

## **Recyclage des Métaux : Mimer les processus naturels.**

Goffe Bruno

*CEREGE - CNRS – INSU*

*Université Aix Marseille - Europole Méditerranéen de l'Arbois*

La question de l'accès aux « Elements Stratégiques » est devenue, en quelques années, cruciale. Les problèmes d'approvisionnement pour certains éléments comme les terres rares dont la production est monopolisée par la Chine ont brutalement révélé la fragile dépendance des économies occidentales. Plus globalement, cette crise a mis en lumière les limites de l'accès aux ressources minières facilement disponibles pour satisfaire les besoins futurs de 9 milliards d'humain par la nécessité d'extraire dans les cinquante prochaines années autant d'éléments que ce qui a été extrait depuis le début de l'humanité.

La gestion durable des ressources minérales s'appuie sur trois piliers fondamentaux : (i) Les ressources primaires, (ii) le recyclage, (iii) la substitution, liés par une connaissance transverse : l'intelligence minérale (liens entre ressources, stocks, besoins et flux).

Le recyclage, s'il ne pourra à lui seul sécuriser l'accès aux ressources, représente néanmoins une part importante des actions possibles. Dans les déchets, les métaux se retrouvent sous la forme de produits récupérables (i) par des procédés physiques ou mécaniques quand ils sont peu divisés ou peu dilués dans des matrices simples ou (ii) par des procédés chimiques dans le cas contraire. Ce dernier cas est représenté par un ensemble de matériaux très abondants et très divers comme les produits d'incinération, de combustion et de fusion (mâchefer, cendres, laitiers ...), les rejets de l'industrie minière d'extraction ou de traitement de séparation (déchets, rebus, stériles, boues ...), les rejets du traitement des déchets ménagers et des eaux usées, les sols contaminés etc... Ces « déchets minéraux » souvent riches en métaux divers sont encore trop souvent considérés comme des déchets peu valorisables ou dangereux. Pourtant, ils s'apparentent souvent, du point de vue de leur composition, de leur complexité chimique ou de leur nature à des matériaux naturels comme les roches ou les sols dans les quels habituellement sont extraits les ressources minérales primaires. Dans la nature, les processus chimiques qui ont permis la ségrégation minérale et élémentaire les transformants en minerai s'effectuent, le plus souvent, en phase aqueuse dans les conditions de la surface de la terre ou en profondeur. Ces processus ont été largement étudiés par les géochimistes dans le but de comprendre et modéliser les mécanismes de lessivage, de transport, de transfert et de précipitation à l'origine des concentrations et ségrégations qui selon la nature des roches en constituent les minerais. Ces processus, que l'on pourrait qualifier de doux, en comparaisons de certains procédés chimiques utilisés en milieu industriel, représentent une source d'inspiration infinie pour une extraction « verte » des métaux et des éléments rares des déchets minéraux.

L'exposé présentera, sur la base d'exemples choisis, les principaux types de processus chimiques à l'oeuvre dans les milieu naturels et conduisant à la ségrégation de phase minérales. Processus qui pourraient être mimés dans les procédés de recyclage des métaux dans les déchets minéraux.

**Mots Clés :** recyclage, ressources, minéral, géochimie, aqueux.