

GLQ3401/GLQ3651 : Première partie

Cours 1 : Introduction à l'industrie minérale



**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**

UNIVERSITÉ
D'INGÉNIERIE

Plan du cours

1. Présentation

- Plan de cours;
- Site moodle (anciens examens, logiciels, exercices,...);
- Objectifs du cours.

2. Industrie minière

- Position du Canada dans le monde;
- Principales régions productrices au Canada
- Évolution de la production minière au Québec;
- Évolution de l'indice des prix des métaux et minéraux;
- Principaux usages;
- Quelques données historiques des prix;
- Exploration;
- Mines exploitées;
- Aspects fiscaux;
- Santé et sécurité;
- Liens utiles;
- Minerais, contexte géologique et teneur de coupure typiques (selon Peters, 1987);
 - Classification des gisements (selon *Geology of Canadian mineral deposit types*, 1995);
 - Quelques gisements de classe mondiale.
- Échelle des temps géologiques.
- Loi des mines



1. Présentation

Plan de cours



1. Présentation

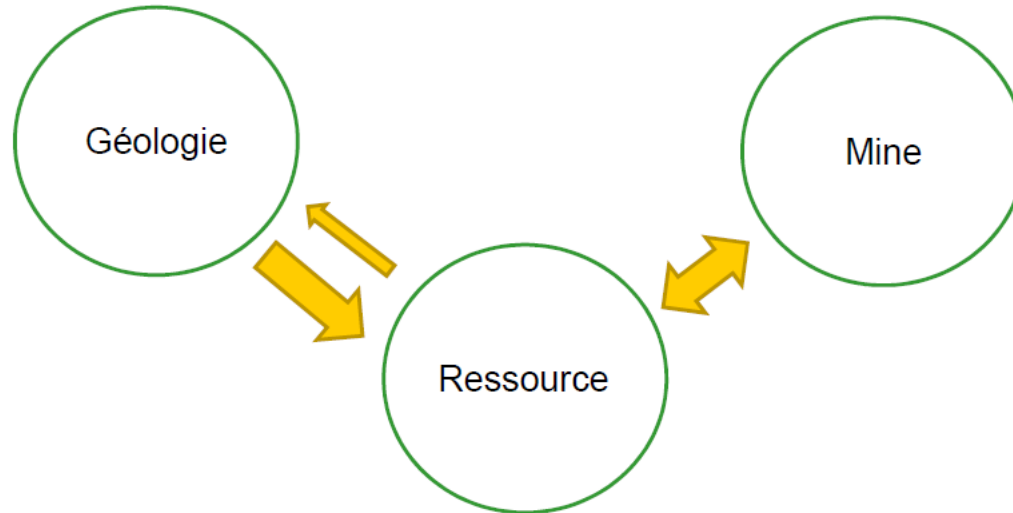
Site moodle



1. Présentation

Objectifs du cours

Apprendre à estimer des ressources



1. Présentation

Objectifs du cours

Loin d'être simple

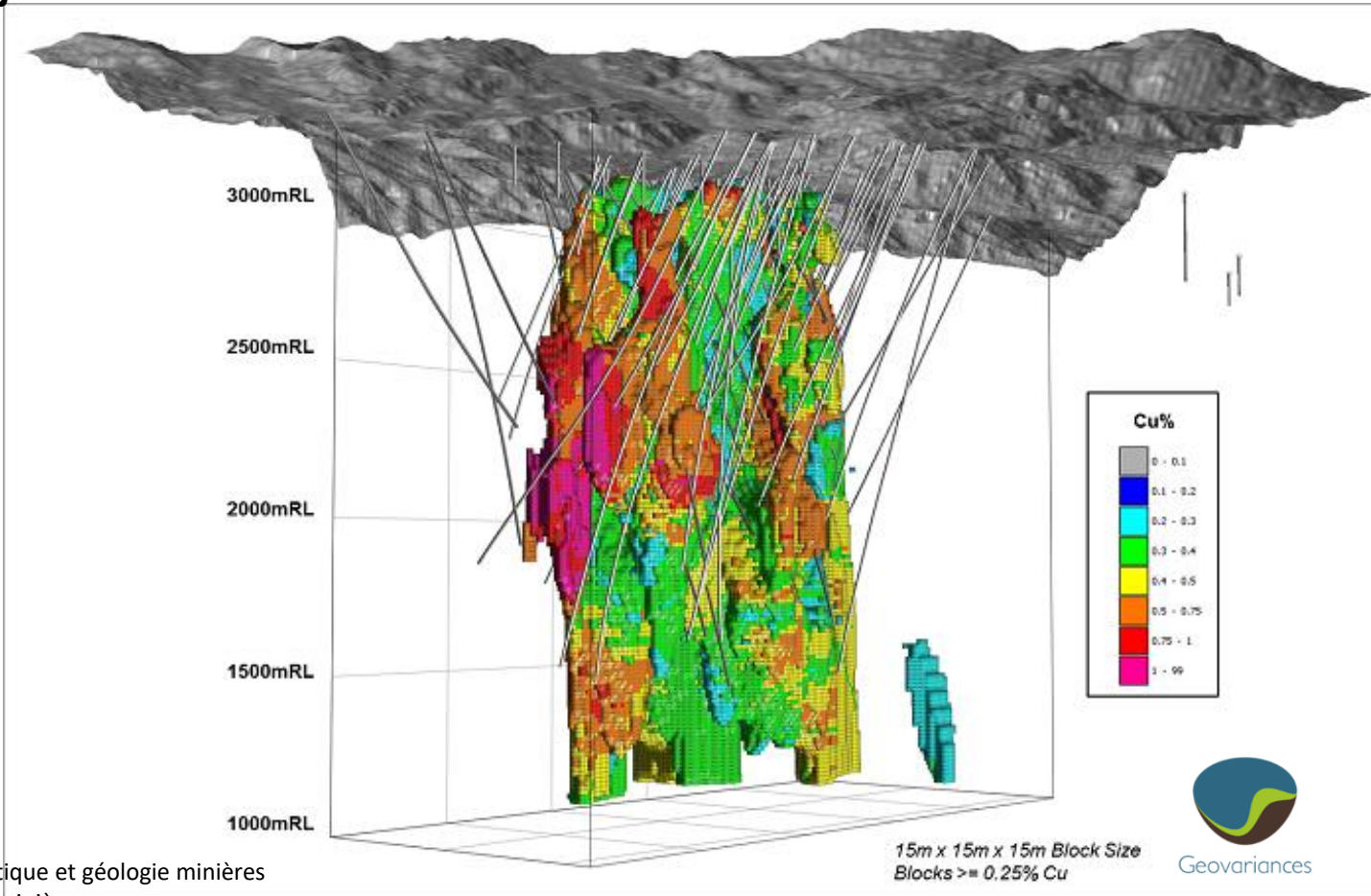
- Préparer et obtenir des données de qualité;
- Définir le domaine;
- Choisir la taille des blocs du modèle;
- Choisir la méthode d'interpolation;
- Tenir compte de l'incertitude sur les valeurs interpolées pour définir les catégories de ressources.

QA/QC (C3)
Échantillonnage (C3)
Théorie de Gy (C3)
Forages (C4)

Théorie de Lane (C2)
Déf. des ressources (C2,C5)
Effet de support (C3-C13)
Effet d'information (C3-C13)
Estimation des ressources (C5,C8)
Var. de blocs (C7)
Var. de dispersion (C7)
Var. d'estimation (C8)
Krigage (C8)
Cas multivariés (C9)
Méth. Non-linéaires (C10-13)
Simulations (C11-C13)

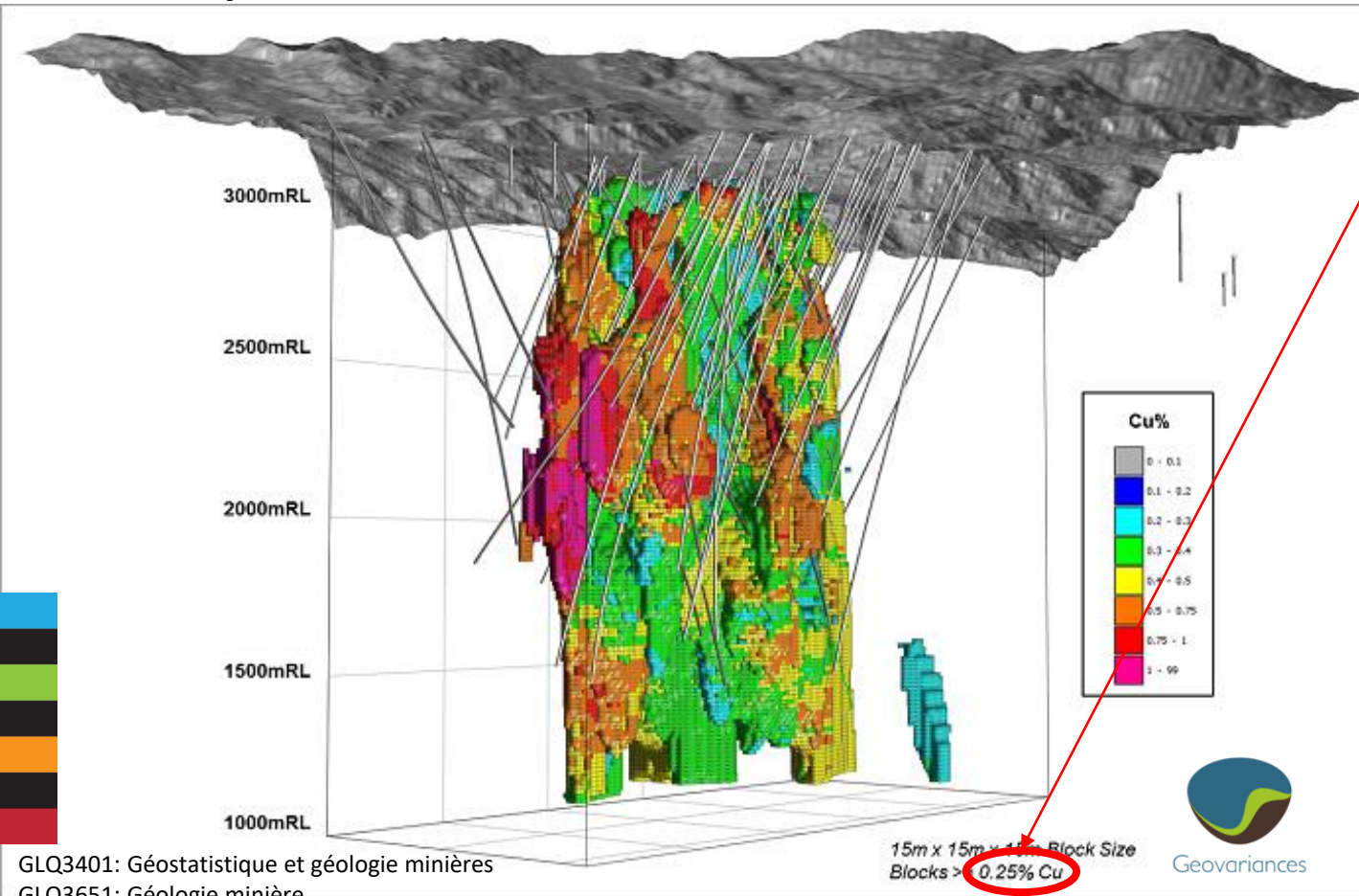
1. Présentation

Objectifs du cours



1. Présentation

Objectifs du cours



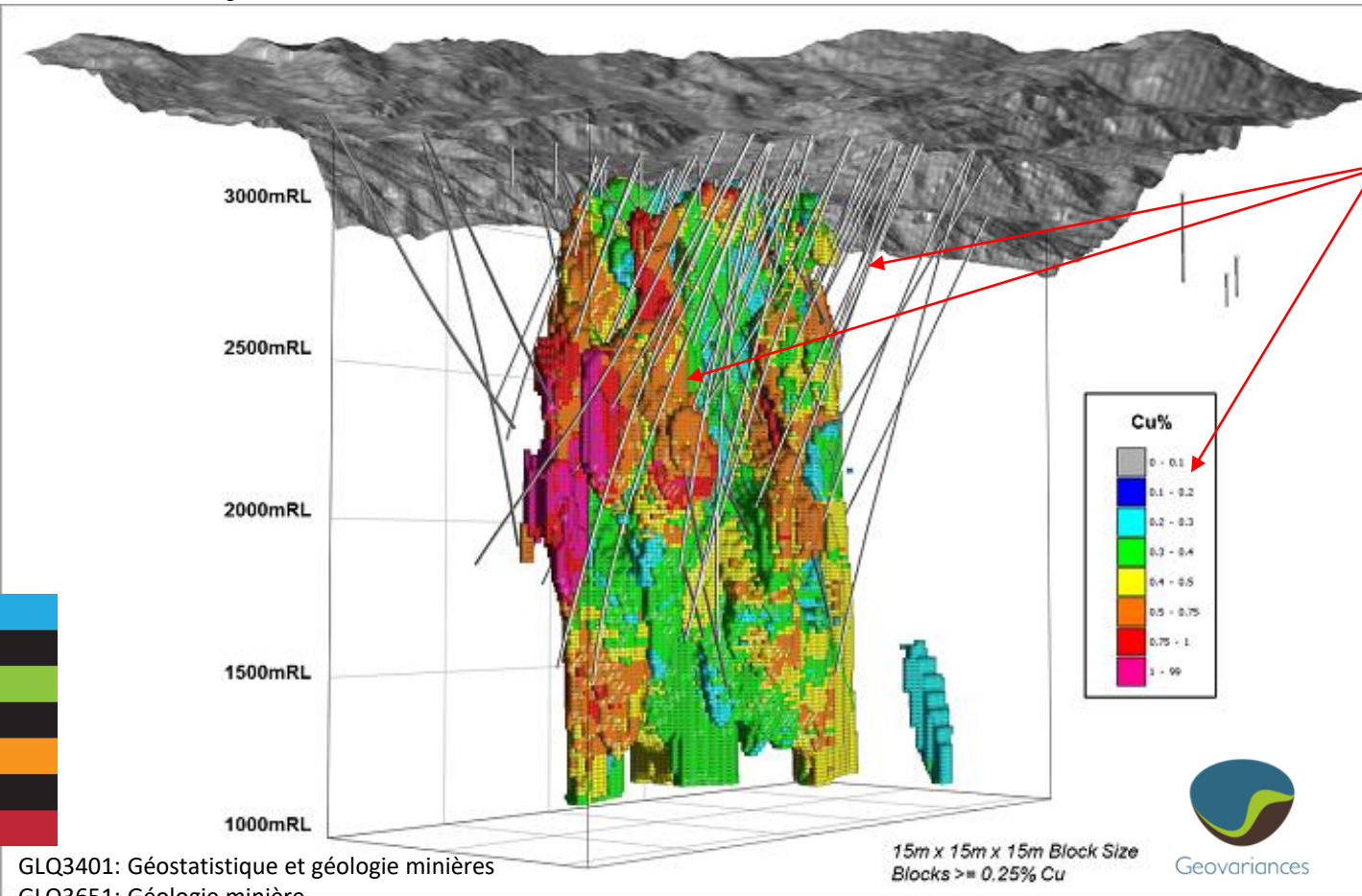
Cours 2: Théorie de Lane

Déterminer la **teneur de coupure** selon le contexte économique.

- Recommander une campagne d'échantillonnage supplémentaire ?
- Accroître la capacité de minage ?
- Augmenter la capacité de traitement ?

1. Présentation

Objectifs du cours



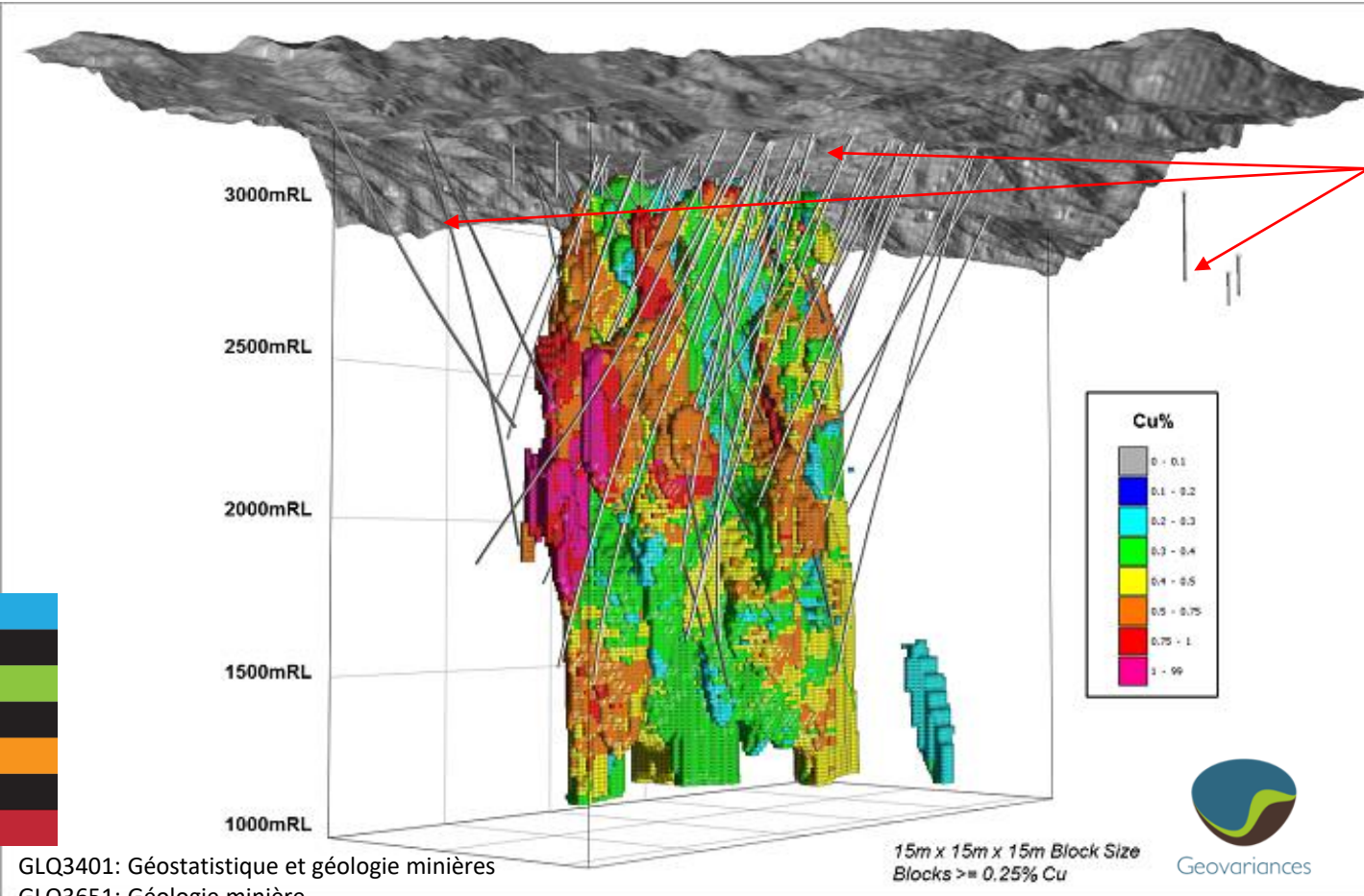
Cours 3: Théorie de Gy

Théorie de l'échantillonnage

- Erreur fondamentale;
- Contrôle de qualité;
- Duplicata.

1. Présentation

Objectifs du cours



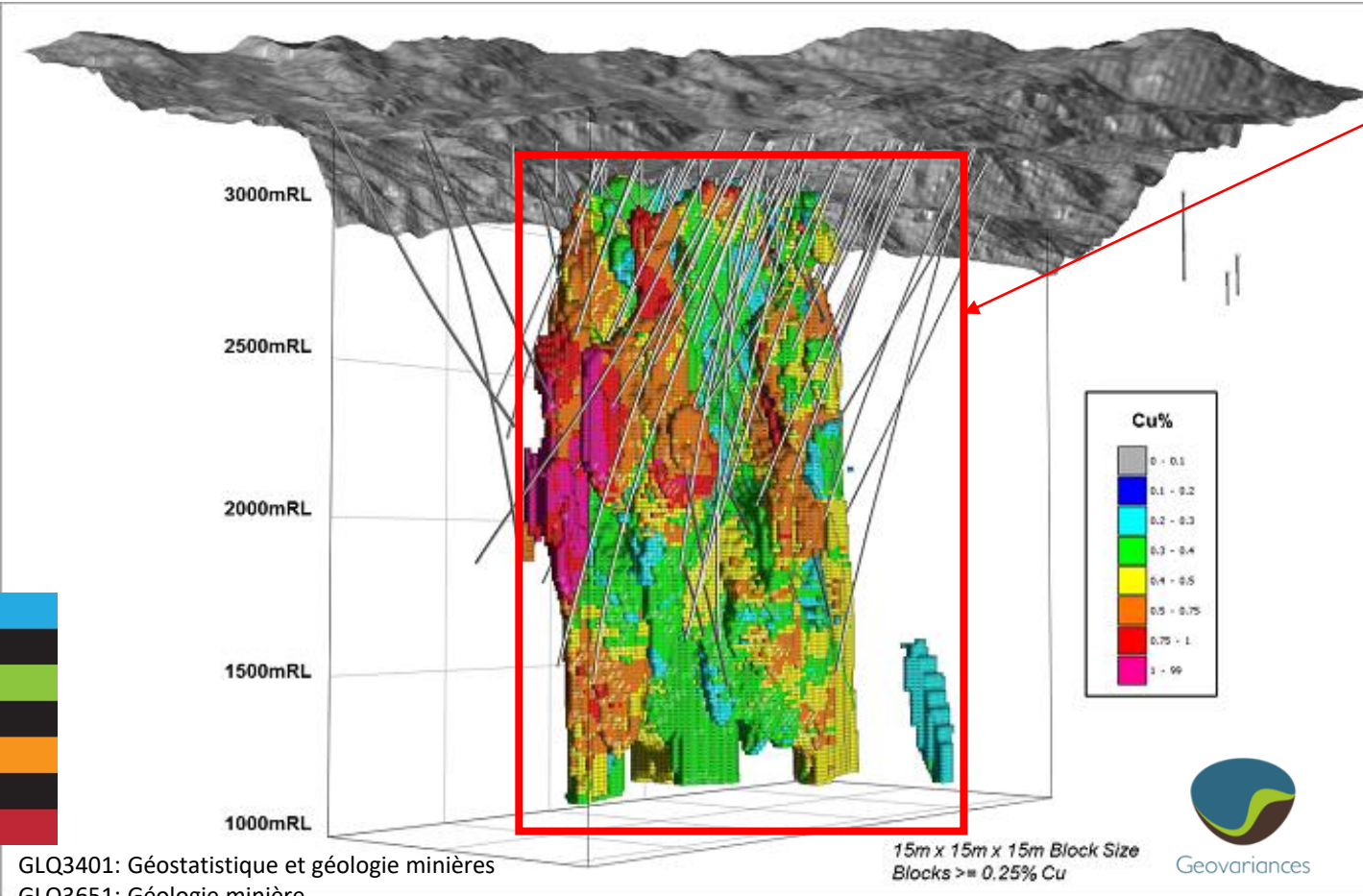
Cours 4: Sondages

Campagnes d'exploration

- Déviations;
- Identification des structures;
- Régularisation des teneurs.

1. Présentation

Objectifs du cours



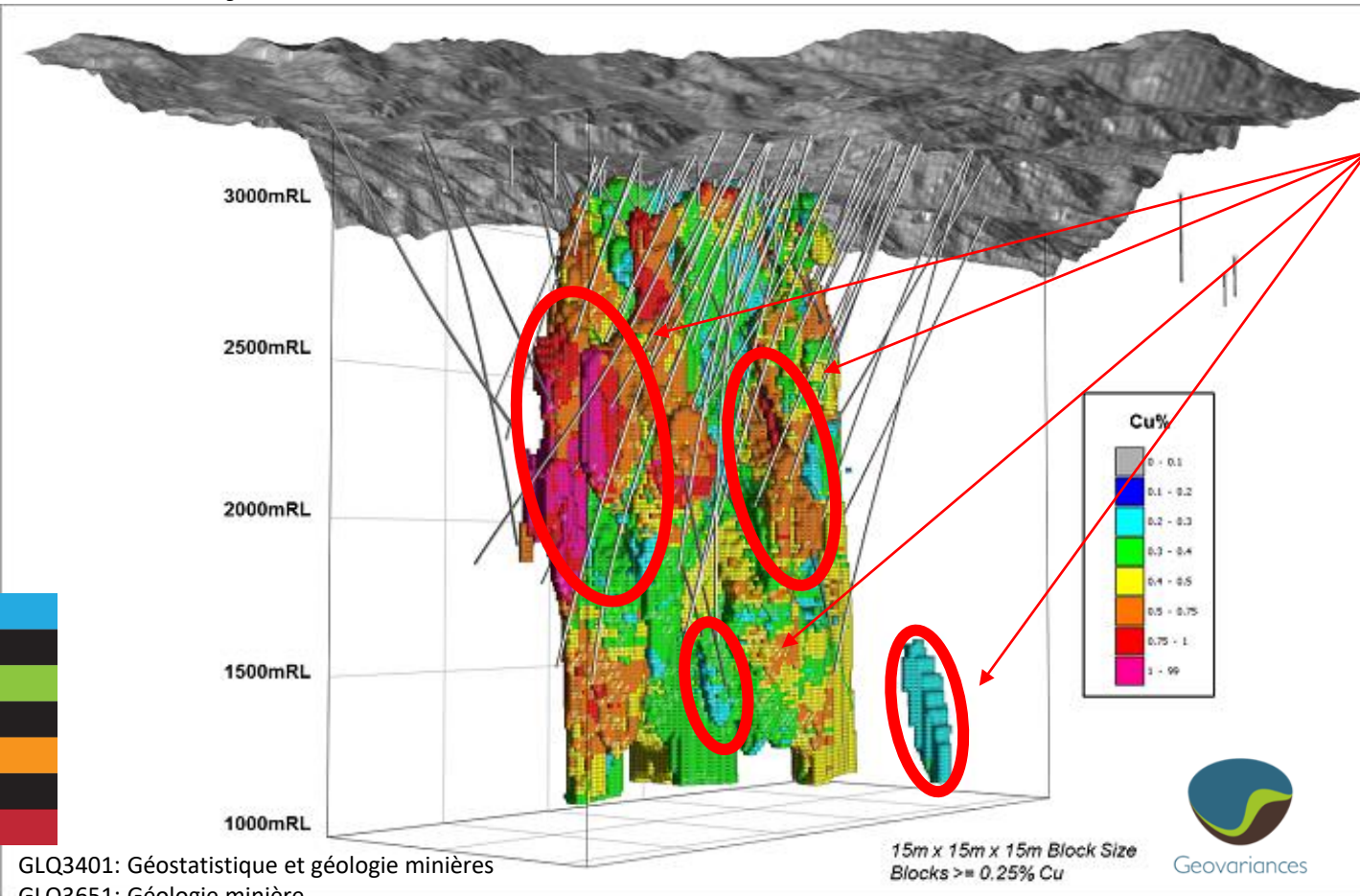
Cours 5: Estimations par méthodes conventionnelles

Estimations des ressources

- Interpolations et extrapolations par des méthodes conventionnelles;
- Validation croisée;
- Calcul théorique de la densité à partir d'une analyse chimique.

1. Présentation

Objectifs du cours



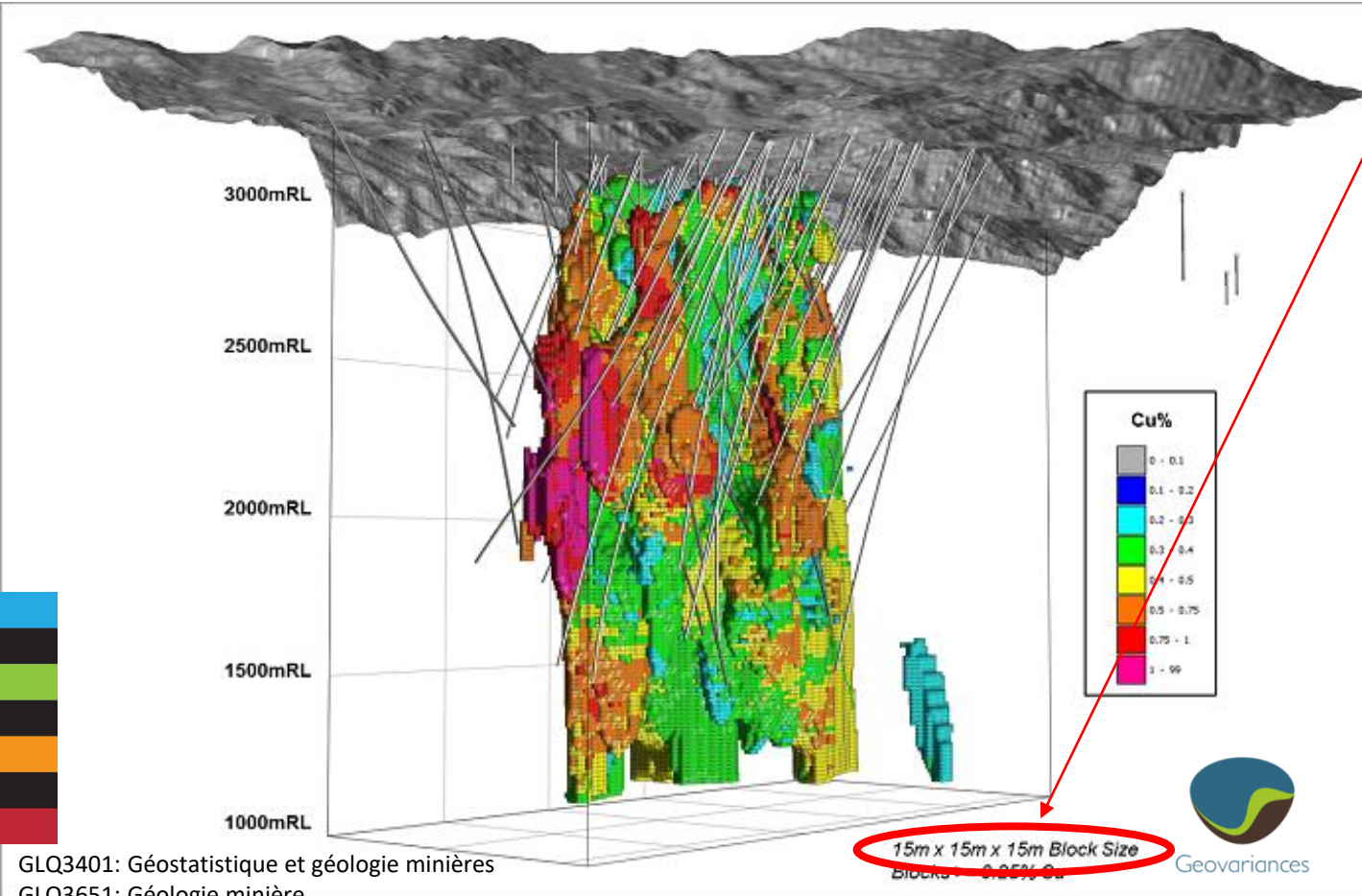
Cours 6: Variogramme

Continuité spatiale

- Quantification statistique de la continuité spatiale des teneurs d'un gisement;
- Variogramme expérimental et théorique;
- Présence d'anisotropies;
- Transformation graphique.

1. Présentation

Objectifs du cours



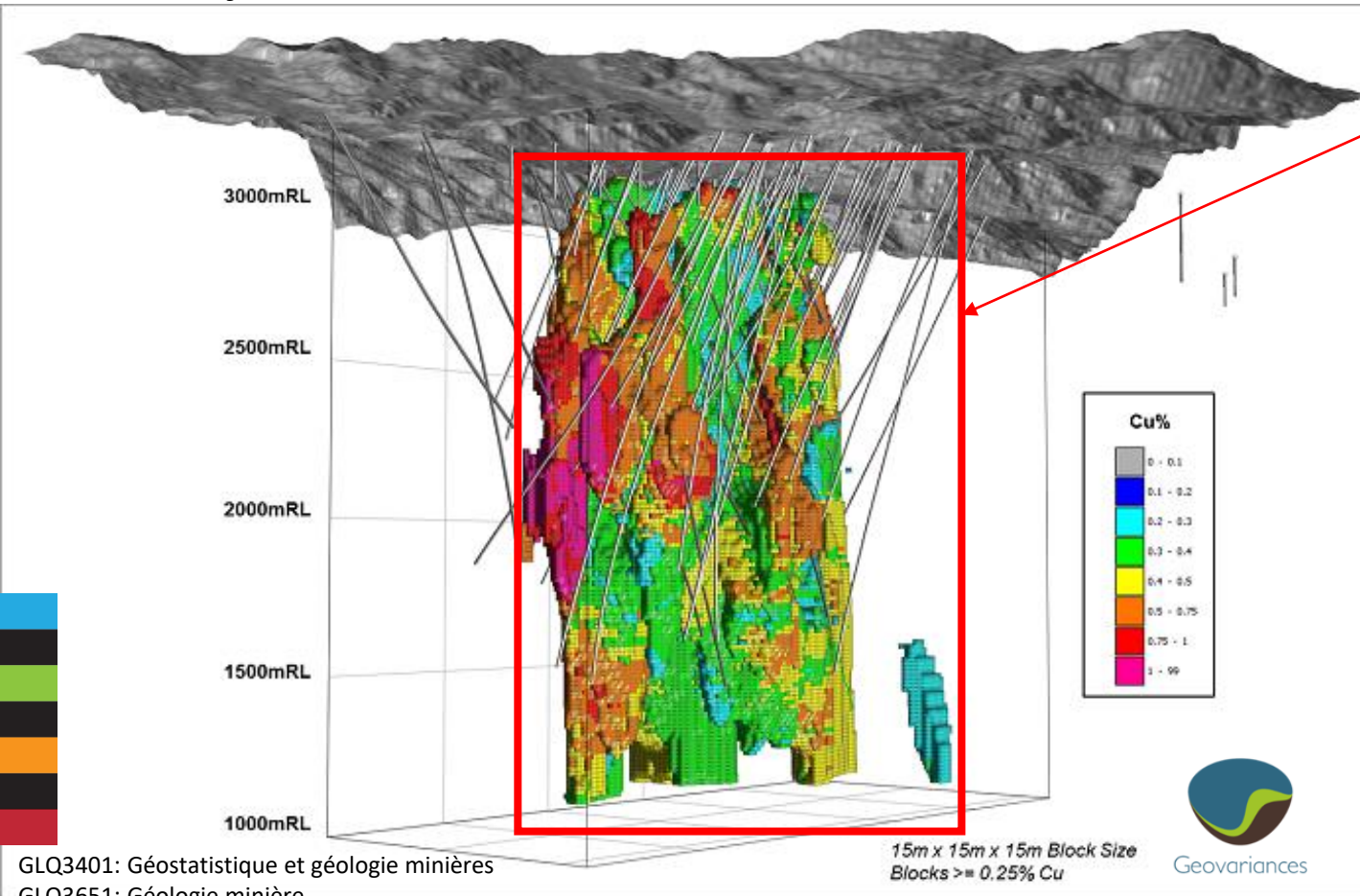
Cours 7: Variance de blocs et de dispersions

Taille des blocs

- Homogénéisation du minerai;
- Recommander un sens de déplacement pour l'exploitation;
- Prévoir l'impact des teneurs de blocs au concentrateur.

1. Présentation

Objectifs du cours



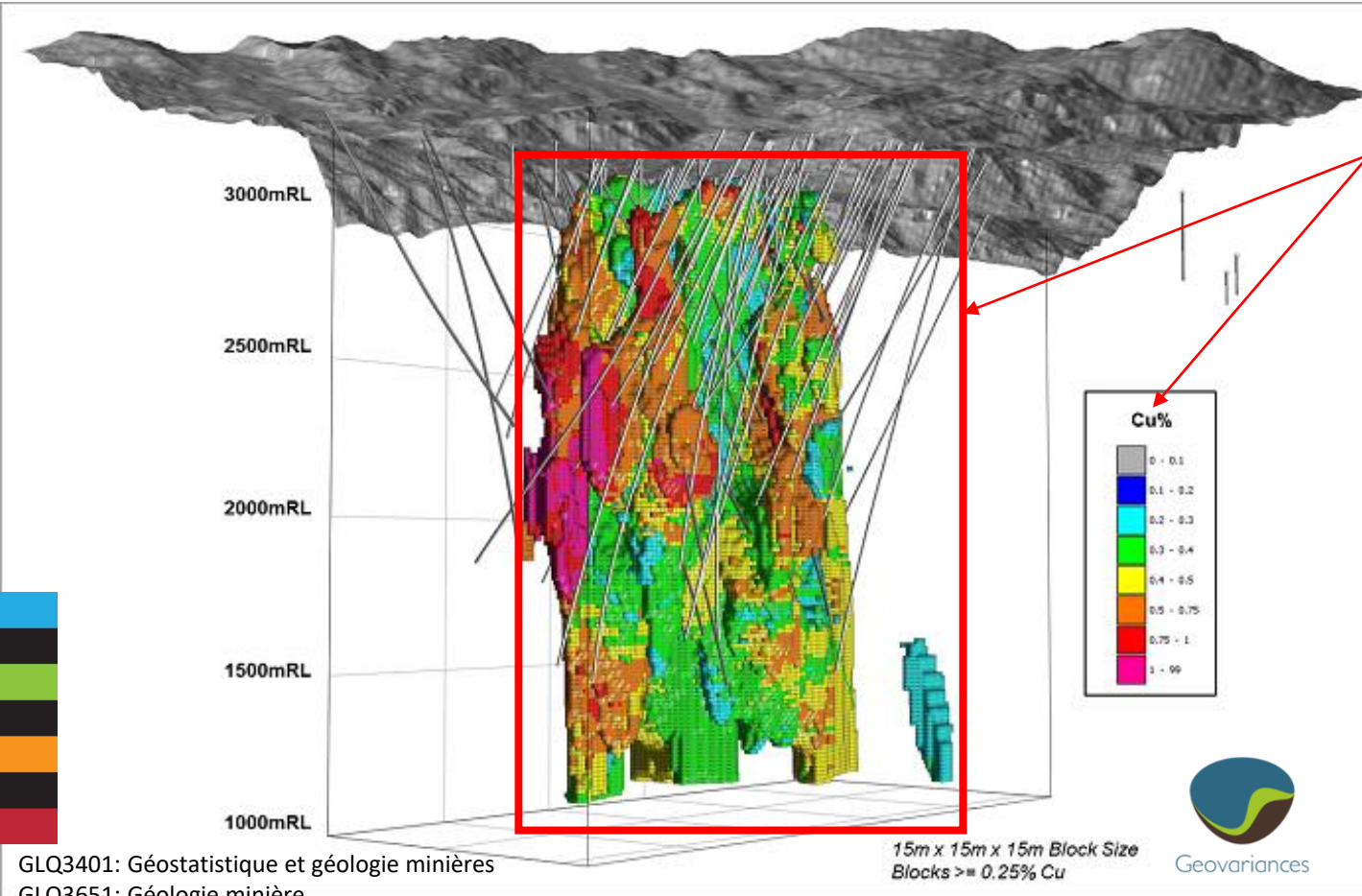
Cours 8: Estimations par krigeage (simple et ordinaire)

Variance d'estimation

- Effet de support;
- Effet d'information;
- Minimisation;
- Validation croisée par krigeage.

1. Présentation

Objectifs du cours



Seulement GLQ3401

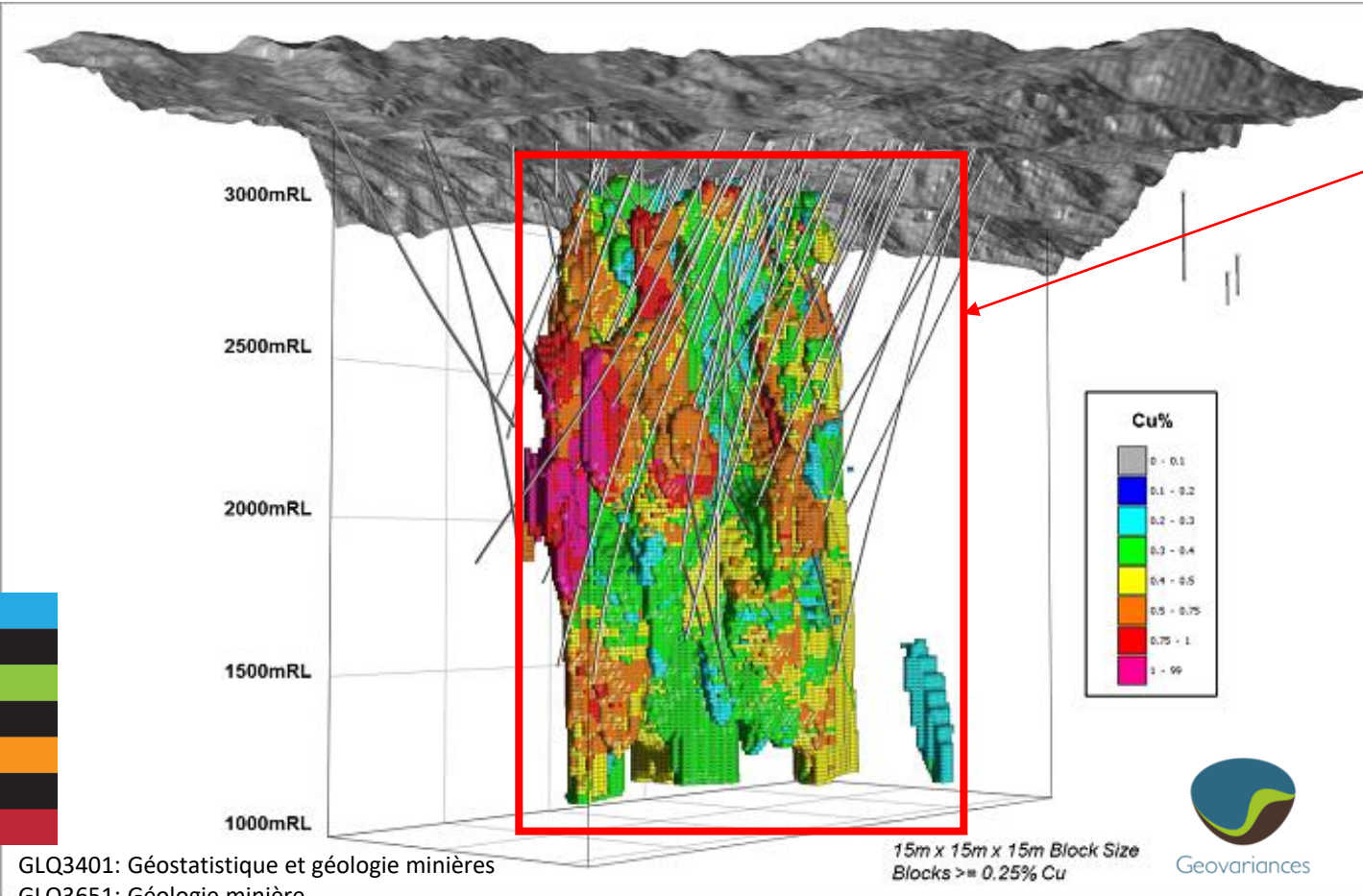
Cours 9: Cokrigage

Domaine multivariable

- Estimation multivariable (p. ex. Cu% et Au%);
- Quantification statistique de la continuité spatiale de plusieurs métaux (paramètres géologiques) corrélés spatialement;
- Utilité d'un cokrigage (p. ex. intégrer les informations d'un levé géophysique au processus d'estimation).

1. Présentation

Objectifs du cours



Seulement GLQ3401

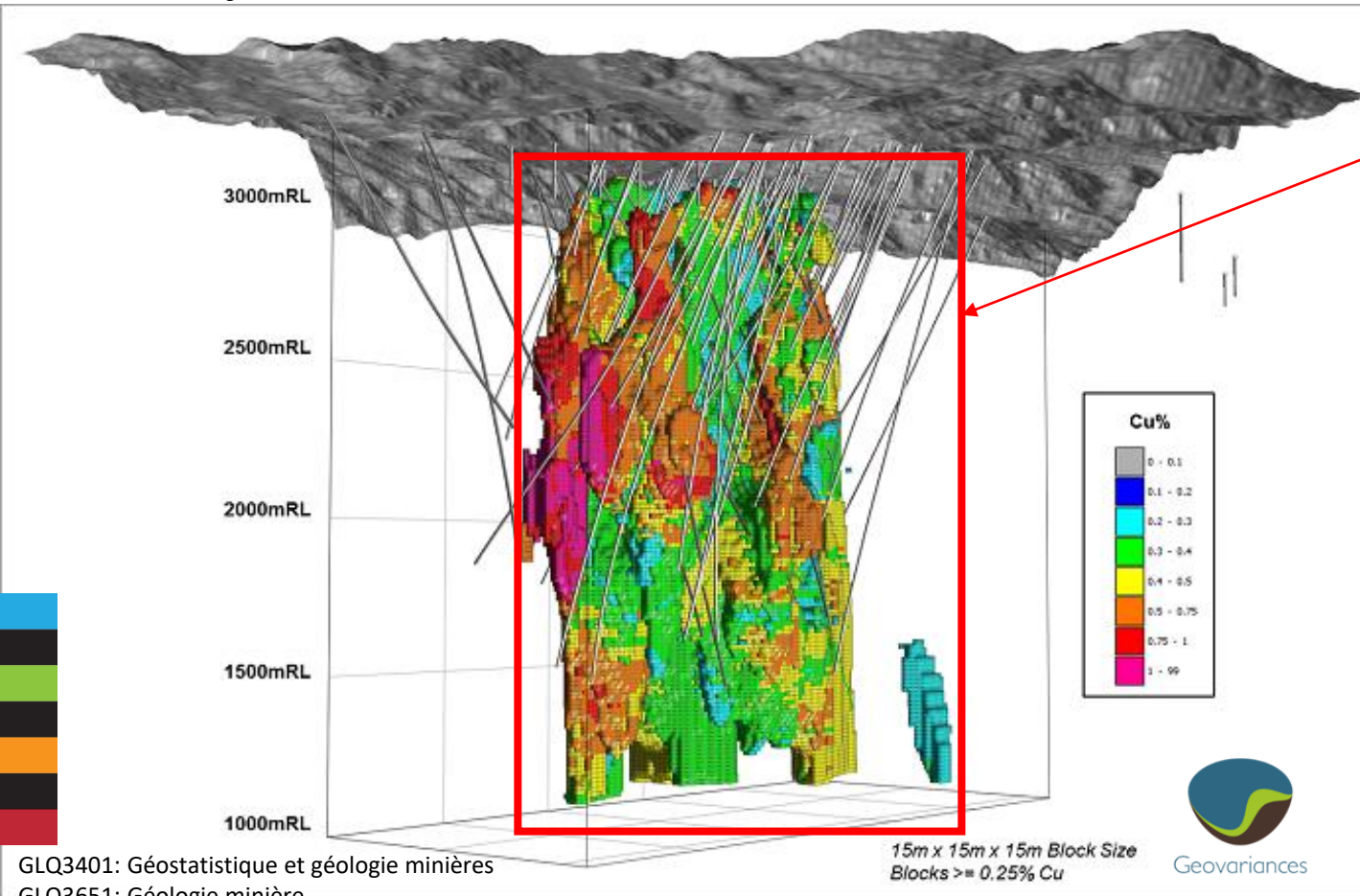
Cours 10: Krigeage d'indicateur

Non linéarité

- Estimation du tonnage de minerai et de métal au-dessus d'un seuil c contenu dans un support V ;
- Obtenir des probabilités conditionnelles;
- Problème de contamination;
- Aide à la décision.

1. Présentation

Objectifs du cours



Seulement GLQ3401

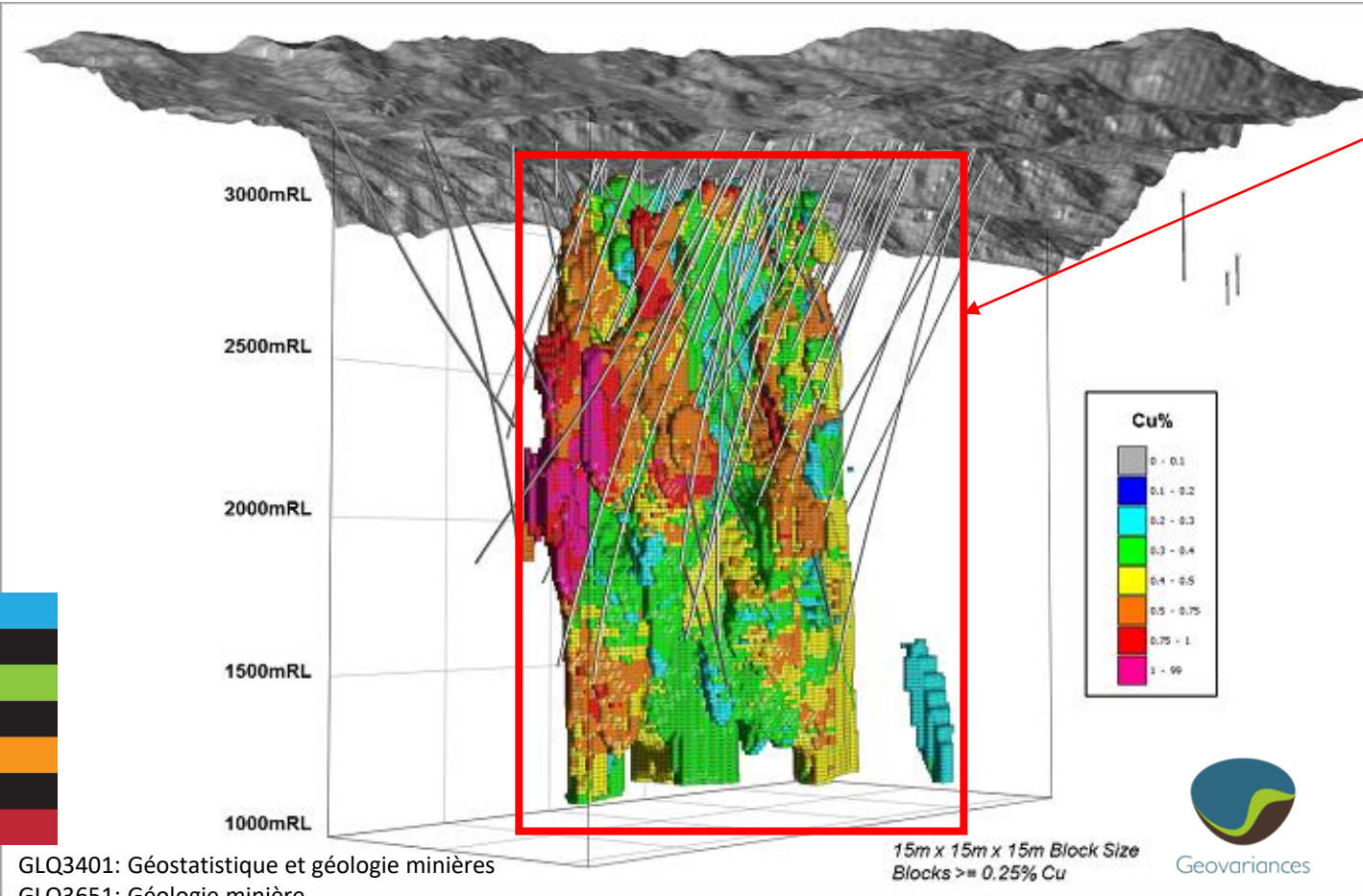
Cours 11: Simulations

Risques géologiques et incertitudes

- Distribution de probabilité conditionnelle des teneurs;
- Évaluation des risques géologiques;
- Aide à la prise de décision.

1. Présentation

Objectifs du cours



Seulement GLQ3401

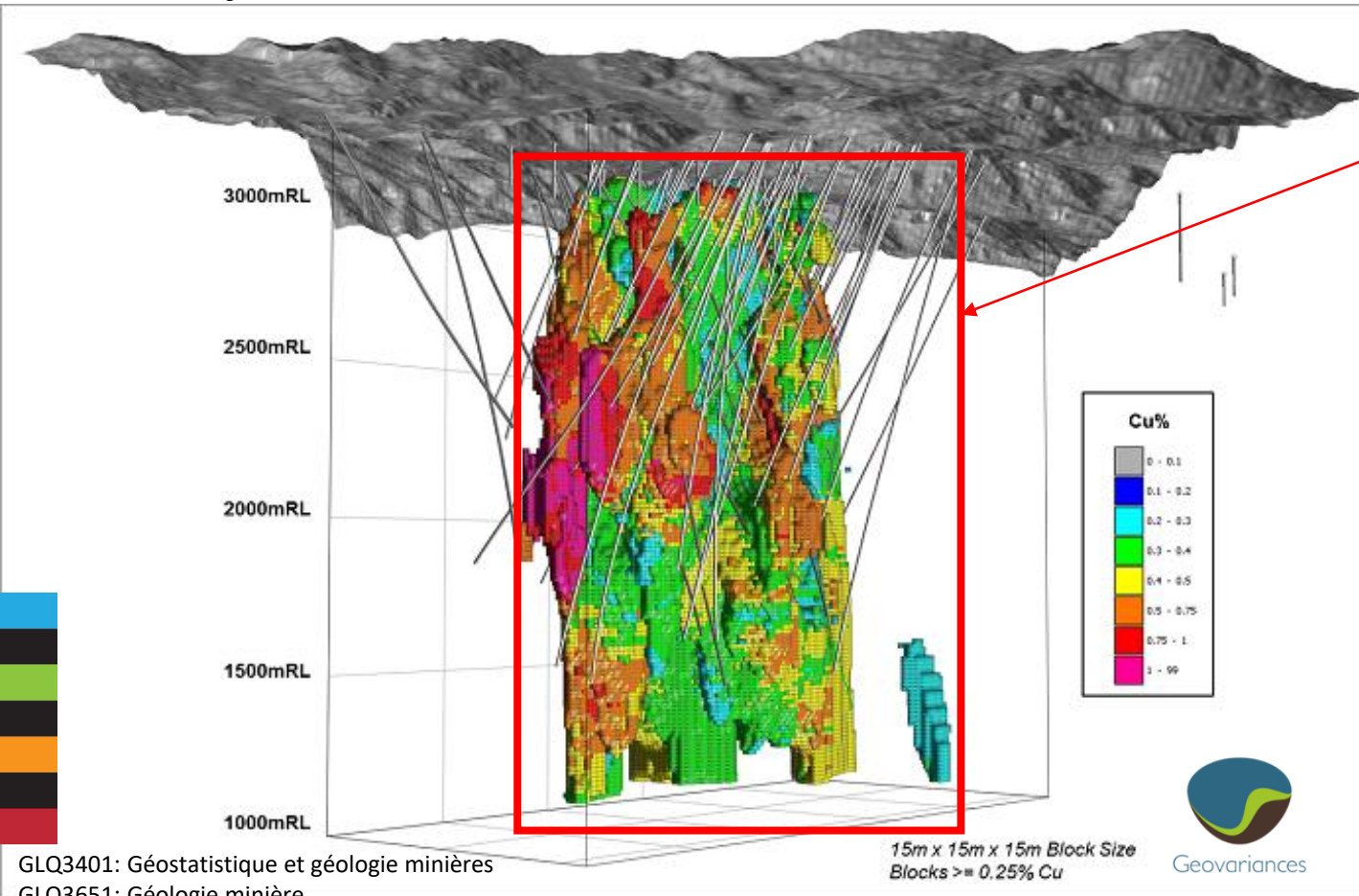
Cours 12: Simulations de facies

Modéliser la lithologie

- Distribution de probabilité conditionnelle d'appartenir à une unité géologique;
- Évaluation des risques géologiques;
- Aide à la prise de décision.

1. Présentation

Objectifs du cours



Seulement GLQ3401

Cours 13: Calage

Gestion des données indirectes

- Intégrer aux modèles de blocs le plus d'informations secondaires par des mécanismes de perturbation.
- Inférer des statistiques d'ordre supérieur (p. ex. l'asymétrie directionnelle)

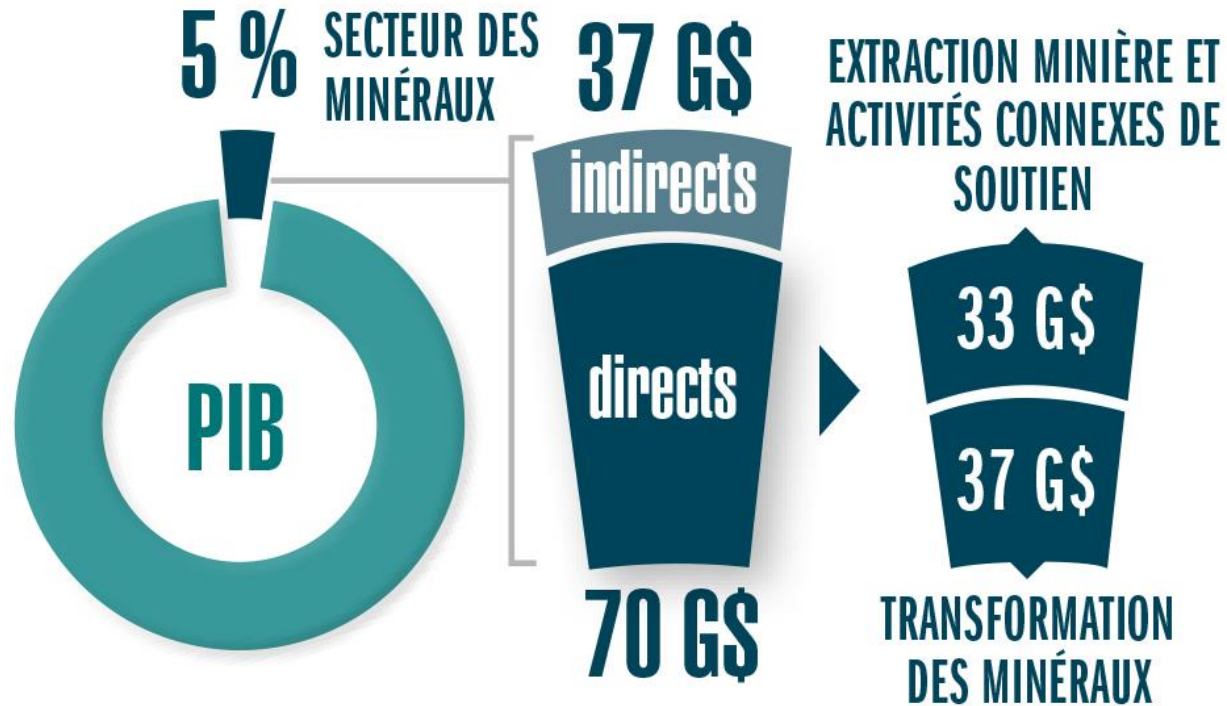
Introduction à l'industrie minérale



2. Industrie minérale

Au Canada

Contribution du secteur des minéraux au produit intérieur brut du Canada, 2020



<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/faits-mineraux-metaux/les-mineraux-et-leconomie/20604#GDP>

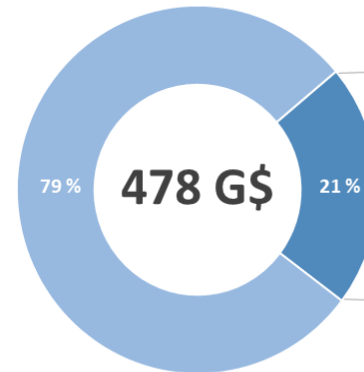
2. Industrie minière

Au Canada

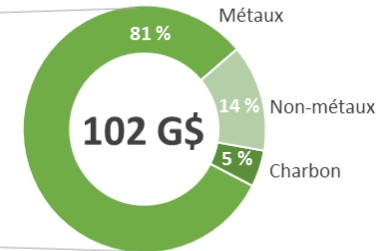
En 2020, les exportations nationales de produits minéraux étaient évaluées à 102,6 milliards de dollars, soit 21 % de la valeur totale des exportations de marchandises nationales du Canada.



Exportations totales de marchandises



Exportations de minéraux et métaux



Principales destinations d'exportation

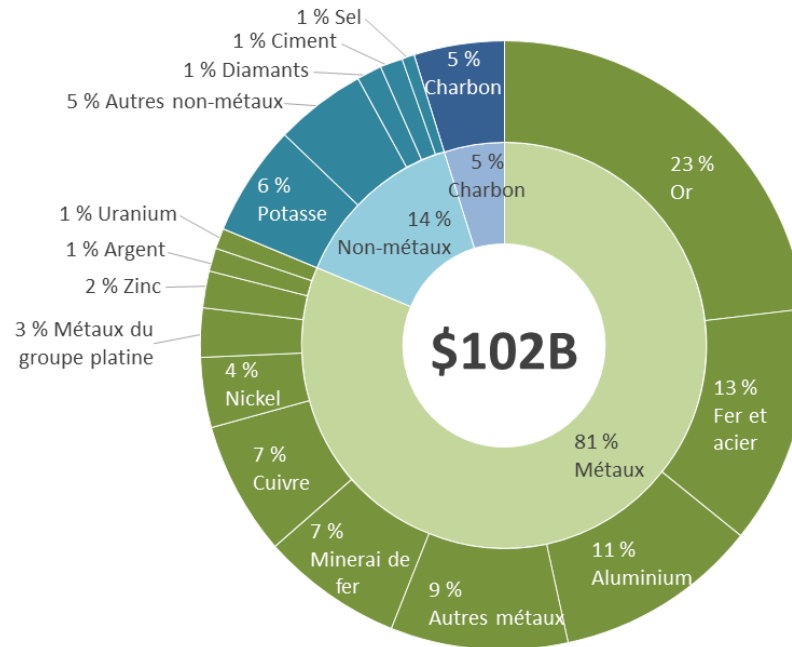


<https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-et-publications/publications/publications-rapports-mines-materiaux/commerce-des-mineraux/19313>

2. Industrie minière

Au Canada

Commerce des minéraux et des métaux par produit de base, en 2020

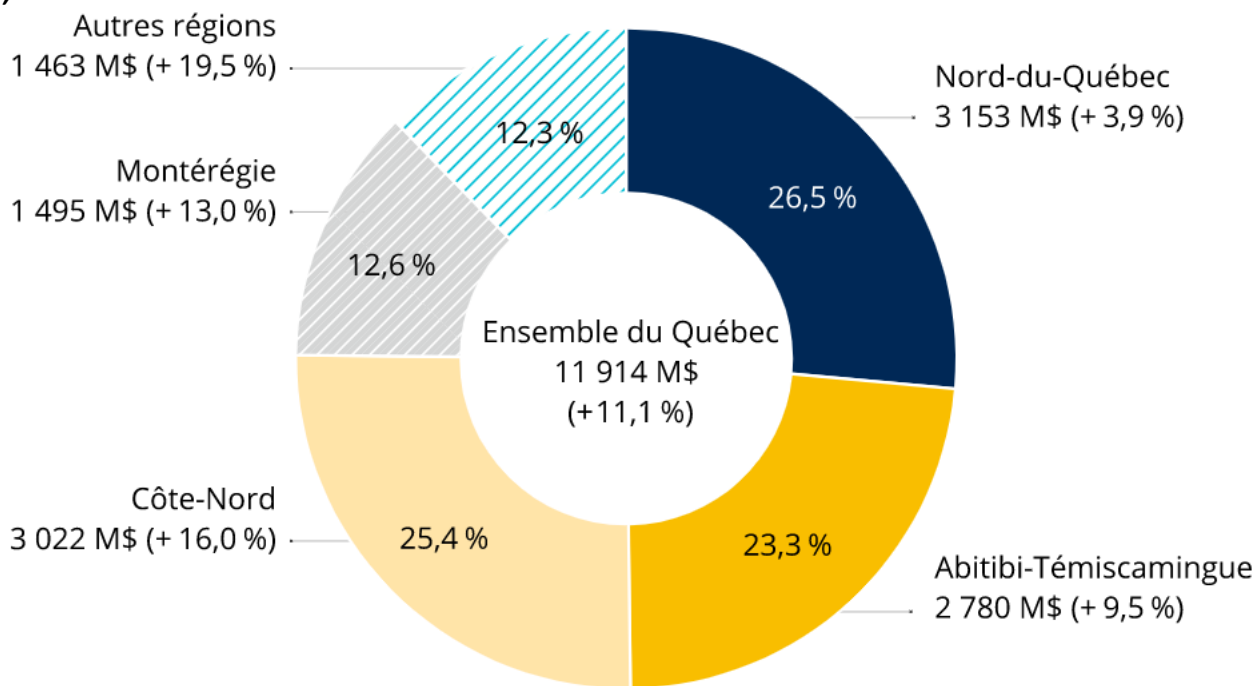


<https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-et-publications/publications/publications-rapports-mines-materiaux/commerce-des-mineraux/19313>

2. Industrie minière

Au Québec

Répartition de la valeur des livraisons minérales selon les régions administratives, Québec, 2019.



<https://statistique.quebec.ca/fr/communiqué/secteur-minier-au-quebec-la-valeur-des-livraisons-et-la-masse-salariale-augmentent-en-2019>

2. Industrie minérale

Au Québec

Hausse du nombre d'emplois et de la masse salariale, 2019.

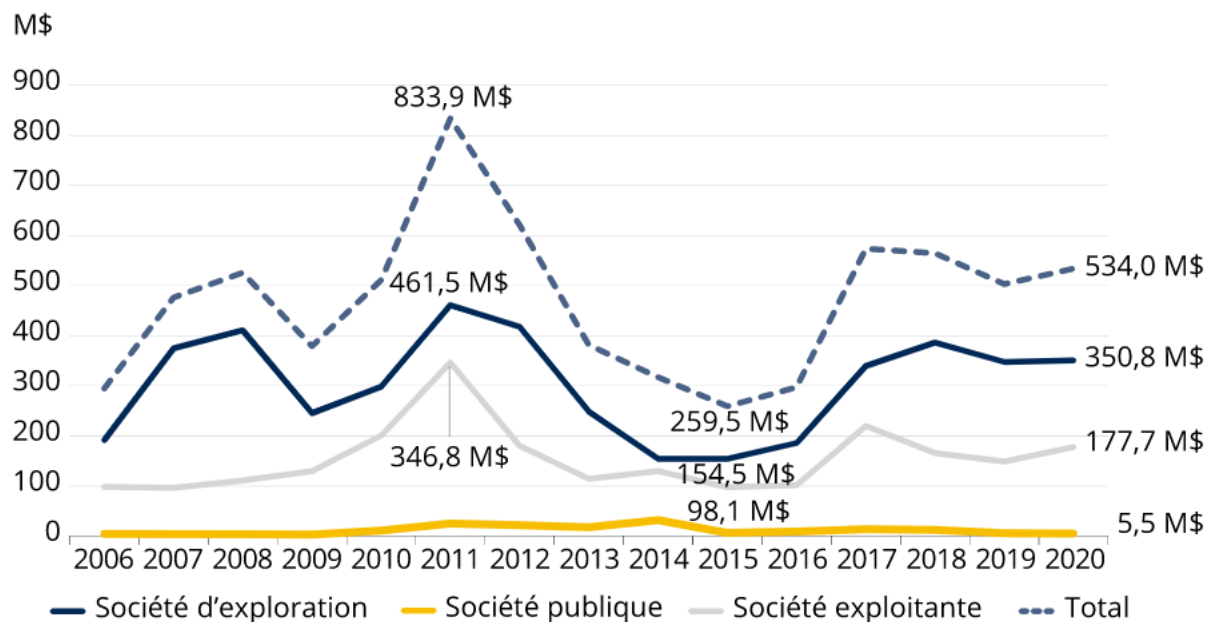
- Il y a **18 918 emplois** dans le secteur minier au Québec en 2019, ce qui représente une **masse salariale de 2 092 M\$**.
- Il s'agit d'une **hausse de 5,6 %** du nombre d'emplois et de 4,4 % de la masse salariale par rapport à 2018.
- 58,3 % des emplois sont concentrés dans les trois régions minières :
 - 4 048 dans le Nord-du-Québec (21,4 %),
 - 3 932 en Abitibi-Témiscamingue (20,8 %),
 - 3 048 sur la Côte-Nord (16,1 %).
- Il y a 2 918 emplois dans le secteur minier en Montérégie (15,4 %). Ils proviennent surtout des activités de première transformation des minéraux.

<https://statistique.quebec.ca/fr/communiqu/secteur-minier-au-quebec-la-valeur-des-livraisons-et-la-masse-salariale-augmentent-en-2019>

2. Industrie minérale

Au Québec

Dépenses en travaux d'exploration et de mise en valeur de gîtes minéraux selon le type de société, Québec, 2006-2020



<https://statistique.quebec.ca/fr/communiqu/secteur-minier-au-quebec-la-valeur-des-livraisons-et-la-masse-salariale-augmentent-en-2019>

2. Industrie minière

Position du Canada dans le monde (2019)

| Substance | 1 ^{er} | 2 ^e | 3 ^e | 4 ^e | 5 ^e | Rang du Canada |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| Aluminium | Chine (56%) | Inde (6%) | Russie (6%) | Canada (5%) | Émirats Arabes (4%) | 3 ^e (5%) |
| Cadmium | Chine (33%) | Corée S (20%) | Japon (8%) | Canada (6%) | Kazak (7%) | 4 ^e (6%) |
| Charbon | Chine (46%) | Inde (9%) | US (9%) | Australie (6%) | Indonésie (6%) | 13 ^e (1%) |
| Cobalt | Congo (71%) | Russie (4%) | Australie (4%) | Philippines (3%) | Cuba (3%) | 8 ^e (2%) |
| Cuivre | Chili (28%) | Pérou (12%) | Chine (8%) | US (7%) | Congo (7%) | -- |
| Diamants | Russie (35%) | Botswana (19%) | Congo(16%) | Australie (12%) | Canada (9%) | 5 ^e (9%) |
| Fer | Australie (39%) | Brésil (17%) | Chine (15%) | Inde (9%) | Russie (4%) | 8 ^e (2%) |
| Magnésium | Chine (82%) | Russie (8%) | Kazak.(2%) | Israël (2%) | Brésil (1%) | -- |
| Molybdène | Chine (45%) | Chili (19%) | US (15%) | Pérou (10%) | Mexique (6%) | 7 ^e (2%) |
| Nickel | Indonésie (30%) | Philip. (16%) | Russie.(10%) | N-Caledon. (8%) | Canada (7%) | 5 ^e (7%) |
| Or | Chine (13%) | Australie (10%) | Russie (9%) | US (6%) | Canada (5%) | 5 ^e (5%) |
| Platine (gr.) | Afr. Sud(72%) | Russie (12%) | Zimbabwe(8%) | Canada (4%) | US (2%) | 4 ^e (4%) |
| Plomb | Chine (47%) | Australie (10%) | Pérou (6%) | US (6%) | Mexique (5%) | -- |
| Potasse | Canada (32%) | Belarus (17%) | Russie (17%) | Chine (12%) | Allemagne (7%) | 1 ^{er} (32%) |
| Terres rares | Chine (63%) | US (12%) | Myanmar (10%) | Australie (10%) | Inde (1%) | -- |
| Titane | Chine (30%) | Afr. Sud (12%) | Canada (10%) | Australie (9%) | Mozambique (8%) | 3 ^{er} (10%) |
| Uranium | Kazak (42%) | Canada (13%) | Australie (12%) | Namibie (10%) | Niger (6%) | 2 ^e (13%) |
| Zinc | Chine (33%) | Pérou (11%) | Australie (10%) | Inde (6%) | US (6%) | 7 ^e (2%) |

2. Industrie minière

Principales régions productrices au Canada (2020-2022)

Dépenses d'exploration et de mise en valeur de gisements, par province et territoire, de 2020 à 2022

Canada — total en 2020 **2,2 G\$**

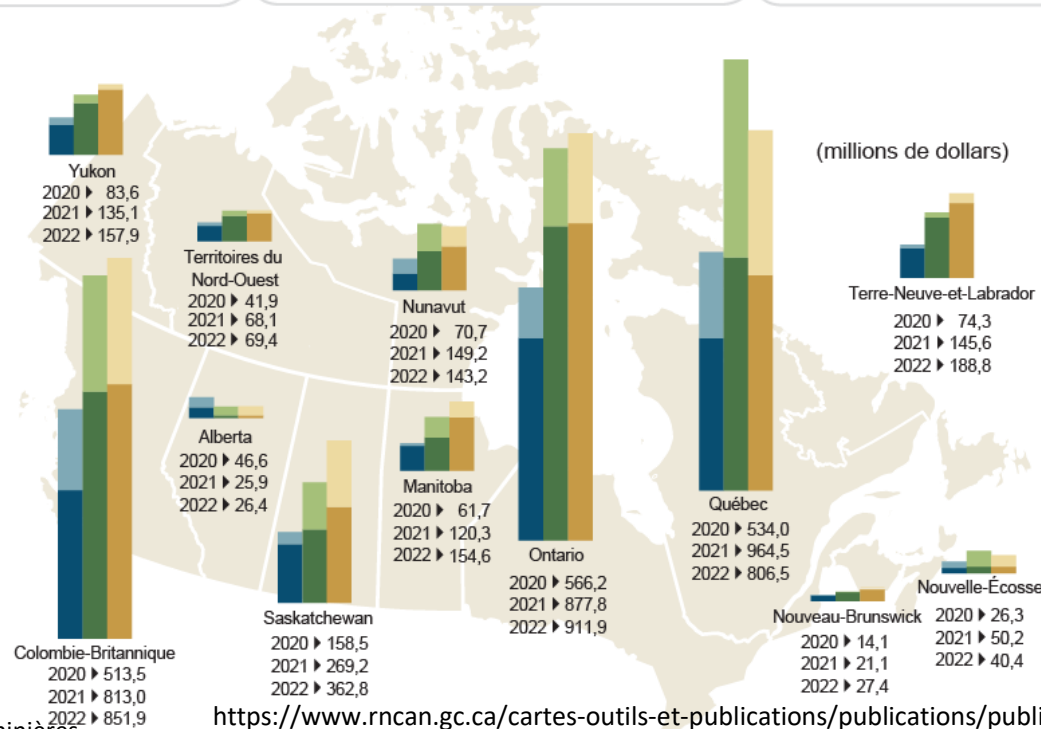
■ Exploration 1,6 G\$
■ Mise en valeur de gisements 0,6 G\$

Canada — total en 2021 (dpr) **3,6 G\$**

■ Exploration 2,5 G\$
■ Mise en valeur de gisements 1,2 G\$

Canada — total en 2022 (i) **3,7 G\$**

■ Exploration 2,6 G\$
■ Mise en valeur de gisements 1,1 G\$



<https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-et-publications/publications/publications-rapports-mines>
matériaux/exploration-minièrre-canadienne/17763

2. Industrie minière

Principales régions productrices au Canada (2020-2022)

Valeur de la production minière par province et territoire, en 2020 et 2021

2020 (valeur réelle) **46 G\$**

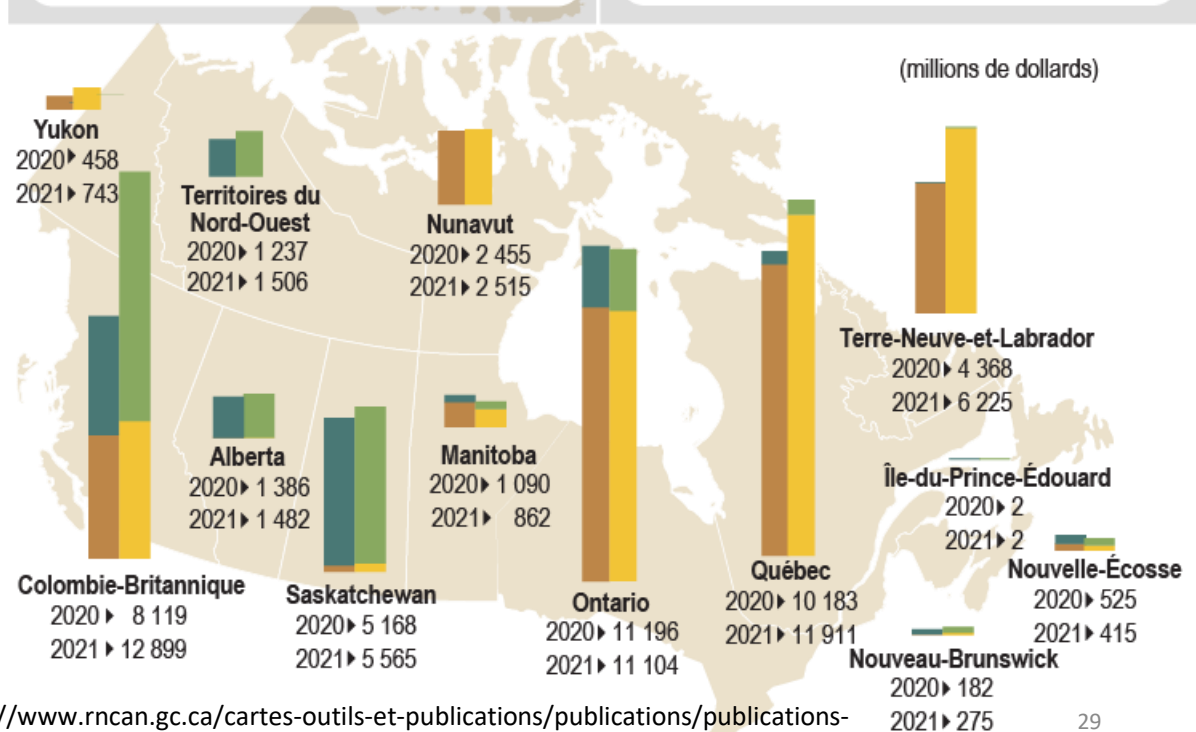
Minéraux métalliques 32 G\$

Charbon et minéraux non métalliques 15 G\$

2021 (valeur provisoire) **56 G\$**

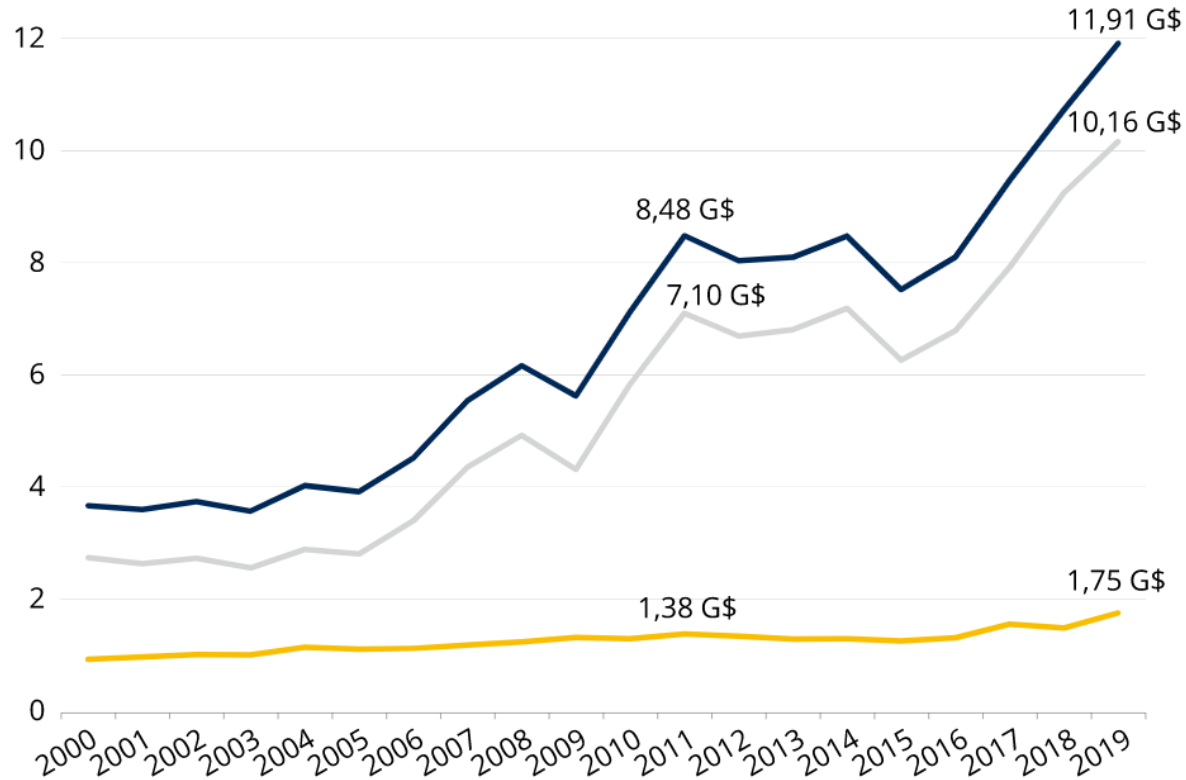
Minéraux métalliques 36 G\$

Charbon et minéraux non métalliques 20 G\$



2. Industrie minière

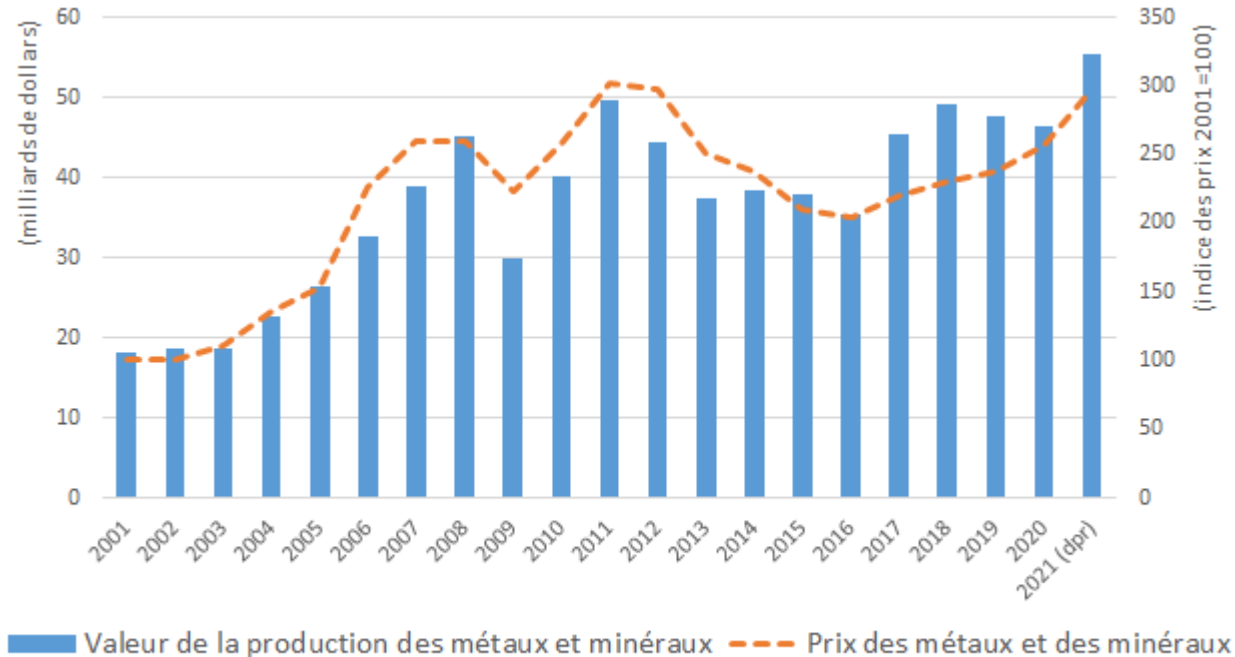
Évolution de la production minière au Québec



<https://statistique.quebec.ca/fr/communiqu/secteur-minier-au-quebec-la-valeur-des-livraisons-et-la-masse-salariale-augmentent-en-2019>

2. Industrie minière

Évolution de l'indice des prix des métaux et minéraux



<https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-et-publications/publications/publications-rapports-mines-materiaux/production-minerale-canadienne/17723>

2. Industrie minérale

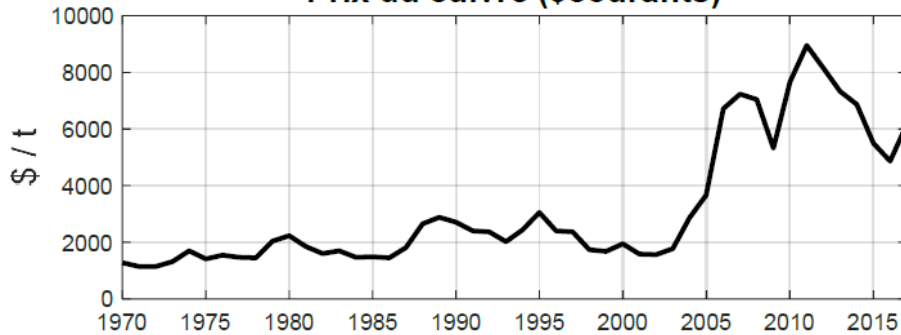
Principaux usages

| <i>Substance</i> | <i>Usage</i> |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aluminium | Transports, emballage, construction, fils électriques,.... |
| Cadmium | Batteries (75%), pigments, plastiques |
| Cobalt | Super-alliages utilisés en aéronautique, aciers outils, catalyseur dans l'industrie chimique,... |
| Cuivre | Transport d'électricité, électronique, tuyauterie,... |
| Fer | Acier |
| Gypse | Panneaux muraux, ciment. |
| Ilménite (titane) | Pigment blanc pour la peinture, anti-corrosif dans les alliages |
| Magnésium | Alliage avec aluminium et réfractaire dans les hauts-fourneaux (oxyde de magnésium) |
| Molybdène | Alliages d'acier résistants et superalliages |
| Nickel | Acier inoxydable, super-alliages pour turbines, alliages, batteries, ... |
| Or | Bijoux, électronique |
| Plomb | Batteries acide-plomb (88%); munitions (3%), verre et céramique (3%) |
| Potasse | Engrais |
| Soufre | Acide sulfurique |
| Terres rares | Métallurgie, aimants permanents, électronique |
| Uranium | Énergie nucléaire, armement militaire |
| Zinc | Acier galvanisé, bronze, laiton, peinture, caoutchouc, industrie chimique... |

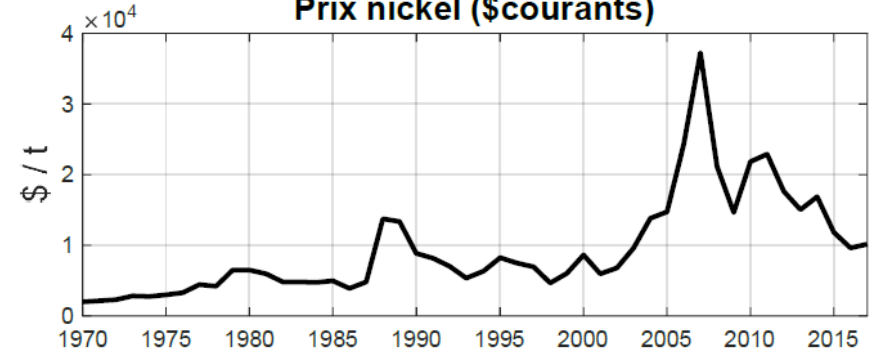
2. Industrie minière

Quelques données historiques des prix

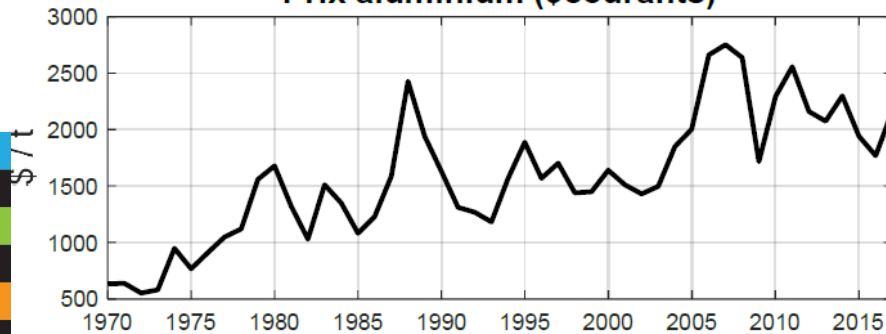
Prix du cuivre (\$courants)



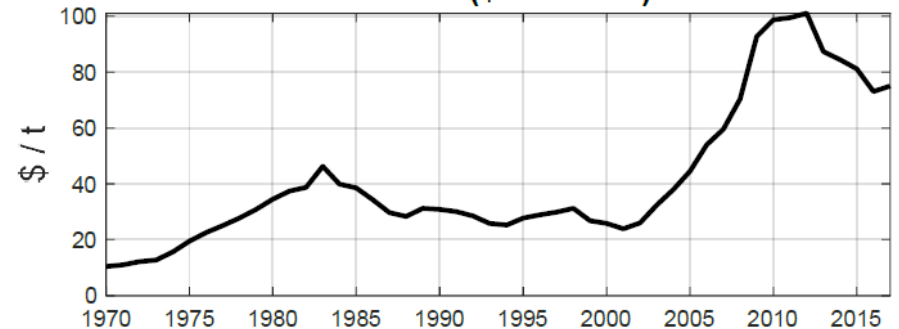
Prix nickel (\$courants)



Prix aluminium (\$courants)



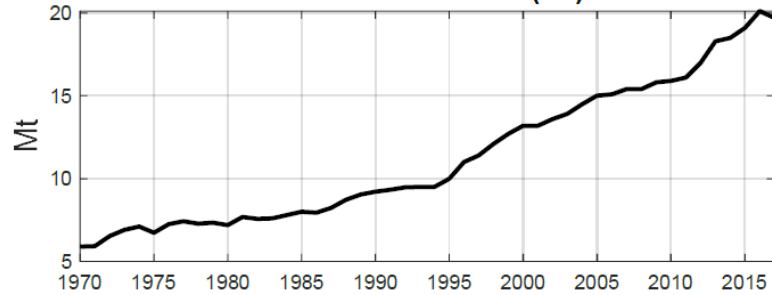
Prix fer (\$courants)



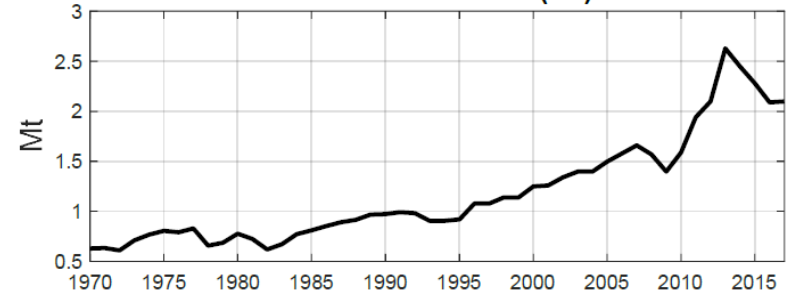
2. Industrie minière

Quelques données historiques des productions

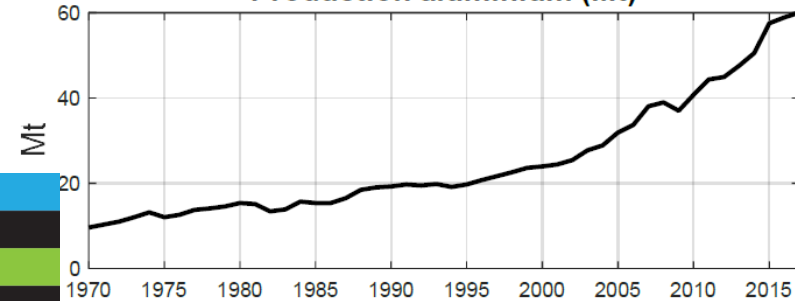
Production cuivre (Mt)



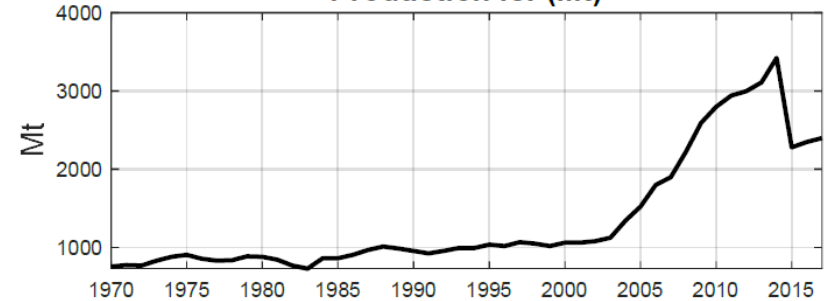
Production nickel (Mt)



Production aluminium (Mt)



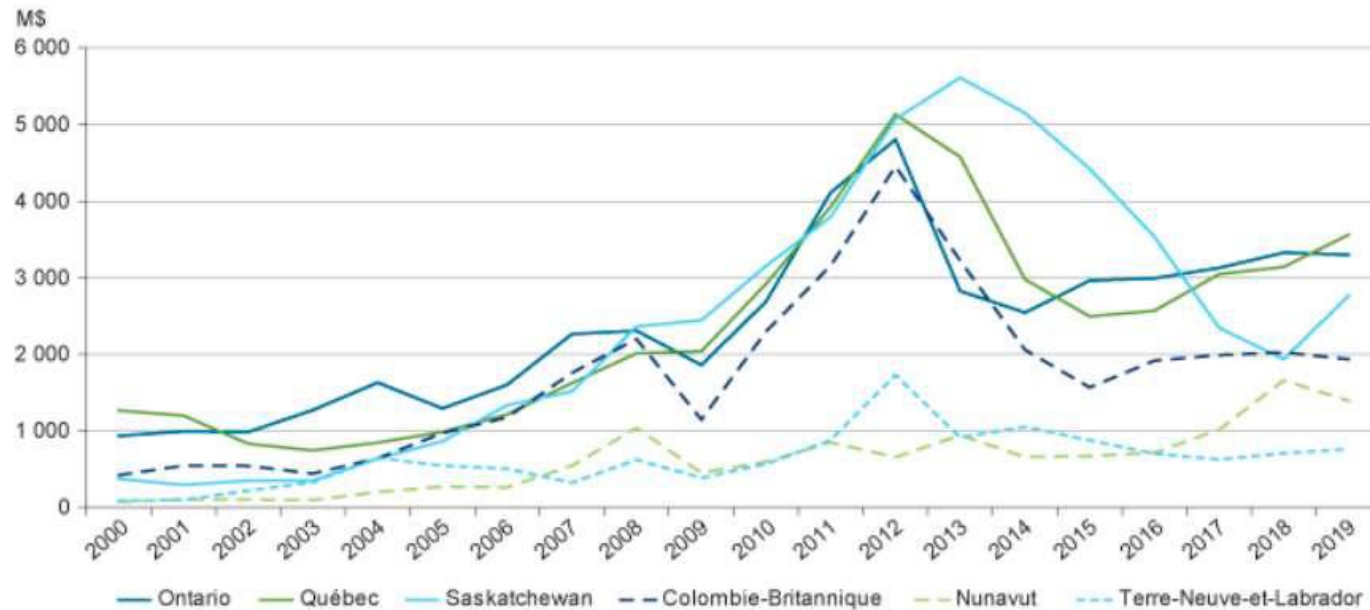
Production fer (Mt)



2. Industrie minière

Exploration

Évolution des investissements miniers, principales régions minières canadiennes, 2000-2019¹

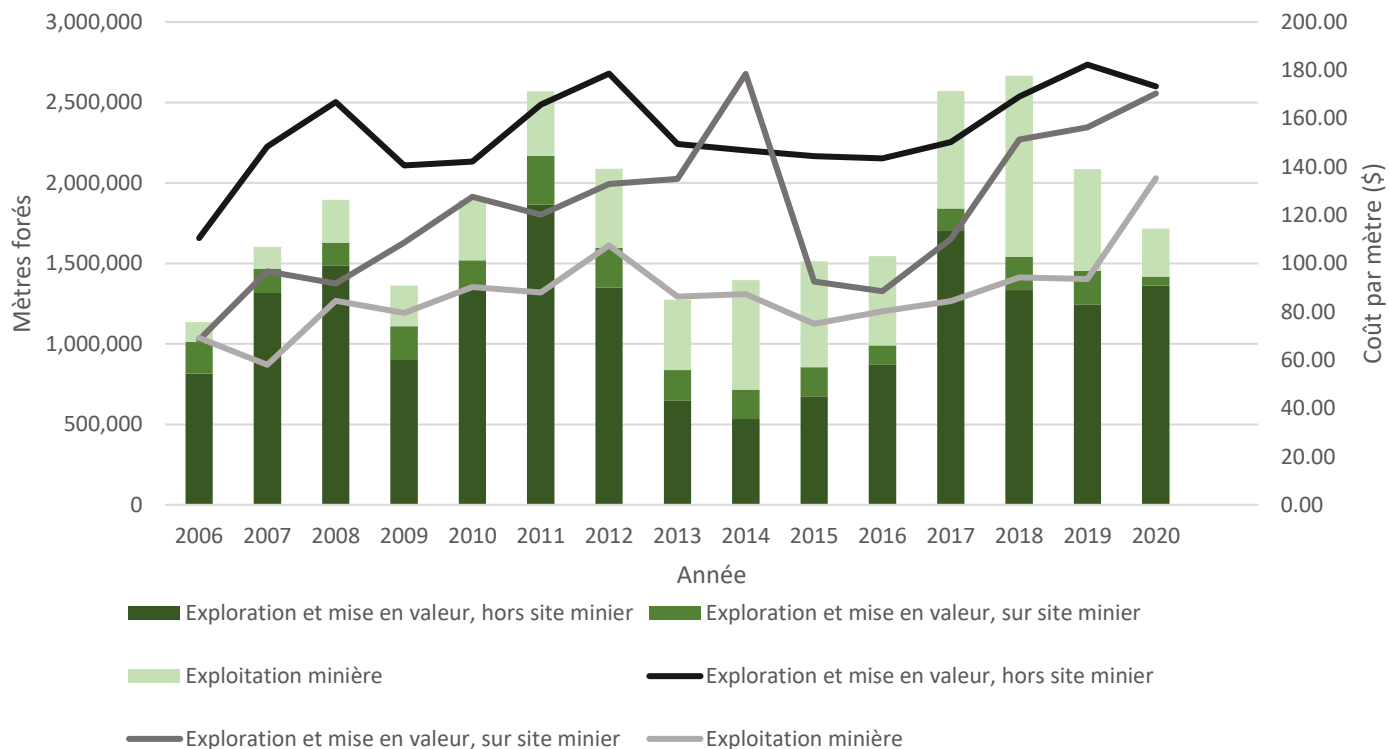


1. 2000-2017 : données finales; 2018 : données provisoires; 2019 : intentions.

2. Industrie minière

Exploration

Répartition du nombre de mètres forés, du coût total et du coût unitaire pour le forage carottier, selon la catégorie de dépenses, Québec, 2006-2020

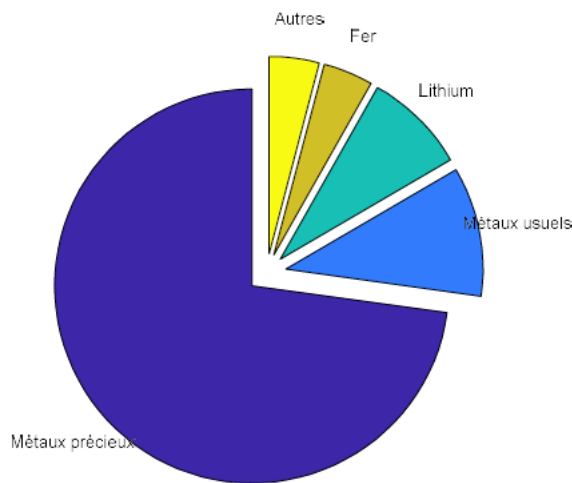


2. Industrie minérale

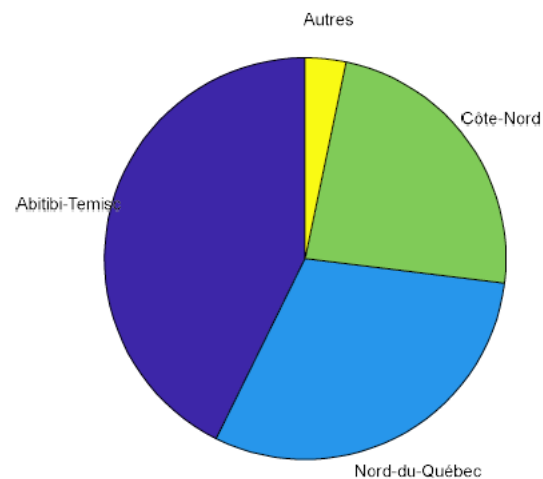
Exploration

Au Québec

Répartition des dépenses d'exploration selon les substances en 2017



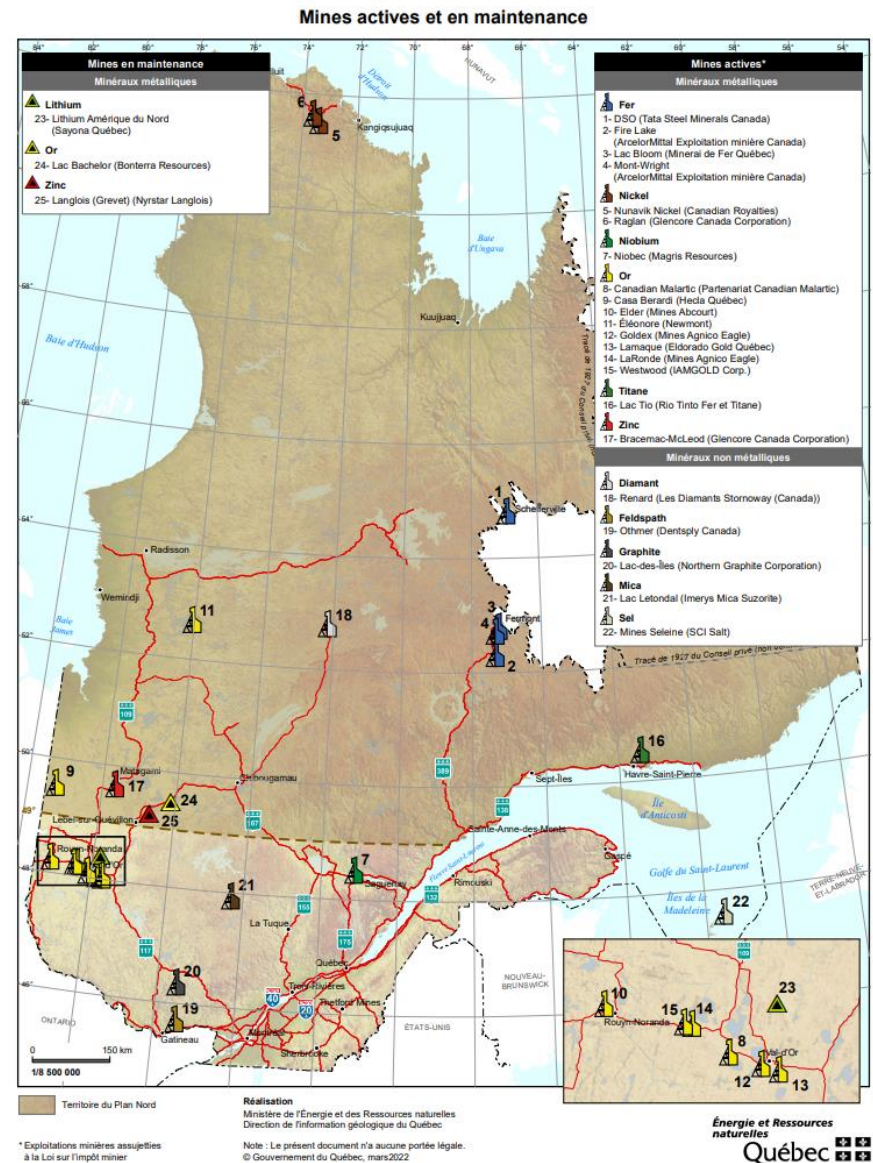
Répartition des dépenses d'exploration, mise en valeur et investissement minier par région



2. Industrie minière

Mines exploitées

Mines actives et en maintenance — Activités minières au Québec



2. Industrie minière

Mines exploitées

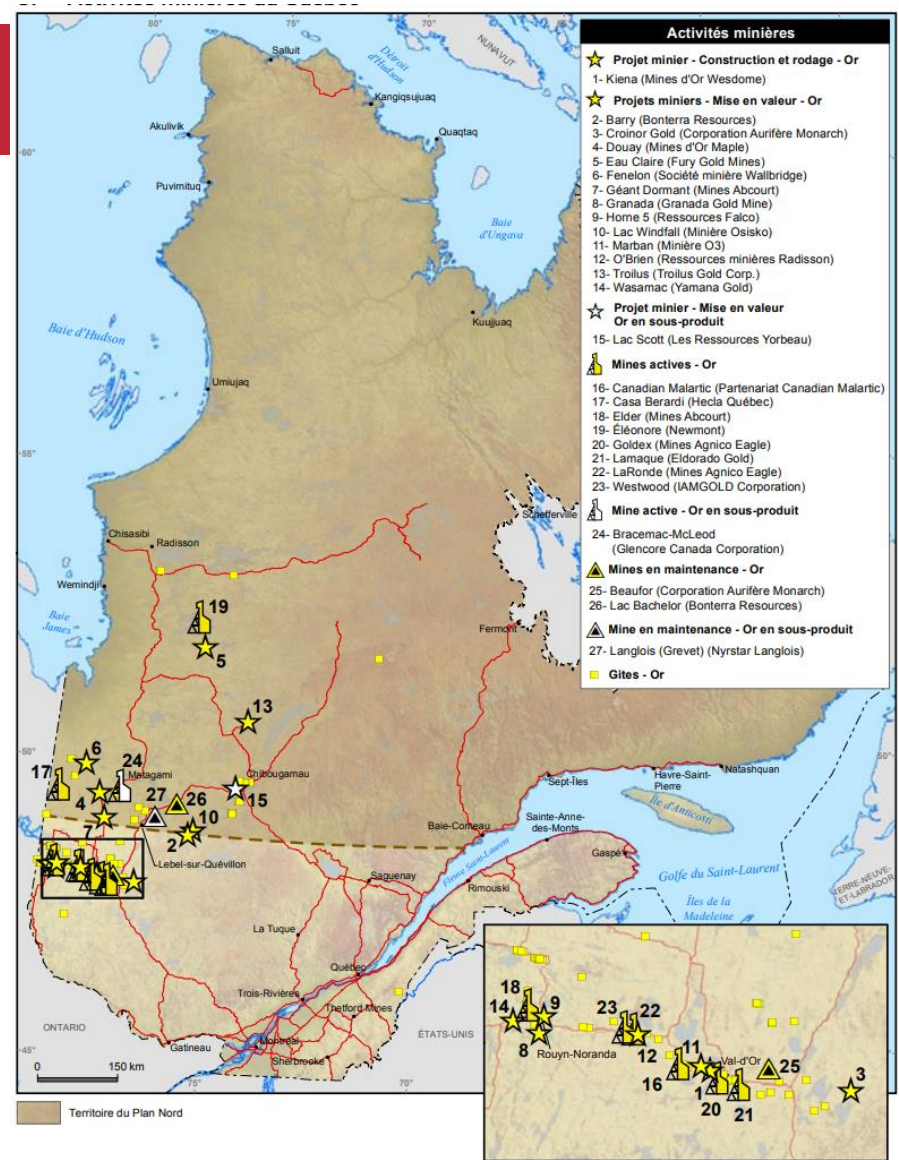
Fer — Activités minières au Québec



2. Industrie minière

Mines exploitées

Or — Activités minières au Québec



2. Industrie minière

Mines exploitées

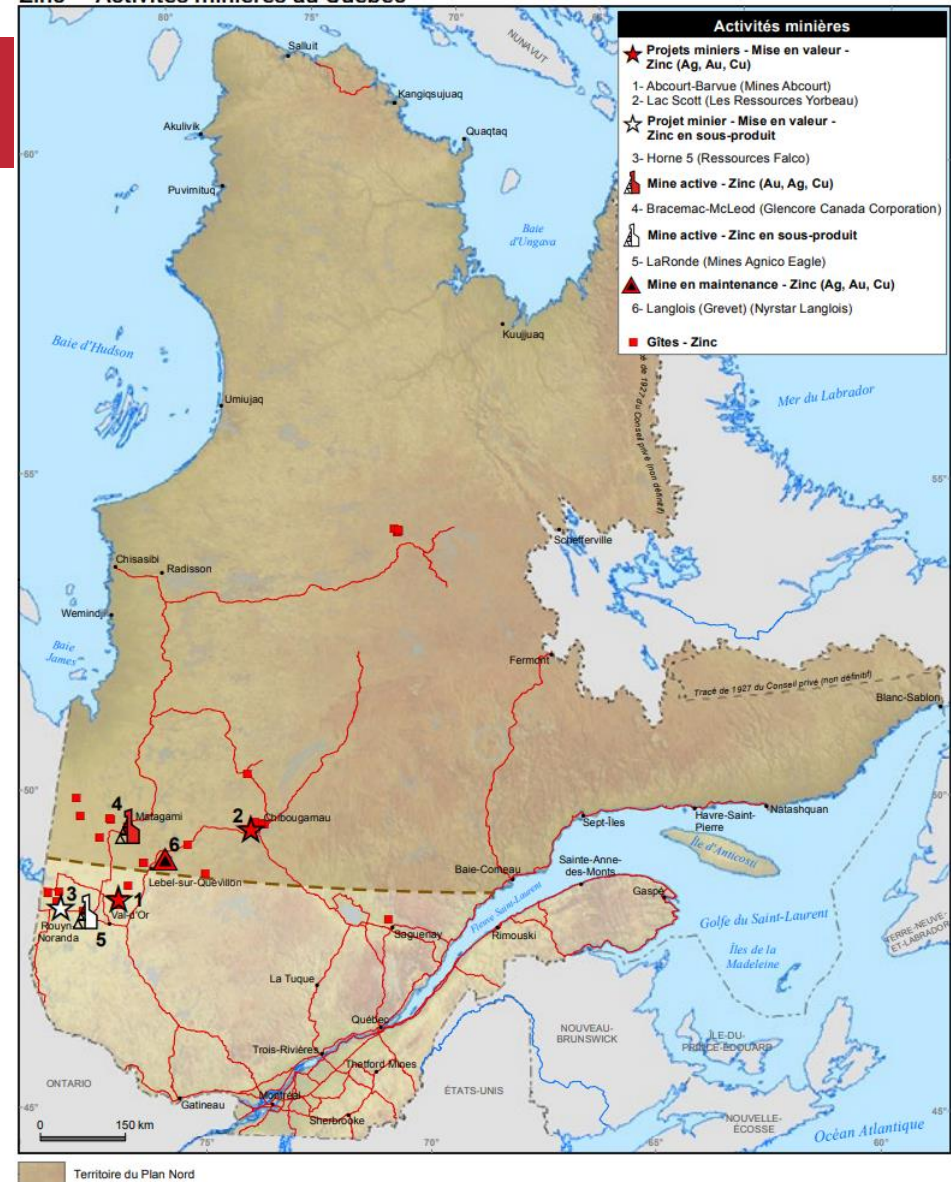
Nickel — Activités minières au Québec



2. Industrie minière

Mines exploitées

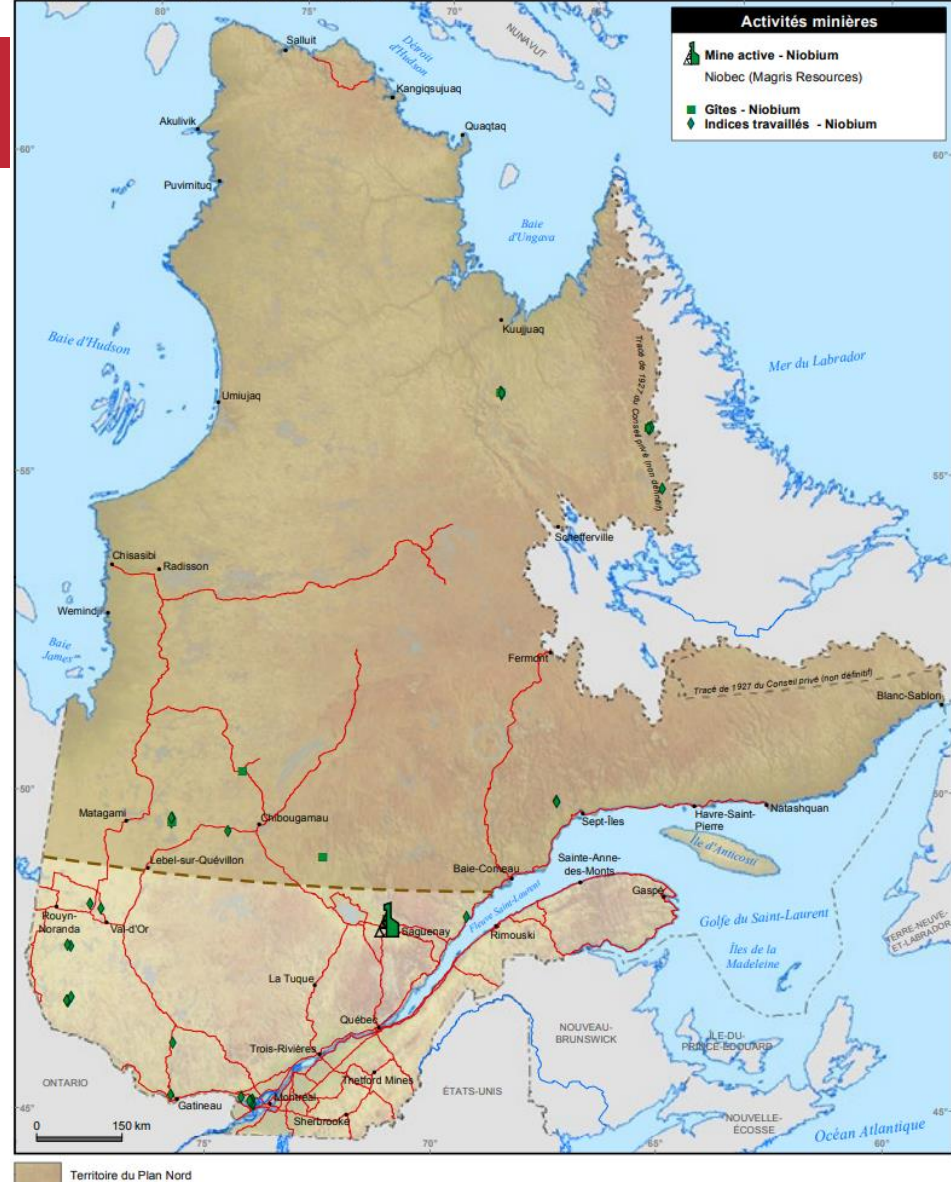
Zinc — Activités minières au Québec



2. Industrie minière

Mines exploitées

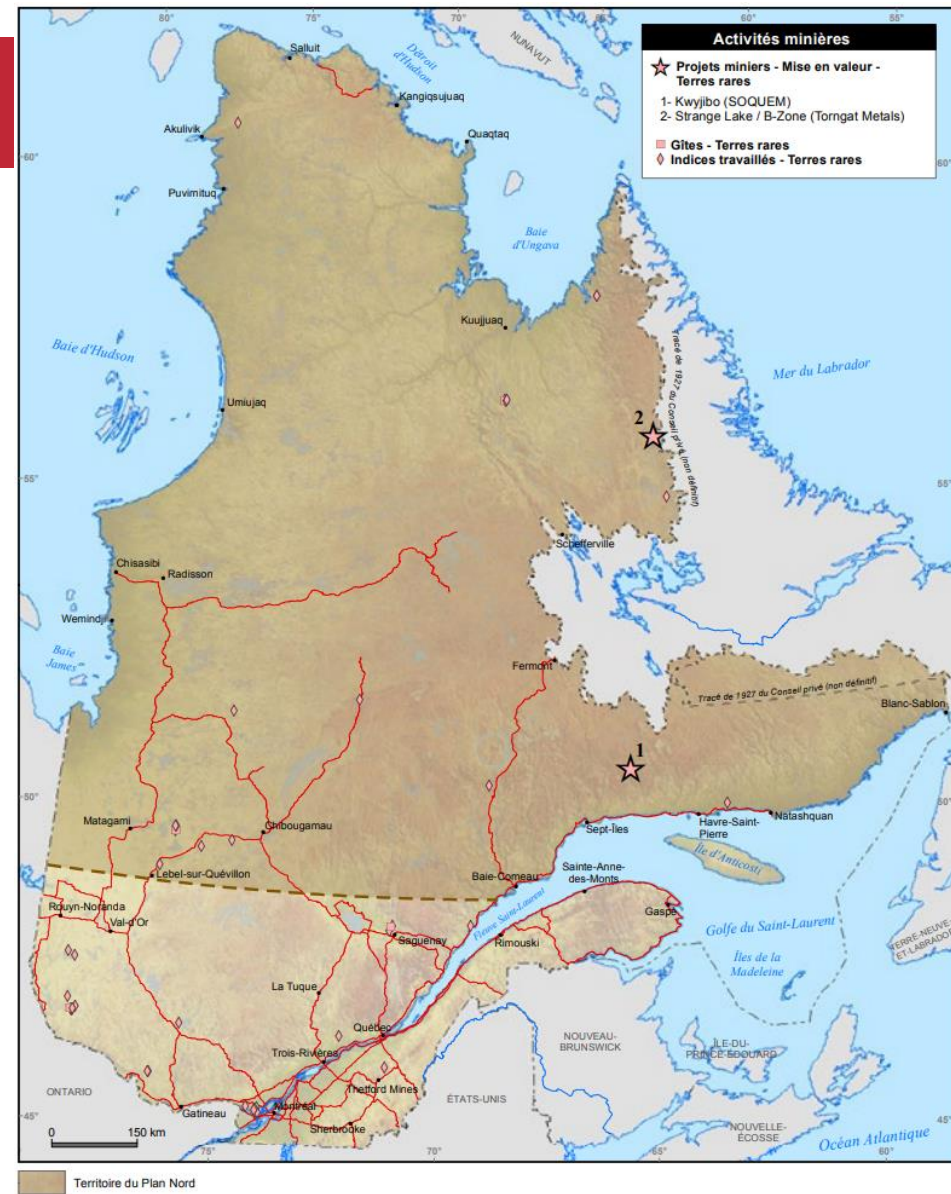
Niobium — Activités minières au Québec



2. Industrie minière

Mines exploitées

Élément de terres rares — Activités minières au Québec



2. Industrie minière

Mines exploitées

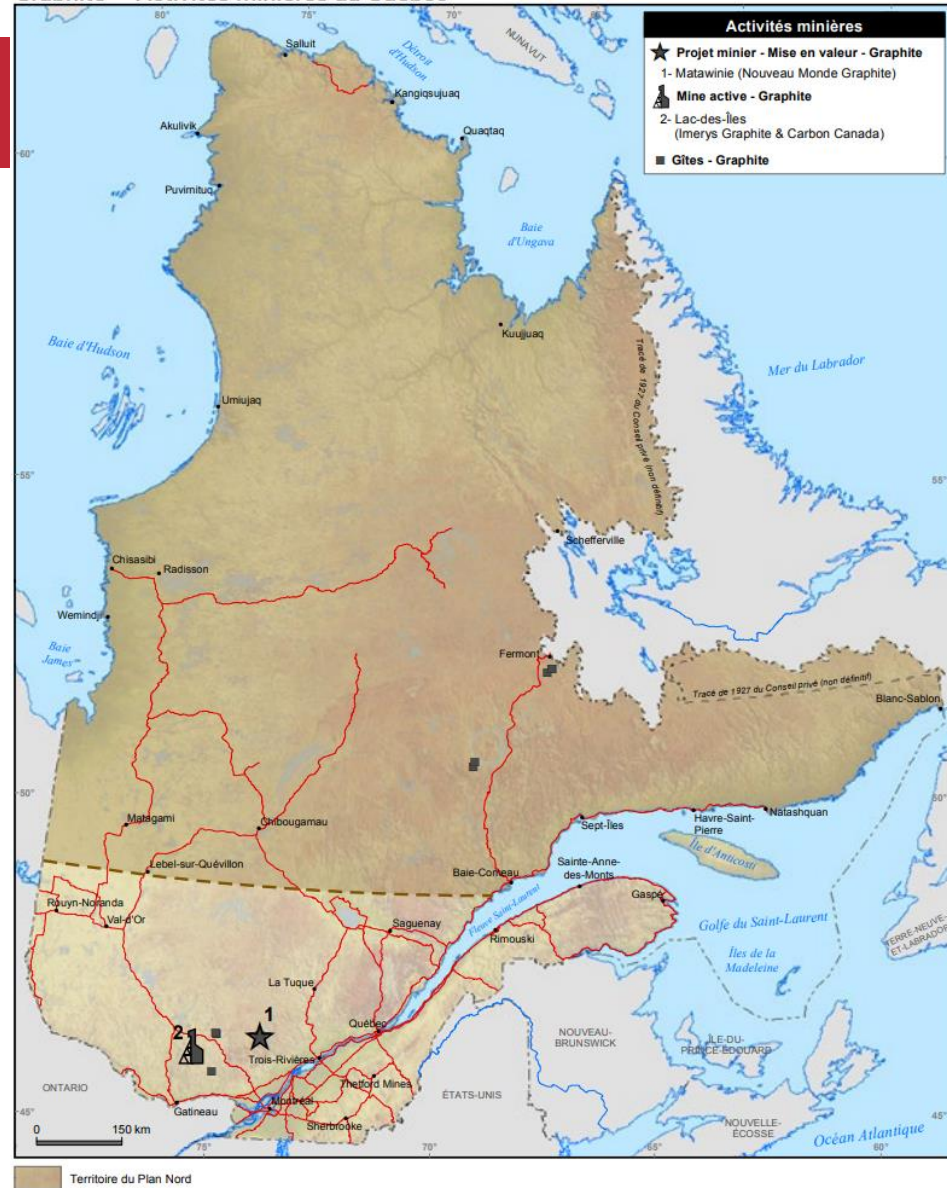
Lithium— Activités minières au Québec



2. Industrie minière

Mines exploitées

Graphite— Activités minières au Québec



2. Industrie minière

Mines exploitées

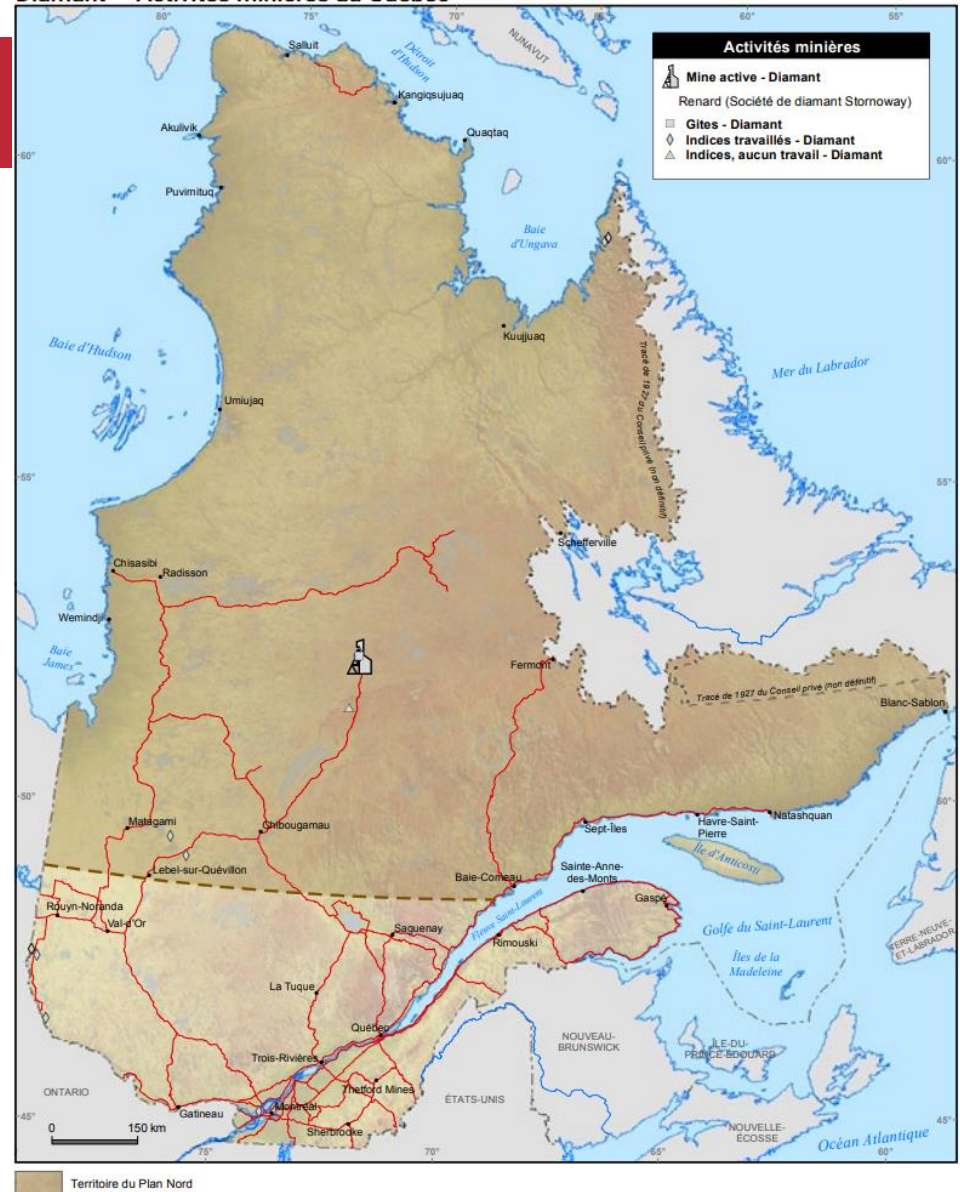
Apatite— Activités minières au Québec



2. Industrie minière

Mines exploitées

Diamant— Activités minières au Québec



2. Industrie minérale

Aspects fiscaux

Sommaire de l'impact financier du secteur minier, selon l'activité – 2000-2011
(en millions de dollars)

| | Exploration | Exploitation | Total |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Revenus | | | |
| Prélèvements fiscaux auprès des sociétés | 75,4 | 1 264,0 | 1 339,4 |
| Impôt minier avant crédit de droits remboursable pour perte | 0,1 | 1 069,0 | 1 069,2 |
| Impôt sur le revenu des travailleurs | 135,6 | 1 020,8 | 1 156,4 |
| Revenu de tarification des titres miniers | 89,0 | 7,2 | 96,2 |
| Sous-total | 300,1 | 3 361,0 | 3 661,1 |
| Dépenses | | | |
| Dépenses fiscales liées au régime d'imposition des sociétés | -1 031,4 | -161,2 | -1 192,7 |
| Crédit de droits remboursable pour perte | -125,1 | -44,0 | -169,2 |
| Dépenses budgétaires | -554,3 | -51,5 | -605,8 |
| Sous-total | -1 710,9 | -256,7 | -1 967,7 |
| Retombées fiscales indirectes⁽¹⁾ | 110,6 | 993,4 | 1 104,1 |
| Retombées fiscales des investissements^{(1),(2)} | 29,0 | 855,6 | 884,5 |
| Impact financier net du secteur minier | -1 271,2 | 4 953,2 | 3 682,0 |

Note : Les chiffres ayant été arrondis, leur somme peut ne pas correspondre au total indiqué.

(1) Les retombées fiscales des activités indirectes et des investissements correspondent à des revenus nets.

(2) Les retombées fiscales des investissements incorporent les retombées directes et indirectes.

Sources : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles et ministère des Finances du Québec.

Tous les revenus fiscaux représentent ~6% de la valeur de la production

2. Industrie minière

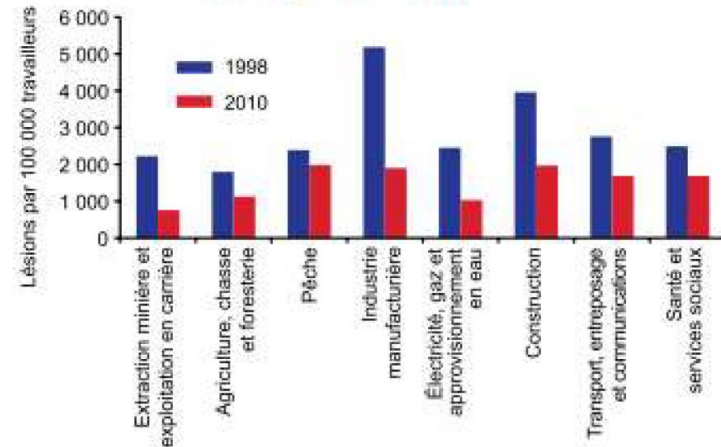
Santé et sécurité

Figure 28 : Total des lésions mortelles et non mortelles indemnisées dans l'extraction minière et l'exploitation en carrière, 1998-2010



Source : Organisation internationale du travail, LABORSTA et ILOSTAT.

Figure 29 : Taux de lésions non mortelles par industrie, 1998 et 2010



Source : Organisation internationale du travail, LABORSTA et ILOSTAT.

2. Industrie minérale

Liens utiles

| Description Lien | Lien |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Une série de cartes du Québec (géologie, potentiel minéral, géochimie, titres miniers) | http://www.mern.gouv.qc.ca/mines/publications/publicationscartes.jsp#titres |
| Statistiques annuelles sur les métaux, production mondiale | http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/ |
| Production minérale Québec | http://www.stat.gouv.qc.ca/docshmi/statistiques/mines/production-minerale/ |
| Production minérale Canada | http://sead.nrcan.gc.ca/prod-prod/ann-ann-fra.aspx |
| Statistiques et classements économiques des pays, production et importation de pétrole et de gaz | https://www.cia.gov/library/publications/the-worldfactbook/rankorder/rankorderguide.html |



2. Industrie minière

Minerais. contexte géologique et teneur de coupure typiques

| Type ² | Exemples | Tonnage-teneur typiques | âge | Remarques |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1 Paleoplacer U, Au (avec pyrite) | Elliot Lake (Ont) Witwatersrand (S.A.) | 200Mt à 0.1%U x Gt - 9g/t Au, .02%U | >2.4 Ga | Dépôt d'origine fluviale (delta), dans des grès et conglomérats. Wit.: Le plus grand gisement d'Au au monde. Exploité à des profondeurs dépassant 4km. Fournit 60% or mondial |
| 1.1 Paleoplacer U, Au (avec hématite) | Ghana | 50 Mt à 5 g/t Au | 2.2- 2.4 Ga | |
| 1.2 Placer Au, Pt | Klondike (Yu) Chaudières (Qué) | Très variables (pépites) | | Dans des dépôts sédimentaires récents non-consolidés (du Tertiaire à l'Holocène). Gisements secondaires à une source. Fournit <5% production or Canada |
| 3.1 Formation de fer "Lac Supérieur" | Wabush, Mont-Wright (Lab) | xGt, 15%-45% Fe | Précambrien 2.4-1.9 Ga | Fe chimique lié à des sources hydrothermales (activité volcanique au large). A fourni 60% du fer mondial. |
| 3.2 Formation de fer "Algoma" | Algoma (Ont) | xGt 15%- 45% | Archéen 3.2-2.5 Ga | Associés à du volcanisme, dans des roches sédimentaires argilites, turbidites, greywacke |
| 3.3 "Ironstone" | Wabana (T-N) | xGt à 30-35% Fe | | Sédiment clastique et chimique se présentant en lits minces et massifs bien délimités. |
| 4.1 Formation de fer enrichie | Knob-Lake Schefferville (Qué,Lab) | 1-50 Mt (Can) xGt (Monde) 50-60% Fe | Précambrien | Principale source de fer ailleurs qu'au Canada. Fournit 50% du fer présentement. |
| 5 Evaporites a-marines | Salina (Ont), Selene (Qué) Prairie (Sask) | Mt à Gt 90-100% NaCl, KCl, gypse | Protérozoïque supérieur à Holocène | |
| 5 Evaporites b-lacustres | Sask et Alberta | 55-65 Mt Na ₂ SO ₄ , Li, W | Protérozoïque supérieur à Holocène | |
| 6.1 Sulfures exhalatifs sédimentaires (SEDEX) | Howard Pass (Yu), Sullivan (C-B) Mt-Isa (Aus) Broken Hill (Aus) | 4-500 Mt 0.6-18% Zn, 0.3-13% Pb, 0.1-1% Cu | 0.3 à 2 Ga | Roches sédimentaires déposées dans un milieu peu énergétique avec présences d'activité hydrothermale contemporaine au dépôt. En 1977-1978, fournit 16% du zinc, 45% du plomb et 10% argent au Canada . |
| 6.3 Sulfures massifs volcanogènes | Flin Flon (Man) Kidd Creek (Ont), Horne (Qué), Brunswick (NB) | 1-100Mt 1.47% Cu 3.43% Zn | <3.7 Ga Archéen (Abitibi) | Dans des roches volcaniques sous-marines. En 1988, fournit au Canada 33% du cuivre, 30% du plomb, 56% du zinc et 30% de l'argent. |

2. Industrie minière

Minerais, contexte géologique et teneur de coupure typiques

| | | | | |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6.4 Or associé à des sulfures massifs volcanogènes | Doyon (Qué) | 1-5 Mt 6-17 g/t | Archéen | |
| 7 U associé à une discordance | Key Lake, Rabbit Lake (Sask) | 5Mt 0.3-3% U | 1.3 Ga | à la discordance entre des grès et le socle |
| 8.3 Cu- stratiforme | Lubin (Pol) Kennicott (Alaska) White Pine (Michigan) | 40- Mt 1.8% Cu | Protérozoïque à mésozoïque | Pas présent au Canada. Associé à des évaporites. 2e source de Cu dans le monde après Cu porphyrique. Gisements minces, habituellement exploités en souterrain. |
| 10 Mississipi-Valley Pb Zn | Pine Point (TNO) | 1-10Mt 5-10% Pb+Zn | Paléozoïque inférieur | Dans des roches carbonatées, généralement dolomies |
| 11 Amiante dans des rx ultramafiques | Jeffrey, Bell, Lake (Qué) | 10-100Mt 2 à 10% fibres | Paléozoïque inférieur | Roches ultramafiques serpentinisées; métamorphisme faible. |
| 14.1 Filons d'argent | Cobalt (Ont) | | Archéen | Failles d'extension |
| 15.2 Au Veines de quartz-carbonates | Kerr-Addison (Ont) Sigma-Lamaque (Qué), Casa-Berardi (Qué) | x Mt 6 à 10 ppm | Surtout archéen 2.6-2.7 ga | Associées à des roches volcaniques mafiques et tonalites. représente 25% de la production d'or au Canada |
| 15.4 Au disséminé et de remplacement | Hemlo (Ont) | 100Mt 10 ppm | Archéen | Or disséminé dans des formations plutôt stratiformes. Associé à du métamorphisme régional important et à la présence de granitoïdes. |
| 17 Veines de cuivre-or | Gisements de Chibougamau | <1-5Mt 1-10% Cu | Archéen | Environ 2% de la production de Cu du Canada. Associés à des intrusifs. |
| 19 Porphyrique (Cu,Mo,Au,W,Sn,Ag) | Gaspé Copper (Qué) Troilus (Qué) Butte (Montana) Bingham (Utah) Chuquicamata (Chili) | 0.1-10 Gt 0.2%-1% Cu | Mésozoïque à tertiaire | Associés à des zones de subduction de plaques (ex. îles en arc) nombreux intrusifs. Représente 50-60% de la production mondiale de Cu et une part importante pour Mo, Au, W et Sn, |
| 20.2 Cu/Au dans un skarn | Gaspé Copper (Qué) Carr Fork (Utah) | 0.1-200Mt 1-2% Cu | Phanérozoïque | Intrusifs générant une activité hydrothermale. Les lits épais de calcaires sont remplacés par les sulfures. Fournit 10% de la production de Cu au Canada |
| 24 Dépôts dans des carbonatites | Niobec (Qué) Tapira (Brésil) Araxa (Brésil) | 10-300Mt 0.5%-3% Nb ₂ O ₅ | Divers | Intrusions dans des zones de fractures profondes en tension. Production totale du Nb dans le monde. |
| 27.1 Sulfures Ni-Cu | Sudbury (Ont) Raglan (Qué) Duluth (Min) Stillwater (Mon) | 1-100Mt 0.6-1.6% Ni 0.2-1.3% Cu | Divers | Magma du manteau injecté en phases multiples dans la croûte (environnement en tension et stable). Représente environ 80% de la production mondiale du Ni. |

2. Industrie minière

Minerais, contexte géologique et teneur de coupure typiques

Quelques gisements de classe mondiale

| Nom | Pays | Tonnage minéral | Tonnage métal- teneur | Type | Valeur brute du métal contenu GS (US\$) ¹ |
|---------------------|----------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------|
| El Teniente | Chili | 12 Gt | 109 Mt Cu à 0.92% 2.3 Mt Mo à 0.02% 3 Kt Ag à 0.25 g/t | Cu porphyrique | 260 |
| Chuquibambilla | Chili | 15 Gt | 106 Mt Cu à 0.7% 1 Mt Mo à 0.01% 200 t Au à 0.013 g/t | Cu porphyrique | 244 |
| Olympic Dam | Australie | 2 Gt | 32 Mt Cu à 1.6% 1200 t Au à 0.6 g/t 7 Kt Ag à 3.5 g/t 1.2 Mt Zn à 0.08% | Cu porphyrique | 147 |
| Grassberg | Indonésie | 2Gt | 24 Mt Cu à 1.2% 2400 t Au à 1.1g/t 8.6 Mt Ag à 2.5 g/t | Cu porphyrique | 135 |
| Rio-Blanco-Andina | Chili | | 50 Mt Cu à 1% 1 Mt Mo à 0.02% | Cu Porphyrique | 118 |
| Butte | U.S. (Mon) | 5.2 Gt | 35 Mt Cu à 0.67% 1.4 Mt Mo à 0.03% 217 t Au à 0.04 g/t 44 Kt Ag à 8.57 g/t 4.5 Mt Zn à 0.09% | Cu porphyrique et veines de Cu | 110 |
| Bingham | U.S. (Utah) | 3.3 Gt | 28 Mt Cu à 0.88% 0.8 Mt Mo à 0.02% 1600 t Au à 0.5 g/t 18 Kt Ag à 5.5 g/t 2.5 Mt Pb à 0.08% 1.2 Mt Zn à 0.04% | Cu Porphyrique | 97 |
| Safford | U.S. (Ariz) | 8 Gt | 39 Mt Cu à 0.49% 126 t Au à 0.016 g/t | Cu porphyrique | 87 |
| Cananea | Mexique | 7.1 Gt | 30 Mt Cu à 0.42% 0.6 Mt Mo à 0.01% 4 Kt Ag à 0.575 g/t | Cu porphyrique | 74 |
| Escondida | Chili | 2.5 Gt | 28 Mt Cu à 1.2% 0.6 Mt Mo à 0.03% 475 t Au à 0.19 g/t | Cu porphyrique | 73 |
| Collahuasi | Chili | 3.0 Gt | 24.6 Mt Cu à 0.71% | Cu porphyrique | 54 |
| Morenci | U.S. (Ariz) | 2.2 Gt | 25 Mt Cu à 0.52% 2 Mt Ag à 0.4 g/t | Cu porphyrique | 56 |
| Lubin | Pologne | 2.4 Gt | 50 Mt Cu à 2% 192 Kt Ag à 60 g/t | Cu stratiforme | 158 |
| Witwatersrand | Afrique du Sud | 4 Gt | 40000 t Au à 10 g/t 120 Kt Ag à 30 g/t 1.1 Mt U à 280 g/t Note: 60% de la production mondiale d'or | Paleoplacer | 616 |
| Mount Whaleback | Australie | 1.7 Gt | 1 Gt Fe à 61% | Formation de fer | |
| Carajas | Bésil | 1.3 Gt | 0.9 Gt Fe à 66% | Formation de fer | |
| Sishen | Afrique du Sud | 1.3 Gt | 0.8 Gt à 64% | Formation de fer | |
| Morro do Seis Lagos | Bésil | 2.8 Gt | 78 Mt Nb ₂ O ₅ à 2.8% | Carbonatites | |
| Howard Pass | Canada (Yu) | 476 Mt | 23.8 Mt Zn à 5% 9.5 Mt Pb à 2% 4.2 Kt Ag à 9 g/t | Sedex | |
| Broken Hill | Australie | 300 Mt | 5.4 Mt Zn à 1.8% 39 Mt Pb à 13% 0.6 Mt Cu à 0.2% | Sedex | |

| | | | | | |
|---------------------|----------------|---------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----|
| Home | Canada (Qué) | 54 Mt | 1.2 Mt Cu à 2.2% 330 t Au à 6.1 g/t 702 t Ag à 13 g/t | Sulfures massifs volcanogènes | 7 |
| Mantos Blancos | Chili | 220 Mt | 2.64 Mt Cu à 1.2% | Cuivre dans des lits rouges volcaniques (VRB) | |
| Tri-State district | U.S. | 500 Mt | 12 Mt Zn à 2.4% 3 Mt Pb à 0.6% | Mississippi Valley | |
| Hemlo | Canada (Ont) | 85 Mt | 684 t Au à 7.7 g/t | Or disséminé et de remplacement | 9 |
| Hollinger (Timmins) | Canada (Ont) | 69 Mt | 500 t Au à 7.2 g/t | Or dans des veines de quartz-carbonates | |
| Doyon | Canada (Qué) | 98 Mt | 560 t Au à 5.8 g/t | Or associé à des sulfures massifs volcanogènes | |
| Carr Fork | U.S. (Utah) | 400 Mt | 8.8 Mt Cu à 2.2% 240 t Au à 0.6 g/t 4.8 Kt Ag à 12 g/t | Skarn | |
| Kiruna | Suède | 1.8 Gt | 1 Gt Fe à 60% | Gisement tabulaire (Kiruna-Olympic Dam) | |
| Olympic Dam | Australie | 0.78 Gt | 11.6 Mt Cu à 1.5% 385 t Au à 0.5 g/t 462 Kt U à 0.6kg/t | Gisement tabulaire | 60 |
| Aley | Canada (C-B) | 5 Gt | 200 Mt P ₂ O ₅ à 4% | Gisement dans des carbonatites | |
| Palabora | Bésil | 600 Mt | 42 Mt P ₂ O ₅ à 7% | Gisement dans des carbonatites | |
| Sudbury | Canada (Ont) | 1.6 Gt | 19.2 Mt Ni à 1.2% 16.5 Mt Cu à 1% | Sulfures Ni-Cu | 200 |
| Norilsk | Russie | 555 Mt | 15 Mt Ni à 2.7% 11 Mt Cu à 1% | Sulfures Ni-Cu | |
| Duluth | U.S. (Minn) | 4 Gt | 8 Mt Ni à 0.2% 26.4 Mt Cu à 0.6% | Sulfures Ni-Cu | |
| Bushveld | Afrique du Sud | 1.1 Gt | 500 Mt Cr à 45% | Gisement stratiforme de chromite | |

¹ Prix des métaux utilisés : Cu 2.2\$/kg; Au 13.3\$/g; Mo 8.5\$/kg; Ag 0.25\$/g; Zn 1.6\$/kg; Pb 0.5\$/kg; U 49\$/kg; Ni 8.5\$/kg. Références utilisées : Cuivre porphyrique : <http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of99-556/>

2. Industrie minérale

Échelle des temps géologiques

| Ères (Ma) | Périodes (Ma) | Époques (Ma) |
|---------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cénozoïque (66,4-) | Quaternaire (1,6-) | Holocène (récent) Pléistocène (1,6-) |
| | Tertiaire (66,4-1,6) | Pliocène (5,3-1,6) Miocène (23,7-5,3) Oligocène (36,8-23,7) Éocène (57,8-36,8) Paléocène (66,4-57,8) |
| Mésozoïque (245-66,4) | Crétacé (144-66,4) | |
| | Jurassique (208-144) | |
| | Trias (245-208) | |
| Paléozoïque (Primaire) | Permien (286-245) | |
| | Carbonifère (360-286) | |
| | Dévonien (408-360) | |
| | Silurien (438-408) | |
| | Ordovicien (505-538) | |
| | Cambrien (544-505) | |
| Précambrien (4016-544) | Protérozoïque (2500-544) | Néo- (1000-544) Mésoprozoïque (1500-1000) Paléoprozoïque (2500-1500) |
| | Archéen (4016-2500) | |

Jeu-questionnaire



2. Industrie minière

1. En 2021, quelle proportion du PIB québécois représentent les activités d'extraction minière, exploitation en carrière, et extraction de pétrole et gaz ?

Moins de 2% ; 2-5% ; 6-10% ; plus de 10%
2017 : 1.62% ; 2021 : ≈1.92%

2. En 2019, quelle est la proportion des exportations québécoises reliée à l'aluminium et alliage d'aluminium sous forme brute et aux minerais et concentrée de fer ?

Moins de 10% ; 10-15% ; 15-20% ; plus de 20%
2017 : 10.6% ; 2019 : 10.1%

3- V ou F? En 2018, la production de charbon au Canada représente une faible part de la production minière?

| | | 2017 | 2018 | | |
|------------|----------------------------|----------------------|-----------|---|----|
| Classement | Produit minéral | Milliards de dollars | Écart (%) | | |
| 1 | Or | 8,8 | 9,6 | ▲ | 9 |
| 2 | Charbon | 6,3 | 6,4 | ▲ | 2 |
| 3 | Potasse (K ₂ O) | 4,4 | 5,5 | ▲ | 26 |
| 4 | Minerai de fer | 4,7 | 4,8 | ▲ | 2 |
| 5 | Cuivre | 4,6 | 4,5 | ▼ | -3 |

2. Industrie minérale

4. V ou F. En 2021, la part du Québec dans la production minérale canadienne (excluant les produits pétroliers, mais incluant le charbon) est à peu près équivalente à sa part de population?

En 2018 : 21% vs 23%. 10 G\$ sur une production de 47 G\$

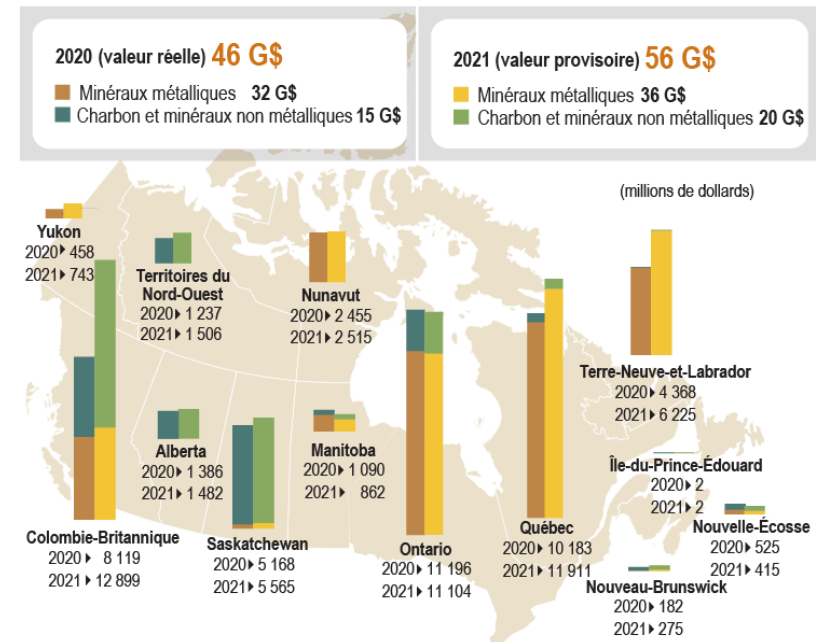
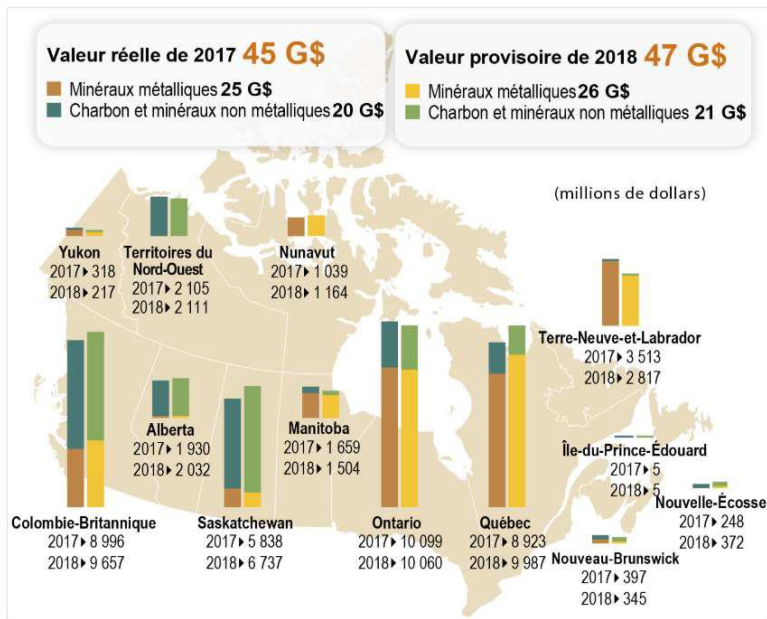
En 2021 : 21.2% vs 22.3%. 11.9 G\$ sur une production de 56 G\$



2. Industrie minière

5- En 2021, le Québec a été le principal producteur de produits métalliques (métaux et métaux précieux) au Canada? V ou F.

2017: F 2018: V 2020: V **2021: V**



2. Industrie minérale

6- En 2017, quel rang mondial (entre 1 et 5) occupait le Canada pour les groupes de substances suivants:

| Groupe: | Diamant, uranium; niobium. | Potasse, Titane. | Or, Nickel, Platine. | Cadmium | Aluminium |
|-------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------|---------|-----------|
| Rang Mondiale: | 2e | 1er | 5e | 4e | 3e |



2. Industrie minière

7. Classez les substances suivantes par ordre de valeur de la production québécoise (de 1 à 7) (en 2018)

| Nickel | Cuivre | Or | Zinc | Pierre | Ciment | Fer |
|--------|--------|-----|------|--------|--------|-----|
| 3e | 7e | 1er | 6e | 4e | 5e | 2e |

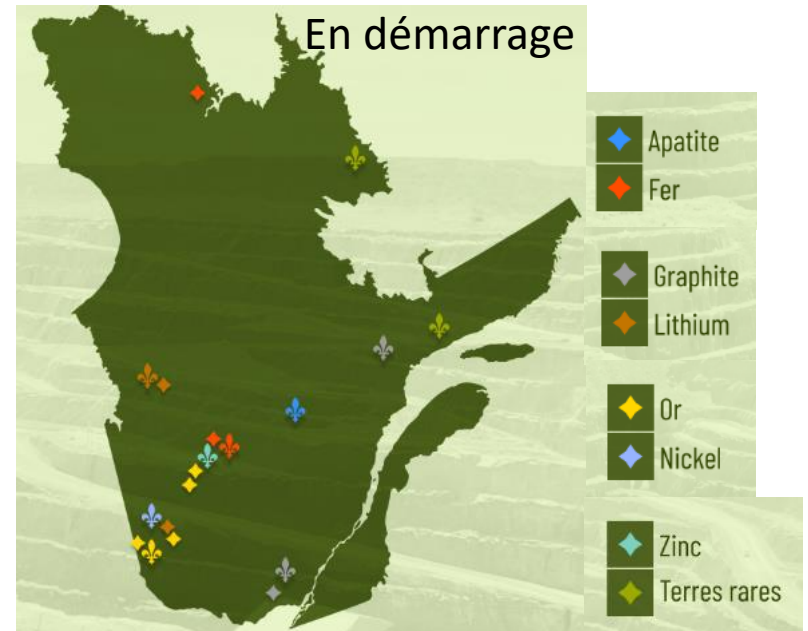
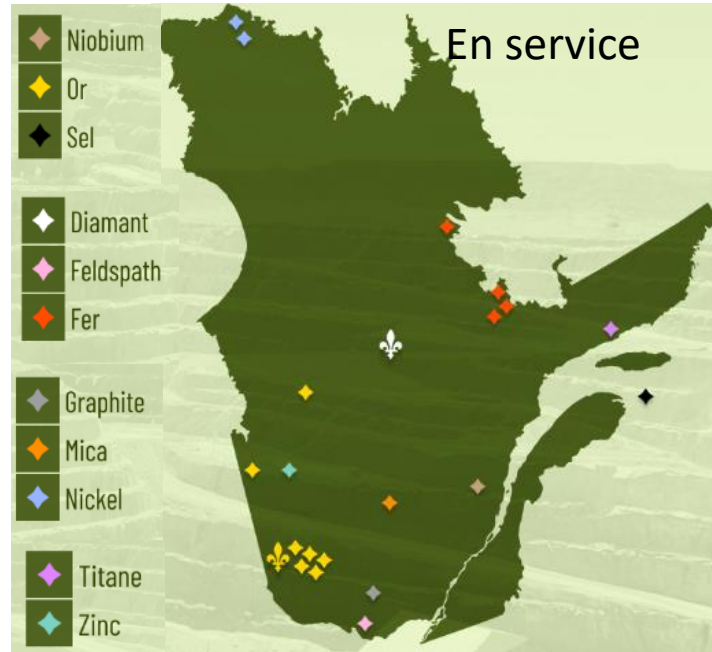
| Production | Quantité (2018) | Valeur (2018) M\$ |
|------------------|-----------------|-------------------|
| Or | 62Mg | 2988 |
| Fer | 32 Mt | 2455 |
| Nickel | 55 kt | 922 |
| Pierre | 48 Mt | 551 |
| Ciment | 2.9 Mt | 393 |
| Cuivre | 36 kt | 296 |
| Zinc | 75 kt | 285 |
| Diamants | 1.2 Mcar. | 129 |
| Sable et gravier | 18 Mt | 110 |
| Tous : | | 10200 |

2. Industrie minérale

8. Combien y a-t-il de mines actuellement en service au Québec (métaux et minéraux non métalliques; excluants sables et graviers, calcaire, granite, et pierre de construction), au Québec?

Moins de 15; 5-20 ; **20-25**; plus de 25

22 actives, 3 en maintenance,
plus de 19 en démarrage



2. Industrie minière

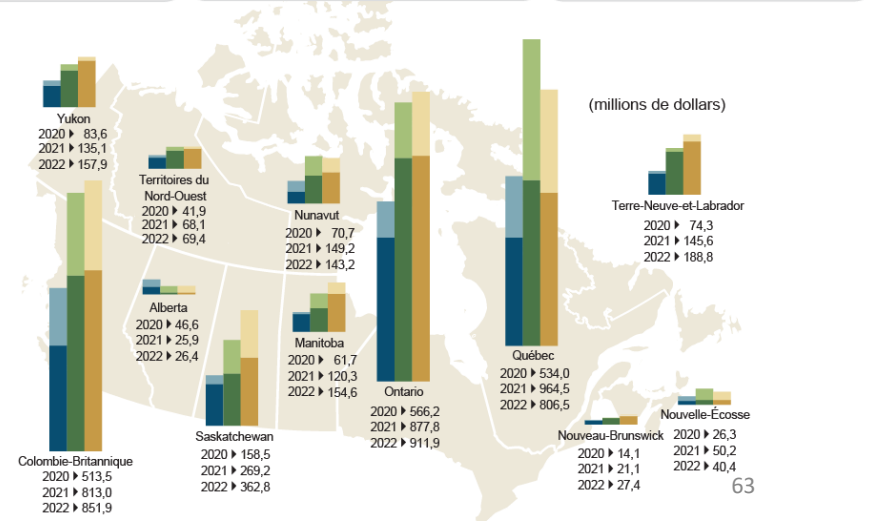
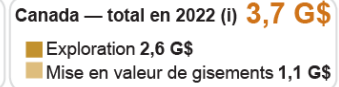
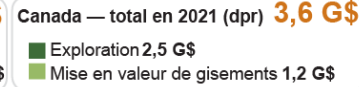
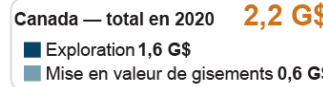
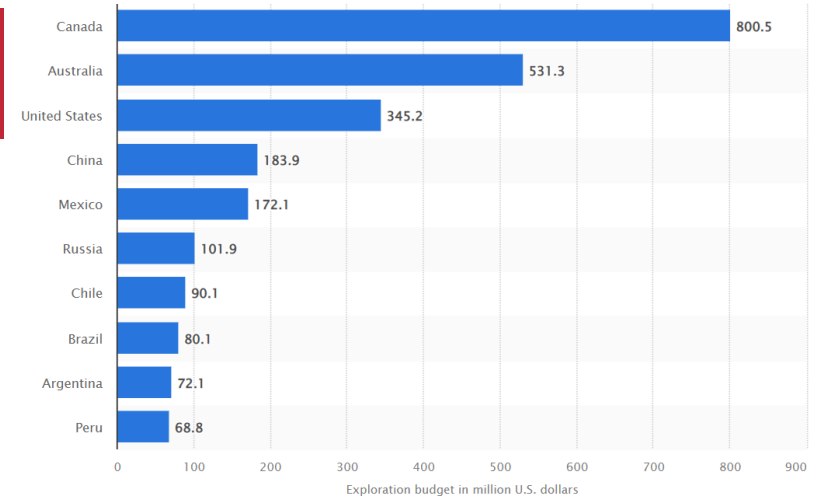
9. Vrai ou faux

a) En 2021, le Canada se classe au 1er rang mondial des pays pour les dépenses d'exploration ?

Vrai

b) De 2020 à 2022, le Québec se classe au 1er rang au Canada pour les dépenses d'exploration ?

Faux



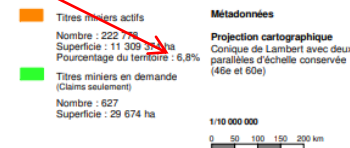
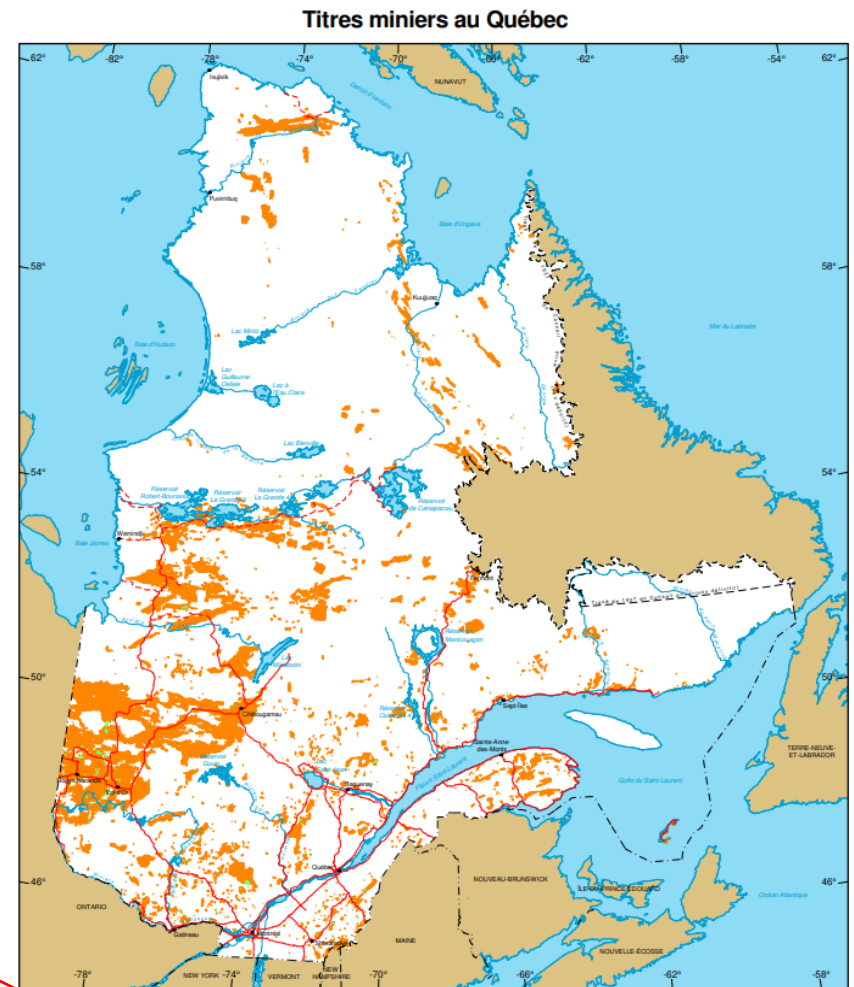
2. Industrie minière

10. En juillet 2022, la superficie des titres miniers actifs (claims) représente quel pourcentage du territoire Québécois ?

Moins de 2.5%; 2.5-5% ;

5-7.5%; plus de 7.5%

6.8%



Sources
Données minières, MERN, 2022
Référence cartographique, MERN, 2011 (BDGA 1M, BDGA 5M)

Réalisation
Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles
Direction du développement et du contrôle de l'activité minière
Note : Le présent document n'a aucune portée légale.

© Gouvernement du Québec, 19 juillet 2022

2. Industrie minérale

11. Au 31 mars 2022 2015, quelle proportion du territoire du Québec ne peut faire l'objet de claim en raison d'exclusions permanentes ou temporaires?

Moins de 5% ; 5-10% ; 10-15% ; 15-20% ; plus de 20%

16.7%

12- L'ensemble des retombées fiscales du secteur minier (incluant les impôts des travailleurs et les services directement reliés à l'industrie minière a représenté en moyenne quel % de la valeur de la production de 2000 à 2011?

Moins de 5% ; 5-10% ; 10-15% ; plus de 15%

6%

13- Quel pays est le principal consommateur de métaux ?

Chine : 1^{er} consommateur pour nickel (37%), cuivre (39%) zinc (41%), aluminium (44%), fer (60%), terres rares, Étain, Magnésium, Plomb, Zinc, aussi 1^{er} pour Ciment et acier, 2^e Pétrole

2. Industrie minière

14- Quel pays est le principal producteur de métaux (2019) ?

Chine : p. ex. 1^{er} pour Aluminium (56%), Cadmium (33%), Magnésium (82%), Molybdène (45%), Or (13%), Plomb (47%), Zinc (33%), Terres rares (63%), Titane (30%).



2. Industrie minérale

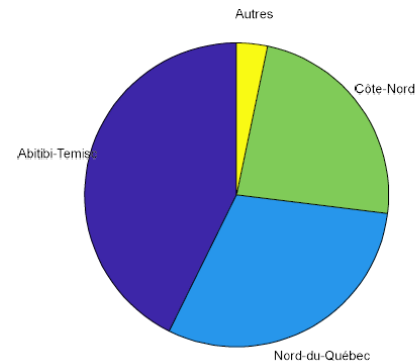
15- En 2020, combien coûte en moyenne un mètre de forage au diamant au Québec ?

- a) Exploration sur site minier : 173 \$/m
- b) Exploration hors site minier : 170 \$/m
- c) Exploitation minière : 135 \$/m

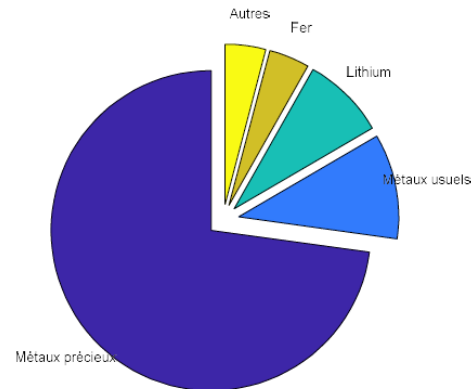


2. Industrie minière

16- Quelle est la principale région où se fait l'exploration au Québec en 2017 parmi : Abitibi, Nord-du-Québec, Côte-Nord?



17- Quelle est la principale substance visée par l'exploration au Québec en 2017 parmi : Or, Cu-Zn, Fer, Lithium ?



2. Industrie minière

18- Les droits miniers payés en 2020 par les mines représentent en moyenne environ quel pourcentage de la valeur de production minière?

1% ; 2.5% ; 5% ; 10%

En 2017 : 2.6%

Redevance : 225 M\$ pour une production minière de 8.9 G\$

En 2020 : 5.44%

Redevance : 632 M\$ pour une production minière de 11.6 G\$