

45ème édition de la journée ISS France

CARACTÉRISATION ANATOMIQUE DE L'ARCHE AORTIQUE À PARTIR DE VOLUMES ARM : UNE APPROCHE DE LA SEGMENTATION BASÉE SUR LES CNN

Mounir Lahlouh

Doctorant CIFRE

Encadré par

Dr Raphaël Blanc et Pr Jérôme Szewczyk



Pr Nicolas Passat



UNIVERSITÉ DE REIMS
CHAMPAGNE-ARDENNE



Dr Yasmina Chenoune



2021/2022

Plan de la présentation

1 Introduction générale

2 Synthèse bibliographique

- Impact clinique de l'anatomie de l'arche aortique
- Deep learning et segmentation aortique

3 Segmentation aortique

- Base d'images d'apprentissage
- Pipeline de caractérisation anatomique
- Résultats de segmentation

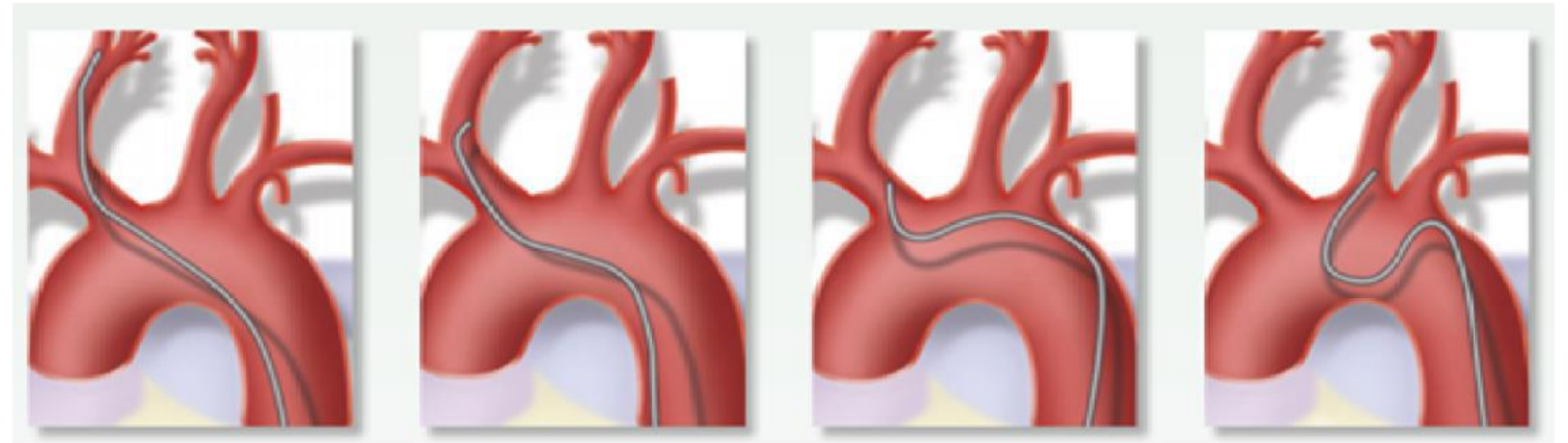
4 Conclusions et perspectives



Introduction générale

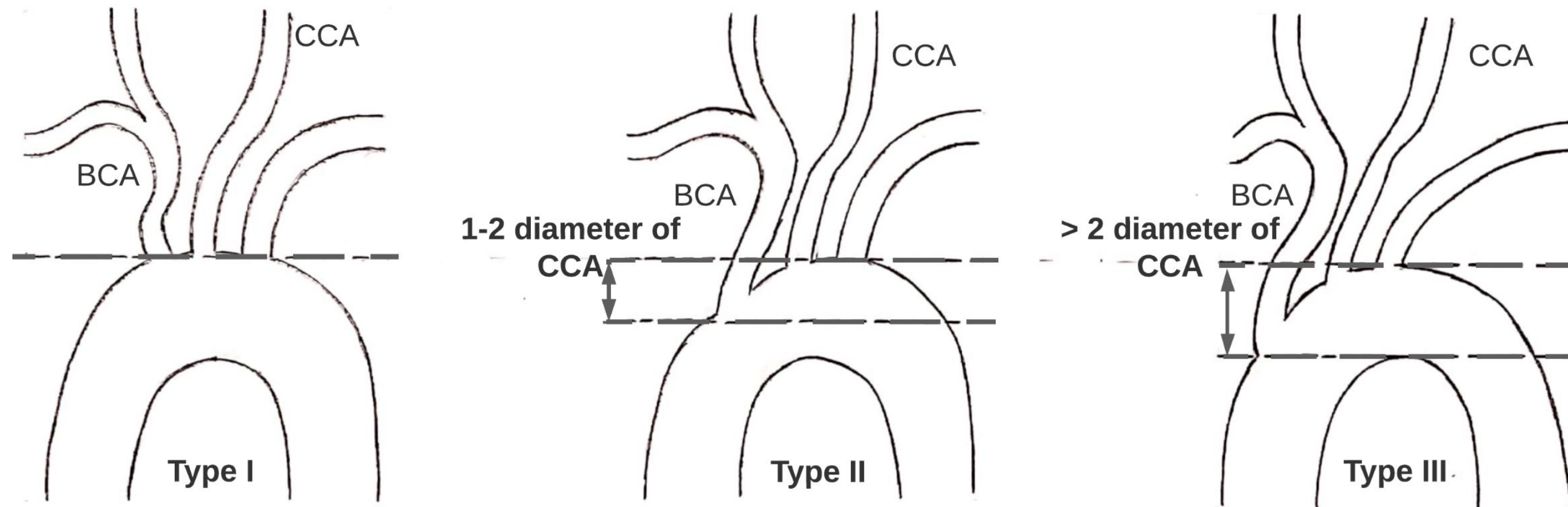
Contexte et problématique 1 / 2

La connaissance de l'anatomie de l'arche aortique est primordiale en neuroradiologie interventionnelle.



Les difficultés de navigation avec les cathéters se situent au niveau de l'arche, particulièrement lorsque cette dernière est dilatée ou à cause de l'élongation, des angulations et de la tortuosité des troncs supra-aortiques.

Contexte et problématique 2 / 2



Classification des arches aortiques selon Madhwal [1]

- La comparaison entre le diamètre de l'artère carotide commune gauche et la distance verticale entre le sommet de l'arche aortique et l'origine du tronc brachiocéphalique détermine le type de l'arche (I, II ou III).
- Dans la classification de Madhwal, chaque type d'arche possède ses propres caractéristiques anatomiques qui ont des implications cliniques dans la prévalence des maladies neurovasculaires.



Synthèse bibliographique

Relation entre le type de la crosse et la dissection aortique [2]

- Le type III est caractérisé par une augmentation de l'angulation et de la tortuosité des troncs supra-aortiques.
- L'arche de type III est fortement corrélée au risque de dissection aortique de type B et d'hématome intramural de type B.

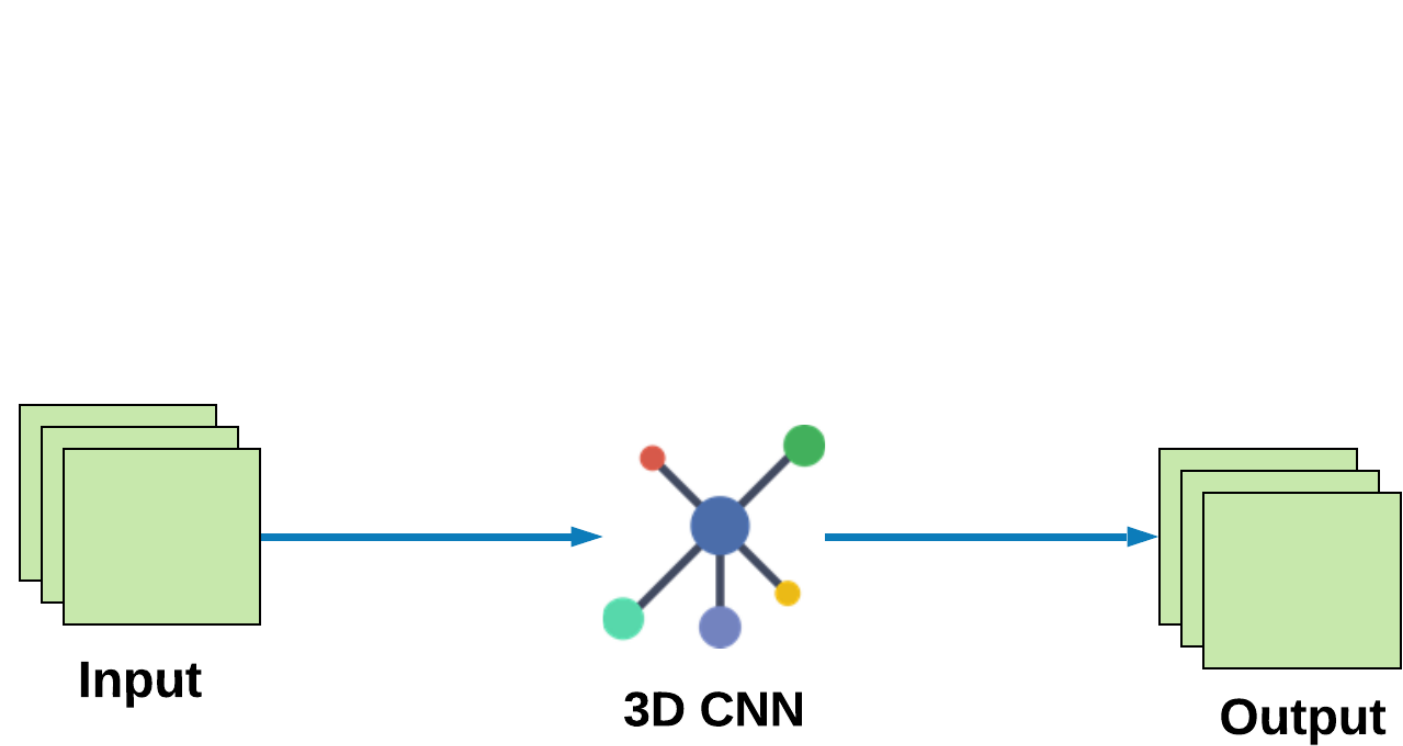
Impact des types d'arche sur le succès des procédures endovasculaires [3, 4]

- Le temps de manipulation du cathéter (TMC) est significativement influencé par le type de l'arche.
- Les patients avec une arche de type III ont un TMC plus long et sont associés à davantage de difficultés par rapport au type I ou II.

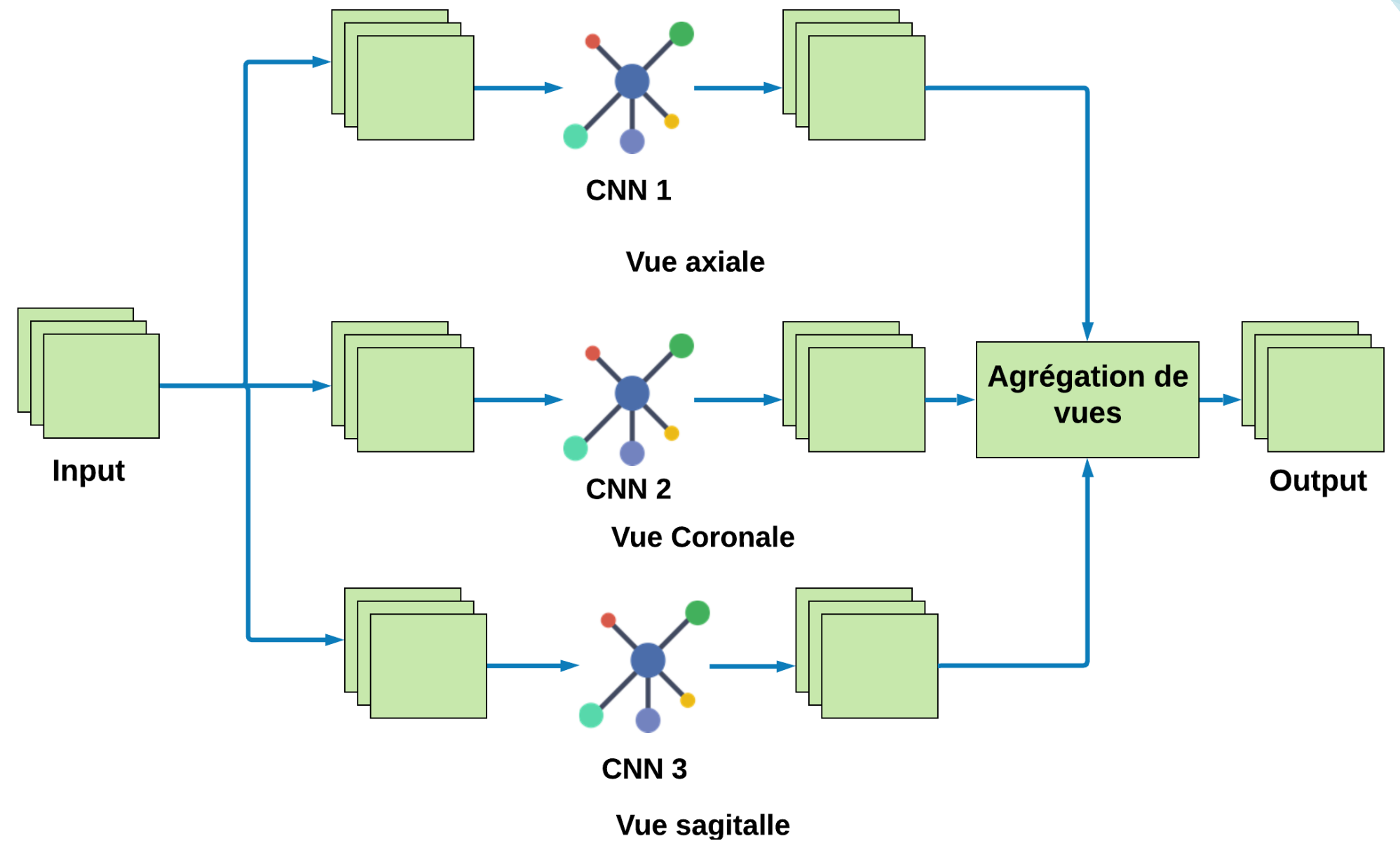
Impact de l'anatomie des troncs supra-aortiques sur le succès des procédures endovasculaires [5]

- La tortuosité et l'élongation des troncs supra-aortiques prolongent significativement le délai de revascularisation lors d'une thrombectomie mécanique.

Deep learning et segmentation aortique



Utilisation d'un 3D Inception U-Net pour la localisation et segmentation de la valve aortique en scanner coronaire [6].

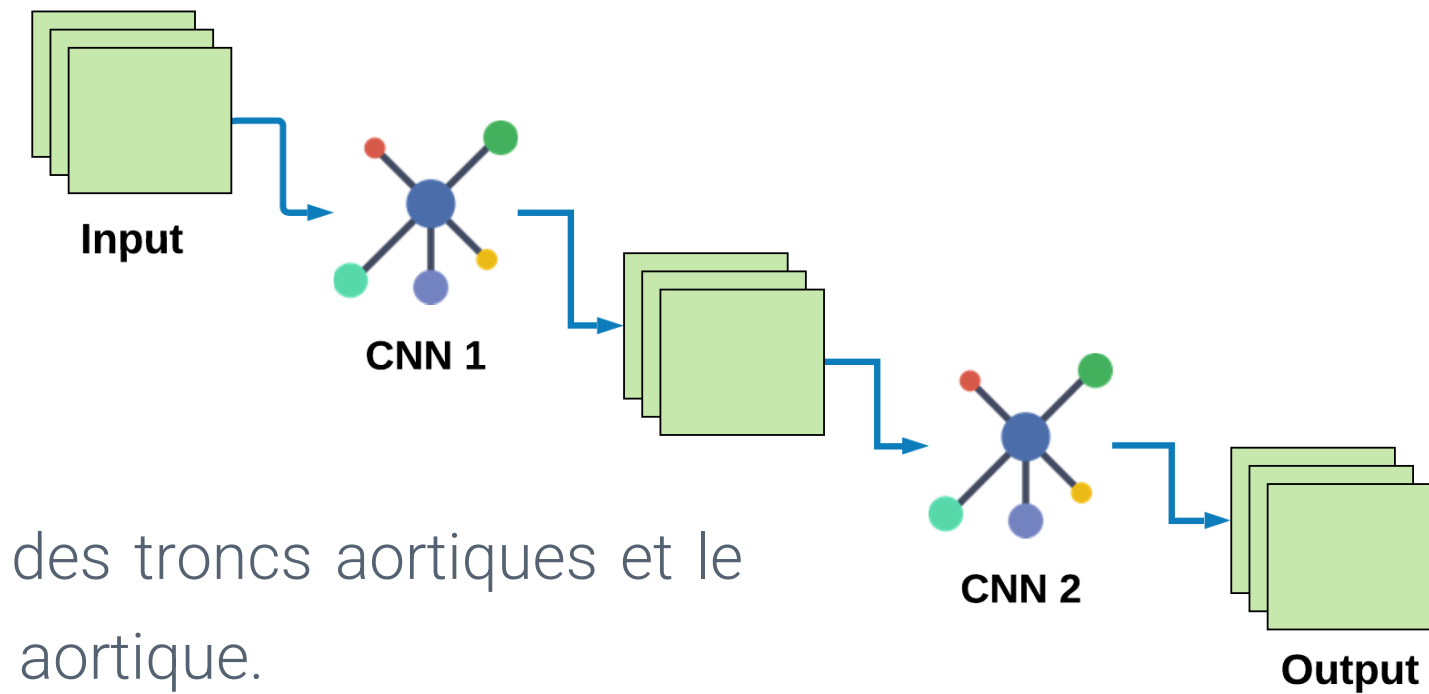


Utilisation de l'architecture U-Net pour la segmentation de la paroi aortique par agrégation de classifications des voxels dans les coupes axiales, sagittales et coronales des volumes CTA [7].

Deep learning et segmentation aortique

■ Pipeline de segmentation multi-étapes de la dissection aortique type B sur des volumes CTA [8].

■ Utilisation de CNNs en cascade, le premier pour la segmentation des troncs aortiques et le second pour la segmentation du faux canal artériel de la dissection aortique.



Pipeline en cascade [8]





Segmentation aortique

Base d'images d'apprentissage

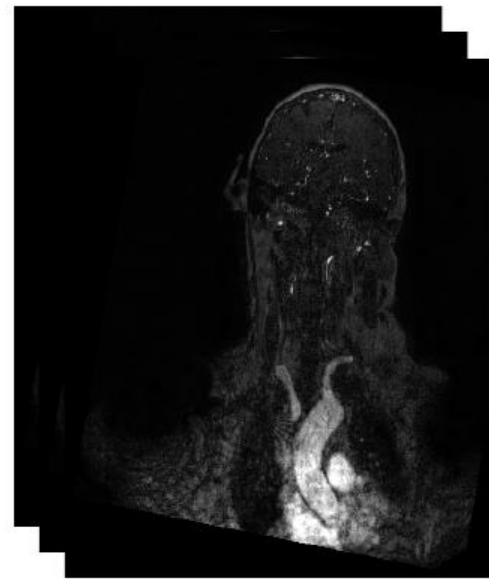
- Le jeu de données utilisé dans notre étude a été fourni par le département de neuroradiologie de la Fondation Ophtalmologique Adolphe de Rothschild, Paris, France.

Présentation de l'ensemble de données

- 27 patients entre 31 et 95 ans (moyenne de 72 ans, 59% d'hommes).
- ARM 3T englobant la crosse de l'aorte, les troncs supra-aortiques et les vaisseaux intracrâniens.
- Les types II ou III ont été observés chez 18,5% des patients, contre 63 % de type I.
- 6 849 coupes coronales : 250 coupes (en moyenne) de 256×256 pixels
- La base d'images n'est pas homogène :
La plupart des volumes ARM ont une résolution de $0,495 \times 0,495 \times 0,500$ mm après interpolation.
- Temps d'imagerie = 69 s.

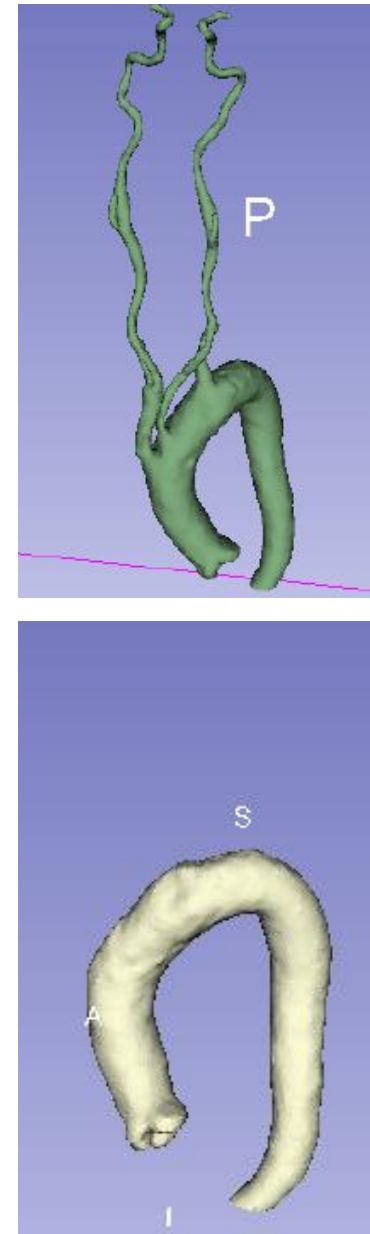
Base d'images d'apprentissage

Annotation des volumes



materialise mimics
care suite

Segmentation semi-automatique



Aorte (arches + troncs supra-aortiques)



Arches aortiques uniquement

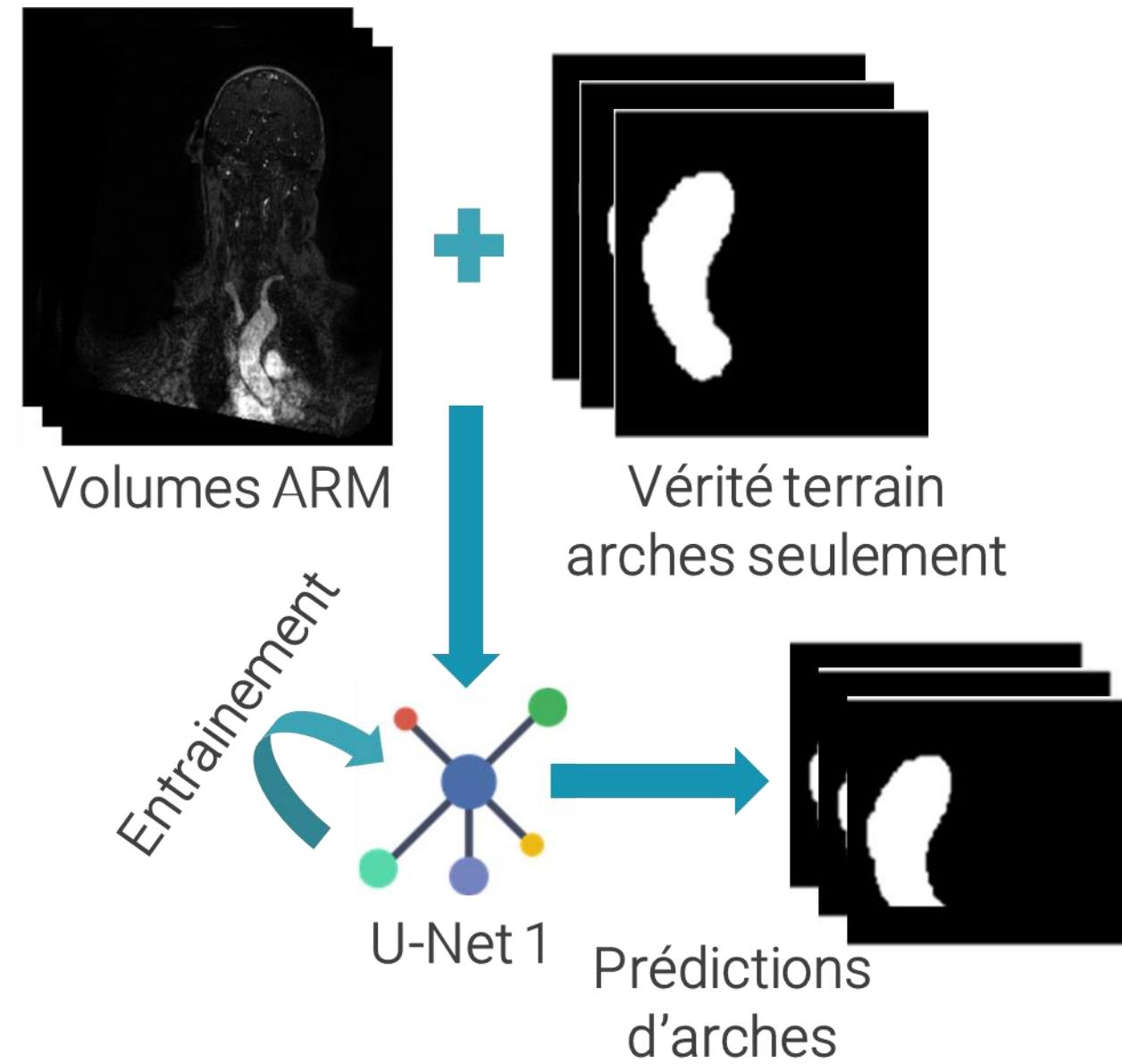


Validation et correction

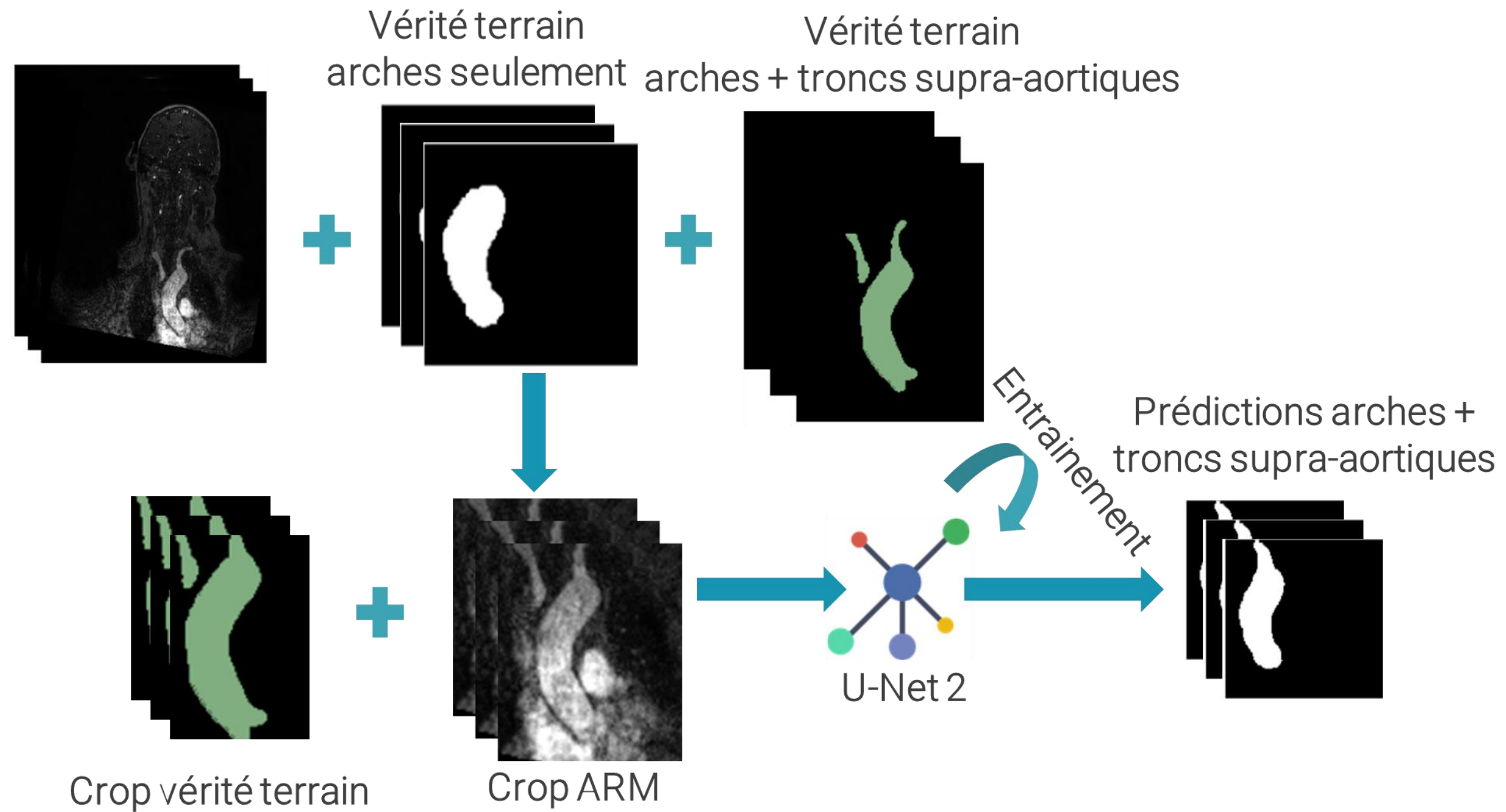
Prétraitement des images

- Rééchantillonnage de l'ensemble d'images en utilisant l'interpolation **spline** à une résolution isotrope de **1 × 1 × 1 mm**.
- Normalisation des intensités des volumes ARM (valeurs moyennes et écart-type).
- Augmentation de données en utilisant des opérations aléatoires (rotations, translations et déplacements) en s'assurant de ne pas dénaturer l'ARM d'origine.

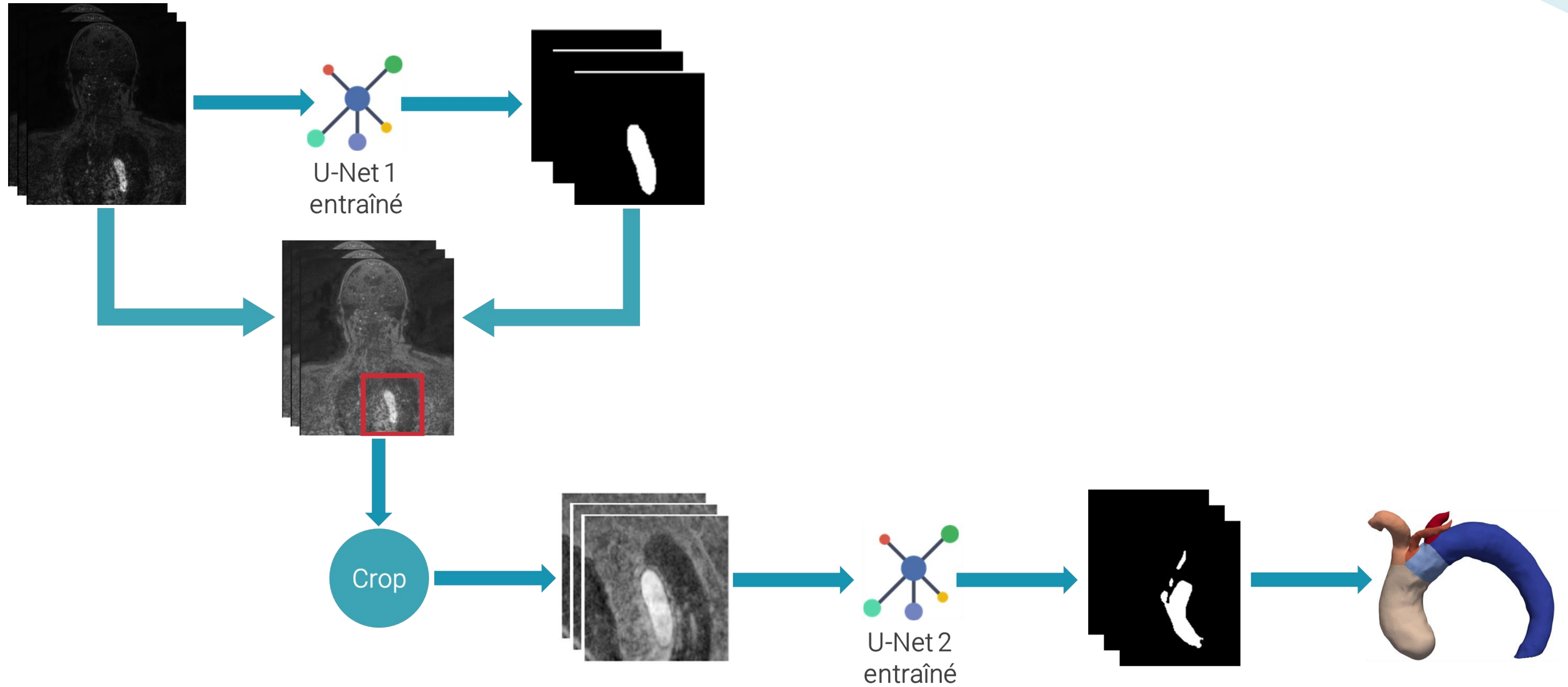
Pipeline de caractérisation anatomique



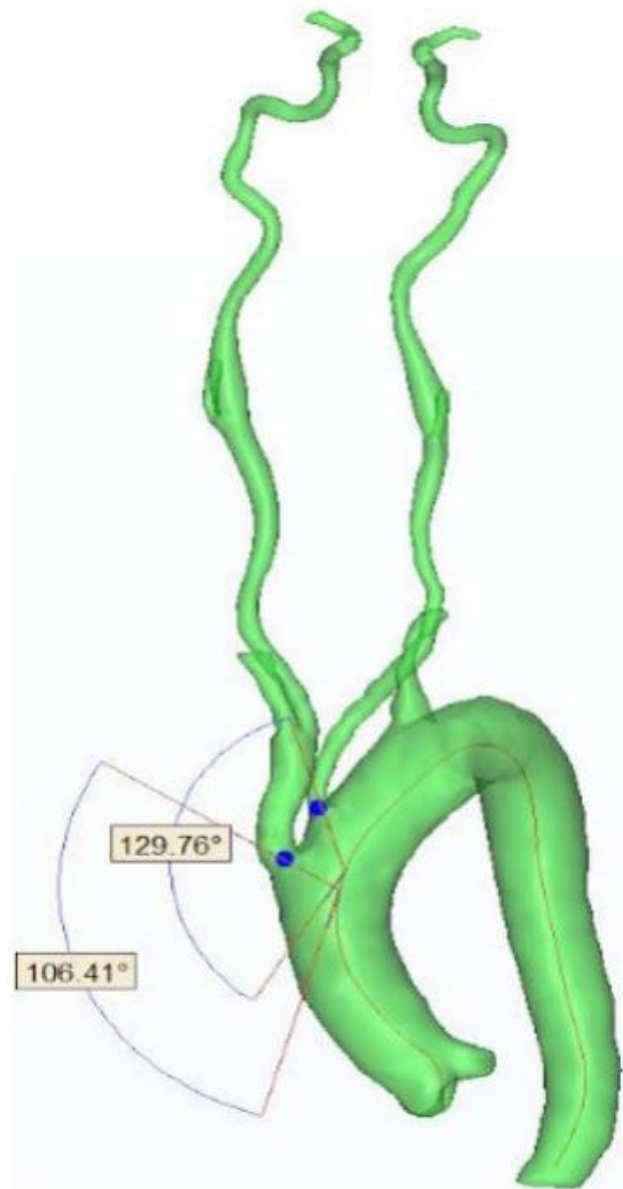
Pipeline de caractérisation anatomique



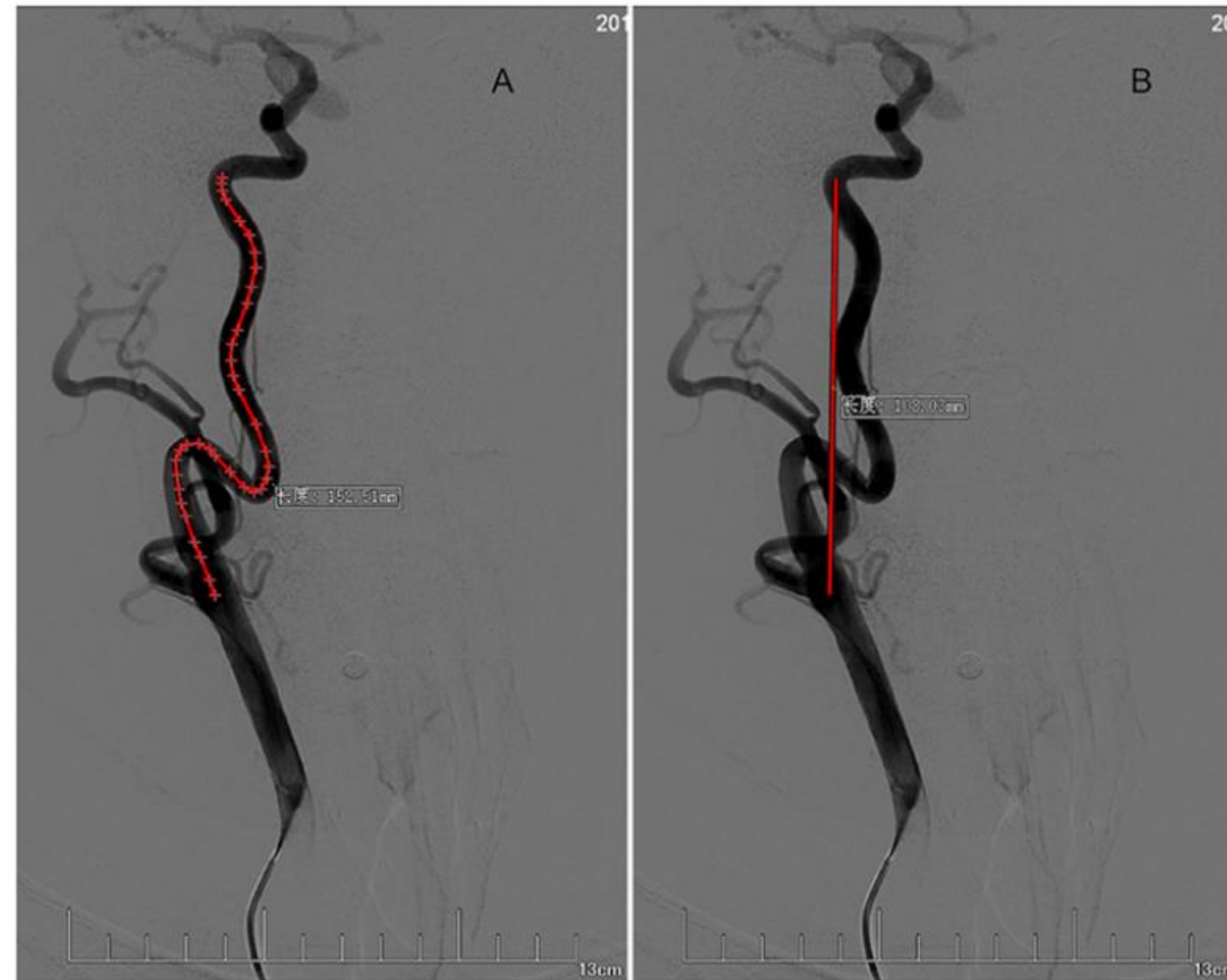
Pipeline de caractérisation anatomique



Caractérisation anatomique



Angles de décollages



Indice de tortuosité



Courbes inversées

Résultats de segmentation

Organisation du dataset

| Train | Validation | Test |
|-------------|------------|------------|
| 20 patients | 2 patients | 5 patients |

Hyperparamètres

- **Evaluation des résultats** : Dice Similarity Coefficient (DSC), IOU, Rappel et Précision.
- **Batch size** : 8 pour U-Net 1 (localisation), 32 pour U-Net 2 (segmentation).
- **Learning rate** : 10^{-4} diminuant d'un facteur de 0,9 avec une valeur de patience fixée à 5 epochs si aucune amélioration n'a été constatée sur le DSC de l'ensemble de validation.
- **Optimiseurs** : SGD, Adam et AdaBelief.
- **Loss** : Focal Tversky (généralisation de la DICE avec exposant focal).
- Nous avons considéré les architectures **Attention U-Net et Inception U Net, en plus de l'U-Net standard.**

Résultats de segmentation

- Les différents modèles ont été exécutés pendant 150 epochs en 3 exécutions avec initialisation aléatoire pour chaque optimiseur.

Module de localisation (U-Net standard)

| Optimiseur | DSC du Test | IOU du Test | Précision de Test | Rappel Test |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|
| SGD | 81.51 % | 75.93 % | 82.96 % | 88.59 % |
| Adam | 88.11 % | 83.79 % | 94.58 % | 88.07 % |
| Adabelief | 89.65 % | 85.75 % | 93.75 % | 91.08 % |

Module de segmentation (Inception U-Net)

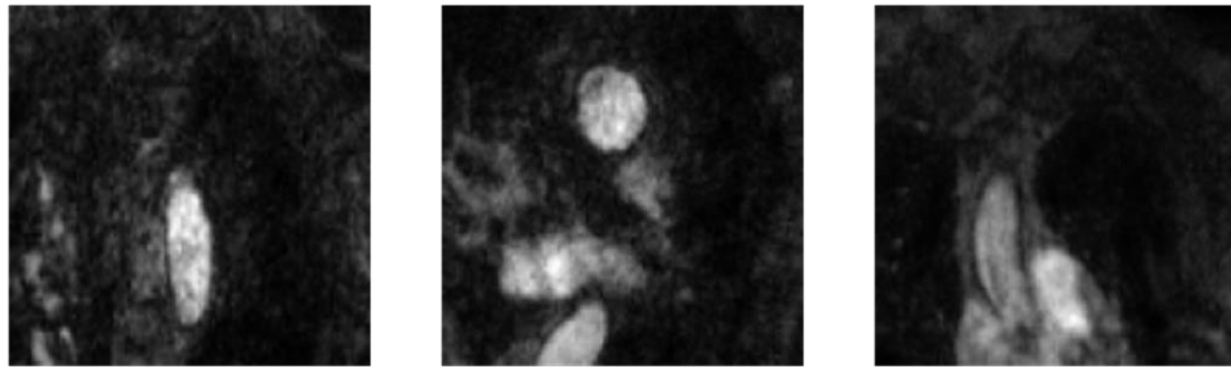
| Optimiseur | DSC du Test | IOU du Test | Précision de Test | Rappel Test |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|
| SGD | 79.25 % | 71.33 % | 71.09 % | 92.56 % |
| Adam | 87.73 % | 82.11 % | 82.84 % | 93.36 % |
| Adabelief | 88.07 % | 82.56 % | 84.10 % | 93.80 % |

Ecart
diminué

Résultats de segmentation

Résultats de segmentation des coupes ARM

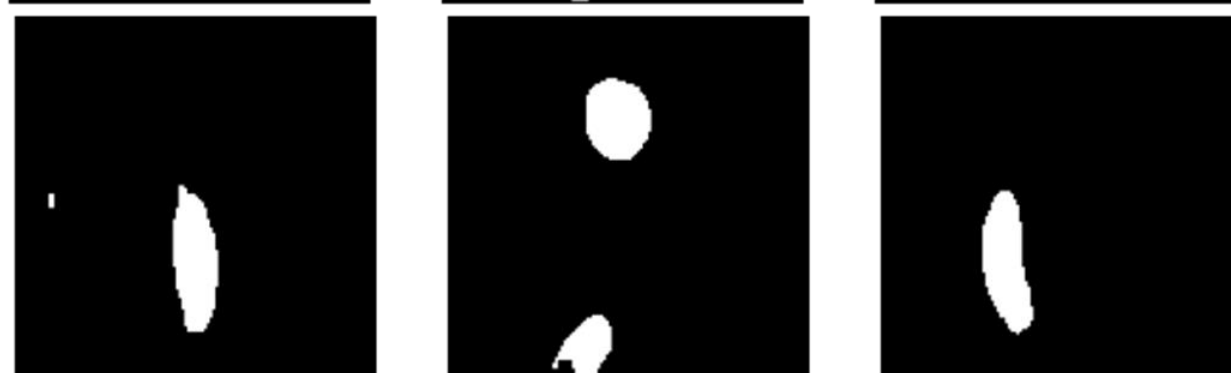
MRA



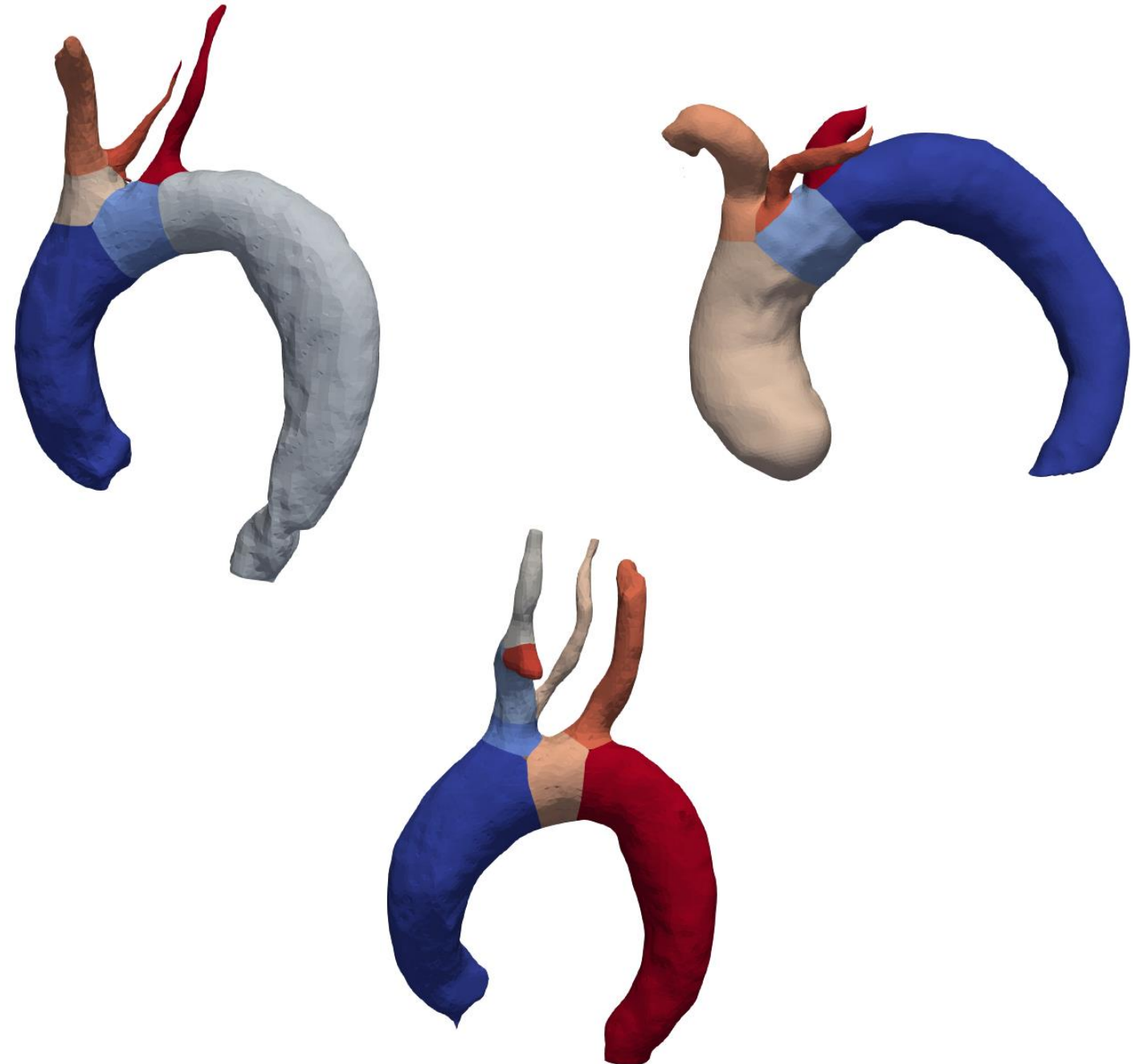
Référence
médecin



Prédictions



Résultats des reconstructions 3D



Conclusion



Réalisation d'un pipeline basé CNN pour la localisation et la segmentation automatique des crosses à des fins de caractérisation géométrique.

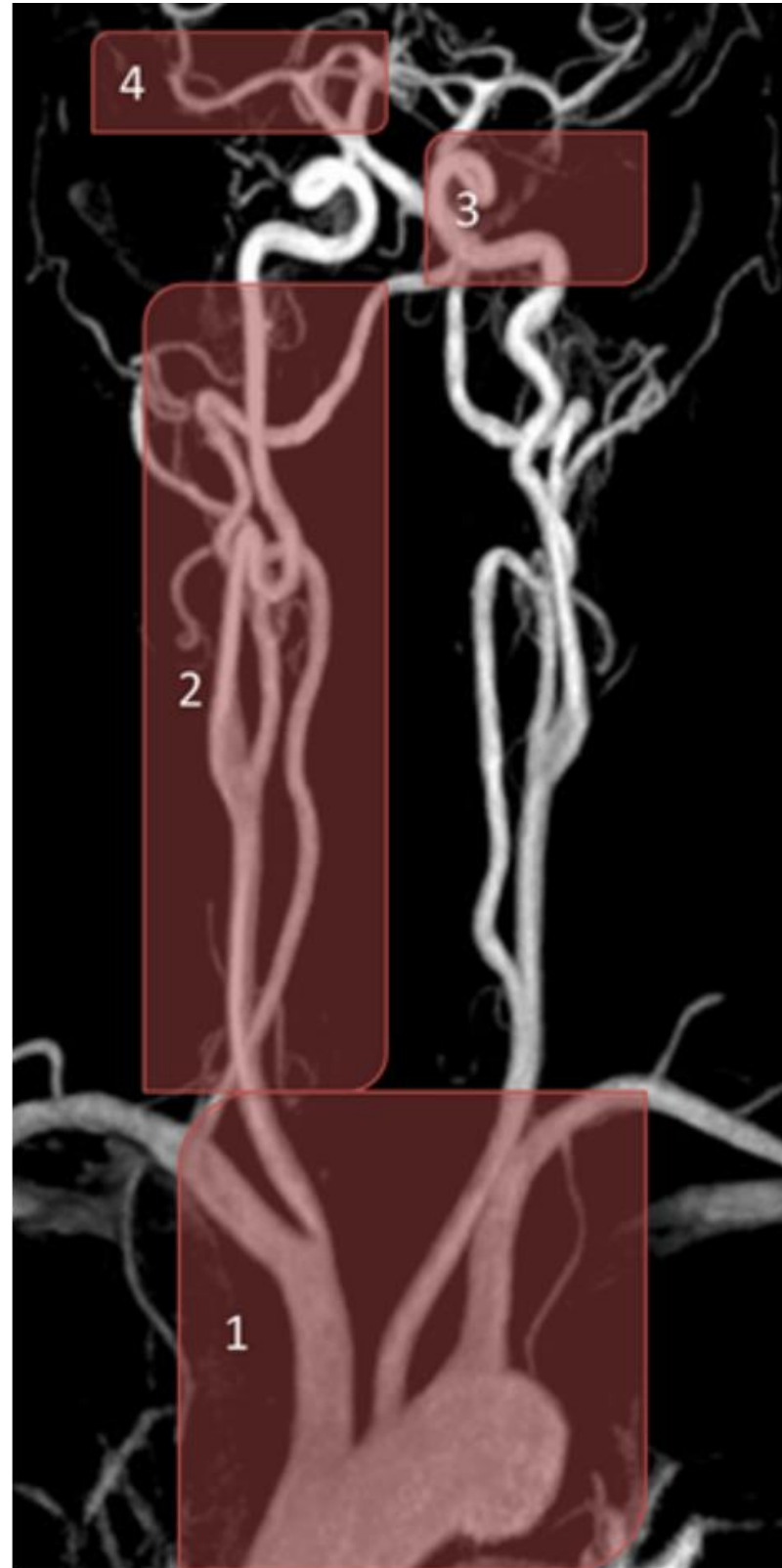


Validation quantitative par comparaison à la référence médecin avec une bonne précision de 82.56%.



Modélisation 3D de l'arche aortique pour une caractérisation anatomique essentielle en neuroradiologie interventionnelle.

Perspectives



Structures vasculaires de différentes tailles : le diamètre des vaisseaux sanguins diminue en remontant au cerveau.
La segmentation devient ainsi plus fine en passant de l'arche aortique au troncs supra-aortiques.

- Enrichissement de la base de volumes MRA par des vérités-terrain robustes et éventuellement partageables.
- Amélioration de l'architecture deep learning pour prendre en considération le rétrécissement du diamètre des vaisseaux pour une segmentation et une caractérisation complète de l'arche et de ses bifurcations supra-aortiques.

Bibliographie

- 01 S. Madhwal, V. Rajagopal, D. L. Bhatt, C. T. Bajzer, P. Whit low, and S. R. Kapadia, "Predictors of difficult carotid stenting as determined by aortic arch angiography," *J. Invasive. Cardiol.*, vol. 20, pp. 200–204, 2008.
- 02 M. M. Marrocco-Trischitta et al., "Prevalence of type III arch configuration in patients with type B aortic dissection," *Eur. J. Cardiothorac. Surg.*, vol. 56, no. 6, pp. 1075–1080, 2019.
- 03 F. Burzotta et al., "Clinical and procedural impact of aortic arch anatomic variants in carotid stenting procedures," *Catheter. Cardiovasc. Interv.*, vol. 86, no. 3, pp. 480–489, 2015.
- 04 S. Shen et al., "Effect of aortic arch type on technical indicators in patients undergoing carotid artery stenting," *J. Int. Med. Res.*, vol. 47, no. 2, pp. 682–688, 2019.
- 05 M. Mokin et al., "Semi-automated measurement of vascular tortuosity and its implications for mechanical thrombectomy performance," *Neuroradiology*, vol. 63, no. 3, pp. 381–389, 2021.
- 06 S. R. Ravichandran et al., "3D Inception U-Net for Aorta Segmentation using Computed Tomography Cardiac Angiography," in *2019 IEEE EMBS International Conference on Biomedical Health Informatics (BHI)*, 2019, pp. 1–4.
- 07 A. Fantazzini et al., "3D Automatic Segmentation of Aortic Computed Tomography Angiography Combining Multi-View 2D Convolutional Neural Networks," *Cardiovasc. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 5, pp. 576–586, 2020.
- 08 D. Chen et al., "Multi-stage learning for segmentation of aortic dissections using a prior aortic anatomy simplification," *Med. Image Anal.*, vol. 69, p. 101931, 2021.

Merci pour votre
attention!

Des QUESTIONS?