



OFREMI

OBSERVATOIRE FRANÇAIS
DES RESSOURCES MINÉRALES
POUR LES FILIÈRES INDUSTRIELLES

LES MATÉRIAUX CRITIQUES DES BATTERIES POUR LA MOBILITÉ ÉLECTRIQUE FRANÇAISE

ÉTUDE PROSPECTIVE
POUR LA
QUANTIFICATION DES
BESOINS MATIÈRES

DÉCEMBRE 2024

INTRODUCTION ET PRÉSENTATION DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE

OFREMI a été sollicité dans le cadre du soutien à la Stratégie Française Énergie Climat¹ pour quantifier les besoins en matériaux critiques selon les scénarios de développement du parc de véhicules électriques en France sur la période 2020 à 2050, qu'il s'agisse de véhicules légers - particuliers (VP) et utilitaires (VUL) - et de poids lourds (PL), en ciblant les matériaux critiques composant les batteries de stockage d'électricité de type lithium-ion : lithium, nickel, cobalt, manganèse, graphite.

Ces matériaux sont au cœur des batteries des véhicules électriques.

Le scénario de référence repose sur la trajectoire de la planification écologique permettant d'atteindre les objectifs de décarbonation fixés à l'échelle de la France et de l'Union européenne.

La baisse de nombre de véhicules vendus, observée en *figure a* est la conséquence de l'allongement de durée de vie entre 2025 et 2035 : de 12 à 18 ans pour les VP et les VUL, de 8 à 12 ans pour les PL.

Dans le scénario de référence, les batteries Li-ion se répartissent entre deux familles de chimies principales : les NMC (nickel manganèse cobalt), intensives en matériaux critiques et denses en énergie, prédominantes sur tous les segments, dont les parts de marché vont progressivement réduire de 80% à 40% des ventes en 2050 ; les chimies de moindre densité (lithium fer phosphate mais aussi lithium manganèse fer phosphate), moins gourmandes en matériaux critiques et moins chères, qui vont gagner des parts de marché, de 20% à 35% des ventes en 2050. Enfin une troisième famille de chimies, les tout-solides (avec anode en lithium métal ou en silicium), fait une discrète apparition (environ 10% des ventes en 2050).

Dans ce contexte, les capacités annuelles de batteries nécessaires pour équiper les véhicules électriques vendus en France vont ainsi représenter 100 GWh en 2030, 160 GWh en 2035 et 130 GWh en 2050. Ces besoins sont globalement en phase avec le cumul des projets de gigafactories annoncés en France, sous réserve de leur réalisation. Cette demande est majoritairement conduite par les véhicules particuliers compacts et familiaux, qui captent 80% en 2030 et 70% en 2050 des capacités installées.

¹ www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/23242_Strategie-energie-climat.pdf

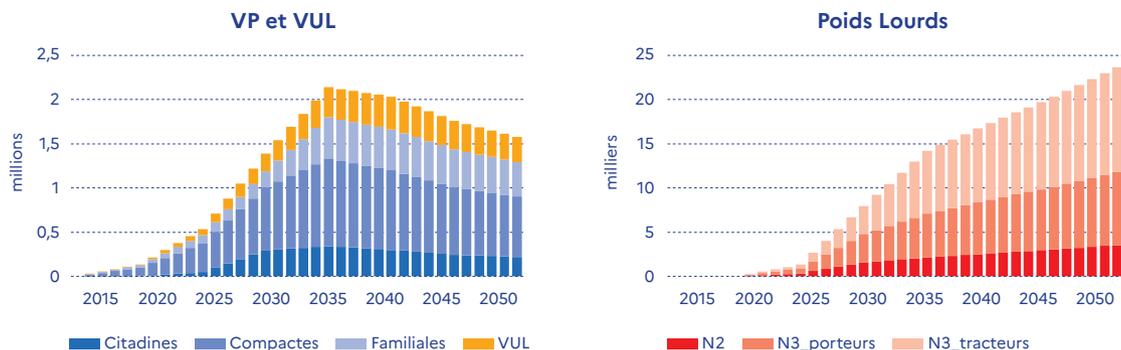


Figure a — Les ventes annuelles prospectives de véhicules tout-électriques, en millions d'unités de véhicules légers (VP et VUL) et en milliers d'unités de poids lourds (PL), par segment.

LES BESOINS MATIÈRES ÉQUIVALENTS À LA MOBILITÉ ÉLECTRIQUE FRANÇAISE

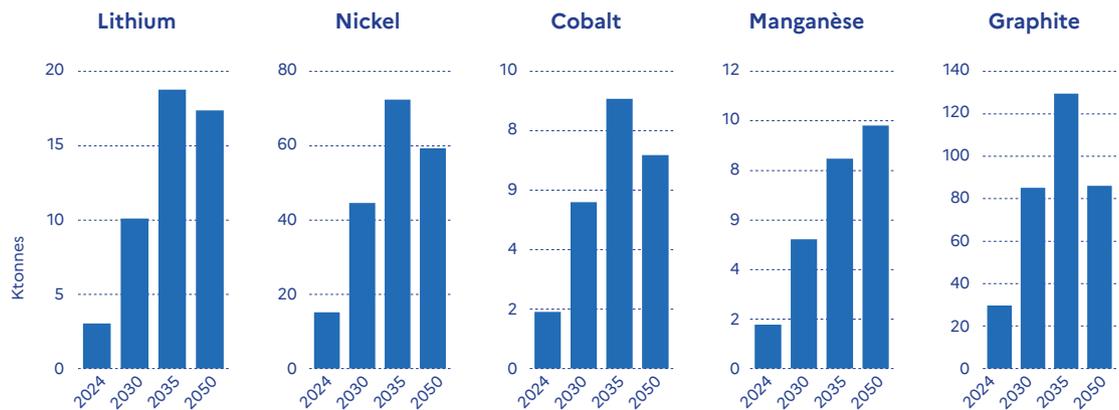


Figure b — La demande en matériaux critiques contenus dans les batteries des véhicules électriques vendus chaque année en France pour renouveler le parc automobile (Indépendamment du lieu de fabrication)

En se basant sur les intensités matières des différents types de batteries², les besoins en métaux pour électrifier la mobilité française représentent à leur maximum 19 kt de lithium élémentaire (100 kt LCE³, 115 kt LHM⁴), 72 kt de nickel, 9 kt de cobalt, 10 kt de manganèse, et 130 kt de graphite. Le lithium et le manganèse sont présents dans les 3 familles de batteries considérées ici, ce qui en fait des éléments peu substituables. Ce sont aussi ceux pour lesquels, après 2035, la demande reste stable ou augmente, malgré la diminution des ventes de batteries. En revanche, le nickel et le cobalt

sont essentiellement utilisés dans les batteries NMC. Une évolution des parts de marché des batteries vers davantage de chimies de moindre densité permet de réduire les besoins d'approvisionnement sur ces deux métaux. La demande en graphite décroît plus fortement en fin de période par l'intégration de plus en plus répandue de silicium à l'anode. Les batteries tout-solide à anode lithium-métal ou anode tout-silicium s'affranchissent quant à elles totalement du graphite, mais leur développement reste minoritaire. À noter qu'aujourd'hui, une batterie tout-solide à anode lithium-métal consomme environ 4 fois plus de lithium que son équivalent à électrolyte liquide.

² Intensités-matières actuelles et futures évaluées par le CEA-LITEN dans le cadre de sa contribution à l'OFREMI.

³ LCE : Lithium carbonate équivalent.

⁴ LHM : hydroxyde de lithium monohydraté.

LE POTENTIEL POUR LA FILIÈRE DU RECYCLAGE

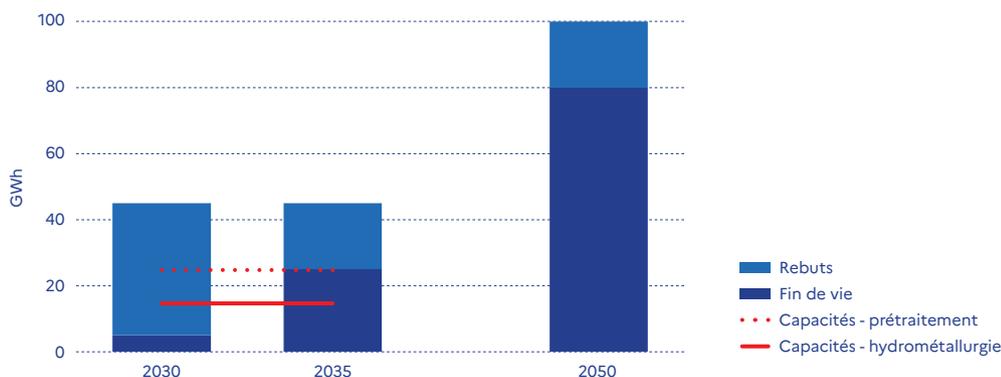


Figure c — Le potentiel de recyclage en France caractérisé par le gisement de déchets disponibles et par les capacités de traitement de la filière française de recyclage, rapportés en GWh de batteries.

Les besoins en usines de recyclage sont à considérer dès le début de la production des gigafactories pour valoriser les rebuts de fabrication, les batteries en fin de vie venant ensuite alimenter ces usines progressivement à partir de 2030. Sur la base de la réglementation européenne ne considérant que le recyclage du nickel, du cobalt et du lithium, et définissant des cibles de réincorporation, la majorité de l'alimentation des usines se fera à partir de matières premières venant de l'industrie minière d'ici 2050. À cette échéance, toujours dans le scénario de référence, 30% du lithium pourrait venir du recyclage des batteries en fin de vie et des rebuts de fabrication, de même que 60% du nickel et du cobalt.

La filière du recyclage est confrontée à deux défis majeurs.

Le premier est la sécurisation du gisement de rebuts de fabrication et de batteries en fin de vie. Plusieurs freins existent, comme les tendances à l'allègement et à la réduction de coûts, qui peuvent rendre difficile voire impossible le démontage de la batterie. Ce dernier doit être facilité par une démarche d'éco-conception. Un autre frein est la vente en leasing (80% des véhicules électriques aujourd'hui vendus), favorisant l'envoi vers une filière de recyclage établie ailleurs dans le monde.

Le second défi est l'atteinte de taux de récupération optimaux des matériaux de ces batteries. La réglementation est centrée sur les matériaux de la cathode NMC, mais une économie circulaire devrait également inclure le graphite et les matériaux de la cathode LFP, indépendamment de la valeur récupérée.

LES LEVIERS IDENTIFIÉS POUR RÉDUIRE LA DEMANDE PRIMAIRE

Les besoins effectifs en matières premières critiques pourraient être inférieurs si l'on met en œuvre différents leviers de sobriété, permettant non seulement de continuer à répondre au besoin de mobilité mais aussi d'avoir une consommation plus durable des matières premières. Une analyse de sensibilité permet de tester des potentiels leviers d'action et d'identifier **les quatre meilleures pistes** de réduction des besoins en matières premières :

Sobriété d'usage : Le premier levier est d'agir directement sur les capacités de batteries qui alimentent la mobilité, en réorientant les ventes vers les plus petits segments de véhicules, et en diminuant les capacités des batteries dans chaque segment. Ces objectifs ambitieux demandent d'adapter les comportements de déplacement.

Chimies de moindre densité : Le deuxième levier est d'agir sur le choix de chimies pour les batteries, en faisant évoluer les parts de marché vers une plus grande pénétration des chimies moins intensives en matériaux critiques (qui sont aussi de moindre densité). Cette transition vers des chimies moins intensives s'amorce déjà, sous l'impulsion chinoise. L'enjeu est qu'elle ne mette en danger ni le rythme de la transition, ni une certaine souveraineté et compétitivité de l'industrie européenne des batteries, ni le modèle d'économie circulaire de la mobilité électrique.

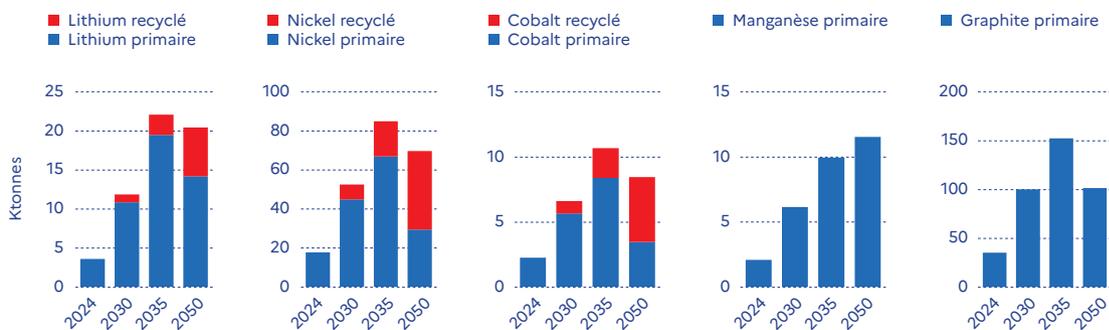


Figure d — La demande⁶ en matériaux critiques pour fabriquer les batteries des véhicules électriques vendus chaque année en France. Cette fabrication inclut des pertes (les rebuts des gigafactories) La quantité de matière nécessaire est donc supérieure à la figure b.

⁶ Cette demande pour la fabrication peut être approvisionnée par de la matière recyclée, à partir des rebuts et véhicules en fin de vie, et complétée par de la matière primaire, issue de mines et usines de raffinage.

Longévité accrue : Un autre levier est d’agir sur la fin de vie des batteries. La durée de vie dans le cas de référence plafonne en 2035, à 18 ans pour les VP-VUL et 12 ans pour les PL. En actionnant ce levier de longévité, on propose de tester un allongement de la durée de vie des VP-VUL et de leur batterie à 20 ans en 2035 et 23 ans en 2050, et pour les PL à 13 ans puis 15 ans. Cet allongement de la durée de vie des véhicules électriques permet une réduction des ventes annuelles pour le même service rendu : en 2050 c’est un demi-million d’unités vendues en moins dans l’année, soit 12 GWh de batteries qui permettent de réduire de 10 % les besoins matières. Le parc garde une taille constante mais est renouvelé moins rapidement, donc le gisement annuel de batteries à recycler est réduit, ce qui limite la ressource secondaire disponible pour la réincorporation : en 2036 les taux de réincorporation baissent de 25 % à 18 % pour le nickel et le cobalt, et de 13.5 % à 10.5 % pour le lithium.

Or la Commission Européenne fixe des cibles de réincorporation dès 2031. Pour éviter un effet contreproductif, celles-ci ne doivent pas inciter à écourter la vie des batteries et véhicules pour augmenter la ressource.

Recyclage optimisé : Une fois la batterie utilisée à son optimum, le dernier levier à mobiliser, bien qu’à plus long terme (supérieur à 15 ans) est d’atteindre en fin de vie une récupération optimale des matériaux de batteries.

Pour développer une filière de recyclage efficace et performante, les principaux axes sont : assurer une collecte maximale, améliorer l’éco-conception et soutenir l’adaptabilité des outils industriels au recyclage des différentes technologies. Des mesures incitatives et contraignantes doivent être mises en place pour garder sur le territoire les batteries en fin de vie, les rebuts de fabrication, et les matériaux issus du recyclage.

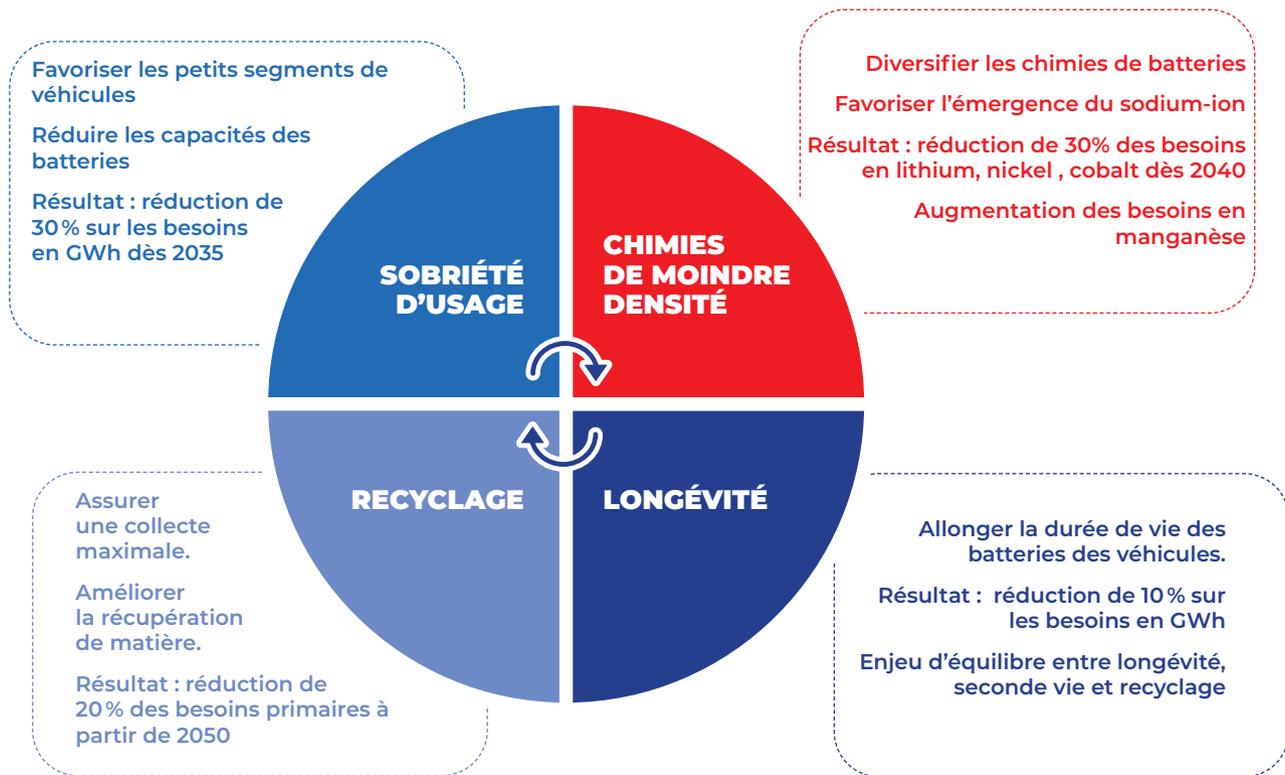


Figure e — Représentation schématique des principaux leviers de réduction des besoins en matériaux critiques pour les batteries de la mobilité électrique française, avec des indicateurs quantitatifs du potentiel d’action, issus de la scénarisation.



OFREMI

OBSERVATOIRE FRANÇAIS
DES RESSOURCES MINÉRALES
POUR LES FILIÈRES INDUSTRIELLES

communication@ofremi.fr

www.ofremi.fr



Accédez rapidement
à la page LinkedIn
de l'OFREMI

