

Inria



université
PARIS-SACLAY

Concept des jumeaux numériques en santé

Exemples de recherches

Amaury FACQUE

M2 de recherche en science chirurgicale : équipe SIMBIOTX (INRIA Saclay) et Hôpital Paul Brousse (Villejuif)

Interne de chirurgie viscérale et digestive au CHRU de Tours

Plan

01. Concept des jumeaux numériques

- Qu'est-ce que c'est ?
- A quoi ça sert ?
- Comment on fait ?
- Est-ce que ça marche ?

02. Exemples de jumeaux numériques

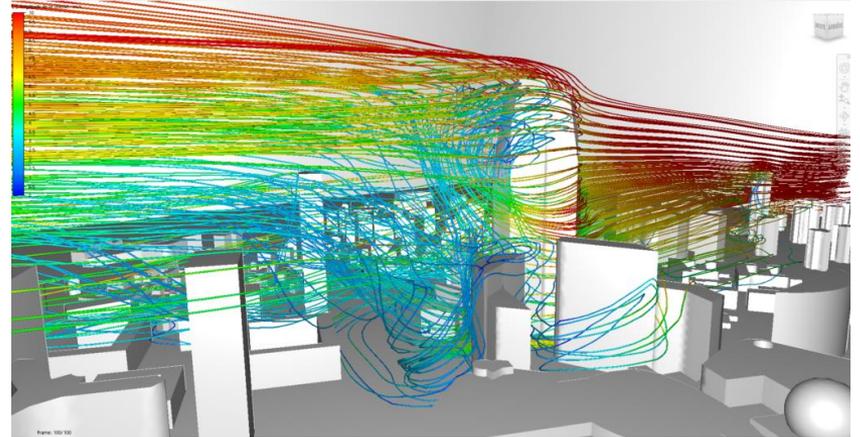
- Omar et le foie
- Leo et les carotides
- Raoul et le cœur
- Amaury et la veine porte

01

Concept des jumeaux numériques en santé

Qu'est-ce que c'est ?

- Réplique virtuelle d'un objet physique ou d'un système en utilisant des modèles et des simulations informatiques.
- Utilisés dans divers domaines : l'industrie, l'urbanisme, l'aérospatiale et la santé.

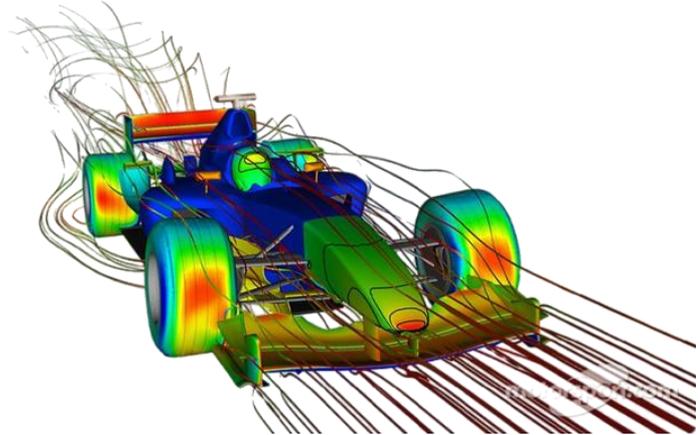


Qu'est-ce que c'est ?

- Réplique virtuelle d'un objet physique ou d'un système en utilisant des modèles et des simulations informatiques.
 - Utilisés dans divers domaines : l'industrie, l'urbanisme, l'aérospatiale et la santé.
 - En santé, on peut en définir 3 types :
 - Système de soins (politique, offre, demande, population)
 - Hôpital (bâtiment, flux de patient et personnel)
 - Patient (représentation individuelle, fidèle)
- Points communs : représentation/modèle mathématique de la réalité et nécessitent un ordinateur ou un support numérique pour la résolution de ces équations

A quoi ça sert ?

- Permettent de reproduire et de représenter de manière précise le comportement et les caractéristiques d'un objet réel.
- Permettent la simulation, la prédiction et même l'analyse prédictive.



Meilleures prédictions = meilleures performances et diminution des coûts

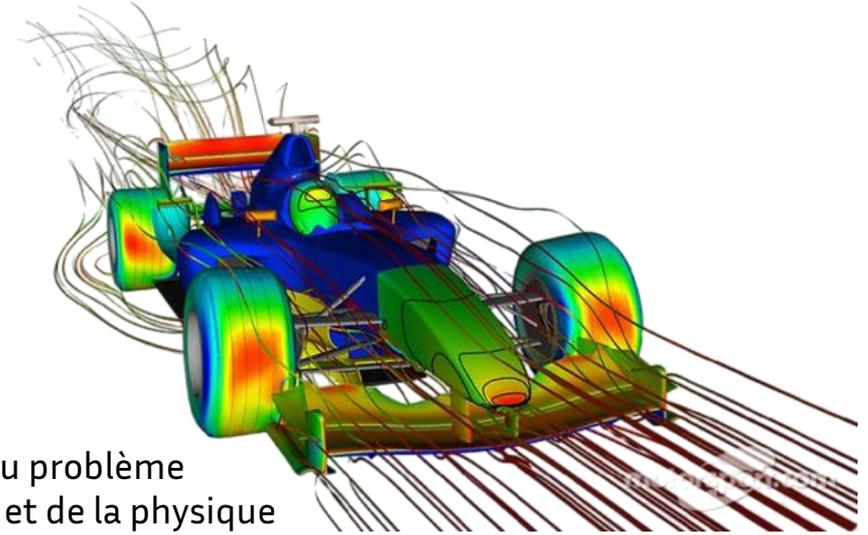
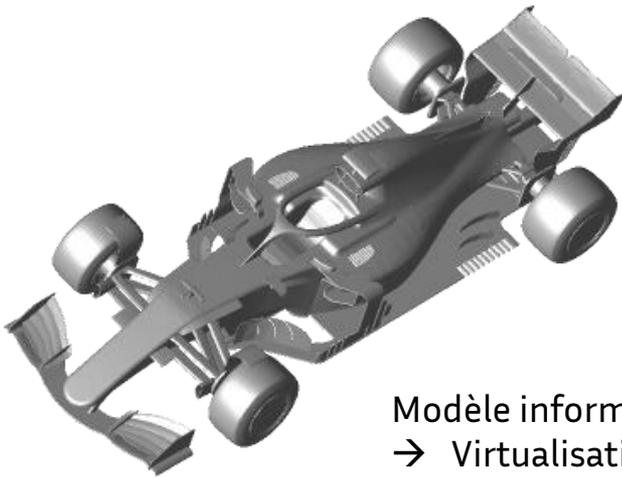
A quoi ça sert ?

Nouvelle approche : la médecine patient spécifique

- En médecine occidentale on pratique *l'Evidence Based Medecine (EBM)*.
 - > Guide la pratique médicale sur des preuves solides, des consensus, des recommandations
 - > Quelques limites :
 - Prise en compte limitée de la diversité des patients : études faites sur des populations spécifiques
 - Minimisation de l'importance des aspects individuels du patient : préférences, contexte social
- Les jumeaux numériques sont conçus pour utiliser :
 - > Des données issues de l'EBM
 - > Des données spécifiques au patient

Comment on fait ?

- Collecte des données sur le patient : images médicales, des mesures physiologiques (biologie, biométrie) et des antécédents médicaux.
- Intégration des données dans un modèle informatique qui simule les processus biologiques et physiologiques du corps



Modèle informatique = nœud du problème
→ Virtualisation de la biologie et de la physique
→ Résolution d'équations
→ IA, machine learning, deep learning, CFD

Est-ce que ça marche ?

- Sujet très récent dans la santé mais en plein développement

The screenshot shows the PubMed search interface. At the top, the NIH National Library of Medicine logo is visible. The search bar contains the query "digital twins" and is highlighted with a red box. Below the search bar, there are buttons for "Advanced", "Create alert", and "Create RSS". The search results section shows "351 results" (highlighted with a red box) and a bar chart titled "RESULTS BY YEAR" (also highlighted with a red box). The bar chart shows a significant increase in results starting around 2018, peaking in 2023. The first result is a paper by Patterson EA and Whelan MP, titled "A framework to establish credibility of computational models in biology." The abstract discusses the complexity of biological systems and the proposed use of "digital twins" to improve model credibility.

NIH National Library of Medicine
National Center for Biotechnology Information

Log in

PubMed® "digital twins" Search

Advanced Create alert Create RSS User Guide

Save Email Send to Sorted by: Publication date ↓ Display options ⚙

MY NCBI FILTERS

351 results

Page 36 of 36

RESULTS BY YEAR

2016 2023

A framework to establish credibility of computational models in biology.
351 Patterson EA, Whelan MP.
Cite Prog Biophys Mol Biol. 2017 Oct;129:13-19. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2016.08.007. Epub 2016 Oct 1.
PMID: 27702656 Free article. Review.
Share The issues arising due to the complexity and inherent variability of biological systems are discussed and the creation of 'digital twins' proposed as a means to alleviate the issues and provide a more robust, transparent and traceable route to model credibility and ...

Est-ce que ça marche ?

The screenshot shows a PubMed search interface. At the top, the PubMed logo is on the left, and a search bar contains the text "digital twins"[Title]. To the right of the search bar is a "Search" button. Below the search bar are links for "Advanced", "Create alert", and "Create RSS", and a "User Guide" link. Below the search bar are buttons for "Save", "Email", and "Send to". To the right of these buttons is the text "Sorted by: Publication date" with a dropdown arrow, and a "Display options" button with a gear icon. Below the search bar is a section for "MY NCBI FILTERS" with a link icon. To the right of this section is a box containing "155 results". Below the "155 results" box is a pagination bar with arrows and the text "Page 1 of 16". Below the pagination bar is a "RESULTS BY YEAR" section with a bar chart showing results for 2020 and 2023. Below the bar chart are buttons for "Reset", "Download", and "Up/Down" arrows. Below the "RESULTS BY YEAR" section is a "TEXT AVAILABILITY" section with checkboxes for "Abstract", "Free full text", and "Full text". Below the "TEXT AVAILABILITY" section is an "ARTICLE ATTRIBUTE" section with a checkbox for "Associated data". Below the "ARTICLE ATTRIBUTE" section are three search results, each with a checkbox, a title, a list number, a citation, and a share button. The first result is "Home monitoring in asthma: towards digital twins." by Drummond D, Roukema J, Pijnenburg M. The second result is "Digital twins for geriatric oncology: Double trouble or twice as nice?" by Pilleron S, O'Hanlon S. The third result is "GPU accelerated digital twins of the human heart open new routes for cardiovascular research." by Viola F, Del Corso G, De Paulis R, Verzicco R.

PublMed®

"digital twins"[Title]

Advanced Create alert Create RSS

User Guide

Save Email Send to

Sorted by: Publication date

Display options

MY NCBI FILTERS

155 results

Page 1 of 16

RESULTS BY YEAR

Reset

2020 2023

TEXT AVAILABILITY

Abstract

Free full text

Full text

ARTICLE ATTRIBUTE

Associated data

Home monitoring in asthma: towards **digital twins**.

1 Drummond D, Roukema J, Pijnenburg M.

Cite Curr Opin Pulm Med. 2023 Jul 1;29(4):270-276. doi: 10.1097/MCP.0000000000000963. Epub 2023 Apr 27.

Share PMID: 37102597 Review.

Digital twins for geriatric oncology: Double trouble or twice as nice?

2 Pilleron S, O'Hanlon S.

Cite J Geriatr Oncol. 2023 Jun;14(5):101524. doi: 10.1016/j.jgo.2023.101524. Epub 2023 May 17.

Share PMID: 37208231 No abstract available.

GPU accelerated **digital twins** of the human heart open new routes for cardiovascular research.

3 Viola F, Del Corso G, De Paulis R, Verzicco R.

Cite Sci Rep. 2023 May 22;13(1):8230. doi: 10.1038/s41598-023-34098-8.

Share PMID: 37217483 Free PMC article.

Est-ce que ça marche ?

- Neurologie/Neurochirurgie :

- > Algorithme de détection tumorale (Sarris et al., 2023) → amélioration du diagnostic précoce
- > Modélisation de l'atrophie cérébrale dans la SEP (Cen et al., 2023) → anticiper les indications de traitement
- > Réalité augmentée au bloc opératoire (Shu et al., 2023) → augmenter la précision chirurgicale

- Thérapeutique :

- > Optimisation du traitement du diabète de type II (Thamotharan et al., 2023)
- > Optimisation du traitement par fentanyl (Bahrami et al., 2023)

Est-ce que ça marche ?

- Cancérologie :

- > Optimisation du dépistage du cancer colorectale (Lin et al., 2023) → diminution du sur-diagnostic
- > Modélisation des métastases vertébrales (Ahmadian et al., 2022) → simuler la vertébroplastie et sa stabilité

- Autres :

- > Modélisation de signaux myo-électriques (Maksymenko et al., 2023) → améliorer les interfaces humain/prothèses

02

Exemples issus de l'équipe SIMBIOTX

Traitement d'images :
Inférence de paramètres à partir de
modalités d'imagerie
(foie, cœur, vaisseaux sanguins)

Médecine :
Comprendre la progression de
maladies et planification de
traitement
(foie, cœur, vaisseaux sanguins)

Comportement du
système à l'échelle **macro**

Étude des
relations

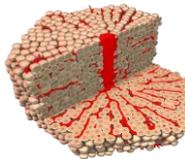
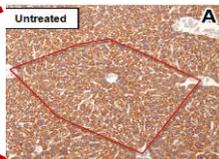
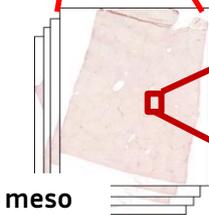
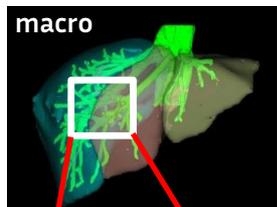
Comportement du système
à l'échelle **micro**

Bio-ingénierie :
Conception de systèmes
artificiels réalistes,
de tests de toxicité
& pour réparer ou remplacer
des tissus pathologiques
(hépatocytes et tout autre type
de cellule)

**Foie: sujet central
commun à l'équipe**

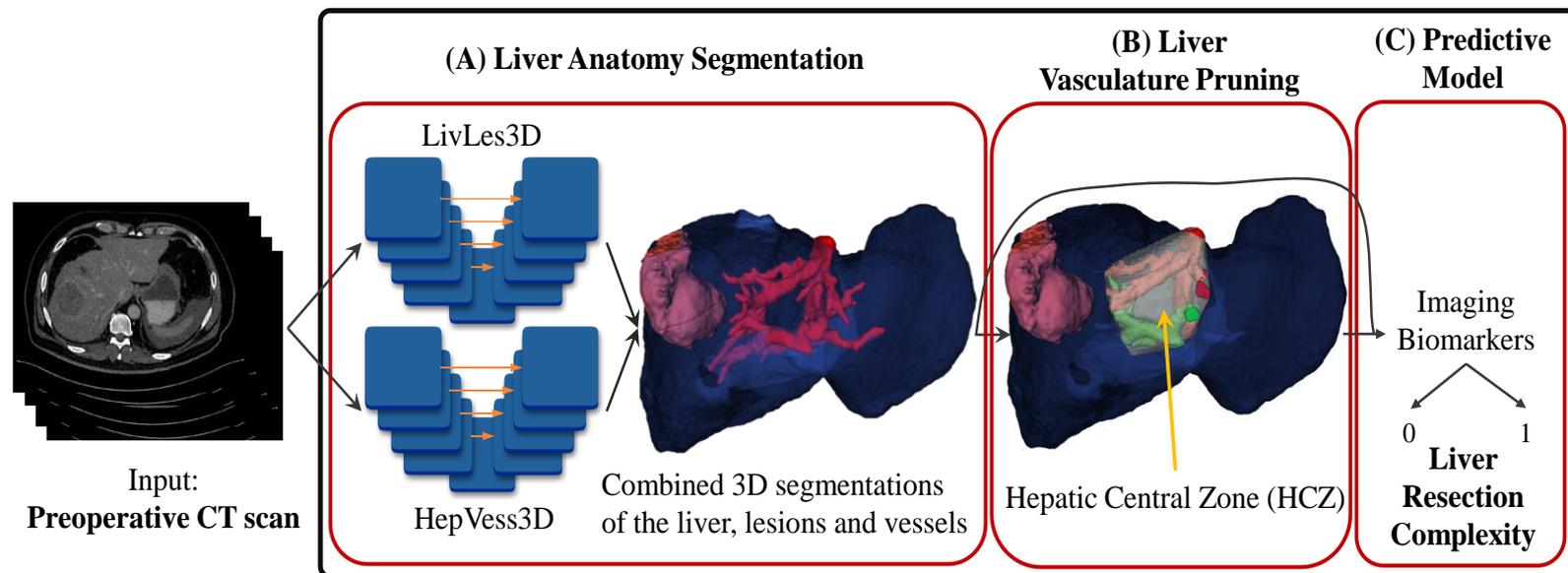
Toxicologie :
(foie)

lobule du foie: ~500-1200 μm ,
unités répétitives anatomiques &
physiologiques du foie



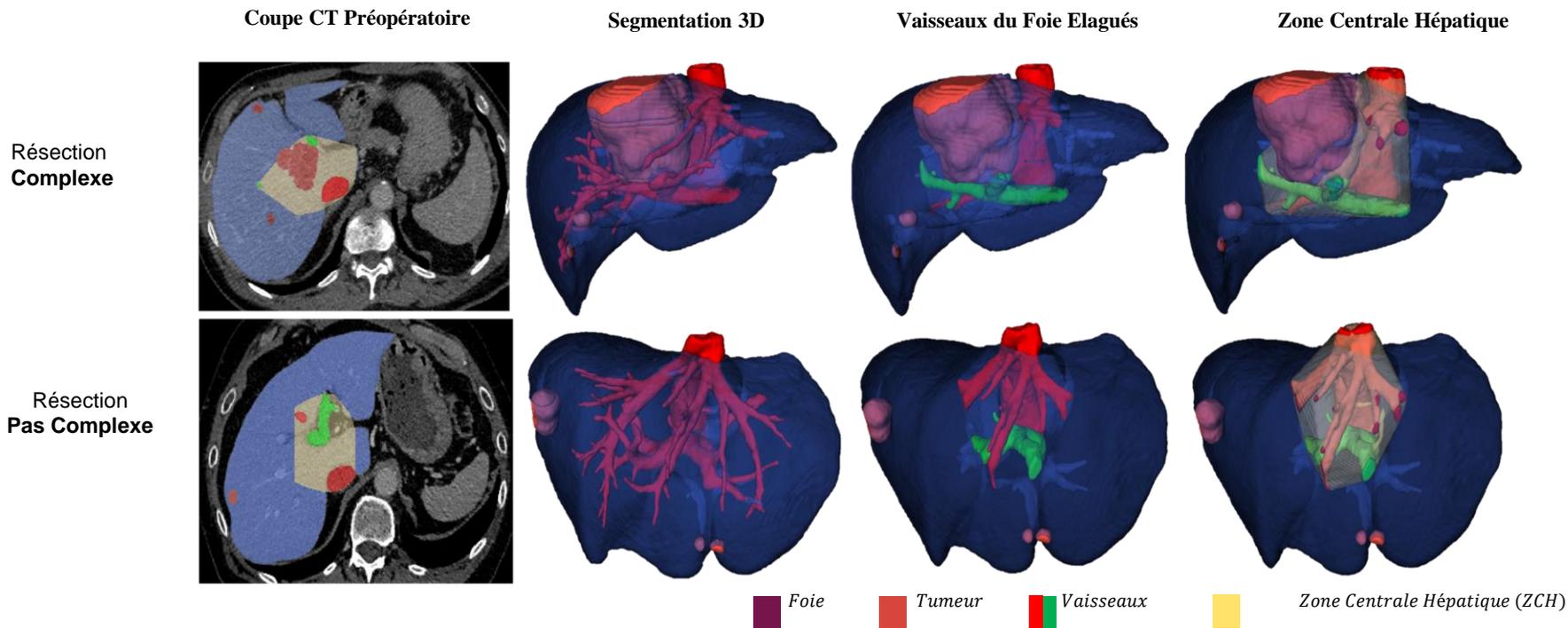
Analyse d'image pour la prédiction de la complexité de la résection

CoRe Automatic Pipeline



- Segmentation automatique** de l'anatomie du foie à avec du **deep learning**
- Génération de la zone centrale hépatique**, la région où les résections hépatiques sont supposées être complexes
- Prédiction de la complexité** de la résection hépatique par **apprentissage machine automatique**

Analyse d'image pour la prédiction de la complexité de la résection



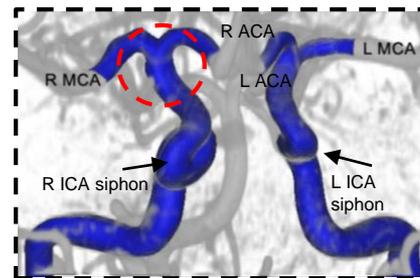
Résultats Quantitatifs (Etude d'ablation) et Qualitatifs

Analyse d'image pour la prédiction de la complexité de la résection

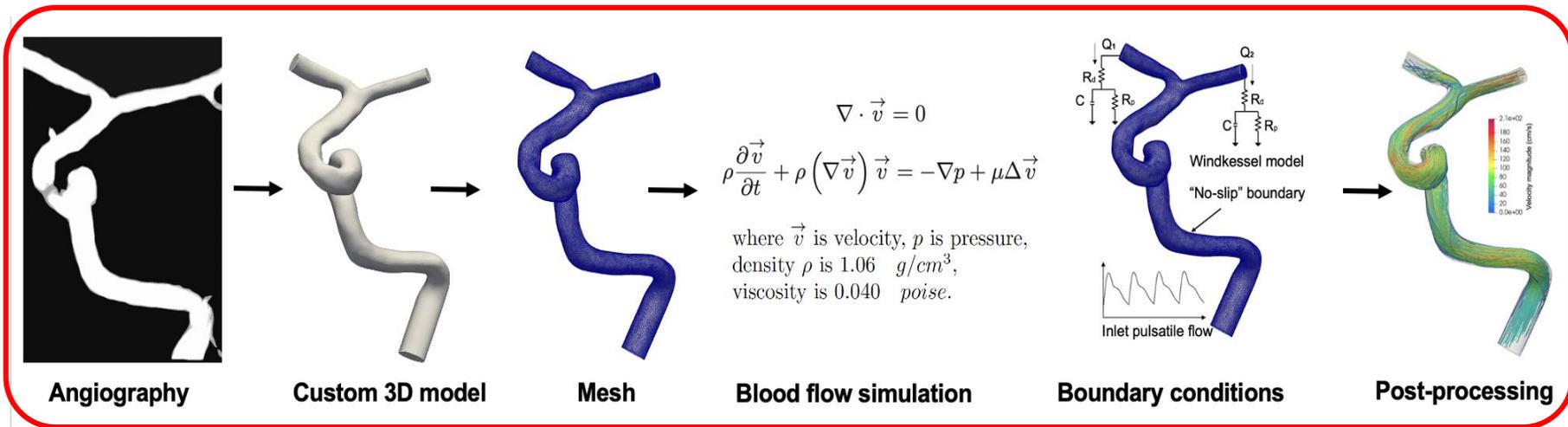
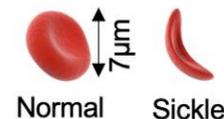
- Modèle informatique capable d'interpréter un scanner et prédire la complexité de la résection hépatique en préopératoire
- Le modèle a pu tester plusieurs paramètres pour savoir lequel était le plus prédictif
 - > Zone centrale hépatique s'est avérée très utile
- Le modèle prédit mieux la complexité de la chirurgie que les chirurgiens

Simulation du flux sanguin pour comprendre la drépanocytose

1. Pourquoi les enfants déranocytaires ont des vitesses de flux carotidien anormalement élevées et sont plus à risque d'AVC ?
2. Pourquoi les sténoses apparaissent préférentiellement dans la partie distale de la carotide interne ?

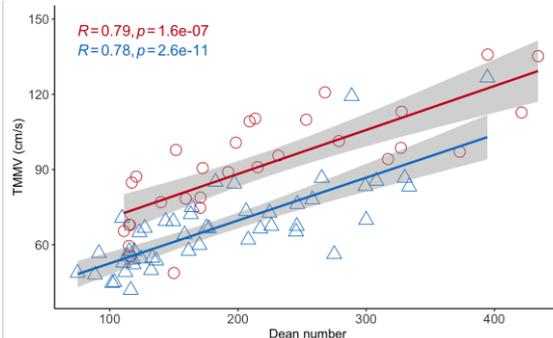
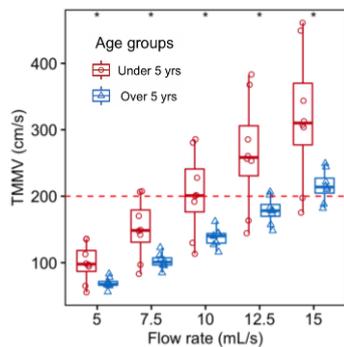


Patient-specific model in MRA



Simulation du flux sanguin pour comprendre la drépanocytose

- Les patients jeunes ont des vitesses de flux et un risque d'AVC significativement plus élevé.



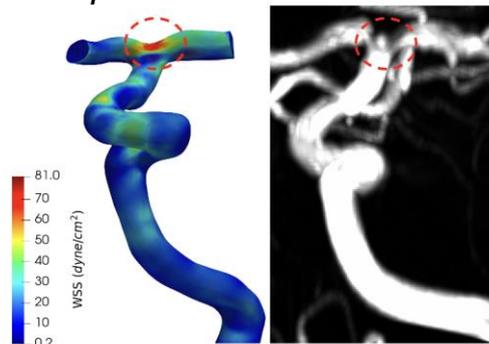
$$De = \frac{\rho U D}{\mu} \sqrt{\frac{R}{R_c}} = \frac{\rho Q}{\pi \mu} \sqrt{\frac{4\kappa}{R}}$$

- Plus grand débit
- Plus grande courbure
- Rayon plus petit



Flux plus rapide

- Le cisaillement à la paroi pourrait prédire la survenue de sténose.



Combinaison du Machine Learning et de la simulation physique pour le diagnostic des maladies coronariennes

Vue d'ensemble :

- Maladies coronariennes = principale cause de décès dans le monde
- Cause d'un déficit du flux sanguin irriguant le myocarde
- Diagnostique = examens coûteux, invasifs.

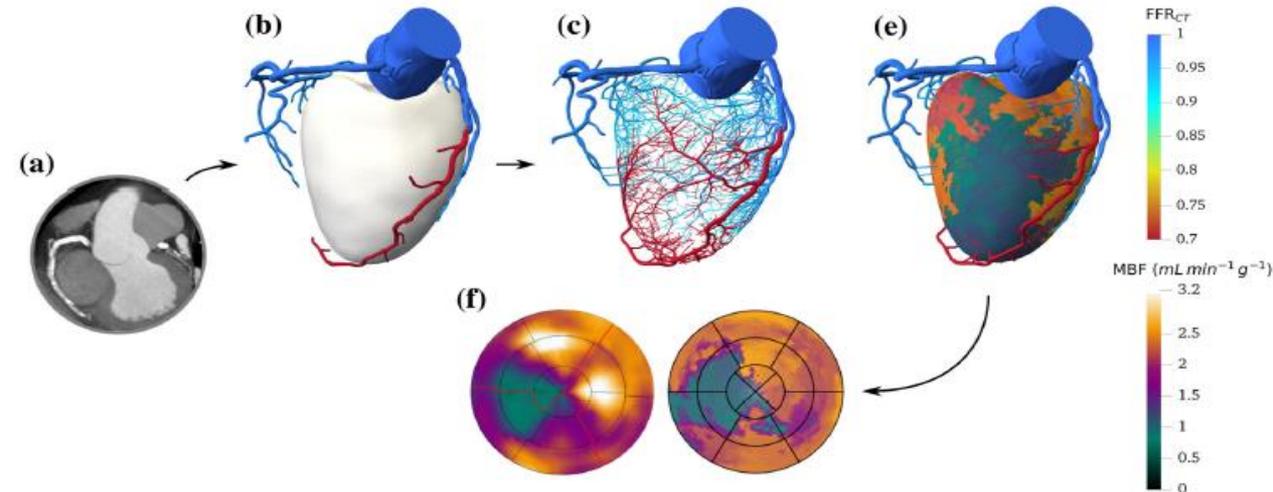


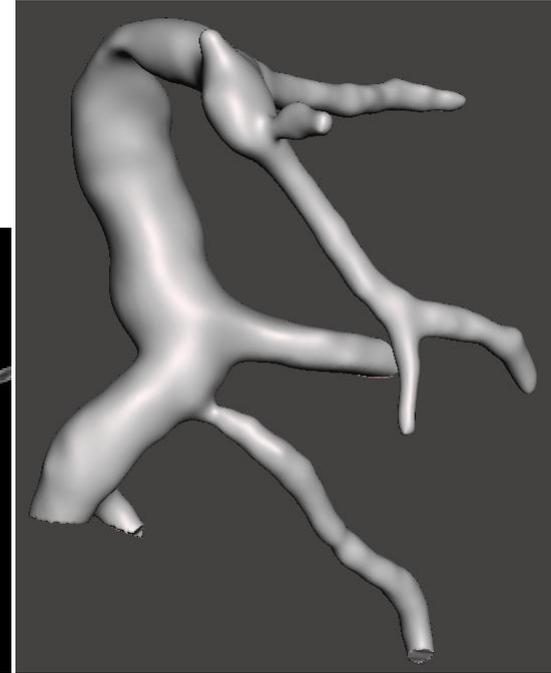
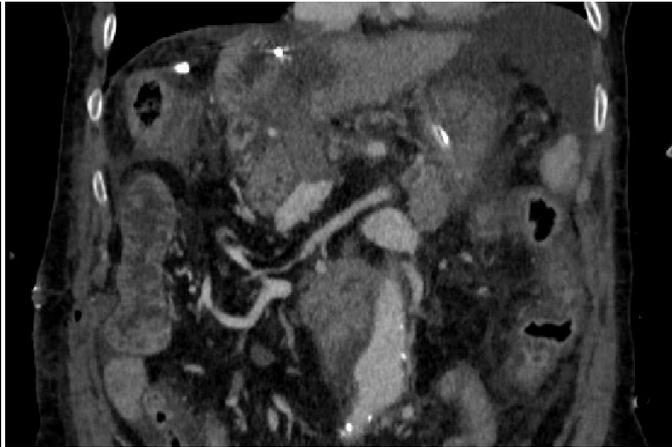
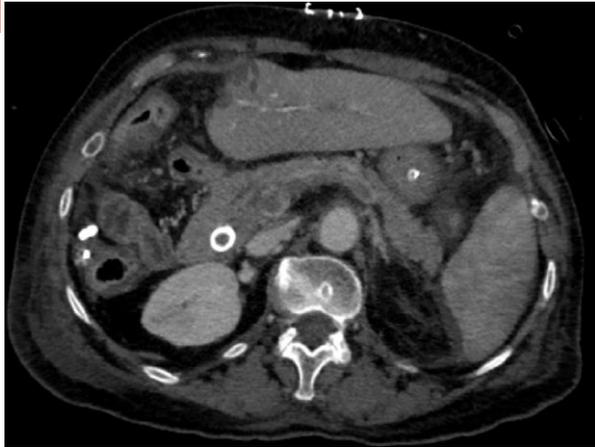
Illustration du pipeline actuel essayant de reproduire les données de l'image TEP [15O]H₂O (traceur radioactif) [2].

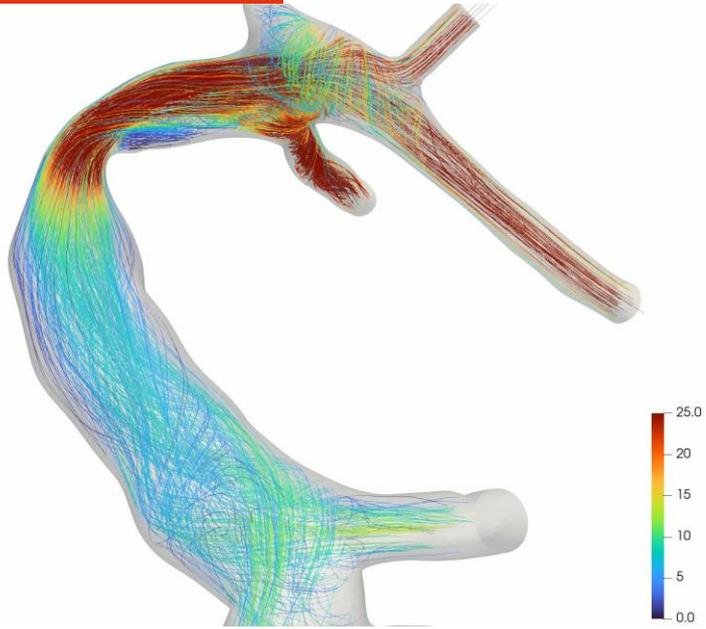
Pipeline spécifique au patient utilisé par Heartflow :

- (a) : Données d'imagerie CT-scans
- (b) : Segmentation du cœur et des artères principales
- (c) : Génération d'arbres synthétiques vasculaires
- (d) : Simulation de perfusion
- (e) : Carte de perfusion simulée
- (f) : Carte réelle examen TEP [15O]H₂O

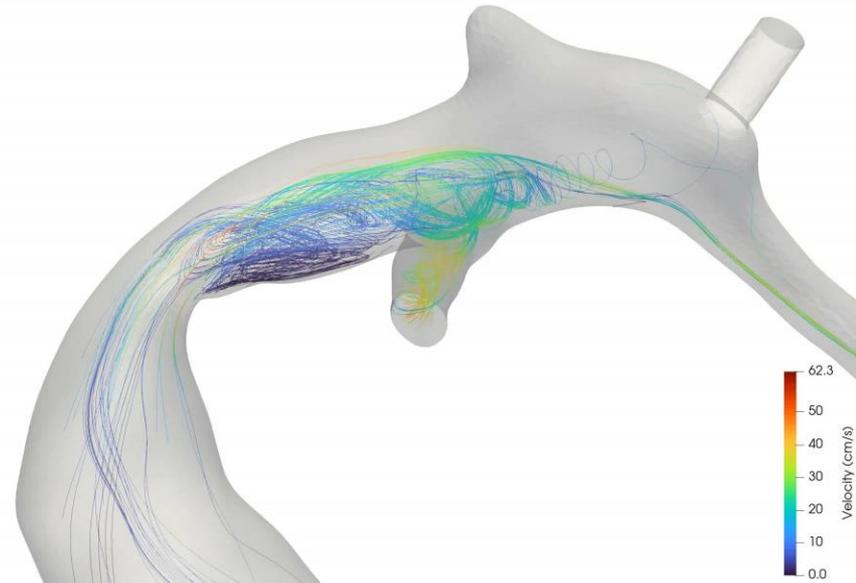
Simulation hémodynamique et formation des thromboses portales post opératoires

- Cholangiocarcinome : 5% de survie à 5 ans
- Chirurgie pour cholangiocarcinome = 10% de mortalité / 30% de morbidité
- 10% de thrombose (stable depuis 30 ans) → FdR : anastomose
- Jumeau numérique pour comprendre et prédire





Observation d'un phénomène de recirculation juste après l'anastomose



Merci !



amaury.facque@inria.fr