UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

DEPARTEMENT DE GEOLOGIE

Mémoire de Master de Géosciences

Option : Zones profondes

Spécialité : Pétrologie- Métallogénie-Tectonique

N° d'ordre : 240

Contribution à la cartographie géologique et la pétrographie des formations birimiennes du Supergroupe de Mako : exemple du triangle Badian-Badon-Lamé (Kédougou, Sénégal)

Présenté par **: Dièry Abdoul DIALLO**

Sous la Direction de : **MM. Moussa DABO & Dina Pathé DIALLO**

Soutenu le 22/12/215

Devant la commission d'examen composée de :

Papa Malick NGOM	Président	UCAD
Papa Moussa NDIAYE	Membre	UCAD
Moussa DABO	Membre	UCAD
Dinna Pathé Diallo	Membre	UCAD

TABLES DES MATIERES

LISTE DES FIGURES 4
LISTE DES PHOTOS 4
Résumé..... Erreur ! Signet non défini.
INTRODUCTION GENERALE 6
CHAPITRE I : PRESENATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE .. 9
I. CADRE GEOGRAPHIQUE..... 9
1. Situation du secteur d'étude..... 9
2. Voies d'accès 9
3. Climat et hydrologie..... 11
4. Géomorphologie et végétation 12
5. Population 12
6. Activités économiques 12
II. CADRE GEOLOGIQUE 13
1. Le Craton Ouest Africain (COA) 13
2. La boutonnière de Kédougou-Kéniaba 14
3. Le Supergroupe de Mako..... 16
CHAPITRE II : ETUDE LITHOLOGIQUE ET PETROGRAPHIQUE ...17
I. MATERIELS ET METHODE.....17
II. ETUDE LITHOLOGIQUE 18
III. ETUDE PETROGRAPHIQUE.....20
1. Description macroscopique des différents faciès 20
1.1. Les roches ultrabasiques et basiques..... 20
1.2. Les roches acides et intermédiaires..... 23
1.3. Les roches volcano-sédimentaires 25
2. Observations microscopiques des lames minces 28
2.1 : Méta-basaltes de la Gambie..... 28
2.2 : Tufs rhyolitiques de Mako (RN7) 30
2.3. Gneiss de Badon 32
2.4.: Chert de la Gambie 33
2.5. Quartzite rubané 35
2.6. Quartzite rougeâtre de Mako..... 37
CHAPITRE III ETUDE DES STRUCTURES TECTONIQUES 38

I. STRUCTURES DUCTILE ET SEMI-DUCTILE 38
1. Les plis 38
2. Les schistosités 39
3. Les linéations 40
4. Les boudinages 41
5. Les zones de cisaillement 41
5.1. La zone de cisaillement de Mako (ZCM) 41
5.2. La zone de cisaillement de Bafoundou (ZCB) 43
II. STR8UCTURES CASSANTES 43
CONCLUSION GENERALE 44
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 45

LISTE DES FIGURES

Figure 1a : Carte administrative du Sénégal montrant la position de Mako en rouge..... 9
Figure 1b : Carte administrative de Kédougou (source : www.gouv.sn modifiée) 10
Figure 2 : Toponymie, hydrographie et voies d'accès dans le secteur d'étude 11
Figure 3 : Précipitations moyennes annuelles de la région de Kédougou de 1941 à 2008..... 12
Figure 4 : Carte géologique de l'Afrique de l'Ouest (d'après Trompette 1973, modifiée)..... 14
Figure 5 : Répartition des grandes séries du Birimien et des Mauritanides (d'après Bassot (1966), modifiée). En triangle rouge le secteur étudié dans le Supergroupe de Mako. 15
Figure 6 : Succession lithologique du super-groupe de Mako : Extrait du Schéma litho-stratigraphique de la boutonnière de Kédougou (Ngom et al, 2010)..... 16
Figure 7 : Carte géologique du secteur d'étude (Dabo et al., 2016, modifiée): ZCM= Zone de Cisaillement de Mako ; ZCB= Zone de Cisaillement de Bafoundou 19

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Bloc de Péridotite..... 20
Photo 2 : Affleurement de pyroxènites..... 21
Photo 3 : Les Méta-basaltes: A= méta-basaltes en pillow et B= méta-basaltes massif..... 22
Photo 4: Les gabbros 22
Photo 5 : Blocs sub-arrondis du filon de dolérite de Mako 23
Photo 6 : Microgranite à quartz bleu de Niéméniké..... 23
Photo 7: Granodiorite avec enclave de basalte de Niéméniké..... 24
Photo 8 : Rhyolite de Niéméniké 24
Photo 9 : Andésite de Mako 25
Photo 10 : Les Tufs 26
Photo 11 : Brèches de Mako..... 26
Photo 12 : Bloc de quart de Mako 27
Photo 13 : bloc de quartzite rubané de la Gambie..... 27
Photo 14: A : Feuillets de chlorite; B / Plagioclase..... 28
Photo 15: Séricite 29
Photo 16: Chloritoschiste de la Gambie 30
Photo 17: A=sanidine, B=biotite, C= quartz, D= chlorite..... 31
Photo 18: Séricito-schiste à sanidine..... 32
Photo 19: A = orthose altérée, B = Biotite chloritisée..... 33
Photo 20: Cornéenne à biotite-orthose 33
Photo 21: A=feuillet de chlorite; B = Epidote..... 34
Photo 22: chloritoschiste 35
Photo 23: Minéraux de Clinopyroxènes (A) avec des ex- solutions d'orthopyroxènes B), d'amphibole (C) et d'olivine (D). 36
Photo 24: Gneiss à biotite-chlorite-pyroxène 37
Photo 25: Quartzite rougeâtre de Mako..... 37
Photo 26: Les structures plissées..... 38
Photo 27: Schistosité de crénulation..... 39
Photo 28: Schistosités: simple (A) et fruste (B) 40
Photo 29: linéation d'étirement 40
Photo 30: Les boudinages..... 41

Photo 31: Fentes en échelon entre des fractures conjuguées..... **Erreur ! Signet non défini.**
Photo 32: Chloritoschiste : porphyroblastes (A) delta-claste (B)..... 42
Photo 33: Sigma-clastes 43

Résumé

La carte géologique détaillée établie dans le secteur de Badian-Badon-Lamé montre qu'il est constitué de métabasaltes, de métagabbros, de métapéridotites, de tufs et de laves de métaandésites, métarhyolites et métarhyodacites associées à des intrusions basiques et acides (dolérites, granites, granodiorites) et des métasédiments fins (quartzites, cherts).

Au plan pétrographique, ce travail a permis de repréciser la dénomination de certains faciès notamment les gneiss de Badon, les cherts de la Gambie et les quartzites rubanés de Mako Est, rebaptisés respectivement cornéen, chloritoschiste et gniess . Dans ces différents faciès les minéraux primaires (olivines, pyroxènes, plagioclases, biotite) sont presque totalement remplacés par des paragenèses secondaires (chlorite, amphibole, séricite, albite, calcite, épidotes etc.) en réponse au métamorphisme de faciès schistes verts et à l'hydrothermalisme.

Les structures sont représentées par des plis, des schistosités, des linéations, des boudinages, des zones de cisaillement et des fractures disparates. Elles ont permis de préciser le sens de rotation de la zone de cisaillement de Mako.

Mots clés : Birimien, cartographie, lithologie, pétrographie, Mako

INTRODUCTION GENERALE

Le triangle Badon-Badian-Lamé appartient au super-groupe de Mako qui occupe la partie occidentale de la boutonnière de Kédougou Kéniaba de la région orientale du Sénégal. Cette boutonnière, située à environ 700 Km de la région de Dakar au Sud-est du pays, est un des segments d'âge paléoprotérozoïques du Craton Ouest Africain (CAO). Elle a fait l'objet de plusieurs études portant sur la nature et à l'âge de ces formations géologiques (Bassot, 1963 et 1966 ; Bassot et Caen-Vachette, 1984 ; ~~Dia ,1988 ;~~ Dia et al, 1997 ; Diallo ~~1983~~, 1994, 2001, 2012; Ngom, 1995) et notamment à ses importantes ressources minières (Sylla et Ngom, 1997 ; Dabo et al., 2015, Masurel

~~Ndiaye *et al*, 2013 ; Faye, 2011 ; Faye, 2009 ; Faye, 2011~~). Pour la lithostratigraphiques. Bassot (1966) a distingué de bas en haut les roches épimétamorphiques d'origine volcanique avec à l'ouest des basaltes et à l'est des andésites, des roches flychoïdes épimétamorphique d'origine sédimentaire et des granitoïdes. Des auteurs soviétiques ont identifié en 1976 le groupe de Kossanto constitué de roches volcaniques, les roches volcano-sédimentaires qui forment le groupe moyen et le groupe supérieur de Ouassa composé de roches volcano-plutoniques. ~~L'échelle lithostratigraphiques des chercheurs de l'université de Dakar et de Nancy Toulouse est composée d'un complexe inférieur à dominante volcano-basique associé à des roches ultrabasiques d'un complexe moyen volcano-sédimentaire et sédimentaire et d'un complexe supérieure de nature sédimentaire.~~

Par ailleurs selon Thévéniaut *et al, (*2010) le groupe de Mako est constitué d'une formation volcano-plutonique (ultrabasiques, basaltes, dacites, rhyodacites) et d'une formation volcano-sédimentaire et sédimentaire avec principalement des grès, des conglomérats et des pélites.

Les études structurales sur les formations birimiennes de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba ont montré l'existence de trois phases de déformation éburnéenne (D_1, D_2 et D_3) associées à aux complexes plutoniques intrusif de Sandikounda Soukouta et de Boboti (Bassot, 1966 ; Ledru et al., 1989 ; Guèye *et al*, 2007 ; Thévéniaut *et al*, 2010 ; Dabo et Aïfa, 2011; Dabo, 2011; Ndiaye, *et al*, 2013 ; Ngom et *al*, 2011). C'est dans ce contexte que le sujet de mémoire de Master**,** intitulé contribution à l'étude de la cartographie géologique et de la pétrographie du secteur de Mako : exemple du triangle Badon-Badian-Lamé (Kédougou, Sénégal) nous a été proposé. L'objectif de ce travail est de faire une étude cartographique et pétrographique détaillée des différents faciès afin de contribuer à une meilleure compréhension de la géologie de cette partie méridionale de la boutonnière de Kédougou.

Ce travail est subdivisé en trois chapitres :

- Le chapitre 1 présente le cadre géographique et géologique de Mako
- Le chapitre 2 fait une étude lithologique et pétrographique des affleurements de la région
- Le chapitre 3 aborde l'étude structurale

CHAPITRE I : PRESENATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

I. CADRE GEOGRAPHIQUE

1. Situation du secteur d'étude

La région de Kédougou est l'une des 14 régions administratives du Sénégal. Frontalière avec le Mali et la Guinée, elle est située dans l'extrême sud-est du pays. Le chef-lieu régional est la ville de Kédougou.

Au moment de l'indépendance (1960), la région faisait partie du Sénégal oriental. Puis elle a été intégrée dans la région de Tambacounda, dont elle a été détachée en février 2008, en même temps qu'étaient créées d'autres régions telles que celles de Sédhiou et Kaffrine (figure 1).

Le triangle Badon-Badian-Lamé fait partie de la communauté rurale de Tomboronkoto, arrondissement de Bandafassi, département de Kédougou. Le secteur est précisément compris entre les latitudes : 12°N48'50'' ; 12°N54'29'' et les longitudes 12°O24'8''et 12°O18'49'' soit une superficie de 78 km2 (Figure 2).

2. Voies d'accès

L'accès au secteur se fait principalement par voie terrestre notamment par le biais de la route nationale numéro sept (RN7) et des pistes rurales. On peut également y accéder par voie fluviale en passant par la rivière Gambie.

Figure 1a : Carte administrative du Sénégal montrant la position de Mako en rouge

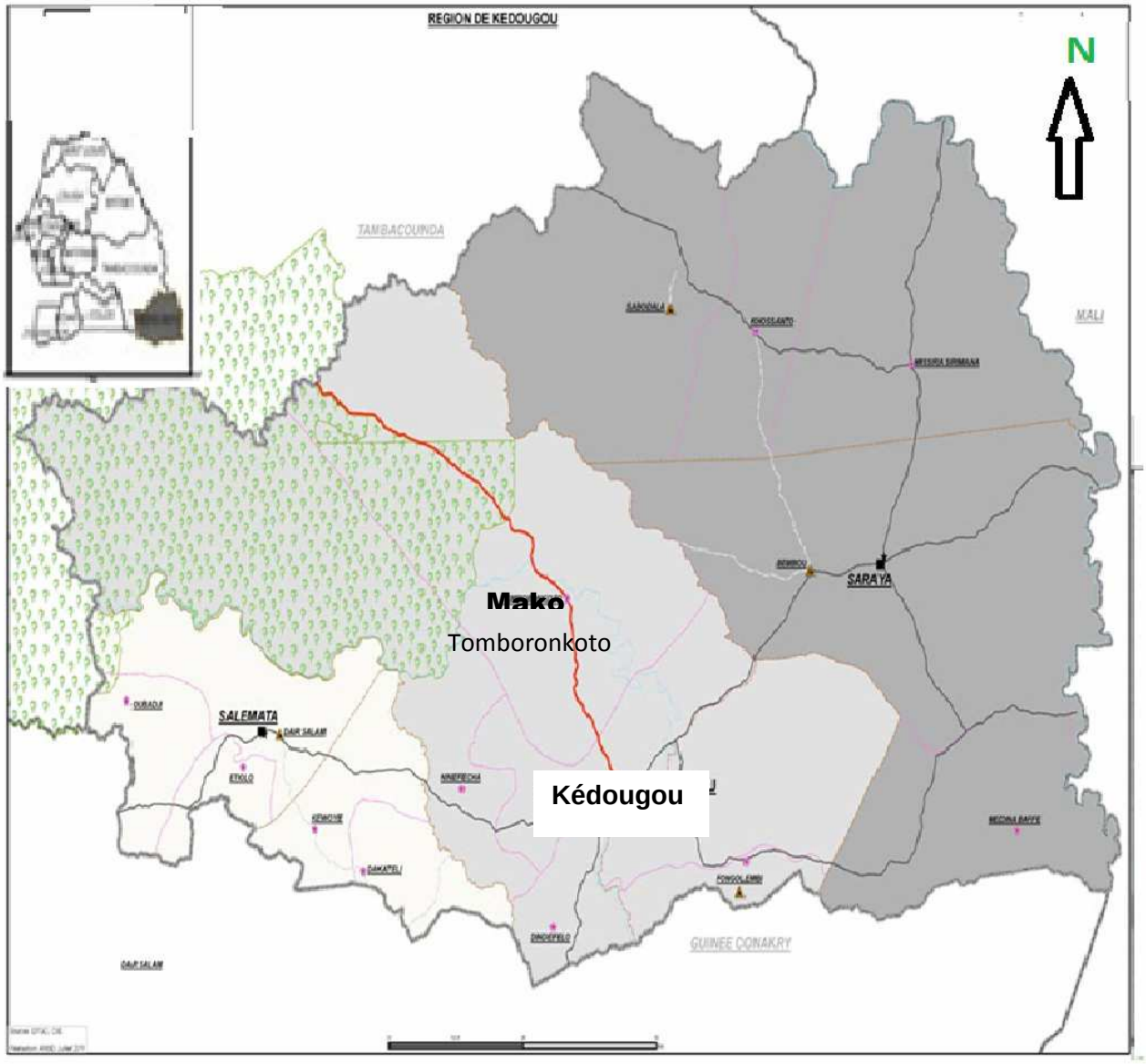


Figure 2b : Carte administrative de Kédougou (source : www.gouv.sn, modifiée)

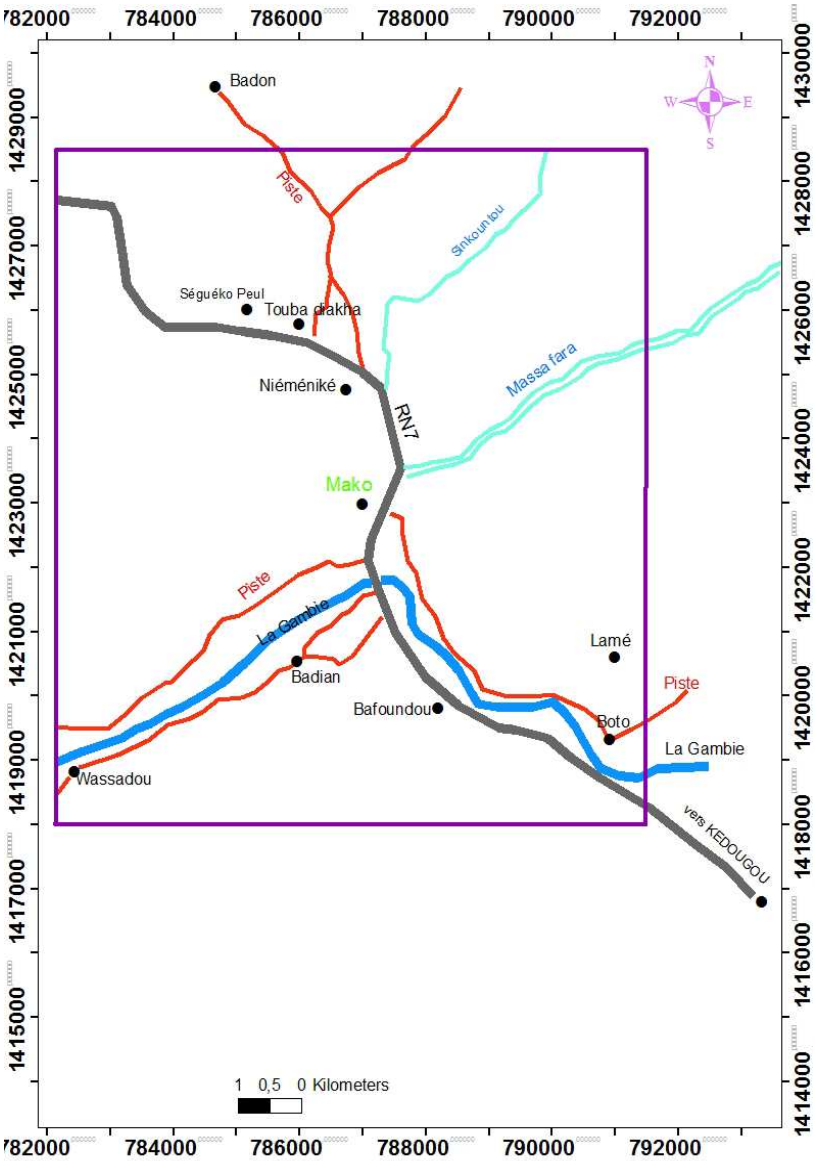


Figure 3 : Toponymie, hydrographie et voies d'accès dans le secteur d'étude

3. Climat et hydrologie

La région de Kédougou a un climat sub-guinéen. Il est caractérisé à l'instar des autres pays par une saison sèche de Novembre à Mai et une saison des pluies de Juin à Octobre. La température moyenne annuelle est de 28.3°C, la moyenne maximale est de 34.8°c et la minimale 21.7°C. Avril est le mois le plus chaud avec une température de 40°c contrairement au mois de Décembre avec 17°C. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1189 mm. Préciser la période. c Faire une figure les données sur la température et la pluviométrie existent

La région est arrosée par le fleuve Gambie qui, avec ses affluents tels le Niokolo-koba, constitue avec la Falémé les deux principaux cours d'eau. (figure 3)

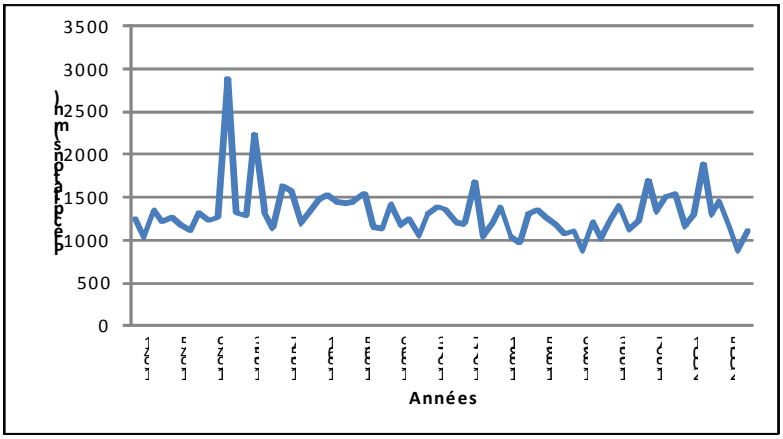


Figure 4 : Précipitations moyennes annuelles de la région de Kédougou de 1941 à 2008.

4. Géomorphologie et végétation

D'un point vu morphologique, le paysage est constitué de collines. Ces dernières présentent, dans certains cas, des sommets plats avec une curasse latéritique et d'autres ont des sommets arrondis. C'est la région la plus montagneuse du pays

La végétation est constituée de formations herbeuses, arborées ou arbustives En saison des pluies cette végétation verdoyante des pentes et des plateaux tranche avec celle caducifoliée de la saison sèche.

5. Population

Avec une superficie de 16 896 km2, la région de Kédougou a une population de 111 207 habitants (Programme d'eau potable et d'assainissement du Millénaire (PEPAM, 2010) ; soit une densité de 6.6 habts /km2. Cette population est constituée de plusieurs ethnies : des Peuls, des Diakhankés, des Dialonkés, des Malinkés, des Tendankés ou Bedik, des Sarakolés et des Bassaris.

6. Activités économiques

L'activité économique en dehors des activités traditionnelles que sont l'agriculture, l'élevage et un peu la pêche repose sur le commerce (avec les marchés hebdomadaires), le tourisme (avec la cascade de Dindéfélo et le Parc national de Niokolo-koba), l'apiculture et surtout l'orpaillage.

II. CADRE GEOLOGIQUE

1. Le Craton Ouest Africain (COA)

Le substratum du territoire sénégalais est constitué de deux grands ensembles géologiques : le bassin sédimentaire occupant plus de ¾ du territoire et le socle précambrien représentant la partie sud-est du pays. Ce Précambrien est subdivisé en deux super-groupes (Thiévéniaut et al., 2010 ; ~~Roger *et al.*, 2009~~) : le super-groupe du Birimien et le super-groupe des Mauritanides. Ces deux super-groupes s'étendent dans les grands ensembles géologiques du craton Ouest-africain (COA). Ce craton est bordé à l'Ouest par une zone mobile occidentale encore appelée chaîne des Mauritanides~~-Bassarides-Rockélide~~s (Bassot, 1966 ; Dabo et al., 2008) et à l'Est par une zone mobile orientale (Affaton, 1975 ; Caby, 2003).

En effet, le COA est limité 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 la zone mobile des Mauritanides et des Rockélides (figure 4). Il est recouvert en grande partie par des formations sédimentaires d'âge protérozoïque supérieur et Paléozoïques des bassins de Tindouf au Nord et de Taoudéni au centre. Deux épisodes orogéniques majeurs marquent l'histoire ancienne du craton ouest africain (Bessoles, 1977 ~~in Boher, 1992~~): le Libérien (entre 3.0 Ga et 2.5 Ga) et l'Eburnéen (entre 2.5 et 1.8 Ga) au terme duquel le craton ouest africain s'est définitivement stabilisé vers 1.9 Ga (Liégeois et al. 1991).

Le craton ouest africain comprend deux dorsales et deux boutonnières.

Les dorsales sont représentées au Nord par la dorsale Réguibat et au sud par la dorsale de Léo-Man appelée dorsale de Man. Les boutonnières sont représentées au Nord par celle de Kayes située au Mali et sud, nous avons la boutonnière de Kédougou-Kéniéba qui est à cheval entre le Sénégal et le Mali.

Les formations archéennes sont présentées uniquement dans les parties occidentales des dorsales et les formations du Protérozoïque dans les parties orientales, et aussi dans les boutonnières.

Les deux dorsales sont constituées à la fois de terrains archéens et birimiens alors que les boutonnières ne sont formées que de terrains birimiens (Ngom., 1995 ; Dia et al., 1997).

Les formations archéennes sont affectées par l'orogenèse léonienne, datée entre 2,9 et 2,7 Ga (Barrère, 1967 ; Vachette *et al.*, 1973 ; Beckinsale *et al.*, 1980), puis par l'orogenèse libérienne datée entre 2,7 et 2,5 Ga (Barrère, 1967 ; Vachette *et al.*, 1973 ; Camil *et al.*, 1984).

Les formations birimiennes ou paléoprotérozoïques sont affectées par l'orogenèse éburnéenne

qui est intervenue entre 2,3 et 2,0 Ga (Bassot et al., 1963, 1983 ; Feybesse *et al.*, 1989 ; Liégeois *et al.*, 1991).

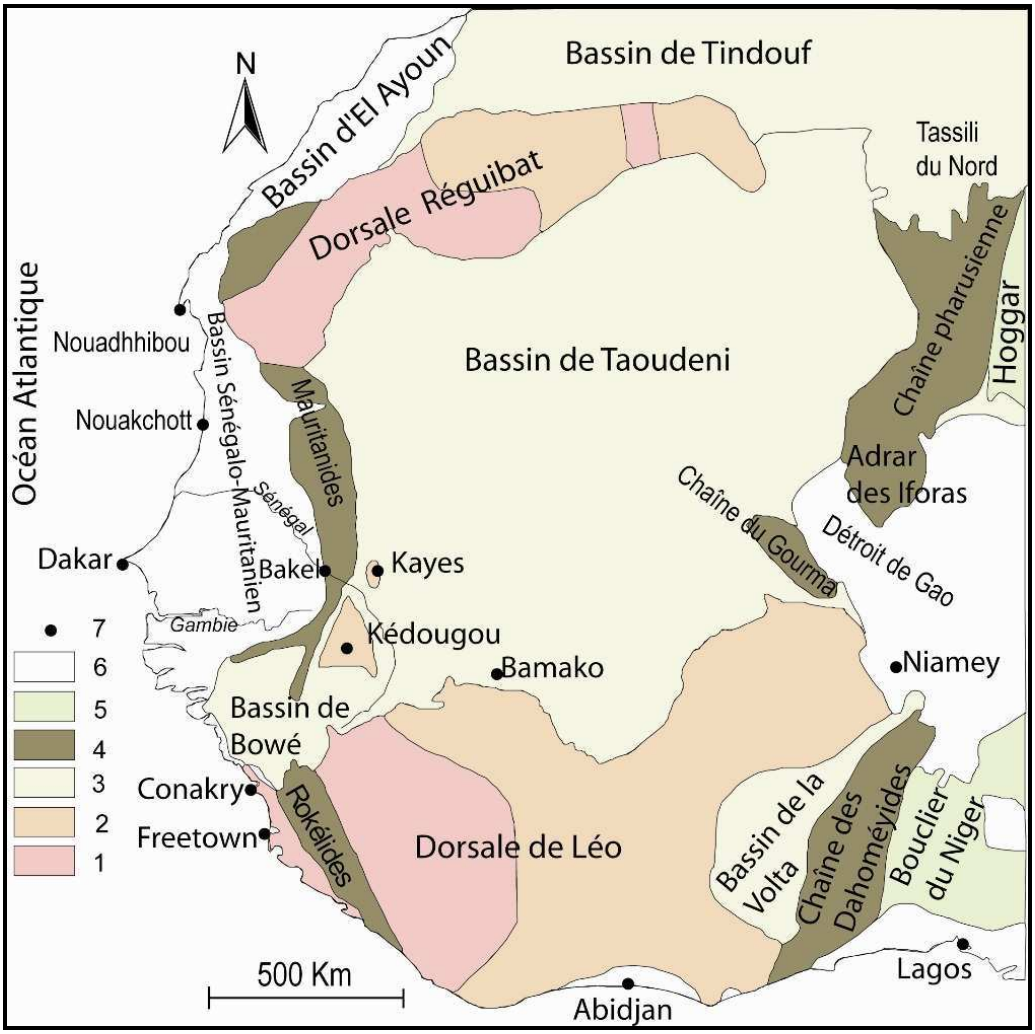


Figure 5 : Carte géologique de l'Afrique de l'Ouest (d'après Trompette 1973, modifiée).

1 : Archéen ; 2 : Birimien ; 3 : Bassins paléozoïques englobant localement le Précambrien supérieur ; 4 : Zones mobiles ; 5 : Terrains post-néoprotérozoïques ; 6 : Terrains post-paléozoïques ; 7 : villes.

2. La boutonnière de Kédougou-Kéniaba

Les formations du socle précambrien sont constituées à l'Ouest par la chaîne des Mauritanides bordant la partie orientale du bassin sédimentaire et à l'Est par les séquences volcano-sédimentaires du Paléoprotérozoïque de la boutonnière de Kédougou-Kéniaba (figure 5). Cette dernière de forme triangulaire couvre une superficie d'environ 16 000 Km^2. Elle est limitée à l'Ouest par la chaîne des Mauritanides et sur tous les autres cotés par les sédiments d'âge protérozoïque supérieur-cambrien du bassin de Taoudéni. La boutonnière de Kédougou-

Kéniaba, essentiellement constituée de terrains birimiens, est marquée par deux structures géologiques majeures : la faille Sénégalo-malienne et la Main Transcurrent Zone (MTZ). Elle comprend le super-groupe de Mako, à l'ouest, et le super-groupe de Dialé-Daléma (Bassot 1966 ; 1987). Ces deux super-groupes disposés en bandes parallèles sont orientés NNE-SSW. Ils possèdent une extension régionale et sont associés aux granitoïdes (Sandikounda-Soukouta, Boboti et Saraya) d'âge protérozoïque. L'objet de notre travail se limite au super-groupe de Mako.

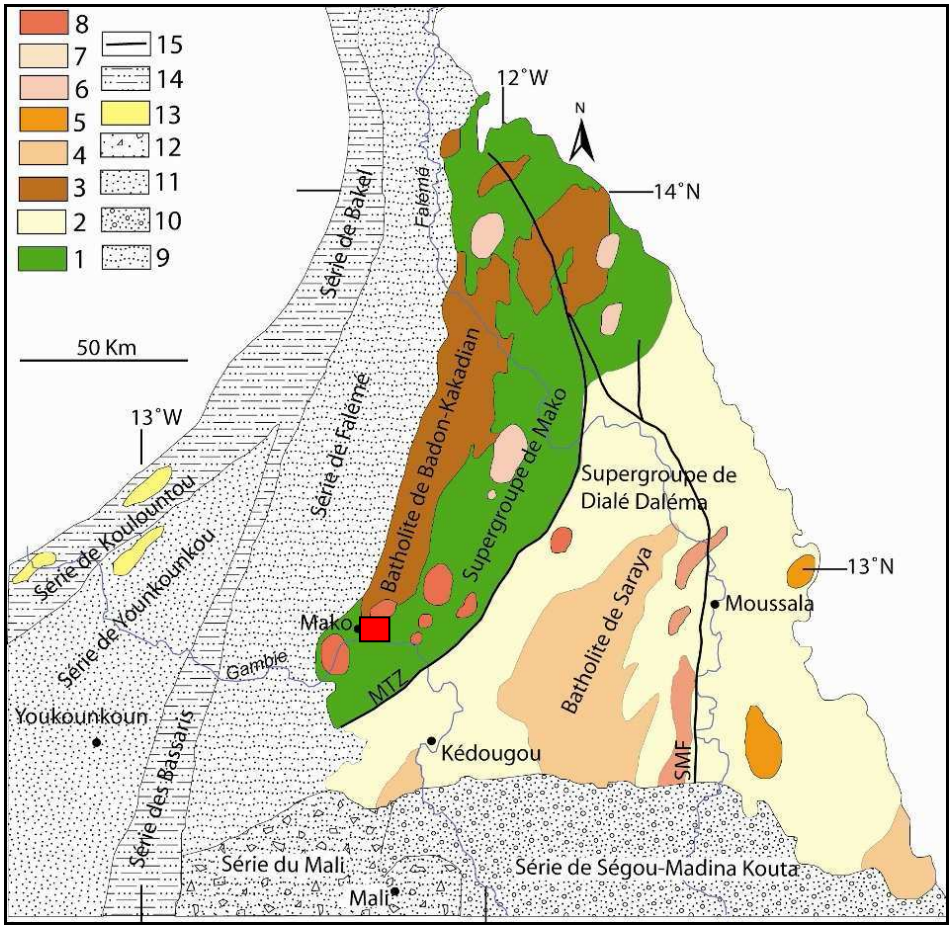


Figure 6 : Répartition des grandes séries du Birimien et des Mauritanides (d'après Bassot (1966), modifiée). En triangle rouge le secteur étudié dans le Supergroupe de Mako.

(1) Supergroupe de Mako, (2) Supergroupe de Dialé-Daléma, (3) Batholite de Badon-Kakadian, (4) Batholite de Saraya, (5) Granitoïde de Gamaye, (6) Granitoïde de Boboti, (7) Granitoïde de type Diombaloye, (8) Granitoïde de type Bondoukou, (9) Série de Falémé, (10) Série de Ségou-Madina kouta, (11) Série de Younkounkou, (12) Série du Mali, (13) Granitoïde du Niokolo Koba, (14) Série de Bakel, (15) Zone de cisaillement. MTZ : Zone transcurente majeure ; SMF : Accident Sénégalo-Malien.

3. Le Supergroupe de Mako

Ce groupe a fait l'objet de plusieurs études qui ont permis de préciser sa lithologie, sa pétrographie, sa stratigraphie, ses caractères structuraux, géochimiques, et géochronologiques et aussi ses potentiels miniers (Bassot, 1966 ; Diallo, 1994 ; Ngom, 1995 ; Dioh et al., 2006; Cissokho, 2010). Le super-groupe de Mako est constitué d'épaisses coulées de méta-basaltes en pillow en structures massives et inter stratifiées avec des cherts rubanés, sont associés à des péridotites, des gabbros et des méta-dolérites. Cet ensemble basique, ultrabasique, tholéiitique comparable au volcanisme des plaines abyssales actuelles, est surmonté par des carbonates, des conglomérats, des grauwackes et méta-sédiments gréso-pélitiques inter stratifiés avec un volcano-plutonisme acide à intermédiaire d'affinité calco-alcaline (Ngom, 1995). Les niveaux supérieurs de ces dépôts sédimentaires, sont composés de formations deltaïques continentales (Milési *et al.*, 1986). Plusieurs colonnes lithologiques ont été établies (Bassot, 1966 ; Dia, 1988) dont celle récemment proposée par Ngom et al, (2010) (figure 6).

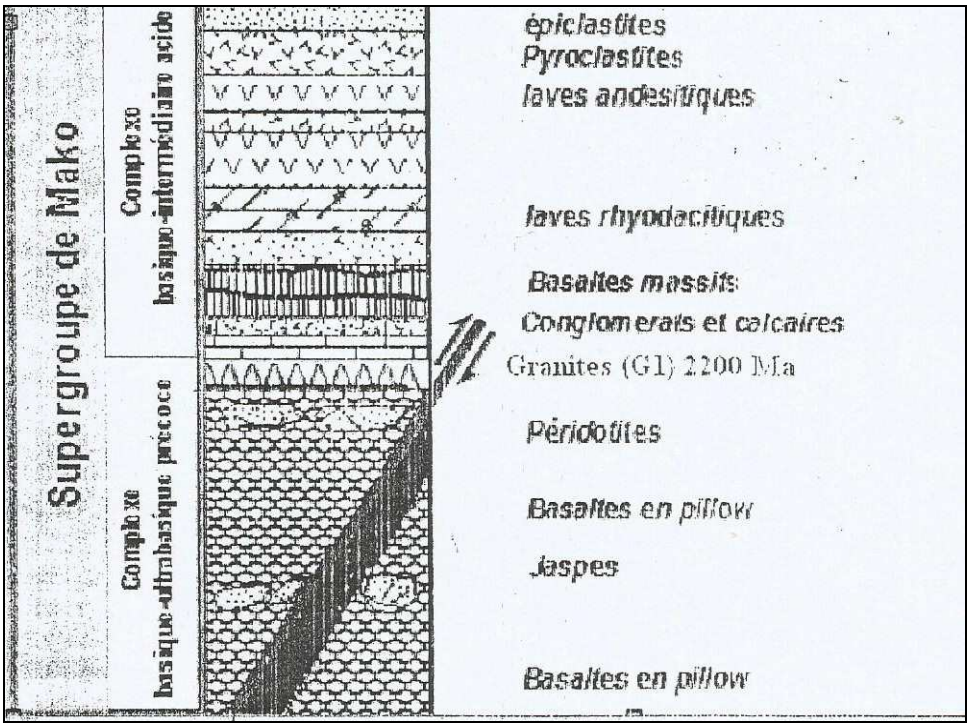


Figure 7 : Succession lithologique du super-groupe de Mako : Extrait du Schéma litho-stratigraphique de la boutonnière de Kédougou (Ngom et al, 2010).

CHAPITRE II : ETUDE LITHOLOGIQUE ET PETROGRAPHIQUE

I. MATERIELS ET METHODE

Le matériel est constitué par une boussole, un GPS et un marteau.

La boussole de marque Silver Ranger, comprend une couronne graduée, un miroir pour faire des visées, une aiguille magnétisée indiquant le Nord magnétique et une loupe. Elle permet de mesurer la direction d'un plan ou d'une ligne.

Pour la direction, Il s'agit d'abord de mettre la boussole parallèlement par rapport au plan horizontal a mesuré, puis faire coïncider le nord de la couronne graduée avec le nord magnétique indiqué par l'aiguille, puis lire la graduation située en face de la direction de visée.

De plus, on mesure aussi le pendage avec la boussole. Dans ce cas ; il faut faire coïncider l'ouest de la couronne graduée avec la ligne de visée (trait vert au côté du miroir) poser la boussole sur le plan vertical avec le sud vers le bas et le nord vers le haut. L'aiguille permet de lire la graduation

Le GPS est un système de position des points géographiques, obtenu à partir des données satellites. Il permet de donner le positionnement par rapport aux coordonnées géographiques. Sur le terrain, il nous permettait de prendre des WayPoints (points indiquant le chemin suivi) et de circonscrire les affleurements.

Le marteau cristallin est constitué d'une pointe pour dégager et d'une partie plus plate pour casser afin de récolter des échantillons. Il permet de reconnaître les blocs fixes par rapport aux blocs meubles.
La méthode consiste d'abord, sur un affleurement, à chercher les blocs fixes avec le marteau. Puis avec le GPS nous procédons à la localisation et à la circonscription de l'affleurement en prenant au moins six WayPoints sur son contour. Ensuite à déterminer la direction de l'affleurement en appliquant la technique de la visée qui consiste à :

- placer une cible fixe (un camarade par exemple) à quelques mètres du viseur,
- tenir la boussole à l'horizontale soit un angle de 45°C,

- viser notre cible avec la pointe du « V » en maintenant toujours la boussole à l'horizontale,
- faire coïncider le nord géographique avec le nord magnétique,
- lire directement la direction ou sur le miroir.

En fin après avoir pris la position de l'affleure par un WayPoint, nous passons si nécessaire à l'échantillonnage sur un bloc fixe; celui ci doit être représentatif et à l'étude lithologique et structurale des blocs affleurant.

II. ETUDE LITHOLOGIQUE

D'Ouest en Est la zone d'étude montre (figure 7) un socle constitué de métabasaltes qui affleurent dans les parties occidentales et Sud. Elles sont sous la forme de coulées massives ou de coulées débitées en pillow-lavas. Les méta-basaltes en pillow peuvent parfois être variolitiques ou contenir des amygdales. Ceci témoigne de leur origine marine profonde.

Il s'ensuit des gabbros qui occupent la bande WE allant de Wassadou jusqu'à Lamé et affleurant en bas de pente des collines de méta-basaltes avec lesquelles ils sont en contact. De plus, ils sont aussi en contact avec des filons de quartz et des quartzites ou encore les péridotites.

Les péridotites, en contact avec le filon de dolérite, affleurent au centre de la zone, à l'Ouest de Mako et à l'Est de Lamé. Elles sont associées aux pyroxènites.

Toujours dans la partie centrale du secteur, affleurent à l'Ouest de la RN7, des laves et des tufs andésitiques, des laves et des tufs rhyoliques qui se prolongent après la RN7 vers l'Est. Ces différents faciès témoignent l'existence du volcanisme explosif de Mako.

Les rhyolites qui affleurent à Niéméniké sont en contact avec les granites qui recoupent les granodiorites. Ces dernières sont aussi rencontrées également au NE du secteur et au sud de Badon.

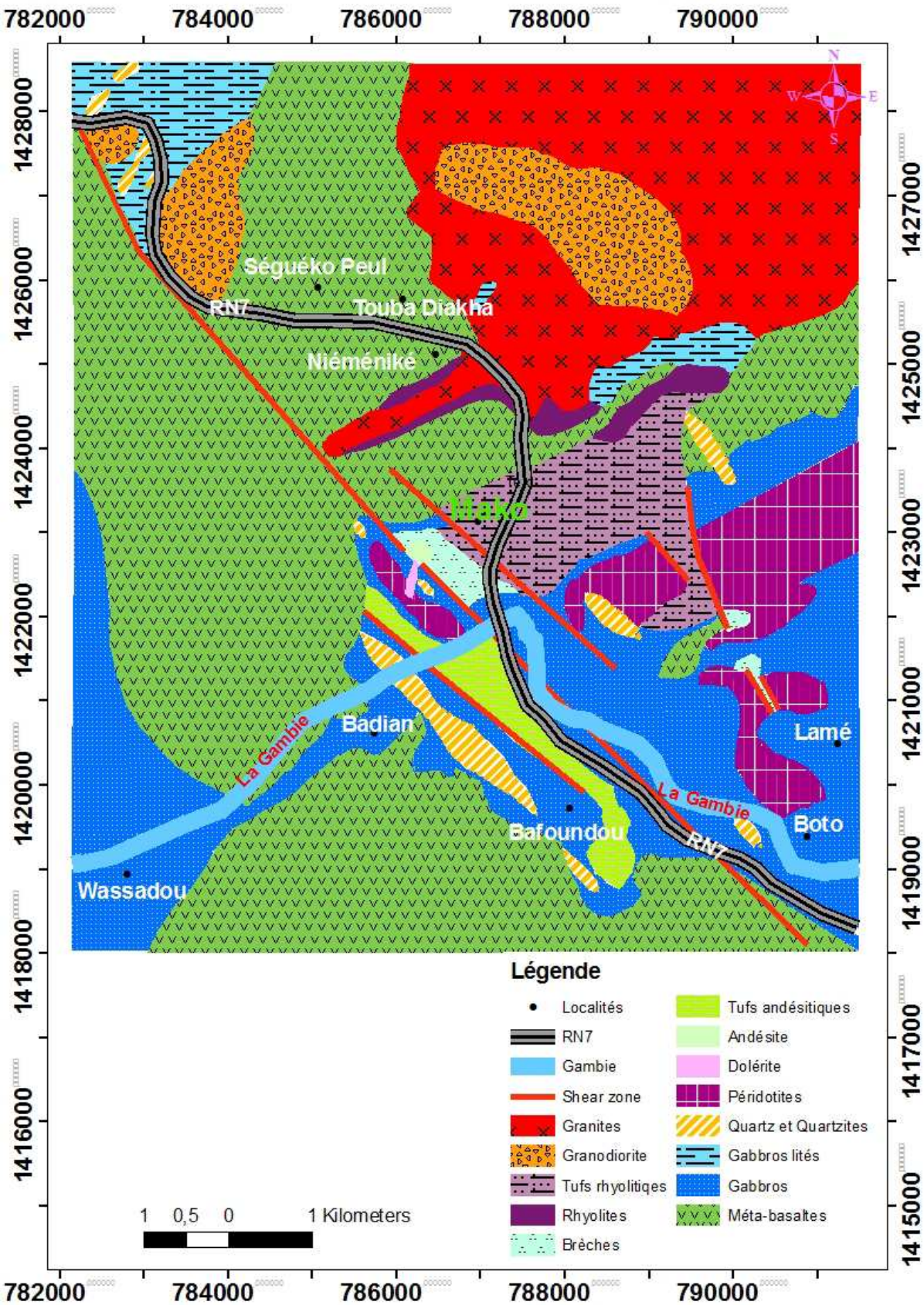


Figure 8 : Carte géologique du secteur de Mako (Dabo et al., 2016, modifiée): ZCM= Zone de Cisaillement de Mako ; ZCB= Zone de Cisaillement de Bafoundou.

III. ETUDE PETROGRAPHIQUE

1. Description macroscopique des différents faciès

Le secteur d'étude est constitué de roches magmatiques ultrabasiques, basiques, intermédiaires et acides associées à des assises volcanosédimentaires et des lentilles sédimentaires.

1.1. Les roches ultrabasiques et basiques

Les roches ultrabasiques sont constituées de péridotites et de pyroxènites qui affleurent dans les parties Ouest et Est du village de Mako. Les roches basiques composées de méta-basaltes, de gabbros et de dolérite sont plus représentées dans le secteur.

- Les péridotites

Dans la colline Ouest dite de Massarintana, ils sont constitués par des blocs de forme polygonale, centimétriques à décimétrique. Ces blocs, rubéfiés, possèdent une frange altérée constituée de serpentines et une partie saine composée de minéraux de pyroxènes, d'olivines et de plagioclases (photo 1). ~~il s'agit des lherzolites.~~

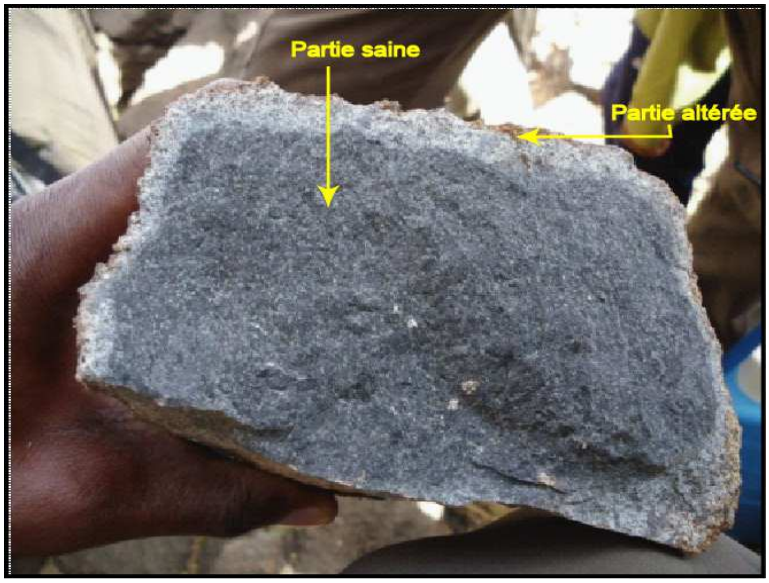


Photo 1 : Bloc de Péridotite

- Les pyroxènites

Elles affleurent à l'Ouest de la colline de Massarintana et à Lamé. Elles sont constituées de blocs polygonaux, centimétriques à décimétriques et de couleur sombre. La minéralogie est composée de pyroxènes et d'olivine pour l'essentiel (photo 2).

Photo 2 : Affleurement de pyroxènites

- Les Métabasaltes

Ils affleurent dans la partie Ouest et Sud-ouest du secteur et forment ainsi les collines de roches verte (greens stones belts) de Mako. Il s'agit de blocs de couleur sombre, verdâtre centimétriques à décimétriques et de forme polygonale ou sub-arrondis. Les méta-basaltes affleurent sous forme de coulées massives (photo 3A) ou en pillow (photo 3B). Ces dernières possèdent un aspect particulier appelé coussin ou pillow lavas. Chaque coussin comprend le cortex (enveloppe) et le corps du pillow composé de :

- la tête du pillow (partie arrondie)
- la queue (partie effilée)
- le pédoncule (digitation indiquant le bas) entre la tête et la queue

La minéralisation est constituée de chlorites, de pyroxènes, d'amphiboles, d'épidotes, de plagioclases et de sulfures. On y trouve aussi des fentes de recristallisation de quartz sous forme d'injections dans les coulées massives. Ces minéraux baignent dans de la mésostase. La texture est aphyrique pour les pillow et porphyrique dans le cas des coulées massives.

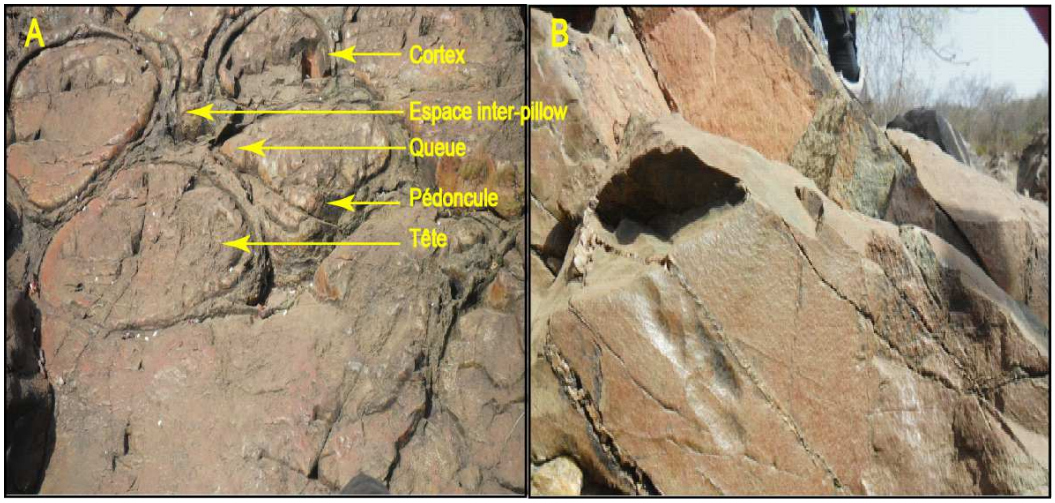


Photo 3 : Les Méta-basaltes: A= méta-basaltes en pillow et B= méta-basaltes massif

- Les Gabbros

Les gabbros affleurent en bas de pente des collines de méta-basaltes avec lesquels ils sont associés. En outre, ils sont en contact avec les péridotites ou les filons de quartz. Ils sont constitués de quelques blocs centimétriques à décimétriques plus ou moins arrondis, de couleur peu rubéfiée. La roche renferme, dans sa partie saine, de gros cristaux de pyroxènes, d'amphiboles et de plagioclases (photo 4). Ce sont des méta-gabbros de texture grenue porphyrique. On distingue à côté des méta-basaltes en pillow de Badian, un filon de méta-gabbros orienté N80.

Photo 4: Les gabbros

- Les Dolérites

A Mako, la dolérite affleure sous forme de filon dans une concession. Ce sont des affleurements sous forme de blocs centimétriques à décimétriques, arrondis. Ils renferment des phénocristaux et des baguettes de plagioclases associés à des pyroxènes (photo5). La

texture est microlitique porphyrique. Le filon, de forme elliptique, est orienté N26. Le grand axe du filon mesure 94 m et son petit axe 37 m.

Photo 5 : Blocs sub-arrondis du filon de dolérite de Mako

1.2. Les roches acides et intermédiaires

Elles sont constituées par les granitoïdes (granite et granodiorite) et les rhyolites qui affleurent à Niéméniké et enfin par les andésites de Mako.

- Les Granites

A Niéméniké, l'environnement des granitoïdes se reconnaît grâce à l'arène issue de l'altération des granites. Ce paysage est caractérisé par des blocs en boules, arrondis à sub-arrondis, constitués de quartz, de feldspaths potassiques et de minéraux ferromagnésiens (photo 6). La taille des grains de ces boules de granites varie de la périphérie vers le centre. Il s'agit du faciès de microgranites à quartz bleu de Niéméniké.

Photo 6 : Microgranite à quartz bleu de Niéméniké

~~A quelques mètres de cet affleurement, se trouve le filon de granite de Niéméniké. Il est orienté N80 et est presque entièrement vitreux. Il est constitué par la rhyolite associée à un granite. Les granodiorites~~

La roche est claire, non altérée et présente par endroits des enclaves de basaltes. Les minéraux qui la composent sont des amphiboles des plagioclases et du quartz (photo 7). La texture est grenue.

Photo 7: Granodiorite avec enclave de basalte de Niéméniké

- Les Rhyolites

La rhyolite affleure à Niéméniké et est en contact avec les granites. C'est une roche volcanique à cassure conchoïdale lisse tranchante débutée en frites qui contient de la sanidine, du quartz et des plagioclases sodiques (photo 8). Sa texture est microlithique.

Le microgranite, en contact avec la rhyolite, est orienté N80. C'est un filon d'environ 2m de largeur. Ces deux faciès sont séparés par une partie pégmatitique.

Photo 8 : Rhyolite de Niéméniké (écriture à agrandir ??)

- Les Andésites

Les andésites affleurent à l'Ouest du village de Mako et sont constitués de blocs polygonaux décimétriques, de couleur mésocrate ~~verte~~ peu rubéfiée. Elles contiennent des phénocristaux de pyroxènes, d'amphiboles, de microlithes de plagioclases et une mésostase (photo 9). La roche à une texture microlithique porphyrique.

Photo 9 : Andésite de Mako

1.3. Les roches volcano-sédimentaires

Elles sont constituées par les tufs qui affleurent, à l'entrée du village de Mako, de part et d'autre de la RN7, à l'Est de la piste menant vers Tambanouméa et à Bafoundou. Il y a aussi des brèches, du quartz et des quartzites rubanés, par ailleurs, appelés jaspes.

- Les Tufs

Des tufs andésitiques (figure 16A) à texture microlithique porphyrique affleurent à Bafoundou, prés de la RN7. L'affleurement, orienté N80, est constitué de blocs polygonaux de couleur marron, rubéfiés. La minéralogie est composée de phénocristaux et de microlithes de plagioclases, de quartz, et de biotite. Ces minéraux sont associés à des clastes de taille variable.

A l'Ouest du village de Mako, affleurent des tufs andésitiques lithiques (figure16 B). Ce sont des blocs polygonaux, peu rubéfiés, centimétriques et de couleur verte. Ils renferment des phénocristaux de pyroxènes, d'amphiboles, de microlithes de plagioclases et de quartz. Ces minéraux, associés à des clastes de taille variable, baignent dans une mésostase.

En outre, on distingue des affleurements (figure 16 C), communément appelés "kaolinite", et situés de part et d'autre de la RN7. Il s'agit d'une argile blanche issue de l'altération des tufs rhyolitiques lités, fortement schistosés et qui renferment des minéraux de feldspaths potassiques, de plagioclases et de quartz.

Photo 10 : Les Tufs de Bafoudou (A, B), Mako (C)

- Les brèches

Elles affleurent à Mako prés du cours d'eau. Il s'agit de blocs polygonaux, décimétriques, peu rubéfiés. Ces blocs renferment des minéraux de pyroxènes, d'amphiboles et des microlithes de plagioclases qui baignent dans une mésostase. La texture est microlithique porphyrique. Il y a également de gros clastes de nature variée (quartz, rognon de silex par exemple). Il s'agit d'un affleurement de brèches polygéniques (photo 11).

Photo 11 : Brèches de Mako

- Le quartz

A Mako, le quartz affleure pour la plupart sous forme de filon. De forme elliptique, l'affleurement est constitué de blocs de couleur blanche laiteux avec quelques fractures disparates (photo 12). A cela s'ajoute des veinules de quartz qui sont en contact avec les gabbros et les méta-basaltes.

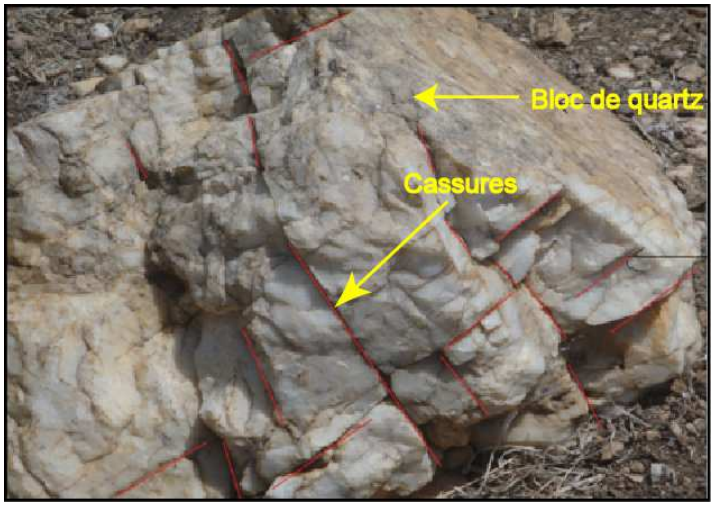


Photo 12 : Bloc de quart de Mako

- Les quartzites rubanés

Le quartzite rubané affleure à Mako sous forme de blocs polygonaux, centimétriques à métriques par endroit. Il présente une alternance de bandes claires et sombres (photo 13). Sur certains blocs, les bandes claires ont une épaisseur qui varie de 2 cm à 17 cm et les bandes sombres ont une épaisseur comprise entre 2,2 cm et 12 cm.

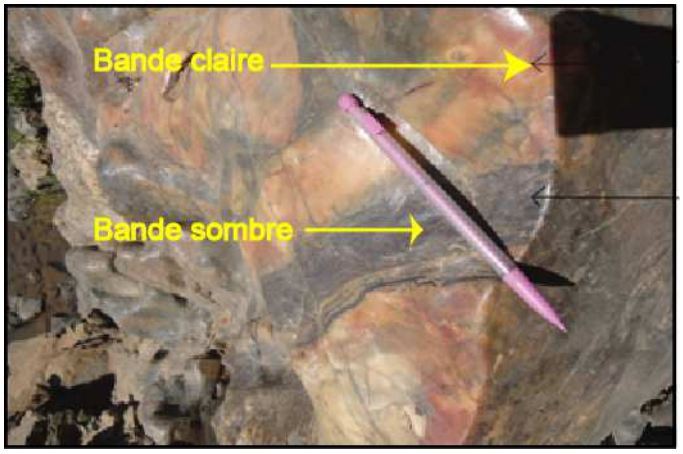


Photo 13 : bloc de quartzite rubané de la Gambie

2. Observations microscopiques des lames minces

2.1 : Méta-basaltes de la Gambie

Prélevée sur le terrain sous le nom de méta-basalte, la roche de couleur verte, affleure, dans la rive gauche du fleuve Gambie (à 500 m environ) à l'ouest du pont reliant les parties du village de Mako.

Au microscope elle est composée de minéraux de chlorite, associés aux plagioclases, à la calcite secondaire, du quartz, de la séricite et des minéraux opaques.

- La chlorite (photo 14 A), de couleur verte ou brune, proviendrait de l'altération de la biotite ou de l'amphibole. Elle représente environ 40% des minéraux de la roche avec 35% de chlorite verte et 5% de chlorite brune. D'aspect feuilleté, les sections sont orientées suivant deux directions qui font un angle compris entre 45° voire 60°. Entre ces deux directions s'intercalent des microcristaux de quartz et de feldspaths.

- Les feldspaths plagioclases (photo 14B) constituent 22% environ des minéraux de la roche. Il s'agit de cristaux sub-automorphes composés de phénocristaux (de 30µm de diamètre environ) et de microcristaux (de diamètre compris entre 0,2µm et 0,5 µm). Ces cristaux, souvent non maclés, ne présentent pas une direction d'orientation préférentielle. Néanmoins, certains possèdent la macle polysynthétique.

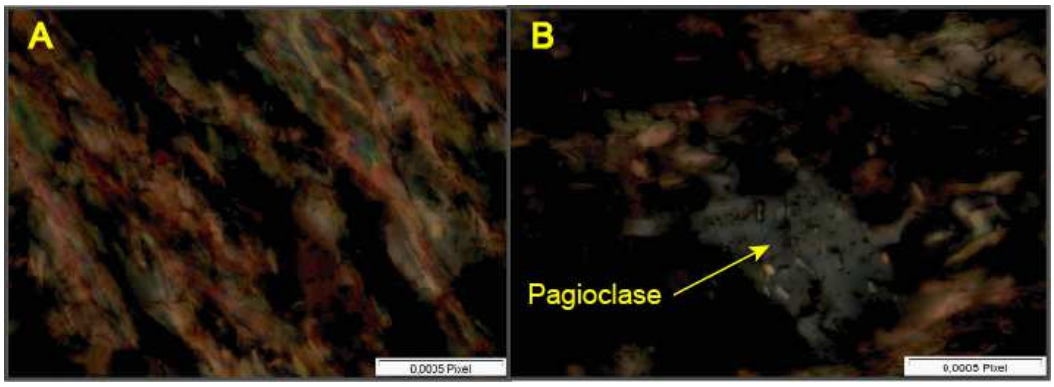


Photo 14: A : Feuillets de chlorite; B / Plagioclase

- Le quartz, peu représenté sur la lame (7% environ), forme des cristaux xénomorphes

de taille variable (0,2µm à 1mm) à extinction ondulante. Il est en contact avec les plagioclases ou s'intercale entre les chlorites. En outre, il constitue des veinules micrométriques qui s'injectent dans les plans de faiblesse de la roche. Il s'agirait ici du quartz secondaire.

- La calcite est secondaire et proviendrait de l'altération des plagioclases et des pyroxènes. Elle occupe environ 20% des minéraux de la roche. Ces cristaux sont xénomorphes et non orientés.

- La séricite est secondaire et résulterait de l'altération des feldspaths. Elle forme des cristaux fibreux, incolores en lumière naturelle. En lumière polarisée analysée (L.P.A), les cristaux présentent des teintes vives (photo 15). Elle est faiblement représenté (2% environ des minéraux de la roche) et est constituée de minéraux sub-automorphes et de petite taille (0,2µm à 0,4µm). Elle est dispersée à travers la lame et présente les mêmes directions d'orientation que la chlorite.

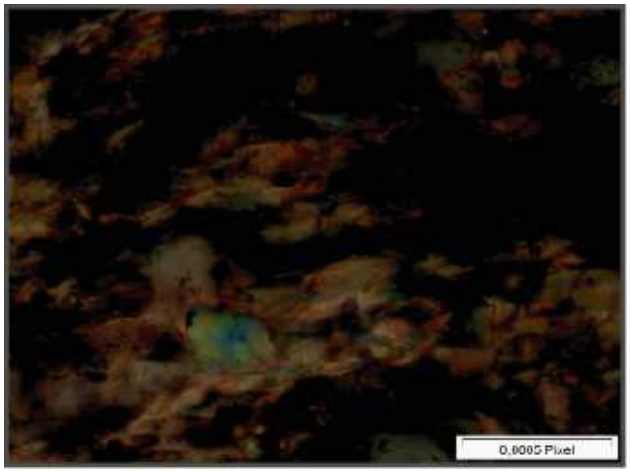


Photo 15: Séricite

- Les minéraux opaques sont automorphes et représentent 9% environ des minéraux de la roche.

Au plan structural, la roche présente une schistosité accompagnée d'un étirement de certains minéraux (chlorite par exemple). La texture est cataclastique ; caractéristique des roches issues des zones de cisaillement. Il s'agirait d'un ancien gabbro, mylonitisé. La roche est une chloritoschiste (photo 15).

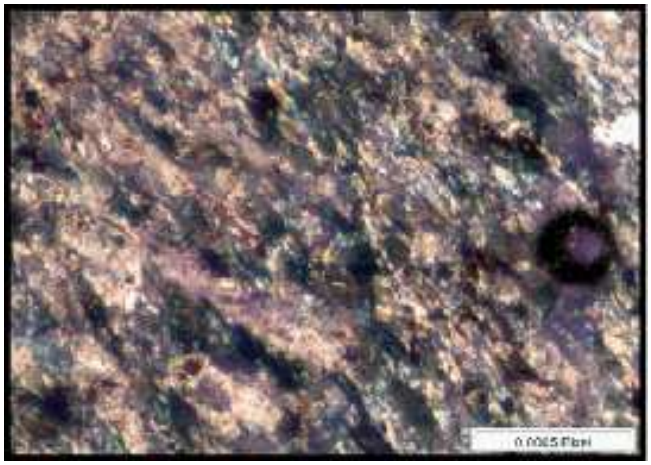


Photo 16: Chloritoschiste de la Gambie montrant des aiguilles de séricite allongées dans un fond quartzo-feldspathique.

2.2 : Tufs rhyolitiques de Mako (RN7)

Cette roche, qui était nommée tuf rhyolite, affleure de part et d'autre de la RN7, à l'entrée du village de Mako. Elle montre en lame mince des cristaux de sanidine, de chlorite verte, de quartz, de biotique, de muscovite, de séricite et de minéraux opaques (photo 17).

- La sanidine (photo 17A) est très abondante dans la lame et constitue environ 55% des minéraux de la roche. Elle est représentée par des phénocristaux automorphes (5%) pouvant mesurer jusqu'à 40 µm et présentant la macle de caldsbad. En outre, il y a aussi des microcristaux xénomorphes plus représentatifs (50%). Certains cristaux de sanidine sont orientés.

- La chlorite (environ 25% des minéraux de la roche) est secondaire et proviendrait de l'altération de la biotite. Il s'agit ici de la chlorite verte d'aspect feuilleté. Les cristaux sont orientés constituant une linéation d'étirement.

- La biotite (photo 17B) (prés de 3% de la roche) est présente sur cette lame sous forme de microcristaux xénomorphes. De couleur rouge brune, elle est associée à la chlorite avec laquelle elles forment des litages suivant les plans de schistosité.

- Le quartz (photo 17C) fait 15% environ des minéraux de la roche. Il présente des phénocristaux automorphes mesurant parfois jusqu'à 60 µm et des microcristaux sub-automorphes à xénomorphes plus abondants. Certains cristaux sont légèrement étirés. Les grains de quartz ont une extinction ondulante.

- La muscovite (environ 1% de la lame) est représentée par des cristaux xénomorphes de taille moyenne (15µm à 25µm). Ces minéraux, sont orientés suivant les plans de la schistosité.

La séricite (environ 1% des minéraux de la lame) est répartie de façon disparate et on l'a reconnait grâce à sa couleur bleue vive en lumière polarisée analysée. Les cristaux de séricite sont fortement étirés suivant les plans d'orientation de la schistosité et s'intercalent dans les chlorites.

Les minéraux opaques font au plus 1% des constituants de la lame. Ils sont xénomorphes et ne sont pas orientés.

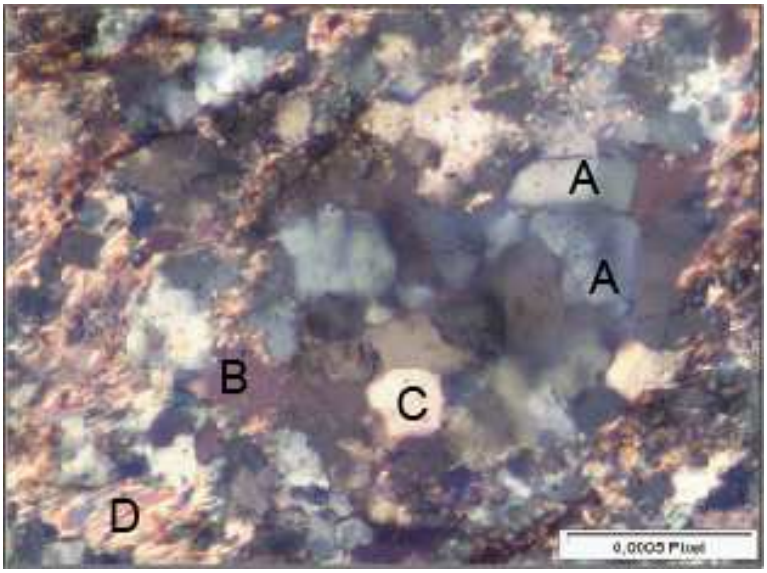


Photo 17: Tufs rhyolitique recristallisé en quartz, feldspaths et séricite. A=feldspath, B=biotite, C= quartz, D= séricite

La roche présente une schistosité associée à une linéation d'étirement suivant les plans d'observation de certains cristaux (chlorite, séricite…). La texture est granolépidoblastique. La roche est une séricito-schiste à sanidine (photo 18).

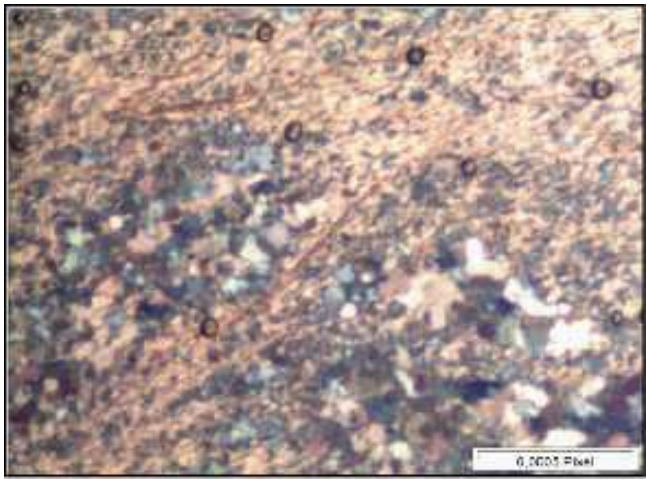


Photo 18: Tufs rhyolitique transformé en sericito-schiste à sanidine.

2.3. Cornéenne à biotite de Badon

Antérieurement appelée gneiss, la roche qui affleure à la bananeraie du village de Soukourtou montre en lame mince des minéraux d'orthose, de biotite, de plagioclases, de muscovite, de quartz et d'opaques (Photo 19).

- L'orthose représente environ 45% des minéraux de la roche. Il est composé de phénocristaux automorphes (5%) mesurant parfois jusqu'à 1mm. Certains présentent la macle de Caldsbad. On note également la présence de phénocristaux xénomorphes dont certains montrent un début d'altération sur leurs rebords (photo 19A).

- La biotite est représentée par des phénocristaux automorphes à sub-automorphes de taille moyenne (30µm à 60µm). Elle fait prés de 30% des cristaux de la roche. Certains cristaux montrent un début d'altération de la biotite en chlorite (biotite chloritisée) (photo 19B). Les feuillets ne sont pas orientés et sont souvent associés à la muscovite. La biotite est entourée par des minéraux xénomorphes d'orthose, de quartz et de plagioclases.

- Les plagioclases sont moyennement représentés (10% environ). Il s'agit de phénocristaux automorphes présentant la macle polysynthétique (macle de l'albite). Certains cristaux son altérés sur les bordures.

- La muscovite est faiblement représentée (1% environ). Les feuillets ne présentent pas d'orientation préférentielle. Elle est souvent associée à la biotite.

- Le quartz est représenté par des cristaux sub-automorphes à xénomorphes. Il fait environ 15% des constituants de la roche. Les cristaux présentant une extinction homogène.
- Les opaques représentent prés de 4% des minéraux de la roche. Ils sont en cristaux automorphes à sub-automorphes et de petite à moyenne taille (1µm à 10µm).

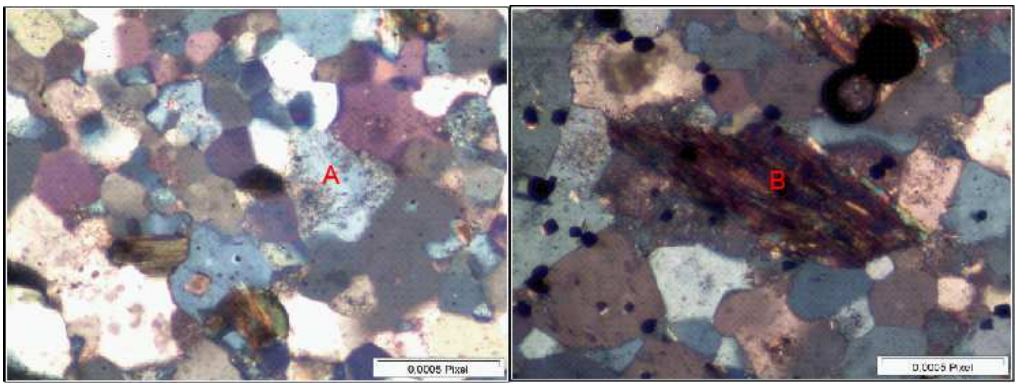


Photo 19: Cornéenne à biotite-orthose. A = orthose altérée, B = Biotite chloritisée

La roche a une texture granoblastique. De plus, on note une foliation associée à une schistosité peu pénétrative et par conséquent elle a une structure de cornéenne. C'est une cornéenne à biotite-orthose.

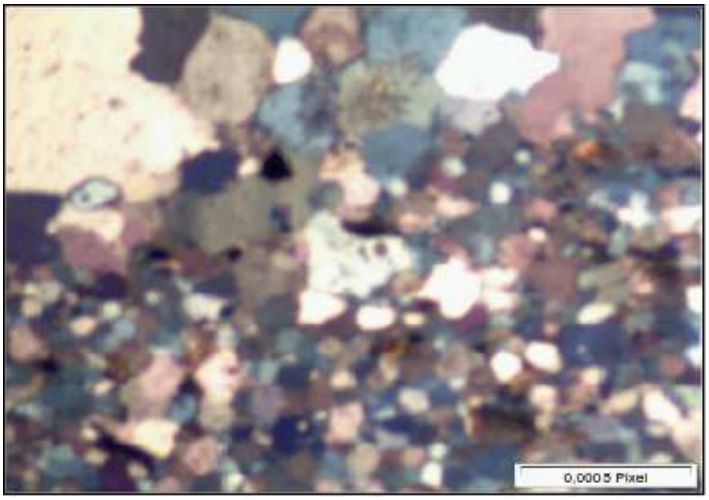


Photo 20: Cornéenne à biotite et orthose

2.4.: Chloritoschiste de la Gambie

La roche, appelée par ailleurs chert, affleure dans le lit de la Gambie. Au microscope, elle montre des minéraux de chlorite, d'épidote, de feldspaths plagioclases, de quartz, d'amphibole, de biotite et d'opaques (photo 21).

- La chlorite (photo 21A) représente prés de 50% des minéraux de la roche. D'aspect feuilleté, il s'agit de la chlorite brune associée à de la chlorite verte en quantité réduite. Cette dernière présente des micro-feuillets orientés dans deux directions sub-perpendiculaires.

- L'épidote (photo 21B) proviendrait de l'altération des plagioclases ou de l'amphibole. Elle constitue environ 15% des minéraux de la roche. Les cristaux d'épidote se présentent sous forme d'agrégats et de prismes avec des sections speudohexagonales.

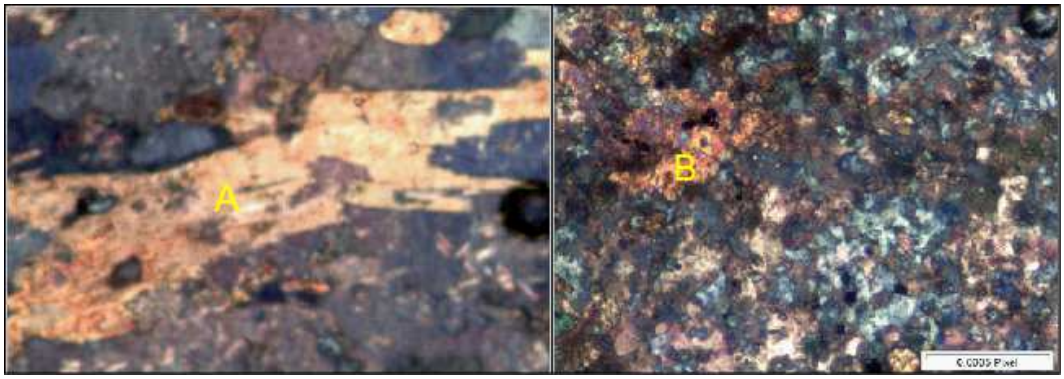


Photo 21: A=feuillet de chlorite; B = Epidote

- Les feldspaths plagioclases font environ 25% des cristaux de la lame. Ils sont constitués par des cristaux automorphes et de taille moyenne (25µm) présentant la macle polysynthétique. Il apparaît également plusieurs minéraux xénomorphes.

- Le quartz est représenté par des phénocristaux sub-automorphe à xénomorphes et des microcristaux xénomorphes. On note aussi une veinule de quartz s'injectant dans la roche. Le quartz représente prés de 6% des minéraux de la roche et est associé aux plagioclases dans lesquels il s'incruste. Les minéraux de quartz ont une extinction ondulante.

- La biotite est rare (1% des cristaux de la roche). Elle se présente en cristaux automorphes de taille moyenne (35µm) sans orientation préférentielle. Elle est associée à de la chlorite brune et de l'épidote.

- Les opaques constituent environ 3% des minéraux de la roche. Ce sont des cristaux de petite taille (10µm) automorphes et xénomorphes.

La roche présente des cristaux de grande taille baignant dans une matrice de minéraux plus fins. Il s'agit d'une texture porphyroblastique. Elle possède une structure schisteuse. On a une chloritoschiste (photo 22).

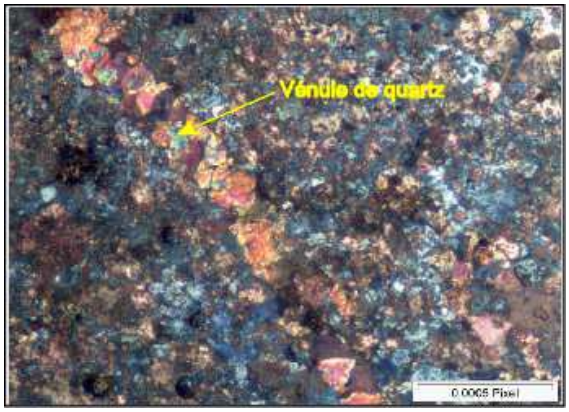


Photo 22: Chloritoschiste

2.5. Gneiss à biotite-chlorite-pyroxène

Cette roche, par ailleurs, appelée quartzite rubané affleure au SW de Mako. Elle montre en lame mince des minéraux de chlorite, de biotite, de pyroxènes, de plagioclases, d'olivine, d'amphiboles et d'opaques.

- La chlorite, d'aspect feuilleté, présente deux directions d'orientation qui font un angle de 75° environ entre elles. Elle représente prés de 25% des minéraux de la roche. Les feuillets de chlorite entourent le quartz et les plagioclases et sont associés à la biotite.
- La biotite (environ 25% des cristaux de la roche) est représentée par des phénocristaux sub-automorphes à xénomorphes présentant des bordures dentelées. Certains cristaux sont orientés suivant la direction de schistosité et s'associent à la chlorite.
- Les pyroxènes représentent prés de 15% des minéraux de la roche. Ces minéraux, de couleur vive, sont représentés par des clinonopyroxènes (photo 23A) présentant parfois des ex-solutions d'orthopyroxènes (photo 23B). Ils sont sub-automorphes à xénomorphes.
- Les feldspaths plagioclases sont représentés par des cristaux automorphes et xénomorphes. Les cristaux automorphes sont de taille moyenne (20µm) et montrent parfois la macle polysynthétique. Les cristaux xénomorphes sont de taille plus réduite

par rapport aux premiers. Ils sont aussi associés au quartz et représentent environ 18% des minéraux de la roche.

- L'amphibole (photo 23C), représentée ici par l'actinote de couleur verte pâle, constitue prés de 12% des minéraux de la roche. Il s'agit de phénocristaux sub-automorphes et de taille moyenne (25µm à 30µm). Ces cristaux, associés à la chlorite et aux plagioclases, ne présentent pas d'orientation préférentielle.

- L'olivine (photo 23D) est constituée par des minéraux sub-automorphes à xénomorphes de taille variable. Il est faiblement représenté (environ 3% des minéraux de la lame).

- Les opaques constituent prés de 2% des constituants de la roche. Ces cristaux sont automorphes ou parfois sub-automorphes à xénomorphes. Les minéraux opaques sont de petite taille (environ 10µm).

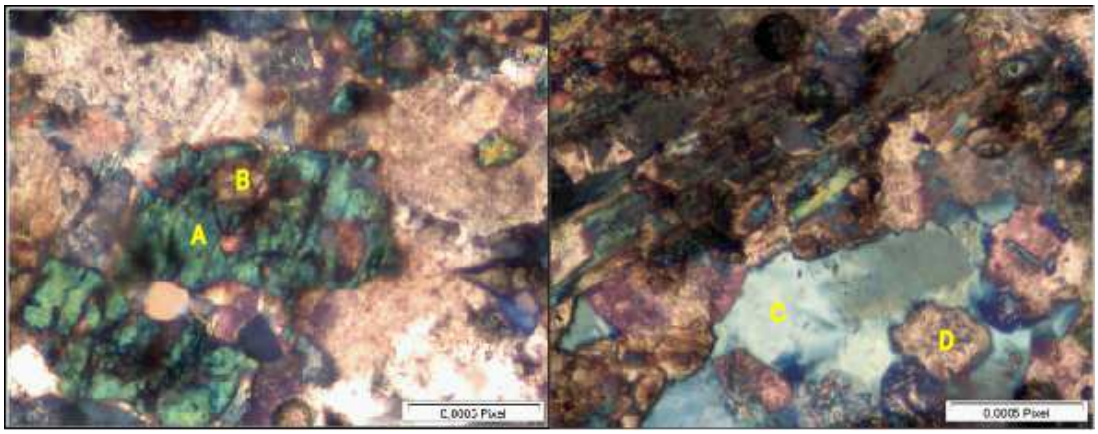


Photo 23: Minéraux de clinopyroxènes (A) avec des ex- solutions d'orthopyroxènes B), d'amphibole (C) et d'olivine (D).

La roche a une structure schisteuse peu pénétrative associée à une foliation. En outre, il y a une succession de feuillets et de cristaux ; par conséquent la texture est granolépidoblastique. Cette roche est un gneiss à biotite-chlorite-pyroxène (photo 24).

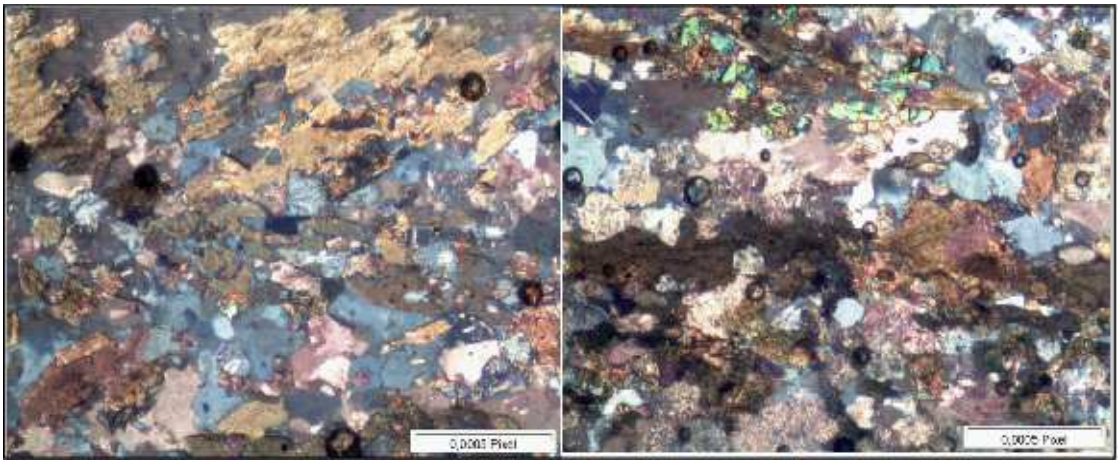


Photo 24: Gneiss à biotite-chlorite-pyroxène

2.6. Quartzite rougeâtre de Mako

Cette roche est essentiellement constituée de quartz (environ 90%). On a des macro-cristaux de quartz sub-automorphes à xénomorphes. Néanmoins on rencontre quelques cristaux automorphes et de taille moyenne (10µm à 15µ m). Les minéraux de quartz ont une extinction roulante. Il s'y ajoute qu'ils présentent des couleurs variées (bleue, grise, brune, …). De plus, il y a une succession de lits de microcristaux et de phénocristaux. La roche possède une texture granoblastique et présente une structure gneissique. Il s'agit d'un quartzite (photo 25).

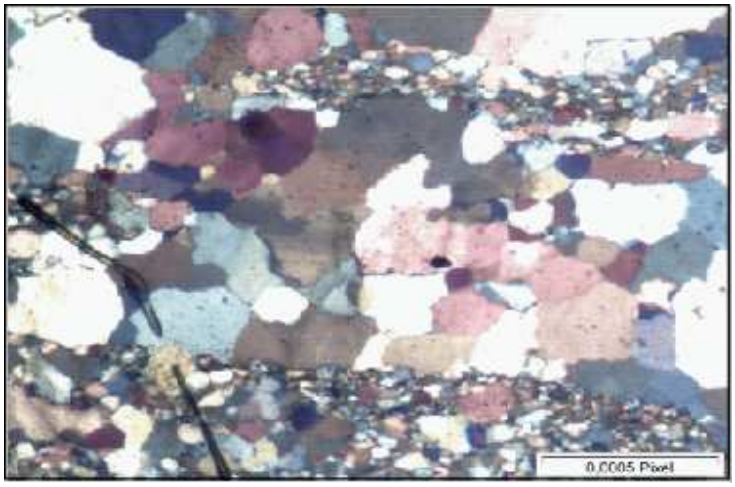


Photo 25: Quartzite rougeâtre de Mako

CHAPITRE III ETUDE DES STRUCTURES TECTONIQUES

La tectonique joue un rôle important dans la prospection minière d'une région. Pour le secteur de Mako qui est l'une des zones minières les plus importantes du Sénégal plusieurs études de ce type ont été effectuées.

I. STRUCTURES DUCTILE ET SEMI-DUCTILE

Sur le terrain, les rares structures observées sont représentées par les plis, les schistosités, les linéations et les boudinages.

1. Les plis

Les structures plissées affectent rarement les différentes lithologies rencontrées dans le secteur d'étude. Néanmoins, ils apparaissent au niveau des méta-basaltes affleurant dans la partie moyenne de la rive gauche de la Gambie à Badian. En effet, sur l'un des blocs il y a une section de pillow plissée avec un axe sub-arrondi (photo 26 A). En outre, certains espaces inter pillow renferment des micro-pillows plissés (photo 26 B). Il s'y ajoute des plis à axe vertical observé sur l'affleurement rebaptisé cornéen de la bananeraie (photo 26 C).

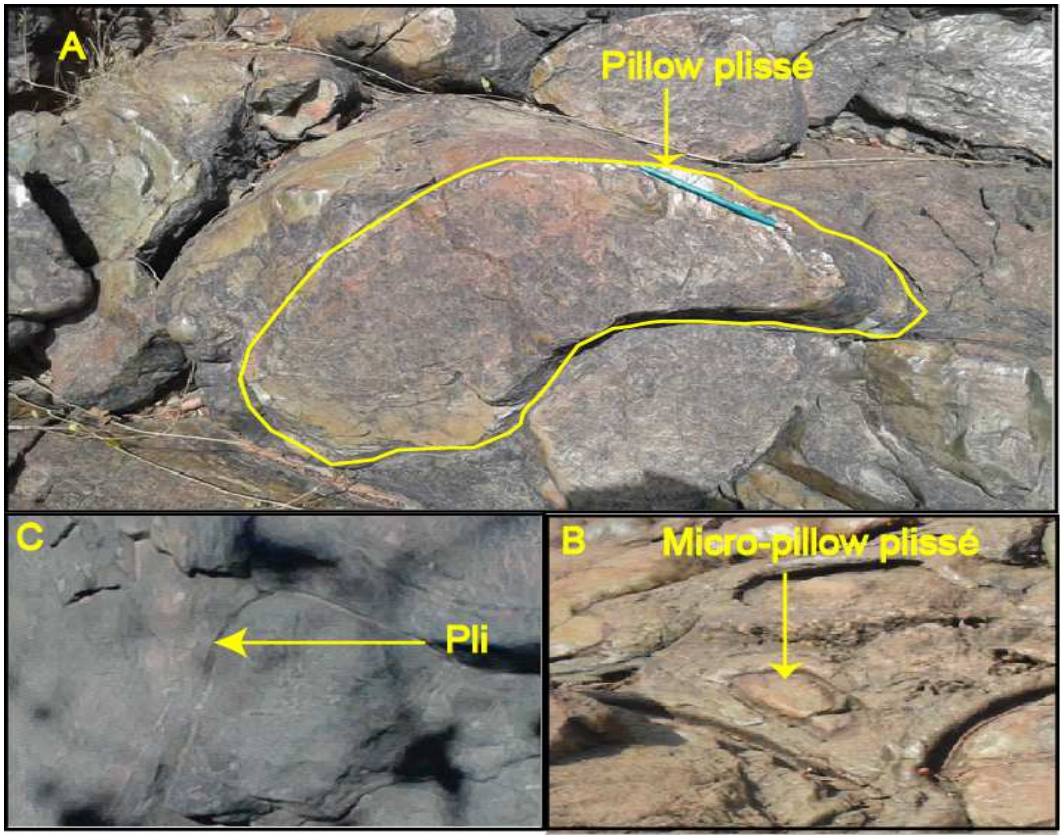


Photo 26: Les structures plissées

2. Les schistosités

Elles apparaissent dans la quasi-totalité des lithologies avec, cependant, un degré d'intensité variable d'un endroit à l'autre. En effet, elles sont plus marquées dans les zones de cisaillement (ZC) notamment à Mako (ZCM) et à Bafoundou (ZCB).

Ainsi, dans le secteur de Bafoundou les tufs andésitiques sont fortement schistosés avec une schistosité de crénulation orienté N204 76E-SE (photo 27). A Mako, à l'ouest de la piste menant vers Tambanouméa, affleurent des tufs andésitiques lithiques avec des blocs présentant parfois une schistosité de flux orientée N138 32S-SW. De plus, au niveau des brèches de Mako, situées à côté du cours d'eau, à quelques dizaines de mètres au SW des tufs, apparaît une schistosité principale orientée N88 24SE.

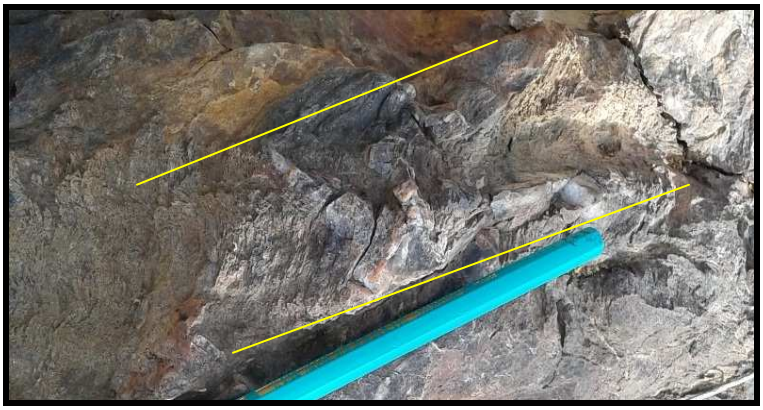


Photo 27: Schistosité de crénulation (trait jaune)

A l'affleurement, les tufs rhyolitiques de Mako (RN7) présentent un clivage assez bien visible avec une direction variable. Ce clivage semble transposer au litage primaire. Il est localement associé à des plis à axe sub-vertical.

Au microscope, cette roche (tuf rhyolitique de Mako) montre une schistosité de fruste (photo 28 A) associée à une linéation d'étirement. En effet, ces cristaux soumis à une compression sont allongés et parallèles par rapport aux plans de schistosité. De même, la chloritoschiste de la Gambie, montre certains feuillets de chlorite (photo 28 B) allongés suivant deux directions de schistosité faisant un angle environ 60° entre elles.

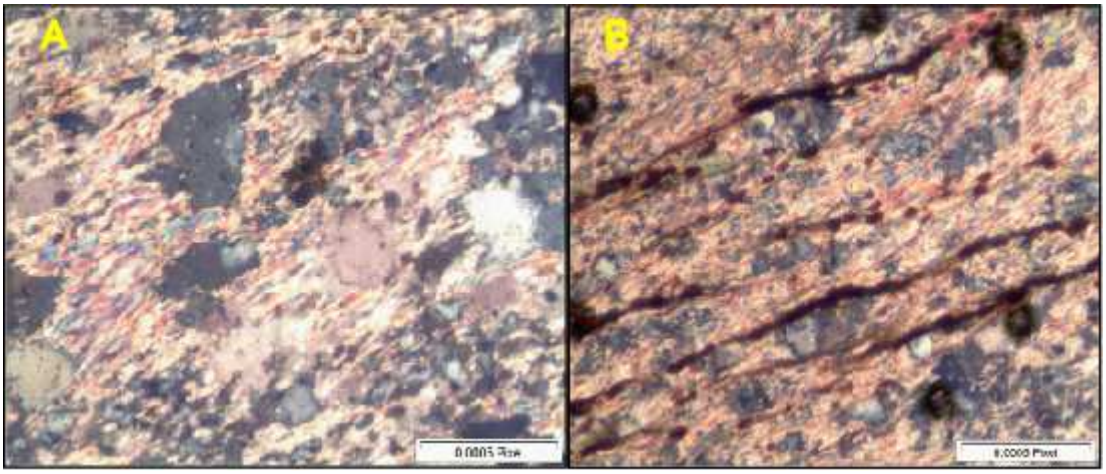


Photo 28: Schistosités: simple (A) et fruste (B)

Il faut souligner que la schistosité, parfois peu pénétrative, est associée à la foliation ou à la linéation d'étirement sur la quasi-totalité des lames.

3. Les linéations

Elles sont assez fréquemment observées dans les roches affleurant où elles sont associées le plus souvent à la schistosité. Ainsi, les tufs andésitiques de Bafoundou présentent une linéation d'étirement orientée N220 -40 (schistosité principale). Et à Mako, les brèches, situés à l'Ouest du village prés du cours d'eau, montrent une linéation d'étirement orientée N34. De plus, il y a, sur les blocs andésitiques lithiques de Mako, une linéation d'étirement des litho-clastes orientée N158 (photo 29). Et enfin au Sud de Badon, apparaît dans les gabbros une linéation d'étirement orientée N30 54NE.

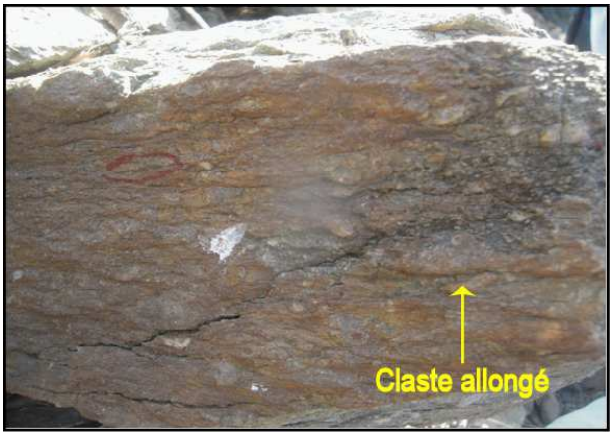


Photo 29: linéation d'étirement soulignée par les clastes allongés.

4. Les boudinages

Ces structures sont observées à Badian, sur la rive gauche de la Gambie. En effet cet affleurement montre des pillows boudinés avec un axe plissé (photo 30).

Photo 30: Les boudinages

5. Les zones de cisaillement

Les zones de cisaillement ou "shear zones" sont généralement orientées suivant la direction NW-SE et traversent le secteur d'étude dans sa partie centrale notamment (figure 7). Marquées par les structures telles que les deltas et sigmas clastes, les fentes de tension et les structures de Riedel, elles sont représentées par la zone de cisaillement de Mako et celle de Bafoundou.

5.1. La Zone de Cisaillement de Mako (ZCM)

La ZCM passe par les andésites de Mako. Ainsi dans les tufs andésitiques de Mako, des structures de Riedel, dans un cisaillement senestre, sont observées avec des fractures synthétiques (R) orientées N148 60W-SW et celles antithétiques (R') orientées N178 34 E-NE. Dans les tufs, il y a un plissement synfolial dans un cisaillement senestre (photo 31) ~~avec les « R » orientées N178 90W-NW et celles en « R' » sont orientées N78 70S-SW~~. En outre, des fentes en échelon et des fractures conjuguées apparaissent au niveau des méta-basaltes affectés par la ZCM.

Photo 31: Plis synfolial indiquant un cisaillement senestre dans les tufs rhyolitiques de Mako

Et enfin à l'échelle microscopique, la chloritoschiste de la Gambie montre en lame mince des porphyroblastes (photo 32 A) de feldspaths se présentant en delta (photo 32B) ou sigma clastes (photo32C) indiquant un mouvement senestre.

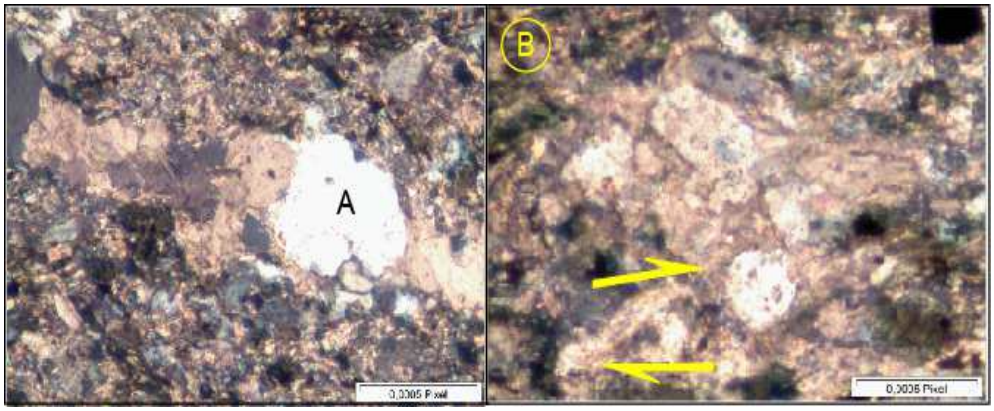
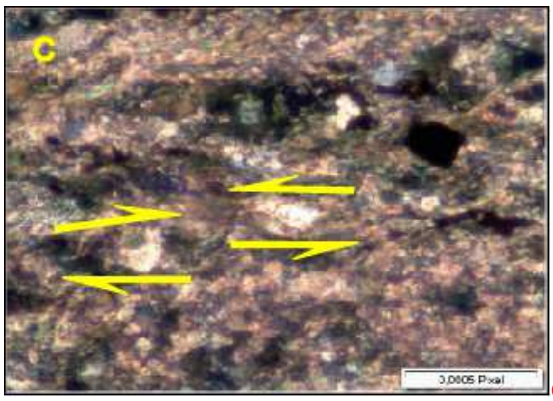


Photo 32: Chloritoschiste : porphyroblastes (A) delta-claste à rotation dextre (B)



changer

Photo 33: Sigma-clastes

5.2. La zone de cisaillement de Bafoundou (ZCB)

Dans le site de Bafoundou, il y a la ZCB qui passe par les tufs andésitiques entraînant ainsi une forte schistosité associée à une linéation d'étirement des cristaux (photo 34).

Photo 34 : ZCB montrant une schistosité orientée N160 affectant les tufs rhyolitiques.

II. STRUCTURES CASSANTES

Les structures cassantes rencontrées dans la zone sont constituées par des fractures. Elles sont très communes et réparties souvent de façon disparate sur les blocs affleurant. Il s'y ajoute aussi des micro-fractures, remplies d'inclusions de sulfure (pyrite) et de quartz, observées dans les plans de faiblesse de certaines roches telles que les méta-basaltes.

CONCLUSION GENERALE

D'un point de vu lithologique, le secteur de Badian-Badon-Lamé est constitué d'Ouest vers l'Est par des roches basiques (Méta-basaltes, Gabbros), ultrabasiques (Péridotites, pyroxènites), acides et intermédiaires (Granites, Granodiorites, Rhyolites, Andésites, Tufs, Brèches) et enfin des sédiments fins et de filons (Dolérite, Quartz et Quartzites).

L'étude microscopique montre que la minéralogie est constituée par des minéraux primaires (pyroxènes, feldspaths plagioclases, minéraux opaques, biotite et amphiboles) associés à des minéraux secondaires tels que la chlorite, l'épidote, la calcite, le quartz et les oxydes. Ces minéraux secondaires proviendraient de l'ouralitisation des pyroxènes (amphibole, calcite et oxydes), mais aussi de la saussuritisation des plagioclases (séricite, épidote) et de l'altération de la biotite et de l'amphibole (chlorite, épidote). Cette paragenèse minéralogique est commune à un environnement de basse température et de basse pression indiquant un métamorphisme de type schistes verts. En outre, elle a permis de préciser la pétrographique de certains faciès du secteur (cherts, gneiss, chloritoschiste etc.)

Sur le plan structural, les rares structures observées sont constituées par des plis, des schistosités, des linéations, des boudinages, des zones de cisaillements et des fractures disparates. Elle a permis de préciser la rotation senestre de la ZCM.

En définitive, nous pouvons donc dire que le secteur de Badian-Badon-Lamé présente un environnement océanique du fait des coulées de méta-basaltes en pillow-lavas qui témoigne d'une origine marine profonde suivi d'un volcanisme calco-alcalin explosif (tufs andésitiques et rhyolitiques) caractéristique d'une mise en place de sub-surface.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (revoir en supprimant ou ajoutant des réf.)

Barrère, J. (1967). Le groupe précambrien de l'Amsaga entre Atar et Akjoujt (Mauritanie). Etude d'un métamorphisme profond et de ses relations avec la migmatisation. Thèse Sci. Clermont – Ferrand et Mémoire. BRGM., 42, 278p.

Bassot J.P. (1963). Etude géologique du Sénégal oriental et de ses confins Guinéo Maliens. Thèse Doct. Es Sci. T. 1, Univ. Clermont Ferrand, Fr. 115p.

Bassot J.P. (1966). Etude géologique du Sénégal oriental et de ses confins Guinéo Maliens. Mémoire. B.R.G.M. N°40, 332pp.

Bassot, J. P., Caen-Vachette, M. (1984). Données géochronologiques et géochimiques nouvelles sur les granitoïdes de l'Est du Sénégal : implications sur l'histoire du Birimien de cette région. In : Klerkx, J., Michot, J., (Eds), Géologie Africaine Tervuren, pp. 191 – 209.

Bassot J.P. (1987). Le complexe volcanoplutonique calco alcalin de la rivière de la Daléma (Est du Sénégal) ; discussion de la signification géodynamique dans le cadre de l'orogenèse éburnéenne (Protérozoïque inférieur). J. Afric. Earth Sci, 6 n°4 pp. 25à 34.

Beckinsale, R.D., Gale, N.H., Pankhurst R.J., Macfarlane, A., Crow, M.J., Arthurs J.W., Wilkinson, A.F. (1980). Discordant Rb – Sr and Pb – Pb whole rock isochron ages for the Archean basement of Sierra Leone. Precambrian Research, 13, 63 -73pp.

~~**Bessoles, B. (1977).** Geologie de l'Afrique : le craton ouest africain. Mem. BRGM, Fr. , n°88,403 p~~.

Bessoles, B. (1977). Geologie de l'Afrique : le craton ouest africain. Mem. BRGM, Fr. , n°88, 403 pp.

Boher, M. (1987). Pétrographie et géochimie des formations volcaniques de la Daléma (Sénégal oriental). Les formations métamorphiques du sillon de Yalogo Burkina Faso. Premières datations Sm-Nd et Rb-Sr. D.E.A Univ. Nancy I France 44p.

Boher, M., Abouchami, W., Michard, A., Albarède, F., Arndt, N.T., 1992. Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga. J. Geophys. Res. Vol. 97, pp. 345 – 369.

Camil, J., Tempier, P., Caen Vachette, M., 1984. Schéma pétrographique, structural et chronologique des formations archéennes de la région de Man (Côte d'Ivoire). Leur rôle dans la cratonisation de l'Ouest Africain. In Géologie Africaine, edited by J. Klerkx and J. Michot, pp. 1 – 10 Tervuren, Belgium.

Cissokho, S. (2010) : Etude géologique du secteur de Mako(parti méridionale du Supergroupe de Mako, boutonnière de Kédougou-Kéniéba, Sénégal oriental) : implications sur la diversite magmatique. Thèse doctorat 3e cycle, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 177pp.

Dabo M., **Gueye M., Ngom P.M., Diagne M., 2008**. Orogen-parallel tectonic transport : transpression and strain partitioning in the Mauritanides of northeast Sénégal. Special Publication of the *Geological Society of London*, 297, 483-497. http://www.geolsoc.org.uk/gsl/publications/

Dabo, M. et Aïfa, T. (2011). Late Eburnean deformation of the Kolia-Boboti sedimentary basin, Kédougou-Kéniéba Inlier, Sénégal. Journal of Afrian Earth Sciences, 2 (1) ;1-12.

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, Dakar-Sénégal, 207pp.

DABO. M, TAHAR AÏFA*, TIMOTHEE MIYOUNA, DIERY ABDOUL DIALLO. 2015. Gold mineralization paragenesis to tectonic structures and in the Birimian of the eastern Dialé-Daléma Supergroup, Kédougou-Kéniéba Inlier, Senegal, West African Craton. *International Geology Review*, Doi:10.1080/00206814.2015.1123121

Dabo et al., 2016b. Cartographie géologique et pétrographie des formations birimiennes du secteur de Mako (Supergroupe de Mako, Boutonnière de Kédougou-Kéniéba, Sénégal), (*Sous rédaction*).

Dia, A. (1988). Caractère et signification des complexes magmatiques et métamorphiques du secteur de Sandikounda-Laminia (Nord de la boutonnière de Kédougou, Est du Sénégal): un modèle géodynamique du Birimien de l'Afrique de l'Ouest. Unpublished PhD thesis, University of Dakar, Senegal, 350 pp.

Dia A, W.R. Van Schmus and A. Kröner, **(1997**). Isotopic constraints on the age and formation of a Palaeoproterozoic volcanic arc complex in the Kedougou Inlier, eastern Senegal, West Africa. Journal of African Earth Sciences, 24, pp 197-213. 55

Diallo, D.P. (1983). Contribution à l'étude géologique de la série du Dialé (Birrimien) dans les monts Bassaris – Sénégal Oriental (secteur de Bandafassi- Ibel – Ndébou – Landiéné). Thèse présentée à Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, 181p.

Diallo, D.P. (**1994**). Caractérisation d´une portion de croûte d´âge protérozoïque inferieur du Craton Ouest Africain : cas de l´encaissant des granitoïdes dans le Supergroupe de Mako (boutonnière de Kédougou)- Implications géodynamiques.Unpublished PhD thesis, University of Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal, 466 pp.

Diallo, D.P. (**2001**). Le paléovolcanisme de la bordure occidentale de la boutonnière de Kédougou, Paléoprotérozoïque du Sénégal oriental: incidences géotectoniques. Journal of African Earth Sciences, vol.32, N°4, pp 919-940.

Diallo, D.P. (**2012**). Géologie du Sénégal Oriental : Cours L3 Géosciences.

Faye, C.I. (**2011**). Cartographies géologique, régolitique et structurale du prospect de Diegoun North (Permis de Sounkounkou, Sénégal Oriental) associées à l'étude de la minéralisation aurifère. Mémoire d'ingénieur Géologue-IST, 122 pp.

Faye, C.Y.A. (**2009**). Etude des contrôles structuraux de la minéralisation aurifère du gisement de Massawa (permis de Kounemba, Sénégal oriental). Mémoire d'ingénieur Géologue-IST, 84 pp. 56

Feybesse, J.L., Milési, 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 pp.

Guèye, M., Siegesmund. S., Wemmer. K., Pawling. S., Drobe. M., Nolte. N. and Layer. P. (**2007**). New evidences for an early Birimian evolution in the West African Craton: An example from the Kedougou-Kenieba inlier, southeast Senegal. South African Journal of Geology, vol.110, pp 511-534.

Liégeois, J.P., Claessens, W., Camara, D., Klerx, J., 1991. Short - lived Eburnean orogeny in southern Mali. Geology, tectonics, U-Pb and Rb-Sr geochronology. Prec. Res. 50, pp. 111 - 136.

Mission Sénégalo-Soviétique de recherches minières. (**1972- 1973)** : Rapports inédits. Directions des Mines et de la Géologie, Dakar Sénégal, p.

Ndiaye, O . (**2013**) Cartographie géologique, régolitique et structurale associée à l'étude de la minéralisation aurifère du prospect de Goumbou Gamba (permis de Bransan, Sénégal oriental) Mémoire d'ingénieur Géologue-IST 53 pp

Ndiaye, P. M. (1994). Evolution au protérozoïque inférieur de la région Est Saraya, Supergroupe de Dialé – Daléma Sénégal oriental : tourmalinisation, altérations hydrothermales et minéralisations associées. Thèse d'Etat Univ. Ch. A. Diop Sénégal. 372p p.

Ndiaye, P. M., **Dioh E., Diatta. F., Traoré. A., Fall. M., Baldé. O. (2013):** Polycyclic Evolution of Paleoproterozoîc Rocks in the Southwestern Part of the Mako Group (Eastern Senegal, West Africa) International Journal of Geosciences, 2014, 5, 739-748

Ngom, P.M. (1995) : Caractérisation de la croute birimienne dans les parties centrale et méridionale du Super-groupe de Mako: implications géochimiques et pétrogénétiques.Thèse d'Etat UCAD, 243 pages.

Ngom, P.M. (**1985)** : Contribution à l'étude de la série birimienne de Mako dans le secteur aurifère de Sabodala (Sénégal oriental). Thèse de 3eme Cycle Univ. Nancy I France. 134 p.

Ngom. P. M., Cissokho. S., Guèye, M. et Joron, J.L.(2011) : Diversité du volcanisme et évolution géodynamique au paléoprotérozoïque : exemple du Birimien de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba (Sénégal). *Africa Géosciences Review*. Vol 13, N°1 ;1-22, 2011

Programme d'eau potable et d'assainissement du Millénaire (PEPAM) 2010

Sylla, M et Ngom, P. M. **(1997**). Le gisement d'or de Sabodala (Sénégal Oriental): une minéralisation filonienne d'origine hydrothermale remobilisée par une tectonique cisaillant. Journal of African Earth Sciences, 25(2), 183-192

Théveniaut, H., Duvail, C., Ndiaye, P.M., Fullgraf, T., Delor, C., Goujou, J.C., Buscail, F., et Diagne, E. (2010a) : Carte géologique à 1/500 000 du Sénégal, feuille SUD-EST.

Ministère des Mines, de l'Industrie, de l'Agro-Industrie et des PME, Direction des Mines et de la Géologie, Dakar

Théveniaut, H., Ndiaye, P.M., Buscail, Couëffé, R., Delor, C., F., Fullgraf, T. et Goujou, J.C. (2010b) : Notice explicative de la carte géologique à 1/500 000 du Sénégal oriental. Ministère des Mines, de l'Industrie, de l'Agro-Industrie et des PME, Direction des Mines et de la Géologie, Dakar.

Quentin Masurel [a,*], John Miller [a], Kim A.A. Hein [b], Eric Hanssen [c], Nicolas Th_ebaud [a], Stanislav Ulrich [d], Jean Kaisin [e], Samuel Tessougue [f] 2016. The Yatela gold deposit in Mali, West Africa: The final product of a long-lived history of hydrothermal alteration and weathering. *Journal of African Earth Sciences* 113 (2016) 73, 87

Caby, R., 2003. Terrane assembly and geodynamic evolution of central western Hoggar: a syntesis. *J. Afr. Earth Sci*., **37**, 133-159

Affaton, P., 1975. Etude géologique et structurale du nord –ouest Dahomey, du nord Togo et du sud est de la haute volta. *Thèse Doct. Spéc.,* 1973, *Trav. Lab. Sci. Terre, St Jérôme*, Marseille, B, n° **10**, 201 p.

Dioh, E., Béziat, D., Debat, P., Grégoire, M., Ngom, P.M., 2006. Diversity of the palaeoproterozoic granitoids of the Kédougou inlier (eastern Senegal): petrographical and geochemical constraints. J. Afr. Earth Sci. 44, 351e371