

MÉTALLOGÉNIE. — *Les phlogopitites à émeraude au voisinage des granites de Campo Formoso et Carnaiba (Bahia, Brésil) : un exemple de minéralisation protérozoïque à Be, Mo et W dans des ultrabasites métasomatisées*, Note de **Luc Rudowski, Gaston Giuliani et Pierre Sabaté**, présentée par Jean Wyart.

En relation avec des granites à deux micas transamazoniens (± 2000 M.a.), les fluides hydrothermaux liés aux filons d'aplopegmatites développent des phlogopitites à zonations métasomatiques originales dans les ultrabasites à chromite de l'encaissant. Ils sont responsables des minéralisations à béryl (émeraude), molybdénite et scheelite. Le magma générateur se situait dans des conditions de saturation en fluides.

METALLOGENESIS. — The emerald-bearing phlogopitites in the proximity of the granites of Campo Formoso and Carnaiba (Bahia, Brazil): an example of Be, Mo, W proterozoic mineralization in metasomatic ultramafics.

Associated with two-micas transamazonian ($\pm 2,000$ M.y.) granites, the hydrothermal fluids related with aplopegmatites veins, develop phlogopitites with original metasomatic zoning into the chromite bearing ultramafics of the country rocks. They are responsible for beryl (emerald), molybdenite and scheelite mineralizations. The parent magmas were generated under fluid saturated conditions.

Les massifs granitiques de Campo Formoso et Carnaiba (pl. I, A) se situent dans la partie septentrionale du craton de Sao Francisco [1]. Avec une isochrone Rb/Sr sur roche totale à 1 900 M.a. [2], les granites sont à rattacher à un ensemble d'intrusions, que l'on peut rattacher à une phase plutonique transamazonienne [3]. Des minéralisations à Be, Mo et W leurs sont associées.

1. L'ENVIRONNEMENT DES GRANITES. — Les deux massifs sont intrusifs dans les formations volcano-sédimentaires, attribuées au Protérozoïque inférieur [4], de la Serra de Jacobina. Ces formations se disposent en un empilement monoclinale à pendage est, structuré en écaillés répétées à vergence ouest, et décollé à la faveur d'une semelle de serpentinites. L'ensemble est charrié sur un segment migmatitique archéen. La similitude des faciès granitiques des deux intrusions, et leur situation relative, permet de penser que les magmas respectifs ont des sources semblables et ont été produits sous des conditions très voisines.

II. LE PLUTON DE CAMPO FORMOSO. — (a) *Gisement et pétrographie.* — Deux unités principales confèrent au pluton de Campo Formoso une structure concentrique (pl. I, B) une unité périphérique occupée par un granite leucocrate à deux micas (γ_1) et une unité interne constituée par un granite mésocrate à deux micas (γ_2) :

— γ_1 est de couleur blanche, leucocrate à hololeucocrate, à grain moyen à gros, caractérisé par l'abondance de grands cristaux de muscovite (1 à 3 cm). On y observe l'association minérale suivante : quartz, oligoclase, albite, microcline (I, II), biotite, muscovite et minéraux accessoires (allanite, zircon, apatite, opaques);

— γ_2 présente la même composition minéralogique mais la biotite prédomine sur la muscovite.

Des critères structuraux permettent de distinguer deux sous-faciès : — γ_{2a} à grain plus fin, plus particulièrement riche en biotite, forme des dykes et des filons dans γ_1 ; — γ_{2b} à deux micas, porphyroïde, constitue la masse principale du massif.

On note également la présence d'un granite filonien à muscovite et grenat : γ_3 .

Les relations structurales (enclaves et filons) observées entre les différents faciès permettent de mettre en évidence la chronologie suivante de mise en place : γ_1 , γ_{2a} , γ_{2b} , γ_3 .

(b) *Les aplopegmatites.* — Le granite est recoupé par de nombreux filons d'aplopegmatites de plusieurs générations qui offrent une paragenèse assez constante à feldspath potassique, quartz, muscovite, grenat, parfois tourmaline et plagioclase. Localement, ces filons peuvent être porteurs de béryl, molybdénite et sulfures.

(c) *Évolution deutérique et hydrothermale.* — Elle s'exprime par des processus :

— de *muscovitisation*, affectant γ_1 essentiellement et formant des bandes allongées qui concentrent de grandes lamelles de muscovite. Dans γ_2 , une microfissuration conduit à des zones greisenisées centimétriques;

— d'*épisyéénitisation feldspathique*, dans le granite, à la faveur de fractures associées à des zones de cisaillement;

— de *tourmalinisation, silicification, chloritisation et biotitisation*, matérialisées par des filonets ou des enduits tardifs.

III. LE PLUTON DE CARNAIBA. — Il s'agit d'un petit massif circulaire de 6 km de diamètre, situé au cœur d'une large antiforme de la Serra de Jacobina (*pl. I, C*). Le caractère intrusif est attesté par la présence d'enclaves de quartzites et de « roof pendants » des serpentinites encaissantes. La masse principale du massif est constituée d'un granite à deux micas, mésocrate à tendance porphyroïde, similaire au faciès γ_{2b} de Campo Formoso. Le cortège aplopegmatitique est important et de composition minéralogique identique à celui de Campo Formoso. Le béryl et les sulfures y sont présents.

IV. LES MINÉRALISATIONS A Be, Mo, W. — Le *garimpo* (mine ou carrière d'exploitation artisanale le plus souvent rudimentaire) d'émeraude de Carnaiba, reconnu en 1964-1965 [5] a permis au Brésil, par son importante production (204 t d'émeraudes officiellement commercialisées entre 1970 et 1980 [6]) de prendre place parmi les grands producteurs mondiaux de cette gemme. En 1983, un nouveau *garimpo* était découvert, celui de Socoto, près de Campo Formoso. Aux travaux préliminaires menés sur ces *garimpos*, on doit une première cartographie des granites [7], un modèle structural régional et une tentative d'explication sur la genèse des émeraudes [8] dont les inclusions solides ont fait l'objet d'études spécifiques [9].

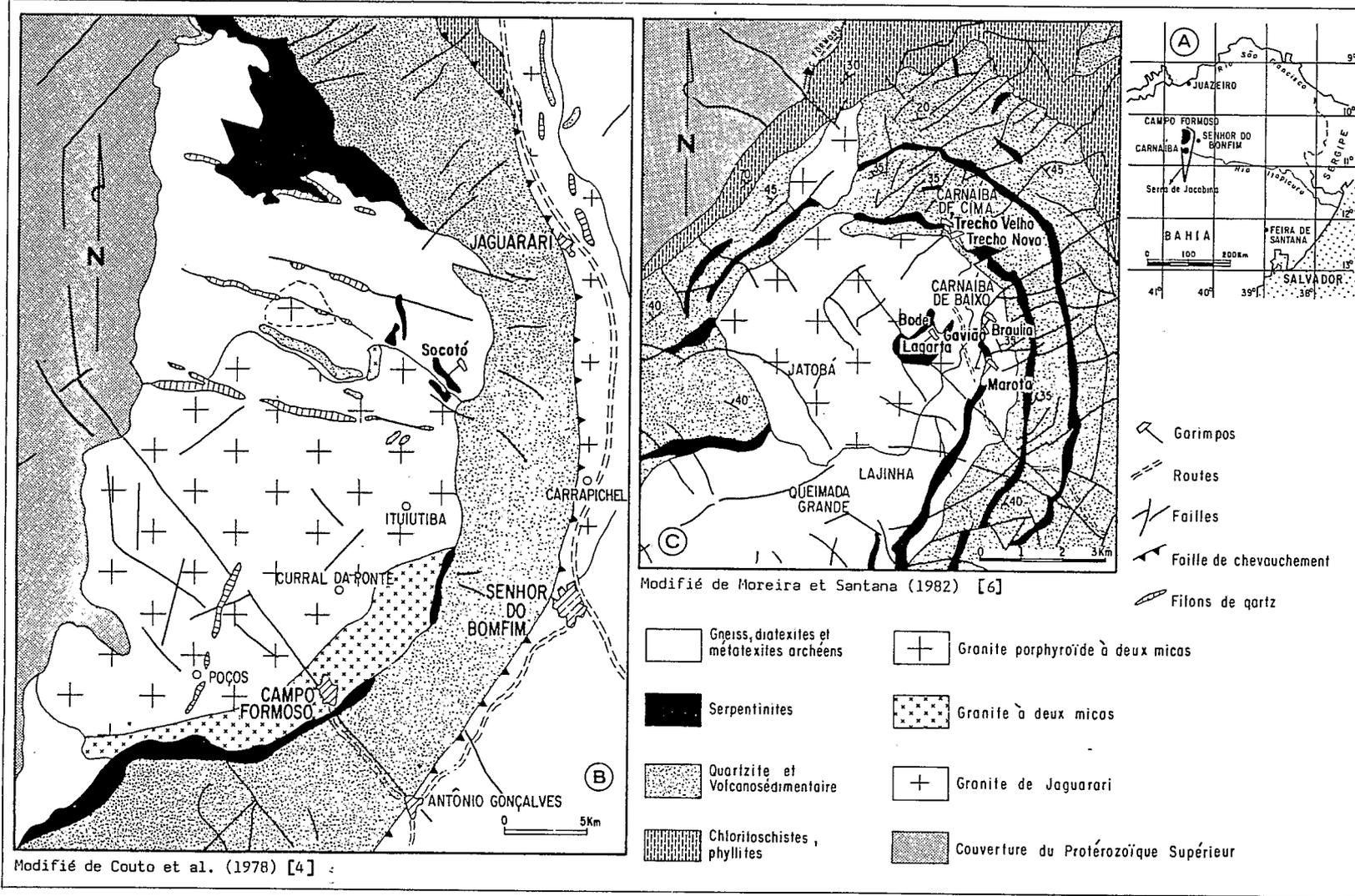
1. *Aspects structuraux et géométriques.* — La minéralisation à béryl (émeraude) et molybdénite est contenue dans des phlogopitites résultant des transformations métasomatiques développées dans des roches ultrabasiqes à partir de filons aplopegmatitiques et/ou plagioclasiques.

Les roches ultrabasiqes. — Ce sont des serpentinites à chromite [10]; localement, des horizons de talc ou de trémolitites y sont intercalés. Ces serpentinites, en niveaux écaillés

EXPLICATIONS DES PLANCHES

Planche I

- (A) Schéma de localisation des massifs granitiques; (B) et (C) Cartes géologiques simplifiées des massifs respectifs de Campo Formoso et Carnaiba, dans leur contexte volcano-sédimentaire de la Serra de Jacobina.
(A) *Schme of localization of the granitic massifs; (B) and (C) Geologic sketch maps of the respective massifs of Campo Formoso and Carnaiba, in the volcanosedimentary country rocks of the Serra de Jacobina.*



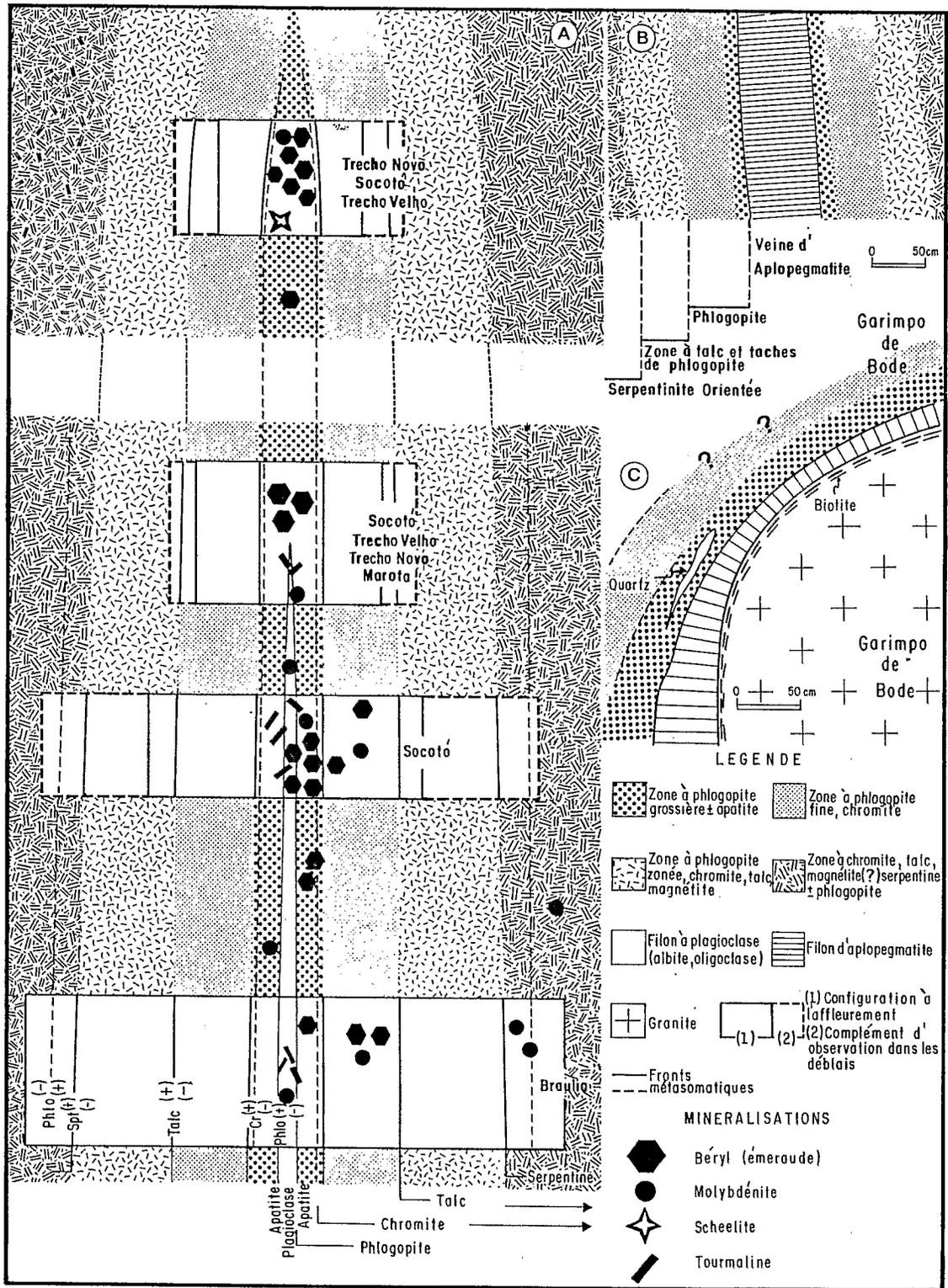


Planche II

(A) Reconstitution de l'agencement des zones métasomatiques et des minéralisations associées : synthèse des observations effectuées dans les différents *garimpos*, (B) Distribution des zones métasomatiques en relation avec une zone centrale aplopegmatitique (*garimpo* de Bode). (C) Distribution dissymétrique des zones métasomatiques développées à partir d'une aplopegmatite à l'interface granite-serpentine (*garimpo* de Bode).
 (A) Disposition reconstitued of metasomatic zoning and related mineralizations: synthesis of the observations made in the different prospectors pits; (B) Distribution of metasomatic zoning related with a central aplopegmatite (prospector pit of Bode); (C) Assymetric distribution of the metasomatic zoning developed from an aplopegmatite in the interface granite-serpentine (prospector pit of Bode).

dans les gneiss archéens à Socoto, en « roof pendants » (*garimpos* de Bode, Lagarta, Gavião) ou en encaissant du granite de Carnaiba (*garimpos* de Trecho novo, Trecho velho, Braulia, Formiga, Marota) (*pl. I, C*) présentent une fracturation qui a probablement contrôlé la mise en place des filons aplopegmatitiques.

Les filons aplopegmatitiques ou plagioclasiques. — leur puissance varie de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres et ils sont constitués soit d'une aplopegmatite (identique à celles observées au sein des deux massifs granitiques) à feldspath, quartz, muscovite, grenat, soit d'une roche feldspathique (albite, oligoclase) avec occasionnellement tourmaline.

2. *Zonations métasomatiques et minéralisations.* — Au contact des filons d'aplopegmatite et/ou plagioclasiques avec les serpentinites, on observe un développement de phlogopitites organisées en zones emboîtées à limites rectilignes, nettes et à minéralogie différenciée (*pl. II, A et B*).

Des zones internes vers les zones externes, dans les cas d'une zone centrale à plagioclase (*pl. II, A*) la succession suivante a été observée :

- zone à phlogopite brune en gros cristaux (0,2 à 3 cm) avec localement présence d'apatite;
- zone à phlogopite brune en gros cristaux et chromite;
- zone à phlogopite brun clair en fins cristaux et chromite;
- zone à phlogopite (souvent zonée), talc, chromite et magnétite;
- zone à talc, chromite, magnétite, serpentine et encore quelques cristaux de phlogopite qui disparaissent dans la partie externe de cette zone.

Des zones métasomatiques sensiblement différentes où apparaît la trémolite se développent à partir de niveaux probablement plus basiques intercalés dans les serpentinites.

La minéralisation est constituée de béryl (émeraude) et de molybdénite avec accessoirement scheelite, alexandrite, phénacite, tourmaline, chalcopirite, pyrrhotite, pyrite et fluorine. Le béryl vert s'observe depuis la zone centrale, associé au plagioclase ou à l'aplopegmatite, jusqu'aux zones de phlogopitites où sa couleur est plus prononcée; c'est dans la zone la plus interne de la phlogopitite que l'on trouve les gemmes de qualité; celles-ci n'ont jamais été observées simultanément avec la chromite. La molybdénite apparaît sur toute la largeur de la section métasomatique. La scheelite est très peu abondante, associée soit aux zones de phlogopitites, soit aux zones métasomatiques à trémolite. A Carnaiba, un filon d'aplopegmatite a été observé intercalé entre le granite et les phlogopitites (*pl. II, C*) : la zone de contact avec le granite est marquée par un léger développement de biotite qui est vraisemblablement lié à la circulation des fluides le long du contact. Notons enfin, l'existence de diverses générations de pegmatites à béryl et molybdénite qui recoupent les phlogopitites.

V. CONCLUSIONS. — Les caractères pétrographiques des granites de Campo Formoso et Carnaiba et les types associés d'altération deutérique-hydrothermale indiquent que les magmas générateurs de ces granites se situent dans des conditions de saturation en fluides. Les marques de l'eau sont matérialisées par des phénomènes d'hydrolise : muscovitisation, greisenisation et chloritisation, et par l'existence d'un important cortège d'aplopegmatites.

Les transformations métasomatiques, caractérisées par le développement de zones à composition minéralogique de plus en plus variée depuis les zones internes monominérales (phlogopitites) jusqu'aux zones externes (serpentinites) et les fronts de déséquilibre chimique qui les limitent, sont représentatifs d'une métasomatose d'infiltration [11].

Les phlogopitites, roches porteuses de la minéralisation, résultent de l'interaction de fluides métasomatiques associés à la mise en place de filons aplopegmatitiques et/ou plagioclasiques avec les roches ultrabasiqes.

Par ailleurs, la présence de minéralisations à Be et Mo, tant dans les zones métasomatiques que dans les filons intragranitiques, conduit à admettre que ces éléments ont été véhiculés par les fluides hydrothermaux en équilibre avec les aplopegmatites. La présence d'émeraudes est le résultat de l'incorporation dans le réseau du béryl, du chrome extrait de la chromite lors de la percolation des fluides métasomatiques dans les serpentinites.

Reçue le 9 mars 1987.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] H. A. V. INDA et J. F. BARBOSA, Secret. Minas e Energia (Bahia), Coord. Prod. Min., 1978, 137 p.
- [2] J. R. TORQUATO et coll., *Rev. Bras. Geol.*, 8, (3), 1978, p. 171-179.
- [3] P. M. HURLEY et coll., *Science*, 157, (3, 788), 1967, p. 495-500.
- [4] P. A. COUTO et coll., *Comp. Pesq. Rec. Min.*, relatório final, 1, 1978, 228 p.
- [5] J. CASSEDANNE, *Mondes et minéraux*, n° 66, 1985, p. 16-20.
- [6] M. D. MOREIRA et A. J. SANTANA, *An XXXII^e Cong. Bras. Geol. (Salvador)*, 3, 1982, p. 852-874.
- [7] P. A. COUTO et J. J. ALMEIDA, *An XXXII^e Cong. Bras. Geol. (Salvador)*, 3, 1982, p. 850-861.
- [8] J. C. GRIFFON et coll. *An. Acad. Bras. Ci.*, 39, (1), 1967, p. 153-161.
- [9] D. SCHWARZ, *Rev. Escola de Minas*, XXXVII, n° 3, 1984, p. 25-34.
- [10] J. C. V. GONCALVES et coll. *Dep. Nac. Prod. Min/Comp. Pesq. Rec. Min.*, rapport inédit, 1972, 181 p.
- [11] D. S. KORZHINSKII, *Theory of metasomatic zoning*, Clarendon press, Oxford, 1970, 162 p.

L. R. : O.R.S.T.O.M., 213, rue Lafayette, 75010 Paris, U.A. n° 384,
« Pétrologie et métallogénie », Université Paris-VI, 4, place Jussieu, 75005 Paris;
G. G. et P. S. O.R.S.T.O.M., C.P. n° 4021, Alameda da Barra, 40000 Salvador, Bahia, Brésil.