

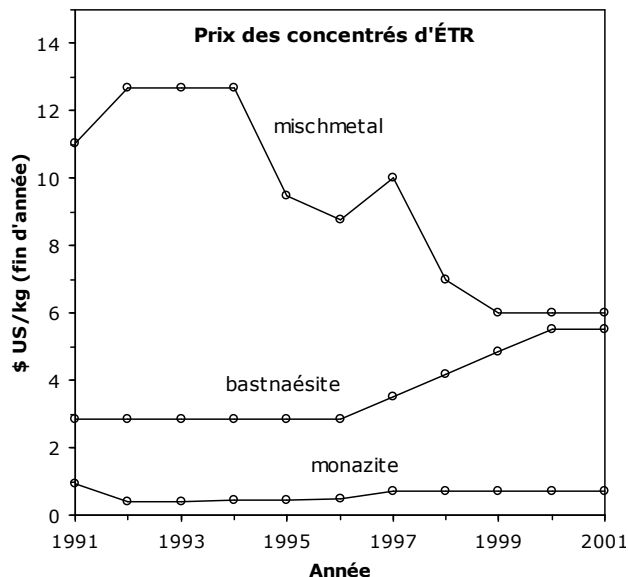
1. ÉCONOMIE

La demande mondiale en ÉTR connaît une bonne croissance et les applications se diversifient. Le marché, dominé par la Chine, demeure compétitif, mais les prix et les exigences de pureté tendent à augmenter.

En 2001, la Chine représentait près de 88% de la production mondiale, sur un total estimé de 85 500 tonnes d'oxydes d'ÉTR contenus. Les États-Unis, avec la mine de Mountain Pass en Californie, en produisaient près de 6%, alors que l'Inde comptait pour environ 3% et les anciennes républiques soviétiques pour environ 2%. Les réserves mondiales d'ÉTR s'élèvent à 110 Mt; la Chine compte 42,5%, les anciennes républiques soviétiques, 18,6%, les États-Unis, 12,4%, l'Australie, 5,1% et le Canada, 0,9%.

Les lanthanides se vendent sous forme de concentrés de monazite ou de bastnaésite, ou encore de mischmétal, un mélange naturel d'ÉTR. Le prix des concentrés de monazite demeure déprimé car plusieurs usines de raffinage traitent seulement des minerais sans thorium, pour éviter des problèmes environnementaux; aucune monazite ne fut importée aux États-Unis en 2000. Par contre, le prix des concentrés de bastnaésite a augmenté régulièrement depuis 1996, passant progressivement de 2,87 à 5,51 \$US/kg. Les prix de l'année 2000 pour les ÉTR isolés et raffinés variaient de 20,85 \$US/kg (pureté 99,5%) pour le cérium (Ce), un élément dont l'abondance dans la croûte terrestre (60 ppm) surpasse celle du cuivre, et 3 500 \$ US/kg (pureté 99,99%) pour le lutetium (Lu), dont l'abondance crustale est d'environ 0,5 ppm.

Les nombreuses utilisations actuelles des ÉTR, de même que de nouvelles applications anticipées, assurent une croissance à long terme de la consommation, bien que certaines applications déclinent, notamment les phosphores d'ÉTR et les catalyseurs utilisés dans le raffinage de pétrole. Par contre, la



demande pour les aimants permanents a connu une hausse de 25% par année depuis 1990. La demande pour les convertisseurs catalytiques dans les voitures augmente également, comme celle des batteries Ni-MH rechargeables. Néanmoins le marché mondial des ÉTR continuera d'être très compétitif, à cause des faibles coûts de la main d'œuvre et des législations environnementales moins strictes dans les pays en développement. La Chine devrait demeurer le premier producteur mondial.

2. GÉOLOGIE-EXPLORATION

Deux types de gîtes produisent actuellement la presque totalité des concentrés d'ÉTR, soient les gisements de bastnaésite associés aux carbonatites, et les gisements de sables à minéraux lourds (placers) exploitant la monazite comme sous-produit. Les gisements de la famille Fe-Ox pourraient devenir une source importante d'ÉTR dans l'avenir.

Deux minéraux dominent la production historique et actuelle de terres rares légères: la monazite et la bastnaésite. Les concentrés de monazite contiennent 55-60% d'oxydes d'ÉTR, 3-10% de thorium, un peu d'yttrium et

un peu d'uranium. La bastnaésite possède davantage d'oxydes d'ÉTR, sans thorium ni yttrium. La production de terres rares lourdes provient principalement du xénotime, un minéral présent dans les roches granitiques et les placers dérivés. Certaines apatites associées à des roches alcalines peuvent être enrichies en

ÉTR (possiblement extractibles lors de la production d'acide phosphorique).

Les gisements d'ÉTR se divisent en gîtes primaires (carbonatites, veines, et famille Fe-Ox) et secondaires (gisements résiduels associés aux carbonatites, placers et paléoplacers).

Caractéristiques de deux types de gîtes primaires d'ÉTR (voir site web pour exemples)

	Carbonatites à ÉTR	Fe-Ox polymétallique (type Olympic Dam)*
GÉOLOGIE		
Contexte tectonique	Généralement zones intraplaques, parfois bordures de plaques (orogénies ou rifts)	Contextes tardiorogéniques à postorogéniques dans craton/marge continentale; extension ou transtension
Âge	Quatre grandes périodes: (a) 1800-1550 Ma, (b) ~1100 Ma, (c) 750-500 Ma, (d) <200 Ma	Protérozoïque (<1.9 Ga) à Holocène
Intrusions associées		
Chimie/Minéralogie	Carbonatites: >50% carbonates, + pyroxènes sodiques, amphiboles, phlogopite, apatite, olivine et minéraux de F, Nb, Ta, Th, ÉTR, U, V ou Zr; phases très tardives peuvent renfermer ÉTR	Complexes alcalins intermédiaires; granites rapakivi, diorites
Taille	Massifs intrusifs de petites dimensions (3-5 km de diamètre) à l'intérieur de complexes alcalins	Intrusions pas toujours évidentes ou présentes
Roches encaissantes		
Lithologie	Encaissant du complexe alcalin (contenant la carbonatite): pas important	Sédiments, volcanites et intrusions (felsiques à intermédiaires), roches métamorphiques
Altération	Auréoles de fénitisation (autour du complexe alcalin): perte de SiO ₂ , ajout de Fe ³⁺ , Na et K; concentrations anormales de terres rares légères, éléments lithophiles à grand rayon ionique et autres éléments incompatibles	Les grands gisements sont associés à de vastes systèmes hydrothermaux; altération en magnétite, hématite, chlorite, épidote, carbonates, albite
Minéralisation		
Site et forme	Gîtes magmatiques: ÉTR au cœur de la carbonatite; gîtes métasomatiques: filons, stockwerks ou amas de remplacement à l'extérieur de la carbonatite (filons et dykes dans structures radiales et annulaires)	Brèches/diatrèmes près de la surface, remplacements dans certains horizons, structures filoniennes, pegmatites, skarn à fer près de l'intrusion en profondeur
Minéralogie	Pyrochlore, fluorocarbonates ou phosphates de terres rares (bastnaésite, parisite, monazite), apatite; gangue de calcite, dolomite, strontianite, quartz, barytine, hématite, magnétite, zircon, allanite, ...	Terres rares légères dans florencite, bastnaésite, monazite; terres rares lourdes et yttrium dans uraninite et coffinite; sulfures = chalcop., pyrite, parfois bornite, chalcosine hypogène, avec Au; oxydes de fer abondants (hématite, magnétite); parfois fluorine
EXPLORATION		
Géologie	1-Carbonatites souvent situées dans partie centrale de complexes alcalins de taille modeste (<50 km ²); 2-éléments topographiques annulaires (ex. lacs circulaires); 3-intersections de linéaments; 4-altération en fénite de l'encaissant	1-Grands complexes volcano-intrusifs dans contexte tectonique approprié (extension, intraplaque); 2-grandes quantités d'oxydes de fer; 3-altération de grande étendue; 4-télétection: structures régionales majeures
Géochimie	1-Dans carbonatites, tracer contacts des phases intrusives, échantillonner systématiquement pour Nb, ÉTR, P, U et F; 2-phases enrichies ÉTR ont faibles teneurs P, Ti, Zr et Nb p/r phases + précoces; 3-pyrochlore et monazite détectables dans concentrés minéraux lourds (sols, ruisseaux)	Valeurs anormales en Cu, Au, U, Ag, Ce, La, Co, P, F, Ba, Sr, ÉTR
Géophysique	1-Carbonatites avec magnétite apparaissent sur cartes aéromag. (petites anomalies positives circulaires à elliptiques, de forte intensité); 2-roches encaissantes fénitisées peuvent constituer anomalie mag. négative (absence de magnétite); 3-carbonatite près de surface = réponse radiométrique positive (pyrochlore à Th, monazite)	- Anomalies magnétiques et gravimétriques coïncidentes, mais sulfures pas associés au pic magnétique - Radiométrie (K, U et Th) ± I.P. et TEM (Ernest Henry, Australie)

* Excluant les gîtes de type Kiruna, des amas tabulaires de magnétite-apatite-actinote minés exclusivement pour le fer

Caractéristiques de deux types de gîtes secondaires d'ÉTR (voir site web pour exemples)

	Gîtes résiduels associés aux carbonatites	Placers à monazite
GÉOLOGIE		
Âge	Voir âges des carbonatites (gîte résiduel plus jeune que gîte primaire)	Placers en exploitation: Holocène et fin du Tertiaire
Minéralogie	Pendant altération de surface, calcite, dolomite et apatite dissoutes, et ÉTR remobilisés dans monazite supergène; si altération latéritique très poussée, pyrochlore⇒florencite et pérovskite⇒anastase	La monazite (++), xénotime (+) et anastase (-) contiennent ÉTR; autres minéraux lourds: ilménite, zircon et rutile (économiques) + magnétite, staurotide et grenat (non exploités)
Genèse	Carbonatites affleurantes en milieu tropical humide à pluviosité élevée (ex. bassin de l'Amazone) peuvent se dégrader suffisamment pour former accumulations exploitables de P, Nb, Ti et ÉTR suite à périodes prolongées de météorisation	Monazite, xénotime, et anastase = minéraux denses, résistants à altération et transport; accumulations dans sédiments fluviaux, lacustres et deltaïques, mais surtout dans dépôts de dunes et de sables de plage
EXPLORATION		
Géologie	Topographie: forme annulaire reflète petit complexe alcalin (<50 km ²) aux flancs abrupts; réseau de drainage radial et concentrique à cause des fractures associés à la carbonatite	Majorité des placers à monazite situés le long des côtes (sable de plage); source des minéraux de terres rares = roches granitiques ou de haut grade métamorphique
Géochimie	Une fois complexe alcalin avec sols résiduels identifié, utiliser sols/sédiments de ruisseaux (ÉTR, Nb, Ti, P) et minéraux lourds dans sols (anastase, pyrochlore, monazite) pour délimiter zones de minéralisation	Analyser dépôt de sable potentiel pour Ti, Zr, ÉTR
Géophysique	Anomalie radiométrique d'intensité élevée (10-20 fois bruit de fond) coïncidant possiblement avec (1) anomalie magnétique positive, forme circulaire et fort gradient ou (2) anomalie gravimétrique si sols résiduels épais et de densité différente	Sondages sismiques et forage peuvent être utilisés pour déterminer épaisseur des dépôts

3. POTENTIEL AU QUÉBEC

Il n'existe pas de mines de lanthanides actives au Québec et l'exploration pour ces éléments fut marginale au cours des dernières années. Néanmoins des dizaines de gîtes y sont connus, et peuvent être polymétalliques: Nb-Ta-ÉTR dans les carbonatites, U-Th-ÉTR dans les pegmatites, Cu-U-Au-Ag-ÉTR dans les gisements de type Olympic Dam. Le potentiel du Québec paraît donc excellent.

Les types de gîtes d'ÉTR pour lequel le Québec recèle un bon potentiel sont les carbonatites et les gisements de type Olympic Dam. Le MB 94-17 regroupe les intrusions alcalines (carbonatites, granites, syénites, diorites, péridotites) du Québec en cinq secteurs: (1) le sud-ouest du Grenville, (2) les grabens du Saint-Laurent, d'Ottawa-Bonnechère et du Saguenay, (3) la Baie d'Ungava, (4) la province alcaline du Groenland-Labrador, et (5) les collines montérégiennes. L'auteur conclue que la région la plus favorable se situe entre Hull et le réservoir Baskatong. Cette

région a fait l'objet d'un levé de sédiments de ruisseaux en 1987 (MB 88-35); la carte des ÉTR dans les minéraux lourds montre des anomalies importantes à l'est du réservoir Baskatong, dans le secteur du Lac David, au sud-ouest de Grand-Remous et dans le secteur Nord-Calumet, au voisinage d'indices d'uranium connus (MB 90-29).

Des gîtes et indices présentant des caractéristiques communes avec le gisement d'Olympic Dam sont connus dans le secteur Kwyjibo, au nord et à l'est de Sept-Îles sur la Côte-Nord. Un levé géochimique des sédiments de lac entre Havre St-Pierre et Natashquan a fait ressortir plusieurs anomalies polymétalliques à Cu-U-Th-ÉTR dans le Supergroupe de Wakeham (MB 95-02). Des anomalies en ÉTR seraient aussi associées à des skarns à U-Mo-Au, en relation avec des intrusions alcalines, dans le secteur de Mont-Laurier. Finalement les placers et les paléoplacers à monazite pourraient présenter un certain intérêt pour la prospection, de même que certaines pegmatites à U-Th-ÉTR.

Fe-Ox polymétalliques avec ÉTR

- 1 Guido
- 2 505796
- 3 94-14
- 4 543332
- 5 Fluorine
- 6 Malachite
- 7 Andradite
- 8 Josette

Placers et paléoplacers à monazite

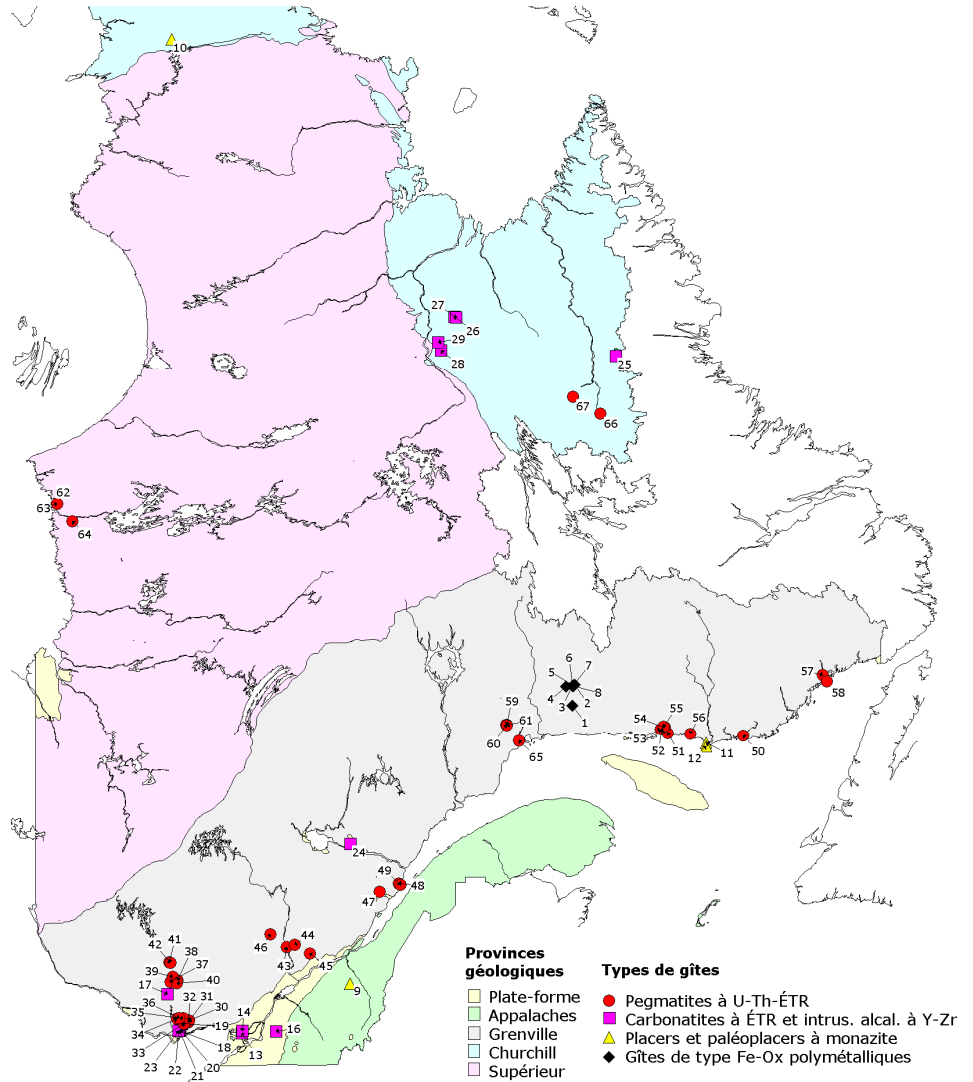
- 9 Wares (Sainte-Marie-de-Beauce)
- 10 Lac Chukotat
- 11 Natashquan-Nord
- 12 Natashquan-Sud

Carbonatites à ÉTR

- 13 Complexe d'Oka: zone Manny
- 14 Complexe d'Oka: zone Manoka
- 15 St-André
- 16 Mont St-Hilaire
- 17 Lac du Castor Blanc
- 18 Mine Haycock
- 19 Fénite du Lac McGregor
- 20 Quinville
- 21 Templeton
- 22 Carbonatite de Cantley
- 23 Fénite de Cantley
- 24 St-Honoré (Niobec)
- 25 Lac Brisson (granite alcalin)
- 26 Erlandson No 1
- 27 Erlandson No 2
- 28 Lac Savigny
- 29 Lac de l'Hématite

Pegmatites à U-Th-ÉTR

- 30 Mine Derry
- 31 Mine Pednaud
- 32 Mine Black
- 33 Carrière du lac Battle
- 34 Mine Lachaine
- 35 Mine Lapointe-Portland
- 36 Mine Evans-Lou
- 37 Rapide Tête des Six
- 38 Lac Malboeuf
- 39 Acme Molybdénite
- 40 Lac des Trente et un Milles
- 41 Ragnar
- 42 Lac A (Grand-Remous)
- 43 Lac Canard
- 44 Rivière Bouchard
- 45 Lac Ricard-SW
- 46 Lac Baude
- 47 Mine du Lac du Pied-des-Monts
- 48 Anomalie N13L1 (St-Siméon)
- 49 Groupe Callières
- 50 Lac Couillard
- 51 Baie Quetachou



- | | | | |
|----|-------------------------------------|----|------------------------------------|
| 52 | Projet K-8, Lac Turgeon (zone Est) | 60 | Anomalie J6-1 - ouest (Lac Walker) |
| 53 | Zone 1 (Lac Turgeon) | 61 | Anomalie J6-1 - est (Lac Walker) |
| 54 | Camp 1 (Lac Turgeon) | 62 | Baie Paul P (Bouro) |
| 55 | Est (Lac Turgeon) | 63 | Baie Paul T |
| 56 | Rivière Nabisibi | 64 | Route Fort-George (km 34) |
| 57 | Village Saint-Augustin | 65 | Anomalie J2R1 |
| 58 | Ile de la Grande Passe - ouest | 66 | Lac Advance nord |
| 59 | Anomalie J6-1 - centre (Lac Walker) | 67 | Lac Tudor |

Carte géologique simplifiée du Québec (modifiée du DV 2001-07) montrant la localisation des gîtes connus d'ÉTR.

Pour en savoir plus, consultez le dossier complet sur www.sidex.ca