiques comparables entre FFR_{AI} et FFR_{CT}, ce qui suggère que FFR_{AI} pourrait devenir un outil d'imagerie non invasif similaire à celui de la FFR_{CT} pour guider la prise en charge des patients.

Etudes CT- μ FR

- 156 vaisseaux, 154 patients
- FFR invasive comme référence
- Précision 87,3 %, Sensibilité 90,2 %, Spécificité 84,9 %



Good correlation and agreement between CT- μ FR & FFR

Per-patient (N=134)	CT- μ FR \leq 0.80	CTA quantitative DS > 50%
Accuracy (%)	87.3 (81.6 – 93.0)	72.4 (64.7 – 80.0)
Sensitivity (%)	90.2 (79.8 – 96.3)	72.1 (59.2 – 82.9)
Specificity (%)	84.9 (74.6 – 92.2)	72.6 (60.9 – 82.4)

[1] Li Z, et al. J Am Coll Cardiol. 2020; 13: 172-175

* CT-QFR is the scientific expression of CT- μ FR in clinical studies

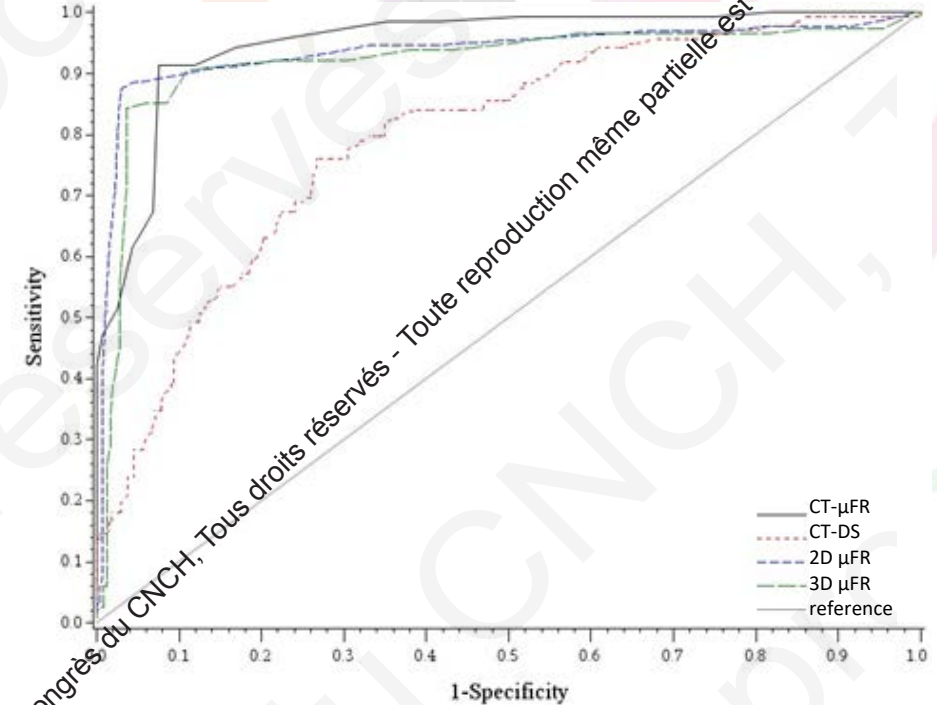


Etudes CT- μ FR

Chinese registration trial

- Etude multicentrique (4 hôpitaux en Chine)
- 413 vaisseaux, 330 patients
- FFR invasive comme référence
- Precision 92%

	Patient Level	Vessel Level
	30% \leq CCTA DS% \leq 90%	30% \leq CCTA DS% \leq 90%
Accuracy (%)	90.7 (87.4, 93.9)	92 (89.3, 94.8)
Sensitivity (%)	90.8 (85.4, 96.1)	91.3 (86.2, 96.4)
Specificity (%)	91.6 (87.5, 95.7)	92.4 (89.1, 95.7)
PPV (%)	84.9 (78.6, 91.2)	85.7 (79.7, 91.7)
NPV (%)	95.9 (92.8, 98.9)	95.5 (92.9, 98.2)
AUC (%)	-	0.95 (0.94, 0.97)



NMPA registration trial, manuscript in preparation



Pratique clinique

- Diffusion commerciale
- Indications
- Business model

2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.

2023 © 29^{ème} Congrès du CNCH, Tous droits réservés - Toute reproduction même partielle est interdite.



Diffusion commerciale limitée

- Faible disponibilité sur le marché français
- Marquage CE
- RGPD : traitement local / déporté ?
- Délais de traitement : heures / secondes
- Education des équipes
- Image d'outil de haute technologie réservée aux centres experts



Indications

- Aujourd'hui

- Recommandé dans NICE
- Proposé dans les ESC Guidelines
- Evoqué dans le consensus d'experts Asie-Pacifique

Exploration du retentissement fonctionnel des lésions intermédiaires en CT, en l'absence de test ischémique antérieur

- Demain

- Associé au Syntax score CT pour indiquer les pontages [1]
- Associé à la charge athéromateuse pour un meilleur pronostic clinique [2]

1- Journal of Cardiovascular Computed Tomography, 2023.10.012

2- Journal of Cardiovascular Computed Tomography, 2023.10.005



Business model

- Remboursement :
 - Royaume Uni
 - Japon
 - Allemagne (?)
 - USA (cotation Cat I dès janvier 2024) : \$ 930,34
- Sinon qui paie ?
 - Patient
 - Médecin
 - Structure
 - Assurances complémentaires

Discordance entre
coût de la
technique
et la cotation du
scanner coronaire
en France



Take home messages

Technique séduisante alliant anatomie et fonction

Preuves scientifiques solides

Diminue le nombre d'exams invasifs inutiles

Limitations : haute qualité image, coût, temps d'analyse (CFD > ML)

Utilisé en cas d'incertitude diagnostique des lésions intermédiaires

Planification des angioplasties (taille, longueur, FFR résiduelle)

Demain : plus vite, plus précis, moins cher, systématique

Stents ? Pontages ? ANOCOR ?

Scanner + FFR + analyse de plaque = combo parfait pour l'étude de la coronaropathie obstructive stable

alaintavildari@gmail.com

29^{ÈME}
CONGRES
CNCH



Collège **CARDIOVISTA**
National des
Cardiologues des
Hôpitaux

Suivez le CNCH sur le Social Média !

#CNCHcongres



@CNCHcollege



@CNCHcollege



@CNCHcollege



Si vous voulez devenir Ambassadeur social média CNCH adressez-nous un email à cnch@sfcario.fr