

CR 2005-03

Les minéraux indicateurs des gisements métalliques métamorphisés, projet 2004-11

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

**Ressources naturelles
et Forêts**

Québec 

Projet 2004-11

Les minéraux indicateurs des gisements métalliques métamorphisés

Par Bocar Diagana

Avril 2005



CONSOREM
Consortium de recherche en exploration minérale

Table des matières

Table des matières.....	ii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
1. Résumé.....	1
2. Les objectifs	1
3. Méthodologie	2
4. Cadre géologique de la région	2
5. Les observations pétrographiques.....	3
6. Les différents minéraux indicateurs rencontrés.....	3
6.1. Le zircon.....	3
6.1.1. Caractéristiques du minéral.....	3
6.1.2. Analyse au microscope optique.....	3
6.2. Analyses à la microsonde.....	4
6.3. Les zircons couronnés.....	5
6.4. L'analyse aux rayons X.....	5
6.5. Apatite.....	5
6.5.1. Caractéristiques de l'apatite.....	5
6.6. La Titanite.....	6
6.7. La monazite.....	7
7. Conclusions	7
8. Recommandation	8
9. Références bibliographiques.....	9

Liste des figures

Figure 1: Localisation des propriétés de Kwyjibo et de Marmont.	12
Figure 2: Zircon de type prismatique associé à la minéralisation, observé dans la propriété de Kwyjibo.	13
Figure 3: Photographie au microscope optique d'un zircon zoné associé à la minéralisation.	14
Figure 4: Photographie au microscope optique des zircons non zonés de la propriété de Marmont.	15
Figure 5: Photographie au microscope optique des zircons entourés d'une couronne vitreuse de silicate.	16
Figure 6: Photographie des zircons zonés provenant de la propriété de Kwyjibo observés à la microsonde.	17
Figure 7: Photographie de zircons non zonés issus des échantillons régionaux	18
Figure 8: Photographie de différents types de titanite observés (A) dans la propriété de Kwyjibo et (B) dans la propriété de Marmont.	19
Figure 9: Photo prise au microscope électronique d'un minéral de monazite observé dans la propriété de Kwyjibo	20
Figure 10: Photo prise au microscope optique d'une barre d'apatite observée dans les échantillons de la propriété de Marmont	20
Figure 11: Diagrammes montrant le comportement des éléments des terres rares dans les zircons issus (A) de la propriété de Kwyjibo et (B) de la propriété de Marmont.	23
Figure 12: Diagrammes montrant le comportement des éléments des terres rares dans les zircons issus des échantillons régionaux.	24
Figure 13: Diagramme résumant la moyenne des données faite sur les zircons provenant des trois propriétés étudiées (Kwyjibo, Marmont et régionaux).	24
Figure 14: Diagramme montrant le comportement du cérium dans les apatites provenant (A) de la propriété de Kwyjibo et (B) de la propriété de Marmont.	25
Figure 15: Diagramme montrant le comportement des éléments dans les apatites provenant des échantillons régionaux.	26
Figure 16: Diagramme récapitulatif montrant le comportement des terres rares dans l'apatite provenant des différentes propriétés étudiées.	26
Figure 17: Diagramme montrant le comportement des éléments dans les titanites provenant des échantillons (A) de Kwyjibo et (B) de Marmont.	27
Figure 18: Diagramme montrant le comportement des éléments dans les titanites provenant des échantillons régionaux.	28
Figure 19: Diagramme récapitulatif des mesures faites sur des titanites provenant des deux propriétés étudiées et des échantillons régionaux.	28
Figure 20: Diagramme montrant les différents types de minéraux observés aux rayons X dans nos échantillons.	29

Liste des tableaux

Tableau 1: Positionnement des minéraux indicateurs, dans la séquence paragenétique régionale.	21
Tableau 2: Tableau de fréquence des minéraux indicateurs en fonction des régions étudiées.	22
Tableau 3: Fréquence des minéraux indicateurs par rapport aux lames minéralisées et moins minéralisées de la propriété de Kwyjibo.	22
Tableau 4: Fréquence des minéraux indicateurs par rapport aux lames minéralisées et moins minéralisées de la propriété de Marmont.	22

1. Résumé

L'exploration minérale devient de plus en plus difficile et coûteuse, même dans les environnements traditionnels. Cependant, les Grand et Moyen Nord du Québec ont l'avantage d'être moins explorés. Même si la minéralisation est visible en surface, ces régions sont souvent recouvertes de dépôts glaciaires, ou bien ont fait le siège d'un métamorphisme de haut grade aux faciès amphibolites à granulites. Ces terrains fortement métamorphisés sont souvent négligés en exploration parce que les roches hôtes et les zones d'altération hydrothermales sont souvent difficiles à reconnaître. Ce projet vise à identifier des minéraux indicateurs pouvant nous conduire à la source de l'érosion et, comme on le dit souvent : « un gîte métallifère partiellement érodé et une mine potentielle ».

Un bon minéral indicateur est souvent résistant à l'érosion, il possède des textures distinctes. Il est plus souvent près des zones minéralisées et possède une composition chimique qui reflète celle des solutions hydrothermales qui ont formé la minéralisation. Certains minéraux sont déjà connus comme indicateurs de certains gisements : par exemple le tungstène peut indiquer la présence d'or et l'étain peut indiquer la présence de cuivre et de zinc. Gahnite, staurotide zincifère et schéelite, tourmaline, chromite, apatite, rutil, monazite et zircon sont aussi souvent utilisés comme minéraux indicateurs.

Dans ce projet, quatre minéraux indicateurs ont été identifiés dans les lames minces provenant de la propriété de Kwyjibo situé sur la Côte-Nord (Figure 1): il s'agit du zircon, de l'apatite, de la monazite et de la titanite. Parmi ces quatre minéraux cités, seule la monazite n'a pas pu être analysée. Les trois autres minéraux montrent des caractéristiques chimiques qui leur sont propres selon leur environnement et leur association paragenétique. Ces minéraux peuvent nous servir d'indicateurs dans des environnements métamorphisés.

2. Les objectifs

Les objectifs de ce projet sont d'abord d'essayer d'identifier les minéraux indicateurs possibles pour différents types de gisements (SMV, Olympic Dam, Cu porphyrique, Au mésothermal) métamorphisés au faciès des amphibolites et des granulites. Ensuite, d'identifier leurs relations avec le processus de minéralisation et de vérifier si :

- le minéral indicateur en question possède une signature géochimique qui est caractéristique de l'environnement minéralisé ;
- cette signature est stable dans la zone d'altération de surface et si le minéral en question est résistant à l'érosion ;
- une étude géochimique des minéraux d'altération est rentable dans une campagne d'exploration.

3. Méthodologie

La méthodologie utilisée pour réaliser ce travail consiste d'abord à faire un levé d'orientation sur deux gisements métamorphisés de la Côte-Nord : Kwyjibo et Marmont. Faire un échantillonnage des carottes de sondage aussi bien sur la zone minéralisée que sur la zone non minéralisée afin de confectionner des lames minces polies et non polies. Faire une étude pétrographique complète de ces lames au microscope optique afin de répertorier tous les minéraux indicateurs potentiels. Faire une étude qualitative de ces minéraux indicateurs à la microsonde et, au besoin, faire aussi des analyses aux rayons x. Comparer les résultats de ces différents minéraux indicateurs afin de savoir s'il existe une différence de chimie entre ces derniers.

4. Cadre géologique de la région

La propriété de Kwyjibo est située dans la région de la Côte-Nord de la province de Québec à environ 120 km au nord-est de Sept-îles. C'est une région située dans la province géologique du Grenville. Elle fait partie de la ceinture allochtone polycyclique, selon la division tectonique de la province de Grenville (Rivers et al., 1989). Elle se caractérise par la présence de minéralisation en cuivre-ETR associée à des niveaux de magnétite (gîte de type oxydes de fer protérozoïque) caractéristiques des gisements de type Olympic Dam, et de cuivre disséminé à l'intérieur de paragneiss.

Deux unités majeures sont à signaler dans cette région :

- 1- une unité dominante constituée de gneiss quartzo-feldspathiques ;
- 2- une unité secondaire constituée de biotite et de hornblende.

La propriété de Kwyjibo est associée également à de multiples épisodes magmatiques caractérisés par un complexe tectonique polyphasé associé à des complexes métamorphiques, de roches mafiques, felsiques et sédimentaires, et de complexes anorthositiques. L'ensemble des complexes qui constituent cette région a été affecté par une activité magmatique felsique et mafique post-orogénique. Ces roches ont été métamorphisées aux faciès amphibolites dans la région de Kwyjibo. Ce métamorphisme atteint le faciès des granulites dès qu'on s'approche de la propriété de Marmont (Figure 1).

La propriété de Marmont quant à elle, est caractérisée par un assemblage à hornblende, biotite, magnétite et quartz. On rencontre également des lentilles en couches et de la magnétite rubanée associée à du gneiss granitique et au leucogranite. C'est un dépôt qui est pauvre en sulfure en cuivre et en métaux.

5. Les observations pétrographiques

Une étude pétrographique et minéralogique a été réalisée sur des échantillons provenant des propriétés de Kwyjibo et de Marmont ainsi que de leurs environs. La plupart de nos échantillons ont été fournis par SOQUEM. Cependant, nous avons également reçu des lames minces polies de la compagnie Noranda (provenant essentiellement de la propriété de Marmont). Les échantillons régionaux ont été fournis par le ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec.

L'étude pétrographique des lames minces polies au microscope optique nous a permis de répertorier différents minéraux indicateurs par leurs formes et par leurs associations paragénétiques. La plupart de ces minéraux indicateurs sont associés aux stades tardifs de la séquence paragénétique établie pour cette région (Tableau 1). L'abondance et/ou la rareté de certains de ces minéraux indicateurs comme le zircon et l'apatite semblent être contrôlées par la minéralisation (Tableau 2).

6. Les différents minéraux indicateurs rencontrés

6.1. Le zircon

6.1.1. Caractéristiques du minéral

Le zircon est un silicate de zirconium. Il contient du fer et de l'hafnium, de l'uranium et du thorium, capables d'émettre des particules alpha radioactives. Le zircon possède plusieurs couleurs, allant du jaune au noir, en passant par le gris et le bleu. La coloration des zircons est essentiellement due à des éléments radioactifs, elle est très sensible aux traitements thermiques.

Les zircons sont communs dans une bonne partie des roches ignées, surtout de type granitique, et dans leurs dérivés métamorphiques. Des cristaux d'assez belles dimensions se forment dans les pegmatites.

Le zircon est le minéral indicateur le plus abondamment rencontré aussi bien dans les lames minces polies de Kwyjibo que dans les échantillons régionaux. Son abondance et sa rareté semblent être contrôlées par la minéralisation (Tableau 2).

6.1.2. Analyse au microscope optique

Plusieurs types de zircons ont été observés en lames minces dont certains sont intimement associés à la minéralisation, alors que d'autres ne le sont pas. Ces zircons possèdent des formes variables, allant de prismatique

Figure 2) à rectangulaire, en passant par des formes pyramidales ou tout simplement amorphes. Les observations faites au microscope optique montrent que la plupart de ces zircons sont zonés

Figure 3). Cette zonation est probablement causée par les mêmes fluides minéralisateurs qui sont à l'origine de la minéralisation associée à ces zircons. Contrairement aux zircons de Kwyjibo qui sont associés à la minéralisation, les zircons observés dans la propriété de Marmont et dans les échantillons régionaux, sont dépourvus de zonation

Figure 4).

Plusieurs de ces zircons ont été analysés à la microsonde. Les résultats obtenus sont présentés dans les paragraphes suivants.

6.2. Analyses à la microsonde

Les observations faites à la microsonde confirment la zonalité des zircons de Kwyjibo observée au microscope optique

Figure 6). Ces zircons zonés associés à la minéralisation montrent une signature chimique distincte, différente de celle des autres zircons non zonés provenant de la propriété de Marmont et des échantillons régionaux (Figure 7). La zonation des zircons de Kwyjibo diminue progressivement jusqu'à parfois disparaître en s'éloignant des zones minéralisées.

Tous les zircons provenant des différentes propriétés semblent être riches en hafnium. L'hafnium est un élément qui possède une grande affinité avec le zirconium. Cependant, l'élément chimique le plus abondant dans les zircons zonés reste le Cérium. Les deux diagrammes de la Figure 11 représentent les données obtenues sur les zircons provenant des propriétés de Kwyjibo et de Marmont. La Figure 11-A représente la population de zircons analysés provenant de la propriété de Kwyjibo. On constate sur ce diagramme une homogénéité des données avec un enrichissement systématique de tous les zircons en cérium et un appauvrissement en aluminium et en thorium. La Figure 11-B représente les données recueillies sur les zircons de la propriété de Marmont. Comme à Kwyjibo, on remarque également une homogénéité de la population de zircons rencontrés à Marmont. Cependant, ces zircons semblent être pauvre en cérium, contrairement à ceux de Kwyjibo qui en sont riches. La Figure 12 représente les données recueillies sur les zircons provenant des échantillons régionaux. On constate également une population de zircons homogènes avec un appauvrissement en cérium, en aluminium et en thorium. La Figure 13 représente la moyenne des pourcentages de tous les éléments des terres rares mesurés sur les échantillons de Kwyjibo de Marmont et les échantillons régionaux. Ce diagramme récapitulatif montre un enrichissement en cérium des zircons provenant de la propriété de Kwyjibo, contrairement aux zircons provenant de la propriété de Marmont et des échantillons régionaux qui en sont pauvres. Cette anomalie en Ce dans certains minéraux est souvent interprétée comme une variation du degré d'oxydoréduction qui influe sur une signature particulière des lanthanides. Les zircons provenant de la région de Kwyjibo semblent enregistrer des événements qui suggèrent très fortement la présence des conditions d'oxydation élevées.

6.3. Les zircons couronnés.

En plus des zircons cités précédemment, on observe une autre catégorie de zircons entourés par une couronne de silicates. Ces zircons sont propres à la propriété de Kwyjibo et, par conséquent, associés à la minéralisation

(Figure 5). L'analyse de cette couronne à la microsonde montre qu'elle est constituée de Si, Al, Fe, Ti, Th, S et O. Ce liseré de silice est certainement dû à une interaction entre les fluides et les minéraux pré-existants, provoquant une sursaturation du fluide en silice qui vient précipiter autour des zircons.

6.4. L'analyse aux rayons X

La diffraction des rayons X permet l'identification des phases cristallisées dans un échantillon, sous réserve que ses phases existent en quantité supérieure au seuil de détection. Les analyses ont été effectuées avec un diffractomètre Siemens (Bruker) D5000 à l'Université de Québec à Montréal (UQAM). Ces analyses ont permis de confirmer les observations pétrographiques faites aux microscopes optiques. Les minéraux répertoriés par ces analyses sont : magnétite, amphibolite, apatite, biotite, chlorite, microcline, albite, diopside, grenat, fluorine, pyrite et chalcopryrite (Figure 20). L'analyse aux rayons X a également permis de confirmer l'abondance de l'apatite et de l'albite dans les échantillons moins minéralisés, provenant de la propriété de Marmont. Ces deux éléments, apatite et albite, ont un pourcentage respectif de 25 et 15%, contrairement aux échantillons de Kwyjibo dont le pourcentage n'atteint pas les 5%. L'absence de zircon dans ces analyses est peut-être due à un problème de mesure ou tout simplement à un problème d'échantillonnage.

L'observation au microscope optique électronique des porphyroblastes tardifs d'albite dans les échantillons régionaux suggère une albitisation faible dans cette région. La présence d'albite dans certains leucogranites non minéralisés peut suggérer une albitisation plus prononcée qui serait produite avant la minéralisation, mais ce théorème s'avère moins évident car certains cristaux d'albite sont zonés et semblent être des phénocristaux primaires. On pourra donc songer que le caractère sodique de ces minéraux proviendrait d'un phénomène igné plutôt que d'une altération.

La présence de la chromite dans ces échantillons est à prendre avec réserve car ce minéral n'a pas souvent été observé dans cette région. Cette présence pourrait être le résultat d'une interaction du chrome avec d'autres éléments aux cours des analyses.

6.5. Apatite

6.5.1. Caractéristiques de l'Apatite

L'apatite est un phosphate de calcium contenant aussi du fluor du chlore et des oxhydryles en substitution entre eux. Les cristaux sont peu durs (5 sur l'échelle de Mohs) et ont un éclat

vitreux. Ils peuvent être de toutes les couleurs. Ils présentent un clivage basal très faible, une fracturation conchoïdale et une grande fragilité. La coloration est due soit à la présence d'impuretés, soit à des défauts réticulaires particuliers.

L'apatite est un minéral commun accessoire à de nombreuses roches ignées et métamorphiques, dans lesquelles elle peut cristalliser depuis les premiers stades du processus de solidification magmatique. Toutefois, les cristaux de plus grandes dimensions ont une genèse pegmatitique.

Les observations pétrographiques faites sur les échantillons de Kwyjibo, montrent que l'apatite est le plus souvent associée à la pyrite, à l'allanite et à la fluorine (Figure 10). Cependant, ce minéral augmente progressivement dans les échantillons les moins minéralisés. Cette abondance a également été mise en évidence par les analyses aux rayons X faites à l'UQAM (Figure 20). Les observations faites à la microsonde montrent plusieurs types d'apatites possédant une signature chimique distincte selon leur environnement. La Figure 14 montre le comportement des éléments dans les apatites provenant de la région des propriétés de Kwyjibo et de Marmont. La Figure 14 A, représente l'ensemble des mesures faites sur les apatites provenant des échantillons de Kwyjibo. On remarque sur ce diagramme que la plupart des apatites analysées sont pauvres en cérium. Contrairement à la propriété de Kwyjibo, les apatites provenant des lames minces moins minéralisées (propriété de Marmont et des échantillons régionaux) montrent un enrichissement en cérium et en Néodyme (Figure 14 et Figure 15). La Figure 16 représente le diagramme récapitulatif des mesures faites sur les apatites provenant des différentes zones étudiées. On remarque sur ce diagramme un enrichissement en Ce des échantillons de Marmont et régionaux, contrairement aux apatites provenant de la propriété de Kwyjibo qui en est pauvre.

Cette différence de chimie est importante car les apatites riches en Ce pourrait être le résultat d'une oxydation de Ce^{+3} en Ce^{+4} (très insoluble) qui se combine à de l'oxygène pour ainsi former une phase insoluble. Ce processus appauvrit progressivement le reste du fluide en Ce par rapport aux autres terres rares qui demeurent trivalentes.

6.6. La Titanite

Connu aussi sous le nom de sphène, la titanite est un silicate de calcium et de titane. Il est de couleur variable allant du jaune au gris. Plusieurs types de titanite ont été observés dans les lames minces, aussi bien dans les échantillons de Kwyjibo et celles de Marmont. L'observation des lames minces de Kwyjibo au microscope optique, montre que les titanites sont partiellement zonées

Figure 8 A, et se mettent le plus souvent autour des minéraux opaques (pyrite). Ils sont également associés aux clinopyroxènes (Augite) et à la hornblende. Contrairement à la propriété de Kwyjibo, les titanites provenant de la propriété de Marmont se présentent sous forme d'agrégats associés à des impuretés et présentant des formes irrégulières (Figure 8 B). Les analyses à la microsonde, montrent une certaine homogénéité dans la population de titanite observée à Kwyjibo (Figure 17 A). On remarque sur ce diagramme, un appauvrissement en sodium et un enrichissement en aluminium jusqu'à 5%. Contrairement

aux titanites de Kwyjibo, les titanites provenant des échantillons de Marmont montrent un enrichissement en sodium jusqu'à 3%, alors que le pourcentage d'aluminium diminue (Figure 17 B). Les titanites provenant des échantillons régionaux semblent enregistrer la même signature que celle de la propriété de Marmont, avec un enrichissement en Na (Figure 18 et Figure 19). Cet enrichissement en sodium des échantillons régionaux et ceux de la propriété de Marmont, peut être à l'origine des phénomènes d'albitisation observés dans la région.

6.7. La monazite

Bien que n'ayant pas pu être analysée à la microsonde à cause de son caractère très altéré, la monazite montre aussi une certaine affinité avec la minéralisation (Tableau 2, Tableau 3 et Tableau 4 et Figure 9). Les observations pétrographiques au microscope optique sur les lames minces, montrent qu'elle a une forme ovoïdale et parfois sphérique. Elle est le plus souvent associée aux sulfures (pyrite et pyrrhotite) et à la fluorine dans la propriété de Kwyjibo et à la hornblende dans la propriété de Marmont.

7. Conclusions

L'étude pétrographique des lames minces provenant des échantillons de Kwyjibo, de Marmont et des échantillons régionaux a permis de mettre en évidence trois minéraux indicateurs prometteurs : le zircon, l'apatite et la titanite. Chacun de ces minéraux possède une signature géochimique propre qui le caractérise selon son environnement et selon son association paragenétique, Tableau 3, Tableau 4.

Ainsi, les zircons associés à la minéralisation (propriété de Kwyjibo) affichent un enrichissement en terres rares, comme le cérium, alors que les zircons associés à des zones moins minéralisées, sont pauvres en cérium.

Contrairement au zircon, l'apatite associée aux lames minéralisées en sulfure de la propriété de Kwyjibo montre un appauvrissement en cérium, alors que ceux associés aux lames moins minéralisées, montrent un enrichissement en cérium, on peut croire que ces deux générations d'apatites auraient subies deux mécanismes de mise en place contrôlés par deux sources de fluides différentes.

Comme le zircon et l'apatite, la titanite montre également un caractère chimique qui lui est propre, selon son environnement. Ainsi, les titanites provenant de la propriété de Kwyjibo affichent un appauvrissement en sodium, mais un enrichissement en aluminium, tandis que ceux provenant de la propriété de Marmont et des échantillons régionaux montrent un caractère inverse.

Chacun de ces trois minéraux cités précédemment possède un caractère chimique qui lui est propre selon son environnement et selon son association paragenétique. Ces trois minéraux (zircon, apatite et titanite) démontrent leurs aptitudes à être utilisés comme

minéraux indicateurs dans des environnements métamorphiques. Cependant, l'absence de comparaison avec d'autres provinces métamorphiques de Grenville, et surtout l'absence d'une maille d'échantillonnage régulière, nous amène à faire des recommandations pour que ce travail soit complet.

8. Recommandation

L'absence d'une maille d'échantillonnage, la différence de métamorphisme et du type de minéralisation entre la propriété de Kwyjibo et celle de Marmont, et surtout l'absence d'éléments de comparaison avec d'autres terrains métamorphisés aux mêmes faciès, nous incite à proposer un complément d'étude avec les échantillons de la propriété de Dussault. Il serait également intéressant de renouveler l'exercice avec les échantillons provenant du projet Coulon, comme l'a proposé François Thibert de Noranda lors de la réunion du comité de gestion le 02 Mars 2005 à l'UQAC.

L'étude de ces deux propriétés (Dussault et Coulon), nous permettra vraisemblablement de valider le caractère indicateur de ces trois minéraux observés dans les propriétés de Kwyjibo et de Marmont.

9. Références bibliographiques

Arancibia, O.N., and Clark, A.H. 1996. Early magnetite-amphibole-plagioclase alteration-mineralization in the Island Copper porphyry copper-gold-molybdenum deposit, British Columbia. *Economic Geology*, 91: 402–438.

Barton, M.D., Hassanzadeh, J., Marikos, M.A., and Battles, D.A. 1991. Magnetite-apatite-REE mineralization in the Great Basin. Geological Society of America annual meeting, Abstracts with Programs, page A292.

Cayer, A. 2001. Caractérisation minéralogique des lithologies, des altérations et des minéralisations d'oxydes de fer, de cuivre et de terres rares de la propriété "Kwyjibo", Côte-Nord (Québec), Province géologique de Grenville. Université du Québec à Montréal, Unpublished M.Sc. thesis.

Chartrand, F.M., Roy, I., Cayer, A., and Gauthier, M. 2003. The Kwyjibo polymetallic iron oxide deposit, northeastern Grenville Province, Quebec. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum annual meeting, 4–8 May, Montreal, Program with Abstracts.

Chevé, S., Gobeil, A., Clark, T., Corriveau, L., Perreault, S., Dion, D.-J., and Daigneault, R. 1999. Géologie de la région du lac Manitou (SNRC 22I/14). Ministère des Ressources naturelles, Québec, RG 99-02.

Chevé, S., Gobeil, A., Clark, T., and Togola, N. 2001. Géologie de la région de la rivière Baune et des lacs à l'Aigle et Canatiche (22P/02, 22P/03, 22P/04). Ministère des Ressources naturelles, Québec, RG 2001-03, 58 pages (1:50,000-scale map: SI22P03-C3G-01J).

Clark, T. 1998. Minéralisations de Cu-Ni-Co ± ÉGP et de Fe-Cu-ÉTR dans la région des lacs Nipisso et Manitou, Côte-Nord. In *Livret-guide, excursion héliportée, 2ème Sommet sur l'Exploration minière de la Côte-Nord du 1 au 4 octobre 1998*: 25–43.

Clark, T. 2003a. Métallogénie des métaux usuels et précieux, des éléments radioactifs et des éléments des terres rares, région de la moyenne Côte-Nord. In *Géologie et ressources minérales de la partie est de la Province de Grenville*. Edited by D. Brisebois and T. Clark. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, DV 2002-03: 269–325.

Dicken, A.P. 2000. Crustal formation in the Grenville Province: Nd-isotope evidence. *Canadian Journal of Earth Science*, 37: 165–181.

Dion, D.-J., and Gobeil, A. 2003. Le champ magnétique régional. In *Géologie et ressources minérales de la partie est de la Province de Grenville*. Edited by D. Brisebois and T. Clark. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, DV 2002-03: Annex 2, 415–417 plus colored map.

Einaudi, M.T., and Oreskes, N. 1990. Progress toward an occurrence model for Proterozoic iron oxide deposits – a comparison between the ore provinces of South Australia and Southeast Missouri. In *The Midcontinent of the United States – permissive terrane for an Olympic Dam-type deposit?* Edited by W.P. Pratt and P.K. Sims. U.S. Geological Survey Bulletin 1932: 58–69.

Foose, M.P., and McLelland, J.M. 1995. Proterozoic low-Ti iron-oxide deposits in New York and New Jersey: Relation to Fe-oxide (Cu-U-Au-rare earth element) deposits and tectonic implications. *Geology*, 23: 665–668.

Gauthier, M., Brown, A.C., and Morin, G. 1987. Small iron-formations as a guide to base- and precious-metal deposits in the Grenville Province of southern Quebec. In *Precambrian Iron-Formations*. Edited by P.W. Uitterdijk Appel and G.L. LaBerge. Theophrastus Publications, S.A., Athens, Greece: 297–327.

Gauthier, M., Chartrand, F., Cayer, A., and David, J. 2004. The Kwyjibo Cu-REE-U-Au-Mo-F property, Quebec: a Mesoproterozoic polymetallic iron oxide deposit in the northeastern Grenville Province. *Economic Geology*, 99: 1177-1196.

Gobeil, A., Chevé, S., Clark, T., Corriveau, L., Perreault, S., Dion, D.-J., and Nabil, H. 1999. Géologie de la région du lac Nipisso (SNRC 221/13). Ministère des Ressources naturelles, Québec, RG 98-19, 60 pages.

Gobeil, A., Brisebois, D., Clark, T., Verpaerst, P., Madore, L., Wodicka, N., and Chevé, S. 2003. Géologie de la moyenne Côte-Nord. In *Géologie et ressources minérales de la partie Est de la Province de Grenville*. Edited by D. Brisebois and T. Clark. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, DV 2002-03: 9-57.

Gower, C.F. 1996. The evolution of the Grenville Province in eastern Labrador, Canada. In *Precambrian Crustal Evolution in the North Atlantic Region*. Edited by T.S. Brewer. Geological Society Special Publication No. 112: 187-218.

Gower, C.F., Heaman, L.M., Loveridge, W.D., Schärer, U., and Tucker, R.D. 1991. Grenvillian magmatism in the eastern Grenville Province, Canada. *Precambrian Research*, 51: 315-336.

Haynes, D.W. 2000. Iron oxide copper (-gold) deposits: their position in the ore deposit spectrum and modes of origin. In *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective*. Edited by T.M. Porter. Australian Mineral Foundation, Adelaide: 71-90.

Haynes, D.W., Cross, K.C., Bills, R.T., and Reed, M.H. 1995. Olympic Dam ore genesis: a fluid-mixing model. *Economic Geology*, 90: 281-307.

Hitzman, M.W. 2000. Iron oxide-Cu-Au deposits: what, where, when, and why. In *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective*. Edited by T.M. Porter. Australian Mineral Foundation, Adelaide: 9-25.

Johnson, C.A., and Skinner, B.J. 2003. Geochemistry of the Furnace Magnetite Bed, Franklin, New Jersey, and the relationship between stratiform iron oxide ores and stratiform zinc oxide-silicate ores in the New Jersey Highlands. *Economic Geology*, 98: 837-854.

Kisvarsanyi, E.B., and Kisvarsanyi, G. 1990. Alkaline granite ring complexes and metallogeny in the Middle Proterozoic St. Francois Terrane, southeastern Missouri, U.S.A. In *Mid-Proterozoic Laurentia-Baltica*. Edited by C.F. Gower, T. Rivers, and B. Ryan. Geological Association of Canada, Special Paper 38: 433-446.

Machado, G. 1999. Étude géochimique et pétrologique de quatre intrusions granitiques dans le Terrain de Wakeham, Province de Grenville, Québec. MSc thesis, Université du Québec à Chicoutimi, 129 pages.

Magrina, B., and Jébrak, M. (this volume). Le magmatisme de type A de la région de Kwyjibo, Province de Grenville, Canada: Intérêt pour les minéralisations de type fer-oxydes associées.

Mark, G., Oliver, N.H.S., Williams, P.J., Valenta, R.K., and Crookes, R.A. 2000. The evolution of the Ernest Henry Fe-oxide-(Cu-Au) hydrothermal system. In *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective*. Edited by T.M. Porter. Australian Mineral Foundation, Adelaide: 123-136.

Oreskes, N., and Einaudi, M.T. 1992. Origin of hydrothermal fluids at Olympic Dam: preliminary results from fluid inclusions and stable isotopes. *Economic Geology*, 87: 64-90.

Oreskes, N., and Hitzman, M.W. 1993. A model for the origin of Olympic Dam-type deposits. In *Mineral Deposit Modeling*. Edited by R.V. Kirkham, W.D. Sinclair, R.I. Thorpe, and D.M. Duke. Geological Association of Canada, Special Paper 40: 613-633.

Perring, C.S., Pollard, P.J., Dong, G., Nunn, A.J., and Blake, K.L. 2000. The Lightning Creek sill complex, Cloncurry District, Northwest Queensland: a source of fluids for Fe oxide Cu-Au mineralization and sodic-calcic alteration. *Economic Geology*, 95: 1067–1089.

Perry, C. 1994. Projet Nipissis, Rapport sur les travaux de 1993. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, GM-54889.

Perry, C. 1995a. Projet Nipissis/Propriété Manitou 1088-1, Rapport des travaux menés en 1994 sur la partie est de la propriété, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, GM-54187.

Perry, C. 1995b. Rapport Nipissis, reconnaissance 94. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, GM-54890.

Perry, C., and Raymond, D. 1996. Le projet Nipissis de SOQUEM-IOC : un nouveau type de minéralisation cuprifère sur la Côte-Nord. In Programme et résumés 1996, Séminaire d'information sur la recherche géologique, Ministère des Ressources naturelles, Québec, DV 96-02, page 16.

Perry, C., and Roy, I. 1997. Propriété Manitou 1088-1. Rapport sur les travaux menés en 1995. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, GM-55005.

Pollard, P.J. 2000. Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-oxide Cu-Au mineralization. In *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective*. Edited by T.M. Porter. Australian Mineral Foundation, Adelaide: 27–41.

Pollard, P.J. 2001. Sodic (-calcic) alteration in Fe-oxide-Cu-Au districts: an origin via unmixing of magmatic $H_2O-CO_2-NaCl \pm CaCl_2-KCl$ fluids. *Mineralium Deposita*, 36: 93–100.

Richardson, C.K., and Holland, H.D. 1979. Fluorite deposition in hydrothermal systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43: 1327–1335.

Ripley, E.M. 1999. Systematics of sulphur and oxygen isotopes in mafic igneous rocks and related Cu-Ni-PGE mineralization. In *Dynamic Processes in Magmatic Ore Deposits and Their Application in Mineral Exploration*. Edited by R.R. Keays, C.M. Lesher, P.C. Lightfoot, and C.E.G. Farrow. Geological Association of Canada, Short Course Volume 13: 133–158.

Rivers, T., Martignole, J., Gower, C.F., and Davidson, A., 1989, New tectonic divisions of the Grenville province, Southeast Canadian Shield: *Tectonics*, v. 8, p. 63-84.

Roy, I. 1999. Projet Nipissis 1088-2, rapport sur les travaux d'exploration, campagne 1998. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, GM-58046.

Wodicka, N., David, J., Parent, M., Gobeil, A., and Verpaest, P. 2003. Géochronologie U-Pb et Pb-Pb de la région de Sept-Îles-Natashquan, Province de Grenville, moyenne Côte-Nord. In *Géologie et ressources minérales de la partie est de la Province de Grenville*. Edited by D. Brisebois and T. Clark. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, DV 2002-03: 59–117.

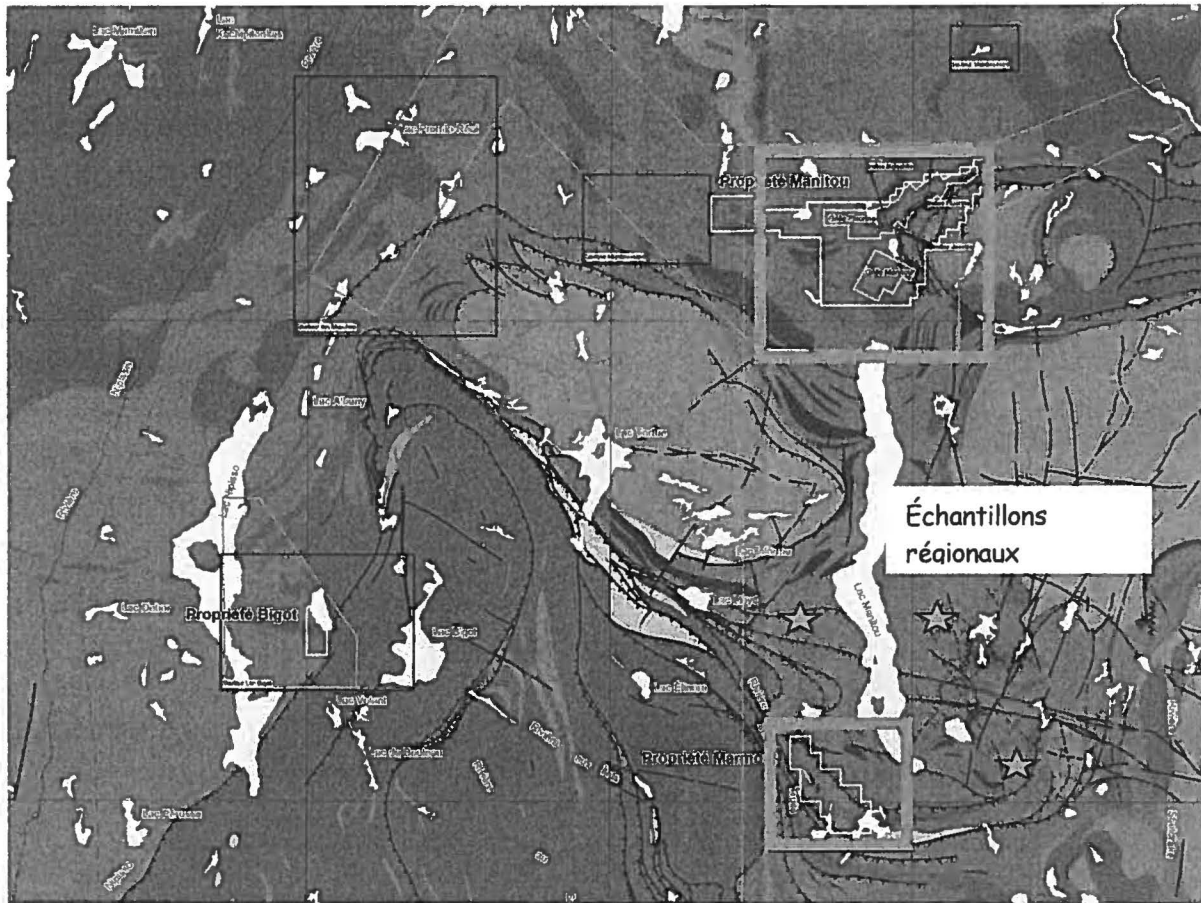


Figure 1 : Localisation des propriétés de Kwjijibo et de Marmont. [Retour au texte.](#)

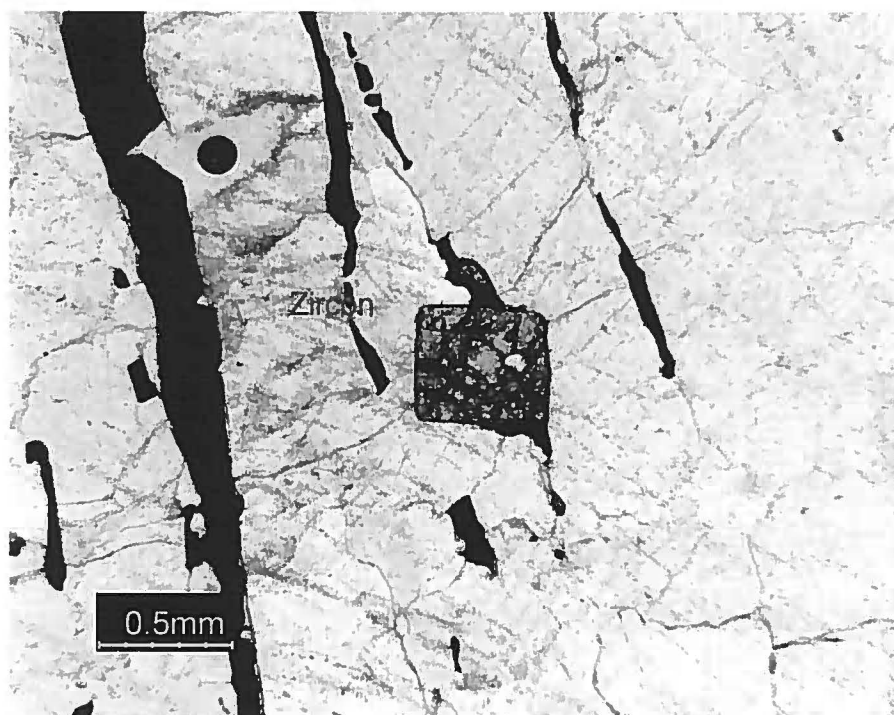
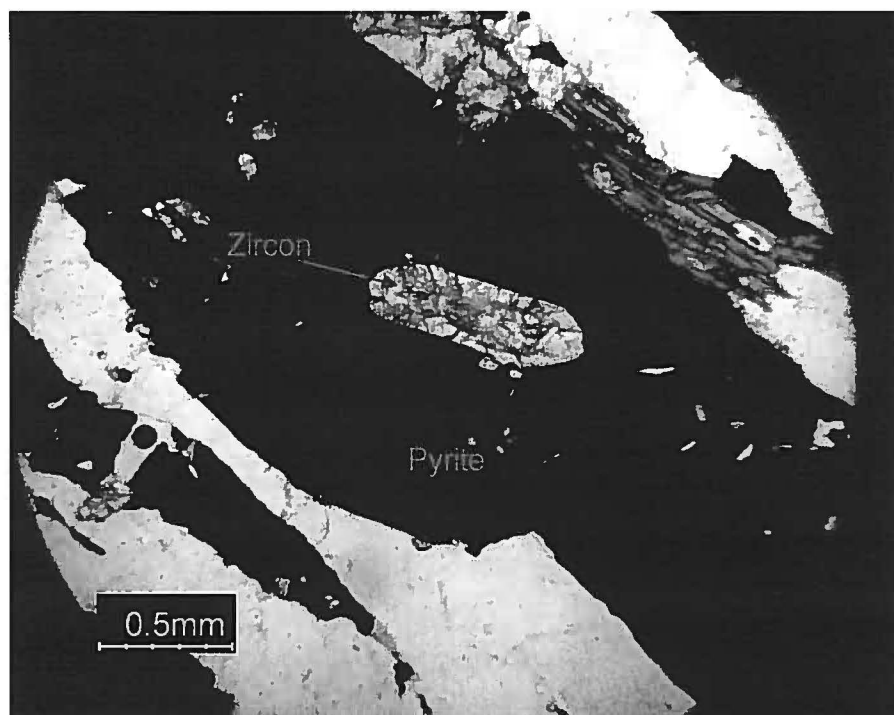


Figure 2: Zircon de type prismatique associé à la minéralisation, observé dans la propriété de Kwijibo. [Retour au texte.](#)

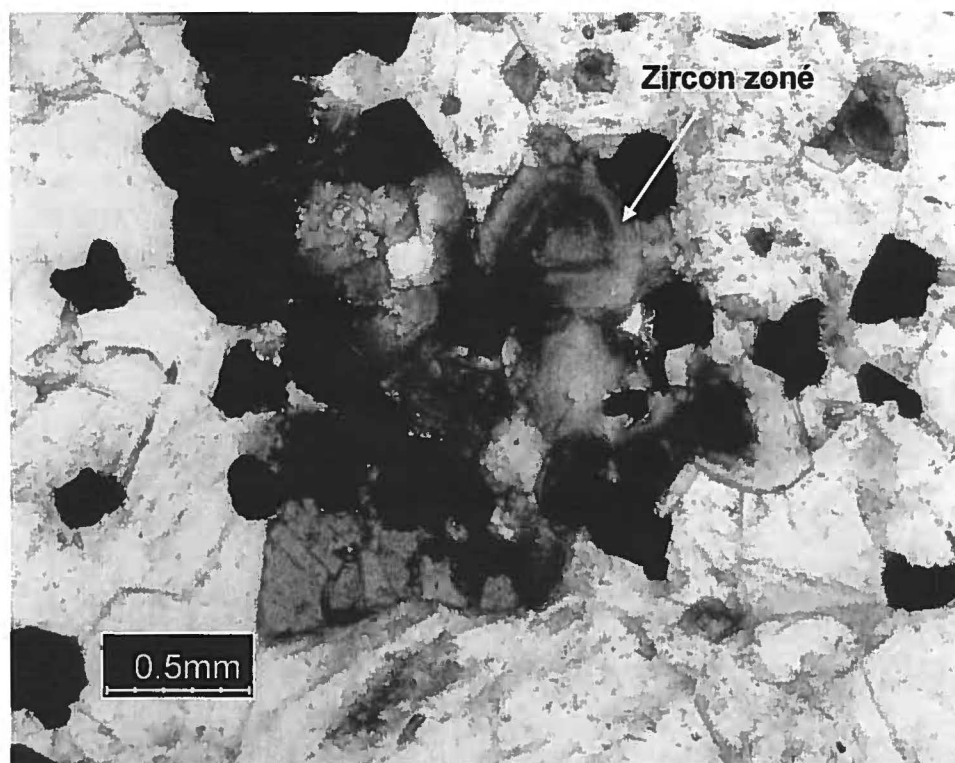


Figure 3: Photographie au microscope optique d'un zircon zoné associé à la minéralisation.
[Retour au texte.](#)

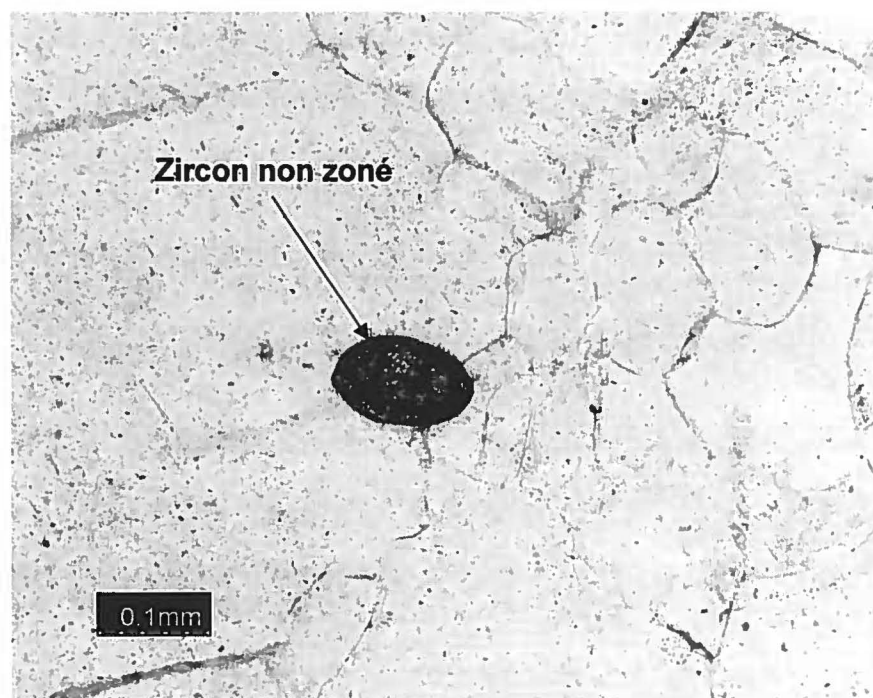
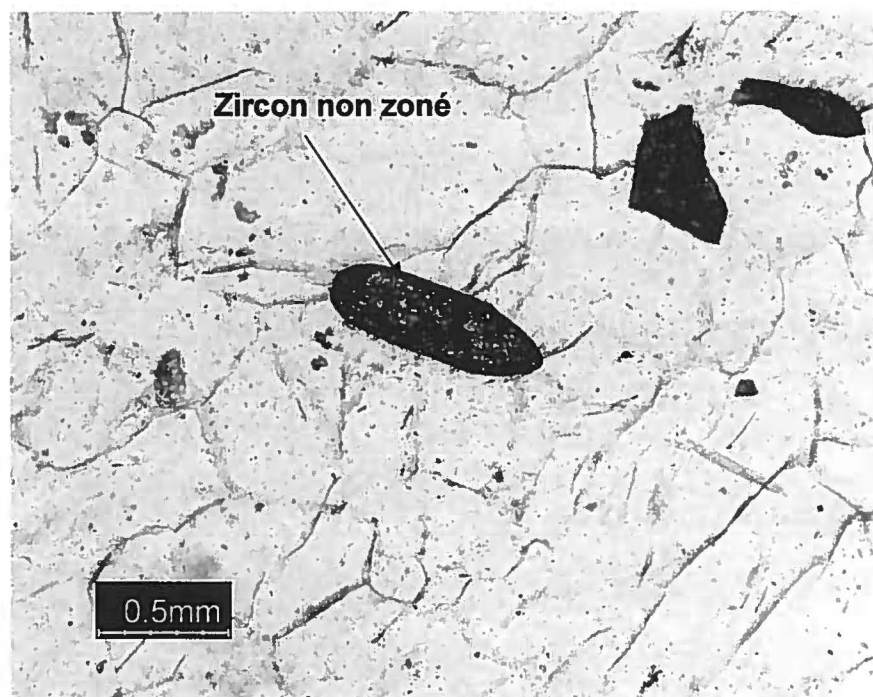


Figure 4: Photographie au microscope optique des zircons non zonés de la propriété de Marmont. [Retour au texte.](#)

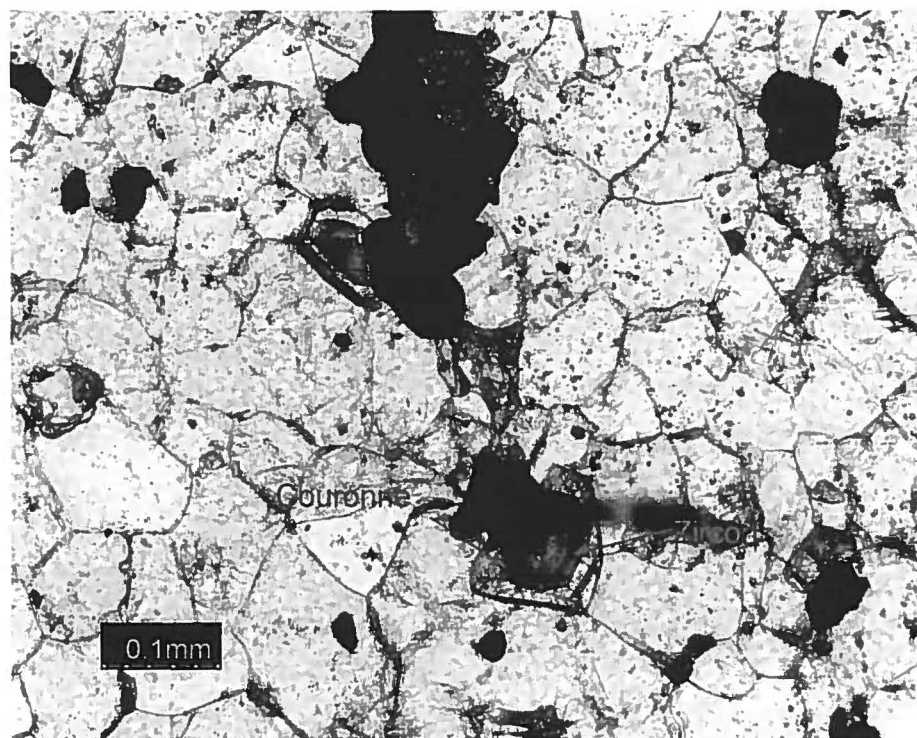
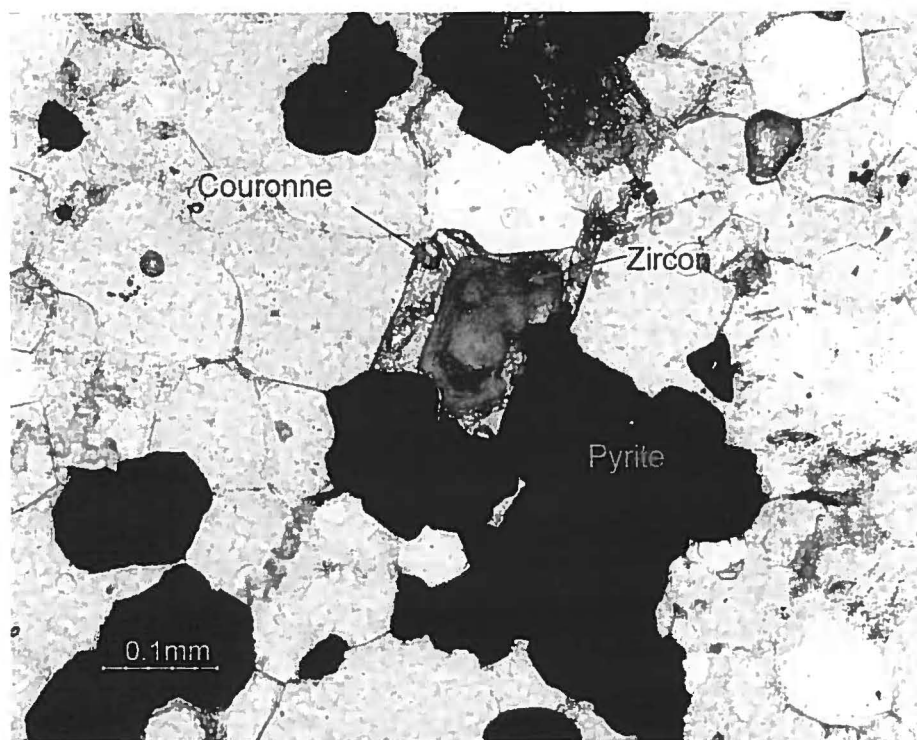


Figure 5 : Photographie au microscope optique des zircons entourés d'une couronne vitreuse de silicate. [Retour au texte.](#)

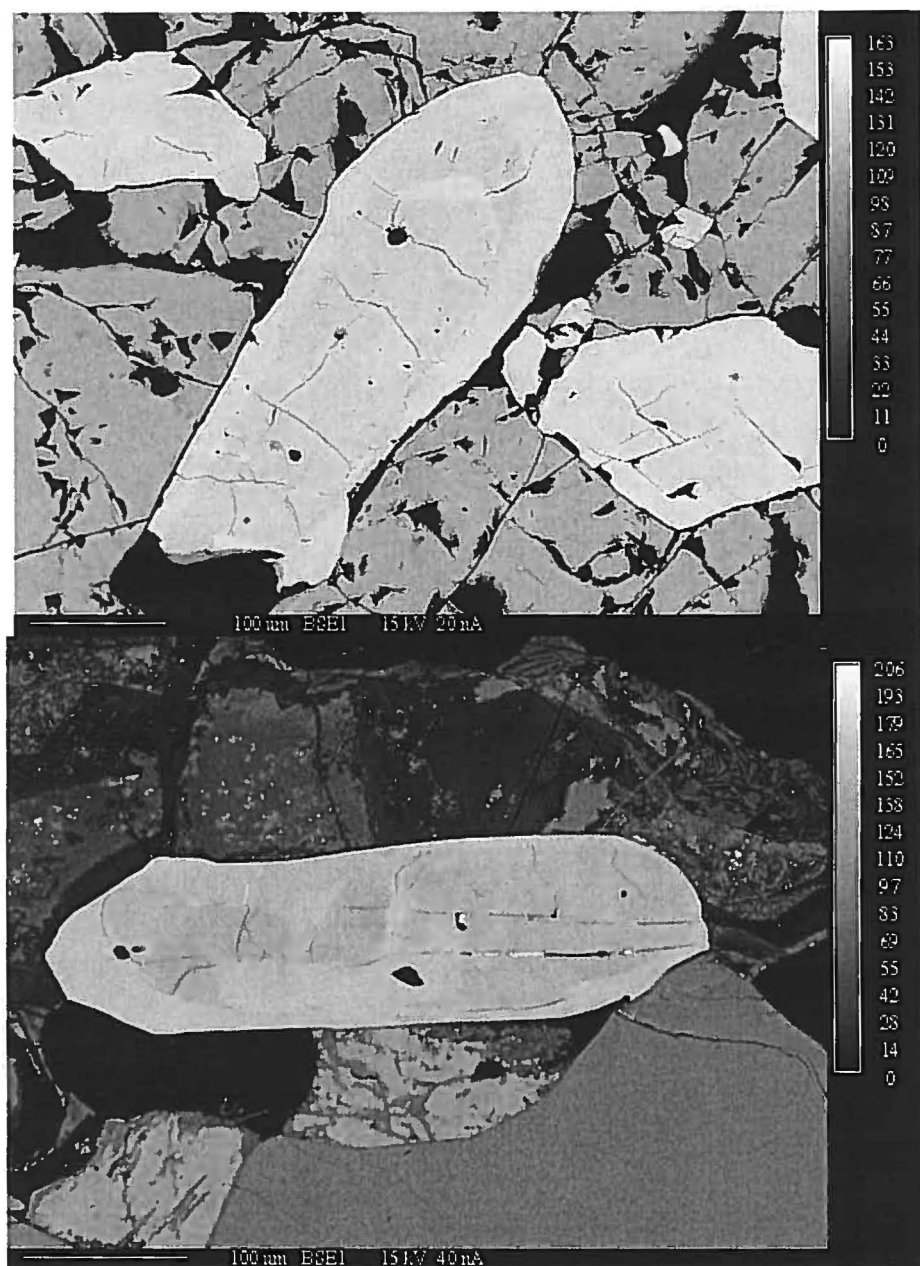


Figure 6: Photographie des zircons zonés provenant de la propriété de Kwyjibo observés à la microsonde. [Retour au texte.](#)

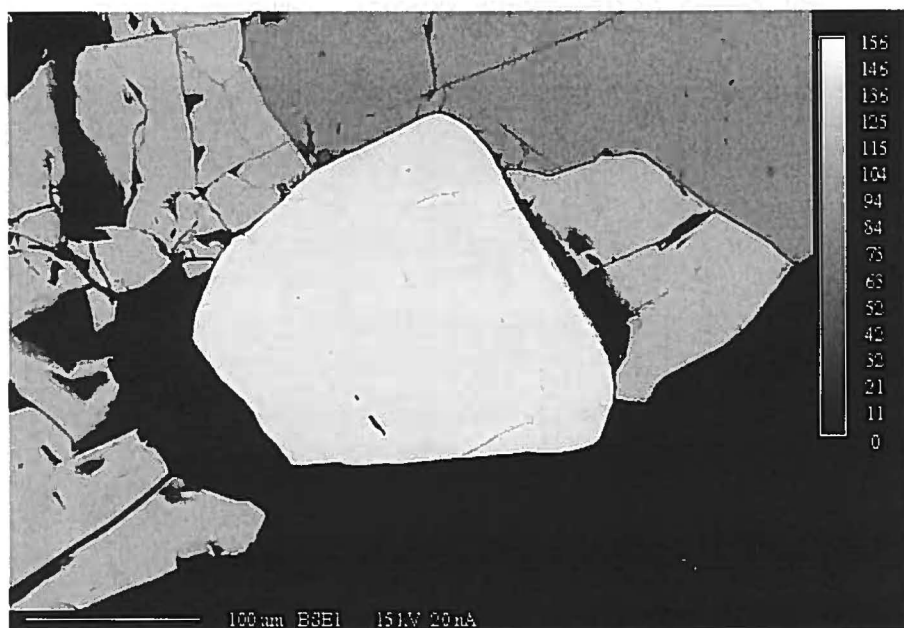


Figure 7 : Photographie de zircons non zonés issus des échantillons régionaux observés à la microsonde. [Retour au texte.](#)

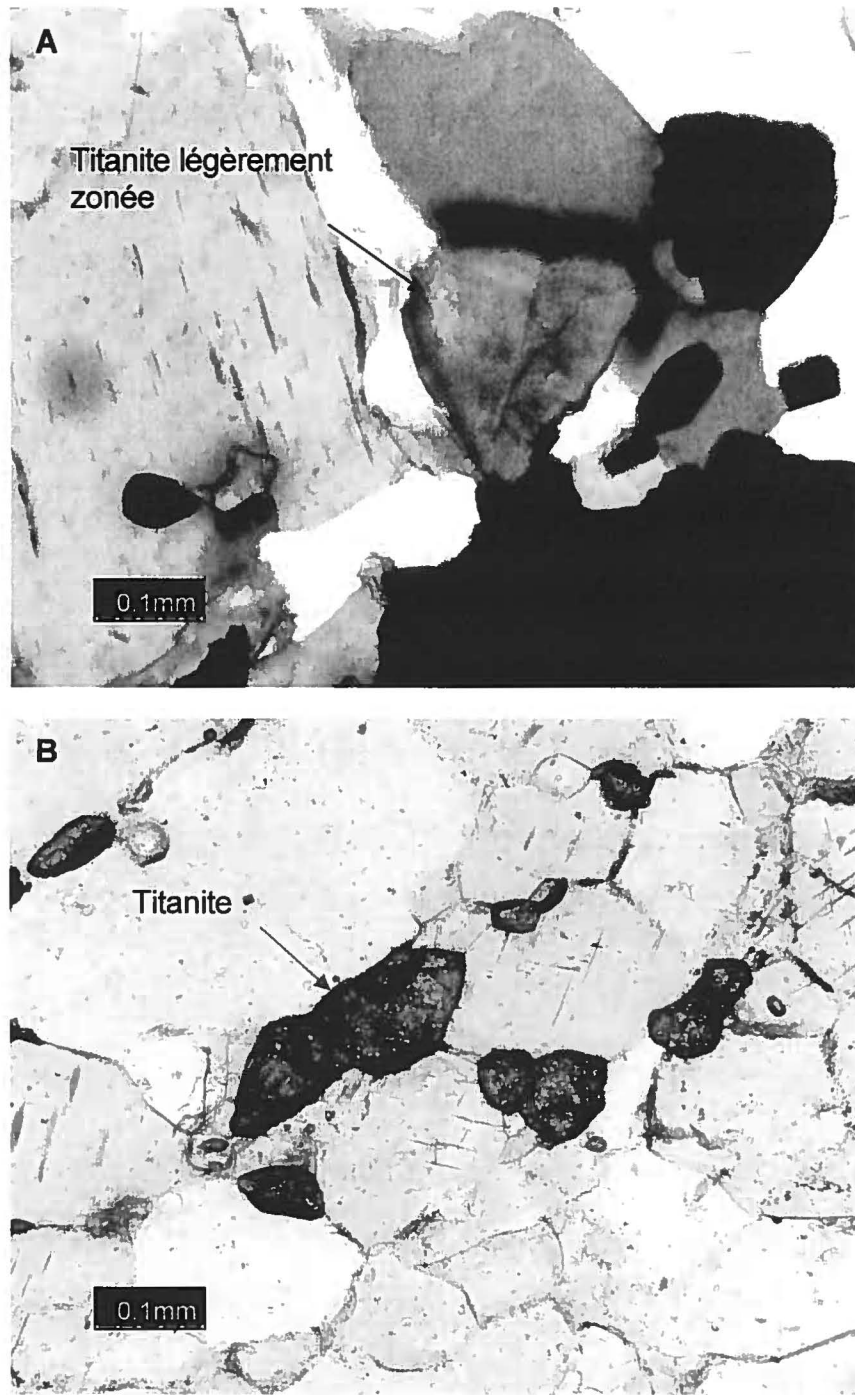


Figure 8: photographie de différents types de titanite observée (A) dans la propriété de Kwijibo et (B) dans la propriété de Marmont. [Retour au texte.](#)

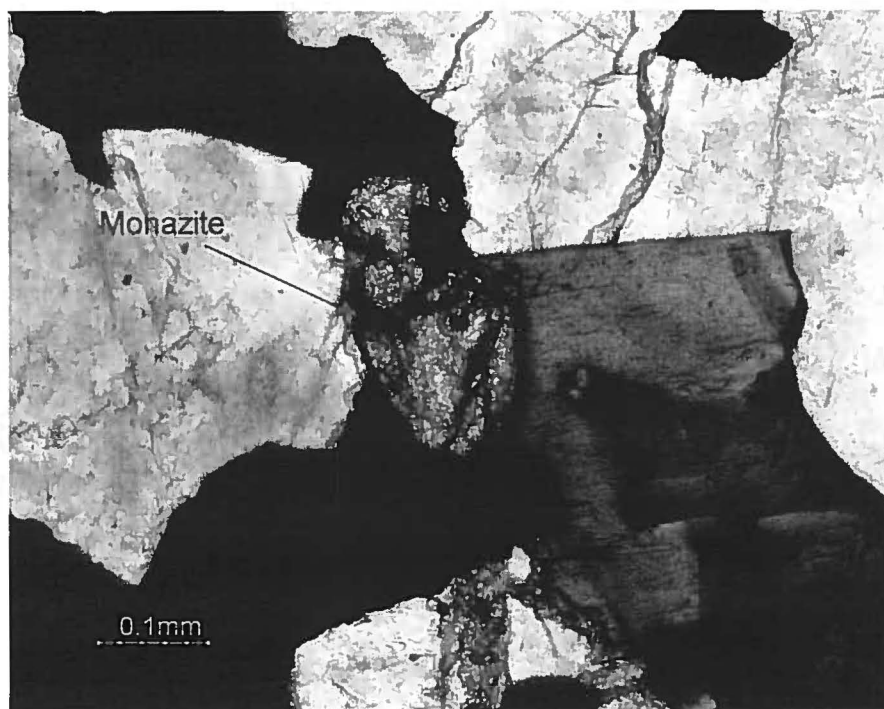


Figure 9: Photo prise au microscope électronique d'un minéral de monazite observé dans la propriété de Kwyjibo. [Retour au texte.](#)

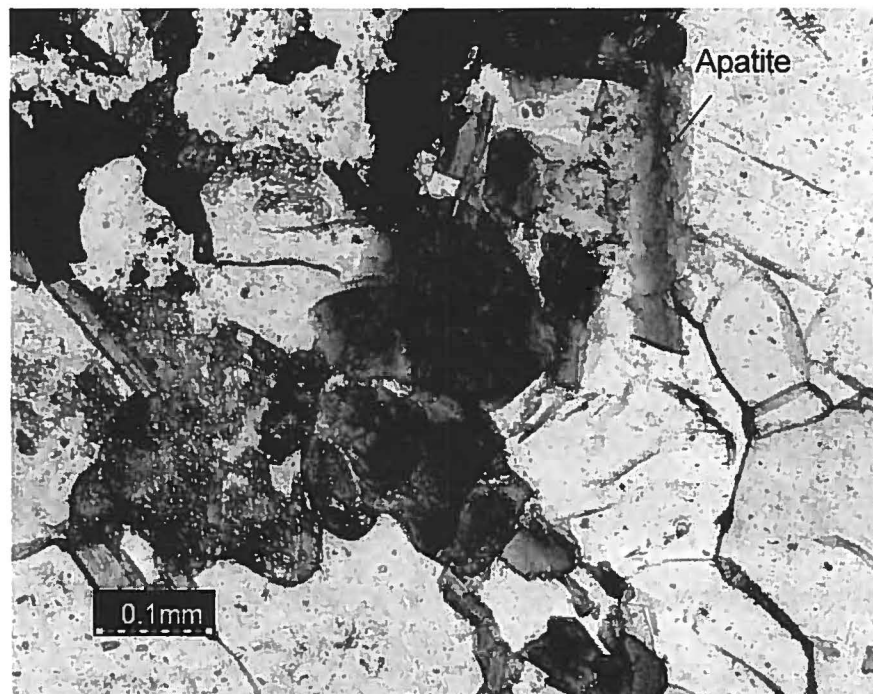


Figure 10: Photo prise au microscope optique d'une barre d'apatite observée dans les échantillons de la propriété de Marmont. [Retour au texte.](#)

	<i>Phase Tardif</i>	<i>Phase précoce</i>
Magnétite	-----	
Molybdène		-----
Pyrite		-----
Pyrrhotite		-----
Chalcopyrite		-----
Arsénopyrite		-----
Bornite		-----
Covelite		-----
Andradite		-----
Apatite	-----	-----
Biotite	-----	-----
Carbonates		-----
Chlorites		-----
Orthopyroxène	-----	
Clinopyroxène	-----	-----
Fluorite		-----
Grenat	-----	-----
Hornblende		-----
Microcline	-----	-----
Muscovite		-----
Plagioclases	-----	-----
Quartz	-----	-----
Rutile		-----
Titanite	-----	-----
Zircon	-----	-----
Epidote		-----
Monanzite		-----

Tableau 1: Positionnement des minéraux indicateurs, dans la séquence paragenétique régionale. [Retour au texte.](#)

Échantillons	Minéralisés	Moins minéralisés
	<i>Kwyjibo</i>	<i>Marmont</i>
Zircon	————	———
Apatite	———	————
Titanite	————	———
Monazite	————	———

Tableau 2: Tableau de fréquence des minéraux indicateurs en fonction des régions étudiées. [Retour au texte.](#)

	<i>Kwyjibo</i>	
	minéralisés	non minéralisés
<i>Zircon</i>	————	———
<i>Apatite</i>	———	————
<i>Titanite</i>	————	———
<i>Monazite</i>	————	———

Tableau 3: Fréquence des minéraux indicateurs par rapport aux lames minéralisées et moins minéralisées de la propriété de Kwyjibo. [Retour au texte.](#)

	<i>Marmont</i>	
	Moins minéralisés	non minéralisés
<i>Zircon</i>	————	———
<i>Apatite</i>	———	————
<i>Titanite</i>	———	———
<i>Monazite</i>	————	———

Tableau 4: Fréquence des minéraux indicateurs par rapport aux lames minéralisées et moins minéralisées de la propriété de Marmont. [Retour au texte.](#)

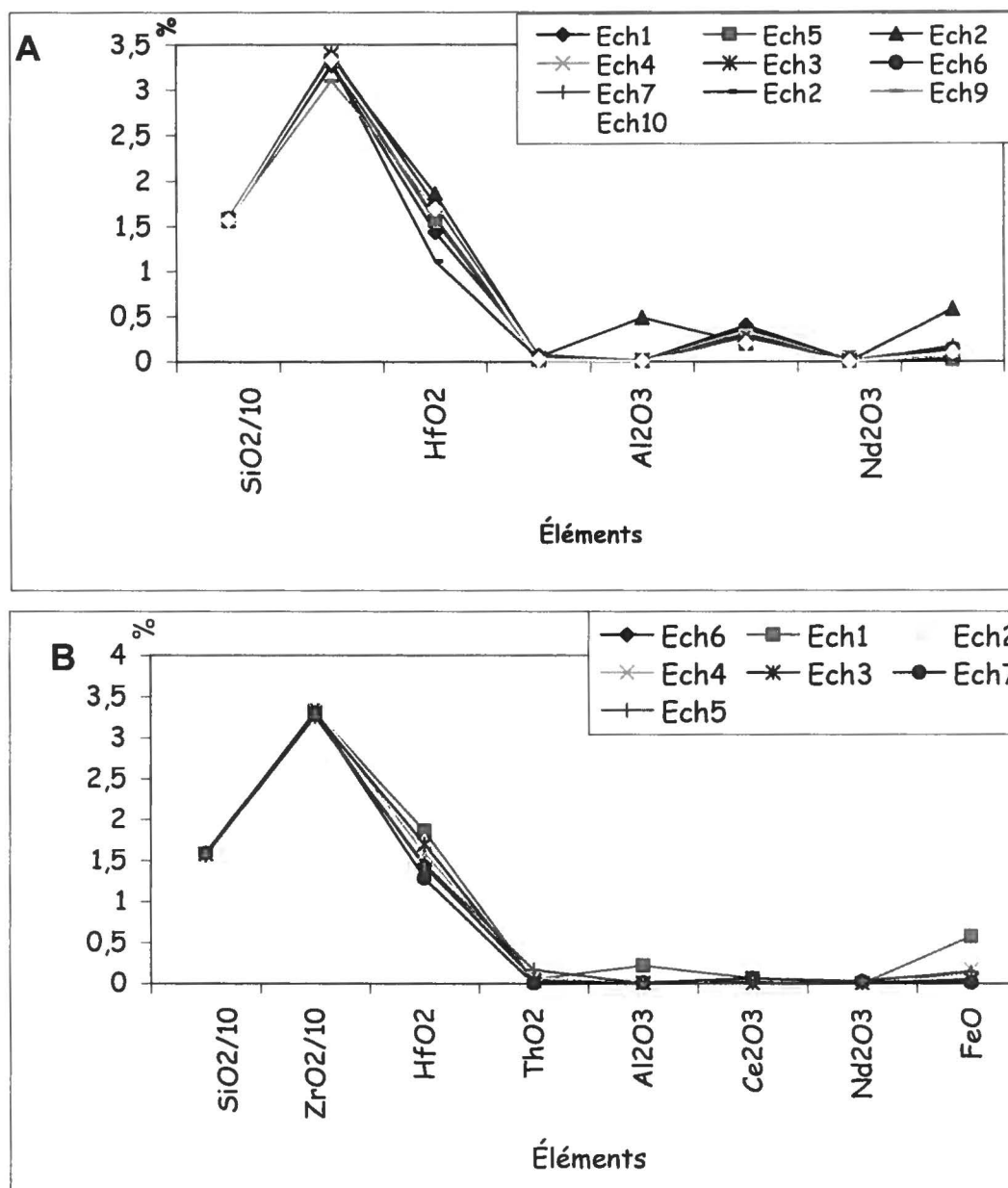


Figure 11: Diagrammes montrant le comportement des éléments des terres rares dans les zircons issus (A) de la propriété de Kwyjibo et (B) de la propriété de Marmont. [Retour au texte.](#)

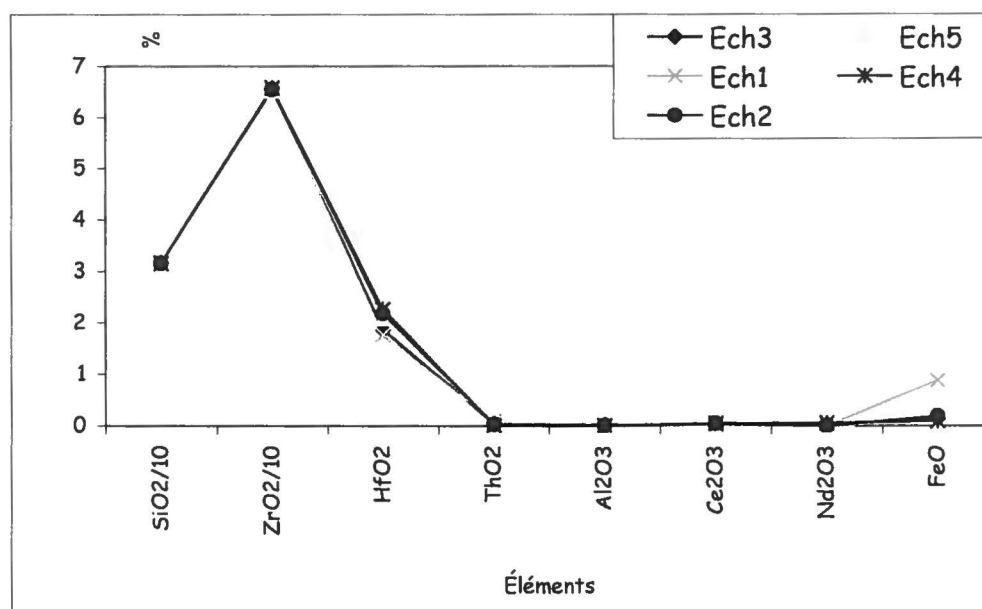


Figure 12: Diagrammes montrant le comportement des éléments des terres rares dans les zircons issus des échantillons régionaux. [Retour au texte.](#)

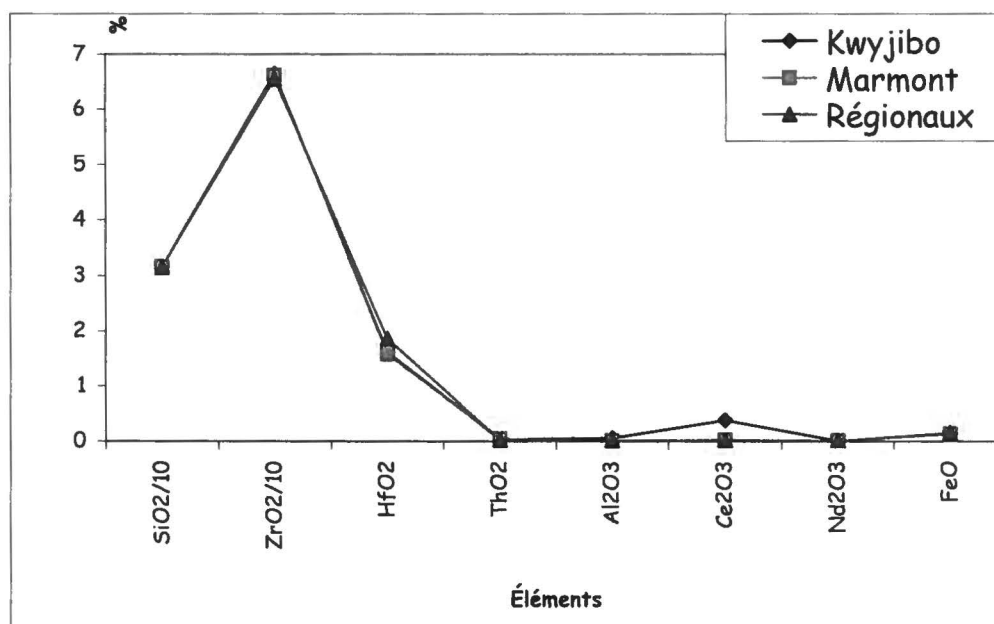


Figure 13: Diagramme résumant la moyenne des données faite sur les zircons provenant des trois propriétés étudiées (Kwyjibo, Marmont et régionaux). [Retour au texte.](#)

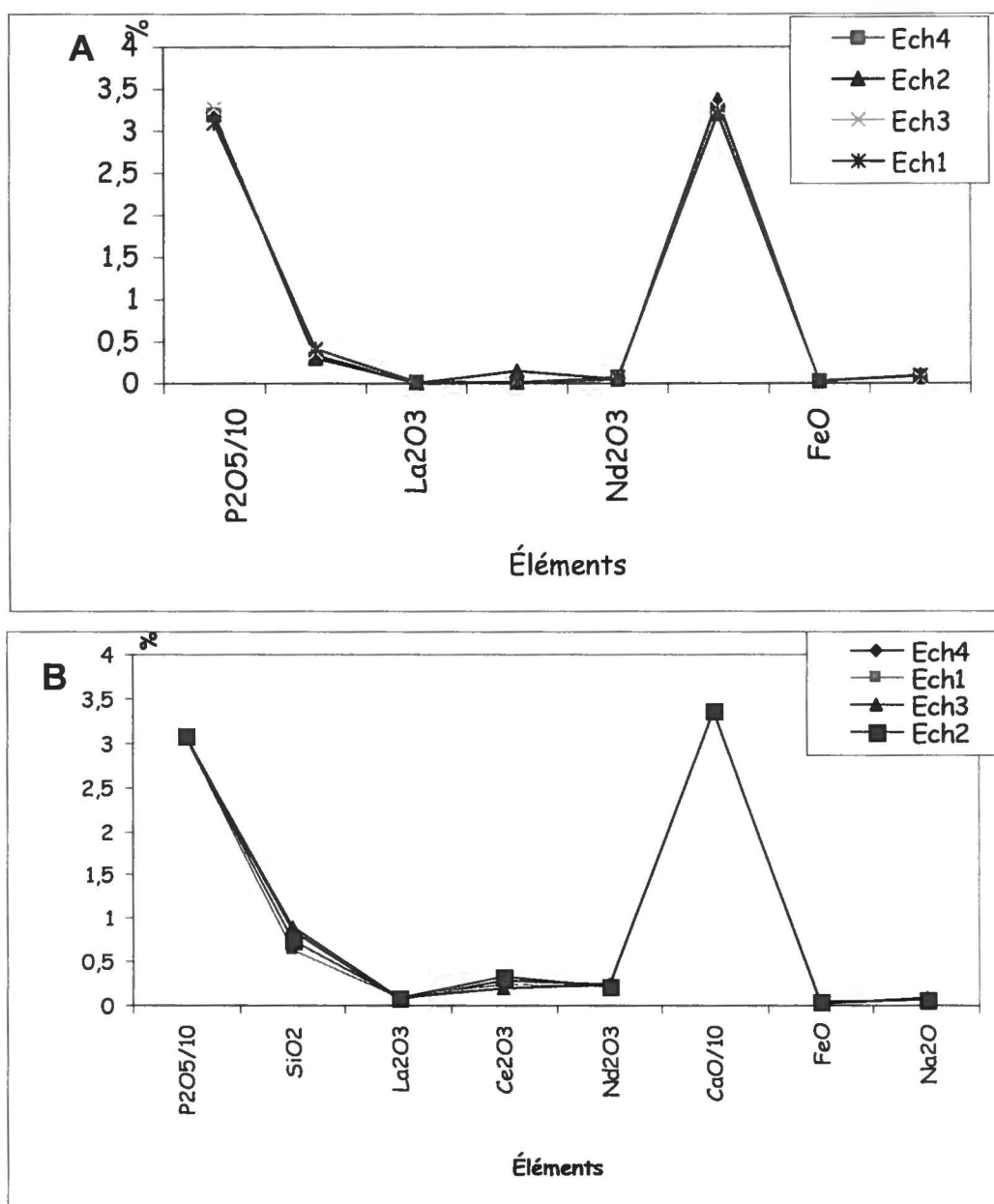


Figure 14: Diagramme montrant le comportement du cérium dans les apatites provenant de : (A) de la propriété de Kwyjibo et (B) de la propriété de Marmont. [Retour au texte.](#)

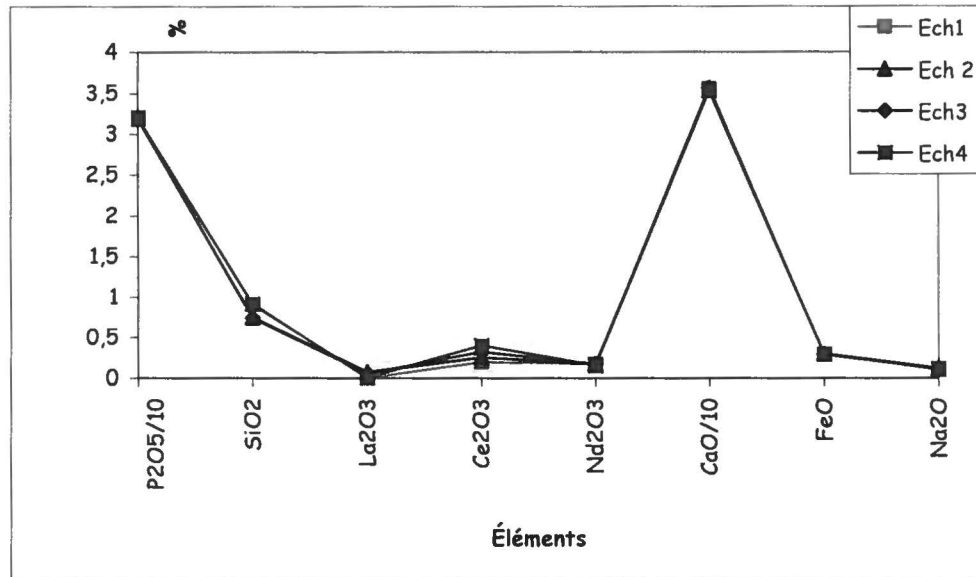


Figure 15: Diagramme montrant le comportement des éléments dans les apatites provenant des échantillons régionaux. [Retour au texte.](#)

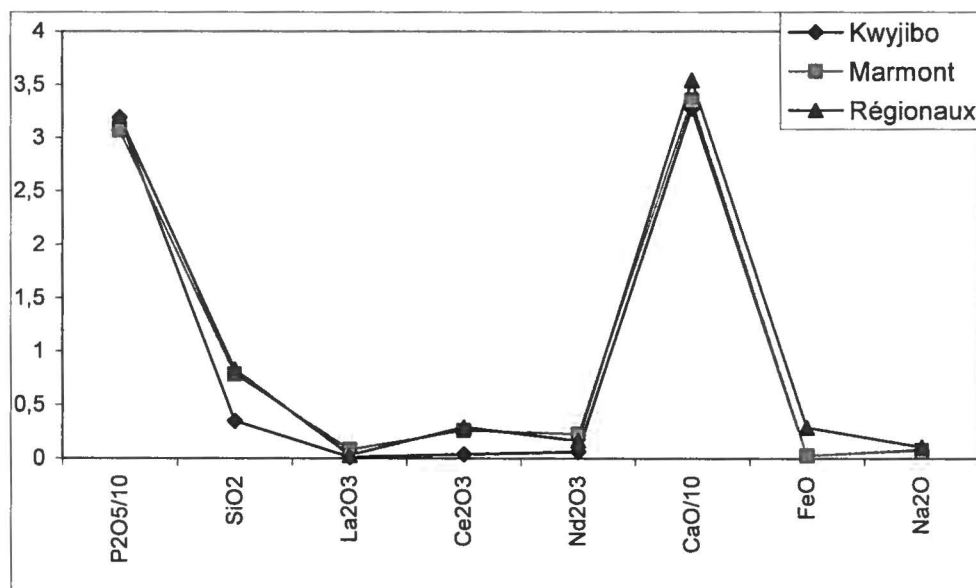


Figure 16: Diagramme récapitulatif montrant le comportement des terres rares dans l'apatite provenant des différentes propriétés étudiées. [Retour au texte.](#)

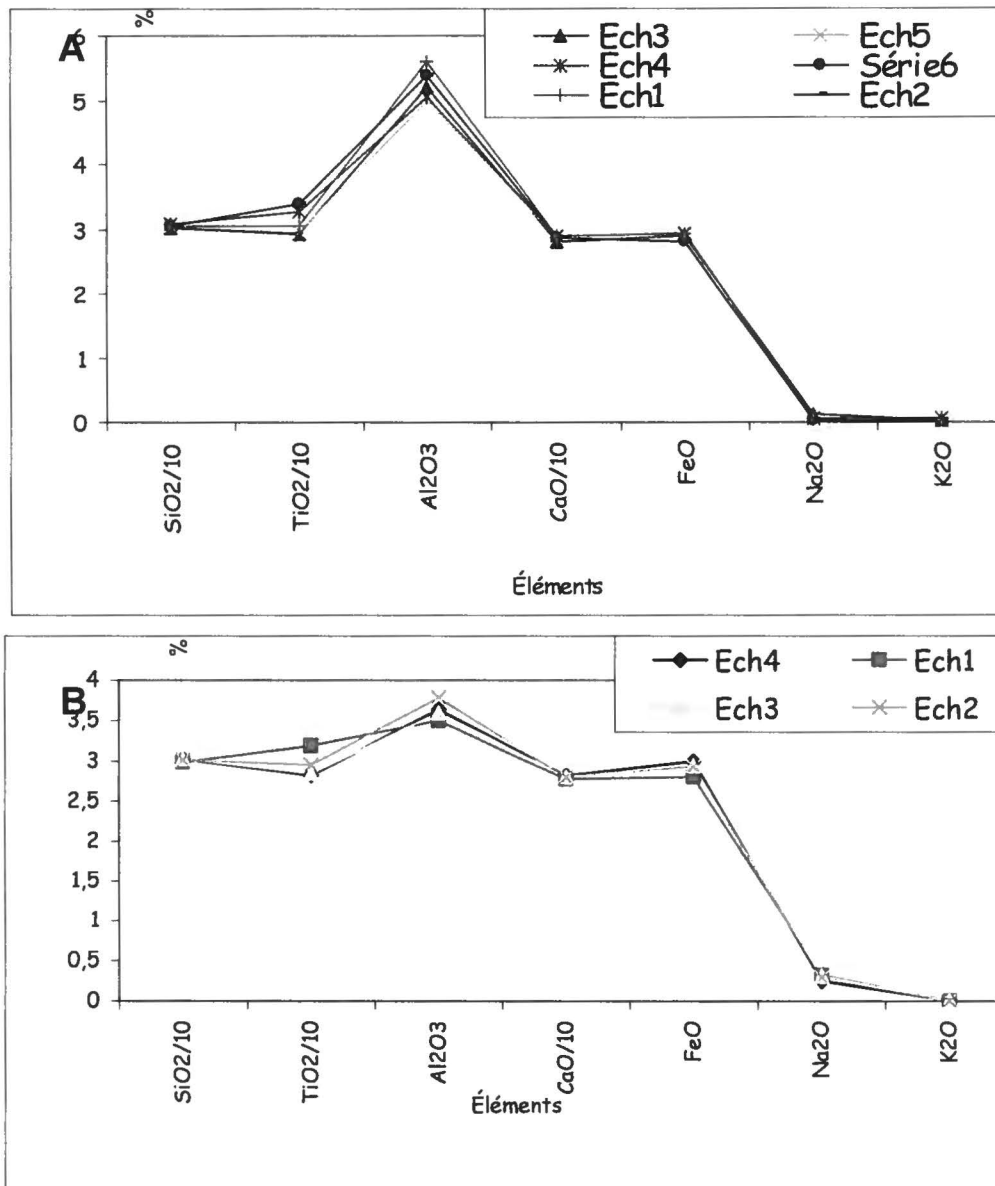


Figure 17: Diagramme montrant le comportement des éléments dans les titanites provenant des échantillons (A) de Kwyjibo et (B) de Marmont. [Retour au texte.](#)

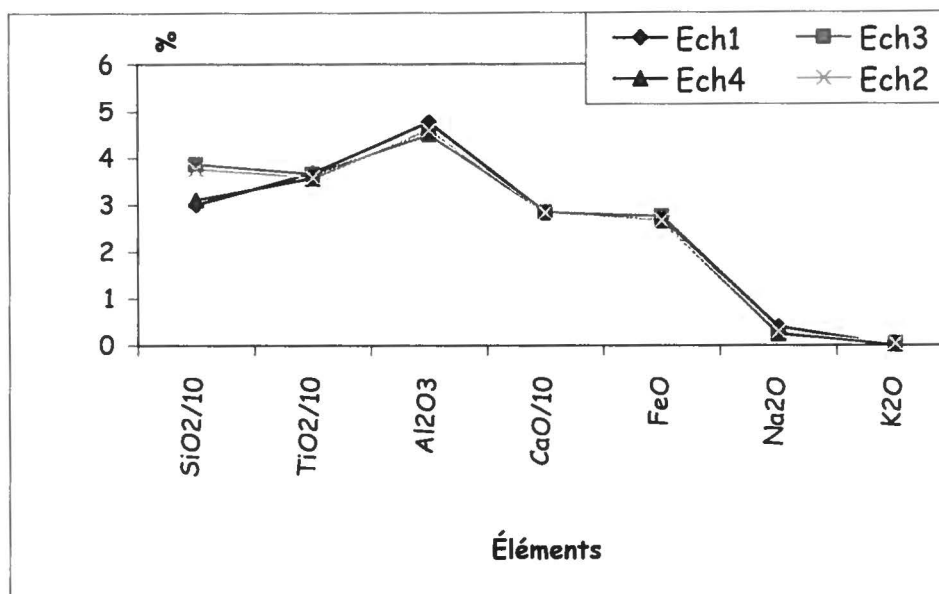


Figure 18: Diagramme montrant le comportement des éléments dans les titanites provenant des échantillons régionaux. [Retour au texte.](#)

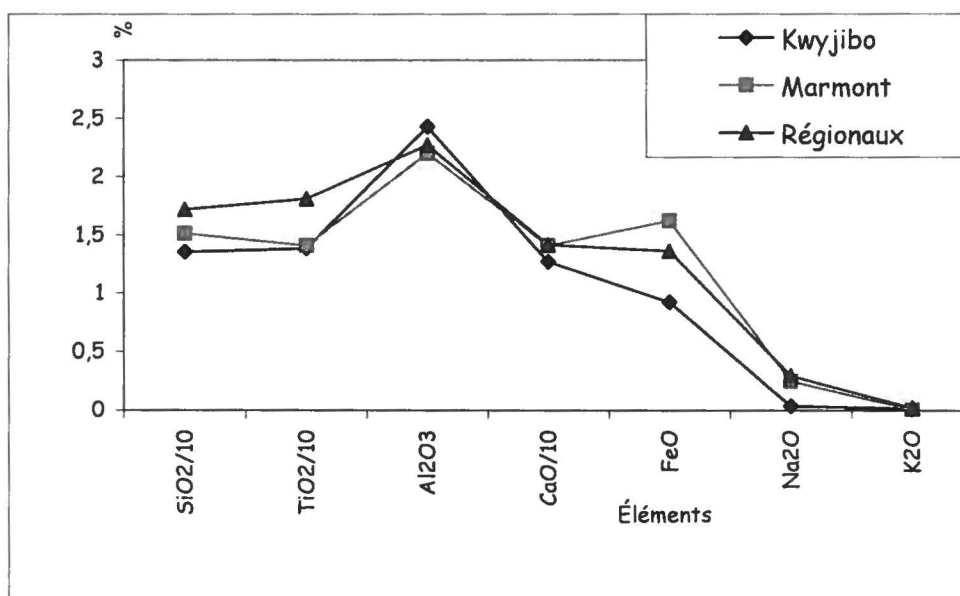


Figure 19: Diagramme récapitulatif, des mesures faites sur des titanites provenant des deux propriétés étudiées et des échantillons régionaux. [Retour au texte.](#)

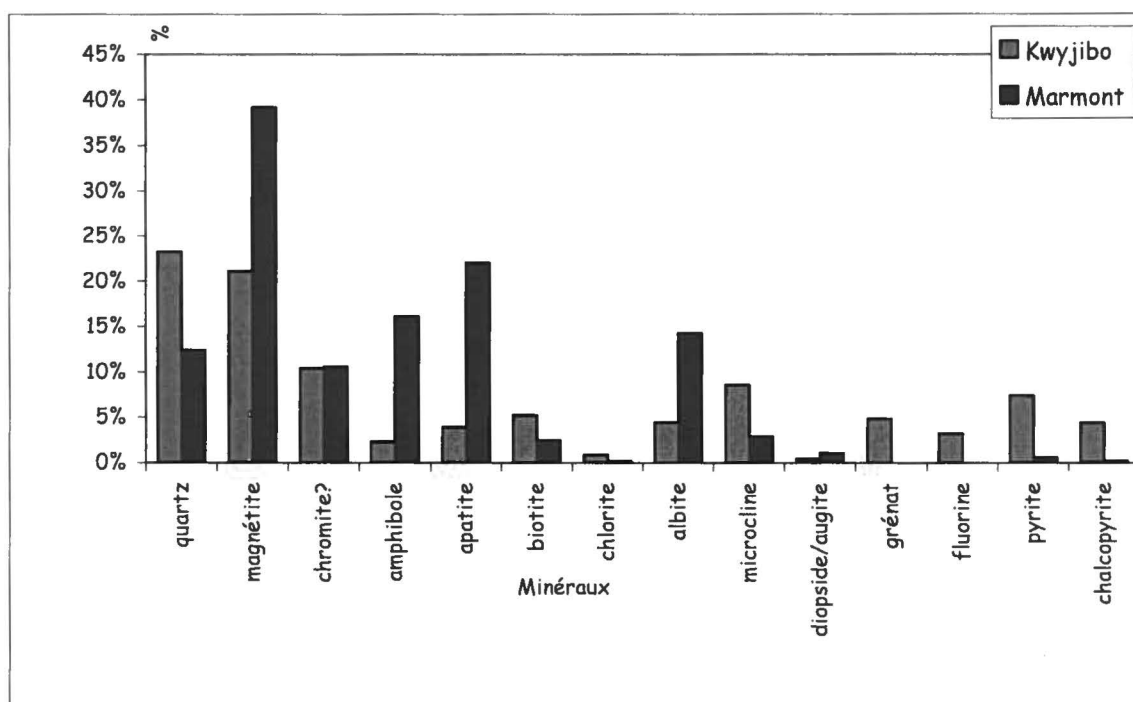


Figure 20 : Diagramme montrant les différents types de minéraux observés aux rayons X dans nos échantillons. [Retour au texte.](#)