



Comportement non-CHARAC: un outil pour l'identification des événements magmatiques potentiellement minéralisés

Olivier Blein, Louise Corriveau

► To cite this version:

Olivier Blein, Louise Corriveau. Comportement non-CHARAC: un outil pour l'identification des événements magmatiques potentiellement minéralisés. Québec Mines 2016, Nov 2016, Québec, Canada. hal-01488336

HAL Id: hal-01488336

<https://brgm.hal.science/hal-01488336>

Submitted on 13 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comportement non-CHARAC: un outil pour l'identification Des évènements magmatiques potentiellement minéralisés

Olivier Blein¹, et Louise Corriveau²

¹ BRGM, ISTO, UMR 7327, 3 av. Claude Guillemin, 45060 Orléans cedex 2, France

² NRCan, Commission géologique du Canada, 490 rue de la Couronne, Québec, QC, G1K 9A9

Résumé

Les paramètres qui contrôlent le comportement des éléments traces dans les systèmes magmatiques et aqueux ont été étudiés en analysant la distribution de l'Y, des éléments terres rares (ETRs), du Zr et de l'Hf. Si un système géochimique est caractérisé par un comportement des éléments traces de type CHARAC (CHARGE-and-RADIUS-Controlled), les éléments de charge et rayon similaires, comme les paires Y-Ho et Zr-Hf, présentent des comportements cohérents, et conservent des rapports chondritiques. De plus, les spectres d'ETRs seront des fonctions lissées dépendant du rayon ionique et du nombre atomique.

En revanche, les solutions aqueuses et leurs précipités présentent des rapports Y/Ho et Zr/Hf non-chondritiques, et des spectres d'ETRs irréguliers. Le processus important, qui cause le fractionnement des éléments traces dans ce média aqueux, est la complexation chimique. Par conséquent, par opposition aux liquides silicatés purs, les systèmes aqueux sont caractérisés par un comportement des éléments traces non-CHARAC, et la structure électronique doit être considérée comme un paramètre additionnel important.

Les magmas riches en silice qui sont généralement riches en H₂O, Li, B, F, P et/ou Cl, sont transitionnels entre des liquides silicatés purs et des fluides hydrothermaux. Dans de tels systèmes transitionnels un comportement non-CHARAC des éléments traces peut être dû à une complexation chimique avec une grande variété de liants, conduisant à des coefficients de partition minéral/liquide (magmatique ou aqueux) extrêmement sensibles à la structure et à la composition du magma.

Il a été montré que le comportement des éléments traces dans des magmas évolués riches en H₂O, Li, B, F, P et/ou Cl ressemble au comportement des éléments traces dans des liquides aqueux, et est clairement différent de leur comportement dans des liquides silicatés purs.

D'après Jowitt (2013), des magmas riches en fluor peuvent avoir une influence positive sur la formation de gîtes de type IOCG et associés, comme par exemple le lien existant entre le magmatisme de type LIP de Gawler riche en F et le gîte riche en F d'Olympic Dam. Les fluides riches en F dérivant de magmas riches en silice seraient capables de transporter de fortes concentrations d'un large éventail d'éléments, comme les terres rares et l'U. Cette connexion suggère que les magmas riches en F peuvent avoir un rôle important dans la formation de gîtes de type IOCG, et indique que les intrusions associées aux magmas de type LIP riches en F pourraient être des cibles éventuelles pour les dépôts de type IOCG et associés.

La présence de F pourrait être tracée en utilisant le comportement non-CHARAC des éléments traces dans les roches magmatiques. Il en va de même pour les unités métasomatiques dont la spéciation des éléments terres rares est elle aussi influencée par les éléments volatils dont le fluor (Montreuil et al., 2016a, b).

Diagramme des rapports Y/Ho en fonction des rapports Zr/Hf montrant les champs de l'eau de mer, des encroûtements marins à Fe-Mn, de la fluorine au sien de veines hydrothermales, des chondrites et le champ des comportements CHARAC (Bau, 1996).

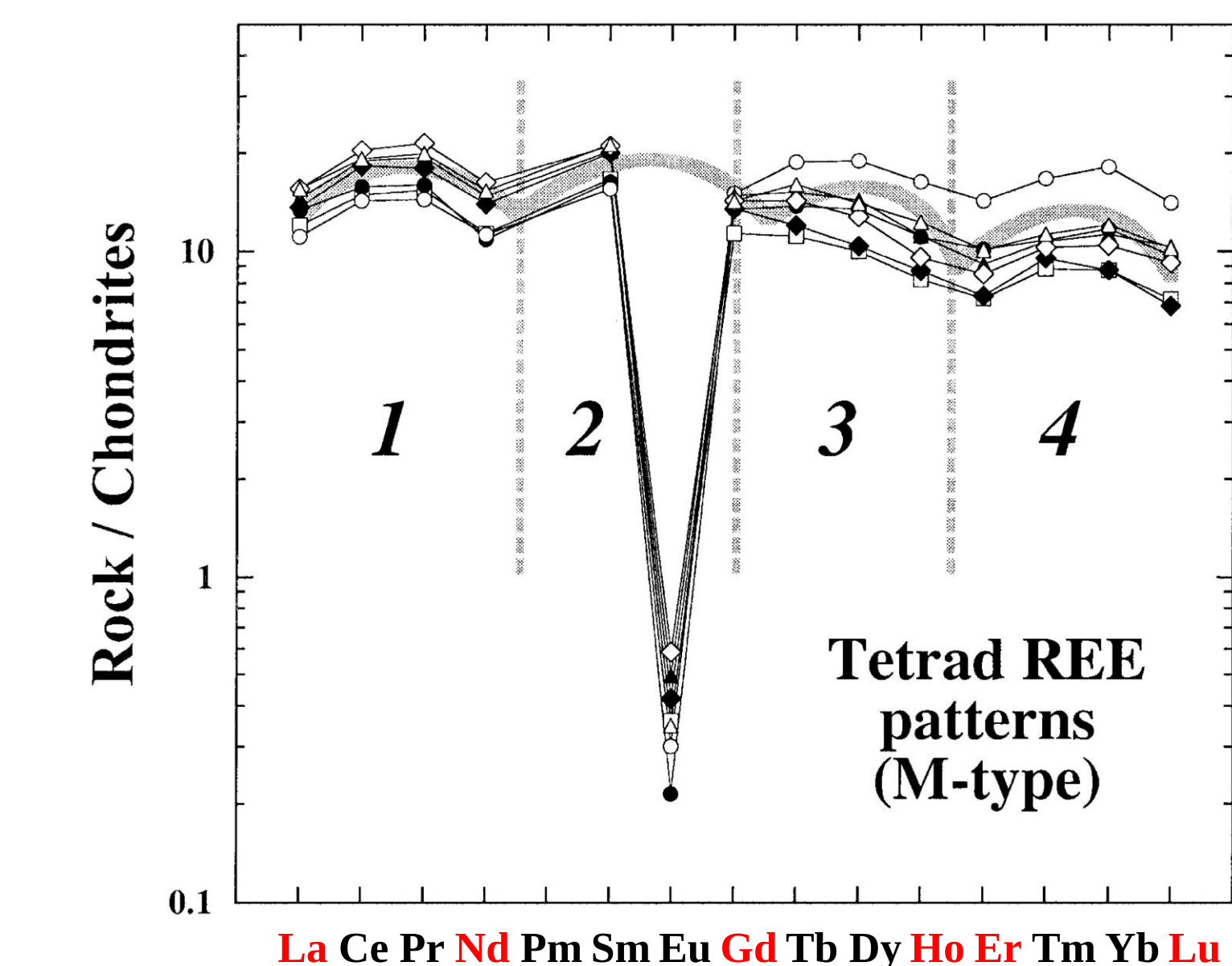
Plot of Y/Ho ratio versus Zr/Hf ratio showing fields of seawater, hydrothermal marine Fe-Mn crusts and fluorite within hydrothermal veins in comparison to chondrite and the CHARAC field (Bau, 1996).

Abstract

The parameters which control the behavior of trace elements in magmatic and aqueous systems have been investigated by studying the distribution of yttrium, rare-earth elements (REEs), zirconium, and hafnium. If a geochemical system is characterized by CHARGE-and-RADIUS-Controlled (CHARAC) trace element behaviour, elements of similar charge and radius, such as the Y-Ho and Zr-Hf twin pairs, should display extremely coherent behaviour, and retain their respective chondritic ratio. Moreover, normalized patterns of REE should be smooth functions of ionic radius and atomic number.

In contrast, aqueous solutions and their precipitates show non-chondritic Y/Ho and Zr/Hf ratios, and irregular REE patterns. An important process that causes trace element fractionation in aqueous media is chemical complexation. Hence, in contrast to pure melt systems, aqueous systems are characterized by non-CHARAC trace element behaviour, and electronic structure must be considered as an important additional parameter.

High-silica magmatic systems which are rich in H₂O, Li, B, F, P, and/or Cl, are transitional between pure silicate melts and hydrothermal fluids. In such a transitional system non-CHARAC behavior of trace elements may be due to chemical complexation with a wide variety of ligands, leading to absolute and



L'effet de tétrade sur la distribution des éléments terres rares (REE). Les patrons de REE sont séparés en quatre segments avec des points limites localisés (1) entre Nd et Pm, (2) à Gd et (3) entre Ho et Er.

The tetrad effect of REE distribution. REE patterns are separated in four segments with the boundary points located (1) between Nd and Pm, (2) at Gd et (3) between Ho et Er.

Quantification de la taille de l'effet de tétrade

La taille de l'effet de tétrade des REE est décrite par la déviation standard des concentrations normalisées aux chondrites des deux éléments centraux (x_{Bi} et x_{Ci}) de la tétrade par rapport à la ligne droite qui relie les valeurs du premier (x_{Ai}) et du dernier élément (x_{Di}). La

$$T_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \left(\left(\frac{x_{Bi}}{x_{Ai}^{2/3} x_{Di}^{1/3}} - 1 \right)^2 + \left(\frac{x_{Ci}}{x_{Ai}^{1/3} x_{Di}^{2/3}} - 1 \right)^2 \right)^{1/2}$$

Ti est égal à zéro si les quatre éléments sont alignés et Ti est supérieur à zéro si le segment est soit concave soit convexe. Une valeur de T peut être calculée pour chacune des trois tétrades (La-Nd, Hd-Ho, Er-Lu). Pour être significatives, les effets de tétrade doivent avoir des valeurs de Ti supérieures à 0,2.

Quantification of the size of the tetrad effect

The size of the tetrad effect of REE distribution is better described by the relative standard deviation of the chondrite normalized concentrations of the two central elements (x_{Bi} and x_{Ci}) within the tetrad from a straight line that connects the contents of the first (x_{Ai}) and the last element (x_{Di}). The Relative standard deviation is given by Ti.

Ti is zero if the four elements plots on a straight line whereas $Ti > 0$ if the branch is either convex or concave. The value of Ti should be calculated from all three tetrads (La-Nd, Gd-Ho, Er-Lu). Significant tetrad effects should therefore have Ti values exceeding 0.2.

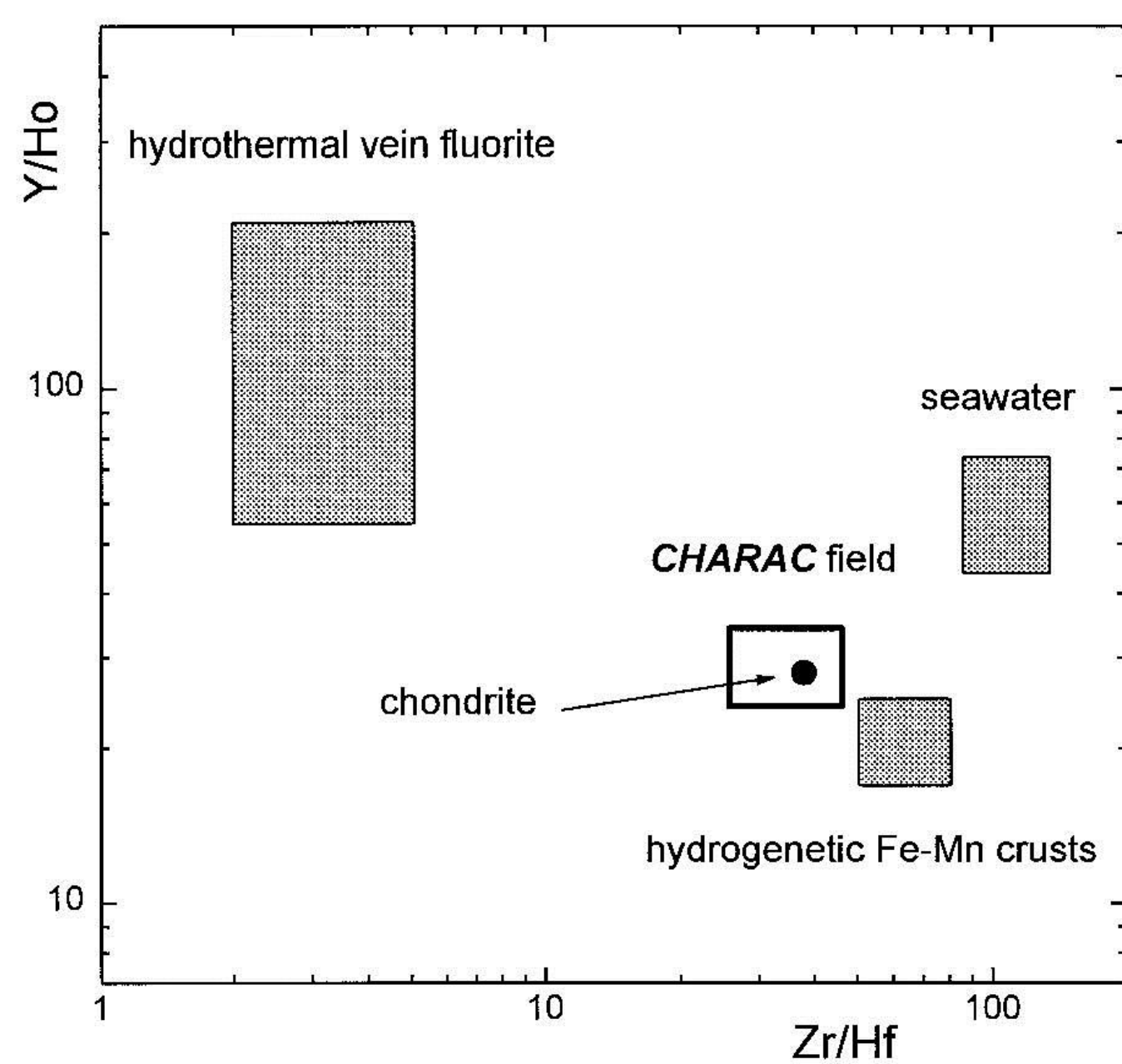


Diagramme des rapports Y/Ho en fonction des rapports Zr/Hf montrant les champs de l'eau de mer, des encroûtements marins à Fe-Mn, de la fluorine au sien de veines hydrothermales, des chondrites et le champ des comportements CHARAC (Bau, 1996).

Plot of Y/Ho ratio versus Zr/Hf ratio showing fields of seawater, hydrothermal marine Fe-Mn crusts and fluorite within hydrothermal veins in comparison to chondrite and the CHARAC field (Bau, 1996).

relative mineral/melt or mineral/aqueous fluid partition coefficients that are extremely sensitive to the composition and structure of the magma.

It will be shown that the behavior of the trace elements in highly evolved H₂O, Li, B, F, P, and/or Cl-rich magmas resembles trace element behaviour in aqueous fluids, and is clearly different from trace element behaviour in pure silicate melts.

According to Ernst and Jowitt (2013), high fluorine content magmas may have a positive influence on the formation of IOCG and associated deposits, exemplified by the causal link between high-F Gawler Craton LIP and the high-F Olympic Dam deposit. F-rich fluids derived from silicic magmas could enable the transport of high concentrations of a wide range of element, such as the REE and U. This connection suggests that F-rich magmas may have an important role in the formation of IOCG deposits, and indicates that intrusions associated with high-F LIP magmas may be highly prospective targets for IOCG and associated deposits.

The presence of F could be traced using the non-CHARAC trace element behavior in magmatic rocks. This approach can also be applied to the metasomatic rocks where rare earth speciations is influenced by the presence of fluor as shown by Montreuil et al. (2016a, b).

Exemples magmatiques

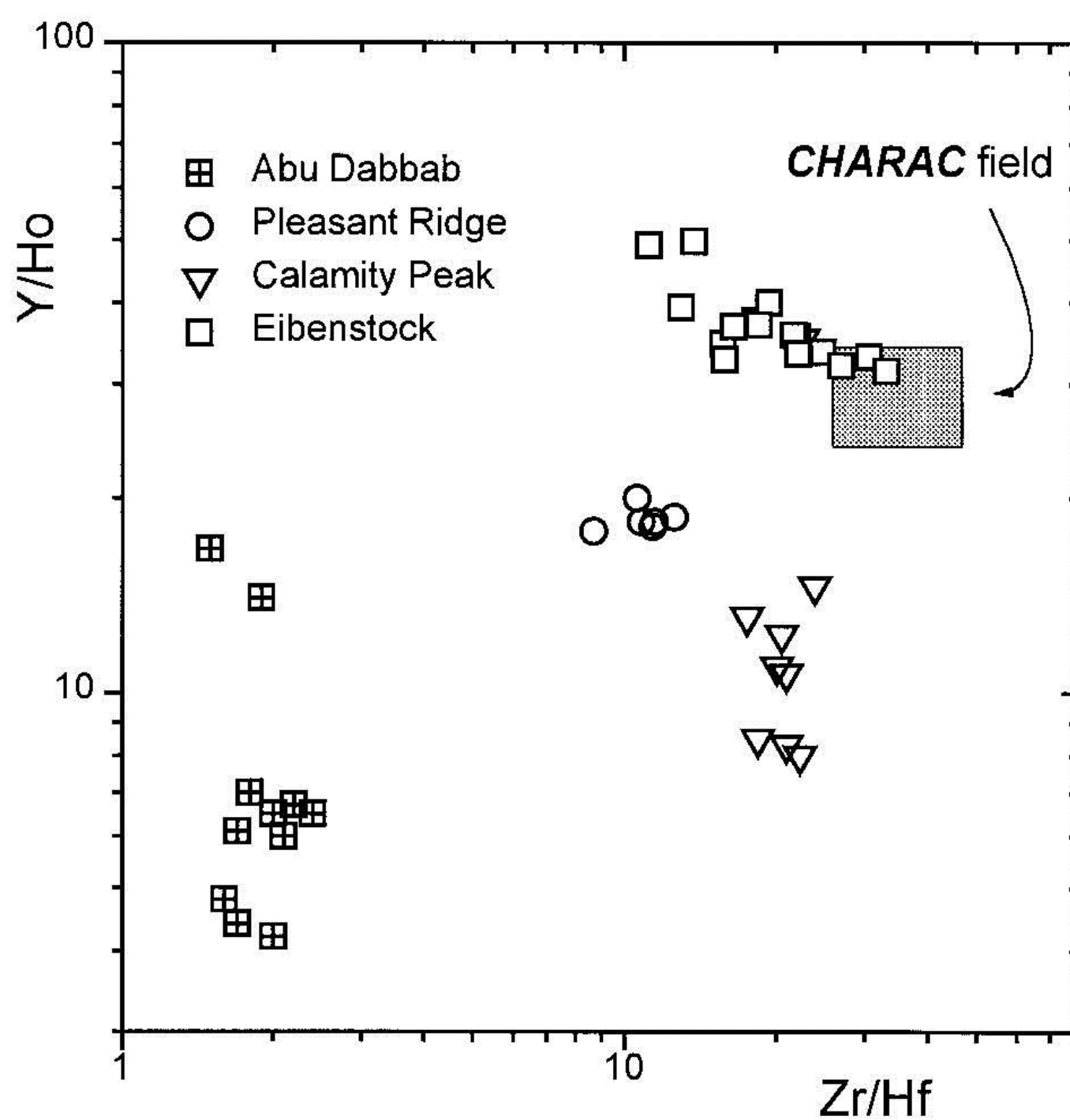
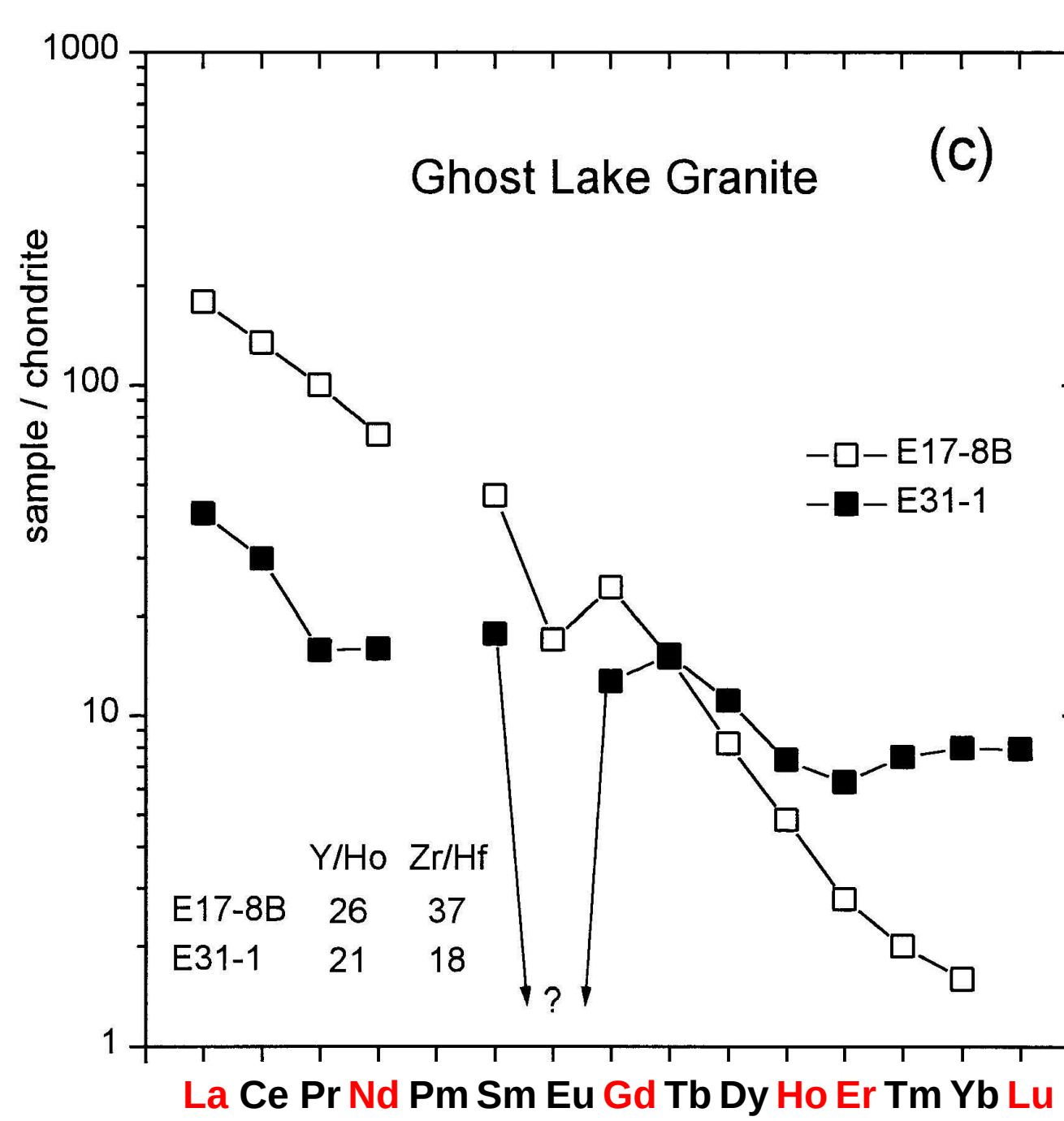
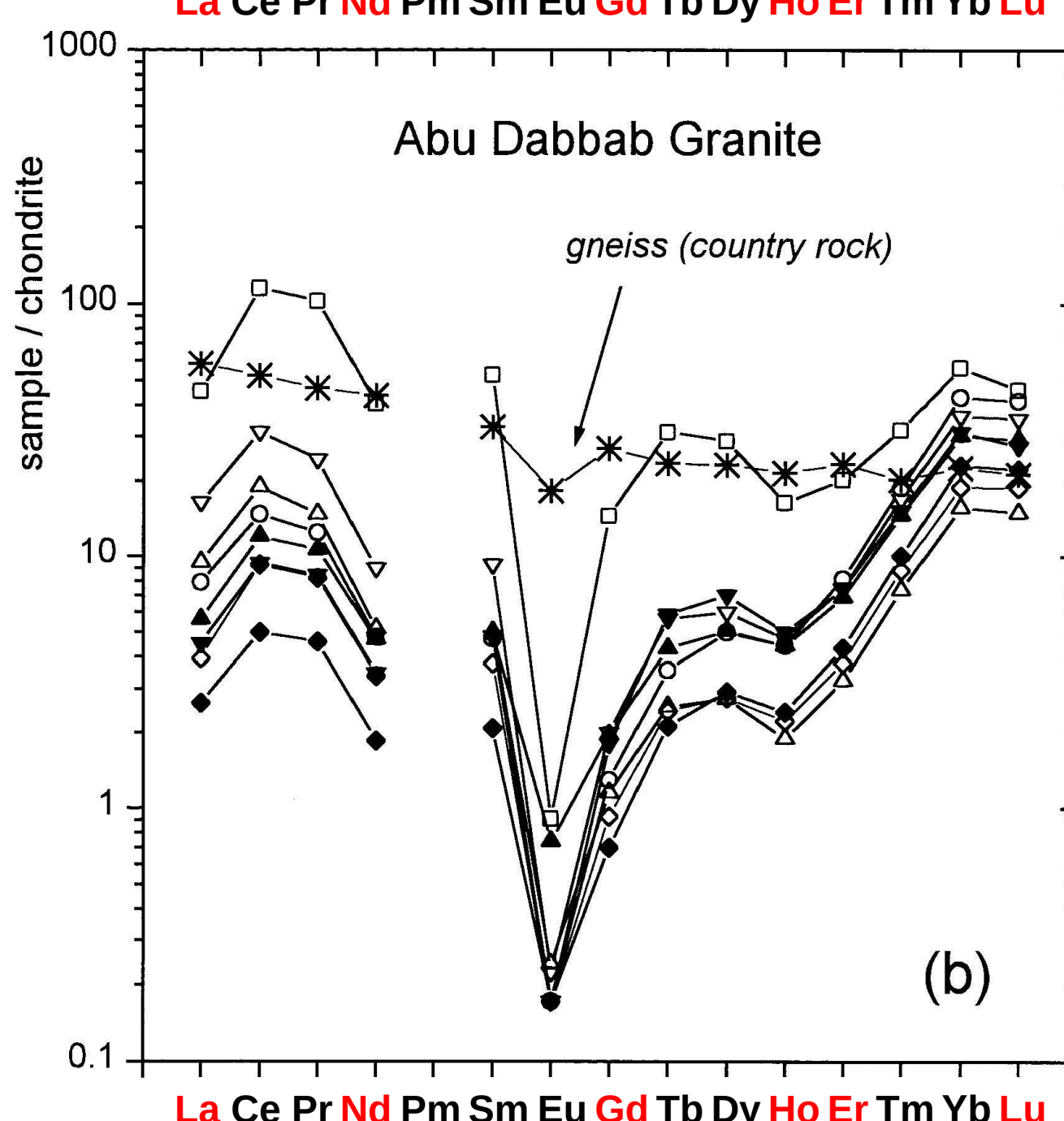
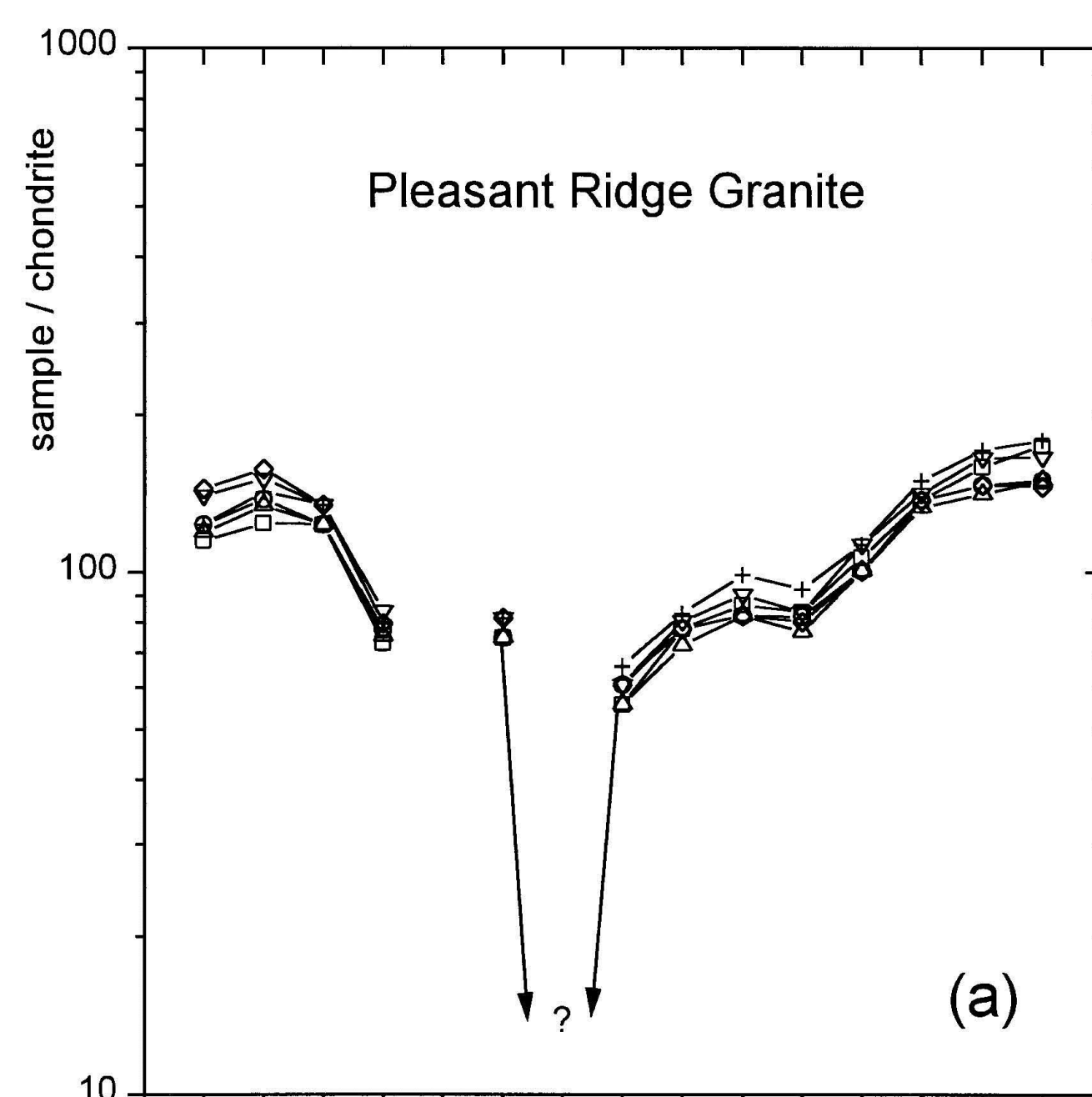


Diagramme des rapports Y/Ho en fonction des rapports Zr/Hf pour des granites riches en silice d'Abu Dabbab (Egypte), d'Eibenstock, Erzgebirge (Allemagne), de Pleasant Ridge (Canada), et de Calamity Peak (USA) (Bau, 1996).

Plot of Y/Ho ratio versus Zr/Hf ratio for high silica granites from Abu Dabbab, Eastern Desert (Egypt), from Eibenstock, Erzgebirge (Germany), from Pleasant Ridge (Canada), and from Calamity Peak (USA) (Bau, 1996).

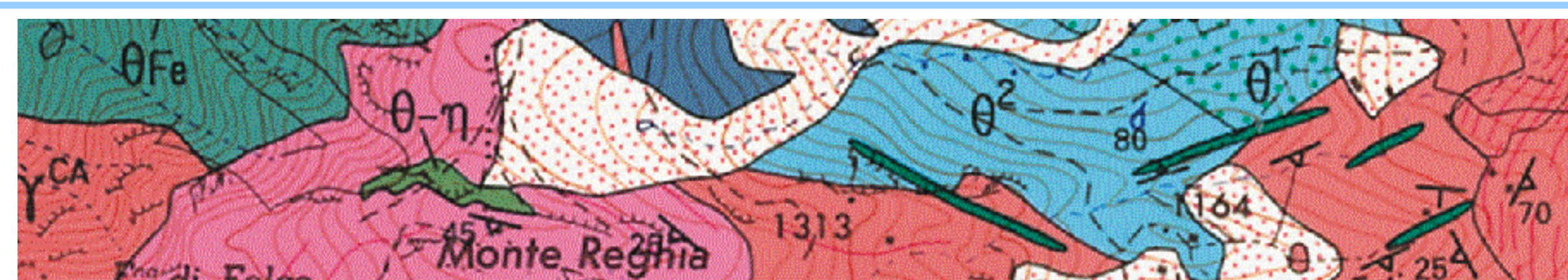


Diagrammes de terres rares de granites présentant des effets de tétrade des lanthanides.

REE patterns of granites displaying the lanthanide tetrad effect.

Références.

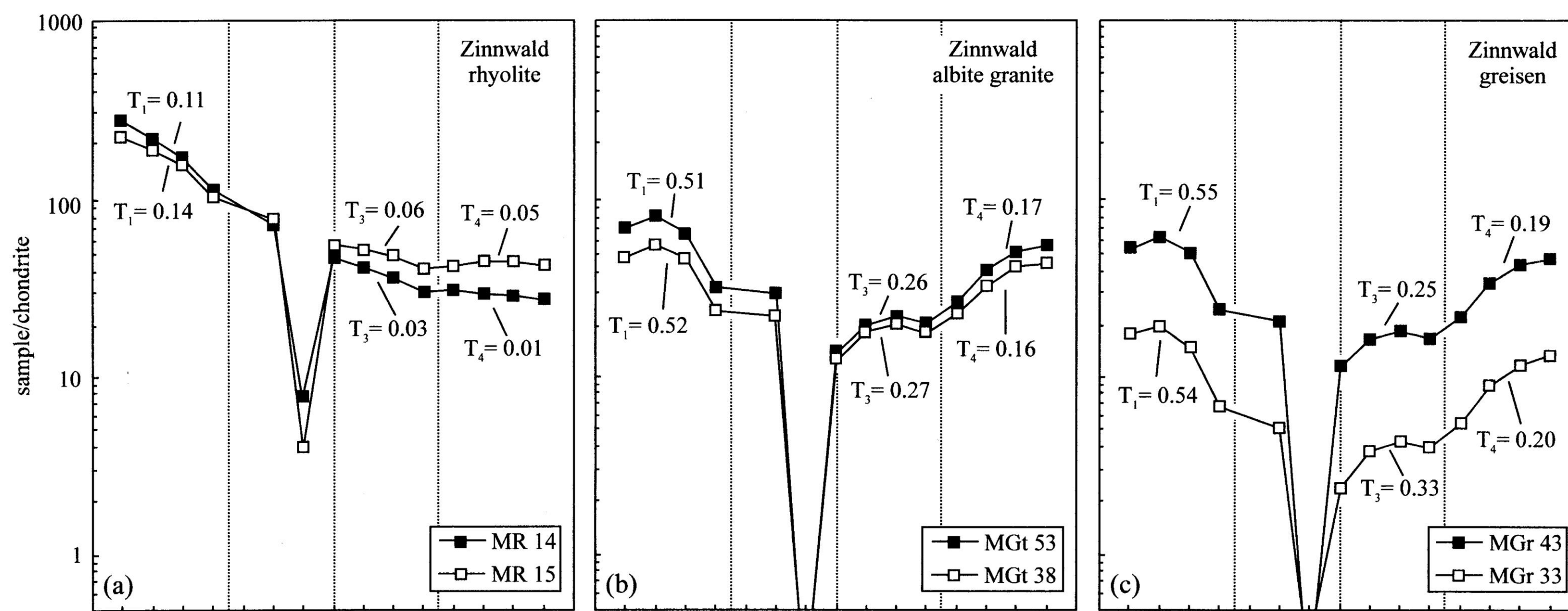
- Bau, M., 1996. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems : Evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effects. Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 123, p. 323-333.
- Ernst, R. E., and Jowitt, S. M., 2013. Large Igneous Provinces (LIP) and metallogeny. Society of Economic Geologist Special Publication, v. 17, p. 17-51.
- London, D., 1986. Magmatic-hydrothermal transition in the Tanco rare-element pegmatite: evidence from fluid inclusions and phase-equilibrium experiments. Ann. Mineral., v. 71, p. 376-395.
- London, D., 1987. Internal differentiation of rare-element pegmatites: effects of boron, phosphorus, and fluorine. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 51, p. 403-420.
- Montreuil, J.-F., Potter, E.G., Corriveau, L., and Davis, W.J., 2016a. Element mobility patterns in magnetite-group IOCG systems: The Fab IOCG system, Northwest Territories, Canada. Ore Geology Reviews, v. 72, p. 562-584.
- Montreuil, J.-F., Corriveau, L., Potter, E. G., and De Toni A., 2016b. On the relationship between alteration facies and metal endowment of iron oxide-alkali-altered systems, southern Great Bear Magmatic Zone (Canada). Economic Geology, v. 111.
- Ootes, L., Davis, W. J., Jackson, V. A., van Breemen, O., 2015. Chronostratigraphy of the Hottah terrane and Great Bear magmatic zone of Wopmay Orogen, Canada, and exploration of a terrane translation model. Can. J. Earth Sci., v. 52, p. 1062-1092.
- Ootes, L., Snyder, D., Davis, W. J., Acosta-Gongora, P., Corriveau, L., Mumin, A. H., Gleeson, S. A., Samson, I. M., Montreuil, J.-F., Potter, E., Jackson, V.A., 2016. A Paleoproterozoic Andean-type iron oxide copper-gold environment, the Great Bear magmatic zone, Northwest Canada. Ore Geology reviews.



Exemples métasomatiques

Effet de tétrade sur des échantillons de roche totale du gîte à étain de Zinnwald

Tetrad effect in whole-rock samples from the Zinnwald tin deposit



La Ce Pr Nd Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu La Ce Pr Nd Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu La Ce Pr Nd Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu

Spectres représentatifs normalisés aux chondrites (a) de rhyolites, (b) de granite à albite (MGT 38 et MGT 53), et (c) de greisen à topaze (MGT 33) et de greisen à mica (MGT 43) du gîte de Zinnwald.

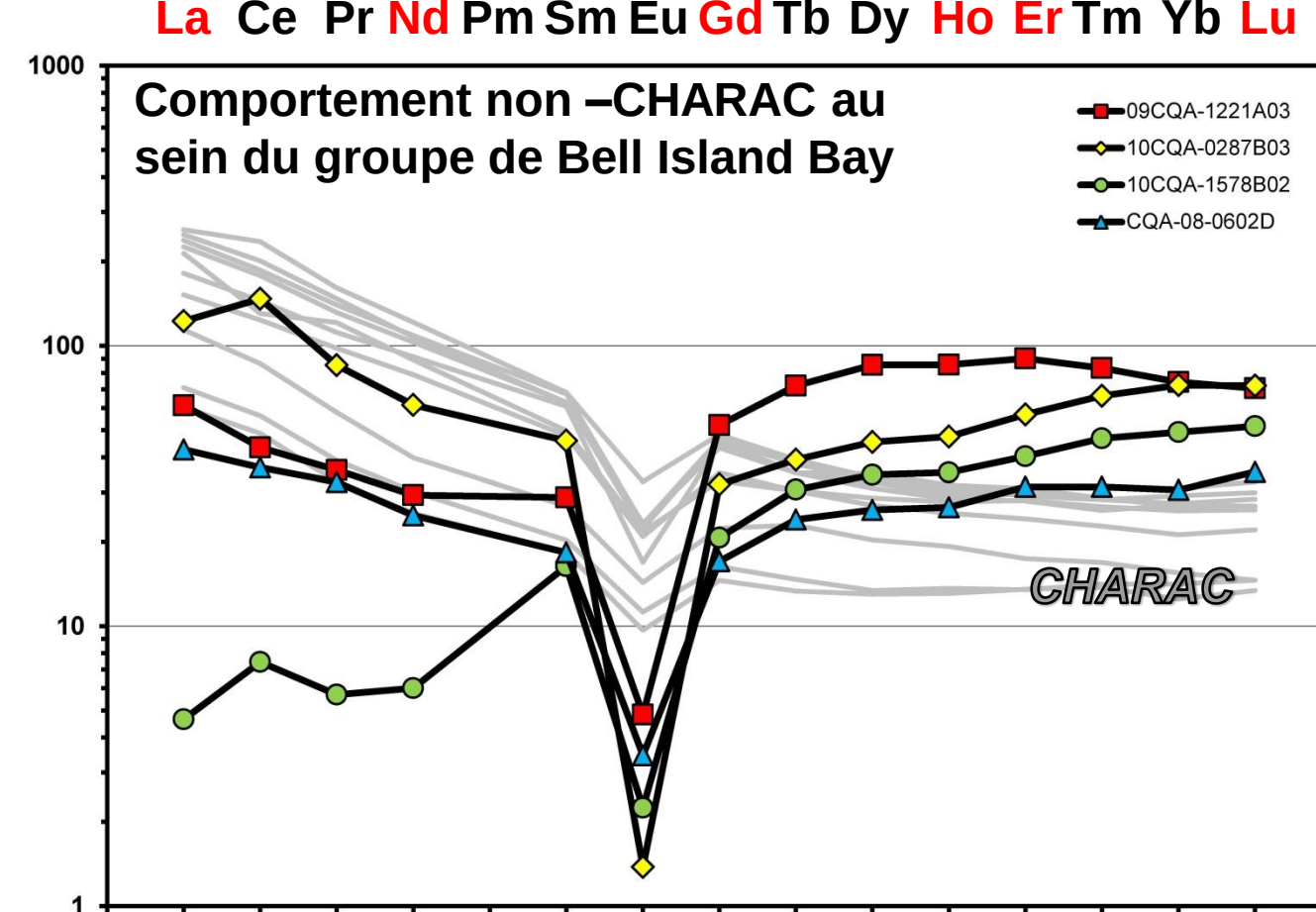
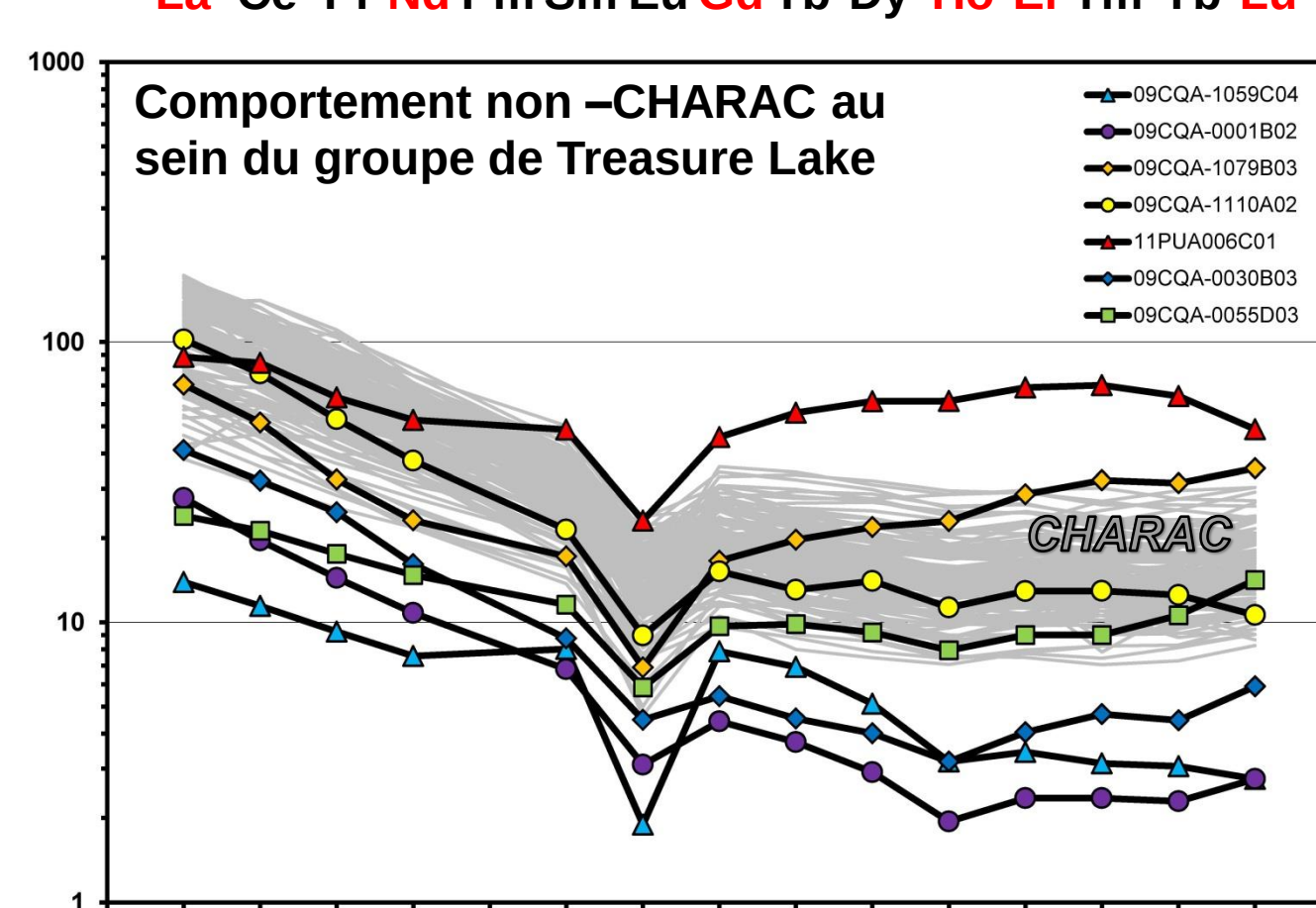
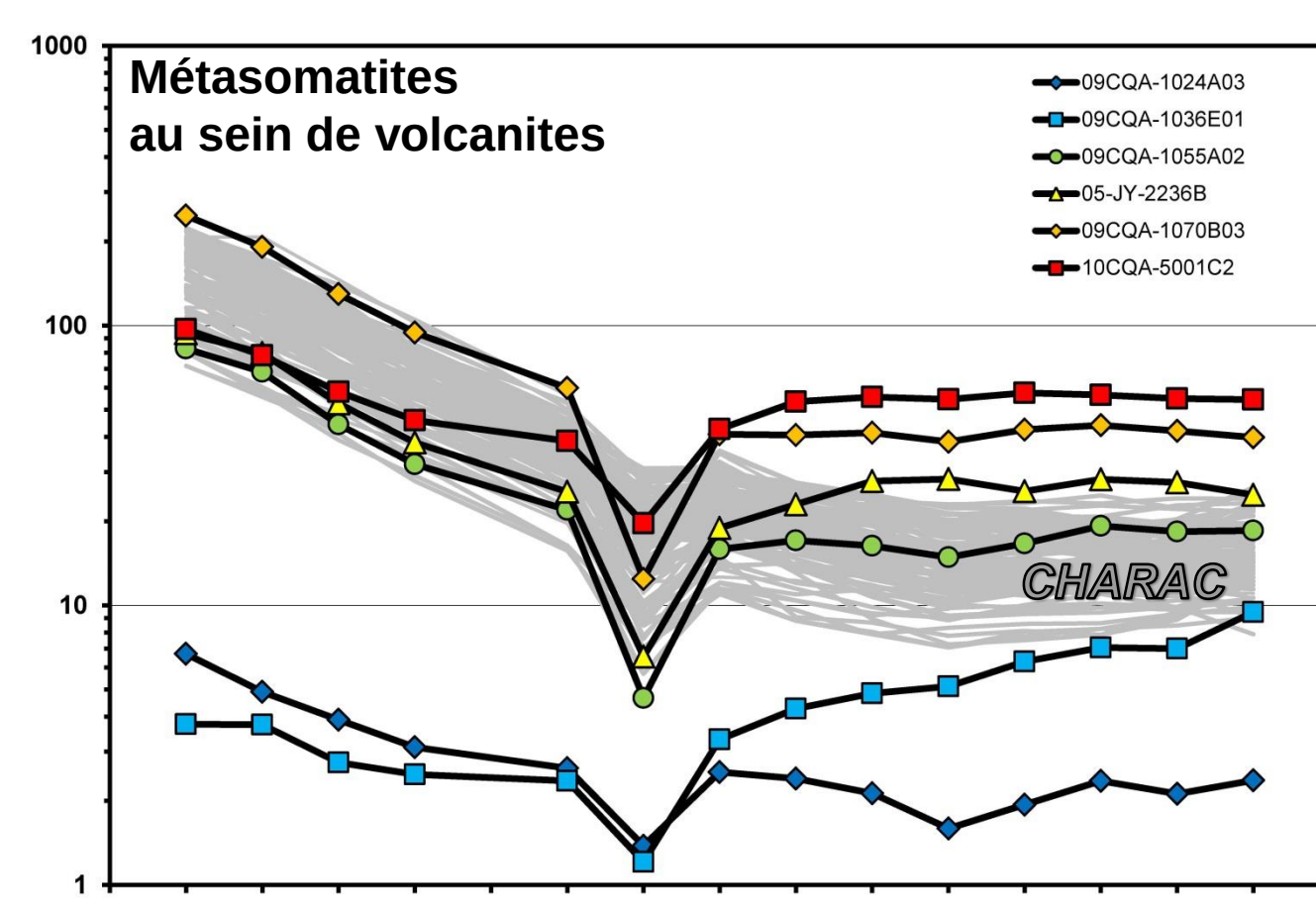
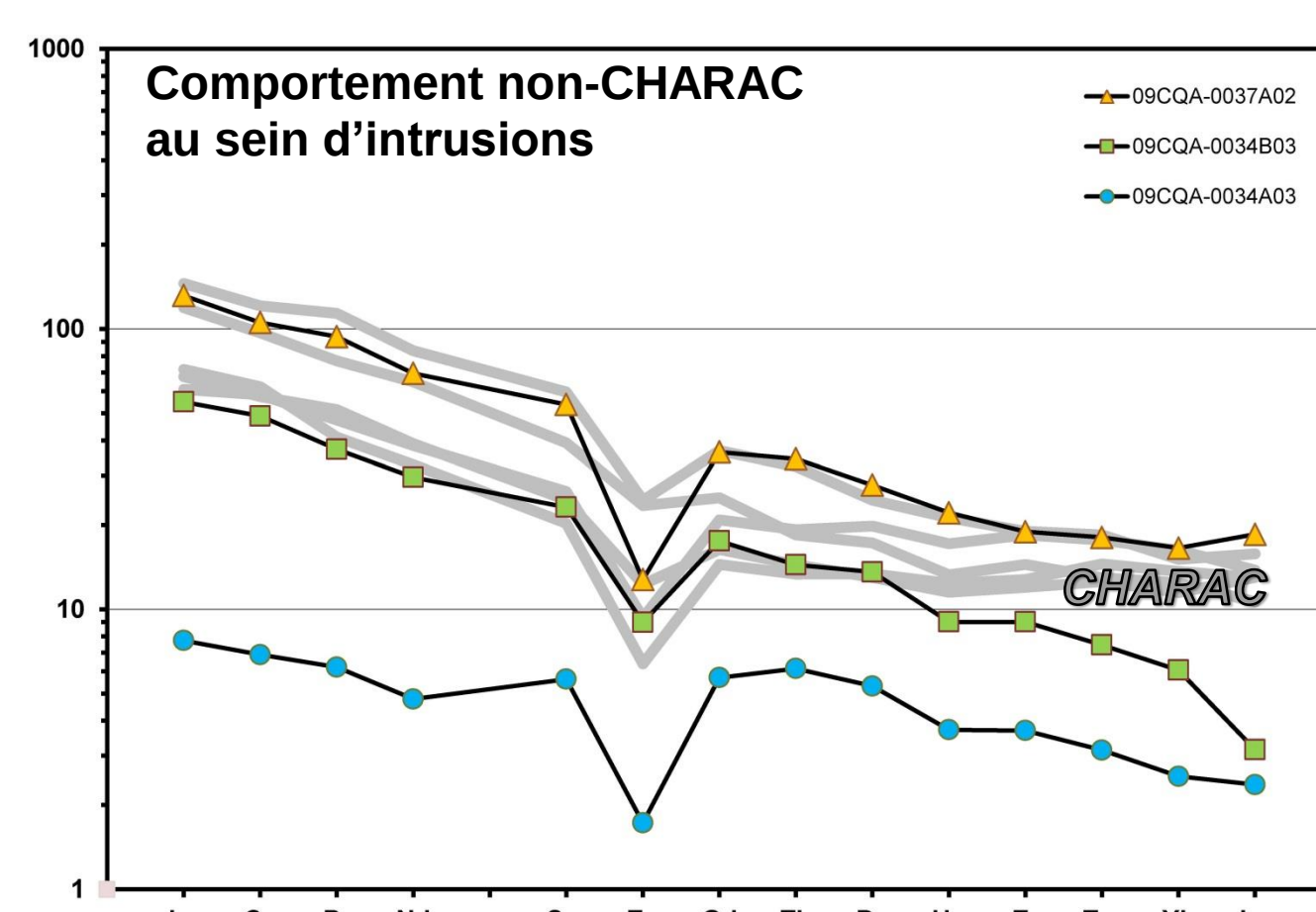
Representative chondrite-normalized REE concentrations of (a) least-altered (MR 14) and pervasively altered (MR 15) Teplice rhyolite, (b) albite granite (MGT 38 and MGT 53), and (c) topaz greisen (MGT 33) and mica greisen (MGT 43) from the Zinnwald deposit.

Les échantillons de la rhyolite Teplice montrent une absence d'effets de tétrade ou des effets de tétrade faibles, avec des valeurs de Ti inférieures au seuil analytique. Toutefois, une comparaison des échantillons MR15 et MR14 montre qu'une altération de la rhyolite par des fluides hydrothermaux liés à une intrusion granitique produit une faible mais significative augmentation de la taille de l'effet de tétrade pour les trois tétrades quantifiables, aussi bien qu'une augmentation de la taille de l'anomalie négative en Eu et l'enrichissement en ETRs lourdes. Les tailles des tétrades convexes dans les échantillons de granite albitisé et de greisen sont plus prononcées que dans la rhyolite Teplice et dépassent aisément le seuil analytique.

Samples of the Teplice rhyolite show an absence of tetrad effects or very weak convex tetrad effects, with Ti values below the level of analytical significance. However, comparison of sample MR15 with MR14 shows that alteration of the rhyolitic wall-rock by hydrothermal fluids related to the granite intrusion led to a small but systematic increase of the size of the tetrad effect in the three quantifiable tetrads, as well as an increase of the size of the negative Eu anomaly and enrichment of the HREEs. The sizes of the convex tetrads in the analyzed albite granite and greisen samples are more pronounced than in the Teplice rhyolite and commonly exceed the level of analytical significance.

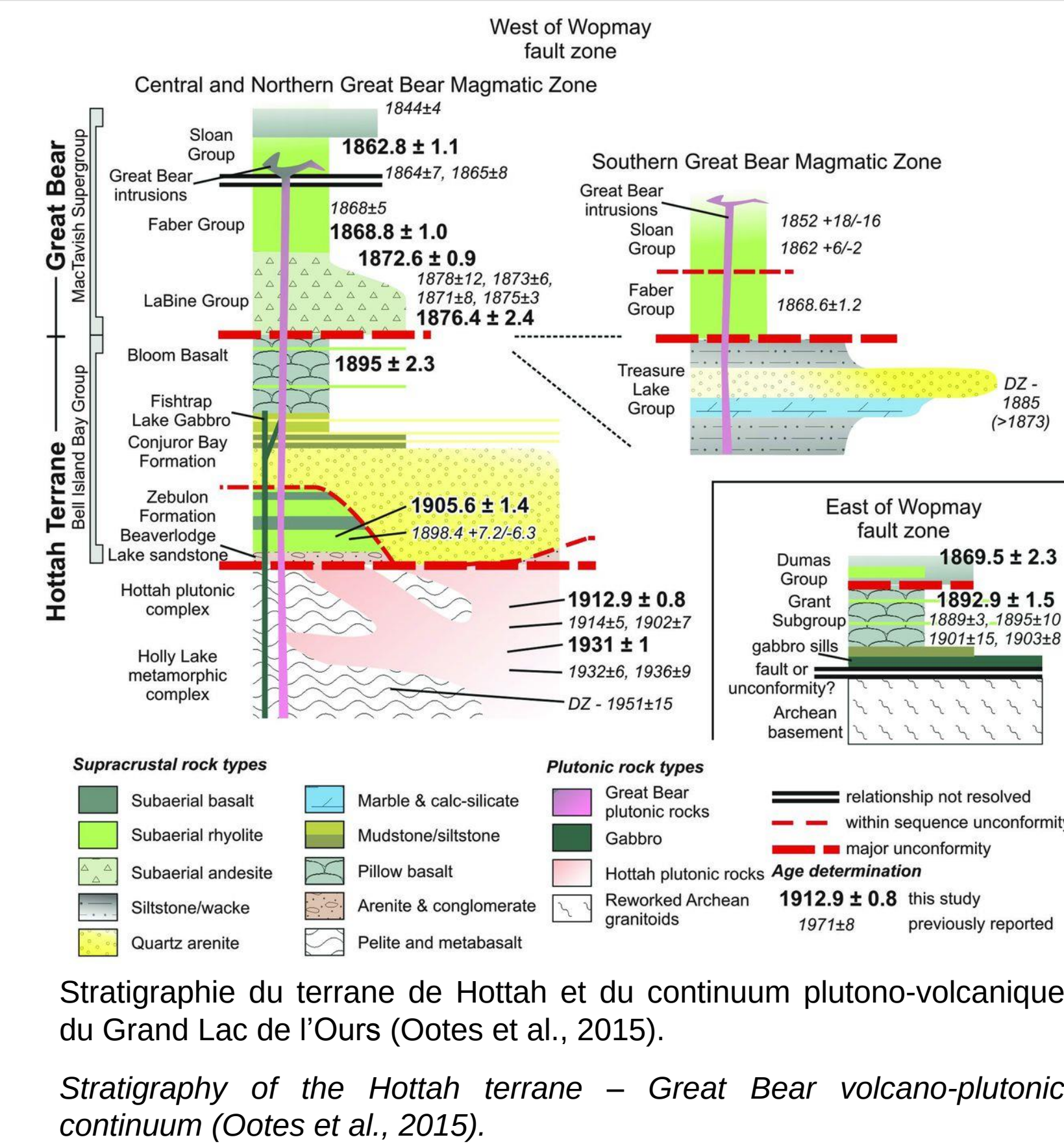
Comportement non-CHARAC au sein des IOCG de la province magmatique du Grand Lac de l'Ours

Non-CHARAC behaviour in the Great Bear Magmatic Zone IOCG Systems



Spectres de terres rares d'échantillons métasomatés de la zone magmatique du Grand Lac de l'Ours présentant des effets de tétrade plus ou moins prononcés

REE normalized patterns of metamotized samples from the GBMZ with more or less pronounced tetrad effect.



Stratigraphie du terrane de Hottah et du continuum plutono-volcanique du Grand Lac de l'Ours (Ootes et al., 2015).

Stratigraphy of the Hottah terrane – Great Bear volcano-plutonic continuum (Ootes et al., 2015).