

Appel à candidatures pour une thèse de doctorat

Reconception des chaînes logistiques de batteries basée sur l'analyse de cycle de vie

Encadrement :

Dr Taha ARBAOUI, Pr Valérie BOTTA-GENOULAZ, Dr Giulio Mangano

Établissement : INSA Lyon

Laboratoire : laboratoire DISP

Financement : contrat doctoral (ANR)

Période de thèse : 11/2024 – 10/2027

Profil recherché : M2 ou ingénieur ayant des connaissances approfondies en génie industriel et en gestion des chaînes logistiques.

Seront également appréciées les compétences suivantes :

- Analyse de cycle de vie, gestion de fin de vie, méthodes d'analyse de flux
- Approches multicritères, simulation de flux
- Curiosité, autonomie, esprit d'équipe, anglais scientifique

Contexte

Avec la croissance de l'adoption des véhicules électriques, la demande sur les batteries Li-ion ne cesse d'augmenter. Cependant, les matériaux utilisés dans une batterie Li-ion sont divers (Li-ion, Sodium, Cobalt, etc.) et certains matériaux ne sont pas disponibles à abondance. Il existe aujourd'hui plusieurs technologies de batteries de véhicule électrique conduisant à une variabilité de la demande sur les matériaux. Afin de réduire le stress sur cette demande, plusieurs travaux ont étudié la réutilisation, le remanufacturing et le recyclage des batteries [1]. La réutilisation pour, par exemple, le stockage de l'énergie provenant des énergies renouvelables, est considérée comme un vecteur clé pour allonger la durée de vie des batteries. Quand la durée de vie n'est plus extensible, il est possible de remanufacturer certains cellules, modules ou composants dans de nouvelles batteries. Enfin, les composants qui ne peuvent plus être utilisés peuvent être recyclés.

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode d'évaluation des impacts environnementaux d'un service ou d'un produit au fil de son existence, de la conception jusqu'à la gestion de sa fin de vie. Elle permet de recenser et de quantifier les flux d'énergie et de matière mis en œuvre. Appliqué sur le cas des batteries, l'ACV peut fournir une cartographie des flux sur tout le cycle de vie d'une batterie Li-ion [2]. Les indicateurs environnementaux obtenus interrogent les possibles leviers à actionner pour réduire l'impact environnemental de toute la chaîne de valeur des batteries. Cependant, il existe peu de travaux permettant d'identifier ces leviers, de même les pratiques ou méthodes pour les mettre en œuvre. La plupart des travaux se concentre sur l'élaboration des ACVs sur les batteries de différents types, permettant seulement de quantifier l'impact environnemental sur la chaîne logistique [2,3]. De plus, dans la littérature, les ACVs réalisées ne couvrent généralement pas la totalité des chaînes logistiques mais simplement une partie, souvent la plus importante pour l'industrie ou le cas étudié [6].

La figure 1 décrit le cycle de vie d'une batterie, depuis ses matières premières jusqu'à sa fin de vie et sa valorisation. Bien que les recherches antérieures, notamment les travaux de Popien et al. [4] et ceux d'Arat [5] aient examiné le recyclage comme une solution potentielle, ils existent d'autres leviers, comme la réutilisation des batteries pour une seconde vie (comme le stockage d'énergie), la re-conception de batteries en utilisant des matériaux abondants et durables, ainsi que la récupération et la réutilisation des composants des batteries dans la fabrication de nouvelles unités [7].

Objectifs de la thèse

Afin de réduire l'impact des batteries tout au long de son cycle de vie, il est important d'identifier et d'étudier les leviers à actionner avec une vision globale de la chaîne de valeur. Il peut exister plusieurs variantes de chaînes logistiques selon les pays et le constructeur automobile (par exemple en fonction du type de la batterie li-ion, sodium, etc. et du pays d'origine des matières premières). Il s'agit donc d'identifier, à chaque étape de la chaîne, les stratégies, les solutions et les mécanismes permettant de réduire l'impact environnemental en prenant en compte les risques de transfert d'impact dans une stratégie d'aide à la décision.

Les verrous scientifiques de cette thèse sont les suivants :

- Quels sont les leviers d'action permettant d'améliorer l'impact environnemental de la chaîne logistique des batteries de véhicules électriques ?
- Quel est le potentiel d'amélioration de chaque levier ?

Dans le cadre de cette thèse, plusieurs objectifs spécifiques ont été identifiés : Tout d'abord, il s'agit d'identifier les leviers d'action potentiels à chaque étape de la chaîne logistique des batteries, en tenant compte de diverses variantes de chaîne logistique. Cette étape nécessitera une analyse approfondie des processus impliqués dans l'extraction, la transformation, et l'approvisionnement des matières premières, la fabrication, la mise en circulation (distribution, commercialisation), l'utilisation et la gestion de la fin de vie des batteries (récupération, recyclage, traitement des déchets...).

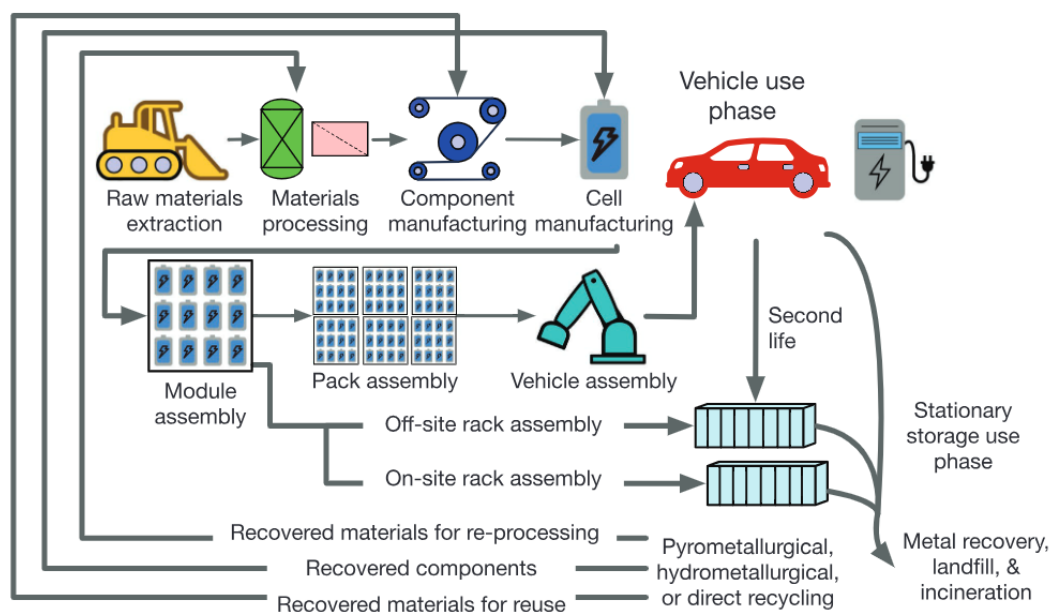


Figure 1 Cycle de vie d'une batterie [3].

Ensuite, pour chaque levier identifié, il sera nécessaire d'étudier son potentiel à la fois pour les critères environnementaux et économiques, voire sociaux. Cela implique d'analyser les données disponibles et de quantifier les bénéfices économiques, environnementaux et sociétaux attendus de l'application de chaque levier, en tenant compte de la variabilité des scénarios de chaîne logistique. Enfin, une comparaison des différents leviers et une étude de leurs différentes combinaisons seront effectuées pour proposer une aide à la décision multicritère aux industriels selon le contexte et l'horizon temporel de la chaîne logistique considérée.

Ces travaux s'appuieront sur une analyse approfondie de la littérature existante, complétée par des informations provenant de rapports industriels et publics.

Cette thèse se fera en collaboration avec Prof. Giulio Mangano de Politecnico di Torino. Des séjours scientifiques seront envisagés à Turin dans le cadre de cette collaboration. Un partenariat avec un industriel automobile est également envisagé.

Candidatures

Les candidatures doivent être envoyées à Taha Arbaoui (taha.arbaoui@insa-lyon.fr), Valérie Botta-Genoulaz (valerie.botta@insa-lyon.fr) et Giulio Mangano (giulio.mangano@polito.it) incluant :

- Curriculum Vitae détaillé
- Lettre de motivation précisant l'adéquation du profil avec le sujet de thèse
- Relevés de notes et classement des trois dernières années
- 3 références
- Lettres de recommandations (optionnelles)

Références

- [1] Arshad, F., Lin, J., Manurkar, N., Fan, E., Ahmad, A., Wu, F., Chen, R., & Li, L. (2022). Life cycle assessment of lithium-ion batteries: a critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106164.
- [2] Lai, X., Chen, Q., Tang, X., Zhou, Y., Gao, F., Guo, Y., Bhagat, R., & Zheng, Y. (2022). Critical review of life cycle assessment of lithium-ion batteries for electric vehicles: A lifespan perspective. *Etransportation*, 12, 100169.
- [3] Porzio, J., & Scown, C. D. (2021). Life-cycle assessment considerations for batteries and battery materials. *Advanced Energy Materials*, 11(33), 2100771.
- [4] Popien, J. L., Thies, C., & Spengler, T. S. (2022). Exploring recycling options in battery supply chains—a life cycle sustainability assessment. *Procedia CIRP*, 105, 434-439.
- [5] Arat, H. T. (2023). Recycling and reusing batteries: a significant way for effective sustainability of FCEVs and EVs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(60), 23272-23278.
- [6] Chen, Q., Lai, X., Gu, H., Tang, X., Gao, F., Han, X., & Zheng, Y. (2022). Investigating carbon footprint and carbon reduction potential using a cradle-to-cradle LCA approach on lithium-ion batteries for electric vehicles in China. *Journal of Cleaner Production*, 369, 133342.
- [7] Picatoste, A., Justel, D., & Mendoza, J. M. F. (2022). Circularity and life cycle environmental impact assessment of batteries for electric vehicles: Industrial challenges, best practices and research guidelines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112941.

Call for applications for a PhD position

Redesigning Battery Supply Chains Based on Life Cycle Analysis

Supervision:

Dr Taha ARBAOUI, Prof Valérie BOTTA-GENOULAZ, Dr Giulio Mangano

University: INSA Lyon

Research laboratory: DISP laboratory

Funding: Doctoral contract (ANR)

PhD Period: 11/2024 – 10/2027

Profile sought: M2 graduate or 5th year engineer with in-depth knowledge in industrial engineering and supply chain management.

The following skills will also be a plus:

- Life cycle assessment, end-of-life management, flow analysis methods
- Multi-criteria approaches, flow simulation
- Curiosity, autonomy, teamwork, scientific English

Context

With the growth of electric vehicle adoption, the demand for Li-ion batteries continues to rise. However, the materials used in a Li-ion battery are diverse (Li-ion, Sodium, Cobalt, etc.) and some materials are not abundantly available. Today, there are several electric vehicle battery technologies leading to variability in material demand. In order to alleviate stress on this demand, several studies have explored battery reuse, remanufacturing, and recycling [1]. Reuse, for example, for storing energy from renewable sources is considered a key vector for extending the battery life. When the lifespan is no longer extendable, it is possible to remanufacture certain cells, modules, or components into new batteries. Finally, components that are no longer be used can be recycled.

Life Cycle Assessment (LCA) is a method for evaluating the environmental impacts of a service or product throughout its existence, from the design to end-of-life management. It allows for the identification and quantification of energy and material flows. Applied to batteries, LCA can provide a mapping of flows throughout the life cycle of a Li-ion battery [2]. The environmental indicators obtained raise questions about possible levers to reduce the environmental impact of the entire battery value chain. However, there are few studies identifying these levers, as well as the practices or methods to implement them. Most studies focus on developing LCAs for batteries of different types, only quantifying the environmental impact on the logistics chain [2,3]. Furthermore, in the literature, LCAs typically do not cover the entire logistics chains but only a part, often the most significant for the industry or the case studied [6].

Figure 1 depicts the life cycle of a battery, from its raw materials to its end-of-life and valorization. Although previous research, notably the work of Popien et al. [4] and Arat [5], has examined recycling as a potential solution, there are other levers, such as battery reuse for a second life (such as energy storage), redesigning batteries using abundant and durable materials, as well as recovering and reusing battery components in the manufacture of new units [7].

Objectives of the thesis

In order to reduce the impact of batteries throughout their life cycle, it is important to identify and study the levers to be activated with a comprehensive view of the value chain. There may be several variants of logistics chains depending on the country and the automotive manufacturer (for example, depending on the type of battery Li-ion, Sodium, etc., and the country of origin of raw materials). Therefore, it is necessary to identify, at each stage of the chain, the strategies, solutions, and mechanisms for reducing environmental impact while considering the risks of impact transfer in a decision support strategy.

The scientific challenges of this thesis are as follows:

- What are the action levers that can be used to improve the environmental impact of the logistics chain for electric vehicle batteries?
- What is the improvement potential of each lever?

In the context of this thesis, several specific objectives have been identified. Firstly, it is necessary to identify potential action levers at each stage of the battery logistics chain, taking into account various logistics chain variants. This step will require a thorough analysis of the processes involved in raw material extraction, transformation, and supply, manufacturing, circulation (distribution, marketing), use, and end-of-life battery management (recovery, recycling, waste treatment...).

Next, for each identified lever, it will be necessary to study its potential for both environmental and economic criteria, and possibly social criteria. This entails analyzing available data and quantifying the expected economic, environmental, and societal benefits of implementing each lever, taking into account the variability of logistics chain scenarios. Finally, a comparison of the different levers and a study of their various combinations will be conducted to propose a multi-criteria decision support to industrialists according to the context and time horizon of the logistics chain under consideration.

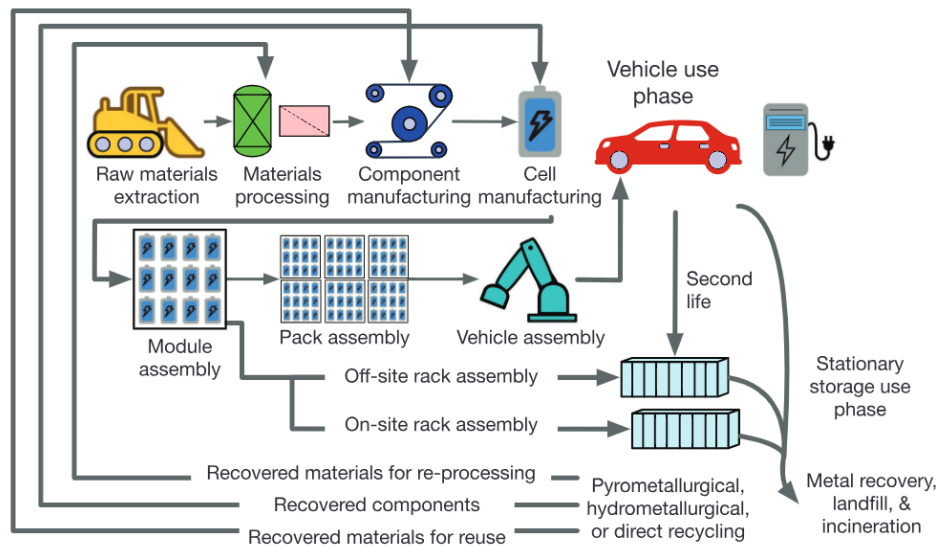


Figure 2 Life Cycle of a batterie [3].

These efforts will be based on a thorough analysis of existing literature, supplemented by information from industrial and public reports.

This thesis will be carried out in collaboration with Prof. Giulio Mangano from Politecnico di Torino. Scientific stays in Turin will be considered as part of this collaboration. Partnership with an automotive industry partner is also planned.

Application

Applications should be sent to Taha Arbaoui (taha.arbaoui@insa-lyon.fr), Valérie Botta-Genoulaz (valerie.botta-genoulaz@insa-lyon.fr) and Giulio Mangano (giulio.mangano@polito.it) including:

- Curriculum Vitae
- Letter explaining the alignment of the candidate's profile with the thesis topic
- Transcripts and rankings from the last three years
- 3 references
- Optional letters of recommendation

References

- [1] Arshad, F., Lin, J., Manurkar, N., Fan, E., Ahmad, A., Wu, F., Chen, R., & Li, L. (2022). Life cycle assessment of lithium-ion batteries: a critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106164.
- [2] Lai, X., Chen, Q., Tang, X., Zhou, Y., Gao, F., Guo, Y., Bhagat, R., & Zheng, Y. (2022). Critical review of life cycle assessment of lithium-ion batteries for electric vehicles: A lifespan perspective. *Etransportation*, 12, 100169.
- [3] Porzio, J., & Scown, C. D. (2021). Life-cycle assessment considerations for batteries and battery materials. *Advanced Energy Materials*, 11(33), 2100771.
- [4] Popien, J. L., Thies, C., & Spengler, T. S. (2022). Exploring recycling options in battery supply chains—a life cycle sustainability assessment. *Procedia CIRP*, 105, 434-439.
- [5] Arat, H. T. (2023). Recycling and reusing batteries: a significant way for effective sustainability of FCEVs and EVs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(60), 23272-23278.
- [6] Chen, Q., Lai, X., Gu, H., Tang, X., Gao, F., Han, X., & Zheng, Y. (2022). Investigating carbon footprint and carbon reduction potential using a cradle-to-cradle LCA approach on lithium-ion batteries for electric vehicles in China. *Journal of Cleaner Production*, 369, 133342.
- [7] Picatoste, A., Justel, D., & Mendoza, J. M. F. (2022). Circularity and life cycle environmental impact assessment of batteries for electric vehicles: Industrial challenges, best practices and research guidelines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112941.