

Géomatériaux (Pétrologie)

## Découverte des roches à affinité ophiolitique dans la chaîne panafricaine au Cameroun : les talcschistes de Ngoung, Lamal Pougue et Bibodi Lamal

Charles Nkoumbou<sup>a,b,\*</sup>, Clément Yonta Goune<sup>a</sup>, Frédéric Villiéras<sup>b</sup>, Daniel Njopwouo<sup>c</sup>, Jacques Yvon<sup>b</sup>, Georges Emmanuel Ekodeck<sup>a</sup>, Félix Tchoua<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Department of Earth Sciences, Faculty of Science, The University of Yaoundé I, P.O. Box 812, Yaoundé, Cameroon*

<sup>b</sup> *Laboratoire « Environnement et minéralurgie » (UMR 7569, CNRS & INPL), École nationale supérieure de géologie, BP 40, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex, France*

<sup>c</sup> *Département de chimie inorganique, faculté des sciences, université Yaoundé-1, BP 812, Yaoundé, Cameroun*

Reçu le 15 septembre 2005 ; accepté après révision le 23 juillet 2006  
Disponible sur Internet le 30 novembre 2006

Présenté par Ždenek Johan

### Résumé

Des affleurements ( $0,3 \times 1$  km) de talcschistes ont été découverts dans les micaschistes à grenat et muscovite de la chaîne panafricaine de Yaoundé (Cameroun). L'étude minéralogique montre qu'un métamorphisme de faible intensité de la limite supérieure de l'épizone a été relayé par des réactions hydrothermales locales. Il s'en est suivi une transformation des hornblendites en talcschistes. Les compositions chimiques des talcschistes et des hornblendites résiduelles rappellent celles des roches ultrabasiques. Toutefois, les spectres des Terres Rares permettent de distinguer les E-MORB des péridotites. Les talcschistes et hornblendites résiduelles pourraient être considérés comme des témoins d'un ensemble ophiolitique panafricain démembré par une tectonique tangentielle. *Pour citer cet article : C. Nkoumbou et al., C. R. Geoscience 338 (2006).*

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

### Abstract

**Discovery of ophiolite-related rocks in the Pan-African belt in Cameroon: Talc schists from Ngoung, Lamal Pougue, and Bibodi Lamal.** Outcrops of talc schists extending over > 1 km have been discovered within the garnet- and muscovite-bearing mica schist of the Pan-African belt near Yaoundé (Cameroon). Mineralogical studies show that a metamorphism of the upper greenschist facies was prolonged by hydrothermal reactions. This latter led to the transformation of hornblendites into talc schists. Chemically, talc schists and relicts of hornblendite remind ultrabasic rocks, and REE patterns point to E-MORB and peridotite. It is thus suggested that the talc schists and relicts of hornblendite may correspond to slices of a dismembered Pan-African ophiolite set. *To cite this article: C. Nkoumbou et al., C. R. Geoscience 338 (2006).*

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

*Mots-clés :* Talcschistes ; Roches ultrabasiques ; Hydrothermalisme ; Panafricain ; Ophiolite ; Cameroun

*Keywords:* Talc schist; Ultrabasic rocks; Hydrothermalism; Pan-African; Ophiolite; Cameroon

\* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : [nkoumbou@yahoo.fr](mailto:nkoumbou@yahoo.fr), [cnkoumbou@uycdc.uninet.cm](mailto:cnkoumbou@uycdc.uninet.cm) (C. Nkoumbou).

## Abridged English version

### 1. Introduction – Field description

In a recent review of the North Equatorial Pan-African fold belt (Cameroon, Chad, Central Africa Republic), Toteu et al. [25] summarized its evolution as the result of the convergence and collision between the São Francisco–Congo craton, the West African craton and a Pan-African mobile belt [3,11]. Previous works on this part of the Pan-African belt has focused mainly on the tectonic and the general aspect of its magmatic activity [2,9,11,12,15,24]. Shear movements (transpression and transtension regimes [11]) accompanied and post-dated the convergence and the collision of the above-mentioned blocks. An enigma persists, since no oceanic rock has yet been found, despite all the features that characterize a collision belt [25]. Else, sparse Palaeoproterozoic formations occur within the Late Neoproterozoic Pan-African belt [18] and have been considered as the basement rock of the Pan-African sedimentary series deposited in a passive margin environment north of the Congo craton [12,15–17]. A geological survey of the Pan-African Yaoundé series has led us to the discovery of important talc ore deposits. Many other mafic and ultramafic rocks exist in the area. Field studies show clearly that the mica schists comprising the talc ore deposits lay on a Pan-African migmatitic metasyenogabbro. U–Pb dating of zircons from metasyenogabbro gives concordant age of  $618 \pm 7$  Ma, assigned to the pluton's emplacement age [26]. These authors also proposed that the emplacement of the metasyenogabbro was synchronous with the granulite facies metamorphism. Thus the studied deposits belong to the Pan-African belt. Talc schists extend over 100 to more than 1000 m and are surrounded by garnet- and muscovite-bearing mica schists at the localities named Ngoung, Lamal Pougue, and Bibodi Lamal (Fig. 1a and b). We report on the first mineralogical and chemical characterization of the talc schists; then the tectonic setting of their protoliths is discussed.

### 2. Petrography and mineralogy

In all deposits, talc schists derived from hornblendites. Talc ores and relicts of hornblendites display conspicuous undulous texture (Fig. 2, photo a). Hornblendites show a nematoblastic texture and comprise anthophyllite, tremolite, talc, chlorite, serpentine, chromite, and relicts of olivine (Fig. 2, photos b and c). In talc schists (talc > 90 vol.%), talc crystals developed at the expense of tremolite, serpentine and chlorite (Fig. 2,

photo d). Accessory minerals are oxides, serpentine, brucite, rutile, as well as occasional magnesite and dolomite. Successive mineral transformations are observed. In one sample from the Bibodi Lamal deposit, carbonates are invaded by talc along cleavages (Fig. 2, photos e and f).

Microprobe analyses show that amphiboles are anthophyllite ( $Si > 7$ ,  $Mg\# = Mg/(Mg + Fe^{2+}) > 0.8$ ) and sodian tremolite or sodian magnesian actinolite ( $Si > 7.5$ ,  $Mg\#$ : 0.96–0.8,  $Na > 0.25$ ) according to [5]. Spinels are chromite (40–60 wt%  $Cr_2O_3$ ) or magnetite. Scanning electron microscope analysis reveals that other opaque compounds are submicrometric aggregates of oxides ( $Fe_2O_3$ : 52–60%,  $NiO$ : 15.5–14%,  $CuO$ : 3.3–2%,  $SiO_2$ : 22–26%). There are little substitutions in tetrahedral site ( $Si > 3.90$ ) in talc; but a few in octahedral site ( $Mg: \geq 2.59$  cations) [19].

Chlorite is a Cr-rich clinocllore [13] compared to related talc and serpentine.

### 3. Geochemistry

All rocks are made up of  $SiO_2$  (55–60%),  $MgO$  (27–32%) and  $Fe_2O_3$  (4–7%).  $Mg\#$  values [molar  $100 Mg/(Mg + Fe^{total})$ ] show a narrow extent (93–89, exceptionally 83). Peculiar compositions are found in amphibole-rich samples ( $CaO$ : 10%) and carbonate-bearing ones ( $SiO_2$ : 39%,  $MgO$ : 35%). Though the chemical composition of BI06 is close to that of serpentinites, its modal composition estimated using the equation of Yvon et al. [29] reveals that it is made up of talc (56%), magnesite (24%), and serpentine (9%). Among trace elements, Ni (1000–2200 ppm), Cr (1700–3600 ppm) and Co (50–120 ppm) contents are as high as in the serpentinitized peridotites [21,23] or in ophiolites [7,28]; they are distinct from talc ore resulting from alteration of carbonate rocks [8,20]. Most REE patterns (Fig. 3) are similar to E-MORB patterns [22] and a few plot in the field of peridotites. Samples of every deposit are separated into two groups according to their negative ( $Ce/Ce^*$ : 0.01–0.85) or positive ( $Ce/Ce^*$ : 2–11) anomaly (Fig. 3). A feature well expressed in spider diagrams (Fig. 4), some talc schists and hornblendites are more depleted than the depleted MORB Mantle [27]. Negative anomalies are centered on Th, Nb, Ta, Sr, Zr, Hf (Fig. 4).

### 4. Discussion and conclusion

A regional metamorphism yielded garnet- and muscovite-bearing mica schists. In ultramafic rocks, its effect consists of the retromorphism of former rocks

into hornblendites. The garnet–biotite–muscovite equilibrium corresponds to the transition between green schist and amphibolite facies. From amphibole data, pressure was  $\leq 2$  kbar [4] and, from the stability of serpentine, temperature was  $\leq 500$  °C [14]. However, the occurrence of kilometric-size talc deposits (talc > 90 vol.%) is assigned to hydrothermal reactions. Complex processes that have triggered positive and negative anomalies in talc schists and hornblendites [1,10] are out of the scope of the present work. Cr-rich chlorite, serpentine and amphibole and the chemical composition of whole rocks are characteristic of ultrabasic rocks. High Ni, Cr, Co contents point to protoliths close to peridotites. On REE and spider diagrams, some patterns are typical of E-MORB and others correspond to peridotites [27]. However, LREE enrichment has been likely enhanced during hydrothermal reactions [1]. All samples display Th, Nb, Ta, Sr, Zr, Hf troughs (Fig. 4) that might characterize the protoliths.

Our most recent prospects in the neighbouring areas allowed the discovery of a dozen of talc ore outcrops scattered on a distance of 30 km striking SW–NE. It is tempting to interpret the whole set of talc schist deposits in terms of disaggregated units of a Pan-African ophiolite set in Cameroon.

## 1. Introduction

Au nord du craton du Congo, l'évolution de la ceinture panafricaine nord-équatoriale (Cameroun, Tchad, République Centrafricaine) [2,17] se résume en une convergence et une collision entre le craton de São Francisco–Congo, le craton ouest-africain et la chaîne panafricaine. Cette ceinture correspond, en fait, à une association de terrains précambriens, dont l'évolution crustale est longue et complexe [3,11,25]. Les travaux antérieurs sur cette ceinture ont trait à la tectonique et aux activités magmatiques associées [2,11,17,24]. En résumé, on y distingue quatre épisodes tectoniques ( $D_1$  et  $D_2$  à 640–610 Ma,  $D_3$  à 600–580 Ma,  $D_4$  antérieur à 545 Ma [25]). Des styles tectoniques en transpression et transtension y caractérisent de grands mouvements cisailants et tangentiels qui ont accompagné la convergence et la collision des trois blocs cités plus haut [11]. Toutefois, aucun affleurement de roches océaniques n'y est connu, malgré la présence des signatures caractéristiques d'une chaîne de collision : nappes externes d'extension régionale, métamorphisme granulitique de haute pression, plutonisme intense, failles cisailantes régionales, présence probable de molasse [25]. Actuellement, nous ne disposons d'aucune donnée sur la tectonique distensive à l'origine des bassins intra-continentaux

et/ou océaniques qui ont dû être refermés par la convergence et la collision au cours de l'orogénèse panafricaine. Au contraire, la plupart des études concluent que la chaîne pan-africaine nord-équatoriale serait constituée de métasédiments déposés sur un socle continental paléo-protérozoïque, dans un environnement de type marge passive (par exemple, [12,15,17]). Au Cameroun, les formations paléo-protérozoïques (2,1 Ga) s'étendent au-delà de l'unité de Bas-Nyong, sous forme de reliques ponctuelles alignées SSW–NNE sur plus de 1000 km [18]. Une exploration systématique a permis de découvrir qu'au sein des micaschistes panafricains situés au nord de la série du Bas-Nyong, il existait de nombreux affleurements de talcschistes issus de roches ultramafiques différentes des roches ultramafiques alcalines décrites au sein des granulites de Yaoundé [12, 15]. Cet article présente les premières données pétrographiques, minéralogiques et géochimiques des talcschistes de Ngoung, Lamal Pougue et Bibodi Lamal (Fig. 1a et b) dans le but :

- de décrire les principales étapes de formation des talcschistes ;
- de reconstituer la nature des roches originelles ;
- d'ouvrir une discussion sur la portée géodynamique de telles roches ultramafiques.

## 2. Contexte géologique

À la lumière des cartes géologiques de reconnaissance, la ceinture panafricaine au Cameroun comprend trois domaines (ouest et nord-ouest, central, sud) [3, 25]. Le domaine sud ou groupe de Yaoundé est un ensemble de roches granulitiques et de micaschistes, charrié sur la bordure nord-ouest du craton du Congo [3,11, 17]. Dans la région étudiée, une nappe de micaschistes à grenat, dans lesquels ont été découverts de grands affleurements de talcschistes, recouvre les migmatites de Yaoundé. Des âges U–Pb sur zircons séparés des métasyéno-gabbros sous-jacents donnent un âge Panafricain,  $618 \pm 7$  Ma, attribué à la mise en place du pluton et synchrone du métamorphisme granulitique [26]. Ces métasyéno-gabbros affleurent à Mamb. Ils sont relayés, au nord, par des quartzites, puis par des pyroxéno-amphibolites (Fig. 1b).

## 3. Description des affleurements et pétrographie

Les talcschistes affleurent en couches (10 m d'épaisseur et plus de 200 m d'extension) à Bibodi Lamal et en blocs de 5–10 m de diamètre au nord et au sud de Lamal Pougue. Sur le plateau de Ngoung Brousse, l'affleure-

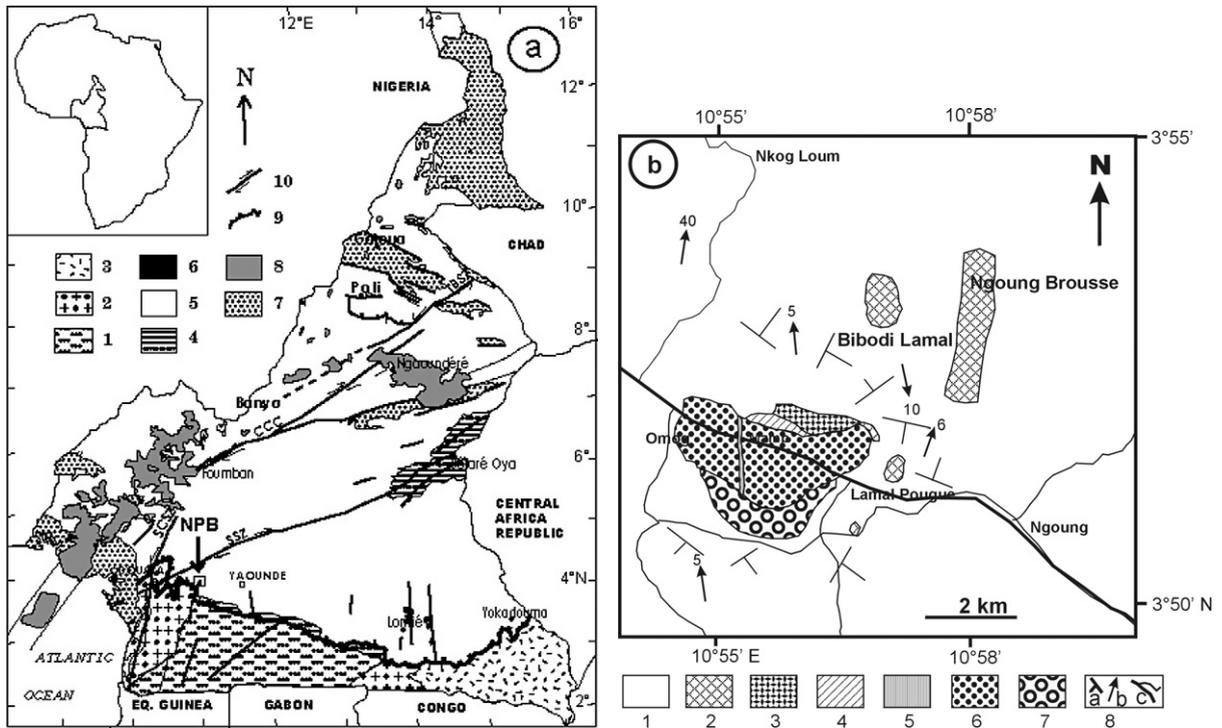


Fig. 1. (a) Carte géologique simplifiée du Cameroun. 1. Unité du Ntem. 2. Unité de l'Ayna (E) et du Bas-Nyong (W). 3. Série du Dja. 4. Bassins néo-protérozoïques. 5. Roches panafricaines indifférenciées. 6. Roches ultramafiques. 7. Bassins sédimentaires. 8. Roches volcaniques. 9. Charriage. 10. Zones de cisaillement. NPB. Gisements étudiés. (b) Carte géologique des gisements de talc de Ngoung, Lamal Pougue and Bibodi Lamal. 1. Micaschistes. 2. Talc schistes. 3. Pyroxénite à amphibole. 4. Quartzites. 5. Hornblendite à plagioclase. 6. Métasyéno-gabbros de Mamb. 7. Gneiss, 8. a : Schistosité, b : linéation, c : route et piste.

Fig. 1. (a) Geological map of Cameroon. 1. Ntem unit. 2. Ayna (E) and Bas-Nyong (W) units. 3. Dja series. 4. Neoproterozoic basins. 5. Pan-African undifferentiated rocks. 6. Ultramafic rocks. 7. Sedimentary basins. 8. Volcanic rocks. 9. Thrust contacts. 10. Shear zones, NPB. Studied area. (b) Geological map of talc-schist deposits at Ngoung, Lamal Pougue, and Bibodi Lamal. 1. Micaschists. 2. Talc deposits. 3. Amphibole-pyroxenite. 4. Quartzites. 5. Plagioclase-hornblendite. 6. Metasyeno-gabbro. 7. Gneiss. 8. a : Schistosity, b : lineation, c : road and path.

ment de talcschiste s'étend sur plus de 1 km de long et 200–300 m de large (Fig. 1b). Ces affleurements sont entourés de micaschistes à grenat et de quartzites. Les talcschistes contiennent des reliques de hornblendite de dimensions variées, le terme hornblendite désignant ici toute roche où subsiste plus de 50% d'amphibole aux côtés de talc, chlorite et autres minéraux accessoires.

### 3.1. Les hornblendites

Elles présentent une texture porphyroblastique et nématoblastique. Les amphiboles et le talc sont disloqués en sous-grains et présentent une extinction roulante prononcée, surtout dans les roches peu talcifiées (Fig. 2, photo a). L'anthophyllite, la trémolite et le talc prédominent, avec comme minéraux accessoires chlorite, serpentine et spinelles. À Ngoung, des cristaux relictuels d'olivine sont inclus dans ceux de l'anthophyllite (Fig. 2, photo b). Des cristaux de serpentine et de chlorite se développent aux dépens de l'anthophyllite

(Fig. 2, photo c), et sont progressivement remplacés par le talc. Quand la pseudomorphose de l'anthophyllite par le talc est incomplète, les deux minéraux forment des lamères interpénétrées.

### 3.2. Les talcschistes

Dans les talcschistes, la plupart des cristaux sont parallèles à la schistosité métamorphique. Les lamelles de talc sont caractérisées par une couleur variant du vert clair au jaune clair. En plus de la pseudomorphose des amphiboles, le talc se développe aussi aux dépens de la serpentine et de la chlorite, selon les plans de clivage (Fig. 2, photo d). Les oxydes opaques existent sous forme de cristaux automorphes primaires ou d'agrégats xénomorphes secondaires, logés aux interstices des cristaux d'amphibole. À Bibodi Lamal, le cortège minéralogique de l'échantillon BI06 comprend aussi beaucoup de magnésite et un peu de dolomite. Les cristaux de carbonates sont envahis par le talc, le long des cli-

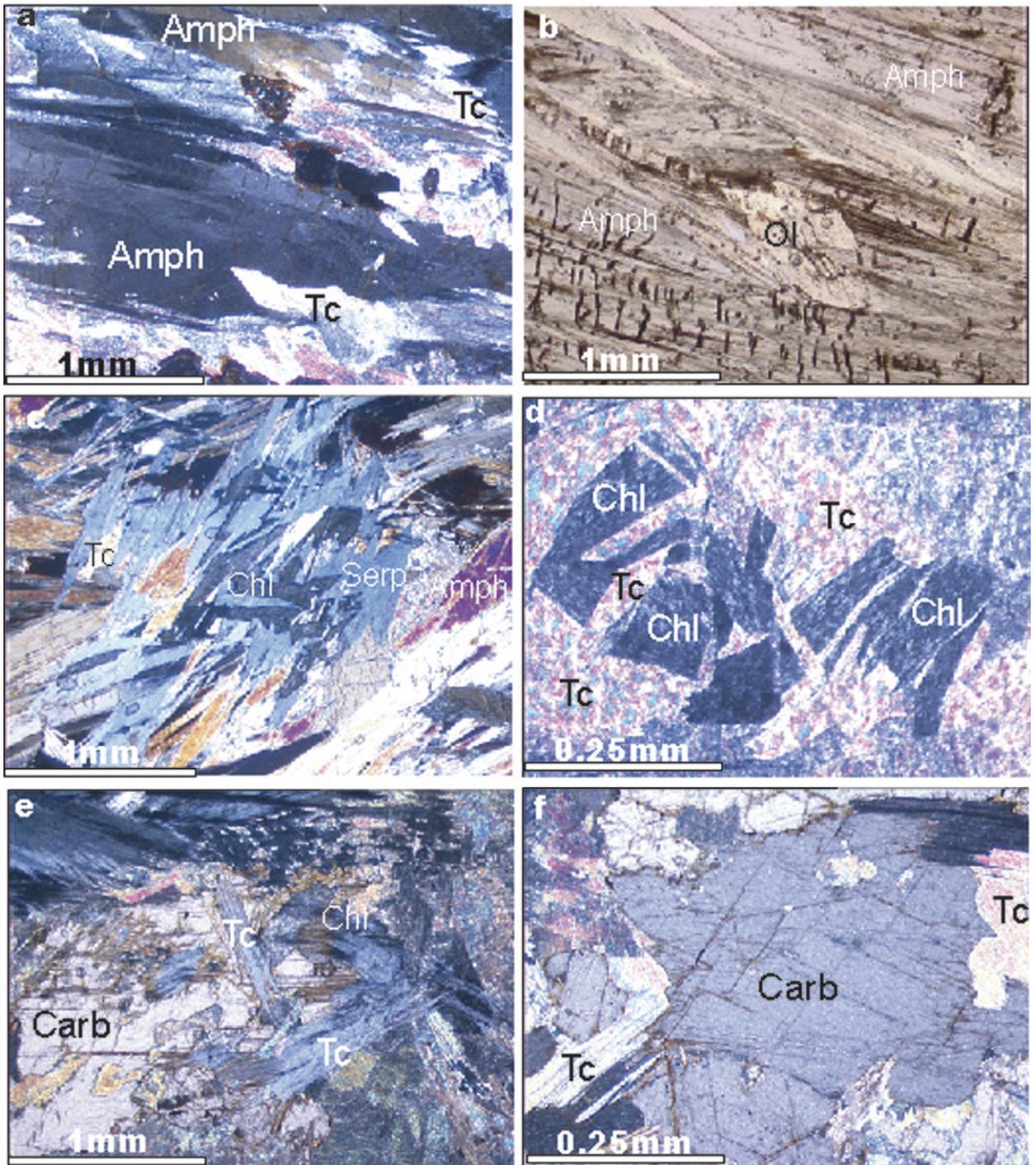


Fig. 2. Microphotographies des hornblendites et talcschistes en lumière polarisée et analysée. (a) Extinction roulante dans une hornblendite. (b) Relique d'olivine dans une hornblendite. (c) Développement de la serpentine et de la chlorite au dépens des amphiboles, puis transformation de la serpentine et de la chlorite en talc. (d) Pseudomorphose de la chlorite par le talc. (e) Pseudomorphose des carbonates par le talc. (f) Vue détaillée de la pseudomorphose.

Fig. 2. Photomicrographs of hornblendites and talc schists under cross-polarized views. (a) Undulose extinction of strained talc-bearing hornblendite. (b) Relict of olivine crystal in a hornblendite. (c) Serpentine and chlorite developed at the expense of amphiboles, then talc replacing both minerals. (d) Talc replacing chlorite. (e) Talc replacing carbonates. (f) Close view of talc replacing carbonates.

vages. Il s'ensuit un découpage en mosaïques losan-  
giques (Fig. 2, photos **d** et **f**).

#### 4. Minéralogie des talcschistes et des hornblendites associées

Les compositions chimiques des minéraux ont été déterminées par WDS (microsonde Cameca SX100, université Henri-Poincaré, Nancy). Les conditions analytiques étaient 15 kV et 20 nA pour l'amphibole, les oxydes et les spinelles, et 15 kV et 10 nA pour le talc, la chlorite, la serpentine et les carbonates. Le temps de comptage était de 30 s pour tous les éléments, sauf le fer (15 s). D'autres analyses ont été réalisées par EDS (microscope électronique à balayage – MEB – Hitachi S-2500) de la même université (toutes les analyses chimiques des minéraux et roches totales sont disponibles sur demande près de Charles Nkoumbou).

##### 4.1. Amphiboles

Les formules structurales ont été calculées selon [5]. L'ortho-amphibole a une composition d'anthophyllite ( $Si > 7$ ;  $Mg\# = Mg/(Mg + Fe^{2+}) > 0,8$ ). Le site A est vacant ou peu occupé ( $< 0,15$ ). L'amphibole monoclinique est une trémolite sodique ou une actinote magnésio-sodique ( $Si > 7,5$ ;  $Mg\#$  de 0,96 à 0,80;  $Na > 0,25$ ) [5]. Elle est riche en chrome ( $Cr = 0,06$  contre 0,02) et pauvre en fer ( $Fe^{2+} = 0,26$  contre 0,74) par rapport à l'anthophyllite.

##### 4.2. Oxydes

Les cristaux automorphes primaires sont des spinelles chromifères ou des chromites (40 à 60 wt% de  $Cr_2O_3$ ). La microscopie électronique à balayage révèle des masses xénomorphes secondaires constituées d'agrégats de particules sub-micrométriques et composées d'oxydes de fer ( $Fe_2O_3 = 52$ –60%), de nickel ( $NiO = 15,5$ –14%), de cuivre ( $CuO = 3,3$ –2%) et de silice ( $SiO_2 = 22$ –26%).

##### 4.3. Talc

Dans l'ensemble, les taux de substitution sont faibles dans le site tétraédrique ( $Si > 3,90$  cations). Le magnésium sature souvent le site octaédrique, mais on note des cas de substitutions notables ( $Mg : \geq 2,59$  cations). Les teneurs en FeO sont parfois élevées ( $\leq 10$  wt%), mais elles restent inférieures à celles du talc de Sterling Mine Antwerp, USA [19]. Les éléments mineurs sont  $Al_2O_3$ , NiO et  $Cr_2O_3$  (en moyenne : 0,25 ; 0,20 et 0,10%, respectivement).

##### 4.4. Chlorite, serpentine et carbonates

La chlorite est un clinochlore plus riche en  $Cr_2O_3$  (3,2 wt%) que le talc et la serpentine qui lui sont associés. Cette nature chromifère est caractéristique des chlorites hypogènes issues de l'altération hydrothermale des roches ultramafiques [13]. Les carbonates sont la magnésite et la dolomite, aux teneurs en fer similaires à celles de la magnésite associée aux serpentinites de Lomié, Est Cameroun [23].

#### 5. Géochimie des talcschistes et des hornblendites associées

Vingt et un échantillons de hornblendites et talcschistes ont été analysés par ICP–AES pour les éléments majeurs et ICP–MS pour les autres (CRPG–CNRS, Nancy). Les roches sont constituées de  $SiO_2$  (55–60%),  $MgO$  (27–32%) et  $Fe_2O_3$  (4–7%) et les valeurs de  $Mg\#$  [ $100 Mg/(Mg + Fe^{total})$  molaire] sont élevées (89 et 93; un seul échantillon a une valeur de 83,2). Les faibles teneurs en alumine, alcalins et titane sont aussi un trait majeur de ces roches. Seuls diffèrent l'échantillon NG03 riche en trémolite ( $> 10\%$  de CaO) et celui (BI06) contenant de la magnésite et de la dolomite ( $SiO_2 = 39\%$ ,  $MgO = 35\%$ ). Bien que la composition chimique de l'échantillon BI06 soit proche de celle des serpentinites, la composition modale estimée à l'aide de l'équation déduite par Yvon et al. [29] révèle sa nature de talcschiste à magnésite (talc : 56%, magnésite : 24% et serpentine : 9%). Dans les minerais de talc issus des carbonates de Trimouns (Pyrénées, France) et de Rabenwald (Alpes de l'Est, Autriche), Moine et al. [8] rapportent des teneurs en Co et Cr  $< 100$  ppm pour chaque élément. Schandl et al. [20] ont observé de faibles valeurs en Ni, Co ou Cr (0–40 ppm) et  $Al_2O_3$  ( $< 1$ –5%) dans des minerais de talc du désert oriental de l'Égypte. Ils ont conclu que de telles compositions excluaient tout protolithe de nature mafique ou ultramafique. Les fortes teneurs en Ni (1000–2200 ppm), Cr (1700–3600 ppm) et Co (50–120 ppm) des roches étudiées sont semblables à celles des minerais de talc issus de l'altération des roches ultramafiques de Timmins, Ontario [21], des péridotites serpentinisées de Lomié (Est Cameroun [23]), des harzburgites et dunites des ophiolites des Alpes orientales [7] ou des ophiolites de Turquie [28]. Sur cette base, les protolithes des talcschistes de Ngoung, Lamal Pougue et Bibodi Lamal seraient de nature ultrabasique. En outre, toutes les roches sont pauvres en Ba, K, Na, Cs, Be, Cd, Hf, In, Mo, Rb, Sn, Ta, W, Zr. La plupart des spectres des terres rares (REE) sont semblables à ceux des basaltes de rides médio-océaniques

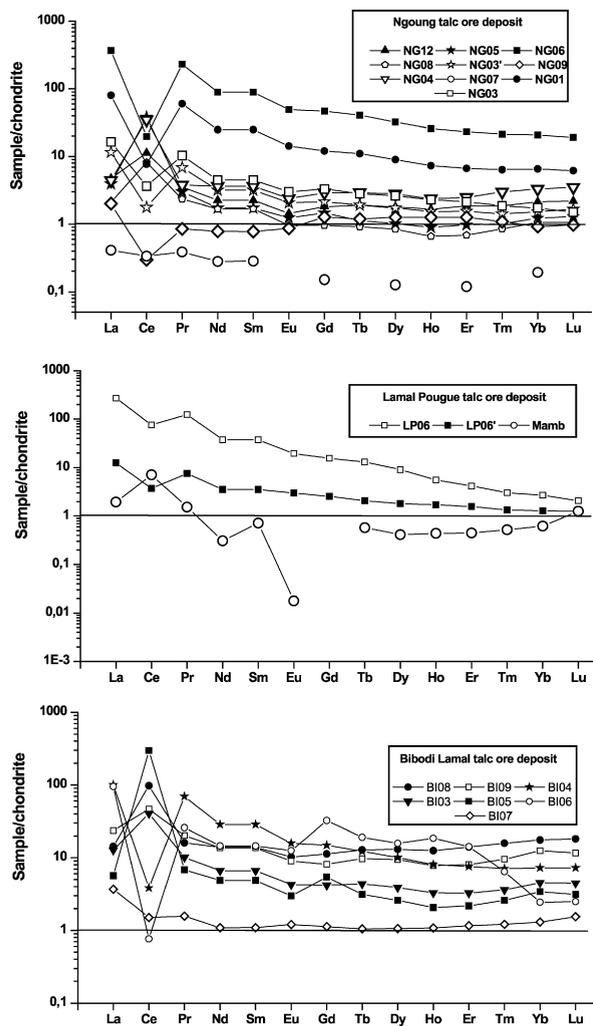


Fig. 3. Spectres des REE normalisés aux chondrites [6] des talcschistes (symboles vides) et hornblendites (symboles pleins). Les spectres de NG07 et Mamb sont entrecoupés, car les teneurs de certaines REE sont inférieures à la limite de détection.

Fig. 3. Chondrite normalized [6] REE patterns of talc schists (empty symbols) and related hornblendites (filled symbols). Patterns of NG07 and Mamb are interrupted where REE contents are below the detection limit.

enrichis (E-MORB [22]) avec des LREE décroissantes de La à Sm et des HREE soit plates, soit légèrement décroissantes (Fig. 3). Leurs plateaux sont compris entre 1 et 10. À Ngoung et à Lamal Pougue, plusieurs échantillons ont des valeurs normées aux chondrites très basses et leurs spectres se trouvent dans le domaine des spectres des péridotites déprimées [7,27]. L'échantillon de talc de Lamal Pougue (cf. Mamb) se distingue davantage par une forte anomalie négative en Eu et Gd (Fig. 3). À l'opposé, deux échantillons de hornblendites de Ngoung montrent un enrichissement réel en

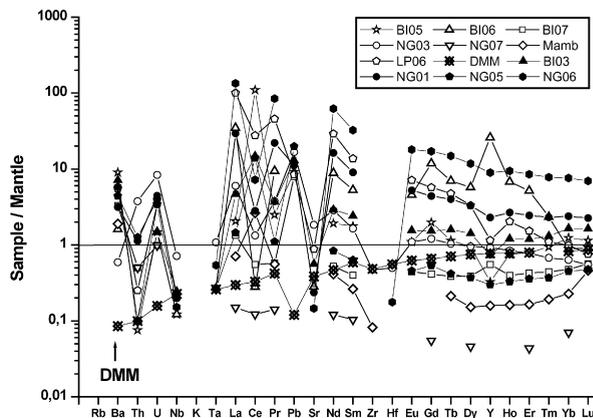


Fig. 4. Spiderdiagrammes d'une sélection de talcschistes (symboles vides) et hornblendites (symboles pleins). DMM : manteau RMO déprimé [27].

Fig. 4. Spiderdiagrams of selected talc schists (empty symbols) and related hornblendites (filled symbols). DMM: Depleted MORB Mantle [27].

REE ( $La_N/Yb_N = 18-12$ ;  $La_N/Sm_N = 4,2-3,3$ ). Les échantillons de chaque entité se répartissent en deux groupes caractérisés par une anomalie en Ce négative ( $Ce/Ce^* = 0,01$  à  $0,85$  où  $Ce^* = (La_N * Pr_N)^{1/2}$ ) ou positive ( $Ce/Ce^* = 2$  à  $48$ ). Ces anomalies négatives ou positives, observées dans les talcschistes et hornblendites associées, résultent vraisemblablement des variations du potentiel d'oxydoréduction [1,10].

Dans les diagrammes normalisés au manteau supérieur primitif [6], on distingue deux groupes d'échantillons : le groupe des roches (par exemple, Mamb, NG07), plus pauvres en la plupart des éléments que le manteau déprimé (DMM [27]), et celui des roches plus riches en certains éléments en traces. Tous ces groupes ont en commun des anomalies négatives en Th, Nb, Ta, Sr, Zr, Hf (Fig. 4) qui, de ce fait, peuvent être considérées comme une caractéristique des roches originelles.

## 6. Discussion

Les observations de terrain et les données pétrographiques, minéralogiques et chimiques permettent de discuter les processus de formation du talc et de la nature des roches originelles.

### 6.1. Processus de formation du talc

À la lumière des données pétrographiques, minéralogiques et géochimiques, on peut déduire que l'événement métamorphique régional à l'origine des mica-schistes à grenat appartient à la transition entre faciès schiste vert et faciès amphibolite. Dans les roches

ultramafiques, il s'est manifesté d'abord par la rétro-morphose des roches originelles en hornblendites. La présence de grands affleurements de roches talqueuses (> 90% talc) dérivées des hornblendites montre que l'événement métamorphique a été suivi par d'importantes réactions hydrothermales. Les réactions actuellement observées sont :

(i) *olivine* → *anthophyllite*, (ii) *amphiboles* → *serpentine* + *chlorite* → *talc*, (iii) *amphibole* → *talc*, (iv) *serpentine* → *talc*, (v) *chlorite* → *talc*, (vi) *dolomite* → *talc*, (vii) *magnésite* → *talc*.

La réaction (i) serait survenue au cours du métamorphisme, tandis que les autres réactions sont caractéristiques de la phase hydrothermale. En application de la méthode de détermination proposée par Brown [4], la trémolite se serait formée à une pression ≤ 2 kbar. À ces pressions, la limite de stabilité de la serpentine est de 500 °C [14].

## 6.2. Nature des roches originelles et portée géodynamique

Du point de vue minéralogique, les amphiboles et chlorites riches en Cr et la présence des chromites primaires témoignent de la nature ultrabasique des roches originelles. Les compositions en éléments majeurs et les fortes teneurs en Ni, Cr, Co (parfois V et Zn) des roches totales corroborent cette conclusion. Toutefois, les teneurs élevées en Ni, Cr, Co laissent penser à des protolithes de type péridotite, tandis que les spectres des REE se profilent dans le domaine des E-MORB et des péridotites déprimées. Ni, Cr et Co sont contenus dans les cristaux primaires (chromite) et secondaires (anthophyllite, trémolite, chlorite, serpentine, talc). En admettant que les minéraux secondaires aient hérité de ces éléments de minéraux primaires pseudomorphosés, la nature péridotitique des protolithes est envisageable. Quant aux terres rares, il est établi que les processus hydrothermaux ont pour effet d'engendrer des roches sélectivement enrichies en LREE [1], si les minéraux secondaires comportent des quantités notables de Ca en site octaédrique (trémolite). Comme les talcschistes et hornblendites résultent des processus hydrothermaux, il est donc possible que l'allure des spectres des LREE ait été modifiée par rapport à celle des roches originelles. Les ultrabasites originelles seraient ainsi proches de péridotites déprimées, conclusion que corroborent les faibles valeurs normalisées au manteau primitif [6] de Th, Nb, Ta, Sr, Zr, Hf, par rapport à celles de Workmann et Hart [27] (Fig. 4).

Plusieurs autres gisements de talcschistes existent au nord et nord-est de Boumnyebel. Les récentes campagnes d'exploration ont permis de découvrir douze nouveaux affleurements étalés SW–NE sur plus de 30 km. Il n'est pas exclu que ces formations (péridotites et/ou MORB) puissent représenter des fragments d'un ensemble ophiolitique panafricain démembré par la tectonique tangentielle, dont seuls quelques indices ultramafiques sont actuellement connus. Dans un contexte d'intense tectonique tangentielle, comme celui de la chaîne panafricaine au Cameroun, où des mouvements de charriage ont été accompagnés de grands mouvements cisailants d'envergure continentale [3,11,12,15–18,24,25], il n'est pas surprenant de ne retrouver que des masses isolées et démembrées. Les ophiolites, ou tout au moins les roches ultramafiques de nature ophiolitique, sont recherchées dans cette chaîne panafricaine nord-équatoriale depuis plusieurs décennies [16], et les présents résultats peuvent servir de clé pour l'étude de l'orogénèse panafricaine au Cameroun et de guide de prospection minière.

## 7. Conclusion

Des affleurements hectométriques à kilométriques de talcschistes ont été découverts dans des micaschistes de la série panafricaine de Yaoundé (Cameroun). Les talcschistes dérivent de la transformation de hornblendites par des fluides hydrothermaux. Malgré les effets du métamorphisme et de l'hydrothermalisme, les talcschistes et les hornblendites associées conservent les caractéristiques des roches originelles ultrabasiques (péridotites et/ou MORB). Dans les séries métamorphiques, de telles roches sont généralement observées dans des ensembles ophiolitiques (Alpes, Turquie, Éthiopie, par exemple), suggérant que les roches étudiées dans le cadre de ce travail constituent des fragments d'un ensemble ophiolitique panafricain démantelé. La découverte de nouveaux affleurements nous conduit à accroître les analyses géologiques, minéralogiques et géochimiques, afin d'affiner les paragenèses, les transformations minérales (réactions, fluides, entre autres) et de renforcer l'argumentaire.

## Remerciements

Les auteurs remercient le ministère français de la Coopération pour le financement des analyses et d'un premier séjour de Charles Nkoumbou à Nancy. Le Centre national de recherche scientifique a financé son second séjour au laboratoire « Environnement et minéralurgie » de l'École nationale supérieure de géologie (Nancy,

France). Le manuscrit a bénéficié d'une lecture critique de P. Barbey. Les auteurs remercient P. Affaton pour son commentaire constructif. Une revue approfondie de J.-P. Fortuné a permis une nette amélioration de cette note.

## Références

- [1] D.E. Allen, W.E. Seyfried, REE controls in ultramafic hosted MOR hydrothermal systems: an experimental study at elevated temperature and pressure, *Geochim. Cosmochim. Acta* 69 (2005) 675–683.
- [2] P. Barbey, J. Macaudière, J.-P. Nzenti, High-pressure dehydration melting of metapelites. Evidence from the migmatites of Yaoundé (Cameroon), *J. Petrol.* 31 (1990) 401–427.
- [3] B. Bessoles, R. Trompette, La chaîne panafricaine. Zone mobile d'Afrique centrale (partie sud) et zone soudanaise, Mem. BRGM, n° 92, 1980.
- [4] E.H. Brown, The crossite content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism, *J. Petrol.* 18 (1977) 53–72.
- [5] B.E. Leake, A.R. Woollet, C.E.S. Arps, W.D. Birch, M.C. Gilbert, J.D. Grice, F.C. Hawthorne, A. Kato, H.J. Kisch, V.G. Krivovichev, K. Linthout, J. Laird, J. Mandarino, W.V. Maresch, E.H. Nickel, N.M.S. Rock, J.C. Schumacher, D.C. Smith, N.C.N. Stephenson, L. Ungaretti, E.J.W. Whittaker, G. Youzhi, Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names, *Eur. J. Mineral.* 9 (1997) 623–651.
- [6] W.F. McDonough, S.-S. Sun, The composition of earth, *Chem. Geol.* 120 (1995) 223–253.
- [7] F. Melcher, T. Meisel, J. Puhl, F. Koller, Petrogenesis and geotectonic setting of ultramafic rocks in the eastern Alps: Constraints from geochemistry, *Lithos* 65 (2002) 69–112.
- [8] B. Moine, J.-P. Fortuné, P. Moreau, F. Viguié, Comparative mineralogy, geochemistry, and conditions of formation of two metasomatic talc and chlorite deposits: Trimouns (Pyrenees, France) and Rabenwald (Eastern Alps, Austria), *Econ. Geol.* 84 (1989) 1398–1516.
- [9] H. Mvondo, S.W.J. den Brok, J. Mvondo, Evidence for symmetric extension and exhumation of the Yaoundé nappe (Pan-African fold belt, Cameroon), *J. Afr. Earth Sci.* 36 (2003) 215–231.
- [10] C.R. Neal, L.A. Taylor, A negative anomaly in a peridotite xenolith: evidence for crustal recycling into the mantle or mantle metasomatism?, *Geochim. Cosmochim. Acta* 53 (1989) 1035–1040.
- [11] V. Ngako, P. Affaton, J.-M. Nnange, T. Njanko, Pan-African tectonic evolution in central and southern Cameroon: transpression and transtension during sinistral shear movements, *J. Afr. Earth Sci.* 36 (2003) 207–214.
- [12] T. Ngnotué, J.-P. Nzenti, P. Barbey, F.M. Tchoua, The Ntui-Betamba high-grade gneisses: a northward extension of the Pan-African Yaoundé gneisses in Cameroon, *J. Afr. Earth Sci.* 31 (2000) 369–381.
- [13] Y. Noack, F. Colin, Chlorites and chloritic mixed-layer minerals in profiles on ultrabasic rocks from Moyango (Ivory Coast) and Angiquinho (Brazil), *Clay Miner.* 21 (1986) 171–182.
- [14] C. Normand, A.E. Williams-Jones, R.F. Martin, H. Vali, Hydrothermal alteration of olivine in a flow-through autoclave: nucleation and growth of serpentine phases, *Am. Miner.* 87 (2002) 1699–1709.
- [15] J.-P. Nzenti, Neoproterozoic alkaline meta-igneous rocks from the Pan-African North Equatorial Fold belt (Yaoundé, Cameroon): biotites and magnetite-rich pyroxenites, *J. Afr. Earth Sci.* 26 (1998) 37–47.
- [16] J.-P. Nzenti, P. Barbey, J.-M. Bertrand, J. Macaudière, La chaîne panafricaine au Cameroun : cherchons suture et modèle, in : 15<sup>e</sup> RST, Nancy, Société géologique de France, Paris, 1994, p. 99 (abstract).
- [17] J.-P. Nzenti, P. Barbey, J. Macaudière, D. Soba, Origin and evolution of Late Precambrian high-grade Yaoundé gneisses, *Precambrian Res.* 38 (1988) 91–109.
- [18] J. Penaye, S.F. Toteu, R. Tchameni, W.R. Van Schmus, J. Tchakounté, A. Ganwa, D. Minyem, E.N. Nsifa, The 2.1 Ga West Central African belt in Cameroon: extension and evolution, *J. Afr. Earth Sci.* 39 (2004) 159–164.
- [19] S. Petit, F. Martin, A. Wiewora, P. De Parseval, A. Decarreau, Crystal chemistry of talc: a near-infrared (NIR) spectroscopy study, *Am. Miner.* 89 (2004) 319–326.
- [20] E.S. Schandl, M.P. Gorton, N.A. Sharata, The origin of major talc deposits in the eastern Desert of Egypt: relict fragments of metamorphosed carbonate horizon?, *J. Afr. Earth Sci.* 34 (2002) 259–273.
- [21] E.S. Schandl, F.J. Wicks, Carbonate and associated alteration of ultramafic and rhyolitic rocks at the Hemingway Property, Kidd Creek Volcanic Complex, Timmins, Ontario, *Econ. Geol.* 88 (1993) 1615–1635.
- [22] J.-G. Schilling, M. Zajac, R. Evans, T. Johnston, W. White, J.D. Devine, R. Kingsley, Petrologic and chemical variations along the Mid-Atlantic Ridge from 29°N to 73°N, *Am. J. Sci.* 283 (1983) 510–586.
- [23] A.C. Seme Mouangue, Géochimie, métamorphisme et métallogénie des latérites cobalto-nickelifères développées sur les roches ultrabasiques du secteur de Lomié (Est-Cameroun), thèse de 3<sup>e</sup> cycle, université Yaoundé-1, 1998 (155 p.).
- [24] G. Tagne-Kamga, Petrogenesis of the Neoproterozoic Ngondo plutonic complex (Cameroon, west central Africa): a case of late-collisional ferro-potassic magmatism, *J. Afr. Earth Sci.* 36 (2003) 149–171.
- [25] S.F. Toteu, J. Penaye, Y. Poudjom Djomani, Geodynamic evolution of the Pan-African belt in central Africa with special reference to Cameroon, *Can. J. Earth Sci.* 41 (2004) 73–85.
- [26] S.F. Toteu, R. Yongue Fouateu, J. Penaye, J. Tchakounté, A.C. Seme Mouangue, W.R. Van Schmus, E. Deloule, H. Stendal, U–Pb dating of plutonic rocks involved in the nappe tectonic in southern Cameroon: consequence for the Pan-African orogenic evolution of the central African fold belt, *J. Afr. Earth Sci.* 44 (2006) 479–493.
- [27] R.K. Workman, S.R. Hart, Major and trace element composition of the depleted MORB mantle (DMM), *Earth Planet. Sci. Lett.* 231 (2005) 53–72.
- [28] E. Yigitbas, R. Kerrich, Y. Yilmaz, A. Elmas, Q. Xie, Characteristics and geochemistry of Precambrian ophiolites and related volcanics from the Istanbul–Zonguldak unit, northwestern Anatolia, Turkey: following the missing chain of the Precambrian South European suture zone to the east, *Precambrian Res.* 132 (2004) 179–206.
- [29] J. Yvon, O. Liétard, J.-M. Cases, J.-F. Delon, Minéralogie des argiles kaoliniques des Charentes, *Bull. Minéral.* 105 (1982) 431–437.