

SYSTÈME TOMOGRAPHIQUE POUR IMAGER LA MICROSTRUCTURE

SPÉCIFICATION DES EXIGENCES
(REQUIREMENTS SPECIFICATION)
GBM8970-P5OCT.002 v 1.0
06.10.2021



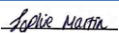
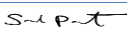
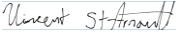
Nom	Matricule	Signature
Paul Bautin	1896287	
Arnaud Héroux	1955654	
Sophie Martin	1954552	
Sandra Parent	1909394	
Vincent St-Arnauld	1958692	

Table des matières

1	Introduction	4
2	Les intervenants	4
2.1	L'équipe de travail	4
2.2	Le client	4
2.3	Les usagers du produit.....	4
3	Les contraintes du projet	5
3.1	Les objectifs du produit final.....	5
3.2	L'environnement d'implémentation du dispositif	5
3.3	Liaisons avec d'autres produits (qui ne font pas partie du projet)	5
3.4	Les contraintes temporelles	6
3.5	Les contraintes budgétaires	6
3.6	Les faits	6
3.7	Les lois et les réglementations.....	6
	Les exigences fonctionnelles	7
3.8	Le travail.....	7
3.8.1	Le contexte	7
3.9	Le produit	8
3.9.1	Le mandat	8
3.9.2	Les usages	8
3.10	L'examen du produit final	9
4	Les exigences physiques et visuelles	9
4.1	Dimensions.....	9
4.2	Matériaux.....	9
5	Les exigences liées à L'utilisation	9
5.1	Facilité d'utilisation	9
5.2	Manuel de l'utilisateur	10
5.3	Accessibilité.....	10

SPÉCIFICATION DES EXIGENCES

GBM8970-P5OCT.002 v 1.0
06.10.2021

3 de 14

6	Les exigences de performance	10
6.1	Vitesse.....	10
6.2	Précision.....	10
6.3	Fiabilité / Tolérance à l'erreur.....	11
6.4	Nombre/durée d'utilisation	11
7	Les exigences de sécurité	11
7.1	Clientèle cible.....	11
7.2	Dangers.....	12
7.3	Équipement de sécurité suggéré	12
8	Les numéros d'identification des exigences	12

1 INTRODUCTION

L'imagerie de la matière blanche du cerveau permet de documenter les maladies neurologiques. Or, les modalités d'imagerie actuellement utilisées, comme l'imagerie par résonnance magnétique de diffusion (IRMd), ne permettent pas de précisément imager les enchevêtrements des neurones à une échelle inférieure à un voxel (d'environ 1 mm).

Pour imager la microstructure des neurones à une résolution de l'ordre du micron, un autre système d'imagerie est donc utilisé. La tomographie en cohérence optique (OCT) est un moyen d'imagerie par laser qui peut être utilisé pour imager la matière blanche dans le cerveau. L'imagerie par OCT ne permet toutefois pas de visualiser les fibres parallèles au faisceau optique, car elles apparaissent en ombragé. Ainsi, il est nécessaire de concevoir un dispositif miniature permettant la rotation de l'échantillon pour l'imagerie et la reconstruction de la matière blanche sous plusieurs angles. Pour ce faire, une nouvelle méthode d'OCT rotationnel (OCRT) est développée, qui sera la base de ce projet.

Le projet présenté dans le cadre du cours de projet final GBM8970 a donc deux objectifs. Premièrement, les étudiants doivent développer une méthode permettant de retirer et d'identifier la position d'un échantillon de cerveau murin de la taille d'un voxel d'IRMd. Deuxièmement, un dispositif miniature d'OCT doit être développé afin de permettre la rotation de l'échantillon cérébral et de faire la prise d'images sous plusieurs angles, produisant une reconstruction 2D isotrope de l'échantillon.

Le document suivant constitue les spécifications techniques pour le projet de système tomographique pour imager la microstructure. Il comprend les intervenants, les contraintes du projet, ainsi que les exigences fonctionnelles, physiques et visuelles, d'utilisation, de performance et de sécurité.

2 LES INTERVENANTS

2.1 L'équipe de travail

Le travail sera effectué par une équipe de cinq étudiants, soit Paul Bautin, Arnaud Héroux, Sophie Martin, Sandra Parent et Vincent St-Arnault. L'équipe est composée de trois étudiants de génie biomédical et de deux étudiants de génie physique. Ces étudiants devront établir les spécifications, le design, ainsi que les procédures de tests pour le produit final, afin de développer un prototype fonctionnel. Plusieurs personnes ressources seront disponible pour épauler les étudiants pendant leur travail, comme Patrick Delafontaine-Martel.

2.2 Le client

Le client est Joël Lefebvre PhD., un professeur et chercheur de l'UQAM. C'est le client qui a soumis le projet ci-contre à l'équipe et il servira de référence lors de l'élaboration de la solution. Le client approuvera les documents conçus lors des différentes étapes du projet, soient les spécifications, le design et les procédures de tests. C'est à lui que sera soumis le prototype final suite aux procédures de tests.

2.3 Les usagers du produit

La solution développée dans le cadre de ce projet sera utilisée à des fins de recherche, dans le laboratoire du client.

3 LES CONTRAINTES DU PROJET

3.1 Les objectifs du produit final

Les objectifs du produit final sont les suivants. Il faudra :

1. Développer une méthode d'extraction d'un voxel d'IRM ($1-2 \text{ mm}^3$) à partir d'une tranche d'une épaisseur de 1-2 mm de tissu cérébral provenant d'un cerveau de murin, sans l'endommager ou le déformer, tout en gardant précisément la localisation à l'aide d'une image.
2. Développer un dispositif tomographique miniature dans un environnement à index de réfraction constant et adapté au tissu afin d'imager l'échantillon sous plusieurs angles en le tournant à l'aide de l'imagerie microscopique par OCT (*Optical Coherence Tomography*).

3.2 L'environnement d'implémentation du dispositif

Le dispositif devra pouvoir être utilisé en laboratoire à des fins de recherche sur l'imagerie médicale, plus précisément la neurophotonique, dans les conditions suivantes :

- Dans un laboratoire contenant les mesures nécessaires afin de protéger les usagers des lasers en cours d'utilisation.
- Dans une pièce relativement restreinte et confinée afin de limiter le passage de la lumière ambiante à travers l'OCT.
- Sur un échantillon millimétrique étant donné la petite distance de travail de l'OCT, qui est d'environ 5mm entre l'objectif et l'échantillon.

3.3 Liaisons avec d'autres produits (qui ne font pas partie du projet)

Le prototype doit être lié avec l'OCT existant créé par l'équipe du Dr. Joël Lefebvre et manipulé par Patrick Delafontaine-Martel. L'OCT nécessite un ordinateur qui contient Jupyter Notebook (extension de Python) afin de contrôler les acquisitions. Des ordinateurs ou serveurs disponibles avec suffisamment de RAM pour reconstruire des images de plusieurs Mb seront nécessaires.

3.4 Les contraintes temporelles

Le projet s'étale sur deux trimestres, soit le trimestre d'automne 2021 et celui de l'hiver 2022, donc il s'étale de septembre 2021 à mai 2022. Chaque étape du projet contient des limites temporelles bien définies.

D'abord, les spécifications fonctionnelles, soit le présent document, sont complétées en date du 6 octobre. Ensuite, le document de design doit être créé et contenir les éléments suivants : étude de faisabilité préliminaire incluant les coûts, la planification de la programmation du microscope et la présentation du design mécanique. Il doit être remis d'ici le 23 décembre 2021 et en même temps, une remise à mi-parcours doit être effectuée, c'est-à-dire l'obtention d'un système partiellement complet ainsi qu'une démonstration fonctionnelle du prototype.

Au trimestre de l'hiver 2022, les procédures de validation devront être établies et la validation du montage en laboratoire devra être effectuée d'ici le 30 janvier 2022. Ensuite, la phase de tests est mise en marche et contient l'acquisition de données afin de valider le système complet dans un contexte défini, ici l'acquisition d'une image OCRT d'un cerveau de murin. Finalement, le prototype fonctionnel final est dû pour le 7 mai 2021, ce qui inclut également les résultats des tests.

3.5 Les contraintes budgétaires

Le projet a un budget de 200\$ par étudiant, ce qui porte le total à 1000\$ étant donné que l'équipe est composée de 5 étudiants.

3.6 Les faits

- L'échantillon fourni est une tranche d'une épaisseur de 1-2 mm d'un cerveau de murin dans une solution permettant de préserver l'échantillon (Paraformaldehyde (PFA)).
- Le système OCT de l'équipe du Dr. Joël Lefebvre est fonctionnel et adapté afin d'obtenir des images *B-scan* et *C-scan* pour le positionnement du l'échantillon et la reconstruction de l'image.

3.7 Les lois et les réglementations

Le produit est développé à des fins de recherche dans un laboratoire spécialisé en neurophotonique, donc il n'y a pas de lois ni de réglementations liées à la commercialisation du produit. Cependant, l'utilisation d'un OCT n'est pas sans danger donc elle nécessite une formation en sécurité laser offerte par l'École Polytechnique de Montréal.

LES EXIGENCES FONCTIONNELLES

3.8 Le travail

Commented [SP1]: À supprimer selon Frédéric

3.8.1 Le contexte

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	Une méthode précise d'extraction de tissu doit être développée.	M	
2	Un système permettant l'acquisition automatique d'image par OCT sur 360° doit être créé.	O	
3	Un algorithme de reconstruction d'image doit être implémenté afin d'obtenir une image isotropique de la matière blanche.	O	

3.9 Le produit

3.9.1 Le mandat

Réf.	Exigence	Test	Notes
Méthode d'extraction de tissu			
1	La méthode d'extraction de tissu doit permettre d'extraire un échantillon dont la taille est équivalente à un voxel (1 à 2 mm ³) à partir d'une tranche de cerveau de murin.	M	
2	La méthode d'extraction de tissu doit extraire l'échantillon sans l'endommager ou le déformer.	O	
3	La méthode d'extraction de tissu permet de localiser précisément la position de l'échantillon relativement au cerveau de murin.	M	
Système d'acquisition automatique d'images par OCT			
4	Le système d'acquisition d'images doit supporter et conserver l'échantillon durant toute la durée de l'acquisition.	O	
5	Le système d'acquisition d'images doit permettre la rotation de l'échantillon sur 360°.	M	
6	Le système d'acquisition d'images doit permettre d'effectuer au moins 60 prises d'images avec intervalles réguliers sur 360°.		
7	Le système d'acquisition d'images doit imager automatiquement la totalité de l'échantillon à chaque intervalle de rotation.	M	
8	Le système doit s'interfacer avec le microscope OCT de l'équipe du Dr. Joël Lefebvre.	O	
Algorithme de reconstruction d'image			
9	L'algorithme de reconstruction d'image doit combiner les images OCT acquises à différents angles afin d'obtenir une image isotropique résolue de la matière blanche.	M	
10	L'algorithme de reconstruction d'image doit être compatible avec les images obtenues par le système d'acquisition automatique d'images OCT.	O	

3.9.2 Les usages

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	Le système doit permettre d'étudier la direction des fibres nerveuses dans les zones de croisement et d'enchevêtrement de celles-ci.	O	
2	Le système doit palier à la limitation de l'imagerie OCT pour les fibres nerveuses cérébrales, qui est le faible contraste des fibres dirigées parallèlement au faisceau optique.	O	

Commented [SP2]: Frédéric dit que ce n'est pas une exigence

SPÉCIFICATION DES EXIGENCES

GBM8970-P5OCT.002 v 1.0
06.10.2021

9 de 14

3.10 L'examen du produit final

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	La fonctionnalité générale doit être démontrable à partir d'une tranche de cerveau murin où on obtient une image résolue isotropique de la matière blanche.	O	

4 LES EXIGENCES PHYSIQUES ET VISUELLES

4.1 Dimensions

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	Le dispositif doit être de dimensions inférieures à 27 cm de longueur, 16 cm de largeur et 11 cm de hauteur afin d'être insérable dans le dispositif d'OCT existant.	M	
2	La distance entre l'échantillon et l'objectif doit être d'environ 5 mm.	M	

4.2 Matériaux

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	Les matériaux utilisés pour la préparation de l'échantillon doivent posséder des indices de réfraction appropriés pour permettre d'imager l'échantillon.		
2	Les matériaux utilisés pour la préparation de l'échantillon ne doivent pas endommager ou déformer l'échantillon.		

Commented [SP3]: afin d'avoir une image avec une bonne résolution

5 LES EXIGENCES LIÉES À L'UTILISATION

5.1 Facilité d'utilisation

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	Le système doit permettre à l'utilisateur d'identifier la région d'intérêt de l'échantillon sur l'image IRM du cerveau de murin.	O	
2	L'acquisition et la reconstruction de l'image doivent être des processus automatisés.	O	

Commented [SP4]: Frédéric a dit Précision?

SPÉCIFICATION DES EXIGENCES

GBM8970-P5OCT.002 v 1.0
06.10.2021

10 de 14

5.2 Manuel de l'utilisateur

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	Un guide concernant toutes les étapes à accomplir à partir de l'extraction d'un voxel jusqu'à la capture des images par OCT doit être disponible.	O	Le but est d'assurer la reproductibilité des résultats.

5.3 Accessibilité

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	L'accès au montage optique contenant l'OCT et le système permettant de faire tourner l'échantillon est restreint à ceux ayant reçu la formation en sécurité laser et sur l'utilisation de l'OCT.	O	

6 LES EXIGENCES DE PERFORMANCE

6.1 Vitesse

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	Le temps de d'acquisition doit être inférieur au temps de dégradation de l'échantillon.	O	

Commented [SP6]: Changer pour M

Commented [SP5]: Ajouter une valeur numérique

6.2 Précision

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	La localisation de l'échantillon extrait devra être connue à une échelle de l'ordre du voxel.	M	
2	La position de rotation du moteur doit être connue à une échelle de l'ordre du degré.	M	
3	L'image finale doit être composée à partir de l'acquisition d'au moins 60 images (incrément de rotation du moteur < 6°).	M	
4	L'homogénéité du SNR et la résolution (axiale et latérale) doivent être supérieures à celles obtenues par l'imagerie OCT.	M	

Commented [SP7]: Frédéric veut une valeur numérique. 1 mm^2 semble peu précis

Commented [SP8]: Donner une valeur numérique ne pas mettre les mots de l'ordre de

Commented [SP9]: Frédéric dit au plus?

Commented [SP10]: Frédéric dit utilisant un seul angle? Vous utilisez l'OCT aussi

SPÉCIFICATION DES EXIGENCES

GBM8970-P5OCT.002 v 1.0
06.10.2021

11 de 14

6.3 Fiabilité / Tolérance à l'erreur

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	L'incrémentation de rotation du moteur doit être connue et reproductible.	M	
2	Le contraste doit être suffisant pour distinguer la myéline de la matière grise. De plus, l'échantillon ne doit pas contenir d'agent de contraste, le système doit utiliser les propriétés optiques intrinsèques du cerveau pour imager.	O	
3	Le système doit permettre la visualisation des images pour le contrôle de qualité avant la reconstruction.	O	
4	La reconstruction doit être indépendante des indices de réfraction du milieu et de l'orientation des fibres.	O	
5	Le moteur ne devra pas présenter de défaut d'alignement et la position de l'échantillon doit pouvoir être réglable précisément (au mm).	O	

Commented [SP11]: Frédéric dit probablement plus que ça puisque l'échantillon a 1 mm

6.4 Nombre/durée d'utilisation

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	L'échantillon de cerveau doit être conservé durant plusieurs heures.		Conserver dans une solution saline
2	Le système moteur doit être réutilisable et peut être ajustable pour plusieurs diamètres de tube de verre.		

Commented [SP12]: Frédéric dit pas clair, dans le dispositif? Hors du dispositif?

Commented [SP13]: Frédéric dit est-ce qu'on veut vraiment confirmer l'utilisation d'un tube de verre

7 LES EXIGENCES DE SÉCURITÉ

7.1 Clientèle cible

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	Le produit final doit être utilisé à des fins de recherche par l'équipe du Dr. Joël Lefebvre.	O	

SPÉCIFICATION DES EXIGENCES

GBM8970-P5OCT.002 v 1.0
06.10.2021

12 de 14

7.2 Dangers

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	Le produit final doit être conforme aux règles de sécurité d'utilisation des lasers.	O	
2	Le PFA doit être manipulé avec précaution en raison de son risque pour la santé.	O	

Commented [SP14]: Spécification du produit

7.3 Équipement de sécurité suggéré

Réf.	Exigence	Test	Notes
1	L'équipement de protection pour les yeux doit être conforme aux exigences requises par la formation de sécurité laser.	O	

8 LES NUMÉROS D'IDENTIFICATION DES EXIGENCES

Chaque exigence dans ce document est notée par un numéro d'identification distinct. Ce dernier correspond au numéro de section, suivi d'un trait d'union (-), suivi de la référence de l'exigence. Par exemple : 4.2.1-2b.

Dès qu'une première version finale de ce document est produite, aucune modification aux numéros d'identification des exigences ne devra survenir.

La suppression d'une exigence ne devra pas modifier les numéros identifications des autres exigences.

La modification d'une exigence est une suppression de cette dernière et l'ajout d'une nouvelle exigence (avec une nouvelle référence).

Il est possible d'ajouter un commentaire ou une note pour clarifier une modification ou une suppression.

Historique des versions

Version	Date	Détails	Auteur(s)
0.1	29-09-2021	Rédaction préliminaire en équipe du document de spécifications	PB, AH, SM, SP, ASA
1.0	06-10-2021	Finalisation de la première version pour la remise du 6 octobre 2021	PB, AH, SM, SP, ASA

Références

LEFEBVRE, Joël, PhD (2021). SYSTÈME TOMOGRAPHIQUE POUR L'IMAGERIE MICROSCOPIQUE DE LA MICROSTRUCTURE DES TISSUS, Énoncé de projet, GBM8970 – Projet intégrateur en génie biomédical, École Polytechnique Montréal, 2021-2022.

ZHOU, K.C., QIAN, R., DEGAN, S. *et al.* (2019). Optical coherence refraction tomography. *Nat. Photonics* 13, 794–802 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41566-019-0508-1>