

Thèse de doctorat de l'Université PSL – A. Hubau

Conception d'un procédé de biolixiviation pour la valorisation des métaux contenus dans les déchets de circuits imprimés

Résumé

De par leurs compositions et les flux qu'ils représentent, les Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques sont une ressource qu'il devient indispensable de valoriser. En particulier, les cartes électroniques contiennent de nombreux métaux de base, stratégiques et précieux. La technique actuelle de recyclage, la pyrométallurgie, souffre de plusieurs inconvénients (forte consommation d'énergie, rejets gazeux toxiques, *etc.*). Il est donc nécessaire de développer de nouveaux procédés. Parmi les technologies alternatives, la biolixiviation, c'est-à-dire la mise en solution assistée par des micro-organismes, pourrait être combinée à d'autres techniques hydrométallurgiques dans le but de récupérer les métaux. L'objectif de notre étude a été de déterminer les taux et vitesses de mise en solution de différents métaux issus de déchets de cartes électroniques à l'aide d'une culture acidophile de bactéries ferro-oxydantes.

La variabilité des déchets rend complexe la constitution d'échantillons reproductibles et représentatifs à partir d'un large lot initial. Un protocole de préparation, d'échantillonnage et de caractérisation a été développé pour obtenir des échantillons utilisés dans la suite de l'étude. La variabilité des teneurs en métaux entre les échantillons a été déterminée et ce protocole a été validé.

Dans le but de pouvoir réduire l'impact de la toxicité des métaux contenus dans les cartes électroniques vis-à-vis des bactéries, un réacteur à double étage a été mis au point. Ce dernier permet de découpler la croissance des micro-organismes, résultant de la bio-oxydation de Fe(II), de la biolixiviation des échantillons de cartes électroniques broyées. Ce réacteur a été étudié en batch et en continu. Dans le premier étage, la mise en lumière de phénomènes de précipitation du Fe(III) a permis de déterminer des conditions opératoires permettant une production de solution lixivante avec des caractéristiques stables dans le temps. Dans le second étage, les résultats ont montré une adaptation de la culture bactérienne au cours du temps, ce qui a permis d'atteindre des vitesses élevées de mise en solution à différentes concentrations en cartes électroniques. A 1%(m/v) de cartes électroniques, les rendements maximaux de mise en solution atteignent 96% du Cu, 85% du Zn, 73% du Ni et 93% du Co. A partir de ces résultats, de nouvelles perspectives s'ouvrent sur l'utilisation de la biolixiviation pour la récupération de certains métaux dans nos déchets. Diminuer le temps de séjour ou augmenter la concentration en solide sont des pistes à étudier pour optimiser le processus.

Abstract

Given its compositions and the huge amounts produced every year, Waste Electrical and Electronic Equipment is a valuable resource. Printed Circuit Boards (PCBs) contain many base metals, as well as strategic and precious ones. Today, the recovery of such metals is based on pyrometallurgy. However, this method presents several disadvantages (including high-energy consumption, toxic gas emissions, *etc.*). It is therefore necessary to develop new processes to overcome these limitations. Among the alternative technologies, bioleaching, i.e. microorganisms-assisted dissolution, could be combined with other hydrometallurgical techniques to recover metals. Our study aimed at determining and optimizing the dissolution rates of different metals from spent PCBs using an iron-oxidizing acidophilic culture.

The variability of spent PCBs makes it difficult to have reproducible and representative samples from a large initial batch. A methodology of preparation, sampling and characterization was developed to obtain representative samples. The variability of the metal concentration between samples was determined and this protocol was validated.

To reduce the toxicity of metals contained in PCBs towards bacteria, a double-stage reactor has been established. Such bioreactor enables to separate the growth of microorganisms, resulting from the bio-oxidation of Fe(II), from the bioleaching of the samples of ground PCBs, previously characterized. These two steps were studied in batch and continuous mode under different operating conditions. In the first stage, Fe(III) precipitation phenomena were highlighted, which enabled to determine operating conditions that allows the production of leaching solution with stable characteristics over time. In the second stage, the results showed an adaptation of the bacterial culture over time, which enables to reach high dissolution rates for different PCBs concentrations. With 1% (w/v) of solid concentration, the dissolution yields reach 96% for Cu, 85% for Zn, 73% for Ni and 93% for Co. From these results, new perspectives open up on the use of bioleaching for the recovery of some metals in e-wastes.