

Proposition du projet de stage au GIP ARRONAX :

Fabrication et caractérisation de cibles de gadolinium (Gd) pour la production de radionucléides de terbium destinés à la médecine nucléaire

Le projet sera supervisé par : Vanessa RHODEN (doctorante à l'Université de Nantes) et Thomas SOUNALET (chercheur CNRS à Subatech - IMT Atlantique).

1. Introduction

Les radionucléides de terbium (Tb) suscitent un intérêt croissant en médecine nucléaire grâce à leurs propriétés uniques, adaptées à la fois au diagnostic et au traitement. Les radionucléides comme ^{149}Tb , ^{152}Tb , ^{155}Tb et ^{161}Tb possèdent des caractéristiques idéales pour l'imagerie et les applications thérapeutiques. Par exemple, le ^{155}Tb est particulièrement prometteur pour la tomographie par émission de photons uniques (SPECT) en raison de ses propriétés de désintégration favorables [1].

AU GIP ARRONAX, ces radionucléides sont produits en bombardant des cibles de Gd stable avec des particules chargées telles que protons, deutons et alphas [2]. Les réactions nucléaires se forment dans les cibles avec ces particules et produisent les radionucléides de Tb. Les cibles en question sont souvent fabriquées en interne en raison de leur géométrie unique. Fabriquer les cibles sont le projet que nous souhaitons mettre en place avec un.e stagiaire.

Le projet en question propose d'optimiser la fabrication des cibles de Gd en utilisant la technique telle que le placage moléculaire (MP) [3]. Cette technique consiste à appliquer des faibles courants ou de fortes tensions aux bornes des électrodes et les cations dans un milieu organique réduisent en élément métallique sur le substrat [4]. Bien que cette méthode soit reconnue pour son efficacité, son optimisation reste requise. Il est nécessaire de mieux comprendre et maîtriser les paramètres du processus pour garantir une qualité constante des cibles, tout en approfondissant la compréhension des mécanismes chimiques impliqués.

Lors de la méthodologie expérimentale développée, des substrats en titane (Ti) ont été utilisés comme cathode et du platine comme anode, dans une solution électrolytique organique composée d'isopropanol et/ou d'isobutanol. Les paramètres environnementaux, la composition de la solution et les conditions d'électrodéposition jouent un rôle clé dans l'uniformité, l'adhérence et les caractéristiques structurelles des dépôts, comme le montre la figure 1.



Figure 1. Dépôt obtenu par le processus MP sur un substrat en titane (Ti)

Les premiers résultats montrent que l'utilisation d'isopropanol favorise la formation uniforme de structures filamenteuses à la surface des dépôts de Gd. De plus, une tension élevée (300 V) est essentielle pour garantir une adhérence forte des dépôts sur les substrats en Ti.

2. Objectifs

Bien que des résultats préliminaires prometteurs aient été obtenus, plusieurs objectifs restent à explorer :

- I. Prolongation des temps de processus : Testez des durées d'électrodéposition prolongées pour déterminer s'il existe un seuil d'épaisseur de dépôt de Gd à atteindre.
- II. Variation des solvants : Réaliser des expériences en utilisant différents solvants (isopropanol, isobutanol, etc.) pour évaluer leur impact sur la qualité des dépôts.
- III. Tests de consommateur d'oxygène : Testez l'électrodéposition avec l'ajout d'un composé consommateur d'oxygène (tel que l'acide ascorbique).
- IV. Analyse par voltampérométrie : Développer des analyses voltampérométriques afin de mieux comprendre les mécanismes électrochimiques impliqués dans le processus de placage moléculaire.
- V. Extension à d'autres lanthanides : Tester l'application de la méthode MP à d'autres éléments comme l'ytterbium (Yb), en étudiant en détail leurs mécanismes de réduction et leurs applications potentielles.

3. Développement

Le projet sera structuré en plusieurs étapes :

1. Étude théorique initiale :
 - ✓ Etude de la bibliographie sur la technique de MP.
2. Fabrication de cibles fines :
 - ✓ Réalisation de tests prolongés pour déterminer les limites d'épaisseur des dépôts ;
 - ✓ Comparaison des solvants pour optimiser la qualité des dépôts ;
 - ✓ Caractérisation des dépôts obtenus par microscopie électronique à balayage (SEM), diffraction des rayons X (XRD) et ICP-OES.
3. Développement de la voltampérométrie :
 - ✓ Développement d'une méthode voltampérométrique pour explorer les mécanismes électrochimiques associés au Gd et autres lanthanides ;
 - ✓ Validation des paramètres expérimentaux pour améliorer la reproductibilité et la qualité des résultats.
4. Extension à d'autres lanthanides :
 - ✓ Application de la méthode MP au dépôt d'ytterbium (Yb) en explorant ses propriétés électrochimiques et sa compatibilité avec la technique MP.

4. Conclusion

Ce projet vise à approfondir la compréhension des mécanismes électrochimiques impliqués dans la fabrication de cibles de gadolinium par placage moléculaire. L'optimisation de cette méthodologie, ainsi que son extension à d'autres éléments, contribuera à améliorer les techniques de production de radionucléides destinés à des applications en médecine nucléaire. Et ce projet offrira également à l'étudiant une expérience enrichissante dans un environnement de recherche interdisciplinaire, combinant chimie, physique et technologies.

5. References

- [1] C. Müller, K. Zhernosekov, U. Koster, K. Johnston, H. Dorrer, A. Hohn, et al. A unique matched quadruplet of terbium radioisotopes for PET and SPECT and for α - and β -radionuclide therapy: an in vivo proof-of-concept study with a new receptor-targeted folate derivative. *J Nucl Med* 53:1951-9 (2012) doi: <https://doi.org/10.2967/jnumed.112.107540>.
- [2] F. Haddad et al., "ARRONAX, a high-energy and high-intensity cyclotron for nuclear medicine," *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, vol. 35, no. 7, pp. 1377–1387, Jul. 2008, doi: 10.1007/s00259-008-0802-5.
- [3] W. Parker, H. Bildstein, N. Getoff, Molecular plating I, a rapid and quantitative method for the electrodeposition of thorium and uranium, *Nucl. Instrum. Methods* 26 (1964) 55–60.
- [4] D. Liebe, K. Eberhardt, W. Hartmann, A. Hübner, B. Kindler, J. Kratz, B. Lommel, J. Steiner, P. Thörle, Molecular Plating of Uranium on Thin Aluminum Backings, Tech. rep., Institute of Nuclear Chemistry - Johannes Gutenberg University Mainz (2006).