



Région Grand Est
 Direction de la Compétitivité et de la Connaissance
 Service Enseignement Supérieur, Recherche et Transfert
 de Technologie
 Contact : infrarecherche@grandest.fr

APPEL A PROJETS 2021

SOUTIEN AUX PROJETS ET INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE DE POINTE

Réserver à l'administration

N° de dossier :

(attribué par la Région Grand Est)

Vos références dossier : indiquer l'acronyme du pôle scientifique

Les dossiers doivent être envoyés par votre Établissement avant le 30/04/2021 à 18h00 en version électronique à infrarecherche@grandest.fr, sous forme de fichiers Word/Excel et PDF nommés de la façon suivante : « **nom du projet-infrarecherche2021** ».

Après cette date, les dossiers ne seront pas pris en considération.

Titre / acronyme du programme : SPIN-EST - Développement et Valorisation Régionale des Technologies IRM dans les domaines de l'Énergie et la Santé.

Résumé scientifique du programme en français (550 mots maximum) :

Le programme **SPIN-EST** propose de dynamiser les activités de recherche et de valorisation des technologies d'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) dans la région Grand Est.

Le territoire compte actuellement des acteurs académiques reconnus de l'IRM clinique (laboratoire IADI, pôle BMS de l'Université de Lorraine), des industriels développant et testant des dispositifs médicaux (Healtis, Schiller), des fabricants de matériel (Bruker, RS²D) et des laboratoires développant de nouvelles applications de l'IRM pour la recherche et le transfert technologique dans le domaine de l'Énergie (laboratoire LEMTA, pôle EMPP de l'Université de Lorraine). Les possibilités actuelles d'utilisation de machines IRM dédiées aux développements instrumentaux des domaines de la Santé et de l'Énergie, à la valorisation économique, à l'enseignement et à la formation sont fortement réduites, soit par des accès restreints ou contraignants soit par la vétusté des appareils.

Dans ce contexte, le programme **SPIN-EST** propose d'augmenter significativement les potentialités de recherche et les débouchés économiques des méthodes IRM par l'acquisition de deux imageurs aux spécificités complémentaires et par la mobilisation des compétences complémentaires des acteurs régionaux. La plateforme créée sera à la pointe au niveau technologique puisque les instruments ciblés correspondent à l'état de l'art actuel des domaines de l'IRM clinique (hospitalière) d'une part, et de l'IRM préclinique (recherche sur modèles animaux) d'autre part. Le premier équipement regroupera autour de lui les activités pour lesquelles le IADI est reconnu (imagerie adaptative, nouveaux capteurs intelligents compatibles IRM) et favorisera la valorisation économique en renforçant l'activité de Healtis, laboratoire d'essai local pour l'évaluation de la compatibilité et de la sécurité des dispositifs médicaux en environnement IRM. L'acquisition de cet instrument ouvrira de nouvelles possibilités de recherche pour les laboratoires en énergétique, procédés et produits de l'Université de Lorraine et favorisera le rapprochement et la mise en commun des compétences mutuelles des acteurs académiques locaux de la Santé et de l'Énergie. Le second appareil remplacera un appareil vétuste mais qui est actuellement utilisé à temps plein pour les besoins en recherche du LEMTA dans les domaines de l'énergie, notamment le secteur de l'Hydrogène dans lequel est inscrit le programme EquipEX+ « DurabilitHY » (2021–2028). Les collaborations de recherche actuelles seront amplifiées par ces acquisitions et de nouvelles collaborations, directement créatrices d'emplois seront créées, notamment avec l'acteur local RS²D pour le développement spécifique de méthodes dédiées aux objets et dispositifs du secteur Énergie.

Un volet important du programme **SPIN-EST** repose en outre sur l'augmentation de l'offre de formation pour les professionnels et futurs professionnels de l'IRM, ainsi qu'à la création de nouveaux enseignements pour les ingénieurs et les futurs docteurs. Les compétences du IADI en sécurité IRM permettront d'asseoir le site de Nancy Brabois comme le centre de référence français pour l'établissement des normes et la formation des acteurs de la sécurité des dispositifs médicaux en IRM.

Mots clés liés au programme (6 mots maximum) : **IRM, Santé, Énergies, Dispositif médicaux, Innovation, Valorisation.**

Territoire (Alsace, Champagne-Ardenne, Lorraine) : **Lorraine**

Unité de recherche coordinatrice : (acronyme + intitulé) : **IADI, U1254, Imagerie Adaptative Diagnostique et Interventionnelle**

Responsable du programme : Felblinger Jacques, Professeur des universités-praticien hospitalier.

Organisme gestionnaire du programme :

Université de Lorraine

34 cours Léopold

CS 25233

54052 NANCY CEDEX

SECTEUR/CHAMP DISCIPLINAIRE

Principal : Santé

Secondaire : Énergie

Indiquez si votre programme correspond aux thèmes décrits (cochez la case concernée)

Lien avec un des trois enjeux de transition (SRESRI) :

Les programmes doivent s'inscrire en cohérence avec les trois enjeux de transition écologique et environnementale, numérique et industrielle et dans les thématiques d'excellence déjà identifiées (santé, chimie, matériaux, ...) fédératrices couvrant l'ensemble des domaines de la recherche et susceptibles de générer des innovations.

- Transition numérique ;
- Transition industrielle ;
- Transition écologique et environnementale.

Lien avec les domaines de la S3 :

Les recherches menées doivent pouvoir alimenter les connaissances dans les domaines identifiés de la stratégie de spécialisation intelligente (S3) dont les perspectives de transfert et d'innovation sont avérées.

- Technologies et équipements pour la transition industrielle ;
- Recyclage et fonctionnalisation des matériaux ;
- Biotechnologies médicales ;
- Outils numériques pour la santé ;
- Dispositifs médicaux ;
- Molécules et matériaux biosourcés ;
- Outils et systèmes pour la gestion durable et intelligente des ressources naturelles ;
- Systèmes énergétiques et leur performance.

LE PROGRAMME :

- **s'inscrit-t-il dans le champ de la « bioéconomie »** Oui Non

« La bioéconomie englobe l'ensemble des activités de production et transformation de la biomasse, qu'elle soit agricole, forestière, aquacole ou biodéchets à des fins de production alimentaire, de matériaux biosourcés, de molécules d'intérêt et d'énergie.

<https://www.bioeconomie-grandest.fr/>

Si Oui, précisez le champ :

- BIORESSOURCES**

Biointrants, biocontrôle, agriculture de précision, outils numériques, agro-machinisme, services écosystémiques...

CHIMIE DU VEGETAL ET BIOTECHNOLOGIES INDUSTRIELLES

Cosmétique, peintures, détergence, tensioactifs, arômes et parfums...

MATERIAUX BIOSOURCÉS

Textile, BTP, composites, emballages, sport et loisirs, mobilier et design ...

BIOÉNERGIES

Biogaz, biocarburants, biocombustibles, biochar...

ALIMENTATION HUMAINE ET ANIMALE

Protéines végétales, ingrédients fonctionnels, texturants, arômes et colorants...

PROCÉDÉS ET TECHNOLOGIES

Technologies clés, procédés, catalyse enzymatique...

AUTRES :

Commenter votre sélection :

-
- **relève-t-il des thématiques de recherche en Intelligence Artificielle (IA)?** Oui Non

Si oui, précisez le champ :

INTÉGRATION DE L'IA

Vision artificielle, robotique, traitement des langues naturelles, systèmes multi-agents, interfaces homme machine, science des données, architectures et composants matériels pour l'IA...

APPLICATION DE L'IA

Activités de recherche interdisciplinaire avec des spécialistes des domaines d'applications de l'IA (ex : sécurité et défense ; transport et mobilité ; santé ; environnement)

CŒUR DE L'IA

Algorithmique, apprentissage machine, évolution artificielle, optimisation spécifique pour l'IA, raisonnement symbolique, lien avec les sciences cognitives

Commenter votre sélection :

-
- **relève-t-il des thématiques en lien avec d'autres politiques régionales telles que**

Stratégie Hydrogène vert

(<https://www.grandest.fr/lhydrogene-le-nouveau-challenge-de-la-transition-energetique-en-grand-est/>)

Plan Industrie du Futur

(<https://www.grandest.fr/wp-content/uploads/2017/07/2178-4Pages-Industrie-du-Futur.pdf>)

Feuille de route Santé

(<https://www.grandest.fr/wp-content/uploads/2020/12/feuille-de-route-sante-web-bd.pdf>)

Si Oui précisez :

Stratégie Hydrogène vert : une bonne partie des développements technologiques prévus concernent, pour le LEMTA, l'application de la RMN et de IRM aux piles à combustible et aux électrolyseurs, et notamment aux membranes électrolytes (de type PFSA ou autres) qui sont un des composants limitant le plus la durabilité de ces dispositifs.

Feuille de route Santé (Axe 2, Ambition 1) : la plateforme créée offrira la possibilité de certifier la compatibilité IRM des dispositifs médicaux implantables développés par les industriels de la région.

Commentaires (le cas échéant, précisez si le programme est en lien avec une thématique émergente) :

Le projet correspond à la feuille de route de France Life Imaging (FLI) pour le hub grand EST (une lettre de soutien sera intégrée au dossier).

Le projet a-t-il un lien avec une contractualisation précédente ou en cours (CPER 2013-2020, CTSCE 2018-2020, CRSD...)?

Oui ;

Non ;

Si oui, précisez : la partie santé du projet correspond à l'axe imagerie du CPER IT2MP 2013-2020 en cours et à une partie du projet déposé dans le CPER 2021-2027 R-IRM associant les universités de Nancy et Strasbourg. **SPIN-EST** renforce également les investissements en imagerie effectués ces dernières années sur les sites dans la région EST notamment avec le projet IRMGE (Fonds de coopération régional). Les activités énergie feront également partie d'un projet CPER 2021-2027, en cours de discussion.

A. GESTIONNAIRE ET PARTENAIRE DU PROGRAMME

I. Identification de l'organisme gestionnaire du programme

Organisme gestionnaire : Université de Lorraine

Nature/statut juridique : Établissement Public à Caractère Scientifique, Culturel et Professionnel, créé sous la forme de grand établissement

Représentant légal (nom, prénom, coordonnées) **et fonction :** **M. Pierre MUTZENHARDT** - Président de l'Université de Lorraine

Adresse : Université de Lorraine – 34 cours Léopold – BP 25233 – 54052 NANCY Cedex

N° SIRET (ou SIREN le cas échéant) : 130 015 506 00012 (130 015 506)

Contacts Direction de la Recherche et de la Valorisation (DRV) – Université de Lorraine :

Contact administratif :

Nom - Prénom : Mme Clotilde DINÉ Courriel : clotilde.dine@univ-lorraine.fr

Tél. : 03.72.74.04.53

Contacts financiers :

Nom - Prénom : Mme Laura Thirion Courriel : laura.thirion@univ-lorraine.fr

Tél. : 03.72.74.04.83

Nom - Prénom : M. Mathieu Marchal Courriel : mathieu.marchal@univ-lorraine.fr

Tél. : 03.72.74.04.34

II. Présentation de l'unité de recherche impliquée dans le programme

Deux unités de recherche de l'Université de Lorraine sont à l'origine de ce projet. Elles sont présentées ci-dessous.

Identité de l'unité de recherche 1 (acronyme + intitulé) :

LEMMA – Laboratoire Énergies & Mécanique Théorique et Appliquée – UMR 7563

Discipline(s) : Energie / Mécanique

Rattachement universitaire ou organisme de recherche :

Université de Lorraine

34 cours Léopold

CS 25233

54052 NANCY Cedex

Adresse (précisez Unité, Laboratoire, Département, Service, ...) : LEMMA – UMR 7563

Rue : 2 avenue de la forêt de Haye BP 90161

Code postal : 54505

Ville : Vandœuvre lès Nancy Cedex

Tél. secrétariat : 03 72 74 42 95

Courriel secrétariat : Lemta-contact@univ-lorraine.fr

Site web: <http://lemta.univ-lorraine.fr>

Nom/Prénom du directeur : Boulet, Pascal
Courriel : Pascal.Boulet@univ-lorraine.fr

Intitulé de l'équipe (acronyme + intitulé) : IRM pour l'Ingénierie

Responsable de l'équipe : Perrin, Jean-Christophe

Tel. : 03 72 74 42 35

Courriel : jean-christophe.perrin@univ-lorraine.fr

Présentation de l'unité de recherche 1 :

Description de l'unité de recherche et de l'équipe qui hébergera le programme

Le LEMTA est une Unité Mixte de Recherche Université de Lorraine / CNRS qui compte 70 chercheurs et enseignants chercheurs, dont 35 HDR. Le LEMTA compte parmi les 5 laboratoires de la Fédération de Recherche Jacques Villermaux pour la Mécanique, l'Energie et les Procédés. Il est organisé en trois groupes de recherche et une équipe transverse, l'équipe « **IRM pour l'ingénierie** ».

L'équipe « IRM pour l'ingénierie » a été créée sous sa forme actuelle début 2018. Elle comprend actuellement 7 membres permanents dont 2 ingénieurs de recherche de l'Université de Lorraine spécialistes des méthodes de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) et d'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM). L'équipe encadre deux thèses à 100% et en co-encadre deux autres avec d'autres équipes du laboratoire.

Les actions de recherche mêlent l'étude de phénomènes de transport en milieux complexes et l'utilisation d'approches expérimentales basées sur la RMN et l'IRM. Résolument transverse, l'équipe a participé depuis sa création à des travaux de recherche avec la majorité des autres équipes du laboratoire. Les applications sont clairement et directement dans les domaines de l'énergie au sens large : stockage de l'énergie, matériaux de piles à combustible et d'électrolyseurs, refroidissement de combustible nucléaire, récupération assistée de pétrole ou encore stockage de déchets radioactifs.

L'équipe a également réalisé durant les dernières années des travaux en collaboration avec d'autres laboratoires de l'Université de Lorraine (LRGP, LERMAB, CRM2, LEM3, Géorressources, IADI), au niveau national (laboratoires : IFSTTAR, PHENIX, LMT Cachan, IC2MP ; établissements : CEA, INRS ; et avec l'industrie : Total, EDF) et à l'international (Université de Graz, Autriche). L'ensemble des travaux touche aux développements méthodologiques et instrumentaux d'IRM avec des applications dans les domaines des procédés énergétiques, des ressources énergétiques ou de l'utilisation de l'énergie.

Le LEMTA est partenaire du programme EquiPEX+ « DurabilitHY » (2021–2028) coordonné par le laboratoire LAPLACE (Université de Toulouse). L'objectif de DurabilitHY est de contribuer à relever les défis des systèmes hydrogène de type *Proton Exchange Membrane (PEM)* électrolyseurs et piles à combustible posés par la montée en puissance actuelle et future de l'économie Hydrogène. Il s'agit plus précisément d'être capable d'étudier les performances et la durabilité des systèmes hydrogène de grandes puissances dans les conditions expérimentales représentatives des usages réels. Pour contribuer à relever le défi, le laboratoire LEMTA utilisera notamment des méthodes avancées d'IRM permettant d'accéder aux propriétés fonctionnelles des membranes polymères électrolytes telles que les propriétés de transport d'eau, la durabilité chimique et les limitations des transferts d'eau aux interfaces.

Les 10 publications les plus significatives de l'équipe IRM pour l'ingénierie du LEMTA ces 5 dernières années

1. El Kaddouri, A.; Perrin, J. C.; Colinart, T.; Moyne, C.; Leclerc, S.; Guendouz, L.; Lottin, O., Impact of a Compressive Stress on Water Sorption and Diffusion in Ionomer Membranes for Fuel Cells. A H-1 NMR Study in Vapor Equilibrated Nafion. *Macromolecules* (2016), 49 (19), 7296-7307.
2. Perrin J.-C., Leclerc S., Ferrari M., Moyne C., Stemmelen D. Magnetic resonance imaging measurements in engineering sciences. *Instrumentation, Measurement, Metrology*, (2020), 19(3):197-204.
3. A.V.S. Oliveira, D. Stemmelen, S. Leclerc, T. Glantz, A. Labergue, G. Repetto, M. Gradeck Velocity field and Flow redistribution in a ballooned 7x7 fuel bundle measured by magnetic resonance velocimetry. *Nuclear Engineering and Design*, (2020), 369, 110828.
4. Ferrari M., Moyne C., Canet D. Proton nutation spectroscopy. Application to the quantitation of water in a kaolinite sample. *Journal of Magnetic Resonance*, (2018), 309:106614. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmr.2019.106614>.

5. Ferrari M., Moyne C., Canet D. Measurement of short transverse relaxation times by pseudo-echo nutation experiments. *Journal of Magnetic Resonance*, (2018), 292:8-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmr.2018.04.015>
6. Ferrari M., Moyne C., Stemmelen D. Study of Dispersion in Porous Media by Pulsed Field Gradient NMR: Influence of the Fluid Rheology. *Transport in Porous Media*, (2018), 123(1):101-124. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11242-018-1027-0>.
7. Jenny M., Ferrari M., Gaudel N., De Richter S. K. Rheology of fiber suspensions using MRI. *EPL - Europhysics Letters*, (2018), 121(3):34003. DOI: <https://doi.org/10.1209/0295-5075/121/34003>.
8. Robert M., Kaddouri A. E., Perrin J.-C., Leclerc S., Lottin O. Towards a NMR-Based Method for Characterizing the Degradation of Nafion XL Membranes for PEMFC. *Journal of The Electrochemical Society*, (2018), 165(6)F3209-F3216. DOI: <https://doi.org/10.1149/2.0231806jes>.
9. Mejia Mendez D. L., Lemaitre C., Castel C., Ferrari M., Simonaire H., Favre E. Membrane contactors for process intensification of gas absorption into physical solvents: Impact of dean vortices. *Journal of Membrane Science*, (2017), 530:20-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.02.016>.
10. Xu F., Leclerc S., Stemmelen D., Perrin J.-C., Retournard A., Canet D. Study of electro-osmotic drag coefficients in Nafion membrane in acid, sodium and potassium forms by electrophoresis NMR. *Journal of Membrane Science*, (2017), 536:116-122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.04.067>.

Identité de l'unité de recherche 2 (acronyme + intitulé) :

IADI – Imagerie Adaptative Diagnostique et Interventionnelle - UMR 1254

Discipline(s) : Imagerie / Instrumentation

Rattachement universitaire ou organisme de recherche :

Université de Lorraine

34 cours Léopold

CS 25233

54052 NANCY Cedex

Adresse (précisez Unité, Laboratoire, Département, Service, ...) : IADI - UMR 1254 - Bâtiment Recherche CHRU de Nancy Brabois

Rue : 5 Rue du Morvan

Code postal : 54500

Ville : Vandœuvre-lès-Nancy

Tél. secrétariat : 03 83 15 49 76

Courriel secrétariat : iadi@chru-nancy.fr

Site web : www.iadi.fr

Nom/Prénom du directeur : Felblinger Jacques

Courriel : jacques.felblinger@univ-lorraine.fr

Intitulé de l'équipe (acronyme + intitulé) : Le laboratoire n'est pas divisé en équipes

Responsable de l'équipe : X

Tel. : X

Courriel : X

Présentation de l'unité de recherche 2 :

Description de l'unité de recherche et de l'équipe qui hébergera le programme

Le laboratoire IADI a été labélisé unité mixte Université de Lorraine-INSERM en 2009. Situé dans le bâtiment recherche du CHRU Brabois, IADI est composé de 11 chercheurs en instrumentation, mathématique et physique pour l'IRM et de 13 médecins cliniciens. Il compte actuellement 6 personnels support, 14 doctorants et 3 postdoctorants.

Historiquement, la thématique centrale du laboratoire est l'imagerie adaptative, c'est-à-dire l'amélioration de la qualité des images acquises en IRM par la prise en compte du mouvement des organes (respiration, battements du cœur, etc.) durant l'acquisition. Pour cela, les activités du laboratoire sont transversales allant de i) la recherche fondamentale avec le développement de nouvelles méthodes pour l'IRM (acquisition, traitement d'images), ii) le développement d'instrumentations (capteurs intelligents compatibles IRM), iii) la recherche appliquée chez l'homme. Pour cette dernière, l'unité est très étroitement liée au CIC-IT de Nancy (15 personnes) entité responsable du développement, de la structuration et de la valorisation de la recherche en imagerie au CHRU de Nancy. Avec le CIC-IT, le laboratoire dispose d'un accès recherche sur une IRM 3 Tesla (2 jours/semaine) et une IRM 1.5 Tesla (3h par semaine). Le taux d'utilisation des 40% recherche est de l'ordre de 110%.

D'un point de vue clinique, toutes ces activités visent à i) améliorer le diagnostic médical, ii) permettre le suivi précoce et l'optimisation des traitements et (iii) permettre le dépistage de la population, par exemple pour le cancer du sein, les maladies cardiovasculaires ou neurologiques.

Le laboratoire accorde une place importante à la valorisation économique de la recherche, en témoignent les nombreux projets réalisés en partenariat avec des industriels et le nombre important de développements du laboratoire qui ont été brevetés.

Les 10 publications les plus significatives du laboratoire IADI ces 5 dernières années

1. Dos Reis, J. E., Soullié, P., Oster, J., Palmero Soler, E., Petitmangin, G., Felblinger, J., & Odille, F. (2019). « Reconstruction of the 12-lead ECG using a novel MR-compatible ECG sensor network ». *Magn Reson Med*. 2019 May. doi: 10.1002/mrm.27854
2. Odille F, Bustin A, Liu S, Chen B, Vuissoz PA, Felblinger J, Bonnemains L. « Isotropic 3D cardiac cine MRI allows efficient sparse segmentation strategies based on 3D surface reconstruction ». *Magn Reson Med*. 2017 Oct 2. doi: 10.1002/mrm.26923.
3. Delbany, M., Bustin, A., Poujol, J., Thomassin-Naggara, I., Felblinger, J., Vuissoz, P.A. and Odille, F., 2019. One-millimeter isotropic breast diffusion-weighted imaging: Evaluation of a superresolution strategy in terms of signal-to-noise ratio, sharpness and apparent diffusion coefficient. *Magnetic resonance in medicine*, 81(4), pp.2588-2599.
4. Bustin, A., Voilliot, D., Menini, A., Felblinger, J., de Chillou, C., Burschka, D., Bonnemains, L. and Odille, F., 2018. Isotropic reconstruction of MR images using 3D patch-based self-similarity learning. *IEEE transactions on medical imaging*, 37(8), pp.1932-1942.
5. Soullié, P., Missoffe, A., Ambarki, K., Felblinger, J. and Odille, F., 2021. MR electrical properties imaging using a generalized image-based method. *Magnetic Resonance in Medicine*, 85(2), pp.762-776.
6. Dos Reis, J.E., Odille, F., Petitmangin, G., Guillou, A., Vuissoz, P.A., Felblinger, J. and Oster, J., 2020. Broadband electrocardiogram acquisition for improved suppression of MRI gradient artifacts. *Physiological measurement*, 41(4), p.045004.
7. Oster, J. and Clifford, G.D., 2017. Acquisition of electrocardiogram signals during magnetic resonance imaging. *Physiological measurement*, 38(7), p.R119.
8. Chen B, Weber N, Odille F, Large-Dessale C, Delmas A, Bonnemains L, Felblinger J. « Design and Validation of a Novel MR-Compatible Sensor for Respiratory Motion Modelling and Correction ». *IEEE Trans Biomed Eng*. 2016
9. Odille F, Menini A, Escanye JM, Vuissoz PA, Marie PY, Beaumont M, Felblinger J. « Joint Reconstruction of Multiple Images and Motion in MRI: Application to Free-Breathing Myocardial T2 Quantification ». *IEEE Trans Med Imaging*. 2016
10. Clément A, Doyen M, Fauvelle F, Hossu G, Chen B, Barberi-Heyob M, Hirtz A, Stupar V, Lamiral Z, Pouget C, Gauchotte G, Karcher G, Beaumont M, Verger A, Lemasson B. « In vivo characterization of physiological and metabolic changes related to isocitrate dehydrogenase 1 mutation expression by multiparametric MRI and MRS in a rat model with orthotopically grafted human-derived glioblastoma cell lines ». *NMR Biomed*. 2021 doi: 10.1002/nbm.4490.

B. DESCRIPTION DU PROGRAMME DE RECHERCHE

Intitulé : SPIN-EST - Développement et Valorisation Régionale des Technologies IRM dans les domaines de l'Énergie et la Santé.

Dates de début et de fin de programme : 01 / 04 / 2022 au 31 / 03 / 2024

Localisation : 2 sites, distants de 850 mètres : Bâtiment IRIS, CHRU Nancy Brabois et Laboratoire LEMTA, Vandœuvre-lès-Nancy.

Contexte du programme (1 à 2 pages)

Contexte général de l'IRM dans les secteurs de la Santé et de l'Énergie

L'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) est établie comme une modalité d'imagerie incontournable pour le diagnostic médical. Ses applications cliniques sont de plus en plus larges, si bien que le nombre de machines et le nombre d'examen sont en augmentation constante partout dans le monde. Des applications diagnostiques innovantes devraient encore augmenter cette tendance.

L'introduction de dispositifs dans une salle IRM induit néanmoins des risques pour les personnes et pour les équipements. Pour limiter ces risques, des Dispositifs Médicaux (DM) plus sûrs en IRM doivent être développés, des méthodes d'évaluation des risques plus fiables sont recherchées et les personnels devront être formés.

Parallèlement, le secteur de la recherche sur l'Énergie trouve des applications multiples des techniques IRM. La communauté nationale des laboratoires commence à se structurer et des applications industrielles émergent. L'IRM a notamment prouvé son potentiel dans le cadre de la recherche sur les matériaux de pile à combustible et d'électrolyseurs. Il s'agit en effet de l'une des techniques de pointes utilisées dans le programme EquipEX « DurabilitHY », qui s'inscrit pleinement dans la transition énergétique et constituera un outil de visibilité mondiale et au meilleur niveau international pour accompagner les développements académiques et industriels.

Contexte local

L'IRM est un équipement central pour trois laboratoires de recherche de Nancy (IADI U1254, Equipe IRM du LEMTA UMR7563, CIC-IT 1433) et pour la société Healtis, laboratoire d'essais dédié à l'évaluation de la sécurité des DM en environnement IRM.

IADI et le CIC-IT partagent une IRM clinique 3T du CHRU de Nancy financée par le CPER IT2MP et le FEDER (40% recherche, 60% clinique). Cet équipement est également exploité en soirée et les week-ends, par les laboratoires de recherche, par Healtis et par d'autres partenaires industriels.

Quelques vacations, autorisées par les instances, sont prévues pour l'imagerie du petit animal en partenariat avec Nancyclotep et le CRAN. Cette activité reste limitée à 1 jour par mois avec peu de modèles animaux possibles (exclusivement souris, rat et lapin). De nombreuses demandes d'imagerie animale par IRM provenant du pôle BMS de l'Université de Lorraine, de l'animalerie centrale et de l'école de chirurgie ne peuvent pas être satisfaites actuellement.

Les besoins en IRM des domaines de recherche du pôle EMPP de l'Université de Lorraine sont quant à eux couverts par l'utilisation d'un appareil de type préclinique (à faible ouverture), vétuste (datant de 1985) localisé à la Faculté des Sciences et des Techniques à Vandœuvre-lès-Nancy.

Enjeux économiques

Les fabricants de Dispositifs Médicaux (DM) doivent évaluer les risques induits par l'introduction potentielle de leurs produits dans un environnement IRM pour leurs dossiers réglementaires. Pour les dispositifs implantés, l'évaluation de ces risques tend à se généraliser, et des normes proposent des méthodes d'évaluation.

Dans certains secteurs la sécurité IRM est également un enjeu concurrentiel, si bien que des industriels cherchent à concevoir ou adapter leurs dispositifs en vue d'améliorer leur compatibilité avec un examen IRM. La conception de tels produits nécessite du temps sur l'IRM, l'accès à des modes d'utilisation avancées, des équipements de mesures spécifiques et du support technique et scientifique. L'accès aux IRM cliniques ne permet actuellement pas d'apporter une réponse adéquate à ces industriels : les machines cliniques des plateformes hospitalières sont en effet trop peu disponibles et sont souvent bridées pour garantir la sécurité du patient. Nous souhaitons mettre en œuvre une plateforme unique au monde permettant de répondre à cette

demande. La machine leur sera accessible avec le support technique et scientifique des laboratoires de recherche ou via des contrats de recherche, et d'Healtis.

L'émergence de débouchés industriels de la métrologie IRM, notamment dans les secteurs de l'hydrogène, l'agroalimentaire, des procédés, des géo ressources, de la production d'énergie (sûreté nucléaire) laisse prévoir d'autre part une montée en puissance des besoins et des débouchés. Les constructeurs régionaux comme RS²D travaillent à l'amélioration et au développement de leur systèmes commerciaux pour couvrir des besoins nouveaux, avec de nouvelles contraintes : nature des matériaux, encombrement, besoin en instrumentation. Par ailleurs, les laboratoires nationaux ayant une activité dans les domaines de l'énergie et possédant des compétences en IRM sont en train de se structurer dans un réseau d'utilisateurs (RME) afin que ces méthodes, marginales il y a peu, deviennent incontournables à brève échéance. Enfin, la stratégie de recherche nationale indique clairement dans les appels à projet que le développement des sciences de base pour l'énergie passe par celui de nouvelles techniques expérimentales : l'appel en cours de l'ANR y fait clairement référence dans l'Axe 2.1 « Sciences de base pour l'énergie ». Cet essor, pour qu'il puisse se réaliser et pour qu'il soit réussi doit à l'évidence être accompagné du déploiement de nouvelles machines.

Le développement économique dont pourrait bénéficier la Région grâce à l'essor de l'IRM pour des applications non cliniques et non thérapeutiques est actuellement empêché par manque d'équipements de pointe dédiés.

Formation et enseignement

Le LEMTA et IADI sont déjà fortement impliqués dans la formation et l'enseignement en IRM, au niveau de la formation des manipulateurs en électroradiologie (IFMEM, grade de Licence), au niveau du M2 d'ingénierie biomédicale, ainsi que des formations de niveau ingénieur de l'ENSEM. Les besoins en enseignement sont croissants : des formations ingénieurs utilisant l'IRM en cours magistraux, travaux dirigés et travaux pratiques ont été récemment montées à l'ENSEM et seront dispensées en parallèle à l'École Doctorale SIMPPE. Les besoins sont identifiés également pour les formations ingénieurs dans les secteurs des procédés (ENSIC) et des géoressources (ENSG). Une formation nationale d'experts en sécurité IRM (manipulateurs et ingénieurs) est en cours de préparation. L'essor de la filière hydrogène, notamment dans le champ de la durabilité des matériaux de pile à combustible et électrolyseurs, pourra nécessiter de former de nouveaux techniciens, ingénieurs et chercheurs. Pour l'instant, la formation pratique reste très limitée en raison de l'accès restreint. Après des cours magistraux et une première formation sur l'interface utilisateur (e-learning), nous souhaitons pouvoir organiser des travaux pratiques sur des systèmes réels.

Complémentarité des compétences des partenaires académiques et stratégie au sein de Université de Lorraine.

Les deux laboratoires inscrits dans le programme possèdent une thématique commune - l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) - mais dans des secteurs qui sont historiquement disjoints : l'acquisition et les traitements d'images pour la santé pour IADI, les systèmes et les phénomènes du champ des sciences de l'ingénieur pour le LEMTA et les laboratoires du pôle EMPP. De ce fait, les deux laboratoires ont développé des compétences différentes (antennes radiofréquences et RMN pour le LEMTA, séquences d'acquisition, algorithmique pour le recalage d'images pour IADI) mais *fortement complémentaires pour les domaines de l'énergie et la santé*. Jusqu'à présent, les perspectives de collaboration entre les deux laboratoires, même si elles sont clairement identifiées, n'ont pas pu être concrétisées en raison d'un manque de moyens d'équipements et d'opportunités d'un programme commun comme **SPIN-EST**. Nous souhaitons partager nos ressources en termes d'IRM mais également d'équipements de conception et de systèmes de mesure spécifiques existants dans les deux laboratoires.

Le projet d'infrastructure de pointe **SPIN-EST** adresse l'enjeu de la Transition Écologique et Environnementale dans les thématiques d'excellence **Santé, Energies et Matériaux pour l'énergie**. L'enjeu de Transition industrielle est également adressé dans le domaine de la **Santé**.

Les perspectives de transfert et d'innovation du programme sont avérées. Ils appartiennent aux domaines « **Dispositifs Médicaux** » et « **Systèmes énergétiques et leur performance** » conformément à la « stratégie de spécialisation intelligente (S3) » de la Région Grand Est.

Dans le contexte décrit précédemment, le programme SPIN-EST propose d'intensifier fortement les activités régionales autour des techniques d'IRM dans les champs de la Santé et de l'Énergie. Les objectifs, décrits ci-dessous, sont multiples sur des axes de recherche, de formation, d'innovation, de transfert technologique et d'activité industrielle afin de créer **un écosystème unique en France autour de l'IRM**.

Le programme **SPIN-EST**, réalisé d'avril 2022 à mars 2024 permettra ainsi :

- De créer une infrastructure de pointe en instrumentation et métrologie IRM dédiée aux domaines de la santé et de l'énergie. Il s'agit de faire l'acquisition de deux machines IRM ayant des caractéristiques différentes et complémentaires. Les deux instruments, acquis pendant la durée du programme, seront *à la pointe des technologies IRM actuelles*.

- De dynamiser les *activités économiques* des acteurs industriels régionaux et nationaux de l'IRM.

- De faire émerger de *nouvelles applications de l'IRM* pour la recherche sur l'énergie au sens large et de réaliser le transfert technologique vers l'industrie : secteurs hydrogène et pile à combustible, énergétique, matériau bois, procédés industriels et produits, géo ressources...

- De développer et valoriser de *nouvelles méthodes et instrumentations innovantes* centrées sur la santé : propriétés électromagnétiques des tissus biologiques, instrumentation pour imagerie musculosquelettique dynamique, dispositifs médicaux compatibles IRM.

- D'asseoir le site de Nancy Brabois comme le *centre de référence français* pour l'établissement des normes et la formation des acteurs de la sécurité des dispositifs médicaux en IRM.

- D'augmenter l'*offre de formation* pour les professionnels et futurs professionnels de l'IRM, de créer de *nouveaux enseignements* pour les ingénieurs et les futurs docteurs.

Nouvelle infrastructure de pointe en IRM

L'infrastructure reposera sur l'acquisition de deux IRM neuves complémentaires, décrites avec plus de détails dans le paragraphe « Description des équipements » en fin de document.

⇒ La première sera une machine dite « clinique » à destination uniquement d'études non cliniques. Il s'agira d'un appareil identique aux imageurs à l'état de l'art actuel présents sur les plateformes hospitalières pour les besoins de l'imagerie médicale. Elle sera utilisée pour la recherche instrumentale et méthodologique (environ 2 jour/semaine), pour l'activité de la société Healtis, par les industriels extérieurs pour la sécurité des DM en IRM et pour l'imagerie animale. A notre connaissance, il n'existe pas en France d'instrument IRM clinique destiné exclusivement aux acquisitions non cliniques. Pour le laboratoire et les industriels partenaires, ce nouvel instrument permettra de s'affranchir des contraintes techniques et réglementaires imposées par le contexte clinique.

⇒ La seconde machine sera un imageur IRM de type « préclinique » à destination d'études exclusivement extérieures au vivant. L'acquisition de cet instrument permettra le remplacement *d'un appareil vétuste* qui a hébergé historiquement l'imagerie préclinique du site de Nancy (à partir de la fin des années 1980) et est utilisé actuellement pour des activités de recherche dans le domaine de l'énergie. Elle sera utilisée principalement

pour ces activités (énergie et transferts énergétiques) ainsi que pour quelques applications nécessitant des forts gradients de champ magnétique.

Activités industrielles des acteurs régionaux de l'IRM

- *Partenariat avec Healtis*

La SAS Healtis a été fondée en 2012. Elle est issue des laboratoires de recherche dédiés à l'IRM IADI INSERM U947 et CIC-IT INSERM CIT801.



Healtis compte aujourd'hui une dizaine de personnes et a acquis une expérience et une reconnaissance forte dans le domaine de la sécurité des dispositifs médicaux en IRM.

Healtis propose aujourd'hui un ensemble de services pour les constructeurs de dispositifs médicaux qui souhaitent évaluer la sécurité de leurs produits en environnement IRM, ou concevoir un dispositif compatible avec l'IRM. Certains services sont réalisés sous accréditation ISO 17025 (Accréditation Cofrac Essais, N° 1-6320, portée disponible sur www.cofrac.fr).

Healtis est fortement impliquée dans les groupes normatifs, elle a notamment organisé la réunion annuelle ISO-TS en 2018 à Nancy regroupant tous les acteurs mondiaux des DM

actifs implantés.

Du fait de sa volonté de créer un pôle « Compatibilité et sécurité IRM » leader à Nancy, d'échanger avec le laboratoire LEMTA sur la thématique de la radiofréquence, et de ne plus être contraint par la faible disponibilité de l'IRM clinique du CHRU, Healtis a souhaité devenir partenaire de ce programme. La société participera ainsi à l'achat des appareils de la plateforme, et sera membre à part entière du programme.

- *Collaboration avec la société RS²D.*

RS²D est une société locale fondée en 2003 et basée au sein de l'Eurométropole de Strasbourg, à Mundolsheim. RS²D dispose de 800 m² d'ateliers et de bureaux et emploie près de 25 personnes.

RS²D conçoit et fabrique des systèmes d'IRM et de RMN de haute performance pour des applications variées telles que l'imagerie de recherche, le préclinique, la recherche en RMN, l'élucidation structurale ou encore les sciences pharmaceutiques et alimentaires.

RS²D a été précurseur en imagerie préclinique en développant et commercialisant dès 2011 le premier système d'IRM petit animal équipé d'un aimant supraconducteur sans liquide cryogénique. Plus récemment RS²D a développé en collaboration avec Mediso des solutions d'imagerie préclinique innovantes. En 2020, RS²D a rejoint Nanalysis Scientific Corp., le premier fabricant mondial de spectromètres RMN de paillasse compacts. Dans la durée du programme, un contrat de collaboration de recherche entre les partenaires et RS²D permettra de réaliser des avancées substantielles dans les domaines de l'IRM préclinique, notamment par la transposition au préclinique des méthodes de traitement d'images et de la technologie SAEC (Signal Analyser and Event Controller) développée par le IADI.

La société aura également l'opportunité de développer puis d'intégrer sur leurs propres systèmes commerciaux des dispositifs adaptés aux besoins des applications du secteur « Energies » (voir plus loin).

Un autre axe de développement concerne la mise au point d'une station de test RF hors champ magnétique grâce au séquenceur commercialisé par la société. Ce dispositif, innovant et très utile pour les tests de dispositifs médicaux, nécessite l'acquisition d'une antenne adaptée à un imageur clinique et sera envisagée comme une suite à donner à l'issue de ce programme.

Cette collaboration bénéficiera à l'ensemble des partenaires et aura des répercussions importantes en termes d'emplois puisque les travaux seront réalisés grâce à l'embauche par RS²D d'un(e) jeune docteur(e) sur la durée du programme, voire au-delà. Les travaux seront valorisables par le dépôt de brevets dans un objectif de commercialisation. L'activité engendrée aura un impact positif direct sur l'activité économique de RS²D et donc dans la région Grand Est.

- *Collaboration avec les entreprises de DM*

Le développement de dispositifs médicaux adaptés au contexte magnétique inhérent à l'IRM est une compétence maîtrisée depuis de nombreuses années au laboratoire IADI (voir Fig. 1). Depuis plus de 30 ans, une collaboration existe entre Jacques Felblinger et la société Schiller basée à Wissembourg (6 thèses CIFRE, 5 brevets en commun). La société Schiller développe un moniteur de surveillance de patient dans un environnement IRM, le Maglife. Même si le laboratoire développe plus particulièrement le capteur ECG de cet

appareil, toutes les parties du Maglife sont évaluées et testées sur l'IRM recherche du CHU (soirée et nuit). Un nouveau programme de recherche associant IADI, Healtis et Schiller se met en place pour la mise en point de méthodes pour l'estimation des échauffements des DM de surface comme l'ECG. Ce développement a été demandé par la FDA car il n'existe pas de référence normative à ce jour. De la même façon, un autre axe de co-développement se fera avec la société Oticon qui développe des implants cochléaires. Par le passé, le laboratoire a travaillé avec la société SORIN (pacemaker) et BrainProduit (EEG IRM). En partant du savoir-faire acquis du laboratoire IADI et de Schiller, la start-up NancyCareTech va être créée en 2021 (incubation mars 2021) avec la conception d'habits instrumentés pour l'IRM cardiaque. Une collaboration avec la société BioSerenity (Troyes et Nancy) consiste à développer un système de maintien pour l'IRM mammaire. Avec Bioserenity, une nouvelle thèse CIFRE devrait commencer pour le développement d'un habit instrumenté pour le recueil de l'EIG dans le cadre du RHU MICI. Historiquement, IADI a des collaborations avec les fabricants d'IRM et principalement avec Siemens et General Electric. 4 thèses CIFRE ont été et sont financées pour développer des méthodes pour la gestion de mouvement et de la méthodologie d'acquisition par ces industriels. **SPIN-EST** permettra de renforcer les liens avec ces industriels, en leur proposant une collaboration accrue et les moyens de développer de nouvelles solutions. Afin d'illustrer ces propos, quelques exemples de DM développés au laboratoire IADI sont présentés en Figure 1.

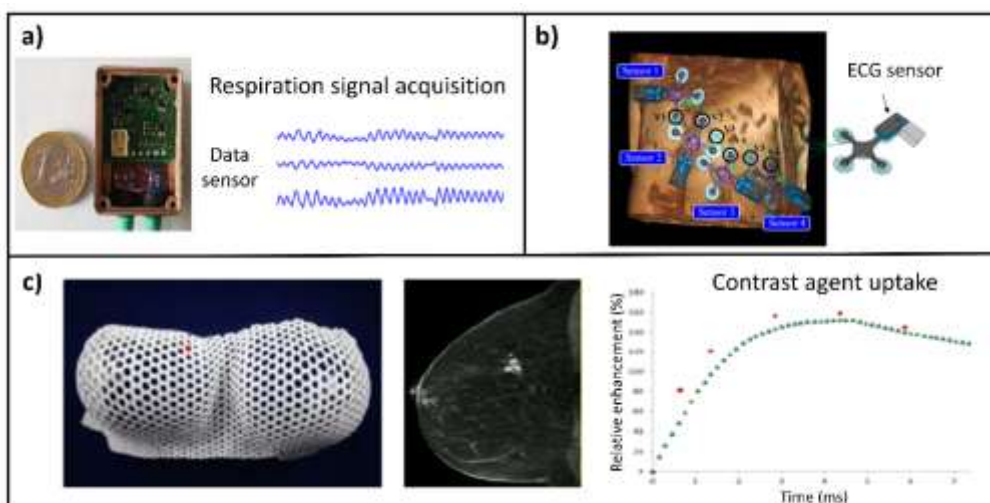


Figure 1 : exemples de dispositifs médicaux compatibles IRM développés au laboratoire IADI.

En a), on peut observer un dispositif d'acquisition du signal respiratoire ainsi qu'un exemple de signaux acquis avec celui-ci. En b), un capteur électrocardiogramme haute fréquence développé en partenariat avec la société Schiller Medical est montré. En c), on peut observer un prototype d'antenne seins (à gauche), une image acquise avec celui-ci (au centre) et la courbe de prise de contraste associée à cette acquisition (à droite).

Instrumentations innovantes, compatibilité IRM et méthodologies centrées sur la santé

Le laboratoire IADI est également reconnu internationalement pour ces compétences en sécurité IRM, c'est l'interlocuteur privilégié du ministère de l'industrie sur cette thématique. La création de la startup Healtis, impulsée par le laboratoire IADI, et sa pérennité financière depuis 2012, témoignent d'un savoir-faire important et d'une confiance des industriels nationaux et internationaux. A l'heure actuelle, aucun autre centre de référence n'existe en France. Le Grand Est possède un vivier de compétences inédit (recherche, sécurité IRM, commercialisation IRM) à l'échelle nationale, il apparait donc logique de créer ce pôle sécurité IRM dans notre région. La mise en place de cette plateforme permettrait de franchir une étape supplémentaire et de s'imposer comme le centre de référence national en formation et établissement des normes. De plus, comme explicité ci-dessus, de nombreux dispositifs d'acquisitions physiologiques sont développés à Nancy, être proche du centre de référence national en certification serait un avantage non-négligeable pour l'université et les industriels.

Enfin, le laboratoire IADI est également un acteur majeur en méthodologie de l'acquisition et du traitement d'images pour la santé (cardiologie, neurologie, oncologie, etc.). Il se distingue particulièrement dans des domaines telles que la correction de mouvements ou l'imagerie temps réel. Une autre thématique très innovante est abordée depuis trois ans : l'étude des propriétés électromagnétiques (EM) des tissus. La question de leur estimation *in vivo* anime la communauté scientifique depuis de longues années. Des progrès récents laissent entrevoir la possibilité de fournir un type de contraste électromagnétique en IRM spécifique à chaque type tissulaire, et est donc prometteur du point de vue clinique en tant que nouveau biomarqueur. Avant son intégration en clinique, une étape importante de développement sur fantômes étalons sera nécessaire. Celle-ci sera réalisée sur les deux imageurs de la plateforme. Les démarches pour le recrutement d'un étudiant en thèse sur ce sujet sont en cours.

Nouvelles applications de l'IRM pour la recherche sur l'énergie

Les applications de l'IRM dans les secteurs de l'ingénierie sont nettement moins matures que celles du secteur de la santé. Ces méthodes n'y ont été introduites en effet que très récemment (une dizaine d'années). Les progrès nécessaires à un développement efficace sont identifiés. Ils reposent d'une part sur l'optimisation de certains aspects matériels de l'imageur et des dispositifs expérimentaux afin les rendre compatibles avec la mesure sous champ magnétique. D'autre part, l'amélioration des techniques d'acquisition et de traitement des images est nécessaire.

Le programme permettra, grâce à un travail collaboratif, de traiter ces deux aspects. D'une part les développements technologiques suivants seront réalisés grâce à la collaboration scientifique avec RS²D :

- développement d'une table de positionnement des échantillons précise, robuste et synchronisée avec l'acquisition IRM.
- mise au point d'un système d'antennes radiofréquences adapté à l'imagerie de matériaux hétérogènes et à temps de relaxation courts tels que ceux rencontrés fréquemment dans les milieux complexes.
- mise en place et tests d'éléments de blindage magnétique de l'aimant pour un fonctionnement ouvert à l'avant et à l'arrière lors d'expériences mettant en jeu des écoulements.

D'autre part, les méthodes d'imagerie et de traitement des données seront transférées du monde du vivant (expérience de IADI, pôle BMS) vers le monde de l'ingénierie (LEMTA, pôle EMPP). Les acquisitions en clinique sont en effet très évoluées et optimisées pour le vivant mais des améliorations doivent être apportées afin de garantir la fiabilité des mesures lorsque l'IRM est utilisée pour l'étude de matériaux et ou d'écoulements dans des milieux complexes et/ou naturels.

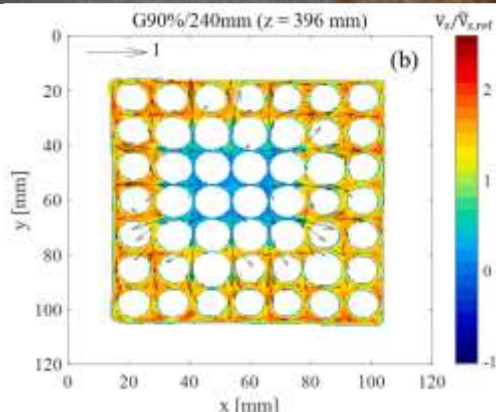
Figure 2

Un exemple de travail collaboratif réalisé entre le LEMTA et l'IRSN sur l'appareil IRM de type « préclinique » existant (et qui sera remplacé dans le cadre du programme **SPIN-EST**)



Vélocimétrie IRM 3D dans un assemblage de combustible nucléaire pour la simulation d'un accident de refroidissement

L'objet est une maquette à l'échelle 1:1 (89 mm x 89 mm x 1.08 m) simulant une grappe de 49 crayons de combustibles déformés.



Résultat de la mesure du champ de vitesse tridimensionnel de l'eau de refroidissement. Coupe axiale à une position donnée le long de l'assemblage.

Oliveira A. et al. (2020). Velocity field and Flow redistribution in a ballooned 7x7 fuel bundle measured by magnetic resonance velocimetry. *Nuclear Engineering and Design* 369, 110828.

Ces développements techniques et les transferts de compétences permettront d'améliorer l'efficacité de la métrologie IRM pour accélérer le déploiement d'applications pour la recherche sur l'énergie et les transferts. Dans le domaine de l'hydrogène et des piles à combustible, en plus du programme EquipEX DurabilitHY, les avancées seront directement exploitables pour la visualisation du fonctionnement des électrodes à l'interface

avec la membrane électrolyte : ce point est entre-autres mis en avant et développé dans le cadre du programme Européen ALPE* auquel participe le LEMTA. L'activité des laboratoires du pôle EMPP en IRM sera très nettement augmentée. L'accent sera porté également sur la création de débouchés vers l'industrie, dans un premier temps avec EDF et l'IRSN avec lesquels des travaux novateurs ont récemment été menés autour de la problématique du refroidissement de combustible nucléaire (il s'agit de l'application de la **Figure 2**).

A l'échelle nationale, les laboratoires membres du réseaux RME** « Résonance Magnétique et Energie » pourront accéder à l'infrastructure dans le cadre de collaborations scientifiques avec les partenaires de ce programme.

* Programme EIT RawMaterials "ALPE". Advanced Low-Platinum hierarchical Electrocatalysts for low-T fuel cells" (01/2020-12/2022) partenaires: Università degli Studi di Padova (University of Padova), Italy (coordinator) / BRETON S.p.A., Italy / Centro Ricerche Fiat S.C.p.A., Italy / CEA, France / INP Grenoble, France / SYMBIO, France / University of Warsaw, Poland.

** Laboratoires partenaires du réseau RME: CRM2 (Vandoeuvre-les-Nancy) ; Navier (Champ sur Marne), Phénix (Paris) ; CEMHTI (Orléans) ; IFPEN (Rueil Malmaison) ; INRAE (PRISM, Rennes et AgroResonance, Saint-Gènes-Champanelle) ; CEA INAC (Grenoble) ; IR4M (Orsay)

Le programme SPIN-EST dans le cadre de la politique de recherche de l'Université de Lorraine :

○ *Nouvelles transversalités*

Le programme est résolument novateur et relativement inédit au sein de l'Université de Lorraine car il associe deux unités de recherche appartenant à deux pôles de recherche différents de l'établissement : le pôle BMS (Biologie, Médecine, Santé) pour IADI et EMPP (Energie, Mécanique, Procédés, Produits) pour le LEMTA.

Au-delà de l'aspect matériel, le programme permettra donc de *croiser les compétences des partenaires* : le LEMTA bénéficiera de l'expérience et la reconnaissance de IADI dans l'acquisition IRM et le traitement des images afin de mieux développer ses propres compétences. Le pôle EMPP bénéficiera d'un accès privilégié sur une machine de type clinique pour des activités de recherche sur des applications du domaine de l'énergie : mécanique et transferts (LEMMA), procédés (LRGP), matériaux bois (LERMAB), actuateurs magnétiques (GREEN). Le pôle BMS (IADI) bénéficiera des compétences de l'équipe « IRM pour l'ingénierie » du LEMTA en termes de développements électroniques d'antennes de RMN. Enfin, l'ensemble des partenaires (académiques et industriel) bénéficiera des résultats des travaux de développement méthodologiques et de produits qui seront réalisés dans le cadre des collaborations industrielles qui seront formalisés pendant la réalisation du programme.

○ *Formation, enseignement et futurs emplois*

Le programme propose un axe important autour de l'enseignement et de la formation. Concernant cette dernière, comme spécifié précédemment, l'objectif sera de devenir le centre national de référence pour l'évaluation de la compatibilité IRM. L'enseignement occupera également une part importante de la plateforme, de nombreux besoins ayant été identifiés à l'échelle locale dans le domaine de la santé (Ingénieur biomédical de l'Université de Lorraine, Institut de Formation des Manipulateurs en Electroradiologie Médicale, Ecole de Chirurgie). La plateforme proposera également des enseignements pratiques sur les appareils IRM aux formations ingénieurs et aux futurs docteurs, disséminant des méthodes résolument innovantes dans les secteurs de l'ingénierie où ils sont historiquement absents (ressources énergétiques, filière hydrogène, procédés, génie pétrolier, agroalimentaires).

Calendrier prévisionnel du programme : (1 page)

Phasage du programme

Le programme démarrera en avril 2022. Cette date a été déterminée en accord avec le planning des futurs travaux du bâtiment IRIS.

Le programme est phasé en quatre étapes : aménagement des locaux et acquisition de matériel, mise en service, développement méthodologique et valorisation économique.

Les deux imageurs seront acquis pendant la durée de réalisation du programme. Les travaux du bâtiment pour la réception du premier appareil (faible ouverture) seront réalisés au LEMTA et l'appel d'offre sera rédigé dès l'acceptation du projet. L'instrument pourra être installé et disponible pour les activités de recherche en partenariat avec les industriels ciblés au cours de l'automne 2022.

L'installation de l'imageur de type « clinique » (large ouverture) sera également planifié pour fin 2022 dans le nouveau bâtiment recherche IRIS du CHRU de Nancy Brabois. Ce type d'équipement existe sur les centrales d'achats (UGAP) ce qui simplifie l'acquisition.

Le contrat de collaboration de recherche sera établi avec la société RS²D suffisamment tôt après le démarrage du projet afin qu'une personne soit recrutée et puisse commencer à travailler sur les aspects scientifiques ne nécessitant pas d'appareil ou pouvant être réalisés dans les appareils existants : développement d'antenne RF, traitement d'images et technologie SAEC.

Au-delà du projet SPIN-EST, le programme de travail entre RS²D et les partenaires se poursuivra, avec en particulier la mise au point d'une station de test RF hors champ magnétique grâce au séquenceur commercialisé par la société.

Le laboratoire IADI a un contrat de collaboration en cours avec la société Siemens. 10 projets de recherche sont en cours dont une thèse CIFRE. Dans le cadre de ce contrat, des informations confidentielles sont échangées sur les designs des antennes radiofréquences par exemple. Dans ce cadre, une nouvelle thèse CIFRE est prévue pour l'imagerie multicontrastes des organes en mouvements.

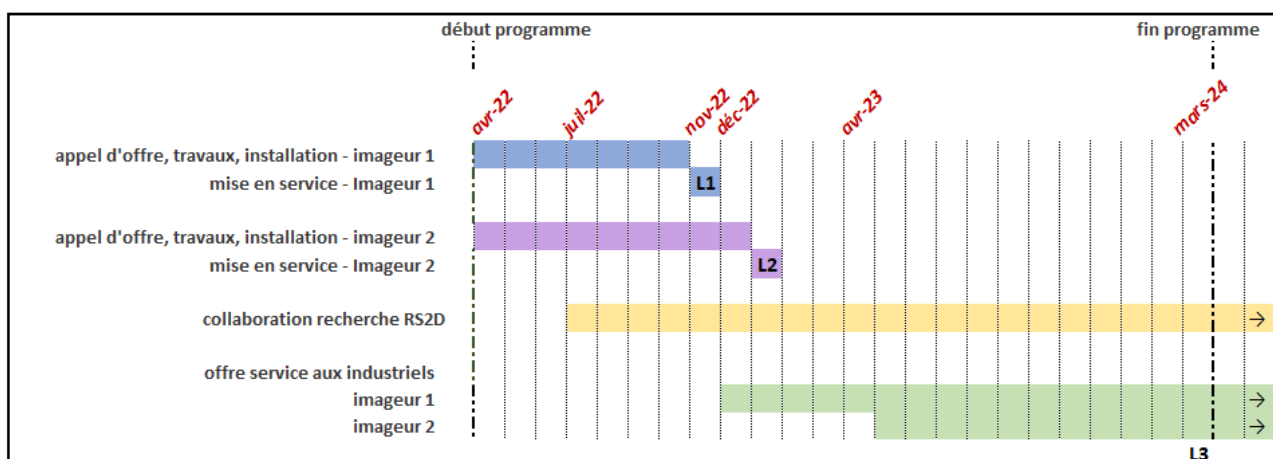
Nature des livrables attendus et dates prévisionnelles de livraison :

L1 : mise en service de l'instrument #1 – IRM de type « préclinique », faible ouverture. Date prévisionnelle : novembre 2022.

L2 : mise en service de l'instrument #2 – IRM de type « clinique », large ouverture. Date prévisionnelle : avril 2023.

L3 : bilan du programme. Date prévisionnelle : mars 2024.

Diagramme de Gantt



Adéquation entre le programme et les moyens mis en œuvre pour sa réalisation : (1 à 2 pages)

Moyens d'accompagnement en termes d'infrastructures et de personnels pour le fonctionnement et la gestion des équipements :

- Moyens humains : personnel permanent (nb d'ETP, catégorie de personnel)

Pour la gestion globale de la plateforme, les 3 partenaires s'engagent à mettre à disposition 1 ingénieur(e) de recherche à 1/3 ETP, soit un total de 1 ETP. Ils seront impliqués dans la gestion technique (contrôle qualité, maintenance), la formation (sécurité, utilisation) et les services auprès des prestataires.

Cette plateforme sera un outil central dans les activités de recherche et de développement des partenaires, les intervenants seront donc multiples.

	Personnel Permanent	Thèses et post-doctorats	Avec SPIN-EST
IADI	2 CR, 1 MCU, 2 IR, 2 IE (1.3 ETP)	1 en cours, 2 demandes, 3 CIFRE (Schiller, Bioserenity, Healtis) (4 ETP)	CIFRE Industrielle IRM (1 ETP), Temps ingénieur d'application (20 j/an)
LEMTA	1 PRU, 1 DR CNRS, 5 MCU, 2 IR (1.5 ETP)	2 thèses et 3 post-doctorats en cours (5 ETP)	Ingénieur RS ² D (1 ETP)
HEALTIS	4 ingénieurs/docteurs, 2 techniciens (1 ETP)		4 futurs embauches

- Equipements déjà existants

Les équipements ci-dessous seront intégrés au sein de la plateforme :

- antennes cliniques et précliniques compatibles avec les nouveaux dispositifs IRM,
- système d'analyse des signaux et de contrôle d'événements (SAEC),
- divers bancs de test (torsion, attraction, injection de produits de contraste, etc.),
- instrumentation pour l'élastographie,
- moniteur ECG amagnétique MagLife Serenity.

Les équipements ci-dessous seront complémentaires de la plateforme :

- spectromètre Bruker Avance III 600 MHz équipé pour la micro-imagerie. Acquis en 2009, il est localisé à la Faculté des Sciences et Techniques (Vandoeuvre-lès-Nancy), fait partie de la plateforme de RMN de l'Institut Jean Bariol.
- IRM clinique Siemens PRISMA 3T situé au CHRU de Brabois (Vandoeuvre-lès-Nancy). Cet imageur clinique permettra de translater les développements réalisés sur la plateforme vers la recherche clinique (sur patients ou volontaires).

L'équipement ci-dessous sera remplacé par la nouvelle plateforme :

- IRM Bruker 2.34 T, datant de 1985, localisé à la faculté des sciences et techniques (Vandoeuvre-lès-Nancy). Cet appareil très vétuste a déjà doublé sa « durée de vie » (acquisition en 1985) et ne garantit plus la fiabilité nécessaire à des travaux scientifiques sur le long terme.

Montant du programme correspondant aux dépenses d'investissement et de fonctionnement ; Pertinence et justification des coûts du programme :

Les dépenses d'investissement en matériels représentent 2.25 M€ auxquels s'ajoutent 150 k€ de travaux. Cet investissement permettra d'acquérir deux dispositifs IRM, qui seront utilisés comme outil de travail principal des trois partenaires. Cet investissement est critique pour les laboratoires IADI et LEMTA ainsi que pour la société Healtis. La vétusté de l'IRM utilisé par le LEMTA ne permet plus de mener des travaux dans des conditions satisfaisantes alors que le nombre de projets de recherche augmente constamment (actuellement trois post-doctorats et deux thèses en cours, ce qui occupe l'appareil à 100%).

Concernant l'IRM 3T du CHRU actuellement exploité, les 2 jours/semaine alloués au laboratoire IADI et au CIC-IT de Nancy ne sont plus suffisants pour absorber l'activité de recherche (surutilisation à 110%). Les industriels,

dont Healtis, interviennent sur des créneaux nocturnes, si bien que la machine est occupée deux soirs sur trois environ.

La réglementation concernant l'accès aux données cliniques sur la machine du CHRU rend plus complexe la réalisation de prestations avec les extérieurs. Enfin, les contraintes de sûreté matérielle imposées par le contexte clinique du CHRU imposent un bridage des possibilités offertes par cette machine. Pour les autres académiques de l'Université de Lorraine, cette plateforme sera également très pertinente, notamment pour l'activité préclinique (qui est actuellement réalisée sur l'IRM clinique du CHRU avec des contraintes de disponibilités et d'hygiène importantes).

Les modalités de pilotage seront finalisées entre les partenaires (laboratoires), Healtis, le CHRU et l'Université. Les équipements seront acquis par l'Université de Lorraine. La gestion de l'IRM grande ouverture pourra se faire dans un contexte public-privé du type GIE. Chaque partenaire est associé à la gestion du GIE et met à disposition le personnel pour la réalisation de ces propres travaux. Trois ingénieurs de recherche seront principalement impliqués pour la gestion de la plateforme et la formation des intervenants. Nous appliquerons nos règles actuelles sur la formation : e-learning sécurité, travaux pratique sécurité, formation et coaching pendant quelques séances, validation de la formation puis travail en indépendance. Nous utiliserons également un logiciel de gestion des réservations (GRR) et ensuite un suivi du temps d'utilisation de l'IRM (ChronosSpin). Ces outils sont déjà en place depuis des années sur l'IRM partagé avec la clinique. Cela permet de faire des statistiques d'utilisation. Un règlement intérieur décrira les règles d'utilisation de l'équipement.

Pour l'IRM petite ouverture, l'utilisation sera majoritairement couverte par les besoins en recherche sur l'énergie (au sens large) et plus marginalement par les industriels dans le cadre de collaborations ou de partenariats. Dans ce cadre, la gestion et les frais de maintenance seront supportés par le LEMTA. Si les activités de prestation aux industrielles venaient à s'intensifier, il pourrait être envisagé de recourir à un autre moyen de gestion. Afin de satisfaire aux impératifs d'un service de haute qualité à la recherche et à l'innovation, la machine sera labellisée INFRA+ à l'Université de Lorraine.

Aspects organisationnels du programme :

Une réunion mensuelle sera organisée par les partenaires pour suivre les installations et les projets de recherche. Une réunion annuelle sera organisée avec les tutelles et les partenaires privés. Différents livrables seront rendus : un premier par la mise en service de l'équipement 1, un second par la mise en service de l'équipement 2, et enfin un troisième au titre d'un bilan chiffré à la fin du programme.

Réponse aux enjeux économiques

Le programme **SPIN-EST** sera un déclencheur de développements technologiques et d'innovations dont bénéficiera l'ensemble des acteurs régionaux de l'IRM. Les progrès réalisés en termes d'instrumentation, de sûreté et fiabilité des dispositifs médicaux permettront la création de propriété intellectuelle, de brevets, qui seront indirectement créateurs d'emploi. En dynamisant la recherche et l'innovation autour de l'IRM, le programme favorisera l'augmentation de l'activité des constructeurs d'appareils et d'appareillages IRM. Un objectif est bien évidemment de poursuivre la dynamique engagée (IADI, CIC-IT, Healtis, NancyCareTech), avec un maintien des emplois créés et de continuer à former des étudiants chercheurs. Les liens avec les sociétés partenaires ont déjà permis la création de nombreux emplois. La collaboration de recherche avec la société RS²D sera *directement créatrice d'emploi, dès le démarrage du projet*. L'augmentation des activités de sociétés locales comme Healtis, partenaire du projet, sera substantielle. De plus, l'offre de service offerte par la plateforme favorisera l'activité économique des utilisateurs privés.

Dans le cadre du développement de la filière Hydrogène, ce programme s'articule avec des travaux structurant à l'échelle locale, soutenus grâce au volet ULHyS (University of Lorraine - Hydrogen Sciences and technologies) du projet LUE-IMPACT qui vise à développer les technologies de l'hydrogène. A ce titre, plusieurs acteurs nationaux (Air Liquide/Axane, AREVA H2Gen, BOWEN ERTE...) et régionaux (C2IME, ENGIE, Leach International Europe, Mécanique de Précision du Barrois) ont manifesté leur intérêt pour cette thématique, ainsi que leur volonté d'accroître significativement la visibilité de l'offre technologique sur le territoire de la Région Grand-Est notamment, ainsi qu'au bénéfice des TPE, PME et ETI. Le programme s'articule également parfaitement avec l'EquipEX+ DurabilitHY de l'action Équipements structurants pour la recherche du P.I.A.3 auquel participe le LEMTA. Entre-autres actions, cet EquipEX cible également, pour le LEMTA, le renouvellement de l'appareil actuel (Biospec), et permettra de cofinancer de manière significative l'imageur IRM préclinique. L'EquipEX+ DurabilitHY témoigne également du niveau de reconnaissance acquis par le LEMTA au sein de la communauté hydrogène, grâce aux savoir-faire développés en IRM et RMN des membranes ionomères. *Les avancées technologiques de l'IRM favorisées par le programme **SPIN-EST** contribueront donc nécessairement au développement de la filière hydrogène, dans la Région Grand Est et sur l'ensemble du territoire national.*

Retombées sociétales

L'activité de recherche du laboratoire IADI et du CIC-It vise bien évidemment à améliorer la prise en charge des patients et donc soigner mieux. Depuis plusieurs années, nous travaillons avec l'équipe clinique pour également rendre l'examen IRM moins pénible. Dès l'accueil des jeunes patients, un dessin animé explique l'examen dans la salle d'attente dédiée aux enfants. Une étude est en cours pour évaluer l'apport de la réalité virtuelle proposée avant l'examen afin de réduire de stress de l'examen. Nous avons mis en place un système de projection dans le tunnel de l'IRM permettant aux enfants de regarder un dessin animé pendant l'examen et donc éviter une anesthésie générale. Une partie de la recherche vise à éviter les apnées successives demandées pour des examens cardiaques et abdominaux. Pour l'IRM mammaire, nous travaillons sur un concept totalement novateur, visant à faire l'examen couché sur le dos et ainsi éviter un examen couché sur le ventre. Ainsi, nous réduirons les contraintes pour la patiente et nous amélioreront la qualité des images. La conception d'une antenne soutien-gorge est en phase de finalisation. Nous évaluons également des solutions pour éviter l'usage de produit de contraste pour ce type d'examen annuel pour les personnes à risque. Dans le domaine cardiaque, nous travaillons sur un examen combinant l'IRM et l'analyse électrique avec un textile instrumenté. Les deux conceptions d'habits visent également à préserver l'intimité des personnes lors de l'examen.

Au-delà des impacts économiques et environnementaux associés à l'hydrogène, les retombées sociétales sont également bien identifiées : elles concernent principalement l'usage de l'hydrogène comme moyen de stocker localement les énergies renouvelables ce qui offre en pratique la possibilité de décentrer et ainsi valoriser considérablement les ressources : chaque région, ville, quartier, voire chaque bâtiment aurait alors la possibilité de devenir un producteur et/ou un acteur du marché de l'énergie, principalement électrique. Ces nouveaux usages auront à terme un impact social et économique considérable et transformeront les territoires. Le projet **SPIN-EST** contribuera à répondre à l'enjeu de l'augmentation de la durabilité des systèmes de piles à combustible et électrolyseurs car il permettra d'asseoir l'IRM comme une métrologie incontournable de la filière hydrogène. Au-delà, il convient de noter également que le LEMTA poursuit également, grâce à la RMN, des travaux importants sur le stockage de l'énergie dans les matériaux à changement de phase, une autre des problématiques de la transition énergétique.

Retombées environnementales

Le développement de l'hydrogène comme vecteur énergétique et celui des piles à combustible comme moyen de le (re)transformer en électricité aurait un impact très positif sur l'environnement à travers l'usage de moyens de transport propres et économes ainsi qu'à travers le développement des énergies renouvelables intermittentes telles que le solaire et l'éolien : l'hydrogène faciliterait alors leur stockage en grandes quantités, et donc leur déploiement à grande échelle. Le projet **SPIN-EST**, à travers l'encrage des méthodes IRM dans la recherche sur la durabilité des systèmes de piles à combustible apportera une contribution dans la réponse aux enjeux environnementaux actuels, notamment en ce qui concerne la durabilité membranes ionomères utilisées dans les piles à combustible et les électrolyseurs.

Descriptifs des équipements demandés dans le cadre du programme : (2 à 3 pages maximum)

Le programme concerne l'acquisition, la mise en service et l'exploitation de deux imageurs IRM complémentaires.

Équipement 1 : imageur IRM 3Tesla à *ouverture modérée* et *gradient de champ intense*

Il s'agira d'un imageur de type « préclinique » c'est-à-dire pensé initialement par les constructeurs pour des applications de recherche sur les petits animaux (souris, rats). L'imageur sera utilisé exclusivement pour des études et applications sur des *échantillons, des dispositifs, des procédés non vivants*. L'ouverture visée (de **15 à 20 cm**) sera adaptée pour accueillir des systèmes et objets instrumentés (mesures et capteurs divers). Le système de gradient de champ magnétique sera adapté à la mesure de faibles vitesses ($< 250 \mu\text{m/s}$) et de coefficients de diffusion ($< 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$) lors d'écoulements et transferts de masse en milieux complexes et sera apte à produire ces images à haute résolution spatiale ($< 100 \mu\text{m}/\text{point}$). L'aimant sera ouvert à l'avant et à l'arrière afin de permettre la mise en place de boucles fluides et l'instrumentation (tuyaux de gaz, sondes, capteurs).

Une partie du travail de collaboration avec l'entreprise RS²D sur cet instrument consistera à développer un système de positionnement précis et reproductible des échantillons. L'innovation résidera dans l'interfaçage avec le logiciel d'acquisition de l'appareil et la synchronisation avec les événements constituant les séquences d'imagerie. La table de déplacement devra également être capable de supporter des charges pouvant être relativement importantes, ce qui est nécessaire pour les applications visées (instrumentation, boucles fluides, boîtiers de mesure, etc..) et relativement éloignés des besoins plus standard de l'imagerie pré-cliniques sur les petits animaux (quelques centaines de grammes). Un autre volet du travail consistera à optimiser l'écrantage du bruit électromagnétique ambiant (ondes dans la gamme des radiofréquences) par un système d'écrans passifs à l'avant, à l'arrière et autour des dispositifs. Ce travail sera nécessaire en particulier lors d'expériences réalisées sous écoulement et/ou en utilisant une instrumentation ne permettant pas à l'aimant d'être physiquement fermé.

L'appareil, équipé de sa table de positionnement, sera à même d'accueillir des applications et systèmes expérimentaux très variés, ainsi que l'installation de multiples capteurs pour les besoins des laboratoires partenaires et, globalement, de l'Université. Au-delà, il s'agira d'un appareil structurant pour la communauté de la recherche sur les applications pour l'Energie, dans les domaines de l'hydrogène et pour les activités des laboratoires du réseau RME (applications en génie civil, alimentaire, matériaux). Les gradients de champ magnétique intenses ($> 250 \text{ mT/m}$ et jusqu'à 1000 mT/m avec un système d'insert) pourront en outre être exploités par la société Healtis pour des essais de dispositifs médicaux de faible volume (pacemakers) soumis à ces conditions extrêmes (gradient jusqu'à 15 fois plus intenses que les normes médicales).

Équipement 2 : imageur IRM 3 Tesla à *grande ouverture*

L'appareil visé est un imageur 3 Tesla de type clinique, c'est-à-dire classiquement utilisé pour réaliser des examens sur patients. Sur cette plateforme, il sera utilisé exclusivement pour des études et applications non cliniques, mais pourra tout de même accueillir des animaux de petites (souris, rats, etc.) ou grandes (porcs, brebis) tailles pour des études précliniques. Il sera situé dans les tous nouveaux locaux du bâtiment IRIS du CHRU de Brabois Nancy, proche de la plateforme d'imagerie moléculaire Nancyclotep.

L'intérêt d'utiliser une machine clinique est triple :

- les caractéristiques de ces machines sont idéales (car équivalentes à celles utilisées sur les patients) pour évaluer la compatibilité et sécurité des dispositifs médicaux),
- la largeur de l'ouverture (généralement plus de 60 cm) permettra d'accueillir des systèmes et objets instrumentés de grandes tailles, comme par exemple des dispositifs instrumentés encombrants pour le LEMTA, des fantômes étalon mimant la taille de patients humains côté IADI ou encore des dispositifs médicaux de grandes tailles (prothèses) pour Healtis.

Les caractéristiques de cette machine devront être haut de gamme, afin de permettre aux équipes de recherche de travailler à la pointe de l'innovation et de garantir une comptabilité avec d'éventuelles évolutions des normes d'évaluation de la compatibilité des dispositifs médicaux pour la société Healtis.

Les caractéristiques que la future machine devra respecter sont les suivantes :

- champ magnétique de 3 Tesla.
- largeur d'ouverture de plus de 60 cm.
- amplitude maximale des gradients supérieure ou égale à 60 mT/m : plus cette valeur est élevée, plus la résolution spatiale est importante, et plus l'épaisseur de coupe, pourra être choisie précisément.
- la pente, qui correspond à la rapidité de commutation des gradients devra être supérieure ou égale à 200 T/m/s afin de permettre les séquences d'imagerie ultra-rapide.

Différents échanges sont en cours avec l'industriel Siemens, une lettre de soutien à ce projet sera rédigée par l'industriel. Cependant, un appel d'offre public sera effectué pour l'achat de cette machine, les offres des autres industriels remplissant l'ensemble des critères seront donc également étudiées.

Qualité du modèle économique associé à l'activité de l'équipement

Des financements publics (fonds de roulement de l'Université de Lorraine, ANR (EquipEX DurabilitHY) ainsi qu'un apport privé (apport Healtis) seront mobilisés pour l'investissement initial de ce projet. L'ensemble des fonds seront reversés à l'Université de Lorraine qui réalisera ensuite les achats. L'ensemble des équipements seront donc labélisés Université de Lorraine, et l'assurance des équipements sera donc affiliée à celle-ci. Des frais de maintenance et autres charges (fluides, loyer, consommation énergétique, etc.), seront assumés par la plateforme grâce à une activité de prestation. Les tarifs horaires des prestataires seront inférieurs à ceux actuellement pratiqués sur l'IRM du CHRU de Nancy Brabois et divisés selon quatre catégories (par ordre croissant de tarification) :

- enseignement,
- partenaires du projet (IADI, Healtis, LEMTA),
- autres académiques,
- industriels.

Le mode de fonctionnement décrit garantit que chacun des partenaires participera au prorata de son utilisation de la machine, et qu'une part importante des charges sera assumée par les industriels.

En ce qui concerne l'IRM à faible ouverture, bien qu'une montée en puissance progressive des collaborations et de la prestation pour les industriels (autre que Healtis) soit un objectif à moyen terme, peu de prestataires industriels (et donc de bénéficiaires économiques) sont identifiés. Le LEMTA étant le principal utilisateur de cet imageur, sa gestion lui reviendra dans un premier temps (hors GIE).

Concernant l'IRM grande ouverture, en plus de la société Healtis, plusieurs industriels sont identifiés comme futurs utilisateurs de la plateforme (Siemens/General Electric, Schiller Medical, BioSerenity, NancyCareTech). Concernant les partenaires académiques, l'activité préclinique petit animal (Nancyclotep, CRAN) actuellement réalisée sur l'IRM clinique du CHRU sera déportée sur la plateforme pour les raisons évoquées précédemment (hygiène simplifiée, surutilisation). En accord avec l'Animalerie du Campus Biologie Santé (ACBS), des acquisitions sur des animaux de tailles plus importantes (porc, brebis, etc.) seront également réalisées.

Selon nos estimations, le budget de la plateforme sera à l'équilibre durant l'année 4, et dégagera ensuite des bénéfices. Afin de piloter l'utilisation de ces bénéfices, la création d'un Groupement d'Intérêts Economique (GIE) rassemblant l'Université de Lorraine, Healtis, et éventuellement le CHRU de Nancy (hôte de l'IRM), le CNRS (tutelle du LEMTA) et l'INSERM (tutelle de IADI) est envisagée. Cette forme juridique a été choisie car elle permet, via des frais de formalisme et de constitution réduits, de mutualiser les ressources d'entités privées et publiques. Elle permet également une grande souplesse de fonctionnement avec des frais de fonctionnement faibles (comptabilité). L'utilisation envisagée des bénéfices est :

- embauche d'un(e) ingénieur(e) de plateforme
- achat de matériels
- diminution du tarif horaire pour les partenaires et académiques.

Si cette solution est retenue, un accord de consortium sera conclu par les différents partenaires afin d'explicitier la propriété intellectuelle des résultats qui seront générés. Pour la gestion économique, en cas de création d'un GIE, un expert-comptable et un commissaire aux comptes seront sollicités, le coût pour le GIE étant estimé à 13 k€/an.

C. BUDGET DU PROGRAMME

Coût total prévisionnel du programme : 3 004 120,40 € dont Investissement : 2 180 000 €
dont Fonctionnement : 824 120,40 €

Régime TVA : HT

Montant total de l'aide régionale sollicitée : 500 000 € en Investissement

I. Les dépenses prévisionnelles

Se reporter à **l'Annexe « Plan de financement Infrastructure 2021 »** pour renseigner les dépenses prévisionnelles du programme, poste par poste, et par section de dépenses (investissement et fonctionnement).

II. Echéancier du programme

Les montants des dépenses prévisionnelles peuvent être ventilés par année dans la même annexe.
La durée maximale du programme est de 2 ans.

III. Les ressources

Se reporter à l'Annexe « Plan de financement Infrastructure 2021 » pour renseigner le tableau détaillé des ressources du programme par section de dépenses (investissement et fonctionnement).



L'annexe « Plan de financement Infrastructure 2021 » est à produire et à compléter pour le programme dans sa globalité pour les sections d'investissement et de fonctionnement même si les dépenses éligibles pour la Région Grand Est concernent uniquement l'investissement.

D. APPRECIATION ET ENGAGEMENT DE L'ORGANISME GESTIONNAIRE

I. Appréciation et engagement de l'organisme gestionnaire

Ce dossier doit avoir fait l'objet d'un avis du Conseil Scientifique ou de la Commission Recherche de l'établissement demandeur (pour les Universités) ou de l'autorité compétente (pour les autres établissements d'enseignement supérieur et de recherche).

II. Engagement de l'organisme gestionnaire

Je soussigné, M. Pierre Mutzenhardt, Président de l'Université de Lorraine, sollicite une aide de la Région Grand Est de € pour la réalisation du programme intitulé « » évalué à € HT.

Fait à, le .././...

Cachet et signature (représentant légal ou délégué)