

Sommaire

DEDICACES	I
REMERCIEMENT	II
RESUME	III
LISTE DES FIGURES.....	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
LISTE DES PLANCHES.....	IX
PREMIERE PARTIE : INTRODUCTION GENERALE.....	1
I) JUSTIFICATION, OBJECTIF, METHODOLOGIE, ET PLAN DU MEMOIRE.....	2
I.1) Justification et objectif du mémoire.....	2
I.2) Méthodologie	2
I.3) Plan du mémoire.....	2
II) CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE	3
II.1) Cadre géographique	3
II.1.1) Situation géographique	3
II.1.2) Relief.....	3
II.1.3) Climat.....	3
II.1.4) Végétation	3
II.1.5) Réseau hydrographique.....	3
II.1.6) Population	4
II.1.7) Faune.....	4
II.1.8) Voie de communication	4
II.2) Contexte géologique	4
II.2.1) Le Craton Ouest Africain.....	4
II.2.2) Contexte géologique de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba.....	7
II.2.2.1) Le groupe de Mako	9
II.2.2.2) Le Groupe de Dialé-Daléma	11
DEUXIEME PARTIE : ETUDE PETROGRAPHIQUE DES ROCHES VOLCANIQUES BASIQUES DU GROUPE DE MAKO	13
INTRODUCTION.....	14

I).LES METABASALTES THOLEIITIQUES DU SECTEUR NORD DU GROUPE DE MAKO	14
.....	14
I.1) Contexte géologique du secteur Nord.....	14
I.2) Localisation et description des affleurements.....	14
I.2.1) Localisation des affleurements.....	14
I.2.2) Description des affleurements.....	15
I.3) Caractère pétrographique.....	16
I.3.1) Les coulées en pillows.....	16
I.3.2) Les coulées massives.....	17
II) LES BASALTES THOLEITIQUES DANS LA PARTIE CENTRALE DU GROUPE DE MAKO	17
.....	17
II.1) Contexte géologique général.....	17
II.2) Localisation et description des affleurements.....	18
II.2.1) Localisation des affleurements.....	18
II.2.2) Description des affleurements.....	19
II.3) Caractères pétrographiques.....	20
II.3.1) Les laves en pillows.....	20
II.3.2) Les coulées de laves massives.....	21
III) LES METABASALTES THOLEITIQUES DU SECTEUR SUD DU GROUPE DE MAKO	21
.....	21
III.1) Contexte géologie générale.....	21
III.2) Localisation et description des affleurements.....	22
III.2.1) Localisation des affleurements.....	22
III.2.2) Description des affleurements.....	22
III.3) Caractères pétrographiques.....	23
III.3.1) Les metabasaltes en pillows.....	23
III.3.2) Les coulées des laves massives.....	24
TROISIEME PARTIE : ETUDE GEOCHIMIQUE DES ROCHES BASALTIQUES DU GROUPE DE MAKO.....	27
INTRODUCTION.....	28
I. GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS ET DES ELEMENTS EN TRACES.....	29

I.1) Variations des éléments majeurs	29
I.2) Variation des éléments en traces	34
II.) GEOCHIMIE DES TERRES RARES	38
III.) CLASSIFICATION ET AFFINITE MAGMATIQUE.....	41
III .1) Classification	41
III.1.1) Diagrammes Bas et al. (1986) et SiO ₂ /Na ₂ O+K ₂ O de Middlemost (1994).....	41
III.1.1a) Diagramme de Bas et al. (1986)	42
III.1.1.b) Diagramme de Middlemost (1994).....	43
III.2) Affinité magmatique.....	43
III.2.2) Diagramme triangulaire AFM (Irvine et Barrager, 1971)	43
IV) CONTEXE GEODYNAMIQUE	44
IV.1) Diagramme de pearce et al (1977)	44
IV.2) Diagramme de Mullen (1983)	45
QUATRIEME PARTIE : ETUDE COMPARATIF	47
D) ETUDE COMPARATIVE A L'ECHELLE DU GROUPE DE MAKO	48
I.1) Comparaison pétrographique de roche basaltiques thoeiilitiques entre les differents secteurs du groupe de Mako (Bouttonniere de kedougou-kenieba)	48
I.2) Comparaison géochimique des roches basaltiques tholeiitiques entre les differents secteurs du groupe de Mako.	49
Introduction.....	49
I.2.1) Comparaison entre les éléments majeurs	49
I.2.2) Comparaison entre les éléments en traces	50
I.2.3) Comparaison entre les terres rares	51
II) COMPARAISON A L'ECHELLE DU CRATON OUEST AFRICAIN : CAS DU SECTEUR DE LA SIRBA(NIGER)	52
II.1) Comparaison entre les éléments majeurs.....	52
II.2) Comparaison entre les éléments en traces	53
II.3) Comparaison entre les terres rares	54
CONCLUSION GENERALE.....	55
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	57
ANNEXES.....	I

Tableau I : Analyses des éléments majeurs et des éléments en traces des basaltes tholeiitiques du secteur Nord du groupe de Mako (Dia, 1988 ; Diallo, 1994 et Dioh, 1995) *II*

Tableau II : Analyses des éléments majeurs et des éléments en traces des basaltes tholeiitiques du secteur central du groupe de Mako (Ngom, 1985, 1995 et Diallo, 1994) *III*

Tableau III : Analyses des éléments majeurs et des éléments en traces des basaltes tholeiitiques du secteur sud du groupe de Mako (Diallo, 1994 ; N gom, 1995 ; Cissokho, 2010 et Labou, 2019) *IV*

Tableau IV : Analyses des terres rares des basaltes tholeitiques du groupe de Mako (Dia, 1988 ; Dioh, 1995 ; Ngom, 1995, Cissokho, 2010 et Labou, 2019) *V*

Tableau V : Analyses des éléments majeurs, traces et de terres rares des basaltes tholeiitiques du secteur de Sirba (au Niger) *VI*

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte géologique du Craton Ouest Africain (Lamine lukanga Diane modifiée).....	5
Figure 2 : Carte géologique de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba (Bassot 1966, modifiée)..	8
Figure 3 : Modèle lithologique du groupe de Mako (Dia <i>et al.</i> , 1997).....	10
Figure 4 : Localisation géographique des sites d'affleurements des basaltes dans le secteur Nord du groupe de Mako.	15
Figure 5 : Localisation géographique des sites d'affleurements des basaltes dans le secteur central du groupe de Mako.	19
Figure 6 : Localisation géographique des sites d'affleurements des basaltes dans le secteur Sud du groupe de Mako.	22
Figure 7 : Variation des principaux éléments majeurs en fonction de mg# dans les metabasaltes tholeiitiques du groupe de Mako.....	33
Figure 8 : Variation des principaux éléments en traces en fonction de mg# dans les metabasaltes tholeiitiques du groupe de Mako.....	37
Figure 9 : Spectres de terres rares normalisées aux chondrites dans les laves du secteur Nord ...	40
Figure 10 : Spectres de terres rares normalisées aux chondrites dans les laves du secteur central	40
Figure 11 : Spectres de terres rares normalisées aux chondrites dans les laves du Secteur Sud ..	41
Figure 12 : Diagramme de Bas et al. (1986).....	42
Figure 13 : Diagramme de Middle most (1994)	43
Figure 14 : Diagramme triangulaire AFM (Irvine et Barrager, 1971).....	44
Figure 15 : Diagramme de pearce et al (1977)	45
Figure 16 : Diagramme de Mullen (1983) : OIT= tholérites océaniques d'arc insulaire, MORB= basaltes des médies-océaniques, IAT= tholérites d'arc insulaire ;OIA = basaltes alcalins océaniques. CAB=basaltes calco- alcalins	46
Figure 17 : comparaison des spectres des moyennes des terres rares des metabasaltes des différents secteurs du groupe de Mako	52
Figure 18 : Comparaison des spectres des moyennes des terres rares des metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako avec celui de Sirba.....	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Comparaison de la composition petrographique des metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako.	48
Tableau 2 : Valeurs extremes et valeurs moyennes de teneurs en elements majeurs dans les metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako.....	49
Tableau 3 : Valeurs extremes et valeurs moyennes des éléments en traces dans les metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako	50
Tableau 4 : valeurs extremes et valeurs moyennes des éléments majeurs dans les metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako et de la Sirba.	53
Tableau 5 : valeurs extremes et valeurs moyennes des éléments en traces dans les metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako et du secteur de la sirba.	53

LISTE DES PLANCHES

Planche 1 : Texture des basaltes tholeiitiques du secteur sud du groupe de Mako.	25
---	----

**PREMIERE PARTIE :
INTRODUCTION GENERALE**

D) JUSTIFICATION, OBJECTIF, METHODOLOGIE, ET PLAN DU MEMOIRE.

I.1) Justification et objectif du mémoire.

Les formations birimiennes attribuées au volcanisme tholeiitique du Sénégal oriental ont fait l'objet de nombreux travaux géologiques et miniers. Ces travaux ont permis de comprendre les caractères structuraux, pétrographiques, minéralogiques, géochimiques et géochronologiques des roches étudiées. Cependant, tout en reconnaissant l'importance des résultats obtenus, nous pensons que les travaux complémentaires demeurent toujours nécessaires. Ainsi, le présent travail a pour objectif majeur d'apporter une contribution à la connaissance de la géologie du groupe de Mako à travers une étude du volcanisme tholeiitique dans tous les secteurs où ils affleurent, afin de mener une étude comparative pour mettre en évidence les analogies ou les particularités des roches volcaniques de différents secteurs où elles affleurent.

I.2) Méthodologie

Pour atteindre l'objectif ainsi fixé, nous avons adopté la méthodologie suivante :

- des études bibliographiques portant sur la géologie générale du Craton Ouest Africain, de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba et en particulier sur celle du groupe de Mako ;
- une synthèse bibliographique portant exclusivement sur le volcanisme tholeiitique du groupe de Mako ;
- des travaux de laboratoire portant sur des observations microscopiques de lames minces réalisées sur les échantillons des roches volcaniques basiques.
- des analyses et traitements des données géochimiques disponibles dans les roches basaltiques des différents secteurs étudiés.

I.3) Plan du mémoire

Le présent mémoire s'articule autour de quatre parties. La première partie est consacrée aux cadres géographique et géologique. La seconde partie est basée sur l'étude lithologique et pétrographique. La troisième partie, concerne les études géochimiques des metabasites tholéitiques du groupe de Mako. La quatrième partie est consacrée à l'étude comparative et interprétative des résultats obtenus. Enfin, une conclusion générale faisant la synthèse des résultats exposés met fin à la rédaction du présent mémoire.

II) Cadre géographique et géologique

II.1) Cadre géographique

II.1.1) Situation géographique

Le groupe de Mako est situé au Sud-est du Sénégal entre les longitudes 11°50'Est et 12°52' Ouest et les latitudes 12°48'Sud et 14°20'Nord.

II .1.2) Relief

La zone d'étude est la plus accidentée du pays. Dans certains endroits, le relief est constitué des collines et des plateaux tabulaires entourant des vallées fertiles, alors que dans d'autres endroits, le relief est non accidenté (plat).

II.1.3) Climat

La zone d'étude se trouve dans le domaine climatique Soudano-Guinéen. Elle bénéficie d'une bonne pluviométrie pendant 05 mois (de Mai à Septembre) avec au moins 1.150 mm par an et soumis à harmattan pendant 07 mois (d'Octobre à Avril). Les températures dépassent 39° au mois de Mai.

II.1.4) Végétation

La végétation est de type savane arborée, organisée en forêts dense et claire et galerie forestière le long des cours d'eau. Cette monotonie du paysage est coupée par le relief accidenté qui multiplie les habitats écologiques d'où l'importance de la flore qui est la plus riche et la plus variée du Sénégal.

II .1.5) Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est très dense avec deux principaux cours d'eaux quasi permanents : le fleuve Gambie et la Falémé qui prennent leur source dans le Fouta Djallon. Une multitude des petits cours d'eau qui tarissent pendant la saison sèche se jettent dans la Gambie et la falémé.

II.1.6) Population

La densité de la population du Sénégal oriental est estimée à moins de 10 habitants par km². Les principales ethnies sont les Matingues, les Malinkés, les Diaconies, les Diakhankés et les Peulhs. Leurs sources de revenus reposent sur l'agriculture, l'orpillage, l'élevage des bovins et la pêche.

II.1.7) Faune

Sur le plan faunique, on y rencontre la grande faune variée avec des nombreuses espèces parmi lesquelles l'antilope la plus prestigieuse du monde, l'éléphant, l'hippopotame, le buffle, le kobabé, le derby, le lion, la panthère, le crocodile et d'autres espèces plus ubiquistes comme le singe, le chacal, l'hyène.

II.1.8) Voie de communication

Dans la zone d'étude l'accès peut se faire principalement par voie terrestre notamment par le biais de la route nationale numéro sept (RN7) reliant Dakar-Tambacounda-Kédougou. De nombreuses pistes d'importance non négligeable relient les différentes localités rencontrées dans la zone d'étude.

II.2) Contexte géologique

II.2.1) Le Craton Ouest Africain

Le Craton Ouest Africain occupe 20% de la superficie du continent Africain. Il est borné au Nord par l'Anti – Atlas, à l'Est par la zone mobile de l'Afrique centrale (comprenant les chaînes panafricaines du Hoggar et de l'Adrar des Iforas au Nord et des Dahoméyides au Sud) et à l'Ouest par Les zones mobiles des Mauritanides et des Rockélides.

Le Craton Ouest-Africain est le résultat de deux grandes étapes de croissance crustale, la première correspond à la formation d'une croûte archéenne (3,5-2,5 Ga) et la seconde correspondant à la formation d'une croûte paléoproterozoïque (2,2-1,7 Ga). Elles se sont stabilisées aux alentours de 1,7 Ga (Hirdes et al., 1992 ; 1996 ; Davis et al., 1994 ; Ledru et al., 1991).

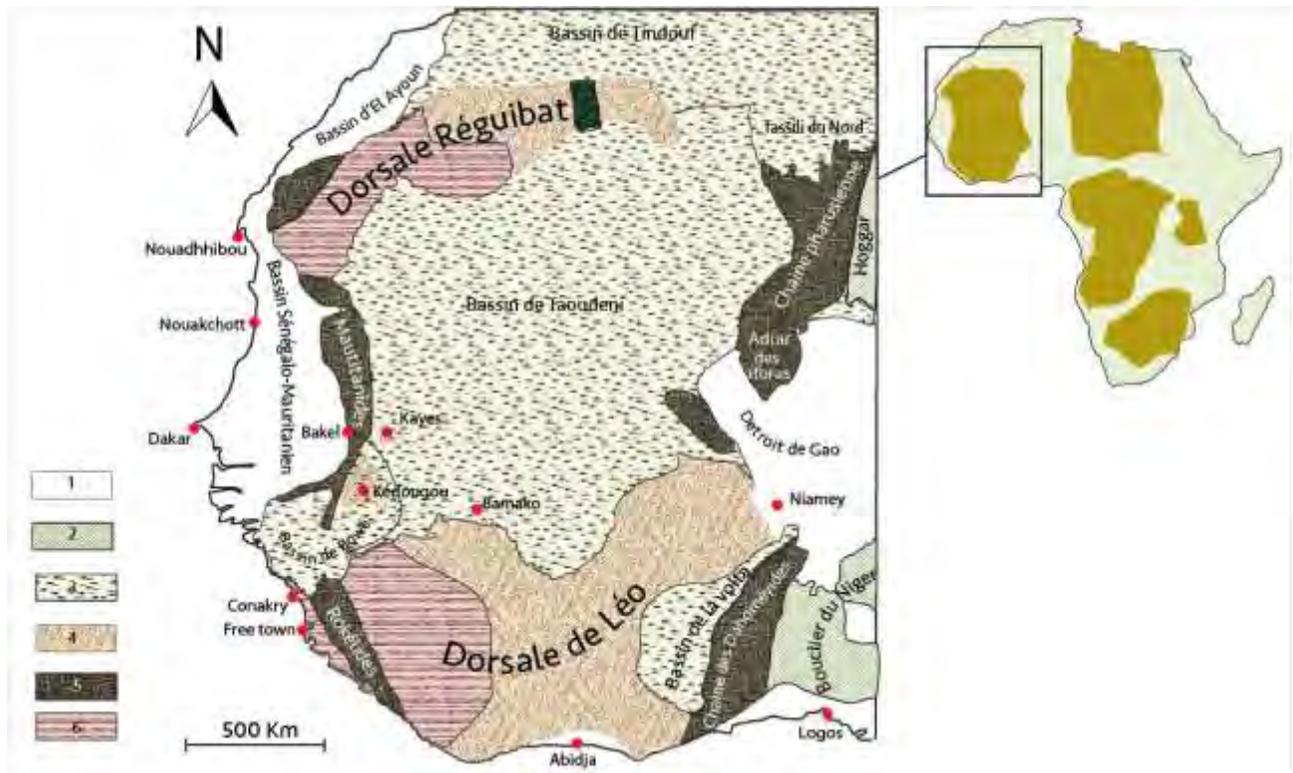


Figure 1 : Carte géologique du Craton Ouest Africain (Lamine lukanga Diane modifiée)

1 : Terrains post-paléozoïques ; 2 : Bassins paléozoïques englobant localement le Précambrien supérieur ; 3 : Terrains post-ne protérozoïques 4 : Birimien ; 5 : Zones mobiles ; 6 : Archéen .

Ce craton comprend :

- la dorsale Réguibat située au Nord, qui s'étend de la Mauritanie jusqu'à l'Algérie et comprend des terrains archéens dans sa partie occidentale (constituée par la série amassa) et des terrains paléoproterozoïque dans sa partie orientale (constituée par la série de yétti el Egal).

-la dorsale Man située au sud subdivisée en deux domaines séparés par une grande faille, appelée la faille de Sassandra dont le mouvement est en cisaillement senestre. Elle comprend le domaine baoulé mossi constitué des terrains paléoproterozoïques, situé dans la partie orientale et le domaine de kema Man d'âge archéen, situé dans la partie Ouest.

-entre ces deux dorsales affleurent les boutonnières de Kédougou-Kéniéba (à cheval sur le Sénégal et le Mali) et de Kayes (au Mali), toutes sont formées des terrains birimiens. Le reste du craton est recouvert des sédiments tardifs, d'âge néoproterozoïque à quaternaire, qui forme le bassin de Taoudéni au sud et des bassins de Tindouf au Nord.

Le Craton Ouest Africain, polycyclique, tient sa configuration de deux orogénèses principales : l'orogénèse libérienne, la plus ancienne, affecte les formations d'âge archéen et l'orogénèse éburnéenne, la plus récente, affecte les terrains paléo-protérozoïques.

Dans la rivièrè Birim au Ghana, les formations Birimiennes définie par Kitson (1928), sont constituées de terrains volcaniques et sédimentaires dont la succession lithologique est diversement interprétée à travers le Craton Ouest Africain. Ultérieurement, Junner (1940) distingue un birimien inférieur à dominant sédimentaire constitué des phyllithes et de grauwackes, un Birimien supérieur à dominante volcanique constitué des roches volcaniques des pyroclastites et des formations fluvio-deltaïques du Tarkwaien (Kesse, 1986) qui sont issues du démantèlement de deux ensembles sous-jacents, considérés comme discordants sur le Birimien(Kesse 1986), soit intégrante du Birimien(Cahen;1984, Kesse,1986). Cette succession lithologique sera reconnue dans les formations birimiennes du sillon de Fétékoro en Côte d'Ivoire (Lemoine et al., 1986) et dans la boutonnière de Kédougou-Kéniéba (Milési et al., 1986 ; Ledru et al., 1989).

L'évolution structurale montre que l'orogénèse éburnéenne est caractérisée par trois phases de déformation tectono-métamorphique nommées D1, D2 et D3 (Milési et al, 1986 ; Feybesse et al, 1989) :

-la phase D1, à caractère tangentielle, responsable d'une collision majeure, datée de 2,112 à 2,110 Ma (Milesi et al, 1989) serait liée à l'organisation structurale du contact entre les formations paléoproterozoïques et archéennes dans la dorsale de Man. Selon Feybesse et al. 1989 ; la tectonique collisionnelle serait responsable de la présence des structures chevauchantes.

-la phase D2, transcurrente, est responsable de la formation de grandes structures plicatives régionales et d'une première génération de grands décrochements N-S à NE-SW généralement sénestres, et localement chevauchants.

-la phase D3, également transcurrente, marquée par un plissement dont la géométrie et la répartition sont contrôlées par des grandes zones de cisaillement dextre ou dextre inverses responsables de la structuration générale NE-SW.

En effet, les phases D1, D2 et D3 affectent l'ensemble inférieur du terrain burimien et les phases D2 et D3 marquent l'ensemble supérieur des formations birimiennes du craton ouest africain.

II .2.2) Contexte géologique de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba.

La boutonnière de Kédougou-Kéniéba est située au Sud Est du Sénégal et à l'extrême ouest du Mali, elle couvre une superficie de 15000 km² environ (Bassot, 1966).

La boutonnière de Kédougou-Kéniéba est recouverte en discordance au Nord et à l'Est par les formations mésoproterozoïques et le bassin intracratonique de Taoudeni d'âge paléozoïques, à l'Ouest par les sédiments méso à néo proterozoïques de la Falémé et du Bassin de Ségou-Madina Kouta, et au sud par les séries de Mali.

Les formations géologiques de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba sont subdivisées en deux groupes : à l'Ouest, le groupe de Mako avec une prédominance de roches volcaniques et à l'Est, le groupe de Dialé-Daléma avec une prédominance de roches sédimentaires. Les deux groupes sont recoupés par des granitoïdes de nature hétérogènes (Bassot 1966) : Le granite de type Kakadian d'affinité métagénétique et le granite de type Saraya et Boboti d'affinité magmatique.

Des structures tectoniques majeurs telles que la MTZ (Main Transcurrent Zone) d'une largeur de 20 à 30 km, orientée NNE-SSW représente le contact entre le groupe de Mako et celui de Dialé-Dalema et la SMF (faille Sénégal Malienne) orientée N-S sépare le groupe Dialé-Daléma en deux ensembles : à l'Ouest la roche volcanique de la Falémé et à l'Est le bassin de Kofi, sont aussi observées (Bassot 1966).

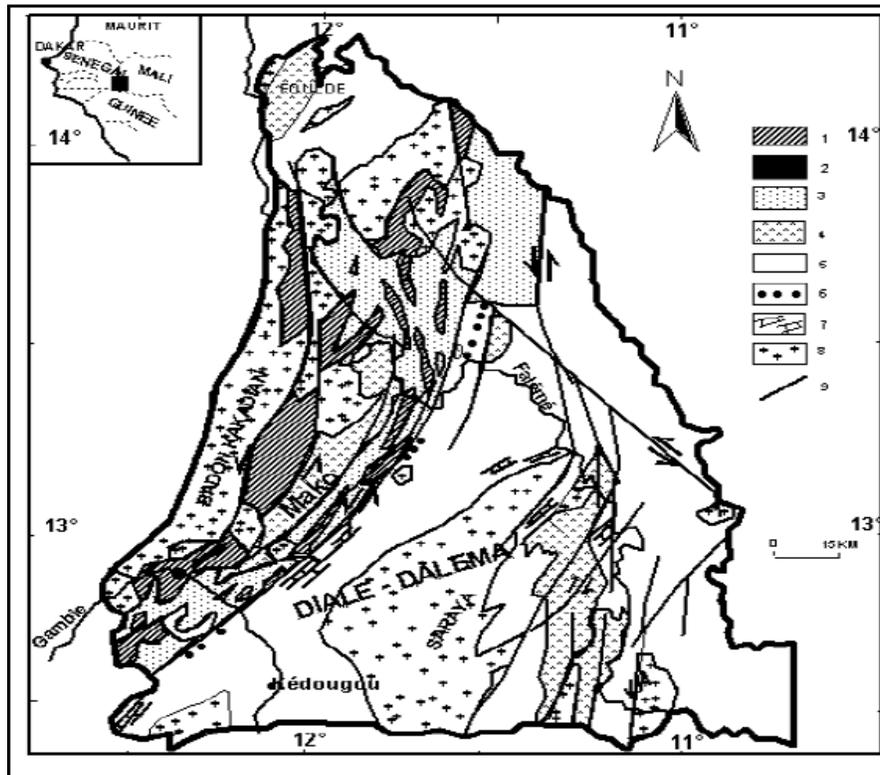


Figure 2 : Carte géologique de la boutonnière de Kédougou-Kéneïba (Bassot 1966, modifiée).

- 1- Coulées de méta basaltes ;
- 2- Ultrabasites ;
- 3- Roches volcan détritiques ;
- 4- Coulées de méta-andésites ;
- 5- Métasédiments ;
- 6- Conglomérats ;
- 7- Carbonates ;
- 8- Granitoïdes indifférenciés ;
- 9- Formations panafricaines ;
- 10- Failles transcurrentes .

II.2.2.1) Le groupe de Mako

Le groupe de Mako est limité à l'ouest, par la chaîne des Mauritanides et à l'Est, par la zone transcurrente principale qui le sépare avec le Groupe de Diale-Daléma. Ce groupe a fait l'objet de nombreux travaux qui ont contribué à une meilleure connaissance de sa lithologie, sa pétrographie, sa structurale, sa géochimie et sa géochronologie.

Plusieurs colonnes litho-stratigraphiques ont été proposées pour le groupe de Mako, cependant, leurs analyses font ressortir l'absence de bons repères litho-stratigraphiques d'une colonne à l'autre. Une succession lithologique, bien tranchée n'existe pas sur le terrain. En effet, les formations sont plutôt redressées, plissées, voire replissées par la tectonique éburnéenne. C'est ce qui explique en partie, la diversité des séquences lithologiques proposées par les auteurs ayant travaillé dans les différents secteurs du Groupe de Mako, dont voici notre synthèse :

-la Mission Sénégal-soviétique (1972-1973) reconnaît trois ensembles dans le groupe de Mako, avec de bas en haut, un ensemble volcanique basique surmonté d'un ensemble volcano-sédimentaire recouvert par un ensemble sédimentaire au sommet.

-Bassot (1966) pense que les formations du groupe de Mako sont constituées essentiellement par des roches volcaniques avec des coulées de basaltes tholeiitiques en pillow lavas, des intercalations méta-sédimentaires et des corps des roches basiques à ultrabasiques.

-Dioh (1986), Dioh et al. (1990) et Dioh (1995) ont mis en évidence trois ensembles lithologiques dans la partie nord du groupe de Mako :

- ✓ un ensemble basique comprenant de coulées des basaltes
- ✓ un ensemble de roches grenues intrusif dans le précédent ensemble, composé des épidiorites et de gabbros,
- ✓ et un ensemble filonien peu déformé.

-Dia (1988), Dia et al. (1997) distinguent quatre complexes constituant les formations birimiennes du groupe de Mako. Ainsi, du bas en haut nous avons :

- le complexe amphibolo-gnéssique, constitué des amphibolites massives et des orthogneiss, diorites et tonalitiques.
- le complexe volcano-plutonique de Mako, composé des basaltes en pillows, des basaltes massifs, des rares pyroclastites et des laves andésitiques.

- le complexe plutonique lité de Sandikounda à caractère trondhjémitique allant des wherlites aux trondhjémites.
- le complexe plutonique de Laminia-Kaourou formé des adamellites, des monzogranites et des granodiorites.

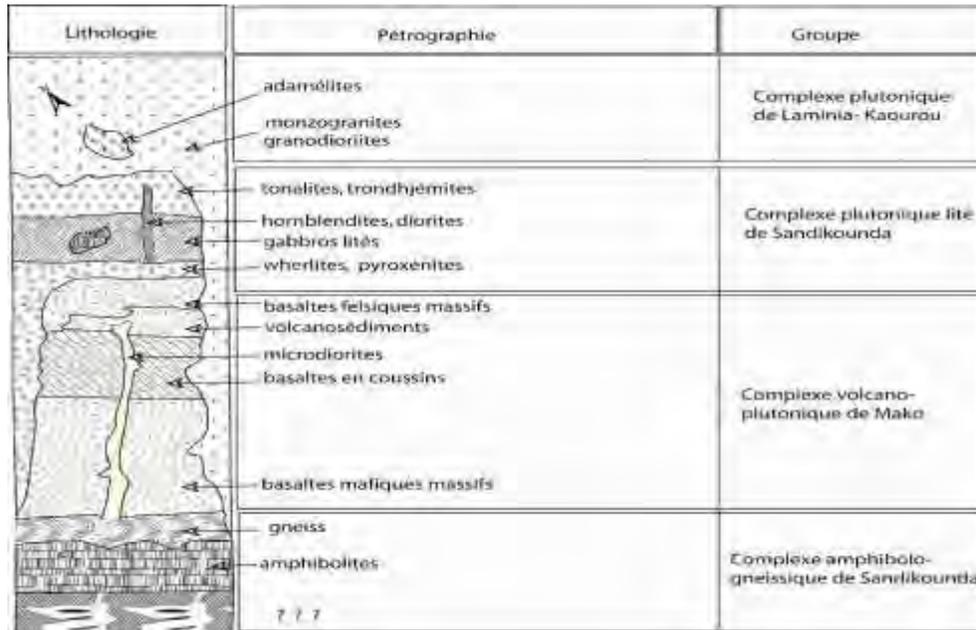


Figure 3 : Modèle lithologique du groupe de Mako (Dia et al., 1997)

- Ngom (1985) propose dans le birimien du secteur de Sabodala deux ensembles magmatiques distincts : un ensemble inférieur constitué des roches volcaniques basiques (basaltes) associées à des pyroclastites et des méta-sédiments détritiques et un ensemble supérieur constitué des roches volcaniques intermédiaires à acides associées à des plutons allant des gabbros aux granodiorites
- Diallo (1994,2001) met en évidence dans les parties Nord, Nord-est et sud du groupe de Mako ; la succession lithologique suivant, du bas vers le haut :
 - des sédiments détritiques d'aspect grauwackeux de faible puissance.
 - un volcanisme basique associé à des pyroclastites basiques.
 - des sédiments pélitiques à détritiques avec des roches carbonatées.

-un volcanisme intermédiaire à acide de nature andésitique interstratifié avec des niveaux carbonatés.

-un volume important de matériel détritique associé à un volcanisme acide à intermédiaire de faible extension.

En résumé, le groupe de Mako est constitué essentiellement des roches volcaniques interstratifiées avec des roches volcano-sédimentaires et sédimentaires. Ces formations sont recoupées par le batholite de Badon Kakadian et par des nombreux petits massifs circonscrits de granitoïdes.

Les études géochimiques réalisées dans le groupe de Mako montrent que ce dernier est caractérisé par un volcanisme bimodal (Ngom, 1985 et 1995 ; Dioh, 1986 et 1995 ; Dia, 1988 ; Diallo, 1994) : un volcanisme tholeiitique caractérisé par les formations basiques et ultrabasiques, un volcanisme à dominant andésitique de composition intermédiaire à acide d'affinité calco-alcaline faiblement à fortement potassique.

II.2.2.2) Le Groupe de Dialé-Daléma

Le groupe de Dialé-Daléma constitue la partie orientale de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba. Il regroupe les séries de Dialé à l'Ouest et de Daléma à l'Est, séparées par le batholite de Saraya (Bassot, 1966). Des nombreux travaux de recherches ont été réalisés par la Mission Sénégal-Soviétique, les Universités de Dakar et de Nancy, par les géologues de la CO.GE.MA et du B.R.G.M. Pl pour ne citer que ceux-là.

-les travaux de la mission Sénégal-soviétique (1973) ont permis de subdiviser le groupe occidental de Dialé en une partie inférieure à dominante arkosique et une partie supérieure à dominante grauwackeuse.

- J.Walter et J.Chantraine (B.R.G.M., 1974) ont distingué dans la partie orientale de la Daléma deux domaines séparés par une granodiorite à orthopyroxène: un domaine Ouest schisto-grauwackeux et un domaine volcanique à l'Est .

-Diallo (1983) pense que le groupe de Dialé situé à l'Est de Mako, est caractérisé par la prédominance des formations détritiques telles que les Schistes, les grauweekes, des conglomérats, les arkoses et les formations silico-carbonatées.

-Dabo (2011) indique que le groupe de Dialé-Daléma, est caractérisé essentiellement par la présence des quartzites, de grauweekes, de schistes et de marbres.

- Ndiaye (1986, 1994) identifie deux ensembles dans la Daléma :

un ensemble sédimentaire à volcano-sédimentaire constitué des quartzites, cipolins, grès, grauweekes, conglomérats et tufs épicastiques.

un ensemble volcanoclastique constitué de tufs pyroclastiques et des tufs légèrement remaniés.

-Bassot, 1987 Souligne que les roches volcano-plutoniques calco-alcalins recoupent les formations sédimentaires et volcano-sédimentaires du groupe de Dialé-Daléma.

En résumé, le groupe de Dialé-Daléma est à prédominance sédimentaire d'origine diverse, légèrement métamorphisées avec des intercalations carbonatées et de roches volcano-sédimentaires. De plus, il est recoupé par un volcano-plutonisme intermédiaire à acide.

Du point de vue structural, le groupe de Dialé –Daléma est constitué par une structure isoclinale complexe orientée généralement vers le Sud-est, une structure synclinale et une composante décrochante importante. En outre, des plis décimétriques d'ampleur kilométriques à fort pendage NW à WNW sont aussi observés dans le Groupe de Dialé-Daléma.

Les formations métamorphiques et les roches granitoïdes de la boutonnière de Kédougou-Kéneiba sont comparables à ceux étudiés en Côte d'Ivoire, au Ghana, en Guinée par sa lithologie. Les granitoïdes de l'Est du Sénégal présentent de mesure d'âge absolues comparable à celles obtenues en Côte-d'Ivoire, (Arnould 1961, Junner 1940).

DEUXIEME PARTIE :
ETUDE PETROGRAPHIQUE DES ROCHES
VOLCANIQUES BASIQUES DU GROUPE DE MAKO

INTRODUCTION

Les roches volcaniques basiques affleurent dans les secteurs Nord, dans le secteur Central et dans le Secteur Sud du groupe de Mako.

I) LES METABASALTES THOLEIITIQUES DU SECTEUR NORD DU GROUPE DE MAKO

I.1) Contexte géologique du secteur Nord.

Les formations géologiques du secteur Nord du groupe de Mako ont été étudiées par plusieurs auteurs (Bassot, 1966, Dia1988, Diallo 1994, Dioh et al., 1990 ;Dioh 1986et 1995, Witschard, 1965 , Pawlig et al., 2006 ; Gozo 2017) . Une synthèse de ces travaux indique que le secteur nord du groupé de Mako est constitué essentiellement des roches volcaniques et plutoniques représentées par des metabasaltes en pilows et massifs, des diorites, des rhyolites, des granites, des andésites,des metagabbros, des roches hypo volcaniques représentées par des dolérites, des microgranites, des roches vocanoclastiques représentées par des tufs, des cinérites, des brèches et de roches sédimentaires détritiques représentées par des roches conglomératiques, des quartzites, des pélites, des arkoses et des grès. Les roches volcaniques basiques prédominent dans ce secteur et elles sont associées à des gabbros, à des andésites, et à des rhyodacites. Ces roches s'alternent avec des horizons volcano-détritiques. Ces roches basaltiques sont recoupées par des dykes métagabbroïques, des filons, de microgranites, des sils de dolérites, des dioritiques.

I.2) Localisation et description des affleurements

I.2.1) Localisation des affleurements

Les roches volcaniques basiques affleurent dans la région de Konkoto, sur des collines de Gourouba-Samadala-konkoto, au croisement du koba et Siroko, à l'Est et au sud-ouest de Sandikounda, au Nord-Est de Massakounda, au sud-ouest de Kaourou, sur la piste de kaourou Sonfara, dans le secteur de Leoba-Yelimalo, sur la piste de Massakounda , Nienieko.

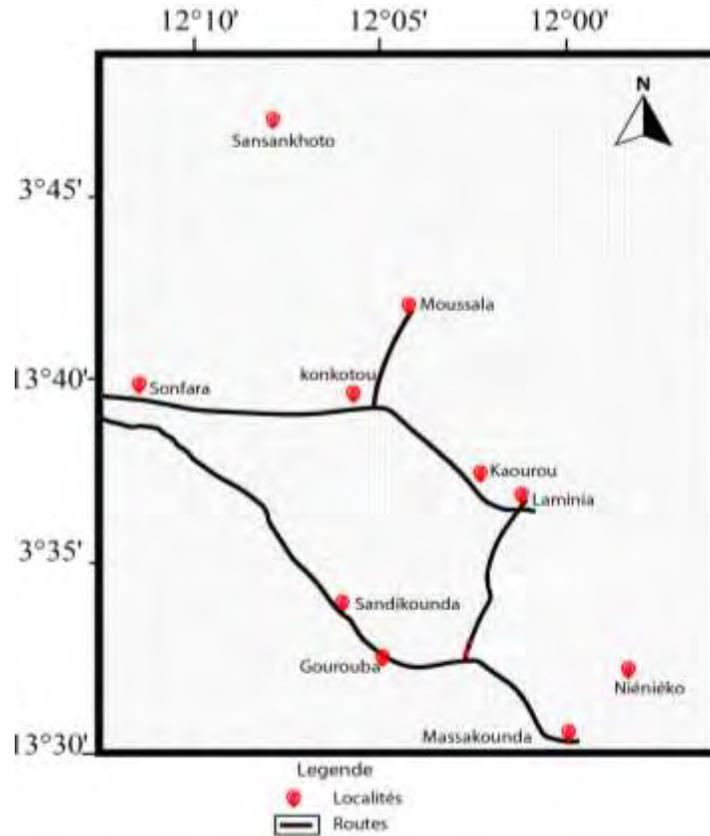


Figure 4 : Localisation géographique des sites d'affleurements des basaltes dans le secteur Nord du groupe de Mako.

I.2.2) Description des affleurements

Dans le secteur nord du groupe de Mako, les basaltes forment des affleurements allongés dans la direction générale NE-SW.

A l'affleurement, ces roches présentent une teinte vert foncée à noire. Elles constituent soit des laves massives soit des pillows lavas. Les coulées massives sont disposées en blocs compacts, en dalles, en amas caillouteux, présentant parfois de formes d'ellipsoïdes, de tailles centimétriques à métriques. Elles présentent souvent des vacuoles sur leur surface.

Les laves en pillows sont dépourvues des bordures variolitiques et sont très peu bulleuses. Ainsi, les niveaux de brèches de pillows lavas et de micro-pillows lavas sont absents. Elles présentent dans sa surface des vacuoles de tailles infra centimétriques.

Ces roches sont affectées par une schistosité orientée NNE à NE à pendage verticale parfois NNW à SSE, une foliation orientée généralement NS, NW à NE, une linéation d'étirement orientée principalement NNE à SSE, des diaclases, des nombreuses fissures qui sont remplies d'épidotes et de chlorites, de stratifications d'orientation générale NNE.

En cassure fraîche, les roches présentent une mesostase de couleur soit verte soit jaune, soit verdâtre, soit vert sombre. Elles sont soit aphanitiques, soit porphyriques ; soit sub-ophitiques.

Les roches montrent aussi une variation de la taille de grain allant de fin à grossier. Les basaltes à grains fins constituent la grande majorité des affleurements. Les roches à grains grossiers sont à tendances gabbroïque et à tendances doléritiques.

I.3) Caractère pétrographique

I.3.1) Les coulées en pillows

Les coulées en pillows présentent une texture soit microlitique, soit microlitique porphyrique. La roche contient des plagioclases, des amphiboles secondaires, des épidotes, des chlorites, des quartz, des minéraux opaques et du sphène :

Les Plagioclases sont en phénocristaux et en microlites. Les phénocristaux présentent de bordures irrégulières ou corrodées. Ils possèdent des macles polysynthétiques et sont souvent zonés, parfois fracturés. Les microlites présentent de formes en baguettes fines, allongées. Leurs sections sont souvent maclées et parfois fracturées.

Les amphiboles secondaires sont représentées par des actinotes, elles sont automorphes ou xenomorphes. Ces amphiboles montrent des individus flexueux et très aciculaires. Certains individus maclés présentent des contours irréguliers et des faces dentelées.

Les épidotes souvent homogènes, présentent des reliefs forts. Elles sont souvent associées à la chlorite. Dans la plupart de cas elles se développent sur des sections de plagioclases et d'amphiboles.

La chlorite présentent souvent une teinte verdâtre, non pléochroniques. Elle provient de la transformation d'amphibole.

Les minéraux opaques présentant des sections automorphes ou xénomorphes, sont assez abondants. Ils sont parfois en inclusions dans les amphiboles ou disséminés dans la mesostase. Ces minéraux sont associés aux sections d'épidotes et au sphène.

Les sphènes sont sous forme de cristaux à contours irréguliers.

I.3.2) Les coulées massives

Les coulées massives présentent une texture soit plumose, soit spiniflex, soit microlitique porphyrique. La roche est composée des plagioclases, d'amphiboles secondaires, des quartz, des sphènes et des minéraux opaques :

Les plagioclases forment des phénocristaux et des microlites. Les phénocristaux sont albitisés et saussuritisés. Ils sont souvent associés aux actinotes. Les microlites forment des aiguilles, très allongées.

Les amphiboles secondaires sont de teinte verdâtre. Elles sont aciculaires et rayonnantes.

Les quartz, peu abondant, se présentent en amas polycristallins.

Les sphènes, sont présents sous forme de cristaux à contours irréguliers.

Les minéraux opaques, en sections losangiques ou sub-rectangulaires sont généralement en inclusions dans les sections d'amphiboles.

En conclusion, les laves basaltiques dans le secteur Nord du groupe Mako présentent une texture soit aphanitique, soit sub-ophitique, soit plumose, soit spiniflex, soit microlitique, soit microlitique porphyrique, soit microcristalline. Elles constituent des laves en coussins et des coulées massives.

La paragenèse primaire de la roche est partiellement ou totalement transformée en actinote, quartz, albite, épidote, chlorite, calcite, sphène, leucoxène et minéraux opaques. Ces minéraux secondaires caractérisent un métamorphisme de type schiste vert . Ce sont des metabasaltes .

II) LES BASALTES THOLEITIQUES DANS LA PARTIE CENTRALE DU GROUPE DE MAKO

II.1) Contexte géologique général

Dans la partie centrale du groupe de Mako, les formations géologiques ont été étudiées par des nombreux géologues (Witschard,1965 ; Bassot,1966 ; Mission Sénégal-soviétique,1972-1973 ; Ngom, 1985, 1989, 1995 ; Diallo, 1994, 2001 ; Gozo, 2000, 2017) .

Une synthèse de ces travaux ce secteur, indique que ce secteur est constitué :

-des roches volcaniques représentées par des coulées de metabasaltes en pillows et en structures massives, des andésites, des rhyolites ;

- des roches plutoniques basiques et intermédiaires et acides telsques les gabbros, des diorites, des granites ;
- des roches hypovolcaniques constituées des microgranites, des microgabbos, des microdiorites.
- des roches sédimentaires à dominante détritique constituées des quartzites, des conglomérats, des pélites, des grés, des pélites schisteuses et sériciteuses, des grauwackes et des arkoses ;
- des roches volcano-sédimentaires représentées par des brèches, des cinérites, des tufs, et des agglomérats.

Les roches basaltiques sont les plus abondantes. Dans certains endroits, les coulées volcaniques basiques sont recouvertes par des cuirasses latéritiques.

II.2) Localisation et description des affleurements

II.2.1) Localisation des affleurements

Dans les secteurs central du groupe de Mako, les coulées volcaniques basiques ont été identifiées à l'Est de Ouassa, à Maki-Madina, à Kérékounda, à Diomboya, à l'Est de Kobokhoto, au Sud-Est de Kounemba, sur les collines de Goumbati, dans la vallée de Fanoya, Sur la piste de Sabodala – Kérékounda, au Nord de Brasant, à la latitude de Bambarandi – Bambaraya et Sur la piste de Mamakono – Khossanto.

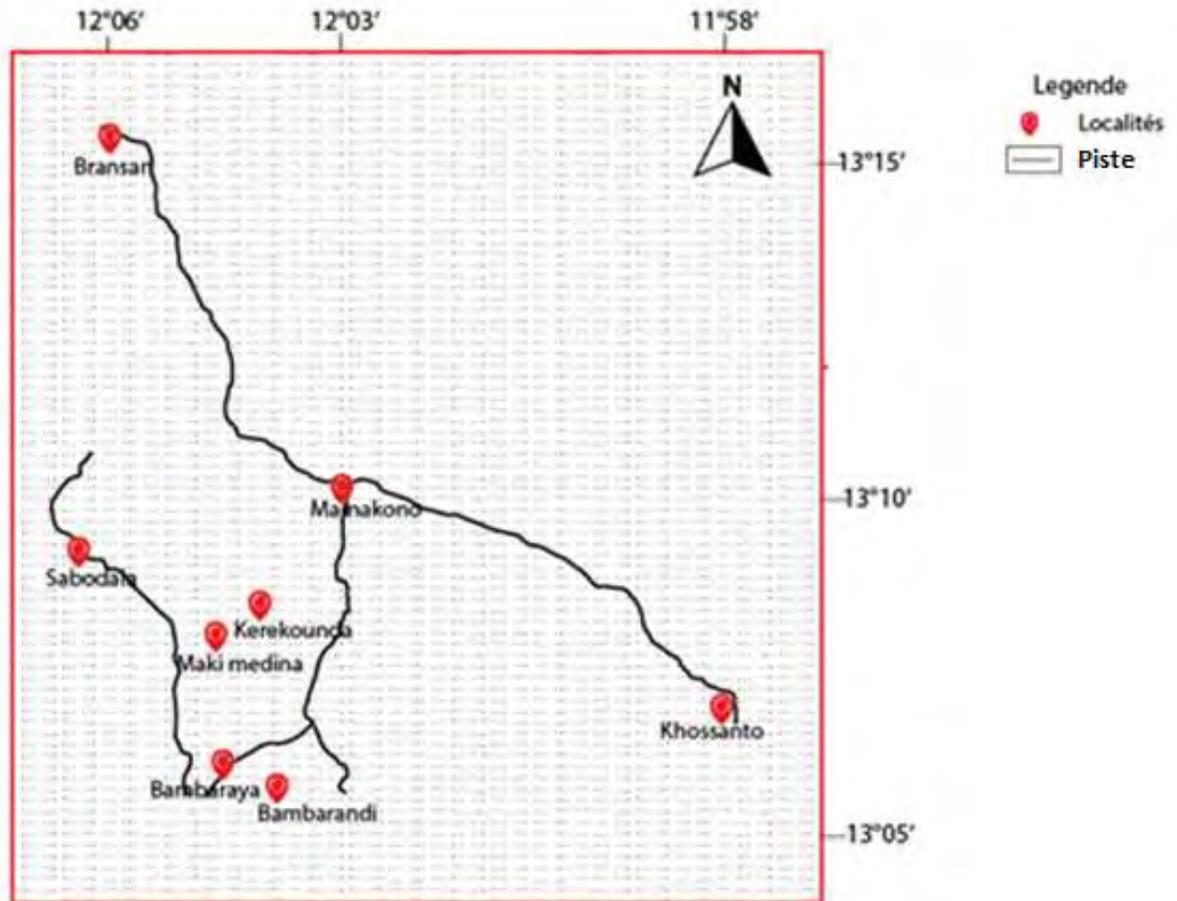


Figure 5 : Localisation géographique des sites d’affleurements des basaltes dans le secteur central du groupe de Mako.

II.2.2) Description des affleurements

Dans le secteur central du groupe de Mako, les basaltes forment des affleurements allongés suivant la direction générale NE-SW

A l’affleurement, ces roches présentent une teinte soit verte soit vert clair soit vert sombre à noire. Elles sont représentées par des coulées de laves massives et des laves en coussins. Les coulées massives se débitent en blocs subarrondis à elliptiques, compactes, de tailles décimétriques à centimétriques. Les laves en coussins ont pour la plupart un aspect soit variolitique, soit fibreux, soit rigoureux aux toucher et piqueté de tache sombre.

Ces roches sont affectées par des fractures majeures orientées NE-SW à NNE. Sur certains affleurements, elles sont schistosées, mylonitisées, rubéfiées, aussi déformées par des plis isoclinaux à plan axial sub-vertical N10-20. Elles sont recoupées par des filonnets de quartz, de chlorites et d'épidote, de calcite et des minéraux opaques, sans orientations préférentielle.

En cassure fraîche, elles ont soit une texture aphanitique, soit porphyrique et présentant une teinte verte à vert claire. En tenant compte de la tailles des grains, elles se répartissent en facies à grains fins, grains moyens et à grains grossier à tendance andésitique.

II.3) Caractères pétrographiques

II.3.1) Les laves en pillows

Les laves en pillows présentent une texture soit microlitique porphyrique soit microlitique dendritique.

Ces roches sont composées d'olivine, de clinopyroxène, de plagioclase, d'amphibole secondaire, de chlorite, d'épidote :

Les Plagioclases forment des phénocristaux et des microlites. Les phénocristaux peuvent se retrouver en inclusions dans d'autres de plus grande taille. Ils sont généralement groupés en amas polycristallins et sont chloritisés et épidotisés.

Les microlites ont un aspect squelettique, en forme aiguilles à bordures irrégulières, parfois allongées. Ils sont soit isolés, soit regroupés en trois, quatre, voire cinq individus. Certains sont albitisés et/ou épidotisés. Et présentent des bordures corrodés et possèdent parfois des macles albitiques bien distinctes.

Les olivines sont peu abondantes. Elles sont hexagonales, à contours net.

Les amphiboles secondaires sont représentées par des actinotes. Elles ont un aspect squelettique, fibreux, groupées en gerbes, sans orientation particulière. Ces minéraux sont associées à la chlorites, l'épidotes, et aux minéraux opaques.

Les clinopyroxènes sont ouralitisés en actinotes, en chlorites, en leucoxènes, et en granules d'épidotes regroupés ou isolés. Dans certains cas les clinopyroxènes présentent un aspect fibreux en réponse de l'alteration.

La chlorite présente des taches.

Les minéraux opaques sont abondants dans la mesostase, et disséminés dans les roches. Ils sont en fins cristaux.

Les épidotes sont groupées en granules dont certains individus sont des petits tailles.

II.3.2) Les coulés de laves massives

La roche présente une texture soit spiniflex, soit hyaline et elle est constituée de plagioclases, des clinopyroxènes, des épidotes, des actinotes, et des minéraux opaques :

Les plagioclases présentent de bordures plus ou moins irrégulières, et possèdent des macles d'albite bien distinctes. Ils sont albitisés et épidotisés.

Les actinotes sont en fines aiguilles, squelettiques, parfois fibreuses, de forme trapues, sans orientation particulière et à bordures effilochées.

Des minéraux opaques, abondants sont en fins cristaux.

En résumé, les roches basaltiques du secteur central ont une texture soit aphanitique, soit porphyrique, soit microlitique porphyrique, soit microlitique dendritique, soit spiniflex, soit hyaline. Les minéraux primaires (olivines, clinopyroxènes et plagioclases) sont complètement ou partiellement déstabilisés en minéraux secondaires tels que l'actinote, l'albite, la chlorite, l'épidote, le quartz, la calcite, et les minéraux opaques. La paragenèse secondaire mise en évidence est caractéristique des roches épi-métamorphiques. Il s'agit donc des metabasaltes.

III) LES METABASALTES THOLEITIQUES DU SECTEUR SUD DU GROUPE DE MAKO

III.1) Contexte géologie générale

Les formations géologiques du secteur sud du groupe de Makó ont été étudiées par de nombreux auteurs (Bassot 1966, Diallo 1994, Ngom 1995 ; Ngom et al 2007, Cissokho 2010, Théveniaut et al, 2010, Abouchami et al, 1990, A. Gozo 2017). La synthèse des travaux indique que ces formations sont constituées :

- des roches ultrabasiqes à basiques représentées par des péridotites, des pyroxénites, des gabbros et des basaltes,
- des roches intermédiaires à acides représentées par des andésites, des diorites, des rhyolites, des rhyodacites et des granites,
- des roches sédimentaires à dominantes détritiques constituées par des quartzites, des conglomérats, des pélites schisteuses et des grès.
- de roches volcano-sédimentaires représentées par des brèches des cinérites, des tufs.

Les roches volcaniques basiques sont les plus représentées. Elles sont recoupées par des massifs de métagabbros et de métadolérites.

III .2) Localisation et description des affleurements

III .2.1) Localisation des affleurements

Les roches volcaniques basiques affleurent sur l'axe Tambanoumaya-Mako, précisément à l'Est de Linguékoto, à l'ouest du village de Badian , à la latitude de Bafoundou, et au nord-ouest de Niéméniké, à la latitude de Kanemeré, de Tomboronkoto, à la latitude de Samboko-Bambaraya _ Diakhali, et Badon , Séguéko Peul et au Nord-Ouest de Séguéko.

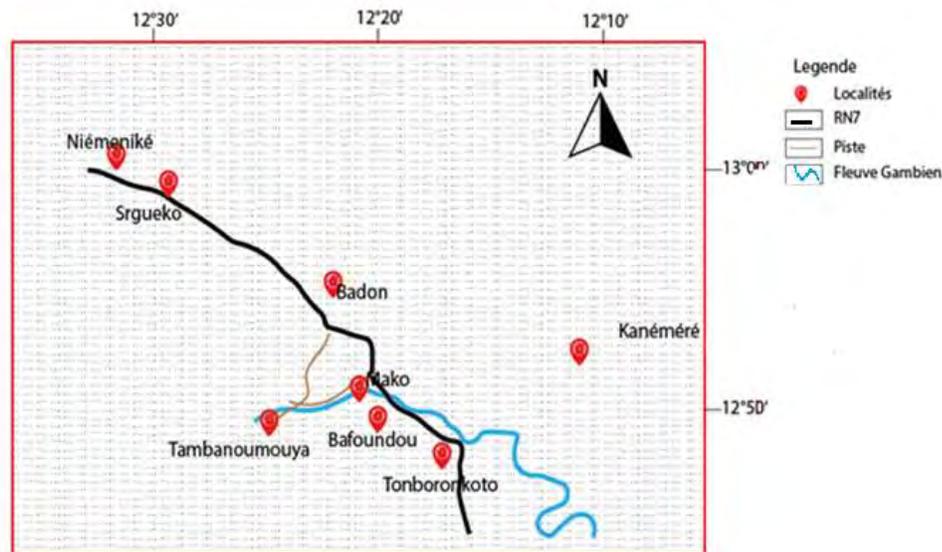


Figure 6 : Localisation géographique des sites d'affleurements des basaltes dans le secteur Sud du groupe de Mako.

III.2.2) Description des affleurements

Dans le secteur Sud du groupe de Mako, les basaltes forment des affleurements allongés suivant la direction générale NNW –SSE.

A l'affleurement, les roches volcaniques basiques présentent une teinte soit verte, soit vert sombre soit rougeâtre. Ces roches constituent des laves en coussins et des coulées massives. Les coulées de laves massives sont débutées en blocs polygonaux, isolés, d'aspect caverneux, de formes arrondies à subarrondies, elliptiques et des tailles centimétriques à métriques. Les laves en

coussins bien conservées sont recouvertes par une cavité appelée cortex. Ces coulées basaltiques sont traversées par des réseaux anastomosés de filonnets de quartz, de chlorite, d'épidote, de rares sulfures et sont vacuolaires.

Ces laves sont affectées par des plissements, des polyplissements sous forme des structures en dômes, des schistosités orientées dans les directions N30° et N25°-50°W, des fentes de tension remplies par du quartz prismatique et des microfractures.

A la cassure fraîche, les roches présentent une mesostase de couleur verdâtre et ont une texture soit aphanitique, soit porphyrique, soit sub-ophitique à mesophitique. Elles se repartissent en facies à grains fins, grains moyens, à grains grossiers à tendances gabbroïque, et andésitique.

III.3) Caractères pétrographiques

III.3.1) Les metabasaltes en pillows

Les basaltes en pillows présentent une texture soit microlitique porphyrique, soit plumose. Ces coulées sont composées des clinopyroxènes, des plagioclases, des amphiboles secondaires, des épidotes, des chlorites, de la calcite, du quartz, et des minéraux opaques :

Les plagioclases sont en phénocristaux et en microlites. Les phénocristaux sont automorphes à subautomorphes. Ils ont une forme tabulaire et sont souvent groupés en amas polycristallins. Du fait de l'altération, ils sont épidotisés et calcitisés. Les microlites sont abondants, et se présentent en lattes très allongées, d'aspects squelettiques, prismatiques, partiellement ou totalement saussuritisés en épidote, albite et calcite. Leurs sections sont fréquemment affectées par de nombreuses cassures transversales.

Les clinopyroxènes sont en fines aiguilles, prismatiques, allongés, disposés en gerbes, groupées en agrégat polycristallins, et présentent des sections isolées. Ces minéraux sont automorphes, généralement maclés et certains sont fracturés. Ce sont des minéraux complètement ouralitisés en amphiboles secondaires.

Les amphiboles secondaires sont xénomorphes, en faible proportion et présentent une teinte verte. Ces amphiboles sont disposées soit engerbes ou en baguettes. Leurs sections, généralement maclées ne sont pas zonées. Certaines sont fracturées.

Les minéraux opaques sont peu abondants. Ils sont soit automorphes, soit xénomorphes, généralement associés à l'épidote.

Les épidotes présentent une teinte orangée à verdâtre. Elles forment des granules sur les sections des plagioclases

La Calcite présente une teinte incolore à sombre. Elle est xénomorphe.

Le quartz est de forme anguleuse et associé à l'épidote, la chlorite et la calcite.

La chlorite a une teinte verte ou verdâtre. Elle est pseudomorphe et associée à l'épidote.

Les minéraux opaques présentent souvent des sections automorphes.

III.3.2) Les coulées des laves massives

Les coulées massives présentent une texture microlitique porphyrique. Ces laves massives contiennent des plagioclases, et des minéraux secondaires constitués d'actinote, de quartz, de chlorite, de calcite, de l'épidote et des minéraux opaques .

Les plagioclases sont en phénocristaux et en microlites. Les phénocristaux sont automorphes à subautomorphes à bords irréguliers, présentant des macles simples et polysynthétiques bien visibles. Les microlithes sont abondants. Ils sont allongés, d'aspects squelettiques, corrodés, irréguliers, fracturés, tabulaires parfois tordus avec des macles bien distinctes. Les plagioclases sont souvent en inclusions dans les amphiboles. Ils sont sericitisés, epidotisés et souvent affectés par des cassures transversales.

L'amphibole secondaire provient de la transformation de clinopyroxène, est en forme des aiguilles de petites tailles très effilochée. Elle est associée à de la chlorite, de la calcite, de l'épidote et à des minéraux opaques.

Les minéraux opaques montrent des individus xénomorphes.

Les épidotes sont peu abondantes.

Le quartz est de forme anguleuse et est souvent associé à l'épidote, la chlorite et la calcite.

Les chlorites présentent des contours irréguliers.

En conclusion, les roches basaltiques du secteur Sud du groupe de Mako, ont une texture soit microlitique porphyrique, soit plumose. Elles comprennent les basalts en coussins et les basalts massifs.

Leur composition minéralogique primaire constituée du plagioclase et du clinopyroxène, sont complètement ou partiellement transformées en paragenèses secondaires représentés par l'actinote, l'albite, l'épidote, la chlorite, la calcite, le quartz, et les minéraux opaques. Ces minéraux secondaires sont caractéristiques d'un métamorphisme de faible degré . Il s'agit donc des metabasalts.

Planche 1 : Texture des basaltes tholeiitiques du secteur sud du groupe de Mako.

Photo A. Texture de metabasalte montrant de l'amphibole secondaire, d'épidote, et des minéraux opaques. Amphi=amphibole, Mx Op =minéraux opaques, Epi=épidote.

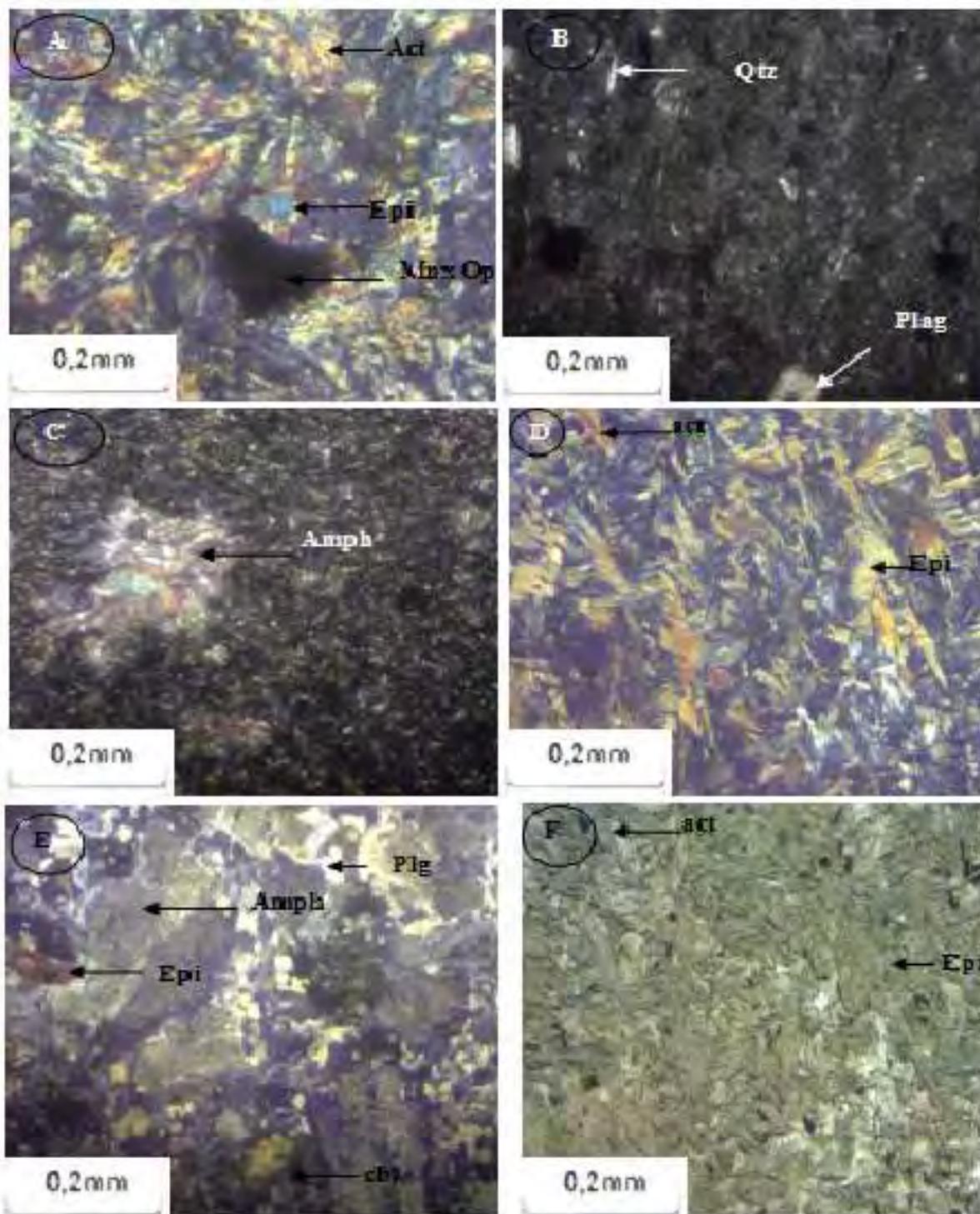
Photo B. Texture de metabasalte montrant les minéraux de quartz et de plagioclases.
Qtz=quartz , Plg=plagioclase .

Photo C. Texture de metabasalte montrant une section d'amphiboles complètement transformées.
Amphi=amphibole

Photo D. Texture de metabasalte montrant des actinotes disposées en gerbes, des épidotes et de minéraux opaques. Epi=épidote, Mx Op =minéraux opaques. (en Lumiere Polariser).

Photo E. Texture un metabasalte montrant des amphiboles secondaires avec des bordures complètement irrégulières, des plagioclases, de l'épidote, de la chlorite, et de minéraux opaques.
Amphi=amphibole, Plg=plagioclase, Epi=épidote, chlo= chlorite,
Mx Op =minéraux opaques.

Photo F. Texture de metabasalte montrant des actinotes, de l'épidote et des minéraux opaques.
Amphi=amphibole, Epi=épidote .



**TROISIEME PARTIE :
ETUDE GEOCHIMIQUE DES ROCHES BASALTIQUES
DU GROUPE DE MAKO**

INTRODUCTION

Les metabasaltes tholeiitiques du groupe de Mako sont affectés par des phénomènes post magmatiques tels que l'altération et le métamorphisme. Ces phénomènes aboutissent à une certaine mobilité des éléments chimiques (éléments majeurs et en traces) de la roche. A cet effet, il est nécessaire de tenir compte de la mobilité de ces éléments chimiques au cours de ces phénomènes avant de caractériser géochimiquement les roches .

Ainsi, les teneurs élevées en SiO_2 dans certains échantillons sont dues à la silicification secondaire au cours de ces phénomènes et ne sont pas tenues en caractérisations , seules celles qui répondent aux normes de classification ($45 < \text{SiO}_2 < 52\%$) sont utilisées. Déplus, les alcalins, malgré leurs caractères mobiles sont utilisables car la somme de ces éléments est compatible à celle proposée par les auteurs de diagrammes Middlemost (1994), Cox et al. (1986) et Irvine et Baragar, (1971).

L'évolution des éléments majeurs et des éléments en traces est appréciée par rapport à $\text{mg}\#$, choisis comme indice de différenciation. Cet indice fait intervenir les teneurs en MgO et FeO_2O_3
 $\text{mg}\# = \text{mgO}/40,31 / (\text{MgO}/40,31 + \text{FeO}_2\text{O}_3*/71,85)$. Ces éléments sont réputés immobiles ou peu mobiles au cours des processus post-magmatiques. Les autres indices tels que la silice et les alcalins ne sont pas utilisés en raison de leurs caractères mobiles au cours de l'altération et du métamorphisme.

Les terres rares sont normalisées par rapport aux chondrites C1 de Evensen et al. 1978.

I. GEOCHIMIE DES ELEMENTS MAJEURS ET DES ELEMENTS EN TRACES

Les analyses des éléments majeurs et traces des metabasaltes du groupe de Mako sont indiquées dans le tableau I, II et III placés en annexes.

Dans cette partie, nous allons utiliser, pour les roches volcaniques étudiées, la classification et la nomenclature établies par Pearce (1996) :

- ❖ Roches mafiques (basaltes)
 $45\% \leq \text{SiO}_2 < 52\%$
- ❖ Roches intermédiaires (andésites)
 $52\% \leq \text{SiO}_2 < 63\%$
- ❖ Roches acides (dacites, rhyolites)
 $63\% \leq \text{SiO}_2 < 70\%$

Les teneurs élevées en silice ($\text{SiO}_2 > 52\%$) dans certains échantillons analysés, sont dues à la silicification secondaire au cours du processus post magmatiques. Ces teneurs anormales ne seront pas pris en compte dans les diagrammes des discriminations faisant intervenir cet élément (SiO_2). Dans un premier temps, nous allons présenter l'évolution et les variations de principaux éléments majeurs et en traces en se basant sur l'analyse de données géochimiques et celle des diagrammes des corrélations. Ensuite, nous clôturons par une conclusion générale dans laquelle nous allons discuter des résultats obtenus.

I.1 Variations des éléments majeurs

Les variations des oxydes en fonction de mg# de roches volcaniques basiques sont illustrées par la figure 7.

La silice (SiO_2)

Dans les metabasaltes du secteur Nord du groupe de Mako, les teneurs en silice varient de 47,17 à 52,65% avec une moyenne de 50,78 %. Dans les metabasaltes du secteur central, elles oscillent entre 45,55 et 54,20% pour une moyenne de 50,54%. Dans les metabasaltes du secteur sud, les teneurs en silice sont comprises entre 46,49 et 52,65% pour une moyenne de 50,56%. La valeur la plus faible (45,55 %) et la plus élevée (54,20%) en teneur de SiO_2 figurent dans les basaltes du

secteur central. Dans le diagramme de corrélation, les teneurs en silice ne montrent aucune corrélation avec mg#.

Le titane (TiO₂)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en titane sont comprises entre 0,51 et 0,94% avec une moyenne de 0,80%. Dans les metabasaltes du secteur central, les teneurs en cet élément se varient de 0,60 à 1,42% pour une moyenne de 0,94%. Dans les laves de secteur sud, les teneurs en titane varient de 0,65 à 2,09% avec une moyenne de 1,24%. La teneur la plus faible (0,51%) se trouve dans les basaltes de la partie nord et la plus élevée (2,09 %) est enregistrée dans les basaltes du secteur Sud. Au cours de la différenciation, les teneurs en titane diminuent en fonction de la hausse de mg#.

L'alumine (Al₂O₃)

Dans les roches basaltiques du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en alumine (Al₂O₃) se situent entre 13,50 et 14,91% avec une moyenne de 14,15%. Dans ceux du secteur central, les teneurs en alumine varient de 12,86 à 16,83% pour une moyenne de 14,59%. Dans les metabasaltes du secteur sud, les teneurs en alumine sont comprises entre 11,48 et 15,96% pour une moyenne de 14,12%. Les valeurs la plus faible en alumine (11,45 %) et la plus élevée (16,83) sont enregistrées respectivement dans les metabasaltes de secteur sud et central du groupe de Mako. Au cours de la différenciation, l'alumine ne montre aucune corrélation avec le mg #.

Le fer total (Fe₂O₃*)

Au nord du groupe de Mako, les teneurs en fer total (Fe₂O₃*) dans les basaltes varient de 10,87 à 14,12% avec une moyenne de 12,50%. Dans les metabasaltes du secteur central, les teneurs en fer total sont comprises entre 11,39 et 18,12% pour une moyenne de 13,28%. Dans les metabasaltes du secteur sud, les teneurs en cet élément oscillent entre 12,18 et 18,14% avec une moyenne de 14,96%. La valeur la plus faible (10,87%) se trouve dans les metabasaltes du secteur nord et la plus élevée (18,14%) est enregistrée dans les laves du secteur sud. Au cours de la différenciation malgré la dispersion observée, les teneurs en fer total diminuent en fonction de la hausse de mg#.

Le manganèse (MnO)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en manganèse varient de 0,17 à 0,22 % avec une moyenne de 0,20%. Dans ceux du secteur central, elles sont comprises

entre 0,16et 0,27% pour une moyenne de 0,20%. Dans les metabasaltes du secteur sud, les teneurs enmanganèse se situent entre 0,18 et 0,33% avec une moyenne de 0,23%. Les valeurs la plus faible (0,16%) et la plus élevée (0,33%) sont enregistrées respectivement dans les metabasaltes du secteur central et du secteur Sud du groupe de Mako. Malgré le caractère dispersif observé, les teneurs en cet élément montrent une légère diminution en fonction de l'augmentation de mg#.

Le magnésium (MgO)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en magnésium varient de 6,08 à 9,49% avec une moyenne de 7,83%. Dans les laves du secteur central, les teneurs en magnésium oscillent entre 5,43et 9,19% pour une moyenne de 7,54%. Dans les metabasaltes du secteur sud, les teneurs en cet élément sont comprises entre 4,62et 10,13% pour une moyenne de 7,37 %, La valeur la plus faible (5,43%) et la plus élevée (10,13%) sont connues dans les metabasaltes du secteur Sud du groupe de Mako

Au cours de la différenciation, les teneurs en cet élément montrent une corrélation positive avec le mg#.

Le calcium (CaO)

Dans le secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en calcium dans les roches basaltiques sont comprises entre 9,25 et 12,94% pour une moyenne de 11,58%. Dans les metabasaltes du secteur central, les teneurs en cet élément varient de 7,04à 13,48% avec une moyenne de 10,10%. Dans ceux du secteur sud, elles se situent entre 4,66et 15,83% pour une moyenne de 9,00%. La valeur la plus faible (4,66%) et la plus élevée (15,83%) sont enregistrées dans les laves du secteur sud du groupe de Mako.

Dans l'ensemble, le teneur en cet élément augmentent en fonction de la hausse de mg#.

Le sodium (Na₂O)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en sodium varient de 1,13à 3,20% avec une moyenne de 1,82%. Dans ceux du secteur central, les teneurs en cet élément sont comprises entre 1,42 et 3,86% pour une moyenne de 1,42%. Dans les metabasaltes du secteur sud, elles se situent entre 0,93 et 3,16% pour une moyenne de 2,17%. Les valeurs la plus faible (0,93%) et la plus élevée (3,86%) sont connues les laves dusecteur sud du groupe de Mako. Malgré la dispersion observée, les teneurs en sodium diminuent avec l'augmentation de mg#.

Le potassium (K₂O)

Dans les roches basaltiques du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en potassium sont comprises entre 0,09% et 0,74 % avec une moyenne de 0,25%. Dans celles du secteur central, les teneurs en potassium varient de 0,03 à 0,70% avec une moyenne de 0,21 %. Dans les metabasaltes du secteur sud, les teneurs en potassium se situent entre 0,08 et 0,41% pour une moyenne de 0,24%. Dans l'ensemble, les teneurs sont faibles et montrent un caractère dispersif avec la mg#

Le phosphore (P₂O₅)

Dans les roches basiques du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en phosphore varient de 0,03 à 0,23% avec une moyenne de 0,08%. Dans ceux du secteur central, les teneurs en cet élément sont comprises entre 0,03 et 0,28% avec une moyenne de 0,08%. Dans les laves du secteur sud, elles oscillent entre 0,06 et 0,15% pour une moyenne de 0,34%. La valeur la plus faible (0,03%) est enregistrée dans les basaltes du secteur nord et la plus élevée (0,28%) dans les basaltes du secteur central du groupe de Mako. Les teneurs en cet élément sont faibles et ne montre aucune corrélation avec le mg#.

En résumé, les teneurs en magnésium (MgO) et en calcium (CaO) augmentent en fonction de la hausse de mg#. Le comportement de ces éléments est à mettre en relation avec la cristallisation de clinopyroxènes. Les éléments tels que le fer total (Fe₂O₃*), le titane (TiO₂) et le manganèse (MnO), le sodium (Na₂O) décroissent en fonction de l'augmentation de mg#. Les comportements du fer et du titane peuvent être dus à la cristallisation des minéraux ferro-titanés. Les caractères dispersifs pour les éléments silice (SiO₂), potassium (K₂O), phosphore (P₂O₅) et l'alumine (Al₂O₃) au cours de la différenciation, peuvent être mis en relation avec les phénomènes post-magmatiques.

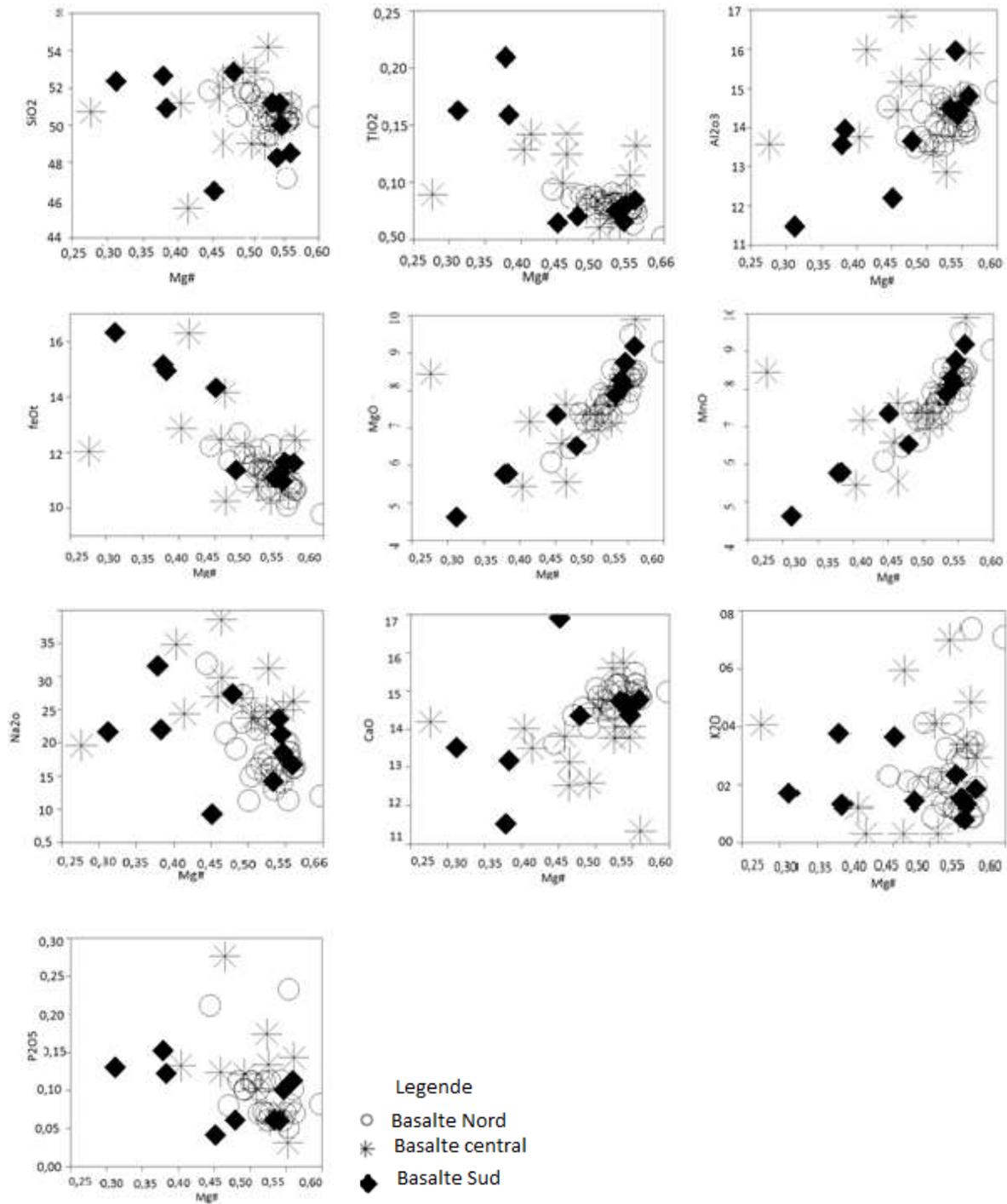


Figure 7 : Variation des principaux éléments majeurs en fonction de mg# dans les metabasaltes tholeïtiques du groupe de Mako.

I.2 Variation des éléments en traces

Les analyses des éléments en traces sont représentées dans le tableau II placé en annexe.

Les variations des éléments en trace en fonction de l'indice de différenciation (mg#) sont indiquées dans la figure 8.

Le nickel (Ni)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en nickel sont comprises entre 97 ppm et 309 ppm avec une moyenne de 149,08 ppm. Dans ceux du secteur central, elles varient de 71 à 226 ppm avec une moyenne de 129,75 ppm. Dans les metabasaltes du secteur sud, les teneurs en nickel se situent entre 57 et 142 ppm pour une moyenne de 112,50 ppm. La valeur la plus faible (57 ppm) est enregistrée dans les metabasaltes du secteur Sud et la plus élevée (309 ppm) est enregistrée dans les basaltes du secteur nord. Malgré la dispersion observée, les teneurs en nickel dans les metabasaltes augmentent en fonction de la hausse de mg#.

Le chrome (Cr)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en chrome sont comprises entre 127 et 412 ppm avec une moyenne de 267,54 ppm. Dans les metabasaltes du secteur central les teneurs en cet élément varient de 230 à 364 ppm avec une moyenne de 225,05 ppm. Dans les metabasaltes du secteur sud, les teneurs en chrome sont situées entre 54 et 274 ppm pour une moyenne de 209 ppm. Les valeurs la plus faible (54 ppm) et la plus élevée (412 ppm) en teneur de chrome sont enregistrées respectivement dans les basaltes des secteurs Sud et centre du groupe de Mako. Malgré la dispersion, les teneurs en chrome augmentent en fonction de la hausse de mg#.

Le vanadium (V)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en vanadium se situent entre 163 et 314 ppm avec une moyenne de 260,50 ppm. Dans ceux du secteur central, les teneurs en cet élément sont comprises entre 220 et 431 ppm pour une moyenne de 295,95 ppm. Dans les metabasaltes du secteur sud, les teneurs en vanadium varient de 261 et 401 ppm avec une moyenne de 331 ppm. Les valeurs la plus faible (163 ppm) et la plus élevée (431 ppm) sont connues dans les laves du secteur nord et central du groupe de Mako. Malgré la dispersion observée, au cours de la différenciation, les teneurs en vanadium décroissent avec l'augmentation de mg#.

Le strontium (Sr)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en strontium sont comprises entre 22 et 196 ppm pour une moyenne de 102,52 ppm. Dans les laves du secteur central, les teneurs en cet élément varient de 43 à 270 ppm pour une moyenne de 119,15 ppm. Dans ceux du secteur sud, les teneurs en strontium se situent entre 2,4 et 155 ppm avec une moyenne de 94,29 ppm. La valeur la plus faible (2,4 ppm) et la plus élevée (270 ppm) sont enregistrées dans les roches des secteurs central et sud. Au cours de la différenciation les teneurs en strontium ne se corrèlent pas avec le mg#.

Le rubidium (Rb)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en rubidium varient de 4 à 40 ppm avec une moyenne de 16,46ppm. Dans les laves du secteur central les teneurs en cet élément sont comprises entre 5 et 37 ppm pour une moyenne de 13,90 ppm. Dans ceux du secteur sud, les teneurs en Rubidium oscillent entre 1,53 et 17 ppm pour une moyenne de 8,11ppm. Les valeurs la plus faible (4ppm) et la plus élevée (40 ppm) sont enregistrées dans les laves du secteur Nord du groupe de Mako. Au cours de la différenciation, cet élément ne montre aucune corrélation avec le mg#.

Le baryum (Ba)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en baryum varient de 22 à 93 ppm avec une moyenne de 46,08ppm. Dans les metabasaltes du secteur central, les teneurs en cet élément se situent entre 21 et 448 ppm pour une moyenne de 93,88 ppm. Dans ceux du secteur sud les teneurs en cet élément sont comprises entre 23,7 et 104 ppm pour une moyenne de 56,31ppm. Les valeurs la plus faible (21 ppm) et la plus élevée (448 ppm) sont connues dans les laves du secteur central.

Au cours de la différenciation, les teneurs en baryum ne montrent aucune corrélation avec le mg#.

Le niobium (Nb)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako les teneurs en niobium varient de 2 à 7 ppm avec une moyenne de 4,92 ppm. Dans les metabasaltes du secteur central les teneurs en niobium sont comprises entre 4 et 21 ppm avec une moyenne de 10,80ppm. Dans ceux du secteur sud les teneurs en niobium se situent entre 1,56et 5,19 ppm pour une moyenne de 3,34 ppm.

Malgré le caractère dispersif, les teneurs en niobium diminuent en fonction de l'augmentation de mg#.

Le zirconium (Zr)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako, les teneurs en zirconium varient de 9 à 64 ppm avec une moyenne générale de 46,88 ppm. Dans les basaltes du secteur central, les teneurs en cet élément sont comprises entre 30 et 145 ppm pour une moyenne de 52,27 ppm. Dans ceux du secteur sud, les teneurs en zirconium se situent entre 1,29 et 109 ppm avec une moyenne de 37,34 ppm. La valeur la plus faible (1,56 ppm) est enregistrée dans les laves du secteur sud et la plus élevée (21 ppm) dans celles secteur central du groupe de Mako. Au cours de la différenciation, les teneurs en zirconium diminuent avec l'augmentation de mg#.

L'yttrium (Y)

Dans les metabasaltes du secteur nord du groupe de Mako les teneurs en yttrium sont comprises entre 14 et 23 ppm pour une moyenne de 19, 23 ppm. Dans ceux du secteur central, les teneurs en yttrium varient de 14 à 22 ppm avec une moyenne de 19 ppm. Dans les metabasaltes du secteur sud, les teneurs en yttrium se situent entre 8,9 et 37,35 ppm pour une moyenne de 10,91 ppm. La valeur la plus faible (8,9 ppm) est enregistrée dans les metabasaltes du secteur Sud et la plus élevée (23 ppm) est enregistrée dans les metabasaltes du secteur nord. Malgré son caractère dispersif, les teneurs en yttrium diminuent.

En conclusion, les teneurs en Nickel (Ni) et en chrome (Cr) augmentent en fonction de la hausse de mg# au cours de la différenciation magmatique. Les comportements de nickel et chrome sont mis en relation avec la cristallisation de minéraux ferromagnésiens (Clinopyroxenes et Olives). Par contre, les teneurs en vanadium (V), yttrium(Y), le zirconium (Zr), et le niobium (Nb) montrent une diminution en fonction de la hausse de mg#. Les éléments Ba, Sr et Rb sont tous dispersifs dans le diagramme de corrélation. Leurs comportement pourraient être liés à leurs caractères peu stable ou mobile au cours des processus post-magmatiques ayant affectés les roches.

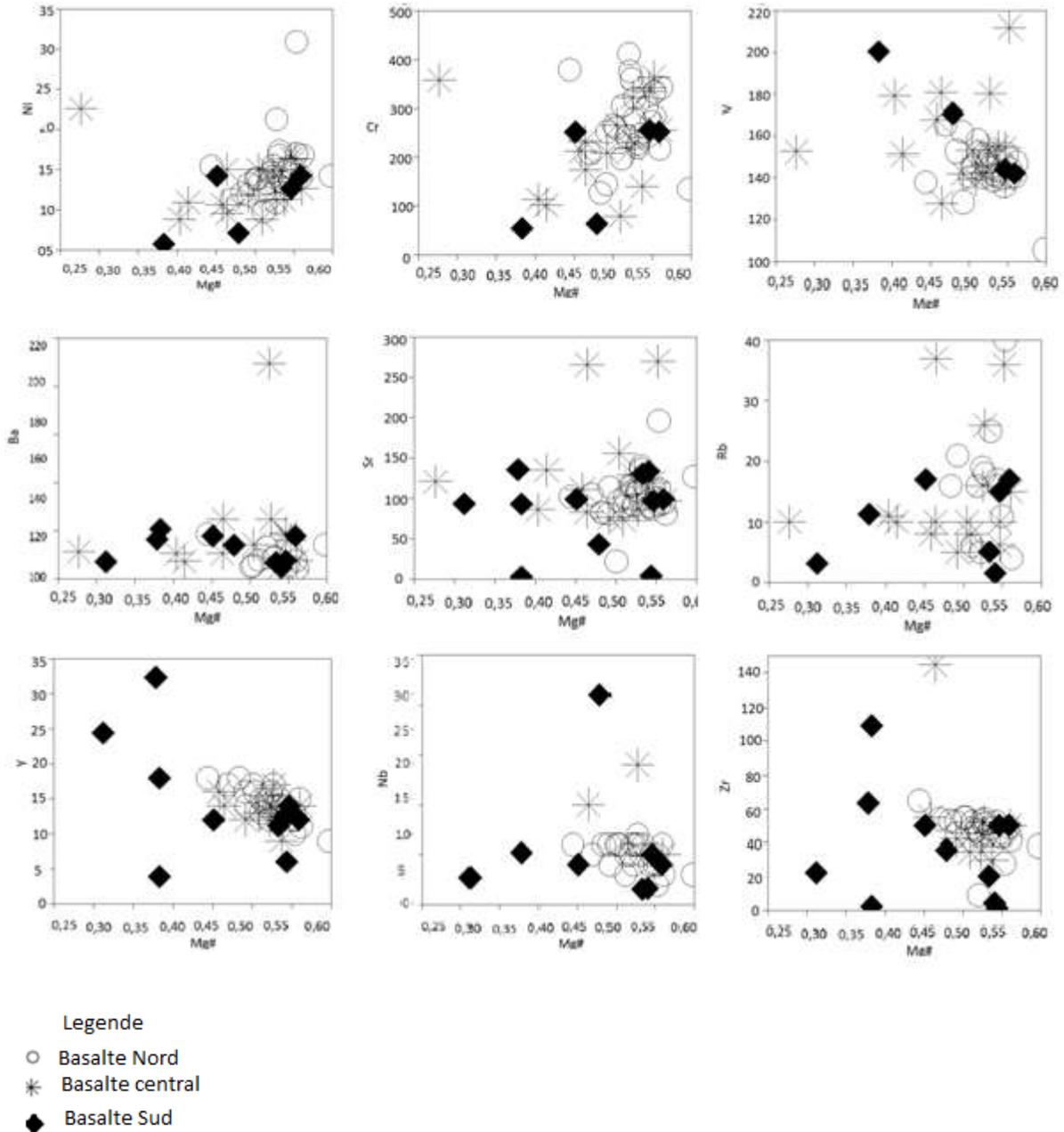


Figure 8 : Variation des principaux éléments en traces en fonction de mg# dans les metabasaltes tholeïitiques du groupe de Mako.

II. GEOCHIMIE DES TERRES RARES

Les analyses des terres rares des roches basaltiques du groupe de Mako sont indiquées dans le tableau IV placé en annexes.

Pour les laves de secteur sud, nous choisissons le carré plein ■ comme figure pour la série tholeiitique dénommée sud1 et le triangle plein ▲ pour désigner la série tholeiitique appelée sud2. Dans la partie Nord du groupe de Mako, les metabasaltes tholeiitiques présentent un degré de fractionnement des terres rares de 8 à 20 fois les chondrites.

Les spectres des terres rares normalisés aux chondrites montrent une allure presque plate sauf pour l'échantillon 8655. Le fractionnement des terres rares est marqué par un comportement légèrement appauvri à légèrement enrichi en terres rares légères par rapport aux terres lourdes. Dans l'ensemble ils sont caractérisés par les rapports LaN/YbN comprises entre 0,78 et 1,32 pour une moyenne de 1,05 ; LaN/SmN variant de 0,76 à 0,87 avec une moyenne de 0,81, et GdN/YbN sont comprises entre 0,81 à 1 avec une moyenne de 0,905. Ils présentent aussi de légères anomalies négatives et positives en Ce, quelques anomalies positives en Eu*. L'anomalie en Eu* pourrait être liée avec la cristallisation des plagioclases et l'anomalie en Ce pourrait être liée par le fractionnement précoce de l'olivine et de clinopyroxène ou aux phénomènes post magmatiques.

Dans la partie centrale du groupe de Mako, les metabasaltes tholeiitiques présentent un degré de fractionnement de terre rare de 5 à 48 fois les chondrites.

Les spectres des terres rares normalisés aux chondrites montrent une allure faiblement décroissante. Ces spectres sont caractérisés par les rapports LaN/YbN variant de 2,24 à 2,89 pour une moyenne de 2,52, LaN/SmN variant de 1,86 à 2,31 pour une moyenne de 2,08 et GdN/YbN de 1,39 à 1,80 avec une moyenne de 1,61. Ils présentent aussi quelques anomalies positives en Ce et en Gd et de légères anomalies négatives en Eu* et Yb.

Dans la partie sud du groupe de Mako, les spectres présentent deux types de profils, l'un essentiellement plat représentant les laves de la série tholeiitiques appelée Sud1 et l'autre légèrement décroissant représentant les laves constituant la série tholeiitique nommée sud 2. Les spectres des terres rares dans les metabasaltes de la série tholeiitiques sud 1 présentent un degré de fractionnement de 7 à 15 fois les chondrites. Ils sont caractérisés par un léger appauvrissement en terres rares légères avec les rapports LaN/YbN compris entre 0,73 à 0,83 pour une moyenne

de 0,94 , LaN/SmN variant de 0,71 à 0,96 avec moyenne de 0,79 et un appauvrissement en terres rares lourdes avec les rapport GdN/YbN compris entre 1,04 et 1,34 avec une moyenne de 0,9 . Ils présentent une anomalie négative en Eu*.

Le spectres de terres rares dans les metabasaltes de la serie tholeiitiques nommés sud2 présentent un degré de fractionnement de 17 à 75 fois les chondrites. Ils sont caractérisés par un léger enrichissement en terres rares légères avec les rapports LaN/YbN compris entre 1,1 et 2,64 pour une moyenne de 1,84 , LaN/SmN variant de 0,82 à 1,40 avec moyenne de 1,12 et GdN/YbN compris entre 1,2et 1,61 avec une moyenne de 1,46. Les spectres de terres rares de laves de la serie tholeitique sud2, présentent des légères anomalies négatives en Eu*.

En résumé, les analyses géochimiques des terres rares normalisées aux chondrites des roches basaltiques tholeiitiques du groupe de Mako montrent des allures sub-plats pour les laves dans les secteur nord et pour les laves de la serie tholeitique sud1 et légerements pentes pour les laves du le secteur central et de la serie tholeiitique sud2. Dans l' ensemble, ils sont riches en terres rares légères par rapport aux terres lourdes.

En outre, les spectres obtenus montrent la présence des légères anomalies negatives en Eu* dans les basaltes des secteurs central et dans les laves de la serie tholeiitique sud2, et d'anomalies positives dans le basaltes des secteurs nord et dans les laves de la serie tholeiitique sud1. Des anomalies negatives et positives en Ce dans les basaltes du secteur Nord et des positives en Ce dans le basaltes du secteur central.

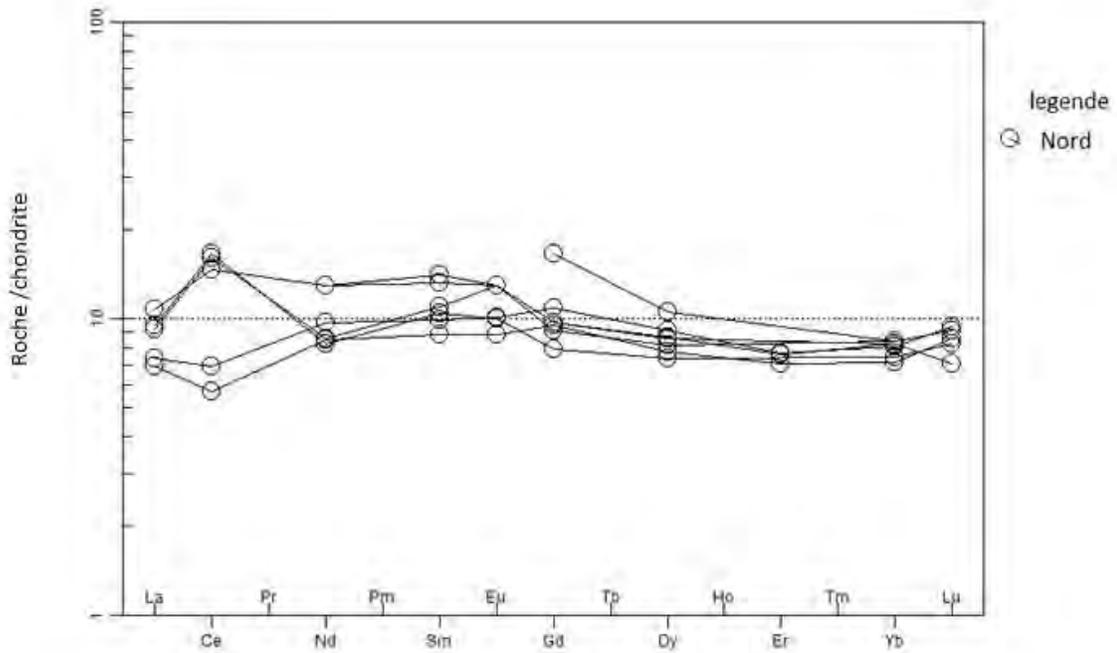


Figure 9 : Spectres de terres rares normalisés aux chondrites dans les laves du secteur Nord

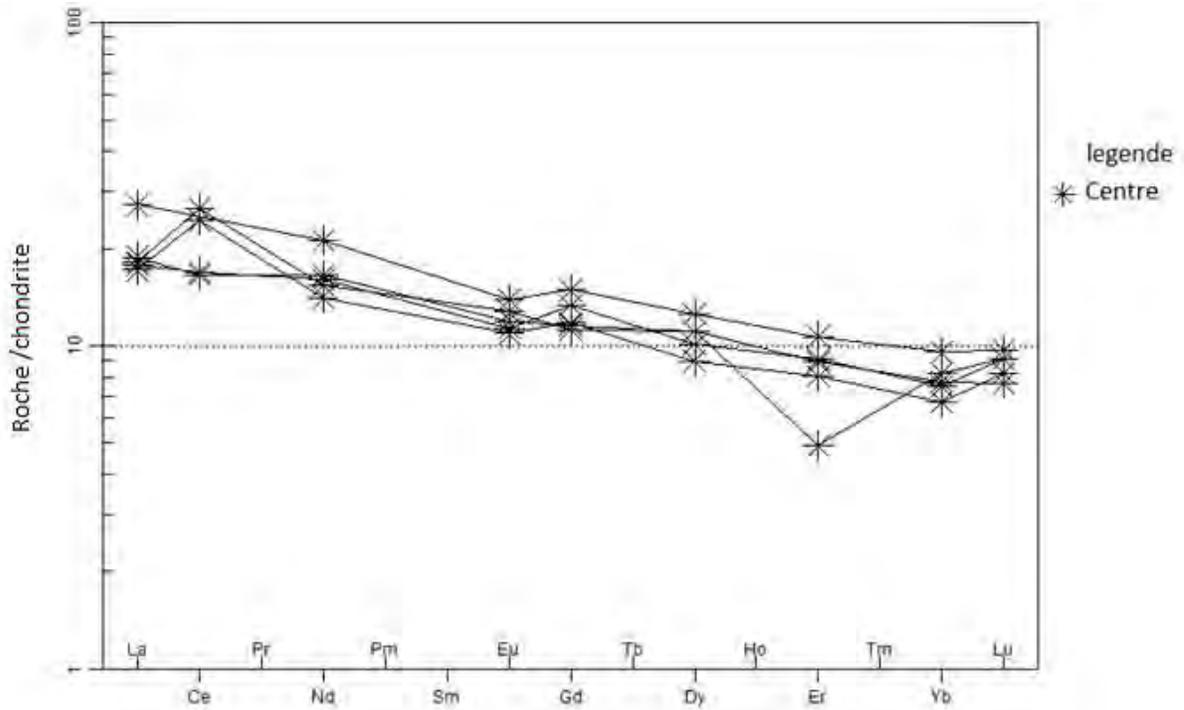


Figure 10 : Spectres de terres rares normalisés aux chondrites dans les laves du secteur central

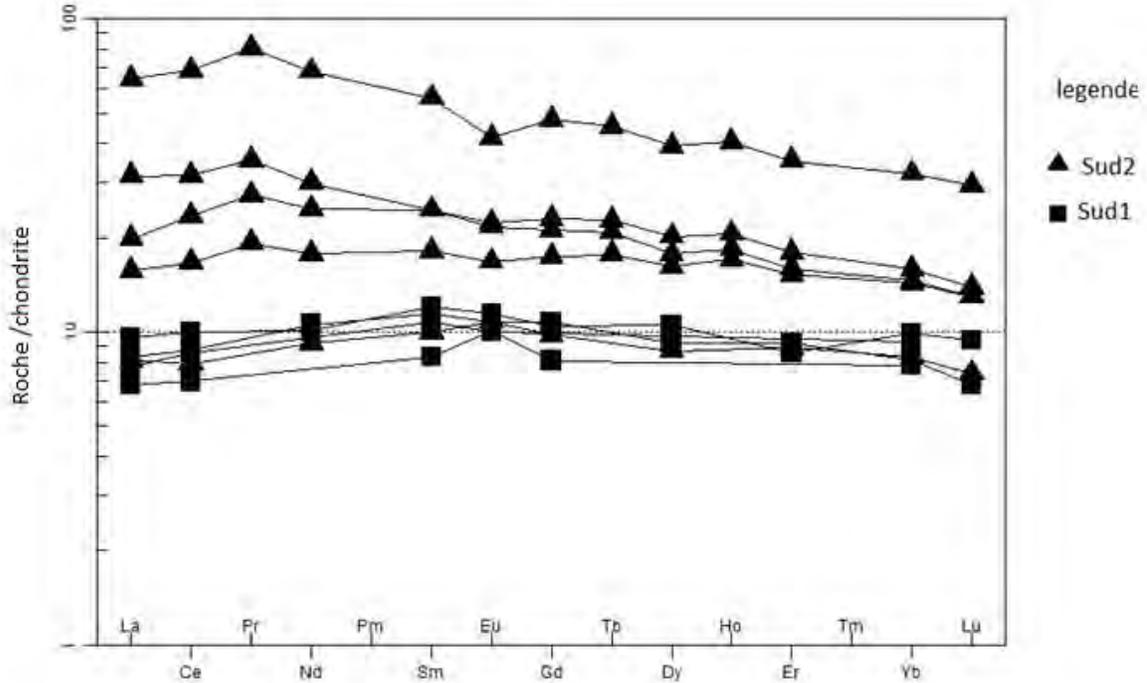


Figure 11 : Spectres de terres rares normalisés aux chondrites dans les laves du Secteur Sud .

III. CLASSIFICATION ET AFFINITE MAGMATIQUE

La classification et la nomenclature des roches basaltiques ainsi que la discrimination des séries magmatiques sont mises en évidence dans les diagrammes suivants :

III .1 Classification

III.1.1 Diagrammes Bas et al. (1986) et SiO_2/Na_2O+K_2O de Middle most (1994)

La classification et la nomenclature des roches basaltiques constituant les séries magmatiques tholeiitiques sont faites à l'aide de diagramme de Middle most (1994) et de Bas et al. (1986), basés sur les teneurs en SiO_2 et les alcalins ($Na_2O + K_2O$). Il est plutôt risqué d'utiliser ces diagrammes dans la mesure où certains éléments (SiO_2 et les alcalins) sont réputés mobiles au cours des processus post magmatiques. De ce fait, il est nécessaire de prendre certaines précautions en raison de la mobilité de ces éléments. Les échantillons à excès de silice sont éliminés et ceux respectant les normes citées dans la partie précédente ($SiO_2 < 52\%$) sont utilisés. Malgré le caractère mobile des alcalins (Na_2O+K_2O) leur somme dans nos analyses,

varient de 0,74 à 4,79%, l'intervalle est compatible à celle proposée par les auteurs de ces diagrammes. Dans l'ensemble, les échantillons analysés se positionnent dans les domaines des roches subalcalines et se repartissent entre les metabasaltes et des metabasaltes andésitiques.

III.1.1a) Diagramme de Bas et al. (1986)

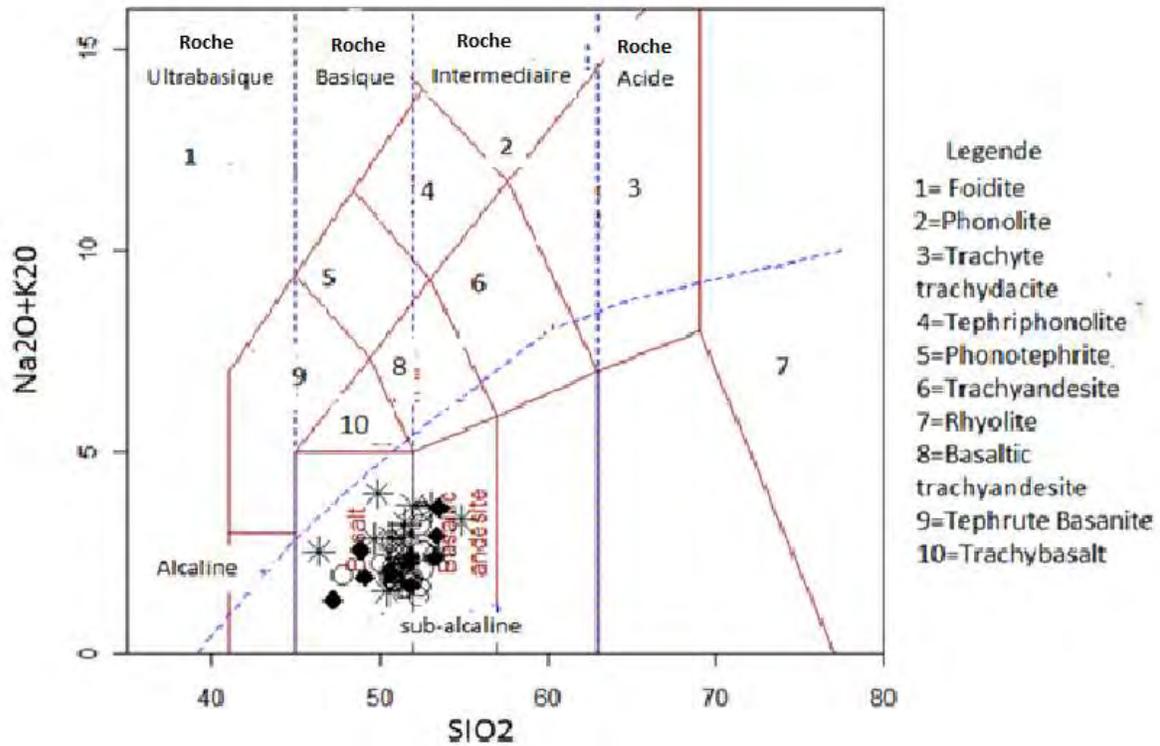


Figure 12 : Diagramme de Bas et al. (1986)

III.1.1.b) Diagramme de Middle most (1994)

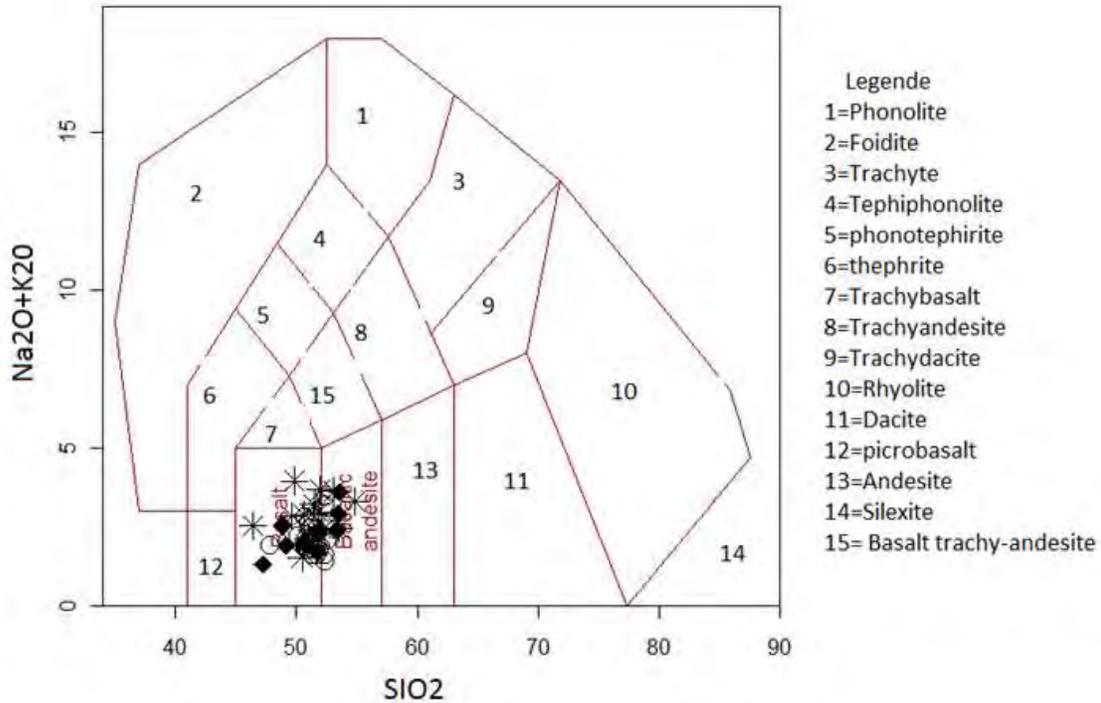


Figure 13 : Diagramme de Middle most (1994)

III.2) Affinité magmatique

III.2.2) Diagramme triangulaire AFM (Irvine et Barrager, 1971)

Le diagramme AFM de Irvine et Barrager (1971), est utilisé pour distinguer la série tholeiitique et la série calco-alcaline. Ce diagramme fait intervenir sur les éléments immobiles tels que le fer total $F=Fe_2O_3^*$ et le magnésium $M=MgO$ et des éléments mobiles tels que les alcalins $A=Na_2O+K_2O$. Ces derniers, sont utilisables car leur somme est compatible à celle proposée dans ce diagramme. Les échantillons analysés se placent dans le domaine de la série tholeiitique.

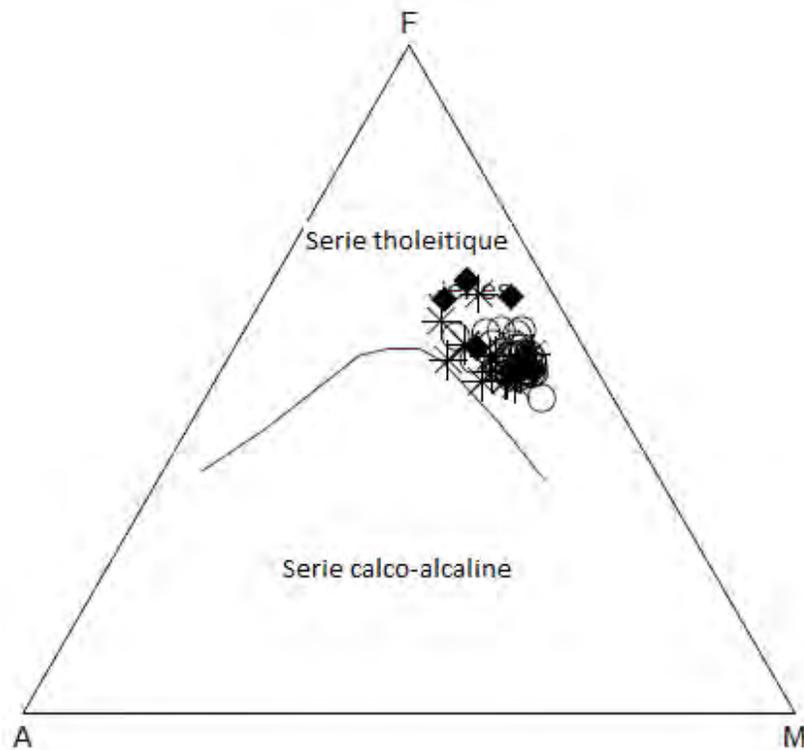


Figure 14 : Diagramme triangulaire AFM (Irvine et Barrager, 1971).

En conclusion, d'après les résultats obtenus par les diagrammes de classifications de nomenclatures ainsi la discrimination permettent de confirmer que les roches des secteurs étudiés sont caractérisées par des metabasaltes et des metabasaltes andésitiques, d'affinités tholeïtiques.

IV) Contexte géodynamique

Dans cette partie, nous allons utiliser le diagramme de Pearce et al (1977) et Mullen (1983), permettant la discrimination spécifique des environnements géotectoniques.

IV.1) Diagramme de Pearce et al (1977).

Pearce et al. (1977), propose la distinction des aires qui se répartissent entre les basaltes tholeïtiques océaniques et les basaltes continentaux.

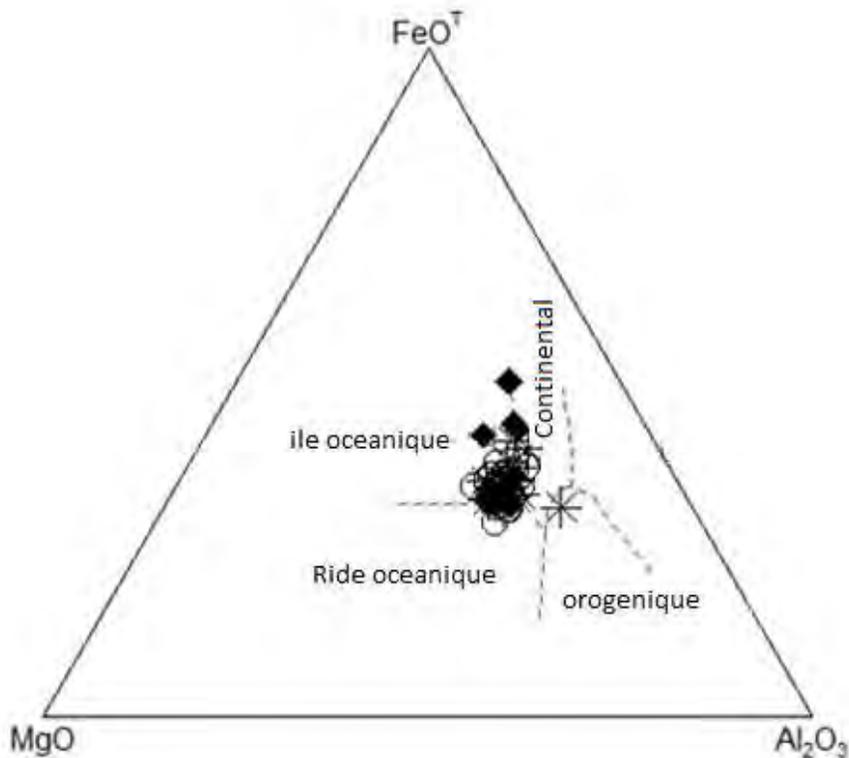


Figure 15 : Diagramme de pearce et al (1977) .

On remarque dans ce diagramme que les metabasaltes de Mako se répartissent dans les champs des basaltes des îles océaniques , des basaltes des rides océaniques , et des basaltes continentaux

IV.2) Diagramme de Mullen (1983) .

Ce diagramme se base sur des éléments majeurs telsque TiO₂-MnO-P₂O₅. Ces éléments sont relativement stables au cours des phénomènes post magmatiques.

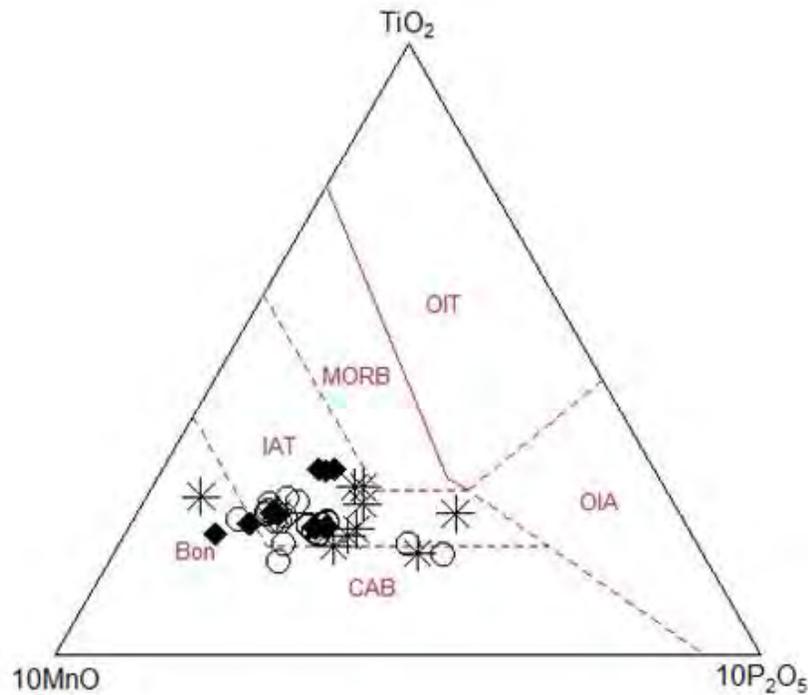


Figure 16 : Diagramme de Mullen (1983) : OIT= tholérites océaniques d'arc insulaire, MORB= basaltes des méditerranées océaniques, IAT= tholérites d'arc insulaire ; OIA = basaltes alcalins océaniques. CAB=basaltes calco- alcalins .

Ce diagramme indique que les basaltes tholeïtiques sont majoritairement localisés dans le domaine des IAT, hormis quelques échantillons qui présentent des teneurs en TiO_2 plus faibles qui tombent dans le domaine CAB .

En conclusion, les diagrammes utilisés ne donnent pas de façon précise les domaines de mise en place des roches étudiées . Cependant, les travaux antérieurs (Labou 2019) indiquent que les laves constituant la série tholeïtique Sud1 correspondent à des MORB. Les laves de la série tholeïtique Sud2 ainsi que celles des secteurs central et nord correspondent à des tholérites d'arc insulaire .

**QUATRIEME PARTIE :
ETUDE COMPARATIF**

I) ETUDE COMPARATIVE A L'ECHELLE DU GROUPE DE MAKO .

I.1) Comparaison pétrographique de roche basaltiques thoeiilitiques entre les differents secteurs du groupe de Mako (Boutonniere de kedougou-kenieba) .

Dans cette partie du document, nous allons procéder à une comparaison pétrographique des metabasaltes tholeiitiques entre les différents secteurs du groupe de Mako, afin de mettre en évidence, les ressemblances et les particularités de ces roches. Les données pétrographiques sont récapitulées dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : Comparaison de la composition petrographique des metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako.

Lithologie	Secteur Nord	Secteur Central	Secteur Sud
Metaasaltes en pilows	Plg- Amph sec(act) – Epi-chl-sph – Qtz- Mx op	Olv-Cpx -Plg- Amphsec(act)-Alb- Chl-Epi	Cpx- Plg-Amph sec(act)-Epi-Chl-Cal- Qtz-Mx op
Metbasaltes massifs	Plg-Amph sec(act)- Qtz- sph-Mx op	Plg ,Amph sec (act)-- Cpx-Epi-Qtz-Mx op	Plg- Amph sec (act)- Qtz-Bit-Chl-Cal-Epi- Mnx op

Amphi=amphibole, Plg=plagioclase, Cpx=clinopyroxène, Bit=biotite, Qtz=quartz, Epi=épidote, Olv=olivine, Sph=sphène, Apt=apatite, Chl=chlorite, Mx op=minéraux opaques.

Dans les metabasaltes en pillows, l'olivine n'est décrite que dans les laves du secteur central, le clinopyroxène est présent dans les laves des secteurs central et sud mais absent dans les laves de du secteur Nord, par contre, le plagioclase est observé dans les laves de tous ces secteurs. Les minéraux secondaires tels que l'amphibole secondaire, l'épidote et la chlorite sont observés dans les laves de tous ces secteurs. Cependant, le quartz et les minéraux opaques apparaissent dans les roches des secteurs Nord et Sud ; la calcite dans les metabasaltes du secteur Sud, et le sphène dans les metabasaltes du secteur Nord.

Dans les metabasaltes massifs, le clinopyroxène est observable dans les laves du secteur central, le plagioclase est décrit dans les metabasaltes de tous les secteurs. Les minéraux secondaires tels que l'amphibole secondaire, le quartz, les minéraux opaques apparaissent dans les metabasaltes des secteurs Nord, central et Sud du groupe de Mako, hormis l'épidote qui est

décrite dans les metabasaltes des secteurs centrale et Sud, la calcite et le sphène sont décrites dans les metabasaltes des secteur Sudet nord respectivement.

En conclusion, dans l'ensemble, les metabasaltes en structures en pillows et en structures massives apparaissent au Nord, au Centre et au Sud du groupe de Mako.

Les plagioclases sont observables dans les laves de tous ces secteurs, par contre les olivines, les clinopyroxènes, semblent rares. Ces minéraux primaires sont complètement ou partiellement transformés en minéraux secondaires presque identiques dans les roches de tous les secteurs.

I.2) Comparaison géochimique des roches basaltiques tholeiitiques entre les différents secteurs du groupe de Mako.

Introduction

Nous allons faire dans cette partie du document, une comparaison géochimique à l'échelle du groupe de Mako.

I.2.1) Comparaison entre les éléments majeurs

Les valeurs extrêmes et les valeurs moyennes de teneurs en éléments majeurs dans les metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako sont récapitulées dans le tableau 2 suivant :

Tableau 2 : Valeurs extrêmes et valeurs moyennes de teneurs en éléments majeurs dans les metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako.

% Oxydes	Secteur Nord	Secteur Central	Secteur Sud
SiO ₂	47,17-52,65(49,91)	45,55-54,20(49 -88)	46,49-52,65(50,50)
TiO ₂	0,51 - 0,94(0,80)	0,60 - 1,42(0,94)	0,65 -2,0(1,24)
Al ₂ O ₃	13,50- 14,9(14,15)	12,86 -16,83(14,59)	11,48- 15,96(14,12)
Fe ₂ O ₃	10,87 -14,12(12,50)	11,39-18,12(13,28)	112,18-18,14(14,96)
MnO	0,17- 0,22 (0,20)	0,16- 0,27(0,20)	0,18 -0,33(0,23)
MgO	6,08 - 9,49(7,83)	5,43-9,19(7,54)	4,62- 10,13(7,37)
CaO	9,25-12,94(11,58)	7,04-13,48 (10,10)	4,66-15,83(9,00)
Na ₂ O	1,13-3,20 (1,82)	1,42- 3,86(1,42)	0,93 -3,16(2,17)
K ₂ O	0,09-0,74 (0,25)	0 -0,70(0,21)	0,08-0,41(0,24)
P ₂ O ₅	0 - 0,23(0,08)	0 - 0,28(0,08)	0 -0,15(0,34)

Nous constatons, d'après le tableau ci-dessus, que les fourchettes des valeurs des teneurs en éléments majeurs dans les metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako sont presque identiques et leurs valeurs moyennes sont presque comparables entre elles, sauf les éléments titane (TiO₂), alumine (Al₂O₃), le fer (Fe₂O₃), le calcium (Ca) qui ne sont pas homogènes .

En conclusion, dans les différents secteurs du groupe de Mako, les valeurs des teneurs des éléments majeures sont proches entre elles. A cet effet, il est impossible de faire une distinction au sein de la série tholeiitique à partir de ces éléments.

I.2.2 Comparaison entre les éléments en traces

Les valeurs extrêmes et les valeurs moyennes des éléments en traces des metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako sont comparées dans le tableau 3 suivant :

Tableau 3 : Valeurs extrêmes et valeurs moyennes des éléments en traces dans les metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako

Oxydes (ppm)	Secteur Nord	Secteur Central	Secteur Sud
Ni	97 -309 (149,08)	71 -226 (129,75)	57- 142 (112,50)
Cr	127-412 (267,54)	230-364 (225,05)	54 - 274 (209)
V	163- 314 (260,50)	220 -43 (1 295,95)	0 -401 (401)
Sr	22 - 196 (102,52)	43-70 (119,15)	2,4 - 155 (94,29)
Rb	4 - 40 (16,46)	5 - 37 (13,90)	1,53 -17 (8,11)
Ba	22 -93 (46,08)	21 -448 (93,88)	23,7 -104 (56,31)
Nb	2 -7 (4,92)	4 -21 (10,80)	1,56-5,19 (3,34)
Zr	9 -64 (46,88)	30 - 145 (52,27)	1,29- 109 (37,34)
Y	14 - 23 (19 , 23)	14 - 22 (19,00)	8,9 -37(310,91)

Les metabasaltes tholéitiques étudiés présentent des teneurs moyennes en élément yttrium presque identiques dans les secteurs nord et central. Cet élément présente aussi un écart assez grand et une valeur moyennes élevées dans les laves de secteur Sud. Les éléments rubidium et niobium présentent des teneurs plus faibles par rapport aux autres éléments dans les différents

secteurs. En outre, les teneurs en éléments nickel, baryum, vanadium, zirconium, strontium et chrome varient d'un secteur à un autre.

En résumé, dans l'ensemble, les fourchettes des valeurs extrêmes et les valeurs moyennes en éléments en traces ne sont pas homogènes dans les laves de tous les secteurs étudiés, à l'exception de l'yttrium.

Cette différence indique que les liquides magmatiques dont dérivent ces roches n'ont pas toujours la même composition chimique des éléments en traces.

I.2.3) Comparaison entre les terres rares

Cette comparaison se fait à partir des spectres des moyennes des terres rares des metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako.

Le spectre représentant la moyenne des terres rares des metabasaltes constituant la série tholéiitique nommé Sud1 est sub-plat. Par contre, les spectres représentant les moyennes de terres rares de la série tholéiitique nommé Sud2, des laves des secteurs Nord et Central présentent une légère pente.

L'absence des superpositions des spectres des moyennes des terres rares des laves de la série tholeiitique Sud2, et des laves des secteurs Nord et Central indique que les liquides magmatiques responsables de ces roches n'ont pas la même composition chimique.

Les spectres des moyennes des terres rares des laves de la série tholeiitique Sud1, les laves des secteurs Nord et Central montrent la même composition en terres rares lourdes. Les spectres des moyennes des terres rares dans les laves de ces secteurs semblent parallèles. Cette observation indique que les liquides magmatiques dont dérivent ces roches ont évolué dans des conditions assez voisines.

En conclusion, nous pouvons dire que les spectres des moyennes des terres rares des metabasaltes des secteurs Nord, Central, et de la série tholeiitique Sud2 ont une allure comparable mais différent des spectres des moyennes des laves de la série tholeiitique Sud1.

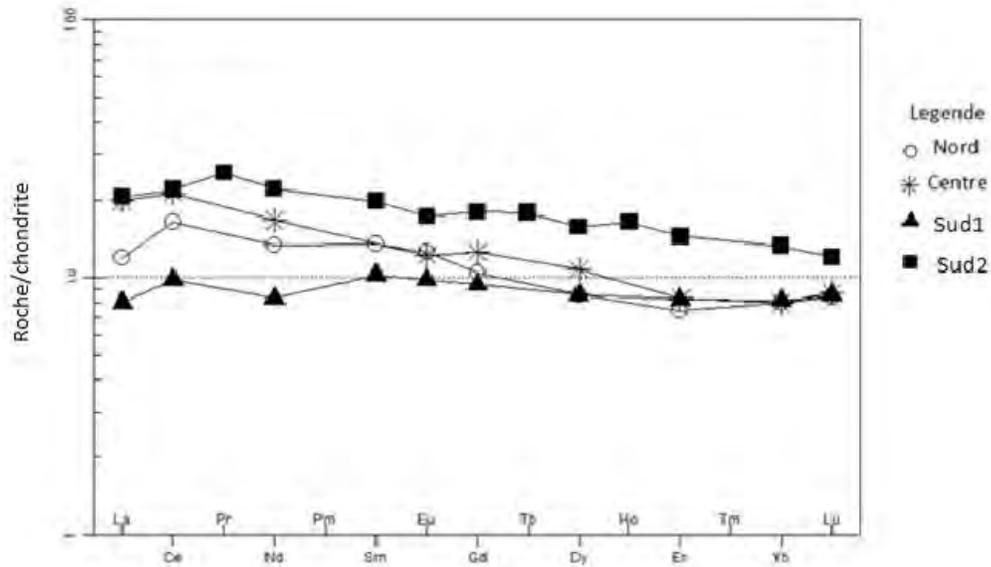


Figure 17 : comparaison des spectres des moyennes des terres rares des metabasaltes des différents secteurs du groupe de Mako .

II) COMPARAISON A L'ECHELLE DU CRATON OUEST AFRICAIN : Cas du secteur de la Sirba(Niger) .

II.1) Comparaison entre les éléments majeurs

Nous allons comparer dans cette partie, les teneurs en éléments majeurs des metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako avec ceux du secteur de Sirba au Niger. Les valeurs extrêmes et moyennes en éléments majeurs sont représentées dans le tableau 4 ci-dessous :

Tableau 4 : valeurs extremes et valeurs moyennes des éléments majeurs dans les metabasaltes tholeïitiques des différents secteurs du groupe de Mako et de la Sirba.

% Oxydes	Secteur Nord	Secteur Central	Secteur Sud	secteur de la Sirsa
SiO ₂	47,17-52,65(49,91)	45,55-54,20(49,87)	46,49-52,65(50,50)	54,13-60,36(57,49)
TiO ₂	0,51 - 0,94(0,80)	0,60 - 1,42(0,94)	0,65 -2,0(1,24)	0,60-0,80(0,76)
Al ₂ O ₃	13,50- 14,9(14,15)	12,86 -16,83(14,59)	11,48- 15,96(14,12)	15,55-15,79(15,82)
Fe ₂ O ₃	10,87 -14,12(12,50)	11,39-18,12(13,28)	12,18-18,14(14,96)	1,58-3,17(2,12)
MnO	0,17- 0,22 (0,20)	0,16- 0,27(0,20)	0,18 -0,33(0,23)	0,18-0,18(0,18)
MgO	6,08 - 9,49(7,83)	5,43-9,19(7,54)	4,62- 10,13(7,37)	7,74-10,41(8,07)
CaO	9,25-12,94(11,58)	7,04-13,48 (10,10)	4,66-15,83(9,00)	10,26-14,54(12,45)
Na ₂ O	1,13-3,20 (1,82)	1,42- 3,86(1,42)	0,93 -3,16(2,17)	0,70-2,64(2,07)
K ₂ O	0,09-0,74 (0,25)	0 -0,70(0,21)	0,08-0,41(0,24)	0,15-0,34(0,20)
P ₂ O ₅	0 - 0,23(0,08)	0 - 0,28(0,08)	0 -0,15(0,34)	0,06-0,19(0,10)

D'après les données ci dessus , nous constatons que les laves basaltiques du secteur de Sirba présentent des teneurs moyennes en éléments majeurs pratiquement comparables à celles du groupe de Mako , sauf pour les éléments silice , titane, fer total et calcium .

II.2) Comparaison entre les éléments en traces

Les valeurs extremes et les valeurs moyennes en éléments en trace des metabasaltes tholéïitiques des différents secteurs du groupe de Mako et celles du secteur de la Sirba sont représentées dans le tableau 5 ci-dessous :

Tableau 5 : valeurs extremes et valeurs moyennes des éléments en traces dans les metabasaltes tholeïitiques des différents secteurs du groupe de Mako et du secteur de la sirba.

Oxydes (ppm)	Secteur Nord	Secteur Central	Secteur Sud	secteur de la Sirba
Ni	97 -309 (149,08)	71 et 226 (129,75)	57- 142 (112,50)	
Cr	N 127-412 (267,54)	230à 364 (225,05)	54 - 274 (209)	
V	163- 314 (260,50)	220 et431 (295,95)	0 -401 (401)	231-434(307,9)
Sr	22 - 196 (102,52)	43et 270 (119,15)	2,4 - 155 (94,29)	79-140(100,2)
Rb	4 - 40 (16,46)	5 et 37 (13,90)	1,53 -17 (8,11)	0,54-4,59(1,9)
Ba	22 -93 (46,08)	21 et 448 (93,88)	23,7 -104 (56,31)	8,88-1,12(39,13)
Nb	2 -7 (4,92)	4 et 21 (10,80)	1,56-5,19 (3,34)	0,1-2,74(0,97)
Zr	9 -64 (46,88)	30 et 145 de 52,27	1,29- 109 (37,34)	9,8-43(30,68)
Y	14 - 23 (19 , 23)	14 à 22 (1)	8,9 -37(310,91)	9,4-18,9(14,14)

Les tableaux ci-dessus montrent que les teneurs en éléments en traces dans les laves du secteur de la Sirba sont généralement inférieures à celles dans les laves du groupe de Mako, hormis les éléments vanadium et strontium qui présentent des teneurs presque semblables dans les laves de ces deux segments du craton ouest africain.

II.3) Comparaison entre les terres rares

L'analyse des spectres des moyennes de terres rares indique que les laves du groupe de Mako sont plus riches en terres rares légères et intermédiaires que celles de Sirba. Toutefois, il convient de signaler que les teneurs en terres rares lourdes sont comparables pour les laves du secteur de la Sirba, et celles des laves des secteurs Central, Nord et de la série tholeiitique Sud1 du groupe de Mako.

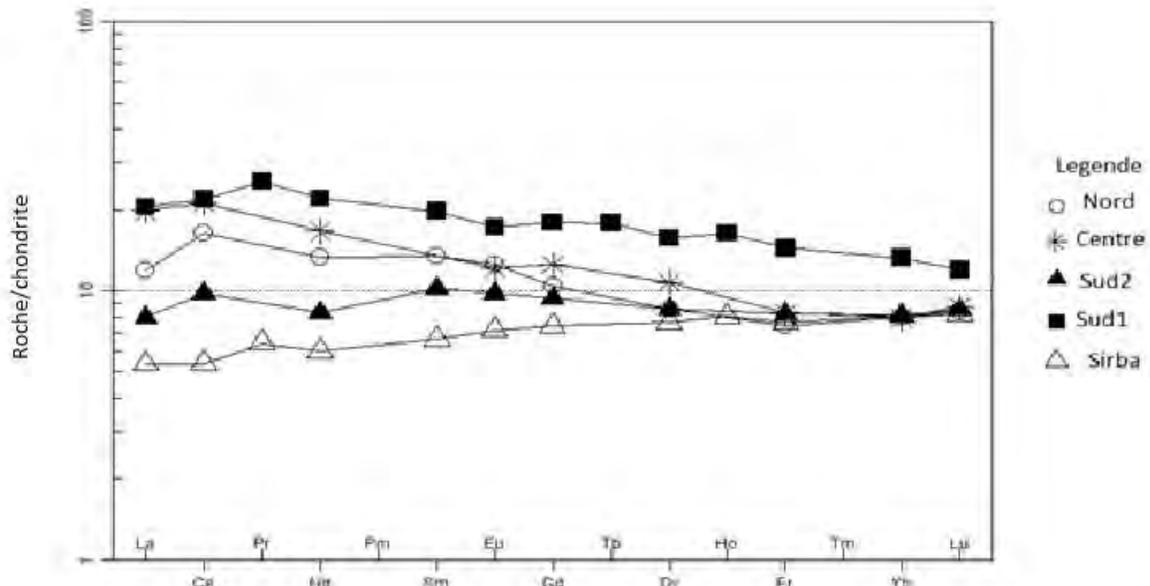


Figure 18 : Comparaison des spectres des moyennes des terres rares des metabasaltes tholeiitiques des différents secteurs du groupe de Mako avec celui de Sirba.

CONCLUSION GENERALE

Les roches volcaniques basiques du groupe de Mako apparaissent dans plusieurs endroits qui sont regroupés en trois secteurs : les secteurs Nord, Central et Sud. Elles constituent des coulées des laves massives, et des laves en pillows. Ce sont des roches à texture soit aphanitique, soit porphyrique, soit subophitique, qui présentent une composition minéralogique primaire homogène complètement ou partiellement transformée en paragenese secondaire caracteristique du metamorphisme de type schiste vert.

Du point de vue géochimique, leurs compositions en éléments en traces ne sont pas homogènes, contrairement aux éléments majeurs qui sont presque identiques. Deux groupes de laves des séries tholeiitiques sont mis en évidence grâce à l'étude de terres rares: le premier groupe nommé Sud1 caractérisé d'un léger appauvrissement en terres rares légères et intermédiaires et pauvre en terres rares lourdes. Et le second groupe constitue les laves des secteurs Nord, Centre et Sud2 , caractérisés d'un léger enrichissement en terres rares légères et intermédiaires et un léger appauvrissement en terres rares lourdes.

Du point de vue géodynamique, les travaux antérieurs indiquent que la serie tholeiitique nommée sud1 correspond à des tholeiites de type MORB et les laves de la serie tholeiitique Sud2 ainsi que celles des secteurs Nord et Central correspondent à des tholeites d'arc insulaire .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abouchami, W., Boher, M., Michard, A., Albarède, F., 1990.** A major 2.1 Ga old event of mafic magmatism in West Africa: an early stage of crustal accretion. *Geophys. Res.Lett.* 95, 17605-17629.
- Ama Salah, I. 1991.** Etudes pétrographiques et structurales des formations métavolcaniques et sédimentaires du Birimien du Niger occidental. Problème de l'accrétion crustale au Protérozoïque inférieur. *7Xsc &I 'Université' d'Orléans* 257~. Orléans Geosciences, mémoire no.03, France, 254p.
- Arnould, A., 1961.** Etude géologique des migmatites et des granites précambriens du NE de la Côte d'Ivoire et de la Haute Volta méridionale. Thèse Clermont Ferrand, 1960. Mém. BRGM, Fr., n°3, 174p.
- Bassot J.P (1966).** Etude géologique du Sénégal oriental et de ses confins Guinéo-Maliens. Mém.B.R.G.M. N° 40, 332p.
- Cahen L., Snelling N.J., Vail J.R., 1984.** The geochronology and evolution of Africa. *Oxford Univ. Press.* 512 pp.
- Cissokho, S. (2010).** Etude géologie du secteur de Mako (partie méridionale du Supergroupe de Mako) , boutonnière de Kédougou-Kéniéba, Sénégal oriental) : Implications sur la diversité magmatique. Thèse de 3^{ème} Cycle Université Cheikh Anta Diop de Dakar ,160 p.
- Davis, D.W., Hirdes, W., Schaltegger, U., Nunoo, E.A., 1994.** U–Pb age constraints on deposition and provenance of Birimian and gold-bearing Tarkwaian sediments in Ghana West Africa. *Precambrian Res.* 67, 89-107.
- Dabo, M. (2011).** Tectonique et minéralisations aurifères dans les formations birimiennes de Frandi-Boboti, boutonnière de Kédougou-Kéniéba, Sénégal. Thèse d'Etat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 207p.
- Debat, P., Diallo D.P., Rollet, M., Seyler M., 1982.** Mise en évidence d'une série magmatique basique atectonique dans les formations birimiennes du Sénégal oriental. C. Acad. Sci. Paris, 294, p. 211 – 213.

- Dia, A. (1988).** Caractérisation et signification des complexes magmatiques et métamorphiques du secteur de Sandikounda-Laminia (Nord de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba, Est du Sénégal). Un modèle géodynamique du Birimien de l'Afrique de l'Ouest. Th. Etat : Géol : UCAD de Dakar ,351 p
- Diallo, D.P., 1983.** Contribution à l'étude géologique de la série du Dialé (Birimien) dans les monts Bassaris-Sénégal oriental (secteur de Bandafassi-Ibel-Ndébou-Landiéné). Thèse de 3ème cycle, Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, 185 p.
- Diallo, D.P. (1994).** Caractérisation d'une portion de croûte d'âge protérozoïque inférieur du craton ouest africain : cas de l'encaissant des granitoïdes dans le supergroupe de Mako (boutonnière de Kédougou) : Implications géodynamiques. These Doct.Etat.Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar , 446 p.
- Diallo D.P. (2001).**Le paléo-volcanisme de la bordure occidentale de la boutonnière de Kédougou, paléo protérozoïque du Sénégal oriental : incidences géotectoniques, 919-940.
- Diène, M. (2012).** Evolution d'un segment du craton ouest africain : cas des formations paléo-protérozoïques du supergroupe de Mako, boutonnière de Kédougou-Kéniéba (Sud-est du Sénégal). Thèse d'Etat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 154p.
- Dioh, E. (1995).**Caractérisation, signification et origine des formations birimiennes encaissantes du granite de Dioumbalou (partie septentrionale de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba-Sénégal oriental). Thèse de doctorat à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal ,427 p
- Dioh, E., 1986.** Etude des roches magmatiques Birimiennes de la région de Sonfara- Laminia- Médina Foulbé (Sénégal Oriental). Thèse de doctorat 3ème cycle, Univ. Nancy I,France, 144 p.
- Dioh E, Diallo D.P, Ndiaye P.M, Ngom P.M (2001).** Pétrologie et implication géodynamique du pluton de Kaourou-Alinguel (Boutonnière de Kédougou Sénégal-oriental). Bulletin de l'IFAN. Ch. A. Diop, Dakar 351 – 371.
- Dioh, E., Debat, P., Dia, A., Pons, J., Rocci, G., Rollet, M., 1990.** Caractérisation d'un complexe rubané dans les formations Birimiennes de la partie septentrionale de la boutonnière de Kédougou – Kéniéba. *C.R. Acad. Sci. Paris Série 2*, 310, 935-940.
- Evensen n.m., Hamilton P.J. et O'nions R.K. 1978 -** Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, 1199-1212.

Feybesse, J.L., Milesi, J.P., Johan, V., Dommanget, A., Calvez, J.Y., Boher, M., Abouchami, W., 1989. La limite Archéen - Protérozoïque d'Afrique de l'Ouest : une zone de chevauchement antérieure à l'accident de Sassandra ; l'exemple des régions d'Ondienné et de Touba (Côte d'Ivoire). *C.R. Acad. Sci. Paris* **309**, 1847-1853.

Gozo A. (2000). Cartographie géologique et structurale dans le secteur de Niéniéko (Paléoprotérozoïque du Sénégal oriental)- Implications métallogéniques. Mémoire présenté à l'UCAD, Senegal, 55p.

Gozo A. (2017). Pétrographie du volcanisme paléoprotérozoïque calco-alcalin du groupe de Mako (Sénégal oriental) : Incidences géotectoniques. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal. , 193p.

Hirdes, W., Davis, D.W., Eisenlohr, B.N., 1992. Reassessment of Proterozoic granitoid ages in Ghana on the basis of U/Pb zircon and monazite dating. *Precambrian Res.* **56**, 89-96. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(92\)90085-3](https://doi.org/10.1016/0301-9268(92)90085-3)

Hirdes, W., Davies, D.W., Lüdtkke, G., Konan, G., 1996. Two generations of Birimian (Paleoproterozoic) volcanic belts in northeastern Côte d'Ivoire (West Africa): consequences for the «Birimian controversy». *Precambrian Research*, 80, 173 – 191.

IRVINE T.N. et BARAGAR W.R.A. 1971 - A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Cano J. Earth Sei.*, 8, 523-548.

Junner N.R., 1940. Geology of the Gold Coasts and Western Togoland. *Gold coast Geol. Survey. Bull.* N°11; 40p.

Kesse, G.O., 1986. The Birimian system in Ghana. *Publ. Occas CIFEG* **10**, 85-98.

Kitson, A.E., 1928. Provisional geological map of the Gold Coast and westernTogoland, with brief descriptive notes thereon. *Gold Coast Geol. Surv., Bull.*, 2.

Labou I. (2019). Les complexes mafiques et ultrabasiques birimiens de la ceinture de Mako (Sénégal Oriental) témoins d'une évolution d'un domaine intra-océanique vers un domaine d'arc insulaire. Thèse de doctorat, Univ. Toulouse 3-Paul Sabatier, 300p.

Ledru, P., Pons, J., Milesi, J., Feybesse, J., Johan, V., 1991. Transcurrent tectonics and polycyclic evolution in the Lower Proterozoic of Senegal-Mali. *Precambrian Res.* **50**,337-354.



- Ledru, P., Pons, J., Milesi, J.P., Feybesse, J.L., Dommanget, A., Johan, V., Diallo, M., Vinchon, C., 1989.** Tectonique transcurrente et évolution polycyclique dans le Birimien, Protérozoïque inférieur du Sénégal - Mali (Afrique de l'Ouest). *C.R. Acad. Sci. Paris*, T. 308 Sér. II 117-122.
- Lemoine, S., Tempier, P., Bassot, J.P., Caen-Vachette, M., Vialette, Y., Wenmenga, V., Touré, S., 1985.** The Burkinian, an orogenic cycle, precursor of the Eburnean of West Africa. *13 th Coll. Afric. Geol.*, St Andrews, Scotland.
- Diallo, M., Vinchon, C., 1989.** Tectonique transcurrente et évolution polycyclique dans le Birimien, Protérozoïque inférieur du Sénégal - Mali (Afrique de l'Ouest). *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 3 MIDDLEMOST E.A.K. 1980 - A contribution to the nomenclature and classification of volcanic rocks. *Geol. Mag.* 117, 51-7.08, Série II, p. 117-122.
- MIDDLEMOST E.A.K. 1980** - A contribution to the nomenclature and classification of volcanic rocks. *Geol. Mag.* 117, 51-7.
- Milesi, J.P., Tegye, M., 1986.** Permis or Kouroussa. Données lithostratigraphiques et géologiques (Guinée). *Rap. BRGM., Fr.*, 86. GIN 029 GMX.
- MULLEN E.D. 1983** - MnOrri02/P205 : A minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and planetary science letters* 62, 53-62.
- Mission Sénégal-Soviétique de recherches minières.(1972- 1973).** Rapports inédits. Dir. Mines Géol. Dakar Sénégal.p.
- Ndiaye, P.M. (1986).** Etude géologique et métallogénique de la partie septentrionale du granite de Saraya (secteur de Missira-Wassangara-Frandi) (Sénégal Oriental). Thèse de 3^{ème} cycle en Géologie – (Dakar. Faculté des Sciences) ,109p.
- Ndiaye, P.M. (1994).** Evolution au protérozoïque inférieur de la région Est Saraya (craton de l'Afrique de l'Ouest, Sénégal-Mali). Tourmalinisations, altérations hydrothermales et minéralisations associées. Thèse d'Etat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar.372 p.
- Ngom, P.M. (1985).** Contribution à l'étude de la série birimienne de Mako dans le secteur aurifère de Sabodala (Sénégal oriental). Thèse présentée à l'Université de Nancy I pour l'obtention du grade de Docteur de 3^{ème} Cycle (Géologie). 134 p.
- Ngom, P.M., (1989).** Caractères géochimiques des formations Birimiennes du super-groupe de Mako (Sabodala et ses environs). *Afr. Earth Sci.* 8, 91-97

Ngom, P.M. (1995). Caractérisation de la croûte birimienne dans les parties centrale et méridionale du supergroupe de Mako : Implications géochimiques et pétrogénétiques. Thèse d'Etat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal., 240 p.

Ngom P.M, M, Cissokho, Dabo M, (2007). Signification géodynamique des roches volcaniques dans les ceintures des roches vertes d'âge paléo-protérozoïques. Exemple de la partie méridionale du supergroupe de Mako, boutonnière de Kédougou (Sénégal). Approche des éléments en traces. 52-71

Pawlig, S., Gueye, M., Klischies, R., Schwarz, S., Wemmer, K., Segesmund, S., 2006. Geochemical and Sr – Nd isotopic data on Birimian formations of the Kedougou – Keneieba Inlier (Eastern Senegal): Implications of the Paleoproterozoic evolution of the West African Craton. *South African Journal of Geology* 109, 407 –423.

Pearce, J.A., 1996. A User's Guide to basalt discrimination diagrams, in Wyman, D.A., ed., trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration. *Geol. Assoc. Can. Short Course Notes* 12, 79-113.

Pearce, J.A., Gale, G.M., 1977. Identification of deposit environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 7, 14-24.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.C., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.* 25, 956-983.

Theveniaut, H., Ndiaye, P.M., Buscail, F., Coueffe, R., Delor, C., Fullgraf, T., Goujou, J.C., 2010. Notice explicative de la carte géologique du Sénégal oriental à 1/500000. Ministère des Mines, de l'industrie de l'agro-industrie et des PME, Direction des mines et de la géologie, Dakar, Sénégal, 120 p.

Walter, J., Chantraine, J., 1974. Rapport de fin de mission Daléma - Campagne 1973-1974. Prospection géochimique stratégique en "stream-sediment" pour cuivre et or sur le permis (Sénégal oriental). *BRGM report, France*, 74, Dak 01, pp 38.

Witschard F. (1965). Contribution à l'étude géologique, pétrographique et métallogénique des massifs granitiques du Sénégal oriental. Editions BRGM. No. 44.

ANNEXES

Contribution à l'étude des roches volcaniques basiques tholeiitiques du groupe de Mako (Boutonnière de Kédougou-Kéneiba, du Sénégal Oriental)

Tableau I : Analyses des éléments majeurs et des éléments en traces des basaltes tholeiitiques du secteur Nord du groupe de Mako (Dia, 1988 ; Diallo, 1994 et Dioh, 1995) .

Echantillo	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3 ⁺ MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	total	Mg ^{II}	Ni	Co	Cr	V	Sr	Rb	Ba	Nb	Zr	Y		
67	51,19	0,75	14,64	11,21	0,20	7,66	11,92	2,03	0,33	0,07	100	0,55	151	71	272	278	100	11	27	4	44	17	
46s	50,25	0,81	14,40	12,38	0,20	7,87	12,35	1,62	0,12	0,00	100	0,53	173	118	227	254	140		45				
R1	50,25	0,78	14,18	11,92	0,20	8,36	12,36	1,86	0,09	0,00	100	0,56											
66	51,98	0,80	14,61	11,93	0,17	7,29	11,12	1,82	0,21	0,07	100	0,52	141	62	376	265	92	5	65	4	45	17	
61	50,44	0,73	14,83	11,85	0,19	8,53	11,60	1,63	0,13	0,07	100	0,56	168	77	343	268	81	4	22	3	42	16	
65	51,35	0,82	14,11	12,68	0,20	7,44	11,51	1,61	0,21	0,07	100	0,51	97	74	197	295	90	6	39	3	48	18	
D46	50,22	0,81	14,39	12,37	0,20	7,86	12,34	1,62	0,12	0,00	100	0,53	168		220	246	136		44	5	45	19	
86119	50,13	0,79	14,76	12,60	0,21	7,66	11,00	2,42	0,33	0,11	100	0,52	146		412	278	115			6	9	20	
6119	49,43	0,81	14,03	13,63	0,21	8,55	11,07	1,75	0,41	0,11	100	0,53	213		321	264	109			6	51	19	
Msa	50,49	0,51	14,91	10,87	0,21	9,05	11,97	1,20	0,71	0,08	100	0,60	142		135	163	127		71	3	38	14	
ORal	50,21	0,78	14,16	12,01	0,20	8,35	12,35	1,85	0,09	0,00	100	0,55					92			5	45	18	
8658	51,19	0,77	13,91	11,82	0,20	8,44	11,76	1,62	0,19	0,10	100	0,56	140		218	251	94		37	6	49	20	
8615	51,77	0,88	13,66	12,80	0,20	7,21	12,14	1,13	0,22	0,11	100	0,50	138		265	251	22		25	6	55	22	
8615	51,75	0,87	13,57	12,88	0,20	7,32	11,70	1,50	0,09	0,11	100	0,50	139		260	264	97		28	6	55	21	
8613	51,85	0,94	14,55	13,59	0,21	6,08	9,25	3,20	0,23	0,21	100	0,44	154		380	244	102		93	6	65	23	
8660	50,53	0,84	13,53	13,45	0,21	7,91	11,00	2,20	0,22	0,10	100	0,51	123		306	280	102			5	52	20	
1	50,81	0,81	14,89	11,48	0,18	7,98	11,46	2,00	0,17	0,23	100	0,55	309		334	251	112		57	4	45	17	
186561	51,96	0,85	13,77	13,30	0,21	7,20	10,11	2,31	0,19	0,10	100	0,49	118		145	305	81			6	52	21	
18655	52,56	0,87	13,76	13,00	0,21	6,46	10,71	2,14	0,21	0,08	100	0,47	113		209	314	105			5	54	22	
4.25	50,24	0,63	14,04	12,13	0,20	8,53	12,04	1,75	0,35	0,08	100	0,56											
5.752	51,76	0,80	14,41	12,13	0,19	6,60	10,85	2,72	0,41	0,10	100	0,49	132		252	221	114	21		4	45	19	
5.25b	51,02	0,78	13,89	12,65	0,21	7,62	12,00	1,69	0,13	0,07	100	0,52	133		243	250	116	16		5	47	19	
4.57c	50,49	0,91	14,47	11,70	0,19	7,32	12,31	2,29	0,24	0,07	100	0,53	109		279	278	109	18		7	54	22	
4.54b	50,52	0,89	13,50	14,12	0,21	7,41	11,13	1,92	0,19	0,11	100	0,48	121		127	282	82	16		6	53	23	
4.41c	51,25	0,83	13,55	12,76	0,19	7,86	11,79	1,52	0,19	0,06	100	0,52	155		360	269	91	19		6	53	21	
4.41d	50,72	0,76	13,96	12,42	0,19	8,34	11,96	1,40	0,17	0,06	100	0,54	136		244	239	87	16		5	45	18	
5.60c	51,03	0,79	13,91	12,43	0,19	8,01	12,00	1,30	0,29	0,06	100	0,53	134		246	252	86	25		6	48	20	
5.61b	50,04	0,89	14,29	12,89	0,20	8,59	11,17	1,53	0,29	0,11	100	0,54	153		302	249	90	17		4	52	19	
5.57b2	47,17	0,76	13,85	13,64	0,22	9,49	12,94	1,14	0,74	0,05	100	0,55	170		283	262	196	40		2	28	15	

Tableau II : Analyses des éléments majeurs et des éléments en traces des basaltes tholeiitiques du secteur central du groupe de Mako (Ngom, 1985, 1995 et Diallo, 1994).

Echantillo	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Ni	Co	Cr	V	Sr	Rb	Ba	Nb	Zr	Y
90-64	54,2002654	0,71450444	12,8610799	11,432071	0,20414413	7,15525161	10,1051342	3,12340512	0,13269368	0,06124324	0,50904148		112	43	230	70,6	351	86	90,5	26
91-6	52,8647432	0,60364232	13,3824432	11,9603028	0,17393084	6,95723348	11,5408226	2,38387559	0,03069368	0,10231226	0,45849071		88	46	79	120	248	73	68	8
M515	51,2028542	1,28440367	13,7512742	14,3119266	0,2038736	5,4332314	10,030581	3,48623853	0,12232416	0,13251784	0,54657543		88	68	113	150	348	86	nd	11
91-4	51,4929228	0,991838	14,4436409	13,8547371	0,17563798	6,58125839	9,63942556	2,69655956	0	0,12397975	0,53735949		106	46	213	88	320	111	81	8
90-16	49,8264243	0,64325097	13,7839494	12,4566061	0,18378599	8,11721462	13,4776394	1,41923627	0,091893	0	0,46390803		113	48	140	102	287	123	78,1	<2
N3	49,0611059	1,24494242	15,1675485	15,7277726	0,22823944	7,63564685	7,0442992	3,85932151	0,03112356	0	0,41416693		150	95	232	113	352	83	nd	10
90-6	48,9599344	0,6762988	14,6121529	12,3988114	0,16395122	7,62373194	13,1775797	2,21334153	0	0,17419818	0,46443139		149	47	217	104	257	129	68	5
T58	45,5549711	1,4203051	15,9810626	18,1167806	0,25249868	7,18569174	9,01630721	2,44082062	0,03156234	0	0,52497832		109	129	102	150	278	135	nd	10
T17	48,3147274	1,06268785	12,7307857	14,5878059	0,21468441	10,9596393	9,74667239	2,20051524	0,10734221	0,07513954	0,54626959		285	76	735		295	164		1,65
47+	56,9352708	0,95518748	15,4557464	9,82623717	0,1625851	4,85722996	5,43643939	6,05629509	0,21339295	0,1321004	0,49187566		86		94	48	219	135	46	11
34+	57,6173877	0,87143736	13,8507279	9,57555875	0,18453968	7,39183925	6,62292393	2,96288702	0,79967193	0,12302645	0,46390803		210		395	18	193	152	53	24
80+	57,0034915	0,79071678	15,6089546	8,51304169	0,18484288	5,41178887	7,8455535	4,42596016	0,10269049	0,11295954	0,27637831		147		209	91	168	138	52	9
23+	57,0650498	1,00709074	15,5379714	9,9270373	0,18497585	5,62121056	5,84729216	4,35720892	0,29801665	0,15414654	0,50434227		128		131	15	184	190	48	12
90-89	55,3079417	1,40802269	15,3970827	11,547812	0,16207455	4,0923825	8,49878444	2,79578606	0,59764992	0,19246353	0,54666928		87	39	37	97,1	31	209	103	<10
90-978	55,6296828	1,06743303	14,3692908	9,19634609	0,14369291	8,74473981	7,50282254	2,69937391	0,50292518	0,14369291	0,55215274		245	42	370	58,9	209	433	97,6	29
51+	52,489244	1,42388855	16,8305675	11,3911084	0,19463225	5,54189715	8,27699242	2,98094653	0,59414054	0,27658267	0,5604857		95		174	35	209	266	134	37
19+	55,2936134	1,27518217	16,9631376	10,6729533	0,1928847	4,56493785	5,06858123	4,43634805	1,25375054	0,27861123	0,55273728		44		35	13	184	86	117	43
91-3	50,7889038	0,82499742	14,3137053	12,9730845	0,20624936	8,04372486	9,53903269	2,47499227	0,70124781	0,13406208	0,45148693		140	72	323	98	282	120	82	16
M28	50,6955178	0,8449253	14,7964967	12,509016	0,20607934	8,44925296	9,57238537	2,49356002	0,34003091	0,07212777	0,38314208		135	59	335		285	120	nd	6,2
91-15	53,0677555	0,77245641	15,0739351	13,5731627	0,17656147	7,37144118	7,17280953	2,67049217	0	0,12138601	0,54385493		118	64	209	86	255	76	80	5
M3	49,0611059	1,24494242	15,1675485	15,7277726	0,22823944	7,63564685	7,0442992	3,85932151	0,03112356	0	0,38314208		150	95	232	113	352	83		10
T58	45,5549711	1,4203051	15,9810626	18,1167806	0,25249868	7,18569174	9,01630721	2,44082062	0,03156234	0	0,53343187		109	129	102	150	278	135		10
T90	50,7312614	0,89376397	13,568962	13,3759902	0,22344099	8,45013203	10,3900061	1,96018688	0,40625635	0	0,54071491		226	87	358	118	281	121		10
T89	49,012752	0,85355821	15,7445496	12,9164953	0,21596051	7,37350884	11,0859729	2,38584944	0,41135335	0	0,31212234		150	66	266	124	282	156		10
H26	49,0533211	1,15648347	14,7374885	13,9494422	0,21492171	6,87749463	9,94780473	3,64343465	0,40937468	0,01023437	0,37871005		124	83	195	150	294	157		10
M28	50,0156429	0,89686099	14,6730629	12,6707686	0,19814371	8,57232245	10,1470435	2,49243925	0,33371572	0			164	76	342	108	246	106		10
M4	50,3521127	1,05633803	14,6437448	11,7232809	0,26926263	8,1089478	11,7336371	1,5948633	0,48674399	0,03106877			163	10	364	131	431	270		36
M39	50,727029	0,96937197	14,0971434	12,6843354	0,19593689	8,24997422	9,70403217	3,14530267	0,22687429	0			163	93	327	95	283	129		10
27J	56,1078794	2,4643046	13,442623	12,9032258	0,15864622	6,38815442	1,5970386	4,02961396	0,83553675	2,07297726			141	49,1	206		82			1,1
63	51,1247444	1,3190184	15,8997955	13,8343558	0,20449898	9,89775051	4,66257669	2,61758691	0,29652352	0,14314928			126		256		97			15
90-72	52,4096386	0,78936435	14,894059	11,9027835	0,20772746	10,9783963	7,03157457	1,55795596	0,18695472	0,05193187			71	46	64					<10

Tableau III : Analyses des éléments majeurs et des éléments en traces des basaltes tholeiitiques du secteur sud du groupe de Mako (Diallo, 1994 ; N gom, 1995 ; Cissokho, 2010 et Labou, 2019) .

Echantillon	Sio2	Tio2	Al2o3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Mg"	Ni	Co	Cr	Cu	V	Sr	Zn	Rb	Ba	Nb	Zr	Y
27	46,49	0,65	12,20	15,93	0,22	7,36	15,83	0,93	0,36	0,04		142	nd	252			99		17	89	4	50	17
1B	58,05	0,75	16,44	8,25	0,14	7,03	5,00	3,73	0,51	0,11		117		273					1,95	23,4	1,55	46,7	
15B	57,73	0,77	16,02	8,51	0,17	7,36	5,14	3,74	0,46	0,10		98		313					3,93	36,4	1,44	61,5	
63+	50,02	0,80	14,45	12,95	0,20	8,76	10,74	1,85	0,13	0,10	0,5593	126	nd	256	102	261	97	73	15	37	5	50	19
27+	48,51	0,84	14,81	12,91	0,21	9,19	11,56	1,67	0,18	0,11	0,5229	142	nd	252	90	256	99	74	17	89	4	50	17
90-72	52,88	0,70	13,65	12,63	0,17	6,52	10,70	2,74	0,14	0,06	0,4036	71	46	64	39	327	43	86,1	<10	70	21	36	<10
107	55,92	1,10	14,93	10,50	0,14	4,39	11,84	1,10	0,06	0,10		167		357					5,52	69,9	1,84	55,2	
s.o.214b	50,93	1,59	13,95	16,60	0,24	5,79	8,36	2,20	0,13	0,12		nd		nd	nd	2,4	nd	nd	nd	nd		2,33	8,883
S.O.215a	51,18	0,66	14,33	12,18	0,19	8,15	11,05	2,13	0,08	0,00		nd		nd	nd	3,65	nd	nd	nd	nd		1,29	11,016
S.O.215b	55,96	1,05	16,20	9,86	0,14	4,51	7,32	4,23	0,58	0,14		nd		nd	nd	2,53	nd	nd	nd	nd		1,33	1163%
S.O.274	57,62	0,97	19,14	8,71	0,09	3,60	5,53	3,83	0,39	0,12		nd		nd	nd	3,74	nd	nd	nd	nd		0,76	9,63
S.O.283	65,08	2,36	2,63	14,73	0,14	1,92	5,91	4,44	0,60	2,21		nd		nd	nd	4,8	nd	nd	nd	nd		0,62	13,221
S.O.297a	54,72	0,65	14,09	11,99	0,20	7,99	6,82	3,37	0,11	0,05		nd		nd	nd	4,94	nd	nd	nd	nd		0,71	6,399
S.O.297b	57,73	0,77	16,02	8,51	0,17	7,36	5,14	3,74	0,46	0,10		nd		nd	nd	3,84	nd	nd	nd	nd		0,74	6,687
D7169	55,92	1,10	14,93	10,50	0,14	4,39	11,84	1,10	0,06	0,10		49		76		265	214	91	<10	41		91	<10
D7178	50,93	1,59	13,95	16,60	0,24	5,79	8,36	2,20	0,13	0,12		57		54		401	93	137	<10	104		109	23
D9022B	51,18	0,66	14,33	12,18	0,19	8,15	11,05	2,13	0,08	0,00		105		140		252	132	81,2		79		12	12
IL57	65,08	2,36	2,63	14,73	0,14	1,92	5,91	4,44	0,60	2,21							157		13,92	188	16,12	235,7	80,42
IL59	54,72	0,65	14,09	11,99	0,20	7,99	6,82	3,37	0,11	0,05							98,6		1,35	34,6	1,17	19,9	16,97
IL25	51,21	0,75	14,49	12,29	0,18	7,89	11,47	1,42	0,24	0,06							131		5,03	33,8	1,56	20,36	16,12
IL40	48,27	0,78	15,96	12,54	0,22	8,28	11,37	2,36	0,15	0,06							133		1,53	23,7	1,61	4,21	17,42
IL48	52,37	1,63	11,48	18,14	0,24	4,62	9,05	2,17	0,17	0,13							93,2		3,14	35,3	2,67	22,62	29,39
IL4	52,65	2,09	13,56	16,86	0,33	5,76	5,05	3,16	0,38	0,15							136		11,29	81,7	5,19	63,55	37,35
IL44	47,63	1,91	15,44	13,90	0,21	6,81	9,79	3,30	0,68	0,33							333		8,73	95,2	8,39	60,35	33,31
IL13	51,40	1,41	16,09	13,00	0,11	6,31	6,98	2,71	1,82	0,18							96		39,57	101	4,5	42,56	16,27

Tableau IV : Analyses des terres rares des basaltes tholeitiques du groupe de Mako (Dia, 1988 ; Dioh, 1995 ; Ngom, 1995, Cissokho, 2010 et Labou, 2019).

	N°echar	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	
	Ch.C1	0,2446	0,6379	0,0964	0,4738	0,154	0,058	0,2043	0,0375	0,2541	0,0567	0,166	0,1651	0,0254	
Nord	EMO-61	2,27	4,89		5,36	1,79	0,68	2,61		2,65		1,58	1,57	0,29	
	EMO-65	2,42	5,99		6,13	2,01	0,78	2,99		3,11		1,72	1,77	0,32	
	D46S	3,55	12,59		8,17	2,67	0,99	2,67		2,93			1,81	0,24	
	8655	9,63	34,86		20,25	5,57	1,58	4,58		3,61			1,85	0,31	
	86158	3,05	13,89		5,42	2,22	0,99	2,51		2,78			1,85	0,31	
	8613	3,13	14,29		5,17	2,11	0,77	2,18		2,51			1,63	0,28	
centre	MSO2	3,02	10%		4,53	1,61	0,77	1,68		1,93			1,09	0,18	
	9011	9			13,33		1,07	4,1		4,3		2,4	2,1	0,33	
	9061	5,66	21,1		8,87		0,84	3,25		3,07		1,81	1,47	0,28	
	9043	5,89	14,65		10,12		0,87	3,68		3,47		2,04	1,65	0,31	
	9082	6	23,04		9,7		0,98	3,1		3,8		1,1	1,8	0,31	
	9042	6,2	14,3		10,4		0,92	3,2		3,8		2	1,7	0,26	
Sud	IL59	1,49	4,42	0,7	3,78	1,37	0,48	2,03	0,39	2,71	0,61	1,79	1,71	0,25	
	IL25	1,94	5,63	0,89	4,64	1,58	0,65	2,28	0,41	2,73	0,6	1,71	1,6	0,23	
	IL40	1,87	5,64	0,89	4,79	1,65	0,66	2,42	0,44	2,95	0,64	1,85	1,67	0,23	
	IL48	5,16	14,38	2,15	11,21	3,67	1,29	4,81	0,83	5,54	1,19	3,42	3,14	0,44	
	IL4	6,53	20,28	3,07	15,53	4,98	1,72	6,34	1,07	6,92	1,44	4,04	3,49	0,47	
	IL57	21,16	59,13	9	42,78	11,35	3,21	13,13	2,13	13,47	2,83	7,93	7,05	1	
	IL44	10,38	27,34	3,95	18,82	4,98	1,67	5,85	0,98	6,09	1,29	3,59	3,21	0,44	
	IL13	5,64	15,05	2,12	9,73	2,53	0,91	2,88	0,46	2,81	0,58	1,62	1,44	0,2	
	91-4	3,17	8,65		6,33	2,44	0,88	2,87		3,6		1,93	2,17	0,32	
	27J	2,24	6			1,68	0,78	2,23						1,72	
	63	3,07	13,46		4,3	2,01	0,69			2,54		1,53	1,52	0,35	
	15 J	2,55	7,4			2,17	0,77							2,05	
	90- 72	2	5		4	1,39	0,64							1,81	0,3
	27	3,2	15,78		4,71	2,83	0,73	2,42		2,67		1,79	1,61	0,36	
	1B	2,02	5,33		4,85	1,74	0,63	2,3		2,62		1,76	1,57	0,21	
15B	2,74	7,54		6,65	2,32	0,83	2,97		3,15		2,06	1,79	0,23		
107	2,67	6,83		5,8	2,02	0,83	2,69		2,98		2	1,83	0,25		

Tableau V : Analyses des éléments majeurs, traces et de terres rares des basaltes tholeiitiques du secteur de Sirba (au Niger) .

Echantillon	AS-1-93	AS-3-81	AS-9-93	AS-421	AS-3-93	AS-13-93	AS-11-93
Sio2	54,13	57,36	57,43	57,45	57,71	57,99	60,36
Tio2	0,80	0,81	0,94	0,71	0,70	0,70	0,68
Al2o3	15,55	15,72	15,70	15,92	16,01	16,01	15,79
FeO2O3	1,58	1,60	1,78	1,90	2,40	2,40	3,17
MnO	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
MgO	7,74	8,30	8,39	8,58	8,59	8,70	10,41
caO	10,26	12,10	12,19	12,32	12,85	12,86	14,54
Na2O	0,70	1,61	1,61	2,48	2,61	2,64	2,84
K2O	0,15	0,16	0,16	0,18	0,18	0,25	0,34
P2O5	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,19	0,19
NI							
Cr							
Cu							
V	231	257	273	304	314	342	434
Sr	79	80	93	96	97	117	140
Zn							
Rb	0,54	1	1,25	1,7	1,9	2,9	4,59
Ba	8,88	20	20	32	33	48	112
Nb	0,1	0,69	0,7	0,75	0,76	1,07	2,74
Zr	9,8	30	30	31	34	37	43
Y	9,4	12,9	13,2	14	15	15,6	18,9
La	0,57	1,77	1,39	2,15	1,86	1,95	2,65
Ce	2,03	5,23	4,48	4,72	4,26	5,7	6
Pr	0,33	0,78	0,7	0,7	0,63	0,93	0,93
Nd	2,01	3,91	3,57	3,47	3,57	5,1	4,57
Sm	0,81	1,41	1,27	1,2	1,32	1,78	1,6
Eu	0,45	0,68	0,56	0,57	0,57	0,67	0,35
Gd	1,25	2,1	1,8	1,43	2,08	2,84	2,81
Tb							
Dy	1,75	2,8	2,45	2,08	2,67	3,65	2,86
Ho	0,37	0,61	0,54	0,45	0,57	0,78	0,62
Er	1,13	1,82	1,59	1,45	1,77	2,41	1,83
Yb	1,22	1,96	1,74	1,6	1,67	2,34	1,9