



Introduction

La carbonatation est une altération commune aux minéralisations aurifères orogéniques et de sulfures massifs volcanogènes (SMV) de type Mattabi. Elle se manifeste par un remplacement progressif des silicates par des carbonates (calcite, ankérite, dolomite, sidérite et magnésite), causé par l'interaction entre un fluide hydrothermal riche en CO₂ et une roche encaissante.

La composition des phases carbonatées dépend de plusieurs facteurs, notamment de la composition du fluide hydrothermal, de la nature des roches encaissantes, du ratio fluide/roche et des conditions métamorphiques présentes. En général, il y a un consensus sur le fait que les roches encaissantes représentent la principale source en Fe, Ca, Mg et Mn (Fig. 1) bien que certains cations peuvent être transportés avec le CO₂ comme le Fe dans les fluides hydrothermaux volcanogènes (Franklin 1996).

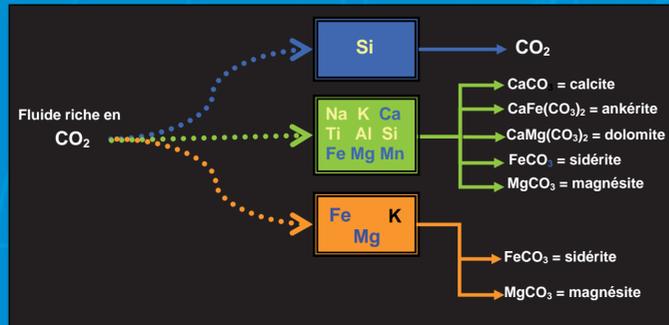


Fig. 1 : Influence de la composition des roches encaissantes sur les phases carbonatées produites lors du processus de carbonatation.

Méthodes de discrimination des carbonates

Les méthodes traditionnelles pour établir la carbonatation impliquent soit la détermination par diffraction X, la colorimétrie ou la microsonde. Il s'agit donc de méthodes coûteuses particulièrement en temps. Parallèlement, les vastes banques de données lithogéochimiques sont peu mises à profit dans l'établissement des types de carbonates hormis la méthode Normat bien connue en exploration (Piché et Jébrak, 2004).

Indices de carbonatation

L'abondance de CO₂ ne peut être utilisée comme un indicateur fiable du degré de carbonatation, puisque la capacité d'une roche donnée à fixer le CO₂ est essentiellement reliée à sa composition. Ainsi, le niveau de saturation en CO₂ d'une rhyolite sera de beaucoup inférieur à celui d'une roche ultramafique.

L'outil développé au CONSOREM utilise comme base les données lithogéochimiques. Il permet d'une part d'apprécier l'intensité ou la saturation de la carbonatation, une relation établie à partir de la capacité d'une roche à se combiner avec le CO₂ (CO₂/CaO+FeO+MgO+MnO molaire) et d'autre part, la spéciation ou la discrimination des carbonates contrôlée par le rapport CO₂/CaO molaire (fig. 2).

Indice de saturation (IS)

- CO₂/CaO+FeO+MgO+MnO (molaire)
- La composition des roches a peu d'influence sur l'indice (attention toutefois aux roches riches en Py-As).

$$IS = \frac{(\%CO_2 / 44.01)}{((\%MgO/40.3) + (\%CaO/56.08) + (\%MnO/70.94) + (\%Fe_2O_3 * (0.8998/71.85)))}$$

Indice de discrimination (ID)

- CO₂/CaO (molaire)
- Discriminer les différentes phases de la carbonatation.

$$ID = (\%CO_2 / 44.01) / (\%CaO / 56.08)$$

Fig. 2. Les deux indices de carbonatation utilisés.

Indice de saturation (IS)

Un ratio légèrement semblable à l'indice de saturation était déjà utilisé par Kishida et Kerrich (1987) pour mettre en évidence l'importance de la carbonatation dans le gisement aurifère de Kerr-Addison en Ontario (CO₂/Ca+Fe+Mg). Cet indice est ici modifié en incorporant le MnO afin de tenir compte des phases carbonatées riches en Mn (ex. rhodochrosite = MnCO₃).

Les cations bivalents Ca, Fe, Mg et Mn sont présents dans les roches volcanosédimentaires sous forme de silicates. Par conséquent, le ratio molaire correspondant à l'IS y est près de 0. Au fur et à mesure que l'altération en carbonates s'accroît, ces cations sont progressivement transférés dans les carbonates et le ratio approche la valeur de saturation de 1. Ce degré de carbonatation est illustré dans le diagramme CO₂/CaO+FeO+MgO+MnO molaire versus le CO₂ molaire (Fig. 3). Un des avantages de l'indice est l'inhibition de l'effet de la composition des roches. Toutefois, dans le cas des roches riches en pyrite et en arsenopyrite, il faut soustraire la quantité de fer associée aux sulfures du fer total.

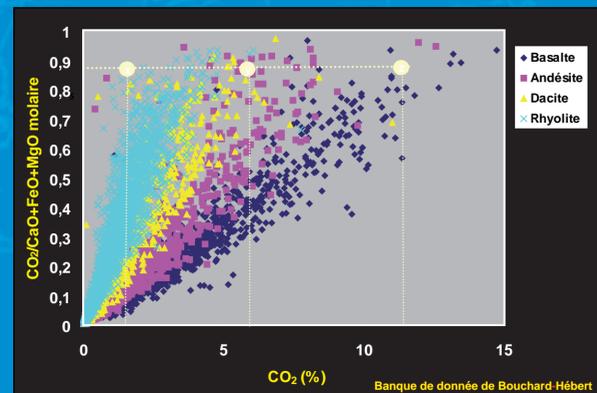


Fig. 3: La teneur en CO₂ ne reflète pas l'intensité de la carbonatation, celle-ci étant mieux représentée par le ratio molaire CO₂/CaO+FeO+MgO+MnO qui est peu influencé par la lithologie hôte. Échantillons provenant de la banque de données de Bouchard-Hébert (Ressources Breakwater).

Indice de discrimination (ID)

Une méthode rapide et efficace pour discriminer les différentes phases de la carbonatation est l'utilisation du ratio molaire CO₂/CaO (Whitehead et Davies, 1988). Ce ratio correspond à 1 pour la calcite pure, alors qu'il est de 2 pour la dolomite et l'ankérite. La sidérite et la magnésite quant à elles possèdent un rapport CO₂/CaO très élevé qui tend vers l'infini.

La diffraction X, avec des tests effectués sur des échantillons provenant de Casa Berardi (Fig. 4 & 5) et de Bouchard-Hébert, confirme que le ratio molaire CO₂/CaO permet de discriminer entre la calcite et l'ankérite et/ou de dolomite dans les roches volcaniques mafiques.

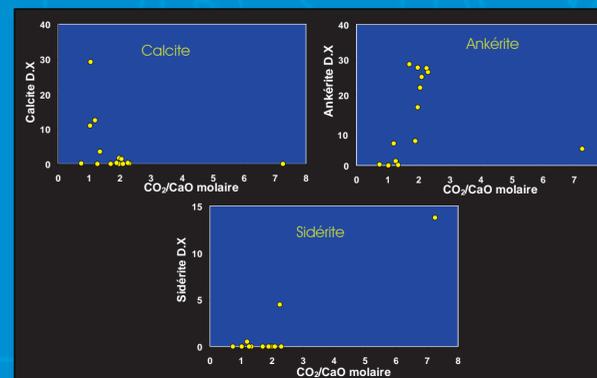


Fig. 4 : Diffraction X de différentes phases carbonatées vs ratios molaire CO₂/CaO sur des échantillons provenant de Casa Berardi.

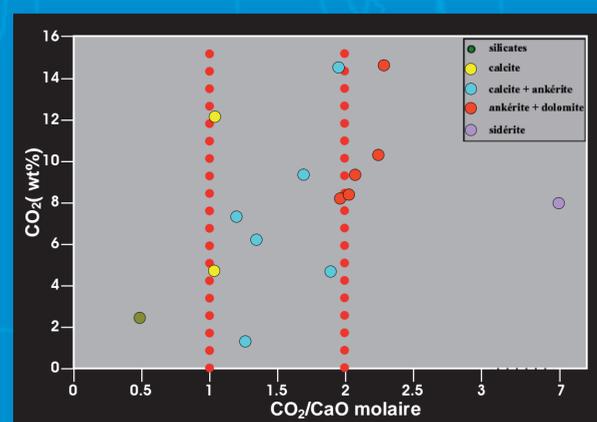


Fig. 5 : Diagramme CO₂ (% poids) versus CO₂/CaO molaire des échantillons de Casa Berardi (n=15). On note la zonalité des phases carbonatées en fonction du ratio molaire CO₂/CaO.

Exemples d'application des indices de carbonatation

Mine Bouchard-Hébert

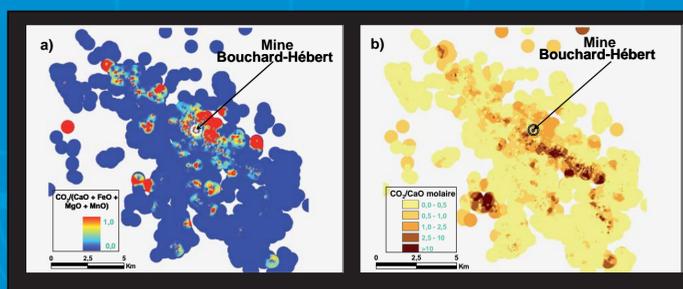


Fig. 6 : Application des indices de carbonatation au secteur de la mine Bouchard-Hébert : a) indice de saturation et b) indice de discrimination.

Delbridge

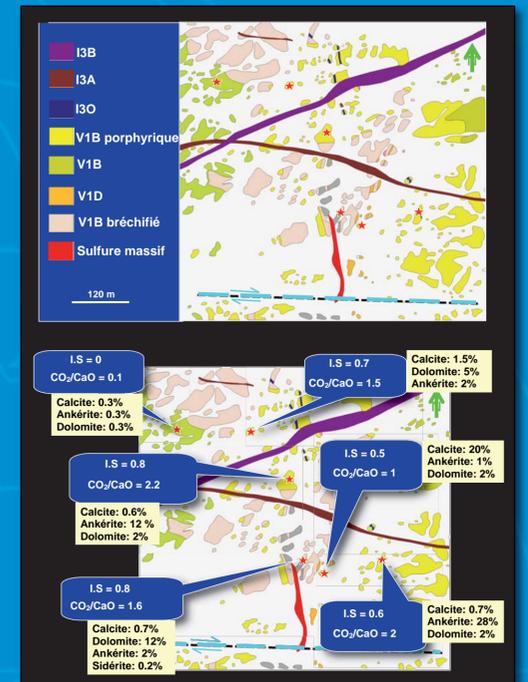


Fig. 7 : Application de l'indice de discrimination sur le site de Delbridge.

Diagramme de carbonatation

Un nouveau diagramme mettant en relation les indices de discrimination et de saturation a été développé. Ce diagramme est pratique dans le traitement de banques de données provenant d'un secteur donné, en permettant d'isoler les échantillons présentant le plus d'intérêt en fonction du contexte de minéralisation. Avec les exemples de Bouchard-Hébert et Casa Berardi, on peut isoler le halo d'altération du gisement ainsi que les zones de décharges hydrothermales (Fig. 8). De plus, le diagramme de carbonatation permet, dans une certaine mesure, de faire la distinction entre les systèmes de carbonatation d'origine volcanogène avec ceux d'origine orogénique (Fig. 9).

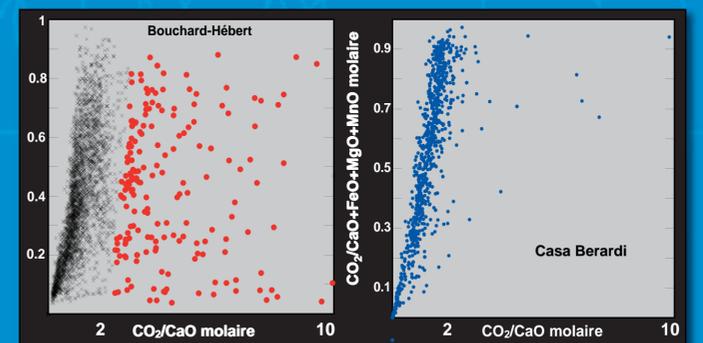


Fig. 8 Distribution des échantillons dans le diagramme de carbonatation dans le cas d'un système volcanogène (a) et d'un système orogénique aurifère (b). À Bouchard-Hébert (a), les échantillons en rouge sont interprétés comme représentatif d'un halo d'altération associé au gisement de sulfures massifs.

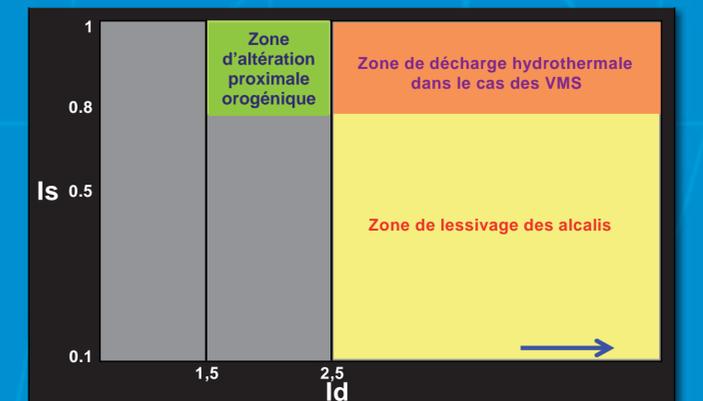


Fig. 9 : Diagramme de carbonatation et zones d'altération proximales.

Références

Franklin, J.M. 1996. Gîtes de sulfures massifs à métaux communs associés à des roches volcaniques. Dans : Eckstrand, W.D. Sinclair and Thorpe, R.I. (Éditeurs), Géologie des types de gîtes minéraux du Canada : Association Géologique du Canada, Geology du Canada, No. 8, 174 à 202.

Kishida, A. et Kerrich, R., 1987. Hydrothermal alteration zoning and gold concentration at the Kerr-Addison Archean lode gold deposit, Kirkland Lake, Ontario. Economic Geology, 82: 649-690.

Whitehead, R.E. et Davies, J.F., 1988. Discriminant analysis involving CO₂/CaO and arsenic in gold exploration. Journal of Geochemical Exploration, 30: 243-253.

Piché, M. et Jébrak, M. 2004. Normative minerals and alteration indices developed for mineral exploration. Journal of Geochemical Exploration, 82: 59-77.