

1. ÉCONOMIE

Explorer pour le cobalt au Québec

Co

Le cobalt est un élément chimique utilisé depuis l'Antiquité en raison de ses composés d'une couleur bleue intense, utilisé par exemple dans la porcelaine chinoise. C'est le lutin des mineurs allemands. C'est l'un des trois seuls métaux magnétiques naturels, avec le fer et le nickel, et il est très stable à la chaleur.

Le cobalt est utilisé en métallurgie et en chimie. En métallurgie, il est un constituant des alliages et superalliages à forte résistance mécanique et thermique, utilisé notamment dans l'aérospatiale et les réacteurs nucléaires, les prothèses dentaires, et les aimants permanents. En chimie, au-delà des applications dans les colorants, la catalyse et la nourriture animale, c'est son utilisation dans les piles au lithium qui propulse la demande. Le marché mondial du cobalt a été relancé d'abord par le développement des batteries électriques pour les téléphones intelligents qui utilise de 5 à 25 g de Co sous forme d'oxyde de Li-Co par appareil. Il est dynamisé aujourd'hui par l'essor des véhicules électriques dont la batterie peut contenir jusqu'à 15 kg de cobalt par véhicule, sous forme d'un alliage Li-Ni-Co (Mn ou Al).

En 2016, la production mondiale de cobalt était de 109 500 t, dont 60% du cobalt provient de mines de cuivre, 38% de mines de nickel, et 2% de mines de cobalt au Maroc (Bou Azzer) et en Ouganda. Les teneurs d'exploitation varient de 0,5 à 2,5% Co, dépassant exceptionnellement 10% Co. Les taux de récupération sont souvent faibles. La RDC a produit plus de la moitié du cobalt (66 000 t), dont 20% d'origine artisanale. Il est extrait par hydro- et pyrométallurgie. Les autres pays producteurs sont la Chine (7 700 t), la Zambie (4 600 t), l'Australie (5 100 t), le Canada (7 300 t), la Russie (6 200 t), et Cuba (4 200 t). Plus de 50% du cobalt est traité en Chine, le reste en Finlande, en Zambie, et en Belgique.

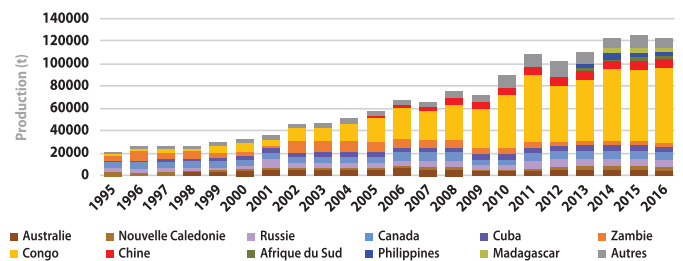


Figure 2: Production par pays de 1995 à 2016 (USGS)

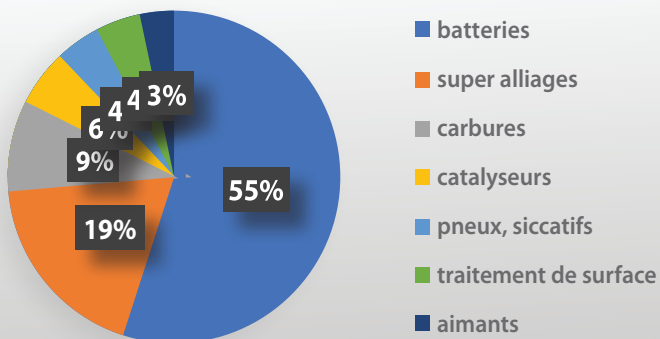


Figure 1 : Utilisation du cobalt dans le monde (source: Darton Commodities, Anteka)

Les grands producteurs mondiaux sont Glencore (30% de la production mondiale), China Molybdenum Co, Vale, Umicore et Gécamines. Au Canada, Cobalt27 Capital Corp. a construit un stock stratégique de cobalt de près de 3 000 t de cobalt.

Le prix du cobalt est actuellement autour de 80 000 US\$/t. Il a été multiplié par trois depuis deux ans. Il atteignait un nouveau sommet de 34,25 \$/livre en janvier 2018. Le marché est entré en déficit en 2016, en partie du fait de la réduction de production de cuivre en RDC. L'augmentation de la demande en batteries est estimée à 11,7% par an jusqu'en 2022, ce qui impliquerait une hausse de la demande de 6,9% jusqu'en 2020.

2. GÉOLOGIE-GÎTOLOGIE

Le cobalt est un métal rare qui n'existe pas naturellement à l'état natif. Il y a une trentaine de principaux minéraux de cobalt, sous forme d'oxydes, carbonates, sulfures, arséniures, thioarséniures (Tableau 1).

TABLEAU 1 : PRINCIPAUX MINÉRAUX DE COBALT

Asbolane	Oxyde Ni, Co	Koniambo (N. Calédonie)
Carrollite	$Cu(Co,Ni)_2S_4$	Chambishi (Zambie)
Cobaltite	CoAsS	Sudbury (Ont.)
Erythrine	$Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$	Bou Azzer (Maroc)
Heterogénite	CoO(OH)	Copperbelt (RDC)
Linnéite	Co_3S_4	Norisk (Russie)
Safflorite	$(Co,Fe)As_2$	Schneeberg (Allemagne)
Skuttérodite	$(Co,Ni)As_3$	Skutterud (Norvège)
Smaltite	$(Co,Fe,Ni)As_2$	Cobalt (Ont.)

La majorité de la production est cependant issue du cobalt en substitution dans d'autres sulfures (arsénopyrite, pyrrhotine, pyrite ou pentlandite).

Les ressources en cobalt sont considérables et dépendent de la production de Cu et Ni. On estime les ressources mondiales entre 5 et 25 Mt, sans compter plus de 120 Mt de cobalt dans les nodules à manganèse des fonds océaniques. Les plus importantes ressources sont dans la Copperbelt, en RDC et Zambie. Des ressources additionnelles se situent dans les latérites à nickel en Australie, le SW-Pacifique et Cuba. Les roches ultramafiques au Canada, en Australie, en Russie et aux USA présentent un bon potentiel.

ON PEUT DISTINGUER 5 PRINCIPAUX TYPES DE GISEMENTS :

1. Les gisements stratiformes dans les grès et shales cuprifères, essentiellement dans la Copperbelt. Le cobalt semble associé aux zones riches en roches mafiques et évaporites; le ratio Co/Cu est très variable;
2. Les gisements magmatiques sulfurés à Ni, Cu (Co, PGE) tels que Sudbury, Noril'sk, Voisey's Bay et le Bushveld : il peut s'agir de complexes ignés lités ou de volcans sous-marins de type komatiites ; le cobalt peut être associé au scandium dans des dunités;
3. Les filons polymétalliques, dit « à 5 éléments » (Ni-Co-Bi-Ag-U+As,REE), tels que Cobalt (Ontario), Bou Azzer (Maroc), et la ceinture à cobalt de l'Idaho;

4. Les amas sulfurés en contexte sédimentaire basique de type Besshi, plus ou moins déformés tels Outokumpu (Finlande); ces gisements sont connus jusqu'au faciès amphibolite et granulite dans l'Archéen (Modum, Norvège; Werner Lake, Ont.);

5. Les gisements latéritiques à Ni-Co, formés depuis le Tertiaire en climat équatorial sur des substrats de péridotite, notamment en Nouvelle Calédonie, Cuba et en Australie. Il existe également quelques gîtes en climat aride (USA, Russie, Australie). Ces gisements sont improbables au Québec.

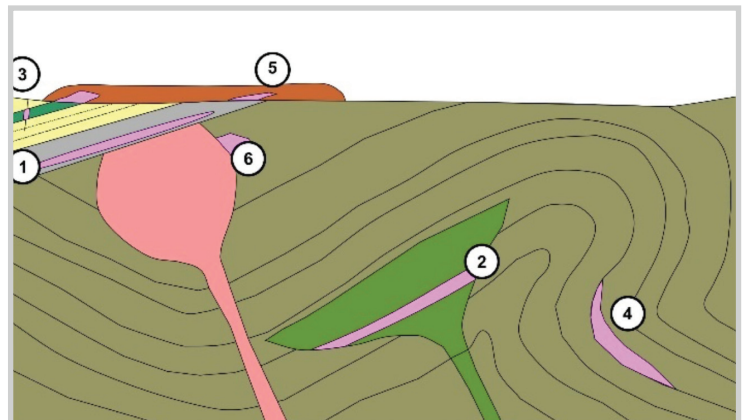


Figure 3 : Principaux types de gisements de cobalt

Des concentrations de cobalt ont été exploitées dans de nombreux autres environnements géologiques : shales noirs, roches métasédimentaires à Co-Cu-Au (Idaho), gisements de type Mississippi Valley à Pb-Zn-Co, uranium sous discordance, IOCG et skarns polymétalliques (NICO, 0,12% Co – type 6 sur la figure 3). La genèse de la plupart de ces gîtes est mal comprise, et même la gîtologie du cobalt reste un peu confuse (Hitzman et al. 2017).

Les outils d'exploration pour ces gisements reposent sur l'analyse du contexte géologique (roches mafiques et ultramafiques, shales noirs), la géochimie du Cu-Ni, et la signature géophysique, notamment le magnétisme.

Les caractéristiques économiques et géologiques de ces types de gisements sont résumées sur le tableau 3.

3. POTENTIEL AU QUÉBEC

L'exploration pour le cobalt au Québec a été fortement négligée dans le passé. Les données disponibles montrent un potentiel de découverte important.

PRODUCTION

En 2013, deux mines produisaient du cobalt, avec Ni, Cu et PGE : Raglan et Nunavik Nickel. La production totale de cobalt atteignait 1 155 t en 2014. Installé à Montréal, Globe Metal est le principal recycleur de cobalt en Amérique du Nord.

PROJETS

Le tableau suivant résume quelques projets actifs au Québec.

TABLEAU 2 : QUELQUES PROJETS ACTIFS AU QUÉBEC

NOM	RÉGION	INDICE	GÉOLOGIE	ENTREPRISE
Roberge	Appalaches	Géochimie sol 1,06 % Co	DV 84-16	King's Bay
Lac Paradis	Côte Nord (Manic 5)	Indices Ni-Cu ; forages 0,12 % Co	Paragneiss r. mafiques, UB	Berkwood resources ltd
Cobalt Bay	Abitibi (Lac Windfall)	Forages 0,17 % Co		Secova
Broadback River	Opatica, Frotet Evans	Indices Ni-Cu ; forages 0,09 % Co	Sulfures semi-massif, gabbro	King's Bay
Moria	La Grande	Indices Ni 0,09 % Co	Pyr., Pentl., pyroxénite	Midland/Altius
Ninuk Lake	Minto	Indices Ni-Cu 0,27 % Co	Sulfures massifs, UB	King's Bay
Dumont Nickel	Abitibi	Gîte en dvlpmnt, 107 ppm Co	Sulfures magmatiques, dunite	RNC-Waterton GRM
Fabre	Témiscamingue	Filons à Co, Bi, Ag	type Cobalt	Volt Energy

CIBLES

Les environnements favorables pour des gisements de cobalt au Québec sont nombreux et peuvent être définis par la géochimie (> 3 500 ppm Co pour les roches, >300 ppm Co pour les sédiments de ruisseau). La carte montre la distribution des valeurs anormales, associées essentiellement aux gîtes magmatiques à Ni-Cu et Cu. Les cibles sont détaillées au tableau 4.

Les indices de cobalt sont nombreux au Québec, en particulier dans la Province de Grenville, la Fosse du Labrador, l'orogène du Nouveau Québec, le secteur de l'Ashuanipi.

Plus de 100 indices de Ni-Cu (Co, PGE) ont été découverts dans la partie québécoise de la Province de Grenville. Ils sont associés à

des intrusions mafiques-ultramafiques : complexes de Matamec et de la Bostonais, gabbro de Shabogamo, anorthosite du Lac St Jean, plateau de Manicouagan. L'indice Réservoir Taureau se distingue par ses arséniures de Ni-Co qui rappelle le district de Cobalt (Ont.). Au Labrador, le gîte de sulfures massifs de Lynx Lake (Labrador) est rattaché au type IOCG.

La province du Supérieur présente un potentiel en cobalt dans les komatiites et les dunités des ceintures de roches vertes. La ceinture du Cap Smith et la ceinture du Labrador montrent des indices de cobalt dans les roches ultrabasiqes et les sédiments associés aux formations de fer; il existe en outre un potentiel pour des gîtes de type Besshi (Indices Soucy, Prud'homme).

4. QUELQUES RÉFÉRENCES

Clark, T. (1998) Un aperçu du potentiel du Grenville québécois pour des gîtes de Ni-Cu-Co-EGO, Géologie Québec, PRO 98-01, 10 p.

Clark, T. (2001) Distribution et potentiel des éléments du groupe du platine au Québec. Géologie Québec, PRO 2001-07, 17 p.

Hitzman, MW et al. (2017) Cobalt-Styles of deposits and the search for primary deposits. USGS OPF 2017-1155, 53 p.

www.ecobalt.com/cobalt/cobalt-facts
Mudd, GM et al. (2017) Quantifying the recoverable resources of by-product metals : the case of cobalt. Ore Geology Reviews, 55 : 87-90.

Naldrett, AJ (2004) Magmatic sulfide deposits—Geology, geochemistry, and exploration: Berlin, Springer-Verlag, 727 p.

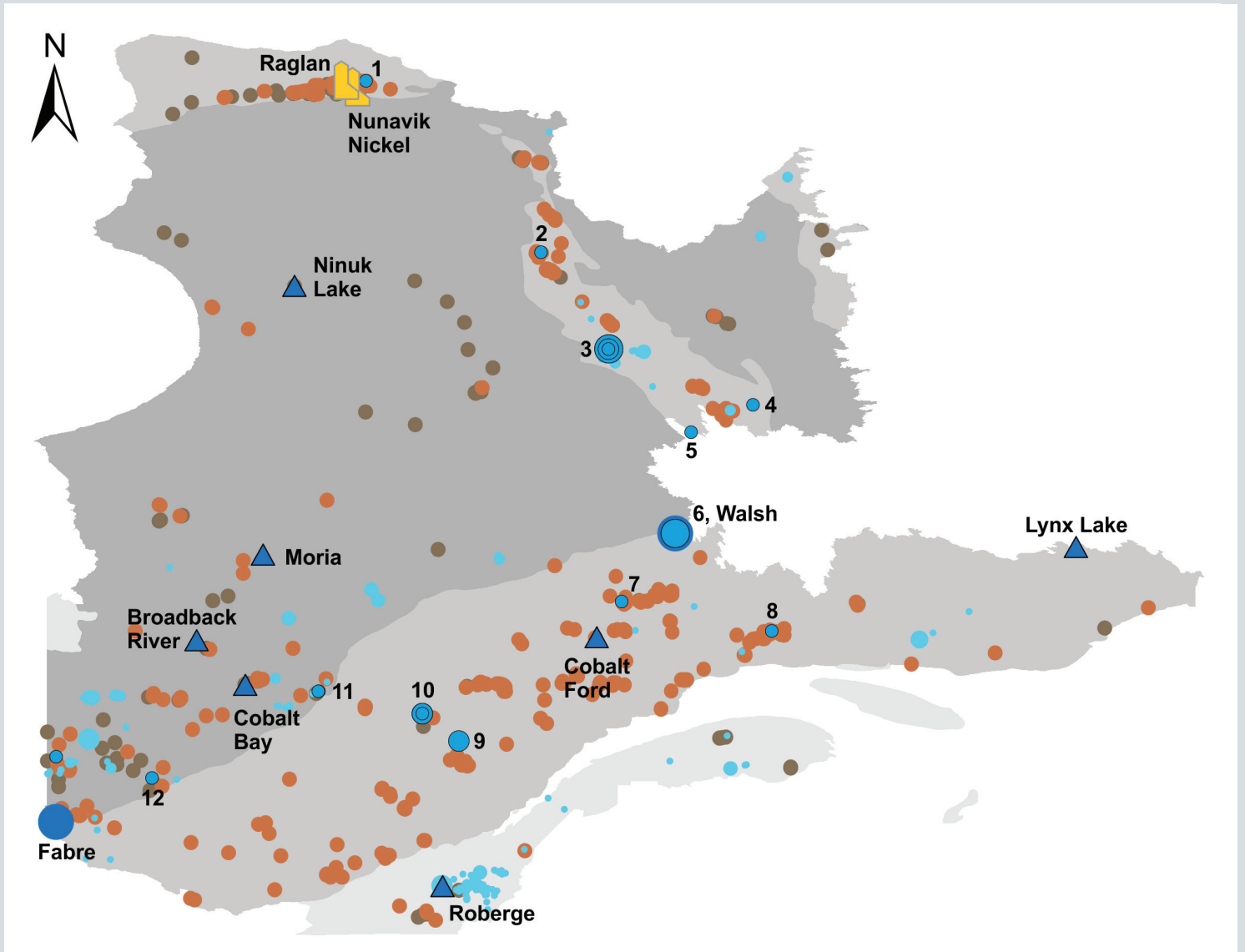
TABLEAU 3.

PRINCIPAUX TYPES DE GISEMENTS DE COBALT	GRÈS ET SHALES CUPRIFÈRES	GISEMENTS MAGMATIQUES SULFURÉS À NI-CU	FILON À 5 ÉLÉMENTS	AMAS SULFURÉ TYPE BESSHI
ÉCONOMIE				
Tonnage du minerai	5 - 500 Mt	1 - 1000 Mt	0,1-10 kt	10-160 Mt
Teneurs typiques	0,1-3 % Co	0,03-0,2 % Co	0,2-10 % Co	0,05-1 % Co
Proportion des ressources mondiales	40 %	7 %	11 % (avec IOCG)	0,1-1 %
Exemples canadiens	Redstone (T.N.-O.); jusqu'à 0,12 % Co	Raglan (QC), 0,06 % Co; Sudbury 0,04 % Co (Ont.), Voisey Bay 0,12 % Co (TN)	Keeley-Frontier Mine (Cobalt, Ont.) 1500 Mt à 0,5% Co, Thunder Bay	Windy Craggy (0,07 % Co) (CB)
Exemples étrangers	Tenke Fugurume, (0,3 %), Kisanfu (1,1 %), Nchanga (0,4 %), Kamoto RDC et Zambie (0,49 % Co), Talvivaara (Finlande) 0,02 % Co	Noril'sk-Talnakh (Russie), Bushveld (Af. Sud), Duluth (MN), Jinchuan (Chine) 0,01 % Co, Kambalda (WA) 0,06 % Co	Bou Azzer (Maroc; 1 % Co), Idaho (USA), Erzgebirge (Allemagne), Konsberg (Norvège)	Outokumpu (0,25 % Co, Finlande), Kilembe-Kasese (16 Mt à 2 % Cu 0,2 % Co, Ouganda), Ducktown (Tennessee)
GÉOLOGIE				
Contexte tectonique	rift repris dans un orogène	environnement mafique à ultramafiques anté à synorogénique	environnement mafique à ultramafique post-orogéniques	ophiolite ou rift
Lithologie de l'encaissant	grès et shales réduits au dessus de grès oxydés, shales noirs, carbonates	complexes ignées lités, coulées de komatiites,	roches basiques à ultrabasiques	volcanites basiques et sédiment (argilites, shales noirs)
Déformation de l'encaissant	brèche diapirique	basculé à peu déformé; komatiites déformées	pas déformé à zone de cisaillement	déformé
Âge de l'encaissant	Protérozoïque supérieur, Permo-Trias, Cénozoïque	Archéen, Protérozoïque	Protérozoïque, Paléozoïque	Protérozoïque, Paléozoïque, Mésozoïque
Altération	chloritisation, carbonatation	sans	chloritisation	serpentinisation, chloritisation
Forme	niveau conforme	lentille à la base des intrusions et des coulées, conduits magmatiques, lits magmatiques	zone filonienne ou remplacement aux épontes	lentille de sulfures massifs plus ou moins déformés
Minéralogie	sulfures de Cu-Co	pyrrhotine, pentlandite, chalcopryrite, linnéite	pyrite, Ag natif, arséniure Ni-Co, Bi natif, calcite, quartz	pyrite, chalcopryrite, pyrrhotine, linnéite
Géochimie	Cu-Co (Pb, Zn, Mo, V, U, Ag)	Ni, Cu, Co, PGE	Ni-Co-Bi-Ag-U+As,REE	Cu-Co-Zn-Ni-Ag-Au
ratio Co sur Ni	inf à 1	0,1 à 0,01	sup à 1	sup à 1

TABLEAU 4.

CIBLES	ESTN	NORD	UTM	ÉCHANTILLON	GÉOLOGIE	CO (%) ET ASSOCIATION	DOC EXAMINE, GEOFICHE
1	590771	6839092	18	1988001930	Grès, silstone PaléoProt.	0,41% Co, Cu, Ni	R233348
2	449176	6465570	19	1988015447	Gneiss et filons couches de Montagnais, gabbro PaléoProt.	0,43 % Co, Cu, Au, Fe, Zn	MB 88 05
3	527833	6255303	19	1906021062	Dolomie PaléoProt.	0,42 % Co, Cu, Ni, U, Ag	GM 64155
3	527740	6255716	19	1906031287	Dolomie PaléoProt.	57 % Co, Ni. Cu. Pb, Zn	GM 62471
3	527810	6255579	19	1906021037	Dolomie PaléoProt.	1,32 % Co, Cu, U, Ag	GM 64155
3	527810	6255580	19	1906021036	Dolomie PaléoProt.	1,41 % Co, Cu, Ni, U, Ag	GM 64155
3	527746	6255728	19	1985024702	Mudshale, Dolomie PaléoProt.	1,68 % Co, Cu, U, V	
4	326864	6137637	20	1988011727	BIF sulfuré, basaltes PaléoProt	0,46 % Co, Fe	RG301BZ
5	632836	6075998	19	1989025686	Chert BIF PaléoProt (Sokoman)	0,42 % Co, Fe	
6	617844	5855478	19	1991000526	BIF (Wabush)	8,97-8,85 % Co, Ni	
WALSH	617844	5855478	19	Prospect Walsh	Lentilles ds sédiments Formation de Wabush (PaléoProt.)	6 % Co, Ni	Gobeil, 1991
7	548946	5706675	19	1995005332	Norite, complexe du Manicouagan	0,36 % Co, Cu, Ni, PGE	
8	333912	5645922	20	999912330	Sulfures massifs ds anorthosite, norite	0,35 % Co, Cu, PGE	GM 55953
9	318745	5406973	19	1993013552	Anorthosite, norite (Lac St-Jean)	0,53 % Co, Au	
10	704840	5467535	18	1988011907	Anorthosite, norite (Lac St-Jean) 4pts	0,9 % Co, Cu, Ni, PGE	
11	556963	5511921	18	2007045298	Veine du pluton de Chibougamau, Archéen)	0,36 % Co. Fe	
11	557238	5512295	18	2005100017	Sulfures massifs, Anorthosite Lac Doré, Archéen	0,39 % Co	EGP2002-VP50
12	316827	5326838	18	1986000237	Filon couche, diorite Vicour	0,49 % Co, Au	MB 86-67
Fabre	626041	5229691	17	Fabre Rang V (nord) - lot 3	Andésite, diorite Archéen (Baby)	7,3 % Co, Au, Ag, Cu, Ni, Bi	GM 03956

5. CIBLES DE COBALT AU QUÉBEC



Mines Ni-Cu-Co



Projets d'exploration

Corps minéralisés



Gîtes/Indices Ni-Cu



Gîtes/Indices Ni



Gîtes/Indices Co

Sédiment de ruisseau - Co

- 300 - 500 ppm
- 500 - 1 000 ppm
- 1000 - 3 000 ppm
- 3 000 - 6 000 ppm
- 6 000 - 12 000 ppm

Roche - Co

- 3 500 - 5 000 ppm
- 5 000 - 10 000 ppm
- 10 000 - 100 000 ppm

