



Fiche d'information

La réutilisation des batteries de véhicules électriques et leur seconde vie

Qu'est-ce que la réutilisation et la seconde vie des véhicules électriques ?

Lorsqu'une batterie de véhicule électrique (VE) arrive en "fin de vie" à environ 80 %¹ de sa capacité d'origine et qu'elle ne peut plus alimenter un véhicule, elle a encore le potentiel de fournir un stockage d'énergie dans différentes applications, telles que les services de réseau, le stockage résidentiel, les micro-réseaux, l'aide à la recharge des VE et la recharge de petits appareils personnels. La réutilisation de la batterie peut lui donner une seconde vie, ce qui permet de réduire les déchets dangereux et d'économiser des matériaux et de l'énergie par rapport au processus de recyclage.

La réutilisation des batteries de VE a également des implications plus larges en matière de justice environnementale. La réutilisation prolonge la durée de vie de la batterie et permet de réduire la demande d'extraction de métaux précieux tels que le lithium, le nickel et le cobalt. Ces minéraux sont extraits dans les pays du Sud (où les protections environnementales et sociales sont moindres), selon un processus qui a un impact négatif sur les communautés locales et autochtones, leurs terres, leurs moyens de subsistance, leur environnement et leur sécurité.² La réutilisation constitue également une alternative potentielle pour les pays qui ne disposent pas des installations appropriées et du système complexe de gestion des déchets nécessaires pour traiter et recycler les batteries lithium-ion.³

¹ Zhu, J., Mathews, I., Ren, D., Li, W., Cogswell, D., Xing, B., Sedlatschek, T., Sai, Yi, M., Gao, T., Xia, Y., Zhou, Q., Wierzbicki, T., & Bazant, M. Z. 2021. End-of-life or second-life options for retired electric vehicle batteries. *Cell Reports Physical Science*, 2(8), 100537–100537. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100537>.

² Grossman, A., Matías Enrique Mastrangelo, Camilo, & Mónica Blanco Jiménez. 2023. Environmental Justice Across the Lithium Supply Chain: A Role for Science Diplomacy in the Americas. *The Journal of Science Policy & Governance*, 22(02). <https://doi.org/10.38126/jspg220205>.

³ Sustainability for All? The challenges of predicting and managing the potential risks of end-of-life electric vehicles and their batteries in the Global South. 2022. ResearchGate. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1510523/v1>.

Exemples de réutilisation des batteries de véhicules électriques

Il existe de nombreuses possibilités de seconde vie pour les batteries de VE. Par exemple, les batteries de VE peuvent être réutilisées pour des systèmes de stockage d'énergie à l'échelle résidentielle, industrielle et du réseau. Associées à l'énergie solaire, elles peuvent apporter stabilité et résilience aux habitations ou aux entreprises qui ne peuvent pas accéder à l'énergie solaire la nuit. En outre, les batteries de VE réutilisées peuvent être utilisées pour l'écrêttement des pointes sur le réseau. Il s'agit de charger les batteries en dehors des heures de pointe ou à l'aide de l'énergie solaire, puis de décharger l'énergie pendant les heures de pointe. Cela permet de réaliser des économies et d'assurer la résilience du réseau lorsque la demande d'énergie est élevée. En outre, les batteries de VE réutilisées peuvent être associées à des sources d'énergie renouvelables et à des micro-réseaux pour fournir un accès à l'énergie aux communautés rurales, ce qui pourrait avoir un impact sur les zones en situation de pauvreté énergétique. Une étude publiée dans Scientific Reports a montré que les batteries de VE de seconde vie constituaient une option viable et rentable pour l'électrification des écoles primaires rurales au Kenya.⁴ Parmi les autres applications des batteries réutilisées, citons le stockage d'énergie pour les appareils personnels, les chariots élévateurs et les machines de production, ainsi que les stations de recharge pour véhicules électriques.

Aux États-Unis et à l'étranger, de nombreuses start-ups se consacrent à la réutilisation des batteries de véhicules électriques dans différents contextes, qu'il s'agisse d'entreprises de logiciels ou de matériel informatique cherchant à améliorer le processus de réutilisation, de laboratoires d'innovation ou de micro-réseaux. Aux États-Unis, ReJoule a commercialisé une solution matérielle et logicielle exclusive permettant d'évaluer rapidement l'état de santé des batteries de VE, afin que ses clients puissent facilement trouver des batteries présentant des caractéristiques similaires et les associer.⁵ Une autre startup européenne, Mobility House, a utilisé des batteries de VE réutilisées pour un système de stockage de 3 MWh pour un stade de football à Amsterdam, associé à l'énergie solaire⁶ et un système de 1,6 MWh associé à l'énergie éolienne pour fournir des services au réseau à Berlin.⁷ Au Canada, la startup Moment Energy réutilise les batteries de VE pour créer des systèmes de stockage d'énergie qui utilisent des sources d'énergie renouvelables pour fournir de l'énergie dans les zones rurales et hors réseau.⁸

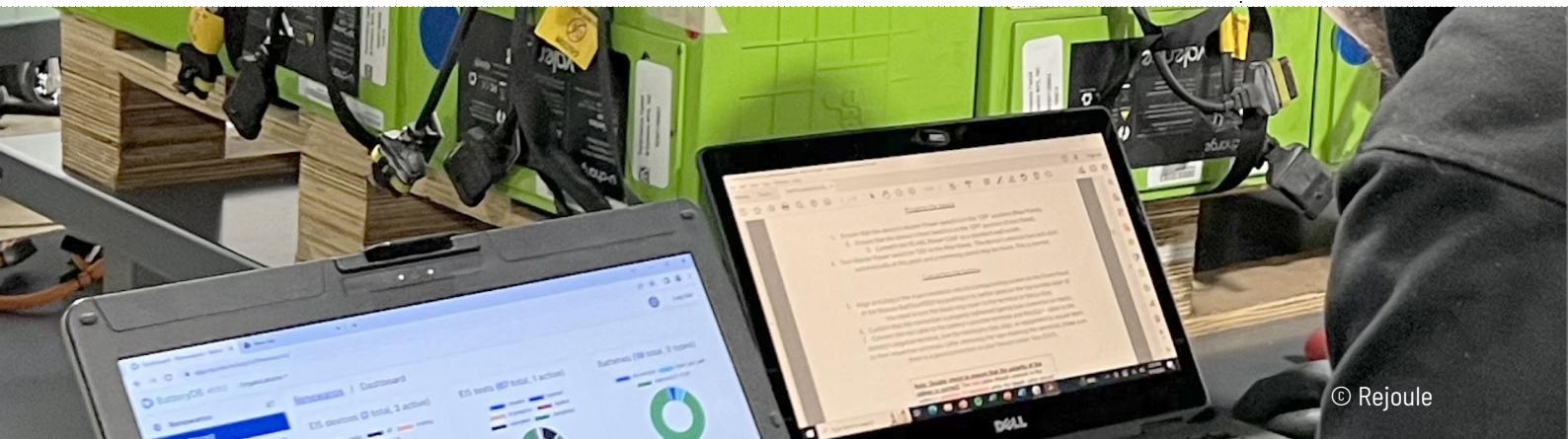
4 Nisrine Kebir, Leonard, A., Downey, M., Jones, B., Rabie, K., Sivapriya Mothilal Bhagavathy, & Hirmer, S. A. 2023. Second-life battery systems for affordable energy access in Kenyan primary schools. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28377-7>.

5 ReJoule. 2024. <https://rejouleenergy.com/>. For more on how to maximize the value of an EV and its battery, please see ReJoule's white paper that was co-published with the Automotive Recyclers Association: <https://rejouleenergy.com/automakers>.

6 The Mobility House. 2018. https://www.mobilityhouse.com/int_en/our-company/newsroom/article/johan-cruijff-arena-3mw-energy-storage-system-launch.

7 (The Mobility House, 2018)

8 Moment Energy's Projects. 2021. <https://www.momentenergy.com/our-projects>.



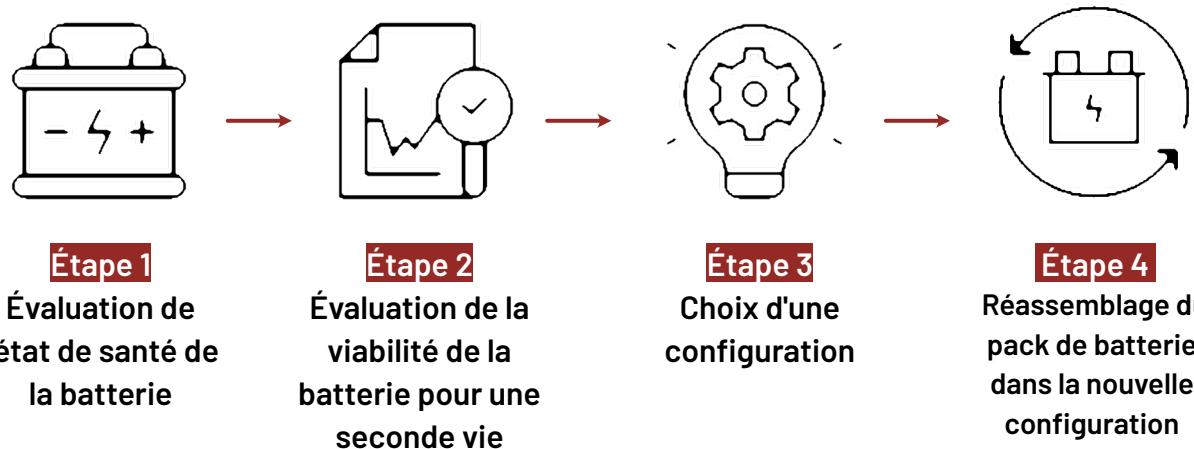
© Rejoule

Quelles sont les étapes nécessaires à la réutilisation des batteries de véhicules électriques ?

Le processus de réutilisation d'une batterie lithium-ion comporte quatre étapes : **(1) évaluer l'état de santé de la batterie, (2) évaluer la viabilité de la batterie pour une seconde vie, (3) décider d'une configuration et (4) réassembler le pack de batterie dans la nouvelle configuration.** Le démontage de la batterie est nécessaire tout au long du processus afin d'effectuer des tests et d'accéder aux différentes parties de la batterie. Cela peut s'avérer difficile et très inaccessible, car les fabricants ne conçoivent pas actuellement les batteries de véhicules électriques dans l'optique d'une réutilisation (pour en savoir plus, voir la fiche d'information de [GAIA : Démontage des batteries de véhicules électriques](#)). Tout au long du processus de démontage, la sécurité des travailleurs suscite de nombreuses préoccupations en matière de justice environnementale, notamment en ce qui concerne les produits chimiques dangereux, les risques d'incendie et les chocs électriques. Aux États-Unis, l'installation de recyclage doit être certifiée par UL 1974, la norme d'évaluation du recyclage des batteries de véhicules électriques. Cette certification implique des "exigences pour le processus de tri et de classement des batteries destinées à la réutilisation... [et] des exigences spécifiques à l'application pour les packs/systèmes de batteries réutilisés et les packs/systèmes de batteries utilisant des modules, des cellules et d'autres composants réutilisés".⁹ Le processus de certification peut prendre beaucoup de temps, mais il est nécessaire pour garantir la sécurité des processus de réutilisation.

⁹ UL Certification Helps Promote Repurposing of Electric Vehicle (EV) Batteries. (2022). UL Solutions. <https://www.ul.com/news/ul-certification-helps-promote-repurposing-electric-vehicle-ev-batteries>.

Figure : Les quatre étapes de la réutilisation des batteries



ÉTAPE 1 : Évaluation de l'état de santé de la batterie

Une évaluation approfondie de l'état de santé de la batterie est nécessaire pour mesurer la viabilité d'un VE en vue de sa réutilisation. Si possible, les informations utiles (distance parcourue, âge, taux de charge et de décharge, ou état de santé) peuvent être mesurées pendant la première vie de la batterie, alors qu'elle est encore utilisée dans la voiture. Ces informations sont accessibles dans le système de gestion de la batterie d'un véhicule, mais ces systèmes sont souvent peu fiables. Une autre option émergente pour accéder à ces informations est une étiquette numérique ou un passeport de batterie. Une fois qu'une batterie est retirée d'un véhicule, les entreprises de recyclage tierces peuvent avoir des difficultés à accéder à ces informations. Dans ce cas, elles doivent tester le pack de batterie, généralement en effectuant des tests de capacité et de résistance interne, appelés "cyclage". Ce processus de cyclage peut prendre jusqu'à deux jours et nécessite des techniciens qualifiés pour surveiller une charge et une décharge complètes de la batterie.¹⁰

La décharge d'une batterie est le processus qui consiste à vider intentionnellement la batterie afin d'y effectuer des travaux. En raison de la diversité des modèles de batteries de VE, chaque batterie fait l'objet de directives spécifiques de la part du fabricant sur la manière de la décharger correctement et en toute sécurité. De plus, en raison de cette diversité, le processus est très difficile à automatiser et le démontage doit être effectué à la main. Pour décharger la batterie, le technicien doit connaître son état de santé, sa capacité, son état de charge, la tension autorisée et la plage de courant. Ce processus présente des risques électriques, thermiques, chimiques et cinétiques.¹¹

ÉTAPE 2 : Évaluation de la viabilité de la batterie pour une seconde vie

Une fois que les principales caractéristiques de la batterie ont été testées, il est possible de déterminer si elle peut être réutilisée. Les caractéristiques telles que la capacité de la batterie, la puissance maximale, le poids, le volume, le système de gestion de l'énergie (EMS), la gestion thermique et les configurations possibles de la batterie sont toutes prises en compte pour déterminer comment la batterie peut être réutilisée au mieux pour une seconde vie. Par exemple, pour obtenir une capacité de batterie plus élevée avec des éléments de batterie de seconde vie, il faudrait installer plus d'éléments de batterie, ce qui entraînerait une batterie plus lourde. Ce poids supplémentaire aurait des implications pour un appareil mobile ou un véhicule, mais n'aurait pas d'importance pour un produit stationnaire.¹²

Des considérations de coût entrent également en ligne de compte lorsqu'il s'agit de déterminer la viabilité de la réutilisation et la configuration qui conviendrait le mieux à la batterie. Par exemple, les configurations qui impliquent un démontage plus important sont plus coûteuses. Cela s'explique par le temps et l'énergie nécessaires au démontage de la batterie, ainsi que par le coût du nouvel équipement (connecteurs, boîtier, etc.). Pour les services de réseau, l'installation d'un système de stockage d'énergie par batterie (BESS) entraîne également des coûts.

10 Montes, T., Maite Etxandi-Santolaya, Eichman, J., Victor José Ferreira, Lluís Trilla, & Corchero, C. 2022. Procedure for Assessing the Suitability of Battery Second Life Applications after EV First Life. *Batteries*, 8(9), 122–122. <https://doi.org/10.3390/batteries8090122>.

11 Nembhard, N. (n.d.). Safe, Sustainable Discharge of Electric Vehicle Batteries as a Pre-treatment Step to Step to Crushing in the Recycling Process. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1339943/FULLTEXT01.pdf>.

12 (Montes et al. 2022).

ÉTAPE 3 : Choix d'une configuration

13 Ibid.

14 Ibid.

Empilage des batteries

L'empilage de blocs de batteries est celui qui nécessite le moins de démontage, car il utilise des blocs de batteries entiers qui sont connectés en parallèle pour créer la batterie de seconde vie finale. Les packs de batteries doivent avoir des caractéristiques similaires, car les performances de la batterie de seconde vie seront affectées par les modules et les cellules les moins performants. Afin de tenir compte des flux de courant inattendus entre les batteries, un convertisseur de puissance est souvent ajouté à la batterie, ce qui peut être coûteux. Ce coût peut augmenter si le système de gestion de la batterie (BMS) ne peut pas communiquer avec le convertisseur de puissance et que les fabricants doivent créer une passerelle. La configuration d'empilement des pack de batterie est la plus efficace lorsqu'une grande capacité de batterie est nécessaire, par exemple pour les services de réseau.¹³

Remise à neuf des modules de batterie

Si les cellules d'une batterie sont regroupées en modules, ces modules peuvent être remis à neuf et reconfigurés en une batterie de seconde vie. Le pack de batterie doit être désassemblé en modules, dont les performances sont testées et qui sont combinés pour former un nouveau pack de batterie. Les modules doivent avoir des caractéristiques similaires. Il faut également modifier le système de gestion thermique. Les batteries modulaires sont plus faciles à réparer car les modules peuvent être remplacés, mais il peut être difficile de se procurer les composants nécessaires à la réparation et à l'entretien. En outre, ces batteries de seconde vie peuvent être plus fiables car les modules dont les performances sont médiocres peuvent être retirés avant de créer la nouvelle batterie. Cependant, la nouvelle batterie est toujours affectée par la cellule la moins performante. Cette configuration peut être utilisée pour des demandes d'énergie élevées, mais elle est également très flexible en fonction des besoins énergétiques de la configuration finale.¹⁴

Remise à neuf de cellules de batterie

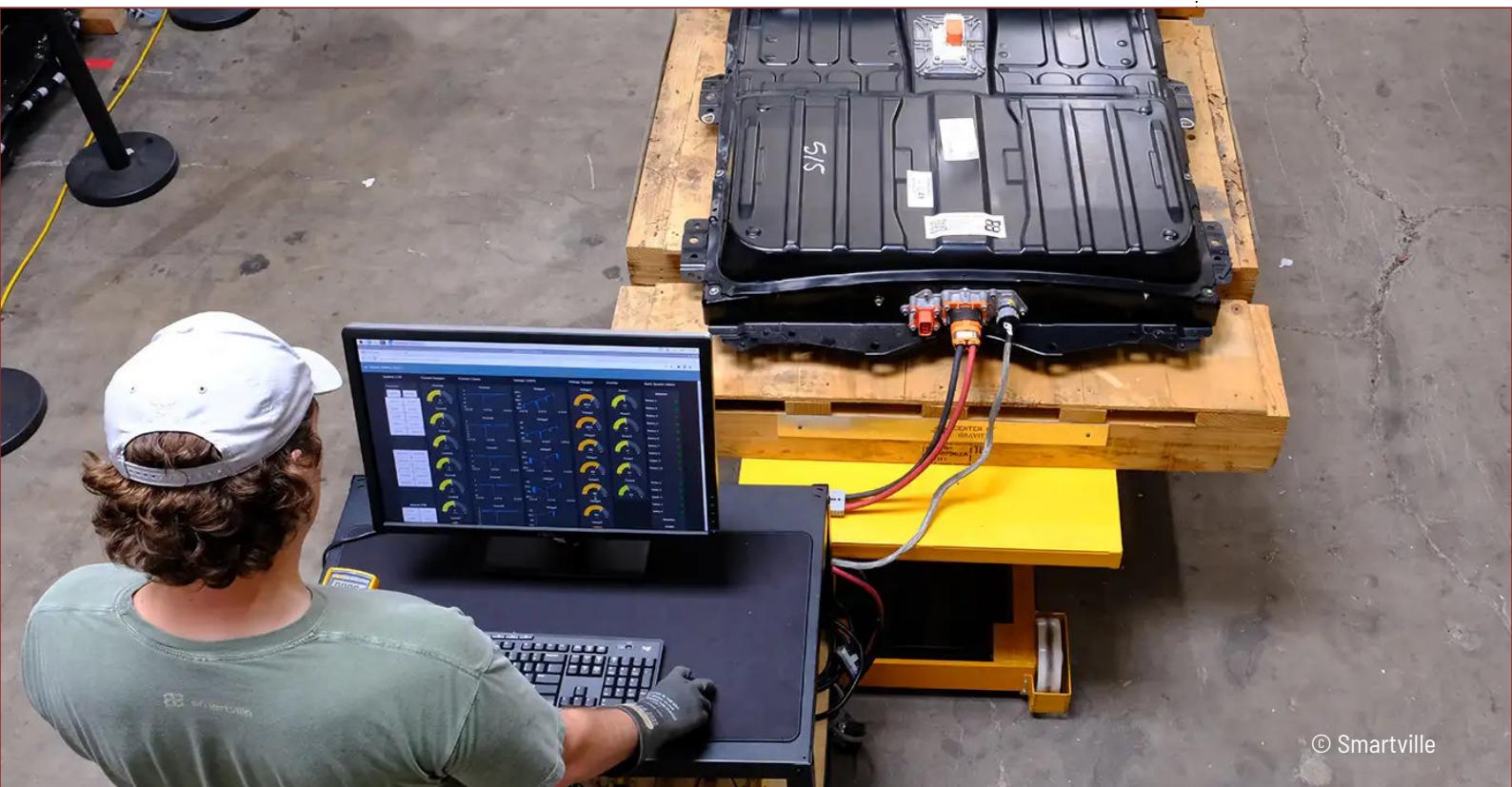
La remise à neuf des cellules de batterie nécessite un démontage jusqu'au niveau de la cellule de la batterie. Les cellules de batterie sont ensuite configurées en nouveaux modules et systèmes. La taille de la configuration est très flexible, ce qui la rend utile pour les petits appareils électroniques. Ces systèmes sont plus fiables car les meilleures cellules peuvent être sélectionnées et utilisées. Cependant, de nombreuses cellules peuvent être endommagées au cours du processus de démontage, et davantage de déchets sont générés car de nombreuses parties de la batterie ne sont plus utilisées.

ÉTAPE 4 : Réassemblage du bloc-batterie dans la nouvelle configuration

De nombreuses variables doivent être prises en compte lorsque les batteries sont réassemblées et empilées en vue d'une utilisation pour le stockage stationnaire d'énergies renouvelables telles que l'énergie solaire ou éolienne, les mini-réseaux qui fournissent de l'électricité aux communautés hors réseau, ainsi que le stockage pour le réseau de secours des services publics.

Les batteries usagées sont généralement empilées et logées dans des structures semblables à des conteneurs d'expédition pour le stockage stationnaire. La difficulté réside dans le fait que les batteries peuvent être de marques, de modèles de voitures, d'âges et d'états de dégradation différents. Tous les différents types de batteries doivent fonctionner en séquence afin que les plus anciennes ne ralentissent pas l'ensemble du système. Un logiciel est utilisé avec le contrôleur pour surveiller toutes les variables des batteries pendant les cycles de charge et de décharge. Le logiciel permet aux batteries réutilisées d'atteindre des rendements énergétiques efficaces malgré les variations de capacité inhérentes aux batteries. Certains reconditionneurs travaillent avec certains constructeurs automobiles afin que leur système de stockage puisse être conçu sur la base de formes, de tailles et de dimensions spécifiques pour créer un système "plug and play" (prêt à l'emploi).

Des start-ups telles que Smartville développent des logiciels, du matériel et des outils de diagnostic propriétaires pour l'utilisation de batteries réutilisées dans des applications de stockage stationnaire pour les entreprises et les clients des services publics.



© Smartville

Défis et recommandations

La réutilisation des batteries de véhicules électriques pose de nombreux problèmes et offre des possibilités d'améliorer l'accessibilité, la sécurité et la viabilité :

La standardisation: Comme il s'agit d'un domaine relativement nouveau, il y a un manque de standardisation des politiques et des processus. Par exemple, les politiques relatives à la garantie, à l'assurance, à la propriété des batteries, à l'accès aux données sur les batteries et à l'octroi de permis sont souvent peu claires, inexistantes ou difficiles à trouver. En outre, il n'existe pas de processus standard pour la réutilisation des batteries de VE. Bien qu'il existe des étapes générales, les processus spécifiques varient en fonction du type de batterie, de l'accès au logiciel propriétaire, de la configuration et de l'application. Il n'existe pas non plus de processus standard pour décider de la réutilisation ou du recyclage des batteries de VE.

Conception pour le démontage: Le démontage peut être très difficile en raison des adhésifs puissants, de l'outillage spécifique et des conceptions compliquées. En outre, certains packs de batteries ne sont pas organisés en modules, ce qui rend leur réutilisation plus difficile. En concevant intentionnellement le démontage, le processus peut être plus rapide, plus sûr et plus accessible (pour en savoir plus, consultez la fiche d'information de [GAIA sur le démontage des batteries de véhicules électriques](#)).

Accès universel et équitable à l'état de santé de la batterie et aux informations connexes: L'accès à des informations fiables et précises sur l'état de santé de la batterie pendant qu'elle se trouve dans le véhicule et après son retrait est essentiel pour sa réutilisation. Les systèmes embarqués de gestion des batteries des véhicules doivent répondre à des exigences plus strictes en matière de précision et de fiabilité, et des techniques supplémentaires doivent être standardisées pour rendre les tests des batteries retirées d'un véhicule plus rapides, plus fiables et plus abordables.

Sécurité: Il est actuellement difficile de trouver des informations sur la sécurité pour des processus spécifiques, tels que la décharge de la batterie, le démontage et l'exécution de tests spécifiques sur la batterie. Le besoin d'un centre d'information avec des directives de sécurité claires pour toutes les étapes du processus de réutilisation est particulièrement vrai dans les zones pauvres en énergie, où les personnes travaillant sur la réutilisation des batteries de VE peuvent ne pas avoir accès à la certification UL 1974.

Concurrence sur les déchets de batteries: Les déchets de production et les batteries de post-consommation sont tous deux en demande pour la réparation, la réutilisation et le recyclage des batteries. Cette concurrence d'entreprises de recyclage pour les déchets peut entraver économiquement les pratiques de réutilisation des batteries, en particulier lorsque les grandes entreprises de recyclage disposent d'un capital important et de partenariats avec les fabricants de batteries et les constructeurs automobiles. La mise en place d'un soutien et d'incitations réglementaires pour les applications de seconde vie des batteries peut permettre de relever efficacement ces défis.

Les droits d'auteur, un défi: Comme pour la réparation des batteries, les lois sur les droits d'auteur peuvent constituer un obstacle à la réutilisation des batteries lorsque les fabricants d'équipements d'origine utilisent des systèmes de gestion de batterie propriétaires (matériel et logiciel). L'accès à l'état de santé d'une batterie et à d'autres informations est un élément crucial pour les applications de seconde vie des batteries.

Remerciements

- Auteur.e.(s) : Daniella Lumkong et Sheila Davis
- Rédacteur.trice(s) en chef : Lien De Brouckere, Erica Jung, et Doun Moon
- Design : Doun Moon
- Réviseur.e.(s) : Claire Arkin et Kenza Sara Elazkem

Voir la série de fiches d'information sur les batteries de GAIA à l'adresse suivante :
www.no-burn.org/battery_infosheets