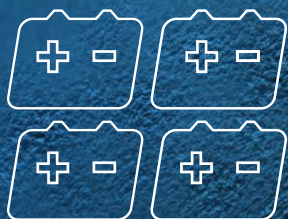


Filière
des batteries
lithium-ion

Développer un
secteur porteur
d'avenir pour
l'économie du
Québec

Avril 2019



propulsion
Québec

Grappe des
transports électriques
et intelligents

À propos de Propulsion Québec

Propulsion Québec mobilise tous les acteurs de la filière autour de projets concertés ayant pour objectif de positionner le Québec parmi les leaders mondiaux du développement et du déploiement des modes de transport terrestre favorisant le transport intelligent et électrique.

L'organisation représente plus de 130 membres dont des entreprises, des associations et des organismes publics et parapublics.

L'ambition est qu'à l'horizon 2026, le Québec :

- Soit reconnu comme un leader mondial dans des segments d'activités liés aux transports électriques et intelligents ;
- Mise sur un solide noyau d'entreprises de calibre mondial dans les différents maillons de la chaîne de valeur des transports électriques et intelligents ;
- Devienne un lieu privilégié pour expérimenter ou utiliser les transports électriques et intelligents.

À propos de ce rapport

KPMG a été mandatée par Propulsion Québec afin d'évaluer le potentiel de développement de la filière des batteries lithium-ion au Québec, et, plus spécifiquement, de dégager différentes stratégies que le Québec peut déployer pour se positionner dans ce marché en forte croissance.

Propulsion Québec souhaite remercier KPMG et son partenaire Globberpro, ainsi que les membres du comité de pilotage du projet et l'ensemble des experts rencontrés dans le cadre de l'élaboration de ce rapport pour leurs contributions essentielles.

La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce au soutien financier du Gouvernement du Québec, de la Société de développement économique de Shawinigan et de plusieurs autres partenaires publics et privés.

LE MONDE DES TRANSPORTS ENTRE DANS UNE NOUVELLE ÈRE : celle de l'autonomisation et de l'électrification. Face au défi climatique, de nombreux États et municipalités à travers le monde se dotent d'ambitieux objectifs en matière d'électrification, qui ont pour effet de stimuler la demande pour les véhicules électriques. Leur nombre est ainsi appelé à croître de façon exponentielle au cours de la prochaine décennie – et avec lui, la demande de batteries lithium-ion.

Cette filière se transforme à une vitesse phénoménale, alors que la production de batteries s'impose comme un incontournable pour appuyer la croissance du marché mondial du véhicule électrique. Les entreprises innovantes et de nombreux États l'ont compris : les annonces d'appui et d'investissement se succèdent à un rythme effréné, alors que chacun cherche à se positionner au sein de la chaîne de valeur des batteries lithium-ion.

Le Québec dispose d'atouts formidables pour tirer parti du potentiel extraordinaire de création de richesse et de croissance de cette filière d'avenir. L'accès à une diversité de minerais stratégiques et notre proximité aux constructeurs automobiles américains et ontariens permettent d'envisager avec grand optimisme le développement de ce secteur d'activité clé. La présence d'un noyau d'entreprises réparties à travers les différents maillons de la chaîne de valeur de la batterie lithium-ion, notre savoir-faire dans le développement et l'assemblage de véhicules électriques spécialisés et notre expertise en recherche constituent aussi des facteurs d'attractivité importants.

La compétition mondiale s'annonce toutefois féroce et la fenêtre d'opportunité pour s'imposer dans ce créneau d'avenir, relativement courte. En Europe, en Asie et en Amérique du Nord, plusieurs États posent des gestes concrets pour soutenir avec vigueur le développement de cette filière sur leur territoire.

Afin de tailler sa place au sein de cette industrie en croissance, le Québec doit agir rapidement. Les acteurs de la filière et les différents paliers de gouvernement doivent se rallier autour d'une vision rassembleuse et ambitieuse et réunir les conditions de succès pour le développement

de cette filière. Cette étude dégage différentes stratégies que le Québec peut déployer pour se positionner dans ce marché. Nous avons collectivement une opportunité de bâtir sur un momentum extraordinaire dans une perspective d'indépendance énergétique et de développement régional. Il nous appartient de la saisir.



Sarah Houde

Présidente-directrice générale
Propulsion Québec, la grappe des transports électriques et intelligents

Table des matières

•	Sommaire	6
•	Cinq grands constats émergent de l'étude	7
////////////////////////////////////		
1	Un marché nord-américain et mondial en forte croissance, influencé par l'essor des transports électriques	8
1.1	L'évolution de la demande en batteries lithium-ion	9
1.2	Les batteries lithium-ion : une technologie solide et pérenne	11
1.3	Une chaîne de valeur mondiale confrontée à des défis de transport et d'approvisionnement	13
////////////////////////////////////		
2	Le marché du recyclage de batteries lithium-ion	20
2.1	L'évolution de la demande en matières premières recyclées	21
2.2	Des technologies de recyclage novatrices en développement	21
2.3	L'émergence du marché du recyclage : une question d'approvisionnement et de durée de vie des batteries	26
////////////////////////////////////		
3	Les atouts du Québec	29
3.1	L'écosystème québécois de la filière des batteries lithium-ion	30
3.2	Les forces, faiblesses, et opportunités pour le Québec	33
////////////////////////////////////		
4	Recommandations pour le développement de la filière au Québec	35
4.1	Stratégies pour le développement de la filière	36
4.2	Principaux facteurs de localisation des usines	38
////////////////////////////////////		
•	Conclusion	39
•	Bibliographie	42

Sommaire

La filière mondiale des batteries lithium-ion se transforme à une vitesse accélérée. Entre le moment où KPMG a initié la réalisation de cette étude (à l'automne 2018) et le moment où il la finalisait (hiver 2019), la capacité de production annoncée de cellules de batteries lithium-ion à l'échelle mondiale pour 2028 est passée de 1 102 GWh à 1 559 GWh, soit un bond de 40 % en l'espace de cinq mois ! Derrière cette course à l'ajout de capacité de production de cellules, c'est l'ensemble de l'industrie automobile qui se transforme. Bien que l'ampleur et la vitesse

de cette transformation demeurent incertaines, il est indéniable que les véhicules électriques représenteront une part significative du parc de véhicules passagers sur la prochaine décennie. Plusieurs pays, États fédérés et régions du monde ont récemment annoncé des mesures visant à soutenir le développement de la filière des batteries lithium-ion sur leur territoire. Leurs décideurs y ont décelé, avec raison, un fort potentiel de création de richesse et de croissance.

Au Québec, la filière des batteries lithium-ion compte actuellement un certain nombre de joueurs répartis à travers les différents maillons de la chaîne de valeur.

Au Québec, la filière des batteries lithium-ion compte actuellement un certain nombre de joueurs répartis à travers les différents maillons de la chaîne de valeur. Le Québec peut notamment s'appuyer sur la présence sur son territoire de ressources minérales diversifiées, que certains joueurs cherchent

aujourd'hui à valoriser en les transformant en matériaux de « grade batterie ». Le Québec dispose aussi d'un savoir-faire dans le développement et l'assemblage de véhicules électriques spécialisés comme des autobus, véhicules utilitaires, camions et motoneiges, et d'une expertise reconnue en recherche. Cependant, la province compte peu de joueurs actifs dans la fabrication de composantes et de cellules pour les véhicules électriques et qui rayonnent au-delà de certains sous-secteurs bien précis.

La popularité croissante des véhicules électriques, dont les ventes pourraient être multipliées par 26 d'ici 2030, viendra également bouleverser la structure de la filière du recyclage. Alors que le recyclage de batteries lithium-ion est actuellement peu développé et essentiellement organisé autour d'installations centralisées permettant d'atteindre un volume suffisant afin de rentabiliser les opérations, des considérations stratégiques (accès aux matières premières contenues dans les batteries), écologiques (la nécessité de recycler de façon responsable) et économiques (coûts de collecte et de transport des batteries ainsi que valeur économique contenue dans les batteries) militent en faveur d'un recyclage régional des batteries en fin de vie. On peut donc s'attendre à ce que plusieurs régions du monde cherchent à se positionner dans ce créneau.

Ce rapport présente le potentiel de développement de la filière des batteries lithium-ion au Québec et, plus spécifiquement, évalue le potentiel de mise en œuvre d'une usine de fabrication de cellules de batteries ou de composantes ainsi qu'une usine de recyclage de batteries lithium-ion.

Cinq grands constats émergent de l'étude

1

Le Québec possède une combinaison d'atouts unique.

Le Québec peut bâtir sur ses forces afin de se positionner dans ce créneau stratégique : la présence de matières premières requises pour la production de batteries, une expertise technologique et industrielle mobilisable, l'accès à de l'énergie propre et abondante, des coûts d'exploitation relativement faibles dans un contexte nord-américain, ainsi qu'une proximité relative aux constructeurs automobiles.

2

Des options de développement à privilégier pour le Québec :

a) Procéder à une intégration plus forte et verticale de la filière en renforçant les capacités des producteurs de ressources et de matériaux. **b)** Miser sur l'attraction de partenaires stratégiques et l'établissement de partenariats avec ces derniers pour mettre en place une usine de fabrication de cellules ou de composantes de batteries lithium-ion. **c)** Développer une industrie du recyclage de batteries lithium-ion qui repose sur des procédés hydrométallurgiques robustes (dont le développement est à poursuivre). **d)** Adapter les installations de recyclage en place afin de traiter les batteries lithium-ion en fin de vie (p. ex. : adapter des installations de recyclage qui traitent des déchets industriels par procédés pyrométallurgiques).

3

Ces stratégies peuvent être menées individuellement ou de manière simultanée, notamment parce qu'elles se renforcent les unes les autres.

4

La vitesse d'action est cruciale et la fenêtre d'opportunité, relativement courte, considérant la transformation accélérée de la filière mondiale.

5

Certaines conditions de succès devront être remplies afin de réaliser ce potentiel.

Chaque stratégie de développement de la filière comporte des conditions de succès qui lui sont spécifiques. Le Québec doit adopter une vision rassembleuse pour le développement de cette filière, assurer une plus grande coordination entre les acteurs qui la composent et offrir un appui gouvernemental aux projets porteurs.

1-

*Un marché
nord-américain
et mondial en
forte croissance,
influencé par
l'essor des
transports
électriques*

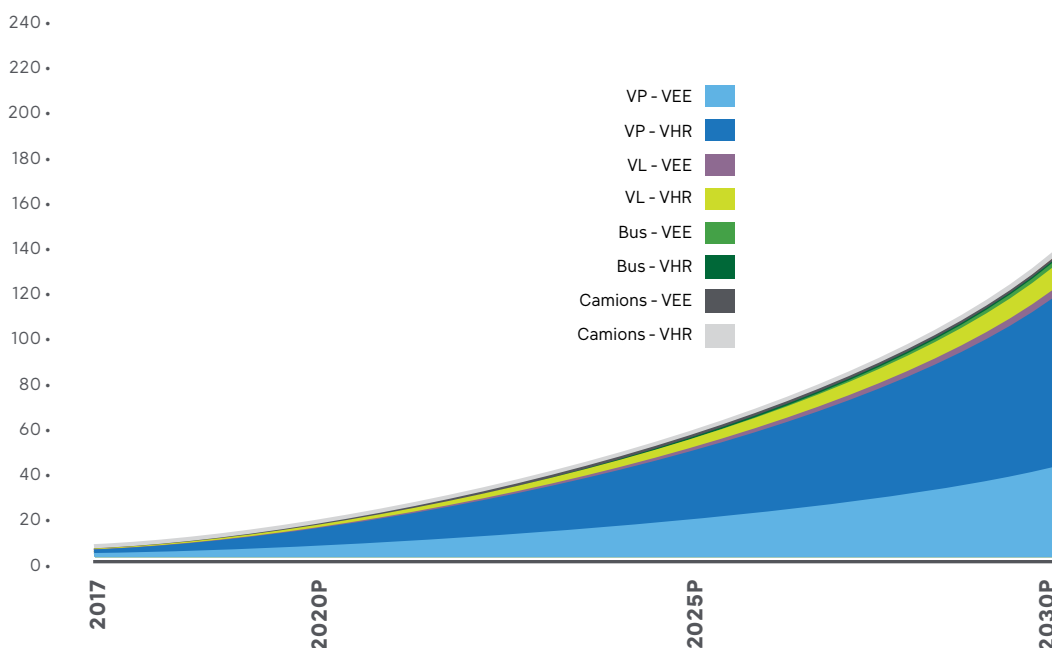


1.1 L'évolution de la demande en batteries lithium-ion

Depuis les années 1990, le marché des batteries lithium-ion s'est principalement développé avec la multiplication rapide des appareils électroniques personnels, comme les téléphones cellulaires. Selon les experts, la demande future de batteries lithium-ion sera toutefois en grande partie déterminée par l'évolution du marché des véhicules électriques, dont on prévoit une très forte croissance au cours de la prochaine décennie.

Évolution du parc mondial de véhicules électriques

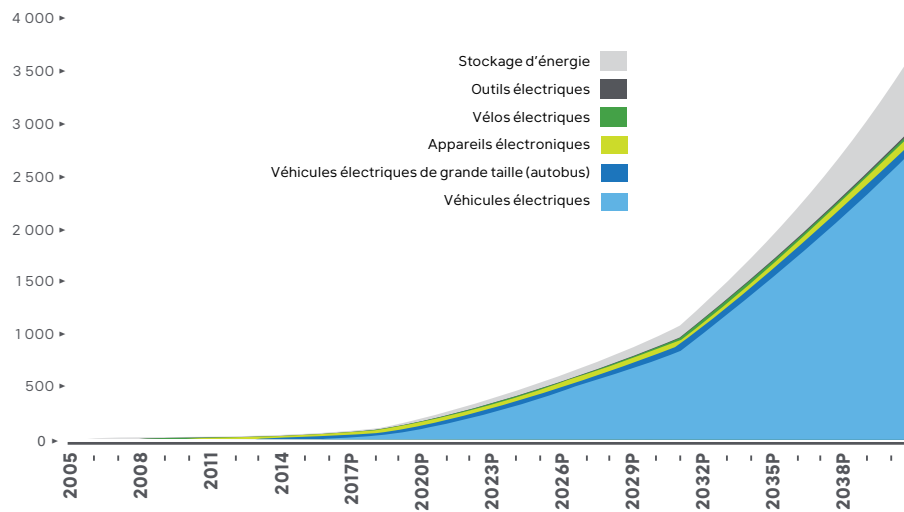
2017-2030P, par type de véhicule, millions d'unités



Les véhicules passagers, qu'ils soient hybrides rechargeables (VHR) ou entièrement électriques (VEE), constitueront non seulement l'essentiel du marché des véhicules électriques, mais aussi de la demande finale de batteries lithium-ion. La demande en batteries pour le stockage d'énergie est appelée à s'accélérer et devrait également représenter une portion non négligeable de la demande finale de batteries lithium-ion. Ces nouveaux usages viennent complètement transformer le marché des batteries lithium-ion.

Demande mondiale de batteries lithium-ion

2005-2040P, par usage final, GWh



Note : Illustration des parts de marché relatives. La demande finale de batteries lithium-ion est empreinte d'incertitudes.

Source : Crédit Suisse 2018

Facteurs influençant le rythme d'adoption des véhicules électriques :

- **L'évolution du coût de fabrication de la batterie, qui a une incidence sur le prix de vente final des véhicules électriques ;**
- **Les améliorations technologiques des batteries lithium-ion, qui permettront d'augmenter l'autonomie ou la rapidité de la recharge ;**
- **Les politiques publiques qui seront adoptées ou non par les gouvernements à travers le monde, tels que les incitatifs financiers à l'achat de véhicules électriques, les politiques de développement industriel soutenant le développement de la filière, la réglementation, la fiscalité liée aux émissions de carbone, etc. ;**
- **Le développement de technologies alternatives ;**
- **Le rythme d'adoption des véhicules autonomes, qui a une incidence sur le nombre total de véhicules en circulation ;**
- **L'évolution du prix du pétrole ;**
- **La vitesse de déploiement des infrastructures de recharge.**

Soulignons que les dix pays les plus avancés en matière d'adoption de véhicules électriques ont tous mis en place des mesures afin d'en rendre l'achat plus attrayant pour les consommateurs ou encore afin d'encourager le développement de la filière des véhicules électriques en soutenant les fabricants de batteries ou les constructeurs automobiles. Les objectifs établis par les politiques publiques liées à la protection l'environnement et à la réduction des niveaux de pollution viennent également jouer un rôle important dans l'évolution de la demande¹.

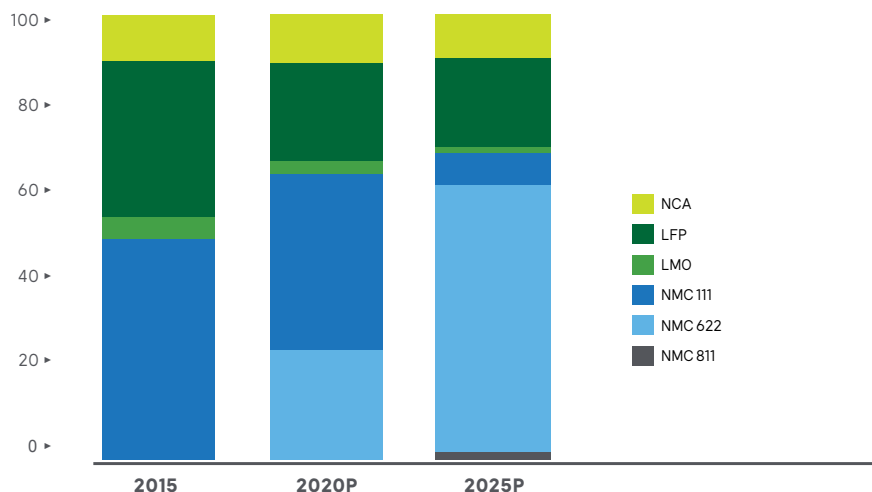
¹ Agence internationale de l'Énergie, *Global EV Outlook 2018*, 2018, p. 22.

1.2 Les batteries lithium-ion : une technologie solide et pérenne

D'abord centrée sur la production de batteries oxyde de cobalt et de lithium (LCO) qui alimentent les appareils électroniques, l'industrie des batteries est aujourd'hui tournée vers les chimies de batteries pour véhicules électriques. Tel qu'illustré sur le schéma ci-dessous, la chimie oxyde de lithium, nickel, manganèse et cobalt (NMC) est actuellement la plus répandue dans le domaine automobile. Selon les experts, la part de marché des chimies NMC passerait de 50 % en 2015 à près de 70 % en 2025², notamment en raison de leur densité énergétique qui permet une plus grande autonomie comparativement aux technologies LFP et une diminution du recours à des matières premières rares et coûteuses, comme le cobalt.

Évolution de la part de marché des principales chimies de cathodes de batteries lithium-ion pour véhicules électriques

2015-2025P, en pourcentage



Source : BMO Capital Markets, 2018

À plus long terme, les entrevues effectuées suggèrent que la technologie pourrait s'orienter vers les technologies telles que les batteries solides (plus sécuritaires), notamment avec des électrolytes en céramique, ou la batterie lithium-soufre ou la batterie lithium-air. Bien que certaines d'entre elles présentent un potentiel intéressant, de nombreuses étapes restent à franchir avant leur commercialisation.

Malgré un dynamisme important en recherche et développement, les possibilités de bouleversements technologiques majeurs à court et moyen termes demeurent limitées, compte tenu de la longueur des cycles de développement et de mise en marché à grande échelle des nouvelles technologies. Le développement et la commercialisation d'une nouvelle technologie peuvent prendre de 13 ans à plus de 26 ans avant qu'un constructeur automobile n'intègre une nouvelle chimie de batterie dans un parc de véhicules³.

² BMO Capital Markets, *The Lithium Ion Battery and the EV Market: The Science Behind What You Can't See* 2018, p. 53.
³ Yole Développement, 2016.

Tableau comparatif des technologies de batteries lithium-ion en développement

NOM	OBJECTIF	DESCRIPTION
NMC améliorées	Remplacer les chimies NMC utilisées actuellement	Les cathodes lamellaires NMC améliorées utilisent moins de cobalt et davantage de nickel, ce qui réduit leur prix. La chimie NMC 622, déjà en commercialisation, et la chimie NMC 811 devraient éventuellement remplacer les chimies NMC plus anciennes.
eLNO – Oxyde de lithium et nickel	Densité d'énergie et puissance améliorées	Les cathodes eLNO sont développées par Johnson Matthey et appartiennent à la même famille que les cathodes NMC. Elles contiendraient moins de cobalt et présenteraient une meilleure densité énergétique et une plus grande puissance, durée de vie et sécurité que les batteries NMC ou NCA. Bien qu'une première commercialisation soit envisagée pour 2022, des doutes subsistent quant à la viabilité de cette technologie, notamment au niveau de la compatibilité de l'électrolyte avec les matériaux utilisés dans la eLNO ⁴ .
Batteries solides	Remplacer les batteries à électrolyte liquide	Les batteries solides remplacent l'électrolyte liquide utilisé aujourd'hui par un électrolyte solide et ininflammable, ce qui réduit considérablement les risques liés aux batteries lithium-ion, en plus de possiblement doubler leur densité énergétique. Elles ne sont toutefois pas prêtes à être commercialisées à grande échelle à cause de leur capacité énergétique encore trop faible. On estime que les batteries solides ne deviendront compétitives en termes de prix qu'autour de 2030, et ce, dans le marché des appareils électroniques. De plus, d'autres enjeux technologiques sont associés aux batteries solides, et tous les matériaux et procédés développés pour les batteries actuelles devront être adaptés à ces batteries.
Batteries lithium-air	Densité d'énergie améliorée	Cette technologie consiste à utiliser l'oxygène présent dans l'air afin qu'il interagisse avec les ions lithium et alimente le véhicule électrique. Elle promet une densité énergétique dix fois supérieure aux batteries utilisées actuellement. La recherche sur les batteries lithium-air en est toutefois à ses balbutiements ⁵ .
Batteries lithium-soufre	Densité d'énergie améliorée	Ce type de chimie utilise des cathodes contenant du soufre et des anodes de lithium, permettant ainsi d'obtenir une batterie à bas coût et haute densité énergétique. Toutefois, de nombreux obstacles technologiques demeurent avant qu'une éventuelle commercialisation soit envisageable.
Batteries lithium-métal	Capacité améliorée	Ces batteries composées d'anodes en métal présentent une capacité potentiellement dix fois supérieure aux anodes utilisées actuellement. Il reste de nombreux enjeux à surmonter avant la commercialisation, notamment sur le plan de la réaction entre le métal et l'électrolyte ⁶ . Il s'agit d'une technologie dans laquelle le Québec a plusieurs réalisations.

Source : analyse KPMG

⁴ Redburn, *Umicore Power Play*, 2018, p. 87.

⁵ RBC Capital Markets, *RBC Electric Vehicle Forecast Through 2050 & Primer*, 2018, p. 30.

⁶ European Commission's Joint Research Center, *Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe*, 2016, p. 23.

1.3 Une chaîne de valeur mondiale confrontée à des défis de transport et d'approvisionnement

La chaîne de valeur des batteries lithium-ion est mondiale et comprend de nombreux acteurs. Certains sont bien établis, comme les grands groupes asiatiques ayant pris part à l'essor de la batterie lithium-ion dans les années 1990, parmi lesquels Panasonic, LG Chem ou Samsung, les constructeurs automobiles (BMW, Mercedes) ou encore les géants miniers comme Glencore, Vale, Anglo ou Rio Tinto. D'autres joueurs sont entrés plus récemment sur ce marché ; certains ont connu une croissance significative au cours des dernières années (p. ex. : Tesla) tandis que d'autres tentent actuellement de percer le marché (p. ex. : Northvolt).

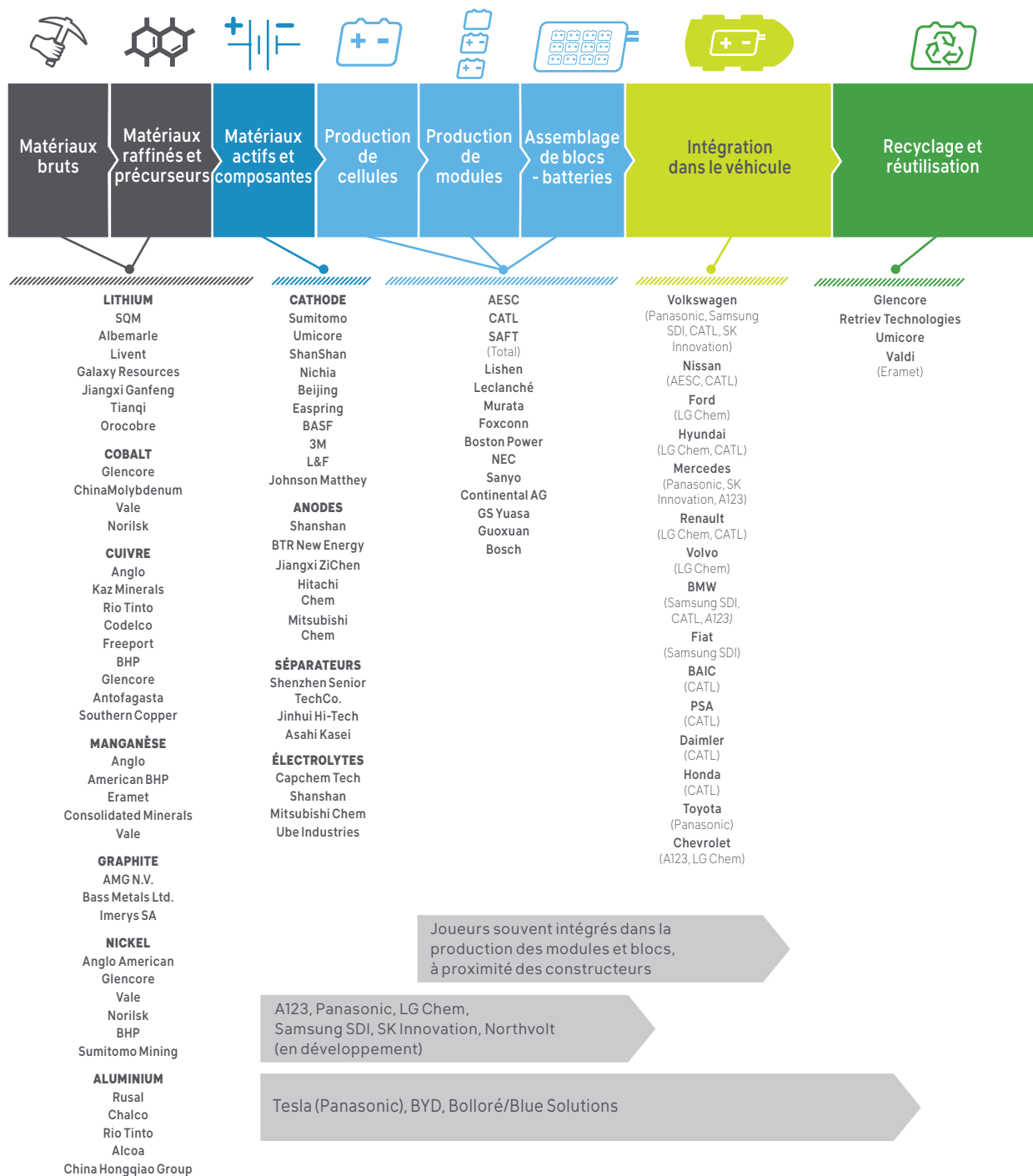
Le maillon des matériaux bruts est dominé par plusieurs grands joueurs principalement britanniques, australiens, chiliens, américains et chinois. Les fabricants de composantes et de matériaux actifs sont essentiellement concentrés en Asie, tout comme les fabricants de cellules. À l'exception de quelques joueurs, ils sont relativement peu intégrés. Les constructeurs automobiles ont tendance à effectuer eux-mêmes ou à sous-traiter l'assemblage des blocs-batteries à l'intérieur même des usines d'assemblage de véhicules ou à proximité de celles-ci. Cela est justifié par les difficultés de transport (taille, sécurité) des blocs-batteries ainsi que par la nécessité de répondre aux spécificités des constructeurs. Ces derniers ont généralement des ententes d'approvisionnement, voire des partenariats, avec leurs fournisseurs.

Actuellement, l'intégration verticale demeure relativement limitée au sein de la chaîne de valeur. Généralement, il s'agit d'entreprises fabriquant à la fois certaines composantes (en particulier la cathode, afin d'en assurer la qualité) et des cellules, comme LG Chem, SK Innovation ou Samsung SDI. Parfois, les entreprises vont jusqu'à fabriquer les véhicules : c'est le cas de BYD et Tesla. Enfin, d'autres acteurs, tels Northvolt et Umicore, intègrent également la phase de recyclage dans leurs activités.

Cependant, la pression accrue sur la réduction des coûts de fabrication de la batterie lithium-ion par les constructeurs automobiles pourrait inciter les joueurs actuels à accroître leur intégration verticale afin de sécuriser l'approvisionnement, contrôler des ressources de fabrication, récupérer des marges versées aux fournisseurs et assurer un meilleur contrôle sur la qualité du produit final.



Principaux acteurs de la chaîne de valeur mondiale des batteries lithium-ion pour véhicules électriques



* Certains acteurs peuvent également procéder à l'assemblage de blocs-batteries

Source : Analyse KPMG

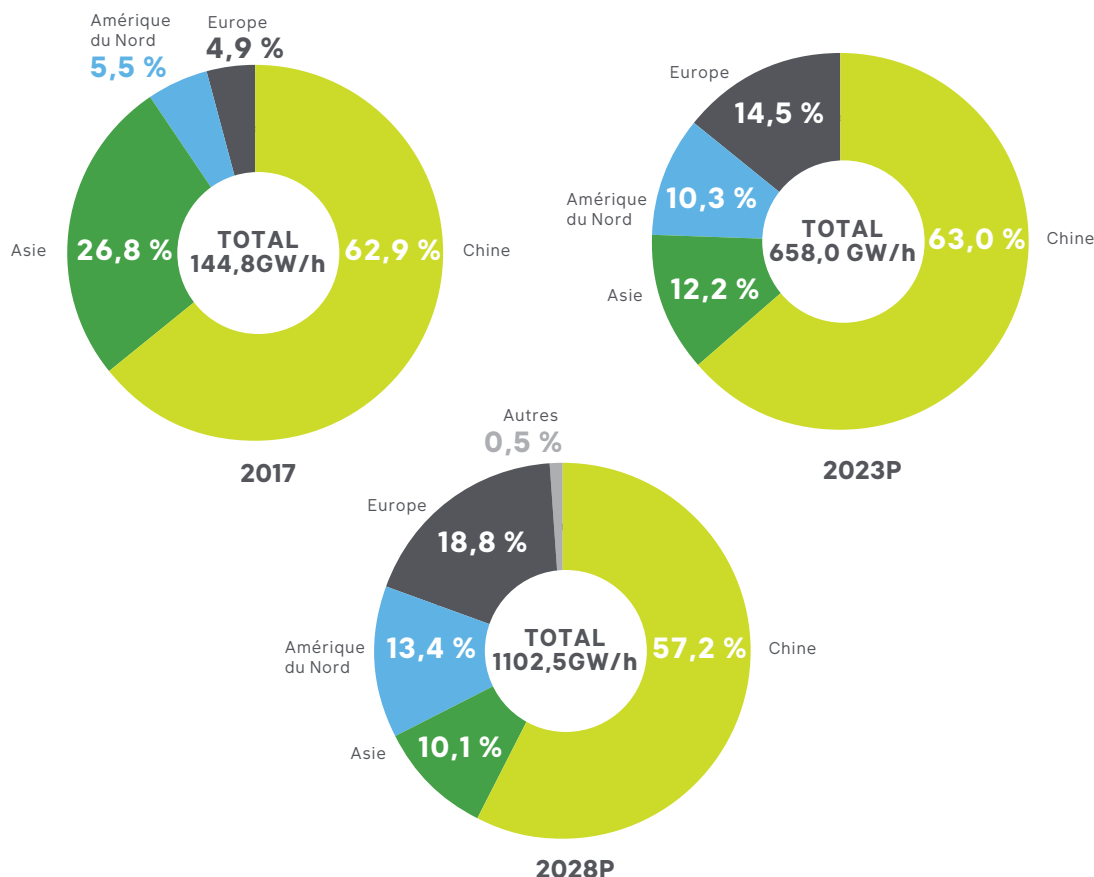
Une course à l'ajout de capacité de production de cellules de batterie lithium-ion à l'échelle mondiale

Dans plusieurs régions du monde, la production de véhicules électriques tend à suivre les ventes de batteries lithium-ion. Ceci est particulièrement vrai en Chine et en Europe. En Chine, la production de batteries lithium-ion est à peu près équivalente à la production et aux ventes de véhicules électriques. L'Europe et les États-Unis n'ont actuellement pas la capacité de production de cellules lithium-ion nécessaire pour répondre aux besoins des constructeurs automobiles présents sur leur territoire; ensemble, ils représentent environ 40 % de la production de véhicules électriques (de manière cumulative jusqu'en 2017)⁷, mais seulement environ 10 % de la capacité de production mondiale de cellules. Ce sont donc des importateurs nets de cellules de batteries lithium-ion.

Afin de répondre à la très forte croissance prévue de la demande en batteries lithium-ion et de se positionner rapidement dans le marché, plusieurs acteurs de l'industrie se sont lancés dans une course à l'ajout de capacités de production de cellules. Ceci peut impliquer la construction de nouvelles usines ou encore l'augmentation des capacités de production d'installations existantes. Les annonces récentes laissent présager une capacité mondiale de production de cellules qui pourrait être multipliée par 10 entre 2017 et 2028.

Capacités actuelle et annoncée de production de batteries lithium-ion à l'intérieur de méga-usines, septembre 2018

2017 à 2028, par région, en GWh



Source : Benchmark Mineral Intelligence, 2018

⁷ International Council on Clean Transportation, *Power Play: How Governments Are Spurring The Electric Vehicle Industry*, 2018, p. 25.

Le développement de l'industrie s'opère à une vitesse fulgurante, et l'engouement des joueurs existants est clair : entre le moment où KPMG a amorcé ses travaux, à l'automne 2018, et février 2019, la capacité de production annoncée pour 2028 est passée de 1102 GWh à 1549 GWh. Il s'agit un bond de 40 % en cinq mois. Avec ces ajouts majeurs de capacité de production de cellules déjà annoncés, l'approvisionnement en matériaux d'anodes et de cathodes représentera un enjeu d'importance pour les fabricants de cellules. L'accroissement des capacités de production de lithium, cobalt, nickel, manganèse et graphite sera également essentiel.

Cinq usines annoncées ou en opération en Amérique du Nord

À la fin janvier 2019, trois usines de production de cellules lithium-ion pour le marché des véhicules électriques d'une capacité de production supérieure à 1 GWh sont en opération en Amérique du Nord, et deux projets d'usines sont annoncés. Deux des usines ont été construites au début des années 2010 et ont vu leur capacité de production augmenter depuis. Par exemple, l'usine de LG Chem au Michigan, qui produit les batteries de la Chevy Bolt, est passée d'une capacité de 1,5 GWh en 2016 à 3 GWh en 2018^{8,9}.

Ces cinq usines ont chacune bénéficié de soutien gouvernemental très important. Par exemple, l'usine de Tesla (qui comprend également la fabrication des véhicules) a fait l'objet d'incitatifs fiscaux évalués à 1,3 G\$US. Ces incitatifs sont souvent étalés sur plusieurs années, afin de s'assurer que les entreprises réalisent effectivement les promesses d'investissement auxquelles elles se sont engagées.

Incitatifs gouvernementaux observés (non-exhaustif) :

- **Abattement des taxes de vente**
- **Abattement des taxes**
- **Abattement de l'impôt corporatif**
- **Crédits d'impôt**
- **Rabais des tarifs d'énergie**

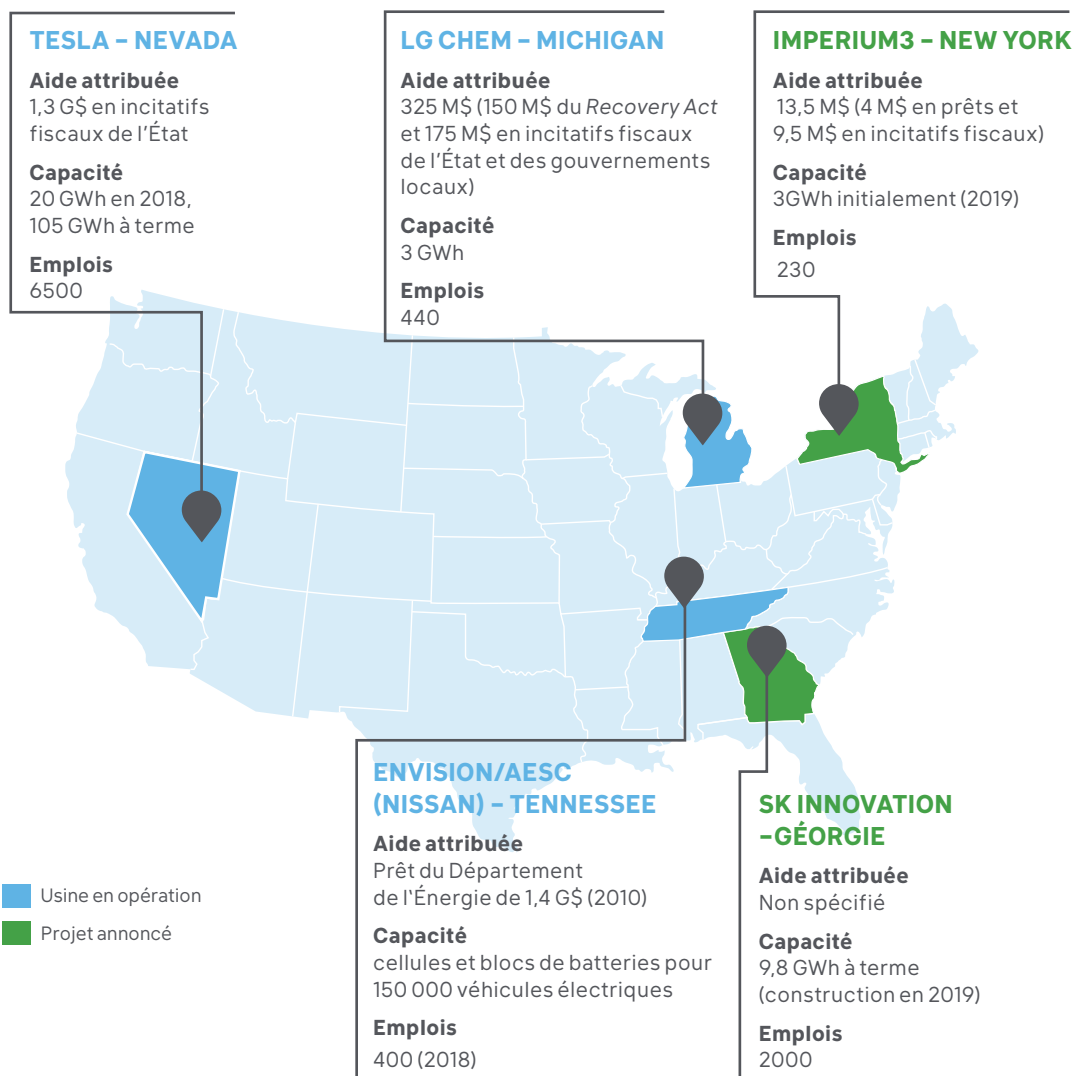
Il existe également aux États-Unis quelques usines ayant une capacité inférieure à 1 GWh (ne figurent pas sur la carte de la page suivante), dont l'usine d'EnerDel (Indiana) d'une capacité de 200 MWh. Enerdel constitue le seul joueur américain complètement indépendant, puisqu'il ne s'appuie pas sur du capital ou des technologies provenant de l'étranger¹⁰.

8 CleanTechnica, *LG Chem Battery Production Ramps Up In Holland, Michigan*, <https://cleantechnica.com/2015/10/28/lg-chem-battery-production-ramps-up-in-holland-michigan/>, consulté le 1er février 2019.

9 Electrive, *LG to augment capacities of its U.S. battery plant*, <https://www.electrive.com/2018/01/06/lg-augment-capacities-u-s-battery-plant/>, consulté le 1er février 2019.

10 Wards Auto, *U.S. EV Battery Capacity Lacking, Expert Warns*, <https://www.wardsauto.com/alternative-propulsion/us-ev-battery-capacity-lacking-expert-warns>, consulté le 4 février 2019.

Méga-usines de fabrication de cellules de batteries aux États-Unis – Aide gouvernementale (\$ US)



Source : Analyse KPMG

Une tendance à l'augmentation des capacités de production par usine

À l'échelle mondiale, on note une tendance à l'augmentation de la capacité de production moyenne des usines de cellules dans l'objectif d'effectuer des gains d'efficacité. Toutefois, la taille optimale d'une usine varie selon les sources consultées. Certaines sources mentionnent que les gains optimaux sont réalisés autour de 20 GWh¹¹, alors que d'autres indiquent plutôt des tailles de 8 GWh à 10 GWh¹².

¹¹ L.E.K., *Fast-Moving EV Battery Market: How to Win Against the Competition?*, <https://www.lek.com/insights/fast-moving-ev-battery-market-how-win-against-competition>, consulté le 2 février 2019.

¹² Electrek, *Northvolt starts construction on first phase of its planned battery gigafactory*, <https://electrek.co/2018/04/27/northvolt-construction-first-phase-planned-battery-gigafactory/>, consulté le 15 janvier 2019.

La capacité annoncée est-elle suffisante pour répondre à la demande prévue ?

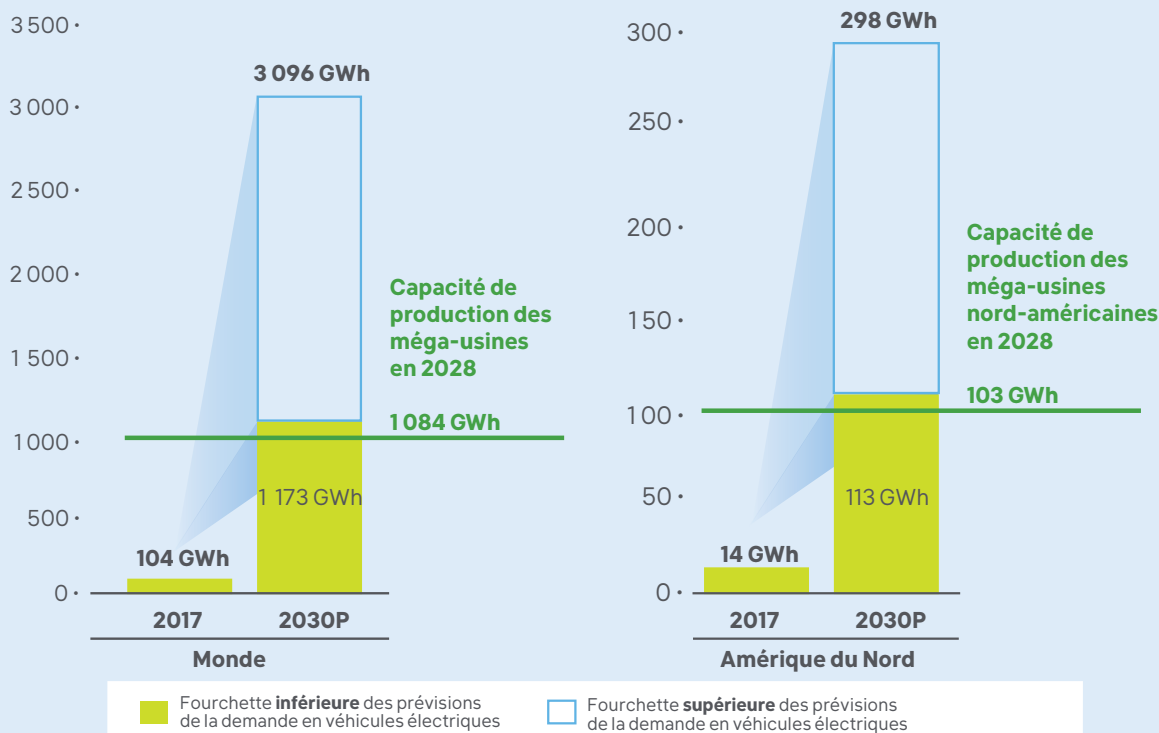
En assumant qu'à l'échelle mondiale (i) 70 % usines annoncées seront construites et complétées à temps (niveau considéré comme réaliste) et que (ii) elles produiront à 100 % de la capacité annoncée, la capacité de production annoncée de 1085 GWh en 2028 répondrait au bas de la fourchette de la demande mondiale en batteries lithium-ion estimée par KPMG pour le marché des véhicules électriques uniquement (ce qui ne tient pas compte de la demande provenant d'autres utilisations, dont le stockage de l'énergie).

Pour l'année 2030, les prévisions de ventes mondiales de véhicules électriques de différents types (hybrides, VHR, VEE) se situent entre 40 et 60 millions de véhicules, respectivement le bas et le haut de la fourchette estimée par KPMG. Le besoin énergétique de ce parc de véhicules dépendra notamment de la taille moyenne de la batterie, qui est estimée entre 30 kWh (hybrides et VHR) et 55 kWh (VEE à grande autonomie). Par exemple, en 2018, les blocs-batteries des véhicules passagers entièrement électriques vendus aux États-Unis affichaient en moyenne 55 kWh.

Une situation similaire prévaut sur le marché nord-américain, où la capacité de production annoncée de 103 GWh en 2028 répondrait également au bas de la fourchette de la demande (schéma à la page suivante). Le marché nord-américain (excluant le Mexique) des véhicules entièrement électriques passerait d'environ 250 000 véhicules en 2018 à environ 2 millions en 2030.

Demande et capacités de production actuelles et prévues de batteries lithium-ion dans le monde et en Amérique du Nord

2017 et 2030p



Source : Benchmark Mineral Intelligence 2018, Analyse KPMG

*La frénésie d'annonces de construction d'usines s'explique par la taille du marché qui s'annonce à l'horizon 2030. **Même si tous ces projets d'usines se concrétisaient, il resterait encore une importante sous-capacité de production par rapport à la demande prévue.** Il est donc encore temps pour de nouveaux joueurs de prendre place dans ce secteur, avec des volumes de production importants. Ce marché représente une opportunité de croissance et de production de richesse dont la taille et la pérennité sont rarement vues.*

2-

*Le marché du recyclage **de batteries lithium-ion***



2.1 L'évolution de la demande en matières premières recyclées

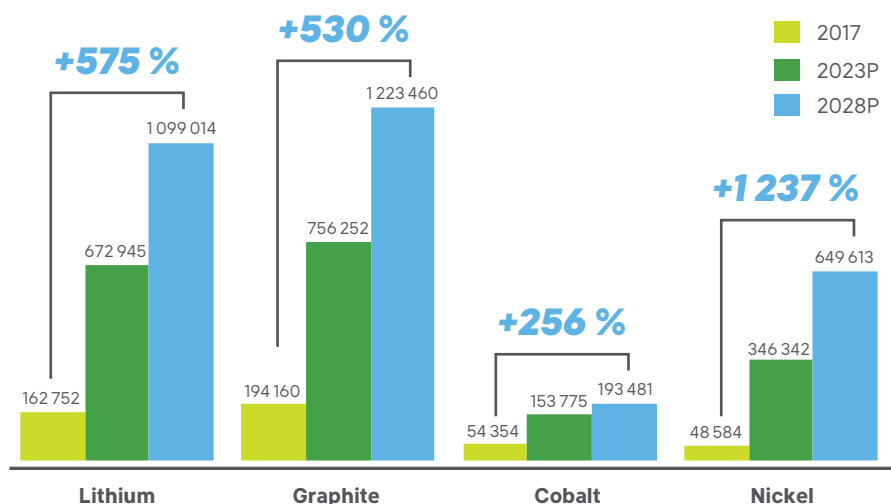
Demande en matériaux de base : très forte croissance prévue

La demande en matières premières pour les batteries lithium-ion devrait être soutenue sur la prochaine décennie, étant donnée la forte croissance prévue de la demande en véhicules électriques.

On estime que la demande en matières premières et matériaux qui entrent dans la fabrication de batteries lithium-ion devrait augmenter de manière marquée au cours de la prochaine décennie — entre 500 % et 1200 % sur 10 ans pour certains matériaux. Un approvisionnement suffisant, stable, éthique et de qualité deviendra ainsi un enjeu de taille pour les fabricants de cellules et de composantes. La capacité de production mondiale installée ne permettra pas de répondre aux besoins de l'industrie des véhicules électriques, du stockage d'énergie et des appareils électroniques.

Demande mondiale prévue en matériaux bruts

Par matériaux, en tonnes



Note : Hypothèse que 70 % des projets annoncés de méga-usines se réalisent à un taux d'utilisation de leur capacité de 100 %

Source : Benchmark Mineral Intelligence, 2019; analyse KPMG

Avec cette forte augmentation prévue de la demande en matières premières, le recyclage et les matières récupérées pourraient être amenés à jouer un rôle important dans la chaîne d'approvisionnement des batteries lithium-ion et constituer une source importante d'approvisionnement en matériaux de batteries. La croissance des ventes de véhicules électriques et l'arrivée massive des batteries en fin de vie qui suivra quelques années plus tard contribuera à alimenter cette filière du recyclage.

Matières premières recyclées : une demande soutenue par des considérations géostratégiques, économiques et environnementales¹³

Des considérations tant géostratégiques, économiques qu'environnementales devraient soutenir la demande en matières premières recyclées à long terme, ouvrant du même coup la voie à d'importantes opportunités d'affaires.

Sur le plan des considérations environnementales, le recyclage à grande échelle des batteries en fin de vie sera nécessaire afin de réduire l'impact de l'industrie automobile électrique. Les batteries lithium-ion sont considérées comme des matières dangereuses qui, sans un traitement approprié et propre, causeront des problèmes majeurs en matière de santé publique et d'environnement. Dans ce contexte, les constructeurs automobiles et l'ensemble des acteurs de la filière des batteries de véhicules électriques auront tout intérêt à assurer une gestion adéquate des batteries en fin de vie.

Sur le plan géostratégique, afin d'éviter une dépendance trop importante vis-à-vis des ressources minières, les pays ou régions pauvres en ressources pourraient favoriser le recyclage afin de créer leurs propres « gisements » alternatifs de matières et réduire le risque de dépendance envers certaines régions productrices.

2.2 Des technologies de recyclage novatrices en développement

Les batteries lithium-ion sont des produits complexes à recycler étant donné la grande variété de chimies et de formats, les risques liés au démantèlement et au manque d'informations (étiquetage). Des procédés de collecte et de recyclage robustes permettant de traiter différentes chimies sont essentiels afin d'assurer un plus grand volume de recyclage et d'augmenter la rentabilité des opérations. Or, les technologies de récupération actuellement déployées à grande échelle ne permettent pas de revaloriser l'ensemble des matières premières contenues dans les batteries.

Les joueurs les plus importants au sein de la filière (dont Umicore en Belgique ou Valdi en France) utilisent des procédés pyrométallurgiques qui ne permettent pas de récupérer la plupart des composantes. Les procédés de type hydrométallurgique donnent de meilleurs résultats en termes de récupération et permettront d'atteindre un réel recyclage, soit une réutilisation de la matière pour faire de nouvelles batteries. Ces procédés sont toutefois actuellement peu matures (en développement, projets pilotes ou à faible efficacité).

Une classification claire des batteries et de leurs composantes rendrait aussi le recyclage plus sécuritaire, mais aussi plus rentable : il est plus facile de connaître la valeur des matériaux d'une batterie si ceux-ci sont correctement identifiés¹⁴. Cependant, cela nécessitera un effort concerté des différents acteurs de l'industrie et/ou une réglementation plus contraignante.

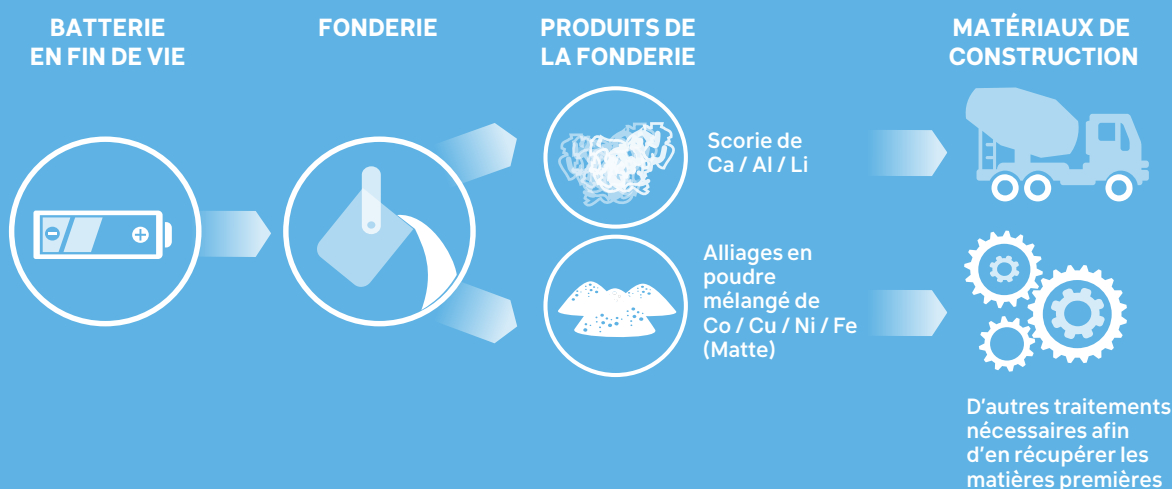
¹³ Berenberg, 2018.

¹⁴ CEC, *Environmentally Sound Management of End-of-Life Batteries from Electric-Drive Vehicles in North America*, 2015, p. 62.

Les différents procédés de recyclage de batteries lithium-ion

Recyclage pyrométallurgique

Ce procédé consiste à faire fondre les composantes de batteries à haute température à l'intérieur d'une fonderie afin d'en extraire les métaux précieux comme le cobalt. La pyrométallurgie ne nécessite pas d'ajustement particulier ou de tri selon la technologie — c'est une opération assez simple. Toutefois, elle consomme beaucoup d'énergie, émet des polluants et ne permet pas la récupération de nombreuses matières, dont le lithium. Le produit sortant de la fonderie est appelé « matte », un mélange de métaux et de sulfure souvent en forme de poudre fine qui nécessite un traitement supplémentaire afin d'obtenir des métaux plus purs.



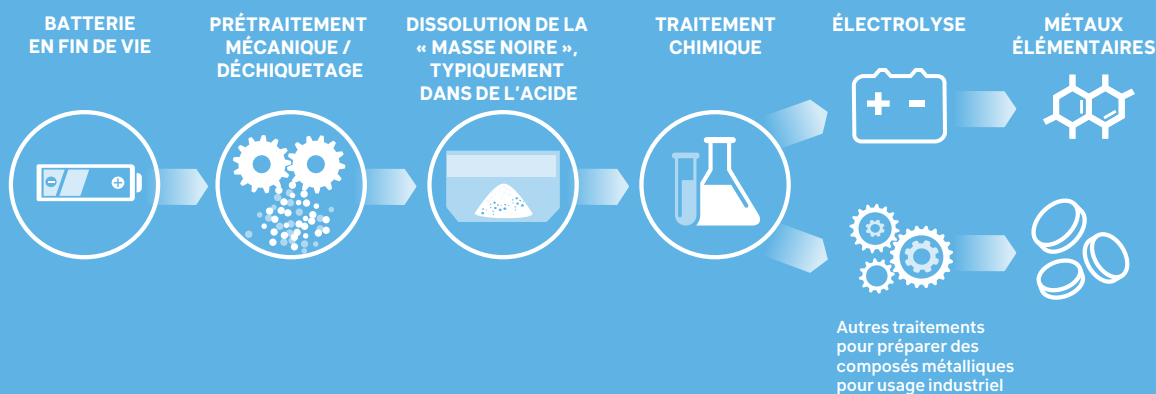
Source : Analyse KPMG

Recyclage mécanique/physique

Ce procédé consiste en un démantèlement physique et en la séparation des composantes de la batterie afin de recueillir un mélange qui contient les métaux (nickel, lithium, etc.). Ce procédé comporte des risques en raison de l'énergie résiduelle présente dans la batterie et est plus difficile à opérer à grande échelle, mais son impact environnemental est plus faible que les autres techniques de recyclage. La « black mass » est l'un des produits du recyclage mécanique/physique, un mélange en flocons contenant l'ensemble des matériaux des électrodes. Pour obtenir des matériaux de plus grande pureté et valeur, un traitement supplémentaire est par la suite nécessaire. Le traitement mécanique/physique précède souvent les procédés hydrométallurgiques.

Recyclage hydrométallurgique

Combinée à un prétraitement manuel des batteries, l'hydrométallurgie permet de récupérer la plupart des métaux et composants non métalliques d'une batterie. Les batteries sont traitées par une solution chimique aqueuse afin de séparer les métaux dissous. Même s'il produit des eaux usées, ce procédé est plus écologique et moins énergivore que la pyrométallurgie.



Source : Analyse KPMG

Autres procédés en développement

D'autres procédés de recyclage existent, comme le recyclage à base de procédés biométallurgiques (utilisant des solvants biologiques), mais ils sont peu utilisés par l'industrie. Ces procédés se trouvent souvent encore au stade de développement et ne pourront être appliqués à l'échelle commerciale avant plusieurs années.

Sources : Berenberg, Umicore, Retrieve, Glencore

Recyclage des batteries lithium-ion : une industrie émergente et une opportunité en or pour le Québec

Le marché du recyclage des batteries lithium-ion est actuellement peu développé. Or, la popularité croissante des véhicules électriques et l'augmentation du nombre de batteries en fin de vie changeront fondamentalement la structure de l'industrie en raison des quantités de matériaux valorisables qu'elles contiennent, sous réserve de procédés de recyclage efficaces et rentables.

Peu de joueurs actifs dans le nord-est des États-Unis et du Canada ont été identifiés. Selon les informations répertoriées par KPMG, on retrouve au Canada seulement deux usines de recyclage de batteries en opération, Glencore et Retrie. Dans le Nord-Est des États-Unis, la compagnie de recyclage coréenne SungEel et la firme américaine Metallica Commodities Group ont annoncé la création d'une coentreprise de recyclage des batteries lithium-ion avec une capacité prévue de 5 000 tonnes par an, et dont l'usine sera située dans l'État de New York¹⁵. Cette usine sera installée sur le même campus technologique qu'une nouvelle usine de fabrication de cellules planifiée par le consortium Imperium3¹⁶.

Selon les entrevues réalisées, au Canada, seule la compagnie Retrie (Colombie-Britannique) semble être en mesure de récupérer les matières premières de façon efficace à travers son procédé de recyclage. Sa capacité s'élève actuellement à 4 500 tonnes par année¹⁷. Dans le cas de Glencore, à Sudbury en Ontario, l'usine de recyclage est une fonderie conçue pour le raffinage des produits du secteur minier, tels le nickel et le cobalt. Les batteries lithium-

ion provenant des véhicules électriques constituent uniquement une source d'approvisionnement marginale. La plus grande partie de la revalorisation finale des matières premières recyclées par Retrie ou Glencore au Canada se fait à l'extérieur de l'Amérique du Nord, en Norvège¹⁸.

À l'instar de ce que l'on observe ailleurs dans le monde, la filière québécoise de recyclage de batteries lithium-ion n'est pas structurée. Les entrevues réalisées par KPMG révèlent que la majorité des batteries (provenant surtout des véhicules accidentés) sont envoyées à la ferraille. Les quelques batteries recyclées le sont par Retrie avec des coûts de transport importants liés à la taille des batteries et à la réglementation en vigueur. De leur côté, les constructeurs de véhicules ainsi que les concessionnaires automobiles ne semblent pas avoir mis en place de structure de recyclage au Canada, compte tenu du faible volume de batteries de véhicules électriques arrivées en fin de vie.

**Le nombre de batteries à
recycler pourrait atteindre
jusqu'à 1,7 million de tonnes
en 2025. La capacité
existante ou annoncée de
traitement pourrait ainsi
être largement dépassée.**

15 Waste 360, *SungEel MCC Unveils Lithium-Ion Battery Recycling Plant*, <https://www.waste360.com/e-waste/sungeel-mcc-unveils-lithium-ion-battery-recycling-plant>.

16 Koffman Southern Tier Incubator, *Imperium3's Battery Factory Is Coming To Endicott Earlier Than Expected*, <https://southerntierincubator.com/imperium3s-battery-factory-is-coming-to-endicott-in-2019/>.

17 Retrie, 2017.

18 Glencore, 2018.

Cependant, des projets d'usines de recyclage de batteries sont en cours de développement au Québec et pourraient être alimentés par le nombre croissant de véhicules électriques qui se retrouvent sur les routes du Québec.

Dans la mesure où une réglementation imposerait un taux de recyclage plus important aux batteries issues de véhicules électriques, le nombre de batteries à recycler pourrait augmenter rapidement dans les années à venir, pour atteindre jusqu'à 1,7 million de tonnes en 2025. La capacité existante ou annoncée de traitement pourrait ainsi être largement dépassée. L'industrie pourrait passer d'un modèle économique aujourd'hui basé sur les frais de traitement à un modèle basé sur la récupération et la revalorisation des matières premières. Le phénomène dépendra largement de l'atteinte d'un volume de batteries en fin de vie suffisamment élevé pour rentabiliser les opérations. Une fois cette taille critique atteinte, les considérations écologiques et économiques (coûts de collecte et de transport) pourraient favoriser un recyclage local des batteries lithium-ion en fin de vie.

L'existence d'une réglementation qui favorise l'adoption des véhicules électriques (amenant ainsi la création d'un parc important de véhicules), un recyclage efficace des batteries en fin de vie (ainsi qu'un bon écosystème de collecte), et la proximité d'un gisement de batteries suffisamment grand (minimisant ainsi les coûts de transport) sont les facteurs clés de localisation pour une future installation de recyclage de batteries lithium-ion pour véhicules électriques. Enfin, les fabricants de batteries pourraient s'entendre sur des standards d'identification des composantes de batteries afin d'assurer un recyclage plus efficace.

2.3 L'émergence du marché du recyclage : une question d'approvisionnement et de durée de vie des batteries

Des gisements futurs importants

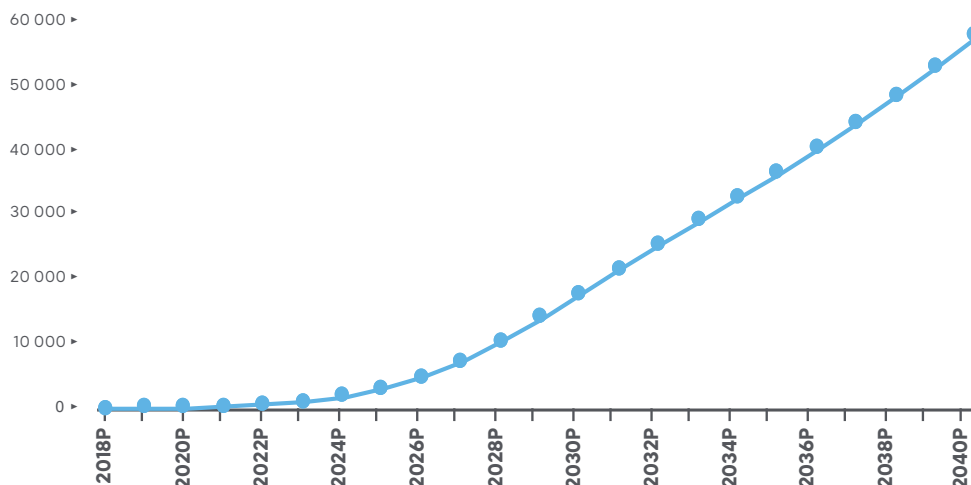
La croissance des activités de recyclage des batteries lithium-ion devrait être principalement soutenue par le volume de batteries en fin de vie issues des véhicules électriques (à partir de 2025-2030, les utilisations aux fins de stockage d'énergie pourraient aussi représenter un vecteur non négligeable de croissance du gisement de batteries). À terme, lorsque la filière sera bien établie, deux facteurs clés détermineront la taille du marché du recyclage : la croissance des ventes de véhicules électriques (et éventuellement de batteries pour stockage d'énergie) et la durée de vie réelle des batteries. Or, il subsiste beaucoup d'incertitude quant à l'évolution de ces deux paramètres sur la prochaine décennie¹⁹.

Pour le Canada, les analyses suggèrent que le nombre de batteries en fin de vie pourrait s'élever entre 140 000 et 210 000 en 2030. Un tel volume nécessiterait des installations pouvant traiter entre 40 000 et 63 000 tonnes, et ce, pour le Canada uniquement. Au Québec, le nombre de batteries en fin de vie pourrait s'élever entre 58 000 et 88 000 en 2030. Pour recycler toutes ces batteries en fin de vie localement, le Québec nécessiterait des installations de recyclage d'une capacité entre 17 500 tonnes et 26 400 tonnes en 2030.

¹⁹ La durée de vie des batteries automobiles lithium-ion est généralement estimée entre 8 et 10 ans. Néanmoins, cette durée de vie n'a pas encore été réellement testée, en raison du faible nombre de véhicules électriques sur le marché avant 2015. Un sondage des utilisateurs Tesla suggère que la durée de vie réelle pourrait même dépasser significativement la durée de vie estimée : selon leurs projections (basées sur des données d'utilisation réelle d'un groupe de plus de 250 conducteurs Tesla), une batterie Tesla conserverait 80 % de sa capacité après une distance parcourue de 800 000 km, ce qui correspond à une durée de vie de la batterie de 40 ans (sur la base de 20 000 km parcourus par année).

Estimations de l'évolution du nombre de batteries en fin de vie — marché québécois

2018P-2040P, batteries en fin de vie, en tonnes

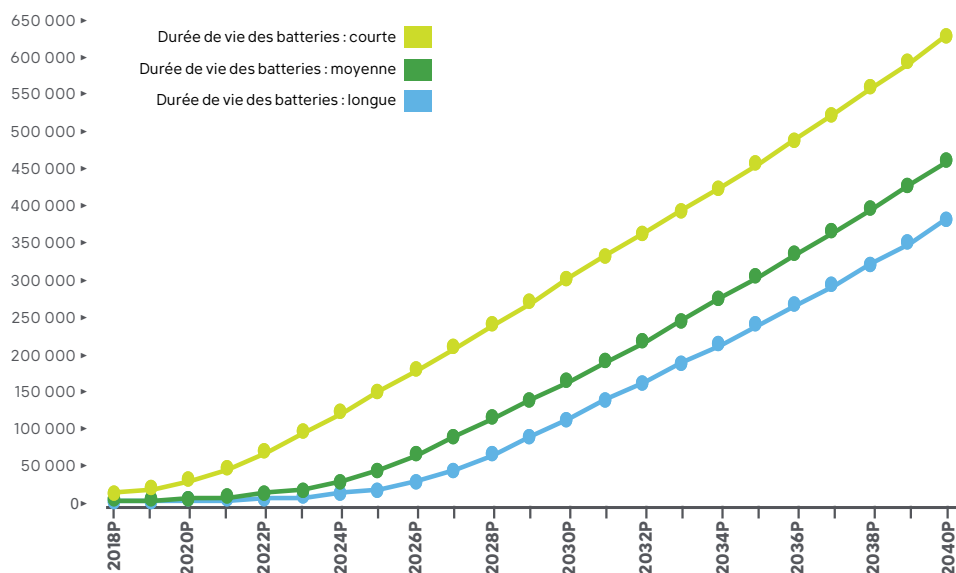


Sources : RBC, FleetCarma, EVadoption, IEA ; Analyse KPMG

Dans le Nord-Est américain²⁰, un bassin que le Québec pourrait potentiellement capter et dont la population s'élève à plus de 170 millions de personnes²¹, le nombre de véhicules électriques vendus pourrait augmenter de plus de 16 % annuellement pour atteindre 1,2 million en 2030. De tels gisements nécessiteraient l'ajout de capacités de recyclage substantielles afin de pouvoir traiter la masse de batteries usagées (entre 160 000 tonnes et 220 000 tonnes par année en 2030), alors que la capacité actuellement installée s'élève à environ 12 000 tonnes par année²².

Estimation de l'évolution prévue du nombre de batteries en fin de vie – Nord-Est américain²³

2018P-2040P, batteries lithium-ion en fin de vie, en tonnes



Sources : RBC, FleetCarma, EVadoption, IEA ; Analyse KPMG

²⁰ Connecticut, Delaware, District of Columbia, Illinois, Indiana, Iowa, Maine, Maryland, Massachusetts, Michigan, Minnesota, Missouri, New Hampshire, New Jersey, New York, North Carolina, Ohio, Pennsylvania, Rhode Island, Tennessee, Vermont, Virginia, Wisconsin.

²¹ United States Census Bureau (2018), Statistiques Canada (2017).

²² Essentiellement les deux installations de Retriev et de Glencore au Canada.

²³ Hypothèses pour les différents scénarios :

- Durée de vie courte = 7,5 ans

- Durée de vie moyenne = 9,5 ans

- Durée de vie longue = 11,5 ans

Plusieurs étapes doivent encore être franchies avant de réellement voir émerger un marché structuré du recyclage des batteries lithium-ion. Les acteurs de l'industrie auront plusieurs défis à surmonter, notamment la gestion de l'approvisionnement en batteries. En effet, non seulement les batteries lithium-ion sont-elles considérées comme une matière dangereuse, elles doivent également être collectées en nombre suffisant pour rendre viable une opération commerciale de recyclage. Toutefois, les estimations du marché du recyclage démontrent que les capacités de recyclage annoncées ne permettront pas de profiter de l'entièreté du gisement de batteries en fin de vie disponible.

Estimations du marché du recyclage des batteries des véhicules électriques

MARCHÉ	Batteries en fin de vie (en milliers de batteries)		Tonnage de batteries en fin de vie (en milliers de tonnes)		Capacité de recyclage (en milliers de tonnes)	
	2025	2030	2025	2030	2019	2024
Mondial	2 627 à 5 761	11 995 à 17 687	788 à 1 728	3 599 à 5 306	87	240
Nord-Est américain	143 à 301	546 à 756	43 à 90	164 à 227	12	21
Canada	25 à 60	143 à 211	7 à 18	43 à 63	12	16
Québec	10 à 21	58 à 88	3 à 7	17 à 26	-	10

Sources : RBC, Berenberg, AIE ; Analyse KPMG

Le réemploi d'une batterie usagée ne semble pas être une alternative viable au recyclage immédiat, mais plusieurs constructeurs sont actifs sur le sujet. Bien que les batteries usagées offrent une durée de vie résiduelle importante, et qu'une grande part de la valeur soit dans l'assemblage, cette reconversion fait face à de nombreux enjeux, notamment sur les plans de la sécurité d'utilisation, des risques de réputation et de la performance par rapport aux nouvelles batteries disponibles sur le marché. De plus, dans certains cas de figure étudiés, la seconde vie (réemploi) n'est pas moins chère que l'utilisation de nouvelles cellules de batterie. Si, à terme, les développements technologiques permettent le réemploi des batteries pour le stockage stationnaire d'énergie, cette pratique viendra uniquement prolonger la durée de vie des batteries, qui devront toujours être recyclées en fin de vie.

3-

Les atouts du Québec



3.1 L'écosystème québécois de la filière des batteries lithium-ion

Un territoire reconnu pour ses ressources et son expertise

En construisant sur ses forces, au nombre desquelles on retrouve des coûts d'exploitation relativement faibles dans un contexte nord-américain, l'accès à de l'énergie propre et abondante, une expertise technologique et industrielle mobilisable ainsi qu'une proximité relative aux constructeurs automobiles américains, des opportunités sont à saisir pour le Québec afin de développer encore davantage sa filière de batteries lithium-ion (les forces sont détaillées dans la section suivante).

Le Québec possède des ressources minières diversifiées (lithium, graphite, fer, phosphate, nickel et potentiellement cobalt), que certains joueurs cherchent aujourd'hui à valoriser en les transformant en minéraux de « grade batterie ». Il ne produit toutefois pas encore industriellement des minéraux ayant les qualités nécessaires pour entrer dans la fabrication des composantes de batteries. Certaines entreprises, dont Nemaska Lithium pour le lithium, ainsi que Mason Graphite et Nouveau Monde Graphite pour le graphite, tentent actuellement de développer une offre pour ce type de minéraux transformés dits de « grade batterie ».

La filière québécoise des batteries lithium-ion compte actuellement peu de joueurs. Ceux-ci sont répartis à travers les différents maillons de la chaîne de valeur. Le Québec a notamment développé un savoir-faire dans le secteur minier et dans le développement et l'assemblage de véhicules électriques spécialisés (autobus, véhicules utilitaires, camions, motoneiges, etc.).

La province peut également compter sur une expertise en recherche reconnue en développement technologique dans le domaine des batteries lithium-ion. Plusieurs acteurs se démarquent dans ce créneau d'avenir. Leurs actions ne sont toutefois pas animées par une vision commune qui maximiserait l'intégration de leurs efforts dans la filière des batteries lithium-ion.

Le Centre d'excellence en électrification des transports et en stockage d'énergie d'Hydro-Québec collabore avec plusieurs acteurs de l'industrie, au Québec comme ailleurs dans le monde, afin de développer et de commercialiser des technologies lithium-ion et solides à toutes les échelles (matériaux de batterie, électrodes, cellules électrochimiques, modules et blocs-batteries). Le Centre dispose d'un important portefeuille de brevets qu'il commercialise.

Le Conseil national de recherches du Canada a mis sur pied un groupe de recherche axé sur la filière du lithium visant à développer et à soutenir la chaîne d'approvisionnement canadienne de matériaux à valeur ajoutée pour les applications dans le domaine des batteries lithium-ion. Ce groupe, qui dispose d'installations de recherche à Boucherville, réunit des fournisseurs de matières premières, des transformateurs, des fabricants de batteries et d'équipements d'origine et d'autres acteurs de tous les maillons de la chaîne d'approvisionnement ²⁴.

Au niveau universitaire, de nombreux chercheurs ont mis sur pied des groupes et des programmes de recherche sur le spectre d'enjeux actuels et futurs liés aux batteries lithium-ion.

²⁴ CNRC, Groupe de R-D industrielle sur les batteries au lithium-ion (LiBTec), <https://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/solutions/collaboration/libtec.html>, consulté le 15 décembre 2018.

Certains Centres collégiaux de transfert de technologies ont une activité et une expertise liées aux batteries et aux véhicules : le Centre national en électrochimie et en technologies environnementales (CNETE), le Centre de technologie minérale et de plasturgie (CTMP) et l'Institut du véhicule innovant (IVI), qui a développé une expertise et livré plusieurs projets liés aux batteries, à l'électrification de véhicules, et maintenant, à l'autonomisation de véhicules.

Des organismes d'intermédiation soutiennent la mise à l'échelle de nouvelles technologies et applications dans le secteur des batteries : le Pôle de recherche et d'innovation en matériaux avancés au Québec (Prima Québec), le Consortium de recherche et d'innovation en transformation métallique au Québec (CRITM), et le consortium InnoVÉE.

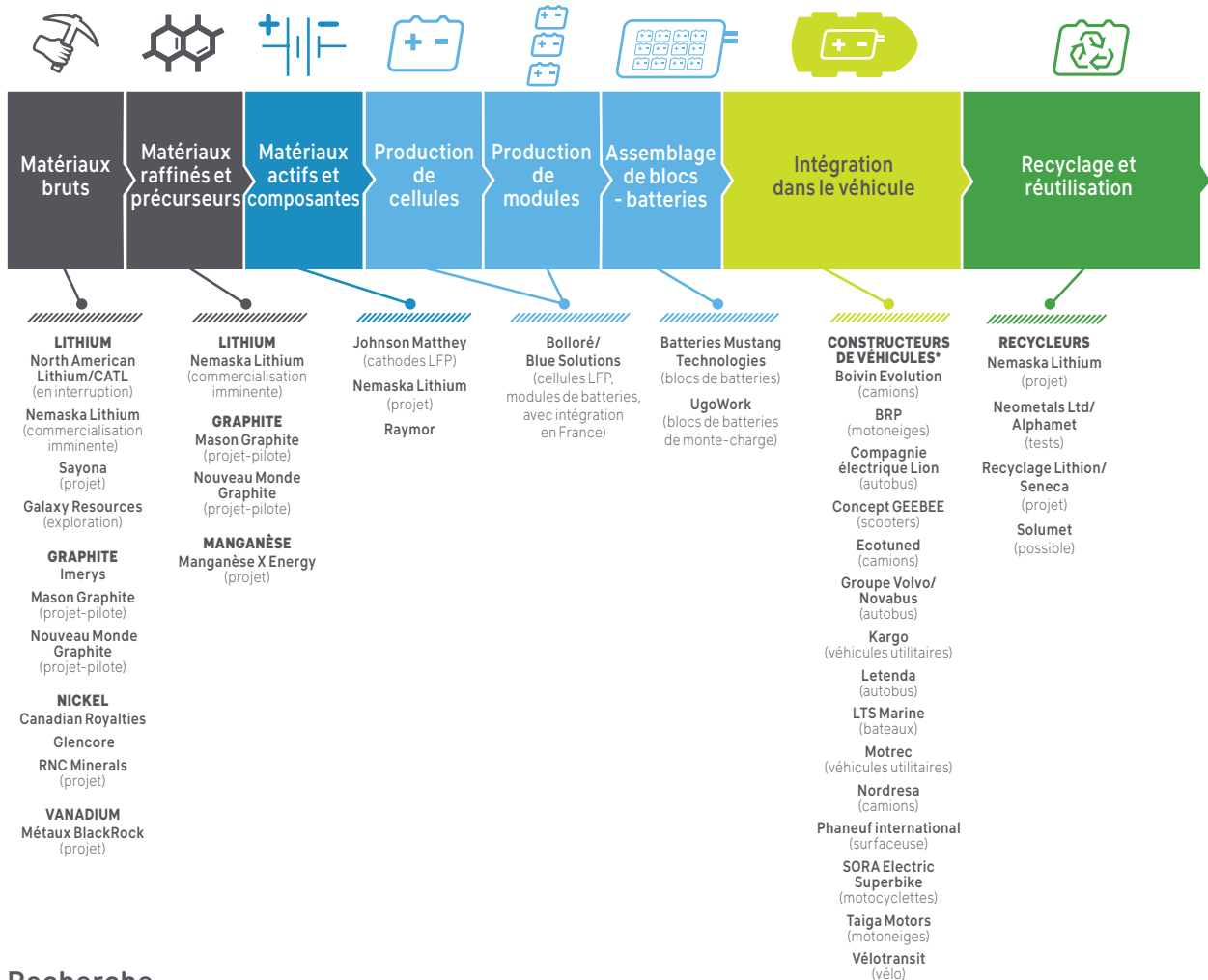
Propulsion Québec, la grappe industrielle des transports électriques et intelligents, a été créée en 2017 à titre d'accélérateur de développement de toute cette industrie. Sa mission est de mobiliser les acteurs de la filière pour accélérer le développement du secteur des transports électriques et intelligents, incluant la filière des batteries.

Recyclage des batteries lithium-ion : une filière peu développée au Québec

La filière du recyclage des batteries est encore peu développée au Québec. Cependant, plusieurs projets très prometteurs sont en développement et se préparent à passer en phase pilote au cours de la prochaine année. Ces projets font appel à des procédés de type hydrométallurgique et permettraient de récupérer une proportion importante des matériaux composant les batteries et de les purifier à un grade qui permettrait leur réutilisation par les fabricants de batteries. L'opportunité et la pertinence de recycler les batteries lithium-ion au Québec avaient été soulignées par l'Institut EDDEC dans son rapport de mars 2018 intitulé *Métaux et économie circulaire au Québec*²⁵.

²⁵ Institut EDDEC, *Métaux et économie circulaire au Québec*, 2018.

Aperçu de la chaîne de valeur québécoise élargie des batteries lithium-ion pour véhicules électriques (mars 2019)



Recherche

Centre d'excellence en électrification des transports et en stockage d'énergie (Hydro-Québec)	Centre de recherche industrielle du Québec	Consortium de recherche et d'innovation en transformation métallique	Institut de recherche d'Hydro-Québec/Dongshi	Université de Montréal (Laboratoire de chimie et électrochimie des solides)
Centre d'étude des procédés chimiques du Québec	Centre national en électrochimie et en technologies environnementales	École Polytechnique (Laboratoire de nouveaux matériaux pour l'énergie et l'électrochimie)	Institut du véhicule innovant	Université de Sherbrooke (Centre de technologies avancées)
Centre de technologie minérale et de plasturgie	Conseil national de recherches Canada	FP Innovations	Institut national de la recherche scientifique	Université McGill
			Université Concordia (Power Electronics and Energy Research Group)	UQAM (NanoQAM)

Écosystème élargi

CONSTRUCTEURS DE PIÈCES	SERVICES	INFRASTRUCTURE DE RECHARGE	TRANSPORT DE BATTERIES	AUTRES ACTEURS
Kongsberg Automotive Inc.	COREM	ABB	Kuehne + Nagel	Prima Québec
Spectra Premium (expertise pièces)	Hypertronic (services d'ingénierie)	AddÉnergie Technologies	ACTEURS DU MILIEU DU RECYCLAGE	InnovÉÉ
TM4 Dana (moteur)	OPAL-RT (tests systèmes pour véhicules)	Bectrol inc.	Appel à recycler	CONCERTATION DES ACTEURS DU MILIEU
	Pantero (services d'ingénierie)	Elmec inc.	Recyc-Québec	Propulsion Québec
	PMG Technologies	Kilowattpack	Association pour le recyclage des produits électroniques	Recyc-Québec
	Targray (fournisseur - ensemble des composantes)	MCM intégration inc.		
	Transtech Innovations (systèmes électroniques pour véhicules)	Recharge Véhicule Électrique		
		Renewz		

* Certains acteurs peuvent également procéder à l'assemblage de blocs de batteries

3.2 Les forces, faiblesses, et opportunités pour le Québec

Une filière à propulser rapidement

Le Québec possède de nombreux atouts lui permettant d'envisager avec grand optimisme le développement de la filière des batteries lithium-ion. Cette filière pourrait être largement propulsée par la croissance prévue des ventes de véhicules électriques dans le nord-est américain ainsi que par les opportunités qui se présentent dans le recyclage. Alors que les chaînes mondiales d'approvisionnement de batteries lithium-ion se transforment à un rythme accéléré et étant donné les calendriers de réalisation de projets qui peuvent s'étendre sur plusieurs années, la fenêtre d'opportunité pour le Québec est relativement courte et requiert des décideurs qu'ils se positionnent rapidement au sein de l'industrie. Car le Québec n'est pas seul : plusieurs régions du monde souhaitent aussi profiter des opportunités de croissance et de création de richesse qu'offre la filière, comme en témoignent les annonces récentes de soutien à l'industrie par de nombreux gouvernements, au nombre desquels l'Allemagne, la France ou encore les États-Unis.

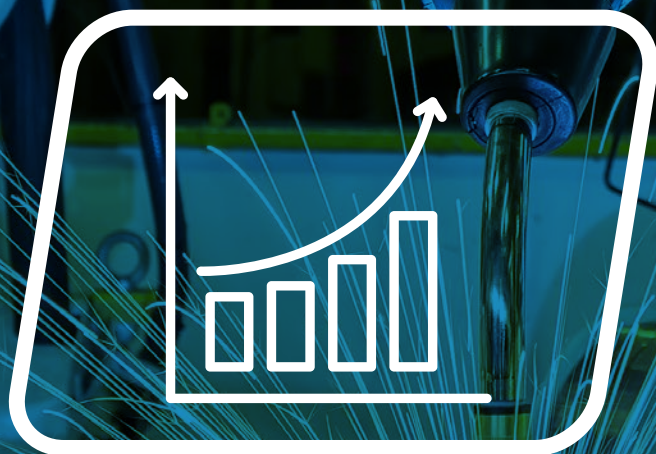
FORCES	FAIBLESSES
• Une source d'énergie propre et compétitive • Des coûts d'exploitation peu élevés en Amérique du Nord • Une capacité de produire au Québec selon des normes environnementales élevées (alors que des procédés plus verts pourraient représenter une exigence de plus en plus fréquente des constructeurs automobiles) • Des expertises industrielles mobilisables • Une expérience préindustrielle dans la production de cellules de l'IREQ • Une proximité du marché et des constructeurs américains • Des infrastructures logistiques pour accéder aux marchés américains et européens et les accords commerciaux en vigueur • Un gouvernement qui soutient le développement de la filière des véhicules électriques pour atteindre ses objectifs climatiques • Un contexte politique et réglementaire stable Matériaux pour composants • Une présence de matières premières, dont le graphite, le lithium, le nickel, le cobalt, l'aluminium, le fer, le phosphate, le manganèse et le cuivre Recyclage • Une expertise dans la transformation de matières premières • Une expertise et capacités dans le recyclage en général (collecte, réglementation – responsabilité élargie du producteur (REP), etc.)	• Peu de capacité d'action collective rapide • Peu de capacité installée ni d'expérience industrielle de la production de cellules lithium-ion • Une chaîne d'approvisionnement et logistique peu intégrée avec les chaînes mondiales existantes, voire peu développée • Une faible présence des grands manufacturiers de batteries • Une faible taille des acteurs québécois par rapport aux acteurs asiatiques • Des coûts de main-d'œuvre typiquement plus élevés qu'en Asie • Une complexité administrative pour se mettre en conformité avec les réglementations en environnement et pour l'accès à l'énergie

Principales opportunités recensées pour le Québec

- Tant les États-Unis que l'Union européenne ont identifié le risque stratégique majeur d'une dépendance totale de leurs industries automobiles à l'Asie, et principalement la Chine, en matière d'approvisionnement de cellules. Ces deux entités géographiques pourraient être intéressées à pouvoir s'approvisionner de façon significative (même si minoritaire) ailleurs qu'en Asie ou à domicile.
- Le coût du capital représente un levier important de compétitivité des usines très capitalistiques comme celles pour la production de cellules. Par le biais de ses différents leviers financiers (CDPQ, Investissement Québec, fonds fiscalisé, etc.), le Québec peut créer des conditions financières favorables, en particulier lors des premiers projets (ou installations des premières capacités de production). Il existe aussi au Québec des mécanismes de financement qui peuvent être mobilisés pour soutenir le développement de la filière.
- Les entretiens réalisés ont permis de déceler un intérêt de la part d'un certain nombre d'acteurs internationaux à la recherche d'opportunités d'investissement dans ce secteur.
- La demande en produits verts et le besoin des consommateurs de pouvoir évaluer les performances des produits de ce point de vue ouvrent la place à la création d'un label vert dans la filière des batteries lithium-ion. Ce label pourrait servir à la promotion et la différenciation de l'offre du Québec dans ce domaine. Toutefois, dans un contexte où l'industrie est principalement préoccupée à court et moyen termes par la diminution des coûts de production des cellules, il s'agit d'une avenue porteuse dans une deuxième phase. Soulignons aussi que plusieurs entreprises, notamment dans les pays occidentaux, tentent de se positionner dans ce créneau, qui pourrait éventuellement devenir la norme alors que les consommateurs de véhicules électriques exigeront des véhicules à plus faible impact environnemental.
- Le marché des cellules pour véhicules électriques étant peu mature, on observe actuellement des stratégies d'investissement par les acteurs qui ne sont pas purement portées par les prix. Il y aurait de la place pour des stratégies d'indépendance ou de différenciation technique.
- La filière lithium-ion fait face à des sous-capacités à tous les maillons de la filière, sauf celui de la production de cellules. Il y a donc des opportunités à saisir, en particulier pour la production de matériaux de grade batterie. Le nombre d'intermédiaires est important, il existe donc une pression à une intégration verticale pour réduire le nombre d'acteurs et les marges intermédiaires.
- Les tensions sur les ressources pourraient soutenir les prix des matières et offrir des opportunités pour développer le recyclage. Qui plus est, les matériaux issus du recyclage, s'ils devaient ne pas être utilisables en batteries pour des raisons de qualité ou de pureté, pourraient l'être dans d'autres filières. Par exemple, le lithium est abondamment utilisé dans les vitrages et dans les lubrifiants. Cela réduit le risque pour les exploitants d'usines de recyclage de batteries.

4-

Recommandations pour le développement de la filière au Québec





4.1 Stratégies pour le développement de la filière

Favoriser le développement de la filière québécoise des batteries lithium-ion

Pourquoi ?

- Une demande en forte croissance à l'échelle mondiale
- Une activité stratégique à forte valeur ajoutée
- Un renforcement de la filière québécoise de l'électrification des transports, qui compte plusieurs acteurs actifs et reconnus dans le segment des batteries

Quatre grandes tendances de fond

- Une croissance accélérée de la demande de cellules et de matériaux pour batteries lithium-ion
- Une course aux ajouts de capacités de production à l'échelle mondiale et la recherche d'une plus grande diversification géographique
- Une certaine consolidation de la filière mondiale
- Des efforts significatifs et en continu en R&D afin de i) diminuer les coûts de fabrication des batteries tout en augmentant l'autonomie et ii) développer des procédés de recyclage robustes et économiquement viables pouvant traiter un large éventail de batteries

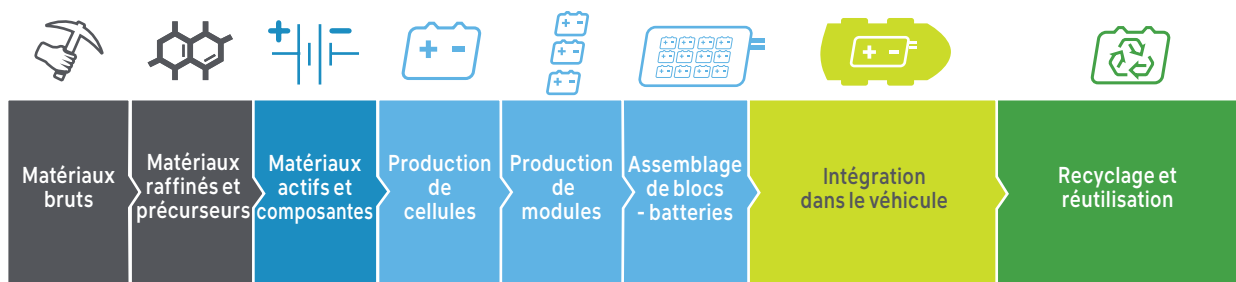
Principales forces du Québec

- Une présence de matières premières (dont lithium, graphite, nickel, manganèse, cobalt, aluminium et cuivre)
- Des expertises industrielles et technologiques mobilisables
- Une source d'énergie propre et compétitive
- Une capacité de produire selon des normes environnementales élevées
- Une proximité des constructeurs automobiles américains et des infrastructures logistiques et de transport adéquates
- Un gouvernement qui soutient le développement de la filière

Principaux défis de la filière au Québec

- Une filière fragmentée, des acteurs de petites tailles et une faible présence des grands manufacturiers de batteries
- Des chaînes d'approvisionnement et logistique peu intégrées avec les chaînes mondiales existantes
- Une absence de structures de recyclage de batteries (alors que les régions limitrophes chercheront à se positionner)

Quatre stratégies à privilégier



1

Stratégie de renforcement

(mise en valeur des atouts/ressources)

Capacité • varie en fonction des matériaux / du projet retenu

Investissement requis • varie en fonction des matériaux / du projet retenu

Développement initial de la filière par une plus grande intégration en amont (favoriser davantage les activités de transformation des matières premières en matériaux de grade batteries); graduellement, continuer l'intégration dans la fabrication de composantes, voire, à terme, dans la production de cellules

Conditions de succès

- Joueurs industriels/miniers disposant de la technologie et des ressources pour répondre aux exigences du marché
- Partenariats commerciaux avec fabricants de composantes et de cellules

2

Stratégie de déploiement

(construction progressive d'une méga-usine)

Capacité • 8 à 10 GWh (par palier)

Investissement requis* • Entre 1,8 et 2,9 G\$ (construction) et entre 1,1 G\$ et 1,4 G\$ (opération annuelle)

Développement rapide d'une importante capacité de production de cellules afin de s'insérer dans les chaînes mondiales de production

Conditions de succès

- Identification d'un champion local
- Alliance avec un grand industriel (transfert technologique)
- Alliance(s) avec un(des) constructeur(s) automobile(s) (accès au marché)
- Soutien gouvernemental significatif (financier et signal au marché)

3

Déploiement graduel d'une capacité de recyclage locale permettant de recycler une partie des volumes du nord-est américain, du Québec et de l'Ontario, dans l'optique de produire des matières pouvant être réutilisées dans la chaîne de production des cellules (composantes)

Conditions de succès

- Réglementation favorisant la collecte et le recyclage de batteries
- Réseau de collecte bien établi
- Procédés de traitement hydrométallurgiques robustes et économiquement viables
- Établissement de partenariats avec des constructeurs de véhicules pour accéder aux gisements de batteries

Stratégie de développement de capacités de recyclage

(pour réutilisation dans la fabrication de cellules)

Capacité • 7 000 à 10 000 tonnes à terme

Investissement requis* • entre 40 et 120 M\$ (construction)

4

Développement d'une capacité de recyclage locale permettant de recycler une partie des volumes du nord-est américain, du Québec et de l'Ontario, à partir des installations existantes, dans l'optique de produire des matériaux pour d'autres usages industriels

Conditions de succès

- Réglementation favorisant la collecte et le recyclage de batteries
- Réseau de collecte bien établi

Stratégie d'ajustement des capacités de recyclage actuelles

(recyclage pour autres usages)

Capacité • variable

Investissement requis • variable

* Note : à titre indicatif uniquement

4.2 Principaux facteurs de localisation des usines

Selon les critères de localisation d'usine définis par KPMG, le Québec est bien positionné pour développer la filière des batteries lithium-ion en capitalisant sur ses atouts. Différents critères de localisation d'usines de cellules ou de composantes, et d'usine de recyclage, ont été identifiés. Certains de ces critères sont discriminant à une échelle nationale et internationale, notamment le coût de la main-d'œuvre, le coût de l'énergie, les incitatifs gouvernementaux (excluant les incitatifs au niveau local) ou encore la réglementation relevant des administrations nationales ou sous-nationales, car ils sont soit identiques ou relativement similaires à travers la province.

Certains critères permettent par contre de comparer différents sites entre eux, par exemple, la facilité du transport et de la logistique, la réglementation et l'acceptabilité sociale, la proximité des clients et des intrants ou encore le soutien gouvernemental local ou spécifique.

Importance des critères pour la localisation d'usines de composantes, de cellules et de recyclage

	Fabrication de composants	Fabrication de cellules	Recyclage
Composante stratégique			
Coût de l'énergie			
Coût de la main-d'œuvre			
Disponibilité de la main-d'œuvre qualifiée			
Écosystème industriel autour du recyclage des matières			
Infrastructures de transport			
Proximité des fournisseurs			
Proximité des ressources			
Proximité du marché			
Réglementation favorable au recyclage et à la collecte			
Réglementation favorable aux véhicules électriques			



LÉGENDE : La zone foncée représente la portion des critères positifs à la localisation d'usines

Source : Analyse KPMG/Globerpro

Un certain nombre de sites peuvent être considérés à la fois pour une usine de cellules de batteries ou de composantes, ainsi que pour une usine de recyclage. L'analyse de KPMG a privilégié les sites au sud du Québec pour une usine de cellules en raison de leur proximité au marché américain. Une usine de recyclage aurait avantage à être localisée à proximité de l'usine de cellules, voire à y être adjacente si l'usine dispose d'un procédé permettant la récupération des métaux de manière à les recycler dans la fabrication des composantes. À noter que les sites identifiés ne représentent pas une liste exhaustive des possibilités d'emplacement au Québec.

- **Beauharnois-Valleyfield**
- **Bécancour**
- **Contrecoeur-Sorel-Tracy**
- **Montréal-Est**
- **Shawinigan**

The background of the slide is a blurred photograph of a multi-lane highway, likely taken from a vehicle's perspective while moving forward. The image is heavily blurred to convey a sense of speed and motion. A semi-transparent green filter is applied over the entire image. In the center of the slide, the word "Conclusion" is written in a white, elegant script font. A large, white, semi-transparent arrow points directly forward from the bottom center of the slide, aligning with the perspective of the road. The top and bottom edges of the slide feature a horizontal bar composed of three colored segments: yellow on the left, light blue in the middle, and green on the right.

Conclusion

Alors que la filière mondiale des batteries lithium-ion se structure rapidement autour de l'industrie du véhicule électrique et que l'on assiste à des annonces fréquentes d'ajouts de capacités de production de cellules de batteries à travers le monde, des opportunités de développement majeures sont à saisir pour le Québec.

Le Québec, bien qu'il ne compte qu'un petit nombre d'acteurs au sein de sa filière des batteries lithium-ion en comparaison aux pays asiatiques (Chine, Corée, Japon), peut miser sur un certain nombre d'atouts afin de se positionner favorablement au sein de l'industrie mondiale, dont : des coûts d'exploitation relativement faibles dans un contexte nord-américain, l'accès à l'énergie propre et abondante, une expertise technologique et industrielle mobilisable, une proximité relative des constructeurs automobiles américains, ainsi qu'une expertise dans la production de matériaux de base et de grade batterie.

Devant la transformation accélérée de la filière mondiale, la vitesse d'action pourrait se révéler cruciale et la fenêtre d'opportunité, relativement courte. Les acteurs internationaux qui composent la filière, qu'ils soient des compagnies minières, des fabricants de cellules ou de composantes de batteries lithium-ion ou encore des constructeurs automobiles, sont actuellement à augmenter leur capacité de production, à établir de nouveaux partenariats — notamment dans de nouvelles zones géographiques — et à investir dans le développement technologique afin de s'imposer au sein des chaînes d'approvisionnement mondiales. Les gouvernements de différents pays, conscients de la valeur économique et stratégique de ce secteur, sont nombreux à annoncer des politiques de soutien au développement de la filière des batteries lithium-ion ainsi que des aides ponctuelles à l'établissement de capacités de production sur leur territoire.

Parmi les options de développement à privilégier, le Québec devrait :

- **Bâtir sur ses acquis puis procéder à une intégration plus forte et verticale de la filière en renforçant les capacités des producteurs de ressources et de matériaux ;**
 - **Miser sur l'établissement de partenariats stratégiques pour mettre en place une usine de fabrication de cellules ou de composantes de batteries lithium-ion ;**
 - **Développer une industrie du recyclage de batteries lithium-ion qui repose sur des procédés hydrométallurgiques robustes (qui demeurent à développer) dans l'optique de produire des matières pouvant être réutilisées dans la production de composantes de cellules (économie circulaire) ; et**
 - **Adapter les installations de recyclage en place afin de traiter les batteries lithium-ion en fin de vie dans l'optique de produire des matériaux pour d'autres usages industriels.**
-

Ces stratégies pourraient être menées individuellement, mais une action intégrée et simultanée présenterait plus de bénéfices. La première, qui s'appuie sur la mise en valeur des ressources naturelles du Québec, viendrait renforcer la seconde, qui mise sur l'établissement de partenariats avec des joueurs clés de l'industrie afin d'atteindre un niveau de production de cellules significatif. Des activités de recyclage reposant sur des procédés hydrométallurgiques au Québec pourraient aussi venir renforcer ces deux stratégies, et réciproquement être renforcées par celles-ci.

Le Québec a une occasion exceptionnelle de mettre en valeur les ressources minières, énergétiques, scientifiques, techniques, humaines et financières dont il dispose en se positionnant au cœur de la transformation mondiale en cours dans le secteur des transports, devenue impérative face aux défis posés par les changements climatiques. Or, afin de réaliser son plein potentiel il sera essentiel pour le Québec d'établir une vision rassembleuse quant au développement de la filière et d'assurer une plus grande coordination entre tous les acteurs qui œuvrent au sein de celle-ci.

Le développement de la filière des batteries lithium-ion est le prolongement logique pour le Québec de ses engagements envers l'électrification à grande échelle de nos transports et en faveur d'un avenir durable. Il a le potentiel d'agir comme véritable moteur de développement économique pour le Québec et ses régions, à condition de saisir cette opportunité rapidement.



Bibliographie

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, *Les potentiels du véhicule électrique*, 2016.
- Agence internationale de l'Énergie, *Global EV Outlook 2018*, 2018.
- Arthur D. Little, *Future of Batteries*, 2018, p. 18
- Autoblog, *Daimler to buy \$23 billion worth of EV battery cells*,
<https://www.autoblog.com/2018/12/11/daimler-23-billion-ev-battery-cells/>.
- Automotive News Europe, *Volkswagen to reward green suppliers*,
<https://europe.autonews.com/suppliers/volkswagen-reward-green-suppliers>.
- Avicenne Energy, *Lithium-Ion Battery Raw Material Supply and Demand*, 2017.
- Battery University, *Electric Powertrain, then and now*,
https://batteryuniversity.com/learn/article/batteries_for_transportation_aerospace,
consulté le 18 janvier 2019.
- Battery University, *How do Lithium-Ion Batteries Work*,
https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
- Battery University, *Types of Lithium-ion*,
https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion.
- Battery University, *What's the Best Battery?*,
https://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery.
- BCG, *The Future of Battery Production for Electric Vehicles*, 2018.
- BFM Business, *Voiture électrique : premier pas vers un «Airbus des batteries»*,
<https://bfmbusiness.bfmtv.com/france/voiture-electrique-premier-pas-vers-un-airbus-des-batteries-1632064.html>.
- BIKE Europe, *BMZ Acquired TerraE To Push Plans For German Li-Ion Cell Production*,
<https://www.bike-eu.com/home/nieuws/2018/11/bmz-acquired-terrae-to-push-plans-for-german-li-ion-cell-production-10134875>.
- Bloomberg New Energy Finance, 2018; CleanTechnica, *\$100/kWh Tesla Battery Cells This Year, \$100/kWh Tesla Battery Packs In 2020*,
<https://cleantechnica.com/2018/06/09/100-kwh-tesla-battery-cells-this-year-100-kwh-tesla-battery-packs-in-2020/>.
- BMO Capital Markets, *The Lithium Ion Battery and the EV Market: The Science Behind What You Can't See*, 2018.
- BRUNP Recycling, *Battery Recycling*,
http://en.brunp.com.cn/products_list/i=48&comContentId=48.html.
- CEC, *Environmentally Sound Management of End-of-Life Batteries from Electric-Drive Vehicles in North America*, 2015.
- Chamber of Commerce of Western Australia, *WA's future in the Li-Ion Value Chain*, 2018.
- China Daily, *E-vehicle batteries to be recycled in green push*,
<http://www.chinadaily.com.cn/a/201809/10/WS5b95d75da31033b4f465521c.html>.
- CLD Beauharnois-Salaberry, *Avantages stratégiques*,
<http://www.cld-beauharnois-salaberry.org/portrait/avantages-strategiques/>.
- CleanTechnica, *\$100/kWh Tesla Battery Cells This Year, \$100/kWh Tesla Battery Packs In 2020*,
<https://cleantechnica.com/2018/06/09/100-kwh-tesla-battery-cells-this-year-100-kwh->

tesla-battery-packs-in-2020/

- CleanTechnica, *LG Chem Battery Production Ramps Up In Holland, Michigan*, <https://cleantechnica.com/2015/10/28/lg-chem-battery-production-ramps-up-in-holland-michigan/>.
- CNRC, *Groupe de R-D industrielle sur les batteries au lithium-ion (LiBTec)*, <https://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/solutions/collaboration/libtec.html>.
- Contrecoeur sur le fleuve, *Portrait économique*, <https://www.ville.contrecoeur.qc.ca/developpement-economique/portrait-economique/>.
- Credit Suisse, *Drive Train to Supply Chain 2*, 2018.
- CSIRO, *Lithium battery recycling in Australia*, 2018.
- Économie et Innovation Québec, *Fonds de diversification économique du Centre-du-Québec et de la Mauricie*, <http://www.economie.gouv.qc.ca/pages-regionales/diversification-economique-du-centre-du-quebec-et-de-la-mauricie/fonds-de-diversification-economique-du-centre-du-quebec-et-de-la-mauricie/>.
- Electrek, *Northvolt starts construction on first phase of its planned battery gigafactory*, <https://electrek.co/2018/04/27/northvolt-construction-first-phase-planned-battery-gigafactory/>.
- Electrek, *Tear down of 85 kWh Tesla battery pack shows it could actually only be a 81 kWh pack*, <https://electrek.co/2016/02/03/tesla-battery-tear-down-85-kwh/>.
- Electrek, *Tesla says battery fire without crash in LA was "extraordinarily unusual occurrence", still investigating the cause*, <https://electrek.co/2018/09/05/tesla-battery-fire-la-without-crash/>.
- Electrify, *LG to augment capacities of its U.S. battery plant*, <https://www.electrify.com/2018/01/06/lg-augment-capacities-u-s-battery-plant/>.
- Environnement Québec, *Le Fonds Vert*, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/ministere/fonds-vert/#utilite>.
- Environnement Québec, *Le marché du carbone, un outil pour la croissance économique verte !* <http://www.environnement.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/marche-carbone.asp>.
- European Commission's Joint Research Center, *Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe*, 2016.
- EV Adoption, *EV Market Share by State*, <http://evadoption.com/ev-market-share/ev-market-share-state/>.
- FleetCarma, *Electric Vehicle Sales In Canada*, 2017, <https://www.fleetcarma.com/electric-vehicle-sales-canada-2017/>.
- Gouvernement du Canada, *Saviez-vous que les piles au lithium sont des marchandises dangereuses?*, <https://www.tc.gc.ca/fra/tmd/les-piles-au-lithium-sont-des-marchandises-dangereuses-1162.html>.
- Government of Australia, *The Lithium-Ion Battery Value Chain—New Economy Opportunities for Australia*, 2018.
- HSBC Global Research, *European Chemicals*, 2018.
- HSBC Global Research, *Global EV Battery Materials*, 2018.
- IEA, *Global EV Outlook 2018*, 2018.
- Inside EVs, *Tesla's Secret Weapon: Intense Focus On Batteries*, <https://insideevs.com/tesla-secret-weapon-intense-focus-batteries/>.

- InsideEVs, *Official: \$1.3 Billion In Incentives Brings Tesla Gigafactory To Nevada—Videos*, <https://insideevs.com/official-1-3-billion-incentives-brings-tesla-gigafactory-nevada/>.
- Institut EDDEC, *Métaux et économie circulaire au Québec*, 2018.
- International Council on Clean Transportation, *Power Play: How Governments Are Spurring The Electric Vehicle Industry*, 2018.
- J.P. Morgan Cazenove, *European Capital Goods*, 2017.
- Koffman Southern Tier Incubator, *Imperium3's Battery Factory Is Coming To Endicott Earlier Than Expected*, <https://southerntierincubator.com/imperium3s-battery-factory-is-coming-to-endicott-in-2019/>.
- KPMG. Competitive Alternatives, *KPMG's guide to international business locations costs*, mise à jour de janvier 2018.
- KPMG. *Étude de cas Northvolt*, janvier 2019.
- L.E.K., *Fast-Moving EV Battery Market: How to Win Against the Competition?*, <https://www.lek.com/insights/fast-moving-ev-battery-market-how-win-against-competition>.
- MRC de Roussillon, *Mémoire sur le PL 85*, 2016.
- Nomura, *Global EV batteries: Robust EV battery demand ahead*, 2017.
- Olivetti et al., *Lithium-Ion Battery Supply Chain Considerations: Analysis of Potential Bottlenecks in Critical Metals*
- Panasonic's Lithium Procurement Policy, 2018.
- Radio-Canada, *North American Lithium cesse temporairement ses opérations minières*, <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1154037/north-american-lithium-spodumene-prix-la-corne>.
- RBC Capital Markets, *RBC Electric Vehicle Forecast Through 2050 & Primer*, 2018.
- Redburn, *Umicore Power Play*, 2018.
- Research Interfaces, *What do we know about next-generation NMC 811 cathode?*, <https://researchinterfaces.com/know-next-generation-nmc-811-cathode/>.
- Reuters, *Northvolt cuts cost estimate for European battery plant as seeks investors*, <https://www.reuters.com/article/us-northvolt-financing/northvolt-cuts-cost-estimate-for-european-battery-plant-as-seeks-investors-idUSKBN1JA2LF>.
- Reuters, *Volkswagen, Northvolt to join forces for battery research*, <https://www.reuters.com/article/us-volkswagen-northvolt-batteries/volkswagen-northvolt-to-join-forces-for-battery-research-idUSKCN1R211O>.
- RNC Minerals, *RNC Minerals Plans Initiatives to Allow Decision to Begin Construction of Dumont Nickel-Cobalt Project in 2019; Highlights Large Nickel and Cobalt Reserves*, <https://www.newswire.ca/news-releases/rnc-minerals-plans-initiatives-to-allow-decision-to-begin-construction-of-dumont-nickel-cobalt-project-in-2019-highlights-large-nickel-and-cobalt-reserves-669346923.html>.
- Samsung SDI, *The Composition of EV Batteries: Cells? Modules? Packs? Let's Understand Properly!*, <http://www.samsungsdi.com/column/technology/detail/54344.html?pageIndex=1&idx=54344&brdCode=001&listType=list&searchKeyword>.
- Smart Battery, *Lithium Ion Cylindrical Cells Vs. Prismatic Cells*, <https://www.lithiumion-batteries.com/cylindrical-vs-prismatic-cells.php>.
- Statista, *Number of vehicles in use worldwide 2006–2015*, <https://www.statista.com/statistics/281134/number-of-vehicles-in-use-worldwide/>.

- Tesla, *Mythbusters Part 3: Recycling our Non-Toxic Battery Packs*,
<https://www.tesla.cn/en/blog/mythbusters-part-3-recycling-our-non-toxic-battery-packs%20>.
- Transport Canada, *Bulletin TMD : Transport des accumulateurs*, janvier 2018.
- Umicore, *Life Cycle Assessments involving Umicore's Battery Recycling process*, 2011.
- US Department of Energy, *Cost and Price Metrics for Automotive Lithium-Ion Batteries*, 2017.
- USGC, *Cobalt*,
<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cobalt/mcs-2018-cobal.pdf>.
- Vale, *Electric Vehicle Revolution — A miner's perspective*, 2018.
- Ville de Montréal, *Choisir Montréal*,
http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=9497,120613604&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- Ville de Shawinigan, *Investir à Shawinigan*,
<http://www.investir-shawinigan.ca/fr/investir-a-shawinigan/industrie/infrastructures>,
consulté le 12 mars 2019.
- Wards Auto, *U.S. EV Battery Capacity Lacking, Expert Warns*,
<https://www.wardsauto.com/alternative-propulsion/us-ev-battery-capacity-lacking-expert-warns>.
- Waste 360, *SungEel MCC Unveils Lithium-Ion Battery Recycling Plant*,
<https://www.waste360.com/e-waste/sungeel-mcc-unveils-lithium-ion-battery-recycling-plant>.

Cette étude de **Propulsion Québec**, la grappe
des transports électriques et intelligents,
a été réalisée avec le soutien de :

Québec 



appel à recycler™
Sonne la charge pour le recyclage.™

 **Hydro Québec**

NEMASKA
LITHIUM

MASON GRAPHITE

 **NORTH AMERICAN
LITHIUM**

 **NOUVEAU MONDE GRAPHITE**
Choisir l'avenir, transporter l'innovation

 **Lithion**
Recyclage de batteries lithium-ion

RNC

 **SAYONA**
QUÉBEC

Cette étude a été menée par **KPMG**