

LES CHROMITITES DU COMPLEXE LITE YACOUBA (RÉGIONS DE BIANKOUMA ET DE SIPILOU, OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE) : PÉTROGRAPHIE ET CRISTALLOCHIMIE

**Gnamba Emmanuel Franck GOUEDJI^{1*}, Christian PICARD²,
Marc-Antoine AUDET³, Yacouba COULIBALY⁴, Quentin DESCHAMPS²
et Bouaké BAKAYOKO³**

¹*Université de Man, Unité de Formation et de Recherche des Sciences
Géologiques et Minières (UFR-SGM), BPV20 Man, Côte d'Ivoire*

²*Université de Franche-Comté, Laboratoire Chrono-environnement
(UMR 6249), 16 Route de Gray, 25000 Besançon, France*

³*Sama Nickel-CI Sarl, 28 BP 1467 Abidjan 28, Côte d'Ivoire*

⁴*Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Unité de Formation et de
Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières
(UFR-STRM), Laboratoire de Géologie du Socle et de Métallogénie (LGSM),
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, e-mail : gouedjiemmanuel@gmail.com

RÉSUMÉ

Ce travail porte sur la caractérisation des chromitites de Bounta et de Samapleu et de leur environnement géodynamique de formation; de leur relation avec le complexe lité Yacouba. Entre autre, cette étude vise à comparer ces chromitites à d'autres gisements de chromitites massives dans le monde. L'approche méthodologique est basée sur la caractérisation pétrographique et l'étude de la cristallogénie des minéraux de ces chromitites. Pour ce faire, des données de cartographies géologiques et de forages couplées à des observations de lames minces polies au microscope et des données de chimie des minéraux obtenues à la microsonde électronique ont été utilisées. Les résultats montrent que les chromitites de Bounta et de Samapleu sont essentiellement composées de cumulats et appartiennent au complexe mafique - ultramafique lité Yacouba. La chimie des minéraux (olivine, OPX et spinelles) de ces chromitites implique une origine magmatique et mantellique. Les teneurs en Fe³⁺, Al³⁺, Cr³⁺ indiquent que ces chromitites seraient liées à des intrusions litées mafiques continentales de composition basaltique avec des caractéristiques distinctes. Ainsi, les chromitites de Bounta seraient de types stratiformes tout comme les chromitites du complexe de Stillwater (Montana, Etats-Unis) et les chromitites de Samapleu (à forte teneur en aluminium) ont des caractéristiques typiques des chromitites de l'intrusion litée de Fiskenaesset (Ouest Greenland) et se rapprocheraient des chromitites du complexe lité Guelb el Azib (Mauritanie).

Mots-clés : *chromitites, Archéen - Paléoprotozoïque, Bounta, Samapleu, complexe Yacouba, Côte d'Ivoire.*

ABSTRACT**The chromitites of Yacouba layered complex (Biankouma regions and Sipilou, western Ivory Coast) : Petrography and crystal-chemistry**

The aim of this work is the characterization of the Bounta and Samapleu chromitites and their geodynamic setting environment; their relationship with the Yacouba layered complex. Moreover, this study aims to compare these chromitites with other massive chromitites deposits in the world. The methodological approach is based on the petrographic characterization and the crystallo-chemical study of these chromitites minerals. Thereby, data have been generated from the geological mapping and drilling coupled with those obtained from the observations of polished thin sections under the microscope and mineral chemistry from the electron microprobe. The results show that Bounta and Samapleu chromitites are mainly composed of cumulates and belong to the mafic-ultramafic Yacouba complex. The mineral chemistry (olivine, OPX and spinel) of these chromitites involves a magmatic and mantle origin. (Fe^{3+} , Al^{3+} and Cr^{3+}) contents indicate that these chromitites are related to the continental mafic layered intrusions of basaltic composition with distinct characteristics. Thus, Bounta chromitites are stratiform types like the Stillwater complex chromitites (Montana, USA) and Samapleu chromitites (high Al content) have typical features of Fiskenaesset layered intrusion chromitites (West Greenland) and would approach the chromitites of the Guelb el Azib complex (Mauritania).

Keywords : *chromitites, Archean - Paleoproterozoic, Bounta, Samapleu, Yacouba complex, Ivory Coast.*

I - INTRODUCTION

Des projets de recherches minières ont été initiés en Côte d'Ivoire dans les années 1950 pour la découverte de gisements de métaux de base (Ni, Cu, Co) et de chromite. Dans les régions de Biankouma et de Sipilou, l'exploration cartographique menée par la Société minière Samanickel-CI a permis de repérer en 2011-2012 les premiers indices de chromitites massives dans les localités de Bounta et de Samapleu [1]. Ces couches de chromitites massives ont été observées à la surface sur plus de six sites le long du corridor Samapleu-Bounta-Yepleu et sont associées à des dunites et des complexes de granulite basique fortement déformée [1 - 3]. Aussi, dans ces régions, un complexe mafique et ultramafique lité dit complexe Yacouba été caractérisé. Ce complexe forme une bande discontinue sur près de 25 km de long allant des villages de Yepleu-Bounta aux villages de Samapleu-Yorogoudou [2, 3]. Il est d'aspect stratiforme et est composé de séquences mafiques et ultramafiques dont certaines de ces formations ont des caractéristiques pétrographiques semblables aux dunites

et granulites basiques régulièrement associées aux chromitites massives de Bounta et de Samapleu. Par ailleurs, les chromitites sont des formations qui peuvent être présentes en contexte océanique et former des gisements de chromitites podiformes (issues des complexes ophiolitiques) ; elles peuvent aussi se retrouver dans un contexte continental pour former des gisements de chromitites stratiformes (issues d'intrusions litées) [1, 4]. La problématique est de déterminer le contexte géologique général dans lequel les chromitites de Bounta et de Samapleu se sont mises en place et de savoir s'il existe un lien entre ces chromitites et les séquences mafiques et ultramafiques du complexe lité Yacouba. La présente étude vise à caractériser les chromitites de Bounta et de Samapleu, leur environnement géodynamique de formation, leur possible relation avec le complexe lité Yacouba et à les comparer à d'autres gisements de chromitites massives en Afrique et dans le monde. Cette étude adopte une approche méthodologique qui s'appuie sur la caractérisation pétrographique des chromitites et l'étude de la cristalochimie des minéraux des chromitites et des péridotites associées, identifiées dans la zone de Samapleu et celles de Bounta.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Présentation de la zone d'étude et du contexte géologique

Les régions de Biankouma et de Sipilou sont localisées à l'ouest de la Côte d'Ivoire sur la dorsale Man-Leo, au niveau du craton ouest-africain (*Figure 1 a et b*). A l'ouest de la Côte d'Ivoire, la dorsale Man-Leo (*Figure 1b*) a été affectée par les orogénèses léonienne (3,3-3,0 Ga) et libérienne (2,9-2,7 Ga) ; deux événements majeurs magmatiques, métamorphiques [5 - 7]. Elle a été profondément remaniée à certains endroits durant l'événement tectono-métamorphique éburnéen, contemporain de la genèse des formations birimiennes [3, 7 - 10]. Le complexe mafique-ultramafique lité Yacouba localisé au niveau de la dorsale Man-Leo est situé dans les régions de Biankouma et de Sipilou, au nord de la faille de Danane-Man (*Figure 1b*) [2, 3, 11]. Les chromitites de Samapleu sont localisées dans la sous-préfecture de Yorodougou à environ trois kilomètres à l'ouest du village Gangbapleu. Quant aux chromitites de Bounta, elles sont situées dans la sous-préfecture de Santa à près de trois kilomètres au sud du village Gangbapleu (*Figure 2*).

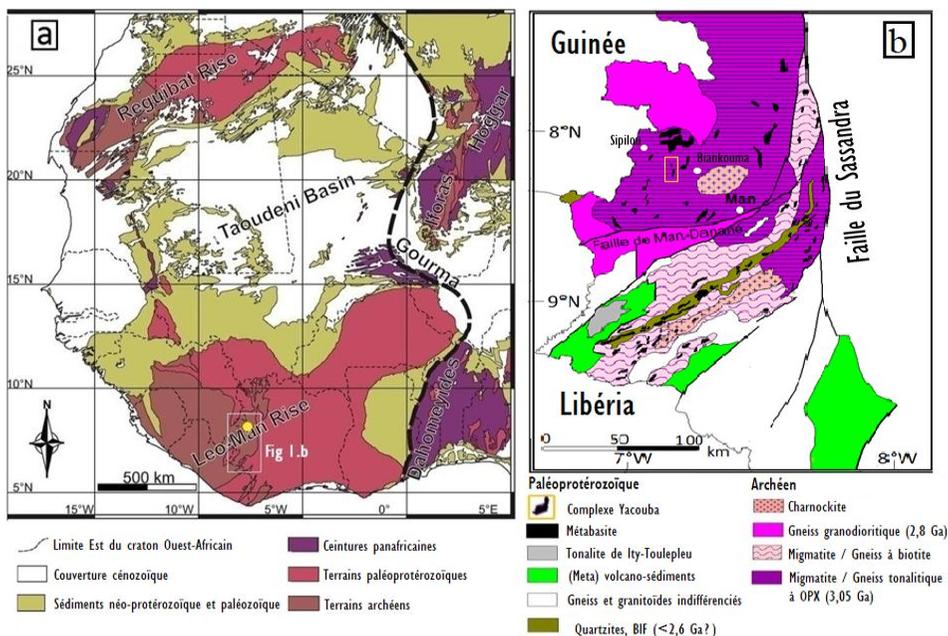


Figure 1 : Cartes géologiques schématiques de la zone d'étude. a. Bouclier Ouest-africain [12]; b. Craton de Man dans l'ouest de la Côte d'Ivoire [13] ; carré jaune = zone de Sipilou-Biankouma avec indication du complexe lité Yacouba [3]

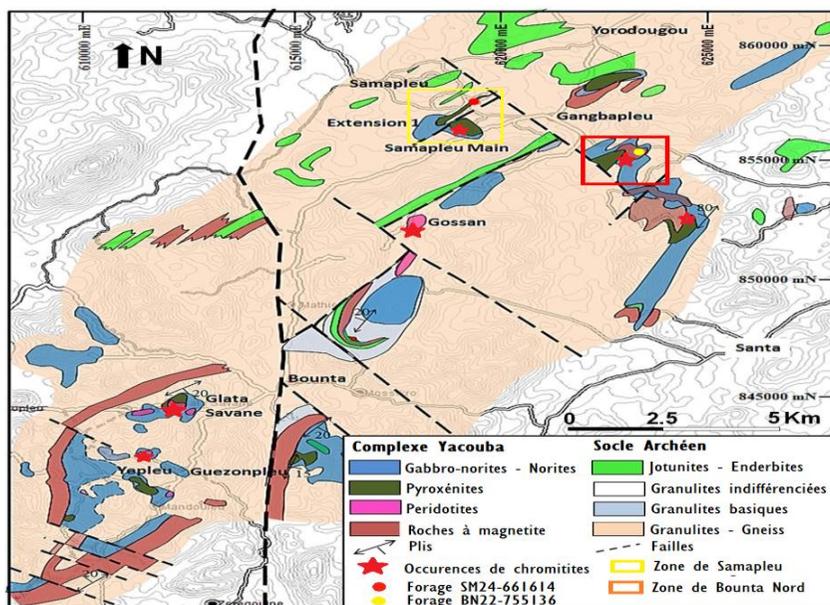


Figure 2 : Carte géologique montrant la distribution du complexe lité Yacouba et indiquant les occurrences de chromitites dont celles des zones de Bounta et de Samapleu puis les forages considérés [3]

Le complexe Yacouba est intrusif dans les formations granulitiques (d'âge 3,05 Ga), les charnockites et les jotunités-enderbites (âgées de 2,8 Ga) [3, 7, 13, 14]. Ce complexe est composé de plusieurs occurrences ultramafiques à mafiques. Les occurrences ultramafiques à mafiques sont constituées d'assemblages de péridotite - pyroxénite (ultramafique) et d'assemblages de norite et de gabbro-norite (mafique). Dans les intrusions de Samapleu, de Bounta et de Yepleu (appartenant au complexe Yacouba), ces assemblages sont minéralisés en sulfures de nickel-cuivre, en minéraux du groupe de platine (MGP) et localement en chromitites massives stratifiées. Dans les secteurs de Zeregouiné, de Yepleu, de Bounta et de Santa, d'autres assemblages mafiques stratifiés (gabbro-norites - gabbros - anorthosites - diorites à hypersthène intercalées d'assemblages de pyroxénites et magnétites) appartenant au complexe Yacouba sont observés. Toutes ces séquences (ultramafiques et mafiques) du complexe Yacouba forment des assemblages démembrés et étirés, qui s'étendent sur plus de 25 km de long, du corridor de Zeregouiné, de Yepleu, et de Bounta au corridor de Santa, de Samapleu et de Yorodougou (*Figure 2*).

II-2. Méthodes

II-2-1. Méthodes utilisées sur le terrain

La caractérisation des chromitites (Bounta et Samapleu) et du complexe lité Yacouba a été possible d'abord par l'élaboration d'une carte géologique à partir des données de surface (pétrographies, structurales, altérations) recueillies à travers la prospection régionale puis détaillée. Par la suite, la réalisation de forages carottés dans les zones de Bounta et de Samapleu a été effectuée. Par conséquent, les forages (BN22-755136 d'une profondeur de 120 m dans la zone de Bounta Nord ainsi que le sondage SM24-661614 d'une profondeur de 340 m à l'Extension 1 de Samapleu) sont les forages considérés pour la caractérisation pétrographique et l'étude cristallographique des minéraux des formations observées. Ces forages ont permis de décrire macroscopiquement les lithologies observées. En outre, une vingtaine d'échantillons de roches a été prélevée pour la confection de lames minces polies en vue d'affiner la caractérisation pétrographique des différentes formations au microscope optique et de déterminer les compositions chimiques des principaux minéraux.

II-2-2. Méthodes utilisées en laboratoire

Les lames minces (le plus souvent polies) ont été réalisées pour certaines au laboratoire de la société d'exploration pétrolière de Côte d'Ivoire (PETROCI) et pour la plupart au laboratoire de confection de lames minces de l'Université de Franche-Comté (France). En vue de la caractérisation pétrographique, ces

lames polies ont été étudiées d'une part, en lumière transmise pour les minéraux silicatés au microscope de type ZEISS AXIOSKOP 40 du Laboratoire de Chrono-Environnement de l'Université de Franche-Comté et aussi au microscope de type LEICA du Laboratoire de Géologie du Socle et de Métallogénie de l'Université de Cocody Abidjan. D'autre part ces lames polies ont été observées en lumière réfléchie pour la caractérisation des chromites et des sulfures au microscope de type LEICA DMLM au laboratoire d'archéologie de l'Université de Franche Comté. Les compositions chimiques des principaux minéraux (olivine, orthopyroxène et spinelles) des chromitites de Samapleu et de Bounta ont été déterminées à la microsonde électronique. Les échantillons ont été analysés aux microsondes électroniques de types JEOL JXA-8200, JEOL JXA-8230 et CAMEBAX respectivement à l'Université de Lausanne en Suisse, à l'Institut Supérieur du Tertiaire (IST) de Grenoble et au laboratoire mixte du BRGM-CNRS-Université d'Orléans en France. L'analyse pour la quantification de la composition chimique des minéraux s'est faite sous des conditions de 15 kV pour la tension d'accélération, 15nA pour l'intensité du courant, 5 à 10 µm taille du faisceau et un temps de comptage pouvant excéder les 10 secondes pour chaque élément analysé.

III - RÉSULTATS

III-1. Pétrographie

Les travaux d'exploration cartographique menés par la société Samanickel-CI ont permis de repérer en 2011-2012, les premiers indices de chromitites massives dans plusieurs localités [1, 2]. Près de six sites ayant des indices de chromitites massives ont été identifiés avec entre autres les zones de Samapleu, de Santa, de Bounta, de Gossan et de Yepleu-Guezonpleu (*Figure 2*). Ces chromitites sont régulièrement associées à la péridotite et aux granulites basiques. Elles n'affleurent quasiment jamais, sont recouvertes par d'épaisses couches latéritiques (jusqu'à 70 m d'épaisseur). Ces couches latéritiques peuvent contenir des blocs de chromitites (jusqu'à 2-3 m de tailles) et sont souvent transformées en d'importantes cuirasses latéritiques ou en des horizons latéritiques plurimétriques composés de goethite avec des blocs de chromitites massives.

III-1-1. Occurrences de chromitites de la zone de Bounta

Dans la zone de Bounta, dans la partie Nord, les occurrences de chromitites qui ont été observées en surface, se présentent sous forme de cuirasses latéritiques de couleur rouge orangée, caractérisées par la présence de goethite d'aspect caverneux avec en proportions variables des fragments massifs de

chromitites sur un plateau recouvert de savane qui peut se suivre sur environ 500 mètres de longueur et 200 mètres de largeur. En outre, un horizon de chromitites massives de douze mètres d'épaisseur, associé à de la goéthite a été identifié dans la zone Bounta sud (**Figure 3**) [15]. Les chromitites observées à Bounta ne sont pas magnétiques. Le sondage BN22-755136, effectué dans la zone des chromitites massives de Bounta Nord (**Figure 2**) a traversé une épaisse couche de latérite d'une soixantaine de mètre qui recouvre une succession de formations ultramafiques composées de dunite, d'orthopyroxénite et de chromitite. L'épaisseur de couche de chromitite est moins épaisse d'environ quatre mètres (**Figure 4**).



Figure 3 : Aspects des chromitites massives de Bounta Sud a. Extension de 12 mètres d'épaisseur de chromitites dont sa largeur est délimitée par les 2 hommes au bord de la route b. Echantillon de chromitite massive associé à la goéthite

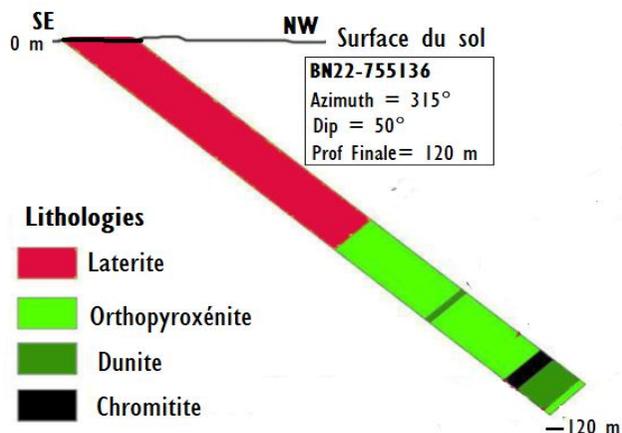


Figure 4 : Log du sondage BN22-755136 réalisé dans la zone de Bounta Nord

- *Dunite*

La dunite a une texture de type mésocumulat à adcumulat à cause de l'olivine qui est le minéral cumulus. Les cristaux d'olivine peuvent coexister avec des textures en mosaïque avec joints triples à 120° pour certains cristaux d'olivine de petite taille. L'olivine qui constitue près de 90 % de la roche, est subautomorphe avec des tailles variées de 500 µm à 3 mm de diamètre (Ø) et séparée par de fins liserés de serpentine et de magnétite (*Figure 5a*). Les minéraux opaques et le phlogopite représentent la majorité des phases inter-cumulus. La serpentine de 200 à 500 µm de diamètre constituant environ 5 % de la roche et les minéraux opaques xénomorphes de 100 µm à 1 mm de diamètre constituant environ 3 % de la roche, sont soit interstitiels aux cristaux d'olivine ou forment de petites inclusions au sein des cristaux d'olivine. Les minéraux opaques sont constitués de chromites, de magnétites et de sulfures (*Figure 5a*). La présence de quelques rares cristaux d'orthopyroxènes xénomorphes, de tailles variées (Ø = 200 µm à 1,5 mm) qui constituent environ 2 % de la roche est à noter.

- *Orthopyroxénite*

L'orthopyroxénite est constituée en majorité d'orthopyroxènes (90 % de la roche), de tailles variables (Ø = 150 µm à 2 mm). Les orthopyroxènes sont subautomorphes à xénomorphes. Quelques minéraux de clinopyroxènes (environ 5 % de la roche) subautomorphes, de tailles homogènes (en moyenne 750 µm) sont présents dans cette lithologie. Les minéraux opaques (5 % de la roche), sont constitués de chromites interstitielles de 500 µm de diamètre environ. La présence d'amphibole ainsi que de joints triples à 120° entre petits cristaux de pyroxènes est notable (*Figure 5b*).

- *Chromitite*

La chromitite présente une texture d'ortho à mésocumulat avec la chromite comme cumulus et les silicates interstitiels, représentant les phases intercumulus (*Figure 5c*). Par endroits, cette lithologie présente des couronnes réactionnelles autour des cristaux de chromite, synchrones de la cristallisation des phases silicatées inter-cumulus [16]. Les joints triples à 120° sont assez fréquents entre les minéraux mais non systématiques. La chromite constitue environ 80 % de la roche avec des cristaux de grandes tailles (Ø = 2 à 3 mm en moyenne) automorphes à subautomorphes, jointifs les uns aux autres. Les phases intercumulus sont constituées entre autres de petits cristaux d'orthopyroxènes xénomorphes (environ 10 % de la roche) de tailles variables (Ø = 200 µm à 1mm) et de clinopyroxènes (5 % de la roche) de petites tailles (Ø = 500 µm). Aussi, ces phases intercumulus sont par endroits constituées de quelques petits cristaux (Ø = 250 µm) de phlogopite automorphe, de rares cristaux d'olivine (2 % de la roche) et de plagioclases subautomorphes de tailles moyennes (Ø = 750 µm). De faibles quantités de sulfures (pyrrhotite, pentlandite et chalcopyrite) de diamètre inférieur à 100 µm et faisant 1 % de la roche sont en inclusions dans les chromites et rarement dans les phases silicatées (*Figure 5d*).

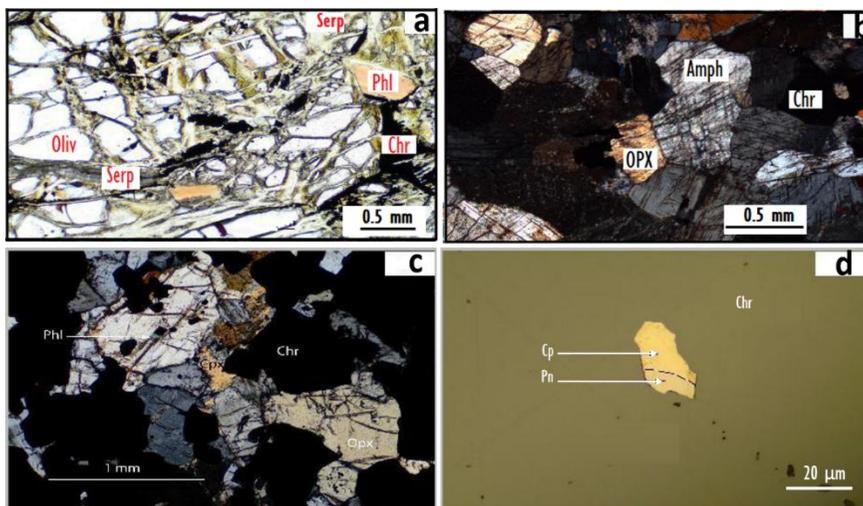


Figure 5 : Microphotographies des lithologies recoupées par le sondage BN22-755136 réalisé dans la zone de Bounta Nord a. Dunitite avec olivine serpentinisée associée au phlogopite et à la chromite; b. Orthopyroxénite avec joints triples à 120° entre petits cristaux de pyroxènes ; c. Chromitite avec chromite cumulus et silicates en phases intercumulus; d. Chromitite avec sulfures (Chalcopyrite et Pentlandite) en inclusions dans la chromite.
 Oliv = olivine ; Opx = orthopyroxène ; Cpx = clinopyroxène ; Serp = serpentine ; Amph = amphibole ; Phl = Phlogopite ; Chr = chromite ; Pn = pentlandite ; Cp = chalcopyrite

III-1-2. Occurrences de chromitites de la zone de Samapleu

Dans la zone de Samapleu, les chromitites observées en surface se présentent sous forme de gros blocs associés à des blocs de pyroxénites et de gabbros (contenant du sulfure de nickel - cuivre) dans une vaste zone latéritique (environ 500 mètres de longueur et 400 mètres de largeur sur une colline dans zone principale (SM) de Samapleu). Cette zone latéritique de couleur rouge orangée est caractérisée par la présence de la goethite et de l'hématite, issues de l'altération des roches ultramafiques présentes. De nombreux forages réalisés à Samapleu ont recoupé plusieurs bandes décimétriques et métriques de chromitites massives et semi-massives. Le forage SM24-661614 réalisé à l'Extension 1 de Samapleu (**Figure 2**) a recoupé l'intrusion mafique et ultramafique de Samapleu et son encaissant granulitique (**Figure 6**). Ce forage a traversé d'abord, une épaisse couche de latérite d'une cinquantaine de mètres puis l'encaissante granulite gneissique. Ensuite, ce forage a recoupé une succession de formations mafiques-ultramafiques de l'intrusion, composée de péridotites (Iherzolite), d'une variété de webstérites et des gabbro-norites. Ces formations contiennent des sulfures interstitiels et sont intercalées de sulfures et de chromitites massifs à semi-massifs (**Figure 6**). A Samapleu, ces bandes de chromitites sont décimétriques à métriques et associées aux péridotites et aux pyroxénites.

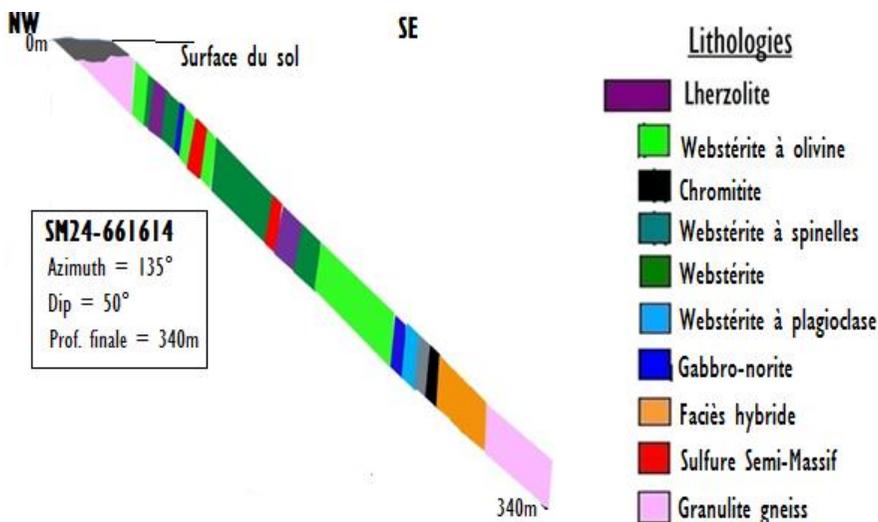


Figure 6 : Log du sondage SM24-661614 réalisé dans la zone de l'Extension 1 de Samapleu

- *Péridotites*

Les péridotites sont composées de lherzolite, de harzburgite et de dunite partiellement serpentinisées et magnétiques. La dunite fréquemment au contact avec la granulite gneissique encaissante est composée de près de 90 % d'olivine et 5 % de magnétite, les pyroxènes y sont en faibles proportions. La lherzolite est constituée de plus de 70 % d'olivine \pm arrondie (minéral cumulus) avec des cristaux à contours rectilignes pour certains et des extinctions onduleuses; des kinks de déformations pour d'autres. La magnétite et la serpentine sont toutes deux disposées à l'intérieur des craquelures des cristaux d'olivine (**Figure 7a**). Les cristaux d'orthopyroxènes et de clinopyroxènes ayant des extinctions onduleuses représentent moins de 15 % de la roche et l'amphibole qui est interstitielle fait 5 à 15 % de la roche. Les spinelles et les sulfures (5 % de la roche et de diamètre (\emptyset) = 0,5 à 2 mm) sont interstitiels et xénomorphes entre les silicates ou arrondis à l'intérieur des silicates. L'harzburgite présente les mêmes caractéristiques que la lherzolite mais avec une proportion élevée d'orthopyroxènes.

- *Chromitite*

Macroscopiquement, la chromitite forme des bandes centimétriques à décimétriques voire métriques et présente soit des contacts nets avec les séquences silicatées (webstérite à olivine, péridotites) ou est disséminée entre les roches silicatées (**Figure 7b**). La chromitite est magnétique, de couleur noire, massive et dense. La chromite de couleur noire (70 % de la roche) interstitielle est en net-texture autour des silicates (**Figure 7c**). Les pyroxènes

($\varnothing = 0,5$ à 3 mm) ont des extinctions roulantes ; l'olivine et le spinelle chromifère sont fréquemment associés et l'olivine qui est arrondie (moins de 5 % de la roche, $\varnothing < 1$ mm) est entourée par la chromite. [17, 18] montre que la chromite peut cristalliser avec l'olivine au début du fractionnement d'un magma primitif, comme c'est le cas à Samapleu. Le plagioclase qui est allotriomorphe, de taille moyenne, avec des extinctions roulantes par endroits, est moins abondant dans la roche. Ces chromitites contiennent de rares cristaux de phlogopite et des cristaux d'amphibole interstitiels entre les chromites. De rares cristaux de sulfures (2 % de la roche) soit en inclusion dans les chromites et/ou associées aux inclusions silicatées dans les chromites et/ou en inclusion dans les silicates ont été observés dans les chromitites.

- *Pyroxénites*

Dans les pyroxénites la formation la plus représentée est la webstérite. La webstérite est constituée majoritairement d'OPX (70 % de la roche) et de CPX (moins de 20 % de la roche). Ces minéraux sont automorphes à subautomorphes avec des contours subarrondis (généralement $\varnothing = 0,5$ à 2 mm et localement $\varnothing = 0,5$ à 2 cm). Ils forment des cristaux polygonaux avec des extinctions onduleuses, des kinks de déformations et des points triples d'environ 120° (**Figure 7d**). Par ailleurs d'autres cristaux de petites tailles ($\varnothing = 0,5$ à 1 mm) et polygonaux sont juxtaposés à certains cristaux de tailles moyennes ($\varnothing = 2$ à 5 mm) tous aussi polygonaux impliquant une recristallisation à haute température. Les spinelles sont généralement allotriomorphes et interstitiels. Ils peuvent être aussi, soit arrondis en inclusions ou soit en exsolutions dans les pyroxènes. La présence de fins cristaux arrondis d'olivine qui sont poecilitiques en inclusions dans les pyroxènes, donne lieu à la webstérite à olivine. L'amphibole fait près de 20 % de la roche par endroits. Dans la webstérite, le plagioclase composé d'anorthite, xénomorphe à subautomorphe de 0,5 à 2 mm de diamètre est interstitiel aux cristaux d'OPX et de CPX. L'anorthite lorsqu'elle constitue 10 à 15 % de la roche transforme la webstérite en une webstérite à plagioclase.

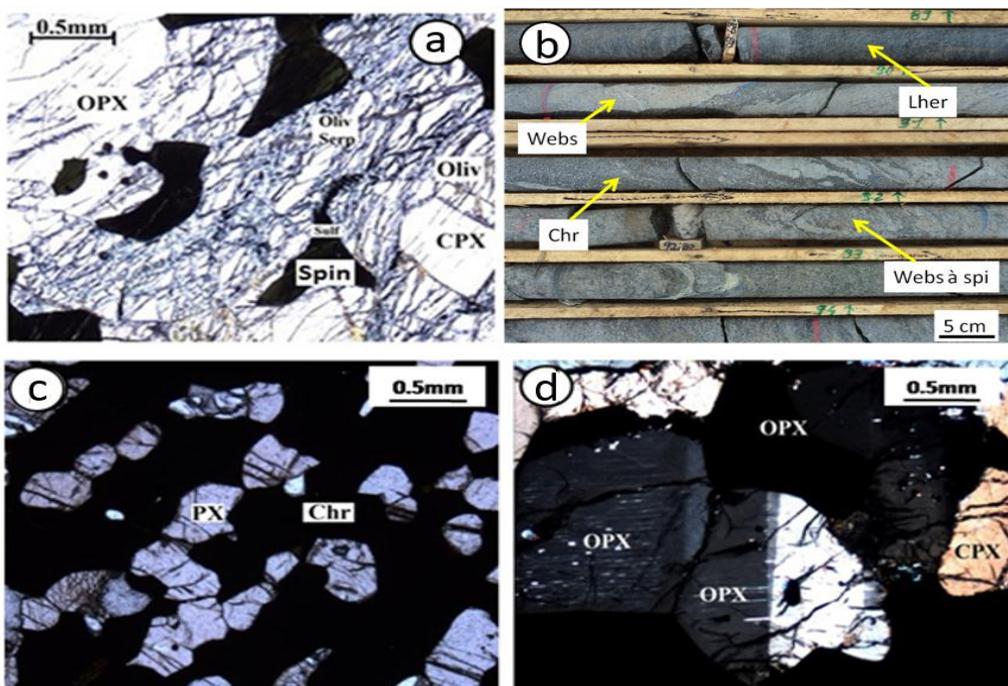


Figure 7 : Photographies des lithologies recoupées par le sondage SM24-661614 réalisé dans la zone de l'Extension 1 de Samapleu a. Lherzolite serpentinisée avec spinelle et sulfure interstitiels; b. Bandes centimétriques à décimétriques de chromitites ; c. Chromitite avec chromite interstitielle formant un réseau en filet autour des pyroxènes ; d. Websterite avec pyroxènes à kinks de déformations et extinctions onduleuses. Oliv = olivine ; Opx = orthopyroxène ; Cpx = clinopyroxène ; PX = Pyroxène ; Serp = serpentine ; Sulf = sulfure ; Spin = spinelle; Chr = chromite ; Lher = Lherzolite; Webs = Websterite; Webs à spi = Websterite à spinelle

III-2. Cristallochimie des minéraux

Les minéraux tels que l'olivine, l'orthopyroxène et les spinelles ont été caractérisés à travers leurs chimies, au sein de la chromitite et des lithologies associées (dunite, harzburgite et lherzolite).

- *Orthopyroxène*

Les cristaux d'orthopyroxènes (OPX) de Samapleu (zones SM et E1) sont magnésiens et correspondent au groupe des hypersthènes. Le nombre Mg (Mg#) des cristaux des OPX varie entre 0,84 et 0,92 et les OPX les plus magnésiens sont ceux observés dans la chromitite. Les teneurs en Al_2O_3 sont élevées et fluctuent entre 1 et 4 % et les teneurs en Cr_2O_3 ($\leq 0,3$ %) et TiO_2 ($\leq 0,14$ %) sont systématiquement faibles (*Tableau 1*).

Les cristaux d'OPX de la zone de Bounta (Bounta Nord) sont magnésiens comme ceux de Samapleu et correspondent à des hypersthènes. Le Mg# de ces cristaux est plus magnésien que celui de Samapleu avec une moyenne de Mg# égale à 0,92. Les teneurs en Al_2O_3 (entre 0,74 et 1,30 %) sont moins élevées comparées aux teneurs en Al_2O_3 des OPX de Samapleu et les teneurs en Cr_2O_3 ($\leq 0,3$ %) et TiO_2 ($\leq 0,40$ %) sont faibles (**Tableau 1**).

- *Olivine*

A Samapleu, les cristaux d'olivine des lithologies péridotitiques et de la chromitite sont magnésiens (Mg# fluctue entre 0,81 et 0,90) et les teneurs en forstérite (Fo) varient entre 80,85 à 89,84 %. Ce sont donc des chrysolites [19]. Les cristaux d'olivine contenus dans la chromitite sont les plus magnésiens avec des teneurs en forstérite qui se situent entre Fo_{86} et Fo_{90} (**Tableau 2**). Les teneurs en NiO sont inférieures ou égales à 0,33 %. A Bounta, les cristaux d'olivine dans la dunite sont plus magnésiens (Mg# fluctue entre 0,88 et 0,90) que ceux de Samapleu et les teneurs en forstérite (Fo) varient entre 87,82 à 90,28 %. Les teneurs en NiO sont élevées (entre 0,55 % et 0,38 %).

- *Spinelles*

Abusivement appelés chromites sur le terrain, ces minéraux sont apparus à l'issue des analyses comme des spinelles. A Samapleu tout comme à Bounta, ces minéraux se répartissent en trois grands groupes de spinelles (spinnelle alumineux, spinelle chromifère et spinelle ferrifère) impliquant une large variation du Mg# (**Tableau 3**). Dans ces spinelles, le calcul du pourcentage relatif de Fe^{3+} , Al^{3+} et Cr^{3+} montre que c'est le chrome qui est l'élément le plus abondant. A Samapleu les spinelles observés dans les chromitites peuvent être regroupés en deux groupes. Les spinelles dont le pourcentage de chromite est relativement faible (33 % à 36 %) d'une part et les spinelles avec un pourcentage de chromite relativement moyen (42 % à 48 %) d'autre part. Les teneurs en titane (TiO_2) dans les chromitites sont systématiquement faibles c'est-à-dire inférieures à 0,57 % (**Tableau 3**). A Bounta, les spinelles peuvent aussi être regroupés en deux groupes. D'une part, les spinelles présents dans la dunite qui se trouve associée à la chromitite et dont les teneurs en chromite sont relativement moyennes (42 % à 46 %) et d'autre part, les spinelles présents dans la chromitite dont les teneurs en chromite sont relativement élevées (autour de 57 %). Les teneurs en titane (TiO_2) dans les spinelles de la dunite et de la chromitite de Bounta sont aussi faibles (teneurs en $\text{TiO}_2 < 0,38$ %) que celles de Samapleu (**Tableau 3**).

IV - DISCUSSION

La pétrographie des chromitites et des lithologies associées (dunite, lherzolite, harzburgite) de Bounta et de Samapleu a montré que ces formations ont soit des textures d'adcumulat ou de mesocumulat voire d'orthocumulat. Ces formations sont donc essentiellement composées de cumulats. Cela implique qu'elles ont une origine magmatique [20 - 22]. Par ailleurs, des caractères texturaux particuliers pour des cumulats, entre-autres (i) des contours rectilignes avec joints triples d'environ 120° par endroits, (ii) des kinks de déformations, (iii) des extinctions onduleuses ont été observés dans ces roches. Des marqueurs de la déformation à haute température [23], qui observés dans les chromitites suggèrent une recristallisation des chromites, probablement au cours du refroidissement de l'intrusion à laquelle est associée les chromitites [24]. De rares sulfures sont présents dans les chromitites de Bounta et de Samapleu sous trois formes différentes : i) en inclusion dans les chromites, ii) associées aux inclusions silicatées dans les chromites et iii) en inclusion dans les silicates. Une telle présence de sulfures a été mise en évidence dans les chromitites du Complexe de Stillwater (Montana, Etats-Unis) ; un complexe décrit comme étant lité et stratiforme [25]. La présence des sulfures (pentlandite, pyrrhotite et chalcopyrite) dans les chromitites s'explique par le fait qu'au cours de la recristallisation des chromites, lors du refroidissement de l'intrusion, les gouttelettes de sulfures vont être piégées soit entre les grains de chromites; ou dans les chromites; ou dans les phases silicatées interstitielles en contact avec les chromites [4, 26]. Elle indique que les chromitites qui contiennent ces sulfures ont une origine mantellique [27 - 29].

Tableau 1 : Analyses représentatives des orthopyroxènes des zones de Bounta (Bounta Nord) et de Samapleu (Zone Principale et Extension 1)

Sites Roches Minéral Echantillons	Bounta Nord Chromitite Orthopyroxène BN22-36-109					Samapleu Extension 1							Samapleu Zone principale					
						Lherzolite			Chromitite				Lherzolite		Harzburgite		Chromitite	
						SM24-1-83			SM24-1-102				So6-135		T2/2-27		S06-31	
Analyses	6	8	11	14	16	434	438	445	474	476	480	481	84	61	62	3	4	5
SiO ₂ (%)	57,85	57,44	57,41	57,59	57,76	54,00	54,52	54,36	55,64	55,42	55,23	55,56	54,62	55,23	55,30	57,71	57,49	57,03
TiO ₂	0,04	0,06	0,01	0,03	0,04	0,14	0,11	0,14	0,06	0,11	0,08	0,12	0,06	-	0,03	0,08	0,06	0,06
Al ₂ O ₃	0,74	1,30	1,05	1,09	0,94	2,85	2,44	2,54	2,11	2,02	1,86	2,17	3,46	3,40	3,72	1,45	1,20	1,54
FeOt	5,24	5,32	6,28	5,24	5,57	11,05	10,79	11,08	8,86	8,54	8,56	8,93	11,46	12,02	11,73	6,76	6,88	7,11
Fe ₂ O ₃	2,33	2,61	2,34	2,75	2,30	2,02	0,90	1,68	1,60	1,82	3,90	1,95	-	2,33	1,33	-	-	-
FeO	3,14	2,97	4,18	2,77	3,50	9,23	9,98	9,56	7,42	6,90	5,05	7,18	11,46	9,92	10,53	6,76	6,88	7,11
Cr ₂ O ₃	0,20	0,31	0,32	0,33	0,33	0,19	0,12	0,12	0,31	0,28	0,21	0,31	-	0,07	0,03	0,22	0,16	0,26
MnO	0,21	0,23	0,24	0,21	0,23	0,27	0,31	0,32	0,23	0,21	0,20	0,22	0,23	0,29	0,19	0,23	0,17	0,22
MgO	36,56	35,75	35,38	36,40	36,20	30,64	30,48	30,61	32,78	32,73	33,84	32,93	28,97	30,74	30,75	33,68	34,41	33,76
CaO	0,30	0,74	0,47	0,43	0,33	0,43	0,21	0,43	0,29	0,32	0,36	0,24	0,56	0,37	0,48	0,38	0,19	0,36
Na ₂ O	-	0,14	0,05	0,03	-	0,01	0,09	-	0,01	0,09	0,01	0,03	-	0,01	-	0,01	0,03	-
K ₂ O	-	-	-	-	0,01	-	0,01	0,03	0,01	-	-	0,01	-	-	-	0,01	-	-
NiO	0,09	0,06	0,11	0,10	0,11	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	0,18	-	-	-	-
Total	101,27	101,37	101,38	101,50	101,58	99,78	99,17	99,80	100,46	99,90	100,74	100,71	99,36	102,31	102,23	100,50	100,50	100,30
Si	1,95	1,94	1,95	1,94	1,95	1,91	1,93	1,92	1,93	1,93	1,91	1,92	1,94	1,90	1,91	1,98	1,97	1,97
Ti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ⁴	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,09	0,06	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,06	0,10	0,09	0,02	0,03	0,03
Al ⁶	-	-	-	-	-	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	-	0,01	0,08	0,04	0,06	0,04	0,02	0,03
Fe ³⁺	0,06	0,07	0,06	0,07	0,06	0,05	0,02	0,04	0,04	0,05	0,10	0,05	-	0,06	0,03	-	-	-
Fe ²⁺	0,09	0,08	0,12	0,08	0,10	0,27	0,30	0,28	0,21	0,20	0,15	0,21	0,34	0,29	0,30	0,19	0,20	0,21
Cr	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	0,01	-	0,01
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	1,84	1,80	1,79	1,83	1,82	1,61	1,61	1,61	1,70	1,70	1,74	1,70	1,53	1,58	1,58	1,72	1,76	1,74
Ca	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Na	-	0,01	-	-	-	-	0,01	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ni	-	-	-	-	-	nd	-	-	-	-	-	-						
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,99	4,00	4,00	3,99	4,00	4,00
Mg #	0,93	0,92	0,91	0,93	0,92	0,85	0,84	0,85	0,89	0,89	0,92	0,89	0,82	0,85	0,84	0,90	0,90	0,89
Mg %	91,78	90,74	89,85	91,53	91,20	82,14	82,69	82,03	86,06	86,43	86,74	86,12	80,62	81,08	81,39	88,92	89,37	88,53
Fe t + Mn %	7,67	7,91	9,29	7,70	8,21	17,03	16,9	17,14	13,39	12,97	12,60	13,43	18,26	18,22	17,70	10,36	10,28	10,79
Ca %	0,55	1,35	0,87	0,77	0,59	0,83	0,41	0,83	0,55	0,61	0,66	0,45	1,12	0,70	0,91	0,72	0,35	0,68

*Note : (1) nombre d'Oxygène = 6 O ; (2) nd = non déterminé ; (3) - : limite de détection

Tableau 2 : Analyses représentatives des olivines des zones de Bounta (Bounta Nord) et de Samapleu (Zone Principale et Extension 1)

Sites	Bounta Nord						Samapleu Zone principal					Samapleu Extension 1									
Roches	Dunite						Chromitite		Lherzolite		Harzburgite			lherzolite			Chromitite				
Minéral	Olivine						S06-31		S06-135		T2/2-27		S12-64		SM24 -1-83			SM1-182		SM24-1-102	
Echantillons	BN22-36-89						S06-31		S06-135		T2/2-27		S12-64		SM24 -1-83			SM1-182		SM24-1-102	
Analyses	4	7	9	10	16	17	32	92	93	58	108	429	448	37	475	479	484				
SiO ₂ (%)	40,54	40,52	40,74	40,50	41,08	41,17	41,71	38,73	38,99	40,15	40,21	40,00	40,09	38,00	40,30	40,03	39,71				
TiO ₂	-	-	-	-	0,01	0,01	-	0,02	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-				
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	0,03	0,03	-	-	-	0,01	0,01	0,05	-	-	-	-	0,08				
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	0,02	0,02	nd	nd	nd	nd	nd	-	0,02	0,02	-	-	-				
FeO	11,80	11,61	11,62	11,45	9,53	9,55	9,76	17,29	17,71	18,05	17,03	16,13	15,87	17,31	12,81	12,08	12,40				
MnO	0,10	0,10	0,10	0,10	0,14	0,14	0,17	0,43	0,19	0,10	0,24	0,31	0,23	0,30	0,19	0,15	0,18				
MgO	47,95	47,98	48,34	47,90	49,74	49,74	48,40	42,23	42,01	44,13	44,47	44,63	43,79	43,12	47,57	47,61	47,86				
CaO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,09	0,09	-	-	0,02	-	0,03	-	-	0,03	0,01	-	0,02				
Na ₂ O	-	-	-	-	-	0,01	nd	nd	nd	nd	nd	0,08	-	-	0,07	0,02	-				
K ₂ O	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	-	0,01	-	-	0,01				
NiO	0,55	0,54	0,54	0,55	0,38	0,38	0,29	0,17	0,13	0,24	nd	nd	nd	0,33	nd	nd	nd				
Total	100,94	100,77	101,35	100,51	101,01	101,13	100,30	98,80	99,10	102,60	101,90	101,23	10-	99,12	100,95	99,89	100,26				
Si	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,01	0,98	0,99	0,99	0,98				
Ti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

Al	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	-	-	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-
Fe	0,24	0,24	0,24	0,24	0,19	0,19	0,20	0,37	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,37	0,26	0,25	0,26
Mn	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,01	0,01	-	0,01	-	-	-
Mg	1,75	1,76	1,76	1,76	1,80	1,80	1,76	1,62	1,61	1,63	1,65	1,66	1,64	1,66	1,75	1,76	1,77
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	-	-	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-
K	nd	-	-	-	-	-	-										
Ni	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	nd	nd	nd	0,01	nd	nd	nd
Total	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,98	3,00	3,00	3,01	3,00	3,00	2,99	3,02	3,01	3,01	3,02
Forstérite	87,82	88,20	88,10	88,15	90,28	90,27	89,84	81,33	80,85	81,34	82,29	83,14	83,10	81,61	86,87	87,53	87,30
Fayalite	12,18	11,80	11,90	11,85	9,72	9,73	10,16	18,67	19,15	18,66	17,71	16,86	16,90	18,39	13,13	12,47	12,70
#Mg	0,88	0,88	0,88	0,88	0,90	0,90	0,90	0,81	0,81	0,81	0,82	0,83	0,83	0,82	0,87	0,88	0,87

*Note : (1) nombre d'Oxygène = 40 ; (2) nd = non déterminé ; (3) - : limite de détection

Tableau 3 : Analyses représentatives des Spinelles des zones de Bounta (Bounta Nord) et de Samapleu (Zone Principale et Extension 1)

Site Roches Minéral Echantillons	Bounta Nord Dunite Spinelle BN22-36-89										Chromitite BN22-36-109					Samapleu Extension 1 Chromitite SM24-1-102			Samapleu Zone principale Chromitite												
	5		7		11		15		16		18		20		24		28		30		32		S12-76		S06-31		S06-40				
Analyses	5	7	11	15	16	18	20	24	28	30	32	487	488	496	129	131	2	10	14	15	16	129	131	2	10	14	15	16			
SiO ₂ (%)	0,07	0,06	0,04	0,06	0,03	0,05	0,04	0,26	0,08	0,03	0,09	0,03	0,07	0,15	0,56	0,37	0,17	0,24	0,14	0,14	0,21	0,56	0,37	0,17	0,24	0,14	0,14	0,21			
TiO ₂	0,25	0,38	0,34	0,08	0,29	0,29	0,29	0,30	0,25	0,29	0,28	0,52	0,57	0,38	0,55	0,44	0,54	0,49	0,58	0,64	0,77	0,55	0,44	0,54	0,49	0,58	0,64	0,77			
Al ₂ O ₃	20,10	19,67	17,37	21,79	14,60	14,61	14,37	14,14	15,80	14,31	14,22	27,14	25,95	27,02	17,03	22,76	22,57	21,48	22,52	22,30	21,32	17,03	22,76	22,57	21,48	22,52	22,30	21,32			
Cr ₂ O ₃	33,38	33,54	35,53	26,96	44,77	45,03	44,87	44,30	43,86	44,90	44,15	26,28	26,57	28,58	32,78	33,43	34,49	35,47	35,82	38,15	37,12	32,78	33,43	34,49	35,47	35,82	38,15	37,12			
FeO	38,66	39,37	39,28	43,53	31,32	31,20	31,61	31,81	31,55	31,68	30,46	22,87	23,89	21,69	23,95	21,50	21,57	22,15	21,24	21,72	21,00	23,95	21,50	21,57	22,15	21,24	21,72	21,00			
Fe ₂ O ₃	23,78	24,22	24,30	25,11	20,35	20,35	20,47	20,64	20,40	20,55	19,93	13,35	13,46	11,07	17,61	12,67	11,44	10,97	8,92	8,16	8,50	17,61	12,67	11,44	10,97	8,92	8,16	8,50			
FeO _T	16,53	16,84	16,64	20,47	12,19	12,06	12,38	12,41	12,16	12,37	11,70	34,88	36,00	31,65	39,80	32,90	31,87	32,02	29,27	29,06	28,64	39,80	32,90	31,87	32,02	29,27	29,06	28,64			
MnO	0,21	0,21	0,24	0,25	0,40	0,41	0,40	0,41	0,47	0,41	0,39	0,01	0,03	0,11	0,46	0,52	0,29	0,33	0,44	0,23	0,43	0,01	0,03	0,11	0,46	0,52	0,29	0,33	0,44	0,23	0,43
ZnO	0,08	0,09	0,07	0,08	0,19	0,20	0,19	0,19	0,22	0,19	0,19	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd			
MgO	7,66	7,44	6,92	6,63	9,16	9,22	9,10	9,06	9,33	9,01	9,05	8,63	7,69	9,26	7,47	9,63	9,45	8,86	9,25	9,50	9,44	8,63	7,69	9,26	7,47	9,63	9,45	8,86	9,25	9,50	9,44
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Na ₂ O	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,04	0,08	0,04	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,04	0,08	0,04	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
K ₂ O	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
NiO	0,27	0,35	0,27	0,33	0,26	0,25	0,26	0,26	0,27	0,26	0,24	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Total	100,68	101,12	100,07	99,73	101,02	101,25	101,13	100,72	101,64	101,07	99,07	98,88	98,29	98,31	100,40	101,30	100,50	99,99	98,91	100,80	98,78	98,88	98,29	98,31	100,40	101,30	100,50	99,99	98,91	100,80	98,78
Si	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,07	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,15	0,09	0,04	0,06	0,04	0,04	0,05	0,01	0,02	0,04	0,15	0,09	0,04	0,06	0,04	0,04	0,05
Ti	0,05	0,07	0,07	0,02	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,10	0,11	0,07	0,11	0,08	0,10	0,09	0,11	0,12	0,15	0,10	0,11	0,07	0,11	0,08	0,10	0,09	0,11	0,12	0,15
Al	6,01	5,88	5,31	6,56	4,42	4,41	4,35	4,30	4,73	4,34	4,39	8,05	7,82	8,01	5,25	6,68	6,69	6,44	6,77	6,59	6,44	8,05	7,82	8,01	5,25	6,68	6,69	6,44	6,77	6,59	6,44
Cr	6,70	6,73	7,29	5,44	9,09	9,13	9,12	9,04	8,81	9,14	9,15	5,23	5,37	5,69	6,78	6,59	6,86	7,14	7,22	7,56	7,52	5,23	5,37	5,69	6,78	6,59	6,86	7,14	7,22	7,56	7,52
Fe ²⁺	5,05	5,14	5,28	5,37	4,38	4,36	4,40	4,46	4,34	4,43	4,37	4,82	5,11	4,57	5,24	4,49	4,54	4,72	4,53	4,56	4,50	4,82	5,11	4,57	5,24	4,49	4,54	4,72	4,53	4,56	4,50
Fe ³⁺	3,16	3,22	3,25	3,94	2,36	2,33	2,40	2,41	2,33	2,40	2,31	2,53	2,59	2,10	3,47	2,38	2,17	2,10	1,71	1,54	1,64	2,53	2,59	2,10	3,47	2,38	2,17	2,10	1,71	1,54	1,64
Mn	0,04	0,04	0,05	0,05	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	-	0,01	0,02	0,10	0,11	0,06	0,07	0,10	0,05	0,09	-	0,01	0,02	0,10	0,11	0,06	0,07	0,10	0,05	0,09
Zn	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Mg	2,90	2,81	2,68	2,52	3,51	3,53	3,49	3,49	3,53	3,46	3,54	3,24	2,93	3,47	2,91	3,58	3,54	3,36	3,52	3,55	3,61	3,24	2,93	3,47	2,91	3,58	3,54	3,36	3,52	3,55	3,61
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd						
Na	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,02	0,04	0,02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,02	0,04	0,02	nd						
K	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd						
Ni	0,06	0,07	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Fe [#] = Fe ²⁺ / (Mg + Fe ²⁺)	0,64	0,65	0,66	0,68	0,55	0,55	0,56	0,56	0,55	0,56	0,55	0,60	0,64	0,57	0,22	0,15	0,14	0,13	0,11	0,10	0,11	0,60	0,64	0,57	0,22	0,15	0,14	0,13	0,11	0,10	0,11
Fe ³⁺ /(Cr ³⁺ +Al ³⁺ +Fe ³⁺)	0,20	0,20	0,21	0,25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,13	0,64	0,56	0,56	0,58	0,56	0,55	0,55	0,16	0,16	0,13	0,64	0,56	0,56	0,58	0,56	0,55	0,55
Cr [#] = Cr ³⁺ /(Cr ³⁺ +Al ³⁺)	0,53	0,53	0,58	0,45	0,67	0,67	0,68	0,68	0,65	0,68	0,68	0,39	0,41	0,42	0,56	0,50	0,51	0,53	0,52	0,53	0,54	0,39	0,41	0,42	0,56	0,50	0,51	0,53	0,52	0,53	0,54
Mg [#] = Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0,36	0,35	0,34	0,32	0,45	0,45	0,44	0,44	0,45	0,44	0,45	0,40	0,36	0,43	0,36	0,44	0,44	0,42	0,44	0,44	0,44	0,40	0,36	0,43	0,36	0,44	0,44	0,42	0,44	0,44	0,44
% Chromite	42,21	42,51	45,99	34,16	57,29	57,51	57,47	57,39	55,52	57,56	57,72	33,08	34,05	36,00	43,74	42,10	43,65	45,51	45,99	48,20	48,22	33,08	34,05	36,00	43,74	42,10	43,65	45,51	45,99	48,20	48,22
% Spinelle	37,88	37,15	33,50	41,14	27,84	27,82	27,43	27,29	29,81	27,33	27,71	50,91	49,53	50,72	33,87	42,71	42,56	41,07	43,09	41,98	41,27	50,91	49,53	50,72	33,87	42,71	42,56	41,07	43,09	41,98	41,27
% Magnétite	19,91	20,34	20,51	24,70	14,87	14,67	15,10	15,32	14,67	15,11	14,57	16,01	16,42	13,28	22,39	15,19	13,79	13,41	10,92	9,82	10,51	16,01	16,42	13,28	22,39	15,19	13,79	13,41	10,92	9,82	10,51
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

*Note : (1) nombre d'Oxygène = 32 O ; (2) nd = non déterminé ; (3) - : limite de détection

La cristallochimie des minéraux issus des chromitites et des lithologies associées, de Bounta et de Samapleu, a montré des teneurs en Cr_2O_3 , Na_2O et TiO_2 relativement faibles dans les OPX. Ce qui démontre que ces derniers ont conservé des traces d'une origine primitive magmatique [30]. Les valeurs en Mg# systématiquement élevées et les fortes teneurs en MgO au sein des minéraux (olivines, OPX et spinelles) semblent indiquer une origine mantellique de ces lithologies. Les teneurs des spinelles chromifères des chromitites de Samapleu, de la dunite et de la chromitite de Bounta ont été reportées dans le diagramme ternaire Fe^{3+} - Al^{3+} - Cr^{3+} de [31] (**Figure 8**). Ces teneurs de spinelles indiquent que les chromitites de Samapleu et de Bounta proviendraient d'intrusions litées mafiques continentales de composition basaltique.

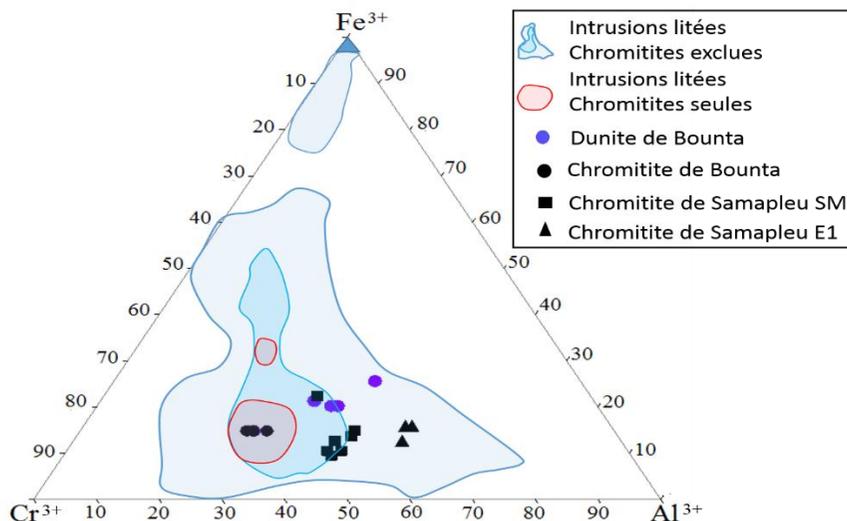


Figure 8 : Diagramme Fe^{3+} - Al^{3+} - Cr^{3+} de [31] appliqué aux spinelles chromifères des chromitites de Samapleu, de la dunite et de la chromitite de Bounta

Selon [2], les chromitites de Samapleu appartiennent à l'intrusion de Samapleu donc au complexe mafique –ultramafique litée Yacouba. Cependant les fortes teneurs en chromite (autour de 44 %) dans les chromitites de Bounta montrent que ces chromitites pourraient avoir une source distincte de celles de Samapleu (teneurs en chromite entre 26 % et 38 %). Les teneurs des spinelles chromifères des chromitites de Samapleu, de la dunite et de la chromitite de Bounta, reportées dans le diagramme binaire $\text{Cr}^\#$ versus $\text{Fe}^\#$, indiquent que les chromitites de Bounta sont de types stratiformes à l'instar des chromitites du complexe de Stillwater et de Bushveld (**Figure 9**) ; et la signature des chromitites de Bounta se rapprocherait de celle des chromitites du complexe de Stillwater.

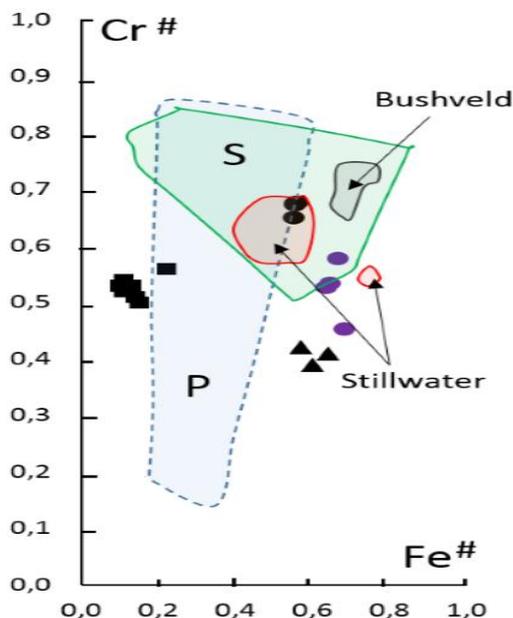


Figure 9 : Diagramme $Cr^{\#}$ versus $Fe^{\#}$ appliqué aux spinelles chromifères des chromitites de Samapleu, de la dunite et de la chromitite de Bounta
S = Chromitites Stratiformes ; P = Chromitites Péridotiques

Une baisse de teneurs en Fe^{3+} est observée dans les spinelles chromifères de Samapleu et de Bounta tandis que les teneurs en Al sont plus élevées dans les spinelles chromifères de Samapleu par rapport à ceux de Bounta. Le diagramme ternaire $Fe^{3+} - Al^{3+} - Cr^{3+}$ de [12] (**Figure 10**) indique que les chromites des chromitites de Samapleu ont des caractéristiques similaires à celles de l'intrusion de Fiskenaesset (Ouest Greenland situé entre l'océan Arctique et l'océan Atlantique Nord) et les chromites de la chromitite de Bounta sont à cheval entre plusieurs intrusions (types Komatiites, Greenstone et continental). Les chromites du complexe lité d'anorthosite de Fiskenaesset (tardi-Archéen) sont caractérisées par de fortes teneurs en aluminium dans les chromites [32]. Il en est de même dans les spinelles chromifères de Samapleu.

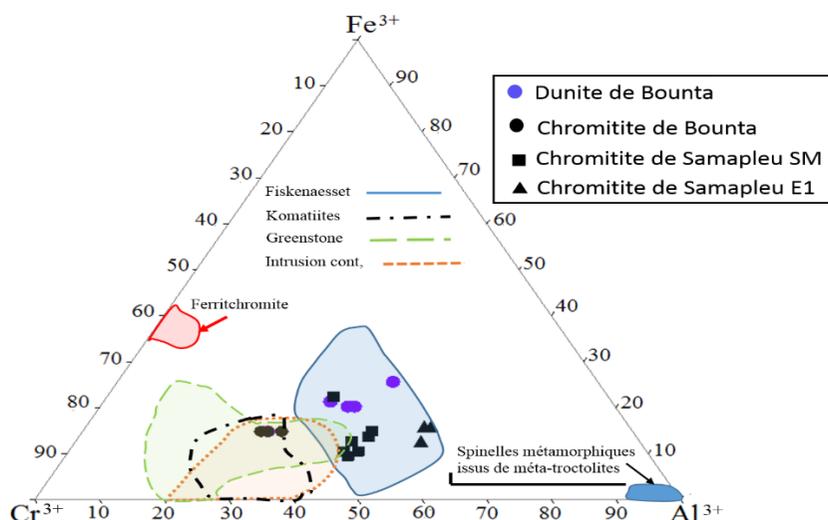


Figure 10 : Diagramme $Fe^{3+} - Al^{3+} - Cr^{3+}$ de [12] appliqué aux spinelles chromifères des chromitites de Samapleu, de la dunite et de la chromitite de Bounta

Par ailleurs, les spinelles chromifères de Samapleu présentent des caractéristiques similaires à celles des chromitites massives (90 % à 100 %) et de celles de Bounta présentent des caractéristiques sensiblement similaires à celles des chromitites massives (50 % à 90 %), toutes issues du complexe lité Guelb el Azib en Mauritanie [12]. Les chromitites du complexe lité Guelb el Azib sont associées à des roches ultramafiques–mafiques–anorthositiques. Elles sont d'âge archéennes et semblent par ailleurs avoir subi un métamorphisme de type granulite. Plusieurs caractéristiques du métamorphisme granulite mises en exergue dans le complexe lité Guelb el Azib ont pu être recensées au sein des lithologies des intrusions de Samapleu et de Bounta: (i) kinks de déformations, extinctions onduleuses ; (ii) abondance d'aluminium dans des OPX qui impliquerait qu'un métamorphisme de haut grade ait affecté les roches [33] ; (iii) spinelles métamorphisés au faciès amphibolite supérieure à granulite présente dans l'intrusion de Samapleu [1, 2, 31, 34]. En effet, dans la région, un métamorphisme régional granulitique daté du Libérien (2,8 Ga) [2, 3, 5 - 7] est bien connu pour avoir affecté les granulites gneissiques encaissantes du complexe Yacouba. Selon [2, 3], les caractéristiques de métamorphisme granulitique révélées par la pétrographie et la chimie des minéraux des lithologies de l'intrusion de Samapleu (datée de 2,09 Ga - âge Éburnéen) sont la résultante d'une mise en place de cette intrusion en base de croûte à environ 22 km. Des arguments qui ne s'appliquent pas nécessairement aux chromitites de Bounta d'autant plus que la cristallogénèse des minéraux de ces chromitites indique une signature

géochimique différente. Aussi, [32] explique que les fortes teneurs en Al observées pourraient s'expliquer par un processus de fusion du manteau produisant un basalte alumineux hydraté, qui fractionnerait en profondeur dans la croûte, pour produire une variété de compositions de basalte à haute teneur en alumine. Ainsi, le complexe mafique qui en découle avec ses horizons de chromitites formeraient un cumul dans la croûte continentale; un processus valable pour les intrusions mafiques tardi- archéennes. En considérant les résultats précédents, les chromitites de Samapleu et de Bounta ont une origine magmatique mantellique. Elles proviendraient d'intrusions (Archéenne - Paléoproterozoïque) litées, ultramafiques – mafiques, continentales, de composition basaltique donc liées au complexe lité Yacouba. Cependant les signatures géochimiques des chromites de ces chromitites indiquent quelles seraient reliées à des intrusions magmatiques distinctes. Ainsi, les chromitites de Samapleu et de Bounta ne pourraient appartenir à des chromitites “de type podiforme” qui sont typiques d'un contexte géodynamique de zone de subduction océanique [35].

V - CONCLUSION

Les chromitites de Bounta et de Samapleu appartiennent au complexe mafique - ultramafique lité Yacouba, intrusif dans les gneiss granulitiques archéens. Au regard de leur pétrographie, elles sont essentiellement composées de cumulats. En outre, les sulfures présents dans ces chromitites indiquent une origine mantellique. La chimie des minéraux des chromitites de Bounta et de Samapleu (teneurs en Cr_2O_3 , Na_2O et TiO_2 relativement faibles dans les OPX ; teneurs en MgO élevées au sein des minéraux (olivines, OPX et spinelles)) confirme leur origine primitive magmatique et mantellique. La relation entre les teneurs en Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} implique que ces chromitites proviendraient d'intrusions litées mafiques continentales de composition basaltique mais de compositions magmatiques distinctes. Les valeurs en $\text{Cr}^\#$ et $\text{Fe}^\#$ des spinelles chromifères de ces chromitites rapprochent les chromitites de Bounta de celles des chromitites stratiformes à l'instar des chromitites du complexe de stillwater (Montana, Etats-Unis). Cependant, les teneurs en Fe^{3+} , Al^{3+} et Cr^{3+} rapprochent les chromitites de Samapleu (à forte teneur en Al) de celles des chromitites du complexe lité d'anorthosite de Fiskenaesset (Ouest Greenland) et du complexe lité Guelb el Azib (Mauritanie).

RÉFÉRENCES

- [1] - Q. DESCHAMPS, "Caractérisation des chromitites du complexe plutonique ultramafique archéen de Yacouba (site Bounta Nord) Craton de Man, Côte d'Ivoire", Mémoire de TER, Université de Franche Comté (France), (2013) 29 p.
- [2] - G. E. F. GOUEDJI, "Les séquences mafiques-ultramafiques de Samapleu et leurs minéralisations en Ni-Cu-EGP: un dyke du complexe lité Yacouba ; craton archéen de Man, Ouest Côte d'Ivoire", Doctorat en co-tutelle entre l'Université de Franche Comté-Besançon (France) et l'Université Felix Houphouët Boigny de Cocody (Côte d'Ivoire), (2014) 380 p
- [3] - F. GOUEDJI, C. PICARD, Y. COULIBALY, M.-A. AUDET, T. AUGÉ, P. GONCALVES, J.-L. PAQUETTE and N. OUATTARA, "The Samapleu mafic-ultramafic intrusion and its Ni-Cu-PGE mineralization: an Eburnean (2.09 Ga) feeder dyke to the Yacouba Layered Complex (Man Archean craton, Western Ivory Coast)", *Bulletin de la Société géologique de France*, 185 (6) (2014) 393 - 411
- [4] - L.-M. WAVRANT, "Origine de l'enrichissement en I-EGP des chromitites du complexe de Stillwater, Montana, Etats-Unis", Thèse de Doctorat, Université du Québec Chicoutimi (Canada), (2017) 185 p.
- [5] - J. CAMIL, "Un exemple de métamorphisme prograde de la base du faciès des amphibolites au faciès des granulites dans la région de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire)", *Comptes Rendus de l'Académie des sciences, Paris*, 93 (1981) 513 - 518
- [6] - J. CAMIL, "Pétrographie, chronologie des ensembles granulitiques archéens et formations associées de la région de Man (Côte d'Ivoire). Implication pour l'histoire géologique du Craton Ouest-Africain", Doctorat d'Etat ès Sciences, Université Abidjan, (1984) 306 p.
- [7] - A. N. KOUAMELAN, C. DELOR and J.-J. PEUCAT, "Geochronological evidence for reworking of Archaean terrains during the Early Proterozoic (2.1 Ga) in the western Côte d'Ivoire (Man Rise - West African Craton)", *Precambrian Research*, 86 (1997) 177 - 199
- [8] - A. N. KOUAMELAN, S. C. DJRO, M. E. ALLIALY, J.-L. PAQUETTE and J.-J. PEUCAT, "The oldest rock of Ivory Coast", *Journal of African Earth Sciences*, 103 (2015) 65 - 70
- [9] - A. N. KOUAMELAN, S. A. KOUASSI, S. C. DJRO, J.-L. PAQUETTE and J.-J. PEUCAT, "The Logoualé Band: A large Archean crustal block in the Kenema-Man domain (Man-Leo rise, West African Craton) remobilized during Eburnean orogeny (2.05 Ga)", *Journal of African Earth Sciences*, doi:10.1016/j.jafrearsci.2017.09.004. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464343X17303540>, (Juin 2017)
- [10] - D. THIEBLEMONT, J. C. GOUJOU, E. EGAL, A. COCHERIE, C. DELOR, J. M. LAFON and C. M. FANNING, "Archaean evolution of the Leo Rise and its Eburnean reworking", *Journal of African Earth Sciences*, 39 (2004) 97 - 104
- [11] - D. RIVARD, M. A. BEN AYAD, F. R. BILLINGTON and C. MARTIN, "Ni 43-101 "Technical Report on the Samapleu Nickel

- Copper Deposits, Côte d'Ivoire, West Africa", http://www.samaresources.com/i/pdf/43_101_Technical_Report.pdf, (Mai, 2012)
- [12] - J. BERGER, H. DIOT, L. KHALIDOU, D. OHNENSTETTER, O. FÉMÉNIAS, M. PIVIN, D. DEMAÏFFE, A. BERNARD and B. CHARLIER, "Petrogenesis of Archean PGM-bearing chromitites and associated ultramafic–mafic–anorthositic rocks from the Guelb el Azib layered complex (West African craton. Mauritania)", *Precambrian Research*, 224 (2013) 612 - 628
- [13] - P. PITRA, A. N. KOUAMELAN, M. BALLEVRE and J.-J. PEUCAT, "Palaeoproterozoic high pressure granulite overprint of the Archean continental crust: evidence for homogeneous crustal thickening (Man Rise, Ivory Coast)", *J. Metamorph. Geol.*, 28 (2010) 41 - 58
- [14] - A. N. KOUAMELAN, "Géochronologie et géochimie des formations archéennes et protérozoïques de la dorsale de Man en Côte d'Ivoire. Implication pour la transition archéen-protérozoïque", Thèse de doctorat, Université Géosciences de Rennes1 (France), (1996) 167 p.
- [15] - C. PICARD, "Géologie de la région de Samapleu-Bounta-Santa, Région de Biankouma – Craton de Man – Côte d'Ivoire", Powerpoint, Samanickel-CI Data, (2013) 103 p.
- [16] - J.-P. BARD, "Microtexture des roches magmatiques et métamorphiques", Masson, (1980) 192 p.
- [17] - T. N. IRVINE, "Crystallization sequences in the Muskox intrusions and other layered intrusions. Origin of the chromitite layers and similar deposits of the other magmatic ores". *Geochimica et Cosmochemica*, 39 (1975) 991 - 1020
- [18] - T. N. IRVINE, "Crystallization sequences in the Muskox intrusions and other stratiform intrusions : A new interpretations", *Geology*, 5 (1977) 273 - 277
- [19] - M. ROUBAULT, J. FABRIES, A. TOURET and WEISBROD, "Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant", Edition Lamarre-Poinat, 4. Rue Antoine Dubois. Paris-6^e, (1963) 368 p.
- [20] - N. OUATTARA, "Pétrologie, géochimie et métallogénie des sulfures et des éléments du groupe du platine des ultrabasites de Côte d'Ivoire : Signification géodynamique et implications sur les processus de croissance crustale à l'Archéen et au Paléoproterozoïque", Thèse de doctorat, Université d'Orléans (France), (1998) 199 p.
- [21] - R. P. PEREZ et P. PAGE, "La Suite mafique-ultramafique de Nuvulialuk : une nouvelle séquence ophiolitique dans l'arrière-pays de la Zone Noyau du sud-est de la Province de Churchill (Québec)", Rapport final, Université du Chicoutimi (Québec), (2016) 55 p.
- [22] - R. P. PÉREZ, "La Suite mafique-ultramafique de Nuvulialuk : une nouvelle séquence ophiolitique dans l'arrière-pays de la Zone Noyau du sud-est de la Province de Churchill (Québec)", Mémoire de Maîtrise en sciences de la terre, Université du Chicoutimi (Québec), (2017) 257 p.
- [23] - J. PRONOST, "Effets de la contamination continentale et des interactions fluides-roches sur le platreef. Complexe igné du Bushveld (Afrique du Sud)", Thèse de doctorat, Université Clermont-Ferrand II - Blaise Pascal (France), (2005) 258 p.

- [24] - C. WATERS and A. E. BOUDREAU, "A reevaluation of crystal-size distributions in chromite cumulates", *American Mineralogist*, 81 (1996) 1452 - 1459
- [25] - D. LENZA, G. GARUTI, F. ZACCARINI, R. W. COOPER and F. PRINCIVALLE, "The Stillwater Complex chromitites: The response of chromite crystal chemistry to magma injection", *Geological Acta*, 10 (1) (2012) 33 - 41
- [26] - S.-J. BARNES, P. PAGÉ, H. M. PRICHARD, M. L. ZIENTEK, and P.C FISHER, "Chalcophile and platinum-group element distribution in the Ultramafic series of the Stillwater Complex, MT, USA—implications for processes enriching chromite layers in Os, Ir, Ru, and Rh", *Mineralium Deposita*, 51 (2016) 25 - 47
- [27] - N. J. PAGE, "Sulfide minerals in the G and H chromitite zones of the Stillwater Complex, Montana", *Geological Survey Professional Paper*, 694, (1971) 26 p.
- [28] - M. P. FOOSE and S.W. NICHOLSON, "Sulfide inclusions within the B chromitite, Stillwater Complex, Montana US ", *Geological Survey*, (1990) 20 p.
- [29] - H. M. AIRD, K. M. FERGUSON, M. L. LEHRER and A. E. BOUDREAU, "A study of the trace sulfide mineral assemblages in the Stillwater Complex, Montana, USA", *Mineralium Deposita*, (2016) 1 - 22
- [30] - O. JÄGOUTZ, O. MÜNTENER, P. ULMER, T. PETTKE, J.-P. BURG, H. DAWOOD and S. HUSSAIN, "Petrology and Mineral Chemistry of Lower Crustal Intrusions: The Chilas Complex, Kohistan (NW Pakistan)", *Journal of petrology*, 48 (10) (2007) 1895 - 1953
- [31] - S.-J. BARNES and L. P. ROEDER, "The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks", *Journal of petrology*, 42 (2001) 2279 - 2302
- [32] - H. ROLLINSON, C. REID and B WINDLEY, "Chromitites from the Fiskensæset anorthositic complex, West Greenland : clues to late Archaean mantle processes", Geological Society, London, Special Publications, 338 (2010) 197 - 212
- [33] - S. L. HARLEY, "On the occurrence and characterization of ultrahigh-temperature crustal metamorphism", In : Treloar, P., J., & O'Brien, P., J., (eds) What Drives Metamorphism and Metamorphic Reactions ? Geological Society, London, Special Publication, 138 (1998) 81 - 107
- [34] - M. T. F. SUITA and A. J. STRIEDER, "Cr-Spinels from Brazilian Mafic-Ultramafic Complexes : Metamorphic Modifications", *International Geology Review*, 38 (1996) 245 - 267
- [35] - M. HAMDY and E-M. LEBDA, "Al-compositional variation in ophiolitic chromitites from the South Eastern Desert of Egypt: Petrogenetic implications", *Journal of Geology and Mining Research*, 3 (9) (2011) 232 - 250