

13^{èmes}

JOURNÉES FRANCOPHONES
IMAGERIE CARDIO-VASCULAIRE
DIAGNOSTIQUE ET INTERVENTIONNELLE

JFICV

13.14.15

JUIN 2024

INSTITUT DES MÉTIERS
DE LA SANTÉ
HÔPITAL XAVIER ARNOZAN
BORDEAUX - PESSAC (33)



CREATIS

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON

Inserm



Méthodes d'IA les plus appliquées & *prometteuses* en imagerie cardiaque

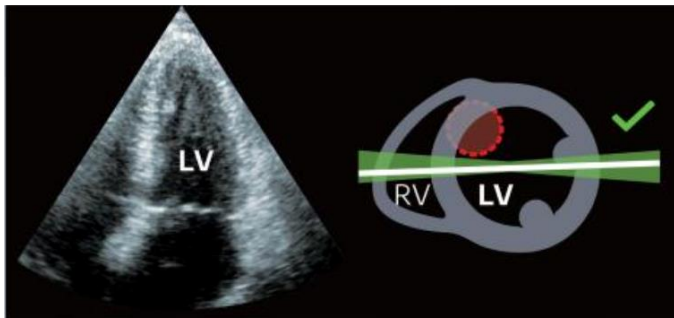
Olivier Bernard

Professeur d'université, INSA, Lyon

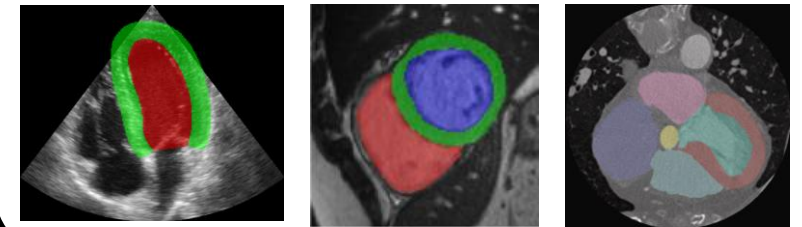
13 Juin, 2024

Quantification automatique d'indices cliniques

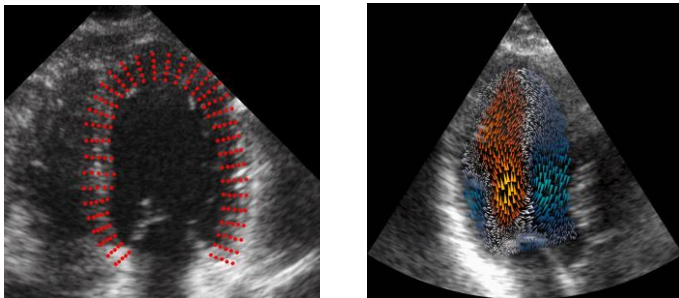
Acquisitions standardisées



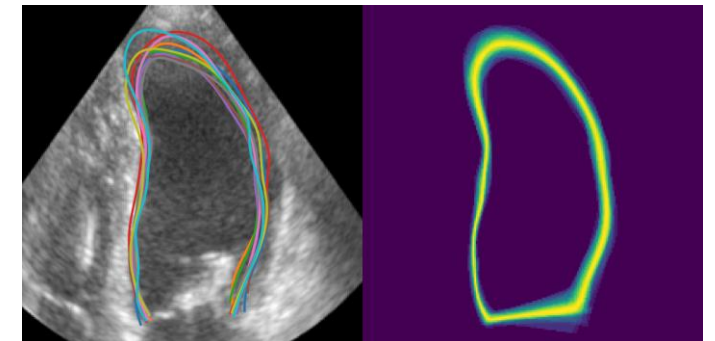
Extraction d'indices anatomiques



Extraction d'indices fonctionnels



Mesures d'incertitudes

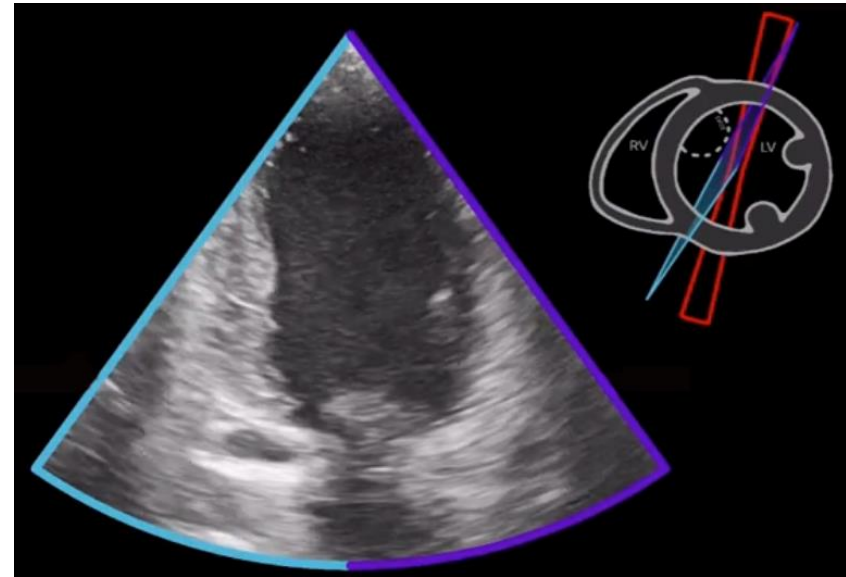
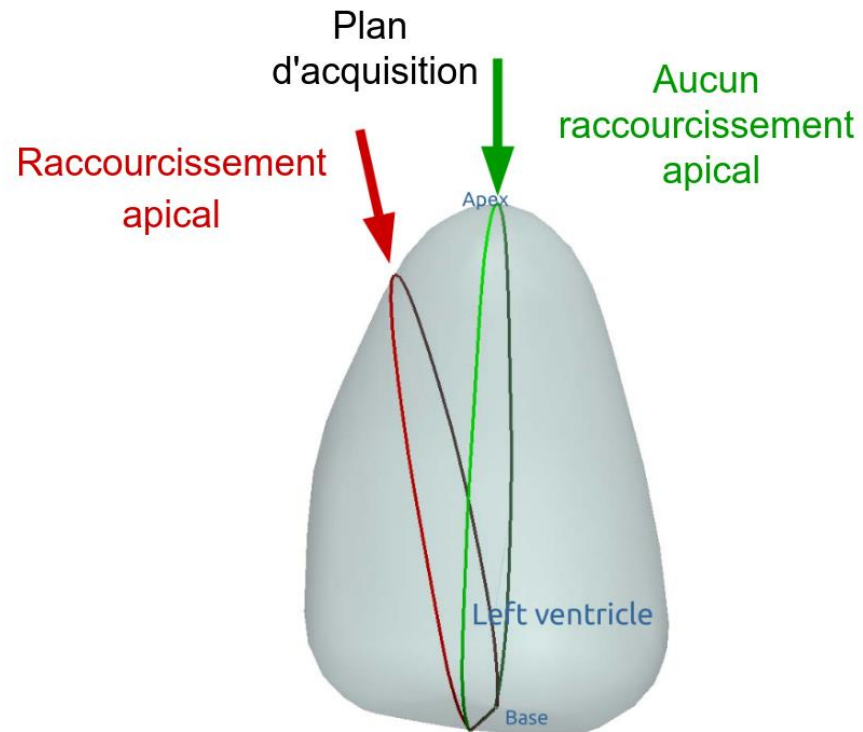


Acquisitions

standardisées

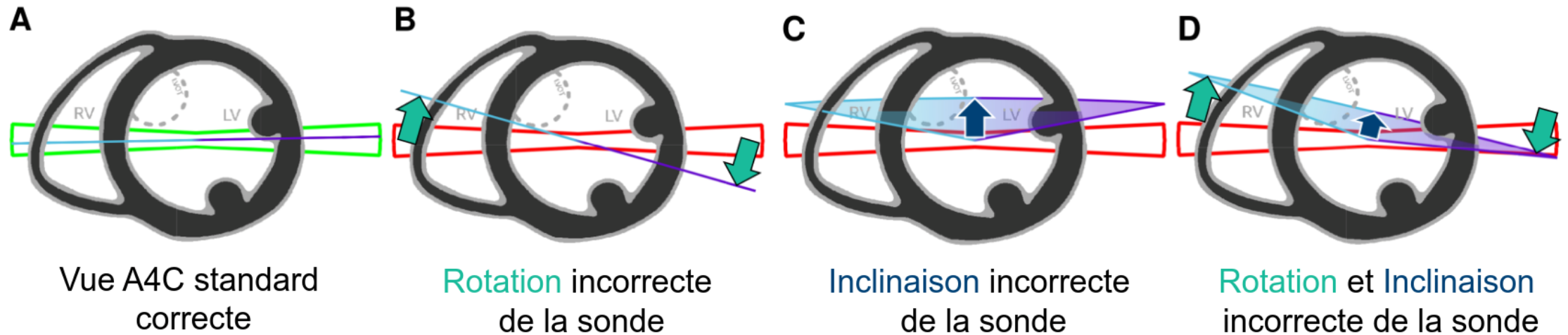
Enjeux

- ✓ Mauvaise position de la sonde induit des erreurs de mesures
- ✓ Le plan d'acquisition doit être aligné avec les axes du cœur

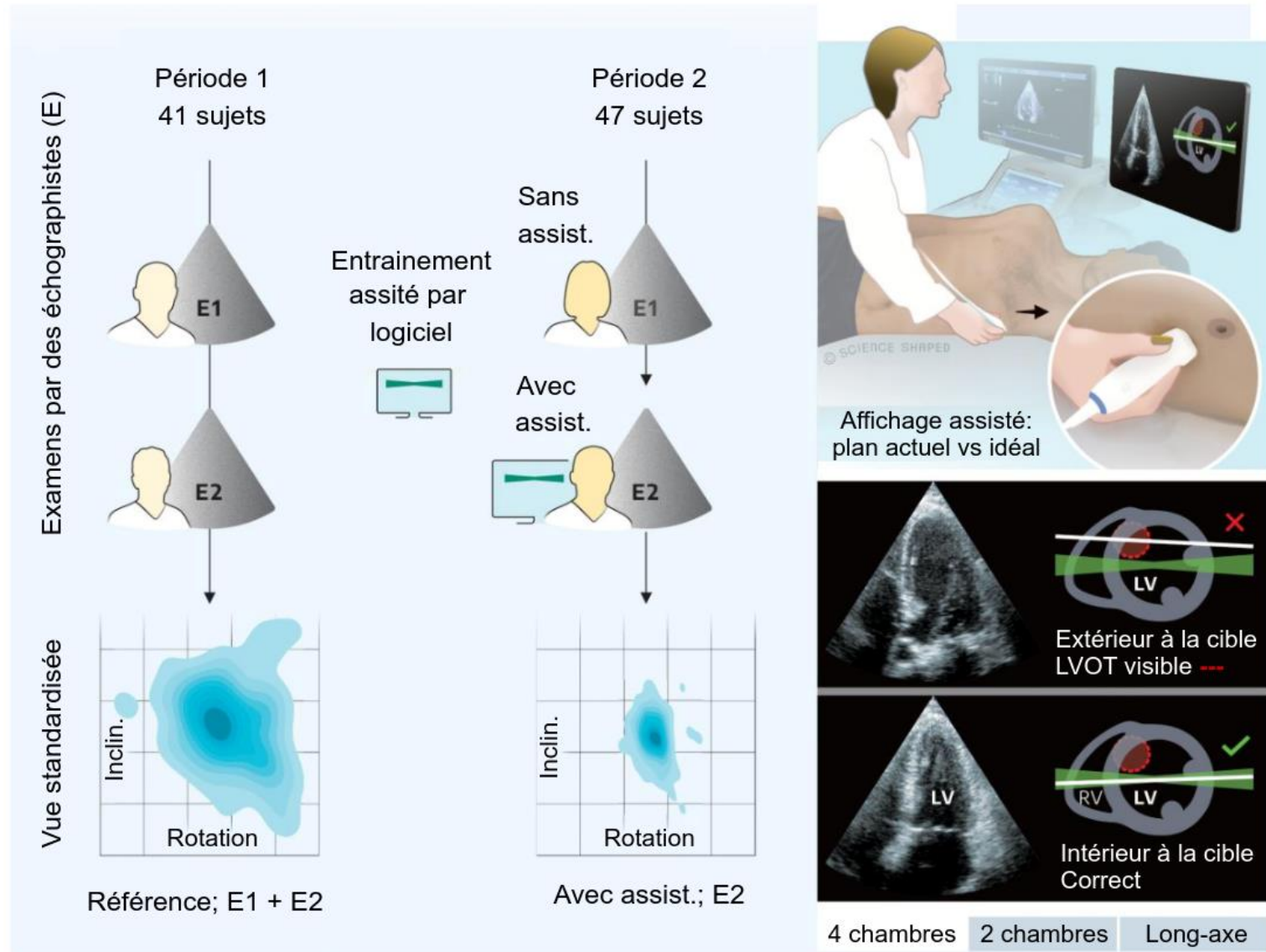


Etude pilote

- ✓ 88 participants avec un rythme sinusal
- ✓ 3 examens par patients: 2 avec des échographistes, 1 avec des cardiologues
- ✓ Qualité de la vue acquise mesurée vis-à-vis de l'erreur de rotation et d'inclinaison



Protocole

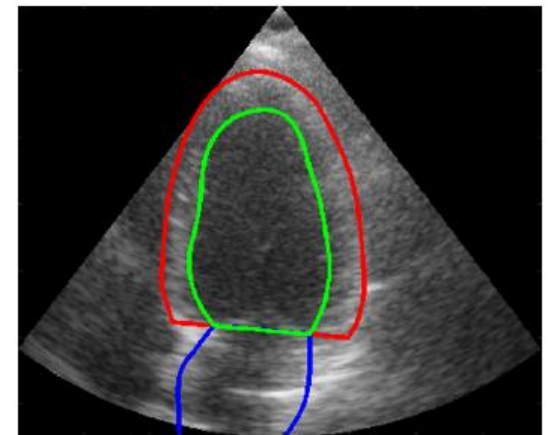
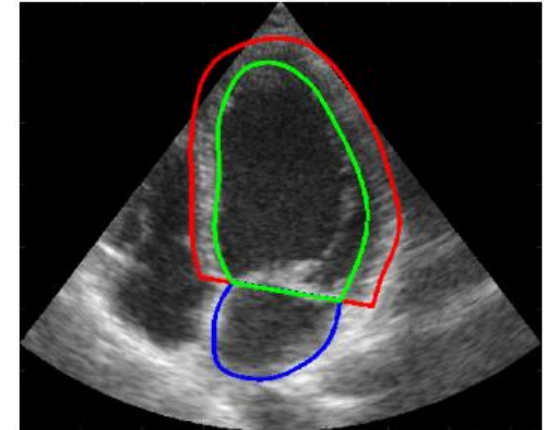


Extraction automatique

d'indices anatomiques

Segmentation d'images cardiaques

- ✓ Extraction automatique des contours endocardique / épicardique
- ✓ Extraction d'indices cliniques tels que le volume ou la fraction d'éjection du ventricule gauche



Enjeux

- ✓ Segmentation précise et robuste
- ✓ Cohérence temporelle
- ✓ Généralisation à tout type de base de données

nnU-Net: architecture phare

- ✓ Remporte la plupart des challenges en segmentation d'images médicales
- ✓ Fonctionne quelque soit la modalité d'imagerie

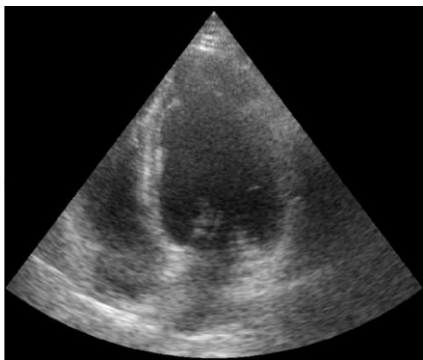
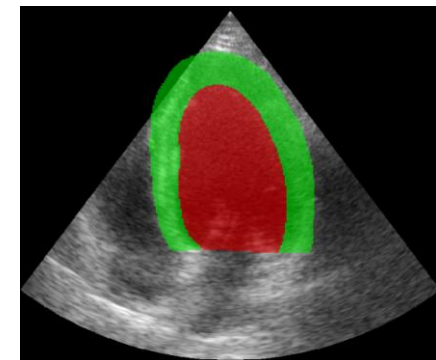
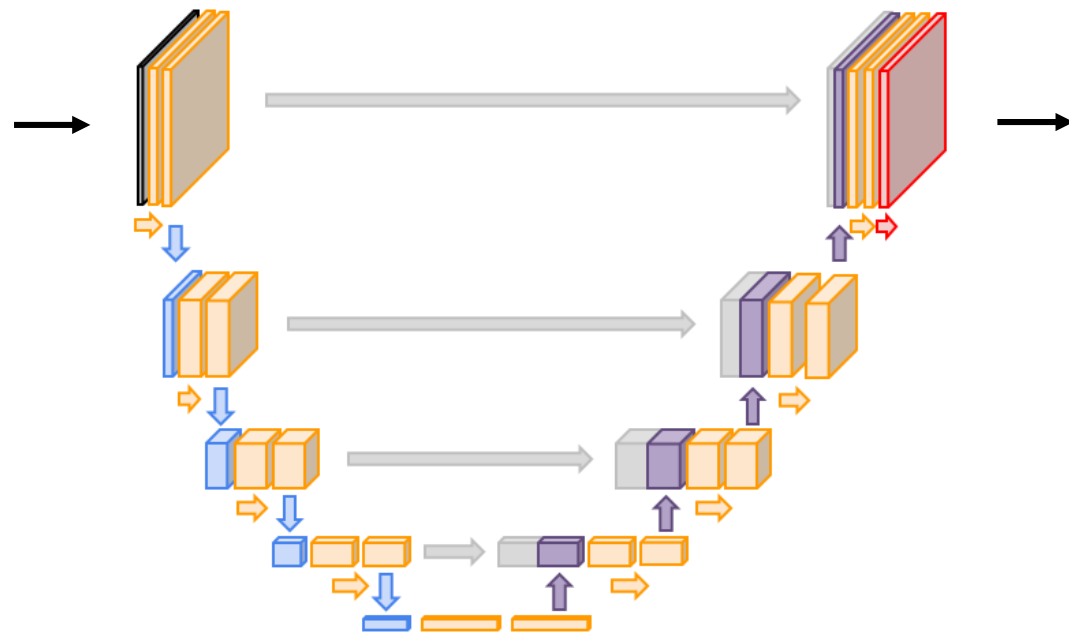


Image en entrée



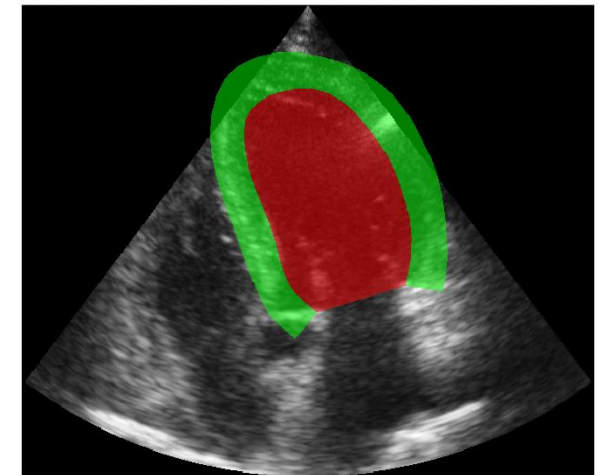
Annotation en sortie

CAMUS: étude pilote

Base de données 2D publique										
Nom	Année	Nb. patients	Vérités terrain				Vues		Caractéristiques	
			VG_{endo}	VG_{epi}	AG	Cycle cardiaque entier	A2C	A4C	Multi-Centre	Multi-Vendeur
CAMUS	2019	500	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗

✓ Précisions cliniques

Methods	EF		Volume ED		Volume ES	
	Corr.	MAE (%)	Corr.	MAE (ml)	Corr.	MAE (ml)
Intra-obs.	.896	4.7	.978	6.5	.981	4.5
2D nnU-Net	.857	4.7	.977	5.9	.987	4.0

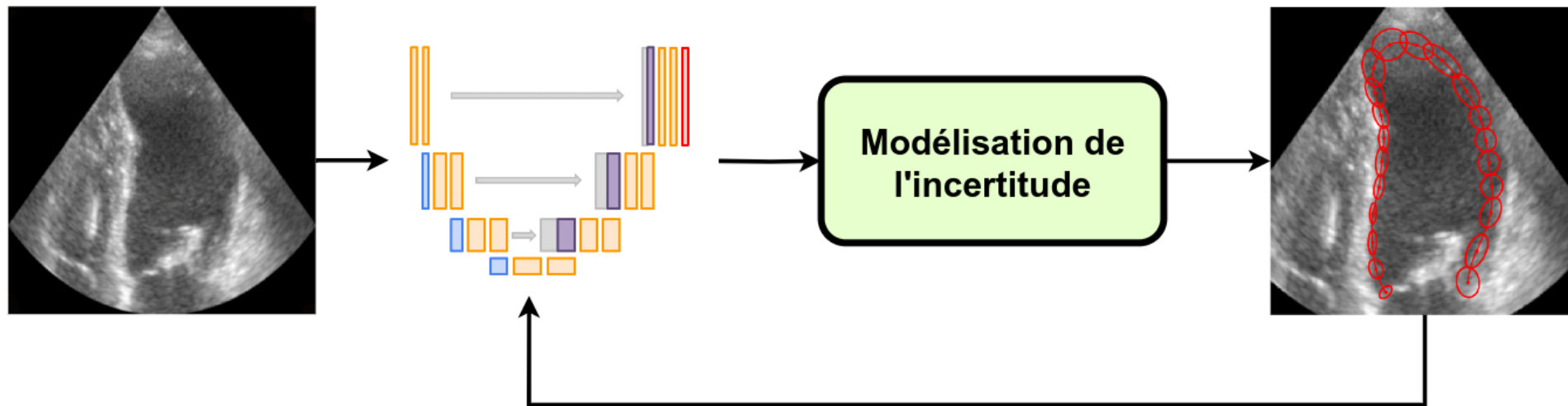


Mesures

d'incertitudes

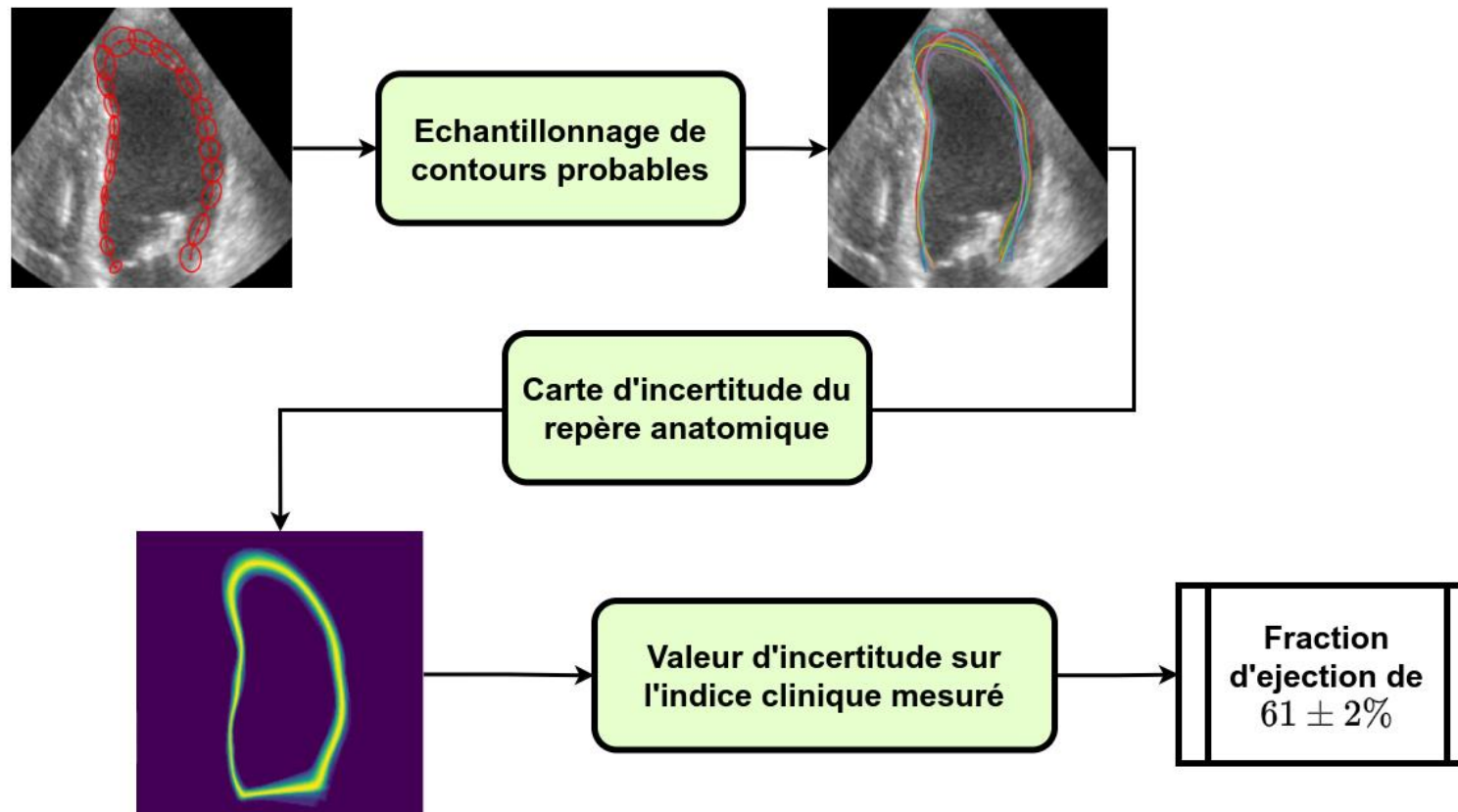
Modélisation de l'incertitude des mesures

- ✓ Incertitudes dues aux données / modèles
- ✓ Incertitudes introduites par la variabilité inter/intra experts



Modélisation de l'incertitude des mesures

- ✓ Propagation de l'incertitude anatomique à l'incertitude de la mesure clinique



Extraction automatique

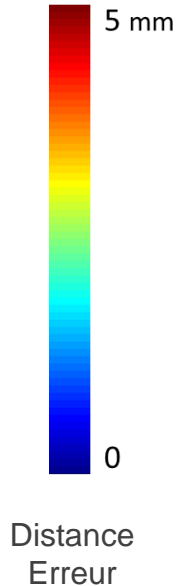
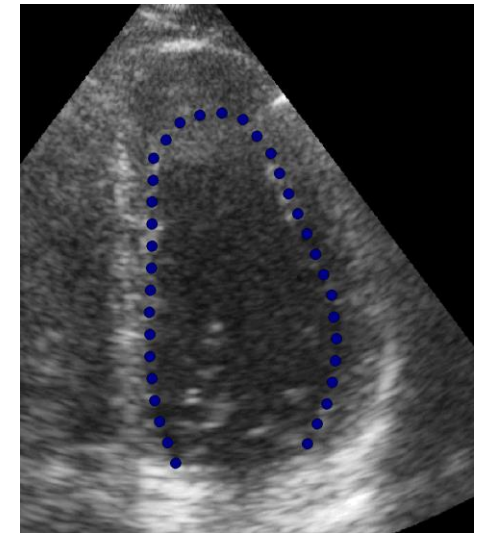
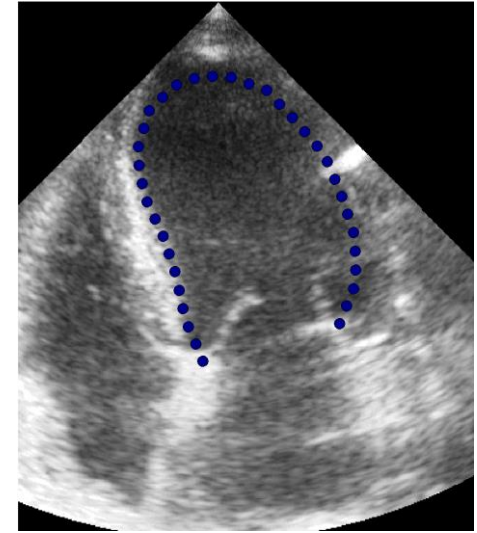
de la déformation du myocarde

Déformation du muscle cardiaque

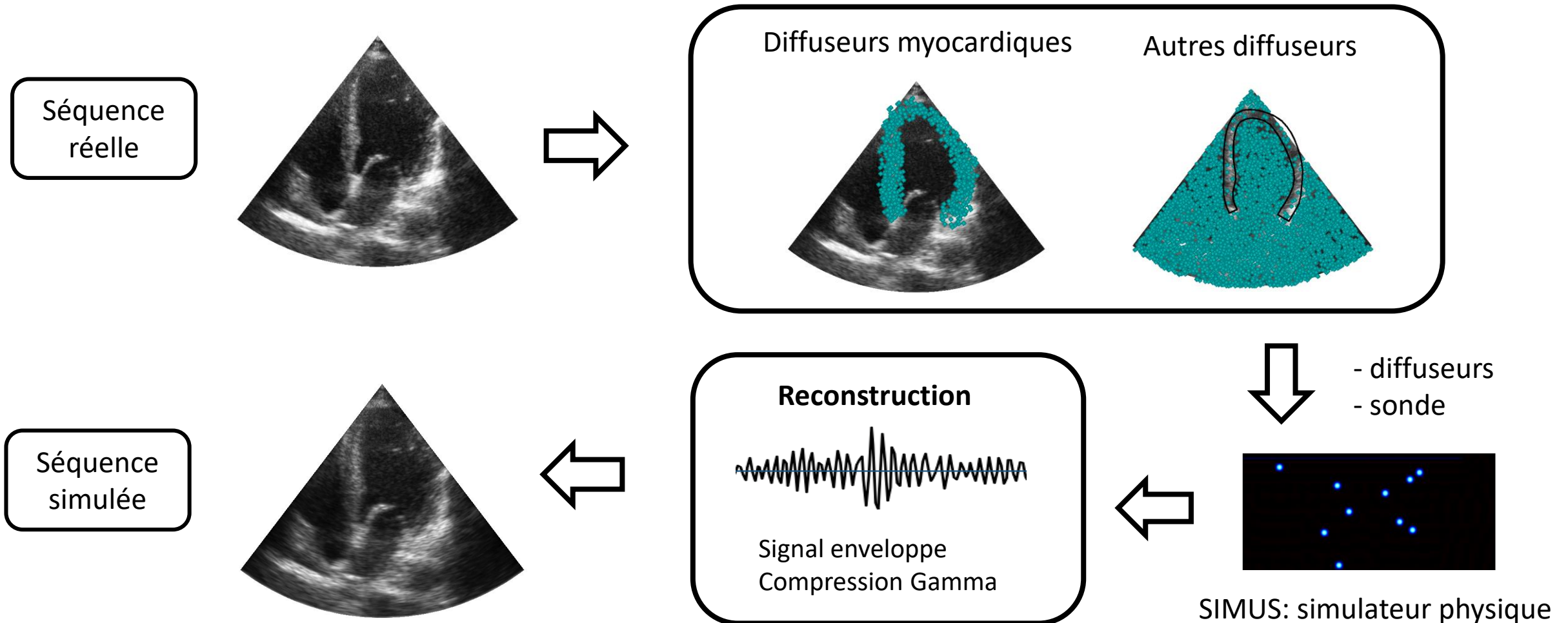
- ✓ Estimation automatique du champ de mouvement des tissus
- ✓ Extraction d'indices cliniques que la déformation globale longitudinale (GLS)

Enjeux

- ✓ Estimation de mouvement précise et robuste
- ✓ Estimation possible des déformations régionales
- ✓ Généralisation à tout type de base de données

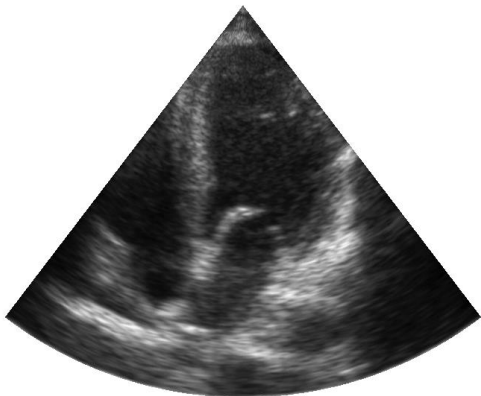
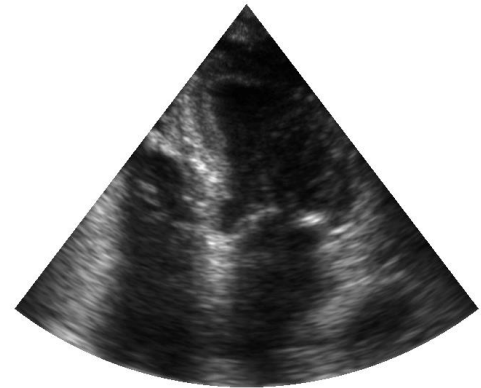


Etape clé: création d'une base de données synthétiques réalistes

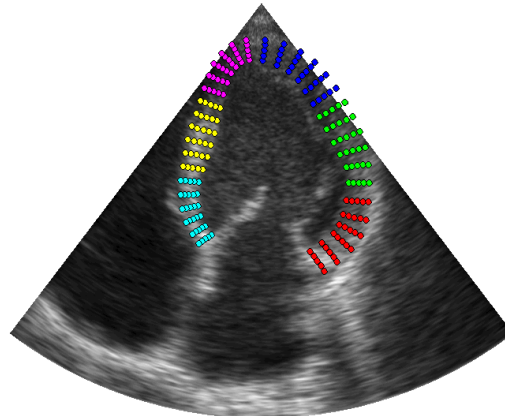
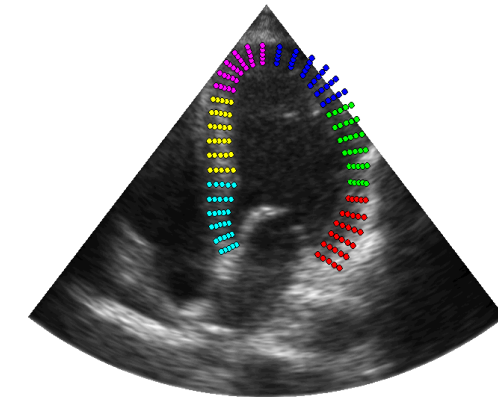


Etape clé: création d'une base de données synthétiques réalistes

✓ 100 séquences A4C simulées

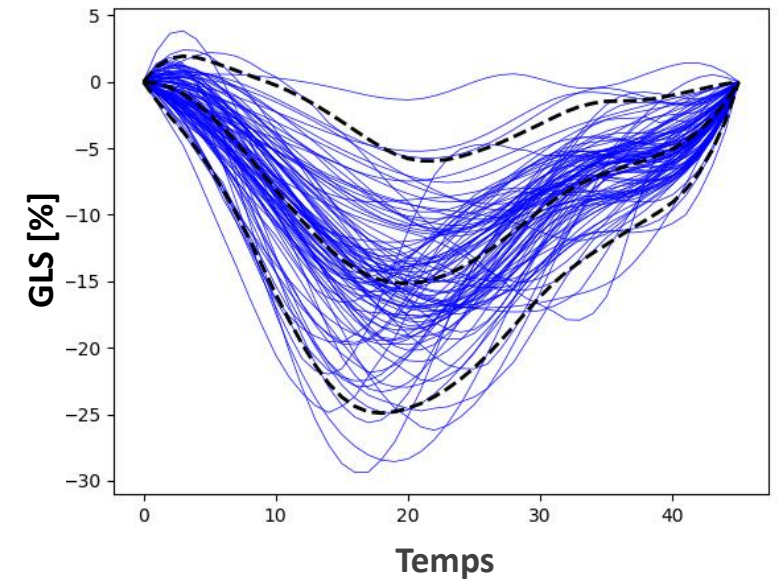


✓ Avec vérité terrain



Grande variabilité / richesse pour les méthodes d'IA

Déformation longitudinale (GLS)

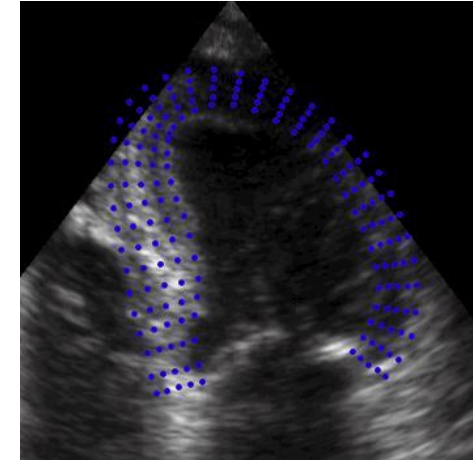


Résultats préliminaires

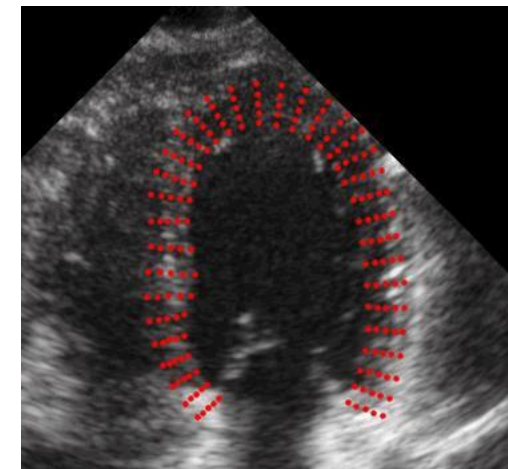
✓ Précisions cliniques

Résultats préliminaires	<i>GLS</i> %
Base de données entière (#30)	2.89 ± 2.08
Sténose aortique (#6)	2.85 ± 2.14
Cardiomyopathie hypertrophique (#6)	3.33 ± 2.26
Ischémie (#6)	2.50 ± 1.56
Non ischémie (#6)	2.01 ± 1.67
Normal (#6)	3.75 ± 2.84

Séquence simulée



Séquence réelle



Extraction automatique

du flux vectoriel du sang

Imagerie par Doppler couleur

- ✓ Visualisation 1D du flux sanguin
- ✓ Présence de bruit de type aliasing

Enjeux

- ✓ Amélioration de la qualité visuel pour une meilleure interprétation par le clinicien
- ✓ Extraction de nouveaux biomarqueurs ?

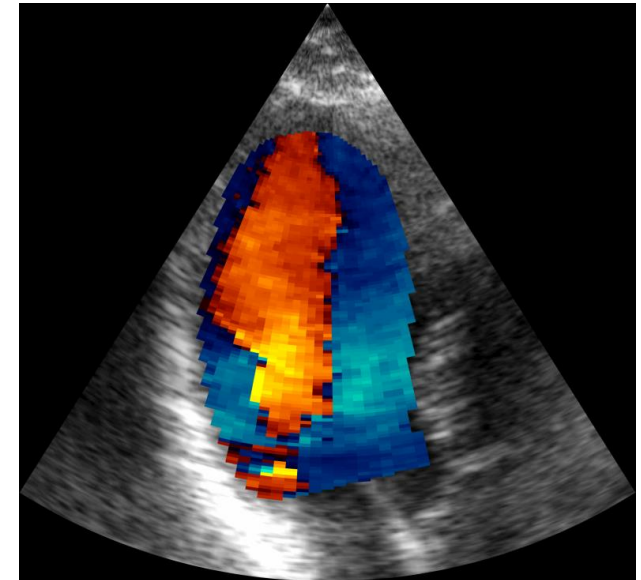
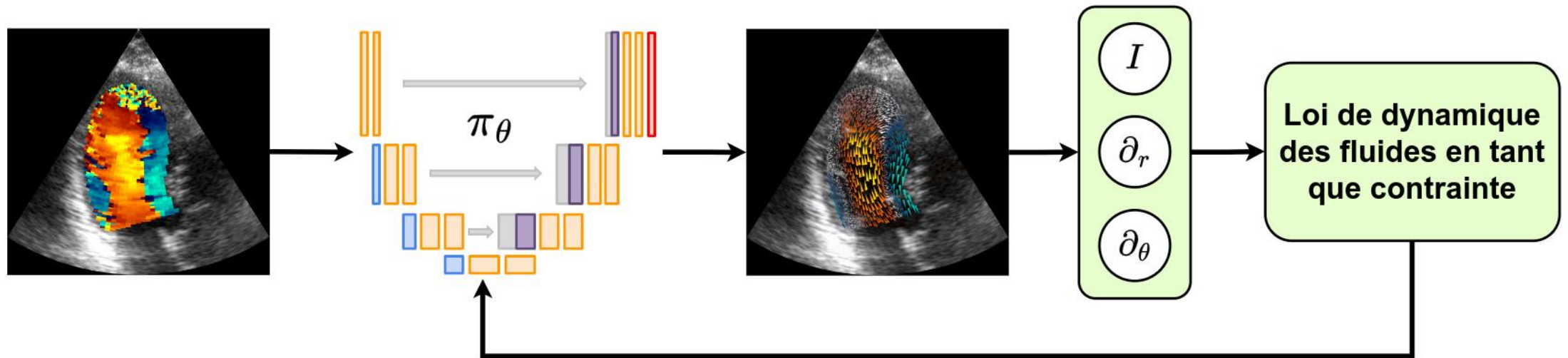


Image Doppler couleur

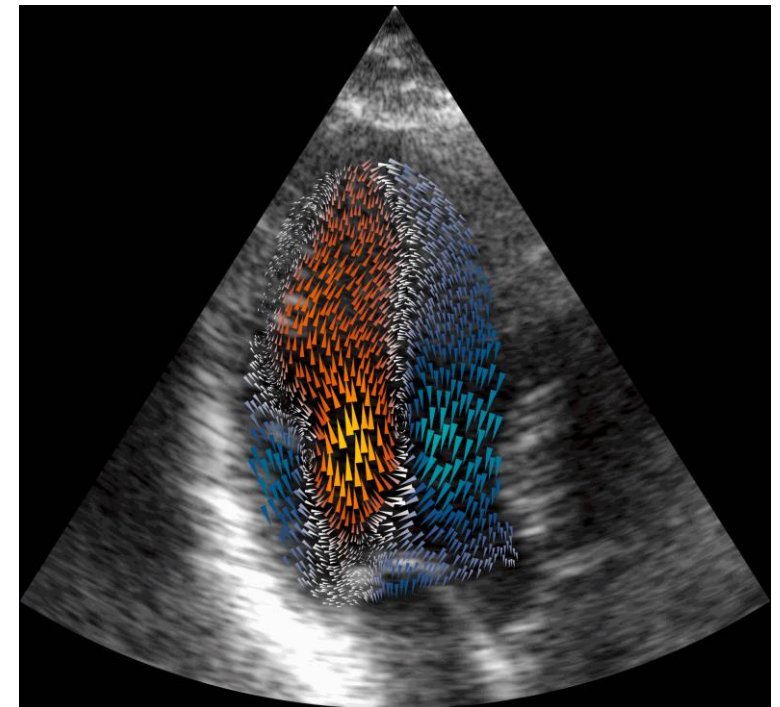
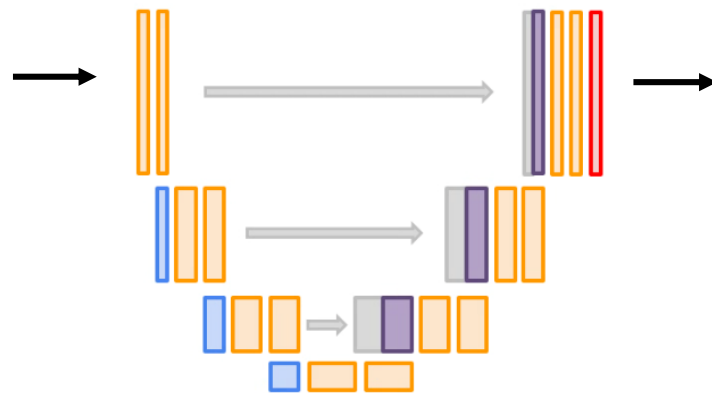
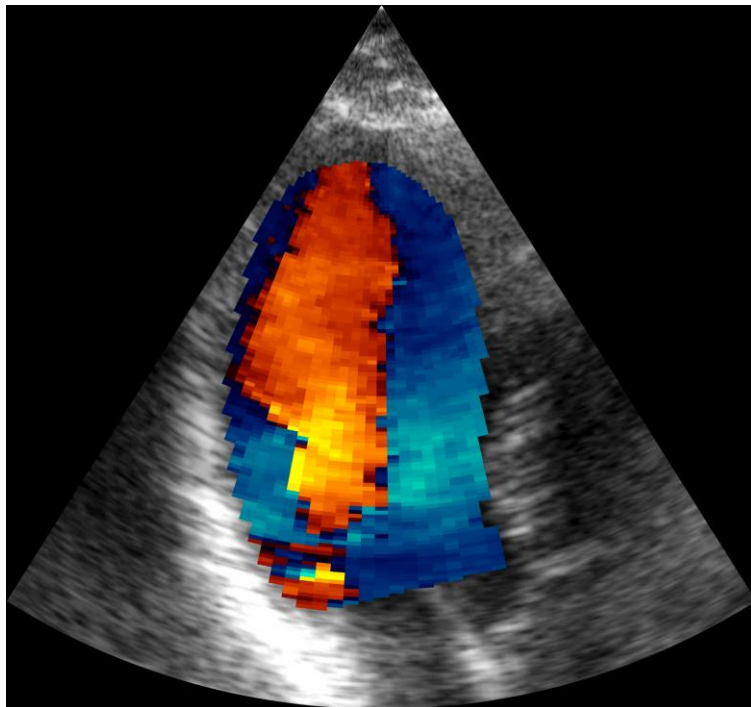
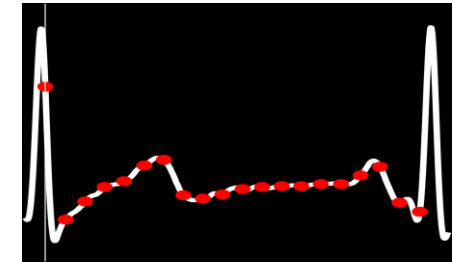
Etape clé: contraindre les modèles d'IA par des lois physiques

- ✓ Reconstruction d'un flux vectoriel à partir d'une simple écho Doppler



Résultats préliminaires

- ✓ Qualité visuelle pour les praticiens
- ✓ Validation en cours sur l'extraction de nouveaux indices cliniques – vortex ?



Merci !



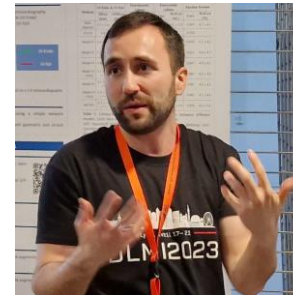
Arnaud Judge



Thierry Judge



Hang Jung Ling



Nathan Painchaud



Nicolas Duchateau



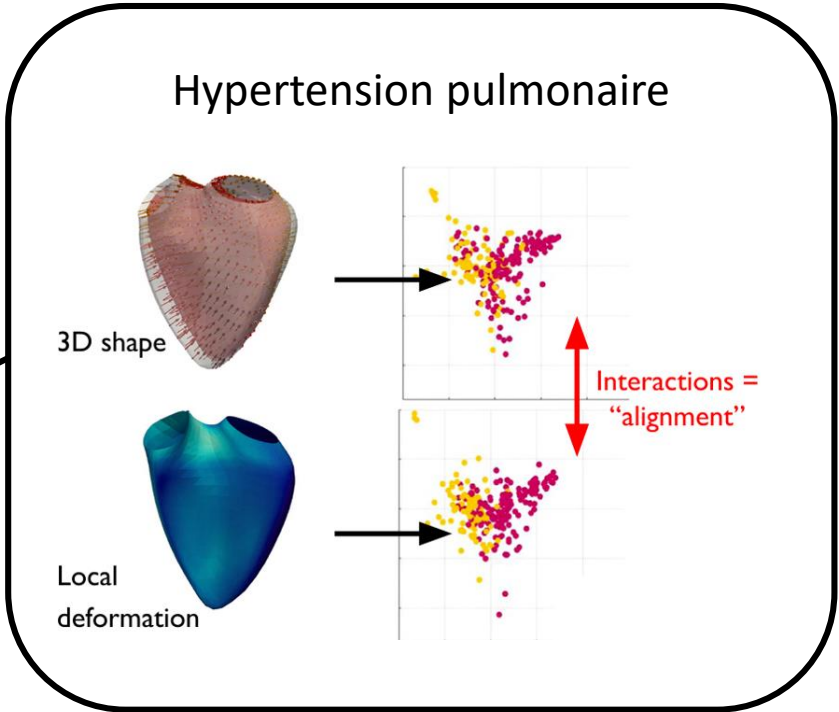
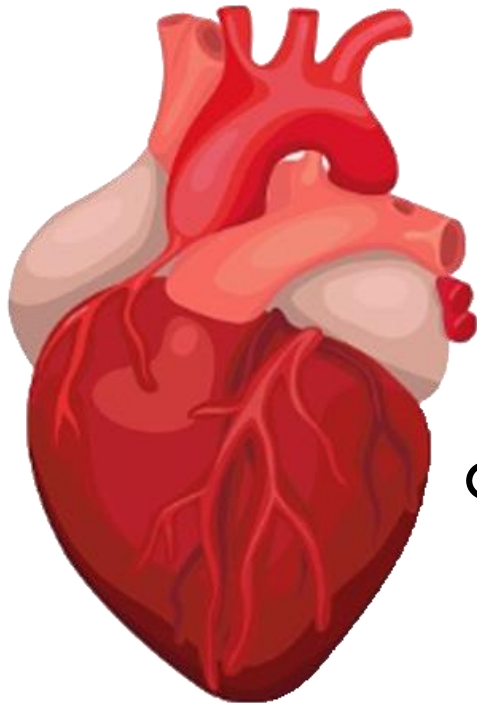
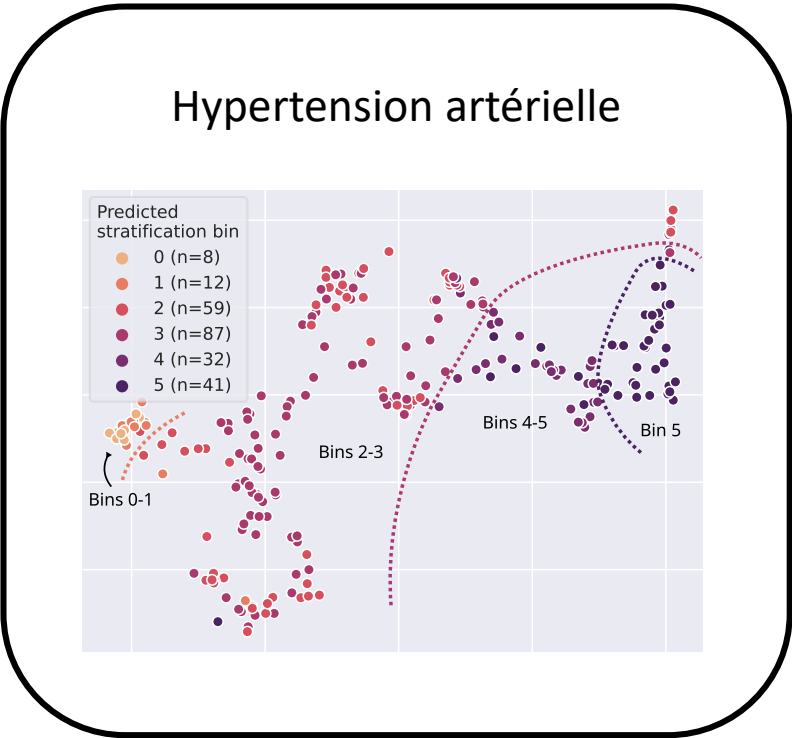
Pierre-Marc Jodoin

Annexes

Extraction d'indices cliniques

Comment généraliser à d'autres bases ?

Représentation de populations

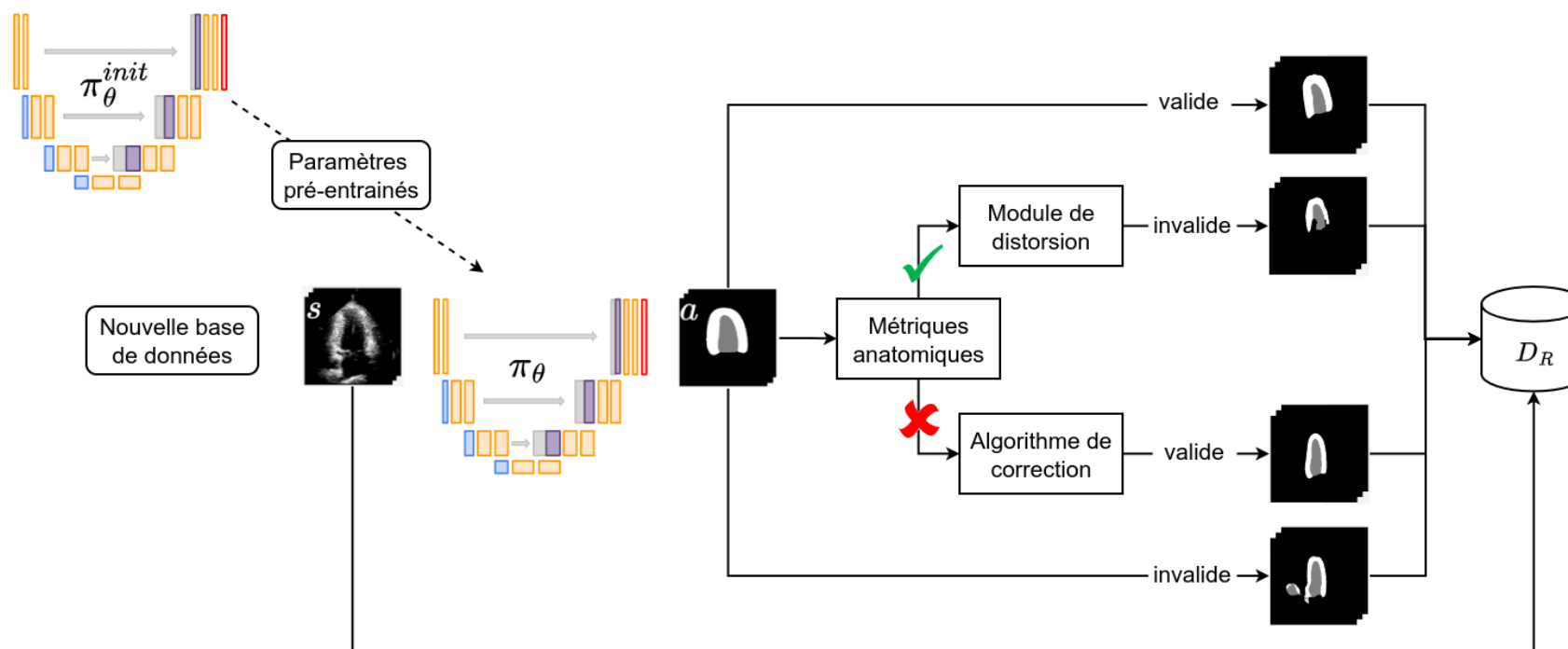


Peut-on obtenir les mêmes résultats sur n'importe quelle base de données ?

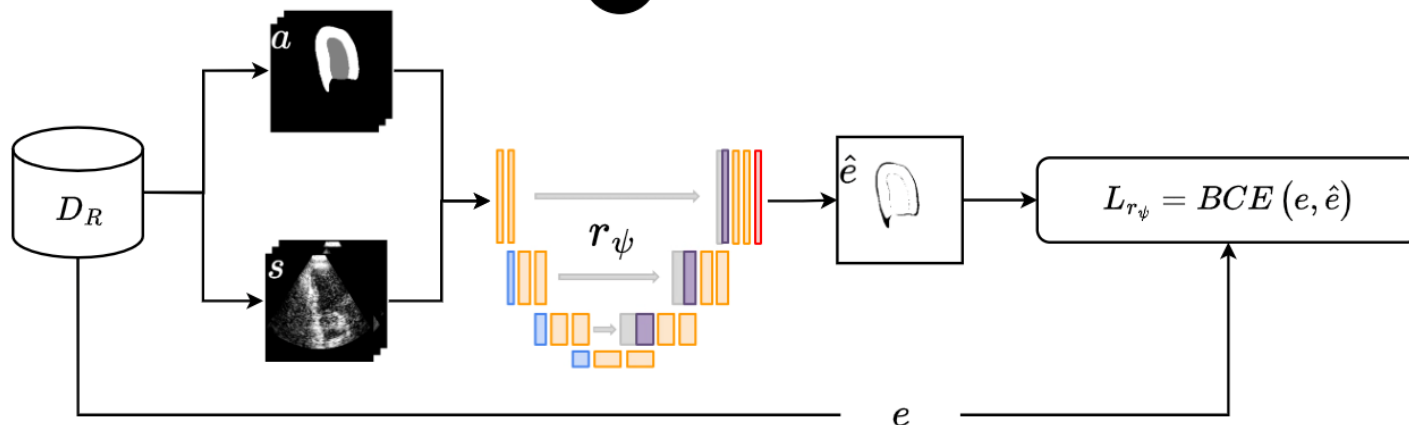
- ✓ Mise à jour du modèle nnU-Net pour s'adapter à une nouvelle base de données

Modèle optimisé sur la base de données CAMUS

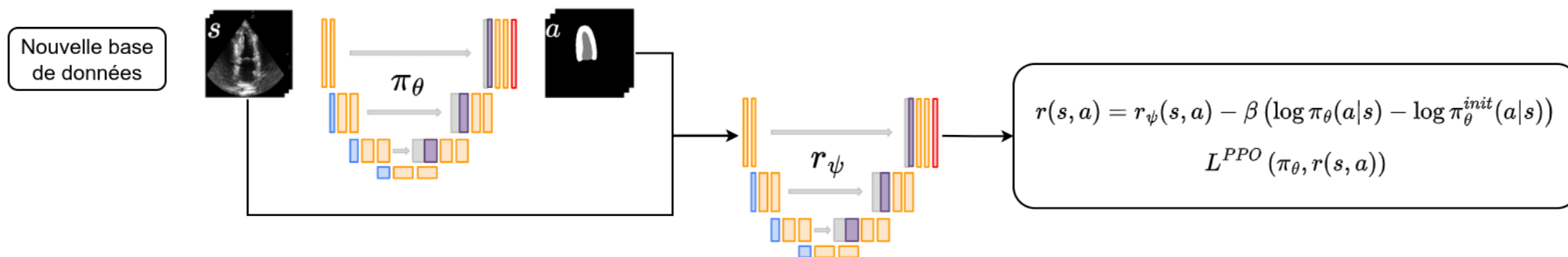
1 Création d'une base de données de récompenses D_R



2 Entrainement d'un modèle de récompense r_ψ

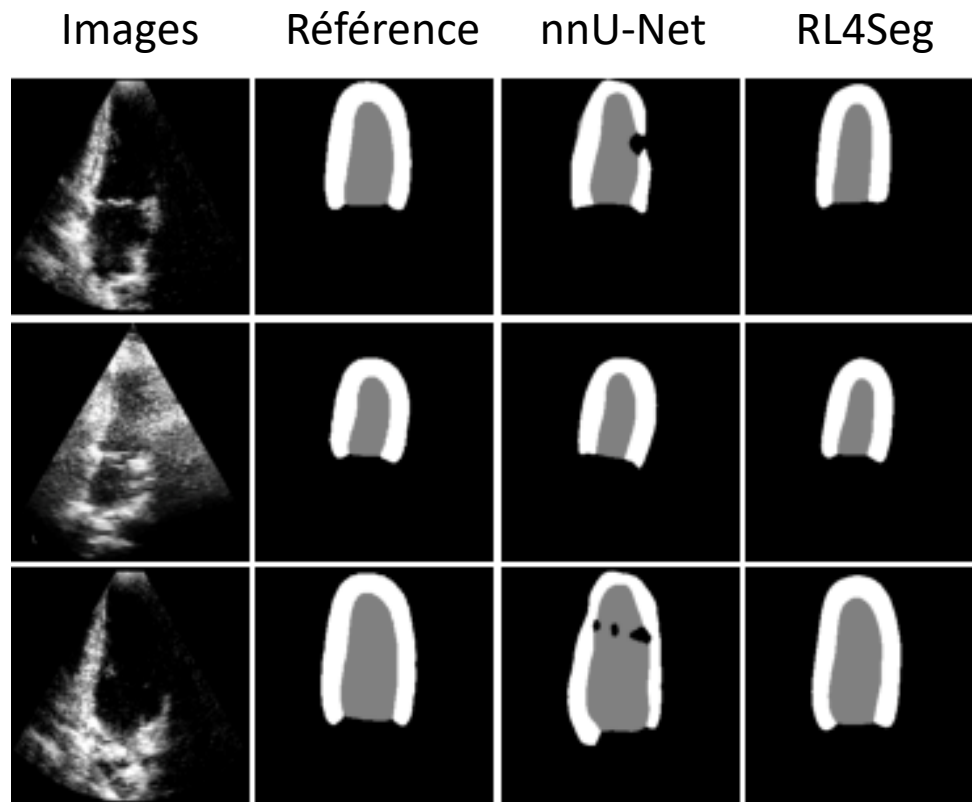


3 Mise à jour du modèle nnU-Net π_θ



Résultats préliminaires

- ✓ Scores obtenus sur une nouvelle base de données de 220 patients
- ✓ Aucune annotation sur la nouvelle base de données



Représentation de populations

Hypertension artérielle

Objectif

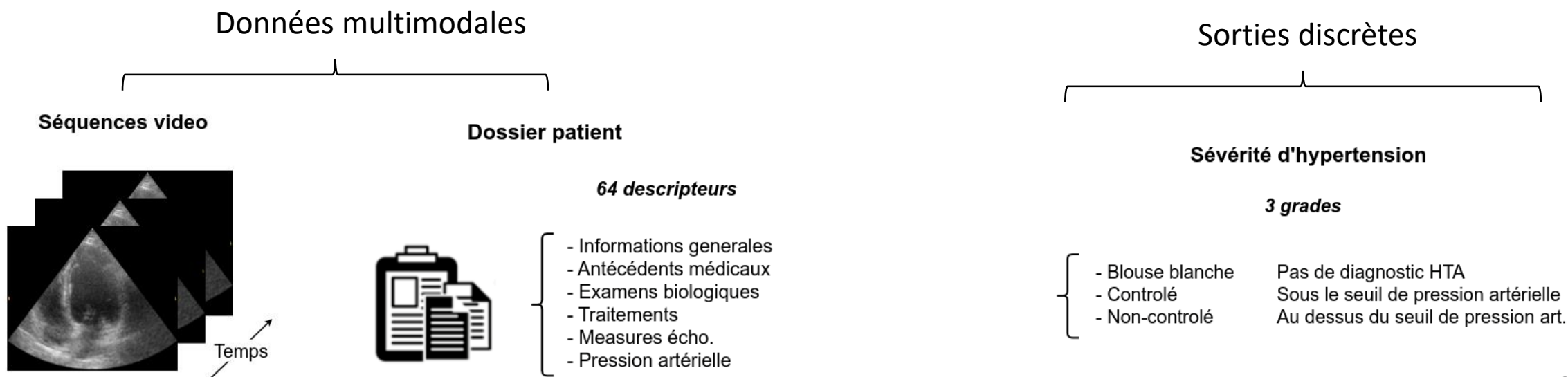
- ✓ Représentation continue d'une population atteinte d'HTA

Base de données

- ✓ 239 patients issus d'un même centre hospitalier
- ✓ 64 descripteurs issus du dossier patient
- ✓ Vue apicale 2 & 4 chambres par patient

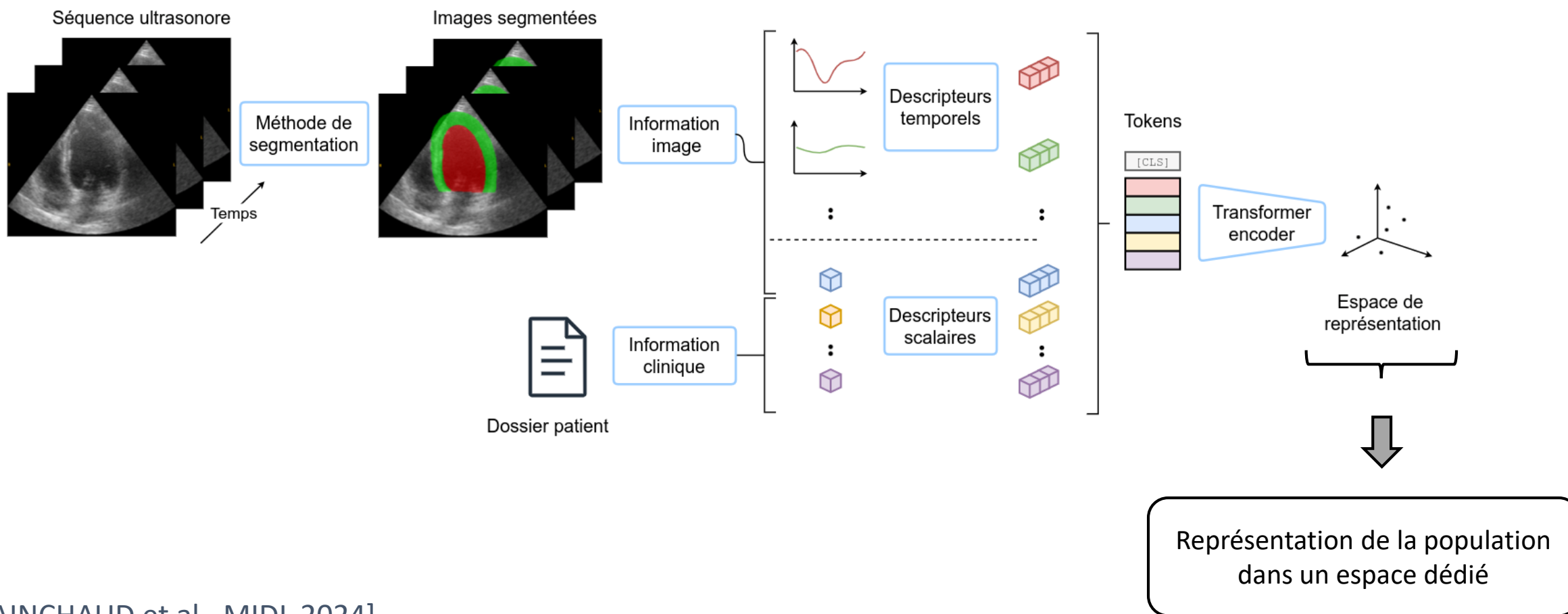
Méthode

- ✓ Fusion de données hétérogènes

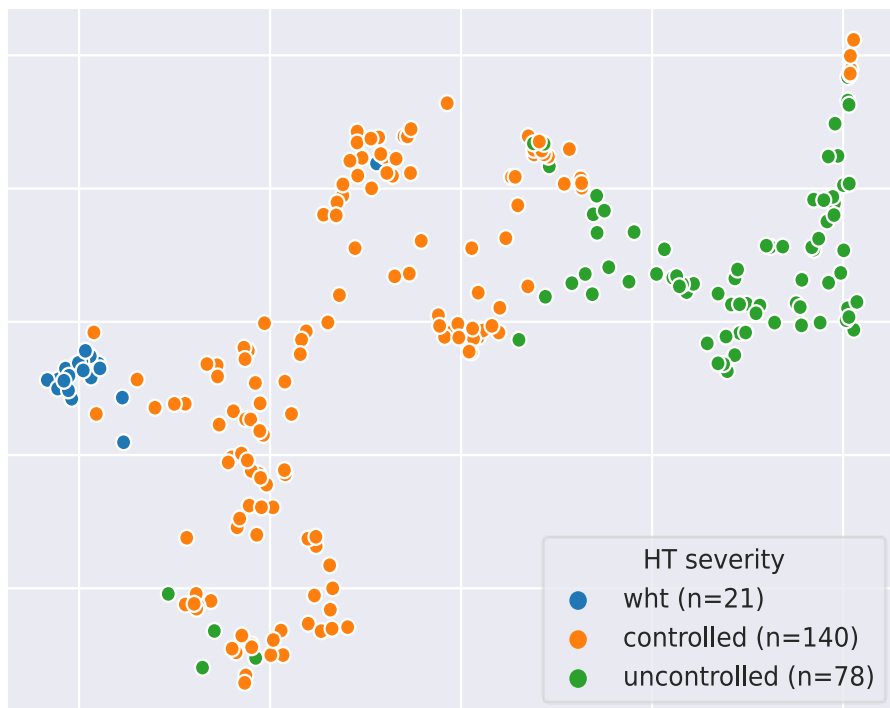


Méthode

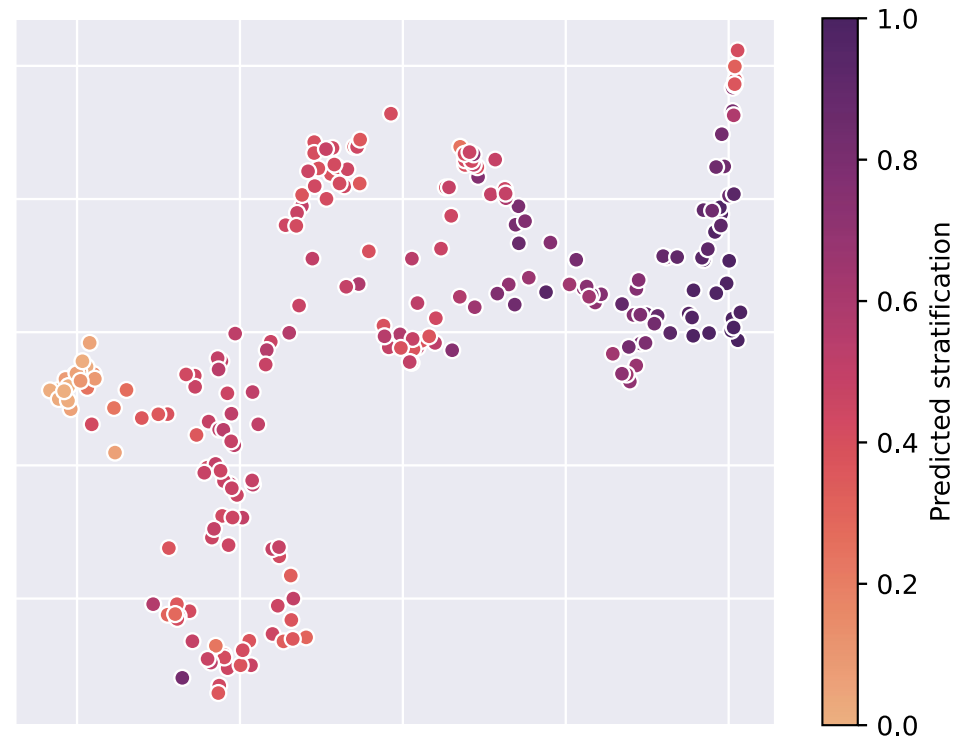
- ✓ Approche par transformer
- ✓ Fusion d'informations multimodales



Clustering versus representation continue



*Représentation de la population:
coloration selon la sévérité de l'HT*



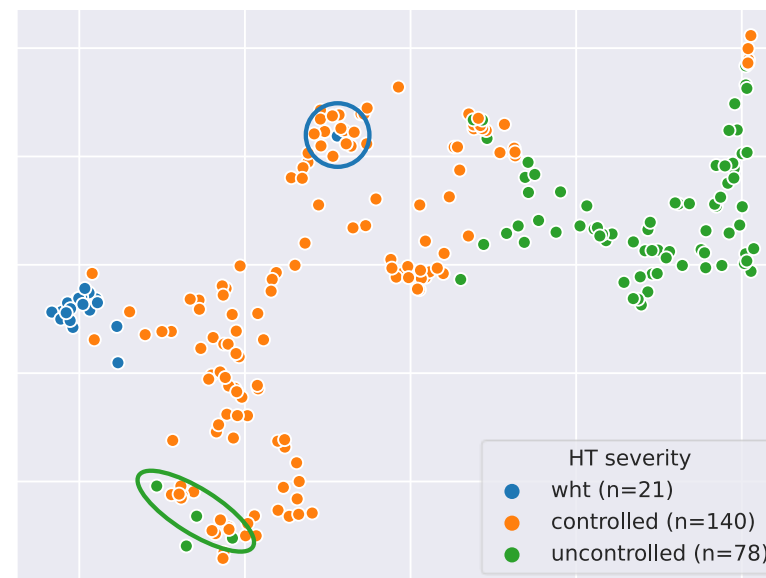
*Représentation de la population: coloration
selon le score de stratification prédit*

Résultats

- ✓ Classification automatique de la sévérité (problème à 3 classes)
- ✓ Entraînement sur 191 patients, test sur 48 patients
- ✓ Résultats calculés sur 10 entraînements

Transformer	tabular+time-series
Accuracy (%)	86.3 ± 3.0

Précision de la classification à partir des 64 descripteurs tabulaires + 14 descripteurs de séries temporelles



Représentation de la population: coloration selon la sévérité de l'HT



Résultats

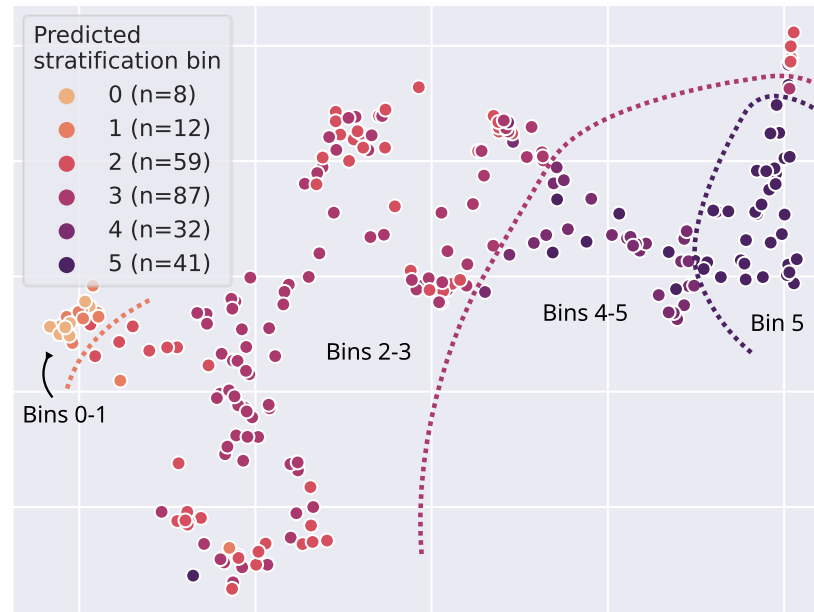
- ✓ Intégration efficace de différentes sources d'information

Descripteurs cliniques	Descripteurs temporels	# descripteurs	Précision
Les plus discriminants	✗	13	71.3 ± 3.8
	✓	27	74.4 ± 3.8
Tous	✗	64	83.5 ± 4.8
	✓	78	83.3 ± 2.8
Sans les mesures écho.	✗	30	80.6 ± 4.2
	✓	44	86.3 ± 3.0

Entraînement sur 191 patients, test sur 48 patients, valeurs moyennées à partir de 10 expériences différentes

Résultats

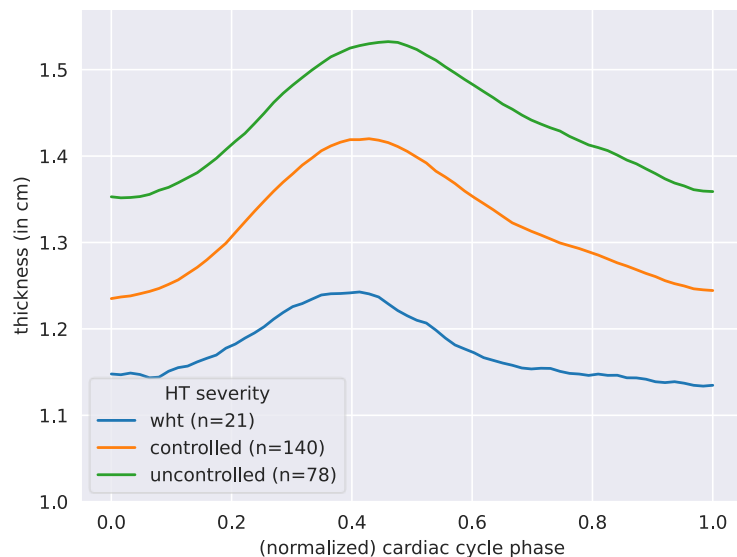
- ✓ La représentation continue permet une étude plus détaillée des phénogroupes



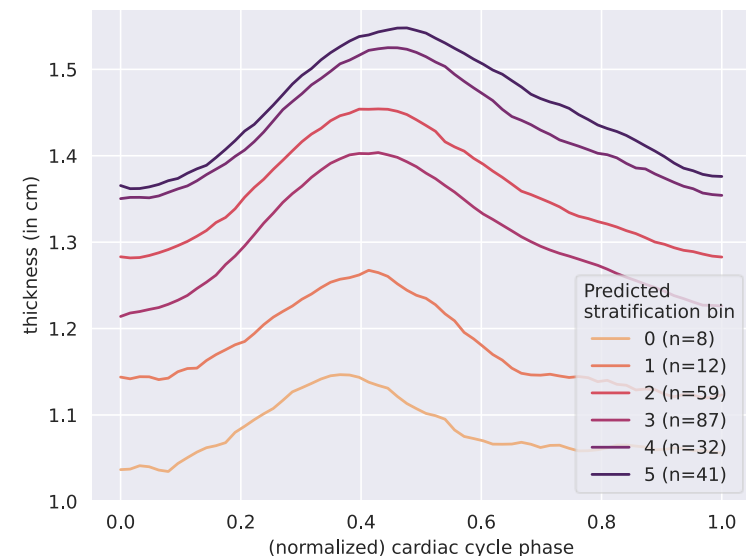
Discrétisation de la représentation continue en fonction de six intervalles

Résultats

- ✓ Etude des motifs pour les séries temporelles
- ✓ Epaisseur de la paroi basale / septale
 - Myocarde plus épais chez les patients HT
 - Déplacement du pic d'épaisseur



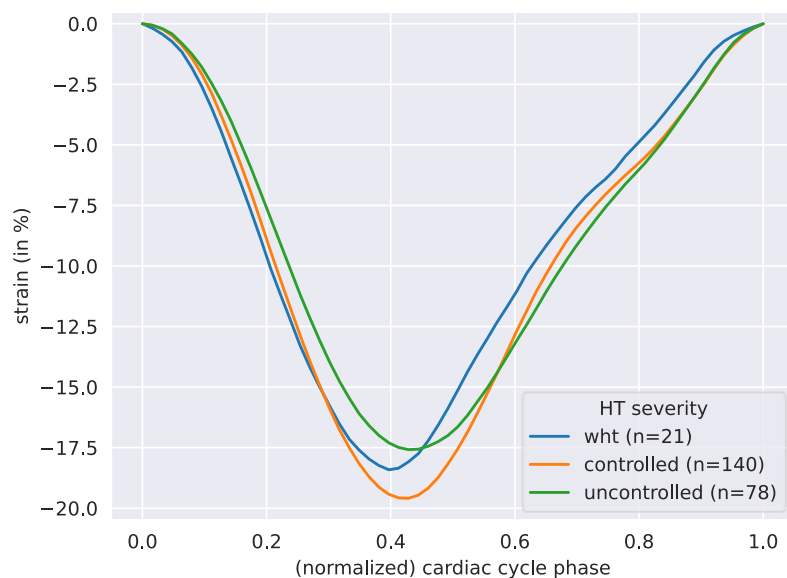
Groupes de patients en fonction du score de gravité fourni par un cardiologue



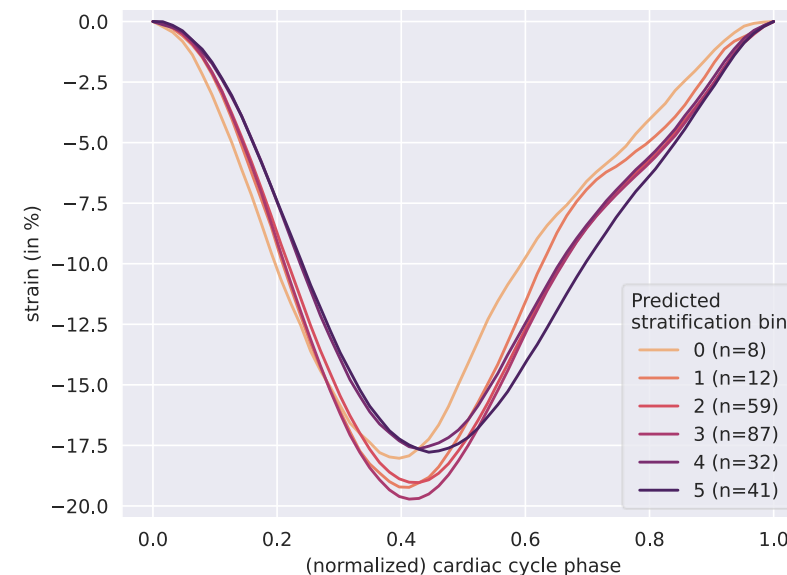
Groupes de patients selon les catégories de stratification

Résultats

- ✓ Etude des motifs pour les séries temporelles
- ✓ Déformation longitudinale globale (GLS)
 - Diminution du pic GLS
 - Relaxation post-systolique altérée



Groupes de patients en fonction du score de gravité fourni par un cardiologue



Groupes de patients selon les catégories de stratification



Méthodes d'IA dans l'analyse d'images cardiaques

Acquisition

Imagerie cardiaque
ultrarapide

Réseaux de neurones (RN)
Simulations réalistes

Quantification des images

Segmentation
Mouvement sang / tissus
Modélisation d'incertitude
Adaptation de domaine

RN convolutionnels
Auto-encoder variationnel
PINNs
Réseaux de diffusion

Représentation de la population

Fusion multimodale
Intégration de données hétérogènes

Transformers

Classification de l'étiologie
Caractérisation de l'hypertension

Estimation robuste de biomarqueurs existants / nouveaux