Afrique SCIENCE *12(4) (2016) 314 - 333*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.info

Étude pétrochimique et géodynamique du complexe mafique de Yelonhira dans la zone Sud du sillon de Houndé, Burkina Faso, Afrique de l'Ouest

Mathieu NANEMA*, Honoré Yao KOFFI et Urbain WENMENGA

Laboratoire de Géosciences, UFR SFT, Université de Ouagadougou Pr. Joseph Ki Zerbo, 03 BP 7021 Ouaga 03 Burkina Faso

* Correspondance, courriel : *nanemageologue@gmail.com*

Résumé

Le complexe mafique de Yelonhira forme un massif intrusif et circonscrit dans les séquences volcaniques et volcano-sédimentaires birimiennes de la ceinture de Houndé, au Sud-ouest du Burkina Faso. Il est constitué de cumulats lités (gabbronorite et gabbrodiorite), de pyroxénolites subordonnées et recoupé par des filons de gabbro. L'assemblage minéralogique des cumulats est constitué de : augite-bronzite + magnésio-/ferro-tschermakite-hornblende + bytownite. Celui des filons de gabbros regroupe : augite-hypersthène + actino-/magnésio-hornblende + oligoclase-labrador. Ces assemblages minéralogiques sont caractéristiques des roches de composition tholéiitique. Le caractère géochimique de ce complexe s'apparente à des tholéiites de type N-MORB. Ils sont enrichis en LILE, HFSE, La et appauvri en Nb. Les températures de rééquilibration entre clinopyroxènes préexistants oscillent entre 700°c et 1200°c (10 kb) indiquant que le magma a pris source dans l'asthénosphère. Les rapports La/Ba versus La/Nb corroborent cette source avec une probable contribution de la lithosphère. Les filons de gabbros qui recoupent l'ensemble mafique (cumulats et pyroxénolites) seraient des produits différenciés par fractionnement du même magma basaltique. Les différents rapports Th/Yb, Ta/Yb et les éléments HFSE Zr-Nb-Y indiquent une mise en place dans un environnement d'arc insulaire.

Mots-clés : *tholéiite, gabbros, asthénosphère, contamination, arc insulaire.*

Abstract

Petrographical study and geodynamic setting of the Yelonhira mafic complex in the southern portion of the Houndé belt, Burkina Faso, West Africa

The mafic complex of Yelonhira is intrusive within the birimian volcanic and volcano-sedimentary sequences of the Houndé belt. It is located in the South-west part of Burkina Faso. It is made-up of associated cumulates of gabbronorite, gabbrodiorite and subordinate pyroxenolite. They are cross-cut by diverse dykes of gabbro. The mineral assemblage of cumulate is augite-bronzite + magnesio-/ferro-tschermakite-hornblende + bytownite, whereas the gabbroic dykes are Augite-hypersthène + actino-/magnésio-hornblende + oligoclase-labrador. These assemblages are characteristic of tholeiitic composition. The different rocks of the complex are tholeiitic related to N-MORB. They are enriched in LILE, HFSE, La and depleted in Nb. The two-clinopyroxene re-equilibration associated of temperature varying from 700°c to 1200°c (10 kb) for

crystallising from magma of asthenospheric mantle source. The ratio La/Ba vs La/Nb suggest the same source with a probable minor contribution of the lithosphere. The gabbroic dykes could represent differentiated products of the same basic magma that generate the cumulate by fractionating. Th/Yb, Ta/Yb and HFSE elements indexed an island arc site for the emplacement of the Yelonhira complex.

Keywords : *tholeiite, asthenosphere, gabbro, contamination, island arc.*

1. Introduction

Les formations géologiques cristallines et cristallophylliennes d'âge paléoprotérozoïque (~2.1 - 1.9 Ga) du Burkina Faso représentent 80 % du territoire et s'intègrent dans celles du domaine baoulé de la dorsale de Léo ***(Figure 1)*** [1]. Elles sont recouvertes par des sédiments (20 %) du néoprotérozoïque à paléozoïque de nature gréso-carbonatée du bassin de Taoudéni. Les ceintures de roches vertes sont structurées NNE à NE par des générations granitiques reparties entre TTG (tonalite, trondjhémite et granodiorite) [2 - 5] et des granites tardifs qui les recoupent et seraient selon les hypothèses issus de la fusion du plancher basaltique ou des TTG [6] ***(Figure 2)***. Au sein des ceintures, les formations basaltiques ou andésito-basaltiques sont les plus importantes ; elles sont surmontées par des unités felsiques de nature calco-alcaline parfois sous forme de coulée ou de projection [7 - 9]. Des unités gréso-conglomératiques du Tarkwaien affleurent en bandes discordantes sur les séries volcano-sédimentaires et plutoniques birimiennes [10, 11]. Les formations ultramafiques et/ou mafiques se présentent sous forme de petits massifs circonscrits et intrusifs dans plusieurs ceintures de roches vertes birimiennes. Les caractères pétrographiques et géochimiques de ces formations sont relativement peu documentés [12, 13]. Ces intrusions, lorsqu'elles sont observées sont plus ou moins associées au laves basiques, ce qui pourrait justifier une filiation entre ces deux composantes. Enfin, des venues filoniennes correspondant à des phases de différentiation ultime de corps magmatiques plus précoces (basaltique) recoupent ces derniers [14, 15]. La présente étude est axée particulièrement sur les formations mafiques de la zone Sud du sillon de Houndé, particulièrement celui de Yelonhira. La présente investigation vise à :

- Mieux cerner les caractères pétrographiques, minéralogiques et géochimiques ;
- Aboutir à une meilleure connaissance de l'environnement géodynamique de mise en place ;
- Et de discuter de sa place et de ses relations avec le contexte régional.

2. Contexte géologique

La zone d'étude est localisée à l'extrémité Sud-ouest du Burkina Faso, au Sud de la ville de Gaoua. Une route asphaltée reliant la ville de Gaoua à la frontière de la Cote d'Ivoire, passe par les localités de Kampti, Yelonhira et recoupe les formations du complexe. Le relief est très accidenté avec des altitudes dans la partie occidentale de la zone culminant à plus de 500 m. La partie australe est marquée par un bas glacis de plateau latéritique masquant les formations du complexe au contact avec le bâti granitique. Le complexe mafique de Yelonhira (CMY) est marqué par une susceptibilité magnétique (83 - 119 nT) plus élevée que les encaissants volcaniques et volcano-sédimentaires environnants (6 - 71 nT). Ce corps elliptique de 5 km x 2 km suit une direction NE le long d'un linéament aéromagnétique de même direction. De subtils couloirs de déformation ductile NE bordent les contacts du complexe ***(Figure 3)***. A certains endroits, cette déformation est ductile-cassante à l'intérieur du massif, et remplis des filons de quartz et carbonate très souvent minéralisés avec des sulfures de fer. Le complexe est essentiellement constitué de cumulats mafiques (gabbronorite et

gabbrodiorite) et de rares faciès de pyroxénolite traversé par des filons de gabbro. Des lambeaux de basalte sont en enclave et se rencontrent dans la bordure Sud du massif au contact avec l'encaissant volcanique et volcano-sédimentaire. Ces formations du complexe sont recoupées dans tous les sens par des faciès variés de filons d'aplite et de quartz blanc laiteux.

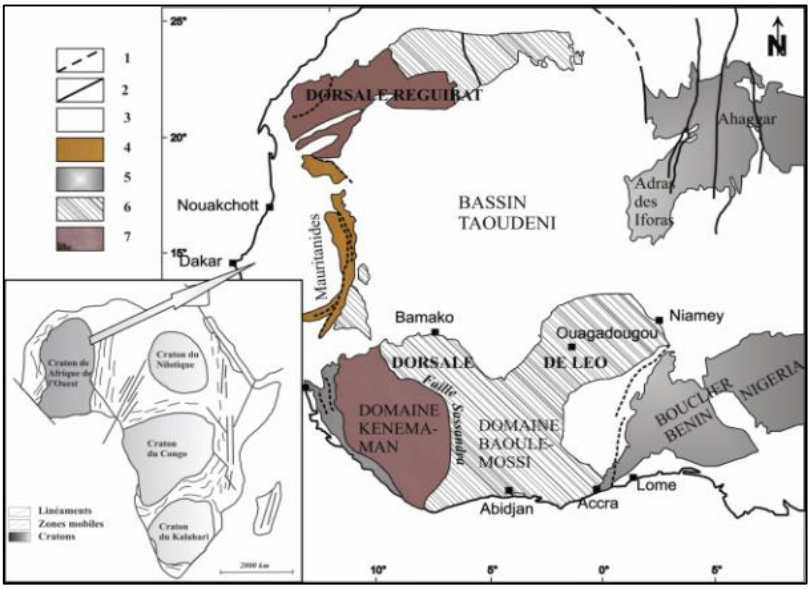

Figure 1 : *Géologie du craton ouest Africain (Modifiée d'après [1]).*
Légende 1 : chevauchement, 2 : faille, 3 : Phanérozoïque, 4 : Hercynien, 5 : Panafricain, 6 : Paléoprotérozoïque, 7 : Archéen

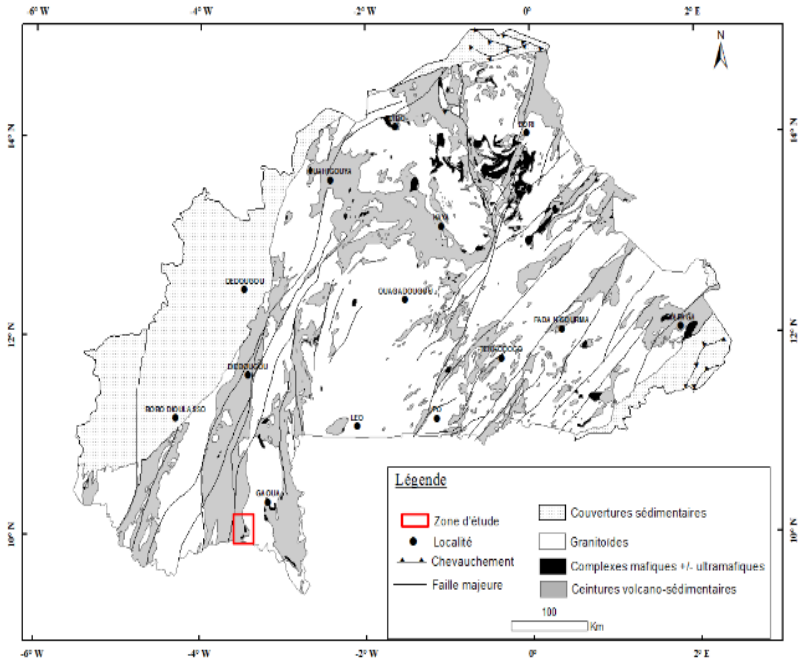

Figure 2 : *Carte géologique et structurale simplifiée du Burkina Faso au 1/1000000* [15]*, En encadré : localisation du complexe mafique de Yelonhira CMY*

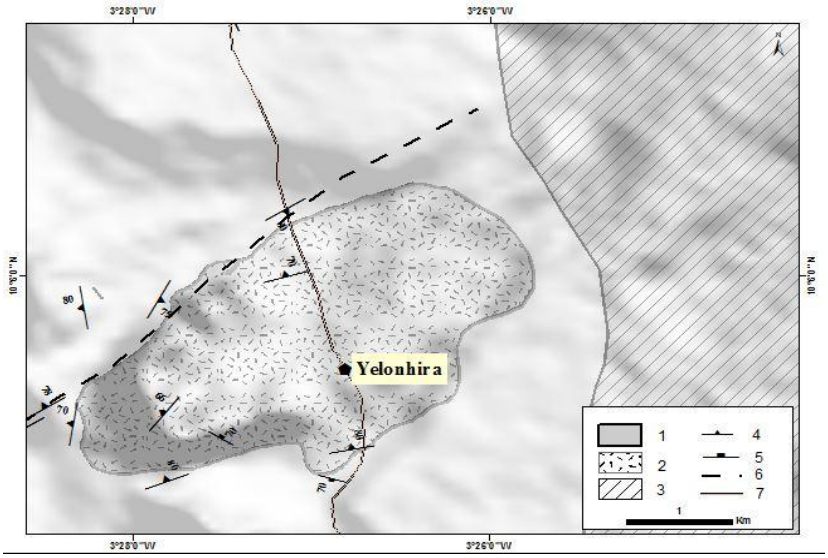

Figure 3 : *Esquisse cartographique du complexe mafique de Yelonhira sous fond du modelé d'élévation Légende 1 : encaissant basaltique et volcano-sédimentaire, 2 : complexe mafique de Yelonhira, 3 : granitoïde, 4 : schistosité, 5 : fracture, 6 : linéament magnétique, 5 : contact.*

3. Méthodologie

Les cartes topographiques et géologiques du degré carré de Gaoua au 1/200 000 ont servi de base dans l'orientation des travaux de terrain. Un prélèvement systématique au marteau a couvert la portion affleurante du massif et les stations de prélèvement sont géoréférencées au GPS. Concomitamment les structures sont mesurées à l'aide de la boussole Bruton. Une trentaine de lames minces ont été effectuées pour des études pétrographiques au département des Sciences de la Terre de l'Université de Ouagadougou Pr. Joseph Ki Zerbo. La composition chimiques des phases minérales majeures ont été identifiées sur six sections polies à la microsonde électronique type CAMECA SX100 au laboratoire « Magmas et Volcans » de l'Université Blaise Pascal de Clermont Ferrand en France. Douze échantillons de roches ont été analysés au laboratoire « AcmeLabs, Vancouver Canada » pour les éléments majeurs et traces utilisant l'ICP-MS. Les Logiciels ArcGis et CorelDRAW ont permis de finaliser les cartes de présentation, tandis que les diagrammes de géochimie sont traités avec le logiciel GCDKit.

4. Résultats

4-1. Caractère pétrographique et minéralogique

4-1-1. Les métapyroxénolites

Ces faciès sont facilement reconnaissable en affleurement par la patine holomélanocrate et la texture grenue hétérogranulaire et glomérophyrique ***(Planche 1a)***. L'assemblage minéralogique consiste essentiellement d'actino-hornblende (+ 95 %) sous forme d'amas de minéraux prismatiques ou fibreux et des hornblendes anciennes quasi ouralitisées ***(Planche 2a)***. Les pyroxènes encore visibles sont porphyroblastiques à l'état de relique au sein des amphiboles. L'altération secondaire de ces minéraux a développé la chlorite, l'épidote et des carbonates. Ces métapyroxénolites s'apparentent à des actinotites orthoderivées.

4-1-2. Les cumulats mafiques

Ils sont les plus répandus sur le terrain et représentent plus de 90 % des roches du complexe. Les cumulats sont mélanocrates, lités et ont une texture orbiculaire qui les distinguent des autres formations du massif ***(Planche 1b)***. La texture est de type orthocumulat ***(Planche 2b)*** définie par deux phases de cristallisation "cumulus" et "post cumulus". La phase "cumulus" représente 55 % de la roche avec les pyroxènes type augite, bronzite et dans une moindre mesure l'endiopside ***(Figure 4a et b)***. Généralement associés, les ouralites sont de type actinote, actinote-hornblende, magnésio-hornblende et ferro-hornblende, rarement de la trémolite-hornblende et la ferro-tschermakite hornblende ***(Figure 5)***. La phase "post cumulus" représente la mésostase interstitielle de plus de 35 % de plagioclase basique type bytownite $An_{70.1\text{-}73.1}$ ***(Figure 6)*** et de fins cristaux d'ouralites dérivés des pyroxènes. Ces plagioclases sont fortement saussuritisés. Le quartz, la calcite et la magnétite ***(Figure 7)*** apparaissent en fins cristaux interstitiels, ou en inclusion dans les ferromagnésiens. Les cumulats sont des gabbros et gabbronorites et par endroits, des coulées massives de basalte sont observées en forme d'enclaves métriques prises dans la masse gabbroïque ***(Planche 1d)***.Ces coulées montrent une texture granoblastique ayant l'aspect d'une cornéenne ***(Planche 2d)***. Les données chimiques (NK002, NK008, NK163) des minéraux cardinaux sont résumées dans les ***Tableaux 1 à 5***.

4-1-3. Les métagabbros ordinaires

Ils sont mésocrates et forment un réseau filonien de direction variable NE à NW ***(Planche 1c)***. Leur texture est subophitique à doleritique, rarement porphyroblastique lorsqu'ils sont cisaillés. Certaines bordures sont figées au contact avec l'encaissant marquées par une fine granulométrie et tandis qu'elle est plus grenue progressivement vers l'intérieur du filon. La composition minéralogique indique 30 à 40 % de plagioclase de type oligoclase $An_{22.4\text{-}25.8}$ et labrador $An_{57\text{-}64.5}$ ***(Figure 6)***. Ces plagioclases sont presqu'entièrement saussuritisés ***(Planche 2c)***. Les pyroxènes avoisinent 30 % et sont des augites et hypersthènes ***(Figure 4a et b)***. Les amphiboles dérivent par endroit des pyroxènes et sont des actinotites magnésio-hornblendes ***(Figure 5)***. Les opaques sont des oxydes ferro-titanés de type ilménite ***(Figure 7)*** en dissémination dans la roche. Le quartz et calcite sont en trace, parfois en remplissage de micro fractures ou alors soulignent les plans de cisaillement. Les données chimiques (NK003, NK005 et NK171) des minéraux cardinaux sont résumées dans les ***Tableaux 1 à 5***.

Planche 1 : *Macrophotographie des formations affleurantes du complexe CMY :*
Légende : (a) d'un bloc de métapyroxénite holomélanocrate à patine sombre verdâtre dû à l'abondance des ferromagnésiens; (b) d'une métagabbronorite orbiculaire et porphyroïde représenté par des glomérocristaux d'amphibole; (c) d'un filon de gabbro ordinaire recoupant un gabbro porphyroïde presque bréchique; et (d) d'un métabasalte en enclave dans la masse mafique du complexe

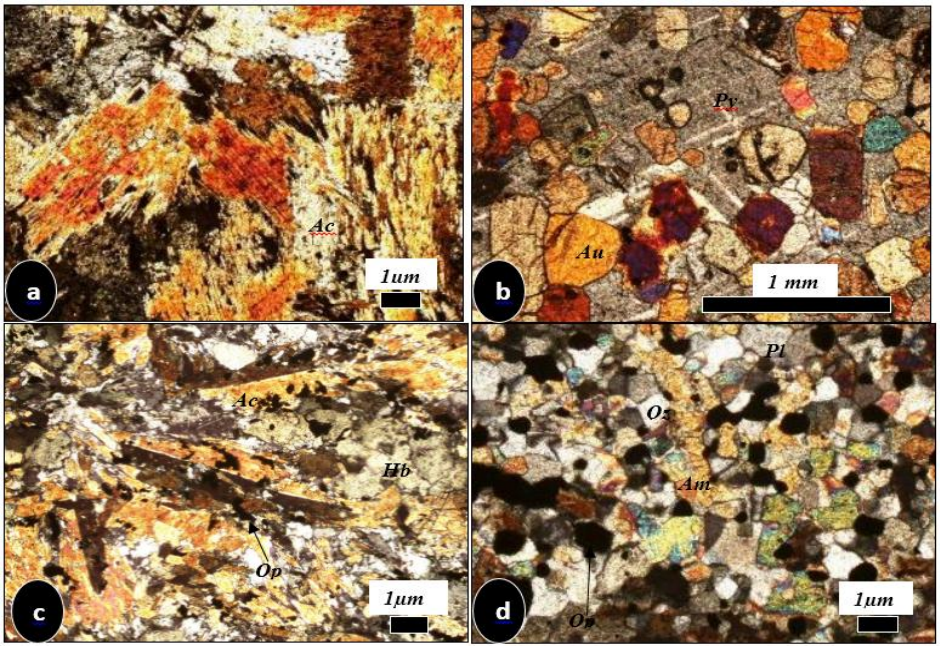

Planche 2 : *Microphotographie des formations du complexe CMY. Légende : (a) métapyroxénolite ou actinotite, ici avec plus de 95 % d'actinotite (Ac); (b) un gabbronorite cumulative présentant une plage de pyroxène (Py) et d'augite pœcilitique (Au); (c) d'un gabbro mésocrate constitue des opaques (Op) disséminés et nombreuses baguettes de hornblendes (Hb); (d) un métabasalte dont le plagioclase (Pl), amphibole (Am) et quartz recristallisé (Qz) sont proches d'une cornéenne.*

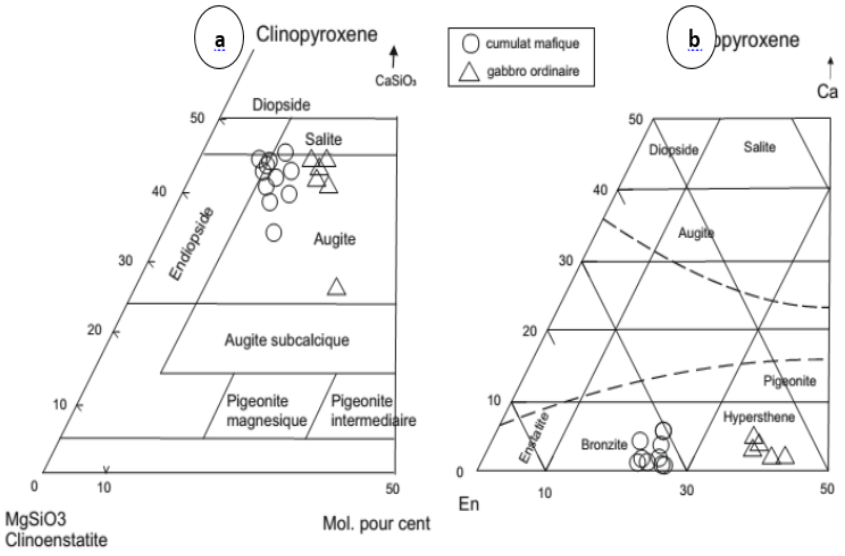

Figure 4 : *(a) Composition des clinopyroxènes du complexe mafique de Yelonhira dans le système Wo-En-FS, et (b) des orthopyroxènes du complexe mafique de Yelonhira dans le système Wo-En-FS d'après Poldervaart & Hess, 1951*

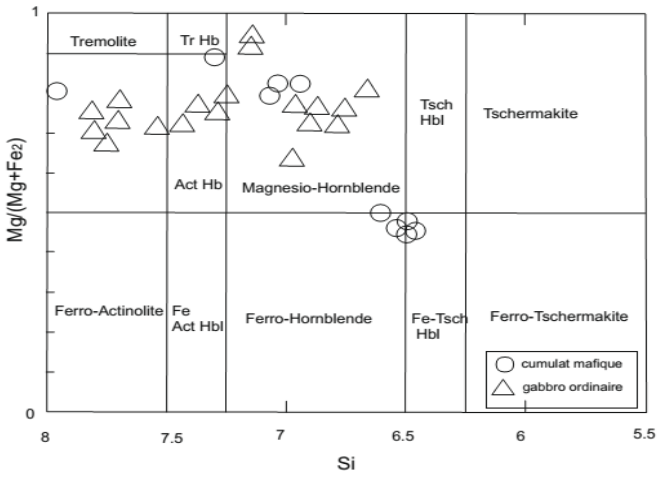

Figure 5 : *Diagramme de classification des amphiboles calciques des roches gabbroïques du complexe mafique de Yelonhira ((Na+K) A < 0.5; Ti <0.5)*

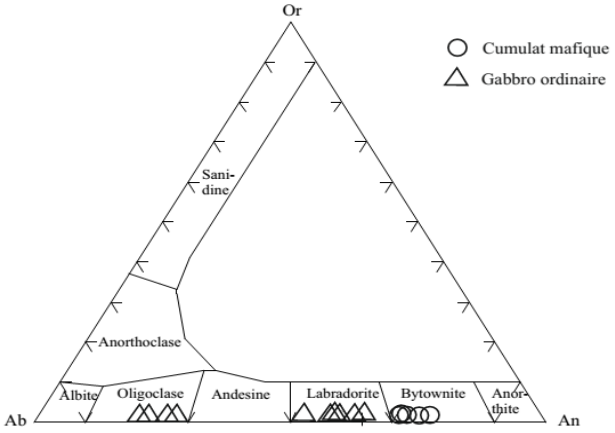

Figure 6 : *Composition des plagioclases du CMY dans le système An-Or-Ab. Les cumulats ont des plagioclases de composition de bytownite tandis que les filons ont une composition variant du labrador à oligoclase*

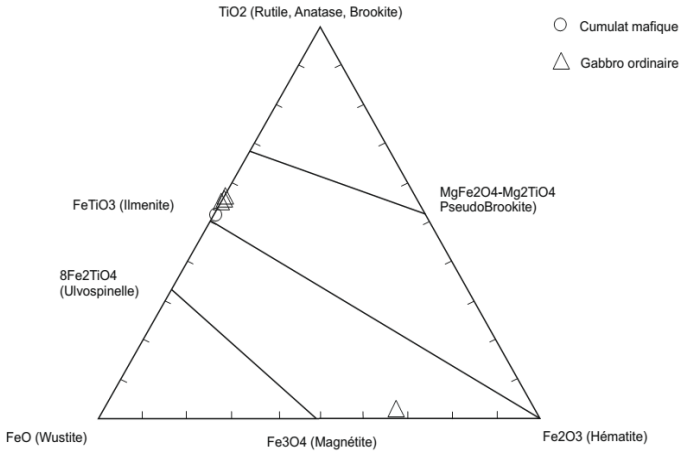

Figure 7 : *Composition des oxydes de fer-titane dans le système FeO-Fe_2O_3-T des cumulats mafiques et gabbros ordinaires de CMY*

Tableau 1 : *Composition chimique des clinopyroxènes des cumulats mafiques et gabbros ordinaires*

Echantillon	Nk002			Nk005			NK163					
SiO2	52.08	51.93	51.47	50.88	54.73	51.91	52.14	51.65	52.38	51.75	51.29	52.16
TiO2	0.52	0.58	0.75	0.68	0.18	0.63	0.49	0.60	0.42	0.51	0.53	0.47
Al2O3	2.89	3.14	3.26	3.40	1.88	3.03	3.09	2.69	2.59	3.25	3.36	3.07
Cr2O3	0.22	0.50	0.31	0.09	0.05	0.09	0.45	0.45	0.33	0.45	0.45	0.42
FeOt	6.90	7.66	7.07	11.21	15.17	9.82	6.26	6.02	6.46	6.91	6.27	6.44
MnO	0.14	0.17	0.17	0.26	0.42	0.17	0.16	0.16	0.17	0.21	0.16	0.14
MgO	14.54	14.90	13.94	12.79	13.75	12.56	15.11	15.00	14.66	15.26	14.61	14.47
CaO	22.10	21.50	22.32	20.88	11.73	21.86	22.07	22.00	22.43	20.74	21.62	21.86
Na2O	0.46	0.42	0.49	0.36	0.31	0.48	0.48	0.46	0.47	0.42	0.56	0.61
K2O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01
Total Oxyde	99.89	100.89	99.82	100.56	98.27	100.63	100.24	99.04	99.91	99.52	98.86	99.65
En	40.1	40.7	38.5	35.6	38.5	34.8	41.3	41.5	40.3	42.1	40.6	39.9
Fs	9.8	9.9	10.1	15.9	24.5	15.4	8.2	8.1	9.2	10.2	8.5	9.5
Wo	40.7	38.2	40.8	37.6	22.1	40.9	39.8	40.6	41.6	37.6	39.4	40.4

Suite (clinopyroxène)

Echantillon	Nk008												
SiO2	52.84	52.32	52.45	52.49	52.96	52.47	52.52	52.43	52.34	52.46	53.22	52.36	51.92
TiO2	0.29	0.41	0.44	0.56	0.29	0.38	0.27	0.35	0.30	0.31	0.31	0.28	0.47
Al2O3	2.59	2.79	2.89	3.65	3.08	3.08	2.60	2.65	2.61	2.53	2.69	2.73	3.35
Cr2O3	0.23	0.12	0.21	0.16	0.20	0.08	0.23	0.27	0.25	0.30	0.21	0.25	0.29
FeOt	6.64	6.99	8.00	8.36	9.42	6.82	6.76	7.01	7.79	6.23	7.31	6.64	7.37
MnO	0.14	0.25	0.20	0.17	0.18	0.26	0.21	0.22	0.16	0.23	0.19	0.18	0.13
MgO	15.20	15.04	14.44	15.19	16.70	15.34	15.27	15.39	16.33	15.04	16.12	15.08	14.78
CaO	22.15	21.93	21.58	20.10	17.70	22.05	21.90	21.70	19.67	22.35	19.17	21.77	21.19
Na2O	0.34	0.39	0.43	0.35	0.27	0.38	0.33	0.26	0.24	0.37	0.30	0.31	0.31
K2O	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02
Total Oxyde	100.47	100.24	100.69	101.09	100.91	100.90	100.13	100.27	99.71	99.90	99.58	99.63	99.93
En	41.5	41.2	39.6	41.4	45.5	41.7	41.9	42.2	44.9	41.3	44.2	41.6	40.7
Fs	9.7	9.5	11.8	13.1	14.7	8.7	9.5	10.1	11.4	8.9	11.5	10.2	11.5
Wo	40.8	40	39.6	35.9	31.7	39.3	40.2	39.6	35.9	41.3	35.2	40.4	38.6

Tableau 2 : *Composition chimique des orthopyroxènes des cumulats mafiques et gabbros ordinaires*

Echantillon	NK002					NK005					NK163				
SiO2	54.03	53.88	53.90	53.65	54.03	51.83	51.89	52.28	51.55	51.92	54.55	54.19	54.48	54.03	53.19
TiO2	0.24	0.16	0.24	0.31	0.20	0.27	0.26	0.32	0.25	0.27	0.21	0.19	0.23	0.12	0.15
Al2O3	2.07	1.97	1.76	2.05	1.77	1.86	1.75	1.82	1.95	1.97	2.03	2.07	1.90	1.76	2.09
Cr2O3	0.21	0.25	0.21	0.24	0.23	0.09	0.07	0.07	0.03	0.02	0.14	0.35	0.31	0.33	0.17
FeO	16.31	15.43	16.77	15.63	16.44	23.54	23.41	23.06	25.09	26.30	14.94	13.55	14.42	15.12	18.39
MnO	0.29	0.33	0.31	0.22	0.28	0.48	0.54	0.46	0.57	0.45	0.31	0.25	0.33	0.28	0.42
MgO	26.29	25.44	26.02	25.20	25.90	20.19	20.11	20.10	19.26	18.99	27.47	26.20	27.02	27.08	25.06
CaO	0.89	2.15	0.75	2.94	0.73	1.70	1.41	2.48	0.91	0.76	0.70	3.31	1.84	1.50	0.73
Na2O	0.00	0.06	0.02	0.10	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.03	0	0.12	0.04	0	0
K2O	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.003	0	0	0	0
Total oxyde	100.39	99.72	100.03	100.45	99.66	99.99	99.48	100.64	99.63	100.75	100.35	100.21	100.58	100.22	100.18
En	73	71	72	70	73	58	59	58	57	55	73.3	70.1	72.1	72.5	68.1
Fs	25	24	26	24	26	38	38	37	41	43	22.8	20.2	21.9	21.8	27.6
Wo	2	4	1	6	1	4	3	5	2	2	0.8	3.9	1.3	0.1	1.4

Tableau 3 : *Composition chimique des amphiboles des cumulats mafiques et gabbros ordinaires*

Echantillon	Nk002		Nk003			Nk005			Nk008		NK163		Nk171	
SiO2	56.74	46.82	50.52	54.68	51.84	54.27	56.2	51.73	57.22	52.34	49.63	46.09	51.04	43.30	42.71
TiO2	0.28	2.06	0.32	0.12	0.25	0.01	0.05	0.59	0.04	0.45	1.53	1.99	0.69	0.58	0.53
Al2O3	2.11	8.1	4.73	1.8	5.05	1.62	0.77	2.56	1	5.18	6.76	9.91	6.22	10.95	11.21
Cr2O3	0.2	0.17	0.17	0.12	0.09	0.08	0.07	0.11	0.15	0.06	0.23	0.58	0.38	0.00	0.00
FeOt	8.44	13.61	15.44	13.11	13.14	14.17	13.52	9.71	8.95	10.79	11.48	9.65	7.88	21.59	21.42
MnO	0.12	0.14	0.28	0.49	0.33	0.29	0.24	0.3	0.22	0.12	0.22	0.10	0.09	0.29	0.29
MgO	25.51	13.2	13.94	15.35	14.97	14.78	15.01	13.21	16.97	16.91	15.09	14.86	18.04	7.71	7.42
CaO	0.03	11.08	10.47	11.38	11.79	11.87	11.98	18.81	12.17	11.15	11.21	11.60	11.56	11.42	11.68
Na2O	0.04	1.49	0.76	0.28	0.83	0.18	0.11	0.36	0.08	0.85	1.37	1.71	0.90	1.43	1.50
K2O	0.01	0.28	0.32	0.06	0.3	0	0	0.02	0.04	0.24	0.17	0.31	0.24	0.28	0.35
Total Oxyde	93.56	97.05	96.98	97.41	98.64	97.29	97.95	97.4	96.92	98.12	97.79	96.80	97.04	97.54	97.11

Tableau 4 : *Composition chimique des plagioclases des cumulats mafiques et gabbros ordinaires*

Echantillon	Nk002		Nk003		Nk005			Nk005		NK163		NK171	
SiO2	51.31	50.62	50.97	67.95	54.52	54.76	54.35	53.36	54.93	48.90	49.59	62.96	61.95
TiO2	0.01	0.01	0.08	-	0.08	-	0.04	0.01	0.06	0.01	-	-	-
Al2O3	30.98	31.32	31.25	20.30	28.99	29.04	29.14	29.55	28.97	32.15	31.85	23.17	23.57
Cr2O3	0.01	0.04	-	0.04	0.01	0.09	0.02	-	-	-	0.01	0.02	-
FeOt	0.25	0.41	0.52	0.21	0.24	0.39	0.32	0.42	0.30	0.24	0.22	0.21	0.28
MnO	-	-	0.03	0.02	-	-	0.03	-	-	-	0.00	-	-
MgO	0.01	0.03	-	-	-	-	-	0.02	0.02	-	-	-	0.00
CaO	14.13	14.62	14.41	1.01	11.53	11.39	11.65	12.60	11.62	15.64	15.44	4.67	5.20
Na2O	3.46	3.28	3.31	11.07	4.71	4.90	4.76	4.24	4.76	2.60	2.85	8.96	8.72
K2O	0.11	0.04	0.04	0.05	0.12	0.20	0.15	0.08	0.14	0.09	0.09	0.07	0.07
Total Oxyde	100.30	100.37	100.60	100.67	100.22	100.77	100.46	100.31	100.81	99.63	100.06	100.05	99.79
An	70.10	72.20	71.70	5.10	58.50	57.00	58.40	63.20	58.40	77.50	75.70	23.30	25.80
Ab	29.30	27.60	28.10	94.60	40.70	41.80	40.70	36.30	40.80	22.00	23.80	76.30	73.80
Or	0.70	0.20	0.20	0.30	0.70	1.20	0.90	0.50	0.80	0.50	0.50	0.40	0.40

Tableau 5 : *Tableau représentatif des opaques cumulats mafiques et gabbros ordinaires*

Echantillon	Nk002		Nk003		Nk005
SiO2	0.011	0.002	0.019	0.047	0.002
TiO2	49.863	52.884	54.112	0.513	52.365
Al2O3	0.013	0.011	0	0.05	0.023
Cr2O3	0.271	0.125	0.053	1.162	0.102
FeOt	45.301	42.979	42.078	89.424	43.188
MnO	3.964	4.248	3.578	0.037	4.029
MgO	0.106	0.1	0.099	0	0
NiO	0.009	0.047	0	0.053	0.026
CaO	0.021	0	0.083	0.017	0
Na2O	0	0	0	0	0.016
K2O	0	0	0	0	0.001
Total Oxyde	99.559	100.395	100.022	91.303	99.752

4-2. Caractère géochimique

Le ***Tableau 6*** donne les résultats représentatifs d'analyse des majeures et traces de douze échantillons des roches du complexe.

Tableau 6 : *Composition chimique des éléments majeurs et traces du complexe mafique de Yelonhira (CMY)*

Roche	**Pyroxenolite**	**Cumulat mafique**									**Gabbro ordinaire**	
N° d'Ech	NK007	NK002	NK004	NK006	NK008	NK009	NK010	NK163	NK167	NK170	NK011	NK171
						Eléments majeurs (%)						
SiO_2	50.69	51.5	47.85	48.77	50.58	51.83	48.85	53.16	49.38	45.06	49.69	49.15
Al2O3	4.05	5.2	18.56	8.3	6.62	8.96	10.34	6.25	13.22	13.28	12.58	13.06
Fe2O3	11.61	13.47	7.95	12.48	10.24	11.48	8.06	12.06	17.68	19.56	17.71	16.79
MgO	18.87	19.62	8.78	14.18	14.96	11.39	13.98	19.48	5.46	8.00	4.91	5.49
CaO	9.88	6.67	11.23	11.28	13.58	11.59	14.19	6.98	8.74	10.30	9.09	9.52
Na2O	0.32	0.43	1.88	0.66	0.63	1.39	0.79	0.61	1.94	1.41	2.72	3.04
K2O	0.02	0.02	0.08	0.06	0.15	0.14	0.05	0.07	0.25	0.04	0.27	0.19
TiO2	0.39	0.34	0.25	0.39	0.48	1.03	0.25	0.31	1.85	1.88	1.82	1.67
P2O5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.03	<0.01	0.02	0.14	<0.01	0.15	0.12
MnO	0.22	0.23	0.12	0.23	0.19	0.19	0.16	0.21	0.24	0.25	0.27	0.24
Cr2O3	0.321	0.184	0.09	0.088	0.133	0.11	0.258	0.263	0.011	0.019	0.017	0.013
LOI	3.2	1.9	3	3.2	2	1.5	2.7	0.1	0.8	<0.1	0.5	0.5
Total	99.61	99.6	99.78	99.68	99.64	99.69	99.7	99.62	99.77	99.72	99.76	99.78
Mg#	76.29	74.25	68.62	69.22	74.31	66.26	77.44	76.18	37.94	44.74	35.44	39.29
						Eléments en trace (ppm)						
Ni	549	575	220	448	615	417	357	692	49	79	56	47
Sc	60	38	26	51	57	47	56	40	41	51	43	46
Ba	3	7	43	23	25	33	28	16	30	26	32	36
Be	1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	66.6	86.1	53	74.1	76.4	71.6	62.7	74.4	52.1	62.3	65.2	47.2
Cs	<0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ga	6.4	7.2	12	9.1	8.3	11.5	7.9	6.8	19.4	17.9	16.5	18.7
Hf	0.3	0.5	0.2	0.5	0.6	1.3	0.3	0.4	3.0	0.5	3.2	2.8
Nb	0.3	0.5	0.6	0.5	1.4	2.5	0.8	0.9	3.1	0.7	3.7	1.6
Rb	0.3	0.8	1.4	1.9	3.7	2.1	0.9	1.9	3.4	1.0	3	2.7
Sn	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	1	<1	<1	<1
Sr	29.5	50.5	148.7	109.7	51.1	136.7	65.6	59.6	117.5	175.0	126.3	84.6
Ta	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	<0.1	0.2	<0.1	0.4	0.2
Th	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	<0.2	0.3	<0.2	0.4	0.2
U	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1
V	252	195	131	163	259	268	203	179	412	578	414	459
W	40.1	59.8	97.6	58.6	100.2	119.4	84.6	<0.5	<0.5	<0.5	131.6	<0.5
Zr	10.5	9.3	7.1	10.3	22.2	39.2	11.6	14.5	111.8	11.2	98.9	92.8
Y	10.9	7.1	4.5	8.6	11.2	13	7.1	6.7	38.7	11.2	32.6	35.9
La	1.3	1.9	1.9	1	2.6	4.5	2.1	1.8	4.6	1.2	3.3	4.9
Ce	2.8	2.5	2.8	2.6	5.7	10.1	2.7	3.8	12.0	2.2	11.9	11.4

Pr	0.42	0.35	0.42	0.46	0.73	1.25	0.35	0.45	2.09	0.36	1.88	2.03
Nd	2.4	1.5	1	2.8	3.7	6.4	1.7	2.3	12.1	2.1	10.9	10.9
Sm	1.12	0.67	0.5	0.89	1.21	1.76	0.48	0.56	3.96	0.82	3.52	3.40
Eu	0.39	0.25	0.29	0.39	0.43	0.61	0.26	0.24	1.44	0.57	1.28	1.29
Gd	1.47	0.94	0.74	1.33	1.59	2.17	0.96	0.99	5.73	1.45	4.77	5.08
Tb	0.37	0.21	0.16	0.33	0.36	0.48	0.21	0.17	1.07	0.29	1.12	0.94
Dy	1.84	1.06	0.84	1.62	1.82	2.35	0.91	1.20	6.75	2.02	6.1	5.96
Ho	0.53	0.36	0.24	0.42	0.54	0.56	0.35	0.28	1.58	0.48	1.55	1.29
Er	1.66	0.95	0.72	1.2	1.36	1.89	1.06	0.80	4.45	1.45	4.43	3.60
Tm	0.23	0.17	0.1	0.18	0.2	0.25	0.17	0.13	0.66	0.19	0.72	0.57
Yb	1.15	0.83	0.5	1.08	0.93	1.44	0.76	0.82	4.07	1.38	3.76	3.84
Lu	0.22	0.19	0.11	0.18	0.2	0.24	0.14	0.13	0.65	0.20	0.66	0.58
Mo	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	0.1	0.7	<0.1	0.3	0.5	0.1	0.1	<0.1
Cu	168.2	77	51.3	163.3	249.6	198	76.1	126.7	111.5	98.5	84.7	86.0
Pb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.2	0.5	0.4	0.2	0.4
Zn	12	14	14	36	14	11	9	5	48	20	17	33
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ni	159.3	115.3	81.4	217.4	221.5	133.7	128.6	171.4	21.4	46.6	9	13.4
As	<0.5	<0.5	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	2.3	<0.5	0.9	<0.5	<0.5	<0.5
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Hg	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Tl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Au(ppb)	4.7	1.3	<0.5	1.8	6.7	4.9	4.7	7.0	<0.5	<0.5	<0.5	1.3

4-2-1. Variation des éléments majeurs

Les différentes formations constituantes du complexe ont une composition basique marquée par SiO_2 (45.06 - 51.83 %). Elles sont très pauvres en potassium (0.02 - 0.27 %), toutefois la teneur en sodium est variante (0.32 - 3.04 %) à l'instar des oxydes de titane (0.25 - 1.88 %). Les teneurs en CaO sont relativement élevées (6,65 à 14,19 %). Les gabbros ordinaires semblent plus enrichis en ces derniers éléments (NaO et TiO2). Al_2O_3 est relativement concentré dans les gabbros ordinaires type filon (moy. 12.82 %) et une faible concentration dans les pyroxénolites (4.05 %). Sous microscope, les pyroxénolites et cumulats mafiques sont fortement affectés par une intense ouralitisation, la perte au feu varie de 0.8 -3.2 %. La concentration de MgO dans les cumulats et pyroxénolites fluctue entre 5.46 - 19.62 % et Fe_2O_3 est relativement moins élevé (12.55 - 11.61 %).

Les variations de Mg# comparées à certains oxydes ***(Figure 8)*** montrent en général deux entités géochimiques à caractère magnésien différent. Les cumulats et pyroxénolites sont très magnésiens (Mg# moyen est supérieur à 66.5) et les gabbros ordinaires sont plutôt peu magnésiens (Mg# moyen est inférieur à 45). Les diagrammes de covariance discriminent aussi ces deux groupes : un pôle magnésien enrichi en Cr_2O_3, CaO, MgO et un pôle moins magnésien enrichi en Fe2O3, SiO_2, K_2O et Al_2O_3. Les roches du complexe ont tous une affinité pour la série tholéitique dans le diagramme AFM ***(Figure 9)***. Il laisse aussi entrevoir ces deux pôles géochimiques dont les cumulats et pyroxénolite ont un caractère magnésien dominant et les gabbros ordinaires qui ont un caractère ferrifère ***(Figure 9)***. Ces deux groupes (magnésiens et ferrifères) se confirment aussi dans les diagrammes de variations des oxydes de titane et certains éléments en trace

(Figure 10). Les cumulats sont identifiés à des gabbronorites et des gabbrodiorites dans le diagramme de la Roche ***(Figure 11)***. Les gabbros ordinaires s'identifient à des gabbros (ss) et en moindre proportion à des gabbrodiorites. Cette classification basée sur la proportion des cations ne considère pas la pyroxénolite (échantillon NK007 dont R_2 est supérieur à 2500) dont le taux de magnésium est très élevé.

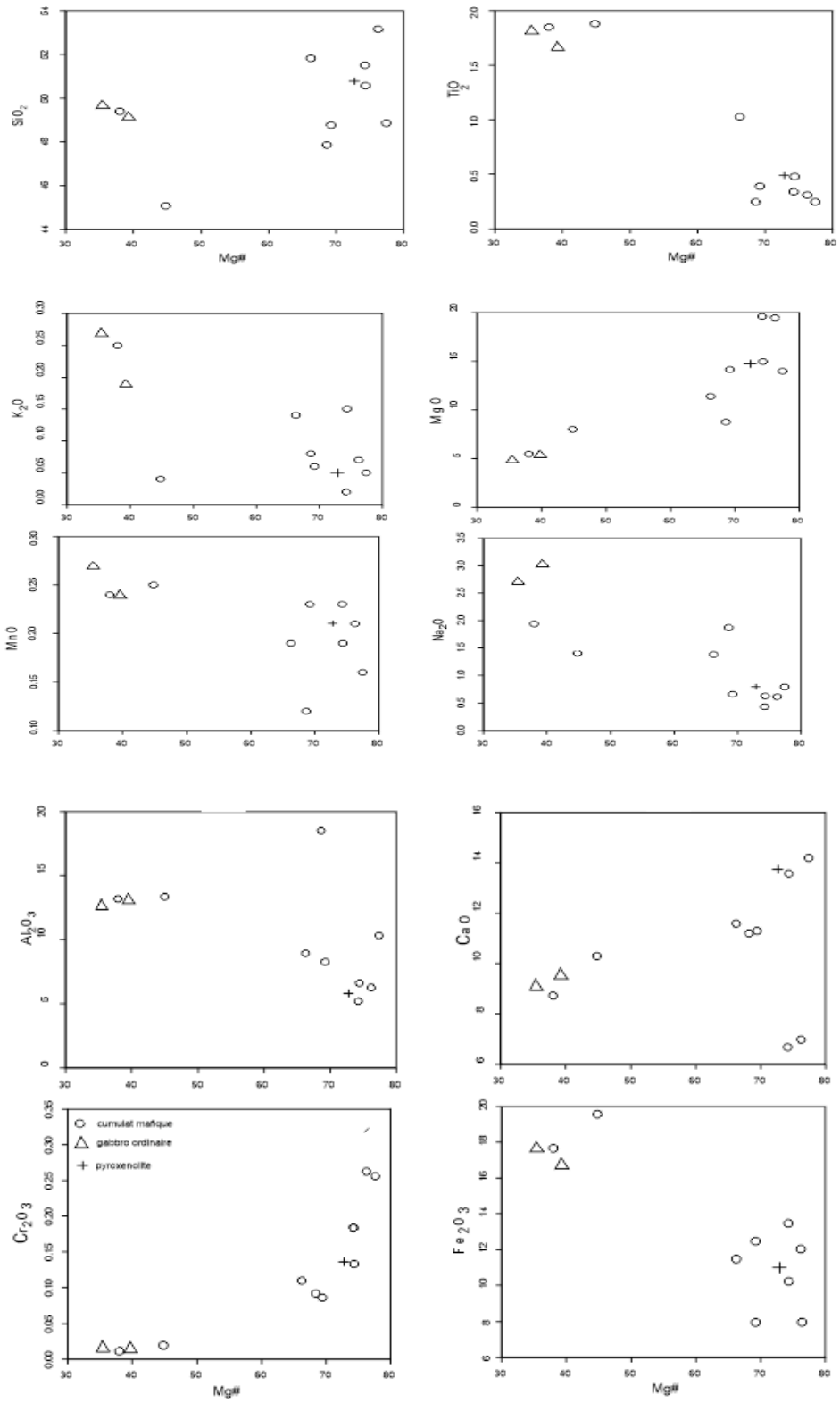

Figure 8 : *Diagramme de variation du nombre de magnésium versus les oxydes majeurs*

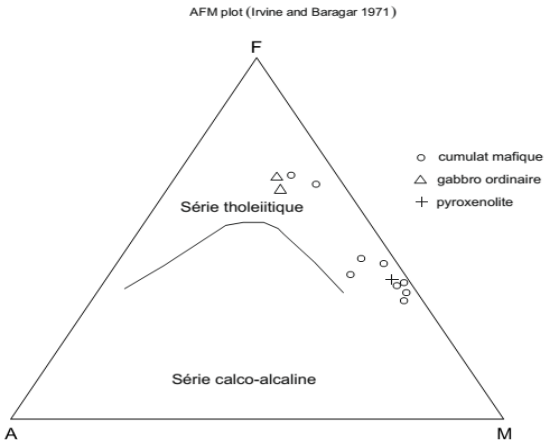

Figure 9 : *Diagramme AFM d'Irvine et Baragar, 1971*

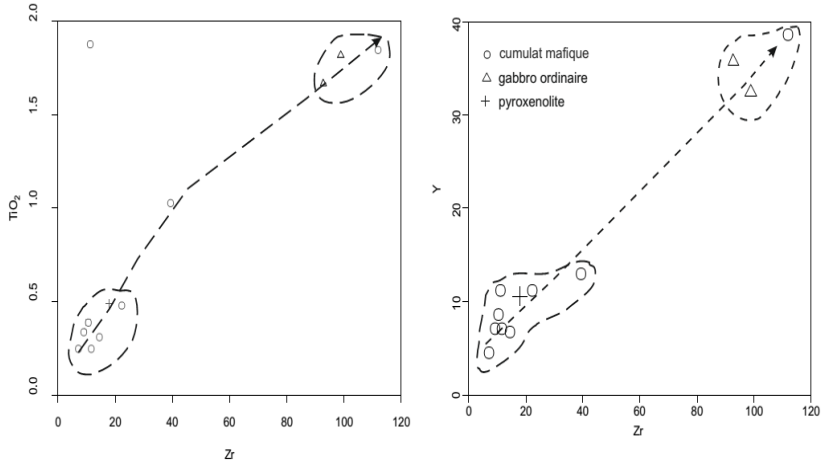

Figure 10 : *Diagramme de variation du Zr versus TiO2 et Y des roches du complexe mafique de Yelonhira*

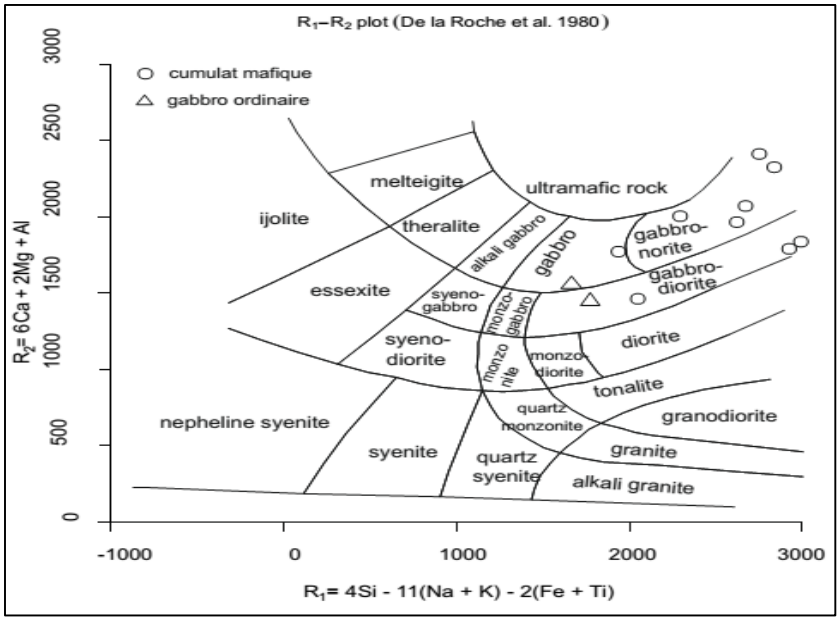

Figure 11 : *Diagramme de classification la Roche et al., 1980*

4-2-2. Variation des éléments traces et terres rares

L'analyse des éléments immobiles et incompatibles HFSE (Zr, Nb, Ta, Hf) montre des teneurs extrêmement variables au sein des roches du CMY. Cette variabilité est compatible avec la cristallisation de certaines phases minérales (clinopyroxène, plagioclase, amphibole et magnétite) du magma primaire. Les terres rares normalisées aux chondrites présentent deux spectres différents avec un léger enrichissement qui se réfèrent aux deux groupes pétrographiques et géochimiques préalablement identifiés ***(Figure 12)***. Les cumulats mafiques à caractère magnésien (gabbronorite et gabbrodiorite) sont appauvris en terres rares légères (LREE) comparativement à ceux des gabbros ordinaires à caractère ferrifère (filon) qui y sont plus enrichis. Exception faite pour l'échantillon NK167 (gabbronorite) qui a une signature géochimique similaire aux gabbros ordinaires à caractère ferrifère. L'anomalie positive en Eu dans les cumulats s'explique par une accumulation importante du plagioclase. Le rapport en Eu/Eu* moyen des roches analysées (1.06) confirme l'accumulation du plagioclase dans le liquide résiduel. Les terres rares lourdes (HREE) sont légèrement fractionnées avec une anomalie négative en Dy et Yb associées aux cumulats et inversement peu fractionnées associées aux gabbros ferrifères. Les spectres des deux groupes géochimiques (cumulats magnésiens et gabbros ferrifères) sont presque parallèles et pourraient être de source tholéiitique cogénétique. Ils rappellent celle des MORB. Les diagrammes multi-élémentaires montrent une évolution géochimique commune pour les cumulats avec un enrichissement tant en alcalino-terreux (LILE) que HFSE. Leurs profils diffèrent des gabbros ordinaires qui sont eux 10 fois plus enrichis ***(Figure 13)***. Ces deux groupes de faciès sont enrichis en Ta, appauvris en Nb et Zr. Le Pb et P ont de fortes anomalies négatives. Ces diagrammes normalisés aux valeurs du manteau primitif confirment aussi les deux groupes de faciès géochimiques distincts identifiés en pétrographie et par les éléments majeurs.

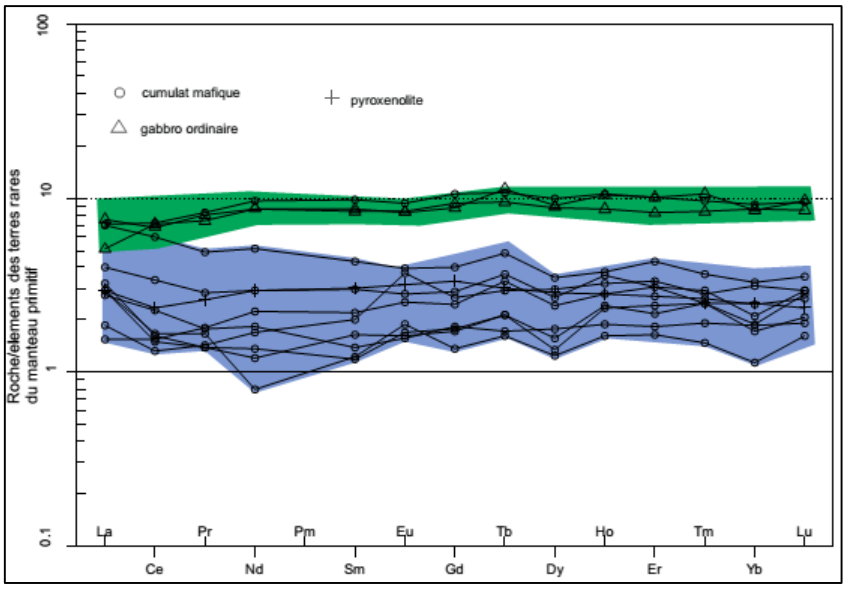

Figure 12 : *Spectres des terres rares du complexe mafique de Yelonhira, normalisées aux chondrites d'après McDonough and Sun (1989)*

Légende : Le champ vert représente le profil commun filon de gabbro ordinaire et le champ bleu le profil commun au cumulat mafique

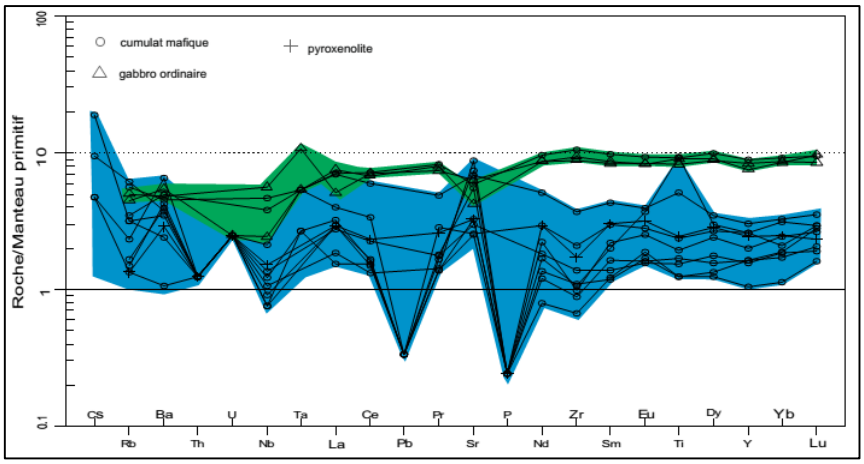

Figure 13 : *Diagramme multiéléments du complexe mafique de Yelonhira, normalisées par rapport aux valeurs du manteau primitif de McDonough and Sun (1995). Même légende que la Figure 12*

4-2-3. Conditions pétrogénétiques

La coexistence de deux pyroxènes dans la même phase solide est généralement utilisée pour déterminer la température de cristallisation des minéraux des roches basiques. Le géothermomètre de Lindsley ***(Figure 14)*** se présente comme un outil pertinent d'appréciation de la température à des pressions variables. À 10 kb correspondant aux pressions de cristallisation des roches mafiques en général, les roches du complexe ont cristallisé à des températures variant de 700-1200°c.

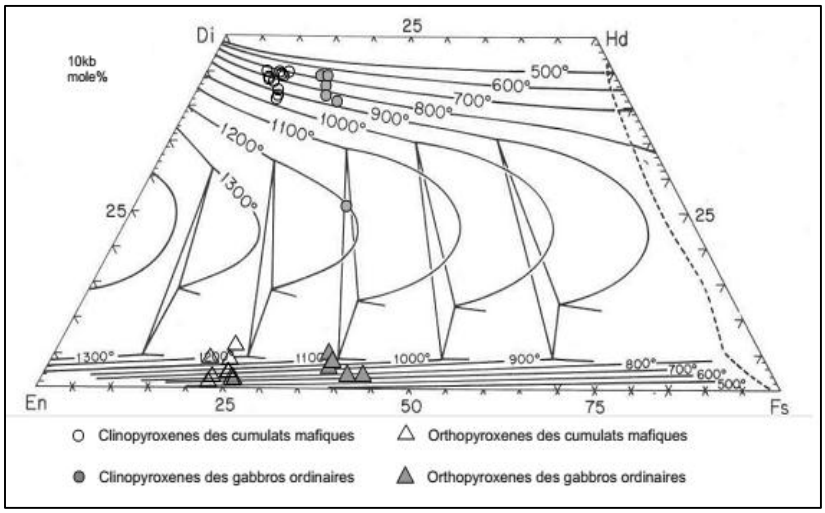

Figure 14 : *Estimation des conditions de cristallisation du complexe mafique de Yelonhira utilisant les géothermomètres à pyroxènes de Lindsley à 10 kb*

4-2-4. Contexte géodynamique

Le Ti et V sont des éléments peu mobiles et peuvent être utilisés pour caractériser le contexte géotectonique de l'intrusion mafique de Yelonhira ***(Figure 15)***. Le diagramme montre une affinité à la fois pour un contexte d'arc volcanique et intraocéanique. Les cumulats ont en général un rapport Ti/V de 10. Les filons de gabbros ordinaires et quelques cumulats ont un rapport Ti/V supérieur à 20. Zr et Nb du groupe des HFSE (High Field Strength Element) de même que Y sont reconnus incompatibles, immobiles lors du métamorphisme

et de l'hydrothermalisme. Le diagramme ternaire Zr-Nb-Y montre que les roches du CMY sont affiliées au plancher océanique MORB type N appauvri en éléments traces incompatibles ou aux arcs volcaniques ***(Figure 16)***. Le diagramme de variation des rapports Th/Yb vs Ta/Yb permettant de mieux discerner l'environnement géotectonique du complexe, s'apparente à celui des arcs volcaniques ***(Figure 17)***. Les ratios Th/Yb et Ta/Yb montent une différentiation progressive des différents groupes pétrographiques. Ils ont en commun une source mantellique déprimée probablement affecté par une contamination crustale (enrichissement des LILE).

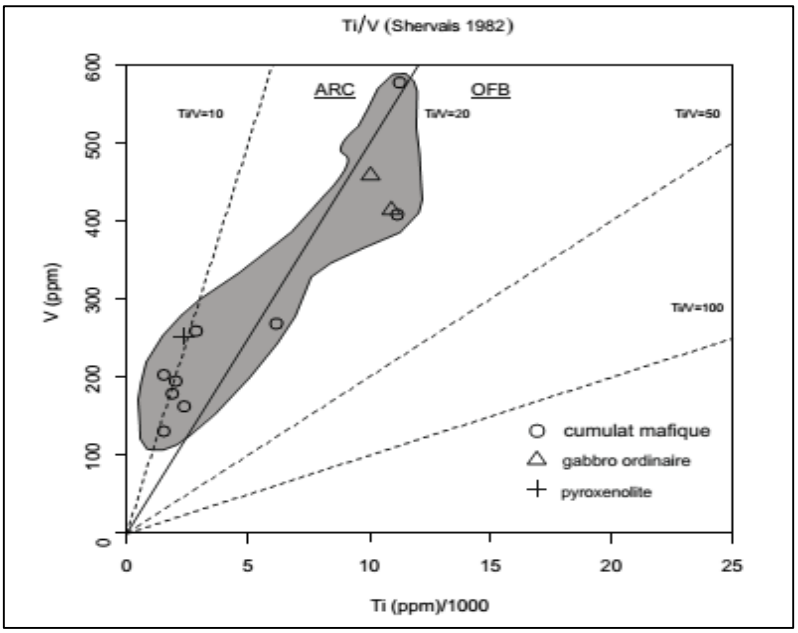

Figure 15 : *Diagramme de discrimination de l'environnement géotectonique du complexe mafique de Yelonhira (Shervais 1982)*

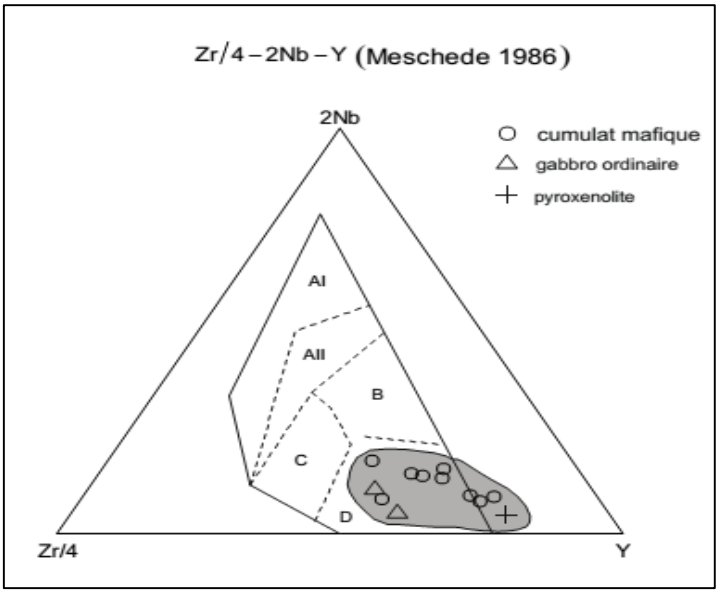

Figure 16 : *Diagramme de discrimination géotectonique de Meschede (1986) du complexe mafique de Yelonhira Légende : AI : basalte alcalin intraplaque, AII : basalte intraplaque, B : MORB type E, C : basalte tholéitique intraplaque et arc volcanique, D : MORB type N et basalte des arcs volcaniques*

Les rapports La/Ba vs La/Nb montrent que le magma primaire du complexe aurait pris source dans le manteau asthénosphérique avec une contribution limitée de la lithosphère ***(Figure 18)***. En comparaison, les sills mafiques du Bushveld se sont mis en place dans un contexte de subduction avec assimilation du manteau lithosphérique.

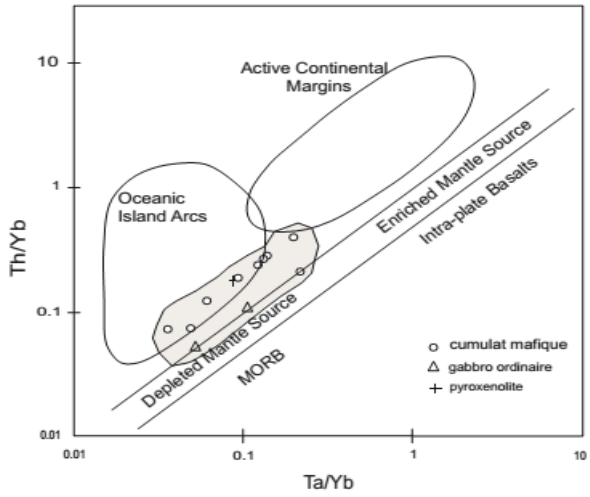

Figure 17: *Diagramme de discrimination géotectonique du complexe mafique de Yelonhira Pearce, 1982 et 1983*

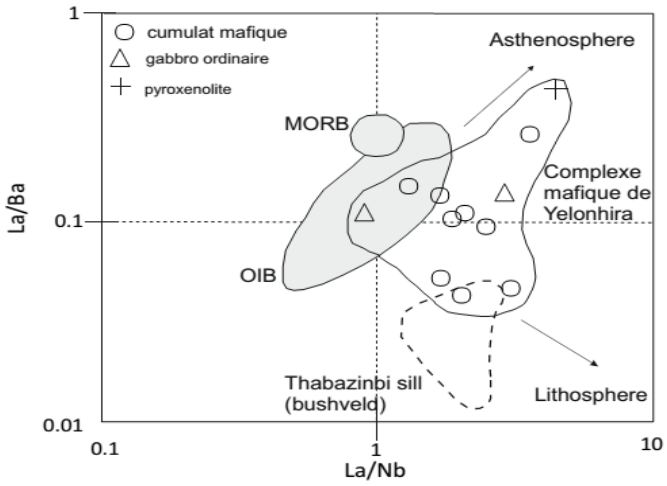

Figure 18 : *Diagramme La/Ba vs La/Nb de discrimination de la contribution asthénosphérique et lithosphérique*

5. Discussion

Les associations minérales des cumulats du CMY (Augite-bronzite, magnésio-/ ferro-tschermakite-hornblende, bytownite) sont similaires aux cumulats des gabbros néoprotérozoïques d'El-Aradya [16], mais aussi du complexe igné et zoné de Agou au Sud du Togo [17] qui diffèrent par la présence de grenat. En ce qui concernent les filons de gabbros ordinaires on retrouve les mêmes associations connues dans la zone de Boussouma [14] : Augite-hypersthène, actino-/magnésio-hornblende, oligoclase-labrador. Les températures de cristallisation des pyroxènes des cumulats mafiques et des gabbros ordinaires varient de 700° à 1200°. Les températures plus élevées se rapprochent de celles de 1100° à 1300° obtenues dans le complexe

gabbroïque birimien de Boussouma en particulier sur les cortlandites [13]. Les températures de solidification des cumulats et gabbros fins du complexe néoprotérozoïque d'El-Aradya varient respectivement de 900° - 1100° et 1100° - 1200° [16]. Les pyroxènes étant d'origine ignée, ces températures correspondent à une mise en place profonde du magma. Ces roches gabbroïques du complexe ont une affinité pour les tholéiites océaniques. Les profils des terres rares et éléments en trace montrent des caractères géochimiques différents confirmés par la distribution des majeurs entre cumulats mafiques et filons de gabbro quoiqu'issus de la même source mantellique. Les profils des terres rares sont plats ce qui les rapprochent des N-MORB. Les spectres multi-élémentaires indiquent un enrichissement en LILE, HFSE et légèrement en terres rares légères de même qu'un appauvrissement en Nb. Les assemblages mafiques/ultramafiques de Loraboué dans la ceinture avoisinante de Boromo [18] sont enrichis en LILE mais appauvris en HFSE. Le contexte d'arc volcanique insulaire des zones de subduction intraocéanique est attribuable au complexe mafique de Yelonhira d'après leur caractère géochimique des HFSE. Le magma parent aurait pris source dans le manteau asthénosphérique à l'instar des intrusions gabbroïques néoprotérozoïques d'El-Aradya [16] ou celles de Loraboué dont la source est une lherzolite [18]. Quatre grands modèles ont été proposés pour la croissance crustale du craton Ouest-africain : (1) Rift intracontinental proposé par [2, 19, 20]. (2) plateau océanique dans le type du bassin de Nauru par [9, 21, 22]. (3) arc insulaire intra-océanique de [7, 23]. (4) bassin arrière-arc par [19, 24]. Dans notre présente étude, les différents rapports de Th/Yb, Ta/Yb et les éléments HFSE Zr-Nb-Y indiquent que le complexe se serait mis en place dans un environnement d'arc volcanique insulaire. Ce même contexte avait été indiqué pour les associations mafiques / ultramafiques de Loraboué dans le sillon de Boromo [18]. Le cortège filonien associé au complexe mafique de Yelonhira peut être attribué à un épisode distensif postérieur.

6. Conclusion

Le sillon de Houndé dans sa portion Sud ou se situe notre carte d'étude, nous démontrons par la pétrographie et les données géochimiques que : le complexe de Yelonhira est mafique et intrusif dans les ensembles volcaniques et volcanosedimentaires. Essentiellement constitué de cumulats mafiques (gabbronorite et gabbro diorite) et pyroxénolites subordonnées ont un caractère magnésien. En sus des associations minérales caractéristiques des séries tholeitiques de type N-MORB, les roches contiennent des sulfures de fer, ilménite et magnétite dont la concentration atteint localement 3 %. Les produits d'altération commune à ces roches sont : épidote, chlorite, calcite et quartz. Ce complexe est une cible très intéressante d'exploration minérale pour les métaux de base voire or, dont une étude métallographique minutieuse et du grain structural est un préalable. L'intérêt porté sur les filons de gabbros nous a permis de comprendre qu'ils seraient des produits différenciés par fractionnement du même magma basaltique que les cumulats et les rapports Th/Yb, Ta/Yb et les éléments HFSE Zr-Nb-Y indiquent une mise en place dans un environnement d'arc insulaire.

Remerciements

Les auteurs remercient Mr Hermann Ilboudo et Siaka Eugene Zonou pour leur contribution. Mr Félix Kiemdé (Randgold Resources) a apporté la logistique dans l'acquisition des données de terrain entre 2013 - 2014.

Références

[1] - B. BESSOLES, *Géologie de l'Afrique. Le craton ouest africain,* Mémoires BRGM, Paris, 88 (1977).

[2] - A. LEUBE, W. MAUER and R. KESSE, *The Early Proterozoic Birimian Supergroup of Ghana and some aspects of its associated gold mineralization,* Precambr. Res., 46 (1990) 139 - 165.

[3] - W. HIRDES, D. W. DAVIES, G. LUDTKE and G. KONAN, *Two generations of Birimian (Paleoproterozoic) volcanic belts in northeastern Cote d'Ivoire (West Africa) : consequences for the 'Birimian controversy*, Precambr. Res., 80 (1996) 173 - 191.

[4] - S. NABA, *Structure et mode de mise en place de pluton granitique emboité : Exemple de l'alignement plutonique Tenkodogo-Yamba dans l'Est du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest,* Thèse 3ème cycle, Univ. Dakar, Sénégal, (1999) 209 p.

[5] - M. LOMPO, R. CABY and B. ROBINEAU, *Evolution structurale du Birimien au Burkina Faso : exemple de la ceinture de Boromo-Goren dans le secteur de Kwademen (Afrique de l'Ouest),* C. R. Acad. Sci. Paris, 313 (1991) 945 - 950.

[6] - A OUEDRAOGO, *Etudes de quelques unités plutoniques basiques éburnéennes dans le sillon de Bouroum-Yalogo au Nord-Est du Burkina Faso*. Thèse Doc. 3e Cycle, Nancy, tome II, (1985) 64 p.

[7] - P. J. SYLVESTER and K. ATTOH, *Lithostratigraphy and composition of 2.1 Ga greenstone belts of the West African Craton and their bearing on crustal evolution and the Archean-Proterozoic boundary,* J. Geol., 100 (1992) 377 - 393.

[8] - J. L. FEYBESSE, J. P. MILESI, M. F. OUEDRAOGO et A. PROST, *La 'ceinture' protérozoïque inferieur de Boromo-Goren (Burkina-Faso): un exemple d'interférence entre deux phases transcurentes éburnéennes*, C. R. Acad. Sci. Paris, 310 (1990) 1353 - 1360.

[9] - A. POUCLET, M. VIDAL, C. DELOR, Y. SIMEON et G. ALRIC, *Le volcanisme birimien du nord-est de la Côte-d'Ivoire, mise en évidence de deux phases volcano-tectoniques distinctes dans l'évolution géodynamique du Paléoproterozoique*, Bull. Soc. Geol. Fr., 167 (4) (1996) 529 - 541.

[10] - G. LUDTKE, W. HIRDES, G. KONAN, Y. KONE, S. DIARRA et Z. ZAMBLE, *Géologie de la région Haute Comoé Nord, avec carte géologique au 1/100.000 - Feuilles Kong (coupures 4b et 4d) et Tehini-Bouna (coupures 3a et 3d), 1ère édition*, Rep. N° 112713, Arch. BGR, (1998) 157 p.

[11] - G. BOSSIERE, I. BONKOUGOU, J. J. PEUCAT and J. P. PUPIN, *Origin and age of Paleoproterozoic conglomerates and sandstones of the Tarkwaian Group in Burkina Faso, West Africa*. Precambrian Res., 80 (1996) 153 - 172.

[12] - S. ZONOU, *Les formations leptyno-amphibolitiques et le complexe volcanique et volcano-sédimentaire du Protérozoïque inferieur de Bouroum-nord (Burkina Faso-Afrique de l'Ouest). Etude pétrographique, géochimique, approche pétrogénétique et évolution géodynamique*, Thèse Univ. Nancy, (1987).

[13] - U. WENMENGA et P. TEMPIER, *Pétrologie d'un complexe gabbroïque différencié dans le sillon du Boussouma (Burkina Faso, Craton Ouest Africain),* J. Afr. Earth Sci., v. 9, n°1, (1989) 101 - 111 pp.

[14] - U. WENMENGA et J. L. DEVIDAL, *Associations minérales dans les dykes mafiques post birimiens de Boussouma et leurs significations pétrogénétique ; Burkina Faso, craton Ouest Africain,* Global Journal of Geological Sciences, 6 (2) (2008) 157 - 174 p.

[15] - C. CASTAING, M. BILA, J. P. MILESI, D. THIEBLEMONT, J. LE METOUR, E. EGAL, M. DONZEAU, C. GUERROT, A. COCHERIE, P. CHEVREMONT, I. TEYGEY, Y. ITARD, B. ZIDA, I. OUEDRAOGO, S. KOTE, B-E KABORE, C. OUEDRAOGO, J-C. KI et C. ZUNINO, *Notice explicative de la carte géologique et minière du Burkina Faso à 1/1000 000*. 3ème édition, BRGM, Orleans, France, (2003) 148 p.

[16] - F. ABU, *Neoproterozoic tholeiitic arc plutonism: petrology of gabbroic intrusion in the El-Aradya area, Eastern Desert, Egypt*, Journal of African Earth Sciences. Vol. 28, No.3, (1999) 721 - 741 pp.

[17] - Y. AGBOSSOUMONDE, R-P. MENOT et P. M. NUDE, *Geochemistry and Sm-Nd isotopic composition of the Agou Igneous Complex (AIC) from the Pan-African orogen in southern Togo, West Africa : Geotectonic implications*. J. Afr. Earth Sci., 82 (2013) 88 - 99.

[18] - D. BEZIAT, F. BOURGES, P. DEBAT, M. LOMPO, F. MARTIN, F. TOLLON, *A Paleoproterozoic ultramafic-mafic assemblage and associated volcanic rocks of the Boromo greenstone belt; fractionates originating from island-arc volcanic rocks activity in the West-Africa Craton.* Precambrian Res, 101 (2000) 25 - 47 p.

[19] - S. RATOMAHARO, M. DEMANGE, M. FONTEILLES et M. TREUIL, *La série birimienne de Perkoa (Burkina Faso). Géochimie et minéralogie. Interprétation litho stratigraphique. Conséquences sur l'interprétation géodynamique du Birimien*. C. R. Acad. Sci. Paris, 307 (1988) 2033 - 2040.

[20] - G. ALRIC, *Géochimie du volcanisme birimien (Protérozoïque inferieur) de l'Unité de Haute-Comoé, N-E de la Cote d'Ivoire : premiers résultats*. J. Afr. Earth Sci., 10 (1990) 669 - 681.

[21] - W. ABOUCHAMI, M. BOHER, A. MICHARD and F. ALBAREDE, *A major 2.1 Ga event of mafic magmatism in West Africa : an early stage of crustal accretion*. J. Geophys. Res., 95 (1990) 17605 - 17629.

[22] - M. BOHER, W. ABOUCHAMI, A. MICHARD, F. ALBAREDE, N. ARNDT, *Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga.* J. Geophys. Res., 97 (1992) 345 - 369.

[23] - I. AMA-SALAH, J. P. LIEGEOIS, A. POUCLET, *Evolution d'un arc insulaire océanique birimien précoce au Liptako nigérien (Sirba) : géologie, géochronologie et géochimie.* J. Afr. Earth Sci., 22 (1996) 235 - 254.

[24] - M. VIDAL and G. ALRIC, *The Paleoproterozoic (Birimian) of Haute-Comoe in the West African craton, Ivory Coast : a transtensional back-arc basin*. Precambr. Res., 65 (1994) 207 - 229.