

## **Pétrologie et métallogénie des indices de Ni-Cr associés au massif basique-ultrabasique de Oké, Togo**

**Sarakawa Abalo Malibida KPAZOU<sup>1,2\*</sup>, Yao AGBOSSOUMONDE<sup>1</sup>, José Maria GONZÁLEZ JIMÉNEZ<sup>3</sup>, Mahaman Sani TAIROU<sup>1</sup> et Antonio GARCIA-CASCO<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Université de Lomé, Faculté des Sciences, Département de Géologie, Laboratoire de Géologie, 01 BP 1515 Lomé 1, Togo*

<sup>2</sup> *Centre Régional de Formation pour Entretien Routier (CERFER-Conseil de l'Entente), Département de Génie Civil, Laboratoire de Géotechnique et Mines, BP 1369 Lomé, Togo*

<sup>3</sup> *Universidad de Granada, Facultad de Ciencias, Departamento de Mineralogía y Petrología, Centro de Instrumentación Científica (CSID-Universidad de Granada), 18002 Avda. Fuentenueva, Granada, España*

<sup>4</sup> *Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Centro de Instrumentación Científica (CSID-Universidad de Granada), 18100 Armilla, Avda. de las Palmeras 4, Granada, España*

(Reçu le 23 Mai 2022 ; Accepté le 26 Juillet 2022)

---

\* Correspondance, courriel : [germalibida@gmail.com](mailto:germalibida@gmail.com)

### **Résumé**

Cette étude porte sur la pétrologie et la métallogénie des indices de Ni-Cr associés au massif de Oké. Ce massif, situé au centre du Togo, appartient à la zone de suture de la chaîne panafricaine des Dahomeyides. L'objectif est de faire une investigation pétrostructurale et géochimique de ce massif afin de caractériser les indices de minéralisations en Ni et Cr qui lui sont associés. La méthodologie mise en œuvre est basée sur une synthèse bibliographique, une cartographie géologique couplée à l'analyse structurale, une étude pétrographique portant sur quinze (15) lames minces et une étude géochimique par le biais des diagrammes de discrimination de six (06) échantillons. Les résultats obtenus montrent que le massif de Oké est tectoniquement encaissé par les quartzites. Il est composé de serpentinites dont l'association minéralogique (serpentine + orthopyroxène + plagioclase + talc) caractérise le faciès granulite. Ces serpentinites correspondent aux cumulats pyroxénitiques et plagioclasiques d'origine mantellique mis en place dans un contexte orogénique d'arc continental ou océanique. Elles présentent un potentiel important pour les minéralisations en Ni et Cr dont les teneurs peuvent atteindre 3343 ppm pour le Ni et 2728 ppm pour le Cr. Ces valeurs présentent une cible pour l'exploration de ces minéralisations.

**Mots-clés :** *Dahomeyides, massif Oké, pétrologie, métallogénie, serpentinites.*

## Abstract

### **Petrology and metallogeny of Ni-Cr prospects associated with the Oké mafic-ultramafic massif, Togo**

This study focuses on the petrology and metallogeny of Ni-Cr occurrence in the Oké massif. The Oké massif is located in central Togo and belongs to the suture zone of the Pan-African Dahomeyides belt. The study aims at conducting a petrostructural and geochemical investigation of the Oké massif in order to characterize Ni and Cr mineralization occurrence. To achieve the study objectives, a literature review of previous studies, a geological mapping survey combined with structural analysis, a petrographic analysis on fifteen (15) thin sections, and a geochemical analysis through discrimination diagrams of six (06) samples were conducted. The results show that the Oké massif is tectonically encased by quartzites. The massif is made up of serpentinites with a mineralogical association (serpentine + orthopyroxene + plagioclase + talc) corresponding to the granulite facies. These serpentinites correspond to pyroxenitic and plagioclastic cumulates originating from the mantle, and emplaced during an orogenic context of continental or oceanic arc. These serpentinites have a significant potential for Ni and Cr mineralization with grades up to 3343 ppm for Ni and 2728 ppm for Cr. These values present a target for exploration of these mineralization.

**Keywords :** *Dahomeyides, Oké massif, petrology, metallogeny, serpentinites.*

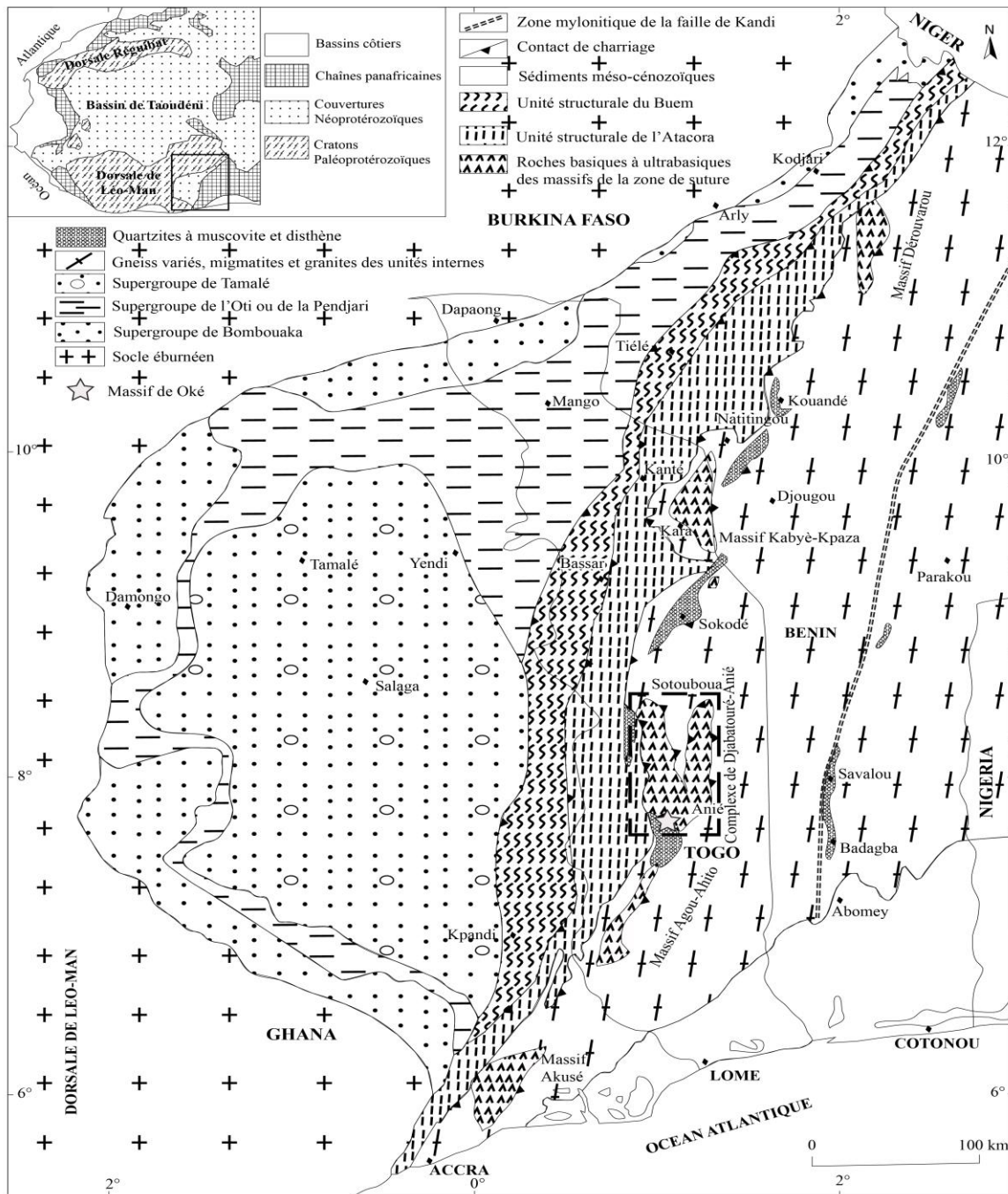
## 1. Introduction

Dans la chaîne panafricaine des Dahomeyides, les complexes basiques à ultrabasiques Dérourou (Bénin), Kabyè-Kpaza, Djabatouré-Anié, Agou-Ahito (Togo), et Shaï ou Akuse (Ghana) dessinent un chapelet montagneux subméridien matérialisant la zone de suture [1 - 5]. Cette chaîne résulte de la collision entre la portion orientale du craton Ouest-Africain et l'ensemble du socle bénino-nigérian et le bouclier Touareg [6, 7]. Elle est subdivisée en trois zones qui sont d'Ouest en Est : la zone externe, la zone de suture et la zone interne [8]. La zone externe correspond aux unités structurales du Buem et de l'Atacora, représentant les unités métasédimentaires du Bassin des Volta, aux unités orthogneissiques de Kara-Niamtougou, et aux granitoïdes du pluton Kpalimé-Amlamé [8, 9]. La zone de suture est matérialisée par un alignement subméridien de massifs basiques à ultrabasiques à faciès essentiellement granulite ou parfois éclogite [3, 10, 11]. La zone interne correspond à la pénéplaine représentant le socle bénino-nigérian remobilisé au Panafricain [8]. Elle se compose d'unités gneisso-migmatitiques, métasédimentaires (schistes, marbres et quartzites) et de granitoïdes panafricains [12, 13]. Le massif de Oké qui fait l'objet de la présente étude est l'une des unités sud-occidentales du complexe de Djabatouré-Anié. Ce complexe est défini comme un ensemble métamagmatique de type ophiolitique d'arc continental hautement métamorphisé [1, 5]. Les prospections géochimiques ont permis de déceler des anomalies géochimiques d'éléments associés à ces principaux complexes, particulièrement au complexe de Djabatouré-Anié [14]. Cependant, les relations qui existent entre les roches mères et les minéralisations sont peu connues. L'un des principaux obstacles à la prospection minière demeure le manque d'informations géologiques et de modèles métallogéniques. La problématique majeure de cette étude consiste donc à identifier, sur le plan métallogénique, les roches basiques à ultrabasiques qui affleurent dans le massif de Oké. L'objectif de cette étude est de contribuer à la caractérisation lithostructurale, pétrographique et géochimique du massif de Oké et des indices de minéralisations en Ni et Cr qui lui sont associés.

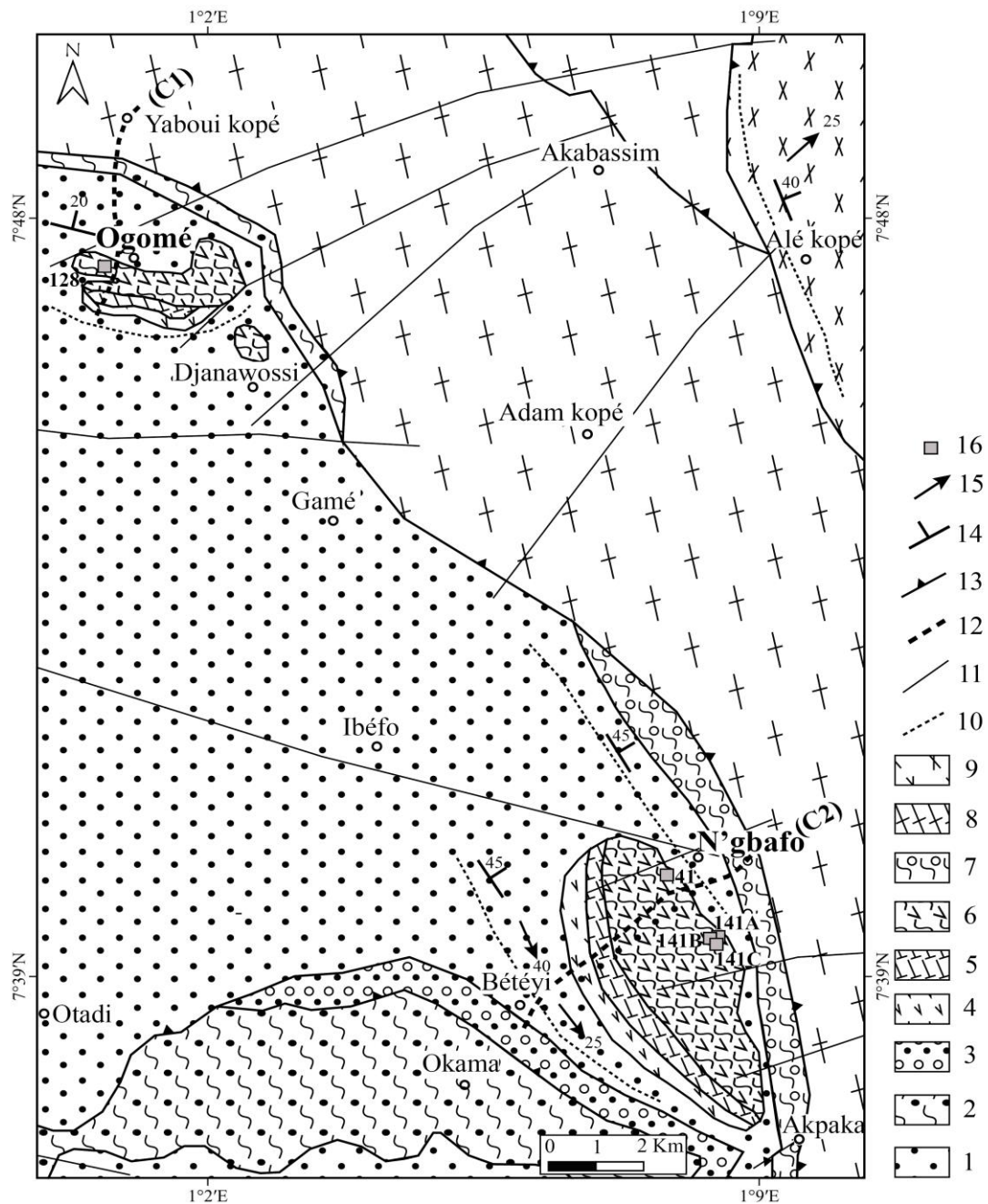
## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Situation de la zone d'étude

Le massif de Oké est localisé dans la préfecture d'Amou (NW-Atakpamé). Il est l'une des unités sud-occidentales du complexe basique-ultrabasique de Djabatouré-Anié (**Figure 1**). Il correspond à deux petits boudins affleurant en lambeaux allongés NW-SE et définis entre les latitudes 7° 36' et 7° 55' Nord et les longitudes 0° 59' et 1° 10' Est (**Figure 2**). Ce massif est constitué de roches basiques à ultrabasiques et appartient à la zone de suture de la chaîne panafricaine des Dahomeyides au Togo [1 - 5].



**Figure 1 :** Carte géologique simplifiée montrant les principales unités lithostructurales du front de la chaîne panafricaine des Dahomeyides et de son avant-pays ([8] ; légèrement modifiée) avec la localisation du complexe de Djabatouré-Anié et du massif de Oké



**Figure 2 :** Carte schématique présentant l'organisation lithostructurale du massif de Oké (modifiée à partir de la carte géologique de [14] )

1 : quartzites feldspathiques ; 2 : schistes à séricite et chlorite ; 3 : quartzites à grenat ; 4 : amphibolites ; 5 : talcschistes ; 6 : serpentinites ; 7 : micaschistes à grenat (grenatites) ; 8 : gneiss à biotite et amphibole ; 9 : métadiorites ; 10 : traces de la principale foliation S1 ; 11 : fractures ; 12 : itinéraires de coupes ; 13 : contact chevauchant ; 14 : orientation des plans S1 ; 15 : linéations L1 ; 16 : points d'échantillonnage.

## 2-2. Méthodes

L'approche méthodologique de notre étude consiste en une revue bibliographique, suivie des études lithostructurale, pétrographique et géochimique. La revue bibliographique a porté sur la synthèse des travaux antérieurs relatifs à la géologie régionale et à celle du secteur d'étude. L'étude lithostructurale a



consisté à des observations géologiques des affleurements rocheux (localisation par GPS et sur cartes topographiques, descriptions macroscopiques, échantillonnage), prise de mesures structurales (à l'aide d'une boussole à clinomètre) et à la levée de coupes géologiques. Les mesures structurales récoltées ont servi à la réalisation des rosaces et à l'établissement des stéréogrammes par projection sur canevas de Wulff (hémisphère supérieur). L'étude pétrographique a porté sur les descriptions microscopiques de quinze (15) lames minces en se focalisant sur les textures et les compositions minéralogiques. L'étude géochimique a été faite à partir des données d'analyses chimiques (éléments majeurs, éléments en traces et éléments de terres rares) de six (06) échantillons de serpentinites soigneusement sélectionnés. Ces analyses ont été menées au centre d'instrumentation scientifique de l'université de Granada en Espagne. La démarche analytique adoptée est la suivante :

- les oxydes des éléments majeurs ont été déterminés avec un appareil à fluorescence X (XRF) de marque Philips Magix Pro (Pw-2440) après avoir fait fondre l'échantillon dans une solution avec du tétraborate de lithium. La précision caractéristique, déterminée à partir des normes AN-G et BEN, était meilleure que  $\pm 1,5 \%$  (erreur relative) pour une concentration de l'analyte de 10 % en poids. Le zirconium a été déterminé dans la même machine en utilisant les mêmes billes de verre avec une précision meilleure que  $\pm 0,2 \%$  pour 5 ppm de Zr. La perte au feu (LOI) a été déterminée par la différence de poids avant et après l'allumage des échantillons dans un four. Dans les diagrammes, les concentrations d'oxydes sont rapportées sur une base anhydre (sans volatilité).
- (ii) les éléments en traces et terres rares ont été déterminés par spectrométrie de masse à source plasma à couplage inductif (ICP-MS). Il a été effectué une digestion par  $\text{HNO}_3 + \text{HF}$  de 0,1000 g de poudre d'échantillon dans un récipient revêtu de téflon à  $180^\circ\text{C}$  et 200 psi pendant 30 min avec évaporation jusqu'à siccité et dissolution ultérieure dans 100 ml de 4 vol. %  $\text{HNO}_3$ . La précision, déterminée à partir des étalons PMS, WSE, UBN, BEN, BR et AGV utilisés comme inconnus, était meilleure que  $\pm 2 \%$  pour des concentrations d'analyte de 50 ppm et  $\pm 5 \%$  pour des concentrations d'analyte de 5 ppm.

Les résultats des analyses chimiques sont reportés dans le **Tableau 1**. La localisation des échantillons prélevés est représentée sur la **Figure 2**.

### 3. Résultats et discussion

#### 3-1. Organisation lithostructurale

Le massif de Oké est composé de deux unités lithologiques. Il s'agit de : l'unité de Ogomé au Nord-Ouest et l'unité de N'gbafo au Sud-Est (**Figure 2**). Les coupes réalisées sur le terrain ont permis de montrer que ces unités sont essentiellement composées de serpentinites qui sont tectoniquement encaissées par les quartzites (**Figure 3**).

##### 3-1-1. Serpentinites

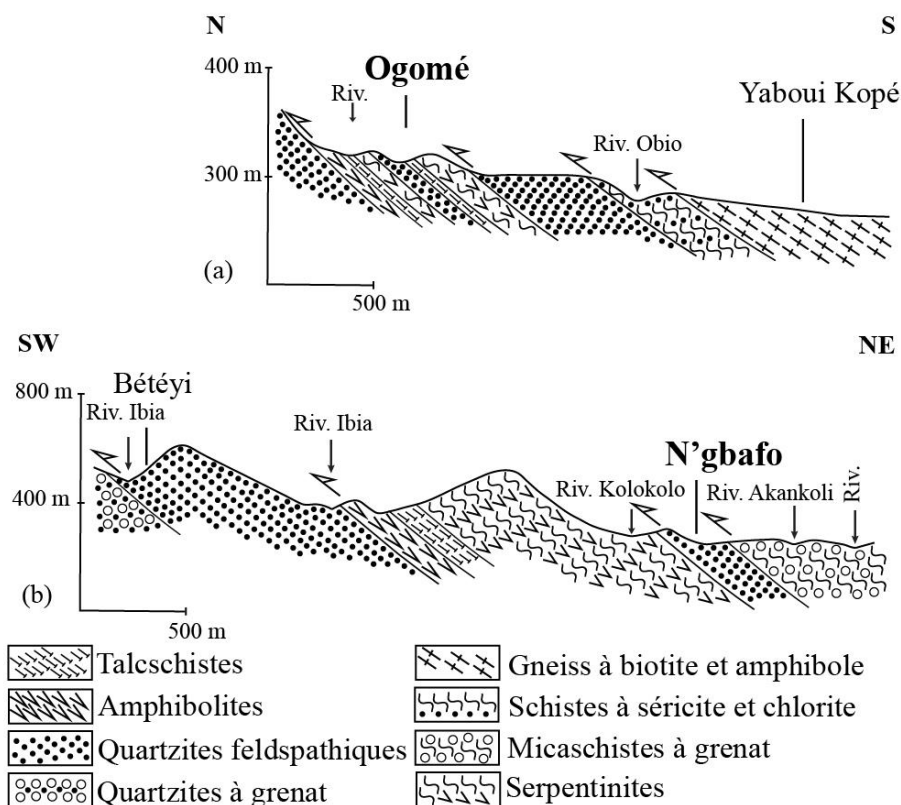
Les serpentinites affleurent en blocs anguleux de couleur verdâtre. Elles sont très déformées, le plus souvent massive ou bréchiques et contiennent de la magnétite et du talc. Dans l'unité de Ogomé, la déformation est marquée par les fractures dont les principales orientations sont NW-SE, E-W et NE-SW (**Figure 4a**). Par contre, dans l'unité de N'gbafo les fractures présentent des directions WNW-ESE, ENE-WSW et NNW-SSE (**Figure 4b**).

### 3-1-2. Quartzites

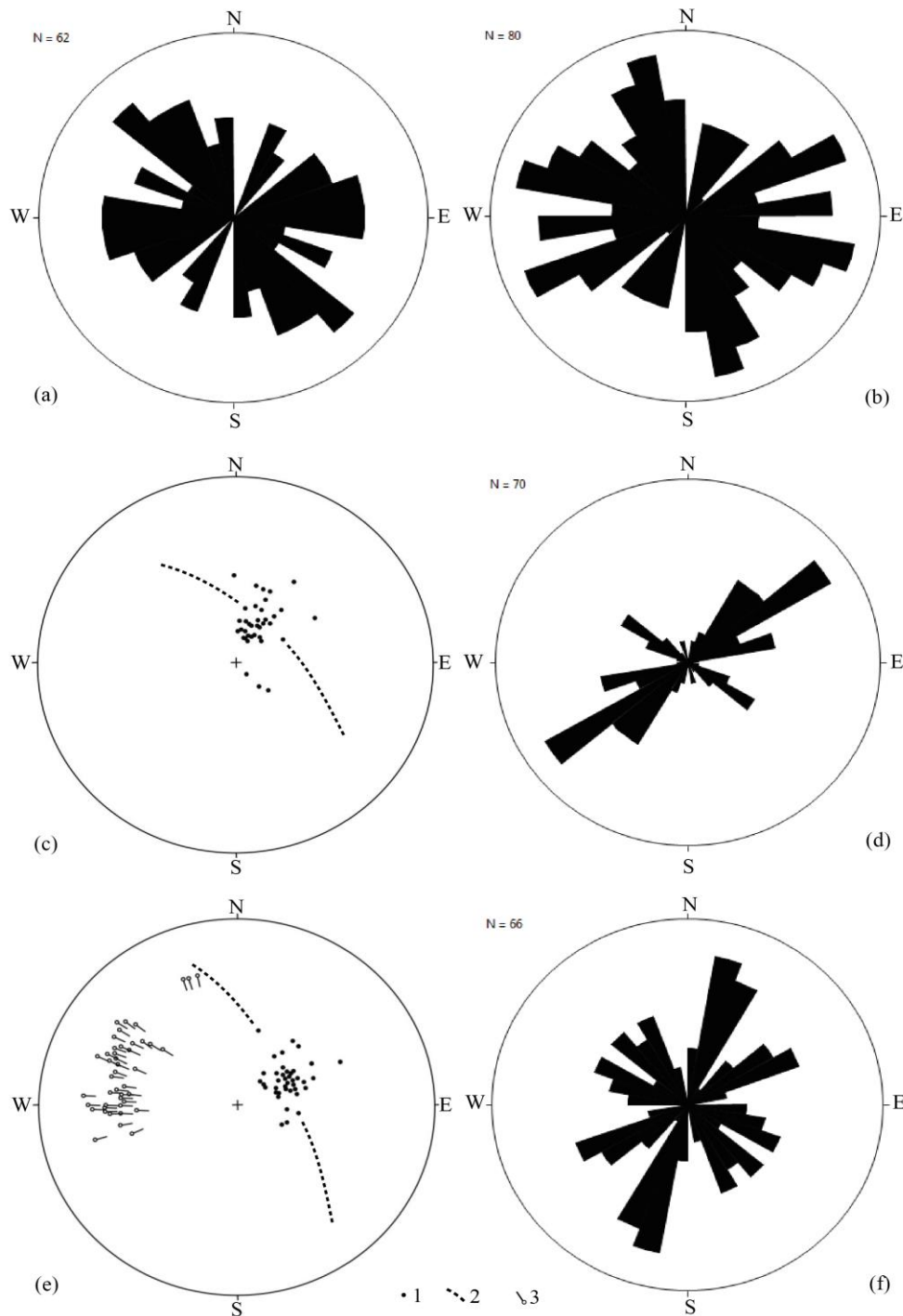
Les quartzites représentent le principal faciès de l'encaissant. Ils sont le plus souvent feldspathiques et parfois à disthène. Ils affleurent en bancs métriques à décamétriques de couleur blanchâtre et de structure foliée. Dans l'unité de Ogomé, leur foliation principale S1 est orientée N110° à N120°, avec des pendages de 15° à 45° vers le NE (**Figure 4c**). Les fractures relevées dans cette unité sont orientées NE-SW et NW-SE (**Figure 4d**). Dans l'unité de N'gbafo, la foliation principale S1 est orientée N150° à N160°, avec des pendages de 20° à 45° vers l'Est (**Figure 4e**). Les plans S1 portent des linéations minérales (muscovite) L1 plongeant de 20° à 40° vers le SE (**Figure 4e**). Les principales directions des fractures relevées sont NNE-SSW, NE-SW et NW-SE (**Figure 4f**).

### 3-1-3. Synthèse lithostructurale

En se basant sur les données de terrain résumées en deux (2) coupes géologiques et sur les données d'analyse structurale (rosaces et stéréogrammes), il ressort que le massif de Oké est composé de serpentinites encaissées dans les quartzites. Les serpentinites se présentent en blocs anguleux verdâtres de structure massive et composées essentiellement de serpentine. Les marques de déformation sont des fractures dont les orientations sont NE-SW, E-W et NW-SE. Les quartzites sont en bancs blanchâtres. Ils sont foliés et à disthène. Les empreintes de déformation sont les foliations orientées WNW-ESE (N110°-N120°) à NW-SE (N150°-N160°), les linéations minérales à plongement SE, les fractures d'orientations NE-SW, NW-SE et NNE-SSW.



**Figure 3 :** Coupes synthétiques montrant l'organisation lithostructurale du massif de Oké. (a) : Unité de Ogomé (C1); (b) Unité de N'gbafo (C2)



**Figure 4 :** *Stéréogrammes (Wulff, hémisphère supérieur) et rosaces de synthèse des éléments structuraux relevés le long des coupes C1 et C2. (a) Serpentinites de l'unité de Ogomé ; (b) Serpentinites de l'unité de N'gbafo ; (b et c) Quartzites de l'encaissant de l'unité de Ogomé ; (e et f) Quartzites de l'encaissant de l'unité de N'gbafo ; (1) : pôles des plans de foliation S1 ; (2) : traces moyennes des plans de foliation S1 ; (3) : linéations minérales L1*

### 3-2. Pétrographie

Les roches des différentes unités du massif de Oké sont essentiellement des serpentinites. Elles sont encaissées par les quartzites.

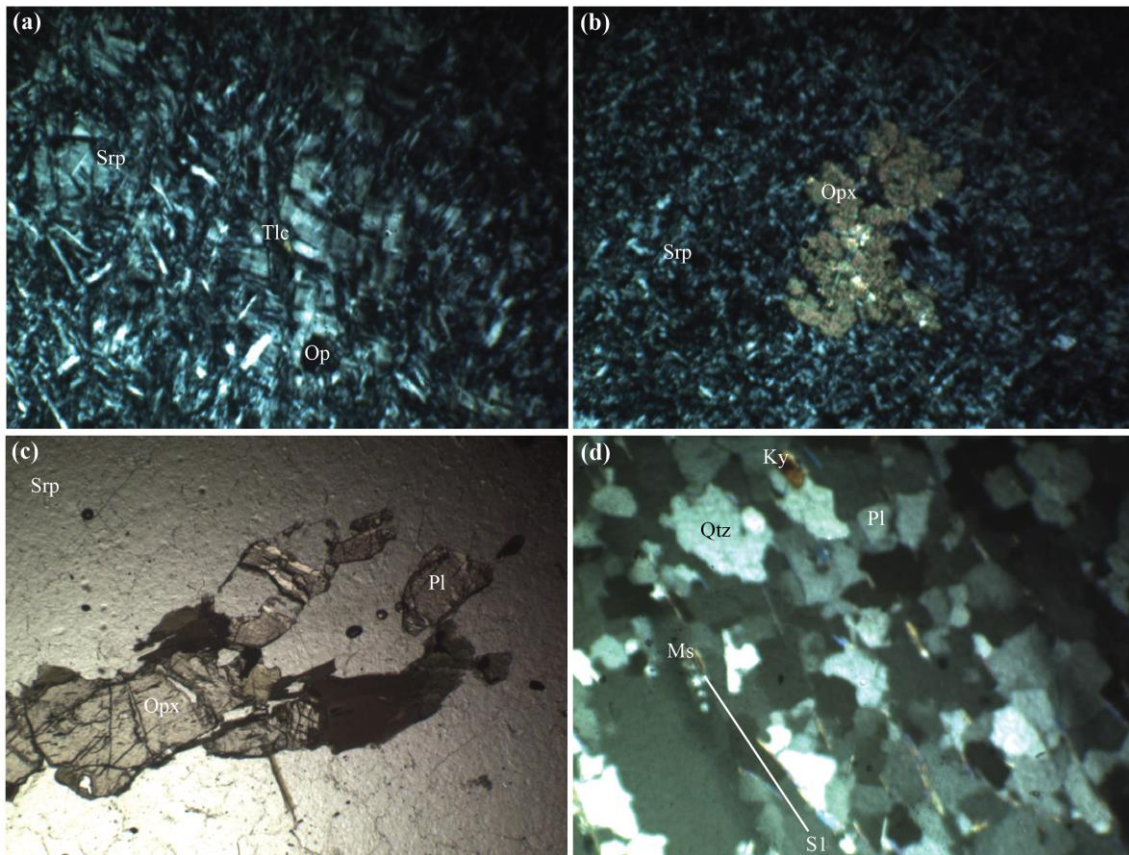
### 3-2-1. Serpentinites

Elles constituent le principal faciès des unités de Ogomé et de N'gbafo. A l'affleurement on distingue : (i) un faciès massif de couleur verdâtre se débitant en blocs anguleux (*Figures 5a et 5b*) et, (ii) un faciès bréchique, plus clair à patine vert-jaunâtre, à débit schisto-lenticulaire (*Figure 5c*). L'observation microscopique de ces serpentinites révèle qu'elles ont une texture lépidoblastique à porphyroblastique (*Figures 6a, b et c*). Leur minéralogie est à serpentine, orthopyroxène, plagioclase et talc. La serpentine se présente sous forme fibreuse. Elle s'associe au talc et aux minéraux opaques. L'orthopyroxène en relique est généralement transformé en talc. Le plagioclase est relictuel et xénomorphe. Le talc montre des lamelles peu allongées et étalées.



**Figure 5 :** Quelques aspects pétrostructuraux macroscopiques des roches du secteur d'étude. (a) Serpentinite massive de l'unité de N'gbafo ; (b) Serpentinite à talc de l'unité de N'gbafo ; (c) Serpentinite bréchique de l'unité de Ogomé ; (d) Quartzite de l'encaissant du massif de Oké ; (S1) : Foliations ; (L1) : Linéations minérales





**Figure 6 :** *Quelques aspects pétrostructuraux microscopiques des roches du secteur d'étude. (a) Serpentinite de l'unité de N'gbafo (lame en LPA); (b) Serpentinite de l'unité de Ogomé (lame en LPA); (c) Serpentinite de l'unité de Ogomé (lame en LPNA); (d) Quartzite de l'encaissant; (S1): Foliations. Srp : Serpentine ; Pl : Plagioclase ; Opx : Orthopyroxène ; Tlc : Talc ; Op : Opaques ; Ky : Disthène ; Qtz : Quartz ; Ms : Muscovite*

### 3-2-2. Quartzites

Ils constituent le principal faciès de l'encaissant des unités de Ogomé et de N'gbafo (**Figure 5d**). Ils sont blancs laiteux et affleurent en bancs métriques à décamétriques. Leur observation au microscope montre qu'ils ont une texture granoblastique (**Figure 6d**). Leur minéralogie est composée de quartz, plagioclase, muscovite et disthène. Le quartz constitue le minéral essentiel. Il est xénomorphe et présente une extinction roulante. Les plagioclases sont peu abondants, xénomorphes et forment avec le quartz la principale foliation S1 de la roche. Les muscovites se présentent sous forme de paillettes ou de petites aiguilles allongées dans le plan de la foliation. Le disthène est rare et montre des teintes jaunes légèrement brunâtres. Il est associé à la muscovite.

### 3-2-3. Synthèse pétrographique

L'étude pétrographique révèle la présence de serpentinites dans le massif de Oké. Celles-ci sont encaissées par les quartzites. Les serpentinites ont une texture lépidoblastique. Elles présentent une association minéralogique à serpentine + orthopyroxène + plagioclase + talc, caractérisant le faciès granulite. Les quartzites ont une texture granoblastique. Ils présentent une association minéralogique à quartz + plagioclase + muscovite + disthène, caractéristique du faciès schiste vert. La présence du disthène serait probablement liée aux perturbations thermiques locales dues au chevauchement des nappes [5].

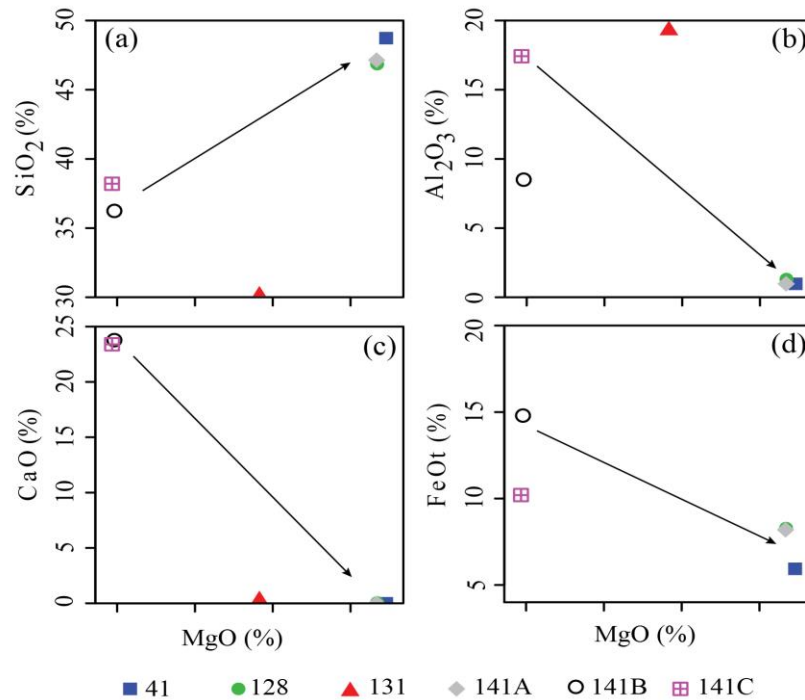
### 3-3. Géochimie

#### 3-3-1. Distribution des éléments majeurs

Des échantillons prélevés sur les serpentinites du massif de Oké présentent des teneurs en  $\text{SiO}_2$  variant entre 26,90 % et 42 % (**Tableau 1**). Ceci indique une composition ultrabasique ( $\text{SiO}_2 < 45$  %). Les roches analysées ont des teneurs élevées en  $\text{MgO}$  (8 à 39 %), en Cr (228 à 3343 ppm) et en Ni (725 à 2728 ppm). La minéralogie montre qu'elles sont composées de serpentine, orthopyroxène, plagioclase, talc et magnétite. Le diagramme des éléments majeurs en fonction de  $\text{MgO}$  [15] (**Figure 7**), montre que les éléments  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  et  $\text{FeO}$  présentent une bonne corrélation négative avec le  $\text{MgO}$ . Cette corrélation est compatible avec une évolution par le processus de cristallisation fractionnée au cours de l'évolution des magmas [16]. Cependant le  $\text{SiO}_2$  montre une corrélation positive avec le  $\text{MgO}$  suggérant que ces roches ont une même origine magmatique. Ces tendances observées montrent que ces serpentinites sont enrichies en  $\text{MgO}$  et ont de faibles teneurs en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

**Tableau 1 : Résultats des analyses géochimiques des éléments majeurs (%), éléments en traces (ppm) et terres rares (ppm) des serpentinites du massif de Oké**

Lithologie	Serpentinites					
	Ech.	41	128	131	141A	141B
Xcoord.	E1°07'42,3"	E1°01'21,0"	E1°01'10,5"	E1°08'06,7"	E1°08'06,7"	E1°08'06,7"
Ycoord.	N7°40'02,3"	N7°47'19,6"	N7°47'25,1"	N7°39'39,2"	N7°39'39,2"	N7°39'39,2"
<b>Majeurs (%)</b>						
SiO <sub>2</sub>	42,73	41,20	26,90	41,73	35,12	36,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,85	1,15	17,23	0,86	8,24	16,74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,92	7,26	17,75	7,43	14,69	10,04
MnO	0,06	0,07	0,16	0,06	0,32	0,35
MgO	39,09	38,19	25,27	38,38	9,32	8,98
CaO	<LLD	0,05	0,23	<LLD	23,04	22,48
Na <sub>2</sub> O	<LLD	<LLD	<LLD	<LLD	0,01	<LLD
K <sub>2</sub> O	<LLD	<LLD	<LLD	<LLD	<LLD	<LLD
TiO <sub>2</sub>	0,03	<LLD	1,76	0,05	5,99	0,74
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,01	0,03	0,01	0,20	0,05
LOI	11,93	12,03	10,62	11,45	2,56	3,55
<b>Total</b>	<b>99,62</b>	<b>99,96</b>	<b>99,95</b>	<b>99,97</b>	<b>99,49</b>	<b>99,64</b>
<b>Traces (ppm)</b>						
Rb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	0,62	1,27	11,37	0,59	1,95	13,66
Nb	0,83	0,87	2,84	0,79	23,24	2,81
Ta	0,02	0,00	0,62	0,02	1,53	0,16
Sr	9,23	9,18	9,90	9,05	19,91	12,74
Zr	3,40	3,40	12,51	4,30	66,40	28,70
Y	0,35	0,80	15,45	0,61	56,33	20,90
Hf	0,00	0,00	0,28	0,00	2,60	0,32
Ni	2728,67	1895,33	725,45	1858,62	1494,89	1250,18
Cr	1512,76	2355,86	269,33	3343,12	228,85	356,68
V	24,99	39,47	320,45	31,44	842,38	229,62
U	0,04	0,00	0,12	0,01	0,04	0,04
Th	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sc	6,51	6,54	46,97	4,70	61,08	33,33
Co	107,11	80,25	137,51	53,71	55,98	55,54
Cu	3,69	5,08	20,01	5,64	38,38	48,29
Zn	28,30	37,18	101,31	40,87	114,57	107,17
Mo	0,61	0,74	0,59	5,64	1,96	2,91
Cs	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,07
Li	0,00	0,00	48,72	0,00	15,71	11,93
Be	0,12	0,12	0,16	0,10	0,31	0,15
Ga	1,19	1,06	14,20	2,12	4,04	7,19
Sn	0,00	0,06	1,34	0,00	0,59	0,22
Tl	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Pb	0,35	0,14	0,26	0,10	0,00	0,01
<b>REE (ppm)</b>						
La	0,31	0,33	1,03	0,26	7,58	2,42
Ce	0,77	0,86	2,45	0,70	19,49	6,22
Pr	0,10	0,14	0,32	0,09	2,94	0,94
Nd	0,44	0,73	1,69	0,41	14,24	4,95
Sm	0,18	0,24	0,78	0,12	5,02	1,63
Eu	0,08	0,08	0,34	0,05	1,77	0,59
Gd	0,26	0,28	1,33	0,18	6,53	1,99
Tb	0,05	0,05	0,25	0,03	1,24	0,38
Dy	0,30	0,26	2,19	0,22	8,05	2,76
Ho	0,07	0,06	0,54	0,05	1,80	0,68
Er	0,18	0,18	1,66	0,14	4,31	1,82
Tm	0,03	0,03	0,28	0,02	0,60	0,28
Yb	0,17	0,18	1,69	0,13	3,54	1,67
Lu	0,02	0,03	0,25	0,02	0,55	0,26



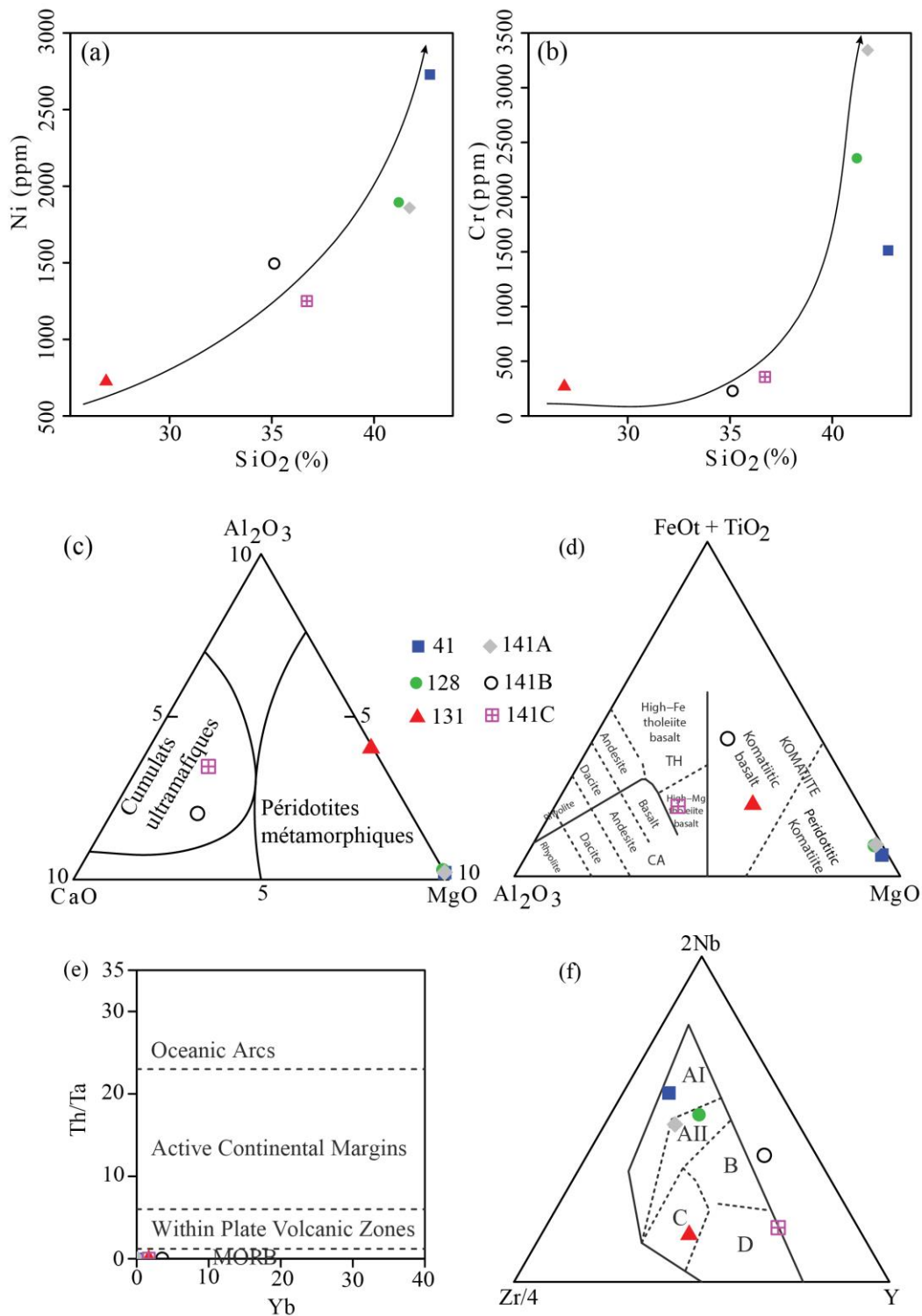
**Figure 7 :** Diagrammes de variation des oxydes (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, FeO) en fonction de MgO dans les serpentinites [15]

### 3-3-2. Distribution des éléments en traces et terres rares

Les diagrammes de variation de Ni et de Cr en fonction de SiO<sub>2</sub> [15] (**Figures 8a et b**) montrent une bonne corrélation positive entre ces deux éléments (Ni et Cr) et le SiO<sub>2</sub>. L'augmentation de Ni et Cr en fonction de SiO<sub>2</sub> suggère la cristallisation des ferromagnésiens (olivine et pyroxène) [16]. Les faibles teneurs en SiO<sub>2</sub> jointes aux teneurs généralement élevées de Ni et Cr permettent de conforter la présence de roches ultrabasiques riches en olivine ± spinelle et orthopyroxène [16 - 18]. Les spectres des terres rares sont sub-plats à l'exception de celui de l'échantillon 131 qui est appauvri en terres rares légères et enrichi en terres rares lourdes (**Figure 9a et b**). Le parallélisme entre les spectres suggère que ces roches ont été générées par la même plume mantellique qui a produit les magmas basaltiques [19, 20]. Ces spectres montrent une légère anomalie négative en Nd, Dy, Er et positive en Pr, Ho et Tm. Les spectres multiéléments (**Figure 9c**) présentent des anomalies négatives en Ba, Sr, Y et positives en Nb, Ta et Ti. L'anomalie positive en Ti traduit l'apparition de l'ilménite dans ces roches [19, 20].

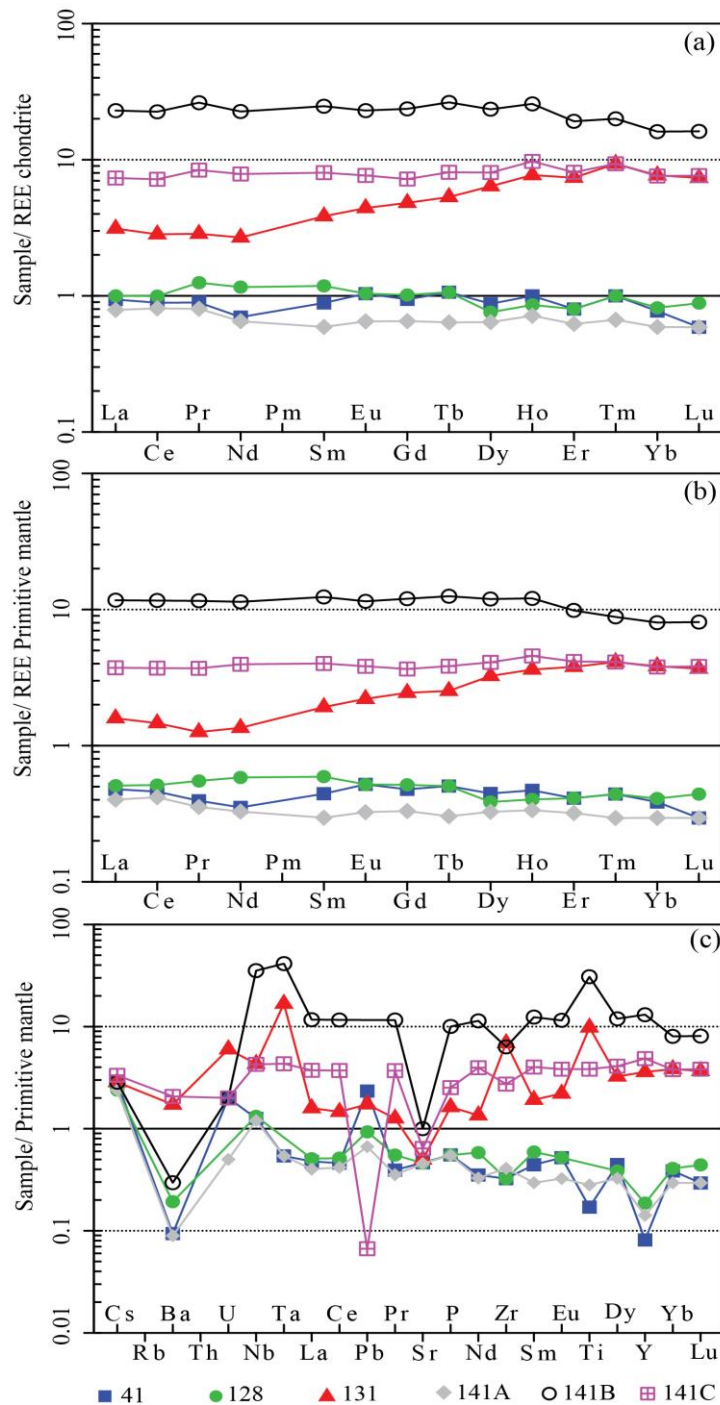
### 3-3-3. Nature des roches et contexte géodynamique

Le diagramme ternaire [21] (**Figure 8c**) permet de classer de manière précise les roches du massif de Oké d'après leur contenu en MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO. Dans ce diagramme, les roches apparaissent dans les champs des péridotites métamorphiques (éch. 41, 128, 131 et 141A) et des cumulats ultramafiques (éch. 141B et 141C). Dans le diagramme de classification de [22] (**Figure 8d**), les roches ultramafiques du massif de Oké occupent les champs des basaltes et tholéiites fortement magnésiens (éch. 141C), des basaltes komatiitiques (éch. 131 et 141B) et des komatiites péridotitiques (éch. 41, 128 et 141A). Dans le diagramme de [23] (**Figure 8e**), ces ultrabasites apparaissent dans le champ des MORB. Celui de [24] (**Figure 8f**) discrimine ces roches dans les champs des tholéiites intraplaques et basaltes d'arc volcanique (C) (éch. 131), basaltes alcalins intraplaques (AI) (éch. 41), basaltes alcalins et tholéiites intraplaques (AII) (éch. 128 et 141A) et dans le champ des N-MORB (D) (éch. 141C).



**Figure 8 :** (a et b) Diagrammes de variation du nickel et du chrome en fonction du SiO<sub>2</sub> dans les serpentinites [15] ; (c) Diagramme Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO-CaO sur les serpentinites [21] ; (d) Diagramme ternaire cationique (FeO + TiO<sub>2</sub>)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO [22] ; (e) Diagramme Th/Ta vs Yb [23] ; (f) Diagramme Zr/4-Nb-Y [24] (AI = basaltes alcalins intraplaques ; AII = basaltes alcalins et tholéiites intraplaques ; B = E-MORB ; C = tholéiites intraplaques et basaltes d'arc volcanique ; D = N-MORB).





**Figure 9 :** (a) Spectres des terres rares normalisés par rapport aux chondrites [25] ; (b) Spectres des terres rares normalisés par rapport au manteau primitif [26] ; (c) Spectres multiéléments normalisés au manteau primitif [26]

**3-3-4. Synthèse géochimique**

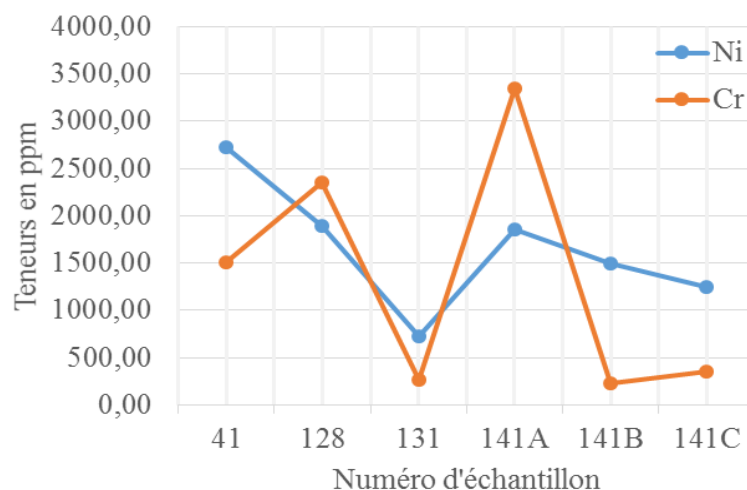
L'étude géochimique des éléments majeurs, traces et terres rares montre que les roches du massif de Oké sont des cumulats ultramafiques [21]. Les roches montrent une bonne corrélation linéaire dans les diagrammes de [15], traduisant ainsi l'intervention d'un processus de différenciation par cristallisation fractionnée dans l'évolution des magmas parents de ces roches. Les diagrammes multi-élémentaires montrent des spectres présentant des anomalies négatives en Nb et Ta suggérant l'influence du recyclage

du matériel crustal [27, 28]. L'aplatissement des spectres des terres rares évoque le caractère des laves de type MORB [18]. La combinaison des résultats des diagrammes de discrimination permet d'attribuer une origine mantellique aux roches du massif de Oké et de les rattacher au contexte orogénique d'arc continental ou océanique. Elles seraient issues d'anciennes roches basiques à ultrabasiques très riches en plagioclase [2, 11, 29].

### 3-4. Minéralisations

#### 3-4-1. Potentialités en Ni et Cr

Les résultats géochimiques sur roches totales (*Tableau 1*) et les observations de terrain, montrent la présence d'importantes anomalies pour certains métaux de base, notamment le chrome et le nickel (*Figure 10*). Les teneurs anormales en chrome peuvent aller de 228 ppm jusqu'à 3343 ppm ; celles en nickel vont de 725 ppm à 2728 ppm (*Tableau 1 et Figure 10*). Ces résultats corroborent ceux de [2] sur les serpentinites des monts Ahito au SW-Togo, et de [20] sur les serpentinites de Kanté au NE-Togo, selon qui les teneurs en Ni et Cr des serpentinites peuvent atteindre 3000 ppm. Les valeurs les plus élevées de Ni (1250 à 2728 ppm) et de Cr (1512 à 3343 ppm) sont largement au-delà de la moyenne des liquides basaltiques communs dont les teneurs oscillent entre 200 et 300 ppm pour le Ni et 400 et 500 ppm pour le Cr [30]. Ces valeurs représentent une cible importante pour l'exploration de Ni et de Cr.



**Figure 10 :** Signatures du Ni et Cr des serpentinites du massif de Oké

#### 3-4-2. Origine probable de la minéralisation en Ni-Cr

Les gisements de Ni-Cr ont plusieurs origines. Ils peuvent être : (i) issus de l'activité magmatique et/ou hydrothermale associée aux dorsales océaniques (des accumulations de chromites dans les roches mantelliques, à la base de la croûte ou dans les cumulats dunitiques à pyroxénitiques [31], et aux sulfures massifs vulcanogènes du type Chypre associés aux basaltes [32]), (ii) liés aux processus de formation et d'altération syn-obduction (formation de fibres de chrysotile lors de la serpentinitisation), ou (iii) aux processus post-obduction associés à l'altération des ophiolites (dépôts de Ni et Fe latéritiques [21]). Dans le contexte du massif de Oké, la nature des magmas (type MORB) n'est pas favorable à la formation de gisement de chromites [33 - 35]. Au cours du processus d'altération les roches ultrabasiques mantelliques, l'olivine s'est altérée plus rapidement pour libérer le Ni et le Cr. Les roches issues de l'altération étant les serpentinites, celles-ci ont donc hérité de ces minéralisations. Elles constituent donc les roches mères de ces minéralisations.

#### 4. Conclusion

Le massif de Oké est composé de deux unités lithologiques qu'on peut assimiler à deux boudins de roches basiques à ultrabasiques. Les résultats de la campagne de cartographie géologique et de l'étude pétrographique, réalisés sur ce massif montrent qu'il est composé de serpentinites encaissées par les quartzites. Ces serpentinites présentent une association minéralogique à serpentine + orthopyroxène + plagioclase + talc, caractérisant le faciès granulite. Elles ont subi une déformation cassante dans les directions NE-SW à E-W. Les données géochimiques montrent que les serpentinites du massif de Oké sont des cumulats pyroxénitiques et plagioclasiques mettant en évidence le rôle joué par le processus de cristallisation fractionnée dans l'évolution de ce massif. Elles ont une origine mantellique et sont issues d'anciennes laves basiques à ultrabasiques. Elles seraient mises en place dans un contexte d'arc continental ou océanique. Les signatures géochimiques des minéralisations montrent des teneurs anormales importantes en Ni et Cr dans les serpentinites. Les serpentinites de ce massif sont donc les roches mères de ces minéralisations. Néanmoins des études métallographiques et des inclusions fluides permettront de construire un modèle de mise en place de ces minéralisations.

#### Références

- [1] - R. P. MENOT et K. F. SEDDOH, "Le massif basique stratifié précambrien de Djabatouré-Sotouboua (région centrale du Togo, Afrique de l'Ouest). Pétrologie et évolution métamorphique". *Bulletin du B.R.G.M.*, 4 (4) (1980) 319 - 337
- [2] - Y. AGBOSSOUMONDE, "Les complexes ultrabasiques de la chaîne panafricaine au Togo (Axe Agou-Atakpamé, Sud-Togo). Etude pétrographique, minéralogique et géochimique". Thèse unique, Université Jean Monnet, Saint Etienne, France, (1998) 306 p.
- [3] - K. ATTOH, "High-Pressure Granulite Facies metamorphism in the Pan-African Dahomeyide orogen, West Africa". *Jour. of Geology*, 106 (1998) 236 - 246. <https://doi.org/10.1086/516019>
- [4] - Y. AGBOSSOUMONDE, R. P. MÉNOT and S. GUILLOT, "Metamorphic evolution of Neoproterozoic eclogites from South Togo (West Africa)". *Jour. of Afr. Earth Sc.*, 33 (2001) 227 - 244. [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(01\)80061-0](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(01)80061-0)
- [5] - M. S. TAIROU and P. AFFATON, "Structural Organization and Tectono-Metamorphic Evolution of the Pan-African Suture Zone: Case of the Kabye and Kpaza Massifs in the Dahomeyide Orogen in Northern Togo (West Africa)". *International Journal of Geosciences*, 04 (2013) 166 - 182. <https://doi.org/10.4236/ijg.2013.41015>
- [6] - K. ATTOH, R. D. DALLMEYER and P. AFFATON, "Chronology of nappe assembly in the Pan-Africa Dahomeyide Orogen, West Africa : evidence from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  mineral ages". *Precambrian research*, 82 (1997) 153 - 171. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(96\)00031-9](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(96)00031-9)
- [7] - C. E. GANADE DE ARAUJO, D. RUBATTO, J. HERMANN, U. G. CORDANI, R. CABY and M. A. S. BASEI, "Ediacaran 2,500-km-long synchronous deep continental subduction in the West Gondwana Orogen". *Nature Communications*, 5, 5198 (2014a). <https://dx.doi.org/10.1038/ncomms6198>
- [8] - P. AFFATON, "Le bassin des Volta (Afrique de l'Ouest) : une marge passive d'âge protérozoïque supérieur, tectonisée au Panafricain ( $600 \pm 50$  Ma)". Edit. ORSTOM, Collection Etudes & Thèses, Paris, (1990) 499 p.
- [9] - Y. AGBOSSOUMONDÉ, R. P. MÉNOT, J. L. PAQUETTE, S. GUILLOT, S. YÉSSOUFOU and C. PERRACHE, "Petrological and geochronological constraints on the origin of the Palimé–Amlamé granitoids (South Togo, West Africa) : A segment of the West African Craton Paleoproterozoic margin reactivated during the Pan-African collision". *Gondwana Research*, 12 (2007) 476 - 488. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2007.01.004>

- [10] - R. P. MÉNOT and K. F. SEDDOH, "The eclogites of Lato Hills (South Togo, West Africa) : relies from early tectonometamorphic evolution of the Pan-African orogeny". *Chemical Geology*, 50 (1985) 313 - 330. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(85\)90126-3](https://doi.org/10.1016/0009-2541(85)90126-3)
- [11] - K. ATTOH and J. MORGAN, "Geochemistry of high-pressure granulites from the Pan-African Dahomeyide orogen, West Africa : constraints on the origin and composition of lower crust ". *Jour. of Afr. Earth Sci.*, Vol. 39, (2004) 201 - 208. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2004.07.048>
- [12] - R. CABY and J. M. BOESSÉ, "Pan—African nappe system in southwest Nigeria : the Ife— Ilesha schist belt". *Jour. of Afr. Earth Sci.*, Vol. 33, N°2 (2001) 211 - 225. [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(01\)80060-9](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(01)80060-9)
- [13] - G. ALAYI, "Les granitoïdes tardifs de la chaîne panafricaine des Dahomeyides au Togo : étude pétro-structurale, géochimique et géochronologique". Thèse unique, Université de Lomé, Togo, (2018) 256 p.
- [14] - J. P. SYLVAIN, J. COLLART, A. AREGBA et S. GODONOU, "Notice explicative de la carte géologique 1/500.000è du Togo". Mém. N°6, D.G.M.G./B.N.R.M., Lomé-Togo, (1986). <https://scholar.google.com/scholar?q=+author:J.P.%20Sylvain>
- [15] - A. HARKER, "The natural history of igneous Rocks". Methuen and Co., London, (1909) 384 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511920424>
- [16] - H. HAMLAOUI, R. LAOUAR, S. BOUHLE et A. J. BOYCE, "Caractéristiques pétrologiques et géochimiques des roches magmatiques d'El Aouana, NE algérien". *Estudios Geológicos enero-junio*, 76 (1) (2020). <https://doi.org/10.3989/egol.43391.510>
- [17] - W. D. MAIER, R. H. SMITHIES, C. V. SPAGGIARI, S. J. BARNES, C. L. KIRKLAND, S. YANG, Y. LAHAYE, O. KIDDIE and C. MACRAE, "Petrogenesis and Ni-Cu sulphide potential of mafic-ultramafic rocks in the Mesoproterozoic Fraser Zone within the Albany-Fraser Orogen, Western Australia". *Precambrian Research*, 281 (2016) 27 - 46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2016.05.004>
- [18] - P. M. NUDE, J. W. SHERVAIS, K. ATTOH and G. FOLI, "Petrological and geochemical characteristics of mafic granulites associated with alkaline rocks in the Pan-African Dahomeyide suture zone, southeastern Ghana". In Ali Ismail Al-Juboury (ed.), *Petrology-New Perspectives and Applications*. ISBN978-953-307-424-5, (2012) 21 - 38. <https://doi.org/10.5772/24563>
- [19] - S. GUILLOT, Y. AGBOSSOUMONDE, J. BASCOU, J. BERGER, G. DUCLAUX, R. P. MÉNOT and S. SCHWARTZ, "Transition from subduction to collision recorded in the Pan-African arc Complexes (Mali to Ghana)". *Precamb. Res.*, 320 (2019) 261 - 280. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2018.11.007>
- [20] - Y. AGBOSSOUMONDE, M. S. TAIROU, S. GUILLOT et V. BATANOVA, "Signification géodynamique des spinelles chromifères des serpentinites de Kanté au Nord-Togo, Afrique de l'Ouest". *Journal de la Recherche Scientifique, Université de Lomé*, 20 (1) (2018) 1 - 11. <https://www.ajol.info/index.php/jrsul/article/view/179206>
- [21] - R. G. COLEMAN, "Ophiolites : ancient oceanic lithosphere?" Springer-Verlag, Berlin, (1977) 229 p. <https://doi.org/10.1180/minmag.1978.042.322.42>
- [22] - L. S. JENSEN, "A New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks". Ontario Division of Mines, Miscellaneous Paper, 66 (1976) 22 p.
- [23] - E. S. SCHANDL and M. P. GORTON, "Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments". *Economic Geology*, 97, 3 (2002) 629 - 642. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.97.3.629>
- [24] - M. MESCHÉDE, "A method of discrimination between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with Nb-Zr-Y diagram". *Chemical Geology*, 56 (1986) 207 - 218. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(86\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0009-2541(86)90004-5)
- [25] - N. NAKAMURA, "Determination of REE, Fe, Mg, Na and K in Carbonaceous and ordinary Chondrites". *Geochemica and Cosmochimica Acta*, 38 (1974) 757 - 775. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(74\)90149-5](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(74)90149-5)



- [26] - W. F. McDONOUGH and S. S. SUN, "The composition of the Earth". *Chemical Geology*, 120 (1995) 223 - 253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
- [27] - F. AIDOO, F. Y. SUN, T. LIANG and P. M. NUDE, "New insight into the Dahomeyide Belt of southeastern Ghana, West Africa: Evidence of arc-continental collision and Neoproterozoic crustal reworking". *Precambrian Research*, Vol. 347, (2020) 105836. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105836>
- [28] - Y. AGBOSSOUMONDE, R. P. MENOT and C. E. GANADE DE ARAUJO, "Major, Trace Elements and Sr-Nd Isotopic Characteristics of High-Pressure and Associated Metabasites from the Pan-African Suture Zone of Southern Togo, West Africa". *Journal of Environment and Earth Science*, Vol. 7, N°2 (2017). <https://iiste.org/Journals/index.php/JEES/article/view/35429>
- [29] - R. E. TURNBULL, A. H. ALLIBONE, F. MATHEYS, C. M. FANNING, E. KASEREKA, J. KABETE, N. J. MCNAUGHTON, E. MWANDALE and J. HOLLIDAY, "Geology and geochronology of the Archean plutonic rocks in the northeast Democratic Republic of Congo". *Precambrian Research*, 358 (2021) 106133. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106133>
- [30] - H. BOUGAULT, J. L. JORON and M. TREUIL, "The primordial chondritic nature and large-scale heterogeneities in the mantle : evidence from high and low partition coefficient elements in oceanic basalts". *Phi Trans. R. Soc. Lond., A* 297 (1980) 63 - 114. <https://www.jstor.org/stable/36702>
- [31] - P. PAGE, "Pétrogenèse de l'Ophiolite de Thetford Mines, Québec, Canada, avec un accent particulier sur les roches du manteau et les chromitites". Ph.D. Thesis, INRS-ETE, Québec, (2006) 282 p.
- [32] - R. H. SILLITOE, "The tops and bottoms of porphyry copper deposits". *Economic Geology*, Vol. 68, (1973) 799 - 815. <https://doi.org/10.2113/GSECONGEO.68.6.799>
- [33] - S. J. BARNES, "Chromite in Komatites, II. Modification during greenschist to mid-amphibolite facies metamorphism". *Journal of Petrology*, 41 (2000) 387 - 409. <https://doi.org/10.1093/petrology/41.3.387>
- [34] - A. HAMOUD, S. CHAKIRI, H. EL HADI, B. BAGHDAD et K. ZAHIDI, "Etude géochimique de la minéralisation polymétallique de la zone d'Amsaga (dorsale de Rgueibat, Mauritanie)". *European Scientific Journal*, Vol. 10, N° 21 (2014). <https://www.researchgate.net/publication/264382239>
- [35] - M. BHILISSE, A. WAFIK, H. ADMOU, L. MAACHA et M. CONSTANTIN, "L'impact de la Serpentinisation sur les Gisements de Nickel, de Chromite et de Cobalt du district Minier De Bou Azzer, (Anti-Atlas Central)". *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 6, N° 2 (2014) 110 - 132. <http://www.issr-journals.org/links/papers.php?journal=ijias&application=pdf&article=IJIAS-14-117-01>