

# Batteries de véhicules électriques : décryptage des principaux enjeux

---

**L'électrification est un levier majeur de décarbonation des transports**, en particulier pour les transports routiers où les véhicules électriques sont amenés à dominer à l'avenir. C'est le cas aussi bien pour les voitures, que pour les véhicules plus légers (deux-roues motorisés, vélos à assistance électrique...) ou pour les véhicules plus lourds (bus et cars, poids lourds).

Cette transition vers l'électrique pose de nombreuses questions en termes d'usages, d'impacts environnementaux, sociaux, géopolitiques, de sécurité ou encore de durabilité. Et les interrogations légitimes qui se posent se concentrent bien souvent autour des **batteries de ces véhicules électriques**.

L'objectif de cet article est ainsi de **décrypter les principales questions** qui reviennent dans les conversations ou débats publics sur ces enjeux, en compilant d'une façon vulgarisée l'état des connaissances sur les batteries de véhicules électriques à ce jour.

## 1) Les bases sur les batteries : fonctionnement, composition, usages

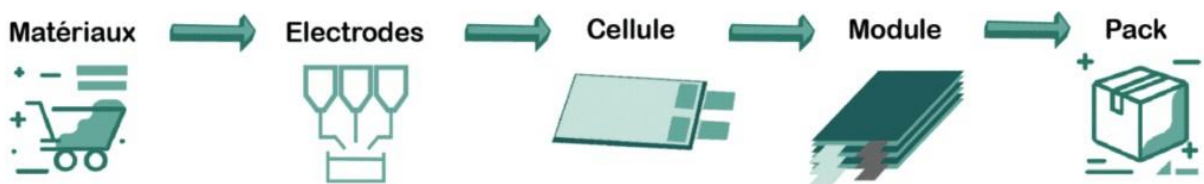
Les batteries ne sont pas une technologie nouvelle. Les [moyens de stockage électrique](#) débutent **dès le 19<sup>ème</sup> siècle**, avec la pile de Volta en 1800, ou encore l'invention de la batterie au plomb par Gaston Planté en 1859.

Les progrès se font plus importants sur les batteries dans les années 1970-1980, et la première **batterie lithium-ion** industrialisable est commercialisée en 1991. L'amélioration notamment de sa densité énergétique (c'est-à-dire la quantité d'énergie par kg ou par volume de batterie) va permettre de développer des batteries lithium-ion pour les véhicules électriques.

### La composition des batteries

Pour la suite de l'article et sans rentrer dans les détails, il est important de comprendre les différents éléments d'une batterie, et notamment de s'y repérer dans le vocabulaire des batteries et des matériaux qui la composent.

- La batterie est composée d'un **pack** batterie, couplé à un système de gestion de la batterie (ou **BMS** pour *Battery Management System*), un système électronique contrôlant la charge et la décharge des batteries ;
- Un pack batterie comporte plusieurs **modules**, qui correspondent à des assemblages de cellules ;
- Les **cellules** sont l'entité de base, et il en existe de différents formats, cylindriques pour certaines ou de formes rectangulaires (pour les formats pouch ou prismatiques).



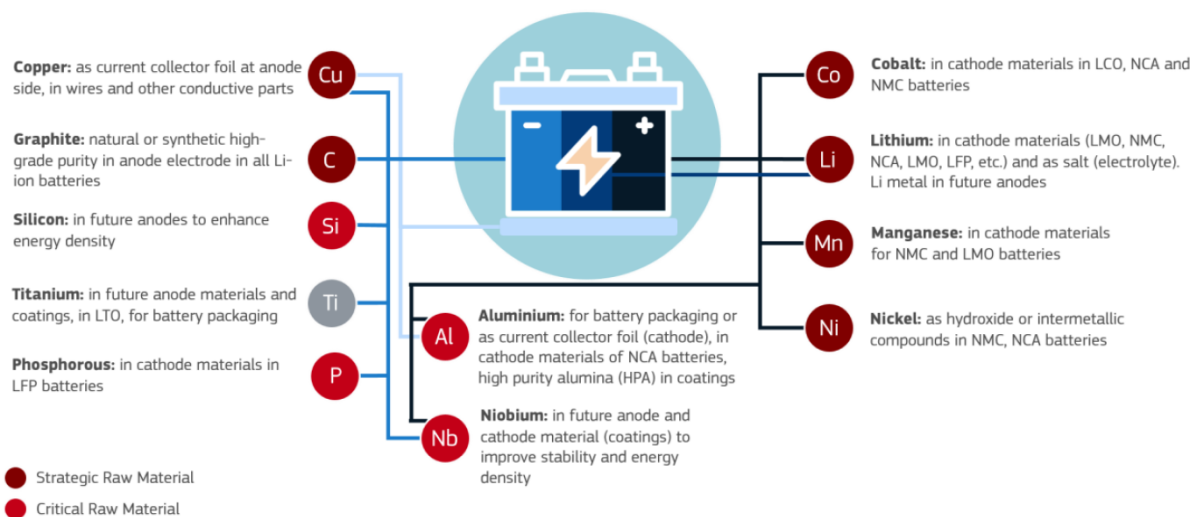
*Les étapes d'assemblage d'un pack batterie - [Verkor](#)*

Selon le type de cellules, une batterie comptera plusieurs milliers de cellules cylindriques d'une taille un peu supérieure à des piles AA et pesant quelques dizaines de grammes, comme c'est le cas pour les [voitures Tesla](#). D'autres cellules pèsent quelques centaines de grammes ou quelques kg selon les formats. Ainsi pour une Renault 5, sa batterie de 52 kWh est composée de [184 cellules](#), chaque cellule faisant plus d'un kg.

Pour simplifier, chaque cellule est ensuite [composée](#) de **3 principaux éléments**, que sont la cathode, l'anode, et l'électrolyte :

- La **cathode** est l'électrode positive. Elle stocke les ions lithium pendant la décharge de la batterie et les libère pendant la charge. Pour les batteries lithium-ion qui dominent actuellement pour les véhicules électriques, la composition de la cathode renseigne son nom : on parle ainsi de batteries **NMC** lorsque la cathode est composée de nickel-manganèse-cobalt (par exemple NMC-811 pour une proportion de 80 % de nickel et 10 % de manganèse et cobalt) ; et on parle de batteries **LFP** pour les cathodes lithium-fer-phosphate.

- L'**anode** est l'électrode négative. Contrairement à la cathode, elle stocke les ions lithium pendant la charge et les libère pendant la décharge. Les anodes sont le plus couramment constituées de graphite, mais leur chimie pourrait évoluer à l'avenir.
- L'**électrolyte** a pour principal rôle de faciliter le mouvement des ions lithium entre la cathode et l'anode. Les batteries lithium-ion classiques ont des électrolytes **liquides**, contenant des sels de lithium (comme l'hexafluorophosphate de lithium  $\text{LiPF}_6$ ) et des solvants organiques (carbonate de diméthyle  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$  et carbonate d'éthylène  $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$ ). A l'avenir, les projets de batteries dites **solides** visent à passer à un électrolyte solide afin d'améliorer la densité énergétique des batteries.



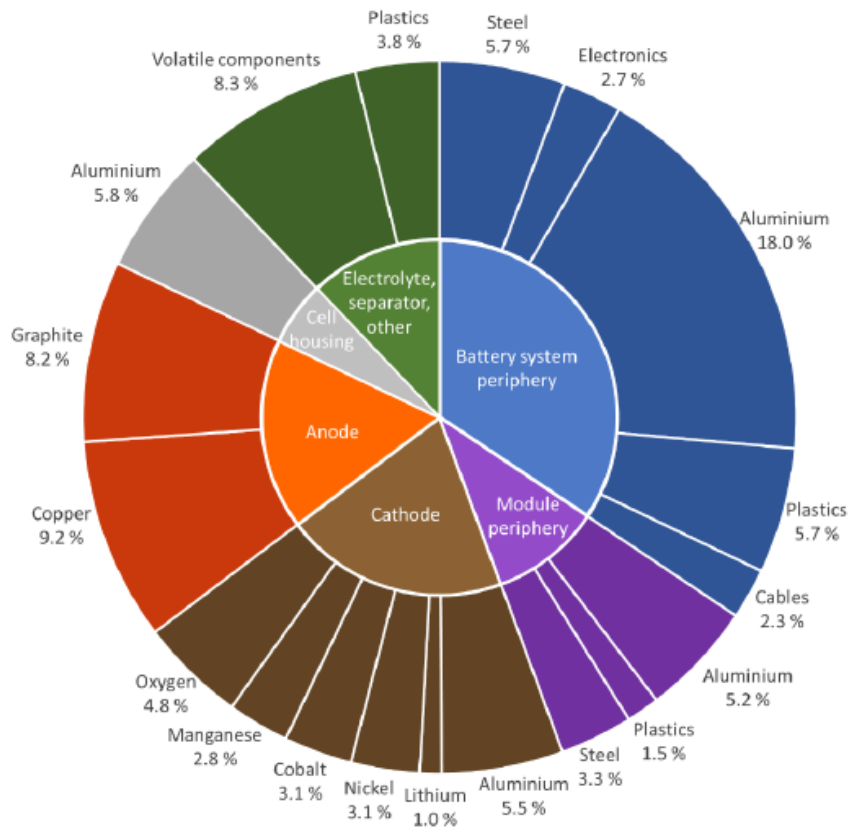
*Sélection de métaux utilisés dans les batteries lithium-ion NMC et leur fonction - [EU-JRC](#), 2023*

### Les métaux composant les batteries

La figure ci-dessous donne une **répartition** typique du poids des différents éléments et des matières composant une batterie lithium-ion NMC-333.

Pour donner une idée des **poids de matières** en jeu, [Wang et al](#) (2020) donne le poids de différents métaux pour une batterie lithium-ion NMC-811 de 300 kg :

- Environ 75 kg pour la cathode, dont 43 kg de **nickel**, un peu plus de 5 kg de **cobalt** et de **manganèse** et 13 kg de **lithium** ;
- Pour l'anode, 44 kg de **graphite** ainsi que 5 kg de carbone ;
- 36 kg pour l'électrolyte ;
- Environ 35 kg de **cuivre** ("Copper" en anglais ; à noter que le cuivre est aussi nécessaire pour d'autres éléments du véhicule électrique, dont le moteur électrique) et 73 kg **d'aluminium**, pour différentes parties de la batterie ;
- Et en complément, du plastique, de l'acier, des matériaux isolants ou électroniques...



Note: The module periphery includes module enclosure, while the battery system periphery includes the pack enclosure, the battery management system, the electrical system, and the thermal management system.

Source: Reproduced from (Diekmann et al., 2017).

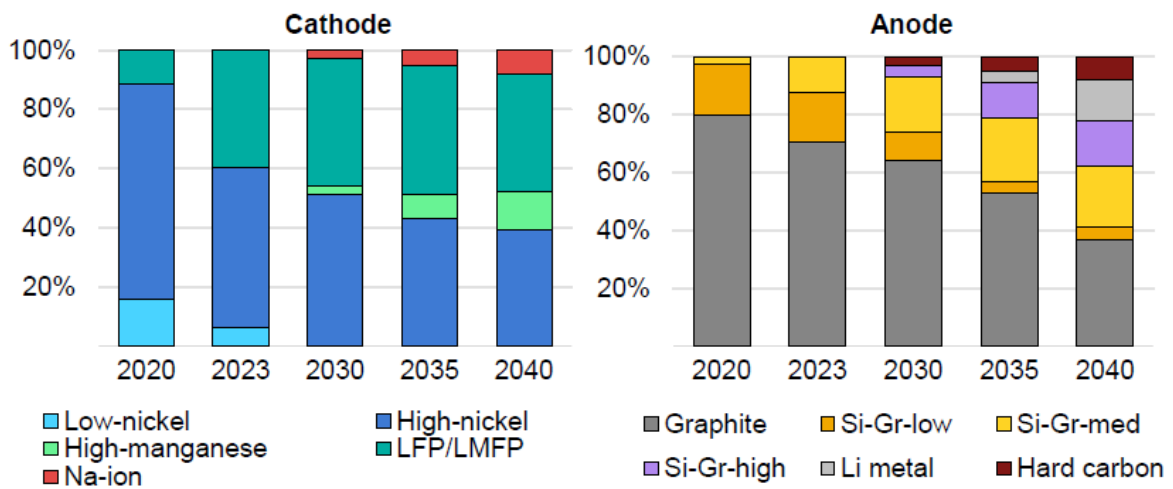
Composition matières d'une batterie lithium-ion NMC - [Ellingsen, Hung, 2018](#)

### Les différentes chimies de batteries

Les quantités de métaux évoquées dépendent bien évidemment des chimies de batteries, qui évoluent au cours du temps ([AIE, 2024](#)).

Côté **cathode**, les chimies de batteries se sont de plus en plus tournées ces dernières années vers des chimies **NMC** intenses en nickel (et faibles en cobalt et manganèse), puis vers les chimies **LFP**. Ces dernières représentent [la moitié](#) des batteries de véhicules électriques vendus dans le monde en 2024, avec un développement particulièrement fort en Chine (75 % des batteries) tandis que la croissance est plus timide dans l'UE (10 %) ou aux Etats-Unis. Les batteries NMC ont une meilleure densité énergétique, mais les batteries LFP sont moins coûteuses, et notamment plus adaptées pour les véhicules légers et abordables. Enfin, les batteries [sodium-ion](#) (Na-ion), qui visent à remplacer le lithium par le sodium, un élément bien plus abondant, devraient arriver dans les prochaines années sur certains véhicules électriques, on y reviendra.

Côté **anode**, elles sont essentiellement composées de graphite, une partie d'entre elles étant de plus en plus couplées au [silicium](#) à l'avenir. Les anodes [lithium-métal](#) font l'objet de recherches en lien avec le développement des batteries solides, de même que les anodes en [carbone dur](#) aussi développées pour les batteries sodium-ion.



IEA. CC BY 4.0.

Notes: Base case electric car cathode and anode chemistry share projections. LFP = lithium iron phosphate; LMFP = lithium manganese iron phosphate; Na-ion = sodium-ion; NMC = lithium nickel manganese cobalt oxide. NCA = lithium nickel cobalt aluminium oxide. NMCA = lithium nickel manganese cobalt aluminium oxide. LNO = lithium nickel oxide. Low-nickel includes: NMC333 and NMC532. High-nickel includes: NMC622, NMC721, NMC811, NCA, NMCA, LNO. High-manganese includes lithium nickel manganese oxide (LNMO) and lithium-manganese rich NMC (LMR-NMC). Si-Gr = silicon-doped graphite. Si-Gr-low refers to 5% silicon content, Si-Gr-med = 5-50% and Si-Gr-high > 50%.

*Projections d'évolution des chimies de cathodes et anodes de batteries de voitures électriques, référence, 2020-2040 - [AIE](#), 2024*

### Chaîne de valeur et étapes de fabrication

Les différents éléments composant les batteries présentés ci-dessus renseignent aussi sur les **différentes étapes de fabrication des batteries**, dont la chaîne de valeur s'étend depuis l'extraction des matières premières, leur raffinage, en passant ensuite par la fabrication des matériaux actifs (cathode et anode), des cellules, leur assemblage en module, en pack, jusqu'à l'intégration des batteries finales dans un véhicule électrique.

Ces différentes étapes ont leur importance pour préciser **où se situent les principaux enjeux** en termes de dépendance, d'impacts environnementaux, sociaux ou encore de coûts des batteries, de nombreux questionnements qui seront abordés dans cet article.

### Usages actuels et à venir des batteries

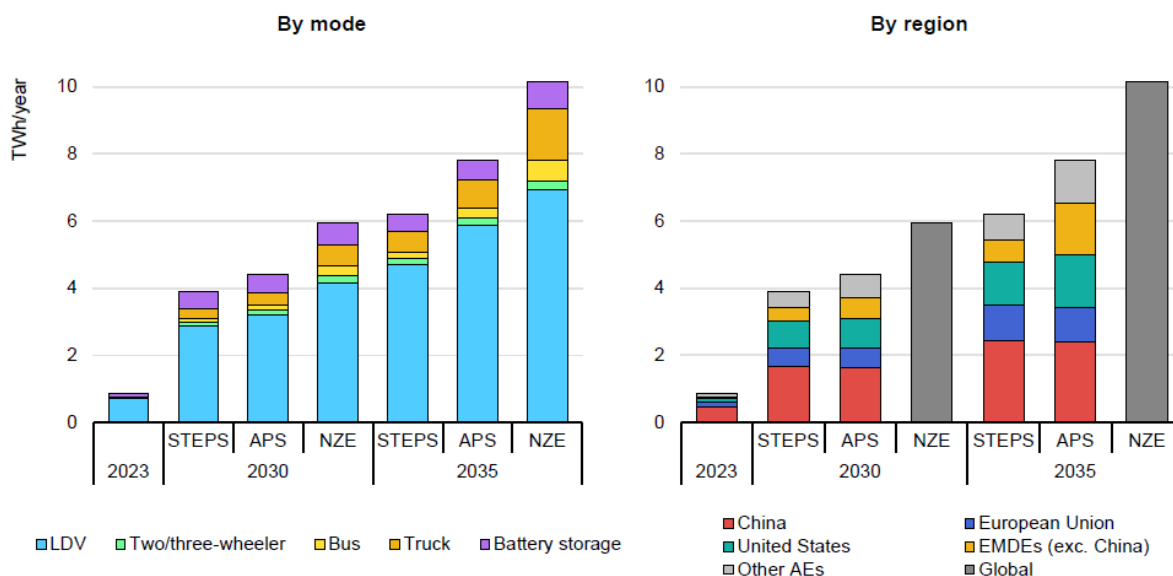
La demande en batteries pour les véhicules électriques sur les dernières années a très fortement augmenté au niveau mondial. A environ 0,1 TWh en 2018, elle a été multipliée par 10 en 6 ans seulement, pour atteindre quasiment **1 TWh** en 2024 d'après l'[AIE](#) (Agence Internationale de l'Énergie), et un peu plus en comptant les autres usages des batteries dans le secteur énergétique.

Ce chiffre correspond à plus de 17 millions de ventes de véhicules électrifiés en 2024, pour une capacité moyenne de **55 kWh** par véhicule (une moyenne qui regroupe différents types de véhicules, essentiellement des voitures ; et des véhicules 100 % électriques mais aussi des hybrides rechargeables et à prolongateur d'autonomie).

À l'horizon **2035**, les besoins en batteries augmenteraient entre **6 TWh** par an dans un scénario tendanciel avec les politiques actuelles, ou jusqu'à environ **10 TWh** dans le scénario de neutralité carbone en 2050 de l'[AIE](#).

Quel que soit le scénario aux horizons 2030 et 2035, les voitures et véhicules utilitaires légers électriques représenteraient toujours au moins 70 % des besoins en batteries, complétés par les besoins pour les poids lourds, le stockage énergétique, les bus et cars, puis les 2 et 3-roues motorisés.

A l'horizon 2050, ces quantités pourraient encore augmenter jusqu'à **9 à 13,5 TWh** environ.



IEA. CC BY 4.0.

Notes: STEPS = Stated Policies Scenario; APS = Announced Pledges Scenario; NZE = Net Zero Emissions by 2050 Scenario; LDV = light-duty vehicle, including cars and vans; EMDEs (exc. China) = emerging markets and developing economies excluding China; AEs = Advanced economies. Battery storage refers to the demand for new installations.

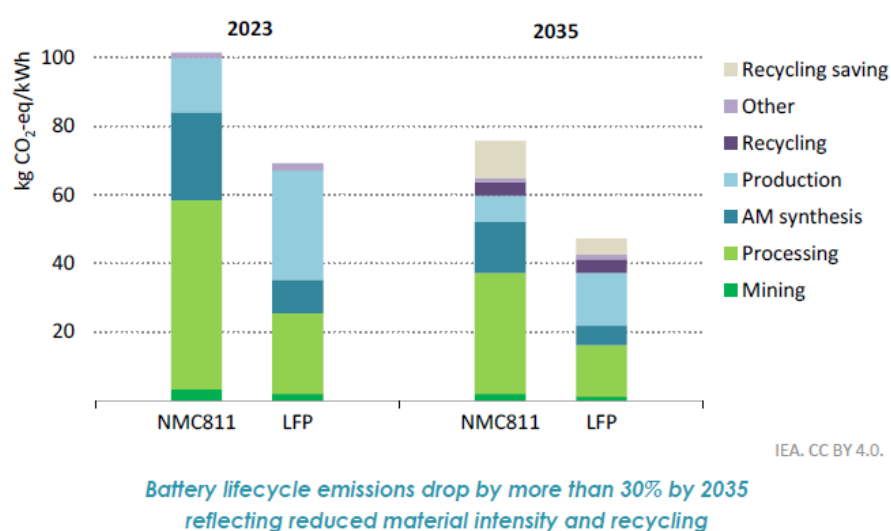
*Demande de batteries par mode et par région dans les scénarios de politiques actuelles (STEPS), contributions annoncées (APS) et net-zéro émission 2050 (NZE), 2023-2035 - [AIE](#), 2024*

## 2) Quel bilan carbone pour la batterie et le véhicule électrique ?

Le bilan carbone des batteries se mesure généralement en quantité de gaz à effet de serre rapportée à la capacité, à savoir en  $\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$ . Les **ordres de grandeur** tournent généralement **autour de 100  $\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$**  dans la littérature, avec des valeurs assez contrastées selon les sources et la qualité des données. C'est notamment la valeur moyenne donnée dans le rapport sur les batteries de l'[AIE](#) pour la chimie NMC-811, qui domine actuellement en Europe (figure ci-dessous).

En termes de **répartition de ce bilan carbone**, la figure et la littérature sur le sujet indiquent qu'une grande partie provient des matières premières nécessaires aux batteries. Il s'agit de leur extraction, mais plus encore du traitement et du raffinage des métaux ("Processing" sur la figure de l'AIE, 55 % du bilan dans ce cas), notamment pour le nickel et le graphite pour les batteries NMC-811. Vient ensuite la synthèse des matériaux actifs de la batterie ("AM synthesis", pour environ 25 %), qui correspond à la production de la cathode et de l'anode. Et la dernière étape significative concerne la production des cellules et l'assemblage de la batterie dans les gigafactories (quasiment 20 % dans la figure de l'AIE).

Ces proportions **varient selon les études**, en fonction des chimies de batteries, de l'efficacité des processus de fabrication, et pour beaucoup des lieux de production pour les métaux, les matériaux actifs et les batteries, et notamment de l'électricité nécessaire aux étapes de transformation.



Notes:  $\text{kg CO}_2\text{-eq/kWh}$  = kilogrammes of carbon dioxide-equivalent per kilowatt-hour; NMC 811 =  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$ ; LFP = lithium iron phosphate; AM synthesis = active material synthesis. Recycling saving refers to the emissions that are avoided thanks to the use of recycling materials. Other refers to emissions associated with other battery pack components like electronics and coolant. Production refers to cell and pack manufacturing. The Announced Pledges Scenario depicts a future where all countries hit their aspirational targets, including national and regional net zero emissions pledges, on time and in full.

*Emissions en cycle de vie des packs batteries NMC-811 et LFP en 2023 et dans le scénario des contributions annoncées (APS) en 2035 - [AIE](#), 2024*

### *Des disparités selon les études*

Au-delà des **100 kgCO<sub>2</sub>e/kWh** évoqués comme ordre de grandeur, et dès que l'on rentre davantage dans les détails, les disparités sont grandes selon les études pour le bilan carbone des batteries, en voici un aperçu pour quelques études :

- Une revue de littérature d'[Ellingsen et al](#) en 2017 montrait des émissions allant de **38 à 356 kgCO<sub>2</sub>e/kWh** selon les études, soit un écart de 1 à 10 ;
- De manière à peine plus resserrée, une revue de littérature de [Temporelli et al](#) en 2020 montrait des émissions entre **53 et 313 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh** selon les études et les chimies de batteries considérées (dont environ **120-255 kg** pour les NMC et **150-250 kg** pour les LFP) ;
- Un bilan carbone entre **80 et 123 kgCO<sub>2</sub>e/kWh** était calculé par l'étude de [Popien et al](#) en 2023, selon les chimies de batteries et pour le cas de référence d'une production en Chine et en Allemagne ; ce bilan baissait à **45 à 80 kg/kWh** dans le cas d'électricité 100 % renouvelable pour la production de la batterie, soit une baisse entre 26 et 48% selon les chimies.
- L'étude de [Philippot et al](#) en 2019 indiquait des valeurs entre **49 et 272 kgCO<sub>2</sub>e/kWh** dans la littérature ; la figure ci-dessous issue de l'étude, indique aussi les impacts très forts de différents leviers de réduction de l'empreinte carbone, en particulier la hausse des volumes de production (type gigafactory), l'optimisation de la production ou la décarbonation de l'électricité, ou encore l'augmentation de la densité énergétique ; à noter aussi que les leviers de massification de la production et de meilleure densité permettent aussi des baisses significatives des coûts de production (voir question 9) ;
- De manière similaire concernant les leviers de réduction de l'empreinte, l'étude de [Chordia et al](#) (2021) indiquait un bilan de **188 kgCO<sub>2</sub>e/kWh** pour le scénario de référence, réduits de 45 % à **109 kg/kWh** avec une production à grande échelle, puis une nouvelle baisse de 55 % pour arriver à **50 kg/kWh** avec des sources d'électricité bas-carbone utilisées pour la production.
- L'étude de [Minviro](#) pour T&E en 2022 montrait des empreintes similaires de **77 kgCO<sub>2</sub>e/kWh** pour les batteries NMC-811 et **78 kg/kWh** pour les batteries LFP produites avec un mix électrique de l'UE en 2021, et autour de **60 kg/kWh** pour des batteries solides ; en fonction d'un approvisionnement en matières premières faiblement ou fortement carboné, l'empreinte varie entre **50 et 131 kg/kWh** pour les batteries NMC-811 ; enfin, à l'horizon 2030, l'empreinte baisserait de 10 à 15 % pour atteindre environ 66 kg/kWh, en raison de la décarbonation du mix électrique ;
- Une étude de [Carbone 4](#) en 2023 indique des valeurs qui varient entre **77 et 221 kgCO<sub>2</sub>e/kWh**, montrant des écarts particulièrement forts selon l'approvisionnement en graphite, en nickel, ainsi que l'empreinte liée à l'assemblage ;
- L'étude de [Peiseler et al](#) (2024) indique pour sa part une empreinte carbone médiane de **74 kgCO<sub>2</sub>e/kWh** pour les batteries NMC-811 et **62 kg/kWh** pour les batteries LFP ;
- Enfin, le bilan carbone du **graphique** aurait été largement **sous-estimé** jusqu'à maintenant d'après l'étude de [Carrère et al](#) (2024), ce qui pourrait relever le bilan carbone des batteries par rapport aux estimations précédentes.

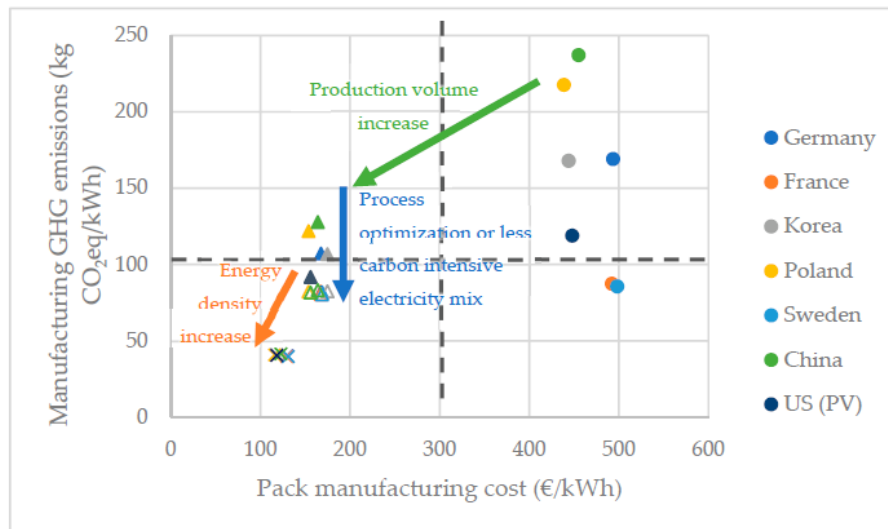


Figure 8. Manufacturing eco-efficiency of a NCA battery pack for electric vehicles (EVs) (circles are for small production volume, triangles are for high production volume, empty symbols are for minimum energy consumption, crosses are for high production volume with a minimum energy consumption and a higher energy density).

Empreinte carbone de fabrication de packs batteries NCA - [Philippot et al, 2019](#)

### Différences entre études et leviers pour l'avenir

Ces différentes études montrent ainsi une grande dispersion de valeurs de bilan carbone de production des batteries, selon les hypothèses prises. Des valeurs **bien supérieures à 100 kgCO<sub>2</sub>e/kWh** sont observées dans certaines études, en particulier les plus anciennes. Les écarts et ces valeurs élevées peuvent s'expliquer par une mauvaise qualité des données, et aussi par certains progrès réalisés depuis sur la densité des batteries, sur la décarbonation progressive de l'électricité ou sur le passage à l'échelle de la production dans les gigafactories.

A l'avenir, il apparaît que les **principaux leviers pour diminuer** davantage l'empreinte carbone des batteries sont les suivants :

- La **décarbonation de l'électricité utilisée** pour la production des batteries et certaines étapes plus en amont (en particulier le raffinage, la production des matériaux actifs et des cellules...), comme cela est déjà en cours en Chine et ailleurs dans le monde ; alternativement, la relocalisation de ces étapes dans des pays où l'électricité est peu carbonée ; la France a ici une carte intéressante à jouer, avec des gigafactories qui ont cet avantage majeur de se fournir avec une électricité peu carbonée (voir question 5).
- Les gains incrémentaux encore possibles sur **l'efficacité des processus** de fabrication (notamment pour éviter les rebuts de production, pour les nouvelles gigafactories), pour une meilleure **densité** des batteries, ou d'une manière plus impactante avec le passage à des **batteries solides**, à la densité et au bilan carbone améliorés ;
- Enfin, si l'étude et la figure de l'AIE ci-dessus indiquent une empreinte carbone inférieure d'environ un tiers pour les batteries **LFP** comparées aux batteries NMC et semble se retrouver dans d'autres études, cette différence n'est pas indiquée dans toutes les études.

## *Un bilan à regarder en analyse de cycle de vie des véhicules*

En prenant une valeur de **100 kgCO<sub>2</sub>e/kWh**, le bilan carbone d'une batterie moyenne de **70 kWh** pour les voitures électriques vendues en Europe en 2024 s'élève à **7 tCO<sub>2</sub>e**. C'est quasiment l'équivalent d'une année d'empreinte carbone d'un Français, estimée par le [SDES et l'Insee](#) à **8,2 tCO<sub>2</sub>e** pour l'année 2024.

Pour prendre une comparaison avec la voiture thermique, 7 tCO<sub>2</sub>e, c'est l'équivalent de **36 000 km** réalisés en voiture thermique (160 gCO<sub>2</sub>/km d'émissions directes pour le parc moyen en 2023 d'après le [Citepa](#), auxquels ajouter 20 % environ pour l'amont de production des carburants). Cela correspond à environ 3 années d'usage d'une voiture.

Cependant, le bilan carbone ne doit pas se limiter à la batterie, mais c'est bien **l'analyse de cycle de vie du véhicule électrique** qui doit être comparée au véhicule thermique. C'est ce qui a été fait en détails dans l'article [La voiture électrique, solution idéale pour le climat ?](#), qui compilait 10 études réalisées en France à ce sujet, et concluait à une **division par 2 à 5 des émissions** en passant à l'électrique.

A noter que l'[AIE](#) indique déjà une **division par 2 des émissions au niveau mondial** pour un véhicule électrique vendu en 2023, par rapport à un véhicule thermique. Et ce bilan va continuer à s'améliorer encore, avec la décarbonation des mix électrique pour l'usage des véhicules électriques, mais également pour la production des batteries.

Enfin, le bilan carbone est **plus favorable** encore pour les **véhicules lourds**, aussi bien pour les [poids lourds](#) que les bus et cars, avec environ une division par 6 des émissions en France en passant à l'électrique. Cela s'explique essentiellement par une plus forte intensité d'usage, et ainsi un kilométrage supérieur sur la durée de vie du véhicule. Cela permet un meilleur amortissement du surplus d'émissions à la production du véhicule (essentiellement en lien avec la batterie).

### 3) Quels sont les impacts environnementaux et sociaux en lien avec les batteries ?

**Le bénéfice climatique du passage à l'électrique est indéniable**, et justifie en grande partie le virage vers l'électrique, sans quoi il ne sera pas possible d'atteindre les objectifs climatiques en France, en Europe ou dans le monde.

Mais bien sûr, les **impacts des véhicules électriques et des batteries** ne s'arrêtent pas au climat, et doivent être élargis aux **autres impacts environnementaux** et aux **impacts sociaux**, particulièrement pointés du doigt pour l'extraction des métaux nécessaires aux batteries.

Cette question est plus complexe que celle du bilan carbone, et certainement l'une des plus controversées, alors la réponse est un peu plus détaillée, pour rentrer dans cette complexité.

#### *Une grande variété de dimensions à considérer*

La difficulté des impacts environnementaux et sociaux en lien avec les batteries de véhicules électriques est tout d'abord que **les dimensions à considérer sont potentiellement très vastes**. Ainsi on peut se questionner sur les impacts suivants, considérés dans un certain nombre de rapports ou d'analyses de cycle de vie des batteries :

- **Environnementaux** : émissions de gaz à effet de serre, demande en énergie, épuisement des ressources minérales, consommation d'espace, d'eau, acidification ou eutrophisation des eaux, gestion des déchets, pollution sonore, impacts sur la biodiversité, etc. ;
- **Sanitaires** : pollution de l'air, de l'eau, des sols, mesurée en termes d'émissions de particules fines, de potentiel de toxicité humaine, de radiation ionisante, etc.
- **Sociaux** : vulnérabilités en termes de gouvernance, de corruption, de salaires insuffisants, de recours au travail forcé, de respect des droits de l'homme, de protection des travailleurs, etc.

De plus, ces **différentes dimensions interagissent** entre elles, les impacts environnementaux affectant la santé, les vulnérabilités sociales compliquant la résolution de certaines problématiques environnementales ou sanitaires, etc.

On peut citer deux autres éléments ajoutant à la difficulté de cette question des impacts relatifs aux batteries.

Premièrement, ces **impacts** doivent être étudiés **pour les différents métaux** qui composent les batteries, qui ne sont pas les mêmes selon les chimies de batteries. Et de nombreux impacts dépendent du contexte local du lieu d'extraction : par exemple, une consommation d'eau donnée à la saison humide d'une région fortement arrosée ne sera pas équivalente en termes d'impact à une consommation équivalente dans une région où la population et la biodiversité vivent sous stress hydrique.

Deuxièmement, les impacts doivent se regarder, tout comme pour les impacts climatiques évoqués précédemment, à la fois **de manière absolue**, mais aussi de manière relative, en particulier **en comparaison des voitures thermiques** ou des autres alternatives de mobilité. Cela doit se faire sur l'ensemble de la chaîne de valeur et en analyse de cycle de vie des véhicules, afin d'éclairer au mieux les choix technologiques et d'usages qui se posent.

Ce sont ces deux points qui sont évoqués successivement ici.

## Des pressions différentes selon les métaux

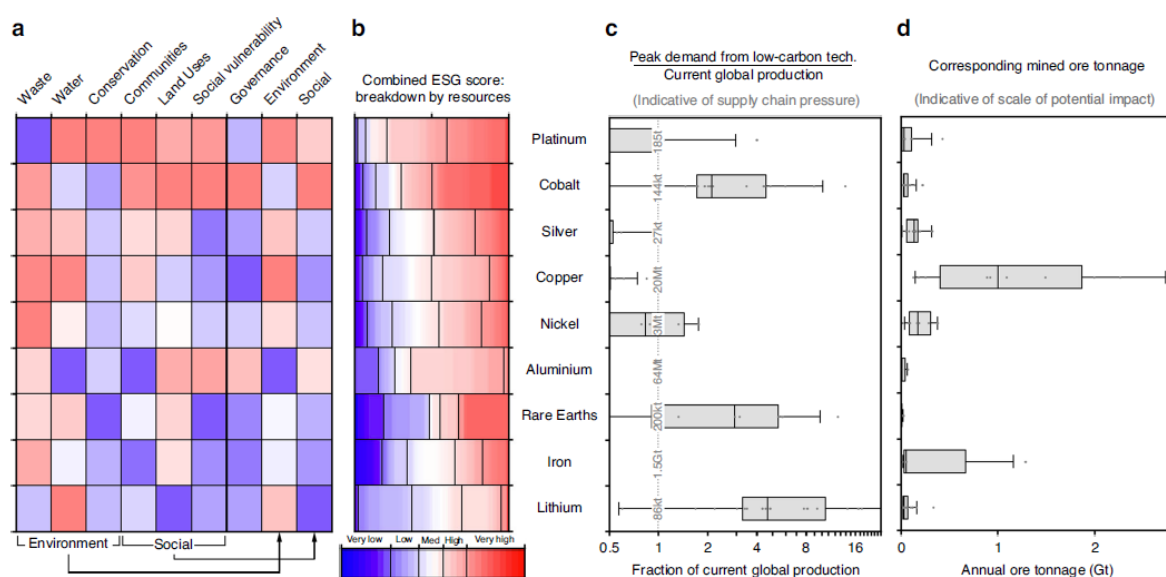
Rentrer dans le détail de tous les impacts environnementaux, sanitaires, sociaux, de gouvernance, pour l'ensemble des métaux potentiellement impliqués dans les batteries serait quasiment impossible et dépasserait largement le cadre de cet article.

Cependant, pour en fournir une vision résumée, l'article de [Lèbre et al \(2020\)](#) intitulé "The social and environmental complexities of extracting energy transition metals" et la figure qui en est tirée ci-dessous résume fort utilement où se trouvent les principaux impacts et enjeux (voir aussi [MTE-CGDD, 2022](#) ou [IFRI, 2023](#) pour des tableaux récapitulatifs des principaux enjeux).

Les matrices colorées (a) et (b) à gauche sont à ce stade les plus importantes sur les sujets ici abordés.

Ainsi la matrice (a) à gauche permet de croiser les impacts de 9 métaux de la transition énergétique avec les risques environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) qui leur sont associés. Les métaux sont classés dans l'ordre de leur score, correspondant à la somme des 7 premières colonnes (les colonnes 8 et 9 correspondant déjà à l'addition des colonnes environnement et social).

La matrice (b) donne la répartition du score global de risques répartis selon les tonnages de ressources.



Profils de risques et projection de demande pour 9 métaux de la transition énergétique - [Lèbre et al, 2020](#)

Pour revenir sur quelques éléments importants de ce tableau et faire le lien avec les problématiques plus ou moins régulièrement mises en avant dans les médias, on y observe notamment que :

- Le **platine**, qui a des volumes de production très faibles (185 tonnes par an seulement, exploitées à seulement [1,4 gramme par tonne](#) de minerai en moyenne), présente le plus mauvais score combiné parmi les métaux étudiés, se distinguant par exemple par des

risques très élevés en termes de "Conservation" (proximité d'habitats naturels et de la biodiversité), contrairement aux autres métaux ; le platine est particulièrement utilisé aujourd'hui dans les pots catalytiques des véhicules thermiques et hybrides, et est nécessaire pour la filière hydrogène ;

- Derrière vient le **cobalt**, où l'on voit dans la figure (b) qu'une petite fraction des ressources est située dans des zones où les risques sont très faibles, et environ la moitié là où les risques sont très élevés, en particulier en [République Démocratique du Congo](#), un point abordé plus en détails plus bas ;
- Parmi les autres métaux nécessaires aux **batteries** des véhicules électriques ou du moins à certaines d'entre elles, viennent ensuite le **cuivre** (avec quelques éléments de détails ci-dessous), devant le **nickel**. Ce dernier métal provient de plus en plus d'Indonésie, qui représentait [5 %](#) de la production en 2015 pour augmenter à [63 %](#) de l'extraction mondiale en 2024. Cette concentration implique des [impacts locaux](#) particulièrement forts, en termes de déforestation, de pollutions, de [biodiversité](#) ou de besoins en charbon pour le raffinage.
- Enfin, le **lithium**, particulièrement mis en avant quant aux impacts des batteries lithium-ion, apparaît en bas de classement, avec des risques importants essentiellement sur l'eau (et ainsi dans l'indicateur total sur l'environnement), mais beaucoup moins sur les autres indicateurs. Les pressions sur les ressources en eau concernent tout particulièrement le triangle du lithium qui concentre [60 % des ressources](#) mondiales, entre le Chili essentiellement, l'Argentine et la Bolivie. Les forts besoins en eau pour ce type d'exploitation du lithium [représente une menace](#) pour la population et la biodiversité de cette région particulièrement aride d'Amérique du Sud.

### *Et les enfants dans les mines de cobalt en RDC ?*

Le tableau ci-dessus a montré des enjeux particulièrement forts pour le cobalt, qui s'expliquent par les impacts notamment sociaux en lien avec l'extraction en République Démocratique du Congo (RDC). Ce sujet étant particulièrement important et complexe, **un article a été écrit spécifiquement sur cette question** et publié en janvier : [Analyse : la réalité sur le cobalt en République Démocratique du Congo](#).

On ne peut que conseiller la lecture complète de l'article pour rentrer dans les détails, mais en voici sinon quelques éléments clés sur cette question :

- Côté demande, les batteries représentent environ 75 à 80 % de la demande en cobalt en 2024, dont **30 à 43 % du total** pour les batteries de véhicules électriques. Les voitures électriques avec des chimies NMC contiennent environ de 5 à 15 kg de cobalt, tandis que les batteries LFP n'en contiennent pas.
- Côté offre, la **RDC** représente de l'ordre de **70 % de la production** et 55 % des réserves de cobalt. La production devrait encore augmenter jusqu'au début des années 2030 puis décliner ensuite, sous l'effet des changements de chimies de batteries ou de hausse de production d'autres pays. L'extraction du cobalt s'y fait en co-production du cuivre, la RDC ayant compté pour [13 %](#) de la production mondiale de cuivre en 2024.
- Les **mines artisanales** et à petite échelle sont responsables d'environ 10 à 20 % de la production de cobalt en RDC. Cette part est fortement dépendante du prix du cobalt et serait tombée à 2 % en 2024 avec la baisse des prix. Les conditions de travail dans ces mines artisanales sont particulièrement difficiles, avec des accidents récurrents, des problèmes de santé, de travail forcé et environ 10 % d'enfants parmi les travailleurs.

- Ces impacts s’inscrivent dans un **contexte plus large de vulnérabilités** multiples en RDC, en termes de passé colonialiste, de pauvreté, de corruption, de manque d’accès à l’éducation. C’est dans ce contexte que doivent se penser différentes pistes de solutions évoquées dans l’article, aussi bien en RDC que dans la responsabilité des acteurs au niveau international.

### *Le cuivre, un métal concentrant de nombreux enjeux ?*

Pour certains impacts environnementaux, le cuivre apparaît comme particulièrement impactant :

- Pour la figure ci-dessus de [Lèbre et al](#) (2020), la partie (d) à droite indique des **niveaux d’extraction** de cuivre particulièrement élevés pour les technologies de la transition énergétique, par rapport aux autres métaux. A noter que cette extraction est mesurée non pas en tonnes de métaux de cuivre, mais en tonnes de minerais déplacés pour extraire le cuivre (la concentration moyenne des gisements ayant régulièrement diminué ces dernières décennies pour atteindre 0,6 % de cuivre au sein des minerais exploités) ; et les quantités indiquées rassemblent toutes les technologies bas-carbone et pas uniquement les batteries ;
- La baisse de la teneur des gisements en cuivre entraîne aussi des craintes sur la **disponibilité** en cuivre pour la transition, un point abordé dans la question suivante ;
- Enfin, l’étude de l’[Energy Transitions Commission](#) (2023) indique que le cuivre représentait quasiment la moitié des impacts d’**écotoxicité** et quasiment un tiers des impacts de **toxicité humaine** en lien avec l’extraction des principaux métaux utilisés dans le monde en 2015 ;

Cependant, les **véhicules électriques** représentent en 2024 un peu moins de **2 % de la demande mondiale en cuivre** d’après l’[AIE](#), avec environ 0,5 millions de tonnes (Mt) sur un total de 26,7 Mt. Dans le scénario des politiques actuelles, cette demande serait multipliée par 3 d’ici 2030, puis par 6 et 7 respectivement en 2040 et 2050 par rapport à aujourd’hui. Dans le scénario de neutralité carbone en 2050 (dont on ne prend cependant pas le chemin), la demande en cuivre pour les véhicules électriques serait multipliée par un peu plus de 10 par rapport à aujourd’hui. Dans ce cas et au maximum, les véhicules **représentent 14 % de la demande** en cuivre, ou 29 % de la demande en cuivre pour la transition énergétique. Les autres besoins sont dominés par les réseaux électriques, loin devant les panneaux solaires et les autres technologies de transition, qui profitent aussi indirectement au déploiement des véhicules électriques.

Ainsi **les leviers de sobriété** seraient particulièrement intéressants sur les consommations de cuivre, au vu des forts impacts environnementaux générés, mais il faut les remettre dans un contexte plus large, en lien avec les autres technologies de transition, et le fait qu’au moins la moitié de la demande en cuivre au mondial n’est pas liée à la transition énergétique (équipements électriques, numérique, bâtiment, industrie, etc.).

Enfin, au vu des impacts importants évoqués, il est curieux que les impacts liés au cuivre ne soient pas davantage mis en avant, notamment d’un point de vue **médiatique**. On peut supposer que son usage massif dans des secteurs variés rend difficile l’identification de responsables voire de bouc-émissaires pour ces impacts. C’est davantage le cas pour le lithium, le nickel ou le cobalt, où les batteries et en particulier les véhicules électriques sont particulièrement pointés du doigt, alors même que les usages de ces métaux dans les autres secteurs sont rarement rappelés.

## *Une nécessaire comparaison entre véhicules thermiques et électriques*

L'identification des impacts les plus forts pour la production des batteries électriques est importante pour juger des conséquences négatives et des moyens de les réduire. En revanche, cela ne suffit pas pour juger de la pertinence de développer les véhicules électriques, tant que ces impacts ne sont pas étudiés en **analyse de cycle de vie des véhicules** et mis en comparaison avec d'autres options, que ça soit bien sûr les véhicules thermiques, mais aussi d'autres modes ou options de mobilité.

De nombreuses études existent pour comparer la voiture électrique avec celle au pétrole sur différents impacts environnementaux. ([Hawkins et al](#), 2012 ; ADEME, [2013](#), [2020](#), [2022](#) ; [UNEP](#), 2017 ; [Van Mierlo et al](#), 2017 ; [Del Pero et al](#), 2018 ; [Ricardo](#), 2020 ; [Helmets et al](#), 2020 ; [Renault](#), 2021 ; [Sacchi et al](#) 2022 ; [Carculator](#), 2026). Ces études diffèrent en termes d'impacts étudiés, d'hypothèses sur les pays de production et d'usages des véhicules, la capacité, la densité ou encore la chimie de la batterie, ce qui justifie des résultats potentiellement variés. Mais parmi les études évoquées ci-dessus, voici les principaux enseignements qui ressortent sur l'ensemble du cycle de vie des voitures thermiques vs. électriques :

- **L'électrique est plus favorable** en termes : d'impact climatique, de consommations d'énergie, d'épuisement des ressources fossiles, de création d'ozone photochimique ou encore de pollution de l'air ;
- **Les conclusions varient** selon les études sur la pollution de l'air aux seules particules (notamment selon le mix de production électrique, le charbon étant un fort émetteur de particules), sur l'acidification ou l'eutrophisation des eaux, ou sur l'appauvrissement de la couche d'ozone ;
- Enfin, **l'électrique est plus impactant** en termes de consommation de ressources minérales, d'utilisation des terres et de radiation ionisante, et est le souvent plus impactant en termes de consommation d'eau, de toxicité humaine et des eaux, bien que cette conclusion dépende des études.

Un point que l'on peut également citer à ce stade est que certaines études datent d'il y a quelques années, et qu'il y a eu et qu'il y aura encore **davantage de marges d'amélioration sur l'électrique** que sur le thermique, au vu des progrès ou évolutions en cours sur les chimies de batteries notamment.

Cependant, dans tous les cas, on est **loin de pouvoir qualifier la voiture électrique de propre ou d'écologique**. Utiliser ces termes ne peut qu'alimenter le scepticisme à l'égard de l'électrique et de ses impacts environnementaux. On n'est pas non plus dans une situation où l'électrique serait plus écologique que la voiture thermique sur l'ensemble des impacts environnementaux.

Le choix entre les 2 technologies reviendrait donc à un indispensable arbitrage entre ces différents impacts ?

## *Un arbitrage entre différents enjeux environnementaux ?*

**Choisir entre plusieurs technologies**, quelles qu'elles soient, c'est souvent arbitrer entre différents types d'impacts environnementaux. C'est le cas entre voitures électriques et

thermiques, mais aussi si l'on ajoutait les agrocarburants, le biogaz, l'hydrogène ou les carburants de synthèse, qui viennent aussi avec leurs limites en termes de potentiel de déploiement ou d'impacts environnementaux (mais aussi sociaux, géopolitiques, etc.).

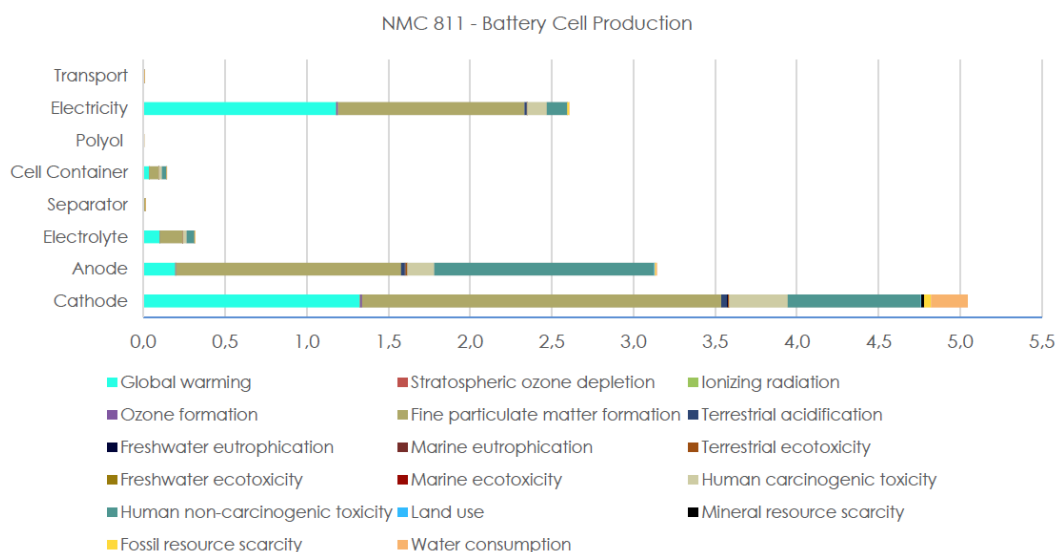
Etant donné que pour les voitures, aucune technologie n'est meilleure sur l'ensemble des impacts, il s'agit d'arbitrer selon :

- La **pondération** ou l'importance que l'on accorde aux différents impacts environnementaux (est-ce que l'on considère que le changement climatique est plus important que la radiation ionisante, l'acidification, etc. ?) ;
- La **part** des batteries ou plus globalement des véhicules dans ces différents impacts : par exemple, les voitures représentent une part importante des émissions de gaz à effet de serre, mais une part minimale des consommations d'eau, des pertes de biodiversité ou de l'eutrophisation qui sont largement dues aux [activités agricoles](#).

Un certain nombre d'analyses de cycle de vie essaient justement de construire un **indicateur d'impact agrégé** en tenant compte de ces éléments. Les résultats sont bien sûr à prendre avec une **grande précaution**, tant il peut être difficile et même contestable de comparer des impacts de nature variée, aux conséquences globales ou locales selon les cas, avec certaines irréversibilités ou non, etc.

Néanmoins, l'étude de [Pinto et al. \(2025\)](#) intitulée "Life Cycle Sustainability Assessment Strategy for NMC Lithium-ion Battery" permet d'identifier les résultats de ce type d'analyse pour la **fabrication de batteries NMC**, et où se situent les principaux impacts avec cette méthodologie (voir aussi l'étude de [Gutsch, Leker, 2024](#)). L'étude regarde également les impacts sociaux, mais pour ne se concentrer ici que sur les impacts environnementaux, il apparaît que sur la très grande majorité des pressions environnementales étudiées, la fabrication de la cellule comprend plus de 70 % de l'impact de la batterie. La figure ci-dessous indique ensuite les différentes composantes de cette fabrication de la cellule.

Parmi les principaux impacts environnementaux, il apparaît globalement que les **impacts les plus significatifs des batteries** sont à relier au changement climatique (couleur cyan à gauche), à la formation de particules fines (marron), ainsi qu'à la toxicité humaine (beige et bleu-vert).



*Impacts environnementaux potentiels générés par la production de cellules de batteries NMC-811 - [Pinto et al, 2025](#)*

Pour mettre en regard cela avec les résultats précédents en analyse de cycle de vie des véhicules, l'impact sur le **changement climatique** des batteries est certes important, mais permet d'éviter davantage d'émissions par ailleurs en remplaçant un véhicule thermique par un véhicule électrique à batterie. Ainsi cet impact climatique des batteries ne doit pas être une raison de rejeter l'électrification, quand on regarde l'effet global sur les émissions.

Il en est de même sur les impacts sur la **pollution de l'air**, où les véhicules électriques apparaissent plus favorables, d'autant plus dans des pays où l'électricité est peu dépendante du charbon.

Enfin, la **toxicité humaine** apparaît comme un impact significatif des batteries (voir aussi [Peters et al](#), 2017), et le véhicule électrique est le plus souvent indiqué comme plus impactant que le véhicule thermique dans les analyses de cycle de vie compilées plus haut. Cela ne se retrouve cependant pas dans toutes les analyses et cela mériterait davantage d'études pour préciser les résultats selon les chimies de batteries, la provenance des matériaux, ou encore sur les moyens de limiter ces impacts.

### *L'électrique, gagnant sur les principaux enjeux*

Ce que met en avant cette comparaison, c'est que le choix de l'électrique se justifie essentiellement par le fait qu'il vient répondre (partiellement) aux **enjeux environnementaux** identifiés comme **les plus structurants** pour l'automobile, à savoir en particulier l'impact climatique et sur la pollution de l'air.

Cependant, n'étant pas une technologie parfaite, les **autres impacts** doivent également être réduits, en particulier ceux **en lien avec l'extraction minière**. Il s'agit souvent d'impacts relativement locaux (bien que certaines pollutions puissent migrer), la surface totale des mines dans le monde couvrant 0,07 % de la surface des continents. De même, il est estimé que moins de 1 % des pertes de biodiversité dans le monde sont liées à l'extraction minière (les activités agricoles dominant ces pressions).

Pour autant, ces chiffres globaux potentiellement rassurants ne doivent pas cacher le fait que leur concentration dans certaines régions entraîne des **conséquences très fortes** sur certaines communautés et/ou l'environnement local. Ces [impacts variés et d'ampleur](#) sont liés aux fortes consommations d'énergie, d'eau, au traitement des déchets miniers, ou aux diverses pollutions qui peuvent résulter des activités minières.

Réduire ces impacts pourra se faire en partie par des évolutions technologiques sur les batteries, par une relocalisation de la production quand elle est possible comme pour le lithium, mais également par la **sobriété**. Il s'agit ainsi de ne pas seulement se contenter d'un changement de technologie pour la transition des transports et notamment pour le secteur automobile. Ainsi, d'autres modes de transport bien plus [sobres en ressources](#) pour la fabrication des véhicules sont disponibles et permettent d'être gagnants sur tous les impacts environnementaux évoqués ci-dessus. De même, des [véhicules électriques plus sobres](#) peuvent permettre de réduire grandement les quantités de ressources nécessaires pour les batteries, et ainsi de limiter davantage d'impacts environnementaux, un point qui sera ré-évoqué en questions 8 et 11.

#### 4) Aura-t-on assez de ressources pour électrifier les transports routiers ?

La question de la disponibilité des ressources pour l'électrification des transports est complexe, et la réponse dépend en bonne partie du périmètre considéré :

- Est-ce que la question est posée au **niveau national, européen**, ou au **niveau mondial** ? C'est ce dernier périmètre qui est le plus pertinent pour juger de la limitation en termes de ressources, le marché des matières premières et des métaux pour les batteries étant largement mondialisé ; aussi les métaux nécessaires aux batteries et ainsi leur extraction étant peu présents en Europe, le continent et notamment la France ne pourront pas reposer uniquement sur des ressources locales, à part éventuellement pour le lithium à l'avenir en France, ce qui nécessite de regarder la question au niveau mondial ;
- De **quelle(s) ressource(s)** parlons-nous ? Du lithium, du cobalt, du nickel, du manganèse, du cuivre... ? Chaque métal a ses propres dynamiques, en termes d'offre et de demande, rendant la réponse potentiellement différente selon la matière considérée ; par ailleurs, il existe malgré tout des interactions entre certains métaux côté production, [le cobalt](#) étant par exemple généralement exploité en co-produit de mines de cuivre ou de nickel ; en termes de demande, les changements de chimie peuvent réduire la quantité d'un métal au profit d'un autre (passage à des chimies NMC plus intenses en nickel, ou de NMC à LFP) ;
- Dans quel **scénario d'évolution de l'économie** et de la **demande** ? Un scénario tendanciel, d'électrification lente ou rapide ? Quelle croissance ou quelle vitesse de transition pour les autres secteurs, notamment ceux dépendant également du cuivre ? Avec quelle évolution des chimies de batteries ? Avec quelle croissance ou quelle sobriété dans les usages, notamment pour les transports routiers ? En conservant les inégalités actuelles, ou avec un rattrapage des pays les plus pauvres et émergents en termes de taux de motorisation, par rapport aux pays dits développés ?
- Quelle est la **temporalité** considérée pour la disponibilité en métaux ? Une disponibilité à court terme pour la phase de croissance de la demande, ou à terme pour l'ensemble des véhicules à électrifier au niveau mondial ?

Ces paramètres et questionnements montrent qu'il n'est pas possible de donner une réponse générale, simple et tranchée à la disponibilité des métaux pour l'électrification des transports. Il est cependant possible de dégager des tendances et messages clés sur ces questions.

#### *Encadré : La transition, synonyme de hausse de l'extraction ?*

Contrairement à une idée reçue largement répandue, l'**extraction minière va diminuer avec la transition énergétique**. Cette conclusion est partagée par les papiers de [Watari et al](#) (2021), de [Nijens et al](#) (2023) ou encore de l'Agence internationale de l'énergie (AIE, [WEO](#) 2025, p81), qui montre que plus le scénario de transition est ambitieux, plus l'extraction minière diminue fortement.

Cela est dû essentiellement au fait que l'extraction minière en lien avec le **charbon** est très élevée. Sortir du charbon pour le remplacer en particulier par des énergies renouvelables, va ainsi dans le sens d'une moindre extraction de matières, même en comptant les matières mobilisées pour extraire des métaux faiblement concentrés comme le cuivre.

Le constat est particulièrement vrai en se limitant au secteur énergétique, mais est également valable en intégrant le secteur des transports.

Cependant, en se limitant au **seul secteur des transports** et notamment à son électrification, [Watari et al](#) en arrivent à une **hausse de l'extraction** de matières (les volumes de matières déplacés pour extraire les métaux et l'énergie) avec la transition, malgré la baisse des besoins en pétrole. La figure de restitution de l'analyse de l'AIE n'est pas détaillée par secteur mais sa lecture rend la conclusion plus incertaine quant au sens d'évolution de l'extraction de matières pour le secteur.

Cela rappelle utilement que les impacts liés au développement d'une technologie (ici les craintes d'augmentation de l'extractivisme avec la transition énergétique) doivent toujours être **comparés avec la technologie** qu'ils viennent **remplacer** avant d'en tirer des conclusions sur l'intérêt de telle ou telle technologie dans la transition.

### *La disponibilité à long terme*

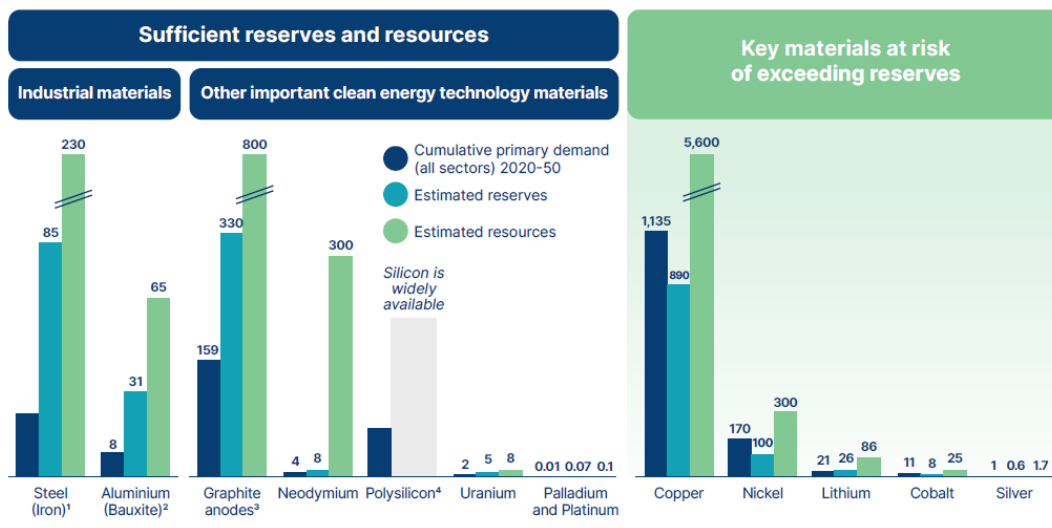
Pour les matières premières, les **réserves** correspondent à la partie des ressources qui peut être exploitée dans les conditions techniques et économiques actuelles. Plus globalement, les **ressources** incluent tout de qui est potentiellement extractible, même la fraction pour laquelle ce n'est actuellement pas viable. Ces réserves et ressources peuvent être ré-estimées régulièrement.

Dans une réponse aux questions fréquentes pour le chapitre 10 dédié aux transports, le rapport du [GIEC](#) de 2022 indique notamment que "La dépendance aux métaux des batteries lithium-ion va perdurer, ce qui peut poser problème en termes de disponibilité des ressources et de coûts. Cependant, la **demande** pour ces métaux est **bien plus faible** que les **réserves disponibles**, avec de nombreuses mines nouvellement mises en exploitation pour répondre à ce nouveau marché, dans diverses régions."

L'étude de [Zhang et al](#) en 2023 compare les réserves et ressources pour 5 métaux, dont le lithium, le cobalt, le nickel et le manganèse, avec la demande cumulée dans le cas de différents scénarios d'électrification des transports routiers dans les principaux marchés mondiaux. Il apparaît que les **ressources** potentiellement exploitables sont suffisantes pour les 5 métaux. En revanche, les **réserves**, qui correspondent à la part des ressources qui sont exploitables dans les conditions techniques et économiques actuelles, sont suffisantes pour le manganèse, mais apparaissent comme insuffisantes pour le lithium, le cobalt et le nickel.

Les travaux de [Hache et al](#) (2019) au sein de l'IFPEN ont montré que la demande cumulée en lithium d'ici 2050 dans un scénario 2 °C atteindrait **53 %** des **ressources** connues, qui ont augmenté depuis la publication. Des travaux similaires sur le [nickel](#) ont montré une demande atteignant environ **60 %** des ressources d'ici 2050, tandis que la pression sur les ressources en [cuivre](#) est plus forte en atteignant jusqu'à **90 %** des ressources connues dans un scénario 2 °C.

Les analyses de l'[Energy Transitions Commission](#) (2023) résumées dans la figure ci-dessous comparent aussi la demande cumulée d'ici à 2050 pour différents métaux, avec leurs réserves et ressources, et arrivent à des conclusions similaires : la demande d'ici 2050 risque d'être supérieure aux réserves actuelles pour le cuivre, le nickel, le cobalt, et s'en approche pour le lithium ; en revanche, les ressources sont suffisantes pour ces métaux.



<sup>1</sup> Reserves and resources of contained iron. <sup>2</sup> Reserves and resources of bauxite. Demand for aluminium converted to bauxite assuming 4 tonnes of bauxite are required to produce one tonne of aluminium. <sup>3</sup> Graphite reserves/resources refer to natural graphite and do not include synthetic graphite. <sup>4</sup> No estimated reserves for silicon, but quartz (the key input) is widely available in most geographies.

**NOTE:** "Resources" are an estimate of material stocks available in sufficient concentration to make exploitation an economic interest at some time. "Reserves" are the currently economically and technically extractable subset of resources. It is important to note that even these estimates tend to increase over time.

**SOURCE:** SYSTEMIQ analysis for the ETC; US Geological Survey.

*Demande primaire cumulée sur 2020-2050 pour la transition énergétique et les autres secteurs, en comparaison des réserves et ressources (milliards de tonnes pour métaux industriels, millions de tonnes pour les autres) - [Energy Transitions Commission](#), 2023*

Enfin, il faut noter que les ressources et en particulier les réserves peuvent **augmenter au cours du temps**, malgré l'extraction progressive de ces ressources. C'est notamment un enjeu financier pour les entreprises minières que de prouver un niveau satisfaisant de réserves à ses actionnaires pour les 20 années suivantes. Ainsi faire le ratio des réserves d'un métal divisées par la production (R/P), un indicateur qui est parfois utilisé pour dire qu'il « reste X années de cuivre / de pétrole » peuvent être trompeurs et sont à utiliser avec précaution.

Le **cas du cuivre** est particulièrement emblématique : en 1970, les réserves étaient évaluées à 280 Mt (millions de tonnes) et les ressources à 1600 Mt ; alors que 650 Mt ont été produites depuis 1970, l'USGS évalue désormais les réserves à 890 Mt, quand les ressources identifiées ont augmenté à 2100 Mt, auxquelles ajouter 3500 Mt de ressources non découvertes (d'où le 5600 Mt dans la figure ci-dessus ; chiffres [Philibert](#), 2024, voir aussi [ici](#)). Les réserves et les ressources en cuivre sont ainsi plus de 3 fois plus importantes aujourd'hui que leur estimation en 1970.

Pour autant, les ressources non découvertes sont sujettes à caution. Et c'est probablement sur le **cuivre** qu'il existe les **principales craintes** sur sa disponibilité à court et long termes, avec des alertes régulières qui viennent aussi bien [du secteur minier](#) que de l'[ONU commerce et développement](#) (CNUCED).

### *Il n'y aurait donc pas de problèmes de ressources ?*

Il est **fréquent d'entendre** que de toutes façons, « **on n'aura pas assez de ressources** » pour la transition énergétique et notamment pour électrifier toutes les voitures, parfois avec l'espoir que cela pourra nous prémunir des impacts environnementaux associés à l'extraction.

La **bonne nouvelle** pour l'électrification des transports et la transition climatique, c'est qu'il n'y aura pas forcément de limitation en ressources qui contraindrait le développement de l'électrique dans l'absolu.

Mais la **mauvaise nouvelle** pour d'autres impacts environnementaux, c'est que la limitation des impacts évoqués précédemment ne se fera pas par une contrainte "naturelle". La modération de la demande devra au contraire être planifiée via la sobriété et les technologies adoptées. Dans le même temps, réduire les impacts côté offre nécessite de veiller à des niveaux d'exigence suffisants dans les normes environnementales, afin d'exiger l'usage des techniques les plus respectueuses possibles de l'environnement et des humains, pour en limiter les conséquences négatives.

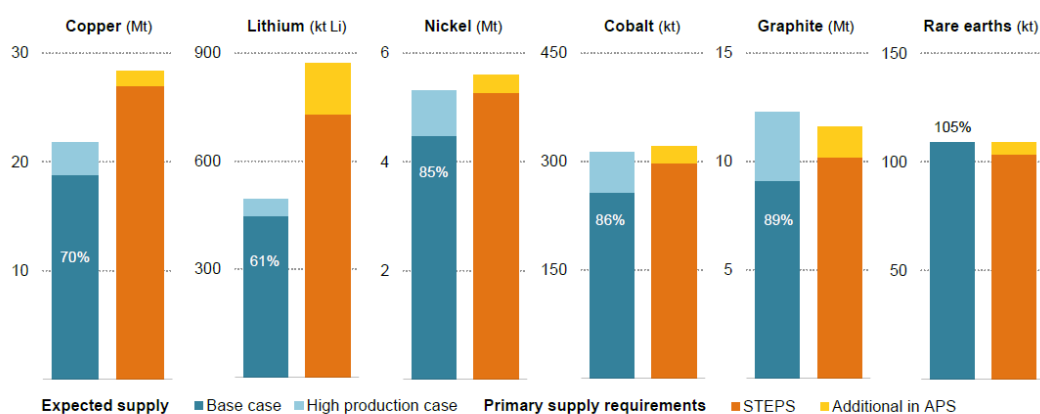
Par ailleurs, des tendances plutôt rassurantes sur les stocks de ressources ne doivent pas cacher des **contraintes possibles** dans l'extraction ou l'approvisionnement en matières premières à **plus court terme**.

### Les risques à court terme

L'Agence Internationale de l'Energie suit de manière régulière dans ses différents rapports les écarts qui peuvent exister pour les années à venir entre la **demande estimée** selon différents scénarios possibles de transition, et les niveaux de **production attendus**.

Dans la figure ci-dessous, les pourcentages indiqués en blanc indiquent la part que représente la production attendue ("Expected supply") dans le cas de base, en regard des besoins attendus ("Primary supply requirements") dans le cas du scénario STEPS, qui correspond à un scénario avec les politiques actuelles. L'image est ici moins optimiste, avec seulement 61 % d'**approvisionnement garanti** pour le lithium, 70 % pour le cuivre, tandis qu'il se trouve entre 85 et 89 % pour le nickel, le cobalt et le graphite. Dans le cas du scénario de production haute, la situation serait plus favorable pour certains métaux, mais resterait éloignée de la demande attendue pour le lithium et le cuivre.

Ces chiffres sont uniquement pour le scénario de politiques actuelles. Ainsi, sans même d'accélération de la transition énergétique, pourtant nécessaire pour atteindre nos objectifs climatiques, des **contraintes sont anticipées** pour plusieurs métaux dans les années à venir.



IEA. CC BY 4.0.

Notes: The percentage values indicate the share of base case supply against 2035 primary supply requirements in the STEPS. Expected supply is based on mined or raw material output based on announced projects, except for graphite where the figure refers to the sum of natural flake graphite and synthetic graphite supplies. Primary supply requirements are calculated as "total demand net of secondary supply", also accounting for losses during refining operations. The figures for rare earth elements are for magnet rare earth elements only.

*Production minière attendue des projets existants et annoncés, et production primaire nécessaires pour des minéraux clés de la transition énergétique, en 2035 - [AIE](#) 2025, p87*

Si l'on cherche le **côté rassurant**, on peut se dire que certains écarts sont normaux et pas forcément si élevés dans une perspective de très forte hausse de la demande de ces métaux, la production étant malgré tout orientée à la hausse. Aussi, les alertes de l'AIE envoient un signal aux entreprises minières et aux investisseurs qu'il y a un intérêt à engager de nouveaux projets miniers notamment pour le lithium et le cuivre, car il y a une demande en face. Enfin, le déficit d'offre pourrait pousser les prix vers le haut et ainsi la rentabilité des projets, ce qui pousserait d'autant plus à accélérer la mise en production de gisements identifiés.

Cependant, le **temps de mise en production de nouveaux gisements** peut être particulièrement **long** depuis la phase de découverte et d'exploration, [avec des délais](#) d'environ 4 à 7 ans pour le lithium, de 13 à 19 ans pour le nickel et 17 ans pour le cuivre. Ainsi une contrainte lors d'une année donnée ne peut pas être soulagée rapidement par la mise en production de nouvelles mines.

Par ailleurs, certains gisements peuvent faire l'objet de **retards** de mise en production voire d'**annulations**, par exemple en cas de contestations locales fortes sur les impacts environnementaux, sanitaires ou sociaux redoutés en lien avec le projet.

Enfin, d'autres contraintes peuvent **entraver les chaînes d'approvisionnement** en métaux critiques, en particulier d'ordre **géopolitiques**, dans un contexte de conflits commerciaux (voire militaires) particulièrement importants dans le monde. Ainsi les pays extracteurs ou raffineurs de métaux peuvent par exemple mettre en place des restrictions à l'export comme moyen de pression envers d'autres pays ou régions, comme cela a été visible de nombreuses fois ces derniers mois, pour le cobalt avec la RDC, le nickel en Indonésie ou encore la Chine, qui maîtrise une grande part du raffinage de métaux industriels ou de la transition, parfois hautement stratégiques ([AIE](#)).

### *Problème de flux plutôt que de stock ?*

Les éléments ci-dessus apparaissent plutôt rassurants sur les stocks de métaux disponibles à long terme pour la transition, et notamment pour l'électrification des transports routiers. En revanche, des contraintes bien plus fortes existent à plus court terme sur les flux de métaux qu'il faudrait extraire pour alimenter une demande en hausse. Ainsi, une manière de résumer la situation souvent citée est que **la disponibilité des métaux** pour l'électrification s'apparente davantage à un **problème de flux que de stock**.

Un parallèle peut être fait ici avec les **ressources en pétrole**. Celles-ci sont encore relativement abondantes (bien trop pour maintenir un climat viable) et correspondent à plusieurs années de production au rythme actuel. Pour autant, de nombreuses crises pétrolières ont déjà eu lieu, que ça soit avec les chocs pétroliers des années 1970, la plus lente mais néanmoins forte hausse des prix du baril qui a précédé la crise économique de 2008, les nombreux conflits ayant un lien avec le pétrole, notamment au Moyen-Orient.

Aussi, à force d'exploiter les ressources les plus facilement accessibles, il faut aller chercher des **ressources moins concentrées**, moins rentables, avec des difficultés techniques ou des problématiques sociales ou environnementales plus fortes, ce qui est valable aussi bien pour le pétrole que pour les métaux.

Ainsi, la disponibilité à long terme n'est pas un indicateur suffisant des contraintes d'approvisionnement potentielles, qu'il peut être difficile à anticiper, tant elles recouvrent des **dimensions peu prévisibles** comme l'évolution des relations géopolitiques. Cela pose la question des relations de dépendances qui existent avec la filière des batteries.

## 5) Avec les batteries, on devient dépendants de l'étranger, notamment de la Chine ?

La France et l'Europe ont un sous-sol relativement peu fourni en métaux nécessaires aux batteries de véhicules électriques. Or, les questions précédentes ont montré les enjeux entourant la question des métaux, et les risques de ruptures d'approvisionnement et de dépendances qui peuvent exister envers d'autres pays. Ainsi de nombreux métaux utilisés dans les batteries, comme le cuivre, le lithium, le cobalt, le nickel, le graphite et le manganèse, font partie des **matières premières** jugées comme **stratégiques et critiques** par l'UE dans son [Critical Raw Material Act](#) de 2024.

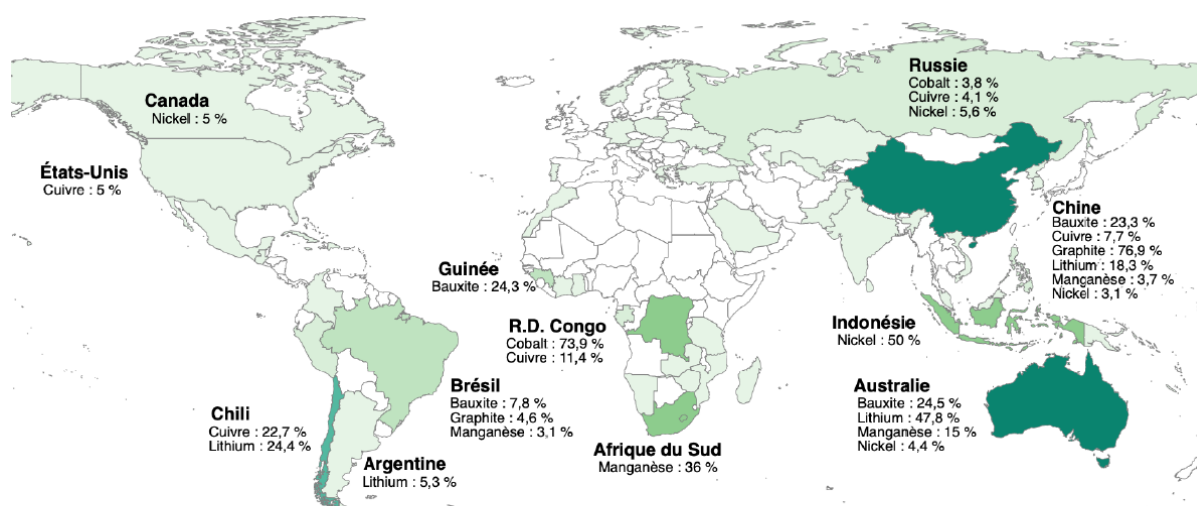
Mais au-delà de l'extraction des métaux, les enjeux de dépendance autour des véhicules électriques doivent s'envisager de manière plus large. Et être mis en regard de la dépendance actuelle au pétrole dans notre mobilité.

### Des ressources en métaux inégalement réparties

La carte ci-dessous indique les **principaux pays producteurs des minerais** nécessaires aux batteries de véhicules électriques ([CEPII](#), 2024). Il apparaît une grande concentration pour de nombreux métaux, en particulier le graphite produit à 77 % en Chine, le cobalt extrait à 74 % en République Démocratique du Congo, le nickel à 50 % en Indonésie, tandis que le lithium est produit essentiellement en Australie, devant le Chili et la Chine.

Le cuivre est un peu mieux réparti, les plus gros producteurs étant le Chili (environ 23 %), devant la RDC (11 %), le Pérou, la Chine (8 %), les Etats-Unis ou encore l'Indonésie (figure et données [AIE](#) ou [USGS](#)).

La carte montre également que l'**Europe** est très peu productrice de métaux nécessaires aux batteries, ce qui entraîne une dépendance importante pour cette première étape de la chaîne de valeurs des batteries.



Notes : Les nuances de vert indiquent l'importance des pays dans la production des minerais (2023) composant les batteries lithium-ion. Cette importance est calculée comme la moyenne des productions (normalisées entre 0 et 1) des différents minerais (i.e., bauxite, cobalt, cuivre, graphite, lithium, manganèse, nickel).

Source : USGS (*United States Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*).

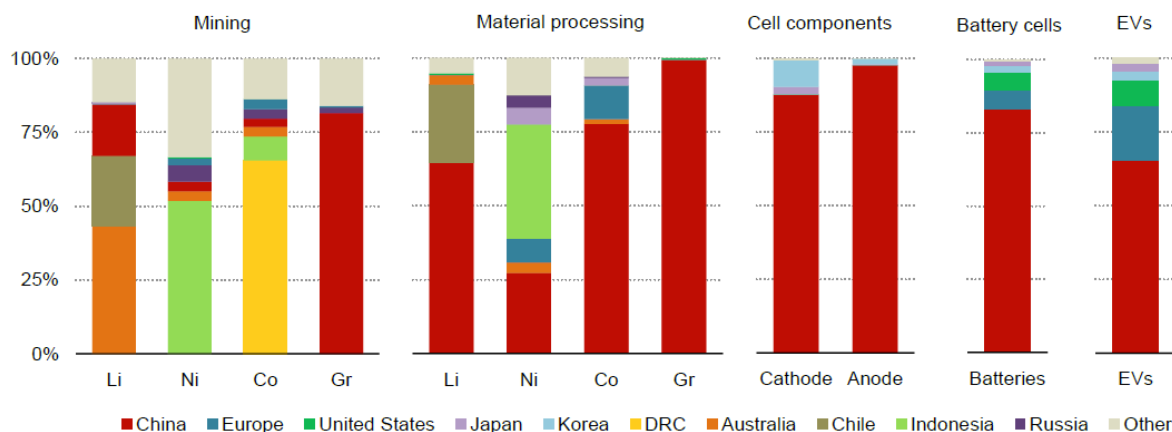
*Principaux pays producteurs des minerais pour les batteries lithium-ion - [CEPII](#), 2024*

## Les dépendances le long de la chaîne de valeur

L'analyse des dépendances sur la production des batteries ne doit cependant pas se limiter à la production des métaux, mais se regarder sur l'**ensemble de la chaîne de valeur**, en incluant aussi le raffinage des métaux, la production des matériaux actifs des cellules que sont les cathodes et anodes, la production des cellules, des batteries, avant l'assemblage des véhicules électriques.

La figure ci-dessous de l'AIE montre à quel point la **Chine** domine sur une grande partie de la chaîne de valeur :

- Côté **extraction** essentiellement pour le graphite, avec environ 80 % de la production mondiale ; par ailleurs, la Chine contrôle certaines mines dans d'autres pays, par exemple pour la production de cobalt en RDC ou de nickel en Indonésie ;
- Pour l'essentiel du **raffinage** de métaux, pour quasiment l'ensemble du graphite, plus de 80 % du cobalt, plus de 60 % du lithium, 44 % du cuivre ([USGS](#)) un peu plus de 25 % du nickel ;
- La Chine domine aussi pour la production des **composants des cellules**, avec quasiment toutes les anodes et pas loin de 90 % des cathodes, très loin devant la Corée du Sud et le Japon ;
- La production des **cellules** de batteries se fait à **plus de 80 %** en Chine, avec notamment les **2 plus importants fabricants** de batteries de voitures électriques qui sont chinois, et qui représentaient 38 % du marché mondial pour CATL et 18 % pour BYD au premier semestre 2025 ;
- Enfin, c'est environ **2/3** de la production des voitures électriques qui se fait en Chine, devant l'Europe qui en représente tout de même plus de 15 %.



IEA. CC BY 4.0.

Notes: Li = lithium; Ni = nickel; Co = cobalt; Gr = graphite; DRC = Democratic Republic of the Congo. Geographical breakdown refers to the country where the production occurs. Mining is based on production data. Material processing is based on refining production data. Cell component production is based on cathode and anode material production capacity data. Battery cells are based on battery cell production capacity data. EVs is based on electric cars production data. For all minerals mining and refining shows total production not only that used in EVs. Graphite refining refers to spherical graphite production only. Sources: IEA analysis based on EV Volumes; Benchmark Mineral Intelligence; BloombergNEF.

*Distribution géographique de la chaîne de valeur des batteries de véhicules électriques, en 2023 - [AIE 2025](#), p30*

## *La place dominante de la Chine*

**La Chine** a ainsi pris **une place prédominante dans le secteur des batteries** de véhicules électriques, de manière très intégrée sur l'ensemble de la chaîne de valeur.

L'avance engrangée depuis des années n'est **pas facile à contester**, car elle repose sur de nombreux éléments et des avantages comparatifs qui sont difficiles à rattraper. La Chine a ainsi pris une avance technologique, elle a noué de nombreux partenariats et créé des acteurs économiques de premier plan dans le secteur, qui lui permettent d'avoir des effets d'échelle et de proposer des prix particulièrement compétitifs, tandis que son quasi-monopole sur certains métaux (pour les batteries ou d'autres secteurs stratégiques) lui donne un levier commercial et géopolitique particulièrement puissant pour faire valoir ses intérêts.

Le [rapport du HCSP](#) (Haut-Commissariat à la Stratégie et au Plan) début 2026 sur "L'industrie européenne face au rouleau compresseur chinois" évoque notamment des écarts de coûts de production de 30 à 40 % entre la Chine et l'Europe, expliqués notamment par les éléments suivants pour le secteur des batteries et des véhicules électriques :

- Tout d'abord, par de **moindres coûts de production**, notamment pour la main d'œuvre, mais aussi pour l'énergie, pour l'accès au foncier, l'accès au capital financier avec de faibles taux d'intérêts, et une monnaie dévaluée favorable à l'exportation ;
- Aussi, la **montée en puissance de la filière** pour alimenter son marché intérieur ainsi que le marché d'exportation permet de bénéficier d'importants effets d'apprentissage et d'effets d'échelle ; une forte concurrence interne entre les acteurs pousse à la baisse des coûts, de même que certaines situations de surcapacité industrielle dans la filière ; la Chine maîtrise l'ensemble de la chaîne de la batterie avec une intégration verticale qui permet aussi de réduire les coûts ;
- Enfin, ces choix ont été guidés par un **capitalisme d'Etat**, mêlant des outils de planification et des subventions aux acteurs économiques, jusqu'à une concurrence déloyale dénoncées par l'UE ; le soutien à la R&D a aussi facilité l'avance technologique progressivement acquise par la Chine ; enfin, les moindres normes sociales et environnementales dans la filière participent également à la réduction des coûts.

## *Les projets de relocalisation en France*

Pour essayer de **relocaliser une partie de la filière liée aux batteries de véhicules électriques**, c'est sur la production ou du moins l'assemblage des véhicules électriques que la dépendance est la moins forte, avec une production proche du niveau de demande dans le marché intérieur en Europe. Mais il faudra essayer de gagner en indépendance également plus en amont de la chaîne de valeur.

## *Le marché des véhicules électriques en France*

Si l'on regarde à l'échelle de la France, **27 %** des voitures électriques qui ont été immatriculées en 2025 sont **assemblées en France**, contre **16 %** pour les voitures thermiques, dont la délocalisation progressive de la production a été initiée bien avant le développement de l'électrique. En 2024, la part des véhicules électriques **fabriqués en Chine** était de 15 %, une part qui était entre 30 et 40 % en 2023 et a chuté avec le conditionnement des aides à l'achat et du leasing social au respect d'un écoscore environnemental.

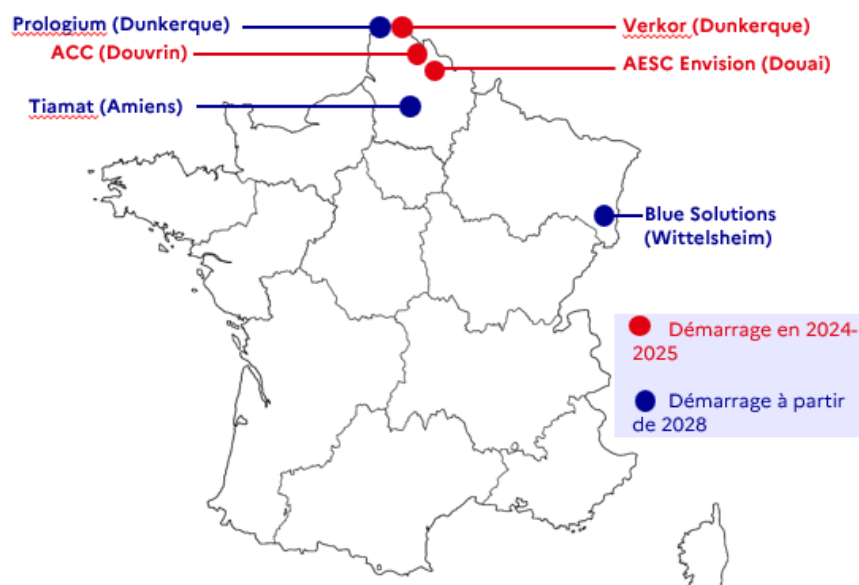
La part de marché des véhicules de [marques chinoises](#) reste limitée à ce jour, à 5,7 % des ventes pour les véhicules électriques (elle était de 9,5 % en 2023) et 3,4 % de l'ensemble des voitures vendues en France en 2025.

Bien que ça soit une crainte souvent partagée, et bien que de nombreux autres pays européens ont vu un développement plus fort des ventes de voitures chinoises, il n'y a pas pour l'instant d'invasion des véhicules chinois sur le marché français.

### Les gigafactories de batteries en France

Il existe également 6 gigafactories en France, dont 3 en projet ou 3 autres déjà en cours d'opération ([DGE](#)) :

- A **Billy-Berclau / Douvrin** (62), la gigafactory d'**ACC**, une co-entreprise entre Stellantis, Saft (Total Energies) et Mercedes, inaugurée en mai 2023 ;
- A **Douai** (59), la gigafactory **AESC Envision**, un groupe sino-japonais partenaire de Renault et Nissan ; l'usine a été inaugurée en juin 2025 et est située juste à côté du site de production de Renault de Douai, qui assemble actuellement les R5, Mégane et Scénic électriques ;
- A **Dunkerque** (59), la gigafactory de **Verkor**, une entreprise française, qui a inauguré l'usine en décembre 2025 et produit des batteries en particulier pour Renault ;
- A **Dunkerque** toujours, dans la vallée de la batterie, une autre gigafactory est prévue par le taïwanais **ProLogium**, avec un début de production prévu pour 2028 sur des technologies de batterie solide ;
- A **Wittelsheim** à côté de Mulhouse, l'entreprise Blue Solutions (groupe Bolloré) prévoit une gigafactory de batteries solides à partir de 2030 ;
- A **Amiens** enfin, l'entreprise **Tiamat** a développé en partenariat avec le CNRS une technologie de batteries sodium-ion, avec un projet de production de masse à partir de 2030. Si la génération actuelle de Tiamat vise les applications de puissance (ex : outillage, *data centers*), la génération suivante serait destinée à la mobilité (hybridation des véhicules).



*Gigafactories de batteries actuelles ou en projet en France - DGE, début 2026*

## La difficulté à remonter dans la chaîne de valeur

Les 3 gigafactories déjà en fonctionnement **fabriquent les cellules**, avant leur assemblage en modules et dans les packs batterie. Les électrodes utilisées dans les cellules sont également fabriquées sur place.

Il est plus difficile en revanche de remonter plus en amont dans la chaîne de valeur, tel que la fabrication des matériaux actifs de cathodes ou d'anodes et de leurs précurseurs (poudres de métaux nécessaires à la fabrication de ces électrodes), ou encore plus en amont dans le raffinage de ces métaux, où la dépendance à la Chine est ici encore plus forte et plus difficile à contester.

La France peut miser au moins sur l'**extraction du lithium**, comme avec le projet porté par [Imerys dans l'Allier](#), dont le début de production était prévu en 2027 et a été [repoussé à 2030](#). Des gisements seraient aussi présents dans la Creuse, tandis que du lithium géothermal pourrait être exploité en Alsace. Ce type de projet peut permettre d'assumer une partie des impacts associés à l'extraction des métaux critiques plutôt que de les délocaliser, bien que cela suscite aussi des résistances locales. L'enjeu est alors de développer ces projets avec des exigences environnementales et sociales élevées, bien que cela puisse avoir un coût financier.

Par ailleurs, il faudra aussi sécuriser le **raffinage du lithium** en France, lorsque celui-ci est nécessaire. Un enjeu qu'illustre le récent échec du projet de raffinage de lithium de Viridian en Alsace, [placé en liquidation](#) judiciaire en mars 2026.

Si [d'autres projets existent en France](#) sur d'autres métaux et sur l'ensemble de la chaîne de valeur des batteries, sécuriser la filière reste un défi majeur pour s'assurer de réduire la dépendance du pays sur cette technologie stratégique.

Le [GERPISA](#) estime ainsi que la **dépendance de l'UE** est d'au moins 81 % pour les métaux bruts ou raffinés, tandis que c'est au moins 95 % des matériaux actifs qui sont importés (plus de 95 % pour la cathode, 98 % pour l'anode, et 100 % pour l'électrolyte et le séparateur).

## Des défis et questionnements pour la relocalisation

Ces 3 gigafactories produisent des **batteries lithium-ion de chimie NMC**. La croissance des batteries **LFP** les oblige à regarder aussi les possibilités de conversion à terme d'une partie de leur production. Cependant, la dépendance à la Chine est encore plus forte sur le LFP, le recyclage y est plus difficile et moins rentable, et adapter des lignes de production s'avère coûteux pour une industrie très capitaliste et où les coûts d'apprentissage sont élevés.

En effet, la **phase de montée en cadence** (ou de *ramp-up*) des gigafactories est [particulièrement difficile](#), le temps de faire monter en compétences les équipes, de prendre en main les équipements, et de progressivement réduire le volume de rebuts (déchets de production appelés *scrap*). Même pour les gigafactories qui ne leur sont pas directement reliées, il est généralement nécessaire de s'allier avec des acteurs asiatiques pour ces étapes afin d'accélérer l'apprentissage. Un autre défi de cette phase est de sécuriser les financements et la trésorerie, quand les coûts sont déjà élevés mais que les revenus sont encore limités. Ce sont ces difficultés qui ont poussé l'acteur suédois [Northvolt](#) vers la faillite fin 2024, ce qui a pu inquiéter les investisseurs et compliquer le financement d'autres projets.

Les **pouvoirs publics** ont ici un rôle important pour soutenir la filière, rassurer les marchés, maintenir le cap de l'électrification, ou encore pour donner des incitations aux constructeurs afin de favoriser les batteries produites en Europe et en particulier en France.

Une dernière difficulté qui se pose pour les mesures de protectionnisme citées ci-dessous est qu'il faut pouvoir [agir avec précaution](#) pour éviter les **risques de représailles** ou autres mesures

de **rétorsion**. Une autre possibilité est de construire dans un premier temps une offre mature dans l'UE ou avec d'autres pays partenaires, avant de mettre en œuvre les mesures les plus restrictives.

Ainsi la relation entre Europe et Chine pour l'industrie automobile et celle des batteries se situe nécessairement « **entre compétition et coopération** » pour reprendre le titre d'un document commun de [DWDG et l'IMT](#).

## *Le retour du protectionnisme*

### **La dépendance à la Chine n'est pas qu'une question de batteries**

Il est important de réaliser que la prédominance de la Chine et son avance industrielle ne se limitent pas au secteur des batteries et des véhicules électriques. Ainsi, malgré l'avance historique des européens sur les véhicules thermiques et notamment sur le diesel, **la Chine a investi l'ensemble du secteur automobile**, depuis les équipementiers automobiles aux constructeurs et pour les différentes motorisations. La Chine est ainsi devenue le [1<sup>er</sup> constructeur automobile mondial](#) dès 2009, largement avant le développement des véhicules électriques. Elle concentre désormais [40 % de la production](#) mondiale de voitures et est devenue le 1<sup>er</sup> exportateur mondial de véhicules.

Ainsi, ralentir sur l'électrification, comme le préconisent certains, ferait courir le risque pour les européens de prendre davantage de retard encore sur la technologie amenée à dominer à l'avenir. Et cela ne permettrait pas pour autant de se prémunir de la concurrence chinoise sur le continent européen, ni dans les [marchés émergents](#) où l'électrique décolle.

Par ailleurs, la prédominance de la Chine sur les métaux et d'autres filières industrielles et stratégiques nécessite une **stratégie industrielle coordonnée**, qui ne concerne pas seulement le secteur automobile, et qui connecte cela aux objectifs climatiques et d'indépendance énergétique de l'UE et de la France.

Enfin, comme évoqué par le rapport du HCSP cité plus haut, les seuls leviers de compétitivité et d'innovation ne seront pas suffisants pour compenser des écarts de coûts de production particulièrement élevés.

Cela amène à acter le **besoin de mesures protectionnistes** pour s'assurer que la production des batteries et des véhicules électriques repose autant que possible sur des chaînes de valeur européennes.

### **Des politiques protectionnistes mises en place ou en discussion**

Différentes **politiques publiques aux niveaux européen et français** cherchent à protéger l'industrie automobile et favoriser la réindustrialisation, notamment pour les véhicules électriques et pour les batteries. En voici quelques leviers :

- L'UE a mis en place des **droits de douane** sur les véhicules électriques chinois, avec 10 % de la valeur du véhicule auxquels s'ajoutent des [surtaxes compensatoires](#) jusqu'à 35,3 % pour certains groupes automobiles, pour compenser les subventions chinoises ;
- Au niveau de l'UE toujours, le **Battery booster** prévoit notamment [1,5 milliards d'euros](#) de prêts pour les gigafactories françaises, avec potentiellement 5 acteurs qui pourraient être aidés jusqu'à 500 M€ chacun maximum ;

- Des **politiques de contenu local** sont en discussion pour le secteur automobile au niveau de l'UE, avec des [exigences spécifiques](#) pour les batteries, et dans la perspective de conditionner certains marchés publics ou les aides publiques pour les véhicules électriques au respect de ces exigences de contenu local ; cela pourrait aussi s'appliquer pour d'autres aspects réglementaires, comme des [standards](#) environnementaux sociaux ou environnementaux en lien avec les métaux ou les batteries ;
- L'[outil](#) de l'**écoscore environnemental** en France pour conditionner les aides à l'achat de véhicules électriques a ainsi montré son efficacité, pour favoriser des véhicules avec une moindre empreinte carbone, mais aussi pour favoriser les véhicules produits en France (tel qu'évoqué plus haut) ;
- La France a également ajouté à la prime "[coup de pouce](#) véhicules particuliers électriques" un **bonus additionnel** pouvant atteindre 1 200 € à 2 000 € pour les véhicules dont la batterie est fabriquée en Europe, ce qui peut inciter les acheteurs à se tourner vers ces véhicules, mais aussi les constructeurs à se fournir auprès de gigafactories situées en Europe.

### *La dépendance avec les véhicules électriques... et thermiques*

Les enjeux de dépendance pour les véhicules électriques et notamment pour leurs batteries sont particulièrement importants et ne sont pas à négliger.

Cependant, il faut toujours les remettre en contexte avec les enjeux de dépendance également très forts pour les véhicules thermiques, avec **99 % du pétrole consommé en France qui est importé**. Et le moins que l'on puisse dire, c'est que les pays et régimes producteurs et exportateurs de pétrole (Etats-Unis, Russie, pays du Moyen-Orient...) ne sont pas non plus parmi les meilleurs alliés ou les plus en avance sur les droits humains, la démocratie ou les ambitions environnementales.

Les dépendances sur les matières nécessaires pour la mobilité thermique et électrique sont cependant différentes sur au moins 3 aspects :

- Pour le véhicule thermique, la dépendance est surtout **concentrée sur une matière**, à savoir le pétrole, quand les dépendances sont sur plusieurs matériaux pour les batteries ; cela peut augmenter les vulnérabilités, mais les différentes chimies de batteries existantes permettent aussi d'avoir des marges selon les contraintes d'approvisionnement sur certains métaux, bien que cela implique une inertie significative pour l'adaptation de l'outil industriel ;
- La dépendance sur le véhicule thermique **impacte directement la mobilité** en cas de rupture d'approvisionnement ou de hausse des prix des carburants, avec les impacts sociaux et économiques particulièrement importants que cela peut entraîner. Pour les véhicules électriques, la dépendance est industrielle et sur la fabrication des véhicules, mais seulement de manière très indirecte (ou avec un délai bien plus important) sur la mobilité, ce qui permet une résilience plus importante des activités de transport à l'évolution du contexte géopolitique ;
- Enfin, le pétrole doit être **approvisionné en continu** pour l'usage des véhicules thermiques, nécessitant de l'ordre de 10 tonnes d'or noir sur la durée de vie totale d'une voiture. Au contraire, l'extraction et l'approvisionnement en métaux pour les batteries de véhicules électriques est nécessaire seulement pour la première génération de batteries. Une fois en fin de vie, les métaux pourront être recyclés et réutilisés dans de nouvelles batteries, le sujet suivant à explorer...

## 6) Le problème, c'est qu'on ne sait pas recycler les batteries ?

Parmi les inconvénients supposés des batteries de véhicules électriques, celui qui ressort peut-être le plus fortement est que celles-ci ne seraient pas recyclables, une idée reçue bien loin de la réalité...

### *Les possibilités techniques de recyclage des batteries*

Le recyclage des principaux métaux des batteries est en augmentation importante sur les dernières années pour les différents types de batteries (en incluant aussi les déchets de production, appelés *scrap*). Les chiffres de l'AIE indiquent que le lithium, le cobalt et le nickel n'étaient collectés qu'à environ 10 % au mieux dans les déchets de batteries en 2018, et cette part a augmenté fortement sur 2021-2023, pour atteindre cette année-là **20 %** pour le lithium, **plus de 40 %** pour le cobalt et **plus de 50 %** pour le nickel.

Bien que ces pourcentages restent loin des objectifs de recyclage, leur forte hausse dans les pratiques constatée est encourageante, d'autant que les fortes hausses laissaient augurer déjà des pourcentages déjà bien plus importants quelques années plus tard.

Surtout, le **potentiel technologique** est déjà très important en termes de capacité de recyclage des batteries en fin de vie.

Plusieurs études indiquent des taux de récupération **souvent supérieurs à 95 %** et atteignant même parfois 99 %, selon les métaux déjà il y a quelques années ([Makwarimba et al 2022](#) ; [Mishra et al 2022](#) ; [Tian et al 2022](#)). Ces taux de récupération dépendent aussi fortement des méthodes de recyclage utilisées : recyclage direct, pyrométallurgie ou encore hydrométallurgie (voir à ce sujet [Harper et al 2019](#)).

Le média [Frandroid](#) indique par ailleurs que Tesla recycle déjà **92 %** du contenu de ses batteries et certaines entreprises dépassent les **95 %**. [Numerama](#) relate que les projets pilote en Chine auraient permis de récupérer jusqu'à **99,6 %** du nickel, du cobalt et du manganèse ainsi **96,5 %** du lithium des batteries lithium-ion NMC.

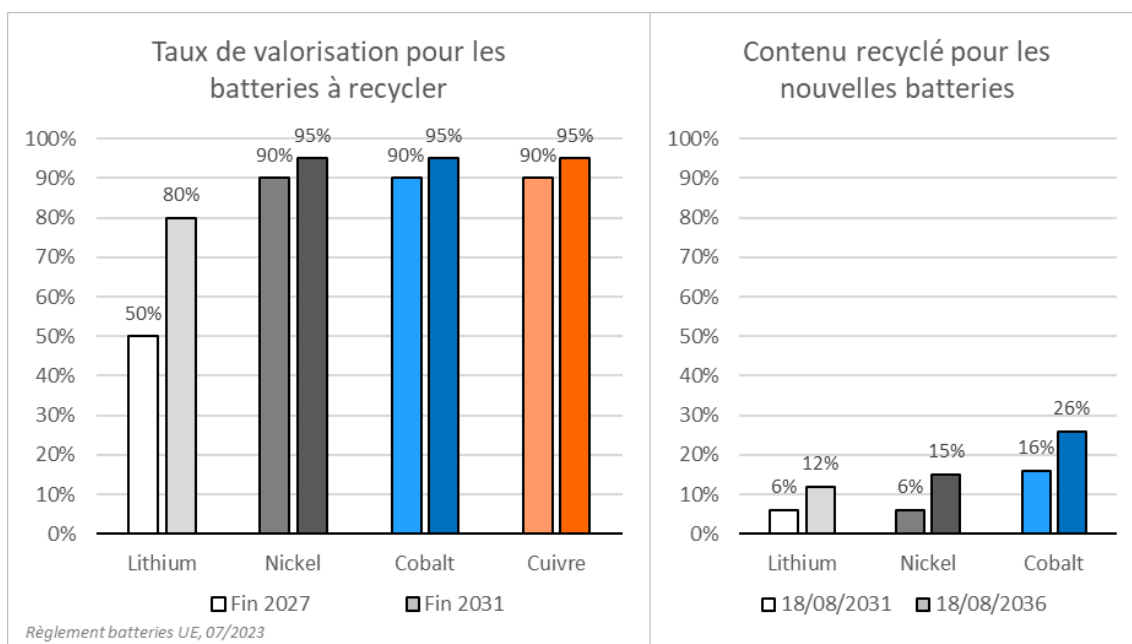
### *Des obligations de recyclage élevées dans l'UE*

Les éléments précédents montrent que l'on sait techniquement atteindre des taux de recyclage particulièrement élevés pour les principaux métaux critiques des batteries. Reste bien sûr à savoir si ce recyclage sera bien effectif.

La bonne nouvelle est que la Commission Européenne a fixé dans son [règlement de 2023](#) des **exigences de recyclage minimum** pour les batteries au lithium en fin de vie. Les taux exigés s'élèvent à **65 %** minimum du poids moyen des batteries d'ici fin 2025, et **70 %** minimum d'ici fin 2030.

Ces exigences sont plus importantes pour les métaux critiques, comme indiqué dans la figure ci-dessous (partie gauche) : pour le nickel, le cobalt et le cuivre, le taux de récupération devra monter à **90 %** minimum d'ici fin 2027, et **95 %** d'ici fin 2031 ; pour le lithium, ce sera **50 %** minimum pour fin 2027 et **80 %** pour fin 2031.

Comme ce sont des **obligations minimales**, celles-ci devront être respectées quel que soit l'éventuel intérêt économique au recyclage, et ces taux pourront également être dépassés au vu des possibilités techniques évoquées plus haut.



*Exigences de métaux à recycler ou recyclables dans les batteries - auteur, à partir des données du [règlement de l'UE](#) en 2023*

### *Une montée en puissance très progressive des métaux recyclés*

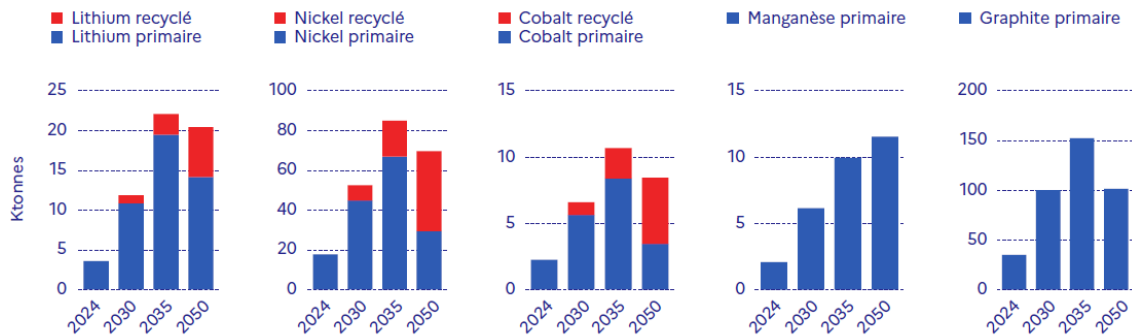
En plus des obligations de valorisation pour les batteries en fin de vie, la Commission Européenne a également fixé des **exigences de contenu recyclé** à intégrer dans les **nouvelles batteries**, ce que montre aussi la figure ci-dessus (partie droite).

Ces chiffres sont nécessairement bien plus faibles, car **les métaux recyclés représentent à court terme des quantités faibles**. En effet, le développement des véhicules électriques est relativement récent, et représentait encore moins de 2 % des ventes de voitures en France en 2019. Avec une durée de vie moyenne des voitures approchant les 20 ans, le gisement de batteries de véhicules électriques en fin de vie ne deviendra très significatif que dans les années 2030 voire 2040. De plus, la part de véhicules électriques dans les ventes étant en croissance, les volumes de batteries en fin de vie resteront encore longtemps inférieurs aux volumes à intégrer aux nouveaux véhicules.

Ainsi, bien que les exigences concernent les années 2031 et 2036, la part de contenu recyclé à intégrer est relativement limitée. Elle s'élève pour 2036 à **12 %** pour le lithium, **15 %** pour le nickel et **26 %** pour le cobalt.

Cependant, même si ce potentiel est limité pour l'approvisionnement en métaux critiques à court terme ou même à moyen terme, cela permettrait d'**alléger la dépendance** aux importations et aux enjeux géopolitiques en lien avec l'extraction et le raffinage de ces métaux, et représenterait un potentiel plus important à long terme.

Ainsi les modélisations de l'OFREMI (Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles) montrent que la demande primaire en matériaux critiques pourrait être réduite d'environ **30% dès 2040** pour le lithium, le nickel et le cobalt. Et les métaux recyclés pourraient fournir plus de la moitié de la demande en nickel et en cobalt à l'horizon 2050, un potentiel majeur et à anticiper.



*Demande en matériaux critiques pour fabriquer les batteries de véhicules électriques vendus chaque année en France (inclut aussi les rebuts des gagafactories) - [OFREMI](#), 2024*

### Des défis pour développer la filière du recyclage

Le recyclage des batteries de véhicules en fin de vie est une stratégie gagnante sur plusieurs points :

- **Environnemental** : la récupération d'une grande partie des métaux contenus dans les batteries permet d'éviter l'extraction primaire dans les mines et le raffinage, et ainsi d'éviter des impacts environnementaux et un bilan carbone généralement plus élevés que l'impact du recyclage ([Jiang et al 2025](#) ; [T&E 2026](#) pour le nickel) ;
- **Souveraineté** : cela permet de limiter la dépendance aux pays étrangers pour l'approvisionnement en matières critiques pour les batteries ;
- **Economique** : les coûts de récupération en lien avec le recyclage sont généralement plus faibles que l'extraction des métaux et leur raffinage, ce qui peut être également un avantage pour limiter le coût de production des nouvelles générations de batteries ([Zhang et al 2025](#) ; [AIE 2024](#)).

Les avantages pour la France ou l'Europe à développer la filière du recyclage sont évidents, mais il reste encore à **sécuriser le développement de la filière**, pour éviter que les batteries ou certains produits du recyclage (dont la *black mass*) ne soient exportés pour être recyclés ailleurs, annulant ainsi les bénéfices du recyclage en termes de souveraineté.

Si des **projets industriels** de recyclage de batteries sont [en cours](#) de déploiement en France ([Mecaware, Battri...](#)), les projets avortés de Orano avec Stellantis ou la suspension du projet d'Eramet avec Suez à Dunkerque montrent qu'il existe un défi à sécuriser la filière, d'autant plus sur l'ensemble des étapes de la chaîne de traitement. Par ailleurs, même si les volumes de batteries en fin de vie sont très faibles pour l'instant, les recycleurs peuvent commencer par le traitement des déchets de production (les *scrap*) des gigafactories, qui peuvent être importants sur la phase d'apprentissage et de montée de cadence de la production. La prospective sur les besoins de recyclage et les capacités industrielles à planifier n'est cependant pas évidente, au vu des incertitudes sur l'évolution de ces déchets de production, des réglementations et du rythme d'électrification.

Enfin, un défi est aussi de s'assurer de l'atteinte de **taux de récupération optimaux**. Si l'équation financière du recyclage est généralement favorable pour les batteries **NMC** (nickel-manganèse-cobalt) dont la valorisation des métaux critiques est importante et réglementée, il s'agira aussi d'inclure les autres éléments de la batterie et notamment le graphite. Par ailleurs, les gains économiques sont moins importants pour les batteries **LFP** (lithium-fer-phosphate) au vu du moindre coût d'extraction du fer et du phosphate, ce qui représente un défi plus important pour le développement du recyclage pour cette chimie de batteries.

### *Une idée reçue qui détourne des vrais enjeux*

**L'idée reçue la plus répandue sur les batteries** est qu'on ne saurait pas les recycler. Cela sert souvent pour décrédibiliser les véhicules électriques et leur intérêt dans la transition des transports. Or, cet argument est particulièrement malvenu pour au moins 4 raisons :

- Non seulement, on a vu que c'est très **largement faux**, avec des possibilités de recyclage très élevées d'un point de vue technique ;
- L'enjeu est donc moins de développer de nouvelles techniques permettant un taux de recyclage important, que de **développer la filière** industrielle en Europe et en France, pour s'assurer de profiter pleinement des bénéfices de son développement ;
- Par ailleurs, l'électrification permettra bien plus de rentrer dans une logique de **circularité dans l'usage des ressources** qu'avec les véhicules thermiques : en effet, la matière la plus en tension, à savoir le pétrole, y est brûlée dans les moteurs et n'est utilisée qu'une fois, en ne récupérant rien d'autre que des émissions de CO<sub>2</sub> et de la pollution de l'air ; au contraire, les métaux des batteries pourront être récupérés en très grande partie en fin de vie pour être réutilisés dans d'autres batteries ou d'autres applications ;
- Enfin et comme cela a déjà été évoqué, les principaux impacts et problèmes en lien avec les métaux des batteries se situent plutôt **en amont** de leur usage, c'est-à-dire pour leur extraction, leur raffinage et leur approvisionnement, plutôt que durant la fin de vie de la batterie.

Cette question de la fin de vie des batteries rejoint un autre questionnement récurrent, à savoir l'obsolescence potentiellement importante des batteries, en termes de durée de vie... Voici donc le thème de la question suivante.

## 7) Oui, mais la durée de vie des batteries est faible, elles ne sont pas réparables, prennent facilement feu ?

*La durée de vie des batteries est plus longue qu'on ne le croit*

### Vieillessement progressif et durée de vie des batteries

Il existe **2 types de vieillissements** des batteries :

- Le vieillissement **cyclique**, c'est-à-dire la dégradation progressive de la batterie au fur et à mesure du nombre de cycles de charge-décharge de la batterie ;
- Le vieillissement **calendaire**, qui correspond à la dégradation au fur et à mesure des années, même lorsque la batterie n'est pas utilisée.

Il faut avoir en tête que les batteries n'ont pas de durée de vie limitée ou fixe dans le temps. Selon leur âge et leur usage, elles seront soumises à une **dégradation progressive**. Leur fin de vie correspondra le plus souvent à un choix de limite à partir de laquelle il est considéré que la dégradation est trop forte pour son usage de mobilité dans un véhicule électrique, par exemple si sa capacité réelle a baissé en-dessous des 75 % ou moins par rapport à sa capacité initiale.

Si la capacité restante est jugée trop faible et avant son recyclage, la batterie pourrait être utilisée en seconde vie pour du **stockage stationnaire d'électricité**, pour lequel la contrainte de densité énergétique est bien moins forte que pour la mobilité : il s'agit alors d'apporter de la flexibilité au réseau et d'aider à équilibrer l'offre et la demande d'électricité à court terme. Enfin, la batterie pourra être envoyée au recyclage.

D'un point de vue environnemental, avec des impacts importants à la production de la batterie et plus globalement du véhicule électrique, il y aura tout intérêt à **prolonger la durée de vie** du véhicule et de sa batterie, pour amortir l'impact initial sur un plus grand nombre de kilomètres. Il en est de même pour l'aspect financier, tant que la batterie permet de maintenir son usage principal, éventuellement en rechargeant plus souvent au fur et à mesure de sa dégradation.

### Les retours d'expérience sur les batteries

Il existe désormais **plusieurs évaluations** qui ont **mesuré la dégradation** des batteries sur un grand nombre de véhicules électriques :

- Une étude du [loueur Arval](#) a estimé à 93 % l'état de santé moyen des batteries des voitures examinées après 70 000 kilomètres, et à plus de 90 % après 160 000 km ou après 6 ans d'âge ; après une légère baisse initiale, la dégradation reste stable à environ 1 % de capacité perdue tous les 25 000 km (sur 24 000 certificats de santé des batteries, dans 11 pays) ;
- La plupart des voitures électriques de [Tesla](#) ont encore plus de 80 % de capacité au bout de 200 000 miles, soit plus de 300 000 km, avec une dégradation très limitée après une dégradation initiale un peu plus rapide sur les premières dizaines de milliers de km ;
- La société londonienne [Generational](#) a trouvé un *State of Health* (ou *SoH*) de 85 % pour les modèles âgés de 8 à 12 ans ;
- Les données de [Geotab](#) trouvent une dégradation annuelle de 1,8 %/an et une durée de vie qui peut atteindre 15-20 pour la plupart des véhicules électriques ;

Par ailleurs, de nombreuses évaluations ou les données de [My Battery Health](#) montrent que les **modèles les plus récents** ont une **dégradation plus limitée** que les premières batteries plus anciennes, au vu des progrès sur la chimie des cellules ou encore sur les systèmes de

refroidissement et de gestion de l'énergie dans les batteries (BMS). Les chiffres évoqués ci-dessus devraient ainsi encore s'améliorer à l'avenir.

Enfin, les **conseils** généralement donnés pour **éviter un vieillissement trop rapide** des batteries peuvent dépendre notamment des chimies de batteries, mais on peut notamment retenir les suivants : utiliser la batterie sur sa plage de charge de 20 à 80 %, quand les possibilités de recharge le permettent ; limiter la recharge rapide quand elle n'est pas nécessaire ; éviter l'expositions aux températures extrêmement chaudes ou froides ; utiliser le préconditionnement de la batterie avant la recharge quand cela est possible.

### Un besoin de rassurer sur le sujet

Les chiffres des retours d'expérience montrent une dégradation des batteries qui existe mais qui n'est **pas aussi importante que ce qui pouvait être anticipé** il y a quelques années. Les chiffres montrent que la durée de vie des batteries pourra généralement être suffisante pour une durée de vie classique de véhicule électrique, alors que les véhicules actuellement mis à la casse ont en moyenne un peu [plus de 200 000 km](#) au compteur. Enfin, les chiffres sont aussi plus favorables que ce qu'en pense généralement le grand public.

Ainsi, le [Conseil d'analyse économique](#) indique que 75 % des ménages non propriétaires de véhicule électriques pensent que ces derniers perdent 30 % de leur autonomie ou plus après un usage de 75 000 kilomètres sur 5 ans. Cette  **Crainte de dégradation rapide** des batteries peut être un frein majeur à l'électrification, notamment pour l'achat d'une voiture d'occasion, quand l'état de santé de la batterie n'est pas connu.

Une évolution favorable est heureusement prévue pour répondre à cette crainte. Le **passaport batterie**, une sorte de carte d'identité numérique accessible depuis un QR code sur la batterie, sera [obligatoire à partir du 18 février 2027](#) dans l'UE. Il fournira des éléments sur la composition chimique, la provenance de la batterie et de ses composants, son bilan carbone, l'historique de son utilisation, et également son état de santé (ou *SoH : State of Health*). Cela devrait améliorer la confiance dans la durée de vie des batteries et ainsi dans la fiabilité des véhicules électriques.

### La réparabilité des batteries encore trop négligée

Une autre crainte récurrente sur la faible durée de vie des batteries concerne leur **réparabilité** limitée.

Pourtant, malgré une croyance largement répandue que les batteries de véhicules électriques ne seraient pas réparables, **de nombreuses réparations sont possibles**. Tout d'abord, les problèmes peuvent être très divers : boîtier endommagé, problème de connectique, du système de refroidissement, du système de gestion de la batterie (le *BMS*), le rééquilibrage des cellules, ou encore leur remontée de décharges profondes. Le plus souvent, c'est la partie électronique qui est touchée et les réparations ne nécessitent pas d'intervention sur les cellules des batteries.

L'acteur de la réparation [NOWOS](#) indique que 90 % des batteries sont mises hors service prématurément alors que leurs packs de cellules conservent encore plus de 80 % de leur capacité. Parmi les batteries qui leur ont été confiées en 2024, ils évoquent un taux de réussite de réparation de 89 %, quand 11 % ont été démantelées pour la réutilisation de pièces ou le recyclage.

Cependant, des efforts restent à faire pour **faciliter la réparabilité des batteries**. Il s'agit notamment de faciliter l'extraction du pack batterie de leur produit, son ouverture et l'accessibilité des composants, quand la réparation le nécessite. Certains designs de batterie et d'intégration au véhicule, ou encore l'ajout de mousses, d'adhésifs ou des composants soudés peuvent compliquer voire rendre impossible une réparation, ce qui doit être pensé dès la conception de la batterie et du véhicule. Des évolutions sont prévues dans le règlement batterie européen, ainsi que dans la directive sur la réparation ([Directive on repair of goods](#), applicable fin juillet 2026), qui impose aux fabricants des normes de conception circulaire, garantissant l'accès aux pièces détachées, aux outils et aux informations techniques pour prolonger la durée de vie des produits.

On peut noter plus globalement que les **réparations** des véhicules électriques sont en moyenne **plus coûteuses** que pour les véhicules thermiques, ce qui peut amener à des coûts d'assurance plus élevés. Cependant, plusieurs analyses montrent aussi un **taux de panne plus faible** pour les véhicules électriques et des **frais d'entretien plus limités**, notamment en lien avec la simplicité technique et le moindre nombre de pièces pour les motorisations électriques. Il n'est pas évident à ce jour de savoir comment ces différents effets se compensent, avec des besoins de poursuivre les analyses sur le sujet (voir à ce jour les analyses de [France Assureurs](#), [ADAC](#), [SRA](#)).

## *La sécurité des batteries, entre idées reçues et vrais enjeux*

### **Une fréquence moins élevée pour les véhicules électriques**

Les risques d'incendies sont souvent évoqués comme un inconvénient des véhicules électriques, attirant facilement les médias et les relais sur les réseaux sociaux lors d'accidents impliquant des véhicules à batteries. S'il ne s'agit pas ici de minimiser l'importance de ces événements, il est parfois possible de douter qu'un incident similaire aurait eu un [traitement équivalent](#) avec un véhicule thermique, d'autant qu'il n'est pas rare de découvrir ensuite que les véhicules électriques ne sont pas à l'origine de l'incident, que ça soit pour l'[incendie d'un cargo](#) pour lequel ils étaient accusés, ou lorsque la [batterie du véhicule](#) n'était pas impliquée dans le feu de voiture électrique relayé.

Au-delà de la visibilité de ces feux de véhicules électriques, il est important de les comparer à la fréquence des incendies de véhicules thermiques, qui s'avère en fait bien plus élevée. En effet, les [évaluations diffèrent](#) mais toutes indiquent une **fréquence d'incendie bien plus faible pour les véhicules électriques** que les véhicules thermiques : environ 5 à 6 fois moins fréquents pour l'électrique sur 2018-2022 en Norvège ; 20 fois moins selon une agence suédoise ; ou encore 60 fois moins élevée selon [AutoassuranceEZ](#), bien que les différences d'âge des véhicules puissent expliquer une partie de l'écart.

### **Des risques différents des véhicules thermiques**

En termes de [risques de ces feux](#), ils ne sont pas plus dangereux pour les véhicules électriques, ne brûlent pas de manière plus intense ou à des températures plus importantes, selon le projet européen [LASH FIRE](#). En France, c'est aussi ce que montraient de premiers tests de l'[INERIS](#) sur des véhicules thermiques et électriques, avec des dégagements de chaleur et des émissions de fumées et de gaz de combustion similaires.

Cependant, chaque type de motorisation a ses **particularités** auxquelles il est important de s'adapter. Les risques liés aux batteries sont ceux d'un emballement thermique, avec les batteries qui peuvent s'enflammer avec comme [causes](#) un dommage mécanique, électrique ou encore une surchauffe. Aussi les [spécificités des feux de véhicules électriques](#) sont notamment les possibles phénomènes d'emballement thermique retardés, les jets de flammes ou la projection d'éléments en fusion, certaines émissions de gaz spécifiques aux batteries, mais aussi des difficultés d'interventions pour accéder au pack batterie pour l'injection d'eau et son refroidissement. Cela a tendance à donner lieu des **interventions plus longues et plus complexes**, qui nécessitent aussi de **plus grandes quantités d'eau** que pour les véhicules thermiques.

Le récent groupe de travail animé par la [DG Trésor et la DGE](#) (Direction générale des Entreprises) en lien avec l'électrification des poids lourds rappelle ces éléments et fournit des **recommandations** aux services d'incendie, aux transporteurs ou encore pour l'installation des bornes de recharge aux dépôts. S'il n'y a pas de sur-risque identifié avec les véhicules électriques, les dispositifs de sécurité et les méthodes d'intervention doivent cependant être adaptés pour un déploiement sécurisé des véhicules électriques.

### **Les risques liés aux batteries et conseils de prévention**

De manière plus générale, les principaux **incidents** sur les batteries concernent quasiment pour moitié les batteries de téléphone portable, loin devant les autres appareils, au vu notamment du fort taux d'équipement des ménages ([Assurance Prévention](#)). Quant aux **incendies** de batteries en lien avec la mobilité, une cartographie collaborative d'[Anod](#) rapportait 177 incidents sur 2023 à début 2026, dont les deux tiers concernent des trottinettes, 15 % les vélos à assistance électrique (VAE), et quasiment 20 % d'autres véhicules, depuis les hoverboards aux véhicules lourds en passant par les voitures.

Enfin, pour les batteries et notamment pour celles des trottinettes ou des vélos à assistance électrique, on peut citer les quelques [conseils](#) suivants pour **limiter les risques** : ne pas recharger toute la nuit ou en cas d'absence, débrancher quand le chargement est terminé, ne pas brancher avec une batterie en plein soleil, éviter de décharger complètement la batterie, d'utiliser une batterie endommagée, ou encore s'assurer d'utiliser le câble d'origine pour la recharge.

## 8) Les contraintes d'autonomie et de recharge des véhicules électriques sont-elles fortes ?

Parmi les principaux freins à l'achat des véhicules électriques se trouvent ceux du prix à l'achat, puis ceux de l'autonomie et du besoin de recharge des véhicules. Pour démarrer par ces derniers éléments, est-ce que ces contraintes de recharge et d'autonomie limitée disqualifient cette technologie par rapport aux véhicules thermiques ?

### *De fortes améliorations sur la recharge et l'autonomie*

#### Différents besoins de recharge

Il existe **différents besoins de recharge**, que l'on peut différencier principalement selon leur lieu et leur puissance, ce dernier élément influençant la rapidité de la recharge.

Selon la puissance de recharge, on parle **bornes et de recharges normales** (< 10 kW environ), **accélérée, rapides** ou **ultra-rapides** (> 100 kW). Pour donner un ordre de grandeur, une prise murale renforcée de 3,7 kW permet de recharger 3,7 kWh de la batterie chaque heure, soit de l'ordre de 20 km ; une recharge rapide de 50 kW permettra de regagner environ 250 km d'autonomie en une heure, et cela descend à 30 minutes dans le cas d'une recharge ultra-rapide de 100 kW, une possibilité de plus en plus fréquente en particulier sur autoroutes.

Ces différentes puissances sont associées à des **coûts différents** : les simples prises renforcées pour les particuliers coûtent entre **150 et 300 €** ; une borne à domicile de 7,4 kW coûtera de **1500 à 2000 €**, quand une borne au bureau de 22 kW coûtera de 5000 à 7000 € ; et cela peut monter à **100 000 €** pour les bornes de 150 kW pour de la recharge ultra-rapide sur autoroute, notamment pour les poids lourds.

#### Où recharger sa voiture électrique ?

En termes de **lieux de recharge** pour développer ces différentes bornes, on peut citer :

- La recharge **à domicile**, qui correspond au mode principal de recharge pour **77 %** des particuliers, est idéale pour les ménages qui possèdent un garage personnel ; elle demande cependant de la concertation en cas de parking d'une copropriété ;
- La recharge **au travail**, particulièrement pratique pour les ménages qui n'ont pas la possibilité de se recharger facilement à domicile, et qui sera de plus en plus coordonnée avec la production solaire croissante, qui est maximale en milieu de journée ;
- La recharge **publique**, sur la voirie, dans les stationnements en ouvrage, devant les supermarchés ou les lieux de services publics, pour tous les besoins ponctuels, ou lorsque les recharges à domicile ou au travail ne sont pas possibles ;
- La recharge **sur autoroute** est un type particulier de recharge publique, avec un besoin particulièrement fort d'avoir une puissance importante pour récupérer rapidement de l'autonomie et faciliter ainsi les longs trajets.

#### Un réseau de recharge en forte croissance

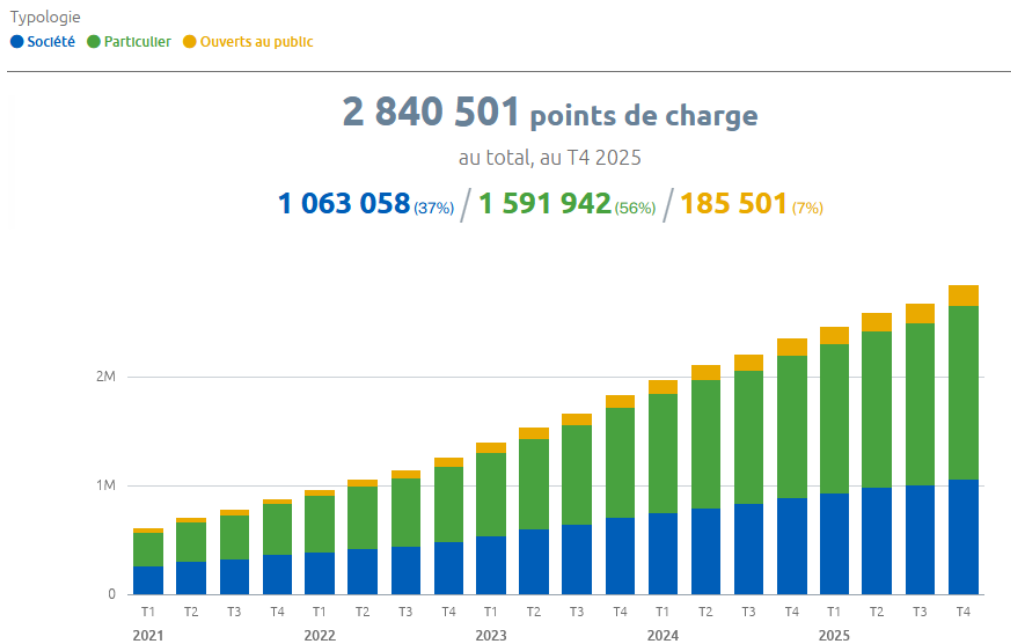
Les chiffres d'**Enedis** montrent le fort développement du réseau de recharge sur les dernières années. Ainsi, sur les 5 dernières années (entre début 2021 et début 2026), le nombre de points de charge total a été multiplié par plus de 5, tandis que leur puissance cumulée a été multipliée par 7,5, et même par 12 pour les seules bornes de recharge publiques.

Les derniers chiffres du [parc automobile](#) français montrent que début 2025, il y avait en France plus de **2 millions de véhicules électrifiés** (en combinant voitures et utilitaires, électriques et hybrides rechargeables). Dans le même temps, le nombre total de points de recharge était proche de **2,4 millions**, soit un peu plus d'un point par véhicule rechargeable. Parmi ces points de charge, il y en avait 1,3 million au domicile des particuliers, environ 900 000 dans les entreprises (pour les salariés ou pour électrifier les flottes) et 155 000 points de charge publics. Ce chiffre a dépassé les [185 000](#) début 2026, et le gouvernement affiche des [objectifs](#) de 7 millions de bornes au total en 2030, dont 400 000 libres d'accès au grand public, dont 50 000 en recharge rapide.

Le développement progressif de la recharge publique permet d'avoir un maillage de plus en plus important de stations de recharge sur le territoire (qui peuvent comporter plusieurs bornes, qui peuvent elles-mêmes contenir 1 ou 2 points de charge), permettant de faciliter les trajets nécessitant une recharge en cours de route.

On compte actuellement **1 point** de recharge public pour **8 véhicules électriques** (voitures et utilitaires confondus), un ratio qui monte à quasiment 13 en incluant les véhicules hybrides rechargeables. Ces ratios sont restés relativement stables ces dernières années, ils placent la France dans la [moyenne européenne](#) et sont suffisants au global au vu de l'importance des points de recharge privés.

Par ailleurs, le réseau de recharge public s'est tourné de plus en plus vers des bornes de plus **forte puissance**, permettant des recharges plus rapides. Ainsi, entre fin 2015 et fin 2025, la puissance moyenne a été multipliée par 5, passant environ de 10 kW à 50 kW. En octobre 2025, ce sont déjà [plus de 20 %](#) des points de charge qui correspondent à de la recharge rapide ou ultra-rapide (> 50 kW).



Nombre de points de charge pour véhicules électriques en France - [Enedis](#), mars 2026

### Un réseau pour la longue distance de plus en plus maillé

Le déploiement de la recharge rapide a particulièrement été important sur le réseau des **autoroutes et nationales**, qui comptait plus de [126 000 points de recharge](#) au début de l'année 2026. Aussi le déploiement des **bornes de recharge ultra-rapides** ces dernières années a été

[plus rapide](#) que le nombre de voitures électriques, facilitant ainsi les longs trajets, les [temps d'attente](#) aux bornes étant rares. Ces bornes représentent également un défi particulièrement fort pour la recharge des **poids lourds** sur leurs trajets de longue distance.

Des [objectifs ambitieux](#) de développement des bornes rapides sont prévus en France, afin de poursuivre leur croissance au fur et à mesure de la diffusion de la motorisation électrique dans le parc de véhicules. Par ailleurs, il est fort possible que les **progrès** de ces dernières années en termes de **puissance de recharge** des véhicules se poursuivent. Les annonces ne manquent pas sur le sujet, comme la [promesse de BYD](#) de développer une batterie capable d'encaisser une puissance de charge de 1500 kW, permettant une recharge de 10 à 70 % ou de [400 km](#) en 5 minutes seulement...

Cependant, certaines annonces dans le domaine peuvent être à prendre avec précaution. Surtout, de tels appels de puissance peuvent avoir un **impact** significatif sur le **réseau électrique**, sur le besoin de renforcement de celui-ci, et le coût des installations pourrait limiter un fort déploiement de ces puissances pour les voitures.

Concernant les **défis** pour le **réseau de recharge**, malgré des chiffres de [70 % des points de recharge](#) disponibles 99 % du temps, 7 % des points de recharge publics ont été indisponibles plus de 7 jours consécutifs en décembre 2025. Il reste ainsi à travailler sur la [fiabilité du réseau](#), mais aussi sur la simplification de l'accès et du paiement, l'amélioration de la lisibilité des tarifs, et bien sûr au bon maillage de l'ensemble du territoire. Enfin, pour faciliter la bonne rotation des véhicules sur les bornes de recharge rapide notamment sur autoroutes, il y a aussi des enjeux d'éducation aux bonnes pratiques de recharge, par exemple sur le fait de recharger [au maximum à 80 %](#) de la capacité pour ne pas bloquer une borne trop longtemps, les derniers pourcents étant plus lents à charger.

### Une hausse de la capacité des batteries et de l'autonomie

Au niveau français, les **données d'immatriculations d'AAA DATA** pour les voitures électriques neuves en France entre 2020 et 2025 montrent les tendances suivantes (les données ont été transmises dans le cadre de cet article, un grand merci à AAA DATA pour cette aide) :

- La **capacité moyenne** des batteries est passée d'environ 50 kWh à un peu plus de 60 kWh, pour une hausse de **+24 %** ;
- Dans le même temps, l'**autonomie moyenne** annoncée a augmenté d'environ 350 à 450 km, soit un peu plus de **+25 %** (cycle mixte, normes WLTP) ;
- Pour les voitures qui ont la possibilité d'utiliser la **charge rapide** (une proportion que l'on peut supposer en hausse, la [puissance de charge](#) maximale admissible par les véhicules est passée d'environ 80 à 138 kW, soit **+73 %** ;
- Par ailleurs, le **poids moyen** à vide des voitures électriques neuves est passé d'un peu plus de 1,5 t à un peu plus de 1,7 t, soit une hausse de **+14 %** ;
- Enfin, le **prix à l'achat** est passé d'environ 35 000 € à quasiment 43 000 € (prix hors options, négociation ou bonus/malus), soit **+22 %**, une hausse qui peut être liée en partie aux augmentations ci-dessus mais qui est aussi valable pour d'autres motorisations et a d'autres causes (voir question 9).

Du côté des véhicules et des craintes du manque d'autonomie, les évolutions ont plutôt été dans un **sens qui tend à rassurer les usagers** de véhicules électriques.

## Adapter les véhicules aux usages

### Une recherche d'autonomie toujours plus élevée ?

Malgré les progrès d'autonomie des voitures électriques ces dernières années, cela semble ne jamais être assez pour une partie de la population pour passer à l'électrique. Ainsi, dans un récent sondage de [Driveco](#), 41 % des Français considéraient qu'il faut **au moins 600 km** d'autonomie pour la considérer comme acceptable. Aussi, il n'est pas rare de voir passer des **promesses de 1000 km d'autonomie** pour certaines voitures à l'avenir, présentées comme [le Graal à atteindre...](#)

Mais le choix de l'autonomie correspond en réalité à un arbitrage entre les avantages que cela peut procurer, mais aussi les inconvénients à chercher des autonomies toujours plus élevées.

Tout d'abord, il y a de bonnes raisons à chercher une autonomie élevée :

- Pour faire de la voiture électrique le **véhicule principal du foyer**, qui répond à tous les besoins, y compris pour les départs en vacances, qui nécessitent de plus fortes autonomies ;
- Parce que l'autonomie homologuée est supérieure à **l'autonomie réelle**, d'autant plus en période de froid (avec [15 à 20 %](#) d'autonomie en moins sur les longs trajets), en cas d'utilisation du chauffage ou de la climatisation, de trajets sur autoroute à vitesse élevée, etc. ;
- Enfin, comme cela a déjà été évoqué, la batterie **perdra un peu de capacité** en vieillissant et au fur et à mesure de son usage, et sur les longs trajets il est conseillé de limiter la **recharge rapide à 80 %** de la capacité de la batterie.

### Le coût des autonomies élevées

Si différents éléments plaident pour chercher pour une autonomie élevée, il existe aussi de bonnes raisons de ne pas surdimensionner l'autonomie et la capacité de la batterie des véhicules électriques, aussi bien pour des questions de coûts sociétaux que financiers.

Tout d'abord, du point de vue des **conséquences environnementales**, mais aussi **sociales ou géopolitiques**, il a été vu que les batteries et les métaux nécessaires à leur fabrication concentrent de nombreux impacts des véhicules électriques. Ainsi la réduction de la capacité de la batterie est un moyen direct de limiter ces nombreux impacts. Concernant l'impact climatique notamment, les batteries concentrent [quasiment 40 %](#) du bilan carbone des véhicules électriques en France, et pour réellement profiter des gains technologiques, il faut éviter que ces progrès soient annulés par un effet rebond vers des batteries toujours plus grosses.

Ensuite, d'un point de vue **financier**, l'augmentation de la capacité de la batterie renchérit fortement le véhicule, généralement évoqué comme le premier frein à l'adoption du véhicule électrique, devant les contraintes d'autonomie et de recharge. Et parmi les modèles les plus abordables, ajouter **100 km d'autonomie** coûte environ [10 000 € supplémentaire](#). Il existe ainsi un arbitrage très fort entre le prix du véhicule électrique et son autonomie.

### Les longs trajets sont (très) rares

L'autonomie doit avant tout être définie en fonction des besoins de mobilité. Et les données sur les [pratiques de mobilité des Français](#), issues de la dernière enquête mobilité des personnes ([EMP 2019](#)), montrent que les longs trajets sont particulièrement rares :

- Ainsi, seulement **1,5 %** des déplacements des Français sont à **plus de 100 km** de leur domicile, soit en moyenne 6 voyages par an et par personne ;
- C'est seulement **0,4 %** des trajets qui sont sur une distance supérieure à **500 km** ; et sur ces trajets, seulement la moitié sont faits en voiture, ainsi les trajets en voitures de plus de 500 km représentent **0,2 % du total des déplacements** en France, soit moins d'1 voyage par an en moyenne au sein de la population ;
- Cette moyenne cache des **disparités** importantes selon les ménages, en particulier en fonction des revenus et du niveau de diplôme pour ces déplacements de longue distance, ainsi c'est plus de la moitié de la population qui est en-dessous de ces moyennes.

### Les évolutions à viser l'avenir

Les chiffres précédents montrent que la crainte du manque d'autonomie est surtout justifiée par **quelques longs trajets**, en cherchant à copier les usages du véhicule thermique. Au vu du faible nombre de déplacements concernés et dans une logique de transition écologique, l'idéal à l'avenir serait de basculer autant que possible ces **longs trajets sur le train**, vers le car, le covoiturage ou encore vers la location de voiture (l'autopartage) pour ces trajets exceptionnels.

Mais même avec une voiture électrique avec une autonomie raisonnable, il est **possible de se recharger sur de longs trajets**, d'autant plus avec le fort développement de la charge rapide, notamment sur autoroute. Les progrès permettent parfois de rendre ce temps de recharge quasiment invisible sur un trajet, alors qu'il est conseillé de faire des pauses toutes les 2 heures (soit maximum tous les 250 km), et que la recharge rapide peut permettre de passer de 10 à 80 % de capacité en une vingtaine de minutes pour certains modèles, ce qui dépend des puissances accessibles par la batterie ou encore de la [courbe de recharge](#).

Alors que certains modèles proposent la possibilité de [recharge rapide en option](#), il serait souhaitable que cela **devienne davantage la norme** à l'avenir, même pour les voitures dites citadines. Cela permettrait ainsi de faciliter les quelques longs trajets pour les premiers acheteurs ou les ménages qui achèteront le véhicule d'occasion plus tard, avec un coût financier (et environnemental) bien plus faible que de dimensionner l'autonomie avec quelques dizaines voire centaine(s) de kilomètres supplémentaires.

Le plus vertueux est ainsi de **calibrer le type de véhicule et l'autonomie sur les besoins les plus fréquents**, en particulier ceux du quotidien, et de privilégier les options alternatives (train, covoiturage, recharge rapide, etc.) évoquées ci-dessus pour les longs trajets, ce qui sera d'autant plus facile si ceux-ci sont relativement exceptionnels.

### Une grande satisfaction, mais des enjeux de diffusion

Pour se demander si les véhicules électriques (VEs) sont au niveau pour remplacer les véhicules thermiques, on peut également regarder du côté des enquêtes de satisfaction auprès des utilisateurs actuels. Celles-ci montrent toutes que **les utilisateurs sont très largement satisfaits de leur voiture électrique** : l'enquête d'[Enedis](#) montre que **94 %** des utilisateurs en France se déclarent satisfaits de leur véhicule électrique ; l'enquête [Driveco](#) indique **98 %** de satisfaits, dont 55 % très satisfait ; l'enquête de l'[Avere](#) avec Ipsos indique **93 %** de satisfaits ; et aux [Etats-Unis](#), **96 %** des usagers actuels pensent rester à l'électrique.

Par ailleurs, pour 90 % des utilisateurs en France, le véhicule électrique est utilisé comme véhicule principal, et 65 % d'entre eux sont prêts à parcourir sereinement des distances supérieures à 400 km ([Enedis](#)).

Pour passer au [déploiement à grande échelle](#), il y a cependant des enjeux importants à **convaincre la population** plus globalement, dont une partie importante est encore réticente à l'électrique. Cette réticence est généralement fortement corrélée au [manque de connaissances](#) de la voiture électrique, avec une [désinformation](#) importante sur le sujet qui a des [effets mesurables](#) sur la volonté d'achat de véhicule électrique.

Alors que les apprentissages pour l'usage de la voiture thermique (connaissances de base, plein d'essence, entretien, conduite avec rapports de vitesse, etc.) ont généralement été acquis progressivement depuis l'enfance, **les connaissances de base des voitures électriques**, notamment pour la gestion de la recharge, sont encore largement à améliorer. Cela constitue un enjeu majeur pour la réussite de la transition, et ainsi pour les politiques publiques comme pour les constructeurs qui souhaitent améliorer les ventes de leurs véhicules électriques.

## 9) Les batteries rendent les véhicules électriques beaucoup trop chers ?

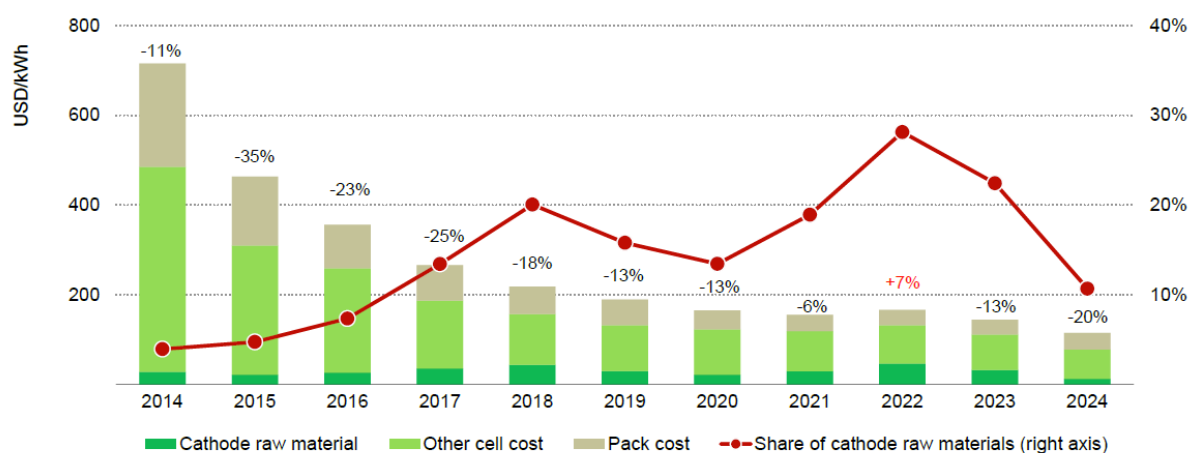
Devant les questions d'autonomie et de recharge, le **premier frein à l'adoption des véhicules électriques** concerne leur coût à l'achat. Le surcoût par rapport aux véhicules thermiques est lié essentiellement à la batterie, d'où l'intérêt à regarder l'évolution de ce coût, la part dans le coût total des véhicules électriques ou les moyens de faciliter l'accessibilité des véhicules électriques.

### La baisse historique du coût des batteries

Le coût des batteries lithium-ion a fortement baissé ces dernières années. Alors qu'il dépassait les 9000 \$/kWh en 1991 et encore plus de 1000 \$/kWh au début des années 2000, le coût moyen des packs batteries est tombé à **115 \$/kWh** en 2024 d'après l'[AIE](#), qui reprend les chiffres de [Bloomberg NEF](#), qui évoquait en décembre une nouvelle baisse à **108 \$/kWh pour 2025**.

Comme il a été vu en question 2, la **baisse des coûts de production** a été permise par les progrès sur les technologies de batteries, l'amélioration de la densité énergétique des batteries permettant une moindre consommation de métaux coûteux, ou encore par la massification de la production permettant de forts effets d'échelle.

Sur ces toutes dernières années, la tendance à la baisse s'est poursuivie, malgré des **variations de prix** qui s'expliquent en bonne partie par le coût des matières premières. C'est ce qui a expliqué la hausse de 7 % du coût moyen des batteries en 2022, la part du coût provenant des métaux de la cathode (en particulier nickel, manganèse, cobalt) ayant augmenté à quasiment 30 % du coût pour la moyenne des batteries (y compris les LFP ; voir aussi la décomposition du coût des batteries dans [Gutsch, Leker, 2024](#)).



IEA. CC BY 4.0.

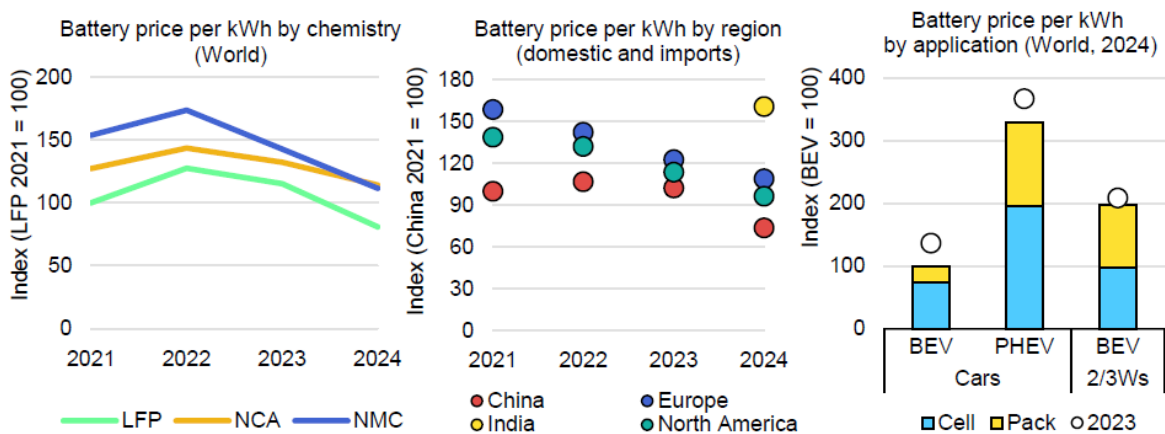
Notes: kWh = kilowatt-hour. Cathode material costs include lithium, nickel, cobalt and manganese. Other cell costs include costs for anode, electrolytes, separator and other components as well as costs associated with labour, manufacturing and capital depreciation. Percentages on bars show year-on-year total global average battery pack price change. Analysis includes all cathode chemistries and global chemistry sales shares.  
Source: IEA analysis based on BloombergNEF.

*Prix moyen des pack des batteries lithium-ion et part du coût des métaux de la cathode, 2014-2024 - [AIE](#) 2025, p51*

La figure ci-dessous d'un autre rapport de l'[AIE](#) montre d'autres facteurs d'influence du prix moyen des batteries, et en particulier la chimie de batterie, les **batteries LFP** étant quasiment 30 % moins coûteuses que les batteries de chimie NMC. Cela explique leur part croissante dans

les batteries de véhicules électriques, et un effet à la baisse sur le coût moyen des batteries dans le monde.

Ainsi, les batteries en Chine apparaissent également moins coûteuses qu'aux-États-Unis ou en Europe, en lien avec la prépondérance de la chimie LFP dans le pays, ou encore avec les moindres coûts de production et d'approvisionnement en batterie pour les constructeurs installés en Chine. Enfin, la figure de droite indique que les batteries de voitures électriques sont déjà à environ **100 \$/kWh**, tandis que le coût par kilowatt-heure revient plutôt à 200 \$ pour les 2-roues et 3-roues motorisés. Il est même supérieur à 300 \$/kWh pour les batteries des véhicules hybrides rechargeables, en raison notamment de leur plus petite taille et de leurs besoins de puissance plus importants.



IEA. CC BY 4.0.

Notes: LFP = lithium iron phosphate; NCA = lithium nickel cobalt aluminium oxide; NMC = lithium nickel manganese cobalt oxide; BEV = battery electric vehicles; PHEV = plug-in hybrid electric vehicle; 2/3Ws = two- and three-wheelers. Battery price refers to price per kWh for battery packs. Battery prices by region refer to the average battery price in a given region, including locally produced batteries and imports across EVs and battery storage applications. Data for India is not available between 2021 and 2023. Battery price by application refers to an average-sized vehicle.

Source: IEA analysis based on data from [Bloomberg New Energy Finance](#).

*Prix moyen des packs des batteries lithium-ion selon les chimies de batteries, les régions et les modes, 2021-2024 - [AIE 2025](#), p138*

Par ailleurs, la baisse historique du coût des batteries a été grandement sous-estimée par un grand nombre de publications passées, comme l'ont montré [Mauler et al.](#) (2021). Les **prévisions pour l'avenir** sont plus incertaines mais on peut encore attendre des **baisses supplémentaires** des prix des batteries, par exemple de l'ordre de -30 % en passant d'environ 100 € à 70 €/kWh entre 2025 et 2030 pour les batteries vendues en Europe, d'après [T&E](#). L'ampleur de ces baisses de coût dépendra des gains techniques incrémentaux, de l'évolution des différentes chimies de batteries, ou encore de l'évolution du prix des matières premières.

### *La part de la batterie dans le coût des véhicules*

En moyenne mondiale, la batterie représente environ **25 % du coût** des véhicules électriques d'après l'[AIE](#). Elle explique bien un surcoût des véhicules électriques par rapport aux véhicules électriques, ce qui est essentiellement le cas pour les plus petits modèles.

En moyenne pour janvier 2026, les chiffres de [AAA Data](#) indiquent un prix moyen des voitures neuves à environ **35 300 €** pour la France, dont un prix plus élevé s'établissant à autour de **41 100 €** pour les voitures électriques. Ce prix 65 % plus élevé que pour les voitures essence (à 24 850 €), aussi 23 % plus élevé que les hybrides (autour des 33 400 €), mais moins élevé que la moyenne des voitures diesel (-3 %, à 42 400 €) ou surtout que les hybrides rechargeables (-27 %, à 56 100 € ; prix hors options, négociation ou bonus/malus).

Cependant, ces prix moyens cachent des types de véhicules et d'usages assez différents selon les motorisations. Ainsi, des données de [T&E](#) début 2026 au niveau de l'UE comparent les prix des différentes motorisations **selon les segments de véhicules**, laissant apparaître des tendances assez contrastées. En effet, le prix des véhicules électriques était similaire aux thermiques en 2025 pour le segment D, et même inférieur pour les véhicules électriques pour le segment E qui correspond aux plus gros véhicules qui ont de plus des malus importants en France pour les véhicules thermiques. Enfin, le surcoût à l'achat de l'électrique reste cependant de 25 à 30 % environ pour les voitures des segments A, B et C (les chiffres de l'[Avere](#) montrent des tendances proches pour la France, tandis que l'[AIE](#) détaille les tendances pour quelques autres pays dans le monde).

### **L'évolutions du prix des voitures électriques**

En termes d'**évolution**, malgré la baisse de coût des batteries, le prix moyen des véhicules électriques a plutôt eu tendance à augmenter ces dernières années, en raison d'un report vers des véhicules plus haut-de-gamme, plus lourds ou avec de plus grosses batteries. Au niveau français et sur l'ensemble des voitures neuves, l'[IMT](#) a montré qu'entre 2020 et 2024, la moitié de la hausse du prix moyen des voitures neuves (+24 % et +6800 €) est liée aux choix commerciaux des constructeurs (montée en gamme, *pricing power*), devant les hausses de coûts subies (énergie, réglementation...) et de causes hybrides, dont l'électrification des véhicules.

Et pour les **années à venir**, [T&E](#) anticipe la parité de prix entre les véhicules thermiques et électriques à l'horizon 2030, aussi bien au niveau de l'ensemble des ventes que pour les segments B et C. Cette tendance est cependant conditionnée au maintien des objectifs climatiques, qui incitent fortement les constructeurs à lancer des véhicules électriques plus abordables pour en vendre de plus gros volumes.

Par ailleurs, au sein d'un même segment, différents modèles ont des gammes de prix potentiellement variés. On peut néanmoins noter que plusieurs modèles **sous les 25 000 €** ([Renault 5](#), [Citroën ë-C3](#), [VW ID. Polo](#), etc.) voire **sous les 20 000 €** ([Renault Twingo](#), [Dacia Spring](#), [MG4](#), [BYD Dolphin Surf](#), [Leapmotor T03](#), ou encore les Microlino, Citroën Ami parmi les quadricycles...) sont déjà commercialisés ou prévus prochainement. Leurs prix dépendent des versions et des options choisies, qui peuvent augmenter le prix de plusieurs milliers d'euros. Cependant, les prix évoqués ne tiennent pas compte des [aides à l'achat](#), qui peuvent aussi faire baisser ces prix de plusieurs milliers d'euros.

Enfin, peu de ces modèles électriques plus accessibles proviennent des **constructeurs français** et/ou sont **assemblés en France**, même si c'est le cas en particulier de la Renault 5, élue voiture de l'année 2025 et [première](#) parmi les ventes de voitures électriques en France en 2025. C'est un défi pour les années à venir de relocaliser la production de [véhicules électriques sobres et abordables](#) en France.

## *Le coût complet des véhicules thermiques et électriques*

Au-delà du prix à l'achat, ce qui importe ce sont les **coûts sur l'ensemble de la durée de vie du véhicule**, en incluant son usage, mais aussi l'entretien, l'assurance, les péages, le stationnement, certains de ces éléments étant également différents selon les motorisations. C'est ce qu'on appelle l'[analyse en coût complet](#).

Il est difficile de donner une conclusion tranchée sur ce point pour la comparaison des différentes motorisations, car la comparaison dépend de nombreux éléments :

- De l'achat du véhicule **neuf ou d'occasion**, ce qui diminue fortement le coût d'acquisition du véhicule, et en sachant que **85 %** des ménages achètent leur véhicule sur le marché de l'occasion ;
- Du **type de modèle** comparé, dont certains sont déjà à la parité de prix en neuf, comme évoqué plus haut ;
- Des **aides à l'achat** éventuellement considérées, qui ont beaucoup évolué ces dernières années et dépendent des niveaux de revenus (alternativement des éventuels malus automobiles sur les thermiques) ;
- Du **prix des carburants** et du **coût de la recharge**, par exemple moins coûteuse à domicile pour les personnes qui peuvent y avoir accès (de l'ordre de **3 à 4 fois moins chère** par kilomètre parcouru par rapport au carburant pétrolier), en comparaison de la recharge publique ou sur des bornes rapides ;
- Ou encore des **usages**, et en particulier des kilométrages réalisés : l'électrique étant plus coûteuse à l'achat mais moins chère à l'usage, plus l'usage est intense et plus la rentabilité sera assurée rapidement.

## *Le choix de l'électrique est généralement rentable*

Une [analyse de France Stratégie](#) fin 2022 évoquait que le surcoût à l'investissement était **rentabilisé entre 0 (immédiate) et 6 ans** pour le choix de véhicules neufs électriques plutôt que thermiques. Le résultat variait en fonction du type de véhicule considéré ainsi que des revenus et donc des aides obtenues.

En 2024, une [autre analyse de France Stratégie](#) indiquait une que le surcoût initial de l'électrique est rentabilisé par des **gains à l'usage de 3 à 6 ans** pour un ménage modeste éligible au bonus.

Par ailleurs, l'analyse du club automobile [Roole](#) fin 2025 permet de différencier le coût complet selon les motorisations, mais aussi dans les **cas où le véhicule est acheté neuf ou d'occasion**. Dans le cas d'une voiture achetée **neuve**, le coût complet de l'électrique apparaît supérieur par rapport à l'essence (+9 %), légèrement inférieur à l'hybride rechargeable et le gazole (-7 %) et bien moins que l'hybride rechargeable (-33 %), sans compter les potentielles aides à l'achat. Dans le cas des voitures achetées **d'occasion**, l'électrique devient alors le choix le plus économique, devant le gazole (-11 %), l'essence (-14 %), l'hybride non rechargeable (-23 %) puis l'hybride rechargeable (-33 % ; voir les conclusions similaires de l'[UFC Que Choisir](#) en 2021).

Aussi, le coût complet d'une voiture électrique achetée d'occasion est d'environ **-30 %** comparée au neuf (331 €/mois contre 469 €/mois), montrant ici le levier majeur du **marché de l'occasion** pour rendre les véhicules électriques plus abordables.

Par ailleurs, la solution du **rétrofit**, à savoir la conversion d'un ancien véhicule thermique en électrique, a été longtemps mise en avant comme un moyen de réduire les coûts de transition et notamment l'[impact environnemental](#) de l'électrification. Cependant, la filière se développe peu pour les voitures, [en raison de difficultés](#) techniques, réglementaires ou de modèle économique. Les chances de succès seraient néanmoins plus importantes pour d'autres véhicules, comme les utilitaires, les bus et cars, ou certains véhicules spéciaux.

Au global, les analyses précédentes montrent que **l'électrique est déjà compétitif** par rapport au thermique, en particulier pour les véhicules d'occasion, si des aides sont disponibles ou en cas de [hausse du prix des carburants](#). Pour autant, le marché du neuf est inaccessible pour une grande partie des ménages, et le marché de l'occasion pour l'électrique encore trop peu développé. Cela peut ainsi poser des problèmes d'accessibilité au vu des investissements élevés qui sont nécessaires pour acheter un véhicule électrique neuf.

### *Comment améliorer l'accessibilité des véhicules électriques ?*

Au vu des éléments ci-dessus, on peut citer **3 leviers majeurs** qui sont indispensables et à combiner pour rendre les véhicules électriques plus abordables, et qui sont des leviers à encourager par les politiques publiques :

- Le premier d'entre eux est de se tourner vers des **véhicules plus légers, plus sobres et avec une autonomie raisonnable** : ainsi, augmenter l'autonomie des voitures de l'ordre de 100 km augmente en moyenne son coût à l'achat de 10 000 € ; et par ailleurs, augmenter le poids du véhicule électrique neuf de 100 kg entraîne une hausse de son [prix d'environ 3000 €](#) ;
- Par ailleurs, un des principaux moyens d'accélérer le développement des véhicules électriques sur le **marché de l'occasion** est d'accélérer **l'électrification des flottes** de véhicules d'entreprises, sachant que les personnes morales représentent un peu [plus de la moitié des achats](#) de voitures neuves en France, et que ces véhicules se retrouvent souvent au bout de 3 ou 4 ans sur le marché de l'occasion ;
- Enfin, le développement des véhicules électriques et en particulier leur accès pour les ménages peu fortunés dépend encore fortement des **aides publiques** à l'achat ou encore du leasing social. Ces politiques publiques doivent permettre autant que possible de favoriser des véhicules parmi les plus sobres (ce qui n'est pas toujours le cas, voir ci-dessous), cibler les ménages qui en ont le plus besoin (dépendance à la voiture, faibles revenus, etc.) et favoriser la réindustrialisation de la production des véhicules en France.

## 10) Quels progrès peut-on attendre à l'avenir ? Quelles sont les batteries du futur ?

### *Il n'existe pas et il n'existera jamais de batterie parfaite*

Le développement des batteries du futur est d'autant plus difficile qu'il doit **répondre à de nombreux défis et critères**. On voudrait en effet idéalement des batteries :

- Plus denses d'un point de vue énergétique et ainsi moins lourdes et volumineuses et/ou avec plus d'autonomie
- Moins coûteuses à produire ;
- Qui ne sollicitent pas ou peu de métaux critiques et limitent les impacts sociaux, environnementaux et géopolitiques en lien avec leur approvisionnement ;
- Qui se dégradent moins vite et durent le plus longtemps possible ;
- Qui se recyclent facilement et à moindre coût ;
- Qui permettent une recharge rapide ;
- Qui soient plus sécurisées ;
- Qui résistent aux températures extrêmes, aussi bien chaudes que froides ;
- Etc.

Aussi bien les évolutions de ces dernières années que les actualités sur le sujet montrent que les technologies de batteries sont un domaine où les **innovations sont très fortes** et sur de nombreux aspects, avec même un rythme parfois difficile à suivre.

La bonne nouvelle à cela, c'est que de **nombreuses évolutions positives** sont encore à attendre, notamment sur les éléments cités ci-dessus sur lesquels de nombreux progrès sont en cours, permettant encore de faciliter le développement de l'électrique, de réduire son coût ou certains impacts.

Malgré ces évolutions, il n'est pas possible d'en attendre non plus des miracles, et **certaines problématiques seront plus difficiles à résoudre** ou plutôt devront faire l'objet d'arbitrages difficiles, comme pour la question des chimies de batteries et des impacts environnementaux associés aux différents métaux.

Enfin, malgré certains progrès très rapides dans la recherche, le déploiement peut être plus lent et soumis à **certaines inerties**, à la fois d'un point de vue industriel au vu des investissements dans les gigafactories par exemple, mais davantage encore dans la diffusion des voitures électriques dans le parc de véhicules. Ainsi, en 2025, les voitures électriques ont représenté 20 % des ventes de voitures neuves, soit **0,8 % du parc** de voitures en France (0,33 million sur 39,7 M de voitures début 2025). Même si toutes les voitures vendues (1,63 M) avaient été électriques, c'est environ **4 %** du parc seulement qui aurait été renouvelé.

### *Les principales évolutions actuelles*

La figure de l'AIE en question 1 de cet article permettait d'indiquer les principales **évolutions en cours**, aussi bien pour les cathodes (croissance du LFP notamment, avec aussi une part croissante de cathodes riches en manganèse et de batteries sodium-ion dans les années à venir) que les anodes (progressivement plus riches en silicium, avec l'émergence d'anodes en carbone dur et en lithium-métal).

Le **mouvement actuel vers les batteries LFP** (lithium-fer-phosphate) a pour principaux avantages d'aller vers une chimie de batterie moins coûteuse, qui dépend moins de métaux critiques et avec une meilleure durée de vie, mais qui présente en revanche une moindre densité énergétique, une dépendance (encore plus) forte à la Chine et une équation financière plus difficile au recyclage, par rapport aux chimies NMC (nickel-manganèse-cobalt) dominantes.

Le **moindre coût** et la relativement **faible densité** destinent cette chimie en particulier aux voitures citadines les plus abordables et aux autonomies relativement limitées. Si la chimie est bien plus développée en Chine que sur le marché et les gigafactories européennes ou françaises, certains modèles devraient progressivement y passer, comme cela a été annoncé par exemple pour la Twingo et la Mégane [chez Renault](#).

Il existe de nombreuses chimies de batteries différentes, pour les voitures ou d'autres applications. Sans être exhaustifs sur les [technologies en développement](#) et qui de plus évoluent rapidement, parmi les autres évolutions importantes évoquées ci-dessus, on peut citer les batteries (semi-)solides et les batteries sodium-ion.

### *La promesse des batteries (semi-)solides*

Une évolution prévue des batteries actuelles serait de passer à des batteries solides ou semi-solides.

Le principal avantage généralement évoqué pour ces batteries correspond à l'augmentation de la **densité énergétique**, couplée aussi à des promesses d'améliorations en termes de sécurité incendie, de vitesse de charge ou encore de durée de vie.

En revanche, c'est surtout la **maturité technologique et industrielle** qui est **mise en doute**, ou encore des enjeux de [stabilité et de coûts](#) qui pourraient retarder son développement. Aussi des [promesses par le passé](#) ont déjà pu être repoussées, et d'[autres annonces](#) actuellement soulèvent des doutes importants. Si les groupes chinois [BYD](#) ou [Chery](#) prévoient une production industrielle ou un lancement commercial de batteries solides en 2027, de nombreux experts (comme [Jean-Marie Tarascon](#)) ou constructeurs tablent plutôt sur le développement de cette technologie [à partir de 2030 et au-delà](#). Par ailleurs, comme évoqué en question 5, les gigafactories de ProLogium à Dunkerque et de Blue Solutions à côté de Mulhouse misent sur ces technologies de batteries solides.

A plus court terme, plutôt que de passer à des batteries avec un électrolyte solide, les batteries **semi-solides** permettraient d'avoir un intermédiaire plus rapide à développer, avec possiblement un [modèle du chinois MG](#) proposé en France dès fin 2026.

### *Passer du lithium-ion au sodium-ion*

Une autre technologie qui devrait se développer dans les années à venir concerne les batteries sodium-ion (Na-ion), dont **l'intérêt** est en particulier de se séparer de la dépendance au lithium pour les batteries, alors que le sodium est particulièrement abondant. Par ailleurs, ces batteries pourraient avoir également un moindre coût de production, elles ont une plus grande longévité en nombre de cycles, des performances élevées en termes de vitesses de charge, une sécurité accrue, ainsi qu'une bonne résistance au froid et au chaud.

Face à cela, le principal inconvénient concerne la **moindre densité énergétique** à ce jour par rapport aux batteries lithium-ion, ce qui a également une influence sur les usages de ces batteries.

Ainsi, l'entreprise **Tiamat** à Amiens qui développe ce type de batteries avec le CNRS a d'abord commercialisé dès 2023 un [tournevis sans fil](#) équipé de batteries sodium-ion, et les [premières applications](#) de la gigafactory à venir concernent plutôt des outils électroportatifs, aider à l'alimentation des data centers ou d'autres applications industrielles notamment avec de forts besoins de puissance. Les applications liées à la mobilité ne seraient pas dédiées à équiper des véhicules 100 % électriques, au moins dans un premier temps, mais plutôt des véhicules hybrides, à hydrogène, des stations de recharge ou d'autres applications de stockage pour le ferroviaire ou l'aérien.

Cependant, d'autres acteurs prévoient un développement dans les véhicules électriques à plus court terme. Ainsi, **CATL** annonçait en septembre 2025 avoir [obtenu les homologations](#) chinoises pour sa batterie sodium-ion et pouvoir lancer la production de masse. Les chiffres annoncés à cette occasion promettaient une densité énergétique proche des batteries LFP. Si les applications devraient ainsi se développer dans les prochaines années en Chine, le calendrier de développement de véhicules équipés par ces batteries en Europe est plus incertain à ce jour.

## 11) Peut-on se passer de batteries dans la transition ?

### *Une électrification indispensable pour les objectifs climatiques*

Au vu des nombreux impacts et défis en lien avec les batteries des véhicules électriques, on pourrait légitimement se poser la question : « peut-on se passer de batteries dans la transition ? ».

Si l'on tient à l'atteinte de nos **objectifs climatiques** et à préserver un climat supportable, **la réponse courte est « Non »**, les batteries étant indispensables en particulier à la sortie du pétrole des transports routiers (et potentiellement d'autres secteurs, non abordés ici).

Cela est valable au niveau français avec une électricité bas-carbone, où tous les [scénarios de perspectives](#) permettant l'atteinte de la neutralité carbone en 2050 reposent fortement sur l'électrification des voitures et souvent des autres transports routiers (les évolutions ayant été fortes ces dernières années sur ce point) pour atteindre l'objectif.

C'est également vrai au niveau mondial, avec une électricité qui se décarbone progressivement. Ainsi le GIEC indiquait dans le [chapitre transport](#) de son dernier rapport que « *Les véhicules électriques alimentés par de l'électricité bas-carbone offrent le principal potentiel de décarbonation des transports terrestres, en analyse de cycle de vie* ».

Pour autant, cela ne signifie pas que l'on ne peut pas **limiter les besoins de batteries** par des leviers de sobriété dans la mobilité ou sur les véhicules.

### *Des leviers de sobriété majeurs*

#### **La sobriété dans la mobilité**

L'électrification des véhicules et notamment des voitures sera indispensable pour atteindre les objectifs climatiques, pour autant elle sera également insuffisante. En effet :

- Les voitures électriques sont **loin d'être 0 émission**, en considérant le cycle de vie complet (voir question 2 et [article dédié](#)) ;
- Le **temps de renouvellement** du parc vers l'électrique (0,8 % pour les voitures en France en 2025) est bien trop lent par rapport aux [baisses de 5 %/an](#) des émissions qui sont nécessaires pour atteindre nos objectifs à l'horizon 2030 ;
- Enfin, le seul passage à l'électrique ne répond pas à un certain nombre de **problèmes liés à la voiture**, que ça soit la forte consommation d'espace (circulation, stationnement), les problèmes d'insécurité routière, ou ceux de sédentarité et d'inactivité physique ; et comme évoqué dans cet article, les enjeux de ressources ou de coût de la voiture sont modifiés mais loin d'être résolus en passant du thermique à l'électrique.

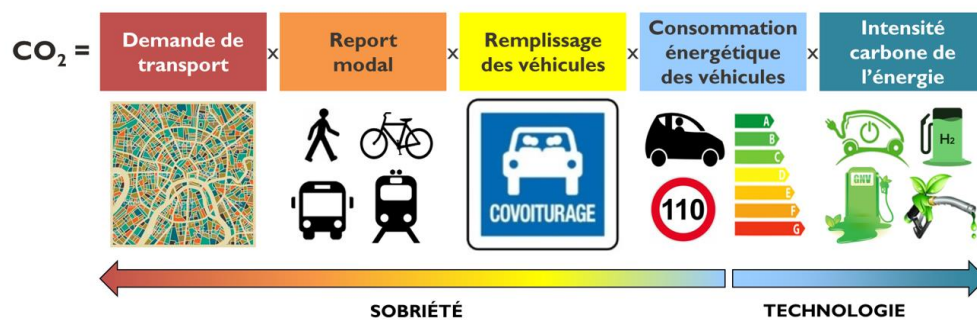
Ainsi, comme le rappelait le [précédent article](#) sur la voiture électrique en conclusion, **l'avenir de la voiture sera assurément électrique, mais la voiture individuelle ne doit pas être l'avenir de notre mobilité.**

D'autres **alternatives** complémentaires et/ou bien moins impactantes que la voiture électrique devront aussi être développées.

Il s'agit tout d'abord de **développer des mobilités plus sobres en ressources**. La [comparaison des scénarios de perspectives français](#) avait permis d'identifier une possible baisse des

consommations d'énergie liées à la mobilité des voyageurs d'environ -40 % par rapport à un scénario tendanciel d'ici 2050 en combinant une ambition importante sur les 3 premiers leviers de la SNBC (Stratégie nationale bas-carbone), à savoir la modération des distances parcourues, le report modal et l'amélioration du remplissage des véhicules. Il est probable que cela aurait un effet similaire en termes de besoins de ressources pour les batteries, car ces leviers permettent un moindre usage de la voiture et donc un besoin moins important de production de voitures électriques.

Les principaux coûts environnementaux mais aussi financiers des voitures électriques étant concentrés sur leur production, la **réduction de la taille du parc de véhicules** est particulièrement intéressante pour réduire les impacts de nos mobilités à l'avenir.



*Sobriété : les 5 leviers de décarbonation de la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) - fourni par l'auteur*

### La sobriété des véhicules

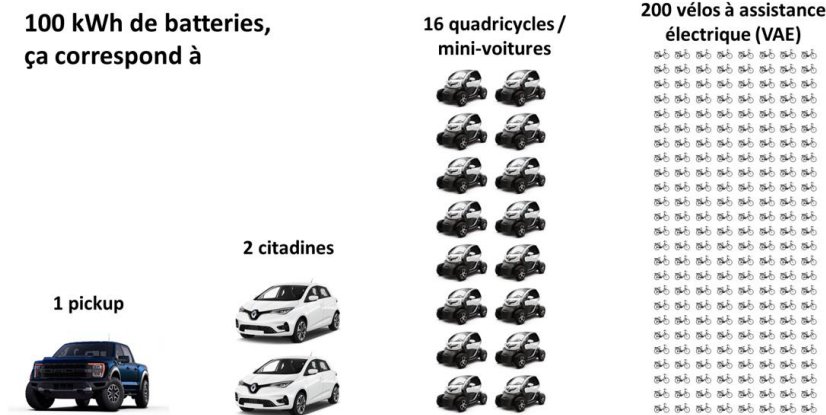
Par ailleurs, il est également possible d'**agir sur la sobriété des véhicules** en tant que tels, que ça soit sur leur consommation d'énergie et/ou leur autonomie, et ainsi sur la taille des batteries. Plusieurs leviers de sobriété ou d'efficacité sont actionnables, que ce soit en agissant sur la taille des véhicules, leur poids, leur niveau d'autonomie (point détaillé en question 8), leur aérodynamisme, ou encore l'efficacité des moteurs.

L'infographie ci-dessous sur les usages possibles de 100 kWh de batteries indique déjà l'intérêt d'une voiture citadine par rapport à un gros SUV ou un pick-up électrique. Les gains peuvent être bien plus forts en se tournant vers des véhicules encore plus sobres, à savoir les quadricycles électriques (mini-voitures à 80-90 km/h ou voiturettes à 45 km/h), ou davantage encore avec les vélos à assistance électrique. Entre eux se trouvent de nombreux autres **véhicules intermédiaires entre vélos et voitures** (aussi appelés VELIs), qui avaient déjà fait l'objet d'un [article spécifique](#).

Ces véhicules sobres seraient particulièrement pertinents pour les **35 % de ménages multi-motorisés**, qui n'ont généralement pas besoin de plusieurs voitures dimensionnées pour faire partir la famille en vacances, en termes de nombre de places, de vitesse ou d'autonomie. Ainsi, un véhicule du ménage peut être dimensionné comme tel, pendant que l'autre est dimensionné plutôt pour les trajets du quotidien, avec ainsi une taille, une autonomie et un coût potentiellement bien plus limités que les voitures électriques neuves actuelles.

Malgré leurs intérêts environnementaux, mais aussi d'un point de vue social ou de souveraineté (la [filière des VELIs](#) est dynamique et repose surtout sur des équipementiers français voire locaux), ces véhicules restent **trop peu soutenus par les pouvoirs publics** dans les dispositifs de transition. Ainsi, ils mériteraient notamment d'être intégrés dans les aides à l'achat de

véhicules, pour du leasing social plus accessible encore ou dans les politiques de verdissement des flottes d'entreprises.

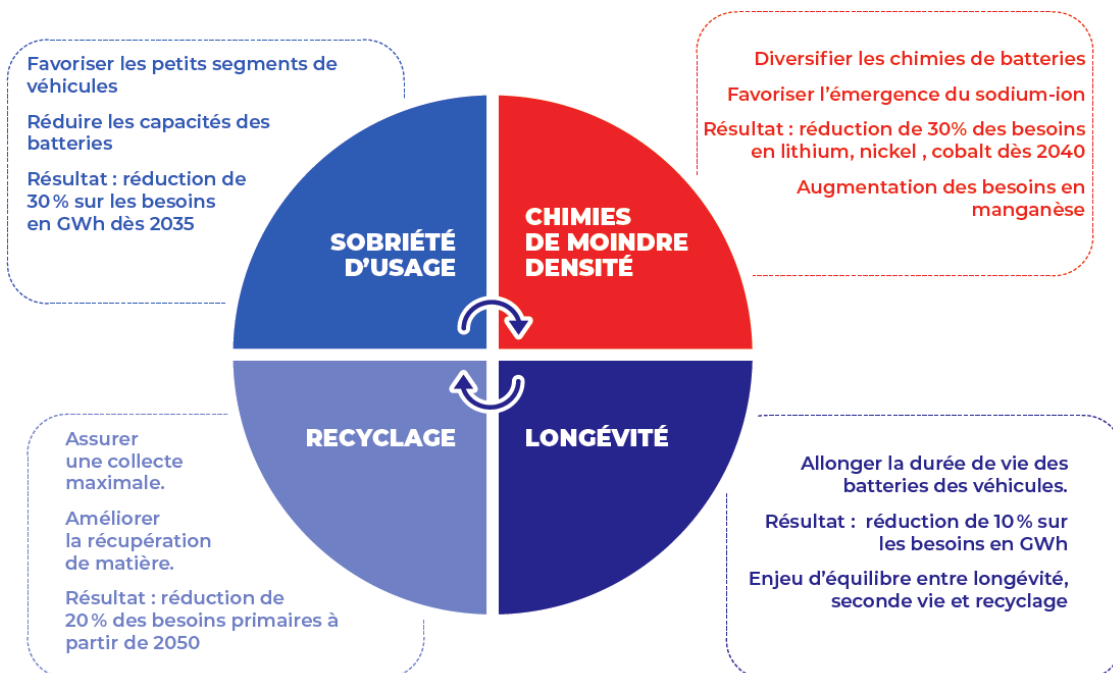


*Sobriété : nombre de véhicules équipés avec 100 kWh de batteries – fourni par l’auteur*

### L’efficacité dans l’usage des métaux

En complément des leviers permettant une réduction des besoins en batteries, l’[OFREMI](#) présente les principaux leviers de réduction des besoins en matériaux critiques en 4 grands axes :

- La **sobriété d’usage** dans la mobilité, déjà évoquée ci-dessus ;
- Le report vers d’autres **chimies** de batteries qui nécessitent moins de certains métaux critiques (abordées en question 1 et 10) ;
- L’optimisation de la **longévité** des batteries, pour limiter les besoins de renouvellement ;
- Et enfin le **recyclage** des batteries en fin de vie, pour limiter les besoins d’extraction de métaux dans les mines à l’avenir.



*Représentation schématique des principaux leviers de réduction des besoins en matériaux critiques pour les batteries de la mobilité électrique française, avec des indicateurs quantitatifs du potentiel d'action, issus de la scénarisation - [OFREMI](#), 2024*

### ***La sobriété, une réponse simultanée à de nombreux enjeux***

Le potentiel de ces différents leviers, surtout s'ils sont combinés entre eux, peut permettre des gains majeurs. Leur principal avantage est de réduire les besoins de métaux à la base, et ainsi offrir une réponse simultanée à de nombreux enjeux évoqués dans l'article, et notamment :

- L'**impact carbone** (question 2) et les autres impacts **environnementaux** (Q3) associés à la fabrication des batteries ;
- Les enjeux **sociaux** et de **gouvernance** (Q3) en lien avec l'extraction des matières premières, leur transformation et la fabrication des batteries ;
- De relâcher les contraintes sur les **besoins en métaux** critiques, notamment pour les risques de défauts d'approvisionnement ou de hausses de prix à court terme (Q4) ;
- Les enjeux **géopolitiques** et de **dépendance** vis-à-vis de pays extracteurs et raffineurs de métaux ou impliqués dans la fabrication des batteries et ses composants (Q5) ;
- Enfin, la sobriété des véhicules et plus largement des mobilités permet de **réduire le coût financier** de l'électrification et de la transition, que ça soit pour les ménages ou les finances publiques (Q9).

## 12) Conclusions

Au terme de cet article (bien plus long que l'ambition initiale...) de décryptage des enjeux liés aux batteries de véhicules électriques, on peut essayer de dégager trois grandes conclusions pour les débats et questionnements à ce sujet.

**Premièrement, le sujet est vaste et complexe.** Surtout, il mêle de très nombreux enjeux, ce qui fait qu'il n'existe souvent pas de réponse simple aux questions qui se posent. Regarder ce sujet seulement sous l'un des angles ou des enjeux (qu'il soit technologique, climatique, géopolitique, économique ou de mobilité) ne peut suffire pour embrasser toute la diversité des questionnements et des réponses à apporter.

**Deuxièmement, le sujet des véhicules électriques et des batteries doit être mis en comparaison avec les véhicules thermiques et le pétrole.** Ainsi de nombreux reproches parfois légitimes sont faits aux batteries de véhicules électriques : elles consomment beaucoup de ressources, nous rendent dépendants de l'étranger, coûtent cher, ne sont pas recyclables, ont des impacts importants sur l'environnement, des risques d'incendie, etc. Beaucoup de communications sur ces sujets relèvent de la mésinformation (erreurs) voire de la désinformation (quand elle est intentionnelle). Car la comparaison de ces inconvénients entre l'électrique et le thermique permet de se rendre compte que bien souvent l'électrique s'en sort mieux sur ces enjeux, et explique la promotion de l'électrification, encore trop souvent incomprise ou rejetée.

**Enfin, les batteries de véhicules électriques sont au cœur d'un paradoxe entre besoin de croissance et... besoin de sobriété.** Au vu des interactions entre de nombreux enjeux, cet objet vient questionner notre modèle de développement, de société, avec ses objectifs prioritaires et ses contradictions. Ainsi, le développement des batteries et des véhicules électriques constitue une formidable opportunité pour réduire la dépendance au pétrole dans les transports et ses impacts. En ce sens, son développement doit être encouragé et même accéléré. Et dans le même temps, de nombreux impacts en lien avec ces batteries invitent aussi à questionner les besoins, et à miser sur la sobriété pour réduire les besoins en batteries.

**Viser une forte électrification des transports, tout en contenant les besoins en batteries : tel est l'apparent paradoxe ou plutôt la difficile équation à résoudre dans cette transition !**

La version PDF de cet article et les autres travaux d'Aurélien Bigo sur la transition des transports sont disponibles via cette [page du site de la Chaire Energie et Prospérité](#).