

Fiche d'information

Comprendre les bases des batteries de véhicules électriques

Qu'est-ce qu'une batterie de véhicule électrique ?

La batterie d'un véhicule électrique (VE), également appelée "batterie de traction", est un dispositif de stockage d'énergie rechargeable qui alimente la mobilité électrique, des véhicules de passagers aux bus, en passant par les deux-roues et même les petits véhicules utilitaires. La plupart des VE utilisent aujourd'hui des batteries lithium-ion (LIB), privilégiées pour leur rapport poids/puissance élevé, leur efficacité énergétique impressionnante et leur autodécharge minimale.¹

¹ U.S. Department of Energy. Alternative Fuels Data Center. <https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-batteries>.



© The Economic Times Business Verticals

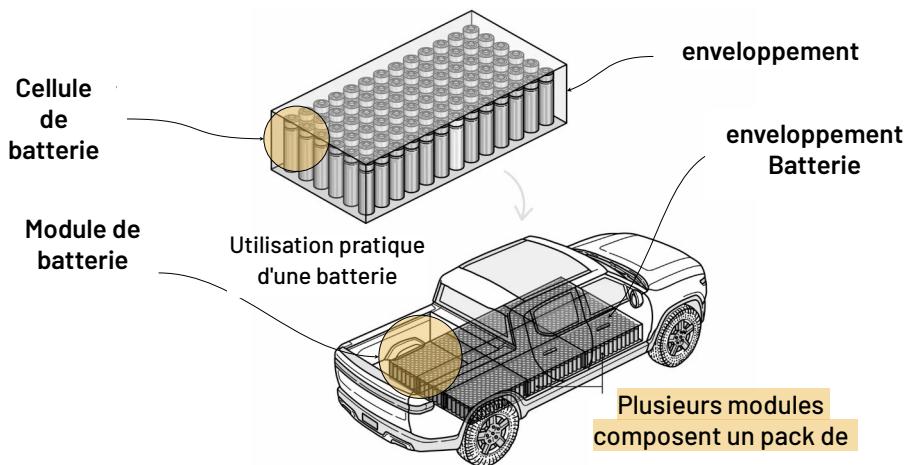
De quoi sont faites les batteries des véhicules électriques ?

Bien que les systèmes de batteries de VE varient en poids et en dimensions, une batterie typique de VE pour passagers pèse environ 450 kg et est placée sous le châssis du véhicule pour en assurer la stabilité et optimiser l'utilisation de l'espace.

Une batterie de VE est constituée de milliers de **cellules lithium-ion**. Les cellules lithium-ion sont l'élément le plus fondamental de la batterie, responsable de la production du courant électrique nécessaire à l'alimentation du véhicule.

Les cellules les plus couramment utilisées ont une forme cylindrique qui ressemble aux piles AA utilisées dans les appareils électroniques grand public, bien que leur composition soit très différente. Environ 12 cellules ou plus sont regroupées, recouvertes de mousse de polyéthylène et enfermées dans un boîtier en alliage d'aluminium ou en acier pour former un **module**. Des dizaines de modules sont enveloppés de plastique ou de métal pour former une batterie d'accumulateurs, communément connue sous le nom de **packs de batterie** pour différencier entre les échelles au sein d'une batterie: cellules, modules et pack. Le terme module désigne un assemblage de quelques cellules tandis que le terme pack désigne un assemblage de modules. Les packs de batteries sont ensuite configurés avec un système de contrôle de batteries d'accumulateurs (BMS en anglais) et un dispositif de contrôle de la température pour compléter la batterie du VE.

Figure 1 : Cellule, module et pack de batterie de véhicule électrique



© Adapté d'une image de Vox

En poids, la majeure partie d'une batterie de VE de taille moyenne est constituée du boîtier du pack de batterie et du module, de l'électrolyte, du liant et du séparateur ; ces composants sont faits de cuivre, d'aluminium, d'acier et de polymères. L'aluminium du boîtier représente environ 20 à 30 % de la masse totale des éléments de la batterie.² Le poids restant, environ 185 kg, correspond aux matériaux actifs de la cathode et de l'anode, composés de métaux et de minéraux, dont le graphite (52 kg), l'aluminium (35 kg), le nickel (29 kg), le cuivre (20 kg), l'acier (20 kg), le manganèse (10 kg), le cobalt (8 kg), le lithium (6 kg), le fer (5 kg).³

² Transport & Environment, 2021. From dirty oil to clean batteries. See also Bhutada, Govind. 2022. "The Key Minerals in an EV Battery." Elements, May 2, 2022. <https://elements.visualcapitalist.com/the-key-minerals-in-an-ev-battery/>

³ ibid.

Les composants d'une cellule de batterie lithium-ion

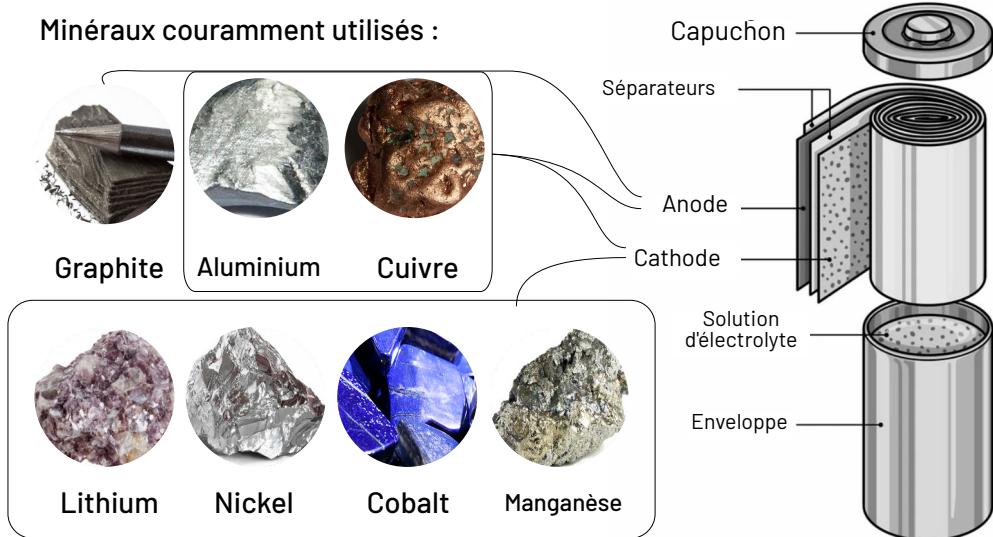
Chaque cellule lithium-ion est composée de quatre éléments principaux : la **cathode** (électrode positive avec des minéraux de grande valeur), l'électrolyte (composé de sel de lithium), le **séparateur** (une membrane à base de polymère) et l'**anode** (électrode négative, généralement composée de graphite). Une LIB génère de l'électricité par le biais de réactions chimiques du lithium, qui est inséré dans la cathode.

En outre, chaque électrode contient une colle polymère intégrale (1-8%), appelée "**liant**", qui est généralement utilisée pour recouvrir les électrodes (cathode, anode) et le séparateur.⁴ Cette colle est un polymère fluoré tel que le fluorure de polyvinylidène (PVDF) ou le polytétrafluoroéthylène (PTFE), qui sont fabriqués avec des substances perfluorées et polyfluorées (PFAS), communément appelées "polluants éternels".⁵

Le **séparateur** est une fine feuille de matériau souvent composée d'une ou plusieurs couches de plastique (polypropylène) ou de céramique.⁶ Il fonctionne comme une barrière physique séparant la cathode et l'anode afin d'éviter un court-circuit.⁷

L'**electrolyte** est un mélange de produits chimiques dans un solvant, qui sert de milieu permettant le mouvement des ions lithium entre la cathode et l'anode. Il comprend généralement de l'hexafluorophosphate de lithium (LiPF6) et d'autres additifs nécessaires pour améliorer la formation de l'interface électrolyte-solide (SEI). Les produits de ce type peuvent être utilisés pour améliorer le retardement, la conductivité et la réduction de l'accumulation de gaz.

Figure 2 : Principaux composants d'une cellule lithium-ion



⁴ Performance Coating Teams. 2020. "The Role of Binders in Lithium Battery Electrode Coatings," Lubrizol, April 6, 2020. <https://www.lubrizol.com/Coatings/Blog/2020/04/Binders-in-Lithium-Battery-Electrodes>.

⁵ Lohmann, Rainer, Ian T. Cousins, Jamie C. DeWitt, Juliane Glüge, Gretta Goldenman, Dorte Herzke, Andrew B. Lindstrom, et al. 2020. "Are Fluoropolymers Really of Low Concern for Human and Environmental Health and Separate from Other PFAS?" *Environmental Science & Technology* 54 (20): 12820-28. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03244>.

⁶ Warner, John T.. *The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design : Chemistry, Components, Types and Terminology*. San Diego: Elsevier Science & Technology, 2015. Accessed May 6, 2024. ProQuest Ebook Central., 32.

⁷ Samsung SDI. n.d. "The Four Components of a Li-ion Battery." Accessed May 6, 2024. <https://www.samsunsgdi.com/column/technology/detail/5572.html>.

Construction de batteries pour VE : cellules, modules et packs

Les composants de la batterie sont pliés ou enroulés plusieurs fois pour former différents types d'éléments de batterie (voir figure 3), connus familièrement sous le nom de "poche" (enveloppe souple), "cylindre" (alias "jelly roll" ou "Swiss roll") et "prismatique" (plis rectangulaires).⁸

Bien que la construction cellule-module-pack semble la plus répandue, l'innovation se poursuit. Les constructeurs automobiles utilisent souvent moins de modules pour alléger la batterie et placent les cellules directement dans les packs (cell-to-pack) pour éviter l'utilisation de matériaux supplémentaires. Certains constructeurs ont poussé cette approche plus loin en plaçant les cellules directement dans la carrosserie du véhicule (cell-to-châssis) dans le but d'améliorer l'intégration et de réduire le poids total. Toutefois, cette conception "cellule-à-pack" ou "cellule-à-châssis" rend plus difficile le démontage de la batterie du véhicule, ce qui pourrait ne pas convenir aux réglementations et aux objectifs futurs en matière de récupération des matériaux critiques.⁹

L'échelle et la configuration de ces cellules dans les batteries varient en fonction des exigences et des capacités propres à chaque véhicule. La configuration des bus et des deux-roues sera différente. En ce qui concerne le nombre de cellules de batterie utilisées dans un véhicule, les modèles Tesla S et X utilisent des packs de batterie qui contiennent environ 7 104 cellules de batterie,¹⁰ et le RT1 de Rivian contient 7 777 cellules.¹¹

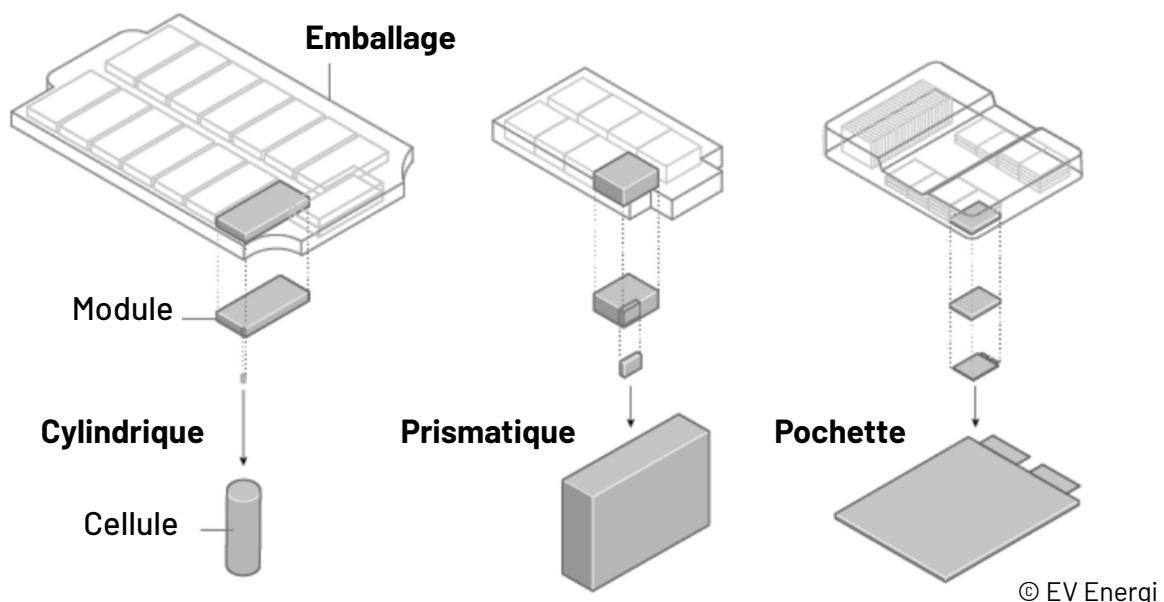
⁸ Figure 2 of: Harper, Gavin, Roberto Sommerville, Emma Kendrick, Laura Driscoll, Peter Slater, Rustam Stolkin, Allan Walton, et al. 2019. "Recycling Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles." *Nature* 575 (7781): 75–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>.

⁹ Edmondson, James. 2023. What the New EU Battery Regulation Means for Cell-To-Pack/Body. IDTechEx. <https://www.idtechex.com/en/research-article/what-the-new-eu-battery-regulation-means-for-cell-to-pack-body/29638>.

¹⁰ "Getting Better in Creating Problems, What about Creating Solutions?" n.d. IEEE Future Directions. Accessed May 6, 2024. <https://cmte.ieee.org/futuredirections/2020/12/10/getting-better-in-creating-problems-what-about-creating-solutions>.

¹¹ Gilboy, James. 2021. "2022 Rivian R1T First Drive Review: The Electric Pickup Revolution Is Real, and It's Here." The Drive. September 28, 2021. <https://www.thedrive.com/new-cars/42512/2022-rivian-r1t-first-drive-review-the-electric-pickup-revolution-is-real-and-its-here>.

Figure 3 : Types de cellules de batteries pour VE



Comprendre la chimie des piles

Il existe de nombreux types de chimies LIB, qui sont généralement classés en fonction des matériaux actifs utilisés dans la cathode.¹² Alors que l'anode est généralement composée de graphite, la cathode contient une combinaison de minéraux, dont le lithium. Les batteries LIB nécessitent les minéraux essentiels que sont le lithium, le cobalt et le nickel. Les batteries nécessitant du lithium, du nickel et du cobalt sont les suivantes: **les batteries nickel-manganèse-cobalt (NMC)** et les **batteries nickel-cobalt-oxyde d'aluminium (NCA)**.

Les **batteries lithium-fer-phosphate (LFP)** sont une autre chimie de batterie qui, en 2022, a atteint 30 % de la part de marché des batteries de VE.¹³ Elles nécessitent toujours la matière première critique qu'est le lithium, mais pas de cobalt ni de nickel, ce qui réduit leur dépendance aux minéraux essentiels. Bien que les batteries LFP aient une autonomie plus courte que les batteries LIB, elles ne se dégradent pas aussi rapidement à long terme. Les **batteries sodium-ion (Na-ion)**, qui ne nécessitent aucune matière première critique (ni lithium, ni cobalt, ni nickel), sont une autre alternative viable émergente.¹⁴ On estime que le coût de production de ces batteries est moins élevé, mais leur densité énergétique est inférieure à celle des batteries LIB, même les moins denses en énergie.¹⁵

Les **batteries à l'état solide (SSB)** ont également fait l'objet d'un grand battage médiatique, car elles ont une capacité et une densité énergétique plus élevées et se chargent rapidement. Cependant, elles nécessitent 35 % de lithium en plus par rapport aux batteries lithium-ion. En revanche, bien que les SSB soient plus performantes que les LIB, elles présentent un défaut : elles se ramifient (structures dendritiques) dans l'électrolyte liquide pendant la charge, ce qui rend la batterie dangereuse.¹⁶

¹² The capture of metals from what is termed the 'cathode active material' (CAM) provides the economic incentive for LIB recycling.

¹³ International Energy Agency. n.d. "Electric Vehicles." Accessed May 6, 2023. <https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles>.

¹⁴ JAC Motors. 2023. "JAC Motors unveils world's first sodium-ion battery vehicle." Last Modified March 6, 2023. <https://jacmotors.co.za/jac-motors-unveils-worlds-first-sodium-ion-battery-vehicle/>.

¹⁵ (International Energy Agency, 2023).

¹⁶ Varzi, A., Raccichini, R., Passerini, S., Scrosati, B. 2016. Challenges and prospects of the role of solid electrolytes in the revitalisation of lithium metal batteries. Journal of Material Chemistry A, 4, 17251.

Figure 4 : Historique de l'évolution des batteries de véhicules électriques



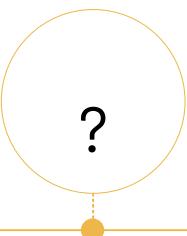
Les batteries plomb-acide
pour les premiers VE (toujours utilisées dans les véhicules électriques à 2 ou 3 roues en Asie), les batteries hybrides nickel-métal ont été utilisées dans les voitures hybrides



Batteries lithium-ion :
Nickel Manganèse Cobalt (NMC) et Lithium Fer Phosphate (LFP)



Alternatives aux batteries lithium-ion :
Les batteries lithium-métal à l'état solide (SSB), les batteries sodium-ion (SIB) et d'autres sont en étude.



Quelle est la prochaine étape ?

Risques d'incendie des batteries lithium-ion

Les piles au lithium-ion présentent un risque d'incendie très élevé en raison de l'emballage thermique. Ce phénomène se produit lorsque la chaleur s'accumule dans la batterie plus rapidement qu'elle ne peut être dissipée, ce qui provoque une fuite de gaz ou même une explosion.pire encore, une batterie lithium-ion stockée à proximité d'une ou plusieurs autres batteries peut déclencher une réaction en chaîne, ce qui aggrave encore un incendie déjà difficile à combattre. Lorsqu'ils atteignent l'emballage thermique, les incendies de batteries lithium-ion peuvent brûler pendant des heures, voire des jours, et il faut parfois jusqu'à 152 tonnes d'eau pour les éteindre.¹⁷ Les batteries lithium-ion provoquent chaque année des dizaines d'incendies dans les centres de recyclage.

¹⁷ Valentie, Stefanie. n.d. "Reducing Lithium-Ion Battery Fires in Waste Facilities." Accessed May 6, 2024. <https://www.waste360.com/waste-recycling/reducing-lithium-ion-battery-fires-in-waste-facilities-part-one>.



© Ryan Fogelman/Waste 360

Que se passe-t-il lorsqu'une batterie de VE a atteint sa fin de vie dans un véhicule ?

Les batteries des VE sont généralement mises au rebut lorsque leur capacité tombe à 70-80 % de leur puissance d'origine ou qu'elles subissent une défaillance matérielle, après avoir été utilisées dans un véhicule pendant environ 10 à 20 ans.¹⁸

Alors que les constructeurs automobiles considèrent que les batteries dont la capacité est inférieure à 70 % ne sont pas conformes aux normes pour alimenter un véhicule (et peuvent être retournées sous garantie), la capacité restante peut être réutilisée et utilisée pendant 5 à 13 ans supplémentaires dans des applications de seconde vie telles que les micro-réseaux, le stockage de secours du réseau, le chargement de voitures, les générateurs d'énergie portables, les vélos électriques, etc.¹⁹ Ces applications requièrent des conditions de fonctionnement relativement simples et de faibles exigences en matière de performances des batteries.²⁰ Ces applications nécessitent des conditions de fonctionnement relativement simples et de faibles exigences en matière de performances des batteries. Ces pratiques de réutilisation des batteries offrent des avantages environnementaux supérieurs au recyclage, car les technologies actuelles de recyclage de la LIB ne se sont pas encore avérées techniquement ou économiquement viables à grande échelle, principalement en raison de l'absence de prise en compte du démontage en fin de vie et de la récupération des matériaux lors de la conception des batteries.²¹

Lorsque le véhicule tombe en panne ou est jugé inutilisable, il convient de déterminer - conformément à la hiérarchie de la gestion zéro déchet - si la durée de vie d'une batterie peut être prolongée par des réparations et si elle peut continuer à être utilisée dans un véhicule avant d'être retirée pour une application de seconde vie ou d'être mise au rebut et recyclée. En reconnaissant cela, les fabricants doivent mettre l'accent sur la conception en tenant compte d'un système de gestion zéro déchet, parallèlement à d'autres décisions de conception telles que le coût et la fonctionnalité.

Remerciements

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

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

18 Abdelbaky, Mohammad, Jef R. Peeters, and Wim Dewulf. 2021. "On the Influence of Second Use, Future Battery Technologies, and Battery Lifetime on the Maximum Recycled Content of Future Electric Vehicle Batteries in Europe." *Waste Management* 125 (April): 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.032>.

19 Casals, Lluc Canals, B. Amante García, and Camille Canal. 2019. "Second Life Batteries Lifespan: Rest of Useful Life and Environmental Analysis." *Journal of Environmental Management* 232 (February): 354-63. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.046>.

20 Sun, Shiqiang, Chenxi Jin, Wenzhi He, Guangming Li, Haochen Zhu, and Juwen Huang. 2021. "Management Status of Waste Lithium-Ion Batteries in China and a Complete Closed-Circuit Recycling Process." *Science of the Total Environment* 776: 145913. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145913. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721009803>.

21 (U.S. Department of Energy).