

Imagerie X par contraste de phase en régime impulsif pour le diagnostic à haute résolution de tissus mous

DESCRIPTION ET PROBLÉMATIQUE

La détection précoce du cancer du sein est un problème majeur de santé publique. Ce projet de thèse porte ainsi sur le développement d'une technique ambitieuse basée sur l'imagerie X en contraste de phase pour proposer un diagnostic performant adressant une telle problématique. Il conjugue innovation scientifique en faisant appel à des impulsions de rayons X de cohérence élevée propices à la mise en évidence de détails tissulaires de basse dimensionalité (domaine micrométrique) et innovation technologique, en incorporant de nouveaux détecteurs X fortement résolutifs.

La technique d'imagerie X par contraste de phase, dont la maturité est démontrée dans la recherche et l'industrie, est particulièrement bien adaptée pour imager des milieux peu absorbants tels que des tissus mous. Elle s'impose même par rapport aux autres techniques lorsqu'il s'agit de révéler des détails infiniment petits [1,2]. Les enjeux de cette thèse sont ainsi de démontrer une résolution spatiale élevée et d'améliorer la qualité des images X actuelles afin de détecter des tumeurs naissantes de quelques micromètres, localisées dans des régions où l'imagerie X d'absorption est inopérante, car moins sensible. Cette avancée majeure permettrait un diagnostic plus précoce des cancers localisés dans des tissus, comme le cancer du sein.

Pour cela, le doctorant aura accès à un environnement de recherche exceptionnel, avec l'accès à des sources de rayonnement X ultracourtes hautement cohérentes produites par interaction laser-plasma [3] et aussi de type tubes X continus à des fins de comparaison. Il utilisera des codes de simulation afin de dimensionner de façon optimale le banc d'imagerie. Il bénéficiera ainsi de l'expertise acquise lors du travail collaboratif entre les laboratoires LP3 et CEA-List. Enfin, l'élément clef technologique permettant de mener à bien ce projet sera la mise en œuvre de détecteurs prototypes de CEGITEK, composés de pixels hybrides de 75 μ m, dimension la plus petite existante aujourd'hui. Une analyse comparative des images de phase acquises sur un fantôme de

cancer du sein sera faite en fonction de la source X, du réseau de phase choisi pour l'imagerie ainsi que pour divers détecteurs de nature différente (détection directe, indirecte et technologie hybride) afin de mettre en évidence les avancées dans le domaine de l'imagerie X grâce à cette approche innovante.

DESCRIPTION DU GROUPE DE RECHERCHE ET DE L'ENCADREMENT

Un consortium combinant continuum d'expertise scientifique nécessaire au projet et innovation technologique a été constitué. Il comprend l'entreprise CEGITEK, localisée à Roquefort la Bédoule, qui développe au meilleur niveau international des détecteurs X, dédiés notamment aux applications d'imagerie, l'AP-HM - Marseille, qui fournira les fantômes de cancer du sein et pourra se positionner en tant qu'utilisateur final, et le laboratoire LP3 (Luminy), spécialiste de la génération et de la mise en œuvre de sources X impulsives à haute cadence. LP3 est de plus impliqué dans l'institut Marseille Imaging, ce qui pourra stimuler une synergie régionale par l'envergure de son périmètre impliquant laboratoires, organismes publics et entreprises. Par ailleurs, dans une perspective de développement et rayonnement allant bien au-delà de la Région, le CEA-List (Paris-Saclay) interviendra pour la partie traitement et analyse d'image et ainsi valorisera les développements scientifiques et techniques réalisés dans ce projet. L'encadrement sera porté par Dr. Amélie Ferré, Maître de conférence. La direction de la thèse sera assurée par Dr. Olivier Uteza, directeur de recherche CNRS au LP3. La thèse sera en cotutelle avec la société Cegitek, dont l'encadrant sera Johan Simoncini, PDG de la société.

TRAVAIL PROPOSÉ

Ce projet de thèse portant sur le développement d'une technique d'imagerie X [5-7] au profit de la détection précoce du cancer du sein mettant en œuvre un détecteur X innovant à très forte capacité de résolution spatiale. Au cours de la

PROPOSITION DE SUJET DE THÈSE

thèse, les échanges entre le partenaire socio-économique (société Cegitek spécialisée dans le secteur d'activité de l'ingénierie, et en particulier des systèmes détecteurs dans le domaine des rayons X), le laboratoire et le doctorant seront nombreux et réguliers.

- **Formations sur Technologie Détecteur X par la société CEGITEK.** Il investira ainsi du temps dans l'entreprise (~plusieurs semaines /mois pendant 4 mois, puis réunions régulières sur un rythme mensuel modulable à la demande).
- **Connaissances de l'interaction laser – plasma à haute intensité** et haute cadence et de la mise en œuvre des sources X secondaires (8,04 keV et 17,5 keV) induites lors de telles interactions pour l'imagerie X.
- **Développement et démonstration de performances d'imagerie**, soutenues par l'accès à des codes de simulation et d'analyse, seront réalisées au cours de sa 2^{ème} année.
- **Réalisation d'expériences comparatives d'imagerie X** avec une source de tube à rayon X et source K alpha, aux mêmes énergies (8 keV, 17.5 keV),
- **Preuve de principe d'imagerie**, démontrant la pertinence de l'approche choisie, sera faite sur **un fantôme du cancer du sein**.

FORMATION ET COMPÉTENCES REQUISES

Le candidat devra être titulaire d'un master II et/ou d'un diplôme d'ingénieur portant sur une ou plusieurs des thématiques suivantes : interactions rayonnement ionisant/matière et/ou physique des plasmas, physique des lasers et/ou méthodes optiques ainsi que des compétences en langages de programmation informatique (Python / C, C++, Matlab...) et électronique, interfaçages seront appréciées.

Des compétences relationnelles, rédactionnelles et de communication en anglais seront nécessaires à travers la rédaction d'articles scientifiques et de participation à des conférences internationales.

Il lui faudra également un goût vif pour la mise en œuvre expérimentale et pour le travail de groupe.

COMPÉTENCES ACQUISES

A travers cette thèse, l'étudiant développera ces connaissances en physique du laser, des plasmas, en interaction rayonnement X-matière. Il

Cadre : Bourse région cotutelle Octobre 2023

développera de forte compétence en traitement d'image, détecteur X et simulation mais aussi dans la mise œuvre expérimentale en environnement contraint.

CONTACTS

Amélie Ferré:

ameli.ferre@univ-amu.fr, 06 29 74 51 63

Olivier Uteza:

olivier.uteza@univ-amu.fr, 06 12 57 08 97

RÉFÉRENCES

- [1] Momose, Atsushi. "Recent advances in X-ray phase imaging." Japanese journal of applied physics 44.9R (2005): 6355.
- [2] Endrizzi, Marco. "X-ray phase-contrast imaging." Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, spectrometers, detectors and associated equipment 878 (2018): 88-98.
- [3] Azamoum, Y., Clady, R., Ferré, A., Gambari, M., Utéza, O., & Sentis, M. (2018). "High photon flux K α Mo x-ray source driven by a multi-terawatt femtosecond laser at 100 Hz." Optics Letters, 43(15), 3574-3577.
- [4] Gambari, M., Clady, R., Stolidi, A., Utéza, O., Sentis, M., & Ferré, A. (2020). "Exploring phase contrast imaging with a laser-based K α x-ray source up to relativistic laser intensity." Scientific Reports, 10(1), 1-9.
- [5] Primot, J. (1993). "Three-wave lateral shearing interferometer". Applied optics, 32(31), 6242-6249.
- [6] Rizzi, J., Mercere, P., Idir, M., Da Silva, P., Vincent, G., & Primot, J. (2013). "X-ray phase contrast imaging and noise evaluation using a single phase grating interferometer." Optics express, 21(14), 17340-17351.
- [7] Stolidi, A., Giakoumakis, G., Primot, J., Jarnac, A., & Tisseur, D. (2022). "Confidence map tool for gradient-based X-ray phase contrast imaging." Optics Express, 30(3), 4302-4311.

