

TP- Projet - Traitement d'images médicales

Domaine : Analyse de réseaux vasculaires cérébraux

Introduction

Ce projet a pour objectif principal de comparer des réseaux vasculaires cérébraux avec la présence d'anévrismes sur plusieurs séquences différentes.

Dans le projet, vous utiliserez différentes séquences d'IRM et fichiers VTK pour les comparer.

Le projet devra être réalisé en C++ ou Python (Notebook ou non) en utilisant au minimum une bibliothèque utilisant ITK (ITK, SimpleITK,...).

Un rapport technique écrit au format électronique sera fourni incluant le détail des méthodologies utilisées, des images pour chaque étape du projet ainsi que les codes sources et une notice d'installation et d'utilisation.

Les grandes étapes de la réalisation du projet sont les suivantes :

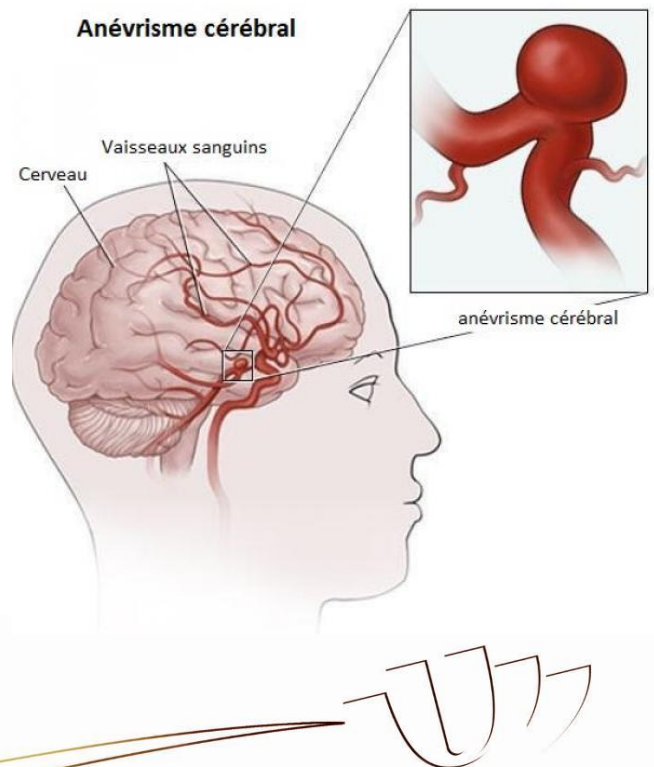
- Lecture des images IRM
- Filtrage des images
- Segmentation et binarisation du réseau vasculaire cérébral / séquence ou fichier
- Représentation surfacique
- Recalage des séquences
- Comparaison des Flux

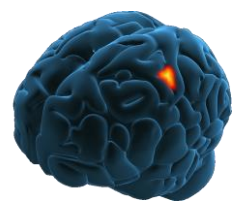
Contexte Médical

1) Qu'est-ce qu'un anévrisme cérébral ?

Un anévrisme cérébral est une dilatation anormale de la paroi d'une artère - ou plus rarement d'une veine - au niveau du cerveau. Cette distension entraîne la création d'une poche de sang, appelée «sac anévrismal». Or lorsque les artères se dilatent, elles s'amincissent et se fragilisent. Et plus la paroi est fragile, plus l'artère se dilate. C'est un cercle vicieux. Avec le temps, le mécanisme peut faire craindre une fuite ou, plus grave, une rupture, parfois fatale.

Cette dilatation peut être d'origine héréditaire (environ 10% des anévrismes) ou être lié à une malformation congénitale non héréditaire. Ces anévrismes se créent souvent à des endroits où la pression artérielle est la plus forte, notamment au niveau de bifurcation des vaisseaux.





Un anévrisme cérébral se situe généralement au niveau du polygone de Willis

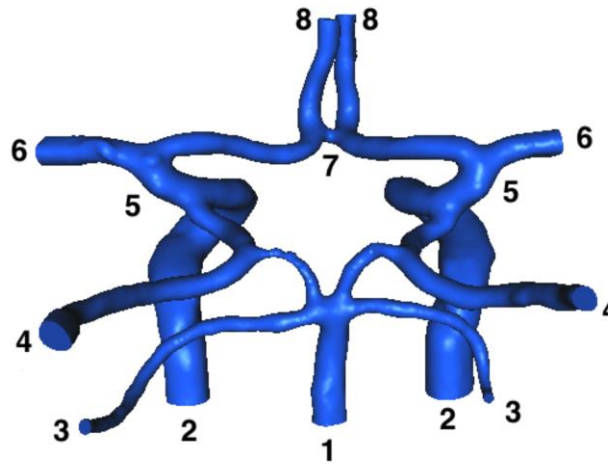


Figure 1 : Polygone de Willis : 1 : Tronc basilaire; 2 : Artère carotide interne; 3 : Artère cérébelleuse supérieure; 4 : Artère cérébrale postérieure; 5 : Artère communicante postérieure; 6 : Artère cérébrale moyenne; 7 : Artère communicante antérieure; 8 : Artère cérébrale antérieure

2) Conséquences physiopathologiques

De nombreuses hémorragies sous arachnoïdienne sont dues à une rupture de petits anévrismes cérébraux qu'il convient de détecter, caractériser et suivre. Différentes études prospectives faites par angiographie et autopsie ont montré que 3.6 à 6% de la population possède un anévrisme intracrânien. Avec l'avènement de nouvelles techniques moins invasives, de plus en plus d'anévrismes intracrâniens asymptomatiques sont découverts. Le problème de la prise en charge des anévrismes non rompus reste cependant extrêmement controversé car, même si le risque de rupture est faible pour de petits anévrismes, il existe néanmoins un risque important de mortalité ou de morbidité en cas de rupture.

La méthode habituellement utilisée pour la détection et la caractérisation des anévrismes est l'angiographie numérisée ou Digital Subtraction Angiography (DSA). Cependant, la DSA est une technique d'imagerie coûteuse, invasive impliquant un risque significatif de complications neurologiques pour le patient, évalué à 0.3-1.3% des cas, le principal avantage de cette modalité restant la haute résolution obtenue avec la plupart des systèmes.

Parmi les techniques moins invasives, il existe principalement l'Angio-scanner et l'Angio-IRM. Ces deux techniques ont par ailleurs été évalué et ont montré une sensibilité et spécificité similaire.

L'angio-scanner ou CT-Scan, bien que non invasif et obtenant une bonne sensibilité pour la détection des anévrismes, reste une technique irradiante pour le patient.

L'angiographie par résonance magnétique (ARM) constitue donc une alternative plus confortable pour le patient, non invasive, non irradiante, et comportant peu de risque. De plus, l'augmentation du champ magnétique de 1.5 Tesla à 3 Tesla permet une amélioration de la résolution spatiale et permet même de concurrencer l'angiographie standard pour la détection des anévrismes intracrâniens.

Il existe 3 principales séquences d'ARM utilisées pour la détection des anévrismes, le temps de vol 3DTOF (Time of Flight), l'ARM elliptique centrée avec Gadolinium et le Contraste de Phase (PCA).

Le 3DTOF repose sur le phénomène d'entrée de coupe en acquisition axiale avec un temps d'acquisition assez long (4-10min) et a montré une bonne spécificité et une bonne sensibilité dans le dépistage des anévrismes.



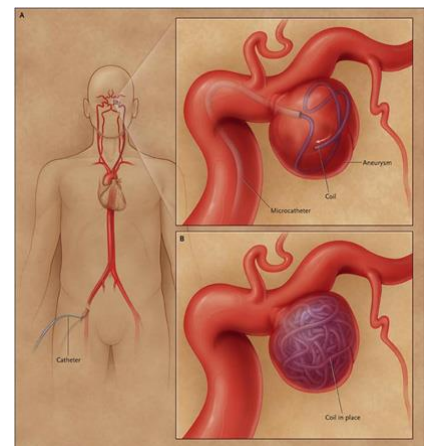
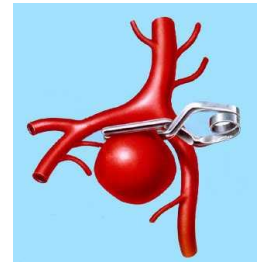
La séquence d'ARM elliptique centrée ou contrast-enhanced MRA repose sur une acquisition centrée elliptique de l'espace des k avec injection de produit de contraste, ce qui permet de réduire le temps d'acquisition à 2 min environ. Cette technique prometteuse a déjà donné de bons résultats au niveau de la spécificité et de la sensibilité pour la détection de sac anévrysmaux.

L'angiographie en contraste de phase (PCA) repose sur le déphasage des spins mobiles soumis à un gradient bipolaire. Pour un gradient bipolaire d'intensité et de durée déterminées, le déphasage des spins mobiles est proportionnel à leur vitesse. Cette séquence est habituellement utilisée pour calculer la vitesse du flux sanguin mais le module permet d'obtenir une imagerie angiographique.

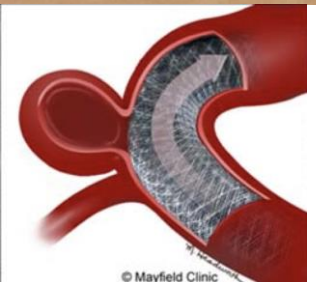
3) Traitement

On peut traiter un anévrisme cérébral de deux manières :

- par la neurochirurgie : craniotomie sous anesthésie générale et mise en place d'un clip (petite pincette métallique) à la base de l'anévrisme.
- par le traitement endovasculaire. Dans ce cas, on ne pratiquera pas de craniotomie (ouverture de la boîte crânienne) mais on abordera l'anévrisme par des cathéters spéciaux en suivant le trajet de vos artères. Le cathéter porteur est introduit le plus souvent dans votre artère fémorale au pli de l'aîne; il est dirigé dans vos artères sous contrôle radioscopique; à l'intérieur de ce cathéter, on introduira un tube souple et fin qui sera placé à l'intérieur de l'anévrisme. L'anévrisme sera rempli de spires très souples de platine pour l'exclure de la circulation sanguine (coils). Ce type de traitement est pratiqué par un médecin neuroradiologue interventionnel.



En complément des coils, il est possible de mettre un stent, prothèse tubulaire maillée permettant de renforcer le vaisseau porteur. Si le maillage du stent est très dense, il s'agit d'un Flow Diverter permettant de rediriger le flux dans le vaisseau porteur et ainsi d'exclure de l'anévrisme.

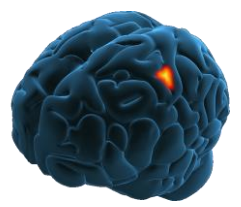


Méthodologie

Afin de pouvoir comparer les volumes plusieurs étapes seront nécessaires :

- Lecture des images IRM
- Filtrage des images
- Segmentation et binarisation du réseau vasculaire cérébral / séquence ou fichier
- Représentation surfacique
- Recalage des séquences
- Comparaison des Flux

Tout d'abord, après la lecture des images au format dicom, un filtrage pourra être nécessaire pour s'affranchir du bruit sans dénaturer les contours. Ensuite, afin d'optimiser le recalage, une segmentation puis une binarisation du réseau vasculaire cérébral sera peut être nécessaire tout en prenant garde de ne pas exclure les anévrismes. Il faudra ensuite effectuer un recalage des images pour se mettre dans le même repère. Une fois recalées, une représentation surfacique permettra de se représenter spatialement les différents volumes.



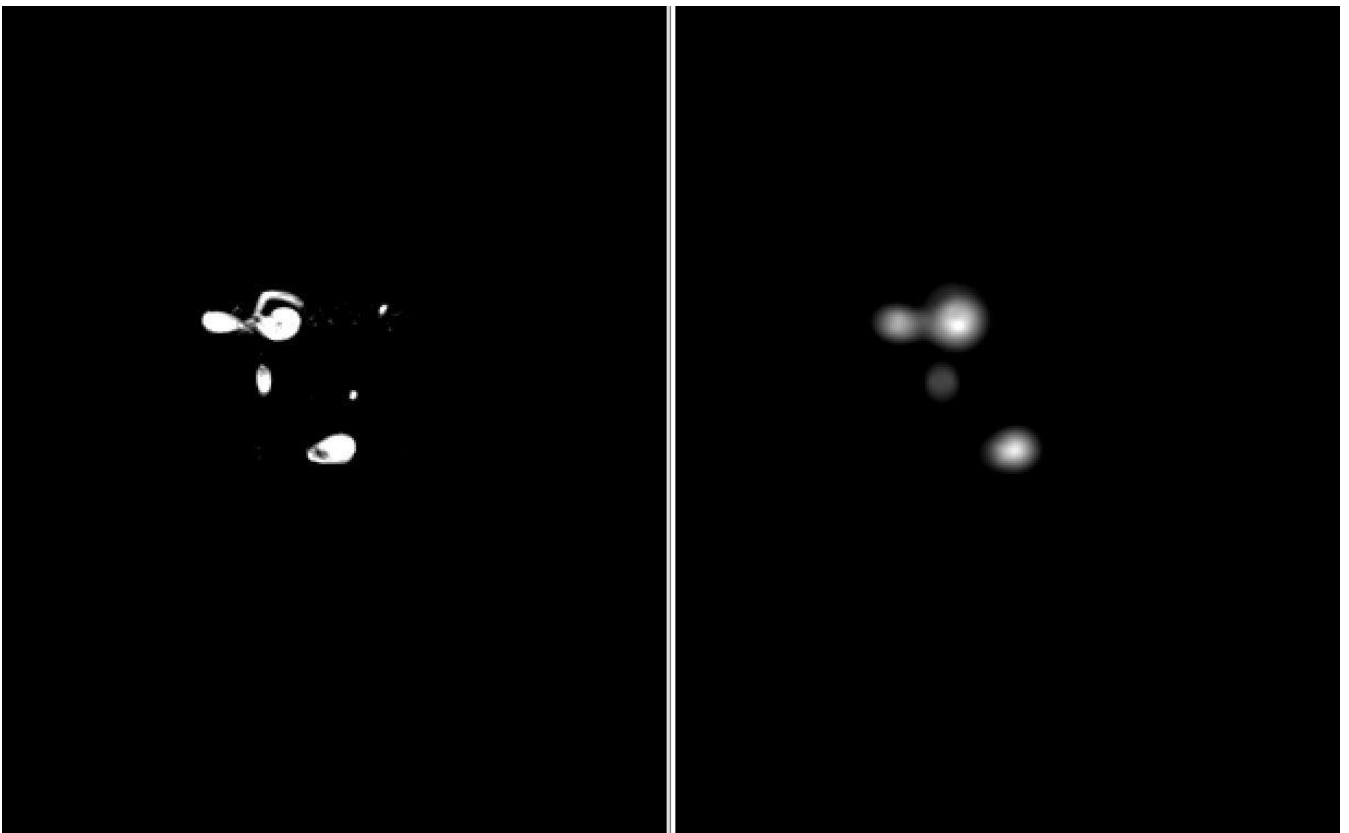
0. Lecture des images IRM en Dicom

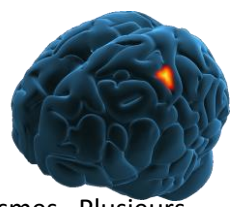
Voici les volumes IRM disponibles en Dicom :

- Ax_3DTOF : Imagerie haute résolution en TOF en axiale (Série de référence)
- Sag_GRE : Série d'amplitude extraite d'une imagerie de Flux en Echo de gradient en saggitale
- Sag_GRE2 : Autre série d'amplitude extraite d'une imagerie de Flux en Echo de gradient
- Sag_Optm : Série d'amplitude optimisée en temps extraite d'une imagerie de Flux en EG
- Sag_PCA : Série d'amplitude extraite d'une imagerie de Flux en Contraste de Phase

I. Filtrage des images

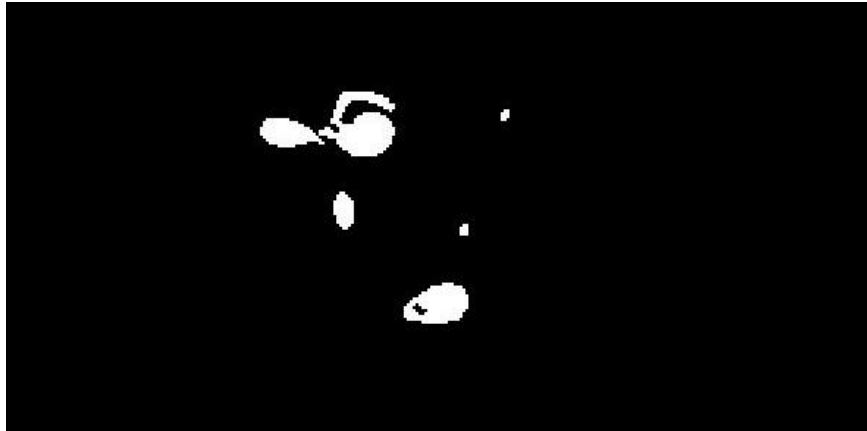
L'objectif du filtrage consiste à diminuer le bruit tout en préservant les contours des vaisseaux. L'exemple ci-dessous est donc à proscrire...





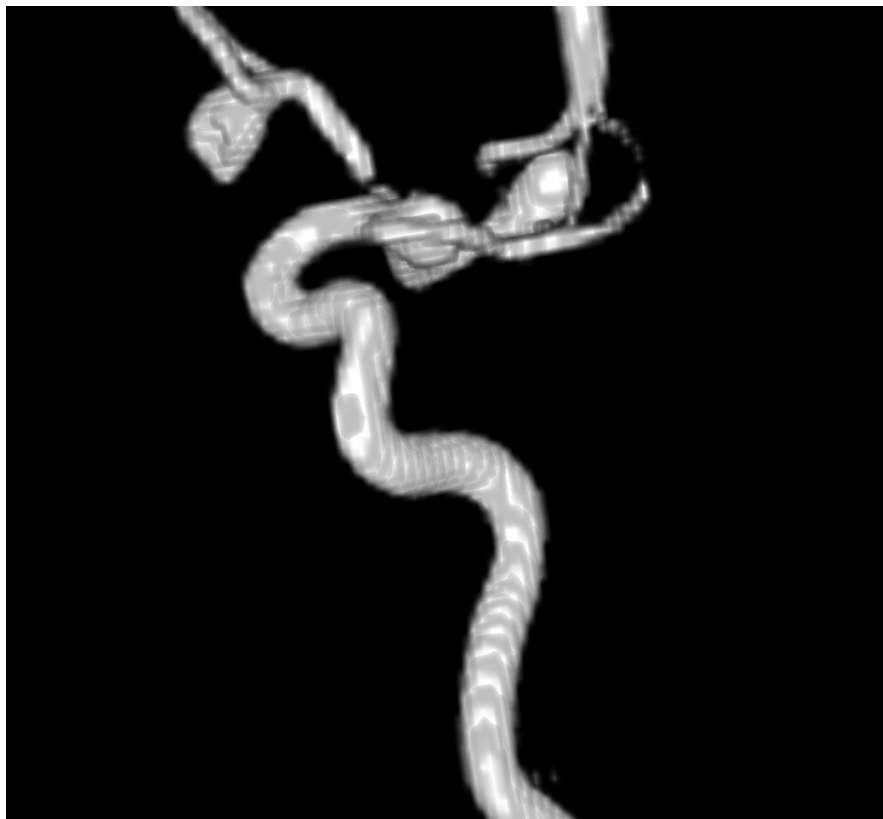
II. Segmentation et binarisation du réseau vasculaire cérébral

L'objectif est d'obtenir un volume précis et continu sans exclure ni vaisseaux ni les anévrismes. Plusieurs méthodes de segmentation sont possibles. Une segmentation en utilisant les composantes connexes sera à privilégier afin d'avoir une segmentation continue.



III. Visualisation surfacique des résultats

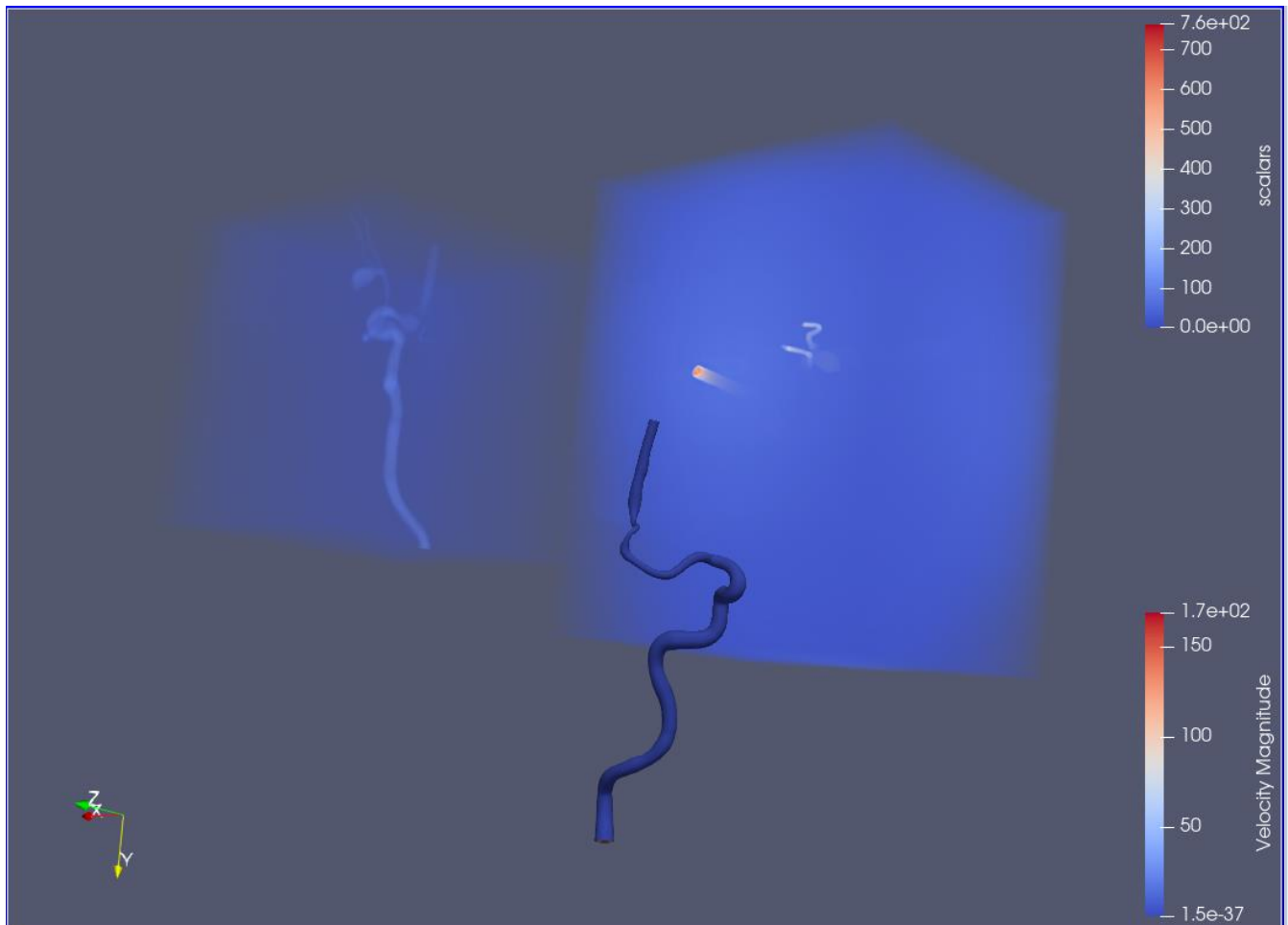
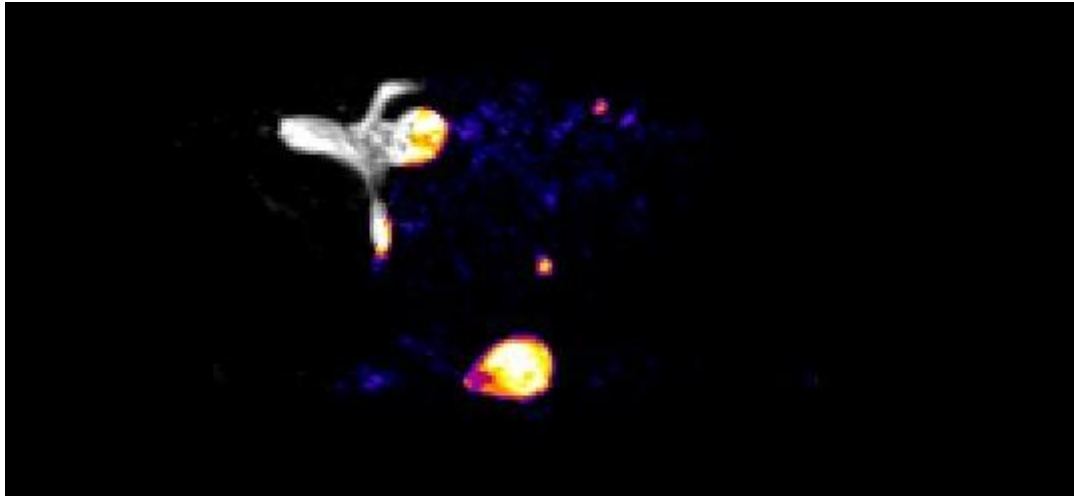
Cette étape a pour but de vérifier les segmentations en 3D ainsi que l'orientation de chaque séquences.





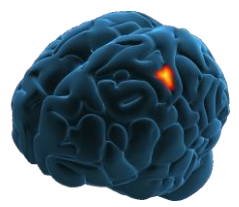
IV. Recalage des séquences

L'objectif est de remettre l'ensemble des séquences et volumes VTK dans le même repère. Un recalage rigide devrait suffire. Il est possible de fusionner 2 séries pour vérifier le recalage. Les matrices de recalage entre les séquences seront à fournir.



Problème de recalage : Exemple de superposition sur Paraview des 4 volumes du répertoire VTK_Files.





Voici les volumes VTK disponibles dans le répertoire VTK_Files :

- Ax_3DTOF : Imagerie haute résolution en TOF en axiale (Série de référence)
- Sag_GRE : Volume d'amplitude extraite d'une imagerie de Flux en Echo de gradient en saggitale
- Sag_Flux : Volume VTK comprenant les vecteurs vitesse du flux et la magnitude
- Stokes : Volume VTK sans anévrisme issu de d'une simulation numérique comprenant les vecteurs vitesse, la magnitude et la pression.

V. Comparaison des flux

L'objectif est de comparer, après recalage, le volume de flux obtenu en IRM (Sag_Flux) avec le volume issu de la simulation numérique (Stokes). Chaque volume contient les 3 directions de vitesse permettant de construire des vecteurs. Une erreur pourra être calculée en faisant une différence au carré soit sur chacune des vitesses, soit sur la magnitude des vecteurs. Une différence angulaire pourra également être envisager.

