

# Stage de PFE ou de Master – 2022



## Optimisation de la récupération des matériaux critiques de l'électronique par un procédé de digestion microbienne – influence des choix de conception

**Mots-clés :** Electronique durable, recyclage, procédé microbiologique

### Laboratoires :

- Institut de Microélectronique, Electromagnétisme et Photonique (IMEP-LaHC, GINP-CNRS-UGA-USMB)

<http://imep-lahc.grenoble-inp.fr>

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

- Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE, CNRS-IRD-UGA-GINP)

<https://www.ige-grenoble.fr/>

70 rue de la Physique, Bâtiment OSUG B , BP 53, 38 041 GRENOBLE Cedex 09

- Laboratoire de Génie Electrique de Grenoble (G2Elab, UGA-CNRS-GINP)

<https://g2elab.grenoble-inp.fr/>

Bâtiment GreEn-ER, 21 avenue des martyrs, CS 90624, 38031 Grenoble Cedex 1

### Encadrants :

XAVIER Pascal, [pascal.xavier@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:pascal.xavier@univ-grenoble-alpes.fr), 04.56.52.95.69

MARTINS Jean et SPADINI Lorenzo, [jean.martins@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:jean.martins@univ-grenoble-alpes.fr), 04.76.63.56.04

JEANNIN Pierre-Olivier, [pierre-olivier.jeannin@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:pierre-olivier.jeannin@univ-grenoble-alpes.fr), 04 76 82 64 46

**Profil du candidat :** Bac+5 ou Master en génie des procédés, ingénierie biomédicale ou biophysique.

## 1. Contexte scientifique

La BCE a classé en 2021 le changement climatique comme un risque systémique et le récent rapport du GIEC a insisté sur le rôle indiscutable des activités humaines dans le changement global. Nous devons en effet diviser par plus de trois notre consommation de ressources fossiles si nous voulons annuler le forçage radiatif, ce qui réduira également la consommation de toutes les ressources. Certaines d'entre elles, appelées "matériaux critiques", comme certains métaux et terres rares, risquent d'être indisponibles à court terme sur la planète. Le défi des ingénieurs est donc de concevoir des systèmes offrant les mêmes services mais avec des impacts environnementaux divisés au moins par trois. Dans le même temps, nous ne devons pas chercher à accumuler davantage de services pour éviter l'effet de rebond.

Selon un récent rapport du Global Waste Electrical and Electronic (WEEE) Watch, nous avons généré 53,6 millions de tonnes de DEEE en 2019. Son volume augmente de 5% par an et l'explosion des objets connectés intelligents ne va pas aider à faire baisser ces chiffres. Nous avons donc littéralement de l'or dans les mains grâce aux DEEE. Il est important de s'assurer que les matériaux critiques qu'ils contiennent restent le plus longtemps possible dans le circuit. Cette économie circulaire serait économique et, bien sûr, respectueuse de l'environnement.

## 2. Objectif général du stage et questions de recherche traitées

Ce projet vise donc à tendre vers une industrie européenne autonome et respectueuse de l'environnement par le développement d'un tout nouveau concept qui met en corrélation la conception et la récupération des matériaux critiques en fin de vie du produit.

Ce travail prospectif s'inscrit en effet dans la problématique générale de l'électronique durable mise en avant à Grenoble INP comme par l'Europe. Il est susceptible d'être poursuivi en thèse et servira d'amorce pour des montages de projets au niveau européen.

Financé par la Fédération Micro-Nano-Technologie (FMNT) de Grenoble, il vise à initier un travail interdisciplinaire entre électroniciens et microbiologistes pour déterminer quels sont les choix de conception des circuits électroniques permettant d'optimiser le taux de recyclage des matériaux critiques (métaux, terres rares...) dans un procédé de récupération par digestion microbienne, tout en évitant une dégradation des performances des dits circuits.

### 3. Travaux envisagés

Des essais en conditions statiques seront menés en systèmes batches ainsi qu'en bioréacteurs fermés qui seront mis en place avec un dispositif d'agitation et de thermalisation. Plusieurs types de bactéries seront aussi utilisés comme par exemple des bactéries modèles bien connues au laboratoire comme *E. coli* et *C. metallidurans* CH34 mais aussi des bactéries anaérobies telles que par exemple *A. ferroxidans*. Les bactéries seront d'abord cultivées en conditions contrôlées puis utilisées à des concentrations variables et sous différentes conditions à optimiser pour évaluer l'extractibilité des éléments d'intérêt contenus dans les déchets électroniques étudiés. Les teneurs en ions métalliques récupérés dans les lixiviats des essais batches et dans les effluents des bioréacteurs ainsi que leur spéciation chimique seront systématiquement quantifiées ICP-OES ou calculées par modélisation géochimique pour évaluer l'efficacité du processus de biolixiviation.

Le dispositif électronique choisi pour faire les tests expérimentaux sera un circuit très simple fabriqué sur la plateforme CEDMS de l'UGA avec différents types de substrats (époxy, céramique), de boîtiers de circuits intégrés et de composants, avec ou sans vernis épargne. La récupération des métaux tels que le cuivre ou l'or sera testée avec ou sans broyage du circuit et avec différentes tailles de broyage.

Le « facteur de mérite », performances x taux de récupération des matériaux critiques, sera calculé pour chaque cas et une première approche d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) sera également faite avec un outil fourni par l'ADEME, afin de fournir des éléments de comparaison fiables et robustes. L'IMEP-LaHC apportera ses compétences en conception et tests de circuits, en particulier RF. Le G2Elab apportera ses compétences en packaging et analyse des défaillances des circuits. L'IGE apportera ses connaissances et son savoir-faire dans le contrôle des paramètres microbiologiques et physico-chimiques des suspensions de bactéries et des bioréacteurs et l'analyse physico-chimique des lixiviats.

### 4. Références

- Desaunay A. and **Martins J.M.F.** *Biosorption of Zinc by metabolically active and inactive cells of two contrasted Gram-negative bacteria: a subcellular distribution approach*. Submitted to Intern. J. Environ. Res. Pub. Health. Special Issue "Microbial Biotechnology Products for a Sustainable Bioeconomy".

-Desaunay A. and **J.M.F. Martins.** *A physical cell-fractionation approach to assess the surface adsorption and internalization of cadmium by Cupriavidus metallidurans CH34*. *J. Haz. Mat.* 273: 231-238. 2014.

- Arda Isildar. *Biological versus chemical leaching of electronic waste for copper and gold recovery*. *Environmental Engineering*. Université Paris-Est; Università degli studi (Cassino, Italie), 2016. English.NNT: 2016PESC1125. tel-01738056- Jadhav, U. and Hocheng, H. *Hydrometallurgical Recovery of Metals from Large Printed Circuit Board Pieces*. *Sci. Rep.*5, 14574; doi: 10.1038/srep14574 (2015).

- <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-02431903/document>

- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3715747/>

- Abhilash et al. *Microbial Processing of Waste Shredded PCBs for Copper Extraction Cum Separation—Comparing the Efficacy of Bacterial and Fungal Leaching Kinetics and Yields*. *Metals* 2021, 11, 317.

<https://doi.org/10.3390/Met11020317>

