

Rapport de stage pour TAKENOKO : Technologies avancées pour
l'ingénierie de la vision

Construction de vues tridimensionnelles de l'œil à partir d'images par résonance magnétique

mai-août 2025

Giraud Alice

BIOMED

Encadré par : Toshihiko Matsuo – Bao Chaomulige

Table des matières

Liste des figures	1
1 Remerciements	3
2 Introduction	4
3 Mobilité au Japon	5
3.1 Vie quotidienne : logement-transport-nourriture	5
3.1.1 Logement	5
3.1.2 Transport	5
3.2 Vie universitaire	5
3.3 Santé	6
3.4 Voyages	6
4 Stage-Partie scientifique	8
4.1 Context	8
4.2 Reconstruction 3D et Analyse Morphométrique	8
4.2.1 Méthodes de Reconstruction	8
4.2.1.1 Méthode 1 : Traitement d'image classique	9
4.2.1.2 Méthode 2 : Logiciel Revoras	9
4.2.1.3 Méthode 3 : Deep Learning	10
4.2.2 Analyse Morphométrique	11
4.2.2.1 Paramètres calculés	11
4.2.2.2 Résultats	11
4.3 Conclusion	12

Liste des figures

3.4.1	Quelques lieux emblématiques visités lors des voyages au Japon	7
a	Château de Himeji	7
b	Vue d'Osaka	7
c	Pavillon d'or, Kyoto	7
4.2.1	Segmentation spécifique de l'œil sur différentes coupes axiales. La structure est capturée de manière cohérente à différents niveaux de l'axe Z mais insuffisante.	9
a	Segmentation spécifique de l'œil : coupe 37	9
b	Segmentation spécifique de l'œil : coupe 45	9
c	Segmentation spécifique de l'œil : coupe 59	9
4.2.2	Vérification des masques générés par Deep Learning sur différentes coupes axiales. .	11
a	Segmentation par Deep Learning : coupe 27	11
b	Segmentation par Deep Learning : coupe 32	11
c	Segmentation par Deep Learning : coupe 37	11

CHAPITRE 1

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier sincèrement la Dre Bao Chaomulige pour son soutien constant tout au long de ce stage, tant sur le plan administratif que scientifique. Sa réactivité, son accompagnement quotidien et ses encouragements continus ont grandement facilité mon intégration et la réussite de cette expérience. Elle a été une encadrante exceptionnelle, m'apportant autant sur le plan scientifique que personnel, notamment dans la découverte de la vie au Japon.

Je remercie également le Dr Sugimoto pour sa disponibilité, ses conseils méthodiques, son intérêt pour mon travail et le temps qu'il m'a consacré. Je lui suis aussi reconnaissante de m'avoir introduite auprès de ses étudiants et permis de partager des moments culturels enrichissants.

Ma gratitude s'adresse aussi au Professeur Toshihiko Matsuo pour m'avoir offert cette opportunité précieuse de stage au sein de son équipe. J'ai beaucoup apprécié sa confiance, son ouverture et son accompagnement tout au long de mon séjour.

Je tiens également à remercier le Dr Chenevier, grâce à qui cette collaboration a pu voir le jour, me permettant ainsi de vivre ce stage passionnant.

Je remercie aussi chaleureusement l'ensemble du personnel administratif du département et de la faculté de l'Université d'Okayama pour leur accueil et leur aide précieuse dans toutes les démarches administratives.

Enfin, je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à l'Association des Anciens Boursiers Francophones du JSPS pour son soutien financier à travers la bourse TAKENOKO. Cette aide de 1 000 euros m'a été d'un grand soutien et a contribué de manière significative à la réalisation de ce projet. Grâce à cette bourse, j'ai pu vivre pleinement cette expérience à l'international, tant sur le plan scientifique que culturel, dans les meilleures conditions possibles. Un grand merci en particulier à Dorina Papanastasiou qui a beaucoup contribué à la faisabilité de ce projet et dont la rencontre fut très enrichissante.

CHAPITRE 2

Introduction

Dans le cadre de la validation de ma deuxième année à l'école d'ingénieurs Phelma (Grenoble INP), j'ai effectué un stage de recherche de dix semaines. J'ai eu la chance de rejoindre une équipe au Japon, à l'université d'Okayama, pour participer à un projet mêlant imagerie par résonance magnétique (IRM) et traitement d'image, un domaine qui m'intéresse tout particulièrement.

Le stage s'inscrivait dans un projet de recherche consacré à la construction de vues tridimensionnelles de l'œil à partir d'images IRM, dans le but de mieux comprendre les mécanismes liés au strabisme. Cette affection, fréquente chez l'enfant comme chez l'adulte, se caractérise par un défaut d'alignement des yeux, dont les causes restent encore mal comprises.

Encadrée par le professeur Toshihiko Matsuo, l'équipe d'accueil mène des travaux innovants sur les origines génétiques et morphologiques du strabisme, notamment à travers l'étude de modèles animaux. Mon rôle a été de traiter et d'analyser des données IRM issues de souris génétiquement modifiées, afin de reconstruire la morphologie oculaire en 3D et de contribuer à la comparaison avec des modèles témoins.

Ce stage m'a permis de découvrir un environnement de recherche international et pluridisciplinaire, tout en développant des compétences en imagerie médicale, programmation et analyse de données.

CHAPITRE 3

Mobilité au Japon

3.1 Vie quotidienne : logement-transport-nourriture

3.1.1 Logement

La majorité des étudiants internationaux sont logés au Kuwanoki Dormitory, une résidence étudiante gérée par l'Université d'Okayama, située au 6-1, Tsushima-Kuwanoki-cho, Kita-ku, Okayama-shi 700-0084, Japon. Chaque résident dispose de sa propre cuisine, salle de bain et toilettes. Le loyer mensuel est d'environ 80 euros, auxquels s'ajoutent 42 euros de charges (eau, électricité, internet) et environ 9 euros pour le gaz. Ce dortoir est situé à 10 minutes à pied du campus Tsushima mais il faut compter 1h en bus ou 25 min en vélo pour le campus Shikata. La majorité des étudiants travaillent au campus Tshushima, personnellement cela dépendait des périodes (certains jours je devais me rendre à Shikata).

3.1.2 Transport

À Okayama, la grande majorité des étudiants japonais se déplacent à vélo. J'ai donc rapidement fait le choix d'en acheter un d'occasion pour environ 50 euros, bien que la location soit également possible. La ville est aussi bien desservie par un réseau de bus urbains très ponctuels, mais ceux-ci cessent de circuler relativement tôt en soirée.

3.2 Vie universitaire

À notre arrivée au Japon, nous avons dû effectuer de nombreuses démarches administratives afin de pouvoir nous installer et débiter notre stage dans de bonnes conditions. Parmi les étapes essentielles figuraient l'obtention de la carte étudiante ainsi que la souscription à l'assurance maladie nationale, obligatoire pour tous les résidents.

Ces procédures peuvent s'avérer complexes, notamment en raison de la barrière de la langue. Alors que certains étudiants étaient relativement livrés à eux-mêmes, j'ai eu la chance d'être accompagnée par ma maître de stage, dont le soutien a été précieux. Son aide s'est révélée indispensable, en particulier lors de l'enregistrement à la mairie (City Hall), où les employés ne parlent généralement pas anglais. De manière générale, les démarches administratives se répartissent entre l'administration de l'université, la mairie et le bureau de poste.

Concernant le travail en lui-même, nous étions intégrés à des laboratoires regroupant d'autres étudiants, souvent de nationalités diverses. Cette diversité culturelle rend l'environnement particulièrement enrichissant, tant sur le plan humain que professionnel. Les horaires étaient relativement souples : la plupart des personnes arrivaient entre 9 h et 10 h, et terminaient leur journée vers 16 h. Une grande autonomie nous était accordée, ce qui permettait d'adapter notre emploi du temps en fonction de nos besoins et des exigences du projet.

3.3 Santé

Comme mentionné précédemment, il est obligatoire de souscrire à une assurance accident dès le début du stage. Le coût de cette assurance varie en fonction du lieu et des modalités du stage, et peut atteindre jusqu'à 70 euros.

Par la suite, en fonction de la durée de votre séjour au Japon, vous recevrez plusieurs courriers relatifs à l'assurance santé nationale. Cette assurance est généralement gratuite pour les étudiants, ce qui constitue un avantage non négligeable. Cependant, il est impératif de résilier cette assurance en quittant le territoire japonais, ce qui entraîne des frais administratifs d'environ 30 euros.

Pour ma part, je n'ai pas eu à consulter de médecin ni à recourir aux services d'urgence. Toutefois, selon certains camarades, les frais médicaux peuvent être relativement élevés si l'on n'est pas correctement couvert.

3.4 Voyages

Le Japon dispose d'un réseau de transport extrêmement développé et efficace, ce qui rend les déplacements très accessibles, même pour des courts séjours. Il est ainsi possible de voyager presque tous les week-ends et de découvrir de nombreuses régions du pays.

En ce qui concerne les transports ferroviaires, on distingue principalement trois types de trains :

Les trains locaux (local trains) : peu coûteux, ils desservent de nombreuses gares mais sont relativement lents et nécessitent souvent plusieurs correspondances. Les trains express ou rapides (express/rapid trains) : plus rapides et légèrement plus chers, ils offrent un bon compromis entre temps de trajet et budget. Les Shinkansen : véritables trains à grande vitesse, ils permettent de

relier toutes les villes même les plus éloignées très rapidement (par exemple, le trajet jusqu'à Tokyo depuis Okayama prend environ 3 heures) mais leur prix est nettement plus élevé (110 euros l'aller pour Tokyo).

Grâce à cette accessibilité, nous avons eu l'opportunité de visiter plusieurs villes emblématiques du Japon, telles qu'Osaka, Kyoto, Kurashiki, Hiroshima, Miyajima, Kobe, Himeji (et son célèbre château blanc), Tokyo, Nara, ainsi que plusieurs petites îles. Chaque voyage fut une expérience culturelle unique et enrichissante.



(a) Château de Himeji



(b) Vue d'Osaka



(c) Pavillon d'or, Kyoto

FIGURE 3.4.1 – Quelques lieux emblématiques visités lors des voyages au Japon

CHAPITRE 4

Stage-Partie scientifique

4.1 Contexte

Le strabisme est un trouble courant de la vision, causé par un mauvais alignement des yeux. Si les origines de cette pathologie sont souvent neurologiques ou musculaires, des recherches récentes suggèrent également un lien avec la génétique et la morphologie de l'œil.

Dans ce cadre, ce stage s'est déroulé à l'**Université d'Okayama, au Japon**, au sein d'un projet de recherche visant à mieux comprendre les causes anatomiques du strabisme à l'aide d'outils d'imagerie médicale.

Objectif : L'objectif principal de mon travail était de valider des observations antérieures sur la taille de l'œil chez des souris génétiquement modifiées, en utilisant une approche de **reconstruction 3D à partir d'IRM**. En complément, j'ai également développé plusieurs outils pour la segmentation, la visualisation et l'analyse des images, afin de mieux comprendre la forme globale de l'œil.

Ce stage m'a permis d'acquérir une expérience concrète en traitement d'images biomédicales, tout en contribuant à un projet de recherche international.

4.2 Reconstruction 3D et Analyse Morphométrique

4.2.1 Méthodes de Reconstruction

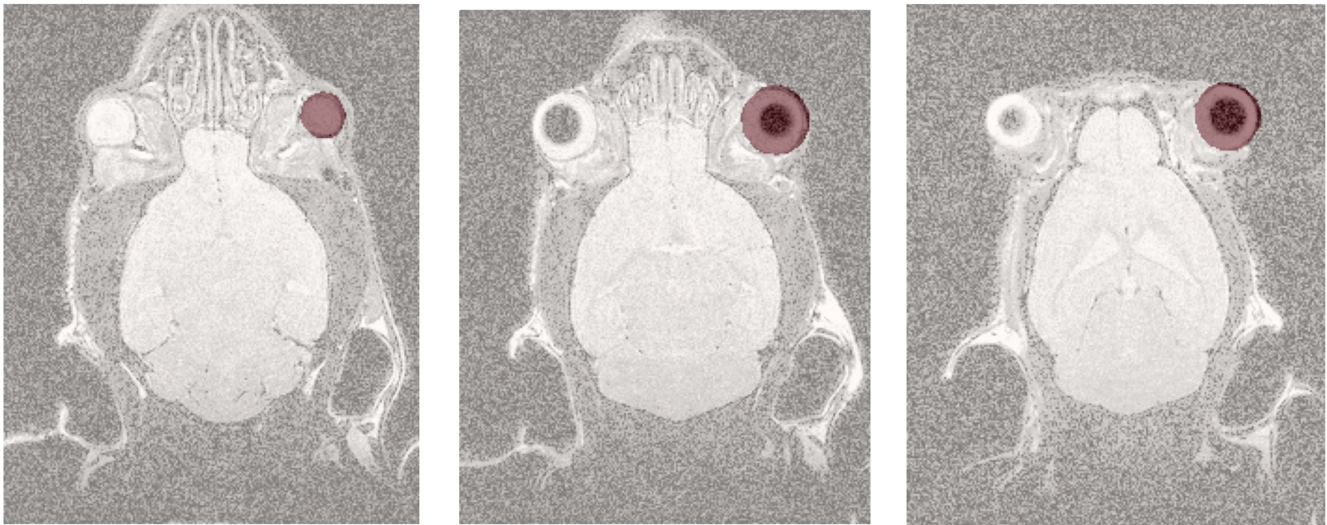
Trois approches ont été mises en œuvre pour reconstruire en 3D les yeux de souris à partir d'IRM.

4.2.1.1 Méthode 1 : Traitement d'image classique

Les séries d'images IRM sous format dicom ont été converties en volumes 3D à l'aide de SimpleITK. Un prétraitement par normalisation d'intensité (méthode de Nyúl) a permis d'harmoniser les valeurs voxel. Plusieurs tentatives de segmentation ont été testées (watershed, croissance de région), sans succès. Une méthode personnalisée centrée sur l'œil a alors été développée, combinant :

- croissance régionale autour d'un point initial dans le vitré,
- expansion morphologique contrôlée par une sphère anatomique,
- post-traitement par composant connexe et remplissage.

Cette approche a permis une reconstruction cohérente mais avec une précision limitée (indice de Dice moyen ≈ 0.60), insuffisante pour des mesures fiables.



(a) Segmentation spécifique de l'œil : coupe 37 (b) Segmentation spécifique de l'œil : coupe 45 (c) Segmentation spécifique de l'œil : coupe 59

FIGURE 4.2.1 – Segmentation spécifique de l'œil sur différentes coupes axiales. La structure est capturée de manière cohérente à différents niveaux de l'axe Z mais insuffisante.

4.2.1.2 Méthode 2 : Logiciel Revoras

Le logiciel Revoras, utilisé dans une université partenaire, propose des segmentations semi-automatiques précises. Les masques extraits ont été reconstruits via la méthode `marching_cubes`, avec export en format GLB. Cette méthode a montré une amélioration nette (Dice ≈ 0.89), rendant les reconstructions exploitables pour l'analyse morphométrique.

4.2.1.3 Méthode 3 : Deep Learning

Afin d'améliorer significativement la qualité des segmentations, une approche par **apprentissage profond** a été mise en place. Un modèle **U-Net** a été choisi pour sa performance reconnue dans le domaine de la segmentation biomédicale. L'architecture repose sur un encodeur **ResNet34** préentraîné sur ImageNet, ce qui permet d'exploiter des caractéristiques visuelles générales, tout en s'adaptant à la nature spécifique des IRM.

Préparation des données. Le jeu de données est composé de 910 images IRM de têtes de souris. Pour l'entraînement du modèle, 728 images ont été annotées manuellement à l'aide du logiciel **3D Slicer**, en délimitant précisément la région de l'œil sur chaque coupe. Les masques ont été convertis au format PNG pour compatibilité avec le pipeline PyTorch. Les données ont ensuite été divisées en trois sous-ensembles : 70% pour l'entraînement, 15% pour la validation et 15% pour le test.

Entraînement du modèle. Les images ont été normalisées et redimensionnées à 220×276 pixels. L'entraînement a été réalisé avec l'optimiseur **Adam** (taux d'apprentissage : 1×10^{-4}), sur 25 époques, avec une fonction de coût basée sur la **Dice Loss**, adaptée aux problèmes de classes déséquilibrées. L'arrêt anticipé a été utilisé pour éviter le surapprentissage.

Résultats. Le modèle a obtenu une performance remarquable, avec un **indice de Dice moyen de 0.96** sur le jeu de test. Les courbes d'apprentissage ont montré une convergence stable, sans surajustement. L'inspection visuelle des masques prédits montre une excellente correspondance avec les structures anatomiques attendues, y compris dans les zones de faible contraste ou de géométrie complexe.

Intégration dans le pipeline 3D. Les masques générés ont été automatiquement intégrés dans le pipeline de reconstruction décrit précédemment. Leur précision a permis une reconstruction 3D fidèle de la forme réelle de l'œil, avec une continuité spatiale cohérente entre les coupes. Grâce à cette méthode, les maillages obtenus sont suffisamment fiables pour les mesures morphométriques de précision.

Conclusion. Cette approche deep learning constitue la solution la plus efficace testée au cours du projet. Elle combine précision, robustesse et automatisation, et constitue une base solide pour des analyses morphologiques à plus grande échelle sur d'autres structures anatomiques ou modèles animaux.

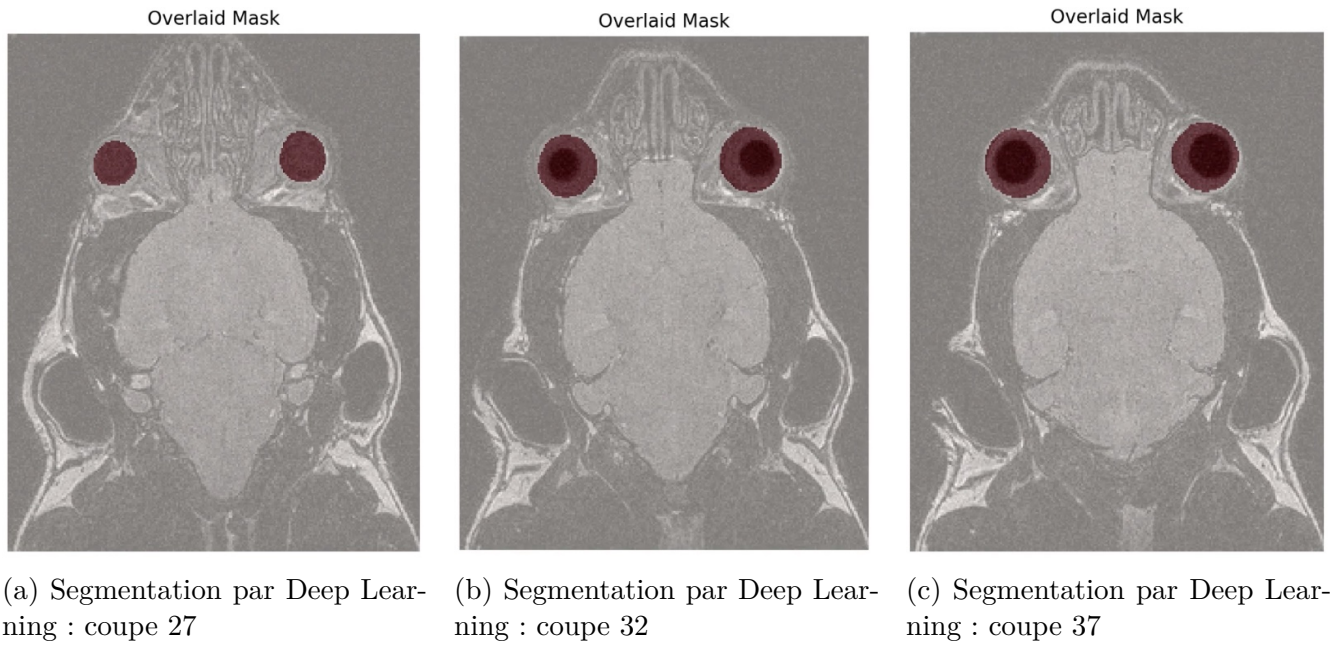


FIGURE 4.2.2 – Vérification des masques générés par Deep Learning sur différentes coupes axiales.

4.2.2 Analyse Morphométrique

L'analyse a été menée sur les reconstructions des yeux de 10 souris (5 WT, 5 $MGST2^{-/-}$) pour détecter d'éventuelles différences anatomiques liées au gène $MGST2$.

4.2.2.1 Paramètres calculés

À partir des maillages 3D obtenus, les paramètres suivants ont été extraits via **Trimesh** :

- **Volume** et **surface** : tailles globales.
- **Rayon équivalent**, **sphéricité**, **compacité** : descripteurs géométriques.
- **Longueurs des axes principaux** : distribution spatiale de la forme.

4.2.2.2 Résultats

Les tests statistiques (t -test de Student) ont révélé des différences significatives entre WT et $MGST2^{-/-}$ pour :

- **Volume**
- **Surface totale**
- **Rayon équivalent**

Les souris $MGST2^{-/-}$ présentent des yeux significativement plus grands, mais sans changement dans la compacité, la sphéricité ni le ratio longueur/diamètre, suggérant une croissance volumétrique sans déformation.

4.3 Conclusion

Cette étude a permis de développer un pipeline complet pour la reconstruction et l'analyse 3D d'yeux de souris à partir d'IRM. Trois méthodes de segmentation ont été comparées, l'approche par apprentissage profond étant la plus performante.

L'analyse morphométrique a mis en évidence une augmentation significative de la taille des yeux chez les souris $MGST2^{-/-}$, sans altération de leur forme globale. Ces résultats renforcent l'hypothèse d'un lien entre le gène $MGST2$ et le développement oculaire, en lien potentiel avec le strabisme.

Ce travail ouvre la voie à des analyses plus larges sur d'autres modèles anatomiques et paramètres anatomiques.