

Décarbonisation du secteur minier


Accroître l'avantage de sobriété
en carbone du Canada dans
la course mondiale vers les
minéraux critiques

Auteur : Eyab Al-Aini



Contents

1. Introduction	3
2. Contexte.....	5
Le maintien du statu quo dans l'extraction croissante de minéraux critiques fera hausser les émissions de gaz à effet de serre du Canada.....	5
La production canadienne de minéraux à faible intensité en carbone : autant une occasion qu'un défi	8
Les producteurs sobres en carbone du Canada auront un avantage concurrentiel à long terme ...	10
3. Le défi de la décarbonisation	11
Obstacles relatifs à la demande : le marché des minéraux ne fait pas encore de distinction quant au carbone.....	12
Obstacles relatifs à l'infrastructure du marché : la chaîne d'approvisionnement fragmentée et les incitatifs limités nuisent aux efforts de traçabilité.....	13
Obstacles relatifs à l'offre : plusieurs barrières nuisent à l'adoption des technologies	16
Obstacle 1 : Les technologies nécessaires pour les fosses à ciel ouvert ne sont pas encore prêtes à entrer en scène	17
Obstacle 2 : Même si de l'équipement électrique est disponible, nombre de mines n'ont pas accès à de l'électricité sobre en carbone fiable et abordable	20
Obstacle 3 : L'adoption de la technologie prendra du temps, car les sociétés minières ne seront pas toutes des utilisatrices précoces.....	21
4. Un ensemble d'outils politiques pour la décarbonisation de l'extraction minière	23
1 : Intégrer l'intensité des émissions aux politiques liées aux minéraux critiques	25
2 : Soutenir la recherche et le développement de méthodes de production pouvant réduire les émissions et les coûts	25
3 : Appuyer directement les petites sociétés minières pour les évaluations et certifications sur le carbone.....	26
4 : Exiger que les entreprises qui reçoivent un financement pour les projets de décarbonisation publient les résultats.....	26
5 : Maintenir et améliorer les politiques existantes, comme les systèmes d'échange pour les grands émetteurs et le crédit d'impôt à l'investissement pour les technologies propres.....	27
5. Conclusion	28
Références.....	30



Le camp d'exploration d'Inco Ltd. se trouve au pied de Discovery Hill, à Voisey's Bay, à Terre-Neuve. Le site du Labrador contient l'un des plus grands gisements de nickel, de cuivre et de cobalt au monde. (Photo LA PRESSE CANADIENNE) 1996 (stf/Andrew Vaughan) av.

1. Introduction

Les minéraux critiques sont à la croisée de l'action mondiale pour le climat, de la croissance économique et des tensions géopolitiques. Ces ressources, notamment le cobalt, le cuivre, le lithium, le nickel, le graphite et les éléments des terres rares, sont essentielles pour l'avenir de l'économie. La demande de minéraux critiques est à la hausse, alors que le déploiement de technologies propres continue de s'accélérer.

L'extraction et le traitement de ces minéraux sont une grande source d'émissions, ce qui fait croître l'empreinte du secteur pendant que le reste de l'économie s'affaire à se décarboner. Pour trouver l'équilibre, l'industrie minière doit explorer des façons novatrices de réduire les émissions tout en répondant à la demande croissante.

Ces six minéraux critiques sont les ingrédients principaux de l'économie sobre en carbone mondiale. Les entreprises du Canada et de l'étranger auront besoin d'un approvisionnement continu de chacun d'eux pour une foule d'applications, comme les batteries de véhicules électriques et de stockage d'énergie, les panneaux solaires et les lignes de transport d'électricité (Energy Transitions Commission, 2023; Bingoto et coll., 2023).

Les ressources abondantes du Canada offrent depuis longtemps un avantage concurrentiel au pays. Maintenant, le sujet des minéraux critiques étend cet avantage au sol sous nos pieds.

Dans un rapport complémentaire à venir, l'Institut climatique du Canada explorera comment le Canada peut stimuler l'investissement dans la partie en amont de la chaîne de valeur, soit celle au plus grand potentiel. La richesse en minéraux critiques du Canada, combinée aux sources d'énergie propre comme l'hydroélectricité, fait du pays un fournisseur fiable et responsable sur les marchés intérieurs et mondiaux.

Le présent rapport explore les occasions à saisir et les défis à relever par le Canada pour faire croître son secteur des minéraux critiques tout en maintenant son avantage concurrentiel de sobriété en carbone. Il repose sur la recherche menée dans le cadre d'un grand rapport à venir sur trois obstacles à la décarbonisation du secteur. Il présente

aussi les options de politiques dont disposent les gouvernements pour surmonter ces obstacles, et par le fait même relever l'un des grands défis qui minent le potentiel du Canada de devenir un fournisseur fiable et responsable des minéraux critiques dont le monde a besoin pour atteindre la sobriété en carbone.





2. Contexte

Le maintien du statu quo dans l'extraction croissante de minéraux critiques fera hausser les émissions de gaz à effet de serre du Canada.

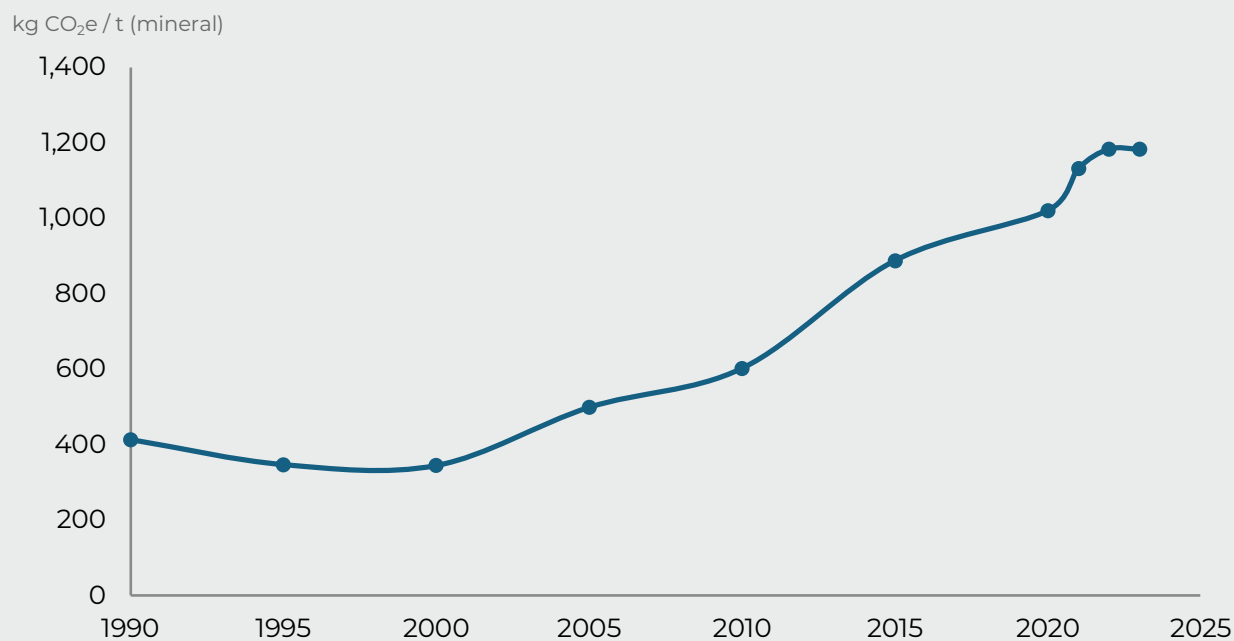
Les activités minières produisent beaucoup d'émissions. Selon la ressource en question, la production d'une tonne de minéraux émet de 5 à 100 tonnes d'équivalent dioxyde de carbone (éq. CO₂) (Skarn, s. d.). Au Canada, les émissions liées à tous les types d'extraction de minéraux sont passées de 8 mégatonnes d'équivalent dioxyde de carbone (Mt d'éq. CO₂) en 2015 à 11 Mt d'éq. CO₂ en 2022. Cette augmentation de 35 % est principalement attribuable à l'intensité énergétique accrue nécessaire à la production (Linden-Fraser, 2024). Les émissions directes des activités minières représentaient 1,5 % des émissions annuelles du Canada, mais constituent une importante portion des émissions croissantes dans plusieurs régions minières, allant de 4 % au Québec à 30 % aux Territoires du Nord-Ouest (Environnement et Changement climatique Canada, 2024).

Comme l'illustre la figure 1, l'intensité des émissions du secteur minier a presque doublé depuis 2005. Plus les sociétés minières élargissent et creusent leurs mines, plus elles doivent transporter loin le minerai extrait, ce qui fait donc augmenter la consommation d'énergie et les émissions.

Les émissions moyennes par projet augmentent, car les sociétés minières commencent habituellement par les régions à la plus grande teneur en minerai. Lorsqu'elles étendent leurs activités aux régions à plus faible teneur, elles doivent extraire plus de matériau pour produire la même quantité de minéraux.

FIGURE 1 : Augmentation de l'intensité des émissions de gaz à effet de serre du secteur minier du Canada

Source : Centre de données sur l'énergie et les émissions (s. d.). L'intensité historique des émissions inclut l'extraction de minerai de cuivre, de nickel, de plomb et de zinc.

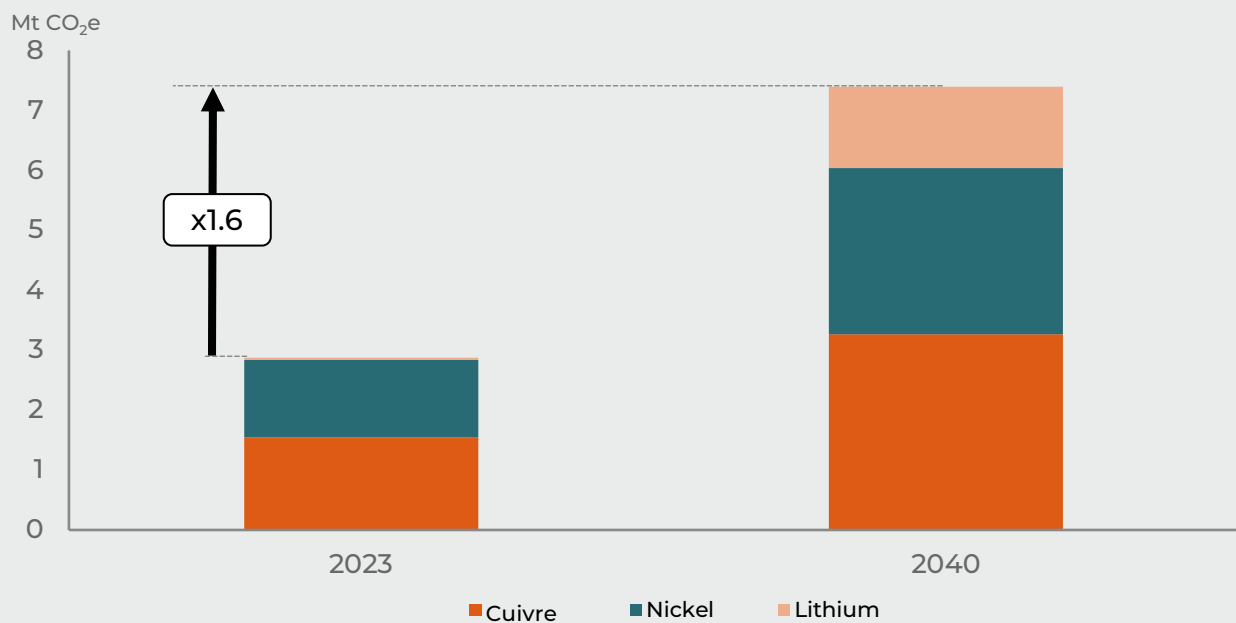


Selon des travaux précédents dans le cadre du projet 440 mégatonnes de l'Institut climatique du Canada, si le Canada veut réaliser l'énorme potentiel économique d'un secteur des minéraux critiques robuste, il devra attirer de 30 à 73 milliards de dollars en investissements dans les projets miniers en amont d'ici 2040 (Trottier-Chi, 2024).

Des investissements près de la limite inférieure de cette fourchette feraient augmenter considérablement la pollution carbonique du secteur. Dans ce scénario, on estime que les émissions de la production de trois minéraux – le cuivre, le nickel et le lithium – augmenteraient de 1,6 fois entre 2023 et 2040 (voir la figure 2)¹. C'est aussi ce qu'indiquent d'autres études : les émissions associées à la croissance de l'extraction des six minéraux augmentaient d'un facteur de 1,5 d'ici 2035 si l'intensité des émissions reste constante (Pinnell et coll., 2024).

FIGURE 2 : L'augmentation de l'extraction de nickel, de cuivre et de lithium au Canada ferait plus que doubler les émissions actuelles

Émissions nationales de gaz à effet de serre provenant de la production minière au Canada



Les valeurs de production utilisées sont fondées sur le scénario de Trottier-Chi (2024). Les valeurs d'intensité d'émissions pour 2023 à 2030 proviennent de Skarn Associates, et on suppose qu'elles se maintiendront jusqu'en 2040.

¹ L'estimation des investissements inclut trois autres minéraux (le cobalt, le graphite et le néodyme), mais l'augmentation des émissions liées à ces minéraux est soit trop petite, soit impossible à calculer en raison d'un manque de données propres au Canada.

La production canadienne de minéraux à faible intensité en carbone : autant une occasion qu'un défi

Quelques régions minières du pays, dont le Québec, le Manitoba et la Colombie-Britannique, profitent d'un réseau électrique exceptionnellement sobre en carbone. Les sociétés minières qui peuvent utiliser cette électricité propre pour leurs activités offrent un produit à plus faible intensité d'émissions (Skarn, 2024).

Cette faible intensité d'émissions donne une longueur d'avance aux minéraux canadiens sur les marchés internationaux à court et moyen terme, mais les producteurs du pays perdront assurément cet avantage concurrentiel lorsque les autres régions les auront rattrapés.

ENCADRÉ 1 : Sources d'émissions dans le secteur minier

Diverses activités minières produisent des émissions de gaz à effet de serre (GES). D'abord, l'équipement lourd, comme les camions de transport, consomme du diesel pour déplacer le minerai et les déchets sur le site. Des génératrices au diesel servent aussi à alimenter en énergie les mines éloignées (Winkelman, 2024). Tous deux produisent des émissions de portée 1. Pour leur part, les projets connectés au réseau doivent prendre en compte les émissions associées à la production d'électricité, soit des émissions de portée 2².

Même les mines connectées au réseau dépendent largement du diesel pour la manutention des

matériaux. Par exemple, dans les 21 mines de cuivre du Canada, les émissions dues au diesel représentaient 96 % des émissions de portée 1 (Skarn, 2024)³.

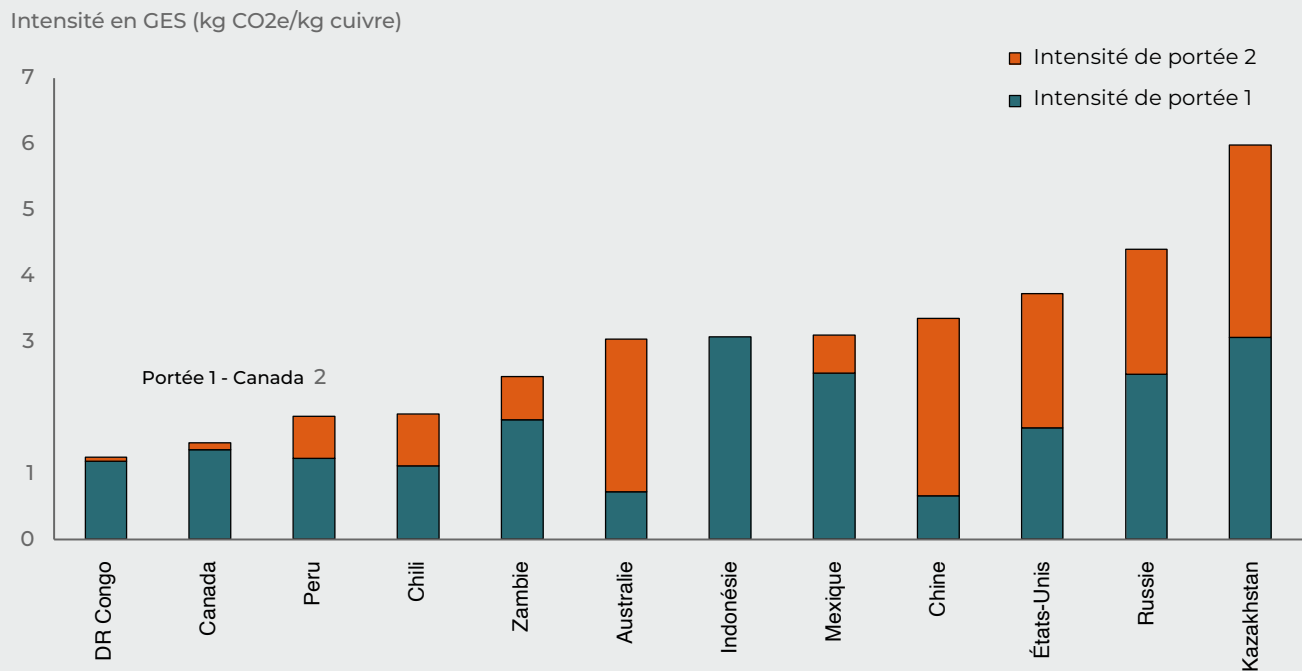
Les émissions de portée 2 peuvent être compensées directement, par l'utilisation d'électricité de sources renouvelables, ou indirectement, par des accords d'achat d'énergie. Les mines connectées à un réseau sobre en carbone produisent de faibles émissions de portée 2. Il ne reste donc que le remplacement du diesel comme défi principal de la décarbonisation du secteur.

² D'autres sources, comme les émissions fugitives de l'extraction de charbon ou les émissions des explosifs servant au dynamitage, ne sont pas pertinentes pour les minéraux critiques ou représentent une très faible partie des émissions totales.

³ Analyse de l'Institut climatique du Canada fondée sur des données exclusives de Skarn Associates.

Comme l'illustre la figure 3, en raison de ses faibles émissions de portée 2, le Canada se place au deuxième rang des 12 nations produisant le plus de cuivre sur le plan de l'intensité des émissions. Toutefois, d'autres pays, comme le Chili et l'Australie, ont de plus faibles émissions de portée 1⁴. Alors que d'autres économies minières arrivent à réduire rapidement leur intensité d'émissions en faisant passer leur réseau à des sources à faibles émissions, le Canada pourrait perdre son avantage de sobriété carbone si son intensité d'émissions de portée 1 reste au même niveau.

FIGURE 3 : Les mines de cuivre du Canada sont parmi celles ayant la plus faible intensité en carbone au monde, principalement en raison des réseaux d'électricité propre



Source: Skarn Associates. Valeurs selon la production en 2022.

4. La différence pour la portée 1 s'explique par divers facteurs, dont la teneur en minerai. Même si nombre de mines au Canada et en Australie ont une teneur en minerai semblable, en moyenne, l'Australie a davantage de mines actives à teneur élevée.

Les producteurs sobres en carbone du Canada auront un avantage concurrentiel à long terme

Les mines canadiennes doivent se démarquer en ce qui concerne non seulement les coûts, mais aussi le carbone.

Dans notre rapport phare *Ça passe ou ça casse*, nous avons modélisé les effets de la transition énergétique mondiale sur divers secteurs de l'économie canadienne. Nous avons conclu que l'industrie des mines et des minéraux pourrait connaître une baisse de rentabilité en raison des risques de la transition (Samson et coll., 2021).

Cela dit, les sociétés minières qui réduisent l'intensité en carbone de leurs minéraux critiques se protégeront en grande partie contre ces risques. À l'inverse, celles qui offrent des produits et matériaux riches en carbone seront désavantagées lors de la décarbonisation des économies mondiales.


Les systèmes d'échange pour les grands émetteurs du Canada ont abaissé les émissions du secteur minier sans réduire la compétitivité de l'industrie. Leur flexibilité innée incite les sociétés à investir dans les innovations sobres en carbone sans que cela nuise à leur niveau de production (Dion et Linden-Fraser, 2024).

On voit déjà les premiers signes indiquant que les minéraux critiques sobres en carbone sont avantageux. Les sociétés minières aux cibles climatiques internes ambitieuses accèdent à une nouvelle catégorie de produits financiers durables aux modalités plus avantageuses pour les projets sobres en carbone. Par exemple, Newmont, un grand producteur d'or et de cuivre, est devenu en 2021 la première société minière à émettre des obligations liées au développement durable d'une valeur d'un milliard de dollars américains (Newmont, 2021). Les intérêts payables sur les billets augmenteront si la société n'atteint pas ses cibles climatiques pour 2030. L'année suivante, la société Anglo American du Royaume-Uni a émis une obligation de 745 millions d'euros également liée à des cibles internes de réduction du carbone (Anglo American, 2022)⁵. Malgré l'opposition récente aux facteurs ESG, les grandes sociétés minières continuent de viser leurs cibles de réduction des émissions.

Les sociétés minières canadiennes qui investissent dans les solutions climatiques aujourd'hui se positionnent en tant que producteurs sobres en carbone de demain. Les fabricants qui utilisent des minéraux critiques réduiront davantage leurs émissions de portée 3 en s'approvisionnant auprès des producteurs offrant les minéraux les plus faibles en carbone.

Malgré ces occasions prometteuses, le processus de décarbonisation des mines de minéraux critiques est semé d'embûches. Nous présentons les principales à la section suivante.

5. Anglo American vise la réduction de ses émissions de portée 1 et 2 de 30 % par rapport aux niveaux de 2016 d'ici 2030.



3. Le défi de la décarbonisation

Divers obstacles systémiques empêchent les sociétés minières d'investir dans la réduction des émissions. On peut les classer en trois grandes catégories :

- Obstacles à la demande de minéraux sobres en carbone
- Obstacles à l'offre et à l'adoption de technologies de décarbonisation
- Manque de normes d'habilitation du marché

FIGURE 4 : La combinaison de facteurs liés à la demande, à l'offre et à l'habilitation du marché nuit aux investissements dans la décarbonisation des mines

DEMANDE

Aucune prime verte
Manque d'intérêt des acheteurs

OFFRE

Manque de technologies
habilitantes
Coûts initiaux élevés
Défis d'adoption

MANQUE D'HABILITATION DU MARCHÉ

Normalisation, transparence et traçabilité

Obstacles relatifs à la demande : le marché des minéraux ne fait pas encore de distinction quant au carbone

Actuellement, la demande de minéraux critiques sobres en carbone est très faible. Le prix est roi, et les acheteurs ne veulent pas payer de prime verte.

Facteurs différenciateurs environnementaux

Une **prime verte** désigne la valeur accrue (réelle ou perçue) d'un produit qui respecte des normes environnementales strictes, dont la sobriété en carbone.

À l'inverse, un **rabais carbone** désigne la valeur moindre ou réduite d'un produit ayant un faible rendement environnemental ou une grande quantité d'émissions.

Les producteurs ayant une performance environnementale supérieure font concurrence à d'autres producteurs soumis à des normes et règlements environnementaux très peu stricts. En mars 2024, des producteurs de l'Australie et d'autres pays ont demandé au London Metal Exchange (LME) d'envisager la création d'un contrat sur le nickel vert visant à fixer un prix distinct pour le nickel sobre en carbone. Un mois plus tard, après avoir consulté les participants du marché, le LME a annoncé aux membres qu'il laisserait tomber cette idée (London Metal Exchange, 2024).

En rendant sa décision, le LME a expliqué qu'un contrat parallèle fractionnerait les liquidités dans un marché relativement petit et que l'industrie aura besoin de temps pour adopter une méthodologie précise d'évaluation des émissions de carbone et publier les données de vérification de l'empreinte carbone des produits à l'achat, ce qui n'est pas actuellement la pratique courante⁶.

Metalshub, une plateforme de change au comptant en ligne et un partenaire du LME, a offert le nickel sobre en carbone pour la première fois en 2023. La plateforme offre aux acheteurs une attestation de l'intensité en carbone de la marchandise à l'achat. Toutefois, le marché reste à se concrétiser. Pour la majorité de 2024, Metalshub n'a enregistré aucune transaction de nickel sobre en carbone. De janvier à décembre, le nickel sobre

6. Le LME a donné son appui à la définition proposée par Metalshub pour le nickel sobre en carbone, selon laquelle il compte un maximum de 20 tonnes d'équivalent CO₂ par tonne de produit (London Metal Exchange, 2021).

en carbone a compté pour à peine 2 % du volume de transactions pour l'ensemble des métaux (Kreft, 2024).

Obstacles relatifs à l'infrastructure du marché : la chaîne d'approvisionnement fragmentée et les incitatifs limités nuisent aux efforts de traçabilité

Un lingot standard de 25 kg de cuivre sobre en carbone est identique à un lingot de cuivre ordinaire. C'est pourquoi tout effort de création d'un marché des minéraux critiques sobres en carbone mené par l'industrie ou le gouvernement doit reposer en priorité sur un suivi strict du carbone.

Les nations auront besoin de données précises et utiles sur l'intensité des émissions afin d'établir les cadres réglementaires requis pour départager les minéraux et produits selon leur performance environnementale, notamment leur intensité d'émissions. Les acheteurs potentiels de minéraux sobres en carbone auront aussi besoin de données précises pour appliquer efficacement leurs stratégies de réduction des émissions de portée 3.

La tâche ne sera pas facile. La chaîne de valeur des minéraux critiques est complexe et dépasse les frontières, ce qui complique l'assurance de la transparence et la traçabilité pour les producteurs de matières premières. On estime que de l'extraction à l'intégration finale à un élément de batterie électrique, les minéraux auront parcouru environ 80 500 km en moyenne; c'est sans compter l'installation dans le bloc-batterie, puis enfin dans le véhicule électrique (Carreon, 2023). Les matières premières subissent un raffinage et un traitement considérables lors de la création de matériaux précurseurs, qui sont ensuite utilisés dans les composants actifs d'un produit final, comme les anodes de batteries (Heimes et coll., 2018).

L'évaluation de la performance environnementale commune des matières premières et des produits finaux nécessitera de nouvelles normes, des outils de vérification et, par-dessus tout, le consensus d'un grand nombre d'acteurs qui ne s'imaginent peut-être pas les retombées directes de leurs efforts.

C'est sans compter le flou entourant la définition de la sobriété en carbone pour certains minéraux. Contrairement à d'autres marchandises, comme l'aluminium, dont les processus d'extraction et de fabrication sont plus ou moins normalisés (The Aluminum Association, 2024), ceux de certains minéraux critiques varient grandement. Différents types de gisements nécessitent différentes méthodes d'extraction et de traitement, qui influencent l'intensité de l'énergie et des émissions du produit final (AIE, 2021b).

Le nickel est un parfait exemple. Selon la méthode d'extraction choisie par la société minière et sa source d'électricité, l'intensité des émissions peut aller de 5 à 105 kg d'éq. CO₂ par kilo produit (Tijsseling et coll., 2023).

De plus, l'ensemble disparate de normes de durabilité concurrentes actuelles aggrave la confusion pour les producteurs de minéraux et les acheteurs qui doivent déjà faire conformer leurs produits à diverses normes (Day, Jodha et coll., 2024). Par exemple, un producteur de cuivre peut choisir d'adopter la certification Copper Mark, la norme de l'initiative Vers le développement minier durable (VDMD) ou bien les principes de l'International Council on Mining and Metals (ICMM). Un projet de consolidation de ces normes a été lancé en 2023 et vise la mise en œuvre dès 2026 (Consolidated Mining Standard Initiative, 2024).

Les normes minières sont nécessaires, mais insuffisantes. Pour assurer l'intégrité de tout nouveau processus de certification dans la chaîne de valeur, l'industrie minière, les investisseurs, les peuples autochtones, les consommateurs en aval et les gouvernements doivent collaborer sur des mécanismes de traçabilité transparents et fiables. Heureusement, on voit des signes de progrès encourageants sur ce point.

- Dans le cadre de son nouveau projet pilote Energy & Mines Digital Trust, le gouvernement de la Colombie-Britannique travaille à l'élaboration d'identifiants numériques que les industries, dont le secteur minier, pourraient utiliser pour démontrer la durabilité (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2024). Il a aussi promis de participer au projet émergent Critical Raw Material Traceability and Sustainability de l'ONU.
- La Global Battery Alliance, une collaboration entre plus de 170 entreprises, organisations non gouvernementales (ONG) et gouvernements, a récemment conclu une série de projets pilotes visant le suivi et la vérification indépendants de multiples attributs environnementaux des matériaux utilisés par 10 fabricants de batteries (Global Battery Alliance, 2024) (voir l'encadré 2 pour en savoir plus).
 - À la fin 2024, l'Organisation internationale de normalisation a publié la norme ISO 59014, qui présente les principes, les exigences et les lignes directrices de la gestion environnementale, de la traçabilité et de la valorisation des matières secondaires (Organisation internationale de normalisation, 2024).
 - L'Agence internationale de l'énergie (AIE) a publié une feuille de route pratique en huit étapes pour aider à faire en sorte que les systèmes de traçabilité sont adaptés à leur objectif et conformes à la réalité de la chaîne d'approvisionnement mondiale (AIE, 2025).

Même si ces projets pilotes et ces normes volontaires ne sont pas encore largement adoptés, ils sont essentiels pour jeter les bases d'une infrastructure robuste pour les marchés des minéraux sobres en carbone.

ENCADRÉ 2 : Comment un passeport de batterie peut améliorer l'avantage concurrentiel des producteurs canadiens de minéraux

La Global Battery Alliance, une collaboration entre plus de 170 entreprises, ONG et gouvernements, fait progresser les passeports de batterie, un dossier électronique traçable qui assure un suivi de la batterie et fournit des renseignements détaillés sur son cycle de vie, notamment son origine, ses processus de production, ses matériaux et leur empreinte carbone, sa sûreté et son recyclage. Un peu comme un numéro d'identification de véhicule gravé, un code QR est affiché sur le bloc-batterie d'un véhicule électrique.

Le passeport résout une foule de problèmes existants :

- Il valide la performance environnementale des matériaux bruts d'une batterie, y compris leur origine et leur méthode d'extraction.
- Il documente les caractéristiques techniques, comme les différents minéraux utilisés pour la fabrication.
- Il fournit aux recycleurs des données essentielles pour choisir les processus de recyclage les plus rentables et les mieux adaptés.
- Il permet un suivi de l'importation et l'exportation des batteries dans une région donnée.

En juillet 2023, l'UE a approuvé un nouveau règlement qui exigera que toutes les batteries vendues dans les marchés de l'UE aient un passeport, peu importe leur origine⁷. Il sera appliqué dès février 2027, mais certaines exigences entreranno en vigueur par phases entre 2024 et 2028 (TÜV SÜD, 2024). Certains fabricants de véhicules électriques de l'UE, comme Volvo, ont commencé à profiter du passeport de batterie pour mieux promouvoir leurs produits (Foote, 2025).

À mesure que la réglementation prendra effet, les producteurs de minéraux canadiens à la performance environnementale élevée pourront plus facilement et positivement se démarquer. Leurs indicateurs environnementaux figureront clairement dans le passeport et attireront les fabricants voulant se conformer à la réglementation de l'UE (Rizos et Urban, 2024).

7. Pour les batteries d'une capacité de plus de 2 kWh (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2023).

Obstacles relatifs à l'offre : plusieurs barrières nuisent à l'adoption des technologies

Une combinaison de facteurs liés à l'offre décourage actuellement les investissements du secteur minier dans les solutions sobres en carbone. Dans le présent document, nous regroupons ces facteurs en trois grands obstacles : maturité technologique, préparation à l'adoption et coûts de déploiement (y compris l'accès à une source d'électricité sobre en carbone).

En résumé, le diesel et l'électricité produisent la grande majorité des émissions de GES du secteur minier. Les sociétés minières actives dans un territoire où les émissions de portée 2 sont élevées (voir la figure 3) peuvent saisir des occasions économiques de réduction du carbone à court terme grâce à l'électricité, comme des accords d'achat d'énergie virtuels⁸. Cela veut dire que le remplacement du diesel par des sources d'énergie à émissions faibles ou nulles fait partie intégrante du défi de décarbonisation pour nombre de sociétés.



8. Dans une telle entente, un exploitant de mine achète des certificats d'énergie renouvelable d'un producteur d'énergie renouvelable pour compenser les émissions de l'énergie qu'il achète du réseau. Ainsi, il peut revendiquer une réduction d'émissions même si la mine n'est pas physiquement connectée à une source d'énergie renouvelable.

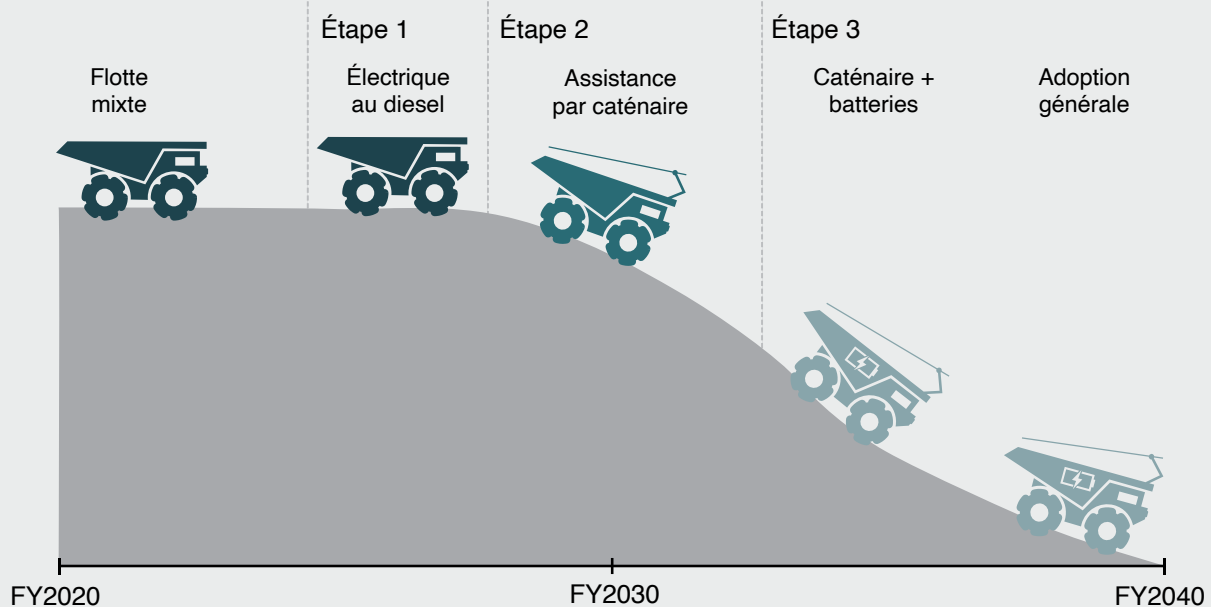
Obstacle 1 : les technologies nécessaires pour les fosses à ciel ouvert ne sont pas encore prêtes à entrer en scène

La majorité de l'équipement minier fonctionne au diesel, et les machines zéro émission sont encore à divers stades d'élaboration.

Les fabricants d'équipement lourd mettent à l'essai des versions entièrement électriques des camions de transport de classe « ultra » utilisés dans les fosses à ciel ouvert, mais ceux-ci pourraient ne pas être commercialisés avant 2030 (BHP, 2024)⁹. Pour qu'une société minière adopte un tel camion, il faudra que la technologie soit exempte de risques, pleinement mise à l'essai et commercialisée.

La figure 5 du Climate Transition Action Plan 2024 de BHP montre l'évolution de l'électrification des camions de transport utilisés dans les fosses à ciel ouvert. L'entreprise ne s'attend pas à ce que les camions électriques remplacent largement ceux au diesel avant la fin de la décennie.

Figure 5 : BHP prévoit électrifier graduellement son parc de camions de transport entre 2030 et 2050



Les camions électriques au diesel sont dotés d'un moteur électrique, mais alimentés par une génératrice au diesel au lieu d'un moteur à combustion interne. Image adaptée de BHP (2024b).

9. Les camions de transport de classe « ultra » ont une capacité de 150 à 400 tonnes, comparativement aux camions utilisés dans les exploitations souterraines, qui peuvent transporter de 15 à 60 tonnes.

Les fabricants d'équipement d'origine et les sociétés minières multinationales mettent actuellement à l'essai sur le terrain des prototypes de camions de transport électriques de classe « ultra », afin d'accélérer leur commercialisation (BHP, 2024a). Le premier signe du déploiement d'un parc de camions de transport minier entièrement électrique dans une fosse à ciel ouvert est le partenariat entre la société minière australienne Fortescue et le fabricant d'équipement minier Liebherr : des camions électriques à batterie de 240 tonnes devraient être validés sur le terrain d'ici 2026 (Fortescue, 2024).

En attendant que les camions et l'équipement de soutien électriques soient disponibles à grande échelle pour les fosses à ciel ouvert, les sociétés minières ont deux options pour réduire leurs émissions de portée 1 :

1. Elles peuvent alimenter leurs véhicules existants au biodiesel ou au diesel renouvelable. Ceux-ci produisent de 40 à 84 % moins d'émissions sur tout le cycle de vie que le pétrodiesel (Xu et coll., 2022)¹⁰.
2. Elles peuvent mettre en œuvre un système d'assistance par caténaire, où les camions électriques au diesel sont alimentés en électricité par une connexion physique. Ces camions hybrides réduisent la consommation de diesel en utilisant de l'électricité acheminée par un système de pantographe et caténaire pour le transport du minerai hors de la fosse. Nombre de projets pilotes d'assistance par caténaire en Colombie-Britannique montrent des résultats prometteurs¹¹.

C'est une tout autre histoire pour les exploitations souterraines. Grâce à des innovations et à des coûts à la baisse, plusieurs fabricants d'équipement d'origine offrent maintenant des versions électriques d'équipement minier souterrain largement répandu.

Bien que le diesel demeure la source d'énergie privilégiée pour les exploitations souterraines partout dans le monde, un nombre petit, mais croissant de sociétés minières adopte de l'équipement entièrement électrique, qui offre des avantages outre la réduction des émissions. En évitant de brûler du diesel sous terre, on a besoin de moins de ventilation pour chauffer ou rafraîchir la mine, et les travailleurs ne sont pas exposés aux particules de la fumée de diesel (voir l'encadré 3). L'électrification des exploitations souterraines ne se limite pas aux véhicules électriques à batterie. Un système électrique léger sur rail de transport de minerai a été déployé dans cinq mines, dont la mine Copper Cliff à Sudbury, en Ontario, et la mine Goldex, au Québec, où la société minière déclare avoir réduit considérablement ses émissions et ses coûts d'exploitation grâce à cette technologie (Railveyor, 2024)¹².

¹⁰ Les émissions sur tout le cycle de vie varient selon divers facteurs, comme le type de biocarburant utilisé et les émissions issues de la production de ce dernier.

¹¹ La mine de Copper Mountain en Colombie-Britannique utilise un système d'assistance par caténaire pour certains de ses camions de transport depuis 2022. FPX Nickel s'attend à ce que ce système réduise la consommation de diesel de 30 % sur tout le cycle de vie d'une mine (FPX Nickel, 2024).

¹² Les réductions d'émissions et de coûts d'exploitation varient selon la conception de la mine, l'intensité des émissions liées à l'électricité et les prix de l'énergie.

ENCADRÉ 3 : Avec les crédits d’impôt à l’investissement et les systèmes d’échange pour les grands émetteurs, les exploitants de mines souterraines du Canada commencent à déployer de l’équipement électrique à batterie

Les crédits d’impôt à l’investissement et systèmes d’échange pour les grands émetteurs du Canada appuient directement d’adoption par l’industrie de l’équipement minier souterrain zéro émission.

Les exploitants ont droit à des allègements fiscaux et ont accès à des programmes incitatifs gouvernementaux financés par la tarification du carbone industriel pour installer de l’équipement électrique à batterie dans leurs mines souterraines partout au pays. Citons par exemple le projet de McIlvenna Bay de Foran Mining en Saskatchewan, le projet Onaping Depth de Glencore Canada en Ontario et la mine Brucejack de Newcrest Mining en Colombie-

Britannique (Yakub, 2022; Gleeson, 2024; International Mining, 2024; Electric Autonomy Canada, s. d.).

Il se crée ainsi un cercle vertueux : les gouvernements incitent les utilisateurs précoces à lancer des projets pilotes avec ces nouvelles technologies, ce qui pousse ensuite les fabricants d’équipement d’origine à innover davantage et entraîne ainsi une réduction des coûts et une amélioration de la performance. Par exemple, les fabricants font l’essai de stations souterraines de remplacement de batterie qui réduiraient considérablement les temps d’arrêt pour le chargement de l’équipement (Gehm, 2024).

Le tableau 1 présente les avantages et les coûts associés aux véhicules souterrains électriques à batterie.

TABEAU 1 : Avantages et coûts associés à l’équipement électrique à batterie dans les exploitations minières souterraines

	Avantages	Coûts
Dépenses en immobilisations	Réduction du besoin de ventilation et d’infrastructure de ravitaillement en diesel Productivité accrue, ce qui pourrait réduire le nombre total de véhicules	Mise à niveau de l’équipement et de l’infrastructure électrique requise
Coûts d’exploitation	Réduction des coûts d’entretien des véhicules Coûts de l’électricité pouvant être plus prévisibles que ceux du diesel Réduction des coûts de mise en conformité liés au carbone	Coûts d’entretien des batteries et de l’infrastructure de recharge
Autre	Accélération et vitesse accrues Réduction des pièces mobiles et donc de l’entretien Amélioration de la qualité de l’air et réduction du bruit et de la température pour les travailleurs	Gestion du changement et formation

Adapté de Blinn et Persson (2023).

Obstacle 2 : Même si de l'équipement électrique est disponible, nombre de mines n'ont pas accès à de l'électricité sobre en carbone fiable et abordable

Tout plan de décarbonisation d'une mine ne peut être exécuté sans un accès fiable à de l'électricité sobre en carbone. Lors d'entrevues menées dans le cadre de ce rapport, plusieurs experts en exploitation minière ont souligné que l'absence d'infrastructure électrique peut poser un défi technique et commercial pour tout projet.

Pour les mines connectées au réseau, l'augmentation importante de la demande en électricité peut mener à un besoin d'infrastructure supplémentaire pour mettre à niveau l'approvisionnement en électricité et la capacité de transport.

Les exploitants de mines hors réseau utilisant des génératrices au diesel vont probablement éviter d'investir dans l'infrastructure de transport et rester dépendants au diesel s'il demeure l'option la moins chère. Dans le monde, environ 1 mine de cuivre sur 10 est dans cette position (Skarn, 2024).

Vu les longs échéanciers associés à la mise en valeur d'une mine, les gouvernements doivent jongler avec la tension associée à la construction d'infrastructures pour appuyer de nouvelles mines et la probabilité que certaines des mines proposées dans une région donnée ne soient pas exploitées.

Les gouvernements pourraient difficilement investir dans des infrastructures qui risqueraient de survivre aux mines qu'elles serviraient. Ces investissements devraient prendre en compte le nombre de projets qui seraient desservis et la durée de ceux-ci. Dans au moins un cas, les gouvernements ont fourni aux sociétés minières des incitatifs pour qu'elles investissent dans des projets de réduction des émissions qui dureront plus longtemps que leur mine. En 2024, le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest a annoncé qu'il attribuerait 3,3 millions de dollars du programme de subventions pour les projets de réduction des GES pour les grands émetteurs à l'établissement d'une centrale solaire de 3,5 mégawatts à la mine de diamants Diavik (Rio Tinto, 2024). Les panneaux produiront encore de l'électricité plus de 20 ans après la fermeture de la mine¹³ (CBC, 2024).

De plus, l'extraction minière n'est pas le seul secteur industriel voulant s'électrifier. La demande en énergie de diverses industries devrait considérablement augmenter, ce qui intensifiera la lutte pour de l'électricité propre et abordable.

Par exemple, en 2023, BC Hydro a reçu 29 déclarations d'intérêt d'entreprises voulant être connectées à son projet de transport sur la côte nord de 500 kilovolts (BC Hydro, 2023). Les demandeurs représentaient des ports, des futurs producteurs d'hydrogène et de gaz

Vu les longs échéanciers associés à la mise en valeur d'une mine, les gouvernements doivent jongler avec la tension associée à la construction d'infrastructures pour appuyer de nouvelles mines et la probabilité que certaines des mines proposées dans une région donnée ne soient pas exploitées.

13. Contrairement aux routes ou aux lignes de transport, les panneaux solaires peuvent être déplacés et installés ailleurs.

Obstacle 3 : L'adoption de la technologie prendra du temps, car les sociétés minières ne seront pas toutes des utilisatrices précoces

naturel liquéfié, et des sociétés minières. Ce sont ces dernières qui ont présenté le plus de demandes.

Le secteur minier du Canada doit surmonter une foule de défis financiers, d'exploitation et de planification s'il veut augmenter ses efforts de décarbonisation.

Lors d'entrevues, plusieurs experts de l'exploitation minière et de la décarbonisation ont souligné que certaines sociétés hésitent à lancer des projets pilotes pour des technologies novatrices, citant le risque de coûts à court terme et de répercussions sur le rendement. Les inefficacités potentielles associées aux premières étapes de l'adoption de technologies découragent l'essai de nouveaux systèmes, ce qui ralentit l'adoption.

Les coûts d'immobilisation initiaux des technologies sobres en carbone sont souvent plus élevés que ceux de l'équipement traditionnel. De plus, les solutions sobres en carbone obligeront les sociétés minières à revoir leur façon de concevoir, de construire et d'exploiter leurs installations. Par exemple, un exploitant qui électrifie ses camions de transport devra gérer un nouvel ensemble de contraintes opérationnelles, comme l'optimisation du chargement et la gestion de la demande en énergie.

Les exploitants qui choisissent d'intégrer l'énergie renouvelable variable à leur approvisionnement en électricité devront aussi recruter ou former des experts dont ils n'avaient pas besoin auparavant.

Les risques liés à la mise en œuvre seront plus faciles à gérer dans le cas d'un tout nouveau projet, où les sociétés minières auront l'occasion de planifier et d'optimiser chaque élément, chaque actif et chaque contrainte dès le départ.

C'est une autre paire de manches pour les mines existantes. Les sociétés doivent élaborer des plans flexibles qui intègrent des solutions nouvelles et anciennes sans nuire à la sécurité ou au rendement opérationnel. Les exploitants de mines actives et matures peaufinent souvent leurs activités sur de nombreuses années et, comme mentionné, les nouvelles technologies peuvent causer des inefficacités. Les exploitants doivent être prêts à surmonter cette période et toute embûche possible, en attendant de profiter pleinement de la valeur ajoutée.

ENCADRÉ 4 : Les processus émergents pourraient réduire l'intensité des émissions, mais leur effet sera limité

Une série de nouveaux processus et de technologies émergentes pourraient aider à réduire l'intensité des émissions des minéraux critiques, par exemple l'extraction directe du lithium, la récupération de ressources dans les déchets miniers et les nouvelles technologies de recyclage¹⁴.

Même si ces nouvelles méthodes promettent une réduction de l'intensité des émissions, vu leur faible

volume attendu, leur effet sur les GES de l'ensemble du secteur sera limité. Comme les entreprises voulant commercialiser ces solutions devront rivaliser avec les méthodes de production conventionnelles sur le plan des coûts, elles devront absolument prioriser l'intensité en carbone lors de leur élaboration.

14. L'extraction directe du lithium est une technologie émergente qui vise l'extraction de lithium à partir de saumures provenant par exemple d'aquifères souterrains ou de déserts de sel. Contrairement aux méthodes traditionnelles, qui utilisent de grands étangs d'évaporation et prennent des mois, voire des années pour concentrer ce métal, l'extraction directe du lithium se fait par un processus chimique ou physique qui prend quelques heures ou jours. Des données semblent indiquer que cette méthode pourrait réduire les émissions associées à la fabrication de batteries de 34 à 91 % (Pinnell et coll., 2024).

4. Un ensemble d'outils politiques pour la décarbonisation de l'extraction minière

Malgré la faible demande actuelle de minéraux propres et les défis financiers à court terme de la décarbonisation de l'extraction minière au Canada, les gouvernements ont un rôle essentiel à jouer pour préserver l'avantage concurrentiel des minéraux propres du pays à long terme. En général, la chaîne de valeur des minéraux critiques aura besoin d'une combinaison des éléments suivants :

- **AUGMENTATION DE LA DEMANDE :** Les acheteurs, les importateurs et les fabricants de produits finaux qui dépendent des minéraux critiques devront cibler en priorité la performance carboneutre.
- **ACCROISSEMENT DE L'OFFRE :** Les sociétés minières, les investisseurs et les gouvernements devront faire un effort conscient pour appuyer ou prioriser les projets miniers sobres en carbone.
- **SYSTÈMES DE FACILITATION :** Le secteur minier, les groupes de l'industrie et les gouvernements devront égaler la complexité de la chaîne d'approvisionnement avec des normes et des systèmes transparents, traçables et comparables qui permettent la prise de décisions fondées sur la performance environnementale, dont les émissions.

Le tableau 2 offre davantage de contexte en présentant les failles du marché qui empêchent les investissements dans la décarbonisation du secteur minier canadien.

TABEAU 2 : Les liens entre les obstacles à la décarbonisation et les failles du marché que les gouvernements pourraient régler

Obstacle	Faille du marché sous-jacente	Effets sur les investissements dans la décarbonisation	Outils politiques pertinents
Faible demande de minéraux critiques sobres en carbone	Externalités encore sans prix	Les marchés ne pénalisent pas encore les minéraux produits dans de mauvaises conditions environnementales, y compris ceux ayant une grande intensité d'émissions, et ne récompensent pas non plus ceux produits de façon responsable	1, 3, 5
Manque d'infrastructure d'information	Manque de traçabilité et de transparence (asymétrie de l'information)	Les acheteurs de minéraux, les investisseurs, les fabricants et les clients manquent de renseignements sur l'intensité en carbone et l'origine des matériaux	1, 3
Solutions pour les grandes sources d'émissions minières non disponibles sur le marché	Sous-investissement en recherche et développement	Les incitatifs actuels sont insuffisants pour que les entreprises financent les coûts habituellement élevés de recherche et développement, même si les solutions promettent des retombées à long terme pour l'industrie et la société en général	2, 5
Adoption lente des nouvelles technologies sobres en carbone éprouvées	Effet d'apprentissage de l'adoption rapide de technologies novatrices	Les entreprises ont souvent de la difficulté à saisir pleinement les avantages financiers de l'adoption de nouvelles technologies incertaines, ce qui mine les investissements dans les solutions sobres en carbone qui profiteraient à la société canadienne; les utilisateurs précoces aideraient à réduire les coûts des nouvelles technologies pour les autres	4, 2

Les gouvernements canadiens peuvent envisager le déploiement d'un ensemble de politiques complémentaires afin de faire tomber ces barrières.

Voici divers outils politiques à leur disposition.

1 : Intégrer l'intensité des émissions aux politiques liées aux minéraux critiques

Dans notre rapport à venir, nous explorons des politiques de soutien à l'investissement, comme la stabilisation des prix à l'aide de contrats sur différence.

Les gouvernements peuvent ajouter l'intensité des émissions comme critère supplémentaires pour les sociétés minières voulant accéder aux programmes de soutien futurs et existants, comme le Fonds stratégique pour l'innovation. Cela pourrait inciter les promoteurs à faire passer leurs projets à une trajectoire d'émissions faibles. Le gouvernement du Canada pourrait aussi combiner ses politiques climatiques avec celles liées à l'industrie et au commerce, et mettre à profit sa présidence du G7 en juin 2025 pour générer du soutien pour un cadre intégré auprès de ses partenaires.

2 : Soutenir la recherche et le développement de méthodes de production pouvant réduire les émissions et les coûts

Un ensemble de technologies émergentes pourrait contribuer à réduire l'intensité en carbone de la production de minéraux critiques au Canada :

- Projets pilotes et mise à l'essai d'équipement minier et d'infrastructure de soutien zéro émission
- Extraction directe du lithium
- Récupération de ressources dans les déchets miniers
- Recyclage de produits riches en minéraux

Ces solutions ont actuellement des coûts élevés comparativement aux méthodes de production conventionnelles, mais elles pourraient réduire l'intensité des émissions des minéraux critiques tout en répondant rapidement à la demande accrue.

Le gouvernement fédéral peut aider à réduire les risques liés à ces technologies en élargissant le Programme de recherche, développement et démonstration pour les minéraux critiques pour qu'il inclue les méthodes de production et de traitement des minéraux sobres en carbone (gouvernement du Canada, 2024)¹⁵.

15. Le Programme de recherche, développement et démonstration pour les minéraux critiques dispose de 192 millions de dollars et vise notamment l'amélioration de la performance environnementale des projets.

3 : Appuyer directement les petites sociétés minières pour les évaluations et certifications sur le carbone

Les petites sociétés minières ont souvent un budget limité qui les force à mettre de côté les évaluations de durabilité au profit des activités d'exploration et d'exploitation. En attendant que la comptabilisation du carbone et d'autres pratiques deviennent essentielles à la planification des activités dans l'industrie, les gouvernements peuvent offrir du financement pour ces évaluations.

Au moins un gouvernement canadien en a déjà constaté les avantages. En 2022, le gouvernement du Québec a commencé à offrir aux entreprises d'exploration minière et à leurs fournisseurs de services du financement visant la mise en conformité à deux normes de l'industrie sous la certification UL ÉcoLogo (gouvernement du Québec, s. d.). Les normes prévoient une vérification indépendante des pratiques de durabilité d'une société minière (UL Solutions au Canada, s. d.).

Si les sociétés se mettent à demander la vérification indépendante de leur performance environnementale, les acheteurs et les investisseurs seront mieux outillés pour repérer les minéraux propres sur le marché.

4 : Exiger que les entreprises qui reçoivent un financement pour les projets de décarbonisation publient les résultats

Pour des raisons évidentes et compréhensibles, les entreprises qui investissent dans de nouvelles technologies ne publient généralement pas leurs résultats et constats. Mais lorsque des fonds publics appuient les technologies qui améliorent la performance environnementale, il est raisonnable de s'attendre à un certain niveau de transparence, pour que la société dans son ensemble puisse profiter des découvertes.

Le gouvernement fédéral pourrait exiger que les entreprises qui reçoivent un financement pour de nouvelles technologies de décarbonisation publient leurs pratiques exemplaires, leurs leçons apprises et leurs conclusions issues de la mise en œuvre. Cela pourrait aider à combler le manque de connaissances, à accélérer l'apprentissage et à réduire les coûts.

Le crédit d'impôt à l'investissement pour le captage, l'utilisation et le stockage du carbone comprend déjà une telle exigence. Mais pour l'instant, il n'y a pas d'exigence de divulgation correspondante pour les entreprises qui demandent un crédit d'impôt à l'investissement pour les technologies propres, auquel les sociétés minières ont accès pour les véhicules et l'équipement miniers zéro émission.

Nous admettons toutefois que de telles exigences de diffusion de l'information devraient trouver un équilibre entre le besoin de communiquer les résultats et celui de réduire au minimum le fardeau administratif.

5 : Maintenir et améliorer les politiques existantes, comme les systèmes d'échange pour les grands émetteurs et le crédit d'impôt à l'investissement pour les technologies propres

Les politiques existantes comme les systèmes d'échange pour les grands émetteurs et le crédit d'impôt à l'investissement (CII) pour les technologies propres du Canada se sont avérées essentielles pour favoriser les investissements dans la décarbonisation de l'extraction minière. Les systèmes d'échange pour les grands émetteurs sont la politique la plus efficace pour réduire les émissions au Canada (Beugin et coll., 2024), et l'industrie minière appuie les politiques climatiques qui portent sur la compétitivité et les fuites de carbone (Association minière du Canada, 2022; MABC, 2024).

Les entreprises sont incitées à investir dans la décarbonisation. Par exemple, le CII pour les technologies propres permet de récupérer jusqu'à 30 % des coûts d'immobilisations de certains investissements, comme pour les véhicules zéro émission non routiers et l'infrastructure connexe de chargement ou de ravitaillement.

Pour que les investissements continuent sur cette lancée, les sociétés minières auront besoin de certitude quant aux futurs prix des crédits des systèmes d'échange pour les grands émetteurs. Elles investiront dans la décarbonisation si les ajustements aux systèmes d'échange fournissent une plus grande certitude dans les marchés dynamiques des crédits (Sawyer et Linden-Fraser, 2025; Sawyer, Linden-Fraser et Beugin, 2024). La stabilité des politiques au Canada peut faire contraste à l'incertitude politique aux États-Unis, où les remous sur la scène politique causent déjà de l'incertitude quant aux investissements en décarbonisation.

Alors que les investissements dans les nouveaux minéraux critiques s'accroissent, la réglementation actuelle devra s'adapter aux changements du marché et des technologies, notamment quant aux minéraux produits et aux méthodes de production. Par exemple, les normes fondées sur le rendement devront incorporer des seuils pour les nouvelles marchandises comme le lithium, qui peut être produit sous forme de concentré au Québec et ensuite raffiné ou bien ou extrait directement de saumures en Alberta pour être utilisé dans les batteries sans raffinement supplémentaire (E3 Lithium, 2025).

5. Conclusion

Alors que les nations se bousculent pour mettre la main sur les matériaux bruts des technologies de demain, le Canada, avec ses réserves abondantes et ses ressources d'énergie propre, pourrait s'imposer comme fournisseur fiable de minéraux propres par excellence.

Les producteurs, les acheteurs, les investisseurs et les gouvernements devront surmonter plusieurs obstacles avant de pouvoir atteindre et maintenir cet avantage concurrentiel. Le Canada doit accroître ses activités minières pour répondre à l'augmentation prévue de la demande, mais pas sans réduire ses émissions et maintenir son avantage de sobriété en carbone.

Le marché ne réclame pas encore des minéraux sobres en carbone. Même si la tendance s'inverse demain, un manque de mesures de transparence et de traçabilité rend ces minéraux impossibles à distinguer des ressources produites de façon traditionnelle.

Dans une future économie mondiale avec contrainte carbone, les acheteurs voulant réduire les émissions de leur chaîne d'approvisionnement devront acheter des minéraux plus propres pour leurs produits. Les investisseurs devront tenir les sociétés minières responsables de leurs stratégies de décarbonisation, et les sociétés minières devront harmoniser leurs plans financiers et de croissance avec leurs objectifs climatiques.

Les gouvernements pourraient jouer un rôle important dans cette transition en intégrant des objectifs de réduction du carbone à toutes les politiques et à tous les programmes liés aux minéraux critiques. Les politiques actuelles fonctionnent. En resserrant ces politiques, comme les systèmes d'échange pour les grands émetteurs, on peut aider l'industrie des minéraux critiques à réduire l'intensité de ses émissions tout en restant concurrentielle. D'autres outils politiques, comme les incitatifs pour les pratiques sobres en carbone, la facilitation de la transmission des connaissances et le financement stratégique de technologies émergentes, peuvent accélérer les investissements dans la décarbonisation des activités minières.

Malgré la faible attention que les investisseurs portent actuellement aux engagements climatiques, pratiquement toutes les grandes sociétés minières travaillent activement à réduire leurs émissions. Elles ont compris que le risque climatique reste synonyme de risque pour les investissements (Arnold, 2025).

L'extraction de minéraux critiques est une occasion importante pour le Canada dans la course mondiale vers la décarbonisation. Le Canada peut saisir cette occasion sans aggraver la pression des défis liés aux émissions du pays. Si les gouvernements canadiens maintiennent et mettent en œuvre des politiques sensées, les sociétés minières pourront accroître leur production de minéraux critiques tout en atteignant leurs cibles de réduction des émissions à long terme. Tous les acteurs devraient travailler ensemble pour concrétiser les nouvelles possibilités économiques sobres en carbone.

Références

AIE. 2021a. « Minerals Used in Electric Cars Compared to Conventional Cars ». *Agence internationale de l'énergie*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/minerals-used-in-electric-cars-compared-to-conventional-cars>

AIE. 2021b. « The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions ». *Agence internationale de l'énergie*. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions#overview>

AIE. 2024. « EV Life Cycle Assessment Calculator ». *Agence internationale de l'énergie*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/ev-life-cycle-assessment-calculator>

Anglo American. 2022. « Anglo American Launches €745 Million Sustainability-Linked Bond ». *Anglo American*. <https://www.angloamerican.com/media/press-releases/2022/14-09-2022>

Arnold, Jonathan. 2025. « BlackRock devrait écouter son président et chef de la direction de 2020 : le risque climatique reste synonyme de risque pour les investissements ». *Institut climatique du Canada*. <https://institutclimatique.ca/blackrock-risque-climatique-investissements/>

Association minière du Canada. 2022. « Principes d'élaboration d'une politique sur les changements climatiques ». *Association minière du Canada*. <https://mining.ca/fr/ressources/guides-manuels/principes-delaboration-dune-politique-sur-les-changements-climatiques/>

BC Hydro. 2023. « North Coast B.C. Expression of Interest ». <https://www.bchydro.com/energy-in-bc/projects/north-coast-bc-electrification/express-interest.html>

Beugin, Dale, Anna Kanduth, Dave Sawyer et Rick Smith. 2024. « Quelles politiques climatiques canadiennes auront le plus d'influence d'ici 2030? ». <https://440megatonnes.ca/fr/insight/reduction-emissions-tarification-carbone-2030/>

BHP. 2024a. « BHP and Rio Tinto Collaborate on Battery-Electric Haul Truck Trials in the Pilbara ». <https://www.bhp.com/news/media-centre/releases/2024/05/bhp-and-rio-tinto-collaborate-on-battery-electric-haul-truck-trials-in-the-pilbara>

BHP. 2024b. « Climate Transition Action Plan 2024 ». *BHP*. <https://www.bhp.com/sustainability/climate-change/climate-transition-action-plan>

BHP. 2024c. « Decarbonisation: Strategy and Progress - Investor Presentation ». https://www.bhp.com/-/media/documents/media/reports-and-presentations/2024/260624_decarbonisationroundtable.pdf

Bingoto, Patricia, Michel Foucart, Maria Gusakova, Thomas Hundertmark et Michel Van Hoey. 2023. « The Net-Zero Materials Transition: Implications for Global Supply Chains. » *McKinsey & Company*. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/the-net-zero-materials-transition-implications-for-global-supply-chains#/>

Blinn, Haley et Johan Persson. 2023. « Power at the End of the Tunnel ». *Sandvik Mining and Rock Solutions et Partners in Performance*. <https://www.rocktechnology.sandvik/globalassets/landing-page/bev-whitepaper/power-at-the-end-of-the-tunnel-electrifying-underground-mining.pdf>

Canadian Energy and Emissions Data Centre. « The Canadian Energy and Emissions Data Centre (CEEDC): Database on Energy, Emissions et Production for Canadian Industry ». <https://cieedacdb.rem.sfu.ca/naics-database/>

Carreon, Alessandra R. 2023. « The EV Battery Supply Chain Explained ». *RMI*. <https://rmi.org/the-ev-battery-supply-chain-explained/>

Consolidated Mining Standard Initiative. 2024. « Consolidated Mining Standard Initiative ». *Consolidated Mining Standard Initiative*. <https://miningstandardinitiative.org/news/news-and-media/cmsi-launches-first-consultation/>

Day, Nathan, Simran Jodha et Viral Shah. 2024. « Lack of ESG Standard Creates Headache for Nickel Players ». *S&P Global Commodity Insights*. <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/metals/100424-lme-week-lack-of-esg-standard-creates-headache-for-nickel-players>

Department of Energy. 2025. « Adoption Readiness Levels (ARL) Framework ». *Energy.gov*. <https://www.energy.gov/technologytransitions/adoption-readiness-levels-arl-framework>

Dion, Jason et Ross Linden-Fraser. 2024. « La tarification du carbone industriel, démystifiée ». *Institut climatique du Canada*. <https://institutclimatique.ca/les-systemes-dechange-es-pour-les-grands-emetteurs-demystifies/>

Dion, Jason, Caroline Lee, Anna Kanduth, Christiana Guertin et Dale Beugin. 2022. « Volte-face : comment alimenter un Canada carboneutre ». *Institut climatique du Canada*. <https://institutclimatique.ca/reports/volte-face/>

E3 Lithium. 2025. <https://e3lithium.ca/newsroom/news-releases/e3-lithium-produces-battery-quality-lithium-carbonate-with-demonstration-scale-equipment>

Electric Autonomy Canada. « BEVs in Mining ». <https://electricautonomy.ca/tag/battery-electric-mining-vehicles/>

Energy Transitions Commission. 2023. « Material and Resource Requirements for the Energy Transition ». *Energy Transitions Commission*. <https://www.energy-transitions.org/publications/material-and-resource-energy-transition/>

Environnement et Changement climatique Canada. 2024. « Rapport d'inventaire national 1990-2023 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada 2025 ». <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/emissions-gaz-effet-serre/inventaire.html>

Foote, Victoria. 2025. « New Supply-Chain 'Passports' Pave the Way for More Recycling of EV Batteries ». *Corporate Knights*. <https://www.corporateknights.com/category-circular-economy/new-supply-chain-passports-pave-the-way-for-more-recycling-of-ev-batteries/>

Fortescue. 2024. « Fortescue Signs US\$2.8 Billion Green Equipment Partnership with Liebherr for Zero Emission Mining Solutions ». <https://www.fortescue.com/en/articles/fortescue-signs-us-28-billion-green-equipment-partnership-with-liebherr>

FPX Nickel. 2024. « FPX Nickel Adopts Best-in-Class Technology to Reduce Baptiste's Carbon Intensity and Receives BC Hydro Support ». <https://www.newswire.ca/news-releases/fpx-nickel-adopts-best-in-class-technology-to-reduce-baptiste-s-carbon-intensity-and-receives-bc-hydro-support-838491236.html>

Gehm, Ryan. 2024. « Komatsu's First Battery-Electric Load-Haul-Dump (LHD) Underground Mining Machine, the WX04B, Features Battery Swap System That Reduces Costs and Complexity ». *SAE International*. <https://www.sae.org/news/2024/10/komatsu-battery-swapping>

Gleeson, Daniel. 2024. « First Sandvik LH518iB Battery-Electric Loader Arrives at McIlvenna Bay ». *International Mining*. <https://im-mining.com/2024/08/01/first-sandvik-lh518ib-battery-electric-loader-arrives-at-mcilvenna-bay/>

Global Battery Alliance. 2024. « Global Battery Alliance Launches Second Wave of Battery Passport Pilots ». <https://www.globalbattery.org/press-releases/gba-launches-second-wave-of-battery-passport-pilots/>

Gouvernement de la Colombie-Britannique. 2024. « Energy & Mines Digital Trust ». *Digital Office*. <https://digital.gov.bc.ca/2024/06/25/energy-mines-digital-trust-pilot/>

Gouvernement du Canada, Services publics et Approvisionnement Canada, Direction générale des services intégrés, Services d'information du gouvernement, Éditions et Services de dépôt. 2013. « Rapport d'inventaire national : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada ». <https://publications.gc.ca/site/fra/9.502402/publication.html>

Gouvernement du Canada. 2024. « Programme de recherche, développement et démonstration pour les minéraux critiques ». <https://www.canada.ca/fr/campagne/mineraux-critiques-au-canada/soutien-du-gouvernement-federal-aux-projets-sur-les-mineraux-critiques-et-les-chaines-de-valeur/mineraux-critiques-recherche-developpement-et-demonstration-programme.html>

Gouvernement du Canada. 2025. « Le gouvernement du Canada investit dans la production de minéraux critiques de la société minière Foran en Saskatchewan ». *Gouvernement du Canada*. <https://www.canada.ca/fr/innovation-sciences-developpement-economique/nouvelles/2025/01/le-gouvernement-du-canada-investit-dans-la-production-de-mineraux-critiques-de-la-societe-mini%C3%A9re-foran-en-saskatchewan.html>

Gouvernement du Québec. « Programme de soutien au développement durable pour les entreprises du secteur minier ». *Ministère des Ressources naturelles et des Forêts*. <https://mrnf.gouv.qc.ca/mines/programmes/soutien-developpement-durable-entreprises-secteur-minier/>

Heimes, Heiner Hans, Achim Kampker, Christoph Lienemann, Marc Locke, Christian Offermanns, Sarah Michaelis et Ehsan Rahimzei. 2018. « Lithium-Ion Battery Cell Production Process ».

International Mining. 2024. « Glencore Canada Gets Federal Funding Boost for All Electric Mining Fleet at Onaping Depth ». *International Mining*. <https://im-mining.com/2024/05/11/glencore-canada-gets-federal-funding-boost-for-all-electric-mining-fleet-at-onaping-depth/>

Kreft, Sebastian. 2024. « Class 1 Nickel Trading Volumes on Metalshub ». *Metalshub*. <https://www.metals-hub.com/en/blog/class-1-nickel-trading-volumes-on-metalshub/>

Linden-Fraser, Ross. 2024. « Creuser le sujet des émissions dans l'industrie minière ». *440 mégatonnes : La voie du Canada vers la carboneutralité*. <https://440megatonnes.ca/fr/insight/creuser-emissions-industrie-mini%C3%A9re/>

London Metal Exchange. 2021. « LME Collaborates With Metalshub in Digital Spot Trading Offering for Base Metals ». <https://www.lme.com/en/News/Press-releases/2021/LME-collaborates-with-Metalshub-in-digital-spot-trading-offering-for-base-metals>

London Metal Exchange. 2024. « Low Carbon Nickel: Market Feedback and Transaction Data Update ». <https://www.lme.com/api/sitecore/MemberNoticesSearchApi/Download?id=6ad52c6a-49bf-4e14-992e-1b1eb1924a30>

MABC. 2024. « Budget 2024 a Step in Right Direction for BC's Mining and Critical Mineral Sector ». *Mining Association of BC*. <https://mining.bc.ca/2024/02/budget-2024-a-step-in-right-direction-for-bcs-mining-and-critical-mineral-sector/>

Newmont. 2021. « Newmont Closes Sustainability-Linked Senior Notes Offering of \$1 Billion at 2.600% ». <https://www.newmont.com/investors/news-release/news-details/2021/Newmont-Closes-Sustainability-Linked-Senior-Notes-Offering-of-1-Billion-at-2.600/default.aspx>

Parlement européen et Conseil de l'Union européenne. 2023. « Règlement (UE) 2023/1542 du Parlement européen et du Conseil du 12 juillet 2023 relatif aux batteries et aux déchets de batteries, modifiant la directive 2008/98/CE et le règlement (UE) 2019/1020, et abrogeant la directive 2006/66/CE ». *Journal officiel de l'Union européenne*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1542>

Pinnell, Lloyd, Benjamin Neves, Pravin Steele, Eveline Speelman, Alasdair Graham, Pénélope Le Menestrel et Julia Reinaud. 2024. « A Critical Raw Material Supply-Side Innovation Roadmap for the EU Energy Transition ». *Systemiq*. <https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2024/12/EU-CRM-Innovation-Roadmap.pdf>

Railveyor. 2024. « Railveyor at Agnico Eagle Goldex Mining Complex: Efficiency, Energy & Emissions Whitepaper ». https://www.railveyor.com/wp-content/uploads/2024/08/240821_AEM-PDF1-3.pdf

Rio Tinto. 2024. « Rio Tinto complète la construction de sa centrale solaire à la mine de diamants Diavik ». <https://www.riotinto.com/fr-ca/can/news/releases/2024/rio-tinto-complete-la-construction-de-sa-centrale-solaire-a-la-mine-de-diamants-diavik>

Rizos, Vasileios et Patricia Urban. 2024. « Implementing the EU Digital Battery Passport: Opportunities and Challenges for Battery Circularity ». *Plateforme des acteurs européens de l'économie circulaire*. <https://circulareconomy.europa.eu/platform/fr/node/7916>

Samson, Rachel, Jonathan Arnold, Weseem Ahmed et Dale Beugin. 2021. « Ça passe ou ça casse : Transformer l'économie canadienne pour un futur sobre en carbone ». *Institut climatique du Canada*. <https://institutclimatique.ca/reports/ca-passe-ou-ca-casse/>

Sawyer, Dave et Ross Linden-Fraser. 2025. « Plan de modernisation des systèmes d'échange pour les grands émetteurs du Canada ». <https://climateinstitute.ca/wp-content/uploads/2025/02/Plan-modernisation-SEGE-canadiens.pdf>

Sawyer, Dave, Ross Linden-Fraser et Dale Beugin. 2024. « Modernisation de la tarification du carbone industriel ». *440 mégatonnes (Institut climatique du Canada)*. <https://440megatonnes.ca/fr/insight/tarification-carbone-industriel-reduction-emissions/>

Skarn. « GHG & Energy Curves Database ». <https://www.skarnassociates.com/products/ghg-energy-curves>

Tijsseling, Laurens, Lyle Trytten, Robert Pell, Phoebe Whattoff et Rohin Shah. 2023. « Nickel's Carbon Challenge: Understanding the Relationship Between Nickel Source and Carbon Intensity ». *MINVIRO*. <https://www.minviro.com/resources/guides/nickels-carbon-challenge>

Transport & Environment. « Are Electric Cars Cleaner? » <https://www.transportenvironment.org/topics/cars/are-electric-cars-cleaner>

Trottier-Chi, Calvin. 2024. « Le rôle des minéraux critiques dans l'économie propre ». *440 Mégatonnes : La voie du Canada vers la carboneutralité*. <https://440megatonnes.ca/fr/insight/mineraux-critiques-economie-propre/>

TÜV SÜD. 2024. « An Overview of EU Battery Regulation ». <https://www.tuvsud.com/en/resource-centre/white-papers/an-overview-of-eu-battery-regulation>

UL Solutions au Canada. « Certification ECOLOGO® pour l'exploration minière ». *UL Solutions*. <https://canada.ul.com/fr/programmesulc/explores/>

Wang, Ruilin, Anna Duquiatan et Patricia Barreto. 2024. « 2024 Copper Project Pipeline – Project Shortages Lead to Deepening Long-Term Deficits ». *S&P Market Intelligence* (abonnement requis).

Winkelman, Graham. 2024. « Decarbonisation: Strategy and Progress ». *BHP*. https://www.bhp.com/-/media/documents/media/reports-and-presentations/2024/260624_decarbonisationroundtable.pdf

Xu, Hui, Longwen Ou, Yuan Li, Troy R. Hawkins et Michael Wang. 2022. « Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Biodiesel and Renewable Diesel Production in the United States ». *Environmental Science & Technology*, 56 (12) : 7512-21. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c00289>

Yakub, Mehanaz. 2022. « Newcrest Adopting All-Electric Underground Haul Fleet at Brucejack Mine in B.C. by End of 2022 ». *Electric Autonomy Canada*. <https://electricautonomy.ca/news/2022-09-15/newcrest-brucejack-electric-mining-fleet/>