

DESCRIPTIF DU SUJET ET ARGUMENTAIRE DU DIRECTEUR DE THESE

Nom et prénom du directeur de thèse : Balédent Olivier

Adresse mail : olivier.baledent@u-picardie.fr

N° de tél : 0667982041

Intitulé du sujet de thèse (en français) : Imagerie par résonance magnétique à bas champs (0,4 Tesla) de la tête et de sa dynamique vasculaire.

Résumé du sujet de thèse (Décrire en français les objectifs visés en 1500 caractères maximum)

CHIMERE dispose aujourd'hui d'une animalerie, d'un bloc opératoire expérimental et récemment d'une IRM animal bas champ de 0.4 Tesla de dernière génération.

L'imagerie clinique à bas champ magnétique est en plein essor clinique, mais très peu utilisée en recherche avec peu de recul sur ses possibilités et aucun fantôme spécifique IRM de tête dynamique (fluide, mâchoire, œil, langue) n'existe.

Le porc est le modèle animal retenu pour la recherche chirurgicale de notre équipe.

Notre équipe a une expertise en IRM et spécifiquement de la tête humaine.

Nous avons un partenariat de recherche avec le constructeur de l'IRM bas champ.

Les objectifs de ce projet de thèse sont :

Quantifier la précision de l'IRM bas champ à 0,4 Tesla versus 3T.

Réaliser des fantômes de têtes avec une dynamique de la mâchoire, de la langue et des yeux et une circulation vasculaire.

Établir un protocole d'imagerie morphologique et dynamique à bas champ de la tête ex vivo du porc et des fantômes.

Développer les post traitements logiciels dédiés à l'IRM bas champ.

Réaliser l'imagerie de la tête du porc in vivo. Morphologie et dynamique pour en définir les références physiologiques.

Évaluer l'impact des implants chirurgicaux sur l'imagerie.

Évaluer la compatibilité d'un robot chirurgical avec l'imagerie IRM bas champ.

Appliquer l'IRM bas champ aux recherches pré cliniques en chirurgie de la face réalisée par l'équipe CHIMERE: Suivi après chirurgie de la tête de la viabilité tissulaire (perfusion, nécrose), de la mobilité de la mâchoire, de la langue, des yeux.

Ce projet à l'interface de l'imagerie et de la chirurgie se positionne dans la trajectoire de l'équipe CHIMERE et de sa perspective de reconnaissance INSERM en cours d'évaluation.

Co-financement envisagé :

	Nom	Taux de financement
Financier 1 envisagé	ESAOTE	50%
Financier 2 envisagé	UPJV	50%

Co-tutelle de thèse (ou thèse en partenariat avec co-financement) : OUI NON

Si oui, précisez l'établissement partenaire :

Date d'obtention ou de soutenance prévue de l'HDR du directeur de thèse :2010

Unité de Recherche :CHIMERE UR 7516

DESCRIPTIF DU SUJET (en 3 pages minimum)

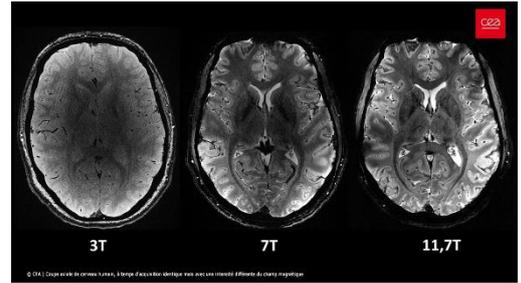
1) Le sujet de recherche choisi et son contexte scientifique et économique :

Le sujet de recherche que nous proposons se situe dans le domaine de l'imagerie au service de la chirurgie reconstructive de la tête.

Développer un protocole d'imagerie innovant de la tête pour la chirurgie du futur.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est l'outil de choix pour caractériser les tissus mous de la tête. Cette technique est non invasive et la seule à pouvoir caractériser les tissus et liquides à l'intérieur ou l'extérieur du crâne sans être limitée par les os.

Actuellement l'imagerie de la tête est principalement réalisée par des IRM à haut champs magnétique de 1.5, 3, 7 Tesla, la plus puissante issue du CEA présente un champ de 11.7 Tesla. La puissance du champ magnétique à un coût énorme d'achat, de maintenance et demande un environnement d'ingénierie spécifique pour son fonctionnement qui limite largement son utilisation aux centres hospitaliers ou de recherches. (1)



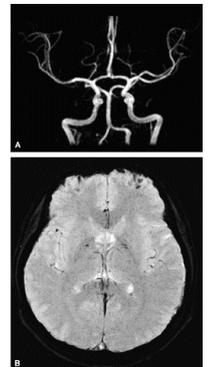
Les systèmes d'imagerie par résonance magnétique (IRM) à bas champ connaissent actuellement une très forte progression. À l'origine, les performances des systèmes d'IRM à bas champ étaient faibles et peu utiles en clinique, ils étaient considérés comme des systèmes peu coûteux mais peu performants. Cependant, aujourd'hui en plein essor l'IRM à bas champ pour certaines imageries concurrence les systèmes d'IRM à haut champ (1,5 T et 3 T). (1-2)

Les systèmes d'IRM à faible champ (généralement définis comme des systèmes dans la gamme de 0,25 à 1,0 T) ont toujours été considérés comme des systèmes peu performants, car les anciens types de systèmes d'IRM à faible champ avaient souvent une résolution spatiale limitée associée à une mauvaise qualité d'image, des antennes périphériques limitées, peu de séquences différentes, une faible résolution spatiale et temporelle associée à une faible rapport signal/bruit (SNR).



Cependant aujourd'hui, les IRM à faible champ de nouvelle génération ont bénéficié des avancées technologiques importantes dans les domaines de l'électronique, des logiciels et principalement de l'intelligence artificielle. (3)

Au prix d'un temps d'examen allongé, pour certaine séquence il est même possible d'obtenir une qualité d'image comparable à une IRM de 1T comme le montre l'image angiographique TOF de droite. (1)



L'IRM Bas champs offre quelques avantages significatifs :

Le coût de la machine et sa maintenance sont beaucoup moins onéreux. Contrairement aux systèmes d'IRM à champ élevé, les aimants utilisés dans les systèmes d'IRM à champ faible sont des aimants permanents qui n'ont pas besoin d'énergie pour générer le champ magnétique. Une cryogénie complexe et coûteuse n'est pas nécessaire pour le refroidissement et ils ont une faible consommation d'énergie par conséquent, on peut dire qu'ils sont très économes en énergie.

L'IRM à haut champ est impressionnante à conditions de n'avoir aucun implant métallique ou appareils dentaires. La dégradation de la qualité d'image par les implants métalliques placés dans des corps vivants (clips pour la chirurgie d'anévrisme cérébral ou de fixations utilisées en chirurgie maxilo faciale) entraîne des artefacts importants lorsque les champs sont élevés, rendant la lecture de l'image impossible. L'imagerie à bas champ est beaucoup moins sensible à ces artefacts et rend possible l'imagerie même en présence d'implants chirurgicaux.

La forme en tunnel étroit des IRM à haut champs ainsi que la forte puissance de l'aimantation, limite le développement de la chirurgie sous imagerie ou robotisée. En raison de leurs formes ouvertes et leur faible aimantation d'objets métalliques, les systèmes d'IRM à faible champ trouvent leur intérêt dans le développement des interventions chirurgicales sous imagerie et ou robotisées.

Nous n'avons pas retrouvé dans la littérature de résultat ou de projet cliniques ou pré clinique s'intéressant à l'imagerie IRM bas champ de la tête et du mouvement de sa mâchoire, de sa langue, de ses yeux, de la perfusion des tissus de la face et de l'écoulement vasculaire de ses vaisseaux.

Il n'existe aucun fantôme de la tête compatible IRM modélisant un mouvement de langue, de la mâchoire ou des yeux et modélisant l'écoulement vasculaire.

2) L'état du sujet dans le laboratoire d'accueil.



Depuis les années 1990, les chercheurs et cliniciens de l'UPJV ont développé un pôle d'expertise autour de la caractérisation morphologique et fonctionnelle de l'extrémité céphalique. Ils se sont réunis au sein de l'équipe CHIMERE UR 7516 et ont bénéficié d'un Equipex FIGURE. Elle s'appuie tout d'abord sur une expertise historique de la greffe du visage. Expertise chirurgicale qui ne se résume pas à un geste mais nécessite une connaissance approfondie de la viabilité des tissus, de leur compatibilité, de leur vascularisation, de leur innervation, de la biomécanique osseuse et musculaire, des possibilités robotiques, d'observer et d'opérer à des échelles microscopiques voire moléculaires pour repousser les barrières de la connaissance physiologique afin de mieux servir le geste.

Notre ambition dans ce projet est de mieux voir pour mieux comprendre, mieux opérer, opérer différemment, voire lever les verrous de la connaissance et opérer l'inopérable. Pour se faire l'équipe de recherche dispose d'un bâtiment de 3800 m²,

l'institut faire faces situé à proximité du CHU et de l'UPJV.

L'institut dispose d'une animalerie pouvant accueillir des porcs, d'un plateau de chirurgie expérimentale utilisé pour les projets de recherche en microchirurgie et découpe osseuse robotisée par LASER et d'une salle d'imagerie préclinique en communication avec la salle opératoire. Une IRM de 0.4 Tesla de dernière génération vient d'y être installée en décembre 2024.

L'équipe présente une expérience et une expertise en imagerie IRM et plus particulièrement dans l'IRM de la tête, puisqu'elle dispose déjà depuis 2013 d'un accès privilégié à l'IRM de recherche clinique 3T du GIE Faire faces&CHU d'Amiens. Plusieurs projets de recherches ont permis à l'équipe de se positionner comme un acteur principal de la recherche internationale dans ce domaine de l'imagerie IRM de la tête et de sa vascularisation. A titre d'exemple le projet FLOWFACE financé par la région Picardie nous a permis de développer l'imagerie de l'arborescence faciale (4), un autre de quantifier la vascularisation de l'œil (5,6). Nous avons également montré comment quantifier par IRM la vascularisation du cerveau (7-8), et la dynamique du Liquide Cérébro Spinal (7-8). Récemment nous avons montré par IRM comment les mouvements respiratoires influencent la vascularisation cérébrale (8). Pour cela nous développons nos propres logiciels de traitement de l'image (7-8). En ce qui concerne les fantômes nous avons réalisé le premier modèle de dynamique des fluides dans le system cranio spinal (9) et récemment réalisé un fantôme d'écoulement pour comparer deux séquence d'IRM sensibles au flux (10).

En conclusion l'équipe CHIMERE présente un environnement matériel de haute technologie, des compétences et des expertises multidisciplinaires qui favoriseront la réussite de ce projet de thèse et l'encadrement de l'étudiant.

3) Les objectifs visés, les résultats escomptés.

- Quantifier la précision de l'IRM bas champ à 0,4 Tesla versus 3T.
- Réaliser des fantômes de têtes avec une dynamique de la mâchoire, de la langue et des yeux et une circulation vasculaire.
- Établir un protocole d'imagerie morphologique et dynamique à bas champ de la tête ex vivo du porc et des fantômes.
- Développer les post traitements logiciels dédiés à l'IRM bas champ.
- Réaliser l'imagerie de la tête du porc in vivo. Morphologie et dynamique pour en définir les références physiologiques.
- Evaluation de l'impact des implants chirurgicaux sur l'imagerie de la tête.
- Evaluation de la compatibilité de la présence d'un robot chirurgical avec l'imagerie bas champ.
- Transférer les protocoles d'IRM bas champ aux recherches pré cliniques en chirurgie de la face réalisée par l'équipe CHIMERE: Suivi après chirurgie de la tête de la viabilité tissulaire (perfusion, nécrose), de la mobilité de la mâchoire, de la langue, des yeux.

4) Le programme de travail avec les livrables et l'échéancier prévisionnel.

M0-M6

État de l'art. étude bibliographique concernant l'avancé de l'IRM bas champs.

Formation : prise en main de l'IRM ESAOTE *Magnifico* de 0,4 Tesla sur les fantômes du constructeur et du service.

Livrables : rédaction d'un bilan de l'état de l'art et des spécificités de l'IRM 0.4T.

M6-M18

Mise en place d'un fantôme de tête de porc ex-vivo.

Réalisation d'un modèle de tête de porc imprimé 3D avec une géométrie calibrée et articulation de la mâchoire.

Réalisation d'un modèle de tête humaine imprimé 3D avec une géométrie calibrée et articulation de la mâchoire.

Elaboration d'un protocole IRM pour l'imagerie de la tête. Peau, muscle, vaisseau, os et liquide.

Imagerie des fantômes de tête à haut champ (IRM 3T) et bas champ (IRM 0,4T).

Livrables : Les fantômes de tête, les protocoles, les images, résultats comparatifs, publications.

M18-M30

Mise en place de l'imagerie de porc in-vivo.

Mise en place d'une circulation extracorporelle de la tête de porc ex vivo.

Mise en place d'une circulation de liquide dans l'arborescence des fantômes de tête (porc et humain) imprimés.

Elaboration d'un protocole IRM pour l'imagerie dynamique des flux des fantômes de tête.

Elaboration d'un protocole IRM pour l'imagerie dynamique des mouvements de la mâchoire.

Livrables : Application et Transfert des protocoles IRM bas champ aux chirurgiens de CHIMERE dans le cadre des projets de recherche en microchirurgies et robotiques mis en place au sein de l'institut faire faces sur le porc.

Les fantômes de tête, les protocoles, les images, publications

M30-M36

Rédaction de la thèse

Application de l'imagerie aux projets de recherche pré clinique en chirurgie de la tête.

Livrables : Rapport de thèse. Publications

5) Les collaborations prévues (préciser le cadre, la nature des collaborations, l'ancrage régional, national, international, la transdisciplinarité éventuellement).

- ESAOTE est le constructeur Italien de l'IRM bas champ. Nous avons établi un partenariat de recherche qui assurera la bonne réussite de la formation de l'étudiant à la manipulation de l'IRM. L'accès aux informations techniques concernant l'IRM sera facilité. Nous disposerons en exclusivité de séquences encore en développement.
- Les chirurgiens de l'équipe CHIMERE seront évidemment d'une collaboration précieuses.
- L'équipe du LTI (UPJV) et sa branche MIM (Mécanique et Ingénierie des Matériaux) domaine des sciences pour l'ingénieur pourrait être d'une aide pertinente pour la réalisation des fantômes biomécaniques.
- Le laboratoire du CRIL de l'Université d'Artois: Centre de Recherche en Informatique de Lens Recherches en intelligence artificielle et ses applications, est une équipe avec qui nous travaillons déjà sur un projet de signaux IRM dans le cadre de MAIA et à qui nous pourrions proposer d'optimiser la qualité des images par l'IA en s'appuyant sur notre double imagerie bas champs versus haut champ développée dans ce projet.

6) Une liste de 10 publications maximum portant directement sur le sujet en soulignant celles du laboratoire.

1. Hori M, Hagiwara A, Goto M, Wada A, Aoki S. Low-Field Magnetic Resonance Imaging: Its History and Renaissance. Invest Radiol. 2021
2. Deoni SCL, Medeiros P, Deoni AT, Burton P, Beauchemin J, D'Sa V, Boskamp E, By S, McNulty C, Mileski W, Welch BE, Huentelman M. Development of a mobile low-field MRI scanner. Sci Rep. 2022
3. Zhao Y, Bhosale AA, Zhang X. Coupled stack-up volume RF coils for low-field open MR imaging. medRxiv [Preprint]. 2024
4. Bettoni J, Pagé G, Salsac AV, Constans JM, Testelin S, Devauchelle B, Balédent O, Dakpé S. Quantitative assessment of the flow distribution in the branches of the external carotid by non-injected flow MRI. Dentomaxillofac Radiol. 2018
5. Promelle V, Bouzerar R, Daouk J, Iscar C, Milazzo S, Balédent O. Ophthalmic Artery and Superior Ophthalmic Vein Blood Flow Dynamics in Glaucoma Investigated by Phase Contrast Magnetic Resonance Imaging. J Glaucoma. 2021
6. Promelle V, Bouzerar R, Milazzo S, Balédent O. Quantification of blood flow in the superior ophthalmic vein using phase contrast magnetic resonance imaging. Exp Eye Res. 2018
7. Balédent O, Henry-Feugeas MC, Idy-Peretti I. Cerebrospinal fluid dynamics and relation with blood flow: a magnetic resonance study with semiautomated cerebrospinal fluid segmentation. Invest Radiol. 2001
8. P Liu, K Owashi, H Monnier, S Metanbou, C Capel, O Balédent. Cardiac and respiratory activities induce temporal changes in cerebral blood volume, balanced by a mirror CSF volume displacement in the spinal canal

NeuroImage, 2024.

9. Bouzerar R, Czosnyka M, Czosnyka Z, Balédent O. Physical phantom of craniospinal hydrodynamics. Acta Neurochir Suppl. 2012
10. Liu P, Owashi K, Monnier H, Metanbou S, Capel C, Balédent O. Validating the accuracy of real-time phase-contrast MRI and quantifying the effects of free breathing on cerebrospinal fluid dynamics. Fluids Barriers CNS. 2024

ARGUMENTAIRE DU DIRECTEUR DE THESE

En quoi le sujet répond à l'un au moins des critères de priorisation de la Région ?

Hub 1 : Santé de précision

Ce projet vise à développer des investigations originales en imagerie à bas champ en plein essor actuellement, grâce à l'utilisation de l'IA dans la reconstruction des images. L'objectif à terme est de proposer une imagerie innovante à chaque patient pour fournir un diagnostic personnalisé au chirurgien. Ce projet multidisciplinaire dont l'origine amiénoise présente plusieurs années d'expertises et quelques collaborations internationales de références, s'inscrit dans les thématiques soutenues au niveau régional.

En quoi le sujet participe à la structuration de la recherche en Région ?

CHIMERE est une jeune équipe créée en 2018 par le professeur DEVAUCHELLE, qui regroupe des scientifiques et des médecins du **CHU Amiens** s'intéressant à l'extrémité céphalique : la tête et le cou. L'équipe est actuellement en cours d'évaluation de **labélisation INSERM**. Ce projet collaboratif que nous proposons à pour objectif de valoriser l'équipement IRM installé en décembre 2024 dans l'**institut Faire Faces** (Equipex **ANR FIGURE**) auquel L'Université de Technologie de Compiègne (**UTC**) est associée. Comme précisé l'originalité de l'IRM bas champ sera une source unique de résultats pouvant être valorisé avec nos collègues du **CRIL lensois** dans le cadre de **MAIA**. La réalisation de fantômes sera l'occasion d'inviter nos collègues du **LTI (St Quentin)** à participer à leurs réalisations.

En quoi le sujet s'inscrit dans les priorités du cofinanceur sollicité ? Pour les sujets en lien avec un partenariat public-privé ou un partenariat entre plusieurs laboratoires publics, quelles sont les modalités du partenariat ?

nature, moyens, propriété, partage et diffusion des résultats, encadrement et localisation du doctorant...

L'entreprise italienne ESAOTE constructeur de l'IRM partage un contrat de recherche avec CHIMERE dans le cadre de l'IRM bas champ de recherche récemment installée en janvier 2025 dans l'Institut Faire Faces située à proximité du CHU d'AMIENS. ESAOTE est intéressée par les objectifs d'imagerie fonctionnelles de la Tête que nous proposons dans ce projet. Un financement à hauteur de 50% de la thèse est proposé ainsi qu'un accompagnement technique du thésard par l'équipe de recherche et développement Italienne. La personne recrutée sera positionnée dans l'Institut Faire Faces où se trouve l'IRM et les membres de l'équipe d'imagerie de CHIMERE. La propriété intellectuelle des développements logiciels et des maquettes réalisés au cours de la thèse sera au bénéfice de CHIMERE. L'encadrement de l'étudiant sera fait par l'équipe CHIMERE.

En quoi le sujet pourrait être valorisé dans un cadre national, européen, international (Conférences, publications)

A notre connaissance, ce projet d'imagerie IRM de la tête est unique et s'inscrit dans le développement naturel de l'équipe habituée à publier ses résultats et à participer aux conférences nationales ou internationales de son domaine.

Quelles sont les perspectives de valorisation, de transfert et d'innovation sur le territoire des Hauts-de-France ?

Le projet contribue à la Stratégie Recherche Innovation de la région (S3) dans le Domaine principal d'Activité Stratégique Santé Nutrition et plus précisément dans la spécialisation en santé de précision et maladie civilisationnelle ou nous ambitionnons de renforcer le potentiel de recherche entre notre équipe public CHIMERE et notre partenaire privé ESAOTE par la valorisation et le transfert vers la clinique des différents livrables proposés dans ce projet.

D'une façon plus générale, quelles sont les retombées socio-économiques pour le territoire régional ?

https://delibinternet.hautsdefrance.fr/Docs/CommissionPermanente/2022/03/17/DELIBERATION/2022.00573_annexe.PDF

Notre territoire est une région touchée par les cancers ORL. Ce projet est dévolu à la thématique de la régénération et la réparation des tissus et organes détruits ou lésés essentiellement par les tumeurs, les malformations ou les traumatismes de l'extrémité céphalique. Notre territoire sera privilégié pour bénéficier des avancés de nos recherches.

L'existence d'équipes de recherche reconnues disposant de matériels de recherche uniques est attractif pour recruter sur notre territoire des chercheurs et ingénieurs de qualités. De plus l'attractivité se répercute au niveau de nos universités qui attire ainsi les étudiants intéressés par les sujets proposés.

Le sujet peut-il contribuer au 4ème Plan Régional Santé Environnement ? <https://www.hautsdefrance.fr/document-prse4> ou à développer une autre politique régionale (exemples : innovation pédagogique, transports, handicap...)

Le sujet présenté contribue à développer des techniques d'imageries « propres » pour mieux traiter le handicap de la défiguration.

L'imagerie industrielle :

l'IRM qui est une technique d'imagerie non destructive, qui n'utilise pas de rayons X ou d'autres rayonnements indésirables pourrait intéresser l'industrie. Habituellement dans l'hôpital cette technique coûteuse n'est pas accessible et ses immenses possibilités d'observation ne sont pas connues par les entreprises. Installée hors de l'hôpital dans l'institut de recherche,

notre IRM peut s'ouvrir facilement sur l'extérieur pour proposer des mesures originales et innovantes à de nouveaux partenaires académiques ou privés.

Nous nous engageons à participer aux « ateliers innovants » avec pour objectif de faire connaître les possibilités de mesures uniques non destructives et innovantes de l'imagerie IRM à bas champ. L'IRM pourrait présenter de potentiels intérêts pour les entreprises de la région.

L'imagerie durable.

Ce projet s'inscrit dans le développement de l'imagerie médicale à bas champs actuellement en plein essor, car en plus de son faible cout d'achat, l'IRM à bas champ ne nécessite pas de consommable et sa consommation d'énergie est proche de zéro. Cela s'explique par l'utilisation d'un champ magnétique obtenu avec des aimants permanents (comme les petits utilisés sur les tableaux de cours) qui ne nécessitent aucun système complémentaire de refroidissement couteux et utilisant des gaz rares (hélium, azote) et présente un faible cout de maintenance.

Handicap et grand public :

La défiguration constitue totalement un handicap, à la fois sur le plan strictement esthétique, avec les difficultés inhérentes d'intégration sociale, mais surtout par les conséquences fonctionnelles qu'elle induit sur les grandes fonctions de la vie.

Montrer ce handicap, montrer comme il peut être aidé et combattu, proposer un « autre regard », afin que la difformité faciale ne soit plus un facteur discriminant est également un message porté par l'équipe CHIMERE. Pour lutter pour la compréhension et l'acceptation de la défiguration dans notre société et particulièrement dans notre région nous organisons un vendredi par mois, un évènement culturel/artistique au sein de l'Institut, gratuit et ouvert à tous <https://www.institut-faire-faces.eu/information-handicap-facial/>.

Prénom, Nom du Directeur de Thèse : Olivier Balédent

Signature

