

I.1. HISTORIQUE

Des études géologiques ont été effectuées dans la zone de Bemolanga pour l'exploration et l'exploitation du pétrole sous-jacent. Citons les travaux effectués par :

- Le Service des mines (1903 à 1928) : études et travaux en vue de l'exploitation. Les essais de production ont été abandonnés pour des raisons de difficultés matérielles.
- English Madagascar Development (1909) : exploration
- Société des Pétroles de Madagascar (SPM) et Institut Français du Pétrole (IFP) (1953) : exploration par sondage superficiels
- Klöckner (1979 à 1981) : recherches géologiques du gisement de pétrole de Bemolanga
- Hunt Oil (1998 à 2002) : études de terrain.

I.2. CADRE GENERAL SUR LA REGION DE MELAKY

I.2.1. LOCALISATION DE LA REGION

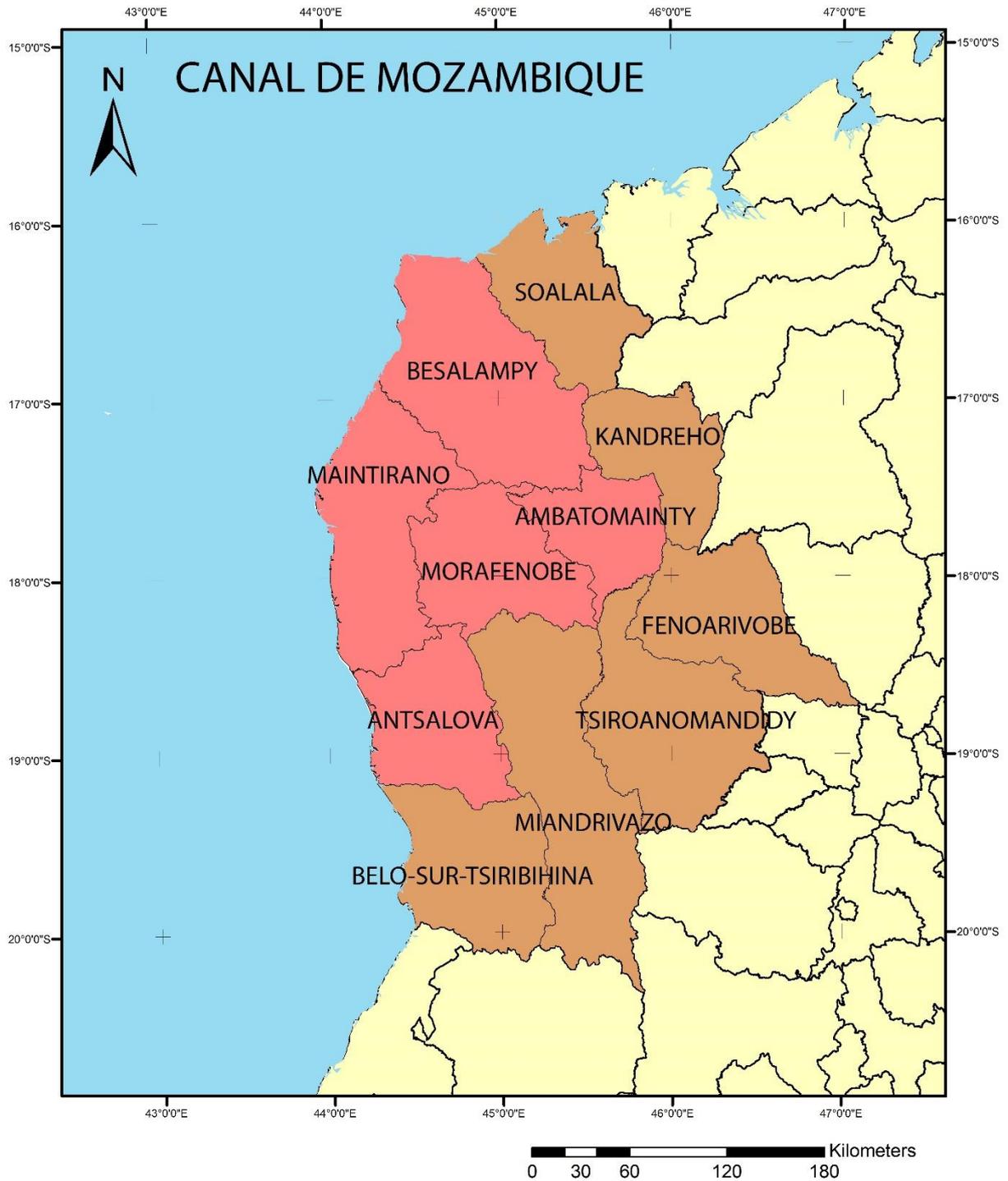
La région de Melaky se trouve sur la partie Centre Ouest de Madagascar. Elle est située entre 16°18' et 19°32' de latitude Sud, et 43°93' et 45°96' de longitude Est. Elle est administrativement limitée (Figure 1) :

- Au Nord par le district de Soalala
- Au Sud par les districts de Belo-sur-Tsiribihina et Miandrivazo.
- A l'Est par les districts de Fenoarivobe, de Tsiroanomandidy et de Kandreho
- A l'Ouest par le Canal de Mozambique

S'étendant sur une superficie de 36 269 km², occupant ainsi 6,6% du territoire national, elle regroupe les districts de Maintirano, d'Antsalova, de Morafenobe, d'Ambatomainty et de Besalampy.

I.2.2. ASPECT HYDROLOGIQUE

La région du Melaky est très riche en cours d'eau (Figure 2). Le régime hydrologique est annuellement bien alimenté (Tableau 1) faisant de la région un capital en eau inestimable. La disposition en eau en permanence est susceptible de dynamiser de nombreuses activités économiques et minières telles que : l'exploitation, le transport fluvial et maritime, l'alimentation en eau, la pêche et l'agriculture.



Légende:

- Limite - Région Melaky
- Limite - District autour de la Région Melaky
- Limite - District

Figure 1 : Carte de localisation de la région Melaky (Source : FTM BD500 2006)

Tableau 1 : Récapitulation des cours d'eau et de crue dans la région Melaky

District	Nom de cours d'eau	Débit de crue (10 ans)	Débit d'étiage
Maintirano	Namela	170 m ³ /s	5 m ³ /s
	Kinazimazy	200 m ³ /s	6 m ³ /s
	Demoka	500 m ³ /s	8 m ³ /s
	Manomba	400 m ³ /s	7m ³ /s
	Manambaho	.	28 m ³ /s
	Marifolahy	.	9 m ³ /s
	Ranobe	.	12 m ³ /s
	Kingalahy	216 m ³ /s	4 m ³ /s
Antsalova	Berenty	.	1 m ³ /s
	Sahoany	.	2 m ³ /s
	Bebeka	300 m ³ /s	6 m ³ /s
	Berano	100 m ³ /s	2 m ³ /s
	Miaràna	.	5 m ³ /s
	Manjamo	.	0,45 m ³ /s
	Manambolo	.	30 m ³ /s
	Miolaky	.	0,05 m ³ /s
	Bondroa	.	0,05 m ³ /s
	Tsiazohena	.	2 m ³ /s
	Antondrolo	.	.
Morafenobe	Manambaho	.	6 m ³ /s
	Bemarivo	560 m ³ /s	28 m ³ /s
Ambatomainty	Bekarao	.	9 m ³ /s
	Bekinamo	.	.
	Mariakaboka	.	.
Besalampy	Maningoza	.	50 m ³ /s
	Berongony	.	9 m ³ /s
	Begoga	.	.
	Bekodoka	.	20 m ³ /s
	Sambao	.	25 m ³ /s
	Kalonga	.	16 m ³ /s
	Tsarafahay	.	8 m ³ /s

Source : CREAM

I.2.3. ASPECT PEDOLOGIQUE

Du fait de sa situation géographique, la région possède différents types de sols (Figure 3) :

➤ **Des sols ferrugineux**

Ils représentent environ plus de 40% de la surface totale de la région. Le climat régional sec a favorisé l'apport en sable et argile dans la composition de ce type de sol. Les sols ferrugineux doivent être différenciés selon la nature lithologique de la roche mère qui détermine essentiellement ses propriétés chimiques et physiques. En général, ces sols sont chimiquement pauvres et sont sujets à l'érosion.

➤ **Des sols d'érosion squelettique et sols minéraux brutes**

Ce groupe de sol occupe plus de 30% de la région de Melaky. Ces sols sont essentiellement laissés incultes et constituent des zones de pâturage extensif soumis aux passages fréquents des feux.

➤ **Des sols ferralitiques**

Ils sont plus développés dans la zone du socle cristallin où le climat est humide. Ils recouvrent 2 800 km² et représentent environ 7% de la superficie totale de la région. Ces sols ferralitiques rajeunis ou fortement rajeunis, riches en minéraux altérables, présentent d'assez bonnes propriétés physiques. Ces sols sont très sensibles à l'érosion hydrique à cause des fortes pentes.

➤ **Des sols salés fluvio-littoraux**

Ils regroupent les formations littorales : mangroves, tannes, dunes, cordons littoraux, estimés environ 5% de la surface totale de la région. Contrairement aux sols dunaires, les sols des mangroves sont plus humifères et présentent une richesse chimique assez importante. Les mangroves s'étendent sur les larges bandes le long de la côte et constituent une barrière contre les effets néfastes des vagues et des pollutions venant de l'intérieur. Les mangroves et les tannes ont une importante potentielle agricole non négligeable à condition d'envisager leur dessalement.

➤ **Des sols hydromorphes**

Ils se trouvent surtout sur la partie Sud-Ouest de la région et se caractérisent par leurs apports en alluvions siliceux riches en éléments fertilisants. Ces sols sont plus utilisés pour la production agricole dans la région car leur fertilité est régulièrement entretenue par les apports des crues.

Le climat semi-aride fait que les érosions pluviales y sont encore limitées tandis que l'existence de fleuves arrosant la région lui fait bénéficier de plaines fluvio-lacustres.

➤ **Des sols calcaires**

Ce sont les plateaux calcaires qui se situent plus au Centre et à l'Est de la région. Le plateau de Beramaha qui se trouve au Centre de la région, est un massif karstique constitué de roches calcaires d'âge Jurassique. L'érosion chimique provenant des eaux de pluies a attaqué ces calcaires qui sont dissous de plus en plus, c'est qui explique l'origine du « Tsingy ». Ils sont soumis à un climat subhumide méso à méga thermique. Les réserves en éléments fertilisants de ces unités sont faibles à cause de l'importance de l'érosion différentielle accélérée et le passage répété de feux de brousse.

I.2.4. GEOMORPHOLOGIE

La région Melaky prend naissance sur une partie du plateau calcaire de Bongolava puis reste en cuvette entourée par les bassins sédimentaires de Mahajanga et de Morondava avant de se développer en un vaste plateau qui s'abaisse doucement en plaine côtière jusqu'au littoral. Son relief est caractérisé par l'existence de deux ensembles naturels (Figure 4) :

- La partie Est qui constitue l'arrière-pays est formée de plateaux s'étendant sur une zone de 200 à 300 m d'altitude. On y rencontre ainsi les plateaux de Bemaraha et de Bongolava ainsi que les causses de Kelifely. Les plateaux de Bemaraha abritent une formation géologique unique appelée « Tsingy de Bemaraha ». Il s'agit d'un ensemble d'arêtes et de pics calcaires acérés résultant de l'action corrosive de la pluie
- La partie Ouest est formée en majeure partie de la plaine côtière constituée par de grandes vallées alluviales et comportant des lacs et des étangs fréquemment inondés pendant la saison des pluies.

I.2.5. GEOLOGIE DE LA REGION

La majeure partie de la région, notamment les districts de Morafenobe et d'Ambatomainy et la partie Ouest du district de Besalampy, est constituée par des formations géologiques anciennes composées d'une part, par le système du Karroo permo-triasique comprenant la Sakamena et l'Isalo, et d'autre part, par les granites et les migmatites de Tampoketsa, et enfin par les gabbros (Figure 5). Sur le littoral, on trouve l'alternance de miocène marin, d'alluvions de sable et de pliocène continental. Ils sont précédés par des couches nummulitiques et des formations volcaniques créacées. On y rencontre aussi des formations du jurassique.

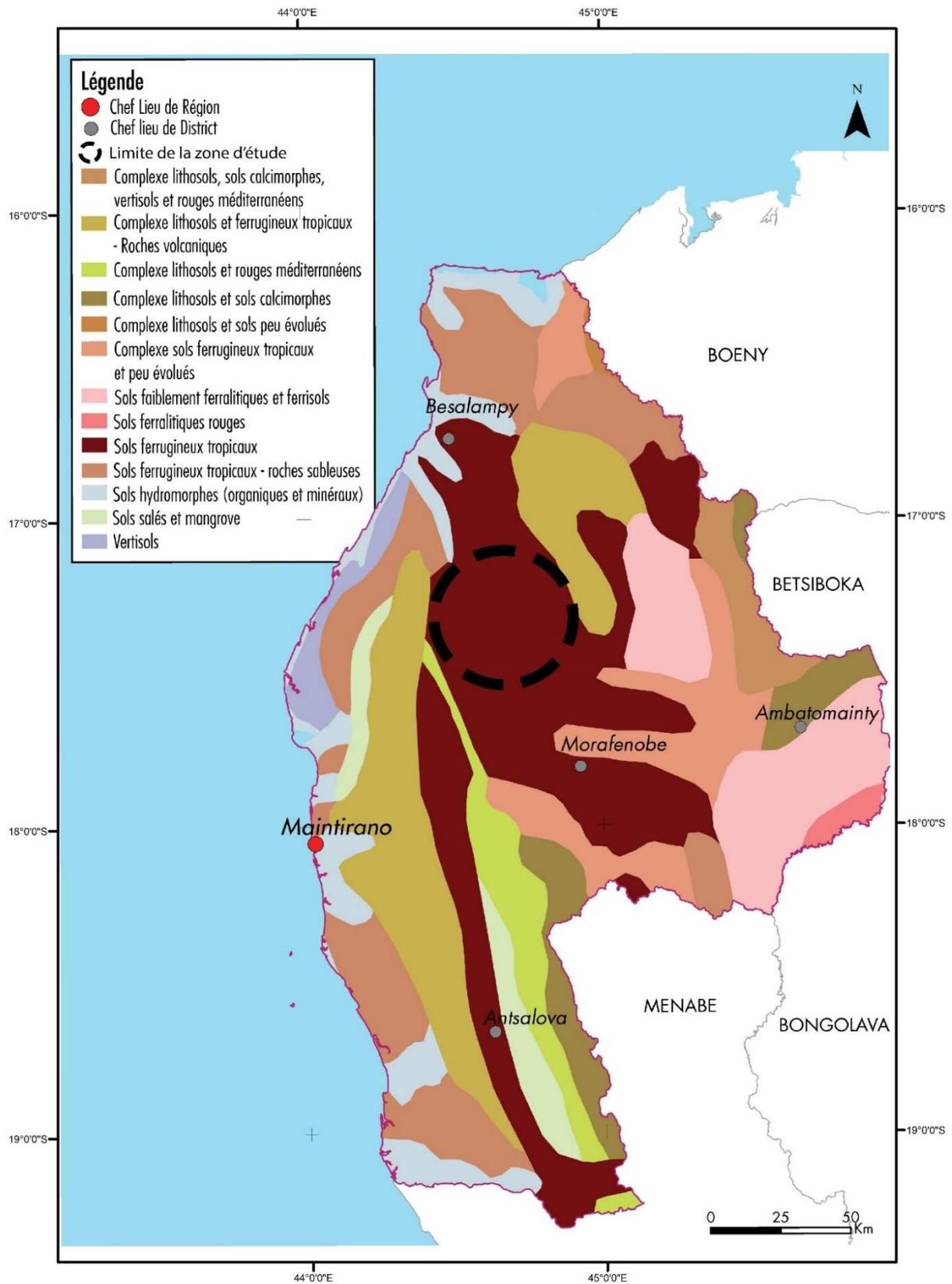


Figure 3 : Carte pédologique de la région Melaky (Source : FTM in document CREAM 2000)

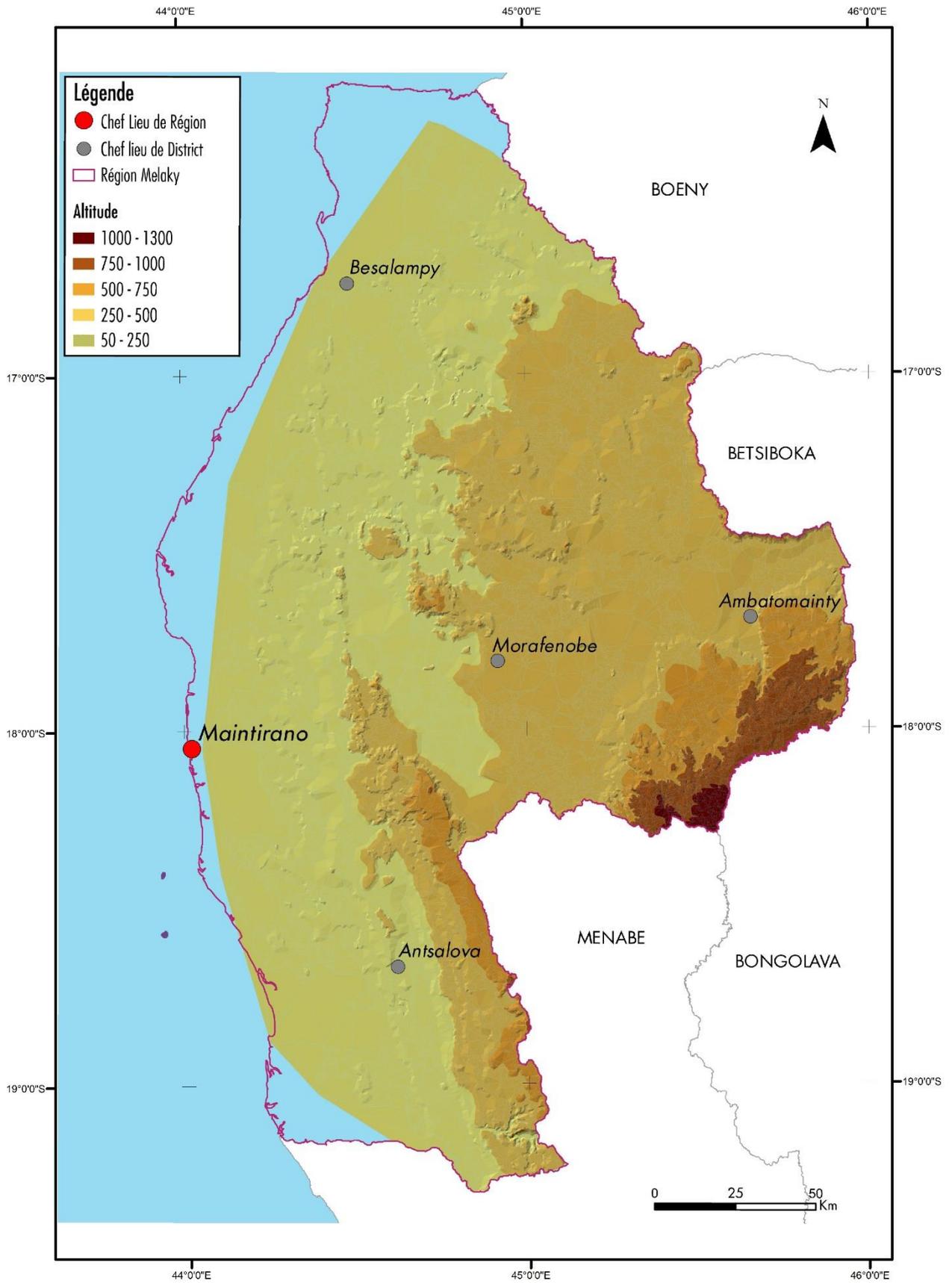


Figure 4 : Carte du relief de la région Melaky (Source : FTM in document CREAM 2000)

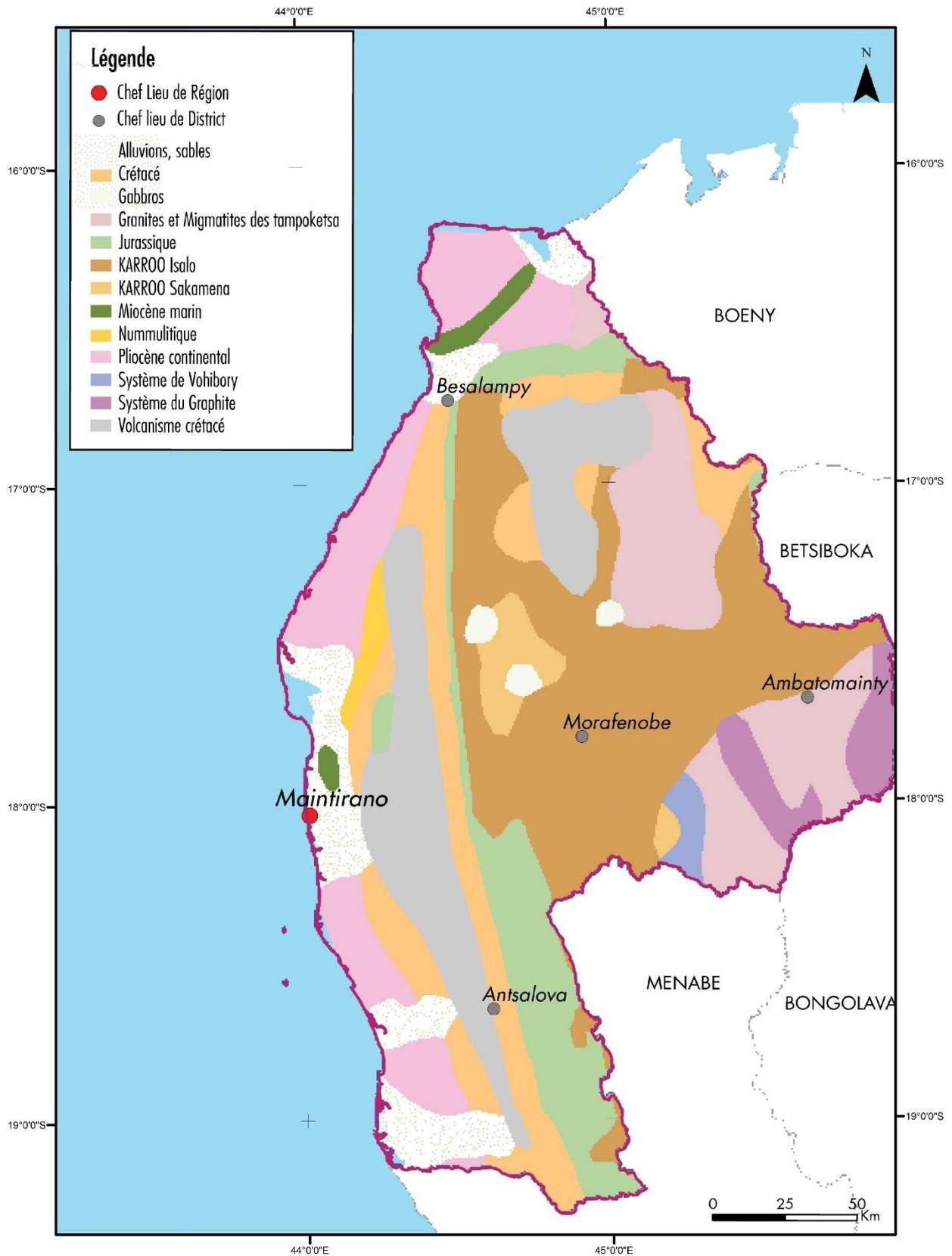


Figure 5 : Carte géologique de la région Melaky (Source : FTM in document CREAM 2000)

I.3. APERCU GEOLOGIQUE DU BASSIN SEDIMENTAIRE DE MORONDAVA

I.3.1. STRATIGRAPHIE DU BASSIN DE MORONDAVA

L'étude de la stratigraphie du bassin de Morondava a commencé dans les années 50 et a été faite par la Société des Pétroles de Madagascar (SPM) qui a élaboré des cartes géologiques en vue d'exploiter les hydrocarbures. Des travaux effectués par des géologues tels que Besairie et Collignon (1956), Besairie (1960, 1967) et Radelli (1975) sont ainsi établis afin de classer les formations sédimentaires malgaches en 2 systèmes (Annexe I) :

- Le système KARROO
- Le système POST KARROO

A. LE SYSTEME KARROO

Le KARROO, une formation essentiellement continentale, va du Carbonifère supérieur au Jurassique inférieur. Il n'est complet que dans l'extrême Sud-Ouest de part et d'autre de la vallée de l'Onilahy. Il est subdivisé en trois groupes de bas en haut, séparés par des discordances qui sont :

1. Groupe de la SAKOA (Carbonifère supérieur – Permien inférieur)

Le groupe de la SAKOA est composé de bas en haut de :

- Schistes noirs de la série glaciaire. Les formations de cette série sont interprétées comme étant des sédiments de type tillites déposés sous climat nettement froid
- Couches de Charbon de la série houillère. Cette série d'origine lacustre et marécageuse présente un système de dépôt de cône alluvial avec un réseau en tresse et sinueux.
- Calcaires de Vohitolia. Ce sont des dépôts marins témoignant la transgression marine au Carbonifère supérieur. Il s'agit de calcaires récifaux construits par des coraux vivant dans les mers chaudes et traduisant un surchauffement du climat

2. Groupe de la SAKAMENA (Permien moyen – Trias moyen)

La SAKAMENA se poursuit sur toute la bordure du bassin sédimentaire de Morondava, disparaît en affleurement mais existe en profondeur dans le bassin sédimentaire de Mahajanga et apparaît à l'extrême Nord avec un faciès marin. Son épaisseur est environ 4000 m.

Le groupe de la SAKAMENA est composé de 3 unités :

- La Sakamena inférieure (Permien moyen – Permien supérieur) qui repose en discordance sur le socle ou sur le groupe de la Sakoa, se compose principalement de grès, de conglomérats, de schistes et de calcaires bioclastiques dans la partie supérieure. Les grès et les conglomérats ont été déposés comme une série de cônes alluviaux et

deltas qui se propagent progressivement dans le développement des demi-grabens. L'épaisseur de cette formation peut atteindre jusqu'à 2000 mètres.

- La Sakamena moyenne (Trias inférieur) contient des grès, des schistes gris et des mudstones nodulaires ou laminées. Cette formation repose en discordance sur la Sakamena inférieure. Cette discordance correspond à la transgression marine généralisée. L'environnement de dépôt de la formation Sakamena moyenne est très variable : faciès néritique (au Sud), faciès benthique (au Centre), faciès marin (au Nord). Il est parfois continental avec les fossiles d'animaux comme la *Massinoti*, L'épaisseur varie de 200 mètres en affleurement et de 600 mètres dans le sous-sol.
- La Sakamena supérieure (Trias moyen) est composée de schistes, de grès et d'argiles rouges d'où le nom de la série rouge. Comme la Sakamena inférieure est en structure de demi-graben, la Sakamena supérieure comprend une couverture épaisse et relativement uniforme qui s'étend tout au long des grabens. L'environnement de dépôt de cette formation est marin peu profond, deltaïques et fluviaux. L'épaisseur de la formation varie de 250 à 600 mètres.

3. Groupe de l'ISALO (Trias supérieur – Dogger)

La formation de l'ISALO comprend des grès et des conglomérats ayant des horizons profonds et des troncs d'arbres pétrifiés qu'on appelle *bois silicifiés*. L'épaisseur de la formation va jusqu'à 6 000 mètres. La formation du groupe de l'Isalo correspond à trois ensembles lithologiques selon (Besairie, 1960) : Isalo I, Isalo II, Isalo III ; mais d'autres auteurs la définissent en d'autres termes (Annexe II) :

- L'Isalo I (Trias supérieur – Lias Moyen) est formé par des grès grossiers qui sont transgressifs et discordants sur la Sakamena, des grès conglomératiques à stratifications obliques et entrecroisées. Son épaisseur varie de 100 à 500 mètres. C'est au sommet de cette formation que se trouvent les gros amas de grès bitumineux de la région de Morafenobe.

Cette formation constitue le terme supérieur de la Sakamena Supérieure d'après Razafimbelo (1987).

- L'Isalo II (Lias supérieur) est formé de puissantes couches d'argiles rouges, plus rarement vertes ou bigarrées, de grès moins grossiers, à stratifications obliques ou entrecroisées. L'épaisseur est considérable et atteint près de 1 000 mètres. Cette formation est aussi caractérisée par l'abondance de bois silicifiés comme celles de Folakara : *Araucarioxylon*, *Cedroxylon*, *Dadoxylon*.

(Razafimbelo, 1987) (Annexe II) a défini une grande discordance de la formation de l'Isalo II sur celle qui la supporte, et a nommé la formation en Makay caractérisée par la succession de couches suivantes qui va de bas en haut :

- Le Makay I compose les grès grossiers massifs conglomératiques
 - Le Makay II formant le complexe argiles – grès – calcaires
 - Le Makay III constitue le grès à lentille d'argiles gréseuses
- L'Isalo III (Bajocien – Bathonien) se compose de grès, d'argiles fines et de calcaires avec latéralement de grandes formations marines. Cette formation correspond à la fin du comblement du bassin sédimentaire de Morondava. Elle équivaut au pôle continental du faciès mixte du Jurassique Moyen. Dans certaines régions, le faciès est entièrement marin sur toute la hauteur : calcaires du Bemaraha, du Kelifely et de l'Ankarana avec des épaisseurs de 400 mètres. Dans la région du Mangoky, le faciès continental prédomine largement et il n'y a plus qu'un horizon de calcaires marins à la base de l'Isalo III.

Le trait essentiel de cette formation est l'abondance et le développement du faciès marin qui prédomine largement.

B. LE SYSTEME POST-KARROO

Le système POST-KARROO désigne les formations marines qui vont du Jurassique à l'Actuel. La lithologie et l'épaisseur des couches dans ce système varient très rapidement, d'où l'existence des lacunes stratigraphiques avec des affleurements limités.

1. Le JURASSIQUE

Le Jurassique se divise en 3 parties de bas en haut en :

- Le Jurassique inférieur (Toarcien) qui n'affleure pas mais défini en subsurface par des séries argilo-calcaires.
- Le Jurassique moyen (Dogger) qui est l'âge de la formation de Bemaraha constituée principalement de calcaires massifs affleurant largement dans le Nord du bassin sédimentaire de Morondava. Ils forment un corps lenticulaire qui longe la bordure orientale du bassin de Morondava, à côté du rift Permo-Trias selon (Clark et Ramanampisoa, 2002). On peut reconnaître deux domaines de la formation de Bemaraha qui sont le domaine Nord à sédimentation calcaire (calcaire du Bemaraha à passées oolithiques) et le domaine Sud à sédimentation gréseuse dominante. Dans ce dernier domaine, la formation de Bemaraha se subdivise en 2 formations :

- La formation d'Andafiha qui repose en discordance sur l'Isalo et se compose principalement de schistes et de marnes, avec des calcaires fins et des grès entrecroisés
 - Les formations de Vongoha et de Besabora qui constituent des niveaux calcaires et des bancs gréseux dominants, à stratification oblique et des calcaires fossilifères oolithiques récifaux à *Echinides* et *Gastéropodes*
- Le Jurassique supérieur qui est discordant sur le Jurassique moyen et caractérisé par des marnes. L'identification du Jurassique supérieur, du Crétacé inférieur s'est faite par des *Ammonites* en affleurement.

2. Le CRETACE

Le Crétacé est divisé en trois parties, de bas en haut :

- Le Crétacé inférieur à prédominance de marnes et calcaires glauconieux en bancs épais de 50 à 200 mètres. Il affleure totalement dans la partie Sud du bassin mais présente une lacune dans la partie centrale.
- Le Crétacé moyen caractérisé par un ensemble gréseux déposé en régime régressif avec une épaisseur moyenne de 400 mètres. Il est à dominance de dépôts subcontinentaux caractérisés par des barres sableuses et des séries turbidites. A la fin du Crétacé moyen, les coulées volcaniques se sont mises en place en grande quantité dans la partie Nord du bassin mais en quantité réduite ou absente dans la partie Sud.
- Le Crétacé supérieur formant une série marine très fossilifère à dominance marno-gréseuse à l'exception du Maastrichtien qui est marno-argileux. Son épaisseur varie à peu près de 1 500 mètres au Nord de la Tsiribihina et elle est réduite de moitié au Sud du Mangoky.

3. Le TERTIAIRE

Le Tertiaire est transgressif et discordant sur le Crétacé Supérieur.

- Au Paléogène : les dépôts sont représentés par des calcaires marins massifs néritiques à tendance récifale avec des passées gréseuses et des argiles rouges de l'Eocène inférieur. Il atteint son épaisseur maximum en affleurement dans la région de Toliara. Dans son ensemble, l'Eocène est recoupé par de minces niveaux de marnes à *Huîtres*, à *Alvéoline* et à *Nummulites*.
- Le Miocène d'origine continentale, est représenté par des calcaires discordants sur les dépôts antérieurs tels que les grès ferrugineux
 - Au Pliocène, la série argilo-sableuse est formée par des carapaces sableuses

I.3.2. LE CADRE TECTONO-STRUCTURAL DU BASSIN DE MORONDAVA

Le bassin de Morondava est considéré comme un bassin de rift continental interne et comme le plus grand et le plus complexe des bassins sédimentaires de Madagascar. Ce bassin s'étend le long de la côte occidentale, depuis la région du Cap St André jusqu'à l'extrême Sud-Ouest de Madagascar (Annexe III).

Les principales tendances structurales comprennent (Figure 6) :

- La zone de déflexion « Bongolava – Ranotsara », un linéament structural de direction NNW-SSE qui forme la marge orientale de la partie Sud du bassin sédimentaire de Morondava au cours de la phase du rifting Karoo,
- La faille de l'Ilovo (dit *Ilovo fault* dans la figure 6) qui est une faille en extension à tendance NNE-SSW pendant la phase de rifting Karoo et définit la marge orientale du Sud du bassin de Morondava durant le Jurassique,
- La faille de la Sikily, de direction NNW-SSE qui coïncide avec la bordure Ouest de l'affleurement du faciès mixte de l'Isalo,
- La faille de Bemaraha qui est liée à la tendance NNW-SSE des zones de failles décrochantes dextres qui s'évasent dans la partie Nord du bassin de Morondava. Il est probable que la faille de Bemaraha forme un prolongement vers le Nord de la zone de cisaillement de Ranotsara, ce qui représente la tendance tectonique du socle régional. Bien que cette faille ait probablement été amorcée à l'époque du Karoo, la phase la plus importante des mouvements de la faille de Bemaraha correspond au développement du bassin de Morondava sur une marge décrochante active du Jurassique inférieur au Crétacé inférieur,
- La faille de Toliara et la flexure de Befandriana, de direction N-S, apparaissant au Sud-Ouest du bassin et affectant les dépôts de l'ère secondaire et de l'ère tertiaire. Les rejets de ces accidents de faille peuvent atteindre jusqu'à 600 ou 1 000 mètres.

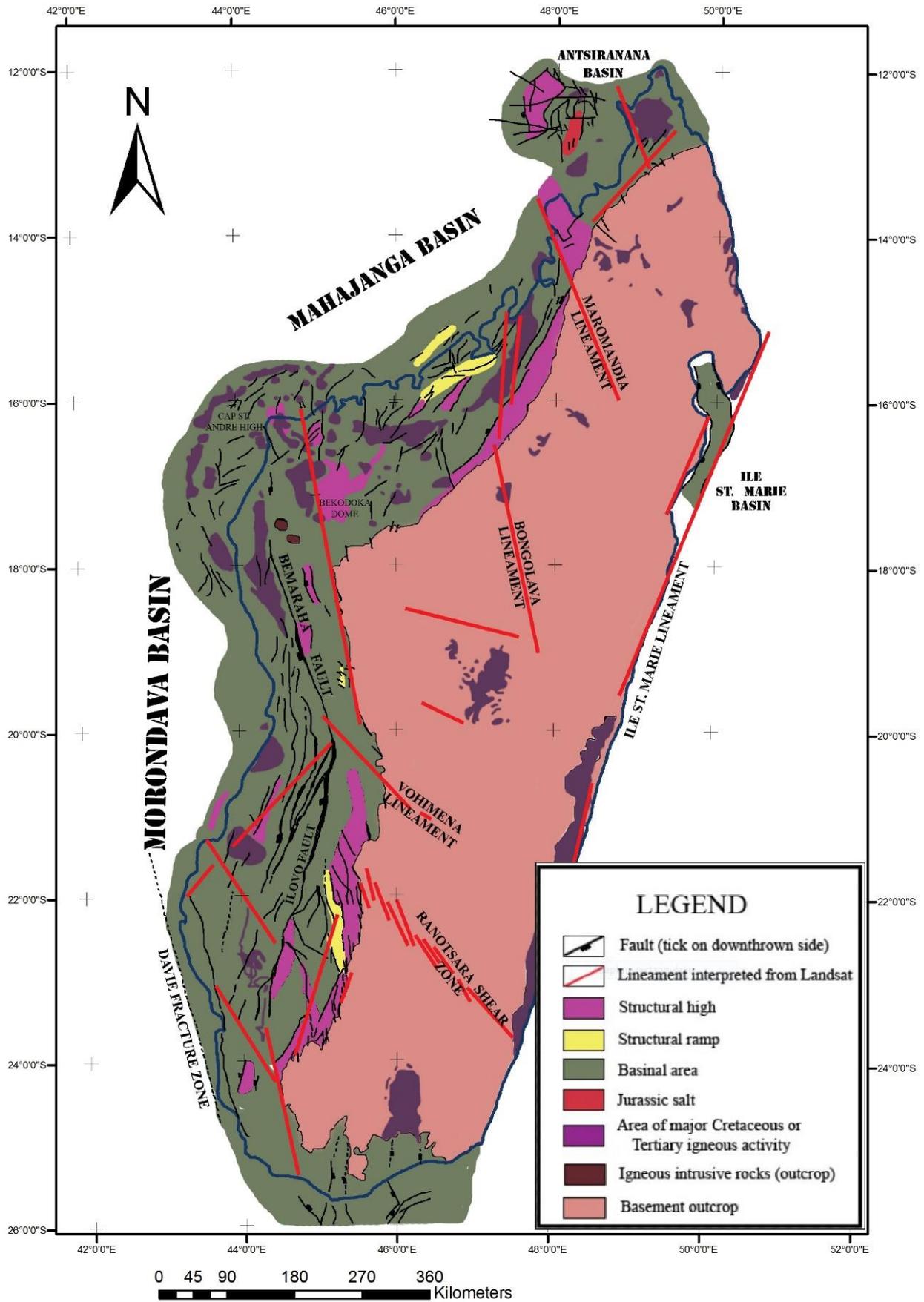


Figure 6 : Schéma structural des bassins sédimentaires de Madagascar (Source : OMNIS 2008)

A. LA STRUCTURE DU KARROO

La partie orientale du bassin de Morondava est représentée par le Corridor du Karroo « *Karoo Corridor* » qui est une zone étroite s'étendant le long de la marge orientale de ce bassin. Ce dernier est limité à l'Est par les affleurements du socle précambrien et à l'Ouest par les failles de Bemaraha NNW-SSE et de l'Ilovo NNE-SSW. L'épaisseur des sédiments du Karroo varie de 2 000 à 4 000 m dans la partie Nord du bassin tandis qu'une forte épaisseur de 12 000 m apparaît dans le Sud où le système Karroo affleure avec les trois groupes définis par H. Besairie (1960) : Sakoa, Sakamena, Isalo.

L'évolution structurale du corridor du Karroo est marquée par la formation de sous-bassins ou de fosses délimitées par le haut fond d'Antaotao (Figure 7).

La configuration du bassin de Morondava à l'Ouest de la faille Ilovo est dominée par un système complexe de blocs faillés du Karroo avec d'épaisses séquences accumulées dans le toit ; et un amincissement vers les crêtes de l'épente inférieure.

La partie Nord du bassin de Morondava est aussi dominée par des structures en horsts et grabens, mais sans le développement de failles à grande échelle comme on le constate dans la partie Sud du bassin. Par exemple, Le haut fond de Tsimiroro est un horst faillé se trouvant à l'Ouest d'un demi-graben abaissé le long de la faille recevant une épaisse accumulation des formations de la Sakamena et de l'Isalo.

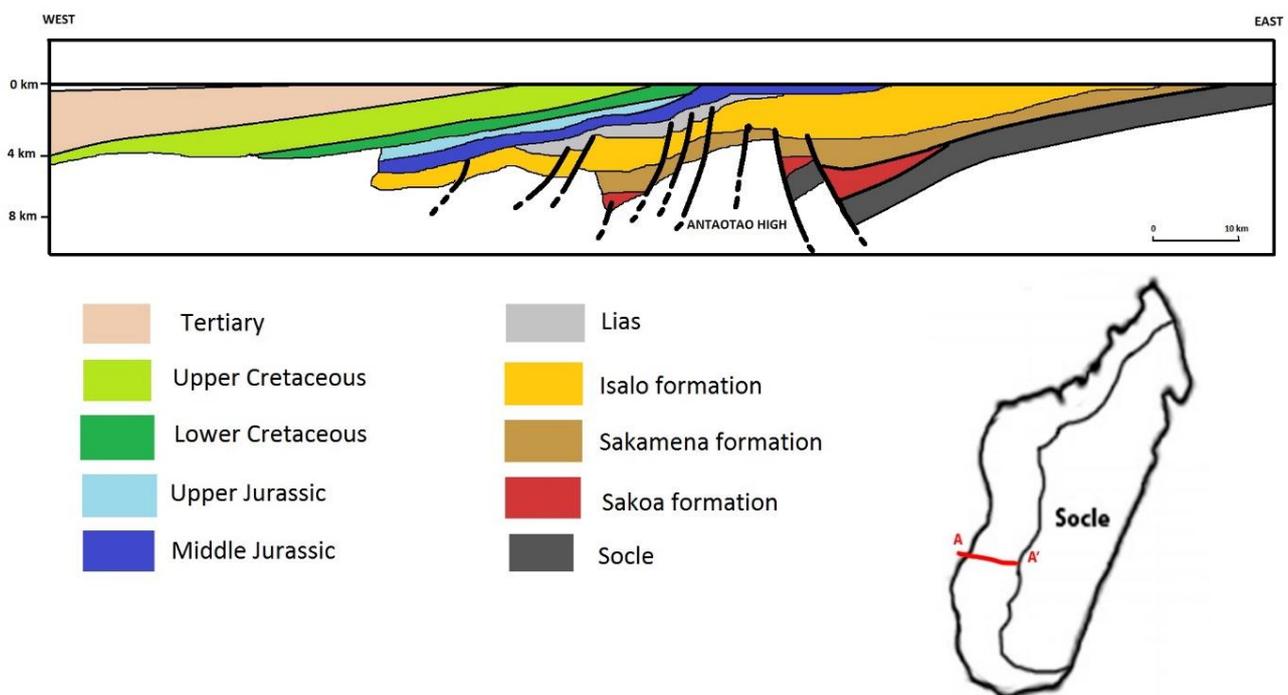


Figure 7 : Profil géologique simplifié du bassin de Morondava
(Source : AMOCO in document technique de l'OMNIS 1995)

B. LA STRUCTURE DU JURASSIQUE

La faille de Bemaraha dans la partie Nord du bassin et la faille de l'Ilovo dans sa partie Sud délimitent la marge orientale du bassin de Morondava durant cette période du Jurassique.

La partie Nord du bassin de Morondava a été dominée par un mouvement de décrochement dextre sur la faille de Bemaraha qui est une zone complexe de structures décrochantes. Un certain nombre de fermetures structurales a été générée par ce mouvement. La plus importante de telles structures est l'Antaotao haut (Figure 7).

Tandis que les parties centrales et méridionales du bassin sont déformées par de nombreuses structures de retournement générées par des failles listriques, la faille Ilovo affiche une composante majeure de la croissance du Jurassique inférieur / Moyen.

Deux géométries structurelles différentes ont été interprétées à partir des données sismiques :

- Blocs de failles de retournement générés par des failles listriques dans les séquences Jurassiques qui affectent le Karroo sous-jacent,
- Blocs de failles générés par des failles listriques dans les séquences du Jurassique qui se détachent dans le Lias.

C. LA STRUCTURE DU CRETACE ET DU TERTIAIRE

Des structures développées au cours de la période du Crétacé sont liées à l'époque magmatique du Crétacé moyen. Ils comprennent les dômes magmatiques intrusifs, par exemple les dômes de Manja et de Morondava et les grandes intrusions circulaires qui affleurent autour du dôme de Bekodoka, comme celui de Fonjay et de Berevo. Ces faciès intrusifs coïncident également avec de vastes coulées de lave dans le Nord du bassin de Morondava comme les basaltes de Mailaka et les flux plus restreints dans le Sud bassin.

L'extension du mouvement de failles NE-SW a également provoqué la réactivation de failles normales préexistantes notamment dans les domaines de l'Ilovo et de Manja ; faille renouvelée et réactivée durant le Post-Eocène qui a eu lieu au sein d'un régime d'extension générale NW-SE au cours de la formation du rift Est-africain. Les études de terrain par ESRI (1986) suggèrent que le mouvement normal extensif a eu lieu sur la faille de l'Ilovo et les systèmes de failles parallèles dans le bassin de Morondava.