II.1. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Notre zone d'étude se trouve aux alentours de l'exploitation du grès bitumineux de Bemolanga qui se situe au centre Ouest de Madagascar, plus précisément dans la région de Morafenobe. Elle est distante d'environ 550 kilomètres d'Antananarivo et de 35 kilomètres de Morafenobe.

Sa position géographique est :

- Latitude Sud entre 17°37' et 17°52'
- Longitude Est entre 45° et 45°16'

Et en coordonnées Laborde (mètre) :

- X entre 240 000 et 280 000
- Y entre 910 000 et 940 000

La figure 8 illustre toutes les formations du socle de Madagascar et sur cette carte sera délimitée la zone d'étude.

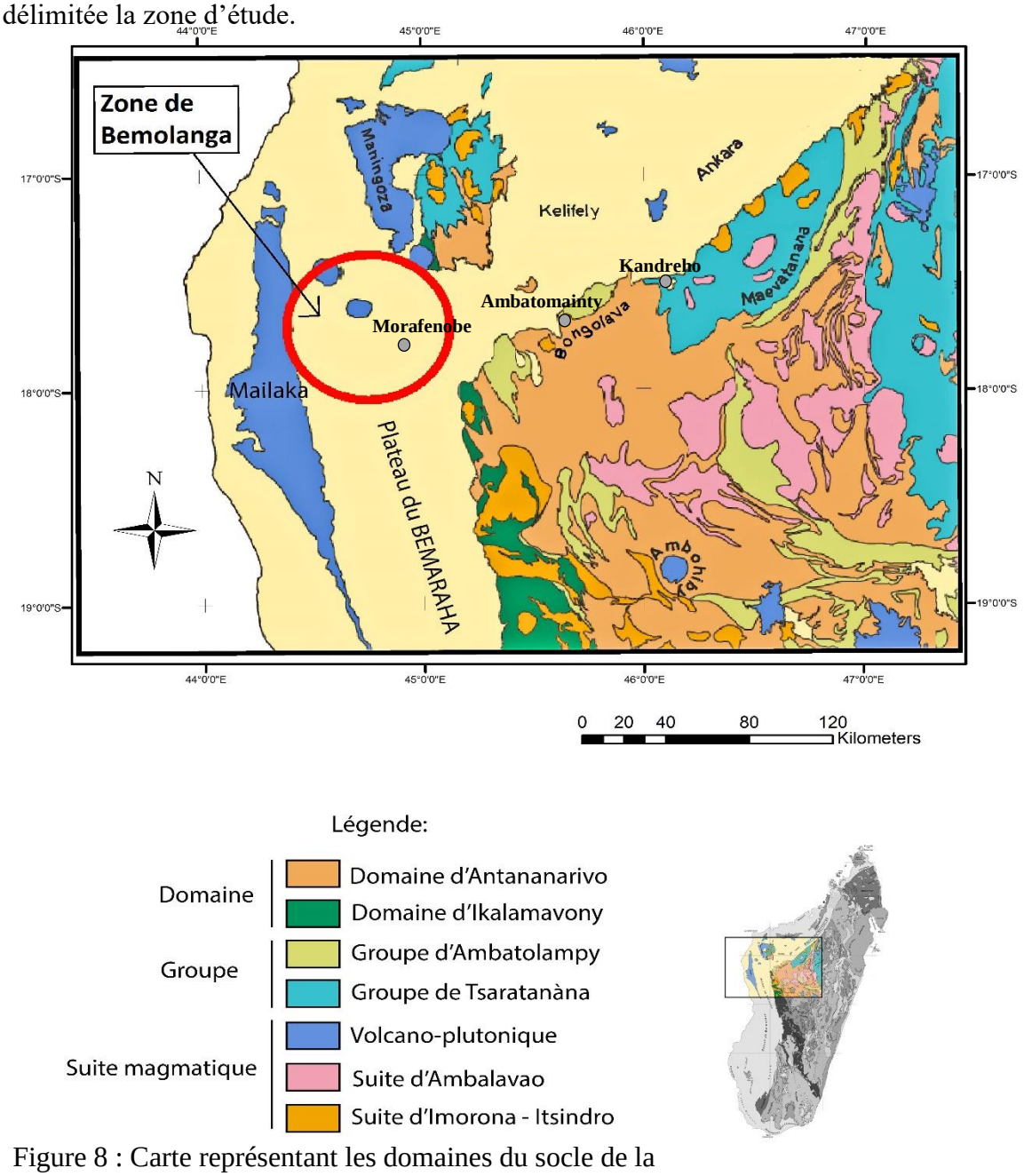

Figure 8 : Carte représentant les domaines du socle de la zone de Bemolanga (Source : PGRM 2012)

II.2. LA STRATIGRAPHIE

II.2.1. LA NOMENCLATURE DES FORMATIONS GEOLOGIQUES RENCONTREES A BEMOLANGA

A. FORMATIONS ESSENTIELLEMENT MAGMATIQUES

- Craton : vaste portion stable du domaine continental par opposition aux zones instables déformées ; élément de lithosphère continentale possédant une identité géologique, notamment en termes de nature des roches et de structuration des unités géologiques qui le composent
- Suite : roches constituant un ensemble magmatique sans caractère anatectique. Mise en place dans un même contexte géotectonique et associées à un même évènement.
- Cortège : roches constituant un ensemble magmatique anatectique, associées à un même évènement
- Sous-suite : ensemble de roches constituantes soit d'une suite, soit d'un cortège tel qu'elles ont les mêmes caractéristiques pétrologiques, géochimiques
- Domaine : vaste secteur caractérisé par une série stratigraphique particulière et/ou par une évolution tectonique spécifique

B. FORMATIONS ESSENTIELLEMENT SEDIMENTAIRES

- Unité lithologique : ensemble de roches tel qu'il y a un faciès pétrographique dominant et auquel sont associées d'autres épisodes pétrogénétiques mineures adjointes ou intercalées. Le tout est bien calé dans les mêmes conditions thermodynamiques de formation
- Formation : groupement des unités lithologiques associées à un même évènement/ sous-évènement et/ou de même caractère pétrologique/géochimique
- Groupe : ensemble des formations qui retracent les étapes de l'histoire évènementielle et des déformations d'un même environnement géotectonique

C. FORMATION MIXTE

- Complexe : les groupes, cortèges et/ou suites contribuant à la continuité de l'histoire géologique (accrétions et évènements) d'un ou de plusieurs domaines géographiques définis par les mêmes critères géotectoniques ou évènementiels durant les mêmes époques géologiques.

II.2.2. LE SOCLE PRECAMBRIEN DE BEMOLANGA (Figure 8 et 9)

A. LE DOMAINE D'ANTANANARIVO

Dans ce domaine, le craton d'Antananarivo se compose d'orthogneiss archéens appartenant à la suite de Betsiboka, d'âge 2,5 milliards d'années obtenu à partir du zircon (U-Pb). Associés à ces formations orthogneissiques, les paragneiss des groupes de Vondrozo et de Sofia ont été métamorphisés et leur fusion partielle s'est produite sous des conditions de faciès granulite et amphibolite durant le Néoarchéen.

Des indications sur la croûte Paléoprotérozoïque et Mésoproterozoïque qui est incorporée dans celle d'Antananarivo portent sur les cristaux de zircon étrangers hérités des intrusions Neoproterozoïques, d'âge compris entre 2,1 à 1 milliards d'années, mais également dérivés de roches métamorphiques d'origine sédimentaires (métasédimentaires).

Des séries de recouvrements structuraux, éventuellement de ceintures allochtones de gneiss mafiques se produisent dans le craton d'Antananarivo, collectivement appelé le « Complexe de Tsaratanàna ». Ces séries comprennent, d'Ouest en Est, l'Ambohipaky, Maevatanana, Andriamena, et la ceinture de Beforona-Alaotra. Ils sont composés de séquence tonalitique d'orthogneiss et de paragneiss d'âge archéen.

De grands volumes de magma ont pénétré dans tout le craton d'Antananarivo et du complexe de Tsaratanana en raison des orogénèses du kibarienne et panafricaine et pendant les trois épisodes majeurs suivants : les évènements intrusifs d'Imorona-Itsindro au Néoprotérozoïque, de Kiangara et d'Ambalavao – Maevarano au Cambrien.

1. SUITE DE BETSIBOKA

La suite de Betsiboka se compose de 3 types de roches :

- Les orthogneiss migmatitiques de composition dioritique et granodioritique à tonalitique, dénommés actuellement « orthogneiss de Moramanga ». Ce phénomène de migmatitisation varie beaucoup grâce à l'existence de plusieurs minéraux tels que : hornblende, biotite, quartz, plagioclase, plus ou moins feldspath de grain moyen à grossier. Mais la composition de grande majorité de ces orthogneiss migmatitiques est généralement basique.
- Les orthogneiss migmatitique granitique à granodioritique (orthogneiss de Betsiboka)

  Ce type de roche peut être migmatitiques ou non avec présence parfois d'hornblende, de biotite, de quartz, de feldspath, et de composition monzonitique à granitique. L'orthogneiss peut exister sous différents faciès pétrographiques : gneiss oeillés granitiques à grains grossiers, gneiss monzonitiques à grains moyens et orthogneiss

migmatitiques de composition acide comme la monzonite, la monzonite quartzique et granite

- Harzburgites, pyroxénites plus ou moins chromifères se présentant en amas ou en lentilles. Ces roches sont essentiellement ultra-basiques composées d'amphibolites ou d'hornblendites très altérés.

2. GROUPE D'AMBATOLAMPY

Le groupe d'Ambatolampy est marqué par le développement de la séquence de roches supracrustales fortement plissée en absence de tectonique cassante. Pétrographiquement, ce groupe est caractérisé par des schistes et des paragneiss alumineux, parfois riches en graphite ; l'ensemble est interstratifié par des bancs de Quartzite.

- Les paragneiss et schistes constituent l'unité dominante du Groupe d'Ambatolampy avec des gneiss et des schistes métapsammitiques à grain fin à moyen. La magnétite se trouve en petite quantité tandis que la biotite est plus abondante ; le grenat et la sillimanite sont présents en minéraux accessoires.
- Les métaquartzites : les bancs de gneiss et de schistes psammitiques se présentent à l'état de métaquartzite noir, gris ou brun selon l'état d'oxydation (méta-BIFs). De fines alternances millimétriques (0,2 à 2mm) de niveaux riches en quartz et de niveaux plus ou moins oxydés de couleur rouille forment des lamines ou des lits millimétriques.

3. SUITE D'AMBALAVAO – KIANGARA – MAEVARANO (suite du Néoprotérozoïque à Cambrien des domaines d'Antananarivo et d'Ikalamavony)

Cette suite est formée de deux types de formations :

- Complexes de granitoïdes : soit avec la formation d'orthogneiss anté et syntectonique, des phénomènes plutoniques intrusifs ou emboîtés après des phénomènes tectoniques (type Ambalavao) ; soit avec la formation des massifs stratoïdes post-tectoniques. Ces formations se caractérisent généralement avec des pendages faibles et de très vastes superficies (type Kiangara)
- Le type Ambalavao se rencontre dans la moitié Nord (Maevarano) ainsi que dans toute la moitié Sud de Madagascar.

B. NAPPE DE TSARATANANA (Bekodoka – Maevatanana – Andriamena – Beforona)

Cette nappe est formée de trois ceintures magmatiques d'âge, de lithologie et de structures similaires :

- La ceinture de Befandriana – Alaotra – Beforona
- La ceinture d'Andriamena – Tsaratanàna
- La ceinture de Maevatanana.

Chaque ceinture est formée d'un socle de migmatites plus ou moins rubanés avec alternance ou d'intercalation de composante pétrographique méta-ultra-basique. Ces trois ceintures sont toutes constituées de roches vertes, contenant des minéraux verts et peuvent se présenter comme les types suivants :

- Les orthogneiss basique de composition métagabbroïque, métadioritique et métatonalitique à amphibole. Ce sont des roches mafiques et ultra-mafiques qui peuvent contenir des chlorites mais seulement dans certains endroits.
- Les paragneiss basique : roche quartzo-feldspathiques à amphibole, pouvant être gneissiques ou schisteuses avec une géométrie en forme de ruban centimétrique à décimétrique
- Les quartzites à magnétite qui est une formation mineure du Complexe de Tsaratanana et composée de quartz pur rare associé aux gneiss et schistes micacés (métamorphime de BIFs)

Les formations d'Andriamena ont permis de définir qu'il y aurait en deux évènements consécutifs : les faisceaux oriental et central de la ceinture d'Andriamena sont datées de 980 millions d'années et le faisceau occidental de 790 – 810 millions d'année.

La classification des roches vertes se fait suivant une ligne fictive de direction Est-Ouest à la latitude d'Antananarivo. Au Nord de cette ligne, la formation est ultrabasique à olivine, orthopyroxène et à minéralisation chromifère ; au Sud, une formation ultrabasique à olivine et clinopyroxène avec une minéralisation en sulfures comme métaux de base.

C. DOMAINE D'IKALAMAVONY

1. DOMAINE IKALAMAVONY - ITREMO

Le domaine est subdivisé en deux sous-domaines sur la base de différences en lithostratigraphie et en degré de métamorphisme.

- A l'Est, les grandes nappes du sous-domaine d'Itremo, connues sous le nom de « Schisto-Quartzo-Dolomitique », sont dominées par des roches métasédimentaires (quartzite, marbre et pélite) à faciès schistes verts et amphibolite inférieur du Paléoprotérozoïque du groupe de l'Itremo.

- A l'Ouest, les roches du sous-domaine d'Ikalamavony à facies amphibolite supérieur à granulite sont constituées d'un empilement de nappes allochtones intensément déformées vers l'Est sur le sous-domaine d'Itremo

2. SUITE D'IMORONA-ITSINDRO

Elle est très présente dans le Précambrien du domaine d'Ikalamavony.

La bimodalité compositionnelle est caractérisée par la présence de granitoïdes acides de type Imorona allant de granites alcalins aux syénites quartziques de variétés basiques de type Itsindro. Ces variétés évoluent entre diorite et gabbronorite.

3. DOME DE BEKODOKA

Le dôme de Bekodoka au Nord-Ouest de Bemolanga a traditionnellement été subdivisé en orthogneiss migmatitiques du domaine d'Antananarivo et en roches vertes d'origine para du Complexe de Tsaratanàna, mais la cartographie de CGS (California Geological Survey) (2009) a découvert une petite ceinture d'amphibolite, de quartzite et de marbre dans le Sud-Ouest du dôme de Bekodoka, ceinture autrefois inconnue. Mais sur les plans de la minéralogie, de la géochimie et de la géologie structurale, ces types d'association de roches sont plutôt rattachés au domaine d'Ikalamavony et d'Itremo, plus à l'Est du sous-domaine d'Ikalamavony. Le CGS a utilisé ces similitudes pour classer ces roches dans le domaine d'Ikalamavony – Itremo.

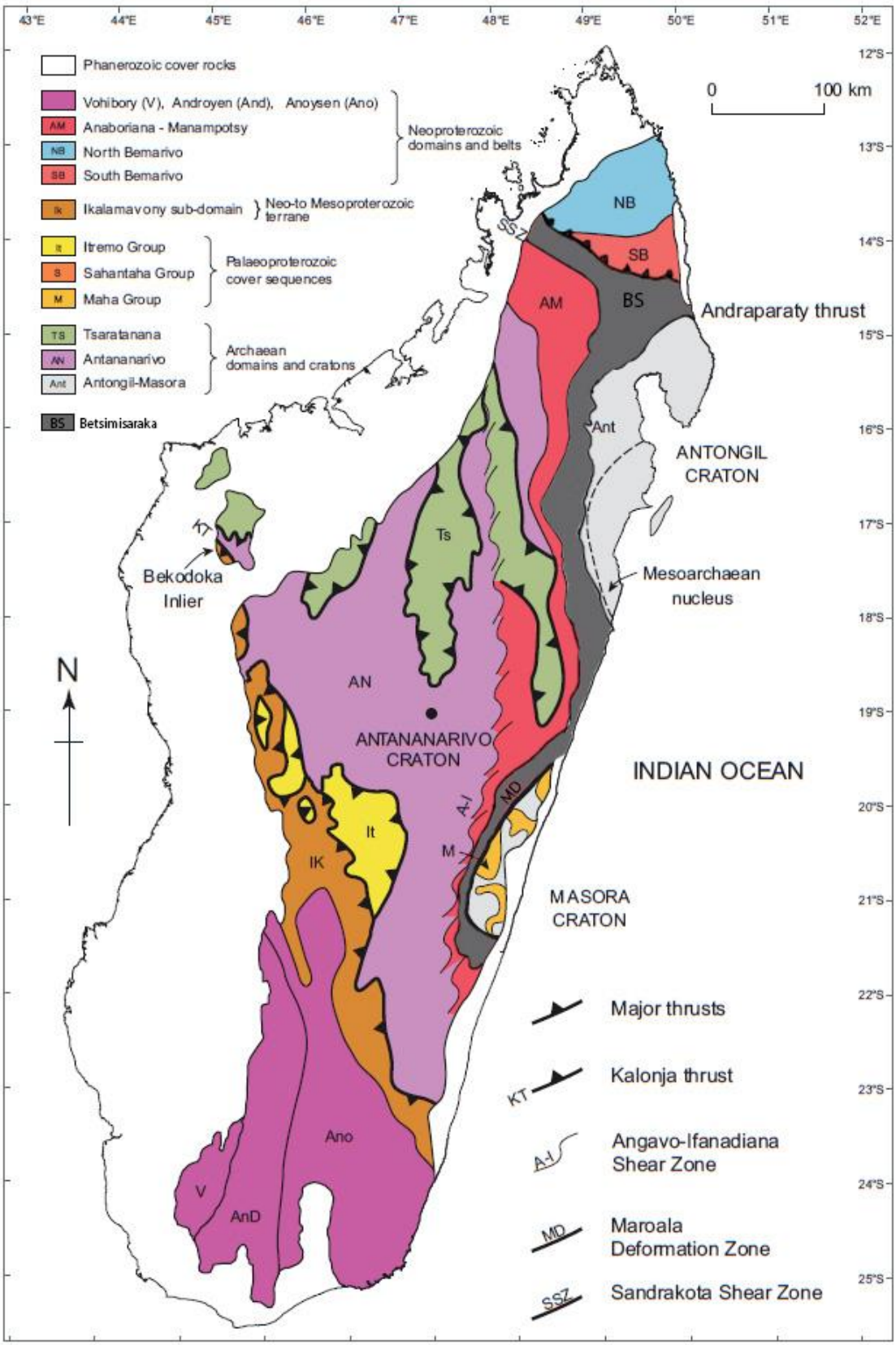

Figure 9 : Architecture tectonique de Madagascar complété par PGRM 2012 (Source : Precambrian research 2012)

II.2.3. COUVERTURE SEDIMENTAIRE DE BEMOLANGA

Dans la région de Bemolanga, le groupe de la Sakoa n'affleure pas. Cette absence est due à une lacune sédimentaire. Le groupe de la Sakamena est atteint par les sondages des compagnies pétrolières qui travaillaient dans la région. Dans certains endroits, l'Isalo I repose directement sur le socle (Figure 10). Ainsi, le système Karroo comprend la trilogie suivante : Sakamena, Isalo I, Isalo II

- La SAKAMENA : elle est représentée par des bancs peu épais de grès fins et de schistes, probablement formant le passage vers l'Isalo I. Ces roches affleurent surtout en bordure du massif de Fonjay
- L'ISALO I :

La formation de l'Isalo I est caractérisée par une série continentale avec une puissance variant entre 50 et 450 mètres. Cette formation est aussi caractérisée par une base gréso-conglomératique de type alluvial et des faciès plus hétérolithiques, gréso-silteux de type plaine d'inondation dans la partie sommitale.

- L'ISALO II : il comprend les cinq formations suivantes d'après le découpage stratigraphique établi par TOTAL E&P MADAGASCAR (2009) (Figure 16) :

❖ **Les argiles de base** qui sont caractérisées par une alternance d'argiles grises, brune verdâtre, et d'argiles lie de vin où certains horizons sont particulièrement riches en matière organique (horizons à lignite) et montrent de fréquentes intercalations gréseuses lenticulaires parfois métriques. Plusieurs horizons de nodules carbonatés à septaria sont également renconnus.

Des traces de racines, des horizons bioturbés condensés, et des débris de plantes y sont également reconnus.

Les Argiles de Base traduisent ainsi une incursion marine favorisant une sédimentation en milieu confiné voire lagunaire où les influences tidales semblent récurrentes ainsi que les périodes d'émersion favorisant l'implantation de paléosols.

Les données palynologiques dans les Argiles de Base donnent un âge Trias moyen à supérieur.

❖ **La formation de l'Amboloando** qui correspond au substratum sédimentaire couvrant la grande partie de la zone d'exploration. Trois unités lithostratigraphiques composent cette formation :

- L'Amboloando inférieur épais de 20 à 50 mètres, reposant sur les faciès argileux ou hétérolithiques du sommet des Argiles de Base. Il est caractérisé

par des grès hétérogranulaires à larges stratifications obliques, parfois massifs, à dominance fluviatile.

- L'Amboloando moyen d'épaisseur variable entre 10 et 25 mètres et caractérisé par des dépôts hétérolithiques argilo-gréseux à faciès tidaux, puis de vagues. Cette unité est souvent cachée par des formations altérées. Au sommet, ces dépôts montrent le développement d'un profil d'altération pénétratif de type paléosol, métrique à plurimétrique érodé par les grès très hétérogranulaires de l'Amboloando supérieur.
- L'Amboloando supérieur épais de 20 à 35 m et délimité à la base par un paléosol repère du toit de l'Amboloando moyen. La surface inférieure de l'Amboloando supérieur est placé au niveau du paléosol repère plus ou moins développé, érodé par un chenal fluviatile très hétérogranulaire sur lequel s'installe des argiles de plaine d'inondation verdâtres à lie de vin à paléosols. Plusieurs passées gréseuses de types « crevasse splay » (dépôt sédimentaire fluviatil) viennent localement s'intercaler dans les argiles

Aucune donnée biostratigraphique n'existe pour la Formation de l'Amboloando.

❖ **Les Grès de Mokara** qui sont caractérisés par des grès à stratifications obliques, fins à hétérogranulaires à bois silicifiés abondants d'une puissance importante comprise entre 30 et plus de 70 mètres**.** Ils affleurent dans la partie Sud du secteur de Bemolanga où ils forment les principaux reliefs de l'Andolobe et de Mandahita. Dans le secteur Nord, les Grès de Mokara constituent l'essentiel du substratum sédimentaire à l'exception des zones hautes (interfluves du réseau hydrographique actuel) où ils sont par les Argiles de Mokara surmontées localement par les Grès de l'Ankaramenabe. La surface de base des Grès de Mokara est une surface d'érosion sur laquelle s'installent les grès fins hétérogranulaires à galets mous et larges stratifications obliques. Plusieurs passées très grossières à nombreux bois silicifiés apparaissent.

❖ **La Formation des Argiles de Mokara** qui traduit la récurrence de faciès silto-argileux puissants de quelques mètres à plus de 30 mètres. Cette variabilité résulte en partie du caractère très érosif des grès superposés de l'Ankaramenabe.

Les Argiles de Mokara montrent des dépôts essentiellement silto-argileux à biotite et à muscovite prenant vers la base un caractère hétérolithique avec l'intercalation de faisceaux gréso-micacés parfois métriques à influences tidales.

Les datations palynologiques de ces Argiles de Mokara donnent un âge Trias supérieur.

❖ **La Formation des grès d'Ankaramenabe** qui constituent une puissante série de grès très hétérogranulaires à cachet fluviatile franc. Puissants de plusieurs dizaines de mètres, 40 mètres, ils atteignent près de 60 mètres sur le sommet d'Antsingaina.

Les grès d'Ankaramenabe se caractérisent par des grès grossiers très hétérogranulaires à laminations obliques tangentielles et tabulaires présentant fréquemment un aspect chenalisant avec des géométries de type chenaux en tresses. De rares intervalles hétérolithiques de dépôts de débordement sont également reconnus.

Aucune donnée biostratigraphique n'existe pour cette formation.

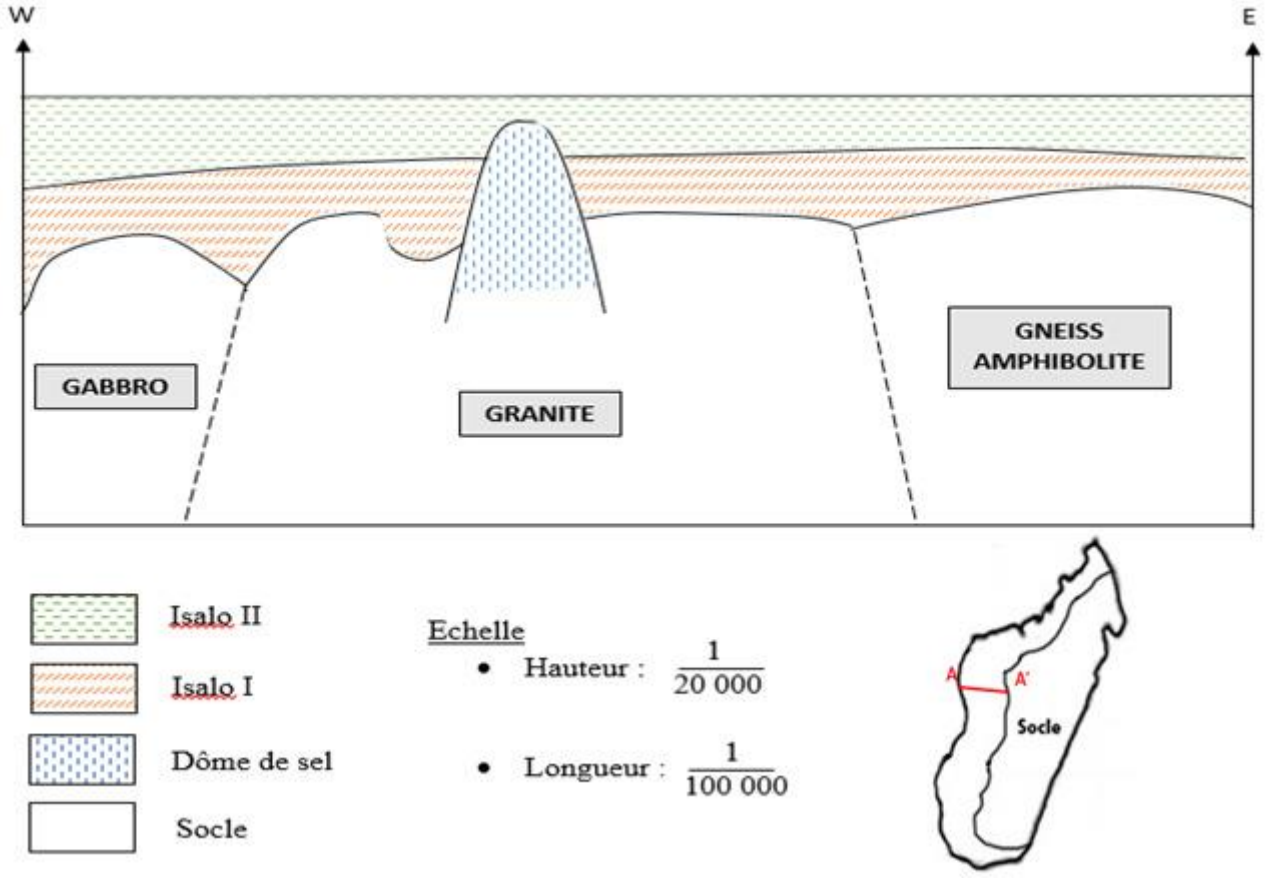

Figure 10 : Coupe schématique simplifiée de la structure de Bemolanga (Source : OMNIS 2010)

La coupe simplifiée du bassin sédimentaire au niveau de Bemolanga (Figure 10) indique la présence d'un dôme de sel en profondeur. Ces dépôts salins recoupent le socle précambrien du domaine d'Antananarivo qui est composé de granitoïdes archéens de 2 500 millions d'années intercalés avec des orthogneiss à 800 millions d'années (granites, gabbros à l'Ouest, gneiss et amphibolites à l'Est du bassin) (PGRM 2008). Il est probable que ce dôme de sel soit un type de pièges à hydrocarbures disséminés dans l'Isalo.

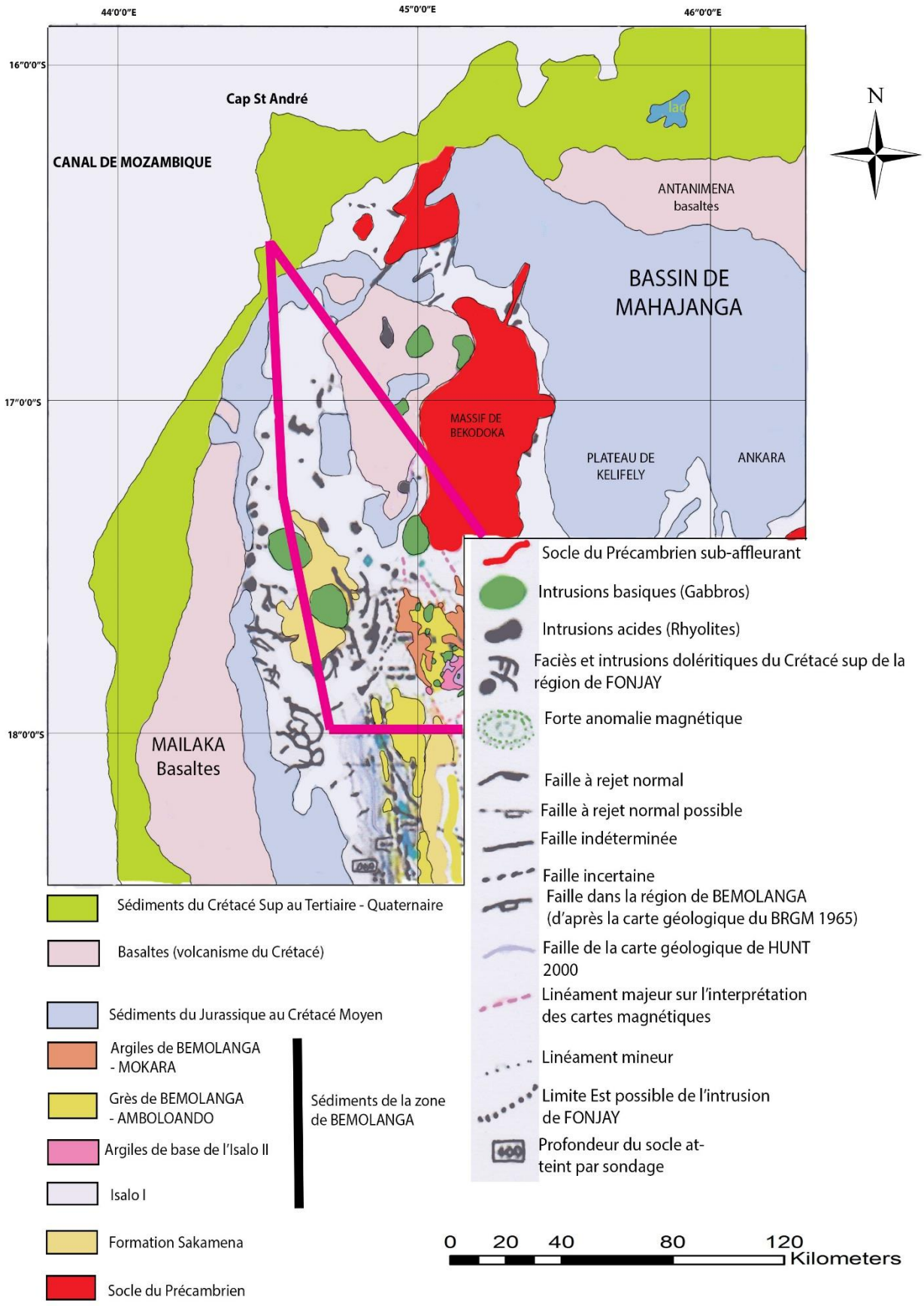

Figure 11 : Aperçu géologique régional des séries sédimentaires dans et en périphérie du bloc 3102 de la zone de Bemolanga (Source : TOTAL E&P MADAGASCAR)