

Effet de l'attrition sur les communautés bactériennes dans un procédé de biolixiviation

Adeline PO^{1,2}, Agathe HUBAU¹, Catherine JOULIAN¹, Guylian LAURENT¹, Amine DAKKOUNE², Florent BOURGEOIS², Carine JULCOUR², Laurent CASSAYRE², Anne-Gwénaëlle GUEZENNEC¹

Affiliation 1 : Direction Eau, Environnement, Procédés et Analyses, BRGM, Orléans, France

Affiliation 2 : Laboratoire de Génie Chimique, Univ. de Toulouse, CNRS, INP, UPS, Toulouse, France

Introduction

La première étape des procédés hydrométallurgiques consiste en la dissolution de l'élément d'intérêt (les métaux) ou de la gangue, pour ensuite faciliter leur purification et leur récupération sous forme d'un produit fini. Cette étape de dissolution, appelée lixiviation, peut être catalysée par des micro-organismes. Il s'agit alors de la biolixiviation, qui est un procédé couramment utilisé à échelle industrielle pour récupérer l'or ou certains métaux de base (tels que le Cu, le Ni ou encore le Co) à partir de minerais sulfurés ou de déchets miniers. Aujourd'hui, l'efficacité de la biolixiviation pour la récupération du cuivre à partir des minerais sulfurés est dépendante de la minéralogie du matériau. En particulier, le cuivre contenu dans la chalcopryrite (CuFeS_2) est difficilement dissous à cause de phénomènes de passivation à la surface des particules, alors même que la chalcopryrite est le principal porteur de cuivre à l'état naturel (Watling, 2006). Cette limitation, qui est également observée dans les procédés de lixiviation, peut être surpassée par diverses méthodes (activation mécanique de la chalcopryrite, contrôle du potentiel redox...), mais leur application à échelle industrielle reste à démontrer. Dans le cadre du projet ANR Biomécalix, le couplage de la biolixiviation et de l'attrition au sein d'un même réacteur a été réalisé pour catalyser la dissolution du Cu à partir de chalcopryrite, en s'affranchissant de la passivation par l'effet d'attrition pour exfolier les couches de passivation. La preuve de concept de l'efficacité de la lixiviation attritive seule (sans micro-organismes) pour la dissolution du cuivre a été faite (Dakkoune et al., 2022). Il s'agit désormais d'évaluer la potentielle inhibition de l'activité des micro-organismes par l'attrition. Pour lever ce verrou, la dissolution du cuivre ainsi que le suivi des communautés bactériennes ont été comparés entre un réacteur conventionnel de biolixiviation (réacteur aéré agité) et un réacteur pilote de biolixiviation attritive.

Matériel et méthodes

Le matériau utilisé est un concentré de chalcopryrite contenant de la pyrite (9,8%) et les principaux éléments suivants : Fe (28,1%), S (30,2%) dont sulfures (29,2%), Cu (23,5%), Si (5,4%), Al (1,5%), K (0,77%), Mo (0,26%). Le consortium bactérien Fe et S oxydant provient de la banque de souches du BRGM et contient *Leptospirillum ferriphilum*, *Acidithiobacillus caldus*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* et *Sulfobacillus benefaciens*. Il est repiqué toutes les semaines en réacteur aéré agité sur un matériau favorable à son développement en présence de Cu. Le réacteur conventionnel est un réacteur de 2 L aéré et agité (700 rpm) au moyen d'une hélice et d'une Rushton et contient 10% de solide. Le réacteur d'attrition contient 2,7 L de pulpe à 10% solide et 250 g de billes de verre (Netzsch Glassbeads 1.5, diamètre 1,25 à 1,65 mm). Il a également été utilisé comme réacteur de lixiviation attritive (Dakkoune et al., 2022). Les paramètres de culture sont similaires dans les 2 réacteurs (température régulée à 42 °C, réacteurs inoculés à 10%v, milieu nutritif OKm, pH maintenu à 1,3 par ajout d' H_2SO_4 , débit d'air enrichi à 1% CO_2 fixé à 60 nL/h). Les teneurs en Cu et Fe sont déterminées au cours du temps par MP-AES. Le pH et le potentiel d'oxydo-réduction sont mesurés quotidiennement. Les populations de micro-organismes ont été suivies par comptage des cellules au microscope en lumière blanche ou en fluorescence après marquage au DAPI. Des échantillons ont été prélevés pour une extraction d'ADN et générer des profils de diversité basés sur le gène codant l'ARNr 16S, pour déterminer la composition des populations bactériennes et sa dynamique au cours du temps.

Résultats

Dans l'essai mené dans le réacteur conventionnel de biolixiviation, le potentiel d'oxydo-réduction, qui est un bon indicateur de l'oxydation du fer par les bactéries dans ces systèmes, augmente de manière exponentielle dès le premier jour pour se stabiliser après 5 jours à 880 mV (vs SHE). La dissolution du cuivre est rapidement limitée par passivation, avec un rendement final de moins de 10%. Durant cette période, la biomasse augmente dans le réacteur jusqu'à 2.10^{10} bactéries/mL. Les bactéries inoculées sont retrouvées pendant la phase de croissance et d'activité et à la fin du suivi, avec des proportions relatives de *L. ferriphilum* et *At. caldus* plus élevées (>40%) que celles de *Sulfobacillus* (<20%).

L'évolution de ces paramètres est différente dans le réacteur d'attrition (Figure 1). Le potentiel d'oxydo-réduction évolue peu durant 11 jours, puis il augmente entre les jours 11 et 16 pour atteindre 870 mV (vs SHE). Le rendement de dissolution du Cu est nettement supérieur à celui atteint en réacteur conventionnel, avec un rendement supérieur à 40%. Dans ce réacteur, la biomasse est suivie par comptage des cellules après marquage fluorescent et par la concentration en ADN extrait car la présence de particules très fines produites par attrition biaise le comptage au microscope en lumière blanche. La biomasse diminue en début de suivi et reste faible pendant plusieurs jours, puis augmente quasi-simultanément au saut de potentiel redox. La dynamique des populations bactériennes est également différente de celle du réacteur conventionnel. Pendant la phase de latence et de faible biomasse, la seule bactérie inoculée retrouvée en proportions élevées est *Sulfobacillus*, qui pourrait avoir mieux résisté aux conditions attritives par sa capacité à former des spores. *Sulfobacillus* pourrait être impliquée dans la mise en place de l'oxydation du fer. Ensuite, lors du saut de potentiel redox, *L. ferriphilum* et *At. caldus* sont de nouveau détectées, avec toutefois une proportion de *L. ferriphilum* plus faible (12%) et de *Sulfobacillus* plus élevée (52%) que dans le réacteur conventionnel.

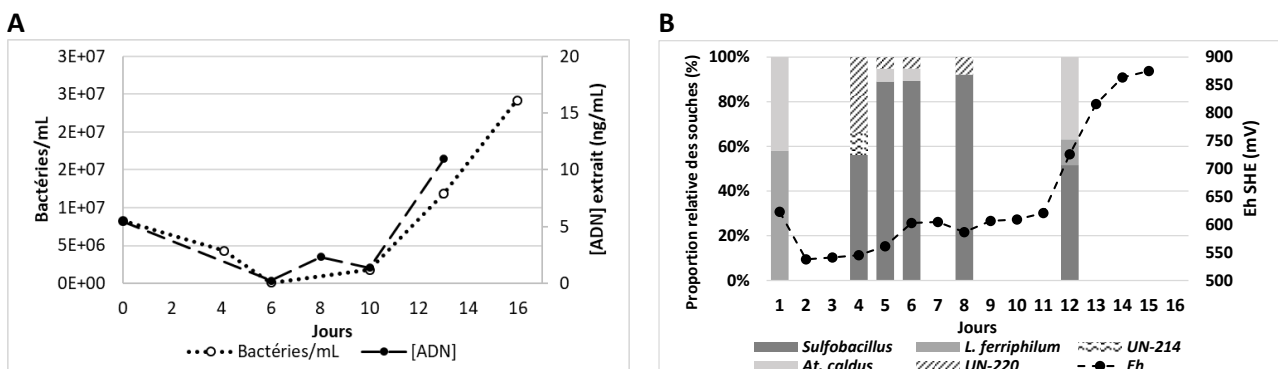


Figure 1 : Suivi de la biomasse et du potentiel redox dans le réacteur de biolixiviation attritive.

Conclusion

Les conditions attritives ont eu tout d'abord un effet néfaste sur les bactéries inoculées et leur activité. Elles se sont cependant maintenues dans le réacteur et, après un temps de latence de plusieurs jours, se sont adaptées aux conditions imposées dans ce réacteur. La présence de l'attrition permet d'améliorer nettement le rendement de dissolution du Cu. Il est donc possible de combiner biolixiviation et attrition dans un même réacteur afin d'améliorer la biolixiviation de la chalcopyrite.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'Investissements d'Avenir (ANR-18-EURE-0021) et du projet BIOMEALIX (ANR-18-CE07-0031-01).

Références bibliographiques

Dakkoune, A. et al., Attrition et lixiviation : deux procédés synergiques pour les procédés hydrométallurgiques limités par la passivation, soumis au congrès SFGP 2022.

Watling, H, The bioleaching of sulphide minerals with emphasis on copper sulphides — A review, *Hydrometallurgy*, 2006, 84, 81-108.