

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix-Travail-Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

***** FACULTE DES

SCIENCES

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES, TECHNOLOGIE ET
GEOSCIENCES



REPUBLIC OF CAMEROON

Paece-Work-Fatherland

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCE

POSTGRADUATE SCHOOL OF
SCIENCES, TECHNOLOGY AND
GEOSCIENCES

**CENTRE DE RECHERCHE ET DE FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES,
TECHNOLOGIES ET GEOSCIENCES**

UNITE DE RECHERCHE DE FORMATION DOCTORALE EN GEOSCIENCES ET APPLICATIONS

DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

DEPARTMENT OF EARTH SCIENCES

Laboratoire de Géosciences des formations superficielles

Geosciences for Surface Formations Laboratory

**PETROLOGIE DES PERIDOTITES DE TELLO (PLATEAU DE
L'ADAMAOUA) : PROSPECTION GEOCHIMIQUE DU PLATINE ET
DU PALLADIUM**

*Mémoire présenté en vue de l'obtention
du*

DIPLOME DE MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
Spécialité : Géosciences des Formations Superficielles

Option : Géologie Minière

Par

GUISWE ABAITOUIN

Matricule : 1802944

Licencié ès-sciences

Sous la direction de

Pr Elisé SABABA

Maître de Conférences



Année académique 2023/2024

TABLE DE MATIERES

TABLE DE MATIERES	i
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
RESUME	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCTION GENERALE	1
<u>CHAPITRE I: MILIEU NATUREL ET CADRE GEOLOGIQUE</u>	4
I.1. Milieu naturel	5
I.1.1. Localisation géographique	5
I.1.2. Climat.....	6
I.1.3. Végétation	7
I.1.4. Orographie	7
I.1.5. Hydrographie	8
I.2. Cadre géologique	10
I.2.1. Aperçue générale	10
I.2.2. Lithologie du secteur d'étude	11
I.2.3. Sols.....	11
I.2.3.1. Sols ferralitiques	11
I.2.3.2. Sols ferrugineux tropicaux	12
I.3.1.3. Sols hydromorphes.....	12
CHAPITRE II : TRAVAUX ANTERIEURS ET METHODOLOGIE.....	13
II.1. Travaux antérieurs.....	14
II.1.1. Synthèse géologique sur le plateau de l'Adamaoua	14
II.1.1.1. Formations du socle	14
II.1.1.2. Formations volcaniques	14
II.1.2. Caractéristiques des roches mafiques et ultramafiques	15
II.1.2.1. Définition et typologie	15
II.1.2.2. Mode de mis en place des roches mafiques et ultramafiques.	16

II.1.3. Roches mafiques et ultramafiques du Cameroun	16
II.1.4. Minéralisations liées aux roches basiques et ultrabasiques	17
II.1.5. Eléments du groupe du platine et l'or	18
II.1.5.1. Eléments du groupe du platine	18
II.1.5.1.1. Définition et propriétés	18
II.1.5.1.2. Processus liés à la formation des gisements des éléments du groupe du platine ...	18
II.1.5.1.3. Recherche des éléments du groupe du platine au Cameroun	19
II.1.5.1.4. Utilisation des éléments du groupe du platine	21
II.1.5.2. Or	22
II.1.5.2.1. Généralités	22
II.1.5.2.2. Processus liés à la formation des gisements aurifères	22
II.1.5.2.3. Utilisation, distribution et réserves d'or	23
II.1.5.2.4. Or au Cameroun	25
II.2. Méthodologie	25
II.2.1. Travaux sur le terrain	26
II.2.2. Méthodes d'étude au laboratoire	26
II.2.2.1. Analyses pétrographiques	26
II.2.2.2. Analyses géochimiques	27
II.2.2.2.1. Eléments majeurs	27
II.2.2.2.2. Eléments traces	27
II.2.2.2.3. Au-EGP	28
CHAPITRE III : RESULTATS	30
III.1. Pétrographie	31
III.1.1. Etude pétrographique de l'encaissant	31
III.1.1.1. Etude macroscopique du basalte hôte	31
III.1.1.2. Etude microscopique du basalte hôte	32
III.1.2. Etude pétrographique de péridotites	32
III.1.2.1. Etude macroscopique de péridotites	32
III.1.2.2. Étude microscopique des péridotites	33
III.2. Géochimie des péridotites	35
III.2.1. Eléments majeurs	35
III.2.2. Distribution des éléments traces	36
III.2.3. Distribution des terres rares	39
III.2.4. Distribution de l'or et des éléments du groupe du platine	40

CHAPITRE IV : INTERPRETATION-DISCUSSION	43
VI.1. Synthèse des résultats	44
VI.1.1. Pétrographie	44
VI.1.2. Géochimie	44
VI.1.2.1. Éléments majeurs	44
VI.1.2.2. Éléments traces	44
VI.1.2.3. Terres rares	45
VI.1.2.4. Or et éléments du groupe de platine	45
IV.2. Interprétation-discussion.....	45
IV.2.1. Classification des péridotites de Tello	45
IV.2.2. Fusion partielle du manteau source	47
IV.2.3. Comportements des Au-PGE dans les péridotites de Tello	48
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	50
I.CONCLUSION GENERALE	51
II.PERSPECTIVES	52
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	53

*A DIEU TOUT PUISSANT ET
MA GRANDE SŒUR AWAILA
JULIENNE*

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail n'aurait pas vu le jour sans l'aide de Dieu et la contribution de plusieurs personnes qui ont bien voulu donner de leur temps et de leur énergie au-delà du cadre qui leur été prescrit.

Je tiens à remercier le Pr Elisé SABABA, mon directeur de mémoire qui a suivi ce travail depuis le début jusqu' à la fin. Sa rigueur scientifique, son ardeur au travail, sa discipline, ses nombreuses critiques et suggestions constructives ont fortement influencées ce mémoire qui constitue le résultat de mes premiers travaux de recherche. Qu'il trouve ici l'expression de ma respectueuse considération et ma profonde admiration.

Je saisi ici l'opportunité pour manifester ma gratitude à l'endroit de l'ensemble du corps professoral du Département de Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Yaoundé 1, qui, dans mon cycle universitaire, m'ont initié à la géologie des formations superficielles. Il s'agit des professeurs : NDJIGUI Paul-Désiré, NGOS III Simon, EKOMANE Emile, NGUEUTCHOUA Gabriel, ONANA Vincent Laurent, NDAM Jules Remy, NTSAMA Jacqueline, TEMGA Jean Pierre, METANG Victor, NGO BIDJECK Louise Marie et MBIDA YEM.

Je suis très reconnaissant à l'égard de mon cher aîné académique DJOKGOUE YONGA Franck Kevin qui m'a aidé à travers sa documentation durant la rédaction de ce mémoire. Merci pour votre disponibilité, votre amour, votre accueil chaleureux chaque fois que je vienne chez vous pour diverses raisons. Vous êtes pour moi un aîné académique trop sympa. Je n'ai rien à vous donner, que le tout puissant vous réponde à la hauteur de votre amour.

Je remercie à tous mes aînés académiques du laboratoire de géologie des formations superficielles et Applications pour leurs disponibilités, encouragements et orientation. WELBA Moïse, Merci infiniment pour vos biens faits.

À mes camarades de promotion particulièrement à mon cher HAMIDOU Issa, KOWE PINKREO Bienvenu, KAMBALE Jean et NGO-TONDJE Nicole avec qui J'ai passé de bons moments de lecture, d'entraînement et de composition des différents examens.

Je donne une mention particulière à ma chère sœur AWAILA Julienne pour son soutien financier, moral et encouragement durant mon parcours universitaire. Sans toi, je ne pourrai faire un pas à l'Université, seul le tout puissant te récompensera. Je remercie également mes frères TAIGA Augustin, EGRE Emmanuel, TCHOINBE Jérémie et à mon beau-frère KAMO Tirobel ; mes cadets, nièces et neveux trouvez ici l'expression de mon amour je vous aime tous.

LISTE DES ABREVIATIONS

BRGM :	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
Cpx:	Clinopyroxène
EGP :	Eléments du Groupe du Platine
EGPI :	Eléments du Groupe du Platine et de l'Iridium
EGPP :	Eléments du Groupe du Platine et du Palladium
HREE:	Heavy Rare Earth Elements (terres rares lourdes)
ICP-MS:	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
IRGM :	Institut de Recherche Géologique et Minière
L.d:	Limite de détection
LOI :	Loss On Ignition (perte au feu)
LREE:	Light Rare Earth Elements (terres rares légères)
Ol:	Olivine
Op :	Minéraux opaques
Opx :	Orthopyroxène
Pl :	Plagioclase
RGPH :	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
Ser :	Serpentine
Sp :	Spinelle
SRTM :	Shuttle Radar Topography Mission

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation	5
Figure 2 : Diagramme climatique de Tello.....	6
Figure 3 : Végétation de la zone d'étude	7
Figure 4 : Carte géomorphologique du secteur d'étude	8
Figure 5 : Carte hydrologique du secteur d'étude	9
Figure 6 : Chutes de Tello	10
Figure 7 : Carte géologique du secteur.....	12
Figure 8: Vue d'ensemble des blocs de basalte.....	31
Figure 9 : Observation pétrographique des échantillons de Tello.....	34
Figure 10: Corrélations entre SiO ₂ et certains éléments majeurs dans les péridotites.	36
Figure 11: Corrélations entre certains éléments traces dans les péridotites de Tell	38
Figure 12 : Spectres des terres rares dans les péridotites de Tello normalisés par rapport au manteau primitif	40
Figure 13: Spectres des Au-EGP normalisés par rapport au manteau primitif dans les péridotites de Tello.....	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Données pluviométriques et thermiques de Tello pour une période de 1992-2022	6
Tableau 2 : Quelques teneurs moyennes en Au-EGP (en ppb) dans les formations basiques et ultrabasiques au Cameroun.....	21
Tableau 3 : Principale utilisation des EGP	22
Tableau 4 : Secteurs d'utilisation de l'or.....	24
Tableau 5 : Quelques pays producteurs d'or dans le monde en Mars 2023	25
Tableau 6 : Distribution des éléments majeurs (%) dans les péridotites de Tello.....	35
Tableau 7 : Distribution des éléments traces (ppm) dans les péridotites de Tello.	37
Tableau 8 : Distribution des terres rares (ppm) dans les péridotites de Tello.	39
Tableau 9 : Distribution des Au-EGP (ppb) dans les péridotites de Tello.	41

RESUME

Tello est une localité située dans la région de l'Adamaoua à une cinquantaine de Km de Ngaoundéré, où se trouvent les grottes de péridotites. Ces péridotites ont été étudiées dans le cadre de la prospection géochimique du platine et du palladium. Les péridotites de Tello sont verdâtres, denses, à structure vacuolaire et texture protogranulaire, constituées d'olivine, orthopyroxène, clinopyroxène et spinelle. Elles sont caractéristiques des roches ultrabasiques avec des teneurs modérées et peu variables en SiO_2 , MgO et des teneurs faibles en Fe_2O_3 et Al_2O_3 . La somme des alcalins et alcalino-terreux ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}$) varie faiblement autour de 45%. Elles contiennent également des teneurs très élevées en Cr, Ni et Co. Les teneurs en Sr, Ba, Zr, Cu sont modérées. En ce qui concerne les terres rares, la somme des teneurs varie entre 4 et 10 ppm avec les teneurs les plus élevées en Ce et Nd. Les autres terres rares ont des teneurs très faibles inférieures à 1 ppm. La somme des teneurs en LREE est plus élevée que celle des HREE. Les rapports LREE /HREE varient entre 6 et 15. Les valeurs Ce/Ce* et Eu/Eu* sont sensiblement égales à 1 et caractérisent une absence d'anomalie en Ce et Eu et les rapports $(\text{La}/\text{Yb})_N$ oscillent entre 6 et 23. La normalisation des terres rares par rapport au manteau primitif montre que les terres rares ont un comportement similaire dans les péridotites de Tello. Les éléments du groupe du platine ayant des teneurs les plus élevées sont Ru (4-6ppm) ; Pt (>3 ppm). L'incompatibilité entre l'Or et EGP serait due au fait qu'ils ne se concentreraient pas dans les mêmes phases minérales. L'étude de la mobilité des éléments montre que le rhodium, le palladium et l'osmium sont les éléments les plus mobiles par rapport au platine dans les péridotites de Tello.

Ainsi, la prospection géochimique de l'or et des éléments du groupe du platine montre que les teneurs sont très peu intéressantes dans les péridotites de Tello.

Mots clés : Péridotite, Protogranulaire, Géochimie, Au-EGP, Plateau de Adamaoua.

ABSTRACT

Tello is a locality in the Adamaoua region, some 50 km from Ngaoundéré, the regional capital, where peridotite caves outcrop. These peridotites were studied as part of geochemical prospecting (platinum and palladium). The Tello peridotites are greenish, dense, with a vacuolar structure and protogranular texture, composed of olivine orthopyroxene, clinopyroxene and spinel. They are characteristic of ultrabasic rocks, with moderate and slightly variable SiO₂ and MgO contents, low Fe₂O₃, Al₂O₃. The sum of alkalis and alkaline earths (Na₂O+K₂O+CaO+MgO) varies slightly between 45%. They also contain very high levels of Cr, Ni, and Co. The elements Sr, Ba, Zr and Cu are moderate. Levels of Nb (1.12- 2.5 ppm) and Ga (1.19-2.36 ppm) are very low. Other trace elements are very low, below 2 ppm. As for rare earths, the sum of their contents varies between 4 and 10 ppm, with high levels of Ce and Nd. The other rare earths have very low contents of less than 1 ppm. The sum of LREE contents is higher than that of HREE (0.38-0.83), with LREE /HREE ratios ranging from 6 and 15 ppm, hence an enrichment in LREE compared to HREE. Ce/Ce* and Eu/Eu* values are roughly equal to 1 ppm, and (La/Yb)_N ratios range from 6 and 23 ppm. Normalization of the rare earths with respect to the primitive mantle shows that in all samples, the rare earths have a similar behavior in Tello peridotites. Platinum Group elements with high contents in the samples are Ru (4-6 ppm); Pt (>3 ppm). This incompatibility between gold and PGE would be due to the fact that they would not concentrate in the same mineral phases. The Rhodium, palladium and osmium are very mobile in the Tello peridotites.

Thus, geochemical prospecting for gold and platinum-group elements shows that grades are of little interest in the Tello peridotites.

Key words: Peridotite, Protogranular, Geochemistry, Au-EGP, Adamaoua Plateau.



INTRODUCTION GENERALE

Afin de comprendre la pétrologie des matériaux internes, les géologues étudient les fragments du manteau remontés à la surface de la terre par des magmas basaltiques. Ces fragments de roches remontés par des volcans aussi bien des domaines océaniques que continentaux du globe, sont à présent les seules alternatives pour la connaissance pétrologique des zones profondes de la terre (Nzakou, 2018).

Au Cameroun, de nombreux gisements d'enclaves ultrabasiques ont été découverts à plusieurs endroits (Temdjim et al., 2004 ; Teitchou et al., 2007 ; Ngounouno et al., 2008 ; Temdjim, 2012 ; Pinter et al., 2015 ; Nkouandou et al., 2015 ; Njombie et al., 2018). Les enclaves de péridotites ont été identifiées dans plusieurs localités du plateau de l'Adamaoua (Nguihdama, 2016 ; Nkouandou et al., 2015). Les travaux menés dans certaines de ces localités sont axés sur la nature et la composition du manteau lithosphérique (Nguihdama, 2016 ; Nkouandou et al., 2015). Ces enclaves ultrabasiques sont susceptibles de concentrer de manière significative des métaux nobles tels que les éléments du groupe du platine (EGP : Pt, Pd, Ir, Os, Ru et Rh), le nickel, le cobalt et le chrome (Ebah Abeng et al., 2012 ; Bilong et al., 2011). Aussi, Nguihdama (2016) a signalé la présence des enclaves de péridotites dans la localité de Tello.

Les occurrences Au-EGP des roches basiques et ultrabasiques ont déjà fait l'objet de plusieurs travaux au Cameroun : au Sud-Est à Lomié où les roches originelles étaient des péridotites qui, par altération hydrothermale, ont donné naissance aux serpentinites (Yongué-Fouateu, 1995 ; Semé Mouangué, 1998 ; Ndjigui et Bilong, 2010) ; à Nyabitandé sur les amphibolites (Aye et al., 2010) ; à Lolodorf sur les pyroxénites à grenat et amphibolites (Ebah Abeng et al., 2012) ; à Pouth-Kellé sur les amphibolites et talcschistes (Minyemeck, 2006 ; Ndjigui et al., 2009) ; à Akom II sur les amphibolites (Aye et al., 2017) ; à Nyos et Kumba sur les péridotites (Sababa et al., 2015 ; Bilong et al., 2011). Toutes ces études ont montré que les teneurs en Au-EGP sont faibles, de l'ordre du ppb.

Ainsi, c'est dans le but de contribuer à une meilleure connaissance de la géochimie des péridotites et la recherche des indices des éléments du groupe du platine (platine et palladium) dans les péridotites sous le plateau de l'Adamaoua en général et dans la localité de Tello en particulier, que le présent travail a été défini. Il vise à apporter des données nouvelles à la connaissance du manteau supérieur sous le plateau de l'Adamaoua. De manière spécifique, il s'agit de :

- faire une étude pétrographique des péridotites de Tello ;
- présenter les caractéristiques géochimiques de ces péridotites ;
- évaluer les teneurs en platine et palladium dans les péridotites de la localité de Tello.

Pour une meilleure présentation des travaux effectués, le mémoire sera structuré en quatre (04) chapitres outre l'introduction générale et la conclusion générale.

Le chapitre I présente le milieu naturel de la région de l'Adamaoua en général et plus précisément de la localité de Tello.

Le chapitre II présente les travaux antérieurs dans le plateau de l'Adamaoua et la méthodologie utilisée dans ce travail.

Le chapitre III s'intéresse aux différents résultats obtenus.

Le chapitre IV est réservé à la discussion et l'interprétation des principaux résultats.

Enfin, le mémoire se termine par une conclusion générale qui restitue tous les points importants du travail et les perspectives pour les recherches ultérieures.

CHAPITRE I :

MILIEU NATUREL ET CADRE GEOLOGIQUE

Ce chapitre a pour objectif de localiser géographiquement le secteur d'étude, présenter les facteurs environnementaux et en suite la géologie de la zone d'étude.

I.1. Milieu naturel

I.1.1. Localisation géographique

La Région de l'Adamaoua est située au centre du Cameroun (Figure 1), entre les latitudes 6° et 10° Nord et les longitudes 12° et 16° Est avec une altitude moyenne de 1100 m. Cette région s'étend d'Ouest à Est sur environ 410 km, entre le Nigéria et la République Centrafricaine et couvre une superficie d'environ 135 000 km² (Figure 1b). Le site de Tello est délimité par les parallèles 7°8'00'' et 7°23'30'' Nord et par les méridiens 13°36'00'' et 13°52'30'' Est (Figure 1c). Il culmine à une altitude de 1125 m, sur la dorsale orographique de l'Adamaoua d'orientation N070°E au niveau de la jonction avec la ligne volcanique du Cameroun de direction N030°E (Ngounou Ngatcha et al., 2006). Cet édifice a exhumé des enclaves mantelliques dont l'étude pétrographique et géochimique est l'objet de ce mémoire.

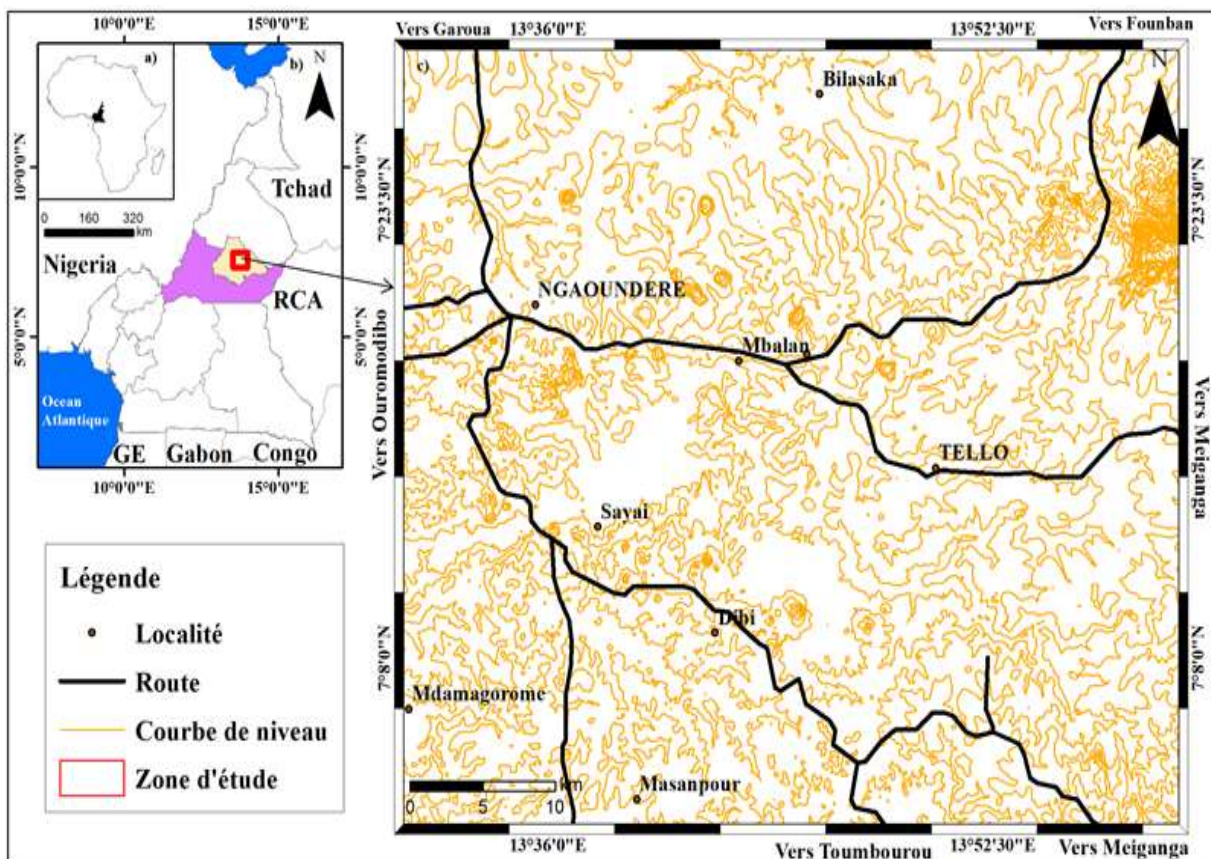


Figure 1 : Carte de localisation : a) Carte du Cameroun ; b) Localisation de la région de l'Adamaoua sur la carte administrative du Cameroun ; c) Carte du secteur d'étude (extrait du fond topographique 1/200 000 de Ngaoundéré).

I.1.2. Climat

Les facteurs climatiques que sont les températures, les précipitations et les masses d'air sont en grande partie de l'originalité du climat camerounais (Seghomnou, 2004). Le tableau 1 et la figure 1 ci-dessous présentent respectivement les données climatiques et les diagrammes ombrothermiques de la localité. D'après ces données, la température varie de 4,84°C sur l'année entre le mois de Mars qui est le mois le plus chaud (24,44°C) et Janvier qui est le mois le plus froid (19,6°C). La température moyenne annuelle est de 21,47°C et la différence de précipitation entre le mois le plus sec de Janvier et le mois le plus humide d'août est de 271,20 mm. La précipitation totale annuelle est de 1476,3 mm (Tableau 1)

La région de l'Adamaoua est caractérisée par un climat tropical soudanien scindé en deux saisons (Figure 2) :

- 5 mois de saison sèche allant d'octobre à mars ;
- 7 mois de saison de pluie allant d'avril à octobre.

Tableau 1 : Données pluviométriques et thermiques de Tello pour une période de 1992-2022 (Source : CLIMAT-DATA.ORG).

Mois	Janv	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc	Pm	Tm
P (mm)	0	3,31	17,3	136,08	214,12	216,11	237,95	271,2	234,98	135,35	8,4	1,5	1476,3	/
T °C	19,6	22,4	24,44	23,54	22,19	21,32	20,73	20,73	20,88	21,17	20,94	19,73	/	21,47

Pm : précipitations moyennes annuelles. **Tm** : température moyennes mensuelles.

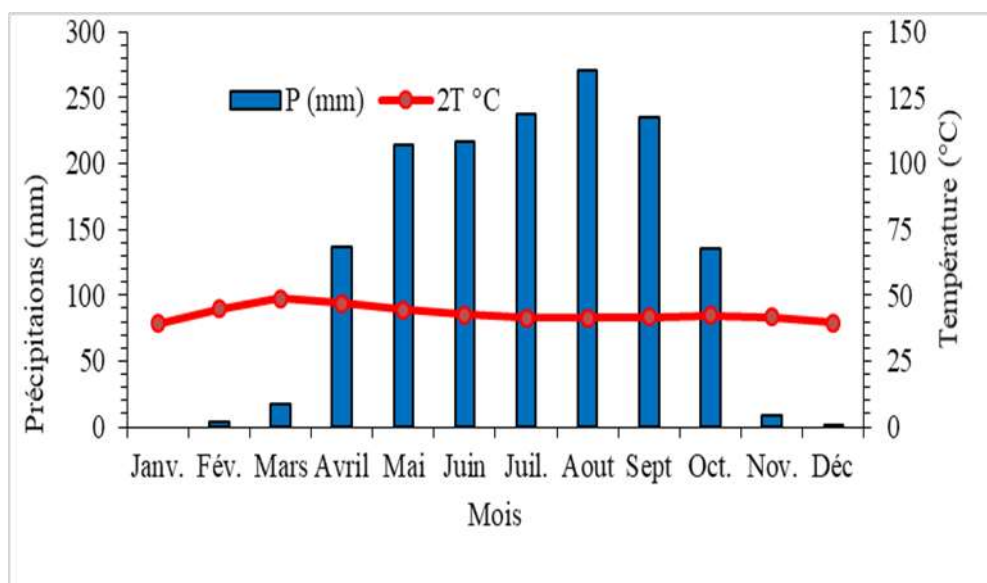


Figure 2 : Diagramme climatique de Tello.

I.1.3. Végétation

La localité de Tello a une végétation de type soudano-guinéen constituée essentiellement d'arbustes et des graminées diverses. Elle est riche en matière de paysage rural, comportant plusieurs formations végétales dont on peut classer en trois grands ensembles (Letousey ,1985) : les graminées qui sont propices à l'élevage, la savane arbustive au Nord Est et des galeries forestières des vallées des cours d'eau exploitées pour le bois de chauffe ou d'œuvre.

On peut trouver dans la localité de Tello des espèces suivantes : *cyprès*, *Eucalyptus*, *Parkia piglobosa*(*nééré*) ; *Combretum spp* ; *Annona senegalensis* (*Assorah*), *Borassus aethiopicum* (*doubbi*), *Piliostigma recticlatum* (*barkedje*), *Anagallis leiocarpus*, etc. Celles-ci sont utilisées pour les toits de chaume, des hais et tout objet usuel. Cet ensemble est constitué de la savane boisée. Les espèces naturelles présentes constituent la savane arbustive (Figure 3).



Figure 3 : Végétation de la zone d'étude

I.1.4. Orographie

Segalen (1967) a présenté une esquisse géomorphologique du Cameroun qui permet de distinguer quatre grandes unités caractéristiques : les régions de basses altitudes, les reliefs intermédiaires, la surface d'aplanissement dans laquelle appartient la localité de Tello et les montagnes.

La géomorphologie de la localité de Tello et ses environs a épousé celle de la région de l'Adamaoua dans son ensemble. Elle est notamment faite des montagnes.

L'analyse géomorphologique de la localité de Tello fait ressortir quatre grands ensembles géomorphologiques (Figure 4).

- les basses terres dont les altitudes varient entre 900m et 1000m qui, sur la carte, représentent à peu près 15% et sont situées en grande partie du côté Ouest de la zone d'étude. Elles comprennent des localités comme Sayai et Bilasaka ;

- les zones dont l'altitudes varie entre 1090 et 1280m rencontrés dans les localités de Mdamagorome, Mazanpour et Tello, occupent en grande partie la carte et peuvent représenter à peu près 70%.

- les massifs qui représentent presque 5% et se trouvent tous du côté de l'Est. Leurs altitudes varient entre 1280 et 1470m et ne sont pas habités ;

- les hautes terres ou sommets de colline dont les altitudes varient entre 1470 et 1850 m représentent moins de 5% (Figure 4).

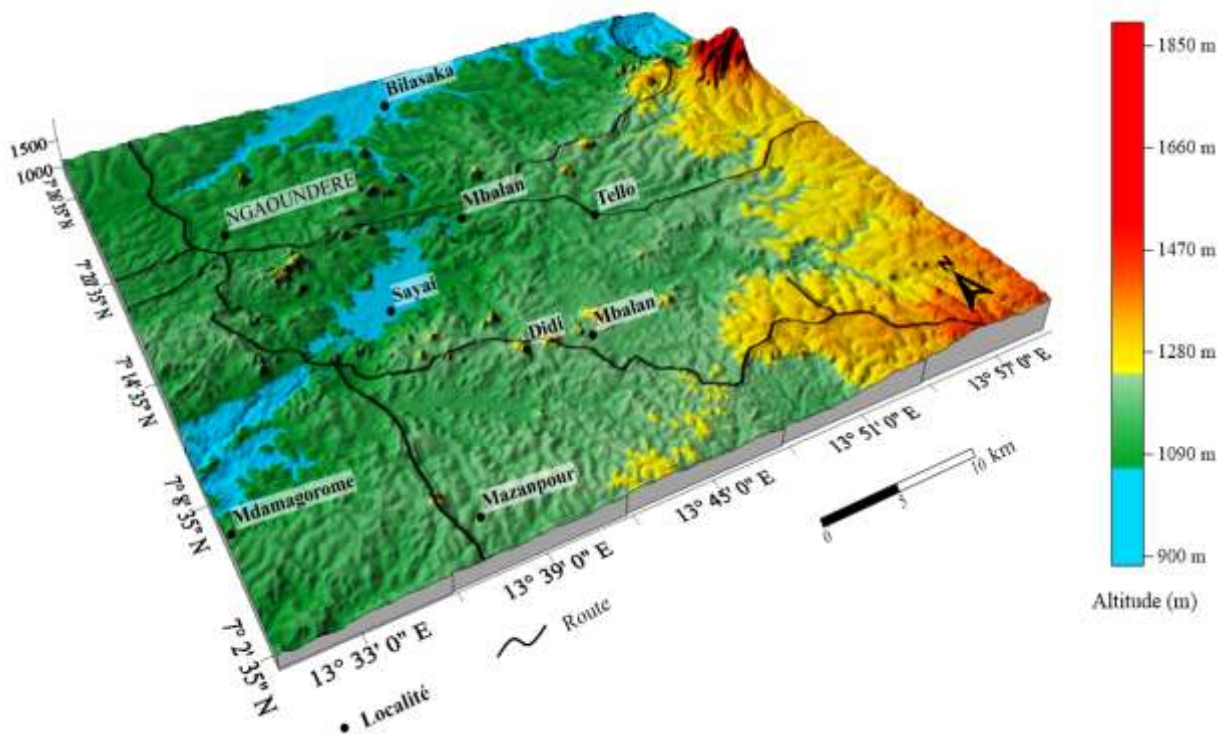


Figure 4 : Carte géomorphologique du secteur d'étude (extrait du SRTM)

I.1.5. Hydrographie

L'Adamaoua est appelé château d'eau du Cameroun, puisqu'un grand nombre de fleuve du pays prennent leurs sources dans cette région. La localité de Tello a un fort potentiel hydrographique dont les principales rivières sont la Vina et la Bini. La rivière Vina prend sa source dans le massif de l'Adamaoua, coule d'abord du SSW-NNE et s'infléchit vers le SE en suite s'étale dans une vaste plaine et franchit les chutes de la vina. Cette rivière traverse la

localité de Sayai et passe approximativement près de Mbalan et Mboultama. Du côté SW de Tello, les affluents de la rivière Vina sont : Marbou, Mabara, Gagouba, djotuom et du coté SE elle prend les affluents comme Bera, Tello, Mayo Bogo (Figure 5).

La Vina serpente sur le plateau et tombe brutalement d'une quarantaine de mètres de hauteur pour poursuivre son chemin. Ces superbes chutes d'eaux très impressionnantes sont appelées chutes de Tello. Ces chutes sont probablement beaucoup plus importantes en saison des pluies et se trouvent à une cinquantaine de km à l'Est de la ville de Ngaoundéré. Très spectaculaires, elles offrent le spectacle d'une chute d'eau haute de 45m (Figure 6).

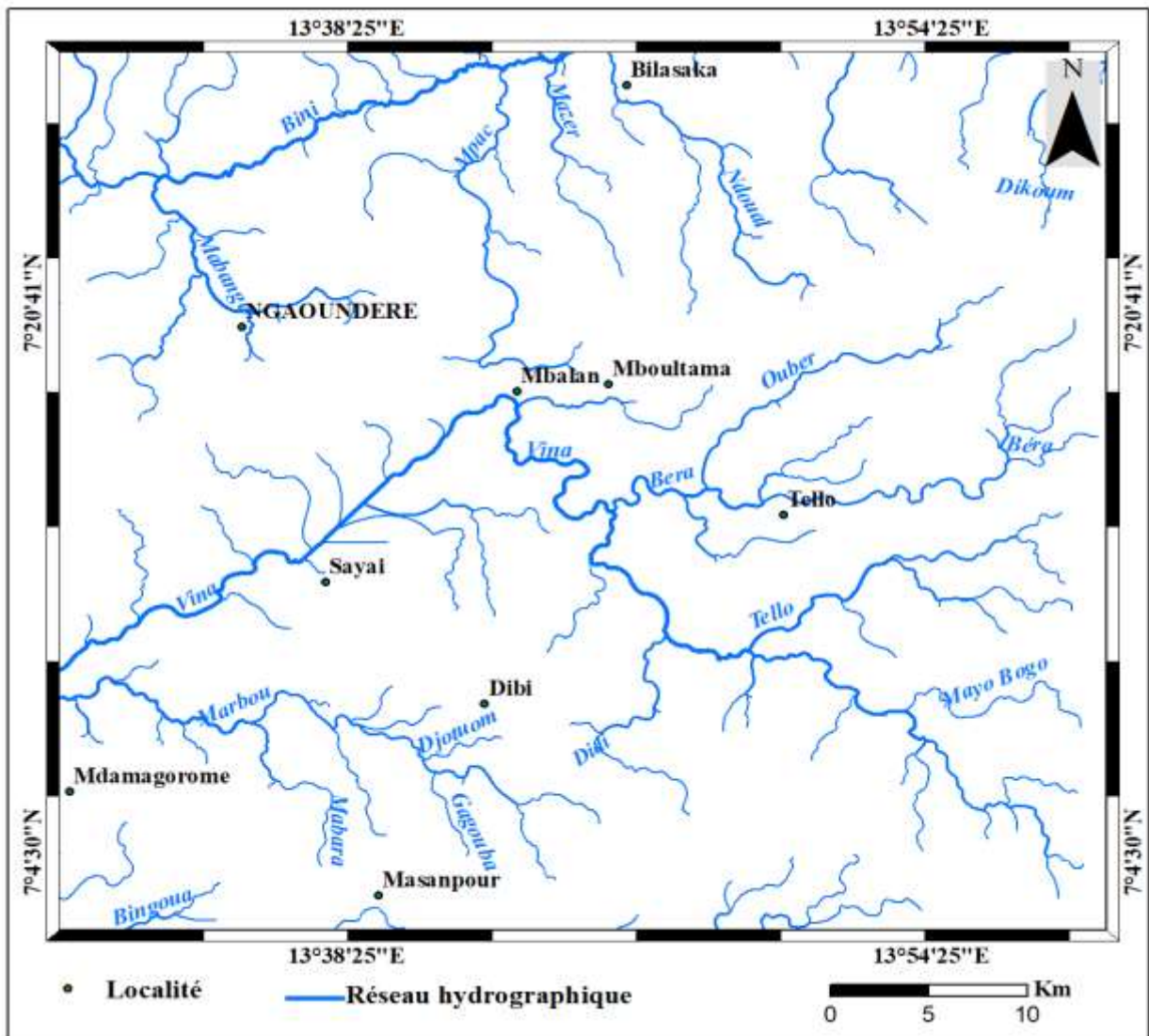


Figure 5 : Carte hydrologique du secteur d'étude

La cavité souterraine naturelle comportant une partie horizontale accessible créée par l'action de l'eau au niveau de la chute qu'on appelle grotte laisse apparaître des péridotites en enclaves dans le basalte et constitue le point de prélèvement.



Figure 6 : Chutes de Tello

I.2. Cadre géologique

I.2.1. Aperçue générale

Au Cameroun, le socle précambrien se subdivise en deux grandes unités litho structurales :

- le domaine cratonique correspondant à la bordure nord du craton du Congo et limité au Nord par le groupe de Yaoundé ;

- la chaîne Panafricaine Nord Équatoriale à laquelle appartient la zone d'étude, ou Chaîne Panafricaine d'Afrique Centrale (Toteu et al., 2004) couvrant les deux tiers du territoire, depuis le groupe de Yaoundé jusqu'à l'Extrême-Nord du pays (Nzenti et al., 1988).

La région de l'Adamaoua présente une géologie exceptionnellement variée (Toteu et al., 2004) et appartient à la chaîne Panafricaine. Les formations de cette région sont d'âge Archéen à Paléoprotozoïque qui ont été remobilisées au Panafricain et qui sont par endroit intrudées par des matériaux datant du Néo Protérozoïque (Ganwa et al., 2016).

Le socle de l'Adamaoua est constitué de deux ensembles pétrographiques dont l'un magmatique et l'autre métamorphique. Les formations magmatiques sont constituées des roches plutoniques et des roches volcaniques constituant la couverture du socle. Le socle métamorphique de l'Adamaoua est formé des gneiss et des quartzites.

I.2.2. Lithologie du secteur d'étude

La lithologie de la zone d'étude est représentée par 3 types de roche (Figure 7). Il s'agit des basaltes (basaltes de plateau et de massifs), des granites (monzogranites et leucogranites) et des trachytes et rhyolites. Les granites se trouvent vers le Sud-Ouest et sont dans la localité de Masanpur où elles représentent près de 10% de l'ensemble des roches.

Les monzogranites sont majoritairement concentrés vers le Sud-Ouest et une petite partie dans le Sud-Est et concerne des localités comme Ngaoundéré et Mdamagorome. Ils représentent près de 30% des roches de la localité. En fin les trachytes et les rhyolites sont en faible extension vers le côté Nord-Est.

Les données pétrographiques des laves basaltiques de Ngaoundéré sont caractéristiques d'un magmatisme franchement alcalin dont la différenciation est dominée par le processus de cristallisation fractionnée. Les basaltes de plateau sont majoritairement vers le Nord-Est et l'Ouest. Ils représentent presque 50% de l'ensemble de roches du secteur d'étude et sont localisés à Tello, Bilasaka et Mbalan. Les basaltes de massifs sont vers le Sud-Ouest dans la localité de Didi et Sayai et représentent presque 10% de l'ensemble des roches de la localité (Nguidama et al., 2016).

Ainsi les échantillons récoltés pour les analyses sont dont des péridotites en enclaves dans les basaltes au niveau des grottes exposés suite au phénomène d'érosion précisément au niveau de la chute de Tello.

I.2.3. Sols

A Tello, les sols rencontrés sont essentiellement ferralitiques dans sa majeure partie et de manière accessoire, on a les sols ferrugineux et hydromorphes.

I.2.3.1. Sols ferralitiques

Les sols ferralitiques couvrent la plus grande partie de la surface de la zone. Ils couvrent plus de 80 % de la superficie de cette localité. Ce sont des sols souvent très épais (parfois jusqu'à plusieurs dizaines de mètres), développés pendant des millions d'années sur des roches très variées. Ce type de sol peut être classé selon les pédologues parmi les sols ferralitiques rouges modaux (Nguetnkam, 1994). Ils sont caractérisés par leur épaisseur, leur pauvreté en matière organique et surtout leur forte teneur en oxyde de fer qui leurs confère la couleur rouge.

I.2.3.2. Sols ferrugineux tropicaux

Les sols ferrugineux ont une faible extension, soit 10 % environ et sont rencontrés dans les zones où les pentes sont fortes. Ils sont localisés à l'Ouest de la zone d'étude. Ces sols sont caractérisés par des horizons peu ou non différenciés, soit parce qu'il y a une réception régulière des matériaux frais, soit à cause d'un rajeunissement permanent par l'action intense de l'érosion.

I.3.1.3. Sols hydromorphes

Les sols hydromorphes occupent toute les parties basses du relief soit environ 5% de la surface totale étudiée. Ces sols sont très représentés dans les plus petites vallées primaires ou dans les grandes vallées marécageuses des affluents de cours d'eau Tello. Les sols hydromorphes sont caractérisés par la présence ou non d'un horizon d'accumulation organique et par les colorations grise, noire ou brune.

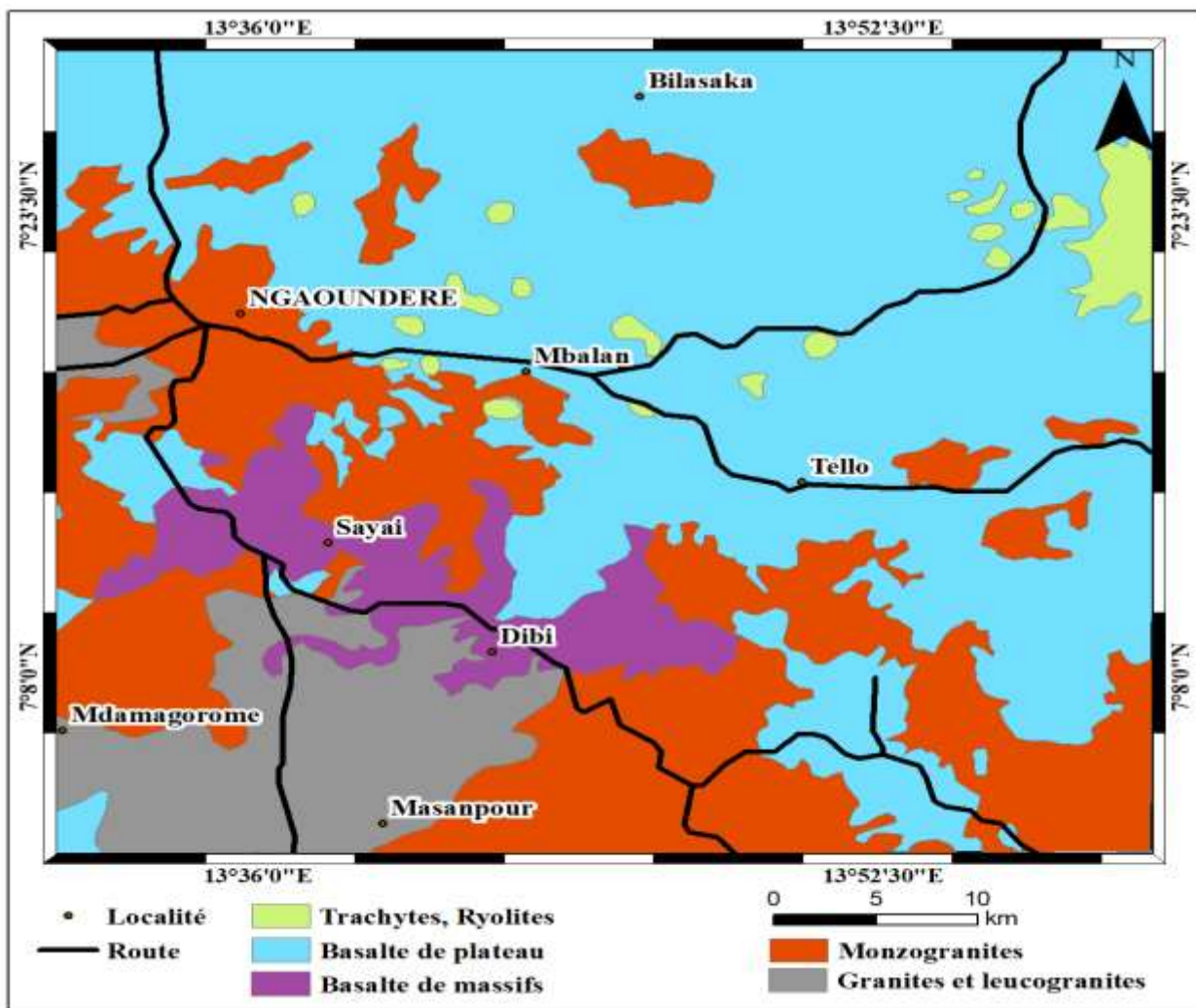


Figure 7 : Carte géologique du secteur.

Conclusion

Tello est délimité par les parallèles 7°19'et 7°26' Nord et par les méridiens 13°28' et 13°36'Est. Il culmine à une altitude de 1125 m, sur la dorsale orographique de l'Adamaoua. Cette région est caractérisée par un climat tropical soudanien scindé à deux saisons inégalement réparties. L'analyse géomorphologique de la localité fait ressortir quatre grands ensembles géomorphologiques et a un fort potentiel hydrographique dont les principales rivières sont la rivière Vina et Bini. La Vina serpente sur le plateau et tombe brutalement d'une quarantaine de mètres de hauteur (chutes de Tello) pour poursuivre son chemin. Les grottes qui sont créés par l'action de l'eau laissent apparaître des péridotites en enclaves dans le basalte. La lithologie de la zone d'étude est représentée par différents types de roches et les sols rencontrés sont essentiellement ferrallitiques dans sa majeure partie.



**CHAPITRE II : TRAVAUX ANTERIEURS ET
METHODOLOGIE**

Ce chapitre est consacré aux travaux antérieurs et à la méthodologie appliquée au cours de cette étude.

II.1. Travaux antérieurs

II.1.1. Synthèse géologique sur le plateau de l'Adamaoua

La région de l'Adamaoua présente une géologie exceptionnellement variée (Toteu et al., 2004). Elle est en effet constituée des formations d'âge Archéen à Paléoprotérozoïque, qui ont été partiellement remobilisées au Panafricain et qui sont par endroit intrudées par des matériaux datant du Néoprotérozoïque (Ganwa et al., 2016).

II.1.1.1. Formations du socle

Les formations du socle de l'Adamaoua appartiennent à la chaîne Panafricaine d'Afrique centrale recoupées par le système de faille de décrochement à tendance N70E (Nkouandou et al., 2015). Elles ont été décrites pour la première fois par Guiraudie (1955) et Lasserre (1962) qui ont levé les cartes géologiques au 1/500.000 de Ngaoundéré-Ouest et de Ngaoundéré-Est. Le socle de l'Adamaoua comprend :

- des étendues de formations ortho et para-dérivées (Toteu et al., 2004) avec parfois des granitoïdes, tous d'âge Archéen à Paléoprotérozoïque (Ganwa et al., 2016) ;
- une ceinture de roches métamorphiques représentée par des roches volcanoclastiques, méta-sédimentaires et felsiques datant du Néoprotérozoïque (~ 700 Ma) et appelées schistes de Lom (Ganwa et al., 2016) ;
- des granitoïdes syntectoniques à post-tectoniques (Kwekam et al., 2013) datant du Néoprotérozoïque (Kwekam et al., 2010) ;
- des formations post-Précambriennes, constituées de conglomérats métamorphiques de Borogonous et de Tibati d'âge Crétacé (Lasserre, 1962) ;
- des sédiments du fossé de la Mbéré et du bassin du Djérem (Lasserre, 1962).

Le socle de l'Adamaoua est recouvert par endroits par des coulées basaltiques (Temdjim et al., 2004 ; Nkouandou et al., 2007) recoupées par des plutons de granite et de syénite d'âge Ordovicien.

II.1.1.2. Formations volcaniques

Le plateau de l'Adamaoua (altitude moyenne 1110m) a été le siège d'une activité volcanique qui a débuté il y a 25Ma et qui se poursuivi jusqu'à l'actuel (Burke et Wilson, 1972). Le plateau de l'Adamaoua est un horst localisé sur la chaîne Panafricaine d'Afrique

centrale, encore appelée zone mobile (Bessoles et Trompette, 1980). Il est limité par les failles N70°E de l'Adamaoua et de Mbéré-Djerem (Guiraud et Maurin, 1992). La mise en place du volcanisme dans cette région, est vraisemblablement liée à ces fractures Panafricaines (Moreau et al., 1987).

Le volcanisme de l'Adamaoua a été l'objet de nombreuses études au cours des trois dernières décennies (Nkouandou et al., 2007 ; Fagny, 2017). L'Adamaoua a été le siège d'importantes manifestations volcaniques à l'Oligocène (Itiga et al., 2004 ; Fagny et al., 2016), au Mio-Pliocène (Temdjim et al., 2004 ; Nkouandou et al., 2015) et au Quaternaire (Temdjim et al., 2004 ; Nkouandou et al., 2015). Ce volcanisme avait été favorisé par des fractures orientées NW-SE et E-W ayant affecté le socle de l'Adamaoua au Panafricain (Tchameni et al., 2006). Il est responsable de la mise en place de nombreux édifices volcaniques tels que :

- Tchabal Nganha qui est un stratovolcan constitué de basaltes et de trachytes (Nono et al., 1994) ;
- Tchabal Djinga qui est un stratovolcan constitué de basaltes, phonolites et trachytes (Menard et al., 1998) ;
- Tchabal Mbabo qui est un stratovolcan constitué de coulées basaltiques, de necks de Trachytes, phonolites et rhyolites (Fagny, 2017).

Tous ces édifices volcaniques sont le résultat de trois séries d'émission (Guiraudie, 1955 ; Lassere, 1962) datant respectivement de l'Oligocène (Itiga et al., 2004), du Mio-pliocène (Nono et al., 1994 ; Nkouandou et al., 2015) et du Pléistocène (Temdjim et al., 2004 ; Nkouandou et al., 2015). Il s'agit en d'autres termes de la série basaltique ancienne, de la série trachy-phonolitique et de la série basaltique récente dans laquelle se trouve le secteur d'étude.

II.1.2. Caractéristiques des roches mafiques et ultramafiques

II.1.2.1. Définition et typologie

Une roche mafique est une roche magmatique issue du refroidissement du magma contenant une faible concentration en silice. Elle est définie comme ayant des teneurs en silice comprises entre 43 et 53 % (Ebah Abeng, 2012). Cette faible teneur est compensée par un enrichissement des minéraux ferromagnésiens (Mg, Fe et Ca). Les basaltes, les dolérites et les gabbros en sont les principaux exemples.

Les roches ultramafiques sont des roches magmatiques ou métamorphiques très pauvres en SiO₂ (inférieure ou égale à 45% SiO₂) néanmoins composées plus de 90% des minéraux mafiques et peuvent être d'origine volcanique ou plutonique. Les types les plus répandus sont

les péridotites les pyroxénites et les amphibolites. Les peridotites regroupent les harzburgites, les lherzolites, wherlites et les dunites (Temdjim et al., 2008).

II.1.2.2. Mode de mise en place des roches mafiques et ultramafiques.

Les basaltes émis à la surface de la terre proviennent de la fusion partielle du manteau supérieur. Au cours de l'ascension du magma basique vers la surface, il peut être piégé dans la croûte sous-jacente et évoluer dans des cavités dites « chambres magmatiques ». Au cours de son refroidissement, le magma donne des roches bien cristallisées appelées cumulats.

Les roches ultrabasiques volcaniques sont rares. Elles se mettent en place sous forme de « sills » associés à d'autres roches magmatiques basiques ou le plus souvent à d'autres complexes ophiolitiques. Les roches ultrabasiques proviennent essentiellement des complexes ophiolitiques et des ceintures de roches vertes précambriennes. Les principales roches ultrabasiques qui se forment dans les complexes ophiolitiques sont les dunites, les harzburgites et les wherlites (Brand et al., 1998).

Les péridotites constituent la partie supérieure du manteau terrestre et se présentent sous forme de gisements variés (Foucault et Raoult, 2000) :

- sous forme de petites enclaves et de nodules centimétriques à métriques de type lherzolite dans les roches volcaniques en association avec des basaltes alcalins ou avec les kimberlites dans les cheminées volcaniques;
- à la base d'intrusions lenticulaires épaisses (lopolite et laccolite) sous forme de péridotites à cumulats, associés à des pyroxénites et surmontés de gabbros, d'anorthosites et parfois de granitoïdes;
- à la base des complexes ophiolitiques sous forme de péridotites foliées et péridotites litées à cumulats ;
- en massifs tectonisés de lherzolite à filons de pyroxénolite.

II.1.3. Roches mafiques et ultramafiques du Cameroun

Ces formations n'ont pas encore fait l'objet d'une cartographie systématique (Ebah Abeng, 2012). Les corps les mieux connus se situent dans le Sud-Est à Lomié (Yongué-Fouateu, 1995 ; Semé Mouangué, 1998 ; Ndjigui et al., 2004) ; d'autres formations sont connues dans le Sud-Ouest à Kumba (Sababa, 2015), dans les unités du Bas-Nyong et du Ntem à Abiété-Yenjok (Ngo Bidjeck, 2004), à Nyabitandé (Aye et al., 2017) et à Lolodorf (Ebah Abeng et al., 2007, 2012) ; dans le Centre à Pouth-Kellé (Minyemeck, 2006 ; Ndjigui et al., 2009), dans l'Adamaoua (Dautria et Girod, 1986 ; Temdjim, 2005 ; Temdjim et al., 2019 ;

Nguidama, 2016 ; Nkouandou et al., 2015), au Nord-Ouest à Nyos (Sababa et al., 2015 ; Bilong et al., 2011). D'autres corps sont également connus mais apparaissent sous forme d'intrusions ou d'enclaves dans les formations datées du Panafricain (Ebah Abeng, 2012). On peut citer entre autres des dykes de gabbros qui affleurent au sein des granites calco-alcalins de la localité de Dawan dans la région du Centre ; un massif de norite mis en évidence à Kekem (Ouest Cameroun) (Dumort, 1969) ; un massif de gabbros et de diorites étudié à Ntumbaw dans le Nord-Ouest (Ghogomu, 1999) ; un dyke de hornblendite découvert dans les monts Rumpis (Nkoumbou, 2014).

Ces roches sont susceptibles de générer des minéralisations importantes notamment en des éléments du groupe de platine (Ebah Abeng et al., 2012, Sababa et al., 2015).

II.1.4. Minéralisations liées aux roches basiques et ultrabasiqes

Les minéralisations les plus importantes des roches basiques et ultrabasiqes sont celles des éléments du groupe du platine (EGP), Ni, Co, Cr et Cu (Ebah Abeng, 2012). Les EGP sont associés à des minéraux sulfurés et sont retrouvés dans les roches telles que les chromites, mélanorites, tractolites, anorthosites, gabbro, norites, websterites et sont également en solution solide dans les sulfures et/ou sous forme de minéraux du groupe du platine (Naldert, 1989). Parmi les principaux gisements des EGP, on peut distinguer :

- les gisements à EGP dominant, avec Ni, Cu et Cr en sous-produits, associés à des complexes stratiformes mafiques. Ils sont très rares et se limitent à deux complexes. Il s'agit du complexe du Bushveld en Afrique du Sud (Barnes et Maier, 2000) et des gisements du Stillwater aux USA (Zientek et al., 2002) ;

- les gisements à EGP en coproduits de minéralisation à Ni et Co. Ces gisements sont associés à des complexes basiques stratifiés d'âge précambrien (Sudbury, Canada) à Triasique (Norils'k Talnakh) (Alapieti et Lahtinen, 2002) ;

- les gisements à EGP en sous-produits des minerais de Ni, Co, qui sont associés pour la plupart des cas à des volcanites ultrabasiqes de type komatitique des greenstones. Les gisements de Ni de Kambalda sont de ce type (Alapieti et Lahtinen, 2002) ;

- les gisements secondaires, en particulier les placers, ne fournissent que 2 à 3 % de la production totale. La plupart sont alimentés par des complexes alaskéens (placers de l'Oural, de l'Alaska) (Andersen et al., 2002).

II.1.5. Eléments du groupe du platine et l'or

II.1.5.1. Eléments du groupe du platine

II.1.5.1.1. Définition et propriétés

Les éléments du groupe du platine (EGP) sont classés, respectivement, du plus réfractaire au plus fusible : l'osmium (Os), l'iridium (Ir), le ruthénium (Ru), le Rhodium (Rh), le platine (Pt), et le palladium (Pd). L'or leur est fréquemment associé à cause de leurs propriétés physico-chimiques similaires. L'ensemble de ces éléments constituent les métaux précieux et sont beaucoup recherchés à travers le monde à cause de leurs diverses utilisations en industrie.

Outre leur caractère réfractaire, les EGP peuvent également être divisés en sous-groupes selon leur densité, poids, et numéro atomique : les EGP légers (Ru, Rh, Pd) qui possèdent des densités comprises entre 12 et 12,5 et ont un caractère chalcophile ; et les EGP lourds (Pt, Ir, Os) dont les densités sont comprises entre 21,4 et 22,6 et ont un caractère sidérophile (Skinner et al., 1976). Les densités de Os et Ir sont les plus élevées de toute la classification de Mendeleïev. En fonction de leur affinité, on peut encore les subdiviser en deux sous-groupes : les éléments du groupe du platine et du palladium noté EGPP (Pt, Pd et Rh) et les éléments du groupe du platine et de l'iridium noté EGPI (Os, Ir et Ru).

Les éléments du groupe de platine ont des fortes affinités pour les roches basiques et ultrabasiques (Ndjigui et al., 2008 ; Ebah Abeng et al., 2012 ; Sababa et al., 2015).

II.1.5.1.2. Processus liés à la formation des gisements des éléments du groupe du platine

Les EGP sont principalement concentrés dans les roches basiques et ultrabasiques. Les données de Croke (1982) donnent une image représentative des teneurs géochimiques en EGP de ces roches. D'après ces données, elles sont inférieures à 50 ppb (par élément considéré) dans les roches basiques et inférieures à 500 ppb dans les roches ultrabasiques. Les teneurs en EGP des roches felsiques et intermédiaires sont moins bien connues et semblent être beaucoup plus faibles (Bilong et al., 2011). A cet effet, des nombreux gisements peuvent être à l'origine de la formation des EGP notamment les gisements magmatiques, alluviaux et hydrothermaux.

Les gisements magmatiques sont économiquement les plus importants. Naldrett et Von Gruenewalt (1989) ont montré comment un mélange de deux magmas, caractérisés par de degrés de fractionnement différents, peut conduire à de niveaux de chromites et/ou de sulfure fortement minéralisés en EGP. Pendant la cristallisation du magma, les minéraux qui cristallisent à des températures et pressions élevées tels que les olivines, les pyroxènes et les plagioclases basiques, se déposent au fond des chambres magmatiques sous l'effet de la

gravité en raison de la différence de densité avec le magma résiduel. La différenciation du magma peut conduire à la concentration d'éléments métalliques. Les phénomènes de contamination du magma intrusif notamment par la remobilisation du soufre à partir d'un encaissant riche en sulfures, peut également conduire à un niveau de saturation brutale du magma et la précipitation d'un niveau minéralisé porteur des EGP (Evans et Buchanan, 1989). Les métaux s'accumulent dans le liquide oxydé ou sulfuré selon qu'il ait le caractère chalcophile (EGP légers) ou lithophile (EGP lourds) et ces dépôts peuvent être enrichis par les processus hydrothermaux (Ebah Beng et al., 2012).

Les gisements hydrothermaux constituent le deuxième type de gisement d'intérêt économique. Ils sont généralement de trois types notamment les gisements épigéniques, les gisements syn-géniques et les gisements oro-géniques. Les gisements oro-géniques encore appelés méso-thermaux sont un type très important de gisements hydrothermaux. Deux types de gisements syn-géniques ont été mis en évidence par Harcouet (2005) : les sulfures massifs volcanogènes et les gites de sulfures massifs encaissés dans les roches sédimentaires. Des études ont montré que les EGP que l'on a longtemps considérées comme inertes, peuvent sous certaines conditions, être remobilisés au cours des altérations hydrothermales et donner des concentrations importantes (Bowles, 1989).

Les gisements alluviaux sont généralement associés à l'existence des roches porteuses des EGP et ne représentent que le résultat d'une remobilisation et concentration des EGP dans les placers et paléo placers. Ces phénomènes sont favorisés par la forte densité de ces éléments et par leur inertie au cours des altérations météoriques.

II.1.5.1.3. Recherche des éléments du groupe du platine au Cameroun

Plusieurs travaux ont été menés sur le comportement géochimique des EGP dans les roches ultramafique au Cameroun. Les premiers travaux ont été menés au Sud-Est à Lomié sur les serpentinites qui proviennent de l'altération hydrothermale des péridotites (Ndjigui, 2000 ; Ndjigui et al., 2003 ; Ndjigui et al., 2008), puis dans les pyroxénites et amphibolites à Lolodorf (Ebah Abeng, 2006 ; Ebah Abeng et al., 2007 ; Ebah Abeng et al., 2012). La somme des EGP est de l'ordre de 22 à 43 ppb dans les pyroxénites à grenat de Lolodorf et de 46 à 114 ppb dans les amphibolites. Dans les péridotites du plateau de l'Adamaoua à Darang (Djokgoue Yonga et al., 2023), les teneurs en EGP sont encore plus faibles.

Dans les talcschistes et amphibolites à Pouth-Kellé (Minyemeck, 2006 ; Ndjigui et al., 2009), les auteurs montrent que les amphibolites et talcschistes de la bordure septentrionale de l'unité du Nyong possèdent de très faibles teneurs en platine (1-2 ppb). La teneur en

palladium est de 3 ppb dans les amphibolites et inférieure à la limite de détection dans les talcschistes.

Les enclaves de péridotites des formations volcaniques de Nyos et kumba (Sababa et al., 2015) ont des teneurs significatives en Au-EGP ($\sum\text{EGP}=14$ ppb) par rapport aux granites dont les teneurs sont inférieures à la limite de détection dans ces localités (Tableau 2). Les EGP ayant les teneurs les plus élevés sont le platine et le ruthénium (Tableau 2). On observe un enrichissement en EGPI par rapport aux EGPP

Aye et al. (2017) montrent que les amphiboles à grenat de la région d'Akom II ont des teneurs en Au-EGP de l'ordre de ppb (Tableau 2). Les teneurs les plus élevées en EGP sont celles en palladium et platine (Tableau 2).

Ndjigui et al. (2019) qui ont travaillé dans les sédiments alluvionnaires de Ngaye, dont les protolites principales sont le gneiss, le granite et l'amphibolites, montrent que le contenu en Au-EGP total est très faible (3 ppb) dans les minéraux lourds et légèrement élevées dans les amphiboles (8 ppb) (Tableau 2). En dépit du contenu bas, les minéraux lourds sont plus riches en PPGE en particulier le palladium et le platine. Les amphibolites de Ngaye ont des teneurs en EGP faible de l'ordre de 15 ppb par rapport aux roches similaire dans l'unité du Nyong qui est de 69 ppb (Ebah Abeng et al., 2012) (Tableau 2).

Sababa et al. (2021) montrent que les concentrations en Au-EGP sont variables dans les séries volcaniques de Limbé (tableau 2). Ces teneurs sont inférieures à celles des péridotites de Nyos et Kumba (Sababa et al., 2015). Ils présentent un enrichissement en PPGE par rapport aux IPGE. Faibles dans les scories volcaniques du Mont Cameroun Les teneurs les plus élevées sont celles en Pd.

Malla 2022 montrent que les pyroxénites du groupe de Yaoundé ont des teneurs en Au-EGP faibles (3ppb). Le platine et palladium ont les teneurs les plus élevés dans ces roches. Il y'a donc un enrichissement en PPGE par rapport au IPGE et leur normalisation par rapport à la chondrite montre des anomalies positives en Pd.

Tableau 2 : Quelques teneurs moyennes en Au-EGP (en ppb) dans les formations basiques et ultrabasiques au Cameroun.

EGP	Echantillons						
	DTS	MD0	MB	VS	KA	LKU	LNy
Ir	0,14	0,07	0,37	0,13	0,17	2,79	3,35
Ru	0,09	0,24	1,35	0,16	0,41	5,00	5,87
Rh	0,14	0,12	1,37	0,13	0,81	0,64	0,7
Pt	4,34	1,46	12,34	2,34	15,47	3,54	2,54
Pd	5,83	0,72	13,62	2,27	27,39	1,61	1,36
Au	2,20	0,97	6,23	3,4	5,79	0,31	< l.d
EGP	10,46	2,37	28,75	69,42	44,13	13,58	13,82
Au-EGP	12,66	2,70	34,98	76,48	49,92	13,58	13,82

VS : Pyroxénites du groupe de Yaoundé (Malla, 2022)

DTS : Scories volcaniques sulfurées du Mont Cameroun (Sababa et al., 2021).

MD0 : Sédiment de Ngaye (Ndjigui et al., 2019).

KA : Amphibolites à grenat d'Akom II (Aye et al., 2017).

LKU : Péridotites de Kumba (Sababa et al., 2015).

LNy : Péridotites de Nyos (Sababa et al., 2015).

MB : Pyroxénites à grenat de Lolodorf (Ebah Abeng et al., 2012).

II.1.5.1.4. Utilisation des éléments du groupe du platine

Les éléments du groupe de platine sont utilisés compte tenu de leurs propriétés physiques dans le secteur industriel, chimique, électrique et électronique, dans la joaillerie, en médecine dentaire, en verrerie, dans la fabrication des fibres optiques, dans le raffinage du pétrole pour accélérer et améliorer les réactions chimiques (tableau 3). En médecine dentaire, le platine est utilisé pour la réalisation des fausses dents en alliage or-platine, pour la fabrication des molécules utilisées contre le cancer et le palladium est utilisé dans la production des instruments chirurgicaux. En bijouterie, le palladium est utilisé pour la fabrication de l'or blanc qui, en bijouterie, est un alliage d'or et de palladium (4 à 5 %). Dans l'industrie, le platine et palladium associés au rhodium sont utilisés comme auto-catalyseurs dans les bougies d'allumages des avions.

Tableau 3 : Principale utilisation des EGP (Labbé et al., 2014)

Domaine d'application	Platine(%)	Rhodium(%)	Palladium(%)	Ruthénium(%)	Iridium(%)
Industrie automobile	40,3	81	66,9	/	/
Joannerie-bijouterie	34,6	/	4,5	/	/
Industrie chimique et pétrolière	2,5	8,4	5,4	13,1	13,1
Médicaux et biomédicaux	3	/	5,4	/	/
Industrie verrière	2,2	3,2	/	/	/
Electricité et électronique	2,1	0,6	12,1	55,5	39,3
Electrochimie	/	/	/	18,7	23,6
Autres	4,2	3,1	1,1	10,9	24,6

II.1.5.2. Or

II.1.5.2.1. Généralités

L'or est un élément chimique de numéro atomique 79, de symbole Au. Il est présent dans la nature sous sa forme native ou comme constituant majeur d'alliages de l'argent, du cuivre ou des platinoïdes (Varajao et al., 1999). La teneur moyenne dans le sol est de 5 ppb et de l'ordre de 0,03 ppb dans les eaux naturelles.

L'or est un bon conducteur de chaleur et d'électricité. Il est moins électropositif et peu réactif. L'or ne réagit pas avec l'oxygène atmosphérique quand il est chauffé ni même avec la plupart des solvants. Il est néanmoins dissout dans les mélanges de bromure, de chlorure, certains iodures ainsi que dans certains mélanges oxydants. L'or existe sous trois degrés d'oxydation +I, +III et +V. En solution aqueuse, il forme facilement des ions complexes où il a un degré d'oxydation de +III. L'or fond à 1064°C bout à 2856 °C et a une densité très élevée de 19,3 (Wikipédia, 2023).

II.1.5.2.2. Processus liés à la formation des gisements aurifères

De nombreux phénomènes géodynamiques peuvent être à l'origine de formation des gisements d'or : le magmatisme, l'hydrothermalisme, les processus d'enrichissement supergène et la sédimentation.

Les gisements aurifères liés au processus magmatique sont en relation avec les intrusions dans les ceintures métamorphiques (Beaudouin, 2006). En réalité, la cristallisation fractionnée et les différenciations sont des processus magmatiques à l'origine de la formation des minéralisations d'or.

La plupart des minéralisations primaires d'or sont le résultat d'activité hydrothermale. Encore appelés gîtes aurifères d'origine métamorphique, elles sont formées à la suite de processus mettant en cause les circulations des fluides généralement chauds, capables de lessiver les métaux des roches encaissantes et de les redéposer par précipitation dans les pièges structuraux (fractures, accidents...) (Harcouet, 2005). L'or dans ces situations hydrothermales peut être présent en tant que complexe avec du chlorure ou avec du soufre. Les conditions thermodynamiques des bassins sédimentaires et les circulations hydrothermales qui s'y produisent font de ces milieux les environnements favorables à la concentration des minéralisations (Harcouet, 2005).

L'altération supergène est le principal moteur responsable de la formation des gisements aurifères de type supergène aussi les processus de surface amplifient le degré de concentration des métaux. La dissolution locale, le transport des complexes et la précipitation sont les trois principaux mécanismes qui agissent et contribuent à un degré de concentration plus important que dans les roches lessivées.

II.1.5.2.3. Utilisation, distribution et réserves d'or

De nos jours, l'or est un métal très important qui est utilisé dans les domaines aussi importants que variés (Tableau 4). L'or produit dans le monde est utilisé en majorité pour la frappe de monnaies et pour la fabrication des bijoux. Ce métal est recherché par les industries à cause de sa bonne conductivité électrique et thermique et de sa résistance à l'altération. Il est fréquemment utilisé dans les techniques de pointe et plus précisément dans la fabrication des microprocesseurs. Selon le World Gold Council (2018), environ 60% des quelque 3,6 kt d'or utilisées annuellement vient de la production des mines. Il s'agit d'or neuf, jamais utilisé auparavant. Environ 28% provient du recyclage, par exemple la fonte de vieux bijoux et 12% provient de déstockage net des banques centrales. Ces banques ont vendu pendant ces dernières années plus d'or qu'elles ont acheté, libérant du métal pour d'autres usages.

Selon le Conseil Mondial de l'or (CMO), la demande d'or pour l'année 2021 s'est établie à 4021 tonnes ; son plus haut niveau depuis deux ans et demi.

Tableau 4 : Secteurs d'utilisation de l'or (source : World Gold Council, 2018).

Secteur	Pourcentages	Secteur	Pourcentages
Bijouterie	43%	Electronique	7%
Investissements	36%	Prothèses dentaire	1%
Banques centrales	12%	Industries diverses	2%

La forte demande en or dans le monde a donné lieu à de nombreuses ruées vers l'or. C'est ainsi qu'en 1884 a été découvert le plus important gisement de tous les temps : le Witwatersrand en Afrique du Sud.

La production d'or mondiale repose principalement sur un groupe de 10 pays (Tableau 5) grands producteurs d'or, avec une hiérarchie fluctuante. La chine domine ce classement aujourd'hui aux dépens de l'Afrique du Sud, leader historique de la production d'or concernant environ 40% des réserves d'or mondiales. Le groupe de 10 pays représente les 2/3 de la production mondiale d'or totale (comptoir national de l'or, 2020) (Tableau 5).

C'est en 2007 que la chine est devenue premier producteur mondiale et 8e en termes de réserve minière, devançant l'Afrique du Sud qui a été numéro 1 mondial pendant 102 années consécutives. Les 2/3 de la production mondiale depuis la préhistoire ont été extraits ces 50 dernières années. Environ 32% de cette production (entre 1884 et 2006) proviennent du witwatersand sud-africain. Le maximum de la production sud-africaine a été atteint en 1975 avec près de 1000t, soit à l'époque, 67% de la production mondiale. Les exploitations sont essentiellement souterraines en Afrique du Sud alors qu'elles sont principalement à ciel ouvert en Australie (Guillard, 1993).

Tableau 5 : Quelques pays producteurs d'or dans le monde en Mars 2023
www.cafedelabourse.com (*World Gold Council ; ** US Geological Survey).

	2021* (tonne)	2022**(tonne)
Chine	404,1	420
Australie	314,9	330
Russie	297,3	310
USA	221,7	200
Canada	189,0	180
Pérou	158,4	130
Indonésie	136,9	160
Ghana	130,5	130
Afrique du Sud	129,8	90
Mexique	115,4	110

II.1.5.2.4. Or au Cameroun

De nos jours, de nombreux indices sont connus dans plusieurs localités du pays. Les premiers indices sont signalés dans l'Est (Yokadouma et Betaré oya) du Cameroun en 1993 par les français. Près de 140 cibles aurifères sont identifiées au Cameroun. La majorité faisant l'objet d'une exploitation artisanale. Ces cibles se trouvent dans le cadre d'un vaste couloir orienté NW qui intègre l'Ouest de la République Centrafricaine, le Sud du Tchad, et les régions Camerounaises du centre, de l'Est de l'Adamaoua, du Nord, de l'Extrême Nord où l'or est sous sa forme primaire et secondaire (Laplaine et Bessoles, 1969 ; Ntep Gweth et al., 2001). D'autres cibles sont signalées dans les régions du Sud et centres précisément dans les arrondissements de Bipindi, Lolodorf, Mintom, Ebolowa, Sangmelima et Biwong Bulu et au centre à Eséka.

II.2. Méthodologie

Les travaux de terrain et de laboratoire ont été précédés par une recherche bibliographique ayant conduit au choix du site d'étude. L'examen de la carte topographique de Ngaoundéré et de la carte géologique ont permis de délimiter la zone d'étude. Ensuite une campagne de terrain a permis la reconnaissance des différents faciès géologiques et le

prélèvement d'échantillons de roches. L'étude s'est poursuivie au laboratoire du département de sciences de la terre de l'université de Yaoundé 1 par des analyses pétrographiques après confection des lames minces. Les analyses géochimiques (les éléments majeurs, éléments traces, terres rares et Au-EGP) ont été réalisées dans le laboratoire de Géosciences "Ontario Geological Survey" à Subdury.

II.2.1. Travaux sur le terrain

Le matériel utilisé lors de la réalisation des travaux sur le terrain comprend :

- une carte topographique et une carte géologique de la région de Ngaoundéré ;
- un GPS pour la prise des coordonnées géographiques (longitude, latitude et altitude) des points d'échantillonnage ;
- un marteau de géologue et une massette pour l'échantillonnage de roches ;
- un appareil photo numérique pour la prise de vue, un stylo, un crayon, un carnet de notes et deux marqueurs pour étiqueter les échantillons ;
- des sachets d'emballage servant à la conservation des échantillons.

Le travail sur le terrain a consisté dans un premier temps à faire une prospection générale du secteur puis choisir un site et prendre ses coordonnées à l'aide d'un GPS. Plusieurs échantillons de péridotites ont été prélevés après une brève description macroscopique. Compte tenu des coûts très élevés des analyses géochimiques, seuls trois échantillons de péridotites ont été sélectionnés pour des analyses en laboratoire.

II.2.2. Méthodes d'étude au laboratoire

Les travaux en laboratoire ont consisté en une étude pétrographique et des analyses géochimiques de péridotites. Acheminés au laboratoire de géosciences des formations superficielles de l'université de Yaoundé 1, une partie de ces péridotites va être broyée et pulvérisée à l'aide d'une pulvérisette de marque FRITSCH. Les résidus obtenus ont été écrasés par un pilon et un mortier. Après cette phase, les produits sont emballés et codifiés puis pesés à 45g et envoyés au laboratoire de Géosciences d'Ontario au Canada pour des analyses géochimiques.

II.2.2.1. Analyses pétrographiques

La confection des lames minces a été effectuée au Département des Sciences de la Terre, Université de Yaoundé I. La roche brute est tronçonnée en « sucres » d'une taille de 5×6 cm² à peu près, à bords orthogonaux. A cause de la friabilité des échantillons, les sucres

sont d'abord indurés à l'aide de la résine. Ensuite ils subissent un polissage sur une face pour être collés sur une lame de verre. Le polissage se fait sur une dalle circulaire en présence d'eau à l'aide d'une poudre abrasive à granulométrie de plus en plus fine. La préparation est collée et séchée sur une plaque chauffante à 50°C pendant 12 heures. L'épaisseur de la lame de roche ainsi préparée est encore épaisse (entre 5 et 20 mm). Il faut donc la raboter ou la meuler avec une meule en diamant qui va ramener l'épaisseur de cette lame de roche à 3-0,5 mm. La phase la plus délicate est le passage à une épaisseur de 0,03 mm par une succession de poudres abrasives. Cette opération, assez longue (1 heure) et manuelle, permettra d'obtenir la lame mince. Et enfin cette dernière est contrôlée au microscope avant qu'elle ne soit, si nécessaire, recouverte d'une lame de verre protectrice.

L'observation des lames minces a été faite à l'aide d'un microscope polarisant au laboratoire de Géologie Appliquée-Métallogénie du Département des Sciences de la Terre (Université de Yaoundé I).

II.2.2.2. Analyses géochimiques

Les échantillons ont été analysés pour une gamme d'éléments majeurs et traces dans les laboratoires de Géosciences de "Ontario Geological Survey" à Subdury.

Après broyage, les échantillons ont été soumis à la perte au feu. D'abord, les poudres ont été chauffées à 105° C sous l'azote ; ceci dans le but d'éliminer l'eau adsorbée et par la suite, elles ont été chauffées à nouveau mais cette fois à une température de 1000° C sous l'oxygène pour éliminer les éléments volatils et le fer oxydé.

II.2.2.2.1. Eléments majeurs

Après la perte au feu, les concentrations en éléments majeurs ont été déterminées par Fluorescence de rayons X. Les poudres ont été fondues avec un flux de tétraborate de lithium avant d'être analysées. Les standards internationaux et internes aux laboratoires (INTL-23-39992, et IHST-23-34282) ont été utilisés.

II.2.2.2.2. Eléments traces

Les poudres de roches ont été préparées pour des analyses à l'ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry), dans le but de déterminer les concentrations en éléments lithophiles par une attaque triacide dans un récipient clos. Les poudres ont alors été traitées dans un mélange acide de HCl et de HClO₄ à 120°C maintenu dans un récipient clos pendant une semaine. Après cette période, les solutions ont été rincées dans une solution de

HNO₃ diluée et chauffées à sec. Les résidus obtenus ont été redissouts dans des solutions acides (HCl et HClO₄) et chauffés à sec une seconde fois avant d'être à nouveau dissouts dans un mélange triacide (HNO₃, HCl et HF) chauffé à 100°C.

Les échantillons dissous ont été analysés à l'aide de l'ICP-MS de type Perkin Elmer Elan 9000. Dans un premier temps, l'analyse a été réalisée en utilisant une bande analytique IM100 dans laquelle un poids moyen d'instrument répond pour trois matériaux de référence certifiés préparés de la même manière que l'inconnu (le blanc) pour chaque élément. Les solutions standard ont été mesurées entre chaque série de 30 échantillons avec un test après le passage de 10 échantillons. Les données sont reportées pour une large gamme de métaux de transition. A cause de l'incertitude des concentrations en éléments dans les matériaux de référence, les limites de détection pour la bande IM100 sont plus élevées que les capacités maximales (limite supérieure) de l'instrument. Lorsque certaines concentrations sont en deçà de la limite de détection pour la bande analytique IM100, les solutions peuvent être ré-analysées en utilisant un second groupe de 4 solutions synthétiques d'égales concentrations contenant 14 terres rares, Y, U, Th, Hf, Zr, Nb, Ta, Rb et Sr. Les limites de détection résultantes ont été plus faibles, mais ce paquet ne concernait que quelques éléments. Les standards internationaux et internes aux laboratoires (INTL-23-39722 et IHST-23-33909) ont permis de vérifier la fiabilité de l'appareillage.

II.2.2.2.3. Au-EGP

Les concentrations en or et éléments du groupe du platine (Au-EGP) ont été déterminées par la méthode "NiS fire Assay" à l'aide de l'ICP-MS "finish" (Burnham et Schweyer, 2004). Quinze grammes d'échantillons ont été fusionnés avec le carbonate de sodium et du tétraborate de sodium en présence d'une fonte de NiS. Après refroidissement de chaque échantillon, les grains de NiS sont broyés hors du creuset et digérés par l'acide chloridrique concentré dans des vaisselles en téflon. La co-précipitation du tellure est utilisée pour s'assurer que le résidu insoluble a retenu tous les Au-EGP par digestion acide. Les solutions ont été séchées sous vide, après, elles ont été dissoutes dans une solution contenant l'eau dé-ionisée. Les solutions résultantes ont été analysées par ICP-MS de type Perkin Elmer Elan 500. Les standards internationaux et internes aux laboratoires (INTL-23-39685, et IHST-23-33879) ont été utilisés pour contrôler la fiabilité des résultats.

Conclusion

Tello est l'un des sites de tourisme au Cameroun. Il est constitué de quatre grands ensembles géomorphologiques, recouvrant des roches basiques contenant des enclaves des roches ultrabasiques. Ces roches pourraient regorger de nombreux métaux nobles susceptibles de présenter un intérêt économique. Des études pétrographiques et géochimiques seront menées sur les enclaves de péridotites de ladite localité en vue de quantifier la teneur du platine et palladium qui font partie des éléments du groupe du platine (EGP).

CHAPITRE III : RESULTATS

Dans ce chapitre, il est question de présenter les différents résultats obtenus sur le terrain et en laboratoire. Il s'agit des données pétrographiques et géochimiques.

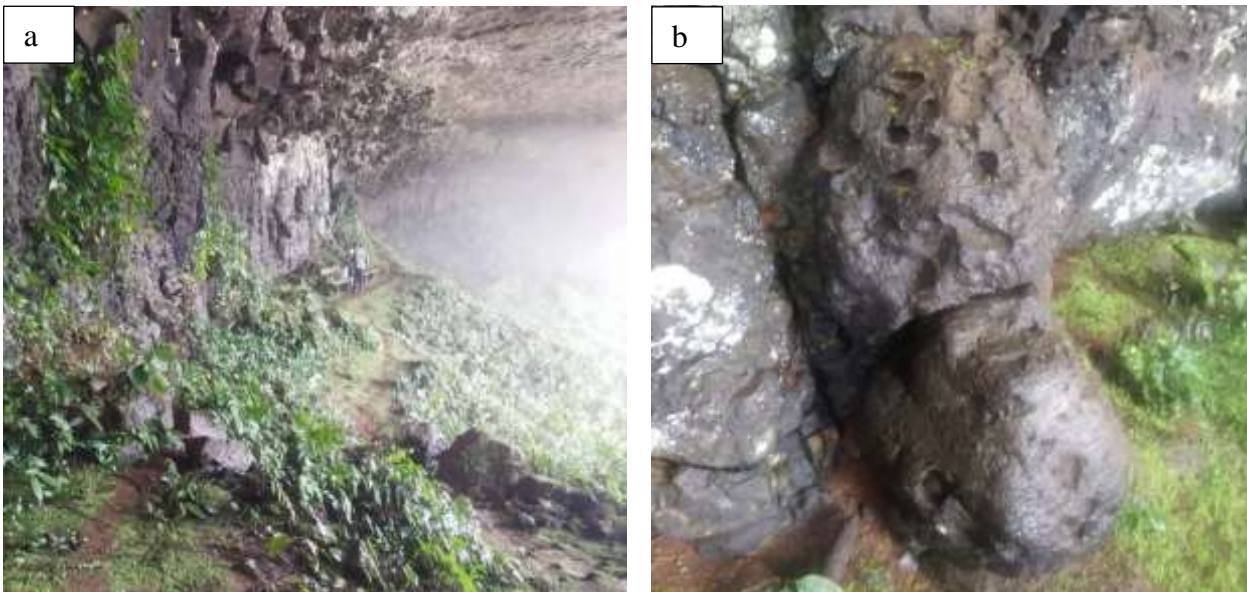
III.1. Pétrographie

III.1.1. Etude pétrographique de l'encaissant

III.1.1.1. Etude macroscopique du basalte hôte

Le prélèvement des échantillons a été mené dans une grotte constituée de blocs de basaltes (Figure 8a à b) et renfermant des enclaves de péridotites. Ces blocs sont compacts, noirs, denses et parfois montrant un début d'altération. Les échantillons récoltés présentent pour la plupart une structure massive.

La répartition des cristaux d'olivine dans l'encaissant est hétérogène. On observe également de nombreux grains plurimillimétriques en relief donnant à la roche un aspect irrégulier (Figure 8b). L'analyse macroscopique de l'encaissant montre qu'il s'agit d'un basalte vacuolaire avec intrusions dont les plus abondantes sont des intrusions de péridotites (Figure 9a).



Légende :

a : Grotte de basalte.

b : blocs de basalte.

Figure 8: Vue d'ensemble des blocs de basalte.

III.1.1.2. Etude microscopique du basalte hôte

L'analyse microscopique du basalte hôte des péridotites de Tello montre une texture microlitique (figure 9b) avec pour association minérale constituée de l'olivine, plagioclase, clinopyroxène et orthopyroxène.

- Olivine

L'olivine (35-50%) est la phase minérale la plus abondante dans le basalte. Ses cristaux sont automorphes à sub-automorphes (Figures 9b) avec des dimensions très petites (< 0,5 mm). En lumière analysée, ils se caractérisent par des macles de déformation mécanique appelées "kink-bands" (Figures 9b).

- Plagioclase

Les cristaux de plagioclase occupent 15 à 20% de la roche et se présentent sous la forme de baguettes (Fig. 9b). Ils sont sub-automorphes à xénomorphes et de dimension inférieure à 0,5 mm.

- Clinopyroxène

Les cristaux de clinopyroxène (12%) sont de dimension inférieure à 1 mm pour ceux de plus petite taille. Ils peuvent atteindre 2 mm pour les plus grands cristaux. En lumière analysée, ces cristaux montrent à leurs surfaces de nombreuses lamelles d'exsolution d'orthopyroxène (Figures 9b).

- Orthopyroxène

Les orthopyroxènes (8%) examinés au microscope, se caractérisent par des dimensions généralement comprises entre 1 et 2 mm. Ces cristaux en lumière analysée, montrent qu'ils sont xénomorphes et souvent très allongés (Figure 8b).

III.1.2. Etude pétrographique de péridotites

III.1.2.1. Etude macroscopique de péridotites

Les péridotites sont des roches mantelliques essentiellement constituées d'olivine, de pyroxène et parfois de phases alumineuses comme le spinelle. À Tello, elles apparaissent habituellement en enclaves dans les roches basaltiques (Figure 9a). La distribution de ces enclaves est aléatoire au sein d'un même édifice et leur importance varie d'un bloc à l'autre. Les enclaves de péridotites examinées ont été récoltées dans les coulées de laves basaltiques.

Des observations de ces échantillons à l'œil nu et à la loupe mettent en évidence un type pétrographique : les péridotites du fait de leur teneur élevée en olivine. Ces enclaves de péridotites mantelliques mesurent jusqu'à 30 cm de diamètre.

III.1.2.2. Étude microscopique des péridotites

L'analyse microscopique des péridotites montre qu'elles ont une texture protogranulaire (Figure 9c) et les phases minérales identifiées sont l'olivine, clinopyroxène, orthopyroxène et spinelle.

- Olivine

L'olivine (75-80%) est le minéral le plus représentatif de la roche (Figure 9c et d). Elle est par endroit de petite taille (<1mm). D'autres cristaux par contre sont plus grands (2-3mm) (Figure 9c). Elle est automorphe à sub automorphe et parfois très allongés (Figure 9d). On y retrouve aussi des inclusions de pyroxène, de spinelle (Figure 9c). De nombreux joints entre olivines présentent des courbures multiples avec des angles saillants formant de points triples caractéristiques de la texture protogranulaire (Figure 9c et d). Elle est en association avec l'orthopyroxène (Figure 9c).

- Orthopyroxène

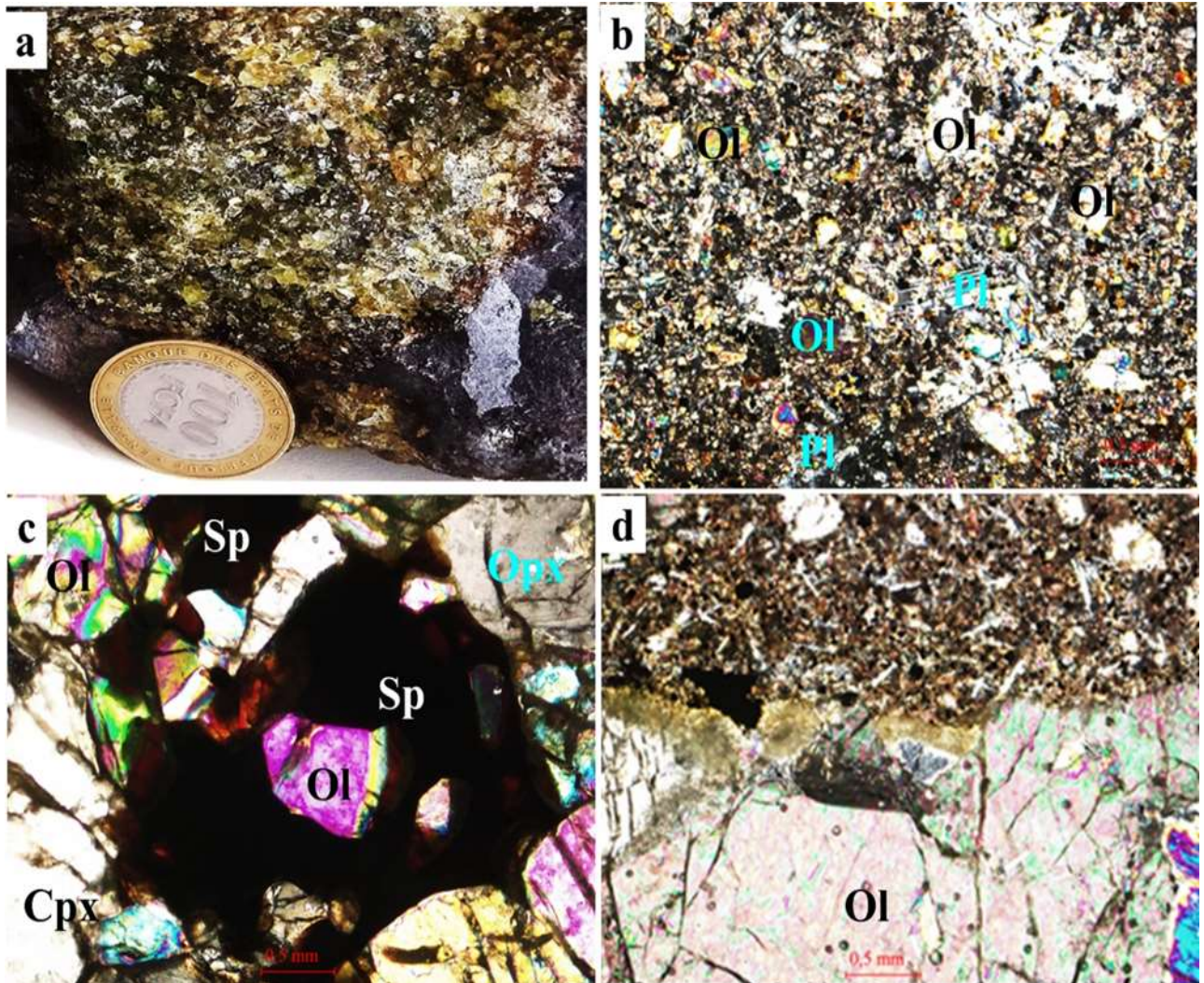
Il est xénomorphe avec des proportions d'environ 12%. Ils sont soit de petite taille, sub-arrondis, isolés ou piégés dans l'olivine ou les spinelles, soit en larges cristaux souvent très allongés dans lesquels on peut retrouver des inclusions d'olivine (figure 9c). Certains minéraux sont parcourus par des fractures occupées par de l'olivine. Les clivages sont parfois épais et discontinus ou étirés avec par endroits de larges cristaux entourés d'olivine (Figure 9c). La taille du minéral est également variable mais très voisine de celle de l'olivine.

- Clinopyroxène

Il est très peu représenté ; environ 10% du volume de la roche. Il est de couleur verdâtre et légèrement vacuolaire. Il présente des signes de déstabilisation ou de réaction entre les cristaux au niveau des bordures. Ils sont situés en position interstitielle entre les cristaux d'olivine et d'orthopyroxène (figure 9c).

- Spinelle

Elle est peu présente et moulée dans les méga cristaux d'olivine. Les cristaux sont parfois groupés en amas. Les cristaux de spinelle sont brun-rouge sous la lumière polarisée analysée environ 5% du volume de la roche (Figure 9c). Il existe un contact net entre les péridotites et le basalte hôte (Figure 9d).



Légende :

a : Echantillon de basalte montrant une enclave de péridotites.

b : Assemblage minéralogique du basalte hôte (Ol+Opx+Cpx+Pl) en LPA.

c : Assemblage minéralogique présentant la texture protogranulaire et la présence de spinelles dans les interstices d'olivines.

d : Limite net existant entre le basalte et les péridotites.

Ol : olivine ; Opx : Orthopyroxène ; Cpx : Clinopyroxène ; Sp : Spinelle.

Figure 9 : Observation pétrographique des échantillons de Tello.

III.2. Géochimie des péridotites

III.2.1. Eléments majeurs

Les péridotites de Tello sont caractérisées par des teneurs modérées et peu variables en SiO_2 (43-44%) et MgO (43-44%) (Tableau 6). Les teneurs en Al_2O_3 sont faibles et varient entre 1,29 et 1,7% et celles en Fe_2O_3 sont entre 8 et 9%. Les concentrations en TiO_2 et P_2O_5 sont faibles. La somme des alcalins et alcalino-terreux ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}$) varie faiblement autour de 45%. Les rapports SiO_2/MgO sont autour de 1 et ceux de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oscillent entre 24 et 34% (Tableau 6).

La figure 10 ressort les corrélations entre SiO_2 et les autres éléments majeurs. Le silicium montre une forte corrélation négative avec l'aluminium, le fer et le sodium (Figure 10 a, b et c). Le magnésium par contre possède une corrélation positive avec le silicium (figure 10 d). Le titane et le potassium possèdent aussi des corrélations négatives avec le silicium (Figures 10 e et f). L'analyse des corrélations des éléments majeurs montre que l'aluminium, le fer, le sodium, le titane et le potassium ont des concentrations plus élevées dans les échantillons de Darang par rapport à ceux de Tello (Figure 10) par contre le magnésium possède des concentrations élevées dans les échantillons de Tello par rapport à ceux de Darang (figure 10d).

Tableau 6 : Distribution des éléments majeurs (%) dans les péridotites de Tello.

	L.d	TE01	TE03	TE05
SiO_2	0,04	43,77	44,09	43,59
Al_2O_3	0,02	1,57	1,29	1,79
Fe_2O_3	0,01	8,40	8,19	8,62
MgO	0,01	44,09	44,46	43,29
K_2O	0,01	0,07	0,03	0,04
Na_2O	0,02	0,15	0,11	0,16
CaO	0,01	0,89	0,93	1,50
TiO_2	0,01	0,08	0,01	0,04
P_2O_5	0,01	0,03	0,018	0,013
MnO	0,01	0,14	0,15	0,15
LOI	0,05	0,69	0,49	0,31
Total	-	99,88	99,77	99,50
SiO_2/MgO	-	0,99	0,99	1,01
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	-	27,88	34,18	24,35
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}$	-	45,20	45,53	44,99

LOI :Loss On Ignition

L.d : Limite de detection

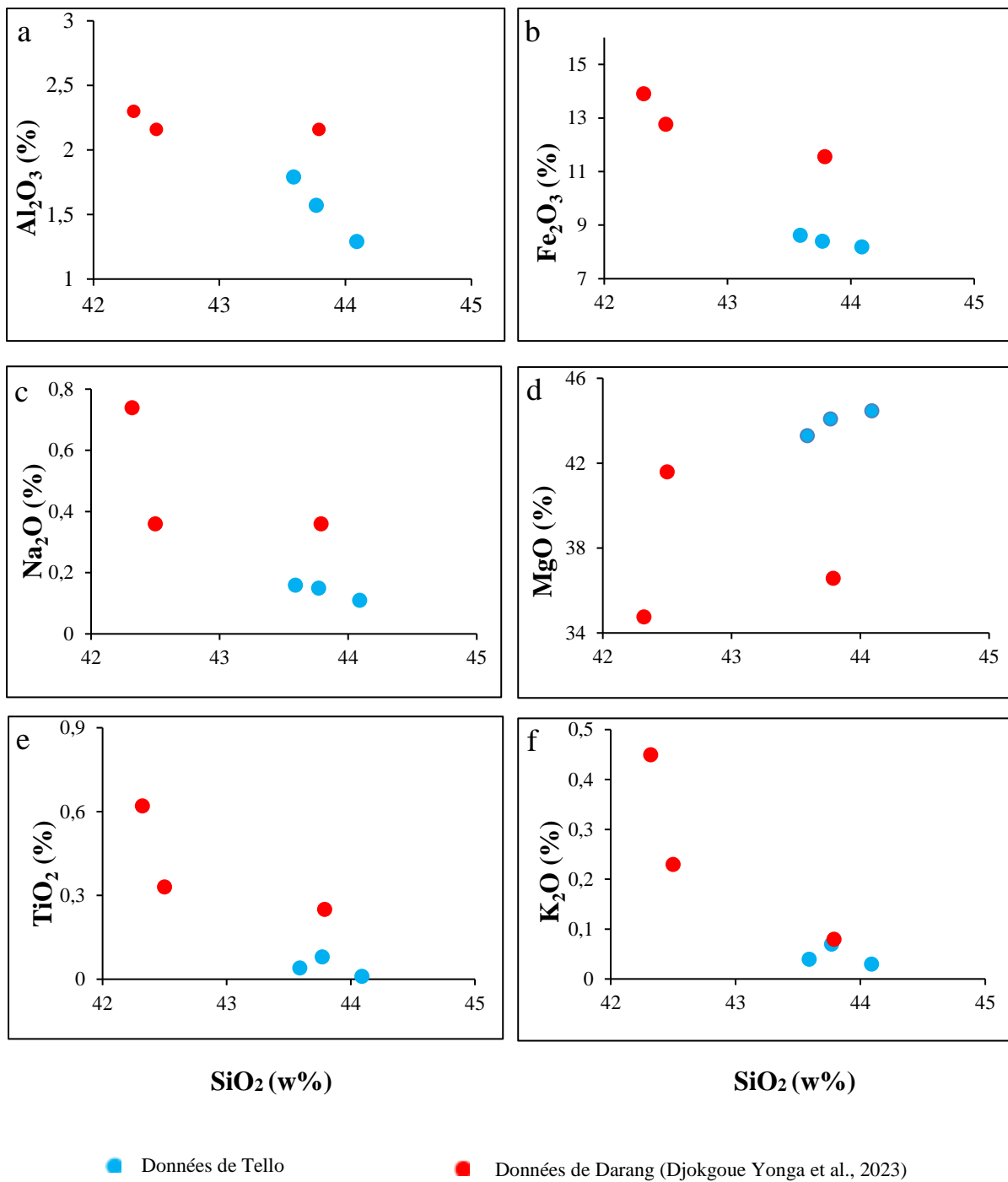


Figure 10: Corrélations entre SiO₂ et certains éléments majeurs dans les péridotites.

III.2.2. Distribution des éléments traces

Les teneurs en éléments traces des péridotites de Tello sont variables. Ces échantillons sont caractérisés par des teneurs très élevées en Cr (2270-2670 ppm), Ni (2209-2458 ppm) et Co (110-114 ppm) (Tableau 7). Les éléments tels que V (30-43ppm), Zn (40-45 ppm), Sr (17-30 ppm) et Ba (13-25 ppm) possèdent des teneurs élevées tandis que Zr (5-8 ppm) et Cu (10-

14 ppm) ont des teneurs modérées. Les teneurs en Nb (1-2ppm), Ga (1-2ppm) sont faibles. Les autres éléments traces (Ta, Th, Be, Mo, Hf, Y) possèdent des teneurs faibles ; inférieures à 2 ppm.

Tableau 7 : Distribution des éléments traces (ppm) dans les péridotites de Tello.

	L.d	TE01	TE03	TE05
Cr	3,00	2600	2270,10	2669,90
V	0,4	34,90	30,40	43,30
Zn	4,00	45,00	40,00	44,00
Ni	0,60	2434,40	2458,4	2209,20
Cu	0,90	10,50	10,70	14,40
Co	0,09	114,29	114,47	110,28
Sc	0,01	0,02	0,01	0,03
Ba	1,30	25,00	13,10	15,20
Zr	4,00	8,00	5,00	7,00
Sr	1,30	30,40	17,10	24,50
Y	0,09	0,99	0,49	1,16
Li	0,24	1,69	1,32	1,45
Ga	0,04	2,36	1,19	1,77
Nb	0,05	2,50	1,22	1,12
Hf	0,09	0,15	0,10	0,19
Mo	0,08	0,29	0,38	0,33
Th	0,027	0,26	0,16	0,14
U	0,01	0,16	0,10	0,09
Ta	0,015	0,10	0,07	0,07
Be	0,024	0,09	0,06	0,06
Cd	0,018	<0,018	<0,018	0,019

Ld : Limite de détection

Des diagrammes binaires (Figure 11) ont été réalisés pour comprendre le comportement de certains éléments traces dans les péridotites de Tello. Ainsi, on observe des corrélations négatives entre Zn vs Cr, Hf vs Cr, Ni vs V et Co vs Ni (Figure 12a-d), et des corrélations positives entre Y vs V, Sr vs Ba, Th vs Co (figure 11e-g). Il n'y a pas de corrélation entre Mo vs Zr et (Figures 11h).

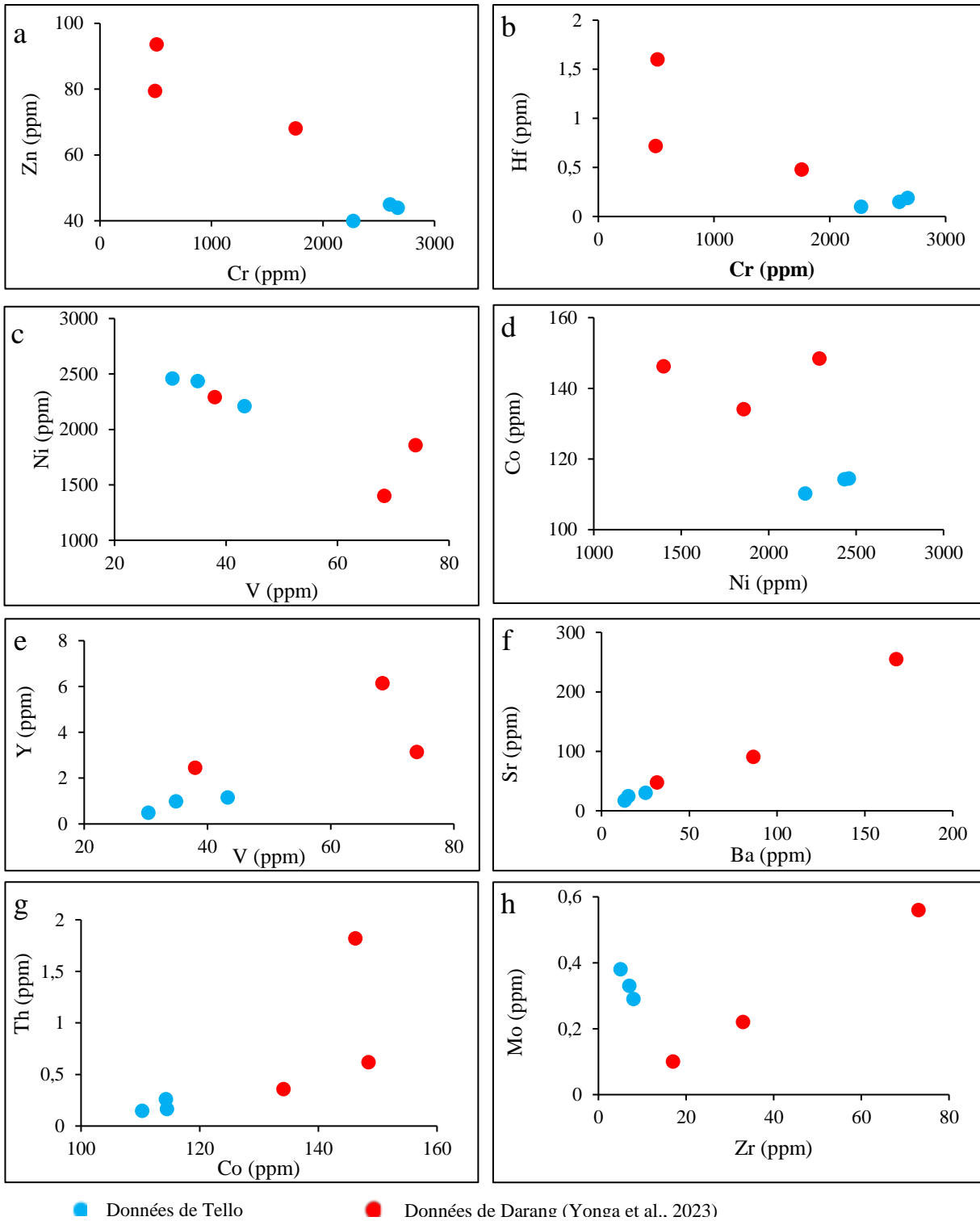


Figure 11: Corrélations entre certains éléments traces dans les péridotites de Tello

III.2.3. Distribution des terres rares

Le tableau 8 montre que les péridotites de Tello sont caractérisées par des teneurs faibles en terres rares. La somme des teneurs varie entre 4 et 10 ppm. Les teneurs les plus élevées sont celles en Ce qui oscillent entre 1,77 et 4,41 ppm, La qui se situent entre 0,98 et 2,92 ppm et celles en Nd qui varient entre 0,67 et 1,62 ppm (Tableau 8). Les autres terres rares ont des teneurs très faibles inférieures à 1 ppm. La somme des teneurs en terres rares légères (3-9 ppm) est plus élevée que celle des terres rares lourdes (< 1 ppm) (Tableau 8). Les rapports LREE /HREE varient entre 6 et 15. Les valeurs Ce/Ce* et Eu/Eu* sont proche de 1 et les rapports (La/Yb)_N oscillent entre 6 et 23. Ceci traduit l'absence d'anomalie en Ce et Eu et un fractionnement variable en terres rares dans les péridotites de Tello.

Tableau 8 : Distribution des terres rares (ppm) dans les péridotites de Tello.

	L.d	TE01	TE03	TE05
La	0,09	2,92	0,98	1,28
Ce	0,17	4,41	1,77	2,27
Pr	0,019	0,44	0,17	0,26
Nd	0,11	1,62	0,67	1,05
Sm	0,05	0,25	0,13	0,23
Eu	0,008	0,07	0,03	0,06
Gd	0,04	0,19	0,12	0,22
Tb	0,009	0,03	0,01	0,03
Dy	0,04	0,18	0,09	0,21
Ho	0,006	0,03	0,01	0,04
Er	0,04	0,09	0,06	0,15
Tm	0,005	0,01	0,01	0,02
Yb	0,008	0,08	0,064	0,13
Lu	0,005	0,01	0,00	0,01
REE	-	10,36	4,14	5,99
LREE	-	9,72	3,76	5,16
HREE	-	0,64	0,38	0,83
LREE/HREE	-	15,21	10,03	6,18
(La/Yb) _N	-	23,03	10,51	6,46
Ce/Ce*	-	0,94	1,05	0,96
Eu/Eu*	-	1,02	0,94	0,87

L.d : limite de détection

$$(La/Yb)_N = (La \text{ échantillon} / La \text{ manteau primitif}) / (Yb \text{ échantillon} / Yb \text{ manteau primitif}).$$

$$[Ce/Ce^*] = (Ce \text{ échantillon} / Ce \text{ manteau primitif}) / [(La \text{ échantillon} / La \text{ manteau primitif})^{1/2} (Pr \text{ échantillon} / Pr \text{ manteau primitif})^{1/2}].$$

$$[Eu /Eu^*] = (Eu \text{ échantillon} / Eu \text{ manteau primitif}) / [(Sm \text{ échantillon} / Sm \text{ manteau primitif})^{1/2} (Gd \text{ échantillon} / Gd \text{ manteau primitif})^{1/2}]$$

La normalisation des terres rares par rapport au manteau primitif (Lyubetskaya et Korenaga, 2007) montre que dans tous les échantillons, les terres rares ont un comportement similaire (Figure 12). Les résultats sont présents sous forme de spectres et montrent que les teneurs en terres rares légères sont plus élevées par rapport aux terres rares lourdes. L'échantillon TE05 est moins fractionné que les autres échantillons analysés (Figure 12).

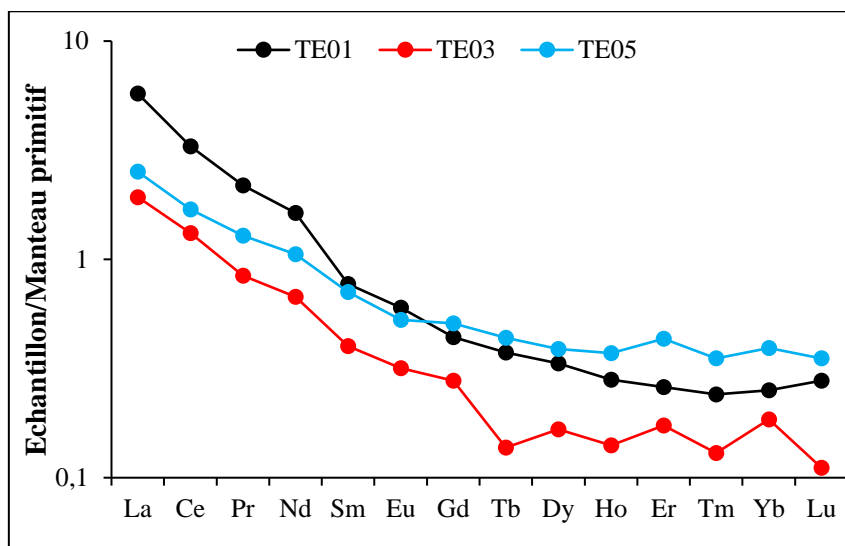


Figure 12 : Spectres des terres rares dans les péridotites de Tello normalisés par rapport au manteau primitif (Lyubetskaya et Korenaga, 2007).

III.2.4. Distribution de l'or et des éléments du groupe du platine

Le tableau 9 montre des teneurs variables en or et en éléments du groupe du platine. Ainsi, les éléments du groupe de platine ayant des teneurs relativement élevées dans les échantillons sont Ru (4-5 ppb) ; Pt (3 ppb) et Ir (2-3ppb). Les éléments comme Os (1,31-1,92 ppb) ; Pd (0,87-1,61ppb), ont des teneurs faibles tandis que Rh (0,40-0,42) a des teneurs très faibles. Les teneurs en or sont inférieures à la limite de détection dans l'échantillon TE03 et de 0,5ppb dans l'échantillon TE05 (Tableau 9).

La somme des teneurs en EGP varie entre 12 et 15 ppb et celle en Au-EGP est de 13 et 15 ppb. Les teneurs en EGPP sont légèrement supérieures à 6 ppb et celles en EGPI varient entre 6 et 8 ppb. Le rapport EGPP/EGPPI varie entre 0,98 et 1,34 (Tableau 9) et par conséquent on observe un léger appauvrissement en EGPI par rapport aux EGPP.

La mobilité de l'or et des éléments du groupe du platine est évaluée par les rapports Pt/Ir, Pt/Ru, Pt/Rh, Pt/Pd, Pt/Os et Pt/Au (Sababa et al., 2015). Les valeurs du rapport Pt/Rh sont élevées et varient entre 7 et 8 celles du rapport Pt/Pd sont comprises entre 1 et 3, Pt/Os et Pt/Ir varient entre 1 et 2 (tableau 9) ; ceci montre nettement que le rhodium, le palladium et l'osmium sont les éléments les plus mobiles par rapport au platine dans les péridotites de Tello. Par contre le rapport Pt/Ru est inférieur à 1 ce qui montre que le platine est plus mobile

que le ruthénium. Les teneurs en or sont faibles ce qui montre que l'or est plus mobile que le platine (Tableau 9). Le ruthénium est donc l'élément le moins mobile juste devant le platine parmi les Au-EGP dans les péridotites de Tello.

Tableau 9 : Distribution des Au-EGP (ppb) dans les péridotites de Tello.

	L.d	TE03	TE05
Os	0,09	1,92	1,31
Ir	0,01	3,00	1,71
Ru	0,03	5,66	4,50
Rh	0,01	0,42	0,40
Pt	0,19	3,26	3,04
Pd	0,20	0,87	1,61
Au	0,30	< L.d	0,50
EGP	-	15,13	12,57
Au-EGP	-	15,13	13,07
EGPI	-	8,66	6,21
EGPP	-	6,47	6,36
EGPI/EGPP	-	1,34	0,98
Pt/Os	-	1,70	2,32
Pt/Ir	-	1,09	1,78
Pt/Ru	-	0,58	0,68
Pt/Rh	-	7,82	7,58
Pt/Pd	-	3,75	1,89
Pt/Au	-	-	6,08

L.d : limite de détection

Les concentrations en Au-EGP ont été normalisées par rapport au manteau primitif (Lyubetskaya et Korenaga, 2007) et il en ressort que les péridotites de Tello sont caractérisées par des teneurs faibles en Au-EGP (Figure 13). Les teneurs en rhodium et platine sont constantes dans les deux échantillons. Les spectres révèlent dans certains échantillons de petite anomalie négative en platine dans l'échantillon TE05 et positive en ruthénium dans les deux échantillons.

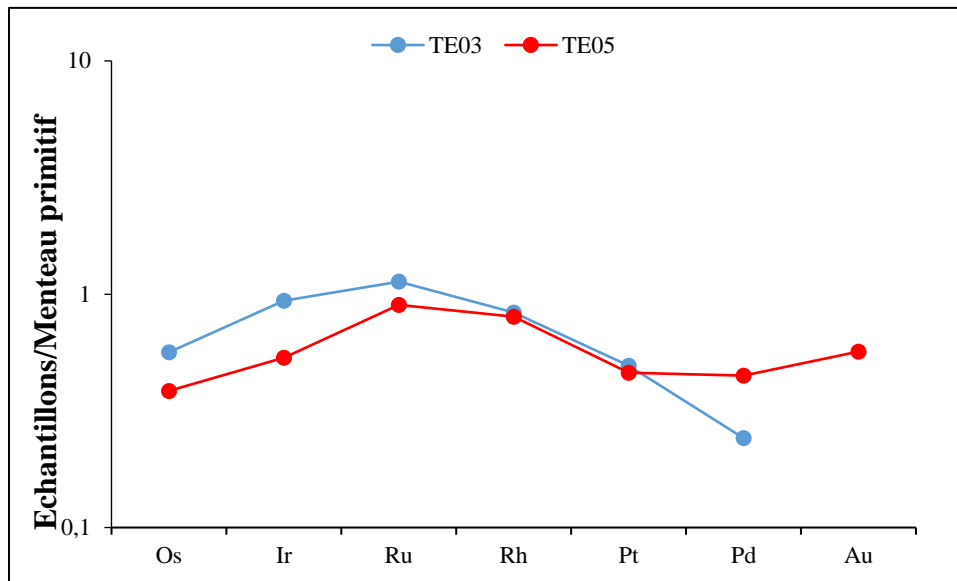


Figure 13: Spectres des Au-EGP normalisés par rapport au manteau primitif dans les péridotites de Tello (Lyubetskaya et Korenaga, 2007).

Conclusion

Les péridotites de Tello sont des enclaves mantelliques rencontrées dans les basaltes. L'analyse microscopique montre qu'elles ont une texture protogranulaire avec pour phases minérales : olivine, clinopyroxène, orthopyroxène et spinelle. Les péridotites de Tello sont caractérisées par des teneurs modérées et peu variables en SiO_2 et MgO et faibles en Al_2O_3 . Parmi les éléments traces, seuls Cr, Ni et Co ont des teneurs élevées. Les teneurs en terres rares sont faibles et la somme en LREE est plus élevée par rapport aux HREE. Les teneurs en Or et les éléments du groupe du platine sont faibles. Le ruthénium est l'élément le moins mobile, juste devant le platine dans les péridotites de Tello. Les spectres des Au-EGP normalisés par rapport au manteau primitif révèlent dans certain cas, de petite anomalie négative en platine et positive en ruthénium.

CHAPITRE IV : INTERPRETATION-DISCUSSION

VI.1. Synthèse des résultats

Cette synthèse concerne les résultats obtenus au cours de l'étude pétrographique et géochimique des péridotites de Tello.

VI.1.1. Pétrographie

Les enclaves de péridotites mantelliques sont denses, friables et de couleur vert-clair. L'analyse microscopique des péridotites montre qu'elles ont une texture protogranulaire et l'association minérale montre qu'elles sont constituées d'olivine (75-80%), orthopyroxène (12%), clinopyroxène (10%) et spinelle (5%).

L'analyse macroscopique de l'encaissant montre qu'il s'agit d'un basalte. L'encaissant est de couleur noir. L'analyse microscopique montre qu'il a une texture microlitique et l'association minérale est constituée d'olivine (35-50%), plagioclase (15-20%), clinopyroxène (12%) et orthopyroxène (8%).

VI.1.2. Géochimie

VI.1.2.1. Éléments majeurs

Les péridotites de Tello sont caractérisées par des teneurs modérées et peu variables en SiO_2 (43-44%), MgO (43-44%), Fe_2O_3 (8-9%) et celles en Al_2O_3 sont proches de 1%. La teneur des alcalins et alcalino-terreux ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}$) est élevée et se situe autour de 45 tandis que celles en TiO_2 et P_2O_5 sont très faibles. Le rapport SiO_2/MgO est de l'ordre de 1. Le silicium montre une forte corrélation négative avec l'aluminium, le fer, le sodium, le titane et le potassium. Le magnésium par contre possède une corrélation positive avec le silicium

VI.1.2.2. Éléments traces

Les éléments ayant des teneurs significatives dans les péridotites sont le chrome (2269-2270 ppm), le cobalt (110-114 ppm) et le nickel (2209-2458 ppm). Les éléments ayant des teneurs modérées sont le zinc (40-45 ppm), le vanadium (30-43 ppm), le baryum (13-25 ppm), le strontium (17-30 ppm) et le cuivre (10-14 ppm). Les autres éléments traces ont des teneurs très faibles dans les péridotites de Tello.

Les diagrammes binaires de quelques éléments traces présentent des corrélations négatives entre Zn vs Cr, Hf vs Cr, Ni vs V et des corrélations positives entre Y vs V, Sr vs Ba et Th vs Co. Par contre il n'y a pas de corrélation entre Mo vs Zr, Co vs Ni.

VI.1.2.3. Terres rares

La somme des teneurs en terres rares dans les péridotites de Tello oscillent entre 4 et 10 ppm avec des teneurs relativement plus élevées en Ce, Nd et La. On a donc un enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes ($\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ entre 6 et 15). L'indice de fractionnement est variable entre 6 et 23.

La normalisation des terres rares par rapport au manteau primitif (Lyubetskaya et Korenaga, 2007) montre que les terres rares dans les péridotites de Tello présentent un comportement similaire.

VI.1.2.4. Or et éléments du groupe de platine

Les concentrations en Au-EGP ont de faibles valeurs. L'étude de la mobilité des Au-EGP montre que le rhodium, le palladium et l'osmium plus mobiles par rapport au platine. Le ruthénium est l'élément le moins mobile, juste devant le platine, parmi les Au-EGP dans les péridotites de Tello. Les teneurs en or sont très faibles et montrent que l'or est plus mobile que le platine. Les rapports d'EGPI/EGPP sont peu variables et proches de 1.

Les concentrations en Au-EGP ont été normalisées par rapport au manteau primitif (Lyubetskaya et Korenaga, 2007) et il en ressort que les péridotites de Tello sont caractérisées par des teneurs faibles en Au-EGP (Figure13). Les spectres révèlent de petite anomalie négative en platine et positive en ruthénium.

IV.2. Interprétation-discussion

IV.2.1. Classification des péridotites de Tello

Les péridotites de Tello sont caractérisées par des teneurs modérées et peu variables en éléments majeurs. Les teneurs modérées en SiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , caractérisent les roches ultrabasiques (Ngo Bidjeck, 2004 ; Ndjigui et al., 2008 ; Bilong et al., 2011). Ceci est confirmé par le rapport SiO_2/MgO proche de 1. Les teneurs faibles en Al_2O_3 , TiO_2 et les alcalins telques CaO et MnO montrent qu'on a une faible proportion des minéraux alumineux représentés par le spinelle. Ces teneurs montrent également que les matériaux ont très peu fondu (Sababa et al., 2015, Djokgoue et al., 2023).

Sur la base des compositions modales, l'étude pétrographique des échantillons examinés a permis de distinguer une roche mantellique ; les lherzolites. Ces péridotites sont représentées sous forme d'enclaves remontées par les laves basaltiques qui sont des témoins du manteau supérieur qui étaient situés entre les zones sources des magmas porteurs et le

Moho (Wilshire, 1987). Elles ont été arrachées accidentellement par les magmas lors de leur ascension vers la surface (Teitchou, 2008). Ces roches sont essentiellement constituées d'olivine, d'orthopyroxène et spinelle. La microtexture protogranulaire est caractérisée par une grande prédominance des joints curvilignes et une quasi absence des traces de déformation. Elle est caractéristique d'un manteau supérieur tectoniquement inactif (Mercier et Nicolas, 1975) ou d'une zone du manteau ayant échappé aux contraintes de la déformation plastique. Selon Mercier et Nicolas (1975) et Coisy et Nicolas (1978), la texture protogranulaire représente une lithosphère normale. Dans les modèles géodynamiques proposés par de nombreux auteurs (Witt et Seck, 1987 ; Coisy et Nicolas, 1978), les enclaves ayant cette microtexture pourraient provenir soit des régions du manteau situées dans la zone centrale d'un dôme d'asthénosphère, soit des régions les plus éloignées de ce dôme.

La figure 14 est un diagramme de phase pression-température créé par des études expérimentales sur des manteaux des roches de composition alumineuse de type lherzolite. Le diagramme montre que les lherzolites à spinelle observées dans cette étude ont été remontées par leurs magmas hôtes à des profondeurs allant de 35 à 80 km. L'encaissant à texture microlitique est constitué des olivine, orthopyroxène, clinopyroxène et plagioclase. La composition minéralogique des péridotites de Tello et de l'encaissant basaltique montre que :

- ces deux matériaux n'ont pas une même origine.
- la présence des minéraux indicateurs tels que le spinelle dans les péridotites et le plagioclase dans l'encaissant montre que les péridotites ont été les premiers à se former dans le manteau entre 30-80 km de profondeur (Figure 14). En l'absence de fusion partielle, ils sont remontés vers la croûte terrestre et ont été piégés dans les coulées basaltiques. La présence des spinelles suggère qu'elles ont été équilibrées dans le domaine de stabilité des péridotites mantelliques à spinelle avant leur charriage par les magmas basaltiques (Nkouandou et al., 2015).

Les enclaves de roches ultrabasiques et basiques du Cameroun seraient donc issues de plusieurs sources mantelliques. Les teneurs en silice et en fer dans les péridotites de Tello sont semblables à celles des péridotites du rif marocain (Gueddari et al., 1994) mais MgO reste nettement plus abondant dans ces dernières. Les rapports SiO_2/MgO peu variables, sensiblement égale à 1 montre que les péridotites de Tello sont saines à peu altérées. Ces résultats sont similaires à ceux des péridotites de Darang (Djokgoue Yonga et al., 2023).

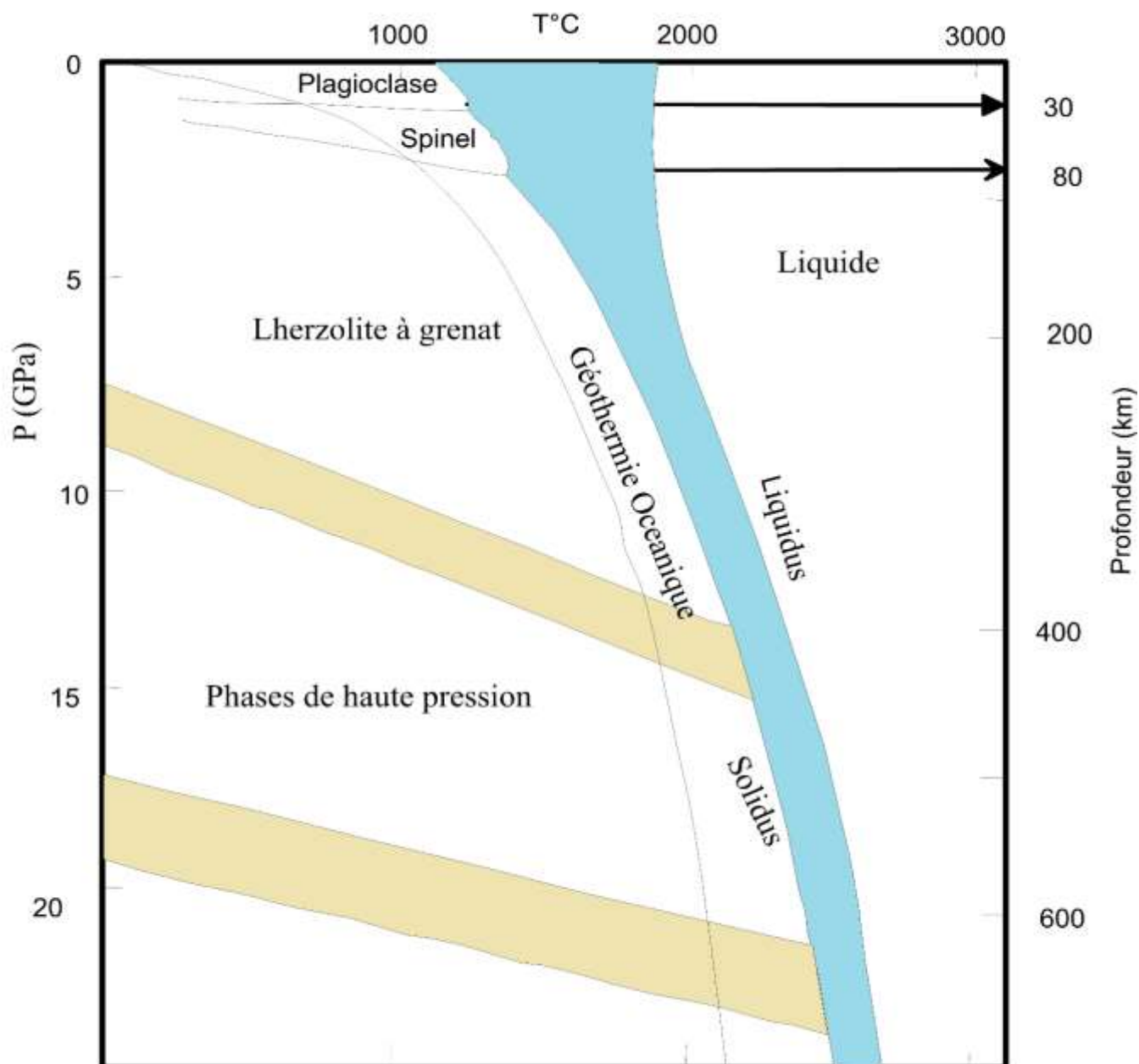


Figure 14 : Diagramme de phase de lherzolite alumineuse avec intervalle de fusion, les réactions sub-solides, et le gradient géothermique océanique (Wylli, 1981).

IV.2.2. Fusion partielle du manteau source

Les faibles teneurs en terres rares seraient dues à une faible proportion des minéraux porteurs des terres rares (allanite, monazite, xenotime et apatite par exemple) dans ces péridotites (Brand et al., 1998). L'hétérogénéité dans la distribution des terres rares des péridotites de Tello montre qu'elles n'ont pas subi les mêmes processus d'enrichissement ou d'appauvrissement. Ainsi, l'enrichissement relatif en terres rares légères seraient dû à la nature du manteau. Un comportement similaire est également observé dans les enclaves de

péridotites de Darang (Djokgoue et al., 2023). Les spectres des terres rares normalisées par rapport au manteau primitif (Lyubetskaya et Korenaga, 2007) montrent qu'elles ont une origine commune avec des enrichissements variables. Les rapports LREE/HREE sont élevés dans les roches et seraient dus au fait que les matériaux ont très peu fondus.

Les péridotites ne présentent pas d'anomalies en Ce et Eu. Les terres rares (cérium et l'europlum) dans le magma basaltique n'ont pas pu être incorporé dans les péridotites arrachés jusqu'à leurs mises en place (Duchesne et al., 2006).

Lors de la fusion partielle, certains éléments comme Al et Fe quittent les péridotites pour les liquides de fusion et leur concentration dans les roches diminue. Au contraire, d'autres éléments tels que Cr et Mg restent plutôt dans les résidus solides (Nana 2001 ; Uysal et al. 2012). Ainsi, les teneurs faibles en Al_2O_3 et Fe_2O_3 s'expliquent par la faible proportion en spinelle. Ainsi, les échantillons de Tello pourraient avoir subi très peu de fusion partielle. Ceci est confirmé par la texture protogranulaire. En outre, lorsqu'une source mantellique subit une fusion partielle, les éléments du groupe platine sont fractionnés. Or les rapports EGPP/EGPI sont proche de 1 ; ce qui témoignent une faible fusion partielle.

IV.2.3. Comportements des Au-PGE dans les péridotites de Tello

Les teneurs en Au-EGP dans les roches du manteau sont contrôlées par plusieurs processus pétrologiques.

Parmi ces processus, la fusion partielle et l'altération hydrothermale sont les principaux facteurs qui contrôlent la redistribution et le fractionnement des Au-EGP dans les roches du manteau (Barnes et al., 1988). En général, les faibles teneurs en PGE dans les péridotites sont dues à une faible proportion de minéraux porteurs (Godel et al., 2007). Au vu des teneurs en or d'une part et en EGP d'autre part, il se dégage une certaine incompatibilité entre ces éléments. Ainsi, l'or et les éléments du groupe du platine ne se concentreraient pas dans les mêmes phases minérales dans les péridotites de Tello. Le comportement de l'or dans ces roches serait lié à la faible proportion des minéraux sulfurés qui caractérise les péridotites (Maier et Barnes, 1999).

Le rapport Pt/Ir très variable serait le résultat d'un enrichissement ou appauvrissement non homogène subi par les péridotites. Les rapports Pt/Au sont relativement élevées tandis que les rapports Pt/Ru sont faibles ; l'or et le ruthénium n'ont pas beaucoup d'affinité avec le platine. Les rapports Pt/Pd et Pt/Ir montrent des affinités significatives du palladium et de l'iridium vis-à-vis du platine dans les péridotites (Godel et Barnes, 2007).

Le comportement des EGP est lié à leur fractionnement lors de la mise en place des péridotites de Tello. On note un très léger enrichissement des éléments du groupe de l'iridium

(EGPI : Os, Ir et Ru) qui sont réputés libérés et concentrés dans le liquide magmatique par rapport aux éléments du groupe du platine et du palladium (EGPP : Rh, Pt et Pd) qui sont au contraire retenus dans leur source au cours de la fusion partielle (Gueddari et al., 1994 ; Ahmed et al., 2009).



CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

I. CONCLUSION GENERALE

La Région de l'Adamaoua est située au centre du Cameroun entre les latitudes 6° et 10° Nord et les longitudes 12° et 16° Est avec une altitude moyenne de 1100 m. Cette région est caractérisée par un climat tropical soudanien scindé à deux saisons inégalement réparties. L'analyse géomorphologique de la localité fait ressortir quatre grands ensembles géomorphologiques et a un fort potentiel hydrographique. Les sols rencontrés sont essentiellement ferrallitiques dans sa majeure partie.

Le plateau de l'Adamaoua a connu une activité volcanique importante. Les édifices issus de l'activité volcanique dans le plateau de l'Adamaoua, à l'exception de ceux du dynamisme extrusif, sont à l'origine des magmas basaltiques épanchés à la surface de la terre. Au cours de leur ascension, ces magmas ont charrié les enclaves des péridotites mantelliques. En vue d'une prospection de l'or et des EGP (platine et palladium), des études pétrographiques et géochimiques ont été effectuées sur les enclaves de péridotites dans la localité de Tello. Ces enclaves de péridotites sont verdâtres à structure vacuolaire et a texture protogranulaire. Elles sont constituées d'olivines, orthopyroxène, clinopyroxène et spinelle. L'encaissant a une texture microlitique et est constitués d'olivine, orthopyroxène, clinopyroxène et des baguettes de plagioclase.

Les péridotites de Tello ont des teneurs modérées en SiO_2 et MgO . Les concentrations en Fe_2O_3 sont variables et faibles en Al_2O_3 , CaO , Na_2O , MnO , K_2O , TiO_2 et P_2O_5 . Hormis le nickel, Cr et Co qui ont des teneurs élevées, les péridotites ont des teneurs faibles en éléments traces. Quoique les teneurs en terres rares soient aussi faibles, on relève un enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes. La normalisation des terres rares ne montre aucune anomalie en Eu et Ce. Ces terres rares présentent un comportement similaire. Par ailleurs, l'or et les éléments du groupe du platine ont des teneurs faibles. Il y'a une incompatibilité qui existerait entre les EGP et l'or dans ces matériaux. L'étude de la mobilité de Au-EGP montre que le rhodium, le palladium et l'osmium sont les éléments les plus mobiles Parmi les Au-EGP par rapport au platine. Le ruthénium est l'élément le moins mobile.

Les rapports EGPI/EGPP indiquent des enrichissements en EGPI par rapport aux EGPP. Les spectres de Au-EGP révèlent de petite anomalie négative en platine et positive en ruthénium. Sur la base des compositions modales, l'étude pétrographique des échantillons examinés a permis de distinguer une roche mantellique, il s'agit des lherzolites. Les péridotites en enclaves n'auraient pas subi une fusion partielle et sont saines à peu altérées.

Sur le plan économique, les données montrent que les teneurs en Au-EGP sont faibles dans les péridotites de Tello. Ainsi, ces matériaux ne sauraient constituer un indice potentiel pour la prospection de l'or et éléments du groupe du platine.

II.PERSPECTIVES

Le présent mémoire est centré sur la pétrologie des enclaves de péridotites dans le massif de Tello dans le but de rechercher les éléments du groupe du platine (platine, palladium). C'est une contribution à la connaissance du manteau supérieur sous le plateau de l'Adamaoua. Dans les travaux à venir, il faudra prendre en compte les autres massifs qui pourraient montrer des résultats plus intéressants.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahmed, H.A., Shoji, A., Yaser, M.A.-A., Moha, I., Abdellatif, R. (2009). Platinum-group elements distribution and spinel composition in podiform chromitites and associated rocks from the upper mantle section of the Neoproterozoic Bou Azzerophiolite, AntiAtlas, Morocco. *Journal of Africa Earth Sciences*, 55:92–104.
- Andersen, J. C., Thalhammer, O. A., & Schoenberg, R. (2002). Platinum-Group Element and Re-Os Isotope Variations of the High-Grade Kilvenjärvi Platinum-Group Element Deposit, Portimo Layered Igneous Complex, Finland. *Economic Geology*, 101 : 159-177.
- Aye, A.B., Tessontsap, T., Ndjigui, P-D. (2012). Behaviour of Au-PGE in amphibolites and their weathered equivalents in the NW border of the Congo Craton (South-Cameroon). In extended abstracts, 11th International Platinum Symposium.
- Aye, A.B., Sababa, E., Ndjigui, P-D. (2017). Geochemistry of S, Cu, Ni, Cr and Au-PGE in the garnet amphibolites from the Akom II area in the Archaean Congo Craton, Southern Cameroon. *Chemie der Erde*, 77: 81–93
- Barnes, S-J., Maier, W.D. (2000). Platinum-group elements and microstructures of normal Merensky Reef from Impala platinum Mines, Bushveld Complex. *Journal of Petrology*, 43 : 103-128.
- Barnes, S.-J., Boyd, R., Korneliussen, A., Nilsson, L.-P., Often, M., Pedersen, R.-B., Robins, B. (1988). The use of mantle normalization and metal ratios in discriminating between the effects of partial melting, crystal fractionation and sulphide segregation on platinum-group elements, gold, nickel and Cu: examples from Norway. In: Prichard, H.M., Potts, P.J., Bowles, J.F.W., Cribbs, S.J. (Eds.), *Geo-platinum 87 Symp.* Elsevier, London. 113–143.
- Bessole, B., Trompette, R. (1980). La chaîne panafricaine «zone mobile d’Afrique centrale (partie Sud) et zone mobile soudanaise». *Mémoire du BRGM*, 92: 396.
- Bilong, P., Ndjigui, P.-D., Temdjim, R., Sababa, E. (2011). Geochemistry of peridotite and granite xenoliths during the early stage of weathering in the Nyos volcanic region (NW Cameroon): implications for PGE exploration. *Chemie der Erde*, 71 : 77-86.
- Boyle, R.W. (1979). The geochemistry of gold and its deposits. Geological Survey. Canadian Bulletin, 280.

- Braun N.W., Butt, C.R.M., Elfes, M. (1998). Nickel laterites: classification and features. *Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17: 81-88.
- Coisy, A., Nicolas. (1978). Regional structure and geodynamics of the upper mantle beneath Massif Central. *Nature*, 274 (5670) : 429-432.
- Dautria, J.M., Girod, M. (1986). Les enclaves de lherzolite à spinelle et plagioclase du volcan de Dibi (Adamaoua, Cameroun): des témoins d'un manteau supérieur anormal. *Bull. Mineral*, 109 : 275-288.
- Déruelle, B., Bardintzeff, J-M., Cheminée, J-L., Ngounouno, I., Lissome, J., Nkoumbou, C., Étamé, J., Hell, J-V., Tanyileke, G., N'ni, J., Ateba, B., Ntepe, N., Nono, A., Wandjij, P., Fosso, J., David G. Nkouathio, D.G. (1987). Éruptions simultanées de basalte alcalin et de hawaiiite au mont Cameroun, *Earth and Planetary Sciences*, 331 : 525–531.
- Djokgoue Yonga, F.K., Sababa, E., Ndjigui, P.D. (2023). Platinum-group element geochemical constraints on mantle heterogeneity and petrogenesis along the Cameroon Volcanic Line. *Arabian Journal of Geosciences*, 16 : 598.
- Duchesne, J.C., Shumlyansky, L., Charlier, B., 2006. The Fedorivka layered intrusion (Korosten Pluton, Ukraine); an example of highly differentiated ferrobasaltic evolution. *Lithos* 89, 353–376.
- Dumort, J.C. (1968). Notice explicative sur la feuille Douala-Ouest et carte géologique de reconnaissance au 1:500000, *Bull. BRGM*.
- Ebah Abeng, A.S., Ndjigui, P.-D., Aye, A.B., Tessontsap Teutsong., Bilong, P. (2012). Geochemistry of pyroxenites, amphibolites and their weathered products in the Nyong unit, SW Cameroon: Implications for Au-PGE exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 114: 1-19.
- Ebah Abeng, A.S., Ndjigui, P.-D., Minyem, D., Yongue-Fouateu, R., Bilong, P. (2007). Les PGE dans les pyrigarnites de la ceinture de roches vertes de l'unité du Bas-Nyong à Lolodorf (Sud-Cameroun) : données préliminaires. In abstracts du 5^e Colloque International 3 MA, Fès (10-12 Mai 2007) : 91-93.
- Fagny, M.A., Nkouandou, O.F., Bardintzeff, J.M., Temdjim, R., Hervé, Guillou. (2017). Pétrologie du volcanisme Eocène-Oligocène du massif de Tchabal Mbabo, Adamaou-Cameroun, Afrique centrale. *Afrique Science*, 12 : 35-47.

- Foucault, A., Raoult, J.F., 2000. Dictionnaire de géologie. Ed. Dunod, 380 p.
- Ganwa, A. A., Klötzli, U.S., Christoph, H. (2016). Evidence for Archean inheritance in the prepanafrican crust of central Cameroun: Insight from Zircon Internal Structure and LaMc ICP- MS U/Pb ages. *Journal of African Earth Sciences* 120 : 12-22.
- Ghogomu, R.T., Njilah, I.K., Ayonghe, S.N., Njumbe, E.S., Eno Belinga, S. (1999). The 1999 eruption of Mount Cameroon. In *Géologie et Environnements au Cameroun*, Vicat J.P. et Bilong P. éd., Collect. Géocam, 2/1999, Presses Universitaires Yaoundé, 363-366.
- Gueddari, K., Piboule, M., Amosse, J. (1994). Comportement des éléments du groupe du platine (PGE) dans les ultrabasites des Beni Bousera (Rif, Maroc) : données préliminaires. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t.318, Série II, 79-86.
- Godel, B., Barnes, S.-J., Maier, W.D. (2007). Platinum-group elements in sulphide minerals, platinum-group minerals, and whole-rocks of the Merensky reef (Bushveld complex, South Africa): implications for the formation of the reef. *Journal of Petrology* 48 : 1569-1604.
- Harcouët, V. (2005). Modélisations thermiques de gisements orogéniques mésothermaux: application au Ghana (Doctoral dissertation, Institut de physique du globe de paris-IPGP).
- Itiga Zénon., Chakam Tagheu P.J., Wochoko P., Wandji P., Bardintzeff J.M., Bellon H. (2004). La Ligne du Cameroun : volcanologie et géochronologie de trois régions (mont Manengouba, Plaine de Noun et Tchabal Gangdaba). *Géochronique*, Paris. Soc. Geol. France et BRGM, 91 : 13-16.
- Labbé, J.F., Dupuy, J.J. (2014). Panorama mondial 2012 du marché des platinoïdes. Rapport publique. BRGM/RP -63169-FR, 215p., 78Fig., 42 tab.
- Laplaine L. et Bessoles B. (1969). Bulletin N°5 de la DMG/MINMEE. Indices miniers et ressources minérales du Cameroun ; synthèse simplifiée des connaissances sur la géologie du Cameroun. Archives DMG/MINMEE Yaoundé-Cameroun.
- Lasserre, M. (1962). Etude géologique de la partie orientale de l'Adamaoua (Cameroun Central) et les principales sources minéralisées de l'Adamaoua. *Bull. Dir mines et géologie du Cameroun*, 4 : 1-50.

- Lyubetskaya, T., Korenaga, J. (2007). Chemical composition of Earth's primitive mantle and its variance: 1. Method and results. *J Geophys Res*, 112: B03211.
- Letouzey, R. (1985). Notice de la Carte phytogéographique du Cameroun au 1/500.000. Institut de la carte de végétation, Toulouse, 240.
- Maier, W.D. and Barnes, S.-J. (1999). The origin of the sulphide deposits in the Curaca Valley, Bahia, Brazil: evidence from Cu, Ni, Sc and Platinum-Group Element concentration. *Bulletin of the society of economic geologists* 94: 165-183.
- Malla Noubisi, H.C. (2022). Contribution à l'étude de l'altération des pyroxénites du groupe de Yaoundé (site de Mamb) ; implication pour l'exploration des éléments utiles Nickel, Cobalt, Or et Element du Groupe du Platine. Thèse PhD. Université de Yaoundé 1, 179p.
- Menard, J.J., Wandji, P., Deruelle, B., Ezangono Tolo, J.M. (1998). Le volcan de Djinga (Adamaoua– Cameroun) Géologie et Pétrographie. *Géosciences au Cameroun*, Vicat J.P., et Bilong P. éd., collect. GEOCAM, Press. Univ. Yaoundé, 185-190.
- Mercier et Nicolas. (1975). Textures and fabrics of upper-mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts. *Journal of Petrology* 16 : 454-487.
- Minyemeck, E.A. (2006). Les amphibolites et talcschistes du secteur de Pouth-Kéllé (plaine côtière du Cameroun) : pétrographie, minéralogie, géochimie et prospection géochimique du platine, palladium et or. DEA, Univ. Yaoundé I, 85p.
- Moreau C., Regnault J.M., Déruelle B., Robineau B. (1987). A new tectonic model for the Cameroon line, Central Africa. *Tectonophysics*, 139 : 317–334.
- Nana, R. (2001). Pétrologie des péridotites en enclaves dans les basaltes alcalins récents de Nyos : apport à la connaissance du manteau supérieur de la ligne du Cameroun. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Yaoundé I, 220 p.
- Naldrett, A.J. (1989). *Magmatic Sulfide Deposits*. Oxford Monographs on Geology and Geophysics no. 14. Vii, 186 p. New York, Oxford: Oxford University Press. ISBN 0 19 505119 X.

- Ndjigui, P.-D., Bilong, P. (2010). Platinum-group elements in the serpentinite lateritic mantles of the Kongo- Nkamouna ultramafic massif (Lomié region, South-East Cameroon). *Journal of Geochemical Exploration* 107: 63-76.
- Ndjigui, P.-D., Yongué-Fouateu, R., Bilong, P., Bayiga, E. C., Oumarou, M. (2009). Geochemical survey of Pt, Pd and Au in the talcschists and the hornblendites, and in their weathered equivalents at Pouth-Kellé, Southern Cameroun. *Journal of the Cameroon*.
- Ndjigui, P.-D. (2008). Behaviour of palladium in three lateritic profiles developed on serpentinite in the Lomié ultramafic complex (South-East Cameroon). *Journal of the Cameroon Academy of Sciences* 7: 166-181.
- Ndjigui, P.-D., Mungall, J.E., Bilong, P. (2003). Behaviour of PGE in the Mang North weathering profile on serpentinite in the Lomié ultrabasic complex (South-East Cameroon). In *Recent Advances in Magmatic ore systems in Mafic-UM rocks*. 129-132.
- Ngako, V. (1999). Les déformations continentales panafricaines en Afrique centrale : résultat d'un poinçonnement de type himalayen. Thèse de doctorat d'Etat ès Sciences naturelles Université de Yaoundé I, 240p
- Ngo Bidjeck, L.-M. (2004). L'altération des roches basiques et ultrabasiqes du Sud-Ouest Cameroun et ses implications métallogéniques. Cas du complexe d'Abiété-Yenjok. PhD thesis, Université de Yaoundé I, 267 pp.
- Ngounouno, I., Nguindhama, D., Kamgang, P., Déruelle, B. (2008). Petrology of spinel lherzolite xenoliths in alkali basalts from Liri South of the Kapsiki plateau (Northermost Cameroun Hot Line). *Journal of the Cameroon Academy of Sciences*, 8: 31-42.
- Nguetnkam, J.P., 1994. Etude d'une toposéquence des sols sur granite dans la région de Mvangan (Sud-Cameroun). Caractérisation de deux domaines de pédogenèse différenciés. Thèse. Doct. 3^{ème} cycle, Univ. de Yaoundé I, 65 p.
- Nguindhama, D., Chazot, G., Kamgang, P., Mbowou, G., Isaac, B., Ngounouno, I. (2016). Spinel- Bearing Lherzolite Xenoliths from Hosséré Garba (Likok, Adamaoua-Cameroun): Minéral Composition and Geothermobarometric implications. *International Journal of Geosciences*, 5: 1435-1444.

- Njombie, M-P., Temdjim, R., Foley, S-F. (2018). Petrology of spinel lherzolite xenoliths from Youkou volcano, Adamawa Massif, Cameroon Volcanic Line: mineralogical and geochemical fingerprints of sub-rift mantle processes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 173: 450-463.
- Nkouandou, O.F., Bardintzeff, J.M., Fagny, A.M. (2015). Sub-continental lithospheric mantle structure beneath the Adamawa plateau inferred from the petrology of ultramafic xenoliths from Ngaoundere (Adamawa plateau, Cameroon, Central Africa) *Journal of African Earth Sciences*, 111: 26-40.
- Nkouandou O.F., Ngounouno I., Déruelle B., Ohnenstetter D., Montigny R., Demaiffe D. (2007). Petrology of the moi-Pliocene volcanism to the north and the East of Ngaoundéré (Adamaoua, Cameroun). *C. R. Acad. Sci., Elsevier Masson SAS*, 340 : 28-37.
- Nkoumbou, C., Barbey, P., Yonta-Ngouné, C., Paquette, J.L., Villiéras, F. (2015). Pre-collisional context of the southern margin of the Pan-African fold belt in Cameroon. *Journal of African Earth Sciences*, 99: 245-260.
- Ntep, G., Dupuy, J., Matip, O., Fomboutou, A. & Kalngui, E. (2001). Ressources minérales du Cameroun : Notice explicative de la carte schématique des ressources minérales du Cameroun sur fond géologique. Cameroun : Editions SOPECAM.
- Nono, A., Déruelle, B., Demaiffe, D., Kambou, R. (1994). Tchabal Nganha volcano in Adamawa (Cameroon): petrology of a continental alkaline lava series: *Journal of Volcanology and geothermal research*, 60: 147-171.
- Nzakou Tsepeng, J.A. (2018). Caractères pétrographiques et minéralogiques des enclaves mantelliques exhumées par le volcan Ngao Bilta, 35 km Sud-Est Ngaoundéré (Adamaoua, Ligne du Cameroun). *Mémoire Master 2. Université de Yaoundé 1*, 122p.
- Nzenti, J.P., 1988. Pétrogenèse des migmatites de Yaoundé (Cameroun) : éléments pour un modèle géodynamique de la chaîne panafricaine nord-équatoriale. Thèse, Univ. Nancy I, 147p.
- Olivry, J.-C. (1986). Fleuves et rivières du Cameroun. *Monographies hydrologiques ORSTOM N°9*, éd.
- Pintér Z., Patko L., Joelle F., Djoukam T., Kovacs I., Tchouankoue J.P., Gyorgy F.,

- Zoltan Z., Tommasi A., Barou F., Mihaly J., Nemeth C., Jeffries T. (2015). Characterization of the sub- continental lithospheric mantle beneath the Cameroon volcanic line inferred from alkaline basalt hosted peridotite xenoliths from Barombi Mbo and Nyos Lakes. *J. Afr. Earth Sci*, 111 : 170–193.
- Sababa, E., Ndjigui, P.-D., Ebah Abeng, S.A., Bilong, P. (2015). Geochemistry of peridotite xenoliths from the Kumba and Nyos areas (southern part of the Cameroon Volcanic Line): Implications for Au– PGE exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 152 : 75–90.
- Sababa, E., Gentry, F. C., Ndjigui, P. D., Onana, P. N., Seyoa, D. T. (2021). Petrography and geochemistry of sulfurous volcanic scoria from mount Cameroon area, Central Africa: Implications for Au-PGE exploration. *Journal of African Earth Sciences*, 176: 104144.
- Segalen, P. (1967). Les sols et la géomorphologie du Cameroun. *Cah.ORSTOM, sér.Pédol*,2: 137-187.
- Semé Mouangué, A.C. (1998). Géochimie, métamorphisme et métallogénie des formations ultrabasiques du secteur Est de Lomié (Sud-Est Cameroun). Thèse 3^{ème} cycle, Univ. de Yaoundé I, 155 p.
- Shang, C.K., Satir, M., Siebel, W., Nsifa, E.N., Taubald, H., Liégeois, J.P., Tchoua, F.M. (2004). TTG magmatism in the Congo craton; a view from major and trace element geochemistry, Rb–Sr and Sm–Nd systematics: case of the Sangmelima region, Ntem complex, southern Cameroon. *Journal Africa of Earth Sciences*. 40: 61–79.
- Sighomnou, D. (2004). Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun : perspective d'évolution des ressources en eau. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Yaoundé I, 290p.
- Skinner, B. J. (1976). Second iron age ahead. *Am. Sci.:(United States)*, 64(3).
- Tchameni, R., Pouclet, A., Penaye, J., Ganwa, A. A., Toteu, S.F. (2006). Pétrography and geochemistry of Ngaoundéré Pan-African granitoids in Central North Cameroon: implications for their sources and geological setting. *J. Afr. Earth Sci*, 44 : 511-529.
- Teitchou, M.I. (2007). Volcanologie, pétrologie et géochimie comparées de quelques plaines Continentales (Kumba, Tombel, Noun, Nyos) de la ligne du Cameroun. Thèse, Univ. Yaoundé I, 251p.

- Temdjim, R., Wagsong, M.P.N., Tsepeng, A.J.N., Foley, S. (2020). Variation in mantle lithology and composition beneath the Ngao Bilta volcano, Adamawa Massif, Cameroon volcanic line, West-central Africa. *Geoscience Frontiers*, 11 : 665-677.
- Temdjim, R. (2012). Ultramafic xenoliths from Lake Nyos area, Cameroon volcanic line, West-central Africa: petrography, mineral chemistry, equilibration conditions and metasomatic features. *Chemie der Erde*. 72 : 39–60.
- Temdjim R., Boivin P., Chazot G., Robin C., Roulleau E. (2004). L'hétérogénéité du manteau supérieur à l'aplomb du volcan de Nyos (Cameroun) révélée par les enclaves ultrasasiques. *C. R. Geosci*, 336 : 1239–1244.
- Toteu, S.F., Van Schmus, W. R., Penaye, J., Michard A. (2004). New U-Pb and Sm-Nd data from north central Cameroon and bearing on the pre-panafrican history of central Africa. *Precambrian Research*, 67: 45-73
- Varajão, C.A.C., Colin, F., Vieillard, P., Melfi, A.J., Nahon, D. (1999). Early weathering of palladium gold under lateritic condition, Maquiné Mine, Minas Gerais, Brazil. *Applied Geochemistry*, 15: 257-275.
- Vicat, J.P., Bilong, P. (2001). éd. *Collect. GEOCAM 2*, Press. Univ. Yaoundé I, 189-201.
- Wilshire, H.G. (1987). A model of mantle metasomatism. *Geology Society of America* 215: 47-60.
- Witt, H.A., Seck. (1987). Temperature history of sheared mantle xenoliths from the West Eifel, West Germany: evidence for mantle diapirism beneath the Rhenish. *Journal of petrology*, 28: 475-493.
- Yongué-Fouateu, R., 1995. Les concentrations métallifères de nickel et de cobalt à partir de l'altération latéritique des roches ultrabasiques serpentinisées du Sud-Est du Cameroun. Thèse Doct. D'Etat, Univ. de Yaoundé I, 262 p.
- Zientek, M.L., Cooper, R.W., Corson, S. R., Geraghty, E. P. (2002). Platinum-group element mineralization in the Stillwater Complex, Montana.