

Monsieur Alban MORADELL-CASELLAS

Sciences Economiques

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Traçabilité du lithium le long de la chaîne d'approvisionnement des batteries : approche multi-technique et multi-échelle à l'aide de méthodes géochimiques

Travaux dirigés par Monsieur Xavier GALIEGUE et Johann TUDURI

Ecole doctorale : Sciences de la Société : Territoires, Economie, Droit - SSTED

Unité de recherche : LÉO - Laboratoire d'Economie d'Orléans

Soutenance prévue le **mercredi 30 septembre 2026** à 9h00

Lieu : 13 Rue de Blois BP 6739. 45000 Orléans

Salle : des thèses

Composition du jury proposé

M. Xavier GALIEGUE	Maître de conférences	Université d'Orléans	Directeur de thèse
Mme Anne-Marie DESAULTY	Chargée de recherche	BRGM	Co-encadrante de thèse
M. Johann TUDURI	Directeur de recherche	BRGM	Co-directeur de thèse
M. Wolfram KLOPPMANN	Directeur de recherche	BRGM	Examineur
M. Anthony PARIS	Maître de conférences	Université d'Orléans	Examineur
Mme Vinciane DEBAILLE	Directrice de recherche	Université Libre de Bruxelles	Rapporteuse
M. Frank MELCHER	Professeur	Montanuniversität Leoben	Rapporteur
M. Pierre DÉZES	Docteur	Académie Suisse des Sciences Naturelles - SCNAT	Examineur
M. Daniel MONFORT CLIMENT	BRGM	Invité	

Mots-clés : Lithium, Traçabilité, Méthodes analytiques, Géochimie, Chaîne d'approvisionnement, Batterie

Résumé :

Le lithium est souvent considéré comme « l'or blanc » du 21^{ème} siècle. Son utilisation pour la fabrication des batteries Li-ion, utilisées dans les véhicules électriques, a entraîné une hausse rapide de sa consommation. Le manque de transparence, les impacts environnementaux et socio-économiques ainsi que les enjeux de gouvernance grandissants autour de la chaîne d'approvisionnement des batteries suscitent de plus en plus le besoin de traçabilité. Néanmoins, si des systèmes de certification existent déjà, aucune vérification matérielle de la provenance du lithium n'est pour l'heure possible. Cette thèse vise à développer des techniques analytiques permettant de distinguer l'origine du lithium tout au long de la chaîne de production pour répondre à ce besoin. Pour ce faire, les flux de matières et procédés de transformation ont été étudiés afin de déterminer les étapes cruciales où mettre en place la traçabilité matérielle. La collecte d'échantillons a permis le développement de méthodes pour l'ensemble de la chaîne. Elles comprennent des analyses réalisables sur site (mines, usines, ports ...) à l'aide d'appareil de fluorescence à rayons X et de cathodoluminescence qui rendent possible d'identifier rapidement l'origine d'un minerai ou d'un concentré de minerai. Des méthodes en laboratoire ont également été mises au point utilisant des spectromètres de masse quadripolaire et multi-collecteurs afin d'analyser la signature isotopique du lithium et chimique des matériaux de l'aval, à savoir sels de lithium purifiés, matières actives, cathodes et batteries. Ces dernières méthodes permettent de vérifier la conformité de ces signatures conservées jusqu'au produit fini. Les systèmes de certification, régulations et les implications que pourraient avoir la mise en place de la traçabilité matérielle sur le marché du lithium ont également été explorés.

Summary:

Lithium is often considered the "white gold" of the 21st century. Its use in the manufacture of Li-ion batteries, employed in electric vehicles, has led to a rapid increase in demand. Growing concerns about lack of transparency, environmental and socio-economic impacts, and governance issues along the battery supply chain are increasingly driving the need for traceability. However, while certification systems already exist, no material verification of lithium's origin is currently possible. This thesis aims to develop analytical techniques capable of distinguishing the origin of lithium throughout the production chain to address this need. To achieve this, material flows and transformation processes were studied to identify the critical stages at which material traceability could be implemented. Sample collection enabled the development of methods applicable across the entire chain. These include on-site analyses (at mines, factories, ports, etc.) using X-ray fluorescence and cathodoluminescence devices, which enable rapid identification of the origin of an ore or concentrate. Laboratory-based methods were also developed, using quadrupolar and multi-collector mass spectrometers to analyze the isotopic signature of lithium and the chemical composition of downstream materials—specifically purified lithium salts, active materials, cathodes, and batteries. These latter methods allow verification of the consistency of these signatures conserved all the way to the final product. Finally, existing certification systems, regulations, and the potential market implications of implementing material traceability for lithium were also explored.