



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada



RESSOURCES NATURELLES CANADA PRODUIT D'INFORMATION GÉNÉRALE 146f

Mallette éducative « Mines et minéraux »

Version 2023

V. Bécu, A.-A. Sappin et S. Larmagnat

Commission géologique du Canada

2023

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre des
Ressources naturelles, 2023

Pour obtenir des renseignements sur les droits de reproduction, veuillez
communiquer avec Ressources naturelles Canada à l'adresse
copyright-droitdauteur@nrcan-rncan.gc.ca.

Lien permanent : <https://doi.org/10.4095/331362>

Canada

Mallette « Mines et minéraux »

Assemblée par Valérie Bécu, Anne-Aurélié Sappin et Stéphanie Larmagnat, CGC-Québec

L'objectif du projet des mallettes éducatives est de faciliter et d'encourager les activités de sensibilisation et de vulgarisation scientifique en préparant du matériel et du contenu pédagogique simple, ainsi que des scénarios d'animation prêts à être utilisés. Le tout est contenu dans des mallettes robustes, munies de roues et de poignées, pour faciliter la manutention, le transport et le rangement (Figure 1.1). Cette initiative a bénéficié de l'appui financier de la Fondation géologique du Canada (FGC) (*Canadian Geological Foundation Grant 19-26*) ainsi que de la Commission géologique du Canada, division de Québec (CGC-Québec) en plus de nombreux dons de matériel (échantillons et autres) de la part de plusieurs membres du personnel de la CGC-Québec et leur entourage. Le matériel assemblé se veut un point de départ pouvant être modulé et adapté à la guise des présentateurs selon les divers scénarios et contextes d'animation. En ce sens, le contenu de ce guide ne doit pas être considéré comme exhaustif et peut facilement être modifié pour refléter les ressources présentes dans chaque province ou territoire.



Figure 1.1 : Mallette « Mines et minéraux » avec matériel complémentaire, pour les expositions sur les minerais et les minéraux présents dans les objets de la vie quotidienne ainsi que pour l'activité portant sur les propriétés physiques des minéraux. La mallette fait 68,6 X 27,9 X 53,3 cm et a un poids total d'environ 25 kg (27 X 11 X 21 pouces et 55 lb).

La mallette « Mines et minéraux » contient une collection de minéraux et d'échantillons de minerais représentatifs de certaines des principales ressources minérales du Canada, ainsi que des objets de la vie quotidienne dans lesquels sont utilisés des éléments et métaux provenant de ces minéraux et minerais (voir *Section 2- Minéraux et objets vie quotidienne*). Cette exposition vise à sensibiliser le public à la présence et à l'importance des minéraux dans notre mode de vie moderne et ainsi promouvoir l'intérêt que revêtent les géosciences pour la société. Cette trousse comprend également des exemplaires d'un livre pour enfants (Figure 1.2) publié par l'Association minière du Québec (AMQ), qui explique comment les métaux extraits des mines sont utilisés dans des objets de la vie quotidienne. Ce livre pourrait être fourni aux enseignants à la suite d'ateliers en classe. De plus, l'exposition contenue dans la mallette « Mines et minéraux » offre aux présentateurs une variété d'échantillons de minerai d'or et de métaux usuels tels le cuivre, le zinc et le nickel, illustrant la diversité des types de gisements et des styles de minéralisation présents au Canada avec des exemples de minerai provenant du Québec et de l'Ontario (voir la *Section 3- Minerai et mines*). Tout en offrant une bonne occasion d'informer le public sur la pertinence et les bonnes pratiques de l'industrie minière (voir *Section 5b- Défis et innovations industrie*), cette collection d'échantillons de minerais permet entre autres d'expliquer que l'or est surtout trouvé en association ou en inclusion dans certains minéraux plutôt que sous sa forme native ou pure. Ceci signifie que l'or exploité de nos jours se trouve dans bien des cas sous forme de minerai complexe, contrairement à ce qui était le cas historiquement, comme par exemple lors de la " ruée vers l'or du Klondike " où les prospecteurs étaient alors à la recherche de pépites.

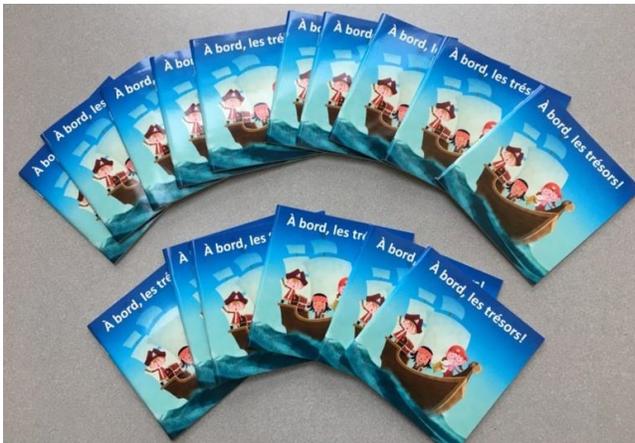


Figure 1.2 : Livre « À bord les trésors » publié par l'Association minière du Québec (AMQ) qui présente plusieurs utilisations des métaux dans les objets du quotidien (public cible 4 à 8 ans)

En complément, le matériel contenu dans cette mallette permet également aux présentateurs d'aborder le sujet de certaines des propriétés physiques des minéraux (par exemple : couleur, dureté et magnétisme) et leur utilité dans l'identification de ces derniers avec un exercice semi-supervisé. Pour ce faire, six troussees sont disponibles pour utilisation avec un napperon d'identification des minéraux développé par le Musée canadien de la nature (© Musée canadien de la nature), et pour lequel la CGC a obtenu une licence de reproduction et d'utilisation non exclusive et non transférable. Sont également inclus un échantillon d'ulexite et deux échantillons de calcite biréfringente pour aborder les propriétés optiques des minéraux.

Les deux expositions, c'est-à-dire celle portant sur les minéraux utilisés dans les objets de la vie quotidienne (*Section 2- Minéraux et objets vie quotidienne*) et celle présentant divers exemples de minerais d'or et de métaux usuels (*Section 3- Minerai et mines*), en plus des troussees individuelles et des napperons pour l'activité d'identification des minéraux peuvent être transportés ensemble dans la mallette montrée sur la Figure 1.1 (voir *Inventaire mallette Mines et minéraux* en pages 4-6). Une mallette

de dimension plus restreinte (55,9 X 25,4 X 43,2 cm et poids total d'environ 13,6 kg ou 22 X 10 X 17 pouces et 30 lb) est également disponible pour ne transporter que le matériel se rapportant à l'exposition sur les minéraux utilisés dans les objets de la vie quotidienne (objets et échantillons; *Inventaire Minéraux et objets vie quotidienne* en pages 7-8). Un porte-folio, comme montré à la Figure 1.1, peut alors servir pour transporter les napperons et les trousseaux nécessaires à l'activité d'identification basée sur les propriétés physiques des minéraux.

Structure du contenu pour la mallette « Mines et minéraux »:

- 1- Introduction (p. 1-8)
 - a. Introduction
 - b. Inventaire mallette Mines et minéraux (inventaire du contenu de la mallette complète « Mines et minéraux »)
 - c. Inventaire Mallette Minéraux et objets vie quotidienne (inventaire du contenu pour la mallette « Minéraux et objets de la vie quotidienne », sous-ensemble de la mallette « Mines et minéraux »)
- 2- Minéraux et objets vie quotidienne (p. 9-25)
 - a. Minéraux et objets (description des échantillons de minéraux et exemples de leurs applications)
 - b. FICM_Affiche Cellulaire (affiche « Téléphone intelligent – Du roc à la technologie »)
 - c. MRNF_GT 2014-02 (affiche « Les minéraux, leur composition et leur utilisation quotidienne »)
- 3- Minerai et mines (p. 26-37)
 - a. Minerai et mines (description des échantillons de minerai)
 - b. MRNF_GT_2012-03 (affiche « Les métaux et les minéraux dans notre vie », carte du Québec avec localisation des mines)
 - c. Documents et vidéos complémentaires
- 4- Activités propriétés physiques minéraux (p. 38-41)
 - a. Activités propriétés physiques minéraux (description des activités suggérées)
- 5- Matériel et ressources complémentaires (p. 42-45)
 - a. Minéraux critiques
 - b. Défis et innovations industrie
 - c. Techniques analytiques
- 6- Sources citées (p. 46-48)

Remerciements à Patrick Mercier-Langevin pour avoir fait la lecture critique du document. Ses commentaires et suggestions auront permis d'améliorer et de préciser le contenu du document.

Sources :

<http://www.canadiangeologicalfoundation.org/>

<https://www.rncan.gc.ca/science-et-donnees/centres-de-recherche-et-laboratoires/la-commission-geologique-du-canada/17101>

Niveau supérieur/ Upper level



MALLETTES « MINES ET MINÉRAUX »/ “MINES AND MINERALS” CASE

Inventaire niveau supérieur/ Upper level inventory:

1. Ensemble de neuf minéraux et d'outils pour l'activité interactive « Clé d'identification des minéraux » (*voir encadré*) / Kit of nine minerals and tools for the interactive activity “Mineral Identification Key” (*see inset*).
2. Ulexite (roche TV) et calcite biréfringente pour une activité sur les propriétés optiques des minéraux/ Ulexite (TV stone) and birefringent calcite for an activity on optical properties of minerals.
3. Objets pour exposition « Métaux et minéraux dans notre vie quotidienne » / Everyday objects for the exhibit “Metals and minerals in our lives”.

Niveau médian/ Mid-level



MALLETTES « MINES ET MINÉRAUX »/ "MINES AND MINERALS" CASE

Inventaire niveau médian/ Mid-level inventory:

4. Mine: Stockwerk minéralisé (Au), mine Éléonore, Eeyou Istchee Baie-James, Qc / Mine: Mineralized stockwork (Au), Eleonore mine, Eeyou Istchee Baie-James, QC
5. Mine: Stockwerk minéralisé (Au), mine Éléonore, Eeyou Istchee Baie-James, Qc / Mine: Mineralized stockwork (Au), Eleonore mine, Eeyou Istchee Baie-James, QC
6. Minéral: sphalérite / Mineral: sphalerite
7. Minéral: magnétite / Mineral: magnetite
8. Minéral: halite / Mineral: halite
9. Minéral: spodumène / Mineral: spodumene
10. Styromousse pour soutenir échantillons de mines / Styrofoam for mine samples support
11. Échantillon de leucogabbro (roche) avec des phénocristaux de plagioclases (minéral) / Leucogabbro (rock) sample with plagioclase phenocrysts (mineral)
12. Minéral: chalcopyrite et cuivre natif / Mineral: chalcopyrite and native copper
13. Minéraux: eudialyte et talc / Minerals: eudialyte and talc
14. Minéraux: biotite, muscovite, talc / Minerals: biotite, muscovite, talc
15. Minéral: graphite / Mineral: graphite

Niveau inférieur/ Lower level



MALLETTES « MINES ET MINÉRAUX »/ "MINES AND MINERALS" CASE

Inventaire niveau inférieur/ Lower level inventory:

16. Fiches minéraux (FR) - affiche « Du roc à la technologie - cellulaire »

17. Mine: échantillons d'or visible de la zone « high grade », mine Red Lake, On / Mine: sample with visible gold, Red Lake mine "high grade zone", ON

18. Mine: or orogénique, mine Beaufor, Val d'Or, Qc / Mine: orogenic gold. Beaufor mine, Val d'Or, QC

19. Analytique: nodule de pyrite aurifère et lames-mince / Analytical: gold bearing pyrite nodule and thin section

20. Mine: or orogénique, mine Beaufor, Val d'Or, Qc / Mine: orogenic gold, Beaufor mine, Val d'Or, QC

21. Loupes pour activité pour activité « Clé d'identification des minéraux » / Hand lenses for the "Mineral Identification Key" activity

22. Mine: sulfures massifs volcanogènes, mine LaRonde, Preissac, Qc / Mine: volcanogenic massive sulphides, LaRonde mine, Preissac, QC

23. Mineral cards (EN) - poster "From Rock to Technology - cellphone"

24. Mine: sulfures massifs volcanogènes, mine LaRonde, Preissac, Qc / Mine: volcanogenic massive sulphides, LaRonde mine, Preissac, QC

25. Mine: Ni-Cu-ÉGP magmatique, mine Raglan, Cap Smith, Qc / Mine: magmatic Ni-Cu-PGE, Raglan mine, Cape Smith, QC

Niveau supérieur/ Upper level



MALLETTE « MINÉRAUX ET OBJETS VIE QUOTIDIENNE »/ “MINERALS AND EVERYDAY OBJECTS” CASE

Inventaire niveau supérieur/ Upper level inventory:

1. Ulexite (roche TV) et calcite biréfringente (2 échantillons) pour une activité sur les propriétés optiques des minéraux / Ulexite (TV stone) and birefringent calcite (2 samples) for an activity on optical properties of minerals.

2. Objets pour exposition « Minéraux dans les objets de la vie quotidienne » / Objects for exhibit “Minerals in objects from everyday life”.

Niveau inférieur/ Lower level



MALLETTE « MINÉRAUX ET OBJETS VIE QUOTIDIENNE »/ “MINERALS AND EVERYDAY OBJECTS” CASE

Inventaire niveau inférieur/ Lower level inventory:

1. Minéral: graphite / Mineral: graphite
2. Minéral: magnétite / Mineral: magnetite
3. Minéral: sphalérite / Mineral: sphalerite
4. Échantillon de leucogabbro (roche) avec phénocristaux de plagioclases (minéral) / Leucogabbro (rock) sample with plagioclase phenocrysts (mineral)
5. Minéral: talc (2 échantillons) / Mineral: talc (2 samples)
6. Minéraux: biotite et muscovite / Minerals: biotite et muscovite
7. Minéral: spodumène / Mineral: spodumene
8. Minéral: halite / Mineral: halite
9. Minéral: eudialyte / Mineral: eudialyte
10. Minéral: chalcopyrite et cuivre natif / Mineral: chalcopyrite and native copper

Section 2 : Minéraux et objets dans la vie quotidienne

Les minéraux et les éléments qui les constituent sont utilisés dans la fabrication de divers produits ou dans des procédés industriels grâce à leurs propriétés physiques ou chimiques. Que serait notre vie sans métaux ni minéraux : pas d'acier, pas d'électricité, pas de plomberie, pas d'appareils ménagers, pas d'avions et pas d'automobiles? Mais encore, aviez-vous déjà réalisé que les minéraux entrent également dans la confection de produits cosmétiques, médicaments, vitamines et nos plus que nombreux appareils électroniques!



La mallette contient une collection de dix minéraux auxquels sont associés certains exemples d'utilisation dans des objets de la vie quotidienne (Figure 2.1). Dans la nature, ces minéraux se retrouvent à des concentrations variables dans divers contextes géologiques et divers types de roches. Certains éléments chimiques clés tels certains métaux et autres éléments considérés comme étant critiques à notre mode de vie présent sont extraits de ces minéraux qui doivent d'abord être concentrés par différents procédés mécaniques et chimiques. Les métaux et autres éléments tirés de ces minéraux (le cuivre dans la chalcopryrite) peuvent ensuite être incorporés dans la fabrication de divers biens de consommation et autres applications industrielles. Bien que certains métaux puissent être occasionnellement trouvés à l'état pur (p. ex. l'or ou le cuivre, alors dits « natifs »), la majorité sont associés à d'autres éléments chimiques pour former un solide cristallin (minéral). Dans quelques cas, c'est le minéral lui-même qui est utilisé plutôt que seulement certains de ses constituants comme les micas dans les produits cosmétiques. Certains des échantillons de la mallette contiennent des minéraux et/ou des éléments identifiés comme critiques pour le Canada (Figure 2.2). Essentiels pour les applications liées aux énergies renouvelables et aux technologies propres (batteries, aimants permanents, panneaux solaires et éoliennes), ces minéraux et éléments sont aussi des intrants nécessaires dans les chaînes d'approvisionnement liés à la fabrication de pointe, notamment pour les technologies de la défense et de la sécurité, les produits électroniques grand public, l'agriculture, les applications médicales et les infrastructures essentielles. On entend par infrastructures essentielles (IE) les processus, les systèmes, les installations, les technologies, les réseaux, les biens et les services qui sont essentiels à la santé, à la sécurité ou au bien-être économique des Canadiens et des Canadiennes, ainsi qu'au fonctionnement efficace des institutions publiques.

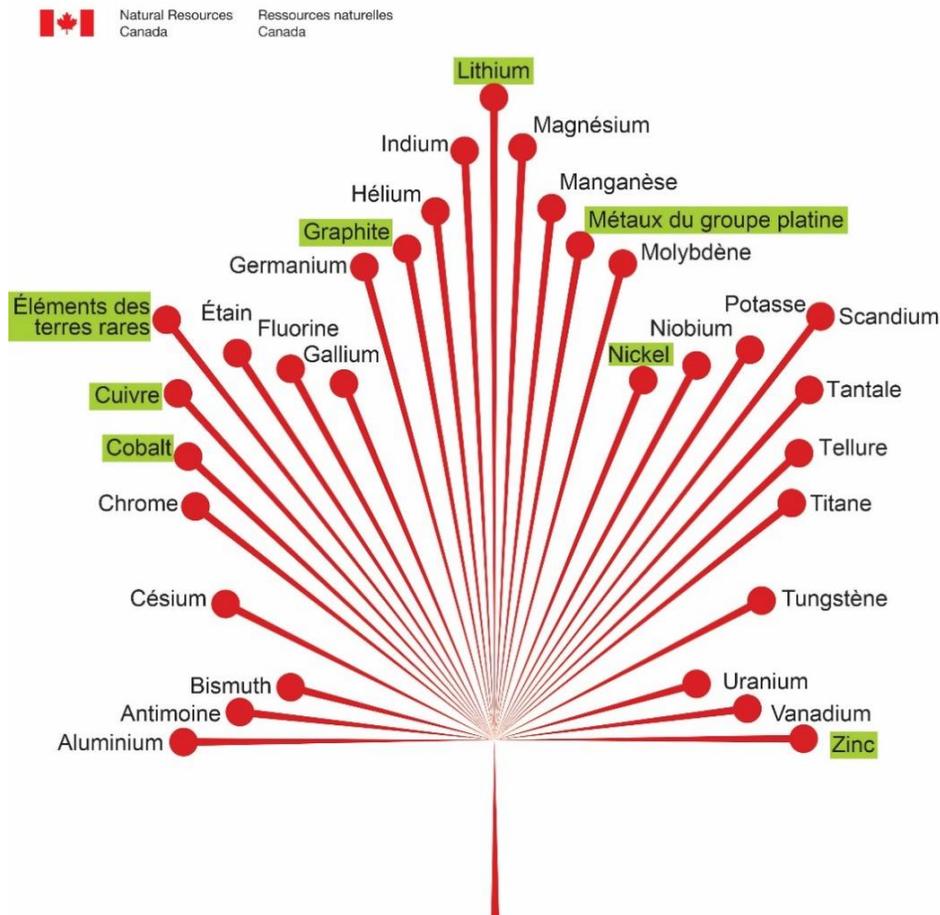


Figure 2.2 : Liste des minéraux critiques du Canada comme publiée en 2021. Les minéraux et métaux surlignés en vert correspondent à des exemples contenus dans la mallette « Mines et minéraux ».

Mallette « Mines et minéraux » - Section 2

Un trépied portatif ainsi que deux affiches rigides (coroplastes) accompagnent la collection des minéraux et sont entreposés avec la mallette:

- 1- *Du roc à la technologie* – minéraux fournissant des éléments entrant dans la fabrication d'un téléphone cellulaire (gracieuseté de la Fondation de l'ICM)
- 2- *Les minéraux, leur composition et leur utilisation quotidienne* – affiche du Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec

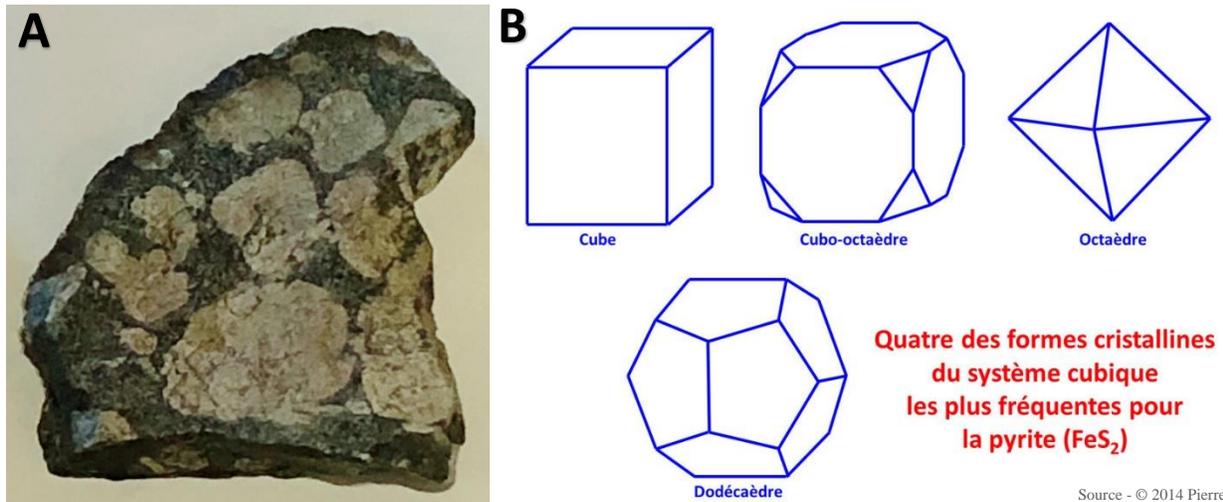
Des versions PDF de ces affiches sont également disponibles à la suite de la *Section 2 -Minéraux et objets vie quotidienne*.

Sources :

<https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/ntnl-scr/crtcl-nfrstrctr/ci-iec-fr.aspx>

<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/mineraux-critiques/23415>

Différence entre une roche et un minéral?



Source - © 2014 Pierre Thomas

Figure 2.3 : A) Exemple de roche, dans ce cas un gabbro porphyrique, constitué de minéraux de plagioclase (minéral à base de silice et aluminium) de couleur blanchâtre baignant dans une matrice de minéraux fins de couleur foncée composée essentiellement d'amphibole (pyroxène) et de chlorite (minéraux à base de silice, de fer, de magnésium et de calcium). B) Exemple des diverses formes cristallines que peut prendre la pyrite (FeS_2) dans le système cubique, l'un des sept grands systèmes cristallins.

Une roche est un matériau solide en général formé d'un assemblage de minéraux (Figure 2.3A). Les roches sont constituées de minéraux, et les minéraux sont constitués d'éléments chimiques. Une roche peut être constituée d'une ou de plusieurs espèces minérales (p. ex. un granite constitué de quartz, de feldspath et de biotite versus un marbre essentiellement composé de carbonates).

Un minéral est un solide homogène naturel dont la composition chimique est définie (mais pas fixe) et dont l'arrangement atomique est très ordonné. Il est généralement formé par des processus inorganiques. On reconnaît sept grands systèmes cristallins (cubique, quadratique, hexagonal, rhomboédrique, orthorhombique, monoclinique et triclinique) définis par un polyèdre fondamental qui correspond à la forme la plus simple selon laquelle se forme un minéral donné. À noter que chaque système cristallin regroupe de nombreuses formes cristallines et qu'il est fréquent qu'un minéral cristallise sous une variété de formes (voir l'exemple de la pyrite à la Figure 2.3B).

L'échantillon de la Figure 2.3A montre de larges cristaux blanchâtres de plagioclase baignant dans une matrice de cristaux plus fin d'amphibole (pyroxène), de plagioclase et de chlorite. Cette roche est appelée gabbro en fonction de l'abondance relative des minéraux qui la composent. Ce gabbro présente une texture dite porphyrique car de très gros cristaux baignent dans une matrice rocheuse plus fine. Une analogie avec les ingrédients (minéraux) entrant dans la confection de biscuits aux brisures de chocolat (roche) où parfois certains éléments demeurent bien visibles (brisures de chocolat dans les biscuits et les plagioclases dans l'exemple ci-haut) peut être utilisée pour bien illustrer la différence entre un minéral et une roche.

HALITE



Figure 2.4 : Échantillon de halite provenant de la mine Seleine localisée aux Îles-de-la-Madeleine, Québec (don de V. Bécu).

La halite est un chlorure de sodium (NaCl) mieux connu sous le nom de sel (Figure 2.4). Bien qu'essentiel à notre alimentation, le sel est également largement utilisé comme matériel de déglçage des routes, trottoirs et escaliers pendant l'hiver.

L'échantillon de notre collection provient de la mine Seleine, localisée à Grosse-Ile, aux Îles-de-la-Madeleine. Il s'agit de la seule mine de sel au Québec. Les Îles-de-la-Madeleine sont situées au centre d'un vaste haut-fond marin nommé plateau madelinien. Il y a de cela environ 360 millions d'années, ce plateau était situé au niveau de l'équateur. Il formait alors une vallée exposée au soleil. Périodiquement, la mer remplissait cette vallée d'eau salée. Sous les rayons du soleil, l'eau s'évaporait, laissant des dépôts de sel. Pendant plusieurs millions d'années, des centaines de mètres de cristaux de sel se sont accumulés, puis assemblés et durcis de manière à former des roches de sel. Avec la dérive des continents, le plateau madelinien a quitté l'équateur pour se retrouver à sa position actuelle, dans le golfe du Saint-Laurent. Ce sont les dômes salins qui maintiennent les îles de la Madeleine à la surface du golfe du Saint-Laurent.

Sources :

http://minesqc.com/fiches-dinformations/mines-seleine-seule-mine-de-sel-au-quebec/#_ftn1
<https://gq.mines.gouv.qc.ca/portail-substances-minerales/>

GRAPHITE



Figure 2.5 : Échantillon de graphite et objets de la vie quotidienne dans lesquels il est utilisé (Minroc Science Inc.).

Le graphite (C – Figure 2.5) est un minéral tendre (dureté de 1,5 sur l'échelle de Mohs) et son éclat gras et luisant en ont fait un excellent substitut au plomb, élément avec lequel il a d'ailleurs été apparenté jusqu'au XVIII^e siècle. Le minéral est alors appelé graphite en référence à son utilisation pour l'écriture. À l'origine utilisé à l'état brut dans la confection des mines de crayons, le graphite est désormais mélangé avec de l'argile céramique ce qui permet de varier la

dureté de la mine en fonction des proportions de l'un ou l'autre des matériaux. Ainsi, plus la proportion d'argile céramique est importante, plus la mine du crayon est dure et inversement, s'il y a plus de graphite, la mine s'en trouvera plus tendre et laissera un tracé plus épais et foncé. Aujourd'hui, les fabricants utilisent des numérotations associées aux lettres H (*hard* – dure) et B (*bold* – gras/tendre) pour indiquer les différents degrés de dureté de leurs crayons.

Le graphite constitue également un composant essentiel à la fabrication des batteries au lithium-ion qui propulsent les véhicules électriques ainsi que la majorité de nos appareils électroniques modernes tel que les cellulaires, les ordinateurs portables, les montres intelligentes, etc. Il s'agit du matériau principal pour fabriquer l'anode, la partie de la batterie qui absorbe le courant. Fait intéressant, il faut de 20 à 30 fois plus de graphite que de lithium pour faire des batteries lithium-ion. Ainsi, 10 kg de graphite sont nécessaires pour un véhicule hybride alors qu'il en faut environ 40-50 kg pour un véhicule entièrement électrique.

Au Québec, le graphite est exploité à la mine Stratmin dans le secteur du Lac-des-Îles, localisée au sud de Mont-Laurier dans les Hautes-Laurentides. La minéralisation de graphite est associée à des bandes de marbres dolomitiques, de marbres calcitiques*, de quartzites et de roches calcosilicatées appartenant à la Ceinture centrale de roches métasédimentaires du sud-ouest de la Province de Grenville. Le projet Matawinie est également en développement à Saint-Michel-des-Saints, dans la région de Lanaudière. Ce projet, piloté par l'entreprise Nouveau Monde Graphite, entrevoit devenir l'une des plus grosses exploitations à ciel ouvert entièrement opérée par des véhicules électriques. Le graphite s'y présente en paillettes fines à grossières, disséminées dans des niveaux de paragneiss à biotite-graphite d'épaisseur variable (10-15 m). Il est localement accompagné de sulfures de fer (pyrrhotite, pyrite). (* voir échantillon de marbre contenu dans la mallette « Roches sédimentaires et fossiles »)

Sources :

<https://fr.canson.com/conseils-dexpert/le-crayon-mine-graphite>

<https://nouveaumonde.group/fr/operations/>

<https://gq.mines.gouv.qc.ca/portail-substances-minerales/graphite/>

Pour un complément d'information sur la batterie lithium-ion, voir la « Section 5a- Minéraux critiques ».

Le graphite et le diamant sont tous deux des polymorphes du carbone, c'est-à-dire qu'ils sont tous deux exclusivement constitués d'atomes de carbone, mais ceux-ci ont cristallisé selon des structures différentes, sous des conditions de pression et de température distinctes. Ainsi, le carbone constituant le graphite forme des structures hexagonales placées en couches les unes sur les autres (feuillets), rendant le minéral très friable. Dans un diamant, les atomes sont plutôt organisés dans une structure tridimensionnelle conférant la dureté si exceptionnelle de ce minéral (dureté de 10 sur l'échelle de Mohs).

Les diamants sont des xénoctaux réfractaires (cristaux étrangers au magma dans lequel ils se trouvent), emportés lors de la remontée d'un magma kimberlitique* dans le manteau lithosphérique sous-continentale (Figure 2.6). Ici, le magma est juste un véhicule qui transporte les diamants rapidement vers la surface sous des conditions de haute pression et haute température, ce qui les empêche de se transformer en graphite. (*voir échantillon de kimberlite contenu dans la mallette « Roches magmatiques »)

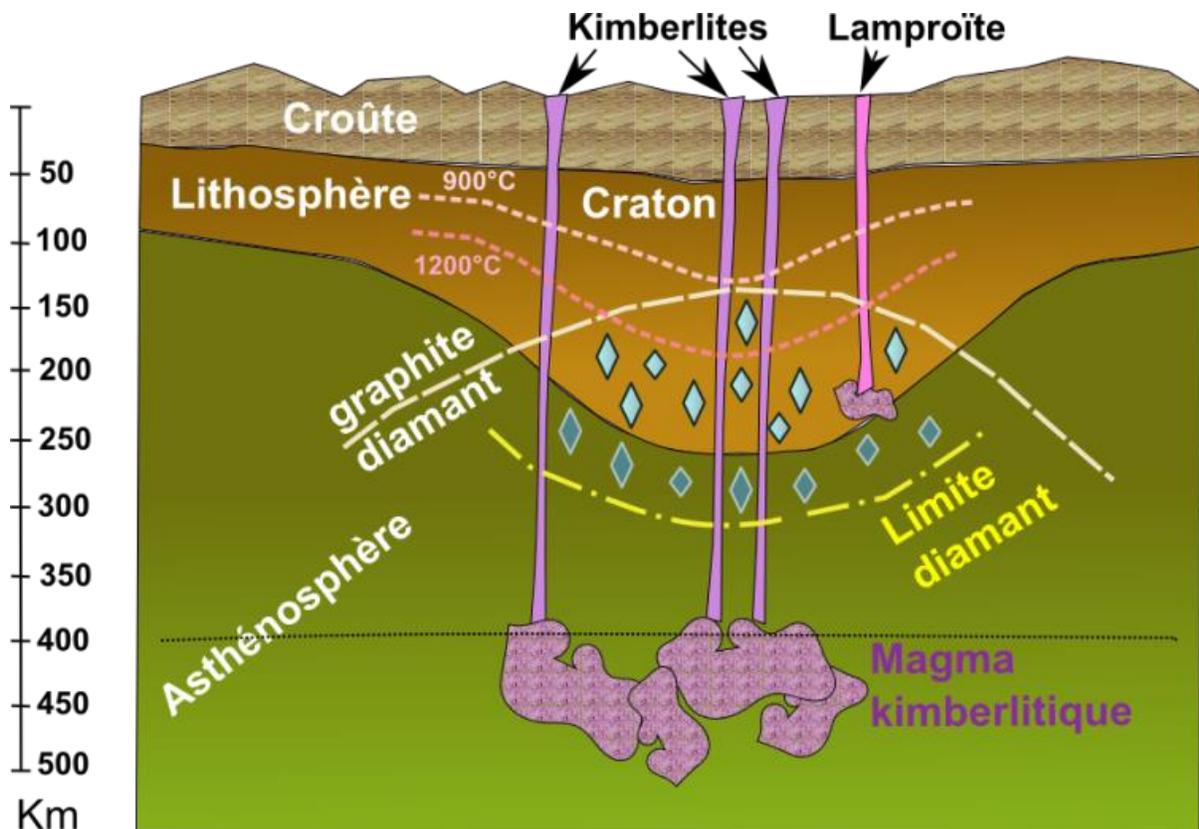


Figure 2.6 : Schéma illustrant les divers champs de stabilité du graphite et du diamant ainsi que les mécanismes de mise en place des diamants dans la croûte continentale lors de la remontée d'un magma kimberlitique localisé en grande profondeur dans le manteau terrestre. (source : https://www.pairform.fr/doc/17/138/500/web/co/grain2_1_2.html.)

BIOTITE et MUSCOVITE

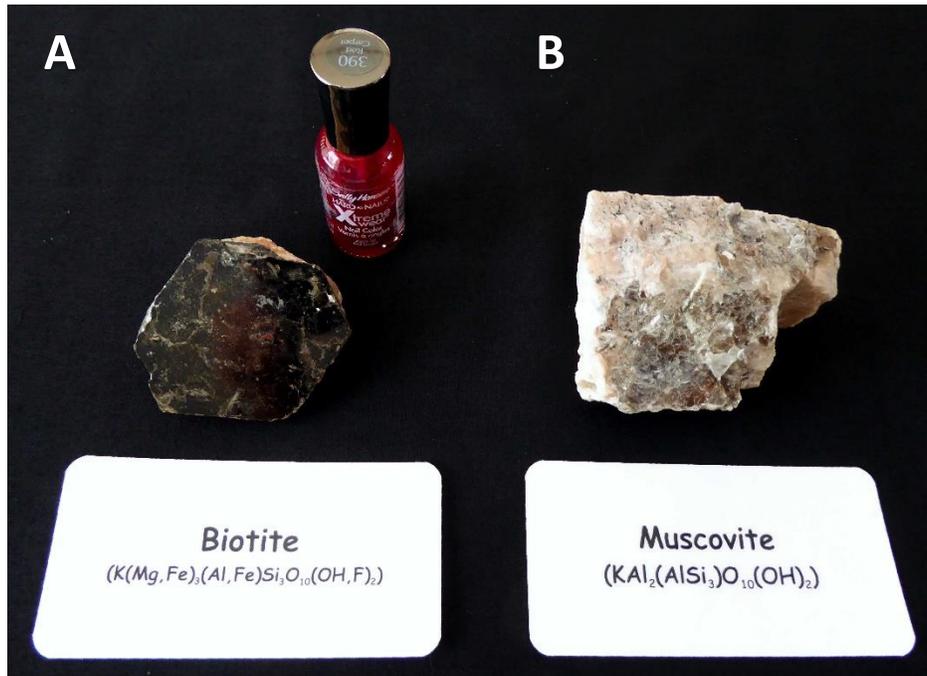


Figure 2.7 : A) Échantillon de biotite exhibant de minces feuillets de forme hexagonale et exemple de son utilisation dans les produits cosmétiques. B) Échantillon de muscovite montrant des feuillets flexibles translucides. Les deux échantillons proviennent de la collection de la CGC-Québec.

La biotite $(K(Mg,Fe)_3(Al,Fe)Si_3O_{10}(OH,F)_2)$ et la muscovite $(KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2)$ (Figure 2.7A et B) sont des variétés de micas qui appartiennent au groupe des phyllosilicates, tout comme le talc. Ces minéraux présentent un clivage parfait et sont construits par empilement de couches tétraédriques ce qui leur attribue une structure feuilletée leur conférant des propriétés plastiques et absorbantes en plus d'une grande résistance thermique. C'est d'ailleurs pour leurs caractéristiques physiques, plutôt que pour leurs compositions chimiques, que la biotite et la muscovite sont exploitées.

Les micas sont utilisés pour leurs propriétés d'isolant électrique et de résistance à la chaleur dans les appareils électroménagers (grille-pain, four à micro-ondes). Chimiquement inertes et ayant un bon pouvoir couvrant, ils entrent également dans la composition des peintures, du plastique, du caoutchouc, de la céramique, des ciments à joints, du plâtre, des bardeaux de toiture et des objets décoratifs. Ils sont aussi utilisés dans la fabrication de produits pigmentés comme les poudres de maquillage et les vernis à ongles pour apporter de l'opacité (ou une meilleure couverture) et donner un effet scintillant aux produits.

Au Québec, les micas, en particulier la phlogopite qui est une variété très magnésienne de biotite, sont exploités de façon intermittente, à la mine du lac Letondal en Haute-Mauricie depuis près de 50 ans.

Source:
<https://gq.mines.gouv.qc.ca/portail-substances-minerales/>

CHALCOPYRITE



Figure 2.8 : Échantillon de chalcopryrite, minéral de couleur jaune-laiton avec un éclat métallique, provenant du secteur de Rouyn-Noranda, Abitibi, Québec (don de P. Mercier-Langevin) accompagné d'un exemple de cuivre natif (collection CGC-Québec) et d'objets l'utilisant.

La chalcopryrite est un sulfure de fer et de cuivre (CuFeS_2 – Figure 2.8). Bien que le cuivre se retrouve occasionnellement à l'état natif dans la nature, les sulfures de cuivre telle la chalcopryrite sont les constituants les plus communs des minerais de cuivre. Le cuivre est connu depuis très longtemps et a été le tout premier métal travaillé

par les êtres humains car il est relativement malléable. D'anciennes traces de fusion du cuivre ont été datées de la première moitié du V^e millénaire avant J.-C. En alliage avec l'étain, le cuivre est à l'origine d'une révolution technologique; l'âge du bronze (2300 ans avant notre ère). Plus récemment, la capacité du cuivre à conduire l'électricité l'a rendu essentiel pour les énergies renouvelables.

Le cuivre est utilisé dans différentes industries, comme la fabrication d'équipements divers, et dans des projets de construction d'immeubles et d'infrastructures. On le retrouve également au cœur des génératrices géantes, des centrales électriques, des transformateurs, des moteurs électriques, des démarreurs et générateurs pour automobiles, ainsi que dans l'ensemble de nos appareils électroménagers et électroniques tels ordinateurs, cellulaires, consoles de jeux vidéo, etc. Au Canada, plus de la moitié du cuivre consommé annuellement est utilisé dans le domaine de l'électricité, surtout sous forme de fil. Des câbles de cuivre souterrains forment les réseaux de communication et de distribution d'électricité qui desservent les populations urbaines et rurales. Le cuivre est également essentiel à tous les organismes vivants à titre d'oligoélément alimentaire. Le corps adulte contient entre 1,4 et 2,1 milligrammes de cuivre par kilogramme de poids corporel.

La transition vers une économie numérique et l'utilisation croissante des technologies nouvelles liées aux énergies renouvelables comme les cellules solaires, les éoliennes et les véhicules électriques devraient accroître la production de cuivre. En effet, les véhicules électriques ont besoin de deux à quatre fois plus de cuivre que les véhicules conventionnels.

La chalcopryrite se retrouve dans une multitude d'environnements géologiques de compositions et d'âges variés et est fréquemment associée à d'autres métaux tels l'or, le zinc, le nickel et les éléments du groupe du platine (p.ex. platine, palladium, iridium). Au Québec, les principales sources de cuivre proviennent des gisements dits de type sulfures massifs volcanogènes localisés en Abitibi (p. ex. la mine LaRonde Penna* à Preissac) et des gisements magmatiques associés aux intrusions magmatiques mafiques-ultramafiques (riche en magnésium) localisées dans le Nord-du-Québec (p. ex. la mine Raglan* au Nunavik). (* voir échantillons dans la Section 3- Minerais et mines)

Sources :

<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/faits-mineraux-metiaux/faits-sur-le-cuivre/20577>

Côté, T., Fradette, N., et Lévesque, R., Module 3 : Les cailloux, des matériaux très modernes. Département de géologie et génie géologique, Université Laval, Québec, 12 p.

EUDIALYTE

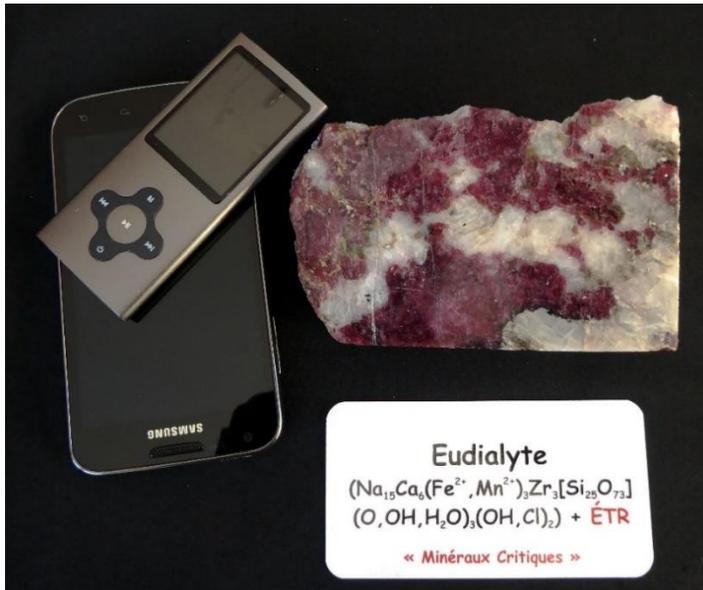


Figure 2.9 : Échantillon d'eudialyte (minéraux roses) provenant du gisement Kipawa, localisé au Témiscamingue, Québec (don de V. Bécu et P. Mercier-Langevin). L'eudialyte peut contenir des éléments du groupe des terres rares, ou ÉTR, qui sont indispensables à la fabrication de nombreux produits électroniques communs.

L'eudialyte (Figure 2.9) est un minéral rare, du sous-groupe des cyclosilicates, composé de sodium (Na), calcium (Ca) et zirconium (Zr), de formule chimique $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})_3\text{Zr}_3[\text{Si}_{25}\text{O}_{73}](\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_3(\text{OH}, \text{Cl})_2$. Dans certains cas, l'eudialyte peut présenter des enrichissements en éléments des terres rares (ÉTR) dont le lanthane (La), le cérium (Ce) et le néodyme (Nd).

Les ÉTR constituent un groupe de 15 éléments du tableau périodique appelés les lanthanides. Le scandium (Sc) et l'yttrium (Y) ont tendance à être associés aux mêmes gisements à cause de leurs propriétés similaires aux éléments lanthanides. Les ÉTR constituent des composantes essentielles de nombreux appareils électroniques que nous utilisons au quotidien et qui servent à diverses applications industrielles, notamment l'électronique, l'énergie propre, l'aérospatial, l'automobile et la défense.

La fabrication d'aimants représente la plus grande et la plus importante utilisation des ÉTR, soit 38% de la demande. Les aimants permanents sont une composante essentielle des technologies électroniques modernes utilisées dans les téléphones cellulaires, les téléviseurs, les ordinateurs, les automobiles, les éoliennes, les avions à réaction et bien d'autres produits. Les ÉTR sont aussi largement utilisés dans les produits de pointe et écologiques en raison de leurs propriétés luminescentes et catalytiques.

Le Canada possède certaines des plus importantes réserves et ressources connues (mesurées et indiquées) au monde en ÉTR. Toutefois, il ne figure que depuis l'été 2021 parmi les producteurs d'ÉTR avec la mine de Nechalacho (Territoires du Nord-Ouest). Afin d'accroître la production, un certain nombre de projets d'exploitation sont en cours de développement. Au Québec, les principaux gisements de terres rares comprennent les gisements de Strange Lake et d'Ashram au Nunavik, et de Kipawa au Témiscamingue. L'échantillon de notre collection provient de ce dernier gisement. Dans le cas du gisement de Kipawa, les terres rares sont incorporés dans la structure minérale complexe de l'eudialyte, associée aux unités de syénite composant un complexe intrusif peralcalin (roches magmatiques contenant des minéraux riches en sodium et potassium tels l'aegyrine et l'arfvedsonite).

Sources:

<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/faits-mineraux-metaux/faits-sur-les-elements-des-terres-rares/20631>

<https://gq.mines.gouv.qc.ca/portail-substances-minerales/>

Voir la « Section 5a- Minéraux critiques » pour plusieurs compléments d'information et vidéos sur les éléments terres rares.

SPODUMÈNE

Figure 2.10 : Échantillon de spodumène (minéraux vert pâle) provenant du site minier North American Lithium, localisé à La Corne, Abitibi, Québec (don de P. Mercier-Langevin).

Le spodumène est un silicate d'aluminium (pyroxène) et de lithium ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) de couleur vert pomme à blanc (Figure 2.10) qui se retrouve dans les pegmatites (roches magmatiques à grains grossiers) en cristaux de taille parfois gigantesque (p. ex. les « crystal logs » de la mine Etta au Dakota du Sud atteignent 14 m de long). Il est commun que le spodumène soit associé à des minéraux qui présentent également un potentiel économique en éléments des terres rares (ÉTR).



Le lithium (Li) contenu dans le spodumène a longtemps été exploité pour son intégration dans la fabrication de céramiques, de verres et de graisses lubrifiantes. Toutefois, le lithium est désormais considéré comme l'un des 31 éléments critiques pour la transition vers une économie numérique et à faibles émissions de carbone du pays. En effet, le lithium étant l'élément chimique le plus électropositif et le métal le plus léger, il constitue actuellement un élément de choix pour la fabrication de batteries lithium-ion qui sont à la fois rechargeables tout en ayant une haute densité de charge, c'est-à-dire qu'elles peuvent stocker beaucoup d'énergie par unité de volume et par unité de masse. Elles sont donc plus petites et légères qu'un grand nombre d'autres types de batteries. De plus, les batteries lithium-ion se déchargent relativement lentement et, comparativement aux autres technologies, elles fonctionnent à de grands écarts de température. Ces batteries sont utilisées dans les véhicules électriques ainsi que dans une multitude d'autres menus appareils électroniques tels ordinateurs, cellulaires, montres intelligentes, écouteurs sans fil, et bien d'autres. Le lithium est aussi utilisé dans la fabrication de médicaments pour traiter les troubles bipolaires dans le but de régulariser l'humeur.

Les principales ressources et réserves de lithium dans le monde se retrouvent dans trois types de gisement : (1) les pegmatites, incluant la famille des pegmatites granitiques riches en lithium-césium-tantale (LCT) et certaines intrusions peralcalines (roches magmatiques contenant des minéraux riches en sodium et potassium tels l'aegyrine et l'arfvedsonite), (2) les argiles volcaniques, où le lithium est concentré dans l'hectorite ou d'autres minéraux argileux, et (3) les saumures (et les dépôts hydromorphes, p. ex. les salars de la cordillère des Andes), où le lithium était initialement en solution mais a ensuite été concentré par évaporation ou par des processus géothermiques. Au Québec, quelques gisements ont été exploités et plusieurs projets sont présentement sous étude pour une relance éventuelle (p. ex. North American Lithium, anciennement Québec Lithium, La Corne, Abitibi) ou sont en phase d'étude de faisabilité (p. ex. projet Whabouchi, Eeyou Istchee Baie-James). Ceux-ci sont contenus dans des pegmatites de type LCT où le lithium est concentré dans des minéraux de spodumène.

Sources :

<https://gq.mines.gouv.qc.ca/portail-substances-minerales/>

<https://www.rncan.gc.ca/la-science-simplifiee/balados/quel-type-de-batterie-trouve-t-on-dans-les-vehicules-electriques-elements-naturels/22213>

<https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/les-stim-en-contexte/comment-fonctionne-une-batterie-lithium-ion>

Robert J. Howell, Laura Lagos, Camilo R. de los Hoyos and Julien Declercq, 2020. Classification and Characteristics of Natural Lithium Resources; *Elements*, v.16 (4), p. 259–264. doi: <https://doi.org/10.2138/gselements.16.4.259>

Pour un complément d'information sur la batterie lithium-ion, voir la « Section 5a- Minéraux critiques ».

SPHALÉRITE



Figure 2.11 : Échantillon de sphalérite provenant de la mine Chisel North, localisée à Snow Lake au Manitoba (don de P. Mercier-Langevin) et exemples de produits incorporant du zinc dans leur procédé de fabrication.

La sphalérite (Figure 2.11), un sulfure de zinc (ZnS) de couleur brun-noir à jaune et d'éclat semi-métallique à résineux. Il s'agit du principal minéral exploité pour son contenu en zinc (Zn).

Le zinc sert surtout à plaquer le fer et l'acier afin de leur donner une plus grande résistance à la rouille et à la corrosion par un procédé de galvanisation. C'est environ 48% de la consommation mondiale de zinc qui y est destinée. L'industrie de l'automobile est la

principale consommatrice d'acier galvanisé. Le zinc peut également être allié à d'autres métaux et utilisé pour le moulage sous pression de pièces comme des poignées de porte. Allié au cuivre, il sert à former du laiton et allié avec le cuivre et l'étain, il permet de former du bronze. Des raccords en laiton sont utilisés en plomberie dans les maisons partout au Canada et entrent dans la fabrication d'équipements d'échanges thermiques.

Le zinc est aussi couramment utilisé dans les batteries non rechargeables, dites alcalines. Cependant, il semblerait que des chercheurs aient réussi à créer une batterie rechargeable coûtant beaucoup moins cher qu'une batterie lithium-ion, et ce, en utilisant du zinc et de l'air de comme électrodes. Les recherches sont en cours, mais cette technologie pourrait éventuellement concurrencer la technologie lithium-ion, actuellement largement utilisée dans les véhicules électriques.

Cet élément peut également être ajouté aux engrais afin d'accroître le rendement des cultures et, lorsque transformé en oxyde de zinc, il devient un ingrédient qui entre dans la composition de crèmes pour la peau et de shampoings en plus d'être utilisé dans la fabrication de pneus.

La sphalérite est un minéral communément associé à la chalcopryrite (minerai de cuivre) dans les gisements de type sulfures massifs volcanogènes. Au Canada, de gros et nombreux gisements se retrouvent dans le Bouclier canadien et les Appalaches. Au Québec, le camp minier de Matagami, à quelques 200 km au nord de la ville de Rouyn-Noranda, fut l'un des principaux producteurs de zinc où pas moins de 12 mines y ont été exploitées depuis 1963. La dernière, la mine Bracemac-McLeod, a cessé ses opérations au mois de juin 2022. Le zinc est également un sous-produit, tout comme l'argent et le cuivre, du gisement d'or de la mine LaRonde Penna*, à Preissac en Abitibi. (*voir échantillons dans la *Section 3-Mineral et mines*).

Les matériaux recyclés permettent de répondre à environ 10 % de la demande mondiale de zinc. La ferraille d'acier galvanisé et les piles sont les principales sources de zinc recyclé. Les produits comme l'acier galvanisé ont une longue durée de vie, ce qui a une incidence sur la quantité de matériaux disponibles sur le marché pour le recyclage pour une année donnée.

Sources :

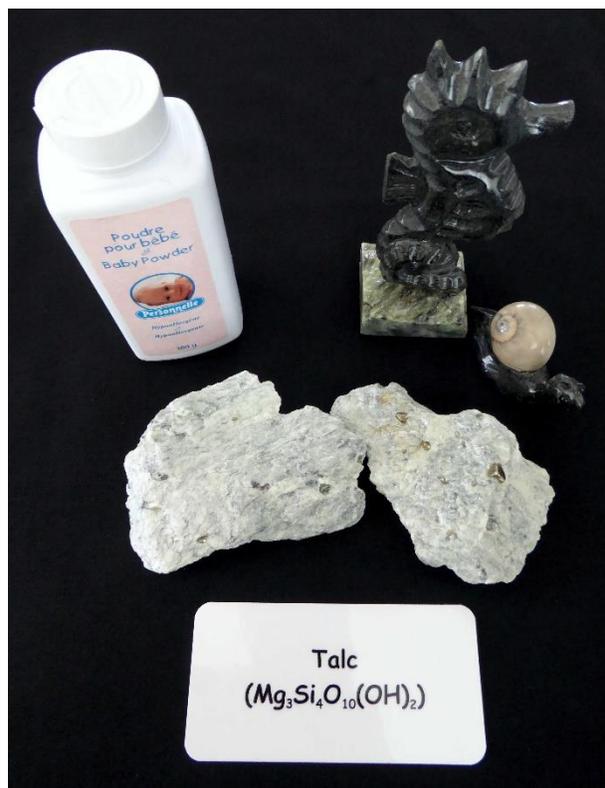
<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-matériaux/faits-mineraux-métaux/faits-sur-le-zinc/20632>

Côté, T., Fradette, N., et Lévesque, R., *Module 3 : Les cailloux, des matériaux très modernes. Département de géologie et génie géologique, Université Laval, Québec, 12 p.*

TALC

Figure 2.12 : Échantillon de talc contenant des cristaux de pyrite (FeS_2) de forme cubique, provenant de la carrière Saint-Pierre-de-Broughton, localisée dans la région de Chaudière-Appalaches, Québec (don F. Létourneau). Les sculptures de stéatite sont des dons de M.-C. Mercier et M. Langevin.

Comme les micas, le talc ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) est un phyllosilicate qui est doux (onctueux) au toucher et forme des feuillets et des écailles flexibles qui ont un clivage parfait (Figure 2.12). Il s'agit d'un minéral très mou avec une dureté de 1 sur l'échelle de Mohs, chimiquement inerte, et sa couleur varie généralement de blanc, blanchâtre à verdâtre. Sa variété compacte ou granulaire, la stéatite (pierre à savon), est une roche métamorphique qui contient une quantité variable d'impuretés minérales, dont du mica, de la chlorite, du pyroxène, de l'amphibole, de la serpentine, du quartz, de la calcite et des oxydes de fer. La stéatite résulte de la transformation partielle ou totale des serpentinites associées aux roches très riches en magnésium, ou de composition ultramafique.



L'utilisation de la stéatite date de l'antiquité : les premiers Égyptiens la sculptent en forme de scarabées et de sceaux; en Chine et en Inde, on s'en sert comme ornements, outils et ustensiles ménagers. Les Premières Nations et les Inuits au Canada, tout comme les Scandinaves, l'ont utilisée de la même façon, à différentes époques, au cours des 7500 dernières années. La stéatite en bloc est sculptée. De nos jours, elle sert également pour la production de plaques réfractaires pour l'habillage de foyer.

Le talc, lorsque réduit en poudre, est utilisé essentiellement en cosmétique en raison de ses propriétés absorbantes et matifiantes. Il entre dans la composition de divers produits cosmétiques tels rouges à lèvres, vernis à ongles, poudres pour le teint et ombres à paupières et peut être utilisé en shampooing sec. Il a longtemps été utilisé comme poudre pour prévenir l'érythème fessier chez les bébés, mais y est de plus en plus délaissé pour faire place à des composés organiques, tel l'amidon de maïs, en raison de risques en cas d'inhalation. La structure lamellaire du talc lui confère un excellent pouvoir lubrifiant ce qui en fait une matière intéressante pour la fabrication de certains produits pharmaceutiques, notamment comme agent d'enrobage pour faciliter l'ingestion de certains médicaments.

Il existe plusieurs gisements de talc et de stéatite au Québec, et certains d'entre eux ont déjà été exploités au cours du XX^e siècle. Ces gisements sont localisés dans la province géologique des Appalaches, notamment dans les régions de Chaudière-Appalaches et de l'Estrie, de même qu'au Nunavik.

Sources :

<https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/steatite>
<https://gg.mines.gouv.qc.ca/portail-substances-minerales/>

MAGNÉTITE

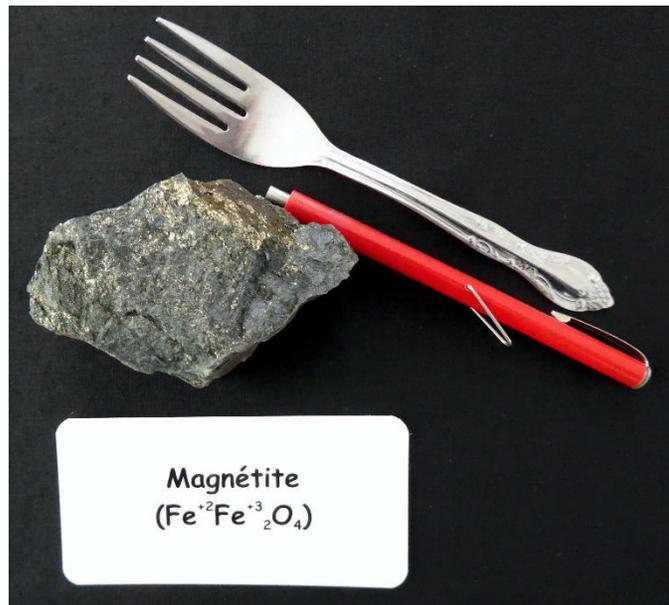


Figure 2.13 : Échantillon de magnétite (avec pyrite et chalcoppyrite) provenant du gîte minéral Brosman à Chibougamau (Québec), un gisement polymétallique d'or, d'argent et de cuivre (don V. Bécu). La majorité des ustensiles de tous les jours sont fabriqués en acier inoxydable, un alliage métallique qui contient plus de 50% de fer, un minimum de 10,5% de chrome (chromite) et un maximum de 1,2% de carbone (graphite). L'aimant est pour en souligner l'une de des caractéristiques principales du minéral, soit sa propriété hautement magnétique.

La magnétite est un oxyde de fer ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$) reconnu pour être hautement magnétique (Figure 2.13). Généralement commune sous forme disséminé en petits grains dans les roches ignées et les roches métamorphiques de hautes températures, la magnétite est également l'un des principaux minéraux associés aux gisements de fer, aux anorthosites à titane, fer et vanadium*, et aux gisements de fer-oxydes à cuivre, or et uranium (*iron oxide copper-gold – IOCG*). Elle est également associée aux gisements de porphyres à cuivre et or où elle constitue un bon vecteur d'exploration car facilement décelable par des méthodes géophysiques, c'est-à-dire des relevés au sol ou aéroportés mesurant les propriétés magnétiques et la conductivité des roches par exemple. (* voir échantillons dans la mallette « Minéraux critiques »)

Le minerai de fer est principalement utilisé pour la fabrication d'acier (98 %), qui est un alliage métallique essentiel dans les domaines de la construction, tant industrielle, domiciliaire, qu'automobile. L'acier est constitué d'au moins deux éléments, majoritairement le fer puis le carbone dans des proportions comprises entre 0,02 % et 1,67 % en masse. C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés du métal qu'on appelle « acier ». Il existe d'autres métaux à base de fer qui ne sont pas des aciers comme les fontes et les ferronickels par exemple. Les 2 % restants sont utilisés dans diverses applications, comme :

- **poudre de fer** — pour certains types d'acier, des aimants, des pièces d'automobiles et des catalyseurs
- **fer radioactif (fer 59)** — pour la médecine et comme élément traceur dans la recherche biochimique et métallurgique

- **bleu de fer** — dans les peintures, l'encre d'imprimerie, les plastiques, les produits cosmétiques (p. ex. ombre à paupières), les couleurs de peinture, le bleu de lessive, la teinture de papier, l'engrais, les finis en émail cuit sur les véhicules et les électroménagers, et les finis industriels
- **oxyde de fer noir** — comme pigment dans les composés de polissage, en métallurgie, en médecine, dans les encres magnétiques et dans les ferrites pour l'industrie de l'électronique.

L'acier est 100 % recyclable, ce qui signifie qu'il peut être retraité pour donner du matériel de même qualité, et ce, autant de fois que voulu. Le recyclage représente d'importantes économies sur le plan de l'énergie et des matières brutes.

- Les fours électriques à arc permettent de fabriquer de l'acier entièrement à partir de débris de métal. Cela réduit considérablement l'énergie nécessaire à la fabrication de l'acier, comparativement à la première fabrication de l'acier à partir du minerai.
- Le virage de plus en plus répandu vers l'utilisation de fours électriques à arc pour la fabrication de l'acier soutiendra le marché mondial des riblons d'acier (déchets), qui devrait atteindre 755 millions de tonnes d'ici 2024.

Pratiquement tout le minerai de fer du Canada provient de la région de la fosse du Labrador et son équivalent dans la Province de Grenville, localisé le long de la frontière entre le Québec et Terre-Neuve-et-Labrador. Il y est extrait de formations de fer rubanées de type Lac-Supérieur qui sont des roches sédimentaires rubanées qui se sont formées sur des plateformes continentales et forment des unités épaisses et continues sur plusieurs kilomètres. L'hématite (spécularite) et la magnétite sont les principaux minéraux extraits des formations de fer de type Lac-Supérieur et les mines de Mont-Wright et Fire Lake, localisée à proximité de la ville de Fermont, sont les principaux producteurs de fer au Québec.

Sources :

<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Acier.html>

<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-acier-inoxydable-16677/>

<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/faits-mineraux-metiaux/faits-sur-le-minerai-de-fer/20594>

From Rock To Technology - Du roc à la technologie

INTERESTING FACTS ABOUT CELL PHONES:

- In 1983, Motorola presented the world with the first smartphone for a mere \$4,000 per phone
- Nokia has sold the most smartphones worldwide – their 1100 model has been purchased by over 250 Million users
- The average person unlocks his/her smartphone 110 times each day
- 80% of the world's population has a smartphone
- Phones today are more powerful than the computer originally used for the moon landing
- Nearly 65% of emails are opened on mobile phone devices

QUE SAIT ON SUR LES « SMARTPHONE »?

- En 1983, Motorola a présenté au monde entier le premier téléphone intelligent (smartphone) à un prix unitaire de 4 000 \$
- Nokia a vendu le plus de ces téléphones à travers le monde leur modèle 1100 a été acheté par plus de 250 millions d'utilisateurs
- La personne moyenne déverrouille son téléphone intelligent 110 fois chaque jour
- 80% de la population mondiale possède un « smartphone »
- Les téléphones d'aujourd'hui sont plus puissants que l'ordinateur utilisé à l'origine pour l'atterrissage
- Près de 65% des courriels sont consultés sur des appareils de téléphonie mobile



SCREEN / ÉCRAN		
SILICA SILICE	INDIUM	TIN ÉTAIN
QUARTZ	SPHALÉRITE SPHALÉRITE	CASSITERITE CASSITERITE

SPEAKER / HAUT PARLEUR	
IRON OXIDE OXIDE DE FER	STRONTIUM
IRON ORES (Hématite/Goethite)	CELESTITE CELESTINE
MINÉRAIS DE FER (Hématite/Goethite)	
COPPER CUIVRE	CERAMICS CÉRAMIQUES
CHALCOPYRITE	KAOLINITE

CAPACITORS CONDENSATEURS
MANGANESE MANGANESE
PYROLUSITE

CASE / BOITIER	
STAINLESS STEEL ACIER INOXYDABLE	IRON FER
HEMATITE SPECULARITE L'HÉMATITE SPÉCULARITE	HEMATITE HÉMATITE
CHROMIUM CHROME	CARBON CARBONE
CHROMITE	GRAPHITE

BUTTONS TOUCHES
PETROLEUM PRODUCTS PRODUITS PÉTROLIERS
BITUMINOUS SANDS SABLES BITUMINEUX

CIRCUIT BOARDS / CIRCUITS IMPRIMÉS		
SILICON SILICIUM	NATIVE COPPER CUIVRE NATIF	GOLD OR
QUARTZ		
SILVER ARGENT	PLATINUM PLATINE	CLAYS ARGILE
		KAOLINITE

BATTERY / PILE		
LITHIUM	COBALT	SILICON SILICIUM
SPODUMENE SPODUMÈNE	PENTLANDITE	QUARTZ

Presented by / Présenté par:



LES MINÉRAUX,

LEUR COMPOSITION

ET LEUR UTILISATION QUOTIDIENNE

L'IMPORTANCE DES MINÉRAUX POUR VOTRE CORPS

TITANE

Minéral	Élément chimique	Application	Description
	Ilménite (oxyde de fer et titane) $FeTiO_3$	Titane Ti	Crème solaire Prothèse de hanche, vis, plaque et tige de métal lors d'opérations dans le corps
			L'oxyde de titane a la particularité de bloquer les rayonnements solaires. Le titane est non toxique et est un bon matériau pour les prothèses orthopédiques et orthodontiques. Au Québec, une mine à ciel ouvert d'ilménite est exploitée, au nord de Havre-Saint-Pierre.

TALC

Minéral	Élément chimique	Application	Description
	Talc (silicate de magnésium) (la roche de talc est appelée stéatite) $Mg_3Si_2O_5(OH)_2$	Magnésium Mg	Maquillage Crème hydratante Poudre à talquer
			Le talc est très doux au toucher et peut être transformé en une fine poudre douce et soyeuse. C'est un produit idéal pour le maquillage. La mine de Saint-Pierre-de-Broughton (Chaudière-Appalaches) a été la dernière mine de talc exploitée au Québec.

FELDSPATH

Minéral	Élément chimique	Application	Description
	Feldspath (silicate d'aluminium et de potassium) $KAlSi_3O_8$	(silicate d'aluminium et de potassium)	Dent Dentier Porcelaine
			Ce minéral de teinte rosée à blanchâtre est utilisé principalement dans la fabrication de dents artificielles. Au Québec, une seule mine de feldspath est exploitée, au nord de Buckingham, dans la région de l'Outaouais.

LITHIUM

Minéral	Élément chimique	Application	Description
	Spodumène (silicate de lithium) $LiAlSi_2O_6$	Lithium Li	Pilule (antidépresseur)
			Le lithium est utilisé dans la fabrication de médicaments pour traiter les troubles bipolaires dans le but de régulariser l'humeur des personnes dépressives. Au Québec, le spodumène se trouve dans les pegmatites et les granites. Les principaux projets miniers sont situés en Abitibi et à la Baie-James.

FER

Minéral	Élément chimique	Application	Description
	Hématite (oxyde de fer) Fe_2O_3	Fer Fe	Nourriture Suppléments vitaminés
			Le fer fait partie des sels minéraux indispensables retrouvés dans les aliments. Le fer joue aussi un rôle très important dans le transport de l'oxygène et dans la formation des globules rouges du corps humain. Au Québec, l'hématite est le principal minéral de fer exploité dans la région de Fermont et de Schefferville.

ALUMINIUM

Minéral	Élément chimique	Application	Description
	Bauxite (oxyde d'aluminium) $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	Aluminium Al	Antisudorifique
			Sous forme de sels, l'aluminium peut servir dans les antisudorifiques. Le principal minéral d'aluminium est la bauxite qui est absente au Québec. On trouve des mudstones (argilites) riches en alumine dans la région de Grande-Vallée en Gaspésie.

BARITE

Minéral	Élément chimique	Application	Description
	Barite $BaSO_4$	Baryum Ba	Lavement baryté
			L'hydroxyde de baryum est un composé minéral opaque aux rayons X, utilisé en radiologie pour visualiser certaines régions de l'intestin. Aucune exploitation de barite ne se fait actuellement au Québec. On trouve de la barite à Saint-Honoré au Saguenay, et en Outaouais.

MICA

Minéral	Élément chimique	Application	Description
	Mica (muscovite) (silicate d'aluminium et de potassium) $KAl_2(AliSi_2O_{10})(F,OH)_2$	(silicate d'aluminium et de potassium)	Vernis à ongles
			La muscovite est un mica blanc qui est incorporé en fines paillettes dans plusieurs produits cosmétiques. La muscovite donne de la brillance et de l'éclat. Au Québec, la muscovite a été exploitée à partir de pegmatites dans la région de Grandes-Bergeronnes (Côte-Nord).

ZINC

Minéral	Élément chimique	Application	Description
	Sphalérite (sulfure de zinc) ZnS	Zinc Zn	Shampooing Onguent de zinc
			Le zinc est ajouté à des produits capillaires pour contrôler les pellicules et aussi pour la cicatrisation de fines blessures. Au Québec, on exploite le zinc en Abitibi.

Section 3 : Minerai et mines

Comme présenté dans la section précédente, les minéraux et les éléments qui les constituent, sont essentiels à notre mode de vie moderne et entrent dans la fabrication de divers produits utilisés sur une base quotidienne. Bien que certains métaux puissent être trouvés à l'état natif, la majorité forme des groupements d'éléments chimiques se présentant sous forme d'un solide cristallin (minéral). Lorsqu'un minéral, ou un ensemble de minéraux, renferment des métaux ou des éléments utiles à l'activité humaine en concentration suffisante pour justifier leur exploitation (revenus dépassant le total des investissements de développement, les frais d'opération et les coûts de restauration), on parle alors de minerai. Ainsi, la chalcopirite constitue un minerai commun de cuivre, la sphalérite un minerai de zinc et la magnétite un minerai de fer lorsqu'ils se retrouvent en quantité suffisante pour être exploités. Parfois, d'autres éléments, dont l'or, l'argent et les éléments du groupe du platine (ÉGP), sont incorporés dans la structure de certains minéraux lors de leur cristallisation initiale ou à la suite de processus tardifs, et les minéraux « hôtes » deviennent alors le minerai exploité. Ces minerais se retrouvent à divers endroits dans la croûte terrestre à la faveur de processus et environnements géologiques qui en ont permis la concentration et la déposition en masse et en un lieu donné. C'est ce qu'on appelle un gîte ou, s'il y a démonstration qu'une exploitation rentable est possible, un gisement.

L'exploitation d'un gisement, c'est-à-dire la phase d'extraction et de traitement du minerai pour sa mise en marché, se fait notamment au moyen de mines à ciel ouvert ou souterraines. Le choix du type de mine dépend de différents facteurs tels que la profondeur du gisement, l'empreinte au sol et les coûts d'extraction. De manière générale, si une majeure partie du gisement se trouve relativement près de la surface, on privilégie la construction d'une mine à ciel ouvert (Figure 3.1), où l'exploitation s'effectue au moyen d'une fosse en spirale dans laquelle des bancs de deux à quinze mètres sont dynamités pour extraire le minerai qui est ensuite chargé par des pelles sur d'immenses camions (pouvant contenir des centaines de tonnes) pour être transporté jusqu'au concentrateur. Les mines à ciel ouvert sont souvent comparées à un monde de géants, car on y trouve de la machinerie surdimensionnée et parce que la superficie d'une fosse peut être très impressionnante. C'est le cas de la mine à ciel ouvert Mont-Wright, située près de Fermont au Québec, qui a une superficie de 24 km², ce qui équivaut à 2222 terrains de soccer, en faisant l'une des plus grandes mines à ciel ouvert au Canada.

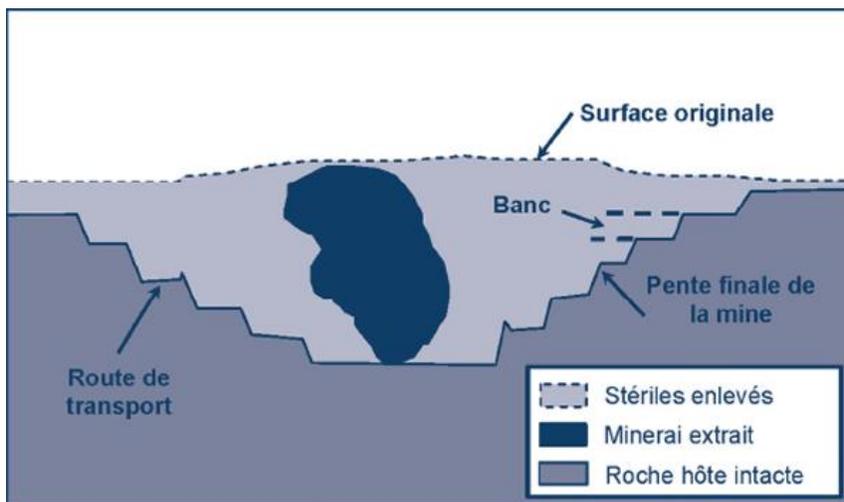


Figure 3.1 : Coupe transversale typique d'une mine à ciel ouvert. On y voit l'importante zone minéralisée située sous la surface du sol laquelle est entourée par la roche stérile. On y voit la pente finale des murs de la fosse faite à même les talus dans roche stérile. Ces talus, appelés bancs, servent de route de transport. La roche avoisinante qui n'est pas enlevée est appelée roche hôte intacte.

(Source : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-environnemental-loi-canadienne-protection/publications/code-pratiques-ecologiques-mines-metaux/chapitre-2.html>)

Une infrastructure de mine souterraine (Figure 3.2) est privilégiée dans les cas où le gisement se poursuit en profondeur, s'il y a une quantité importante de couvert végétal, de sédiments glaciaires, de roches stériles, ou encore si un cours d'eau qui recouvre le gisement ou que l'on veuille minimiser l'impact visuel (p. ex. à proximité d'une ville). Le minerai, le personnel et la machinerie y sont alors transportés via un puits d'accès vertical qui débouche sur une multitude des galeries (longs tunnels) réparties à différentes profondeurs, ou « niveaux », à intervalles réguliers, pour accéder au gisement (chantiers). L'accès sous terre et le passage d'un niveau à l'autre peuvent également se faire au moyen de rampes d'accès ou de monteries (échelles). Un puits d'aération est également excavé pour garantir la ventilation, la filtration et le contrôle de la température et de la qualité de l'air dans l'ensemble des niveaux et chantiers de la mine. Il est fréquent qu'un ancien puits d'accès soit converti en puits de ventilation et serve également de sortie d'urgence.

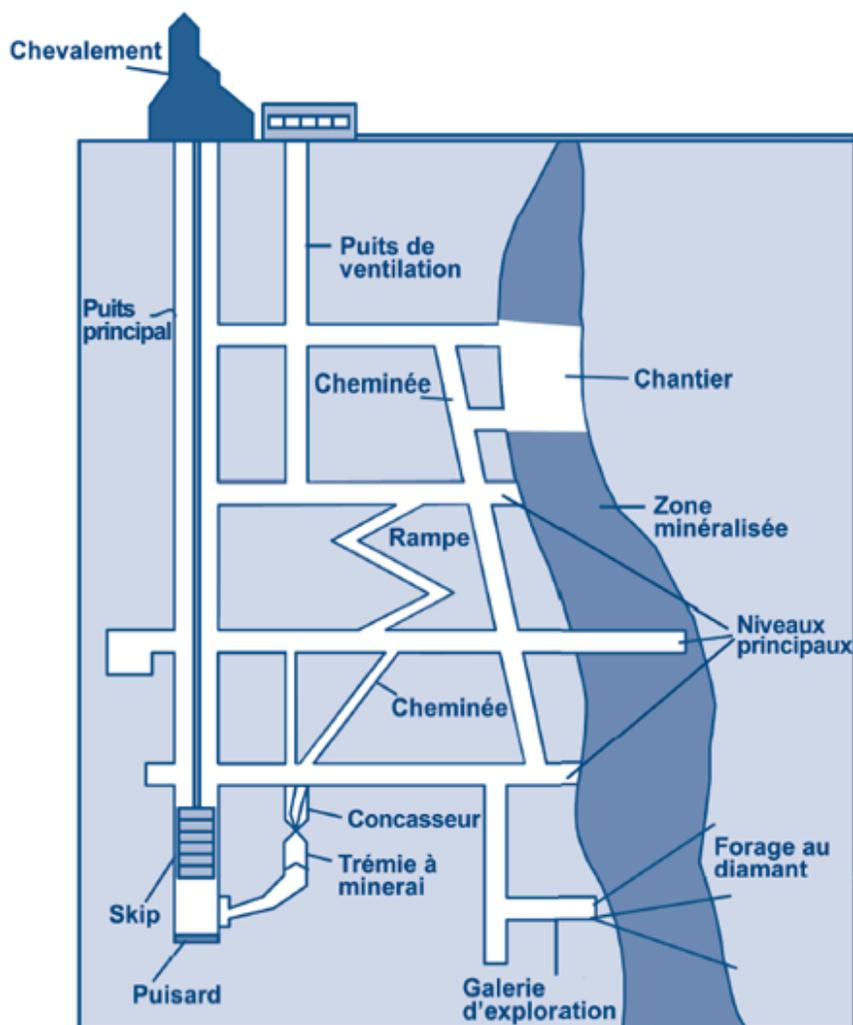


Figure 3.2 : Schéma d'une coupe transversale typique d'une mine souterraine. Le chevalement du puits principal se trouve en surface et abrite le « skip » qui sert de monte-charge. Le fond du puits sert de puisard. À différentes profondeurs de la mine, des galeries horizontales sont creusées afin d'atteindre la zone minéralisée ou les chantiers. Des rampes d'accès ou des monteries sont utilisées pour atteindre les différents niveaux. Le minerai est envoyé au concasseur souterrain pour y être concassé et stocké dans la trémie à minerai. Des galeries d'exploration sont creusées pour échantillonner, à l'aide de forages au diamant, les zones plus en profondeur. Un puits de ventilation conduisant à la surface permet l'apport d'air frais.

(Source : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-environnemental-loi-canadienne-protection/publications/code-pratiques-ecologiques-mines-metaux/chapitre-2.html>)

Source : <https://www.exploreslesmines.com/fr/secteur-minier/types-de-mines.html>



Figure 3.3 : Exposition « mines » de la mallette « Mines et minéraux ».

La mallette « Mines et minéraux » contient une collection de dix échantillons de minerais provenant majoritairement de mines présentement en production, ou en arrêt temporaire, au Québec et d'un échantillon d'or natif contenu dans un récipient de plastique (Figure 3.3). Seuls deux échantillons proviennent d'une mine d'or localisée en Ontario (la mine Red Lake). Les échantillons représentent différents types de gisements d'or de styles variés dont, les gisements d'or filonien, dits orogéniques (p. ex. les mines Beaufor et Red Lake), de style réseau de veines, ou stockwerk (p. ex. la mine Éléonore) et d'un gisement polymétallique de type sulfures massifs volcanogènes aurifères où l'or est associé à d'autres substances d'intérêt dont l'argent, le cuivre et le zinc (p. ex. la mine LaRonde Penna). La collection inclut également deux échantillons de minerai de nickel, contenant également du cuivre et des ÉGP, associés à des roches provenant de la mine la plus septentrionale du Québec, la mine Raglan.

Les exemples de minerai présentés dans cette mallette proviennent de la Province du Supérieur, province géologique d'âge Archéen (4,3 à 2,5 milliards d'années) qui couvre environ la moitié de la superficie du Québec, soit près de 745 000 km². C'est d'ailleurs au Québec, près d'Inukjuak au Nunavik, qu'a été découverte la plus ancienne roche au monde avec un âge de 4,28 milliards d'années. Le minerai de Ni-Cu-ÉGP de la mine Raglan se trouve dans la ceinture de Cap Smith, localisée dans la Fosse de l'Ungava, située au nord de la Province du Supérieur au Nunavik. Elle renferme des roches d'âges Paléprotérozoïque (2,5 à 1,6 milliards d'années).

Un trépied portatif ainsi qu'une affiche rigide (coroplaste) complètent la collection des échantillons de minerai:

- 1- *Les métaux et les minéraux dans notre vie* (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec document GT 2012-03 montrant une carte du Québec avec la localisation des mines. Une version PDF est disponible à la suite de la « Section 3-Minerai et mines ».

Source :

Thériault, R., 2013. *Les provinces géologiques du Québec*; Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec, présentation PDF [<https://mern.gouv.qc.ca/mines/trousse-educative/conferences/>]

Or natif

L'or (Au – Figure 3.4) est un métal jaune brillant connu pour sa grande densité (19,3 fois la masse d'un volume égal d'eau), estimé pour son exceptionnelle malléabilité, sa résistance à la corrosion, sa grande conductibilité électrique et thermique ainsi que pour son éclat et sa rareté. L'or est le plus stable des métaux. Il se trouve à l'état natif, de forme relativement grossière (visible à l'œil, rare) ou plus ou moins finement dispersé à même d'autres minéraux constituant le minerai. Il arrive qu'il soit même incorporé dans la structure du minéral hôte (voir la *Section 5c-Techniques analytiques*).

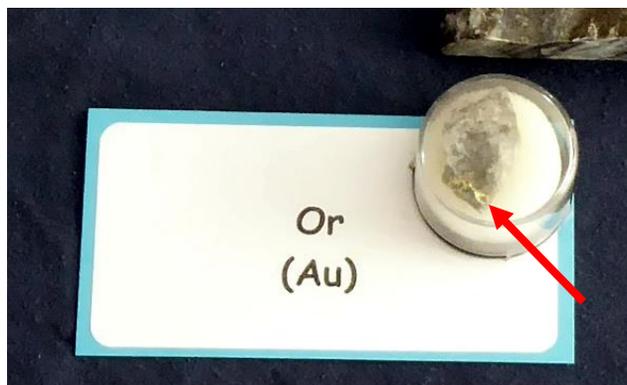


Figure 3.4 : Échantillon d'or natif contenu dans une veine de quartz-carbonate de la mine Beaufor, localisée à Val-d'Or en Abitibi (don de V. Bécu).

L'or est principalement encaissé dans des veines ou filons, associés à d'autres minéraux d'intérêt économique du substrat rocheux, mais se trouve aussi sous forme de pépites, de paillettes ou de poussières mêlées au sable et au gravier des ruisseaux et des rivières. L'or est également un produit, ou un sous-produit, des certaines mines de métaux usuels. Au Canada, la production aurifère est présente dans sept provinces et deux territoires, où l'Ontario et le Québec représentent plus 70% de la production totale, la majeure partie provenant de la sous-province géologique de l'Abitibi localisée dans la Province du Supérieur. L'or constitue la matière première produite ayant la plus grande valeur avec une production commerciale estimée à 10,3 milliards de dollars en 2019.

La demande industrielle mondiale en or provient principalement des industries de la joaillerie, de l'électronique et des pièces de monnaie officielles. Depuis la nuit des temps, l'or a été un symbole de richesse. Aujourd'hui, l'or destiné aux produits d'investissement prend la forme de plaquettes, de lingots et de pièces de monnaie, et sert surtout à se prémunir contre l'inflation et la volatilité des marchés boursiers. Métal chimiquement inerte, il est également utilisé en dentisterie et en médecine. Sa résistance à la corrosion et sa conductibilité électrique en font un matériau de choix dans l'électronique de précision (téléviseurs, ordinateurs, portables, téléphones, cellulaires, coussins gonflables des voitures) et les technologies liées aux énergies renouvelables (voitures électriques, éoliennes). Fait intéressant, au Jeux olympiques de Tokyo en 2020 (tenus en 2021), les quelques 5000 médailles distribuées provenaient de près de 80 000 tonnes d'appareils électroniques, dont six millions de téléphones, ramassées lors d'une vaste campagne de recyclage. Ainsi, c'est environ 32 kilos d'or, 3500 kilos d'argent et 2200 kilos de bronze qui ont été récupérés. L'application d'un film d'or sur des vitres améliore leurs propriétés thermiques de façon phénoménale, d'où son application en aéronautique, notamment sur les visières protectrices des casques d'astronautes, mais également dans la fabrication de verres spéciaux réduisant les gains de chaleur en été et les pertes en hiver dans nos maisons. L'or est aussi utilisé comme lubrifiant pour les pièces mécaniques des engins spatiaux en remplacement des composés organiques ou synthétiques classiques qui se dégraderaient dans le vide interstellaire. C'est d'ailleurs plus de 40 kilogrammes d'or qui auraient été utilisés dans la construction de la navette spatiale Columbia.

Sources :

<https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/or-104>

<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/faits-mineraux-metaux/faits-sur-lor/20587>

Méthot, J., 2019. L'or, un contributeur clé de l'économie et à la vie quotidienne des québécois; *Ressources Mines et Industrie*, 6(2), 31–33.

Boule, M., 2019. Des médailles en or... recyclé; *L'actualité*, 11 septembre 2019. [[Des médailles en or... recyclé | L'actualité \(lactualite.com\)](#)]

Minerai d'or orogénique

La mine Beaufor (actuellement en maintenance) est localisée à l'est de la ville de Val-d'Or, dans l'Abitibi québécois. Il s'agit d'un gisement d'or filonien, ou orogénique, constitué de veines et de brèches de quartz et de carbonate (avec parfois de la tourmaline). Ces veines sont plus ou moins continues sur des dizaines à localement quelques centaines de mètres. L'or, principalement confiné dans les veines, s'y trouve à l'état natif, mais rarement visible à l'œil nu. Il est plutôt concentré dans les amas de pyrite disséminée (Figure 3.5, échantillon de gauche) à massive (Figure 3.5, échantillon à droite) constituant le principal minerai exploité à la mine.



Figure 3.5 : Échantillons d'or de type orogénique provenant de la mine Beaufor, localisée à Val-d'Or en Abitibi (don de V. Bécu).

Les gisements de style veines de quartz et carbonate ont produit la majeure partie de l'or présent en Abitibi (Ontario et Québec) et représentent des exemples types de systèmes aurifères d'âge Archéen. Les gisements sont regroupés et définissent des districts miniers répartis le long des zones de grandes failles telles les failles Larder Lake-Cadillac et Destor-Porcupine, qui sont les principales caractéristiques géologiques qui contrôlent la distribution et la concentration des zones aurifères en Abitibi. L'orientation est-ouest de ces zones de failles peut d'ailleurs être observée par la distribution des mines et projets miniers aurifères sur l'affiche GT_2012-03 « Les métaux et les minéraux dans notre vie » du Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec. Ces zones de failles ont servi de conduits pour la circulation et l'ascension de fluides hydrothermaux provenant de niveaux profonds de la croûte terrestre (10-20 km de profondeur), riches en H₂O et CO₂ et contenant l'or. Ces fluides ont migré vers la surface et ont cristallisé au fur et à mesure que survenaient des variations aux conditions de pression et de température dans la croûte terrestre en réponse à des tremblements de terre.

« L'or des fous » est une expression qui a été utilisée pour désigner la pyrite (FeS₂) pendant les grands épisodes de ruées vers l'or (p. ex. celle de Californie de 1848 à 1856 et celle du Klondike entre 1897 et 1899). À l'époque, beaucoup de chercheurs d'or se dirigeaient vers l'ouest dans l'espoir de trouver le précieux métal et devenir riches. Malheureusement, beaucoup se sont trompés à cause de la ressemblance de l'or avec la pyrite de fer, tout comme Jacques Cartier lors de son troisième voyage au Canada en 1541. Son erreur aurait été moindre s'il avait rapporté de la pyrite venant de l'Abitibi plutôt que celle trouvée sur les berges du fleuve Saint-Laurent, car celle de l'Abitibi est plus susceptible de contenir de l'or! (Voir Section 5c-Techniques analytiques)

Sources :

Dubé, B. et Mercier-Langevin, P., 2019. L'or dans la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, Québec et Ontario, Canada : un aperçu géologique et historique; Ressources Mines et Industrie, 6(2), 10–29.
<https://fr.wiktionary.org/>

Minerai d'or orogénique



Figure 3.6 : Exemples de minerais d'or orogénique provenant de la mine Red Lake dans le nord de l'Ontario (don de B. Dubé).

La mine Red Lake, localisée dans le nord-ouest ontarien, est un autre exemple de gisement d'or de type orogénique où la minéralisation aurifère est concentrée à l'intérieur et aux abords de veines et de brèches de quartz et carbonate. Cette mine, en opération plus ou moins continue depuis 1948, est l'une des plus riches (c.-à-d. dont la concentration en or y est la plus élevée) au monde et compte pour l'essentiel de la production aurifère du domaine d'Uchi de la Province archéenne du Supérieur. Les échantillons présentés à la Figure 3.6 (A : échantillon 01-50C1 et B : échantillon 00-03L) montrent tous deux des veines et veinules de quartz et carbonate contenant de l'arsénopyrite, de la pyrite, de la pyrrhotite (et localement de la chalcopryrite) et de l'or visible! Ils proviennent de la « High Grade zone » un secteur particulièrement riche du gisement dont la teneur moyenne en or pouvait atteindre 50 g/t Au, soit plus de 10 fois la teneur moyenne des mines d'or exploitées de nos jours. Cette teneur exceptionnelle est interprétée comme étant le résultat d'une concentration locale d'un fluide minéralisateur, à haute teneur en silice et en or, dans des charnières de plis à plus faible pression où la présence de roches magmatiques ultramafiques (très riches en magnésium) carbonatisées auraient agi comme barrière moins perméable, contrôlant la migration et le temps de résidence du fluide le long ou près du contact avec la séquence de roches volcaniques (basaltes) plissés. Des processus ultérieurs ont remobilisé l'or à teneur extrêmement élevée dans des structures tardives pour former des concentrations d'or spectaculaires.

Source:

Dubé, B., Williamson, K., and Malo, M., 2001. Preliminary report on the geology and controlling parameters of the Goldcorp Inc. High Grade zone, Red Lake mine, Ontario: an update; Geological Survey of Canada, Current Research 2001-C18, 31 p.

Minerai d'or de style stockwerk



Figure 3.7 : Exemples de minerais d'or de style stockwerk provenant de la mine Éléonore dans le secteur d'Eeyou Istchee à Baie-James (don de A. Fontaine).

Inaugurée en 2015, la mine d'or Éléonore est l'une des toutes dernières mines à avoir vu le jour au Québec et est, avec la mine de diamants Renard (inaugurée en 2016), l'une des premières mines d'envergures localisée sur le territoire Eeyou Istchee à la Baie-James. Le gisement d'or est de style disséminations et stockwerk où l'or est généralement encaissé dans des veines et veinules de quartz et de dravite (tourmaline magnésienne) et des zones de remplacement à microcline, dravite et phlogopite comme montré sur les échantillons de la Figure 3.7 (échantillons EDH-14-056 et EDH-13-093). Bien que d'autres styles de minéralisation soient reconnus dans la mine (p. ex. veines laminées de quartz, diopside, actinote et uvite, brèches hydrothermales et pegmatites granitiques), tous sont associés à des minéraux de pyrrhotite, arsénopyrite, löllingite et plus rarement de pyrite qui sont finement disséminés dans la roche. Les minéralisations aurifères de la mine sont principalement encaissées dans des roches sédimentaires (wacke, conglomérat, arénite et formations de fer) et sont situées dans une zone de fort gradient métamorphique. Ces roches sédimentaires sont métamorphisées au faciès supérieur des amphibolites et sont recoupées par plusieurs types d'intrusions de nature et de composition variées.

L'or visible est très rare à la mine Éléonore. La composition chimique du minerai (arsénopyrite, löllingite et pyrrhotite) et de l'altération hydrothermale (modifications subies par les roches affectées par les fluides minéralisateurs), et la présence de minéraux de la famille des arséniures et des antimonides indiquent que les minéralisations aurifères ont subi une évolution complexe. En effet, le minerai s'est formé, a été déformé puis métamorphisé, durant un épisode tectono-métamorphique de longue durée.

Les échantillons de la Figure 3.7 proviennent de carottes de forages, qui sont des échantillons cylindriques de diamètres variables (plus gros diamètre pour des forages plus profonds) retirés du sol à l'aide d'une foreuse munie d'une tête sertie de micro-diamants. Ce type d'échantillon, assez coûteux à récupérer, est essentiel à la compréhension et à la définition d'un gisement.

Source :

Fontaine, A., 2019. *Géologie des minéralisations aurifères de la mine Éléonore, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur, Québec, Canada; Thèse Ph.D., Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement, Québec, Québec, 526 p.*

Minerai d'or de type sulfures massifs volcanogènes aurifères

La mine LaRonde Penna est au cœur d'un prolifique camp minier, le camp Doyon-Bousquet-LaRonde, qui est situé à Preissac, à mi-chemin entre les villes de Val-d'Or et de Rouyn-Noranda dans la région de l'Abitibi. Bien que la mine LaRonde Penna n'ait été inaugurée qu'en 2000, les premières opérations minières du camp remontent à 1939 avec la mise en production de la mine Mooshla A, une mine d'or exploitant des veines



Figure 3.8 : Échantillons d'or de type sulfures massifs volcanogènes aurifères provenant de la mine LaRonde Penna localisée à Preissac en Abitibi (don de P. Mercier-Langevin).

aurifères riches en sulfures, associées à des roches intrusives. Le gisement LaRonde Penna est quant à lui un gisement de type sulfures massifs volcanogènes aurifères dont il constitue l'un des meilleurs exemples au monde. Bien qu'étant principalement miné pour son contenu en or, des sous-produits tels le cuivre, le zinc et l'argent y sont également extraits. Ceux-ci représentent une part significative de la production de la mine. Le plomb, sous forme de galène (PbS), a été récupéré de 2008 à 2013.

Le gisement est encaissé par des roches volcaniques archéennes âgées de 2,7 milliards d'années. Les lentilles minéralisées du gisement LaRonde Penna ont essentiellement été formées par la précipitation de sulfures provenant des fluides hydrothermaux métallifères ayant remonté à travers la croûte jusque sur le fond marin où les métaux ont précipité, formant un monticule de sulfures. Une partie du minerai a aussi été formée par remplacement de la roche tout juste sous le fond de la mer. À la mine LaRonde Penna, différentes lentilles sont présentes à différentes positions dans les strates volcaniques résultant d'événements volcaniques successifs, intercalés avec des périodes d'accalmie pendant lesquels les sulfures ont pu s'accumuler. Bien que le gisement soit polymétallique (or, cuivre, zinc et argent), l'or est plutôt associé au cuivre (chalcopryrite, échantillon de droite sur la Figure 3.8, LAPL-2019-008) localisé à la base des lentilles et l'argent est préférentiellement associé au zinc (sphalérite) dans la partie supérieure des lentilles (échantillon LAPL-2019-001, se trouvant à gauche sur la Figure 3.8).

La mine LaRonde Penna est actuellement la mine souterraine la plus profonde d'Amérique du Nord avec un puits principal qui atteint 2,25 km de profondeur (puits Penna), un puits interne atteignant 2,85 km et une rampe d'accès qui permet d'atteindre le minerai situé à 3,1 km sous la surface (voir les suggestions de vidéos portant sur la mine LaRonde Penna dans la *Section 3e-Vidéos mines*).

Sources :

P., Mercier-Langevin, B. Dubé et D. Fortin, 2021. *La camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde, Aperçu historique et géologique d'un camp exceptionnel*; *Ressources Mines et Industrie*, 7(1), 46–63.

<https://www.agnicoeagle.com/French/exploitations/exploitations/laronde/default.aspx>

Minerai de nickel



Figure 3.9 : Échantillons de minerais de nickel de type magmatique provenant de la mine Raglan située dans la ceinture de Cap Smith au Nunavik (don de M. Houlé).

de covellite (CuS). Les éléments du groupe du platine (ÉGP ou métaux du groupe du platine) se trouvent plutôt sous forme de phases mineures de minéraux du groupe du platine (MGP) ou, comme le cobalt, incorporés à même la structure minérale des minéraux sulfurés susmentionnés. Les zones de sulfures massifs, à la base des coulées (échantillon à gauche sur la Figure 3.9, 14HUB067A01), passent verticalement à des zones de disséminations à texture réticulée « net-texture » dans les péridotites (échantillon à droite sur la Figure 3.9, 14HUB067A02). Ces coulées forment un complexe ultramafique, essentiellement composé de péridotite (roche riche en olivine) et de pyroxénite (roche riche en pyroxènes), localement marqué par des niveaux de gabbros surmontant des roches sédimentaires.

Comme les installations de Raglan sont isolées de toutes ressources externes, le site possède toutes les infrastructures reliées aux activités d'une petite municipalité, incluant un complexe d'hébergement, une usine de traitement des eaux, une centrale énergétique et un aéroport. Un réseau de routes praticables toute l'année relie le complexe minier aux entrepôts et installations portuaires situés à Baie Déception. Les travailleurs y sont transportés en avion depuis le sud de la province, mais également à partir des villages Inuits avoisinants pour un horaire de travail par quarts de type *fly-in-fly-out* (voir la suggestion de vidéo portant sur la mine Raglan dans la *Section 3e-Vidéos mines*).

Située dans la ceinture de Cap Smith, dans le Nord-du-Québec, sur le territoire du Nunavik, la mine Raglan, inaugurée en 1997, constitue encore aujourd'hui la mine la plus septentrionale de la province. Il s'agit d'un regroupement de quatre mines souterraines, Kikialik (qui signifie « là où il y a du nickel » en inuktitut), Qakimajurq (qui signifie « riche »), Katinniq et Mine 2, qui exploitent des dépôts de sulfures massifs disséminés riches en nickel, mais contenant également du cuivre, des éléments du groupe du platine et du cobalt. Les gisements du complexe Raglan figurent parmi les mines de métaux usuels les plus riches au monde.

À la mine Katinniq, la minéralisation consiste en des lentilles de sulfures massifs à la base de coulées de komatiite (laves riches en magnésium, c.-à-d. qui contiennent de 20% à 30% MgO). Ces lentilles sont principalement constituées de pyrrhotite ($Fe_{1-x}S$), chalcopyrite ($CuFeS_2$) et pentlandite [$(Fe,Ni)_9S_8$] localement accompagnée

Sources :

<https://www.glencore.ca/fr/raglan/>

SIGÉOM, 2021. Système d'information géominère du Québec, Nom du corps: Mine Raglan (Katinniq); Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec. [<http://sigeom.mines.gouv.qc.ca>]

LES MÉTAUX ET LES MINÉRAUX DANS NOTRE VIE

VERSION 2012

GT 2012-03



MINES ACTIVES (24)

- Or
- Beaufor (Richmont)
- Casa Berardi (Aurizon)
- Francoeur (Richmont)
- Kama (Aurizon)
- Lac Herbin (Aurizon)
- Lac La Plante (Aurizon)
- Or, argent, cuivre, zinc
- Muska (Aurizon)
- LaRonde (Aurizon)
- Zinc, cuivre, or, argent
- Langlois (Aurizon)
- Persévérance (Aurizon)
- Fer, fer et titane
- Fire Lake (Aurizon)
- Lac Bloom (Cliffs Natural Resources)
- Lac Tio (Rio Tinto)
- Fire Lake (Aurizon)

Minéraux non métalliques

- ◆ Feldspath
- ◆ Othmer (Dentiply)
- ◆ Graphite
- ◆ Lac des Îles (Timcal)
- ◆ Mica
- ◆ Lac Letondal (Produits Mica Suzorite)
- ◆ Sel
- ◆ Mine Séléine (Société canadienne de Sel)
- ◆ Silice
- ◆ Petit-Lac-Malbaie (Silicom Québec)
- ◆ Silice
- ◆ Saint-Réméd d'Amherst (S. M. Gardin)
- ◆ Saint-Réméd d'Amherst (S. M. Gardin)

PROJETS MINIERS (40)

- ★ Or
- ★ Belletera (Comvay)
- ★ Éléonore (Goldcorp)
- ★ Goldex (Aurizon)
- ★ Joazeiro (Aurizon)
- ★ Lac Bachelier (Métanor)
- ★ Lac Pezzer (Aurizon)
- ★ Monique (Richmont)
- ★ Roméo (Richmont)
- ★ Vézina (N. A. Palladium)
- ★ Westwood (Aurizon)
- ★ Westwood (Aurizon)
- ★ Westwood (Aurizon)
- ★ Zinc, cuivre, or, argent
- ★ Braxmas-McLeod (Xstrata)
- ★ PDI (Kirkland)
- ★ Fer, fer et titane, vanadium
- ★ DSO (New Millennium)
- ★ Fire Lake North (Champion Minerals)
- ★ Hopes Advance Bay (Oceanic Iron Ore)
- ★ Iron Hills (Aurizon)
- ★ K&M (Aurizon)
- ★ Nickel, cuivre
- ★ Dumont Nickel (Royal Nickel)
- ★ Nunavik Nickel (Canadian Royalties)
- ★ Niobium, tantalite
- ★ Crevier (MDC)
- ★ Niobium (Nicoan)
- ★ Lithium
- ★ Aulhière (Cliffs Natural Resources)
- ★ Eastmain-Rose (Critical Elements)
- ★ James Bay Lithium (Lithium One)
- ★ Québec Lithium (Canada Lithium)
- ★ Whabouchi (Nemaska Lithium)
- ★ Whabouchi (Nemaska Lithium)
- ★ Diamant
- ★ Rimouli (Stonoway)
- ★ Alumine
- ★ Grande-Valée (Orbita VSPA)
- ★ Graphite
- ★ Lac Knife (Focus Graphite)

Mise à jour du GT 2010-04 - Julie Gagné et Denis Raymond Graphisme - André Tremblay Edition - Joanne Nadeau



Section 3 : Minerai et Mines

3c – Documents et vidéos complémentaires

Documents complémentaires « Minerai et mines »		
Environnement et Changement climatique Canada	Code de pratiques écologiques pour les mines de métaux (2009)	Monographie électronique en formats PDF et HTML. ISBN : 978-1-100-90892-2 https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-environnemental-loi-canadienne-protection/publications/code-pratiques-ecologiques-mines-metaux.html
Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec	Géologie pour tous : Le processus de développement minéral (2021)	Une grande partie des objets que nous utilisons dans notre quotidien contiennent des substances minérales ou des minéraux transformés qui, sans l'exploration minière, n'existeraient pas. Pensons aux téléphones intelligents, aux ordinateurs, aux batteries au lithium, aux voitures électriques, aux avions, aux implants dentaires et médicaux ou même au simple crayon mine. Au Québec, pour explorer et exploiter les ressources minérales de façon durable, il faut franchir 6 grandes étapes qui constituent le processus de développement minéral. https://gq.mines.gouv.qc.ca/geologie-pour-tous/processus-developpement-mineral/
Vidéos mines:		
Minalliance	L'exploitation minière à ciel ouvert	Explication détaillée de l'exploitation d'une mine à ciel ouvert, durée 4 :33 minutes (2010), en français : https://www.youtube.com/watch?v=GxLTltXWtA&t=93s Bonne suggestion pour présentation à des groupes du 5-6e année et plus. Aperçu bien détaillée des installations et étapes de l'exploitation minière en fosse, survol des différents corps de métier. Peut-être suivi de la vidéo présentant une visite guidée de la mine Laronde, mine souterraine.
Mines QC	Nous sommes descendus à 3 km de profondeur dans le sous-sol québécois	Visite guidée et présentation des travailleurs à la mine LaRonde Penna, en Abitibi, durée 5 :14 minutes (2018), en français : https://youtu.be/RR22jBcssiE Très bonne suggestion pour présentation à des groupes de 5-6e année et plus. Aperçu des installations, présentation du minerai exploité, du travail sous-terre et des divers corps de métiers œuvrant dans la mine.

Mallette « Mines et minéraux » - Section 3

AgnicoEagleVideos	The Mining Process - Le processus d'exploitation minière - 2015	Animation portant sur l'exploitation d'une mine sous-terrainne de grande profondeur (~ 3 km), durée 3 :00 minutes (2015), texte français-anglais : https://youtu.be/UCmQKkoVghU
Mines QC	À la rencontre des gens qui travaillent à l'extrémité nord du Québec	Visite et rencontre du personnel de la mine de nickel Raglan, localisée dans le Grand-Nord québécois, durée 6 :28 minutes (2018), en français : https://www.youtube.com/watch?v=r4P9Cyg08Tg Présentation surtout des gens, des rigueurs du climat et de l'horaire de travail selon un horaire fly-in fly-out.
Les vidéos ci-dessous ont été présentées dans le cadre de la <i>Journée Découverte</i> de Québec Mines et Énergie en 2018 et à la <i>Tempêtes des Science</i> du Cégep Garneau en 2022. Il s'agit de vidéos sans texte montrant les infrastructures actuelles dans des mines sous-terrainnes exploitées au Québec. Bonnes suggestions de support visuel lors d'expositions :		
AgnicoEagleVideos	Mine LaRonde Penna, Abitibi	Vidéo montrant les installations et les travailleurs à la mine LaRonde Penna, durée 2:55 minutes (2015): https://www.youtube.com/watch?v=5DMf-ly_rM4
AgnicoEagleVideos	LaRonde 3D Animation 2013	Camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde, Animation 3D montrant les infrastructures sous-terrainnes, durée 2:07 minutes (2013): https://www.youtube.com/watch?v=91OSfZj8xos
Newmont Goldcorp	Éléonore, Eeyou Istchee Baie-James - visite virtuelle souterraine	Éléonore – visite virtuelle souterraine, durée 6:10 minutes (2015): https://youtu.be/F_ssMQQpdtw

Section 4 : Activités portant sur les propriétés physiques des minéraux

Un minéral est une substance inorganique qui se présente sous forme de cristal ou de solide cristallin et qui se distingue par sa composition chimique ainsi que par sa structure cristalline (p. ex. le graphite et le diamant sont tous deux des polymorphes du carbone; voir *Section 2 – Minéraux et objets vie quotidienne*). Il existe plus de 4000 variétés de minéraux connus dont la grande majorité est essentiellement composée des huit éléments suivants : oxygène (O), silicium (Si), aluminium (Al), fer (Fe), calcium (Ca), sodium (Na), potassium (K) et magnésium (Mg). Considérant que l'O et le Si comptent à eux seuls pour près des trois quarts (74,5%) de l'ensemble des éléments terrestres, il n'est pas surprenant que l'espèce minérale fondamentalement composée de ces éléments, les silicates, constitue 95% du volume de la croûte terrestre. Ne pouvant que difficilement discriminer les éléments chimiques à l'œil nu, mis à part pour certains métaux et éléments trouvés à l'état natif, les propriétés physiques servent alors d'outils diagnostiques permettant l'identification des minéraux. Plusieurs de ces propriétés peuvent être aisément observées, avec ou sans l'aide d'instruments.

Les principales caractéristiques pour l'identification des minéraux sont: la couleur (critère non absolu, car il en existe une grande variété au sein d'une même espèce minérale, p. ex. le quartz enfumé gris versus le quartz de type améthyste variant de rose à violet), l'éclat (métallique et non métallique comprenant : vitreux, gras, adamantin, résineux, soyeux), le trait (couleur de la poudre des minéraux), la dureté (résistance à la rayure mesurée par l'échelle de Mohs – Figure 4.1), la densité (poids par unité de volume), la forme cristalline (système cristallin), le clivage (plans de faiblesse dans la structure cristalline selon lequel un minéral se cassera de manière préférentielle (p. ex. les micas se débitent en feuilles grâce à leur clivage selon un plan unique), l'effervescence (réaction à l'acide), le magnétisme et les propriétés optiques (principalement observées en lames-minces à l'aide d'un microscope polarisant mais également en échantillon – voir *activité portant sur les propriétés optiques de l'ulexite et de la calcite biréfringente*).

Sources :

<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s2/ident.mineraux.html>

Togola, N. Les minéraux et les roches; MRNF: <https://mern.gouv.qc.ca/mines/trousse-educative/conferences/>

Mohs Hardness Scale		
Mineral Name	Scale Number	Common Object
Diamond	10	
Corundum	9	← Crayon à pointe en carbure de tungstène (8.5)
Topaz	8	← Masonry Drill Bit (8.5)
Quartz	7	← Steel Nail (6.5)
Orthoclase	6	← Knife/Glass Plate (5.5)
Apatite	5	←
Fluorite	4	← Copper Penny (3.5)
Calcite	3	←
Gypsum	2	← Fingernail (2.5)
Talc	1	

Figure 4.1 : L'échelle de Mohs a été établie en 1812 par le minéralogiste allemand Friedrich Mohs afin de mesurer la dureté des minéraux. Elle est basée sur dix minéraux facilement disponibles. Comme c'est une échelle ordinaire, on doit procéder par comparaison avec deux autres minéraux dont on connaît déjà la dureté (capacité de l'un à rayer l'autre).

(Sources : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89chelle_de_Mohs)

Clé d'identification des minéraux (© Musée canadien de la nature)

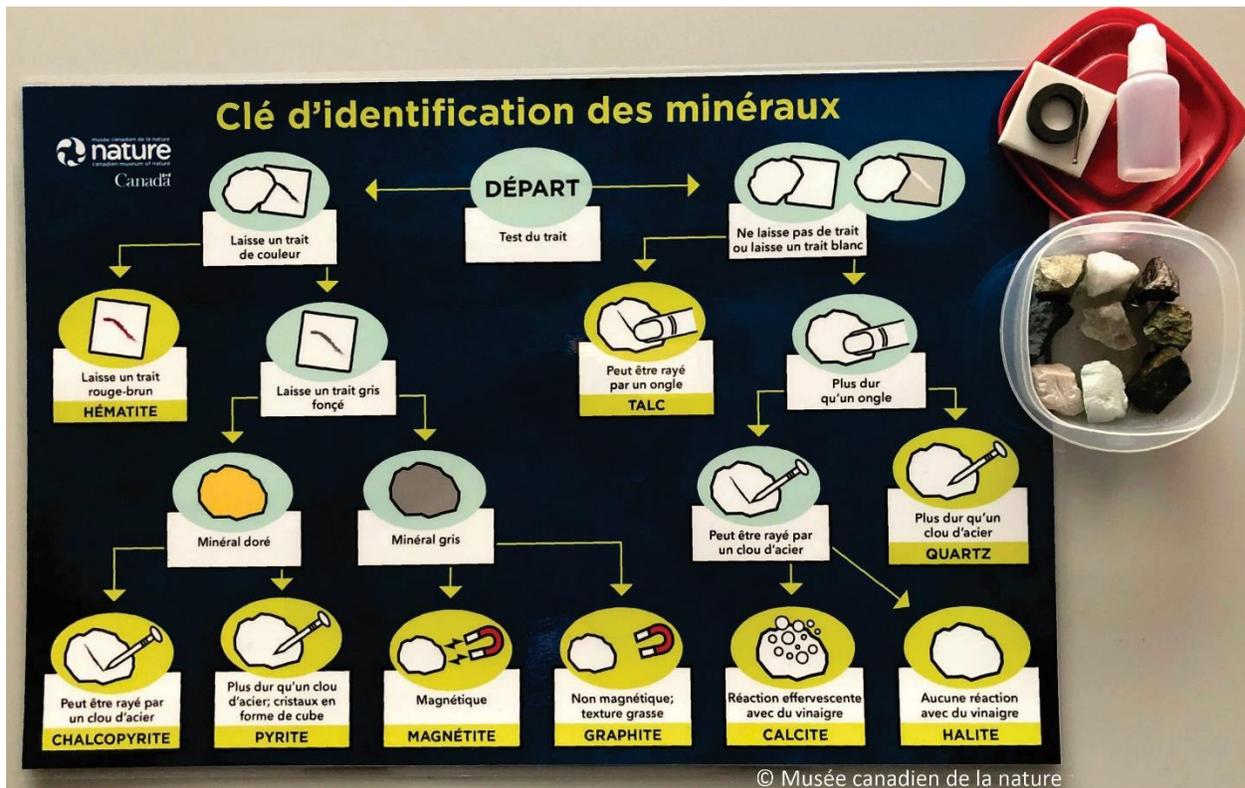


Figure 4.2 : Clé d'identification des minéraux développée par le Musée canadien de la nature (© Musée canadien de la nature) et ensemble d'outils et de minéraux pour faire une activité semi-dirigée sur les propriétés physiques des minéraux.

Activité semi-dirigée où les participants doivent identifier une série de neuf minéraux en se basant sur des tests diagnostiques portant sur certaines propriétés physiques des minéraux tels : le trait, la dureté, la couleur, le magnétisme et l'effervescence. Pour ce faire, ils disposent d'un napperon d'identification (clé d'identification – Figure 4.2), de neuf spécimens minéraux et d'outils pour réaliser les tests (plaque de porcelaine, clou, aimant et d'une bouteille de vinaigre) (Figure 4.2). Cette activité vise principalement les enfants de la 3^e à la 6^e année du primaire et du premier cycle du secondaire (secondaire 1 et 2), d'où pourquoi l'utilisation de vinaigre (à 10-12% d'acide acétique de préférence) est privilégiée à celle de l'acide chlorhydrique (HCl), même si dilué. Considérant qu'il y a du matériel pour six stations, pouvant accueillir de deux à trois participants chacune, il serait difficile de veiller à une manipulation sécuritaire du HCl. Pour faciliter l'observation de la réaction d'effervescence, il est suggéré de verser le vinaigre directement sur la rayure préalablement effectuée avec le clou, ou encore de faire un petit amas de poudre de minéral. Il va sans dire, la réaction est moins importante que celle observée avec du HCl. Suggestion, veillez à avoir du papier absorbant sous la main. Bien que les bouteilles soient relativement étanches et ont un débit restreint, nul n'est à l'abri d'un dégât.

En guise d'activité complémentaire, ayez sous la main des feuilles de papier blanc sur lesquelles les participants pourront faire des traits, voire même écrire leurs noms ou faire un dessin avec l'échantillon de graphite. Ceci offre généralement un bon contexte pour aborder les similitudes et différences existant entre le graphite et le diamant à titre de polymorphes du carbone (voir *Graphite* dans *Section 2 – Minéraux et objets vie quotidienne*).

Propriétés optiques

Les propriétés optiques constituent un élément diagnostique fondamental dans l'identification d'un minéral. Mais la détermination de ces propriétés relève plutôt du spécialiste. En géologie, les moyens techniques permettent d'amincir des tranches de roches ou de minéraux collées sur des lamelles de verre si minces (30 micromètres) qu'elles deviennent tout à fait transparentes. On peut alors étudier les minéraux au microscope, comme font les biologistes avec des tissus ou des micro-organismes. Chaque groupe de minéraux possède ses propriétés optiques, c'est-à-dire qu'ils transmettent différemment la lumière et qu'ils produisent des couleurs caractéristiques lorsqu'ils sont observés en lumière naturelle et polarisée, ce qui permet de les identifier.

Toutefois, certains minéraux forment, sous certaines conditions de cristallisation bien précises, des spécimens translucides permettant une propagation lumineuse étonnante. C'est le cas de l'ulexite et de la calcite biréfringente.

Ulexite



Figure 4.3 : Spécimen d'ulexite permettant la propagation de la lumière. (Source : https://www.reddit.com/r/chemistry/comments/b9fatl/this_is_ulexite_also_known_as_tv_stone_because_of/)

L'ulexite (Figure 4.3) est un soroborate double hydraté de calcium et de sodium, de formule $\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, qui appartient à la même classe que les carbonates. Ce corps minéral rare et fragile, léger et souvent spongieux, forme aussi une roche évaporite très tendre (dureté de 1,5 à 2,5 sur l'échelle de Mohs) qui contient parfois de petites quantités de fer, de magnésium et de manganèse. C'est un minéral incolore, blanc, gris, ou jaunâtre, parfois blanchâtre avec de rares nuances verdâtres. D'éclat vitreux ou soyeux, il possède en général une assez bonne transparence. L'ulexite, particulièrement lorsqu'elle forme des veines par remplissage de petites fractures, présente des fibres disposées côte à côte de façon très régulière. Cette structure permet une propagation lumineuse

surprenante. En effet, lorsque l'on regarde parallèlement aux fibres, les images apparaissent grandies et flottantes, comme si elles étaient projetées sur un écran de télévision. D'où le nom de « pierre télévision / TV rock ». Les amas fibreux de ce minéral, aux propriétés de fibres optiques dont il en aurait influencé l'invention, sont particulièrement convoités par les collectionneurs.

Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ulexite>

Calcite biréfringente

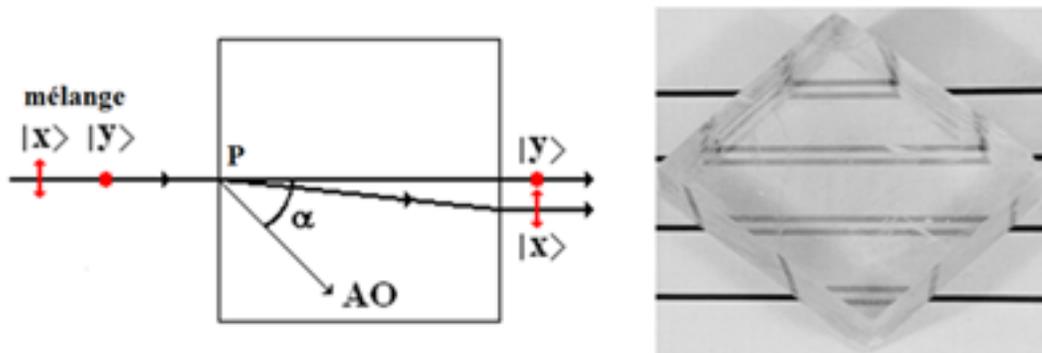


Figure 4.4 : Spécimen de calcite biréfringente.

(Source : <https://www.physinfo.org/chroniques/polarisation.html>)

La calcite (CaCO_3) est un minéral très abondant dans les environnements magmatiques, sédimentaires et métamorphiques. La calcite est le principal minéral constitutif du calcaire et du marbre. Le CaCO_3 peut cristalliser soit en calcite (rhomboédrique) ou soit en aragonite (orthorhombique), la calcite étant la forme la plus fréquente. Transparente à translucide et de dureté 3 sur l'échelle de Mohs, le minéral est de couleur variable : d'incolore à blanc, jaune, brun ou rouge. La variété de calcite transparente de qualité optique, dit spath d'Islande, est biréfringente, c'est-à-dire que la lumière s'y propage de manière anisotrope. Ceci lui confère la propriété de double réfraction où un rayon lumineux pénétrant dans le minéral est divisé en deux (Figure 4.4). C'est pourquoi les lignes apparaissent en double sur l'image ci-dessus.

Sources :

<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s2/ident.mineraux.html>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Bir%C3%A9fringence>

<https://www.physinfo.org/chroniques/polarisation.html>

Section 5 : Matériel et ressources complémentaires

5a - Minéraux critiques

Affiches thématiques:		
Ressources naturelles Canada (RNCAN)	Liste des minéraux critiques du Canada 2021	Minéraux critiques (rncan.gc.ca)
Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec (MRNF)	Les terres rares et leurs usages (GT 2012-01)	https://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/l1102_examine?l=F
Ressources gouvernementales :		
RNCAN	Minéraux critiques	Minéraux critiques (rncan.gc.ca)
Gouvernement du Québec	Minéraux d'avenir	Minéraux d'avenir Gouvernement du Québec (quebec.ca)
MRNF	Fascinantes terres rares	https://mern.gouv.qc.ca/mines/trousse-educative/conferences/
Wavrant et al.	Projet terres rares au Québec (MB 2017-17)	https://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/l1102_examine?l=F
Bureau de Recherches Géologiques et Minières	Ressources minérales : les terres rares	https://www.brgm.fr/fr/actualite/dossier-thematique/ressources-minerales-terres-rares#:~:text=Le%20groupe%20des%20terres%20rares,dentr%C3%A9e%20%C3%A9conomique%20et%20m%C3%Aame%20g%C3%A9opolitique.
Sources diverses :		
Radio-Canada	Voitures électriques : le Canada devra développer le secteur minier	Texte du 16 décembre 2021 de La Presse canadienne expliquant qu'il faudra plus de minéraux et de métaux entrant dans la fabrication de batteries pour véhicules électriques. https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1847977/vehicules-electriques-multiplication-production-metaux-mineraux-pour-batteries
Centre international de référence sur le cycle de vie des produits procédés et services (CIRAIG).	Analyses du cycle de vie comparative des impacts environnementaux potentiels du véhicule électrique et du véhicule conventionnel dans un contexte d'utilisation québécois	Rapport technique préparé pour Hydro-Québec, avril 2016 : https://www.hydroquebec.com/developpement-durable/documentation-specialisee/analyse-cycle-de-vie.html
Parlons Sciences	Les STIM en contexte : Comment fonctionne une batterie lithium-ion?	https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/les-stim-en-contexte/comment-fonctionne-une-batterie-lithium-ion

Vidéos et balados batterie au lithium et terres rares:		
RNCan (balado)	La science simplifiée : Quel type de batterie trouve-t-on dans les véhicules électriques	Vous êtes-vous déjà demandé ce qui se cache sous le capot d'un véhicule électrique? Quel type de batterie on y trouve? À quel point ces batteries diffèrent de celles que l'on trouve dans les véhicules à essence? L'ingénieure Kathleen Lombardi répond à nos questions concernant les batteries de véhicules électriques. https://www.rncan.gc.ca/la-science-simplifiee/balados/quel-type-de-batterie-trouve-t-on-dans-les-vehicules-electriques-elements-naturels/22213
RNCan (vidéo)	La science simplifiée : Séparation des métaux du groupe des terres rares	Petite vidéo portant sur la technique de séparation des métaux terres rares. Belle introduction à la métallurgie et retour sur les propriétés physiques des minéraux (utilisation du magnétisme comme procédé de séparation). Groupes du secondaire et plus. Durée 2:08 minutes, traduction et sous-titres en français. https://www.youtube.com/watch?v=DWDmjwX-CkA
Pitron, G. (vidéo)	TEDxLile : Métaux rares : la face cachée de la transition énergétique	Bonne suggestion pour présentation à des groupes du secondaire et plus. Offre une occasion de réflexion sur le concept des énergies dites « propres » et invite l'auditeur à questionner son mode de consommation. Durée 17:08 minutes, en français avec sous-titres anglais. https://www.youtube.com/watch?v=LWUJDLBYb-Q
Lespagnol, Q. et Marchal, A. (vidéo)	Ressources 21 : La séparation et le traitement des minerais	Vidéo portant sur les diverses techniques de séparation et de traitement du minerai avec application des minéraux recueillis dans les objets de la vie quotidienne. Belle introduction à la métallurgie et retour sur les propriétés physiques des minéraux (p.ex. utilisation du magnétisme comme procédé de séparation). Aperçus des enjeux en approvisionnement des métaux terres rares et ouverture vers le recyclage de nos biens de consommation. Groupes du secondaire et plus. Offre un beau complément à la conférence TED « Métaux rares : la face cachée de la transition énergétique/ G. Pitron » Durée 6:40 minutes, en français. https://www.youtube.com/watch?v=PM39u5B2T9M
Radio-Canada (vidéo)	La voiture électrique, pas si écologique	Reportage de Jean-Sébastien Cloutier diffusé au Télé-Journal 18h30 Montréal de Radio-Canada, accompagné

		<p>d'un texte signé Thomas Gerbet. Offre une occasion de réflexion sur le véritable aspect écologique de la voiture électrique et invite l'auditeur à se questionner sur le concept de mobilité et son mode de déplacement.</p> <p>Durée 4 :16 minutes, en français</p> <p>https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1137184/voiture-electrique-pollution-empreinte-environnement-batterie-production-fabrication</p>
--	--	--

5b- Défis et innovations industrie

Sources diverses :		
Mercier-Langevin et al. (2022)	<p>Chapitre 2.5. Une industrie en évolution : défis et innovations techniques et scientifiques dans le monde des ressources minérales</p> <p><i>Dans</i> Chapitre 2. La ceinture de roches vertes de l'Abitibi, Canada; dans Ressources métalliques 2: cadre géodynamique et exemples remarquables dans le monde, (ed.) S. Decrée; ISTE Editions Ltd., Great Britain, p. 61–134.</p>	<p>Contribution à un chapitre portant sur la ceinture de roches vertes archéennes de l'Abitibi, qui a été publié par ISTE Editions Ltd. Cet ouvrage Ressources métalliques 2 propose une sélection d'études de provinces métallogéniques ou de gisements remarquables en Amérique, en Afrique ou présents au niveau mondial qui permettent d'aborder la question de la concentration de métaux, notamment stratégiques, dans des contextes géodynamiques divers. La compréhension des processus géologiques qui induisent la formation des gisements et influencent leur concentration dans la croûte terrestre est de première importance pour la découverte de nouvelles ressources minérales.</p> <p>L'audience visée étant les étudiants du baccalauréat nous avons jugé opportun d'y inclure une section portant sur l'évolution de l'industrie minière en mettant l'emphase sur les bonnes pratiques des dernières années. Ceci offre un complément d'information intéressant à l'exposition des échantillons de minerais. Pour étudiants du secondaire et plus.</p>
Mines Agnico Eagle Limitée (2018)	Mine LaRonde : un pas de plus vers le 4.0.	<p>Réseau cellulaire LTE (4G) déployé sous terre, exemple du complexe minier LaRonde (Québec).</p> <p>https://abitibi.agnicoeagle.com</p>
Ross, I. (2016)	Goldcorp going electric with Chapleau gold mine. Northern Ontario Business	<p>Utilisation de véhicules électriques en exploitation minière, exemple de la mine Borden (Ontario). Article en anglais.</p> <p>https://www.northernontariobusiness.com</p>
Dumas, P. (2019)	Restauration de l'ancien site minier Manitou: la force du	Ressources Mines et Industrie, 5(6), 30–35.

	partenariat entre l'État et l'entreprise privée	
Hairy, P. (2020)	Les métaux, vers une pénurie mondiale ?	Cet article fait le point sur la consommation en métaux et en réserves de minerai, sur les alternatives (mine urbaine, ...), sur les matériaux métalliques stratégiques et enfin sur les différents scénarios de consommation responsable. Les métaux, vers une pénurie mondiale ? - MetalBlog (ctif.com)
Vidéo:		
AgnicoEagleVideos	Projet de restauration minière Manitou-Goldex	Valorisation des résidus miniers dans la restauration d'un site minier abandonné, exemple du projet Manitou (Québec). Durée 5 :08 minutes (2018), en français: https://www.youtube.com/watch?v=m3VNWUsKc1I

5c- Techniques analytiques

Ressources gouvernementales :		
RNCan	Laboratoire de recherche en géochimie inorganique à l'état de traces	https://www.rncan.gc.ca/science-et-donnees/centres-de-recherche-et-laboratoires/la-commission-geologique-du-canada/geosciences-laboratoires-et-la-collection-de-materiel-geologique/23847
Sources diverses :		
Sylvester, P.J. and Jackson, S.E. – Guest Editors (2016)	Studying the Earth with LA-ICP-MS	Ce numéro de <i>Elements</i> met en lumière les nombreuses applications de la technique d'ablation laser (La-ICP-MS) dans un large éventail de disciplines des sciences de la terre, de l'environnement et de la biologie (en anglais). Elements, Vol. 12, No. 5, October 2016 www.elementsmagazine.org

Section 6 : Sources citées

Acier; Techno-Science.net. <<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Acier.html>> [consulté le 5 décembre, 2022]

Biréfringence; Wikipédia. <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Bir%C3%A9fringence>> [consulté le 14 novembre, 2022]

Biréfringence optique; Maths & Physique digitales
<<https://www.physinfo.org/chroniques/polarisation.html>> [consulté le 14 novembre, 2022]

Boule, M., 2019. Des médailles en or... recyclé; L'actualité, 11 septembre 2019. <[Des médailles en or... recyclé | L'actualité \(lactualite.com\)](#)> [consulté le 22 novembre, 2022]

Bourque, P.-A., 2010. 2.1.3 L'identification des minéraux ; Planète Terre, Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, Québec.
<<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s2/ident.mineraux.html>> [consulté le 14 novembre, 2022]

Chapman, B., 2019. Les STIM en contexte : Comment fonctionne un batterie lithium-ion?; Parlons Sciences. <<https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/les-stim-en-contexte/comment-fonctionne-une-batterie-lithium-ion>> [consulté le 9 novembre, 2022]

Code de pratiques écologiques pour les mines de métaux, 2009; Environnement et Changement climatique Canada, Monographie électronique, ISBN : 978-1-100-90892-2.
<<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-environnemental-loi-canadienne-protection/publications/code-pratiques-ecologiques-mines-metaux.html>> [consulté le 2 décembre, 2022]

Commission géologique du Canada (CGC); RNCAN. <<https://www.rncan.gc.ca/science-et-donnees/centres-de-recherche-et-laboratoires/la-commission-geologique-du-canada/17101>> [consulté le 9 novembre, 2022]

Complexe minier LaRonde; Agnico Eagle.
<<https://www.agnicoeagle.com/French/exploitations/exploitations/laronde/default.aspx>> [consulté le 7 décembre, 2022]

Côté, T., Fradette, N., et Lévesque, R., Module 3 : Les cailloux, des matériaux très modernes; Département de géologie et génie géologique, Université Laval, Québec, 12 p.

Couturier, G. et Law-West, D., 2011 (modifié 2015). Or; L'Encyclopédie Canadienne. <<https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/or-104>> [consulté le 5 décembre, 2022]

Dubé, B. et Mercier-Langevin, P., 2019. L'or dans la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, Québec et Ontario, Canada : un aperçu géologique et historique; Ressources Mines et Industrie, 6(2), 10–29.

Dubé, B., Williamson, K., et Malo, M., 2001. Preliminary report on the geology and controlling parameters of the Goldcorp Inc. High Grade zone, Red Lake mine, Ontario: an update; Commission géologique du Canada, Recherche en cours, 2001-C18, 31 p.

Faits sur les minéraux et les métaux; RNCAN. <<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/faits-mineraux-metaux/20603>> [consulté le 9 novembre, 2022]

Fondation géologique du Canada (FGC). <<http://www.canadiangeologicalfoundation.org/>> [consulté le 9 novembre, 2022]

Fontaine, A., 2019. Géologie des minéralisations aurifères de la mine Éléonore, Eeyou Istchee Baie-James, Province du Supérieur, Québec, Canada; Thèse Ph.D., Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement, Québec, Québec, 526 p.

Infrastructures essentielles du Canada; Sécurité publique Canada. <<https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/ntnl-scrtr/crtcl-nfrstrctr/ccl-iec-fr.aspx>> [consulté le 5 mars, 2022]

La science simplifiée, Balado : Quel type de batterie trouve-t-on dans les véhicules électriques (Éléments naturels); RNCAN. <<https://www.rncan.gc.ca/la-science-simplifiee/balados/quel-type-de-batterie-trouve-t-on-dans-les-vehicules-electriques-elements-naturels/22213>> [consulté le 9 novembre, 2022]

Le crayon à mine graphite; Canson. <<https://fr.canson.com/conseils-dexpert/le-crayon-mine-graphite>
<<https://nmg.com/operations/>> [consulté le 9 novembre, 2022]

Mayer, N., 2017. Acier inoxydable : qu'est-ce que c'est ?; Futura Sciences.com. <<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-acier-inoxydable-16677/>> [consulté le 5 décembre, 2022]

Mercier-Langevin, P., Dubé, B. et Fortin, D., 2021. La camp minier Doyon-Bousquet-Laronde, Aperçu historique et géologique d'un camp exceptionnel; Ressources Mines et Industrie, 7(1), 46–63.

Méthot, J., 2019. L'or, un contributeur clé de l'économie et à la vie quotidienne des québécois; Ressources Mines et Industrie, 6(2), 31–33.

Minéraux critiques, RNCAN. <<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/mineraux-critiques/23415>> [consulté le 9 novembre, 2022]

Mine Raglan; Glencore Canada. <<https://www.glencore.ca/fr/raglan>> [consulté le 9 novembre, 2022]

Mines Seleine, seule mine de sel au Québec; MinesQC.com. <<http://minesqc.com/fiches-dinformations/mines-seleine-seule-mine-de-sel-au-quebec/>> [consulté le 18 novembre, 2022]

Nouveau Monde Graphite. <<https://nouveaumonde.group/fr/operations/>> [consulté le 9 novembre, 2022]

Robert J. Howell, Laura Lagos, Camilo R. de los Hoyos, et Julien Declercq, 2020. Classification and Characteristics of Natural Lithium Resources; Elements, v.16 (4), p. 259–264.
doi: <https://doi.org/10.2138/gselements.16.4.259>

Sabina, A.P., 2006 (modifié 2015). Stéatite; L'Encyclopédie Canadienne.

<<https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/chrome>> [consulté le 9 novembre, 2022]

Salze, D., Arndt, N., Lopez, L., et Raimbault, L., Gisement de diamant dans les kimberlites; Classification des ressources minérale, RMDI. <https://www.pairform.fr/doc/17/138/500/web/co/grain2_1_2.html> [consulté le 9 novembre, 2022]

SIGÉOM, 2021. Système d'information géominière du Québec; Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec. <<http://sigeom.mines.gouv.qc.ca>> [consulté le 15 avril, 2021]

Substances minérales au Québec; Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec. <<https://gq.mines.gouv.qc.ca/portail-substances-minerales/>> [consulté le 9 novembre, 2022]

Thériault, R., 2013. Les provinces géologiques du Québec; MRNF, présentation PDF. <<https://mern.gouv.qc.ca/mines/trousse-educative/conferences/>> [consulté le 5 décembre, 2022]

Thomas, P., 2014. Cube, cubo-octaèdre, octaèdre, dodécaèdre... les différentes formes cristallines de la pyrite (FeS₂); Planet-Terre, École normale supérieure de Lyon. <<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/lmg475-2014-11-10.xml>> [consulté le 13 septembre, 2018]

Togola, N. Les minéraux et les roches; Ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec. <<https://mern.gouv.qc.ca/mines/trousse-educative/conferences/>> [consulté le 14 novembre, 2022]

Types de mines; Comité sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie des mines.

<<https://www.exploreslesmines.com/fr/secteur-minier/types-de-mines.html>> [consulté le 5 décembre, 2022]

Ulexite; Wikipédia. <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Ulexite>> [consulté le 14 novembre, 2022]