

Quels logiciels pour l'IA en anatomie ?

JFR 2023, Paris

Jean Feydy

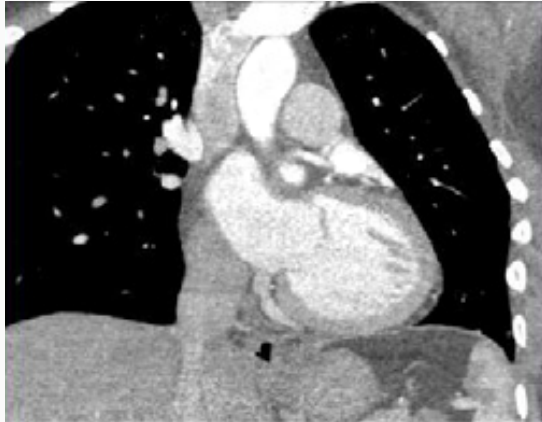
Équipe HeKA, Inria Paris, Inserm, Université Paris-Cité

Dimanche 15 octobre 2023

1. Qu'est-ce qu'une **image** ?
2. Quels **logiciels pour l'IA** en radiologie ?
3. **Complétons** notre boîte à outils.

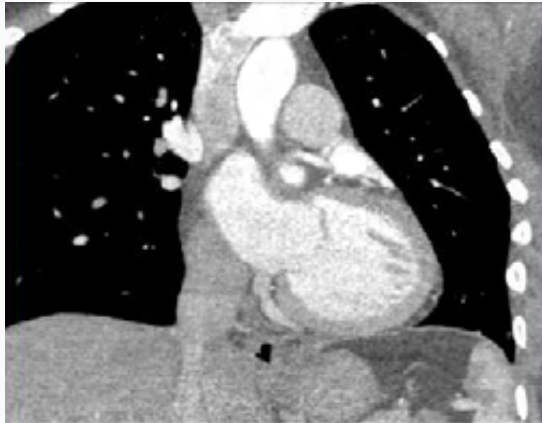
Qu'est-ce qu'une image ?

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]



Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

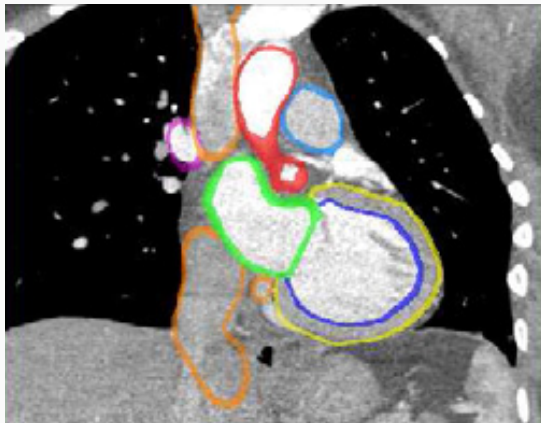
1. Pixels



Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

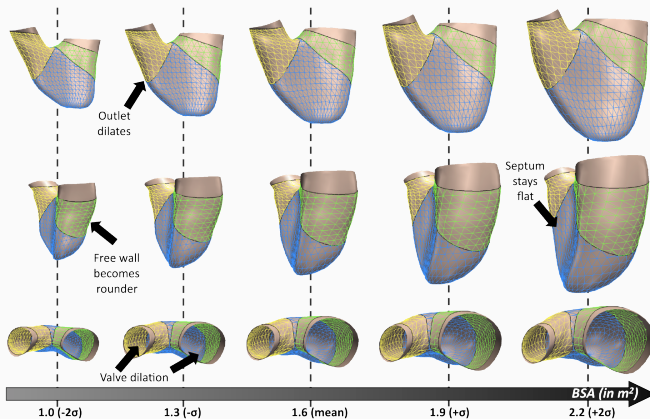
2. Anatomie



Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

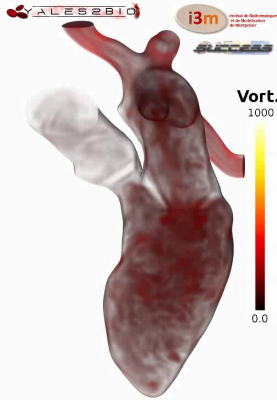


Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



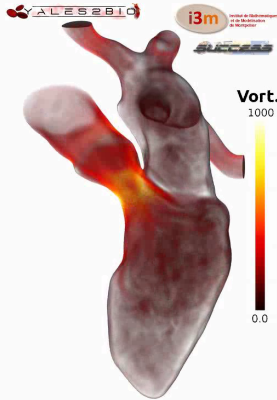
Time: 0 ms

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



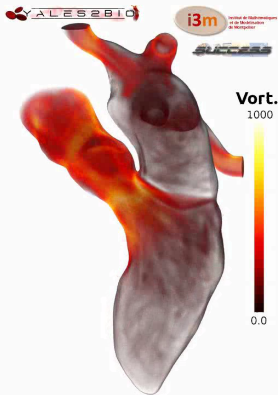
Time: 100 ms

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



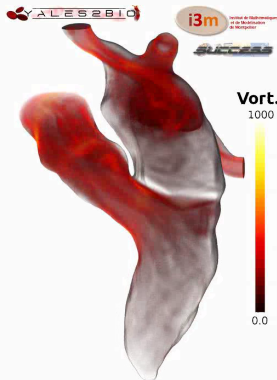
Time: 200 ms

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



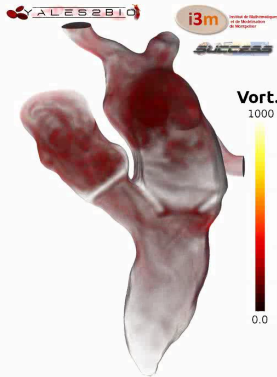
Time: 300 ms

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



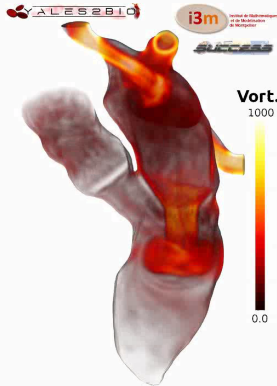
Time: 400 ms

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



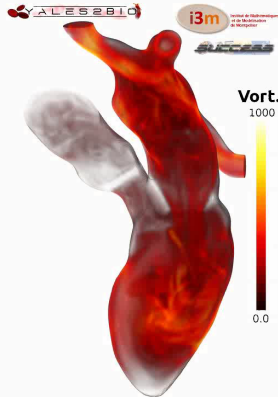
Time: 500 ms

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



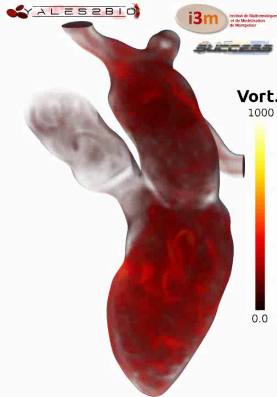
Time: 600 ms

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



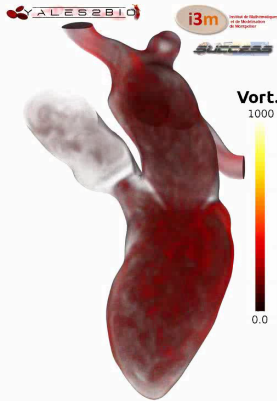
Time: 700 ms

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



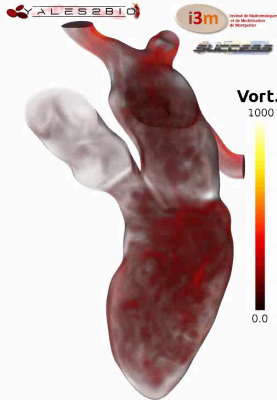
Time: 800 ms

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



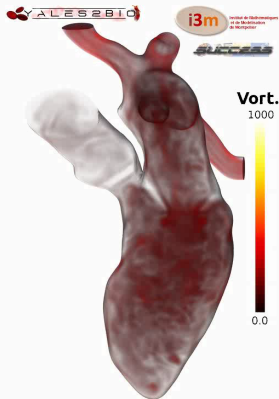
Time: 900 ms

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



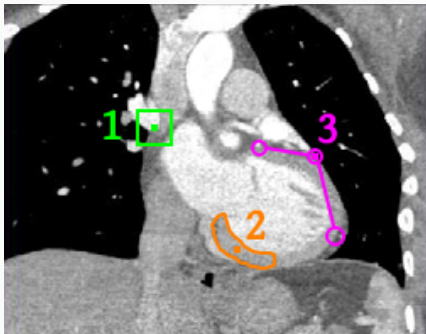
Time: 0 ms

Une image : trois niveaux d'analyse [EPW11, Man11]

1. Pixels

2. Anatomie

3. Fonction



En simplifiant beaucoup, chaque niveau de description correspond à une manière de **regrouper les pixels**.

1er niveau : grille de pixels

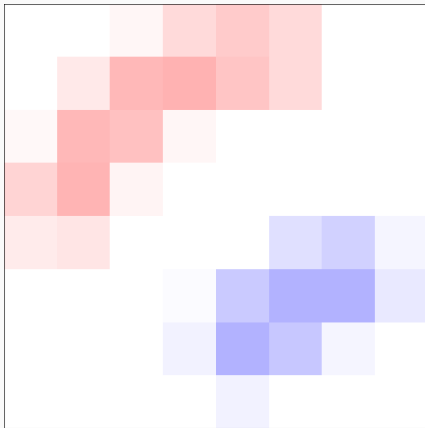


Tableau $N_x \times N_y \times N_z$ de pixels.

Images et volumes **bitmap** :

- .bmp, .png, .jpg
- Standard en **radiologie**.

- + Structure mémoire ordonnée.
- + Voisinages explicites.
- + **Convolutions** rapides.

- Analyse de **texture**.
- **Segmentation** des tissus.
- **Détection** de motifs.

2ème niveau : nuages de points et surfaces 3D [EPW11]

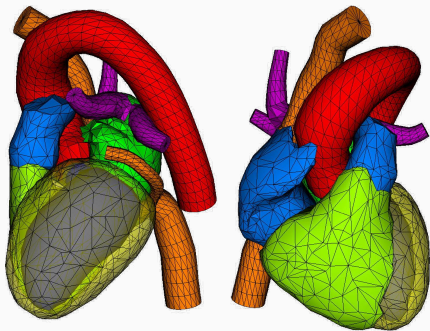


Tableau $N_{\text{points}} \times 3$
de coordonnées (x, y, z) .

Nuages de points (\pm triangles) :

- .svg
- Standard pour le **jeu vidéo**.

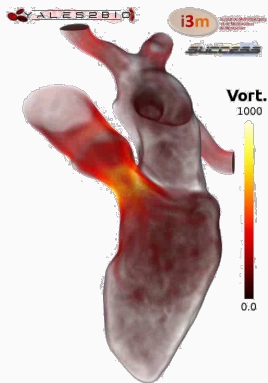
- + Représentation compacte.
- + Géométrie de haute précision.
- + **Facile à déformer**.

→ **Visualisation 3D**.

→ **Atlas** anatomiques.

→ Analyse des **formes**.

3ème niveau : modèle biomécanique ou physiologique [Man11]



Mesh volumique,
graphe d'interactions.

Modèle physique, graphe :

- Éléments finis, réseaux.
- Standard pour la **CAO**.

- + **Connaissance** a priori.
- + **Robuste** au bruit.
- + Comportement **réaliste**.

- Interprétation **physiologique**.
- **Inférer** ce qui est invisible.
- **Simuler** une intervention.

Forces et faiblesses de ces représentations

Comment chercher les **voisins** d'un point de l'espace ?

- Sur une **grille** : **immédiat**.
- Avec N **points** (x, y, z) : **calcul** de N distances, ou **construction** d'un arbre.

Comment faire **pivoter** un organe de 10° ?

- Sur une **grille** : **artefacts**, perte de détails, transferts de mémoire.
- Avec N **points** (x, y, z) : arithmétique **simple** sur les coordonnées.

Efficacité numérique \iff Entraînement sur de **grandes bases de données**.

En imagerie médicale, on peut travailler avec:

- Une **grille de pixels** 2D ou 3D.
- Un **tableau de coordonnées** (x, y, z) .
- Un **réseau d'interactions** complexes.
- Les trois à la fois!

Dans tous les cas, il s'agit de définir une grande **formule structurée** :

$$\text{image} \xrightarrow{F} F(\text{image}) \simeq \text{diagnostic}$$

On parle d'**architecture** de calcul paramétrique
 \simeq **modèle** à fitter \simeq **réseau** à entraîner.

Quels outils logiciels pour l'IA ?

Le matériel informatique est au cœur de la “révolution de l’IA”

L’**imagerie** et l’**apprentissage** automatique sont étudiés depuis des **décennies**.

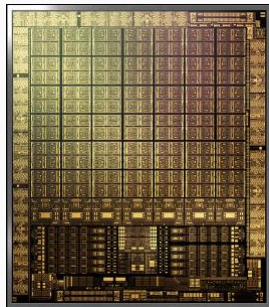
Percée en 2010-15 : utiliser des **PlayStations** pour faire de la **science** est devenu **facile**.

Effort de recherche à tous les niveaux vers:

- Un **matériel** toujours plus puissant.
- Des **bibliothèques** toujours plus souples.
- Des **modèles** toujours plus pertinents.

Résultats **spectaculaires** obtenus dans quelques domaines

⇒ grands **investissements** publics et privés.



7,000 cœurs sur un GPU.

Pour aller au-delà des prototypes, une suite logicielle complète est nécessaire

Graphisme : Imprimante + Driver + **Photoshop** \Rightarrow Dessins

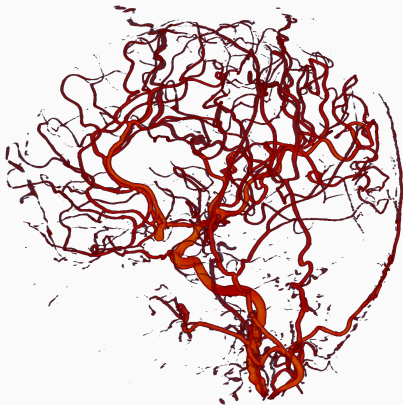
**Données
tabulaires :** GPU + **cuBLAS** + **PyTorch**
TensorFlow \Rightarrow Réseaux de neurones
“**classiques**”

**Grilles
de pixels :** GPU + **cuDNN** + PyTorch
TensorFlow \Rightarrow Réseaux de neurones
convolutifs

**Nuages de points
et graphes :** GPU + **CUDA** + **??** \Rightarrow Réseaux de neurones
géométriques

Complétons notre boîte à outils

Des interfaces haut niveau pour passer du prototype à la production



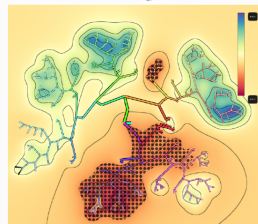
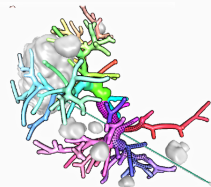
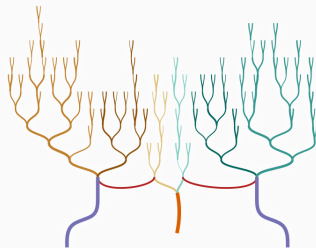
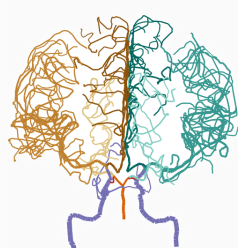
Réseau artériel cérébral.

Comment apprendre de cet objet ?

Un écosystème en construction :

- **PyG** : depuis 2018
 - **Deep learning sur les graphes.**
 - Basé sur torch-scatter, etc.
- **PyVista** et **Vedo** : depuis 2019
 - **Visualisation 3D.**
 - Basé sur VTK.
- **scikit-shapes** : en cours
 - **Analyse de formes.**
 - Basé sur KeOps.

Vers des cartes “intelligentes” du réseau vasculaire ? [EMML22]



Quelques exemples de “**vessel maps**” disponibles aujourd’hui.
Nous travaillons pour les **adapter** aux besoins de la radiologie interventionnelle.

- Les **cartes graphiques** (GPUs) sont le moteur de l'IA.
- Un **environnement logiciel complet** est nécessaire, du C++ au Python.
- Depuis 2015, l'**imagerie médicale** a pu surfer sur une vague d'investissement des **GAFA** pour le traitement d'**images naturelles**.

Avancées : **segmentation**, traitement de la **texture** et **détection** de lésions.

- Quid de la planification **chirurgicale**, la **morphométrie**, l'analyse **vasculaire**... ?

Un **investissement dans les fondations numériques** du domaine est en cours.

References

 Pepe Eulzer, Monique Meuschke, Gabriel Mistelbauer, and Kai Lawonn.

Vessel maps: A survey of map-like visualizations of the cardiovascular system.

In Computer Graphics Forum, volume 41, pages 645–673. Wiley Online Library, 2022.

 Olivier Ecabert, Jochen Peters, and Matthew Walker.

Segmentation of the heart and great vessels in ct images using a model-based adaptation framework.

Medical Image Analysis, (15):863–876, 2011.



Tomaso Mansi.

**A statistical model for quantification and prediction of cardiac remodelling:
Application to tetralogy of fallot.**

IEEE transactions on medical imaging, 2011.