

Stage de Master 2 ou de PFE ingénieur – 2027



Titre : Conception de circuits radiofréquences pour une recyclabilité optimale des métaux

Mots-clés : circuits imprimés, Radio-Fréquences, électronique soutenable, biolixiviation, métaux critiques

Laboratoire :

Centre de Radiofréquences, Optique et Micro-nano électronique des Alpes (CROMA, GINP-CNRS-UGA-USMB)

<https://croma.grenoble-inp.fr/>

Minatec – Grenoble, 3, parvis Louis Néel, BP 257
38 016 GRENOBLE Cedex 1

Encadrants :

XAVIER Pascal, pascal.xavier1@grenoble-inp.fr, 04.56.52.95.69

NGUYEN Nhu Huan, Nhu-Huan.Nguyen@grenoble-inp.fr

GRENNERAT Vincent, vincent.grennerat@univ-grenoble-alpes.fr

Profil du candidat : Bac+5 en électronique.

1. Contexte scientifique

L'électronique verte est un concept qui est né à l'Université de Berkeley en 1999 sous la pression de plus en plus fortes des défis environnementaux posée par la croissance de nos sociétés : épuisement des ressources non renouvelables, déchets, changement climatique. Ces dernières années, les recherches dans ce domaine se sont accélérées grâce à des financements publics et privés.

C'est le cas du projet Européen DESIRE4EU coordonné par Grenoble INP et qui regroupe 8 partenaires dont notamment Arduino, l'Université Catholique de Louvain et l'Université de Budapest. Ce projet a démarré en septembre 2024 et durera 4 ans. Ses objectifs principaux sont de prouver (1) la faisabilité industrielle de circuits imprimés (PCB) biosourcés équivalents aux substrats traditionnels pétro-sourcés comme le FR4, et, de prouver également (2) la possibilité de mieux récupérer le cuivre présent dans ces PCB en fin de vie avec un bioprocédé peu polluant et peu énergivore. Or, la biolixiviation est un procédé qui permet de solubiliser les métaux présents dans les déchets solides grâce à des bactéries. Ce procédé biologique constitue une alternative intéressante aux méthodes de traitement conventionnelles (hydrométallurgie et pyrolyse) en raison de son empreinte carbone réduite (Gu et al., 2025). Cependant, ce procédé est sensible au choix de conception des PCB. Nos expériences et la littérature montre ainsi l'importance de la surface spécifique disponible en cuivre sur des PCB non broyés (Rodrigues et al., 2015 ; Sodha et al., 2020), la surface et la composition des brasures ou encore de la finition de surface (Hocheng et al., 2014 ; Monneron-Enaud et al., 2020 et 2025 ; Rudnik, 2025). C'est pourquoi, les règles de conception des PCB doivent être repensées.

2. Objectifs du stage

L'étudiant proposera et concevra des PCB qui favoriseront la recyclabilité du cuivre en fin de vie tout en réduisant l'empreinte environnementale du PCB. Plus précisément, il fabriquera plusieurs versions de cartes incluant des éléments Radiofréquences (RF) sur substrat biosourcé PLA / fibres de Lin en jouant sur les leviers de conception que sont la surface spécifique de cuivre, la densité de cuivre, la nature des matériaux, les épaisseurs, etc.

Sa réflexion s'appuiera sur une recherche bibliographique approfondie, les données expérimentales et le savoir-faire des différents partenaires : IGE (définition des paramètres de conceptions favorisant la recyclabilité par biolixiviation), Université Catholique de Louvain (méthodes simplifiées d'analyse de cycle de vie de la phase de fabrication d'un circuit imprimé), CROMA (Fabrication des PCB et mesure des performances des antennes en chambre anéchoïde). Les cartes conçues seront finalement testées, au cours ou après le stage, dans un procédé de biolixiviation afin de (1) valider les règles de conceptions et (2) orienter la fabrication industrielle des cartes livrés dans le projet DESIRE4EU. Le travail de l'étudiant sera valorisé par la soumission d'un article de synthèse en fin de stage.

3. Bibliographie

- Gu, J., Nie, Y., Li, Z., Yang, K., An, L., Jiang, H., Han, X., Fu, Z., Zhao, X., 2025. Efficient bioleaching of Li from waste lithium–iron phosphate batteries by acidophilic bacterial consortium: Enrichment condition, Li recovery, and brief carbon footprint analysis. *Chemical Engineering Journal* 509, 161450. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.161450>
- Hocheng, H., Hong, T., Jadhav, U., 2014. Microbial Leaching of Waste Solder for Recovery of Metal. *Appl Biochem Biotechnol* 173, 193–204. <https://doi.org/10.1007/s12010-014-0833-2>
- Monneron-Enaud, B., Bravo-Méndez, A.H., Wiche, O., Schlömann, M., 2025. Rate-limiting factors for indirect two-step biodismantling for printed circuit board recycling. *Resources, Conservation and Recycling* 218, 108253. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108253>
- Monneron-Enaud, B., Wiche, O., Schlömann, M., 2020. Biodismantling, a Novel Application of Bioleaching in Recycling of Electronic Wastes. *Recycling* 5, 22. <https://doi.org/10.3390/recycling5030022>
- Rodrigues, M.L.M., Leão, V.A., Gomes, O., Lambert, F., Bastin, D., Gaydardzhiev, S., 2015. Copper extraction from coarsely ground printed circuit boards using moderate thermophilic bacteria in a rotating-drum reactor. *Waste Management* 41, 148–158. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.001>
- Rudnik, E., 2025. Innovative Approaches to Tin Recovery from Low-Grade Secondary Resources: A Focus on (Bio)hydrometallurgical and Solvometallurgical Methods. *Materials* 18, 819. <https://doi.org/10.3390/ma18040819>
- Sodha, A.B., Tiple, D.R., Dave, S.R., 2020. Optimisation of biohydrometallurgical batch reactor process for copper extraction and recovery from non-pulverized waste printed circuit boards. *Hydrometallurgy* 191, 105170. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.105170>