



IA en imagerie médicale Standardisation et quantification

Marc-Antoine DELBARRE

Médecine interne et immunologie clinique

Groupement Hospitalier de l'Institut Catholique de Lille



Journée organisée par :

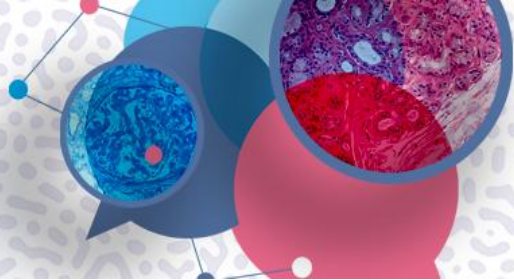


R'EPOF



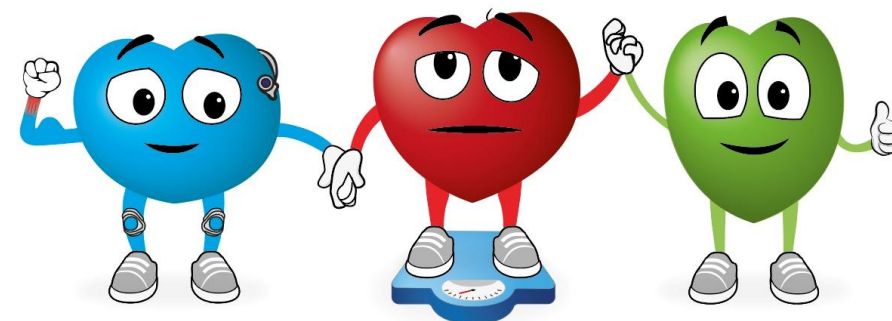
www.masterclass-amylose.com





Liens d'intérêts

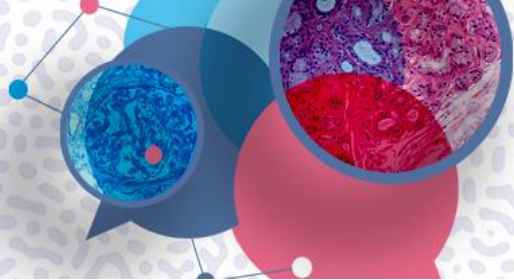
- Consulting : Pfizer / Bayer / alnylam



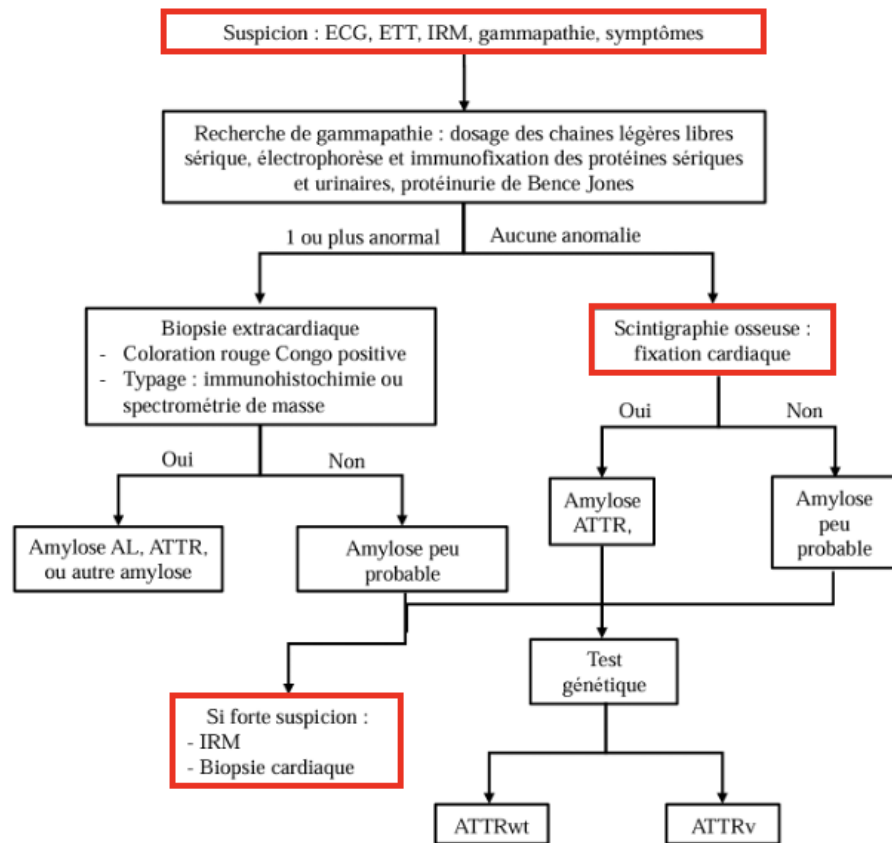
R¹EPOF

EPOF

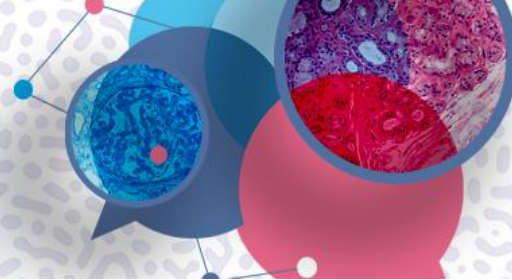
EPON



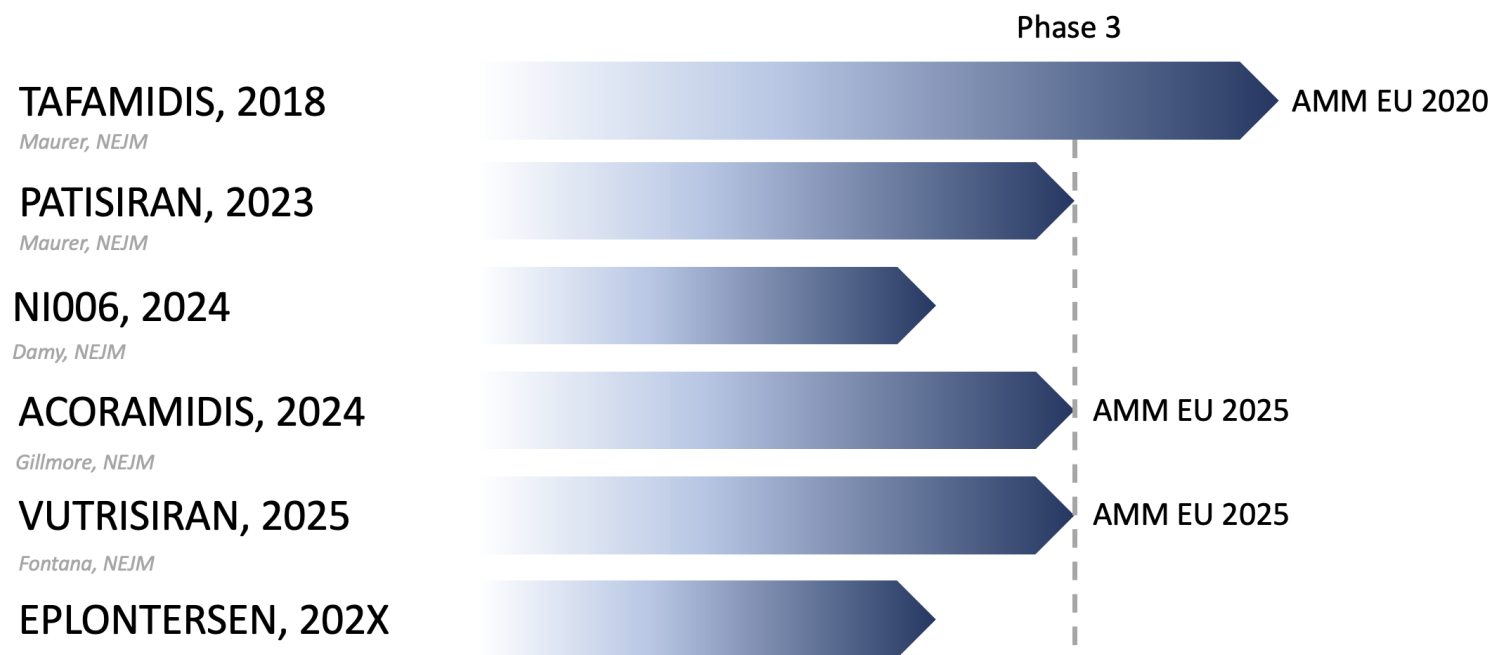
L'évaluation des amyloses cardiaques est largement **paramétrique**.



R'EPOF



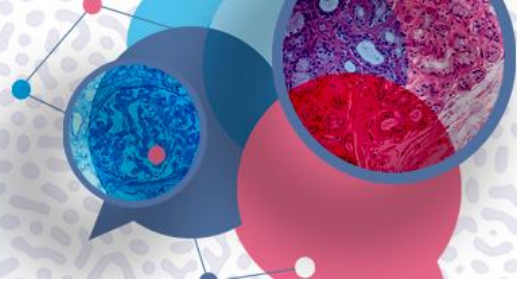
Une offre de soin qui s'élargit...



Monitorer la maladie pour adapter les traitements ?

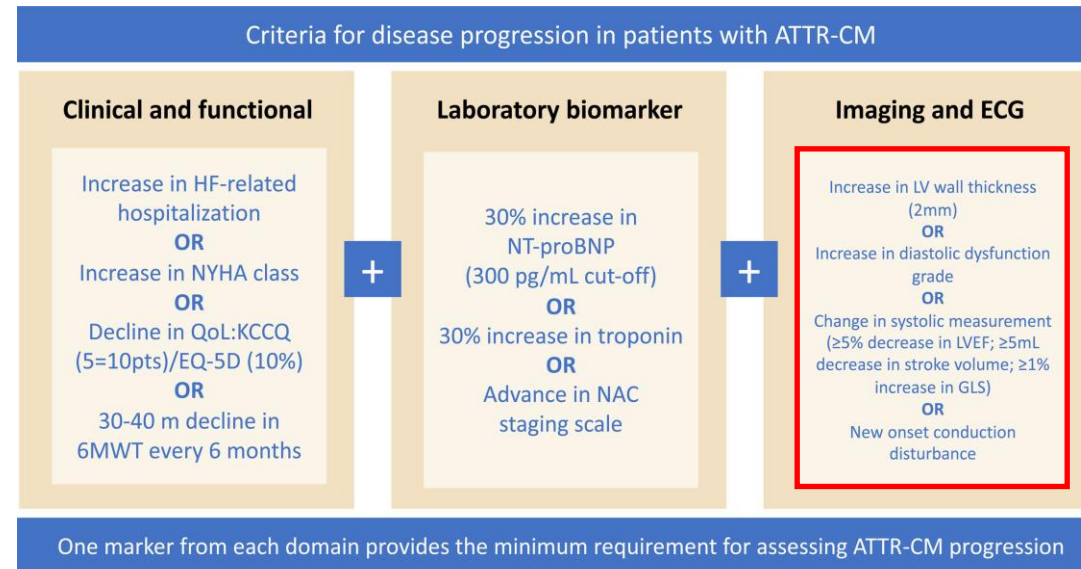


R'EPOF



Diagnostiquer / Monitorer l'ATTR-CA ?

- Contrairement à l'AL-CA, pas de biomarqueur spécifique de l'ATTR
- Évaluation **paramétrique** (proxy de l'infiltration / csqcs fonctionnelles)





Problématique de reproductibilité



ICC_{SIV} 0.61 – 0.91

ICC_{SGL} 0.66 – 0.98



$K_{Perugini}$ 0.31 – 1.00

ICC_{HCL} 0.78 – 0.92



ICC_{T1} 0.75 – 0.97

ICC_{ECV} 0.61 – 0.99

Tromp Nat Comm 2022, Kleijn EHJ Cardiovasc Img 2012, Medvedofsky Echocardiography 2017, Imakhanova J Stage 2023, Saitou J Stage 2025, De Meester JCMR 2015, Pica JCMR 2014



R'EPOF



Problématique de reproductibilité



Variabilité **humaine** (inter / intra-individuelle) :

- Expérience opérateur, choix des coupes, interprétation...



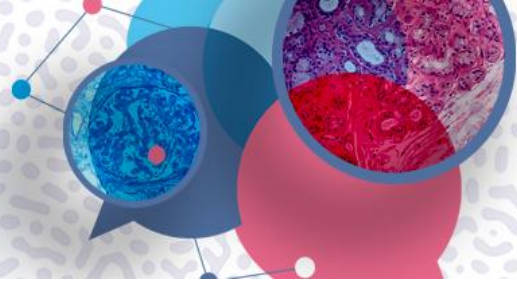
Variabilité **technique et de mesure** :

- Paramètres d'acquisition / de protocole,
- Contraintes patients (morphologiques, échogénicité...),
- Artefacts de mouvements ou matériels

Progression paramétrique réelle vs. bruit de mesure ?



R'EPOF



Problématique de reproductibilité



Variabilité **humaine** (inter / intra-individuelle) :

- Expérience opérateur, choix des coupes, interprétation...



Variabilité **technique et de mesure** :

- Paramètres d'acquisition / de protocole,
- Contraintes patients (morphologiques, échogénicité...),
- Artefacts de mouvements ou matériels

Quel rôle pour l'IA ?



R'EPOF



Quelques notions de base

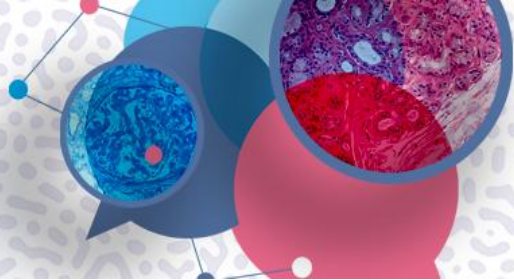


- Les réseaux de neurones résument une image par un vecteur de valeurs.
- Pour une Image X ; alors $V(X) = [v_1, v_2, \dots, v_i]$.
- Chaque valeur v est une **dimension (une coordonnée) dans un espace à i dimensions.**
- Chaque image peut avoir plusieurs milliers de dimensions... Dont la visualisation « brut » est impossible.

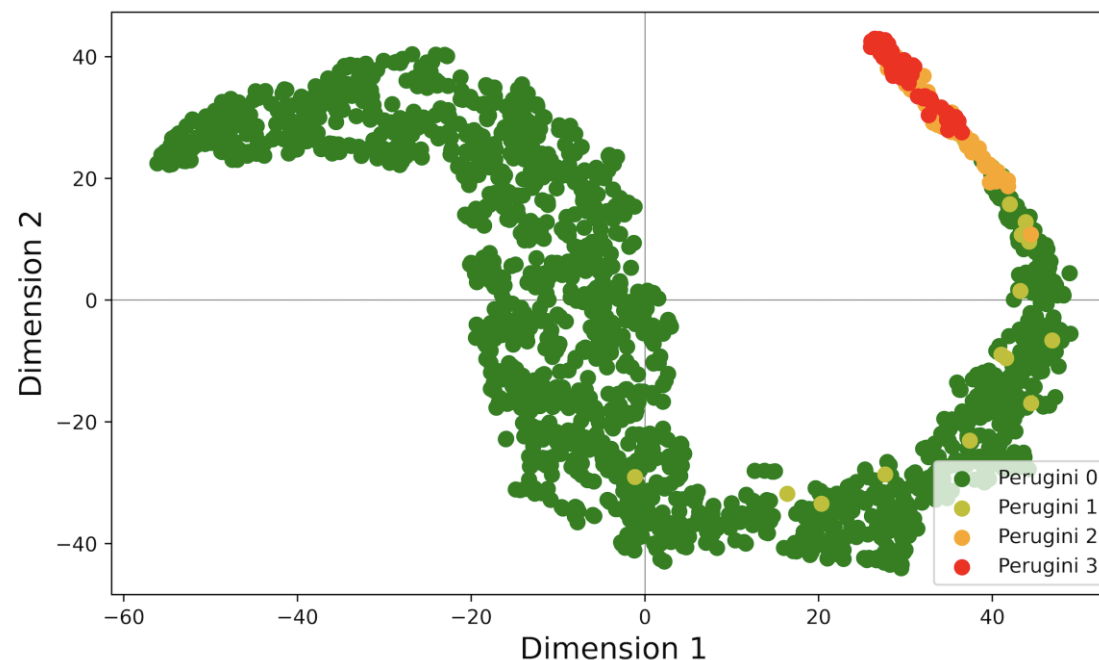
Mais on peut déterminer les distances entre les vecteurs de 2 images dans cet espace à i dimensions.



R'EPOF



Réduction dimensionnelle (t-SNE / ACP...)



T-SNE plot de scintigraphies osseuses de Mondor (n = 3048)



R'EPOF

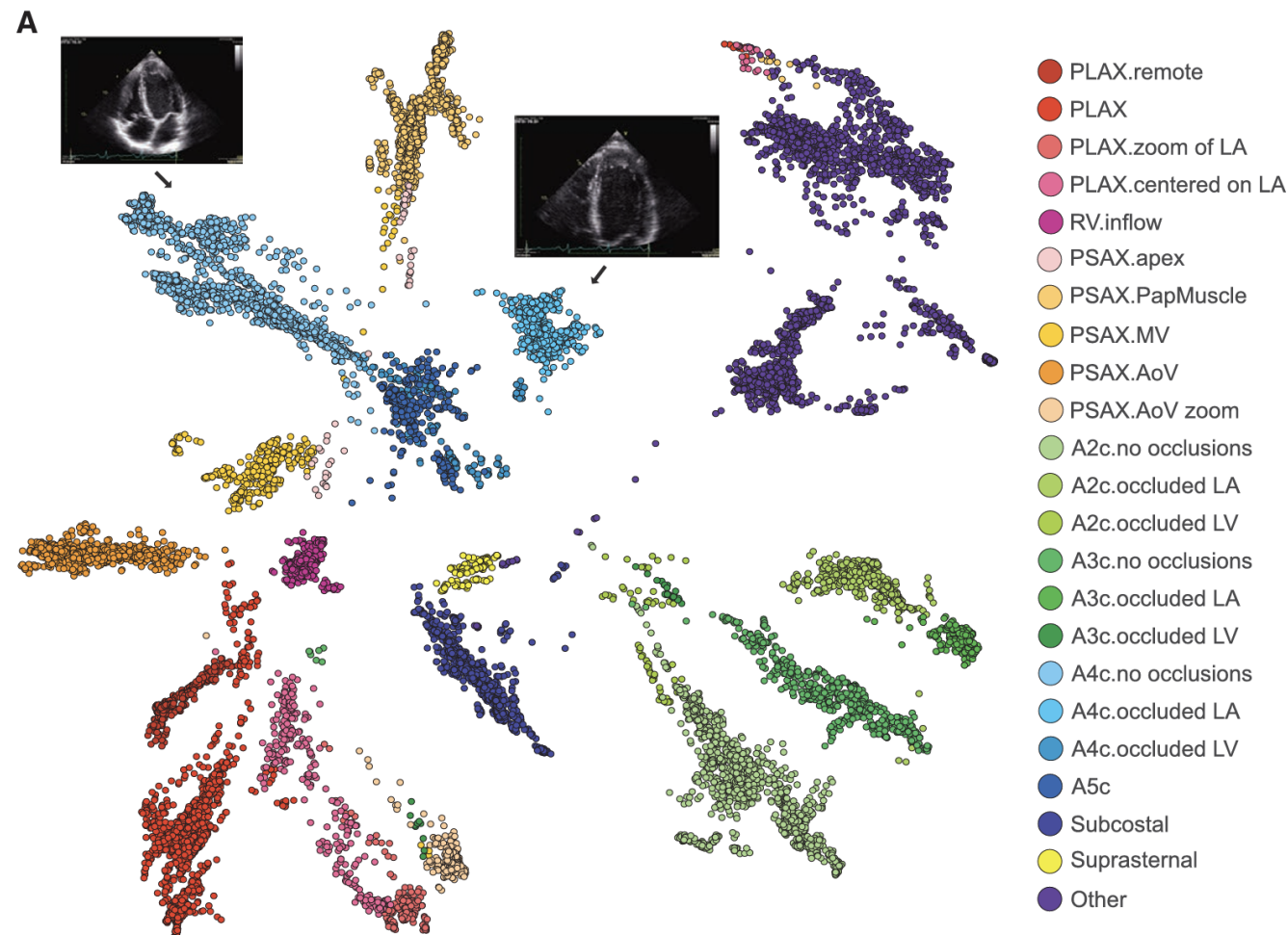
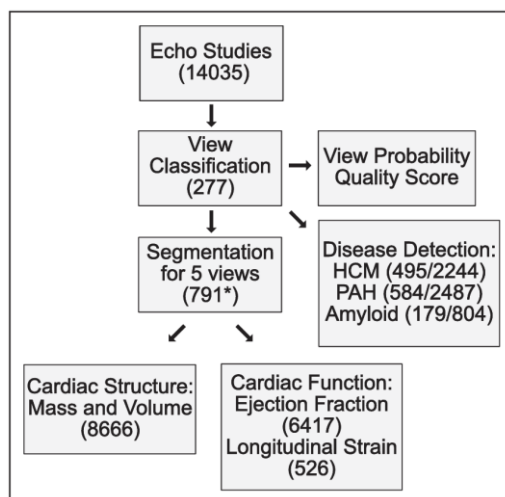
Circulation

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

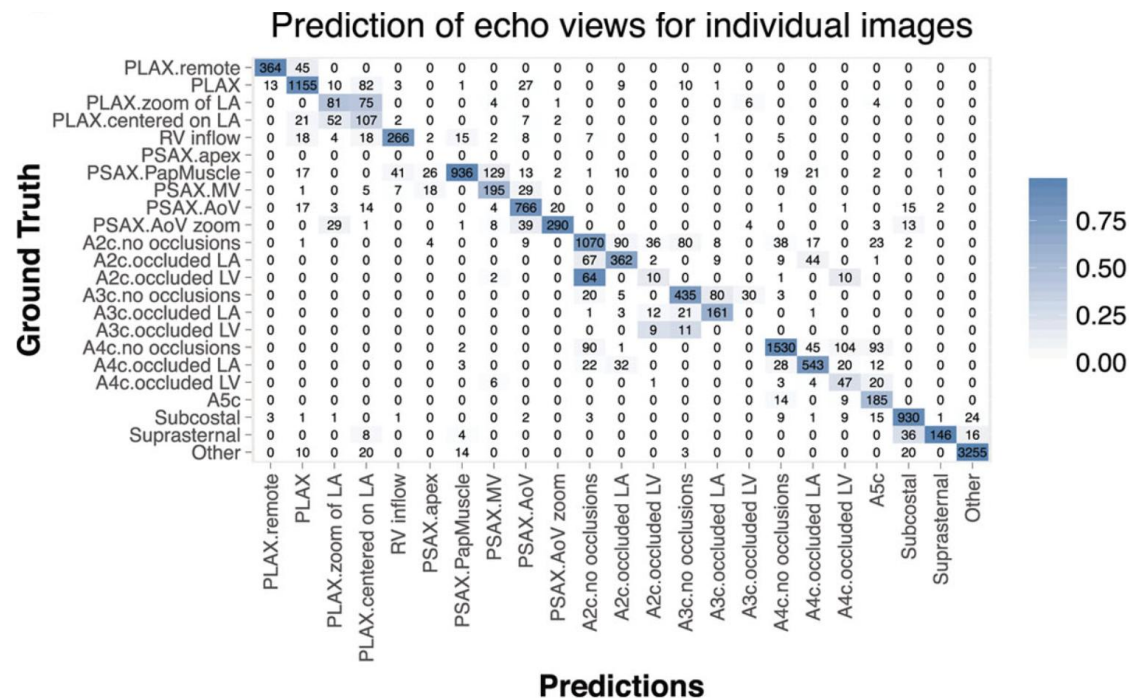
Fully Automated Echocardiogram Interpretation in Clinical Practice

Feasibility and Diagnostic Accuracy

Zhang, *Circulation* 2018



1 Contrôle qualité

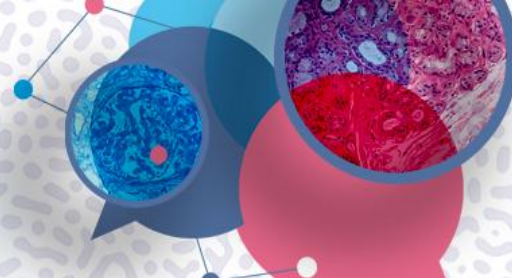


Pour chaque boucle d'une étude, calcul la probabilité d'appartenir à chaque vue standard (23 vues ≠).

- Très haute probabilité d'appartenir à une classe : ressemble à une image standard (confiance+++)
- Probabilité moyenne (répartie entre plusieurs classes) : boucle ambiguë / mauvaise qualité

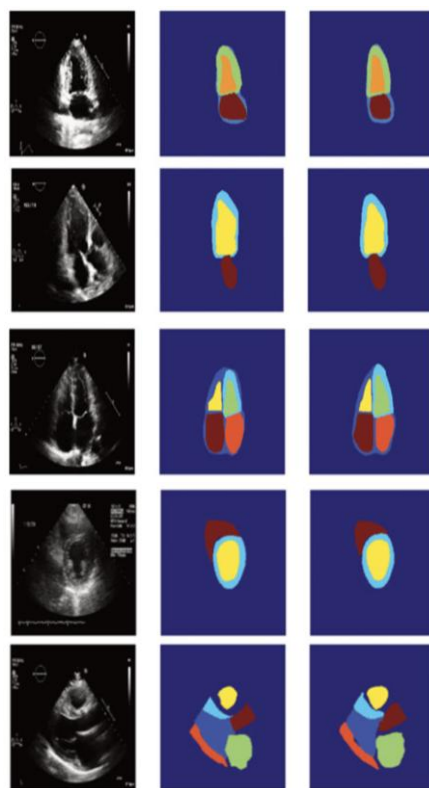


R'EPOF



2

Segmentation



Image

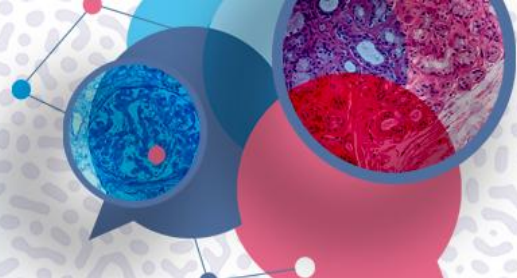
Ground
Truth

CNN

View	Number of Images Used for Training	Segmented Area	IoU Accuracy
A2c	214	Left atrium blood pool	88.2
		Left ventricle blood pool	89.1
		Left ventricle myocardium	72.2
A3c	141	Left atrium blood pool	88.3
		Left ventricle blood pool	88.3
		Left ventricle myocardium	72.7
A4c	182	Left atrium blood pool	89.8
		Left ventricle blood pool	88.9
		Left ventricle myocardium	73.7
		Right atrium blood pool	88.1
		Right ventricle blood pool	83.3
PLAX	130	Left atrium blood pool	86.1
		Left ventricle blood pool	87.9
		Right ventricle blood pool	85.2
		Aortic root	86.4
		Anterior septum	76.8
		Posterior wall	74.9
PSAX	124	Left ventricle blood pool	79.6
		Left ventricle myocardium	74.0
		Right ventricle blood pool	64.6



R'EPOF



3 Quantification

5% des études ont une déviation >5.8% du SGL

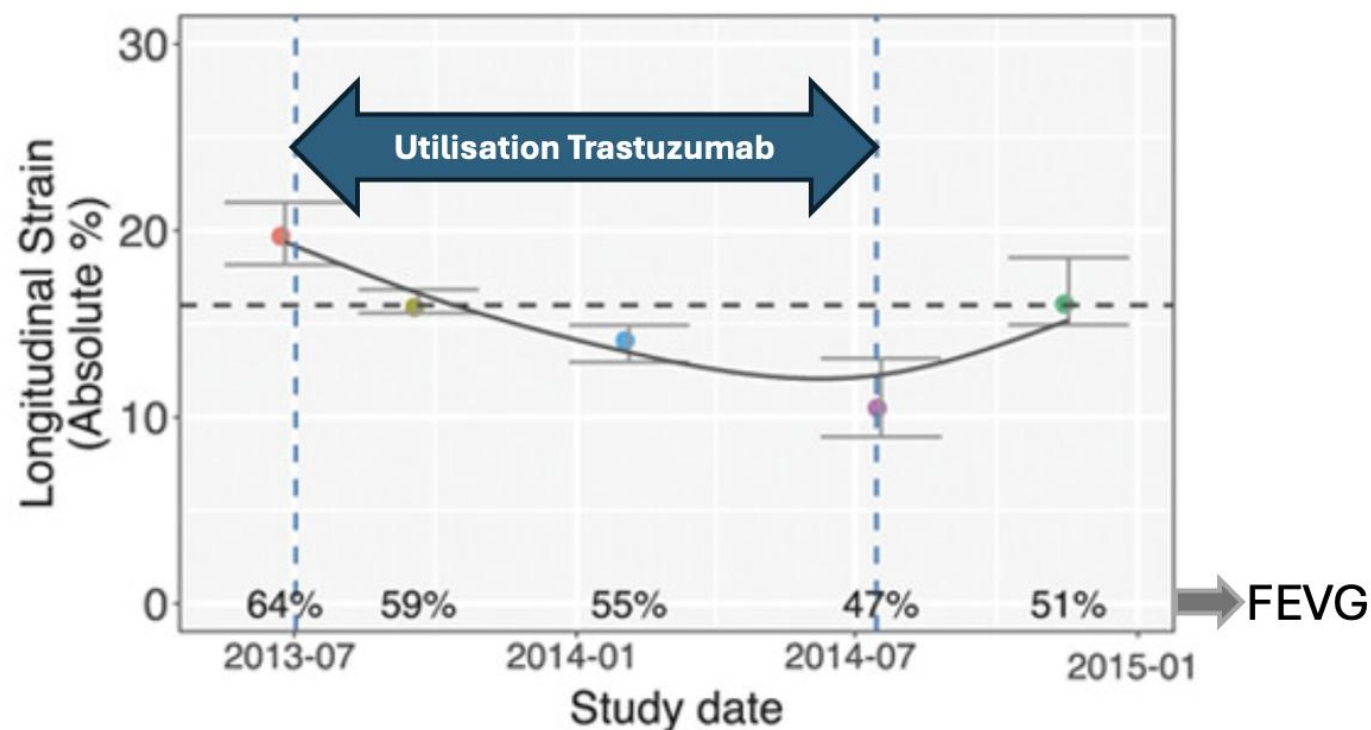
Metric	Number of Echocardiograms Used	Median Value (IQR)	Absolute Deviation: Automated vs Manual (% of Manual)		
			50	75	95
Left atrial volume, mL	4800	53 (40–71)	9 (16)	16 (29)	33 (66)
Left ventricular diastolic volume, mL	8457	92 (72–119)	16 (17)	29 (31)	56 (68)
Left ventricular systolic volume, mL	8427	33 (24–47)	9 (26)	16 (47)	39 (108)
Left ventricular mass, g	5952	148 (11– 160)	23 (15)	42 (28)	91 (95)
Left ventricular ejection fraction	6407	65 (58–69)	6 (10)	11 (17)	20 (40)
Global longitudinal strain	418	19 (17–21)	1.4 (8)	2.7 (14)	5.8 (31)
Global longitudinal strain (Johns Hopkins PKD study)	110	18 (16–20)	1.6 (9)	2.8 (17)	5.4 (39)



R'EPOF



Application pratique du modèle



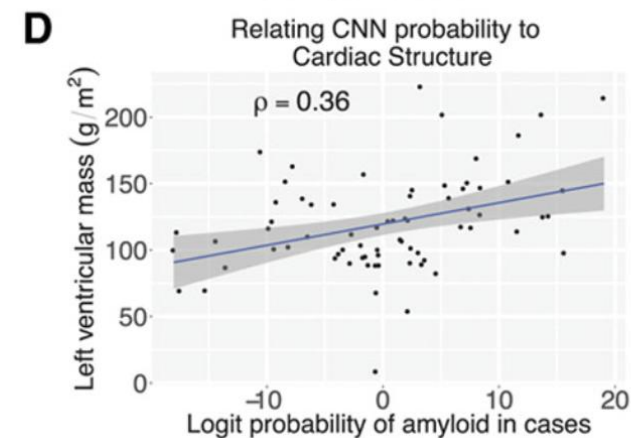
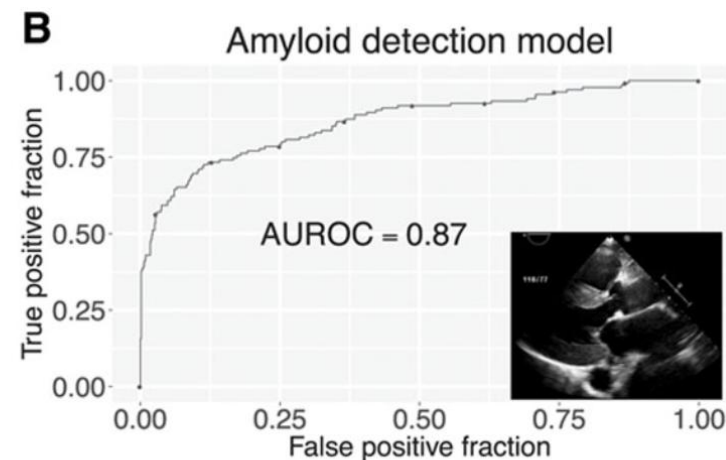
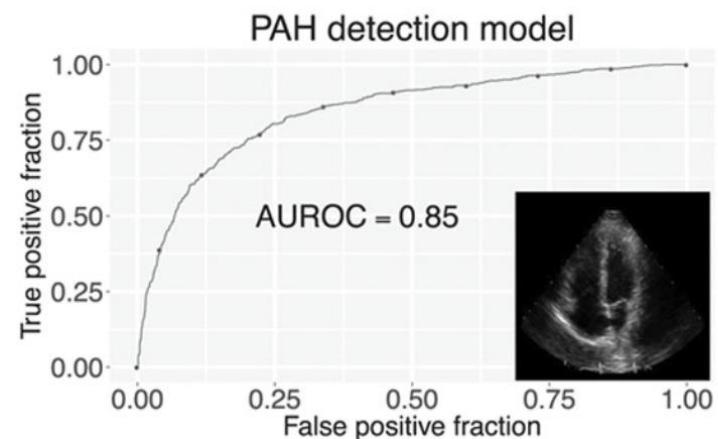
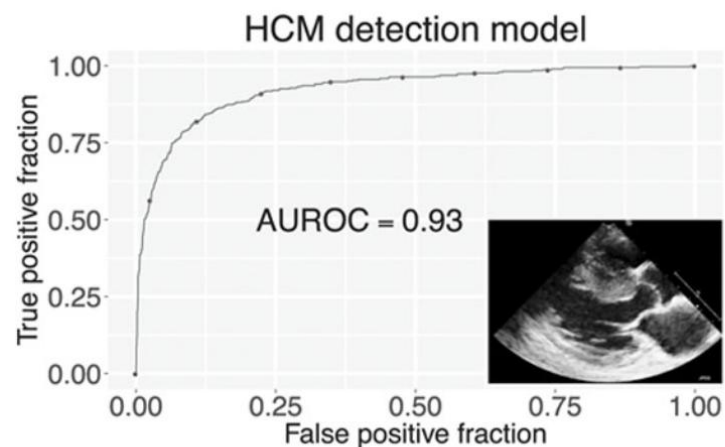
Exemple de suivi automatisé de SLG sous anthracycline



R'EPOF



4 Classification



R'EPOF



IA en écho

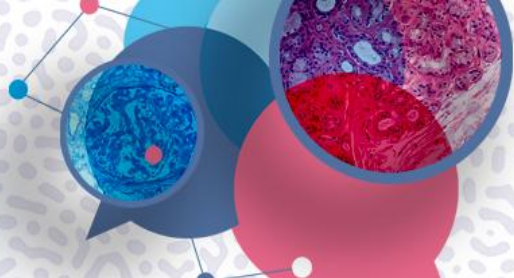
- **Automatisation** de la chaîne de quantification en ETT
- **Performances comparables** à la pratique clinique
- Le gain majeur n'est pas le diagnostic, mais **la standardisation** :
 - ✓ **Mêmes règles de mesure**
 - ✓ Moins de dépendance à l'opérateur
 - ✓ Ouvre la porte à un **suivi longitudinal plus fiable**

- ! La quantification n'a de valeur clinique qu'avec un **contrôle qualité**
- ! Les erreurs existent et sont identifiables : le modèle doit flagger l'incertitude

L'IA rend possibles des mesures répétées, comparables et interprétables.



R'EPOF



ORIGINAL RESEARCH

Deep Learning-Derived Myocardial Strain



Alan C. Kwan, MD,^{a,*} Ernest W. Chang, MD, PhD,^{b,*} Ishan Jain,^a John Theurer, BS,^a Xiu Tang, RDMS,^c Nadia Francisco, MSc,^c Francois Haddad, MD,^c David Liang, MD, PhD,^c Alexandra Fábíán, MD, PhD,^d Andrea Ferencz,^d Neal Yuan, MD,^e Béla Merkely, MD, PhD, DSc,^d Robert Siegel, MD,^a Susan Cheng, MD, MMSc, MPH,^a Attila Kovács, MD, PhD,^{d,f} Márton Tokodi, MD, PhD,^{d,f,†} David Ouyang, MD^{a,†}

MINI-FOCUS: AI, MACHINE LEARNING, AND ECHOCARDIOGRAPHY

Artificial Intelligence for Automatic Measurement of Left Ventricular Strain in Echocardiography



Ivar M. Salte, MD,^{a,b} Andreas Østvik, MSc,^c Erik Smistad, MSc, PhD,^c Daniela Melichova, MD,^{b,d} Thuy Mi Nguyen, MD,^{a,b} Sigve Karlsen, MD,^d Harald Brunvand, MD, PhD,^d Kristina H. Haugaa, MD, PhD,^{b,e} Thor Edvardsen, MD, PhD,^{b,e} Lasse Lovstakken, MSc, PhD,^c Bjørnar Grenne, MD, PhD^{c,f}

Fully Automated Versus Standard Tracking of Left Ventricular Ejection Fraction and Longitudinal Strain



The FAST-EFs Multicenter Study

Christian Knackstedt, MD,^{*} Sebastiaan C.A.M. Bekkers, MD, PhD,^{*} Georg Schummers,[†] Marcus Schreckenberger,[†] Denisa Muraru, MD, PhD,[‡] Luigi P. Badano, MD, PhD,[‡] Andreas Franke, MD,[§] Chirag Bavishi, MD, MPH,^{||} Alaa Mabrouk Salem Omar, MD, PhD,^{||} Partho P. Sengupta, MD, DM^{||}



R'EPOF



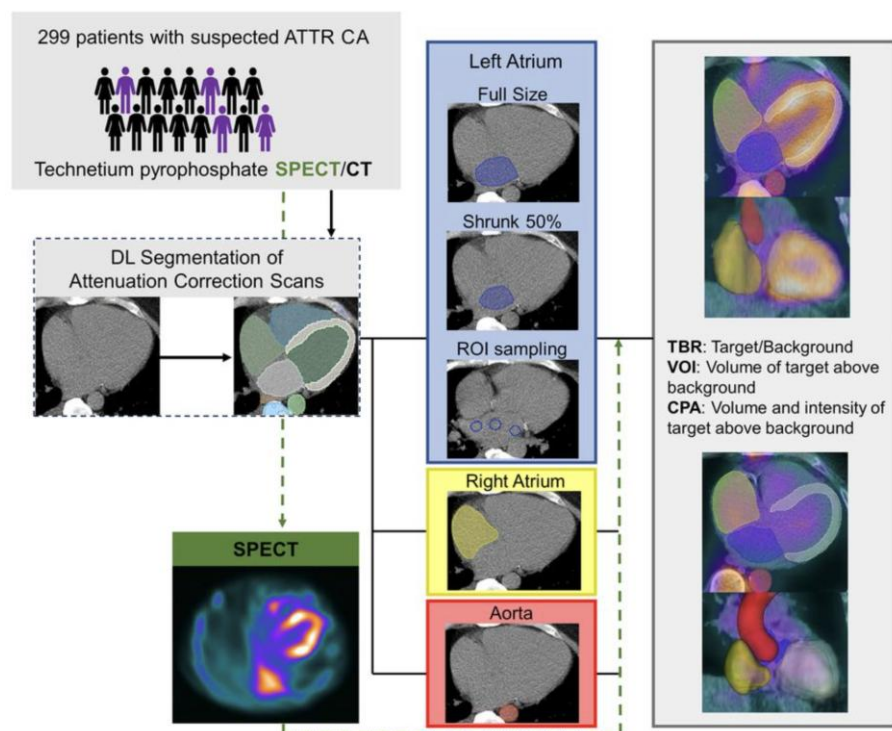
Exemples de modèles en scintigraphie



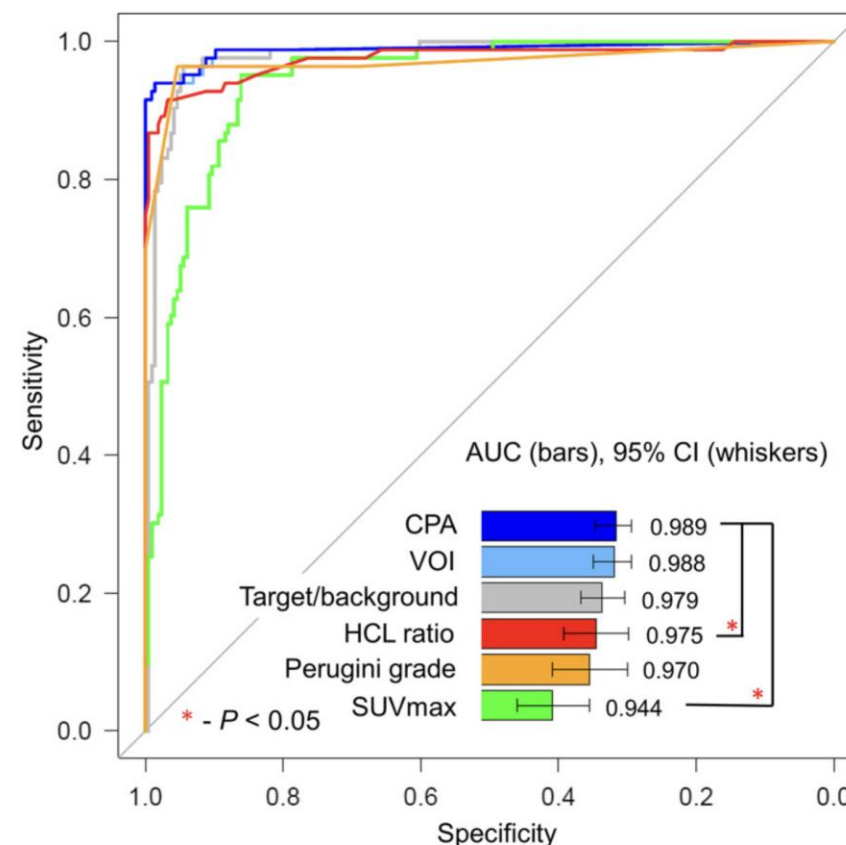
R'EPOF

Deep Learning-Enabled Quantification of ^{99m}Tc-Pyrophosphate SPECT/CT for Cardiac Amyloidosis

Robert J.H. Miller^{*1}, Aakash Shanbhag^{*2,3}, Anna M. Michalowska², Paul Kavanagh², Joanna X. Liang², Valerie Builoff², Nowell M. Fine¹, Damini Dey², Daniel S. Berman², and Piotr J. Slomka²



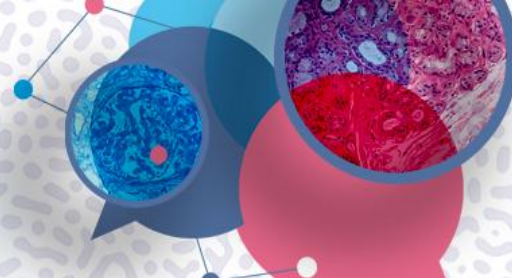
Miller, JNM 2024



Cardiac pyrophosphate activity (CPA) / volume of involvement (VOI)



R'EPOF



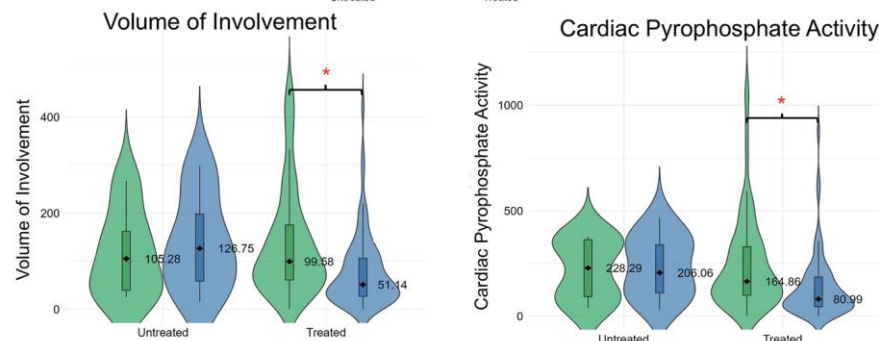
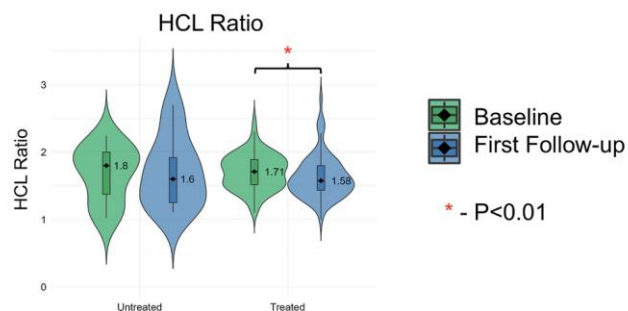
Artificial intelligence–driven longitudinal quantification of technetium pyrophosphate uptake in cardiac amyloidosis: Correlation with multimodality imaging and outcomes

Robert JH. Miller, MD ^{1,*}, Aakash Shanbhag, MSc ^{2,3}, Karan Shahi, MSc ¹, Debra Bosley, RN ¹, Lyndsay Litwin, RN ¹, James A. White, MD ¹, Victor Jimenez-Zepeda, MD ¹, Damini Dey, PhD ², Daniel S. Berman, MD ², Nowell M. Fine, MD SM ¹, Piotr J. Slomka, PhD ²

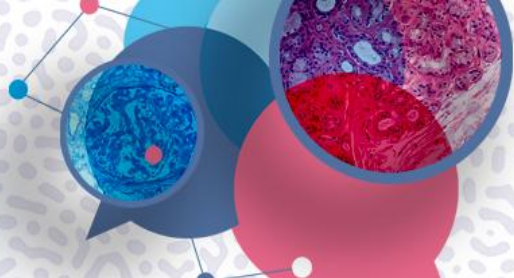
	CPA	VOI	HCL Ratio	Troponin	BNP	Echo LVEF	LVEDD	IVSD	CMR LVEF	LVMI	LGE	ECV	Native T1
CPA	1	0.9	0.2	0.11	0.15	-0.1	0.15	0.01	0.3	-0.07	0.29	0.47	0.51
VOI		1	0.2	0.07	0.13	-0.11	0.14	-0.01	0.36	-0.13	0.24	0.44	0.37
HCL Ratio			1	0.07	-0.04	0.02	0.13	0.13	0.43	-0.11	0.41	0.43	0.3
Troponin				1	0.53	-0.2	0.12	0.1	0.25	-0.26	0.27	0.21	0.11
BNP					1	-0.37	0.07	0.17	0.34	-0.41	0.15	0.47	0.3
Echo LVEF						1	-0.13	0.08	-0.34	0.69	-0.26	-0.39	-0.36
LVEDD							1	-0.18	0.24	-0.17	0.25	0.18	0.27
IVSD								1	0.22	0.08	0.02	0.05	-0.07
CMR LVEF									1	-0.31	0.27	0.33	0.36
LVMI										1	-0.28	-0.3	-0.13
LGE											1	0.64	0.42
ECV												1	0.61
Native T1													1



R'EPOF

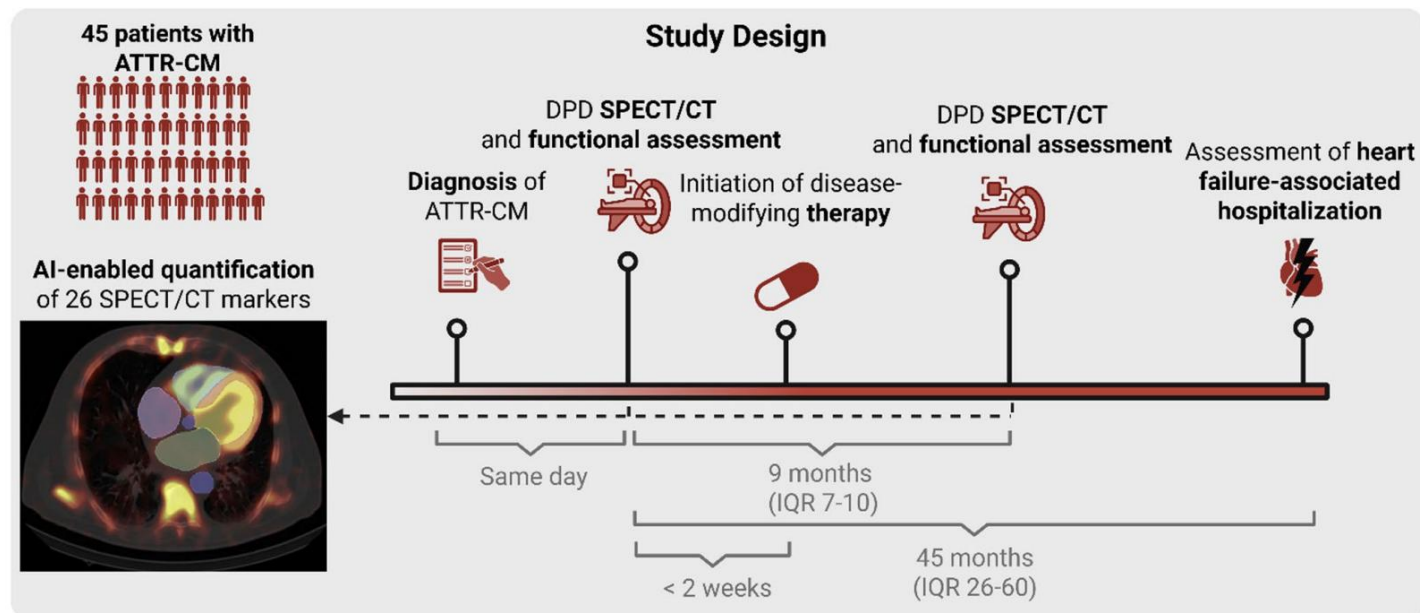


Miller, JNC 2025

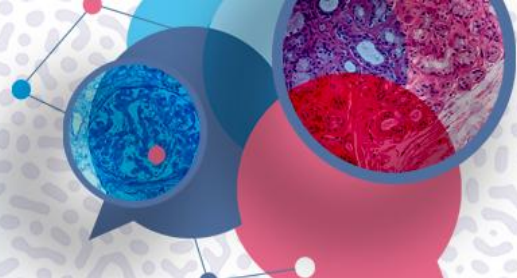


Impact of disease-modifying therapy on [^{99m}Tc]Tc-DPD SPECT/CT markers in transthyretin cardiac amyloidosis enabled by artificial intelligence

Clemens P. Spielvogel^{1,2} · Markus Köfler¹ · Zewen Jiang¹ · Jing Ning¹ · Josef Yu¹ · David Haberl^{1,2} · Christina Kronberger³ · Michael Poledniczek³ · Lena Marie Schmid³ · David Kersting⁴ · Nikita Ermolaev³ · Roza B. Eslam³ · Michaela Auer-Grumbach⁵ · Christina Binder³ · Franz Duca³ · Christian Nitsche³ · Johannes Kastner³ · Jutta Bergler-Klein³ · Andreas A. Kammerlander³ · Christian Hengstenberg³ · Marcus Hacker¹ · Raffaella Calabretta¹ · René Rettl³

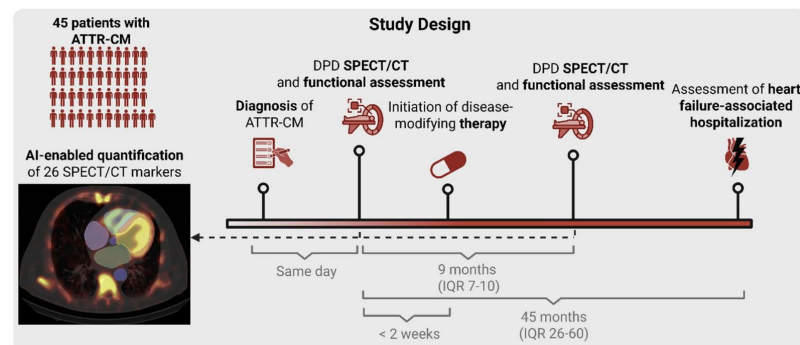


R'EPOF



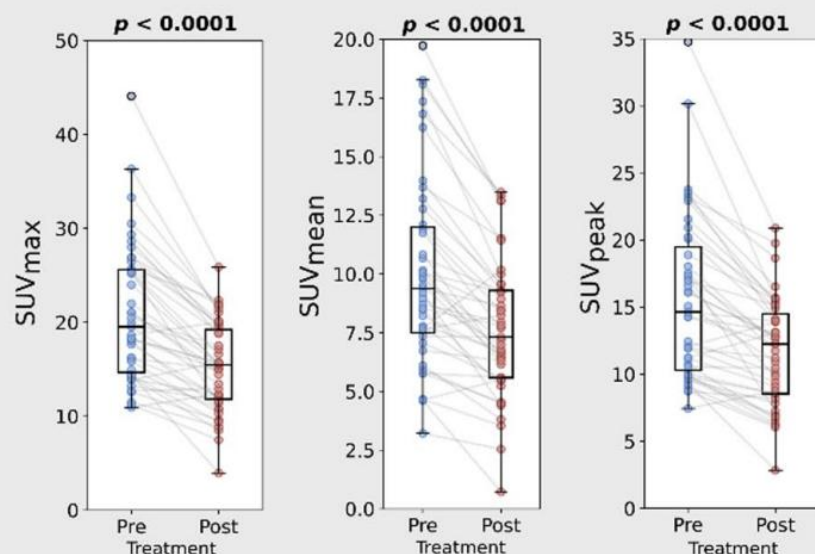
Impact of disease-modifying therapy on [^{99m}Tc]Tc-DPD SPECT/CT markers in transthyretin cardiac amyloidosis enabled by artificial intelligence

Clemens P. Spielvogel^{1,2} · Markus Köfler¹ · Zewen Jiang¹ · Jing Ning¹ · Josef Yu¹ · David Haberl^{1,2} · Christina Kronberger³ · Michael Poledniczek³ · Lena Marie Schmid³ · David Kersting⁴ · Nikita Ermolaev³ · Roza B. Eslam³ · Michaela Auer-Grumbach⁵ · Christina Binder³ · Franz Duca³ · Christian Nitsche³ · Johannes Kastner³ · Jutta Bergler-Klein³ · Andreas A. Kammerlander³ · Christian Hengstenberg³ · Marcus Hacker¹ · Raffaella Calabretta¹ · René Rettl³



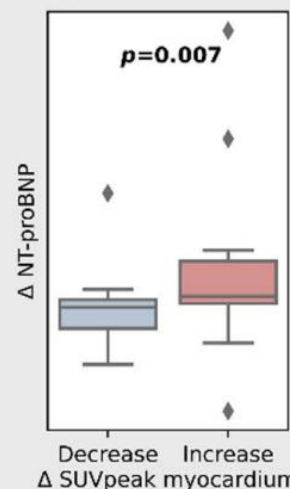
Change in AI-based SPECT/CT Markers

17/26 (65%) of markers reduced after therapy (all $p < 0.001$)



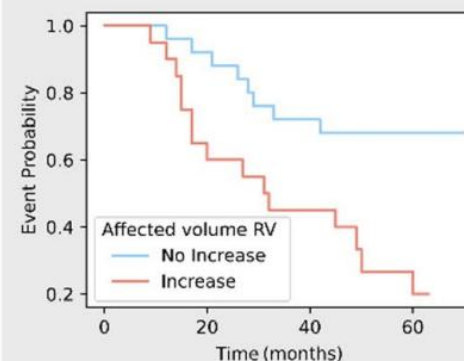
Correlation with Functional Parameters

6 markers associated with NT-proBNP
3 markers associated with NYHA

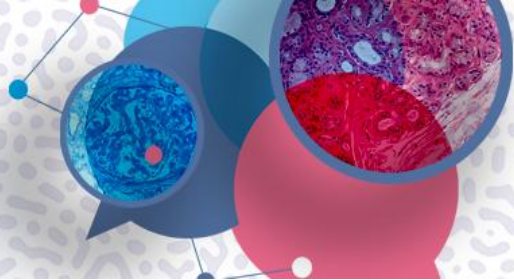


Prognostic Assessment

Changes in volume of right ventricle are associated with death or heart failure-associated hospitalization



R'EPOF



Limiter le **bruit** de mesure

✓ Rend la mesure plus fiable

✗ Ne la rend pas plus vraie pour autant

Limiter la **dépendance** à l'opérateur

✓ Automatise les étapes de façon reproductible

✓ Accès à des mesures plus comparables « expertes »

✗ Ne fais pas l'interprétation finale

Fiabilise la comparabilité et permet l'automatisation des mesures.



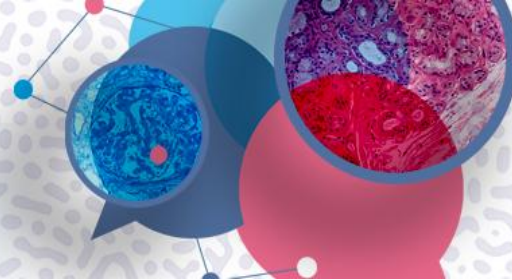
R'EPOF



Deux petits mots pour la fin...



R'EPOF



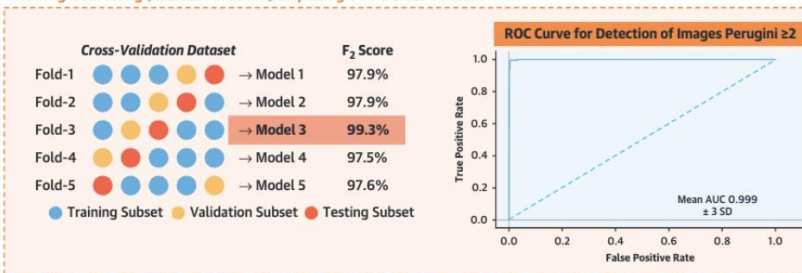
ORIGINAL RESEARCH

Deep Learning on Bone Scintigraphy to Detect Abnormal Cardiac Uptake at Risk of Cardiac Amyloidosis

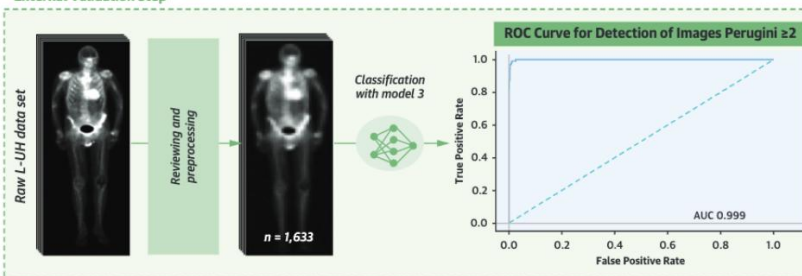


Marc-Antoine Delbarre, MD, MSc,^{a,b} François Girardon, MSc,^c Lucien Roquette, MSc,^c
Paul Blanc-Durand, MD, MSc,^{d,e,f} Marc-Antoine Hubaut, MD, MSc,^g Éric Hachulla, MD, PhD,^{h,i}
Franck Semah, MD, PhD,^j Damien Huglo, MD, PhD,^j Nicolas Garcelon, PhD,^k Etienne Marchal, MD, MSc,^k
Isabelle El Esper, MD, MSc,^{k,l} Christophe Tribouilloy, MD, PhD,^{o,p} Nicolas Lamblin, MD, PhD,^{m,n}
Pierre Duhaut, MD, PhD,^{a,b} Jean Schmidt, MD, PhD,^{a,b} Emmanuel Itti, MD, PhD,^d Thibaud Damy, MD, PhD^{o,p}

Training and Testing (Internal Validation) Step Using 5-Fold Cross-Validation



External Validation Step



Lancement du projet – 2020

Validation du modèle – 2023

Utilisation vie réelle sur 16.755 scinti d'un CHU :

- Temps administratif : 1.5 ans
- Mise à disposition des images : 3 jours
- Analyse des images : 142 secondes (70 hyperfixations non explorées)

Déploiement à 10 centres :

- Temps administratif > 2 ans
- Début de l'utilisation du modèle prévue janvier 2026

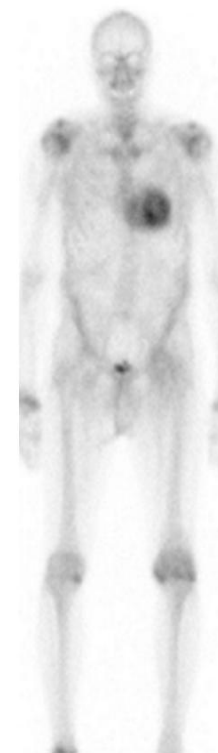


R'EPOF





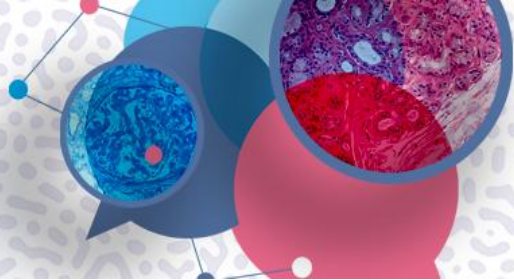
ChatGPT 5.2 ▾



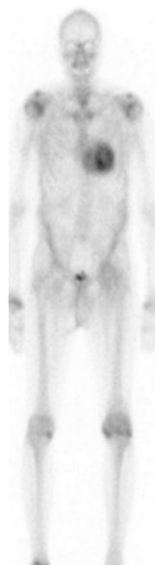
Quel est cet examen, et quelles sont les principales anomalies ?



R'EPOF



ChatGPT 5.2 ▾



Quel est cet examen, et quelles sont les principales anomalies ?

Il s'agit d'une **scintigraphie osseuse corps entier** réalisée après injection d'un **diphosphonate marqué au technétium-99m** (le plus souvent Tc-99m-HMDP ou DPD), acquise en **incidence antérieure**.

Principales anomalies visibles

1. Fixation cardiaque intense

- Présence d'une **hyperfixation myocardique franche**, bien visible en projection antérieure.
- Cette fixation est **anormale** pour une scintigraphie osseuse standard.
- L'intensité est comparable ou supérieure à celle du squelette adjacent, correspondant à un **score de Perugini élevé** (≥ 2 , probablement 3).

➡ Très fortement évocateur d'une **amylose cardiaque à transthyrétine (ATTR)** en l'absence de gammopathie monoclonale.

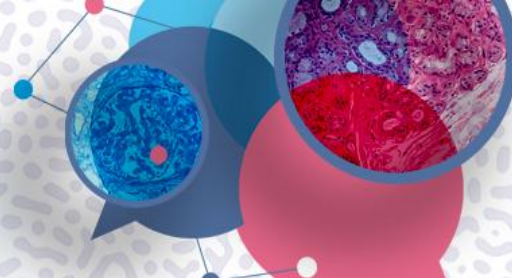
2. Fixations ostéo-articulaires périphériques

- Hyperfixation bilatérale des **épaules** (aspect en faveur d'atteinte dégénérative ou microcristalline).
- Fixations visibles au niveau des **genoux** et possiblement d'autres articulations portantes.
- Ces anomalies sont **fréquentes et non spécifiques**, mais s'intègrent bien dans le terrain de patients atteints d'ATTR (atteinte ostéo-articulaire associée).

3. Fixations des parties molles

- Impression de **diffuse augmentation de l'activité des tissus mous**, notamment thoraciques.
- Cet aspect est classiquement décrit dans les **amyloses ATTR**, en lien avec le tropisme extra-osseux du traceur.

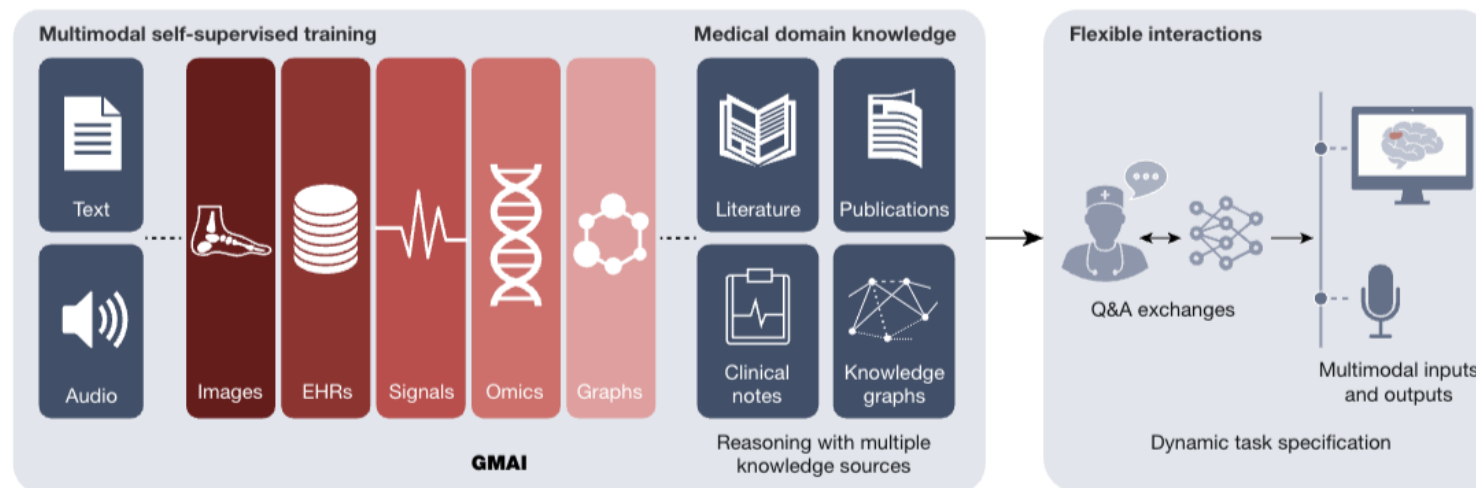




nature

Perspective

Foundation models for generalist medical artificial intelligence



b

Applications



Chatbots for patients



Interactive note-taking



Augmented procedures

...



Grounded radiology reports



Text-to-protein generation



Bedside decision support



R'EPOF



Remerciements

Platinum sponsors



Silver sponsor



www.masterclass-amylose.com

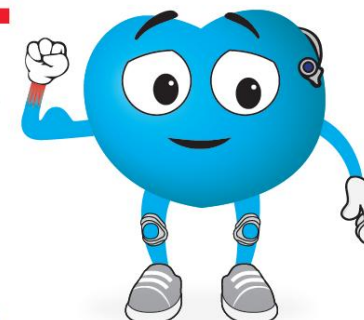
www.reseau-amylose.org



Les atteintes rhumatologiques (synoviales) de l'amylose surviennent plusieurs années avant l'insuffisance cardiaque (EPOF)

R'EPOF

- Surdité
- Canal carpien
- Doigt à ressaut
- Rupture du tendon du long biceps
- Canal lombaire étroit
- Prothèse de hanche/genou
- Essoufflement
- Prise de poids
-  d mes
- Fatigue



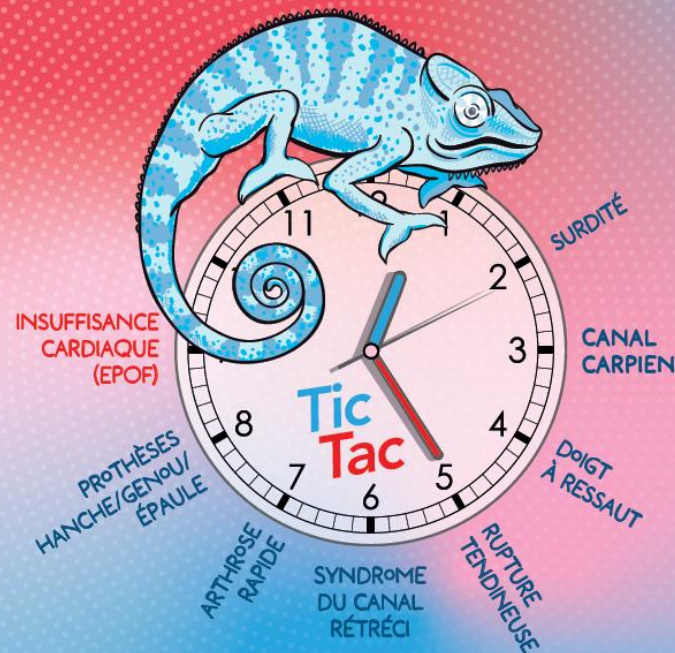
Et si c tait une
Amylose Cardiaque à transthyrétine ?



R'EPOF

8^eMASTERCLASS
AMYLOSES
CARDIAQUES

ÉVÉNEMENT HYBRIDE

Jeudi 18 décembre 2025
Fondation Biermans-Lapôte ■ PARISwww.masterclass-amylose.comET SI VOUS AVIEZ
LA MALADIE CAMÉLÉON ?GAGNEZ DU TEMPS CONTRE L'AMYLOSE CARDIAQUE,
FAITES-VOUS DÉPISTER !Rejoignez la Campagne d'Information
et de Dépistage 2026 de la Maladie Caméléon

TIC-TAC,
Il est temps de changer de **TAC-TIC,**
Passons du **TACØTAC !!!**



R'EPOF

www.reseau-amylose.org