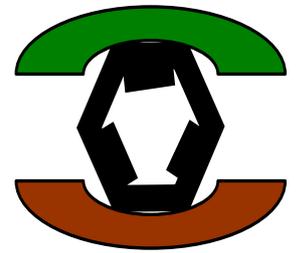




**UNIVERSITE DE TOLIARA
FACULTÉ DES SCIENCES**



DEPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE

MEMOIRE
Pour obtenir le

**DIPLÔME D'ETUDES APPROFONDIES
DISCIPLINE : SCIENCES DE LA TERRE
OPTION : Géosciences et Technologie**



**Présenté par NANTENAINA Jeannot
Soutenu publiquement le 03 Mars 2018**

Membres de jury

Président de jury : Professeur FATIANY Pierre Ruphin

Rapporteur : Docteur MIHA Alexandre, Maître de Conférences

Examineur : Docteur TOVONDRAFALE Tsimihole

Année universitaire : 2016/2017

REMERCIEMENTS

Avant tout, je rends grâce à Dieu qui a donné santé, courage et persévérance durant mes cinq années d'études, dont l'aboutissement est le présent mémoire.

Aussi, ce mémoire n'aurait pu être réalisé sans l'aide des personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'exécution de ce travail, notamment avec les complications rencontrées.

J'exprime mon entière reconnaissance et mes vifs remerciements à :

Docteur LEZO Hugues, Président de l'Université de Toliara, enseignant chercheur au département de physique à la Faculté des Sciences.

Professeur, FATIANY Pierre Ruphin, Doyen de la Faculté de Sciences de l'Université de Toliara qui préside le jury, en dépit de ses lourdes charges. Veuillez agréer l'expression de nos vives gratitudees.

Docteur MIHA Alexandre, qui nous a dirigés, avec sa méthode d'enseignement et son expérience. Malgré ses nombreuses occupations, il nous a conseillé pour mener à bien ce travail. Veuillez trouver ici notre profond respect;

Docteur TOVONDRAFALE Tsimihole, Chef du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Toliara, qui a contribué à notre formation, qui nous a formés et nous a toujours poussés à aller vers l'avant par son conseil et son appui pour ce travail. Qu'il soit assuré de notre profonde gratitude.

Nous témoignons notre reconnaissance la plus respectueuse à tous les enseignants de la Faculté de Sciences, surtout ceux du Département des Sciences de la Terre, dont Monsieur MASINAVY Jean Joseph, Monsieur Tsibara , Monsieur ZAFIMAKASON François Smalah et Monsieur RATSITOHAINA Onesie ,Monsieur MANAMIARO Johnson, Monsieur RADRIANTSITOHAINA jacques bablon et Madame Herindraza Alvildine ,BENY Makboul Fahad SAADI YOUNOUSSA qui nous ont donné leurs conseils et encouragements durant les moments difficiles rencontrés au cours de ce travail.

Nous adressons également notre vive reconnaissance à tous les membres de famille et de l'église qui de près ou de loin, avec encouragement, ont consacré leurs efforts pour nous soutenir financièrement et moralement malgré les innombrables problèmes tout au long de ce travail.

Enfin, nos vifs remerciements s'adressent à ceux ou celles qui contribuent de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Table de matières

REMERCIEMENTS	i
LISTE DE FIGURES	vi
LISTE DE TABLEAUX	ix
LISTE DES ABREVIATIONS	x
INTRODUCTION	1
I-CONTEXTE DE LA ZONE D'ETUDE	2
I-1 Contexte géographique	2
I-1-1 Le contexte administratif	2
I-2 Le contexte socio-économique	4
I-2-1 La population	4
I-2-2 Activités économiques	5
I-2-2-1 La pêche	5
I-2-2 -2 L'agriculture	5
I-2-2-3 Un artisanat de type familial	6
I-3 Contexte climatique	6
I-3 -1 Précipitation	6
I-3-2 température	6
I-3-3 Pluviométrie	7
I-3-4	8
Evaporation	8
I-3-5 Vent	8
I-4 Elément physique et Biologique	8
I-4-1 Le relief et la géomorphologie	8
I-4-2 L'hydrologie	10
I-4-3 Hydrogéologie	11
I-4-4 Flore et faune	12
I-4-5 La géologie et la géodynamique de Madagascar	12
Chapitre II : LA METHODOLOGIE ET LES DIFFERENTES APPROCHES	22
II-1 Les documentations	23

II.1.1 Les ouvrages	23
II.1.2 Les images satellites	23
II.1.3 La carte	26
II.1.4 Administrative	26
II.2 Les travaux du terrain	28
II.2.1 La cartographie	28
II.2.2 Localisation	28
II.2.3 Affleurement	29
II.2.4 Echantillonnage	33
II.3 Travaux de laboratoire	34
II.3.1 Quartage	34
II.3.2 Calcimétrie	35
II.3.3 Observations de roches	36
II.3.4 Traitement des données	37
Chapitre III RESULTATS ET INTERPRETATIONS	39
III.1 Formation géologique	40
III.1.1 Stratigraphique	40
III.1.2 Pétrographie et minéralisation des roches carbonatées :	65
III.1.3 Géochimie	67
III.2. Les évènements tectoniques	71
III.2.1 Les déformations cassantes	75
III.2.2 Les forces responsables de ce phénomène	80
III.2.3. <i>Description des failles dans la zone</i>	82
III.2.4 Les dépressions	89
III.3 Géomorphologie	90
III.3.1 Talweg :	91
III.3.2 Butte témoin :	92
III.3.3 Karst	93
III.3.4 Grotte	93
III.4 l'Onilahy	96
III.4.1-Le fleuve Onilahy	96

Chapitre IV : DISCUSSION	100
Argument lithologique :	101
-Argument structural :	101
-Géomorphologie :	103
CONCLUSION, ET RECOMMANDATION	104
Conclusion	105
Recommandation :	106
WEBOGRAPHIE	111

LISTE DE FIGURES

Figure 1: Carte de la localisation de la zone d'étude a. Situation de Madagascar ; b.....	2
Figure 2 : Coordonnées géographiques de la zone d'étude (GOOGLE EARTH).....	3
Figure 3 : Carte de la morphologie générale de la partie sud –ouest de Madagascar (Battistini et al,1975).....	9
Figure 4: La géomorphologie de la partie sud de Madagascar (NANTENAINA ,2017 in presse).....	10
Figure 5: Carte de réseaux hydrographiques de la zone d'étude.....	11
Figure 6: Carte géologique de notre zone d'étude (selon BESAIRIE 1972, modifiée GUYOT 2002).....	15
Figure 7: Carte lithologique de notre zone d'étude (selon BESAIRIE 1972, modifiée GUYOT 2002).....	16
Figure 8:Reconstitution de la répartition des continents au Jurassique moyen(vers-160M).a. Le bloc continental quasi-unique barrait le Globe du pôle sud au pôle nord. Cette disposition, dirigeant les circulations océaniques de l'équateur vers les haut latitudes, rend compte de la prévalence mondiale des climats tropicaux au Mésozoïque. D'après LECLAIRE ,1979 modifié par NANTENAINA Jeannot.....	17
Figure 9: Carte géologique de Madagascar montrant le socle et les trois bassins sédimentaires : Morondava, Majunga et Diego (Modifié selon Besairie, 1973 ; RAZAKAMANANA, 1999 ; GEIGER, 2004).....	20
Figure 10: Carte discrimination lithologique en composition colorée 731 image RVB	24
Figure 11:Carte RVB obtenue avec les trois premières bandes de l'ACP : CP 1, CP 2 ET CP 3.....	25
Figure 12:Carte Image RVB obtenue avec les néo bandes générées par les rapports 5/17/5 3/5	25
Figure 13:Carte Image RVB nouvelle carte géologique obtenue de la classification non supervisée	26
Figure 14:Les matériels de forage	31
Figure 15: Photo Illustration MFT	31
Figure 16 : Photo illustration rotary a boue.....	32
Figure 17: Photo illustration carottage	33
Figure 18: Photo traitement des échantillons	34
Figure 19 : Photo calcimetre de BERNARD	35
Figure 20: méthode de traitement des données	38

Figure 21:Lignes de coupe réalisées	42
Figure 22: Colonnes stratigraphiques des forages : F01, F02, F03, F04, F05	44
Figure 23: Colonnes stratigraphiques des forages : F06, F07, F08, F09, F10	45
Figure 24: courbe de la profondeur de chaque forage.....	47
Figure 25: Courbe montrant l'épaisseur de couche de calcaire coquillée.....	48
Figure 26: courbe montrant les pourcentages de calcaires purs.....	48
Figure 27: Courbe montrant les pourcentages de couches de calcaires impurs	49
Figure 28: Positions des fractures et fissures	50
Figure 29: Colonnes stratigraphiques des forages suivant la coupe A-B.....	52
Figure 30: Corrélation stratigraphique est-ouest suivant la coupe A-B	52
Figure 31: Colonnes stratigraphiques des forages suivant la coupe C-D.....	54
Figure 32 : Corrélation nord-sud suivant la ligne de coupe C-D	55
Figure 33:a=b=c : Calcaire à huitre.....	56
Figure 34:calcaire massif	57
Figure 35:calcaire vacuolaire	57
Figure 36:Gypse	58
Figure 37: Montrant le mécanisme de formation de gypse.....	58
Figure 38: a) Orthoconglomerat et b)Paraconglomerat.....	59
Figure 39: fossile observé dans le terrain : a= mollusque ,b= poisson fossile ,c=algue et d=mollusque	60
Figure 40 : calcaire oolithique ferrugineux	60
Figure 41: calcaire récifal.....	61
Figure 42:Baque d'échantillon.....	70
Figure 43:Image microscopique de calcaire.....	71
Figure 44: Montrant les structures linéamentaires de la Zone (GUYOT ,2002 modifié par N.Jeannot ,2017)	72
Figure 45: Carte lineamentaire de la zone étudiée à partir de FILTRE 45° A MATRICE 7X7	73
Figure 46 : Rosace des directions des linéaments	74
Figure 47: Montrant le déplacement de Madagascar (GUYOT, 2002).....	75
Figure 48: fractures observées dans la zone étudiée	76
Figure 49:Fissure observée sur les échantillons	77
Figure 50: montrant les structures fracturées interne de la zone suivant la coupe A-B (N.Jeannot, 2017)	79

Figure 51: montrant la structure fracturée interne de la zone suivant la coupe C-D (NANTENAINA , 2017 in presse).....	80
Figure 52: Présentation en 3D de litho structurale des dépôts (NANTENAINA ,2017 in presse).....	81
Figure 53:Résultats des mouvements tectoniques (NANTENAINA , 2017 in presse)	83
Figure 54:Faille oblique (NANTENAINA , 2017 in presse)	83
Figure 55:faille inverse.....	84
Figure 56:Faille inverse rive droite de l'Onilahy	85
Figure 57:Faille inverse rive gauche de l'Onilahy	86
Figure 58: faille normale observée sur la rive droite de fleuve Onilahy à Lavenombato	87
Figure 59: Failles observées dans le terrain	88
Figure 60: a) stries et b) diaclases observées sur le terrain	88
Figure 61:Topographie de la zone d'étude.....	90
Figure 62:Présentation des talwegs dans la zone d'étude	91
Figure 63: talweg observé dans le terrain.....	92
Figure 64:coupe de butte témoin	92
Figure 65:une butte témoin observée sur terrain	93
Figure 66:grotte observée dans notre zone d'étude.....	94
Figure 67:schéma de karst.....	94
Figure 68:Canyon dans l'embouchure du fleuve Onilahy.....	97
Figure 69: Montrant type de faille sur la rive de l'Onilahy	98
Figure 70:Carte illustrant le sens de direction majeures	102

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1:Situation administrative de la zone d'étude	3
Tableau 2: Situation démographique de la zone d'étude	4
Tableau 3:Situation éducative dans la zone d'étude	5
Tableau 4:Situation de l'élevage dans la zone d'étude.....	5
Tableau 5:Pluviométrie moyenne annuelle de la zone d'étude	7
Tableau 6:Localisation des points de forage	41
Tableau 7:les formations données par les forages réalisés.....	46
Tableau 8: Formations dominantes dans les Forages réalisés	46
Tableau 9:Paléoclimat de la zone d'étude	63
Tableau 10 : montrant la pétrographie de la roche carbonatée.....	65
Tableau 11:Resultat calcimétrie	67
Tableau 12 : distribution de l'orientation de linéaments de la carte linéamentaire (45° à matrice 7x7) :	73

LISTE DES ABREVIATIONS

Av	Avril
A	Aout
A/M	Année/Mois
BD	Base de données
CEG	Collège d'Enseignement Générale
CSB1	Centre de Santé de Base niveau 1
CSB2	Centre de Santé de Base niveau 2
D	Décembre
EIE	Etude d'Impact Environnemental
E	Est
EPP	Ecole Primaire Publique
F	Février
GPS	Global Position Système
GesFor	Gestion de Forage
Ju	Juin
J	Juillet
Ja	Janvier
J.O	Journal Officiel
LANDSAT	Land Satellite
Ma	Mars
Mapinfo	
M	Mai
MFT	Marteau à Fond de Trou
Nv	Novembre
N	Nord
ONG	Organisme Non Gouvernemental
PGRM	Programme de Gouvernance des Ressources Minérales
SIG	Système d'information géographique
Se	Septembre
S	Sud
Tmax	Température maximale
Tmin	Température minimale
Tmoy	Température moyenne
U.V	Ultraviolet
V1	Volume 1
V2	Volume 2
Tr	Taux résiduels
AGAR	Association Géologique d'Alès et de sa Région

INTRODUCTION

La contribution aux études géologique et structurale permet d'identifier les différents types de roches de la région donnée, leurs compositions, leurs stratigraphies, leurs structures. Par la suite, on procède à l'établissement de la formation lithologique et de la structure, d'étudier les phénomènes de leur déformation.

Ce mémoire essaie de mettre à jour les informations géologiques modifiées de la formation calcaire de la partie sud du bassin sédimentaire de Morondava (par exemple GAF/AFAG, 2008 à l'échelle de 1/1000 000 et Besairie, 1970 à l'échelle de 1/500 000).

Plusieurs auteurs ont déjà travaillé sur la cartographie de Madagascar. Le Projet de Gouvernance de Ressources Minérales (PGRM), financé par la Banque Mondiale en 2008, a renouvelé la carte géologique et minière de Madagascar suivant une échelle de 1/1 000 000 (GAF/BGR, 2008 ; Roïg et al., 2012). Ils ont étudié la lithologie, la géochronologie Madagascar. Plus récemment, Boger et al. (2014) et Tucker et al. (2014) ont présenté leur nouvelle réinterprétation de la partie sud de cette formation calcaire. Ils étaient basés sur l'étude géologique, minéralogique, géochronologique. R.Z.Mandraibe, 2009 a fait l'étude de la caractéristique des formations calcaires de l'éocène du site Soalara au profit de l'exploitation minière du projet d'Ambatovy. R.H.Rolland. (2014) a fait une recherche récente sur la modélisation des séquences de dépôts calcaires de l'éocène de Soalara.

Des études structurales et géologique détaillées de la formation calcaire à soalara du sud de bassin de Morondava n'étaient pas faites dans le détail, ce qui nous pousse à faire la présente investigation et de choisir ce sujet de mémoire intitulé **«Contribution à l'étude géologique et structurale de la formation calcaire de Soalara au sud de bassin sédimentaire de Morondava»**.

L'objectif de cette étude est de mettre à jour la formation calcaire, la révision détaillée des évènements géologiques, structuraux et géomorphologiques de la zone d'étude afin d'obtenir leur présentation en 2D et 3D à partir du logiciel existant.

Il permet de déterminer les différentes couches qui constituent cette formation calcaire. Cette étude va également éclaircir les formes structurales, les causes des fissures (ou fractures) existantes. Il essaie également de définir quelques caractéristiques géomorphologiques de la zone étudiée. Pour pouvoir mettre en relief le détail de la formation géologique, de cette zone ; de sa structure et de ces caractéristiques. On présentera, après l'introduction, les différents chapitres suivants :

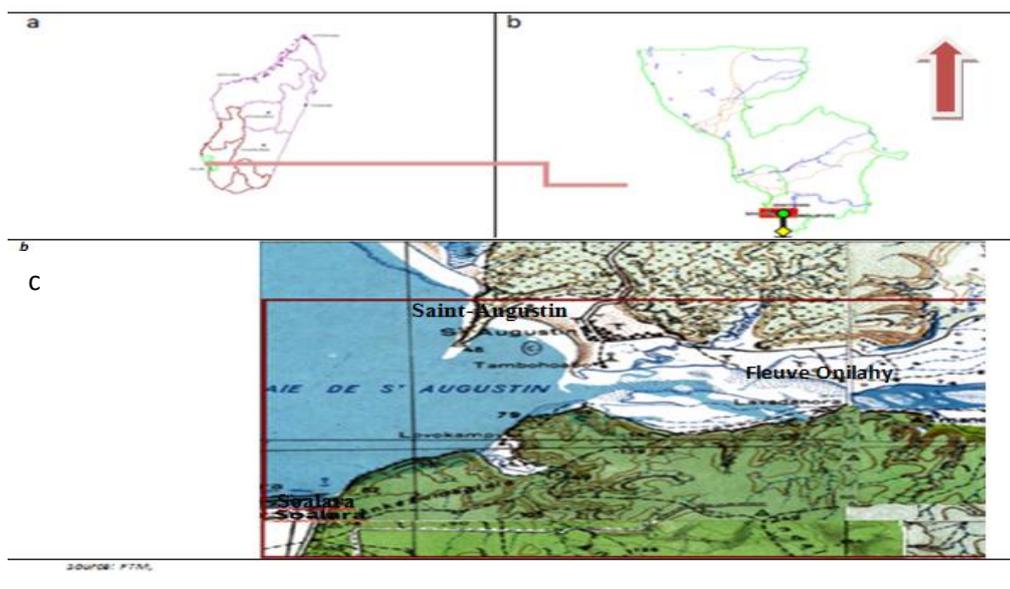
- le chapitre I, le contexte de la zone d'étude.
- Le chapitre II, la méthodologie et différentes approches.
- Les résultats des données sur terrain et leurs interprétations à l'aide de logiciel seront présentés dans le chapitre III
- Le chapitre IV sera consacré à la discussion, enfin la conclusion et les recommandations seront mentionnées pour terminer ce travail.

I-CONTEXTE DE LA ZONE D'ETUDE

I-1 Contexte géographique

I-1-1 Le contexte administratif

La zone concernée se trouve dans la région du sud-ouest de Madagascar à 25km de Toliara à vol d'oiseau vers le sud. Elle est composée de deux communes :une partie de Saint-Augustin (Commune classée de 2ème Catégorie ayant une superficie de 1 561 km² et comporte 2 hameaux regroupant 13 Fokontany .Le Chef-lieu de la Commune : le Fokontany de Saint-Augustin se trouve à 31 km de la ville de Toliara) ,le Soalara de superficie de 525,41 km² est une Commune Rurale de 2^{ème} Catégorie. Elle est constituée de 7 Fokontany ayant comme chef-lieu le village de Soalara .Elle se situe à 42 km de la ville de Toliara toujours dans le district de Toliara II, Région AtsimoAndrefana.



Source :FTM

Figure 1: Carte de la localisation de la zone d'étude a. Situation de Madagascar ; b.

Localisation dans le District de Toliara II ; c. Présentation de la zone d'étude

Au total, les deux communes regroupent 11 fokontany (Tableau 1)

Tableau 1: Situation administrative de la zone d'étude

Commune Rurale	Anantsono	Soalara
Fokontany	Ambohibory	Soalara Haut
	Marobika	Soalara Bas
	Ambatobe	Antsirafaly
	Lavenombato	Ankaranila
	Lovokampy	Tanambao
	Ianantsono	
Nombre de Fokontany	6	5
Nombre total de Fokontany	11	

Source: EIE Dynatec Toliara

Les communes d'Anantsono et de Soalara se trouvent dans la zone littorale,

entre les coordonnées géographiques suivantes : (photo)



Figure 2 : Coordonnées géographiques de la zone d'étude (GOOGLE EARTH)

I-2 Le contexte socio-économique

I-2-1 La population

La population est estimée à 26 350 habitants avant l'exploitation de calcaire. On détermine une densité moyenne d'environ 49,51hab/km², qui varie beaucoup d'une commune rurale à l'autre.

En général, la région Atsimo-Andrefana a une croissance démographique forte, de l'ordre de 3,62 % par an. Et certaines zones servent parfois des zones d'accueil des migrants, temporaires (EIE Dynatec 2009).

Tableau 2: Situation démographique de la zone d'étude

Commune	Commune rurale d'Anantsono	Commune rurale de Soalara	Total
Nombre de population	6850	7248	26 350

Source: recensement 2016

L'évolution démographique de la zone d'étude, diffère d'une commune à l'autre. D'après les données statistiques des communes, la population de Soalara s'est doublée en 4 ans, passant de 6 595 à plus de 11 000 habitants (EIE Dynatec 2009)

Les infrastructures sociales dans ces deux communes sont insuffisantes et souvent vétustes. En plus, elles ne sont pas proportionnelles à l'accroissement de la population (EIE Dynatec 2009).

L'accès à l'eau de la population figure parmi les problèmes sociaux les plus importants. Les points d'eau potable (eau douce) sont rares, à l'exception du village de Soalara.

La population puise de l'eau dans des trous (ou vovo) creusés dans le sable ou dans des grés tendres. L'eau est saumâtre et n'est pas potable. Certains habitants des villages de Sarodrano dans la Commune d'Anantsoño vont chercher de l'eau jusqu'à 4km au bord de la falaise de Barn Hill. La population des riverains du fleuve Onilahy s'y approvisionne en risquant sa santé (EIE Dynatec 2009).

Seul le village de Soalara dispose de l'eau potable. Ainsi, des piroguiers viennent se ravitailler en eau à Soalara pour la vendre (EIE Dynatec 2009).

Dans les trois communes : les centres de santé manquent de matériels de soins, d'équipements intérieurs (lits, mobiliers), des médicaments et des personnels soignants. Les malades doivent aller à Toliara (EIE Dynatec 2009).

Cette zone dispose de 15 EPP et de 2 CEG. La majorité de ces établissements scolaires sont vétustes agés de la Première République. L'ONG Aide et Action a contribué à leur construction et/ou la réhabilitation. Les conditions d'étude y sont encore plus difficiles (EIE Dynatec 2009).

Tableau 3:Situation éducative dans la zone d'étude

Commune	Nombre EPP	Nombre d'enseignant	Nombre d'élève	Nombre CEG	Nombre d'enseignant	Nombre d'élève
Anantsono	11	55	2786	1	13	ND
Soalara	4	13	ND	1	06	ND

Source: EIE DynatecToliara

I-2-2 Activités économiques

L'agriculture, l'élevage et la pêche sont les principales activités économiques de cette zone. Elles dépendent des conditions physiques du milieu. Ces activités sont encore réalisées de manière traditionnelle.

La faiblesse des rendements entraîne la population à diversifier ses activités. En effet ces dernières années, l'exploitation forestière gagne du terrain. Elle affecte les écosystèmes forestiers dont l'utilisation consiste en charbon de bois et en bois de chauffage. Presque 70% de la population locale l'exploite, assiste également à la surexploitation des récifs (EIE Dynatec 2009).

I-2-2-1 La pêche

C'est la principale activité de la population. Il y a la pêche maritime pratiquée en zone littorale, et la pêche en eau douce, dans le fleuve Onilahy, les lacs et les rivières.

I-2-2 -2 L'agriculture

L'agriculture constitue la principale activité de la population. Cette dernière est essentiellement composée des villageois : des Tanalana, Antandroy au niveau de la commune d'Anantsoño .Elle est faite en parallèle à l'exploitation de la pêche.

Tableau 4:Situation de l'élevage dans la zone d'étude

NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017

Elevages	Anantsono	Soalara
Bovins (têtes)	214	4 235
Caprins (têtes)	3 295	20 527
Ovins (têtes)	270	7 436
Porcins (têtes)	613	32
Volaille (têtes)	4 567	2 378

I-2-2-3 Un artisanat de type familial

La poterie, la vannerie, la ferronnerie, la charpenterie, la coupe et couture, la briqueterie, le filage... sont des pratiques artisanales dans la zone. Ils sont généralement destinés aux besoins des ménages, cependant progressivement, il se développe et commence à être commercialisé. La population locale considère l'artisanat comme activité non génératrice de revenu. Ils le pratiquent qu'en cas de besoin ou sur commande par les collecteurs. Les produits sont vendus d'une manière générale aux collecteurs et aux quelques touristes de passage. Mais la plupart des produits sont évacués à Toliara.

I-3 Contexte climatique

I-3 -1 Précipitation

Les précipitations annuelles sont extrêmement faibles (strictement inférieures à 300 mm) la température est élevée avec une évapotranspiration importante. Ceci confirme l'appartenance de la région aux régions semi arides situées au-dessous des zones de haute pression dans lesquelles un système frontal porteur de pluie ne peut que rarement pénétrer (Service météorologie Toliara 2011).

I-3-2 température

Dans la zone de Toliara de l'année 2005 à 2011, la température la plus basse est de 11.8°C et la plus élevée est de 34.4°C. Les températures moyennes annuelles varient entre 19,38°C et 34,35°C. Le mois le plus chaud se situe du décembre au mars, le plus froid au mois de juin jusqu'au septembre. Les températures moyennes mensuelles oscillent entre 21,06°C (juillet) et 28,28°C (septembre) (Service météorologie Toliara 2011)

I-3-3 Pluviométrie

La saison de pluie débute le mois de novembre et se termine le mois de mai dans la zone d'étude. Pour identifier le changement chronique des précipitations, il est nécessaire de noter que la valeur de pluviométrie annuelle est de 274 mm entre 1970 et 1982 avec 8 mois de sécheresse à Soalara, tandis qu'à Toliara de 1986 à 1996, la pluviométrie annuelle est de 345 mm (Ralambomanana, 2008).

Tableau 5:Pluviométrie moyenne annuelle de la zone d'étude

Année	Pluie (mm)												Total
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	
2000	81,5	81,4	126,4	26,0	30,0	2,8	5,5	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	357,3
2001	4,3	156,2	149,1	26,0	103,7	24,2	14,3	0,0	0,9	24,4	0,0	9,1	512,2
2002	9,4	3,0	172,8	99,6	1,2	0,5	0,0	0,0	17,1	0,0	25,2	0,0	328,8
2003	6,5	13,4	138,4	35,6	19,8	19,8	2,8	1,9	1,3	0,2	0,0	0,4	240,1
2004	37,4	95,4	33,6	55,2	33,1	6,6	2,6	11,1	9,0	0,2	17,9	0,2	302,3
2005	5,5	32,0	509,5	9,0	58,7	8,2	4,9	0,0	27,8	0,0	12,0	0,0	667,6
2006	0,2	28,8	68,7	69,8	6,2	0,0	0,7	9,8	3,4	15,5	2,4	0,0	205,5
2007	0,7	16,9	298,8	109,4	3,6	63,2	34,7	9,0	0,0	2,0	0,0	0,0	538,3
2008	1,9	0,8	135,4	84,6	49,6	1,5	10,9	3,1	0,0	0,0	0,0	0,3	288,1
2009	0,0	6,7	61,9	24,3	104,0	0,0	3,2	2,9	0,0	0,0	4,3	0,0	207,3
2010	2,6	21,8	25,9	42,0	6,1	0,0	89,6	0,0	3,7	0,2	0,3	4,0	196,2
2011	0,0	23,5	202,9	191,4	75,2	2,2	7,3	22,7	8,2	33,0	0,0	0,2	566,6
Total	150,0	479,9	1923,4	772,9	491,2	129,0	176,5	60,5	71,4	75,5	65,8	14,2	4410,3
Pluie moy	12,5	39,99	160,3	64,41	40,93	10,75	14,71	5,042	5,95	6,292	5,483	1,183	367,525

Source : service météo Toliara 2011

La pluviométrie moyenne mensuelle maximale se situe entre le mois de décembre et le mois de février avec 160,3mm au mois de janvier. Entre le mois de mars et le mois de novembre se trouvent les mois les plus secs de l'année avec une pluviométrie moyenne mensuelle minimale de 1,18mm mois d'octobre.

I-3-4 Evaporation

L'évapotranspiration dans la zone est importante, elle varie de 1200mm à 1400mm. Elle augmente au fur et à mesure qu'on rentre à l'intérieur de la terre. Pour la zone d'étude on peut noter que la valeur de l'évapotranspiration est nettement supérieure par rapport à la précipitation. Ceci nous amène à déduire que le bilan hydrique dans la région est négatif.

I-3-5 Vent

Dans la région, les masses d'air sont généralement stables et la vitesse du vent est souvent faible. Des vents violents et des tourbillons de poussière de grande vitesse peuvent se produire localement à cause du réchauffement localisé à la surface, associé à l'absence d'arbres dans des paysages ouverts. C'est le «TIOKE ATIMO». sa direction est SW-NE (Hoerner, 1986). et peut atteindre la vitesse 3,43m/s.

La direction dominante du vent devient franchement sud à partir d'Androka; enfin, elle tourne à S-W. sur Toliara (Battistini R.1964). Les passages répétés de perturbations méridionales accroissent la force de l'alizé. Ce dernier souffle sur les plaines côtières dépourvues d'obstacles montagneux et entraîne des tourbillons de poussière. Les horizons sont voilés par une brume de sables soulevés. Les directions des cordons dunaires, le long de la côte et la forme torturée des arbres sont autant de témoignages de l'intensité et de la persistance de ces vents.

On peut déduire que l'aridité du Sud est amplifiée par des vents forts et constants. L'alizé domine.

I-4 Elément physique et Biologique

I-4-1 Le relief et la géomorphologie

La région d'étude peut être divisée en trois parties ; une zone marquée par une couverture calcaire qui couvre la grande partie de la zone, une intermédiaire entre la première et la zone littorale.

En effet, notre étude se focalise dans la première. Cette dernière est très vaste avec une altitude pouvant aller jusqu'à 100m. La formation karstique, au sud de Toliara d'âge éocène, est caractérisée par la présence d'une végétation ligneuse inextricable et par l'absence de peuplement. Cette formation karstique marquée de profonds avens, ne pourront être étudiés dans le détail que par des expéditions disposant d'un bon matériel spéléologique. La formation karstique se constituait sous un climat humide qu'aujourd'hui. La cuesta bordant NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA, 2017

l'Est de la zone d'étude est un bel exemple de cuesta remblayée dont une partie est exhumée. La zone a tendu à avoir ses bords fossilisés de deux cotés, par un complexe néogène continental sur le front cuesta et par l'Aepyornien (voir plus loin) à l'Ouest de la mer (Battistini R .1964).

Le village de Soalara se trouve sur la plaine côtière, plus précisément sur le sable dunaire et la plage occidentale de la formation calcaire.

Le fleuve Onilahy a creusé le plateau calcaire et crée une vallée de 400 km de long avec une ouverture qui varie la profondeur de la vallée pouvant atteindre 2600m (Battistini *et al* 1975)... Elle dépose chaque année une grande quantité de sédiments et engendre une formation alluviale tout au long de ce fleuve. En outre, quelques vallées recoupent perpendiculairement le fleuve et deviennent de petits affluents.

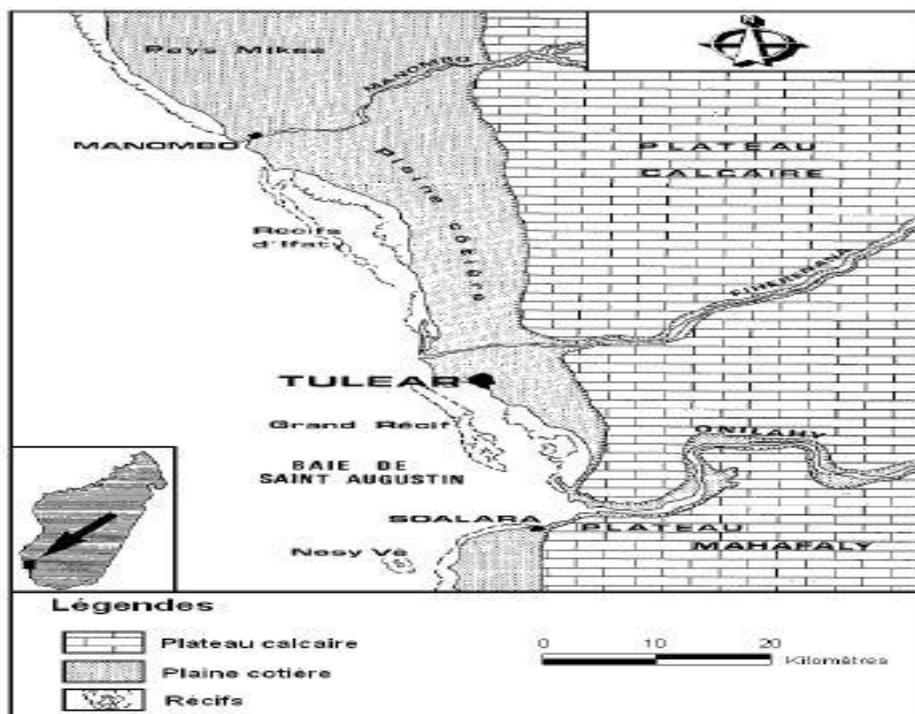
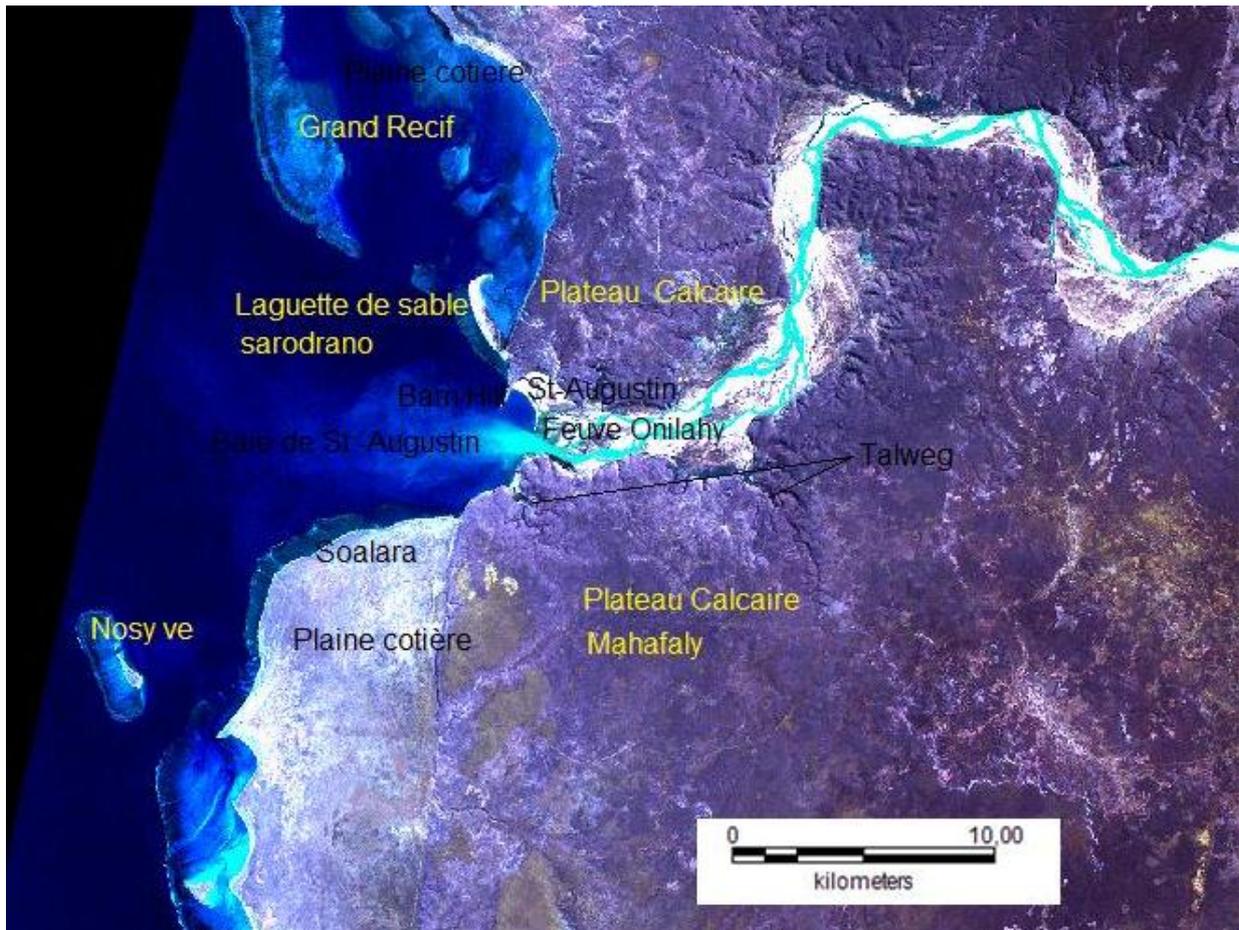


Figure 3 : Carte de la morphologie générale de la partie sud –ouest de Madagascar (Battistini et al,1975)

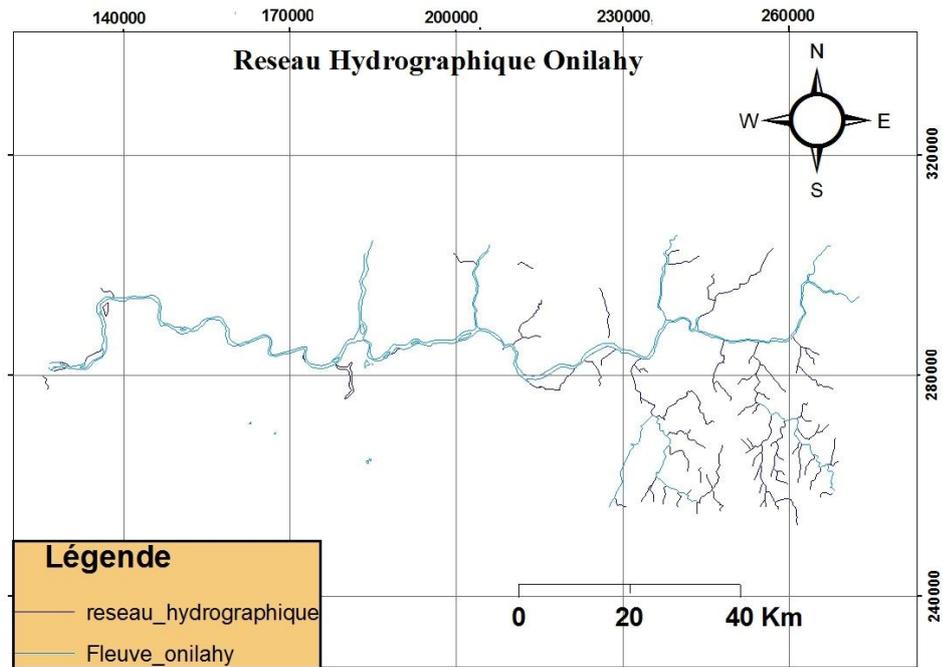


Source : image satellitaire composition colorée 731

Figure 4: La géomorphologie de la partie sud de Madagascar (NANTENAINA ,2017 in presse)

I-4-2 L' hydrologie

Le fleuve Onilahy parcourt un bassin versant d'environ 32225 km² (Chaperon *et al.*, Fleuve et rivière de Madagascar) et s'étend entre les latitudes 22 et 24°S et les longitudes des 43°30' et 46°30'E (Battistini *et al.*,1975).L'Onilahy est le cinquième grand fleuve de Madagascar, et l'un des plus grands fleuves du Sud ayant une longueur, environ 400km (Chaperon et al : fleuve et rivière de Madagascar).Les 2/3 de ce fleuve traversent le socle et le 1/3 restant la formation sédimentaire. C'est un fleuve permanent avec un régime hydrologique régulier du fait de l'abondance des précipitations et de ses affluents. Son débit mensuel moyen , sur une période de 5 ans observé à Tongobory (à 60 km de l'embouchure), varie de 45 m³/s en saison sèche et 378 m³/s en saison humide. Il peut atteindre 1 000 m³/s en période de crue et descend à 25 m³/s en période d'étiage (Battistini *et al* 1975).



Source :BD500,traitement SIG

Figure 5: Carte de réseaux hydrographiques de la zone d'étude

I-4-3 Hydrogéologie

Le bassin sédimentaire de Toliara est caractérisé par la présence des nappes variées qui sont déjà exploitées d'une manière plus ou moins satisfaisante et l'alimentent en eau plusieurs localités. Elles ont des débits allant de jusqu'à 3000 m³/h (Chaperon *et al.* , 2005).

Les communautés dans la zone étudiée puisent de l'eau, soit directement du fleuve soit des puits et des captages des résurgences. En effet, la plaine alluviale est composée des sédiments (basalte, calcaire provenant de l'amont). Leur mélange constitue de bonnes aquifères captée par des puits de forage.

Ce dernier, a une profondeur d'environ 150m a ,un débit inférieur à 3m³/h. Le débit fort des eaux de résurgence dans la vallée de l'Onilahy se trouve au pied de l'escarpement occidental, en bordure de mer (Lovokampy, Soalara et Lavenombato).En outre, trois griffons sont situés à l'Est du port Soalara , à la base de la grande falaise d'écène.Ils correspondent à des diaclases ou à des joints des stratifications. Le débit total est d'environ 22l/s ou 80m³/h (Ralambomanana, 2008). Un quatrième griffon sous-marin se trouve au nord de ces trois premiers (Archambolt, 1956 in Battistini).Il montre l'existence de la nappe aquifère dans la formation calcaire de cette zone. Dans la plaine côtière il existe également de nappe

phréatique peu profonde. Elle provient soit de la formation calcaire soit du stockage des eaux de pluies dans cette formation calcaire.

La qualité des eaux souterraines de cette zone diffère de celle des autres aquifères. Elles sont en général des eaux douces dans des nappes alluviales comme celles du fleuve Onilahy et des plaines côtières. Elles sont moins profondes, de l'ordre de 15m dans la plaine alluviale, dans les puits tout au long du fleuve et à Soalara. Par contre elles sont profondes dans la formation calcaire à 150m dans le forage. Elles sont riches en particules chimiques dissoutes, donc ayant une certaine salinité.

I-4-4 Flore et faune

La zone est couverte des forêts sèches et épineuses, comme la famille de didieraceae. Elle présente encore des espèces animales endémiques, telles les lémuriens, les tortues et les animaux aquatiques qui ont des intérêts touristiques : la Paille en queue, de baleine.

I-4-5 La géologie et la géodynamique de Madagascar

I-4-5-1 La stratigraphie

Les 2/3 de Madagascar sont couverts du socle cristallin et, le 1/3 des formations sédimentaires. Notre zone d'étude se situe dans cette dernière, notamment dans la partie sud de bassin de Morondava. Généralement on y rencontre deux systèmes, celui du Karro et du post Karro. Le premier est essentiellement continental, composé de trois groupes : le groupe de la Sakoa en contact discordant avec le socle, le groupe de la Sakamena et le groupe de l'Isalo au sommet. Ils sont alternés par de légères discordances angulaires : le second est de faciès marins de Jurassique au Miocène, de faciès continental du Néogène au quaternaire et de faciès volcanique du Crétacé (Besairie, 1970).

Le Karro

Le groupe de la Sakoa

Il se trouve dans la partie ouest de Madagascar et en contact discordant avec le socle cristallin. La Sakoa est composée par une superposition de quatre couches bien différentes. Elle atteint une épaisseur de 2 000 m, à la base, aussi des formations glaciaires distinctes, des tillites et des schistes noir, suivies d'une couche de charbon. Ensuite une série rouge au sommet enfin une transgression marine donne naissance à des calcaires marins à *Productus* et *Spirifer* de Vohitolia,

Le groupe de la Sakamena

Il est divisé en trois étages, le premier est défini comme la Sakamena inférieure et constitué à la base par un conglomérat et se poursuit par une couche schisto-gréseuse épaisse (2 000 à 3 000 m) essentiellement continentale. On y trouve de nombreux débris végétaux et animaux, se déposant au-dessus de la Sakamena inférieure et d'argiles grises à nodules et septarias à faciès marin ou laguno-marin. Le dernier, dans la Sakamena supérieure (500 m), présente une alternance de grès et d'argiles rouges, parfois salifères, témoignant un faciès mixte, continental et lagunaire.

Le groupe de l'Isalo

Débuté au Trias et se développe jusqu'au Jurassique moyen, il présente une petite discordance angulaire de quelques degrés par rapport au groupe de la Sakamena. Le groupe se divise également en trois étages. C'est une formation continentale mais il est marqué par le retour des formations marines ; comme Isalo III, est composé de grès et d'argile ensuite des puissantes séries de calcaires marins correspondant au Jurassique moyen, Isalo II, est constitué de grès et d'argiles, correspondant au Lias, Isalo I, est essentiellement gréseux à stratifications entrecroisées, correspondant au Trias.

le post-Karoo

Une transgression marine au jurassique supérieur mettait en place un dépôt marin et déterminait la fin du Karroo. Le commencement du post-Karoo est représenté par des calcaires marneux, des marnes et des argiles renfermant en abondance des Ammonites et des Bélemnites.

Le Jurassique supérieur

Constitué par des couches, riches en glauconie, ils peuvent parfois former des couvertures imperméables protégeant des nappes aquifères. Les argiles renferment souvent des cristaux de gypse.

Le Crétacé

Il peut être catégorisé à partir des événements magmatiques dans le Crétacé, il permet de distinguer les formations anté et post-basaltiques. La période anté-basaltique correspond au Crétacé inférieur et moyen, elle est dominée par des faciès continentaux et épicontinentaux. On observe encore plusieurs niveaux gypsifères. L'activité magmatique crétacée a donné naissance à de multiples cassures qui ont été remplies par d'innombrables filons basaltiques

ou doléritiques ; la post-basaltique au Crétacé supérieur est constitué par de grès continentaux des argiles et de calcaire et de marne.

L'ère Cénozoïque

Le Cénozoïque à Madagascar, se divise en deux parties : la partie inférieure est essentiellement marine. Elle est composée de l'Éocène, de l'Oligocène et du Pliocène, La formation calcaire du sud de bassin de Morondava a lieu à l'éocène.

La partie supérieure correspond à une régression marine généralisée .En conséquence des sédiments continentaux se déposent en certaines zones, comme de grès et d'argile et de carapace de sable roux . Le substratum compose essentiellement de socle ,continue toujours à chercher son équilibre isostatique .Autrement dit ,les mouvements tectoniques continuent et causent soit de soulèvement de certains blocs ,soit des affaissements des autres .Par conséquent, tantôt la mer se retire du continent ,tantôt elle essaie d'y pénétrer (transgression et régression marine).Par exemple, ce mouvement tectonique au néogène déclenche une nouvelle activité volcanique qui se poursuivra au Quaternaire.

L'ère Quaternaire

Le Quaternaire est composé par les formations actuelles, on peut distinguer les latérites et altérites des formations saines, les dépôts au niveau des fleuves, rivières... dans les vallées, et les formations dunaires et des sables de plages

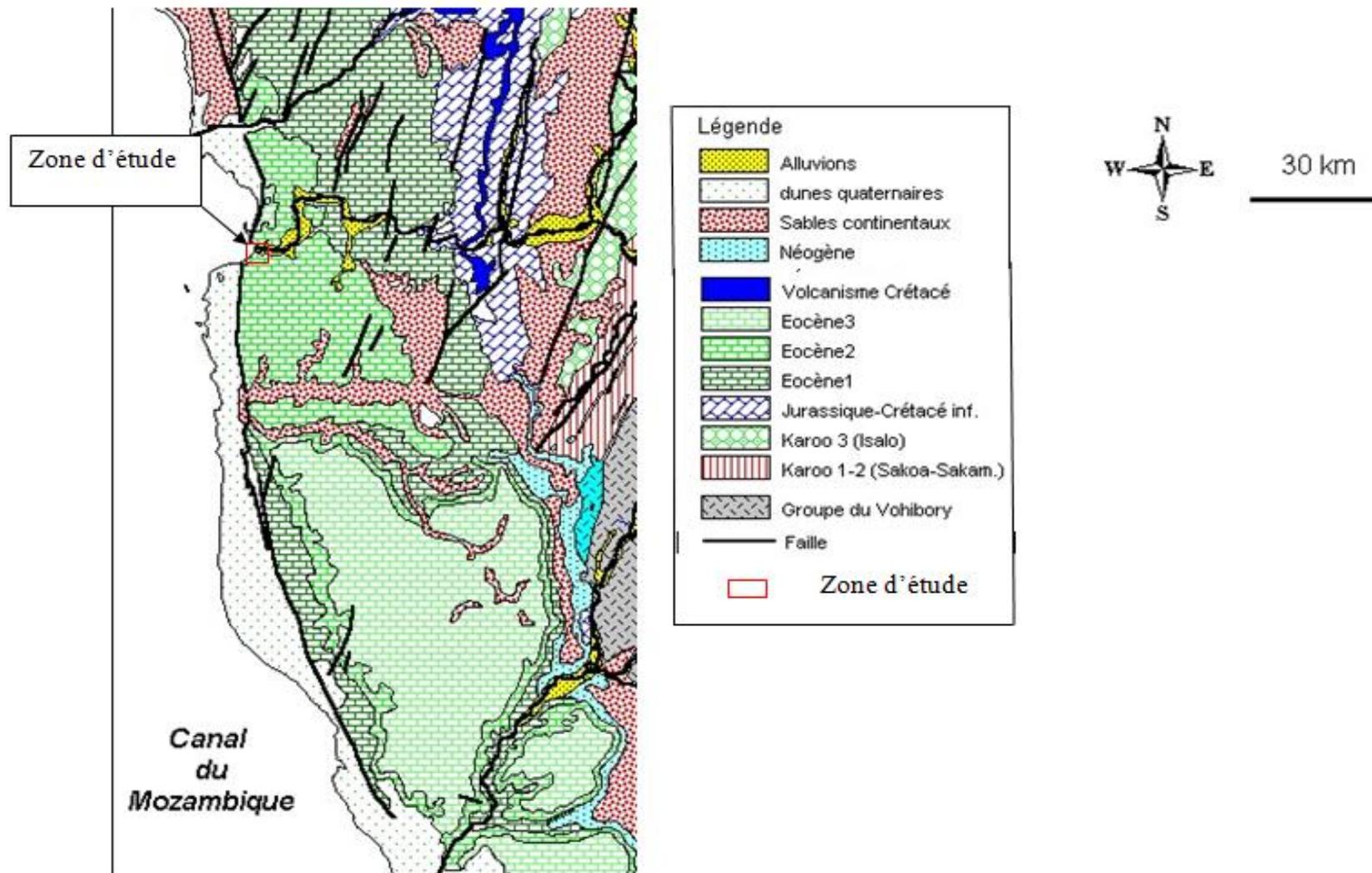


Figure 6: Carte géologique de notre zone d'étude (selon BESAIRIE 1972, modifiée GUYOT 2002)

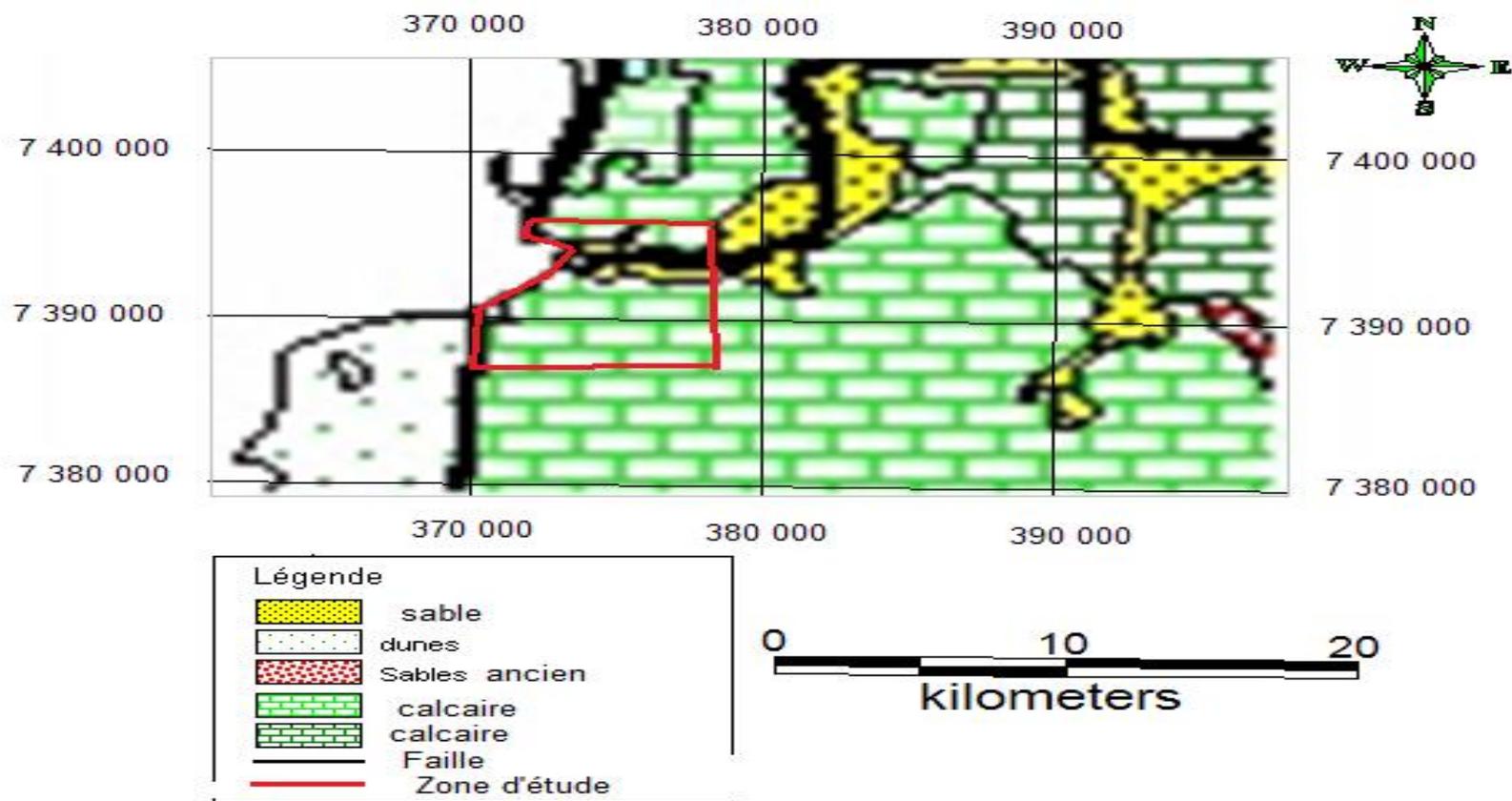


Figure 7: Carte lithologique de notre zone d'étude (selon BESAIRIE 1972, modifiée GUYOT 2002)

I-4-5-2 La géodynamique du sud de bassin de Morondava

A partir du Trias supérieur jusqu' au Crétacé supérieur, Madagascar, cinquième Ile du monde, a subi le démembrement du Gondwana. Elle s'est séparée du Gondwana occidental avec les autres pays, par le Canal de Mozambique à la fin du Trias supérieur (180 Ma) ; c'était un événement postérieur au Karoo et accompagnait du rifting (Geiger et al., 2004). Son évolution geodynamique était marqué par le spreading au Sud - Ouest de l'île (bassin de Morondava), qui s'articulait en 3 phases (Schandelmeier *et al.*, 2004) : d'une part, deux décrochements sénestres successifs, du Méso Néopermien (~258 Ma) etdu Post-Néo Permien (250 Ma - 245Ma), qui ont généré des bassins en transtension(de direction vers le Sud) ; et d'autre part, une extension de direction Nord – Ouest, Sud - Est, qui a engendré des ailles normales dans un complexe de ½ grabens.

Madagascar s'est détaché de l'Inde au début de Crétacé Supérieur ~ 86,5Ma (Subrahmanya, 1998; Yatheesh, *et al.*, 2006). Elle apparaît comme un petit continent à part entière dans l'Océan Indien, située entre 11°57' et 25°38' de latitude Sud et 43°12' et 50°17' de longitude Est Greenwich. Géologiquement, l'Ile de Madagascar est essentiellement constituée de deux types de terrains : le terrain Précambrien occupant les 2/3 de l'Île et le terrain sédimentaire pour le reste (Besairie, 1970).

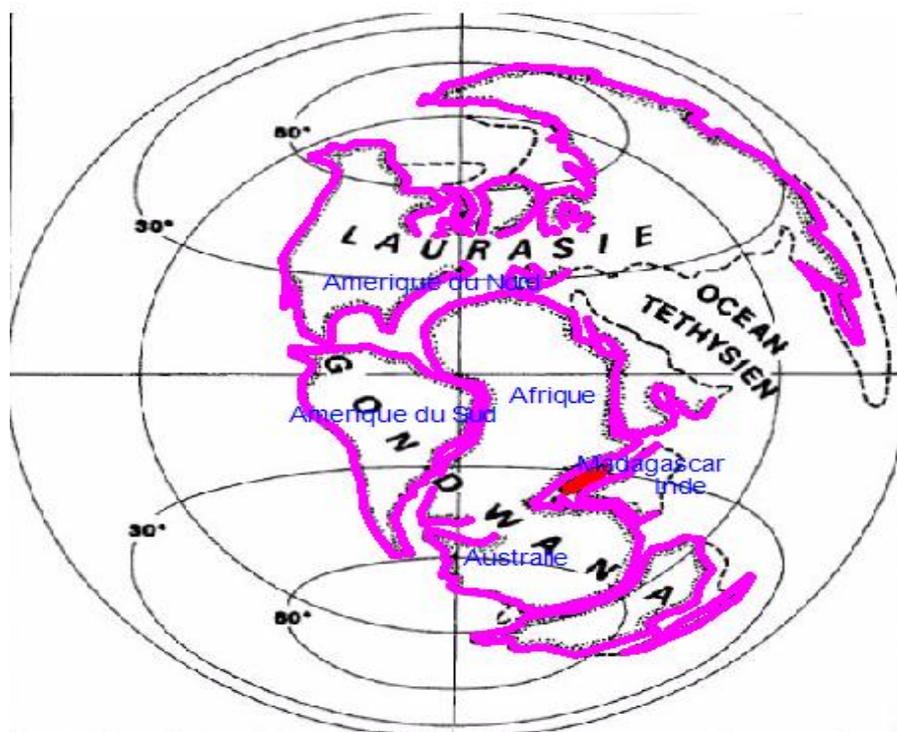


Figure 8:Reconstitution de la répartition des continents au Jurassique moyen(vers-160M).a.

Le bloc continental quasi-unique barrait le Globe du pôle sud au pôle nord. Cette disposition, NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017

dirigeant les circulations océaniques de l'équateur vers les haut latitudes, rend compte de la prévalence mondiale des climats tropicaux au Mésozoïque. D'après LECLAIRE, 1979 modifié par NANTENAINA Jeannot.

Le socle cristallin de Madagascar est caractérisé par (Figure 9 b ci-dessous) : La partie Nord, est constituée par des ceintures basiques et ultrabasiques qui sont alignées Nord-Sud et parallèles aux structures tectoniques de la chaîne panafricaine de l'Afrique de l'Est (Nicollet, 1985). La partie centrale, est formée par l'Azania, qui est un extrait de la corne de l'Afrique et de l'Arabie formant un microcontinent du Néoprotérozoïque (Collins et Pisarevsky, 2005). Les domaines d'*Antananarivo* et du domaine d'*Ikalamavony-Itremo* correspondent à cette zone (GAF-BGR, 2008). Et, les ceintures métamorphiques doubles (androyenne et graphite) sont situées dans la partie Sud. Le Précambrien du sud de Madagascar est marquée par la zone cisailante de *Ranotsara* qui sépare le centre du nord par (Windley *et al.*, 1994). En d'autres termes, des nombreux chercheurs ont géologiquement et géotectoniquement subdivisé la partie sud de Madagascar en trois systèmes, suivant l'intensité de métamorphisme des formations existantes, (Besairie 1973 ; Hottin 1976 ; Wit *et al.*, 2001): les Systèmes de Vohibory, de graphite et d'Androyen ,

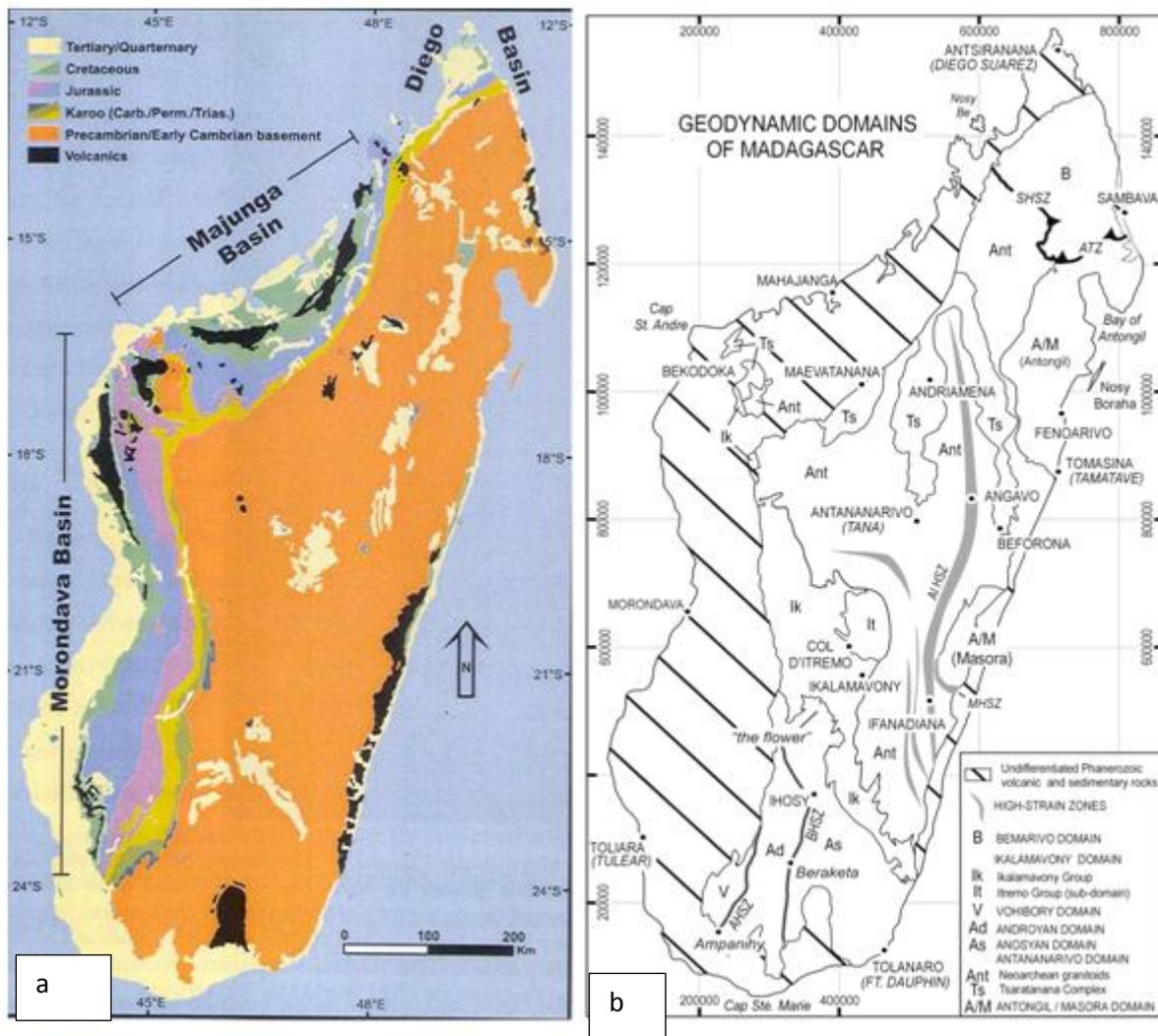
Les six unités géotectoniques, d'est en ouest sont (Windley *et al.*, 1994 ; Razakamanana, 1999) : (1)-la nappe chevauchante de Fort Dauphin anosyen, (2)-le bloc composite de Tranomaro, (3)-la zone cisailante senestre de Betroka, (4)-le bloc composite de Bekily, (5)-la zone cisailante dextre d'Ampanihy et (6)-le bloc composite de Vohibory. Dans ces deux dernières unités se repose la partie méridionale des formations volcano-sédimentaires du bassin de Morondava (Figure 9a ci-dessous) page 20.

En outre trois (03) domaines caractérisent la partie sud de l'île selon les séquences pétrographiques et tectoniques: le domaine vohiboryen ; le domaine androyen ; et le domaine anosyen. Ces domaines sont séparés par deux corridors de roches métamorphiques de haute pression de direction N-S : les zones de Grandes déformations d'*Ampanihy* et le domaine androyen (GAF/BGR, 2008 et Tucker *et al.*, 2014). (Figure 9b).

La couverture sédimentaire de Madagascar a subi trois phases principales de rifting , le rifting Karroo, le rifting crétacé, le rifting néogène et actuel) qui sont accompagnées par la création de différents bassins sédimentaires : le Bassin d'Antsiranana au Nord, le Bassin de Mahajanga au Nord-Ouest et le Bassin de Morondava au Sud-Ouest (d'après Razafindrazaka *et al.* 1999, in Groupe Campus, 1999) (Figure9a)

NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017

En ce qui concerne le bassin de Morondava, le rifting aboutissait à la création d'un bassin océanique. Ceci témoigne l'invasion marine précoce de l'intérieur de la zone déjà affaissée au Permien moyen. Cet envahissement s'effectuait au Jurassique Moyen et accompagnait des séries fluviales syn-rift à la base, des couches marines confinées, typiquement salifères et des niveaux carbonatés de plate-forme marine au sommet (GUYOT, 2002).



Légendes : Carte (a)

Légendes : Carte (b)

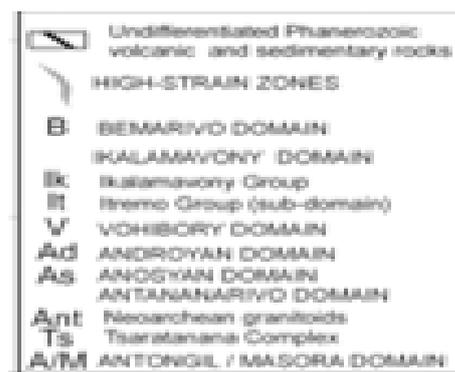
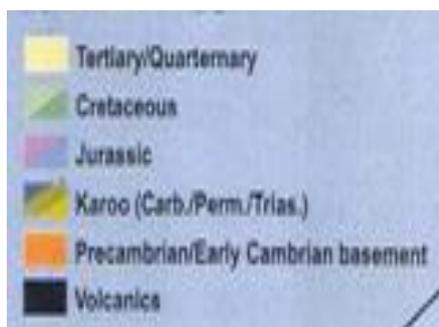


Figure 9: Carte géologique de Madagascar montrant le socle et les trois bassins sédimentaires : Morondava, Majunga et Diego (Modifié selon Besairie, 1973 ; RAZAKAMANANA, 1999 ; GEIGER, 2004).

Les dépôts du Karroo ont été contrôlés par une tectonique extensive, qui témoignait les variations de faciès et l'accroissement des épaisseurs en direction des failles normales, dans le bassin de Morondava-Tuléar.

A partir du Jurassique moyen, l'ouverture sub-méridienne des espaces océaniques du bassin de Somalie et du bassin de Mozambique entraîne un coulisement de Madagascar, encore lié à l'Inde, vers le Sud, le long de la faille transformante à l'emplacement de la ride de Davie. Cette phase durera jusqu'au Crétacé supérieur (GUYOT, 2002).

La séparation entre l'Inde et Madagascar au Crétacé supérieure entraînait la réactivation de la ride de Davie et remobilisait les failles normales, avec formation des horsts et des grabens. Cette phase de rifting est accompagnée d'une importante activité volcanique, tant effusive qu'intrusive. Celle-ci est à l'origine de la mise en place de très nombreux dykes basiques (doléritiques et basaltiques (Labradorites, Sakalavites)) ou acides (rhyolitiques), au sein du socle précambrien, et de l'épanchement des coulées volcaniques, du massif de l'Androy (GUYOT, 2002). Par conséquent, la puissance des séries mésozoïques augmente vers l'ouest et est suivit de la subsidence et du basculement dans la direction de la plate-forme ouest-malgache. Au Miocène moyen, (Malod *et al.* 1991) ont trouvé que les structures de la chaîne de Davie a subi un basculement vers l'Est et une extension générale de direction NW-SE. Dans la partie ouest de l'île, le basculement d'ensemble est vers l'Ouest, à la faveur d'une réactivation d'anciennes failles sub-méridiennes. Dans le bassin de Morondava Ce basculement modifiait le tracé hydrographique (Piqué *et al.* 1999, Salomon 1986 ; GUYOT, 2002).

Chapitre II : LA METHODOLOGIE ET LES DIFFERENTES APPROCHES

Pour mener à bien cette étude, on a adopté une approche classique qui se divise en général se divise en trois parties à savoir

- Les documentations et enquêtes ;
- Les travaux sur terrain ;
- Les travaux au laboratoire.

II-1 Les documentations

Bien sûr cette partie consiste à identifier et à rechercher tous les documents publiés scientifiques, techniques, sociaux et autres et existants concernant la zone d'étude.

II.1.1 Les ouvrages

La documentation permet d'avoir les connaissances nécessaires de la région. On aperçoit en sommaire .Egalement on peut bénéficier des renseignements sur les résultats de toutes les études et travaux déjà réalisés. Elle joue aussi un rôle important dans la rédaction, en tant que moyen de référence dans le devoir, mais surtout c'est le principal dossier de base pour l'orientation de l'étude. De ce fait , elle nous aide à se préparer dans la recherche proprement dite , et aussi dans la réalisation de la descente sur terrain.

Ainsi plusieurs types de documents peuvent être exploités : les thèses , les mémoires ,les publications, les résultats des études, les documents de projets ou programmes, les cartes, les images. Ils sont les produits des durs labeurs effectués par des chercheurs, des ingénieurs et des techniciens. Ils sont tous importants et sont complémentaires. Quelques-uns, datés de 1960 , servent de guide et ont été complétés dans les années 2008 par d'autres chercheurs . Certains sont approfondis et détaillés et développés par d'autres. Ils sont largement diversifiés.

Ces documents peuvent être trouvés dans divers lieux, dans les bibliothèques, les établissements publics et/ou privés et sur internet.

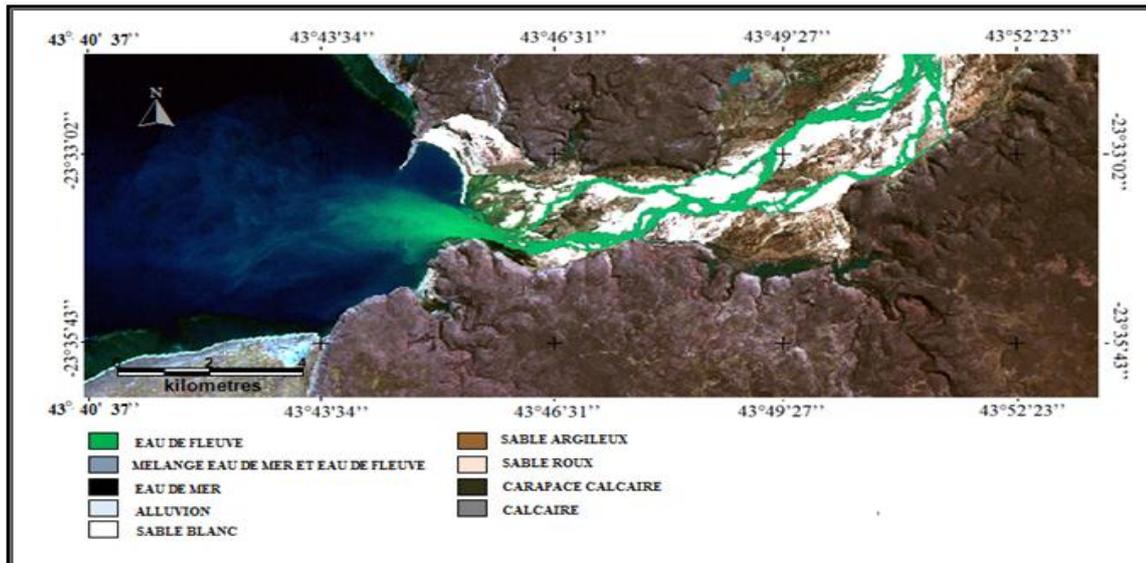
II.1.2 Les images satellites

II.1.2.1 Traitements des images satellites

Les données collectées par satellites se traduisent par des images satellites à plusieurs bandes et correspondent à la longueur d'ondes captées par le radiomètre. Les images sont traitées et analysées par un logiciel de traitement d'image satellite comme l'ENVI et Mapinfo dans le *NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017*

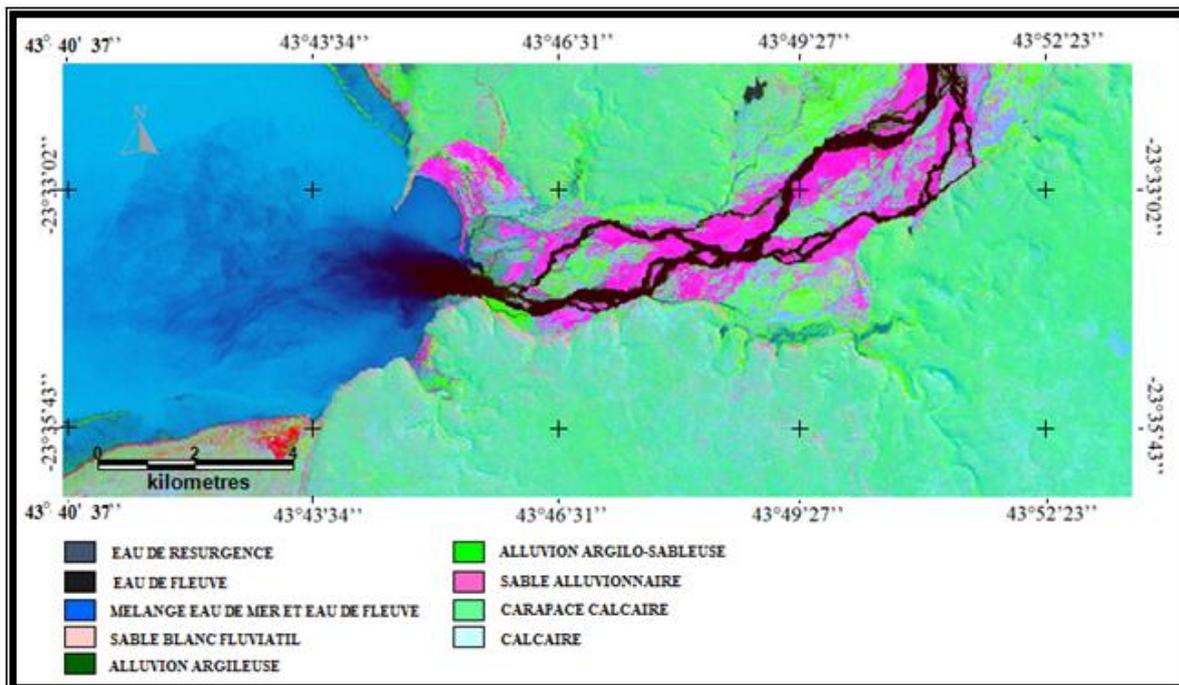
but d'obtenir des résultats qui ne sont autres que des images présentant les caractéristiques particulières qui méritent d'être étudiés. Pour les analyses des lithologies, nous avons fait le traitement en Composition colorée ou affichage en fausses couleurs, rapport de bandes (Band ratios), analyse en composantes principales (ACP) et le filtrage directionnel pour déterminer les linéaments sur le logiciel

1. Composition colorée 731Image RVB



Source : Traitement et analyse des Image Satellites sur ENVI

Figure 10: Carte discrimination lithologique en composition colorée 731 image RVB



Source : Traitement et analyse des Image Satellites sur ENVI

Figure 11: Carte RVB obtenue avec les trois premières bandes de l'ACP : CP 1, CP 2 ET CP

3

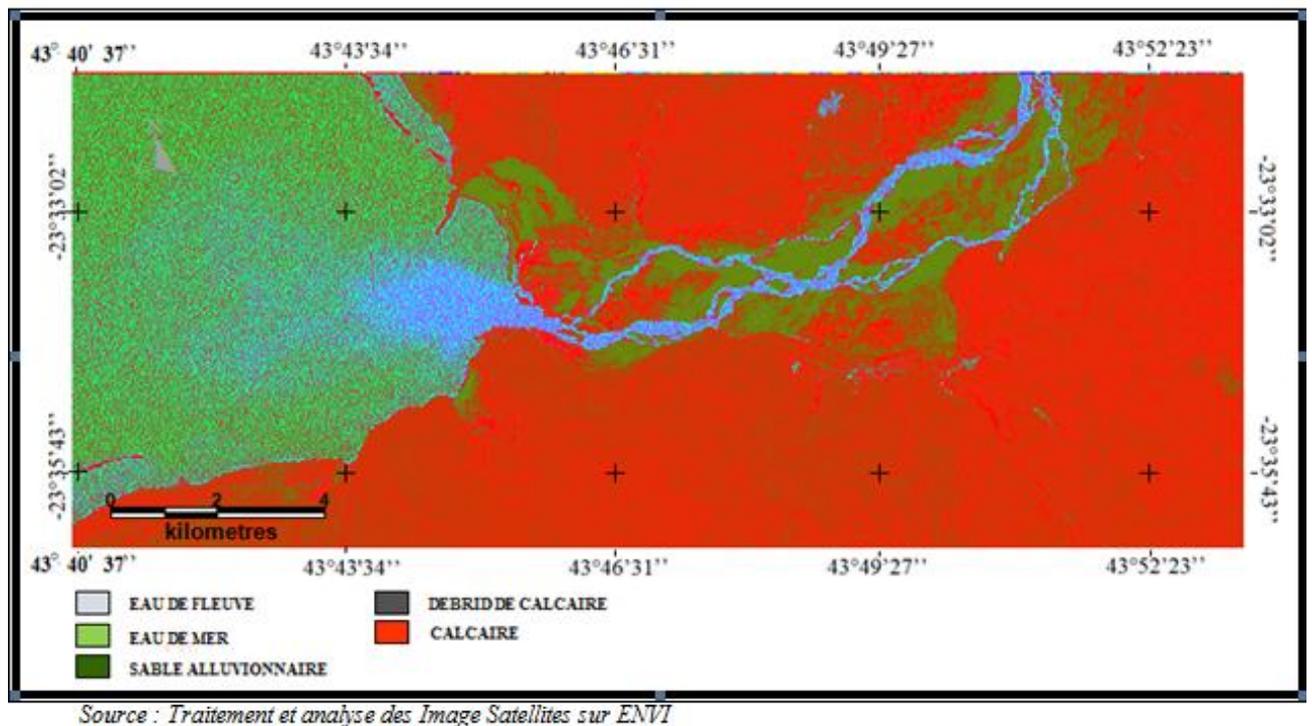
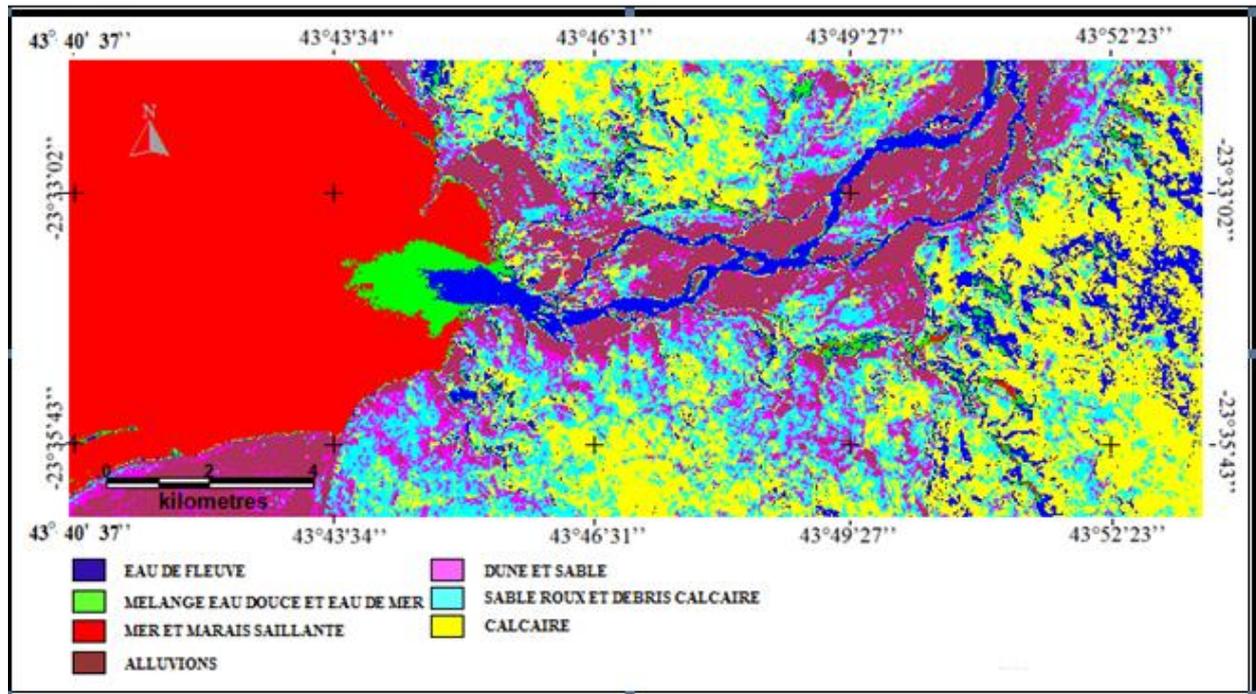


Figure 12: Carte Image RVB obtenue avec les néo bandes générées par les rapports 5/17/5 3/5

II.1.2.2 Envi

Ces analyses et traitements des images satellites précèdent tous travaux topographiques. Ces photos et images nous aident à élucider les aspects géomorphologiques du terrain et de délimiter le site. Dans ce domaine, les images permettent d'étudier les formes de terrain, les structures et l'écorce terrestre afin de faciliter la compréhension des processus physiques et géodynamiques qui modifient la croûte terrestre. L'image satellite est un outil intéressant, puisqu'elle accède aux informations sur la structure et les déformations, par exemple, les failles et les plis. Cette information est souvent combinée à d'autres sources de données pour obtenir des mesures complémentaires. L'image satellite permet aussi de planifier et de faire de la logistique, par exemple, la planification de campagnes de terrain ou de rous d'accès dans une région minière, la surveillance de projets, et par la suite la création de cartes de base sur lesquelles les données géologiques peuvent être superposées.

4. Composition 731 non supervisée



Source : Traitement et analyse des Image Satellites sur ENVI

Figure 13: Carte Image RVB nouvelle carte géologique obtenue de la classification non supervisée

II.1.3 La carte

Une carte est une représentation graphique sur papier, du terrain. Elle sert surtout de localiser les divers phénomènes identifiés reflétant la réalité sur terrain. On peut les localiser de deux manières ; par positionnement direct qui est les coordonnées, ils sont obtenus à partir des calculs des données provenant des outils graphiques , comme les échelles, les grilles...ou encore par mesure à l'aide d'un GPS. Par positionnement indirect, c'est une déduction par rapport à d'autres phénomènes déjà existants. Ainsi plusieurs types de cartes peuvent être déterminés.

Les conventions graphiques utilisées pour représenter les phénomènes sur une carte sont décrites dans sa légende.

II.1.4 Administrative

Une carte géographique est une représentation graphique d'une espace géographique. Le positionnement des éléments dans cette espace, sa localisation relative par rapport aux autres

espaces, son étendue sont mis en valeur. Elles servent à figurer des données géographiques, qui sont des phénomènes créant une configuration spatiale significative.

Les applications de ce type sont : la navigation, l'aménagement du territoire, les études démographiques, la limite administrative ou la communication etc.

L'étendue géographique d'une carte est très variable. Elle peut être très restreinte comme dans les plans d'architectes représentant un bâtiment ou un ensemble de bâtiments. Mais elle peut être très vaste, comme une carte géographique qui permet de représenter : les mers et océans, l'atmosphère, le sous-sol, une autre planète, un monde légendaire ou bien imaginaire.

II.1.5 La topographie et la géomorphologie

II.1.5.1 La carte topographique

Une carte topographique est une carte représentant le relief de la zone déterminée par altimétrie, les aménagements d'une région géographique de manière précise et détaillée. Ainsi des informations (coordonnées géographiques en trois dimensions constituées par la latitude, longitude, et altitude) relatives au plusieurs points qui couvrent la zone d'étude devront être acquises. Ils sont généralement fournis à partir des relevés topographiques, prélevés par un appareil approprié.

II.1.5.2 La carte géomorphologique

Comme la carte topographique, les cartes cartographiques, géomorphologiques consistent à représenter les formes du relief de la région. En outre, elle permet d'identifier la nature et la genèse de ces formes. Ainsi des notations peuvent être inscrites dans la carte qui nécessitent surtout d'une interprétation pour définir les diverses formes, exemples, vallées, versants, butte, crêtes, et présenter les processus des phénomènes d'érosion ou encore de sédimentation qui leur ont données naissance.

II.1.5.3 La carte géologique

Elle est la représentation graphique des affleurements observés à la surface du sol. Ces affleurements sont souvent recouverts par une faible épaisseur de formations superficielles récentes dont on ne tient pas compte.

Elle comporte fondamentalement des limites de couches cartographiées qui affleurent des informations des couches qui sont présentées, soit par une couleur affectée de notation, soit

par un habillage conventionnel affecté de notation, des signes et ou de valeur de direction et de pendage, etc.

Fréquemment des courbes de niveau (pourvu de valeur d'altitude), des structures tectoniques de la région à cartographier, sont présentées dans la carte géologique avec les différentes légendes.

La carte géologique permet de réaliser une coupe géologique. Ces deux résultats ont plusieurs finalités, exemple : la stratigraphie, pétrographie, recherche pétrolière et minière, hydrogéologie, histoire géologique etc.

La coupe géologique est obtenue à partir de la carte géologique et représente les strates sur un plan vertical les formations géologiques pour mener à bien ce travail une connaissance générale en géologie, une bonne analyse et interprétation de la carte géologique sont nécessaires.

II.1.5.4 Les perspectives

Les mis à jour des informations observées et interprétées sur des cartes sont très importants lors d'un projet d'étude. C'est qu'on attend de ce dernier , à savoir les conceptions de nouvelles cartes dans ce mémoire tout en se référant aux anciennes et aux résultats des études réalisées au laboratoire et sur terrains. Ces conceptions seront plus riches en informations et mises à jour selon la zone d'étude.

II.2 Les travaux du terrain

Logiquement, les travaux sur terrain suivent les documentations. C'est une étape inévitable et très importante dans une étude. Ils traitent quelques objectifs spécifiques afin d'atteindre le but de l'étude. Ainsi plusieurs méthodologies seront utilisées dans cette étape.

II.2.1 La cartographie

La cartographie désigne la réalisation et l'étude de différentes cartes qui seront exploitées dans ce travail de mémoire.

II.2.2 Localisation

Le déplacement dans la zone d'étude permet d'obtenir beaucoup plus des données précieuses et fiables concernant la zone étudiée. La mise à jour des informations récentes et disponibles sur la zone pourra apporter une nouvelle vision géologique de la zone étudiée.

Les mesures des coordonnées géographiques à l'aide d'un appareil de mesure (le GPS) vont permettre de délimiter cette zone, de déterminer l'emplacement, l'étendue ou/et l'épaisseur des affleurements, d'identifier les phénomènes géologiques et tectoniques affectant cette zone,

Des enquêtes auprès des autorités locales et de la communauté permettent d'identifier sur place l'occupation du sol, l'enregistrement de la localisation administrative non seulement sur une carte régionale et surtout sur une carte mondiale.

II.2.3 Affleurement

Les affleurements sont les représentations à la surface du sol des formations géologiques. À la limite de chaque affleurement, il est indispensable de définir la nature de la roche ainsi que ses constituants minéralogiques pour pouvoir les différencier les uns des autres.

Les affleurements vont être aussi localisés et mesurés géométriquement. Il faut parcourir toute la zone d'étude, car les affleurements peuvent se présenter aussi bien sur une surface plane que sur des versants, sur une pointe des collines ou des montagnes et même sur les fonds de bassins.

L'étude des affleurements aboutit principalement à l'établissement d'une carte géologique, de plus, elle donne une idée sur les autres études géologiques et géomorphologiques

Prendre les échantillons de formations est primordiales pendant cette étape. Ils sont, par la suite inventoriés et étudiés de façon détaillée.

II.2.3.1 La stratigraphie

Cette étude est également très importante car elle permet d'interpréter les mouvements tectoniques survenus et de déterminer la superposition des couches géologiques dans la zone. Les affleurements nous procurent des données exploitables. Cependant les flans des falaises issus de l'affaissement, ou d'une ouverture d'une faille, ou par les érosions, ou le long des fleuves et des rivières, donnent des informations sur les caractéristiques des couches.

Ainsi lors de la descente sur terrain, le long de la rivière de l'Onilahy, suivant les rives gauches et les rives droites, sur le flan de la falaise à Soalara, résultat de la faille d'Andrea seront réalisés.

En outre une campagne d'investigation a été réalisée surtout dans la zone d'exploitation. Quelques travaux de sondage utilisent le système de carottage. Ces travaux sont importants.

II.2.3.2 La pétrographie

permet de définir la nature de la roche :

-Identifier les minéraux ;

-Déterminer leurs proportions dans les roches, les structures et textures des roches de désigner l'aspect ou la forme ainsi que l'agencement, la granulométrie et la forme géométrique des minéraux.

II.2.3.3 La minéralogie

S'intéresse aux propriétés physiques et chimiques des espèces minérales :

-Structures cristallines ;

-Compositions chimiques ;

- Propriétés mécaniques (densité, dureté, clivage, cassure, fracture, toucher...)

- Propriétés optiques (couleur, trace éclat...) les liaisons entre les atomes

-Phases (solide, liquide ou gazeuse) ,

- Solubilités (dans l'eau et dans les acides) ;

- Propriétés électriques et thermiques.

II.2.3.4 L'étude structurale

Procède à identifier les différents éléments tectoniques et les déformations cassantes et souples dans la zone, donne des résultats scientifiques sur la direction, le sens et le pendage.

II.2.3.5 Le forage paramétrique

1. Le Forage

Le forage est un type d'investigation d'un terrain. Il se présente par une excavation verticale, horizontale ou oblique dans le sol. Il peut être réalisé manuellement avec des outils ou à l'aide des matériels mécaniques. On obtient, à la fin, des échantillons qui définissent relativement la stratigraphie des terrains traversés par l'excavation.

Le foreur arrive sur le point choisi avec les matériels, outils, équipes et accessoires...et commence le creusement du terrain par rapport au objectif prédéfini, Ils existent plusieurs méthodes de forage suivant les matériels et outils utilisés, on va voir certains :



SOURCE : sondage sur le site

a=machine à forage, b=Tubage PVC et EPI

Figure 14:Les matériels de forage

a) **Le MFT**

Appelé Marteau à Fond de Trou, cette méthode utilise un marteau au bout de la tige de Forage. Le mouvement du marteau est obtenu à l'aide de la pression de l'air produit par un compresseur .Ceci permet de creuser le sol. Les échantillons qui sortent du trou se présentent sous formes de poussières.



Source : forage sur le site

a=Forage , b= marteau fond de trou

Figure 15: Photo Illustration MFT

NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017

b) Le rotary à boue

Comme indiqué c'est un sondage par rotation. Les outils utilisés sont soit un tricône soit un trillâmes. Pour faire sortir les échantillons à la surface sous forme de cutting, on utilise de l'eau mélangée avec des produits comme la bentonite (boue de forage) par courant un circuit fermé (fosse à boue-pompe-trou-fosse à boue).



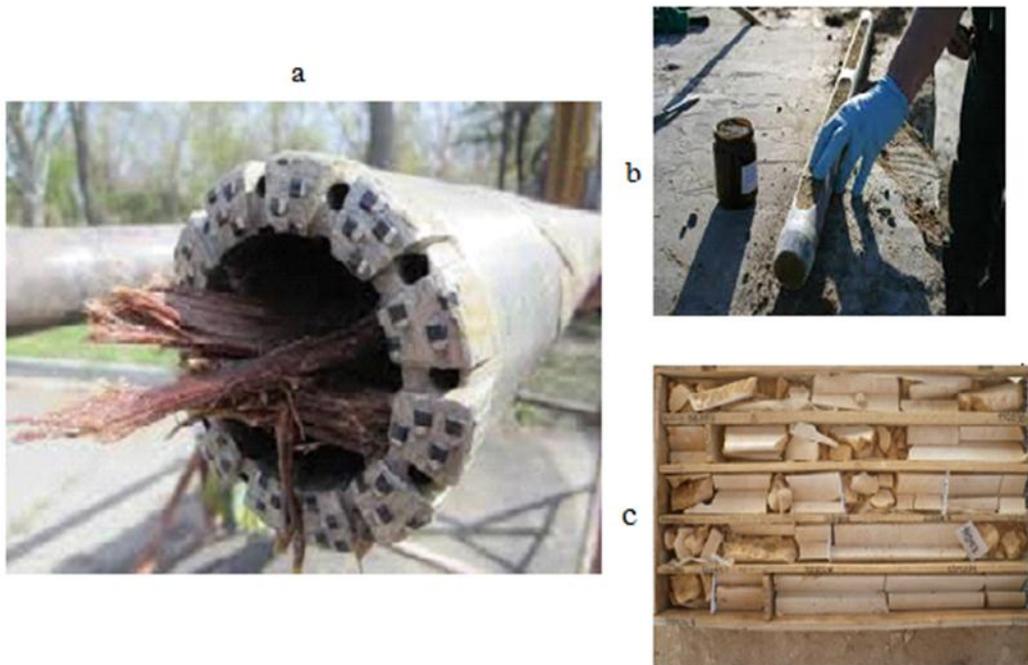
Source : forage sur le site

a=boue, b=tricônes ,c=excavation=échantillon

Figure 16 : Photo illustration rotary a boue

c) Le rotary par carottage

C'est la méthodologie utilisée. Elle est également un forage par rotation. Il utilise un outil appelé carottier muni à l'extrémité de couronne à prisme, ou couronne à diamant de forme pleine, concave, étagé ou annulaire. Les échantillons intacts sont emmagasinés dans un tube qui se fixe avec l'outil de creusement qui seront enlevé chaque fois que le tube est plein.



Source : Forage sur le site

a= Marteau fond de trou , b=carotte, c=carotte découpé

Figure 17: Photo illustration carottage

II.2.4 Echantillonnage

Une identification des carottes sera faite pour une étude plus approfondie. Les carottes remontées au niveau des outils sont placés et stockés dans des boites à carottes ou des baques à échantillons

II.2.4.1 Demi-carottes

En faisant un logging, le géologue définit la partie à analyser , ainsi il indique les intervalles à échantillonner en faisant une trace le long de la carotte. Les carottes sont fendues en deux parties (ou sciées). Le géologue décrit soigneusement l'échantillon, notant les changements lithologiques et les changements de teneur. L'échantillon peut représenter de 1 à 3 mètres de demi-carotte dans une minéralisation uniforme. Chaque échantillon est placé dans un sac accompagné d'une étiquette portant un numéro et indiquant les analyses désirées. Une partie de la même étiquette est placée dans la boîte de carotte et une autre demeure dans le livret d'étiquettes.

II.3 Travaux de laboratoire

Les échantillons qu'on a déjà prélevés et qui sont destinés à analyser lors des demi-carottes sont mis au laboratoire. Et pour que ces échantillons soient représentatifs, on a procédé à un quartage des sédiments avant de passer aux analyses.



a= carotte dans la case, b=Observation à l'œil nu

Figure 18: Photo traitement des échantillons

II.3.1 Quartage

II.3.1.1 Le but de quartage

Le quartage a pour but de diviser l'échantillon brut à étudier en proportions égales jusqu'à l'obtention de la quantité réduite désirée, qui sera toujours représentative de l'échantillon de départ.

II.3.1.2 Mode opératoire

On peut effectuer en divers approches. Dans notre cas , on a un quartage par la méthode manuelle du cône qui se déroule comme suit :

- Tamisage de notre échantillon à l'aide d'un tamis ;
- Verser l'échantillon en un cône régulier sur une feuille ;

À l'aide d'une règle, on a séparé, verticalement par son sommet, en deux moitiés symétriques puis on a écarté l'une des deux, l'une des deux moitiés de quelques cm en prenant garde à ce qu'un minimum de poudre reste sur la feuille de base

On scinde ensuite les deux moitiés par un nouveau plan vertical perpendiculaire au premier, puis on a séparé l'échantillon de sorte que l'on obtient quatre quarts de cône identique

On prélève et on rassemble les quarts 2 et 4 avec lesquelles l'opération est répétée jusqu'à l'obtention de la quantité désirée.

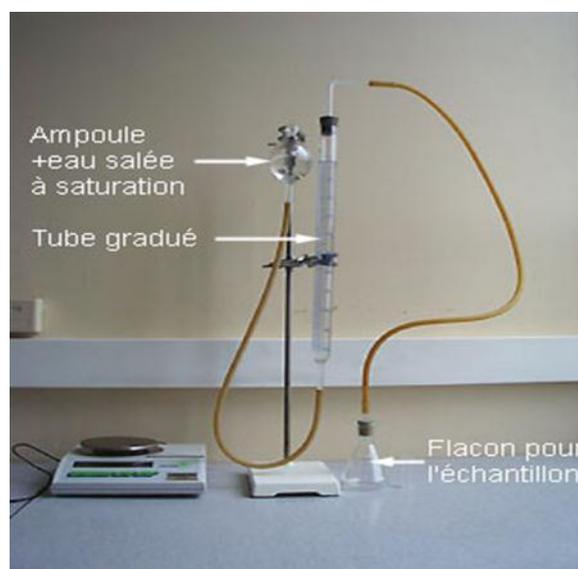
II.3.2 Calcimétrie

II.3.2.1 But de manipulation

Calculer le pourcentage de CaCO_3 dans les échantillons étudiés se fait en comparaison avec un échantillon témoin de carbonate pur (100 % CaCO_3)

II.3.2.2 Principe de manipulation

La calcimétrie permet de mesurer le pourcentage de CaCO_3 dans une roche, une formation... la calcimétre de Bernard est l'appareil de mesure la plus fréquemment utilisée dans cette analyse.



Source : https://search.yahoo.com/yhs/search?hspart=ddc&hsimp=yhs-ddc_bd&type=450_pr__alt__ddc_dss_bd_com&p=image+calcimetre

Figure 19 : Photo calcimetre de BERNARD

Pour connaître la concentration de carbonate de calcium dans la roche, il faut procéder à la dilution d'un échantillon d'une masse donnée à pression et température standard par l'acide

chlorhydrique (HCl) dilué. On mesure le volume de CO₂ dans un tube manométrique après attaque de la roche à l'acide chlorhydrique (HCl) suivant la réaction suivante :



On utilise l'eau saturée en sel pour éviter la perte de CO₂ à partir de leur réaction avec H₂O selon la réaction suivante :



II.3.2.2.1 Mode opératoire :

On prépare une solution saturée de NaCl.

Tarer la balance , puis peser 0.25g de l'échantillon broyé.

On remplit au même niveau le niveau de la solution saturé en NaCl du tube gradué et de l'ampoule du calcimètre et on note la division qui correspond au v1 sur le tube gradué.

On introduit 0,25 g de carbonate pur ou 0,25 g de l'échantillon à étudier dans l'Erlenmeyer.

On remplit un petit tube avec de l'acide chlorhydrique (HCl) et on l'introduit dans l'Erlenmeyer avec une pince et avec précaution pour ne pas le verser.

On bouche l'Erlenmeyer avec le bouchon relié au tube gradué de calcimètre de Bernard.

On renverse l'acide contenu dans le tube sur l'échantillon.

On agite de temps en temps l'Erlenmeyer pour activer la réaction.

À la fin de l'effervescence on note la division correspond au V2 sur le tube gradué.

Le volume de CO₂ dégagé est la différence des volumes V2-V1.

II.3.3 Observations de roches

II.3.3.1 Observation à la loupe

Les échantillons peuvent être observés à l'œil nu. Mais pour plus de précision la loupe est un outil incontournable pour la reconnaissance des roches. L'objectif de l'étude est l'identification de la nature de la roche. La loupe permet de déterminer les divers composants visibles de la roche.

II.3.4 Traitement des données

Il concerne les différents traitements des données cartographiques réalisées.

a) Mapinfo

C'est un logiciel de système d'information géographique qui permet d'obtenir des cartes relatives aux objectifs voulus. A partir des données de bases de types RASTER ou VECTEUR les cartes scannées de FTM ou encore le BD500 FTM. Un traitement et une analyse sont entrepris en faisant des calages, des digitalisations, des découpages, des analyses thématiques. Ces multiples manipulations aboutissent ainsi à des nouvelles cartes thématiques.

b) Gesfor

Ce logiciel est destiné à traiter les résultats des travaux de forage. Il montre les stratigraphies, les essais de pompages et une cartographie. Nos propres recherches et expériences ont montré qu'il est également praticable pour les travaux de sondages. Une fois les données insérées à partir d'une saisie très simple dans le logiciel, la coupe de sondage s'affiche automatiquement avec les lithologies illustrées par légendes appropriées.

c) Envi

Ce logiciel permet de traiter et d'analyser les images satellites provenant des prises des images par LANDSAT ou SPOT... Les images obtenues par lot de 7 à 8 bandes sont téléchargées et sont chargées dans ENVI. Des compositions à partir des bandes appropriées sont effectuées et suivant les objectifs à atteindre. Le logiciel est capable de nous faire découvrir les différents réflectances mesurer des objets prises en photos en les plaçant suivant les couleurs de base Rouge, Vert et Bleu et/ou en expérimentant sur d'autres traitements spécifiques.

La démarche suivie pour réaliser ce mémoire est résumée sur la figure ci-après :

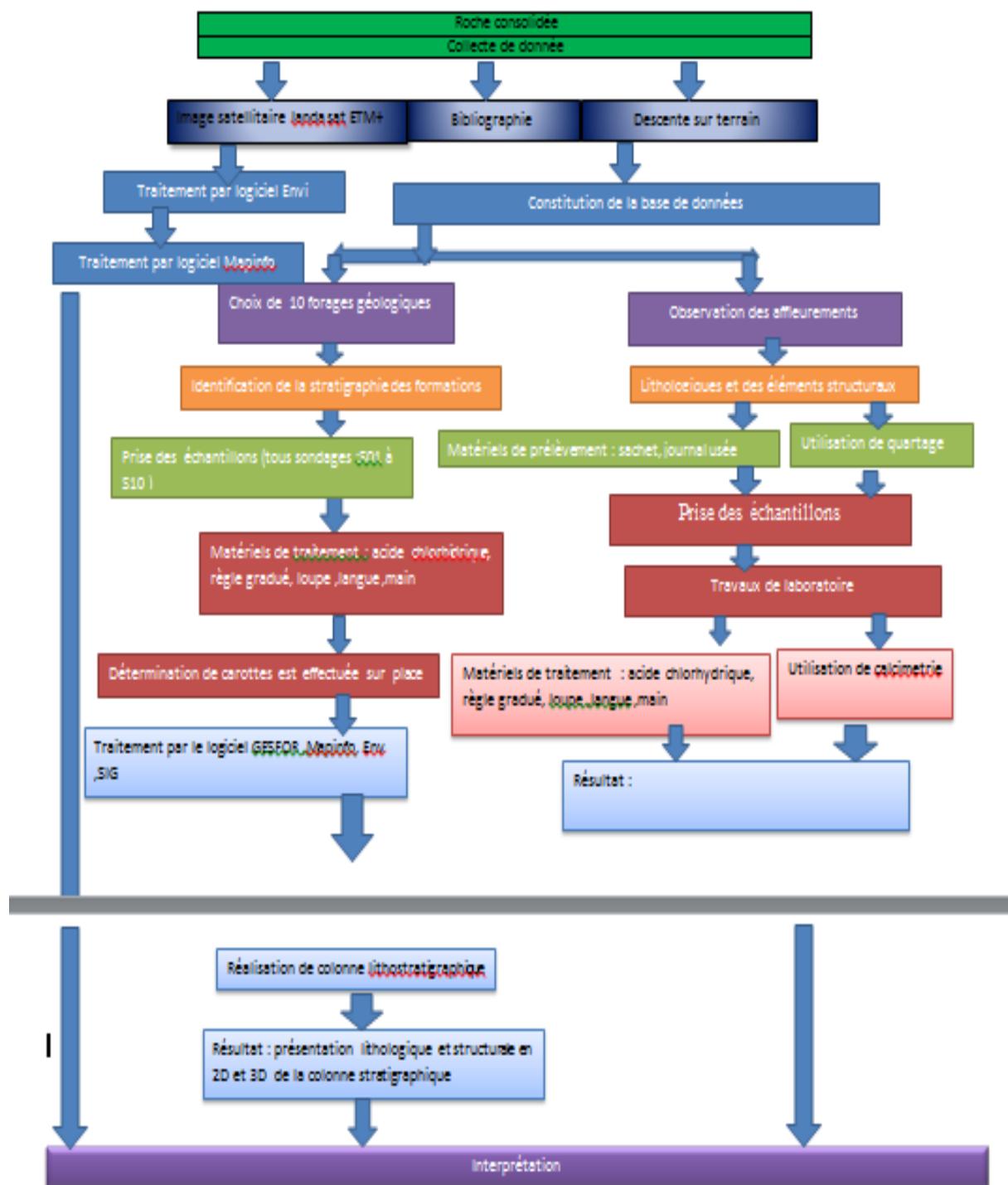


Figure 20: méthode de traitement des données

Chapitre III RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 Formation géologique

III.1.1 Stratigraphique

Des travaux de forages ont été réalisés par le projet calcaire suivant des mailles bien précises dans le but de l'exploitation de calcaire. On a profité de cet opportunité pour mener à bien notre étude .Dix (10) points de forage vont être présentés et analysés dans ce travail (page 42 et 43) et les autres données observées sur les affleurements.

La photo, le tableau et la coupe ci-dessous montrent les résultats de ces 10 forages. Ces derniers sont réalisés dans la partie nord de la zone de formation calcaire correspondant à celle de Soalara (commune Soalara), dans une espace de 200m avec une profondeur moyenne de 50m.

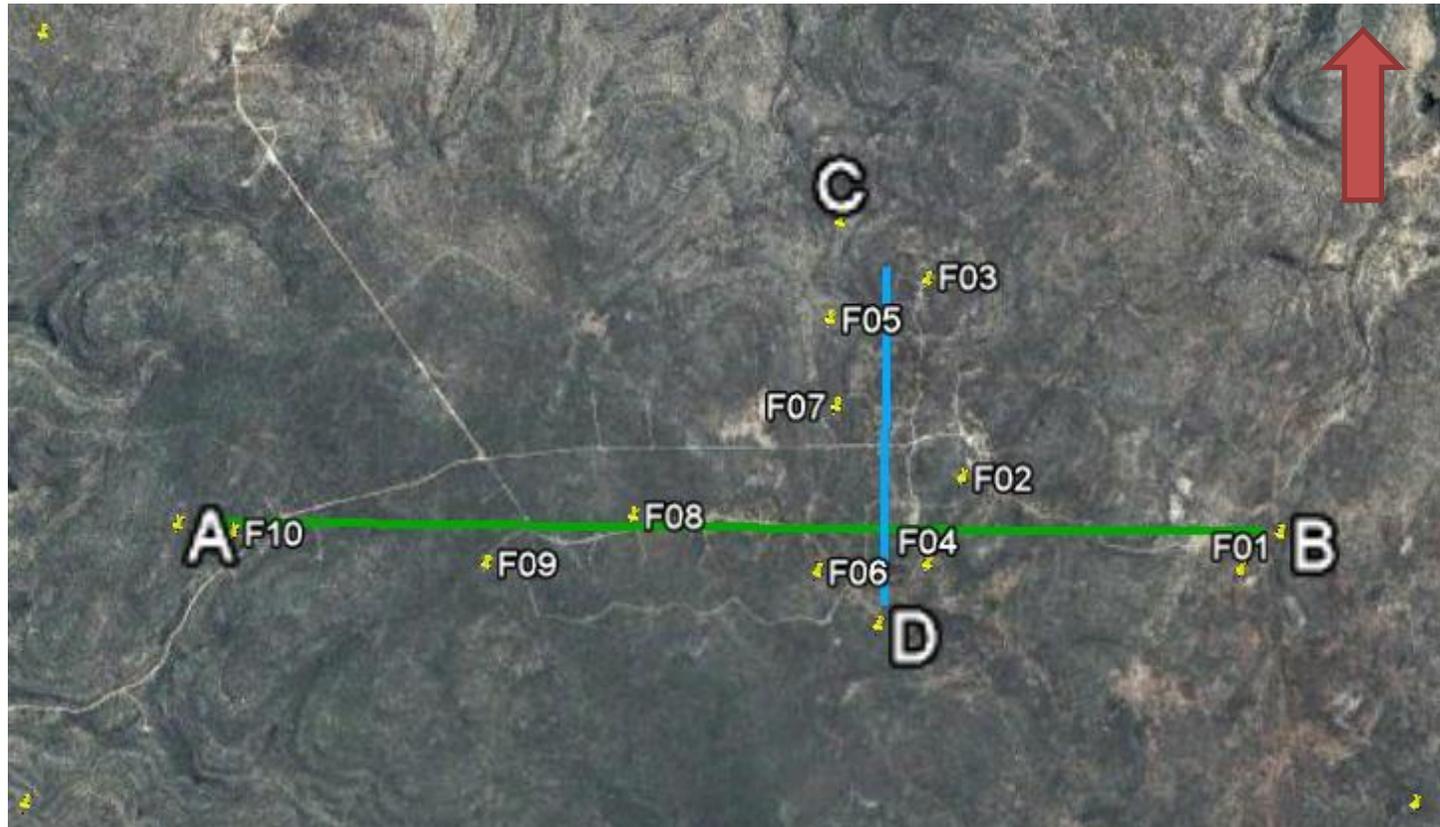
Evidemment, on observe des formations sédimentaires qui se présentent sur différentes caractéristiques. La pétrographie des échantillons prélevés qui sont essentiellement. Les roches calcaires a été étudié. Elles sont parfois intercalées par d'autres formations tel que les argiles, les marnes...d'épaisseurs variables .Ces formations correspondent aux formations Tertiaire d'âge éocène, appartenant au bassin de Morondava .Elles constituent l'ensemble de la zone d'étude, s'étendant entre l'Onilahy et la Menarandra (Battistini R. (1964).

En outre ,ces résultats montrent l'existence de nombreuses variations d'altitude jusqu'à environ 80m. Cette zone présente ainsi de dépressions, de corniche rocheuse, de cuesta (Salomon J.N in Battistini . 1964)

Tableau 6: Localisation des points de forage

POINT DE FORAGE		COORDONEES EN UTM 38K		PROFONDEUR
F01	X	378154	31	
	Y	7389569		
F02	X	377120	50	
	Y	738989		
F03	X	376983	50	
	Y	7390607		
F04	X	376991	50	
	Y	7389580		
F05	X	376633	50	
	Y	7390459.78		
F06	X	376585	46	
	Y	7389548		
F07	X	376651.31	43,9	
	Y	7390148.25		
F08	X	375900	50	
	Y	7389745		
F09	X	375358"	48,8	
	Y	7389567		
F010	X	374419	50	
	Y	7389671		

a- Coupe géologique



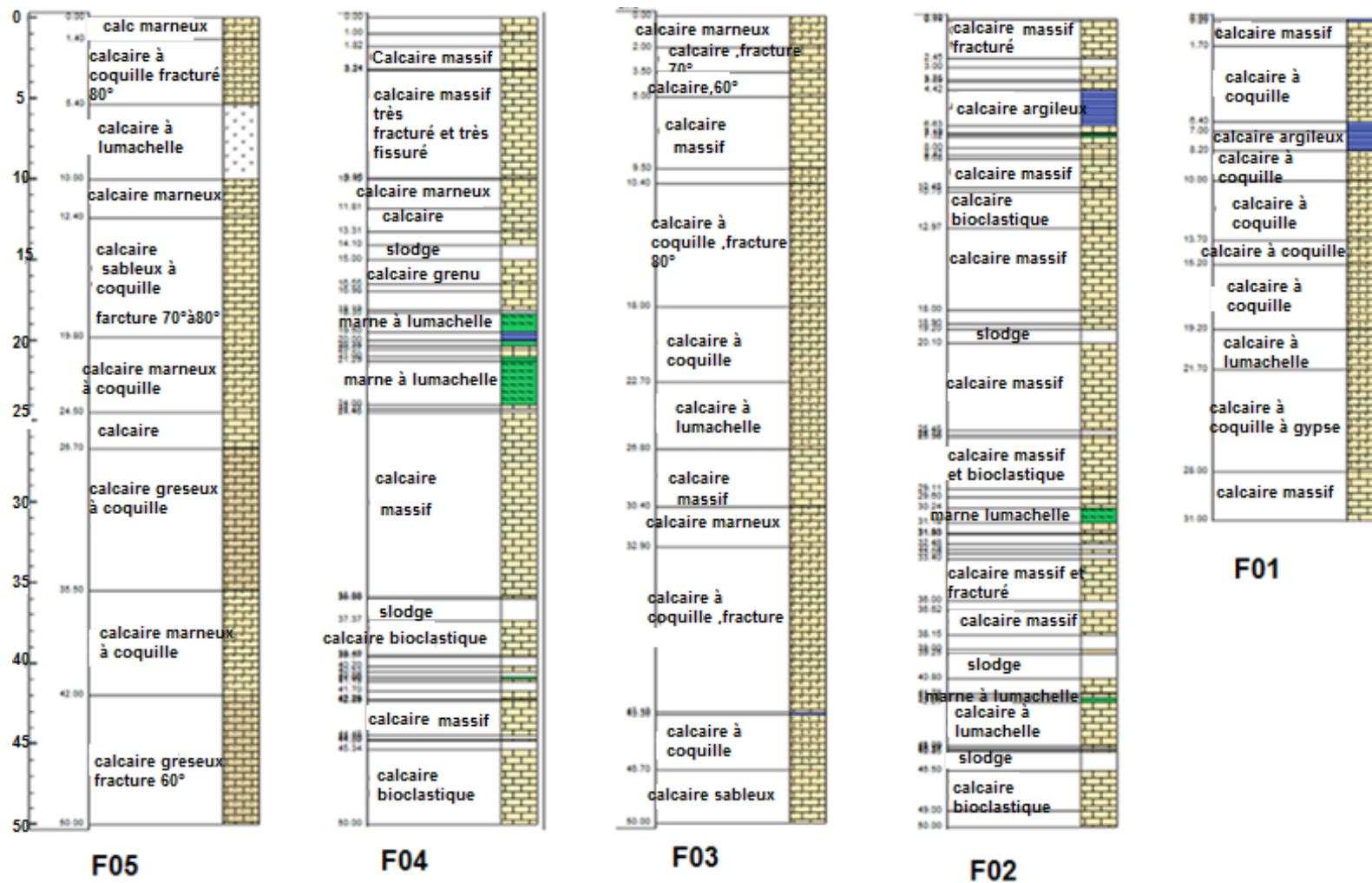
Source : Google Earth

Figure 21:Lignes de coupe réalisées

Cette présentation des résultats de forage est insuffisante pour atteindre l'objectif de cette étude. En conséquence, on a essayé de tracer des lignes de coupe géologique afin d'y déterminer les variations stratigraphiques dans cette zone. Ainsi on a défini deux lignes différentes : l'une (A-B) de direction ouest-est, l'autre (C-D) de direction nord-sud.

Les lignes de coupe ont été définies pour étudier la stratigraphie des formations qui constituent la région, et son étendue dans cette région. La direction ouest-est a été choisie suivant la chronologie relative de dépôt des couches sédimentaires. La direction nord-sud présentera en quelques sortes la coupe transversale de la formation. Les résultats de cette présentation vont permettre de déterminer la superposition des couches suivant les temps géologiques et l'étendue de ces couches dans cette région d'une part et d'autre part, d'avoir une idée sur sa projection dans toute la zone d'étude.

a-1 Colonnes stratigraphiques des forages F05 ,F04,F03,F02,F01:

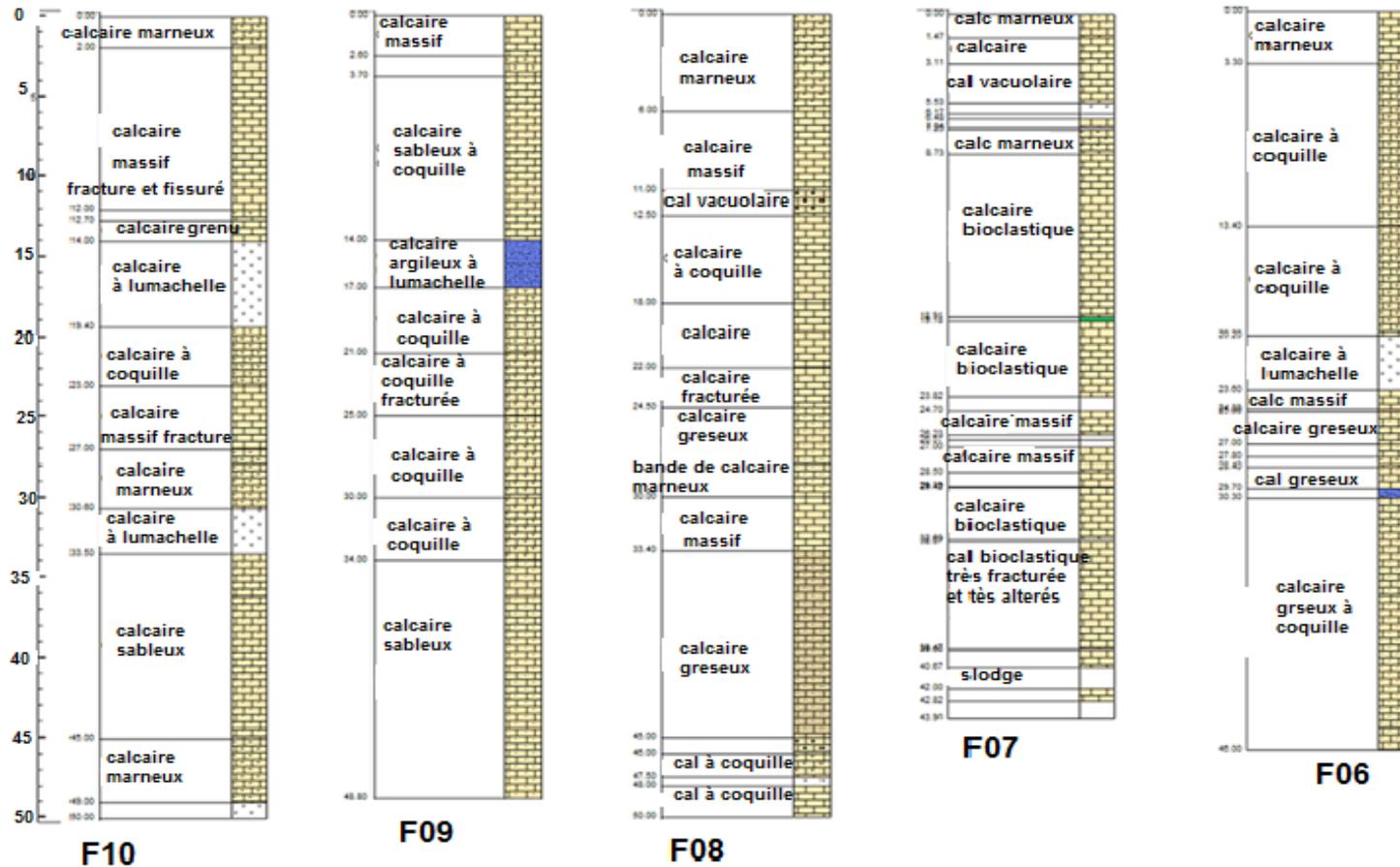


Source :traitement de données sur GESFOR

Figure 22: Colonnes stratigraphiques des forages : F01, F02, F03, F04, F05

NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017

a-2 Colonnes stratigraphiques des forages : F06, F07, F08, F09, F10



Source : traitement de donnée sur GESFOR

Figure 23: Colonnes stratigraphiques des forages : F06, F07, F08, F09, F10

La plupart des logs de forage montrent la superposition de couches sédimentaires dans laquelle le dépôt de calcaires est de diverses natures. Cela résulte de cycle de changement des phénomènes géologiques et des climats selon la période de sédimentation. Ils sont alternés par des formations autres que les calcaires.

Tableau 7: les formations données par les forages réalisés

NATURE DE CALCAIRE	Epaisseur en (m)	AUTRES FORMATIONS	Epaisseur en (m)
Calcaire massif	60 ,5	Argile	
Calcaire grenue	8	Marnes	
Calcaire Massif fracturé	26		
Calcaire marneux	27		
Calcaire gréseux	17	Conglomérat	
Calcaire sableux	30,5	Boue	
Calcaire argileux	5	Marne calcaire grenu	
Calcaire à lumachelle	26	Marne	
Calcaire lumachellique marne bioclastique	47	Marne à coquille	
		Marne à lumachelle	6,5
Calcaire marneux à coquille	11,5	Marnes à coquille	
Calcaire gréseux à coquille	8,5	Marne azoïque très fracturé	
Calcaire sableux à coquille	17,5	Marne argileuse	
Calcaire argileux à lumachelle	3		
Calcaire à coquille, fracturé	69		
Calcaire poreux à coquille	5		
Calcaire gréseux, bande de calcaire marneux	6		

Source : Traitement et analyse des données

Les calcaires dominent jusqu'à 100% pour certaines colonnes sur toute l'épaisseur de la formation pour tous forages réalisés. En détails les calcaires à coquilles imposent par sa nature sur les calcaires impurs (ou mélangés avec d'autres roches) et ceux des calcaires purs pour la plupart des gîtes. On dit qu'il s'agit de calcaire pur car le pourcentage de CaCO_3 est supérieur ou égal à 95%. Cela veut dire que le milieu de formation de ce calcaire se fait dans un milieu à haute température et à forte pression. Toutefois certains gîtes présentent des intéressantes couches de calcaires purs et un important dépôt d'origine mixte. Par ailleurs , 9/10 des forages ayant des profondeurs de 50 m sont marqués par la présence des fractures ou des fissures qui entaillent la formation calcaire. Elle sont dues à l'instabilité du socle.

Tableau 8: Formations dominantes dans les Forages réalisés

NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017

FORAGE	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08	F09	F10
Profondeur du forage	31	50	50	50	50	46	43,9	50	48,8	50
Épaisseur des couches de calcaires	29	39,44	50	39,75	50	46	39,1	50	48,8	50
Pourcentage des couches calcaireux	99,35	78,88	100	79,5	100	100	89,07	100	100	100
Épaisseur des calcaires coquillés	24,5	17,61	30,9	9,66	36	36,8	33,68	12	31,4	13,6
Pourcentage en calcaires coquillés	84,48	44,65	61,8	24,30	72	80	86,14	24	64,34	27,2
Épaisseur des calcaires impurs	1,2	2,56	8	2,65	11,8	8	3,95	23,1	14,8	21,1
Pourcentage des calcaires impurs	4,14	6,94	16,00	6,67	23,60	17,39	10,10	46,20	30,33	42,20
Épaisseur des calcaires purs	4,5	19,27	11,1	27,44	2,2	1,2	1,47	14,9	2,6	15,3
Pourcentage des calcaires purs	15,52	52,25	22,20	69,03	4,40	2,61	3,76	29,80	5,33	30,60

Source : Traitement et analyse des données

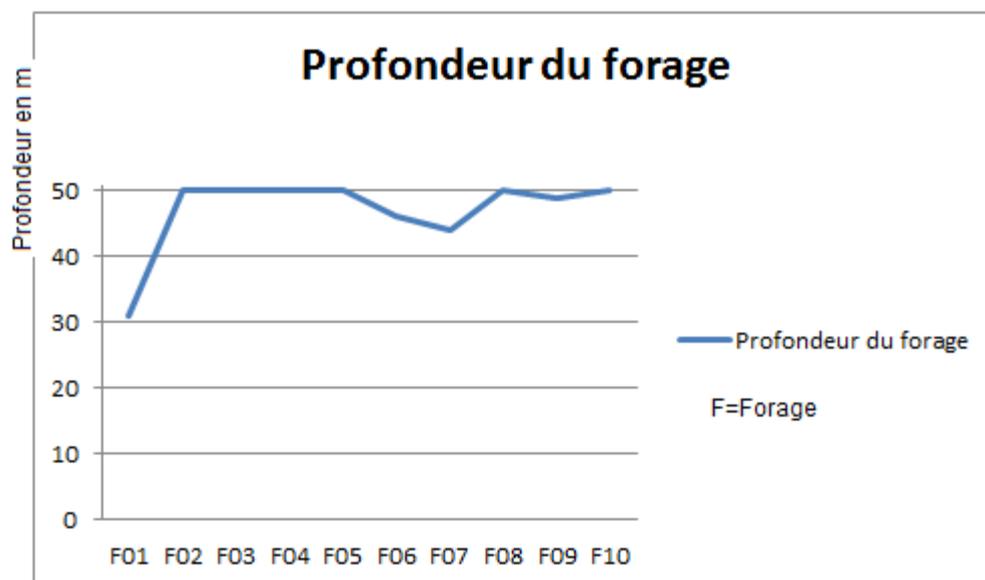


Figure 24: courbe de la profondeur de chaque forage

Cette courbe est obtenue à partir de données chiffrées sur le tableau 8 et montre la profondeur de dix forages par rapport à la surface. Ces positions permettent de savoir plus la structure profonde et la formation géologique de la zone.

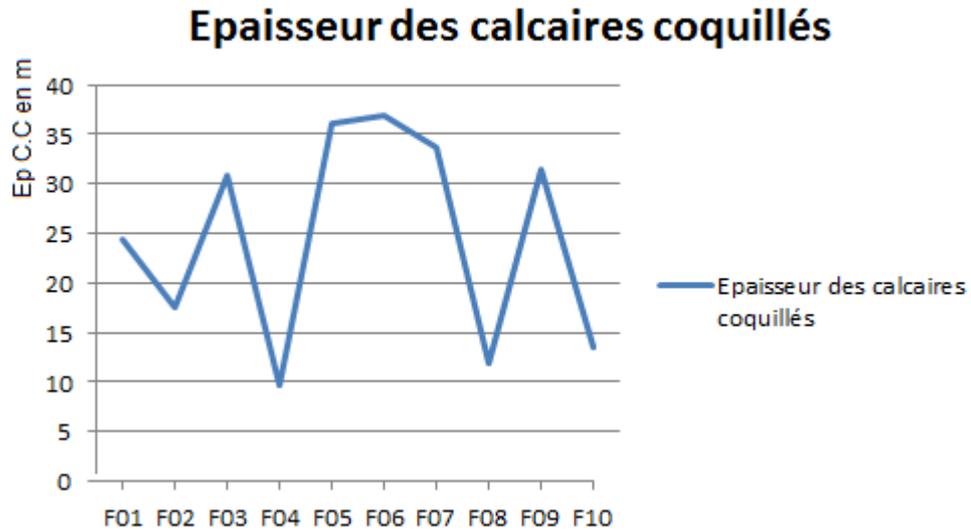


Figure 25: Courbe montrant l'épaisseur de couche de calcaire coquillée

Cette courbe est obtenue à partir de données chiffrées sur le tableau et montre l'épaisseur de calcaire coquillé de chaque forage. En F04, la couche de calcaire coquillé est très élevée, ce qui signifie que la période de transgression était très longue, avec de climat chaud et de profondeur peu profonde.

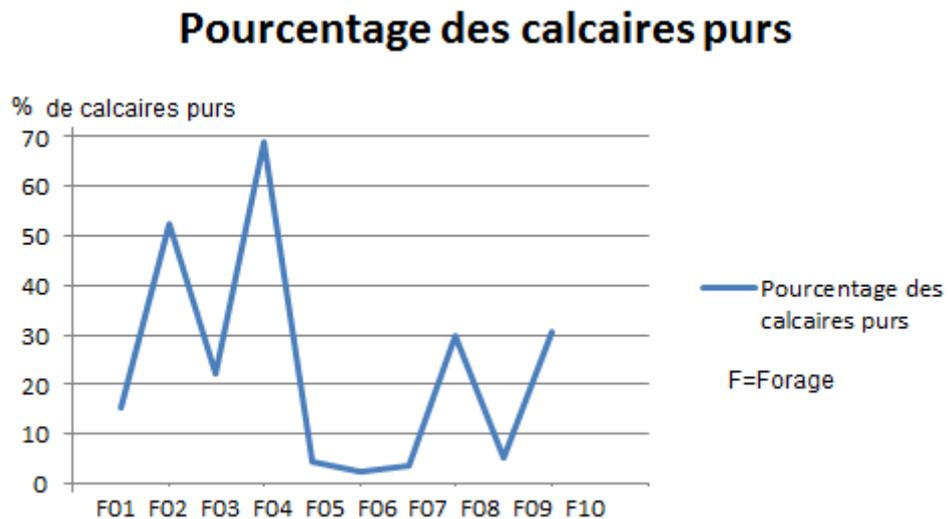


Figure 26: courbe montrant les pourcentages de calcaires purs

En F03 les pourcentages de calcaire pur est moins élevé par rapport au F04 qui a des pourcentages de calcaire purs très élevés. Cela indique que la période de transgression était moins longue.

Il s'agit de roche calcaire pure car la teneur en CaCO_3 est comprise entre 100 et 95%.

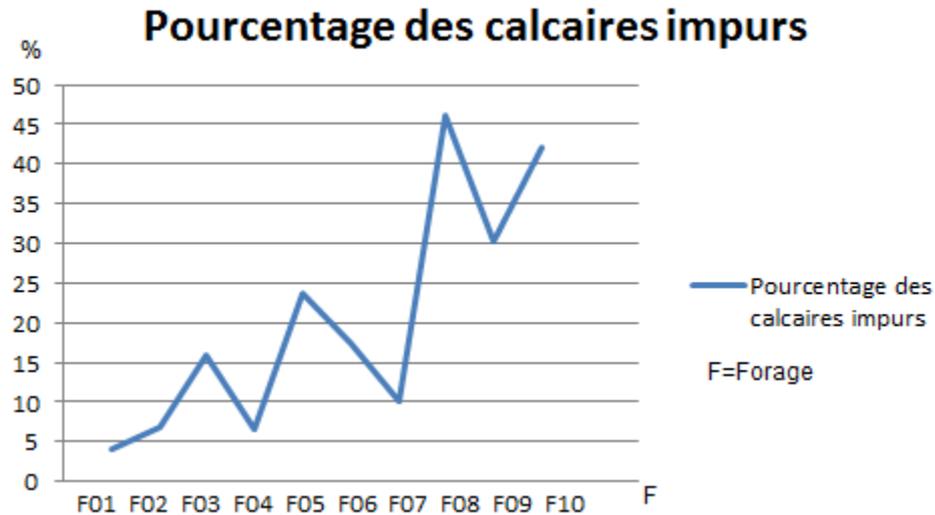


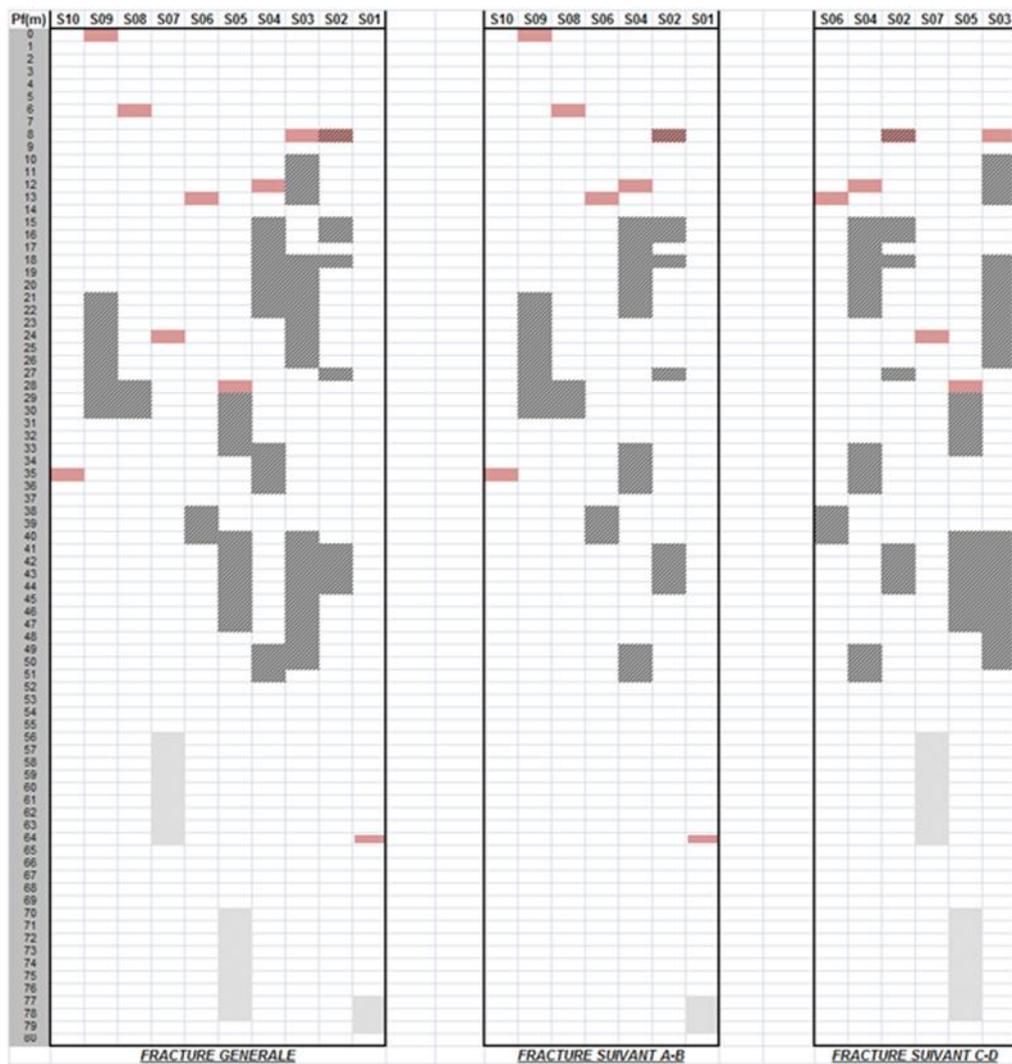
Figure 27: Courbe montrant les pourcentages de couches de calcaires impurs

En F07, les pourcentages de calcaire impur sont très élevés. Cela montre que le phénomène de transgression était longue.

Il s'agit de roche calcaire impur si la teneur en CaCO_3 est inférieur à 95% , c'est-à-dire cette roche est composée d'autres formations.

L'analyse des carottes prélevées des forages montre d'importante fractures. Elles se situent en général sur deux niveaux. Le premier groupe est très fréquent et se trouve dans les 40 premiers mètres. Le deuxième groupe est moins important , à la profondeur plus de 80m. Ces déformations sont plus ou moins discontinues au niveau supérieur. Ces interruptions se présentent dans les forages (F07, F10...).Elles sont rares aux niveaux inférieurs. Mais elles sont confirmées par les apparitions des résurgences ou exurgences, au pied des flancs de la falaise, environ 80m par rapport à la surface de la zone étudiée, surtout le long de la rive droite du fleuve Onilahy. Cela infirme l'hypothèse de l'existence d'interconnexion des fissures. Toutefois, elle confirme l'existence de réseaux hydrogéologiques puissants dans cette formation calcaire, appelée également réseaux Karstiques. Le réseau principal est défini par les fractures de niveaux inférieurs. Les fissures supérieures seront des affluents saisonniers.

On ne connaît pas encore exactement la profondeur des fractures et des fissures. Nous avons observée seulement sur terrain des fractures et fissures inclinées. Ce sont des couches d'âge Eocène qu'on étaient traversées par le forage parce qu'elles sont représentées par des calcaires massifs et des calcaires à coquille.



Source : traitement et analyse de données sur GESFOR

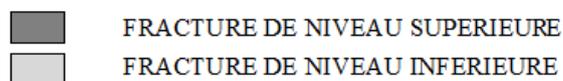
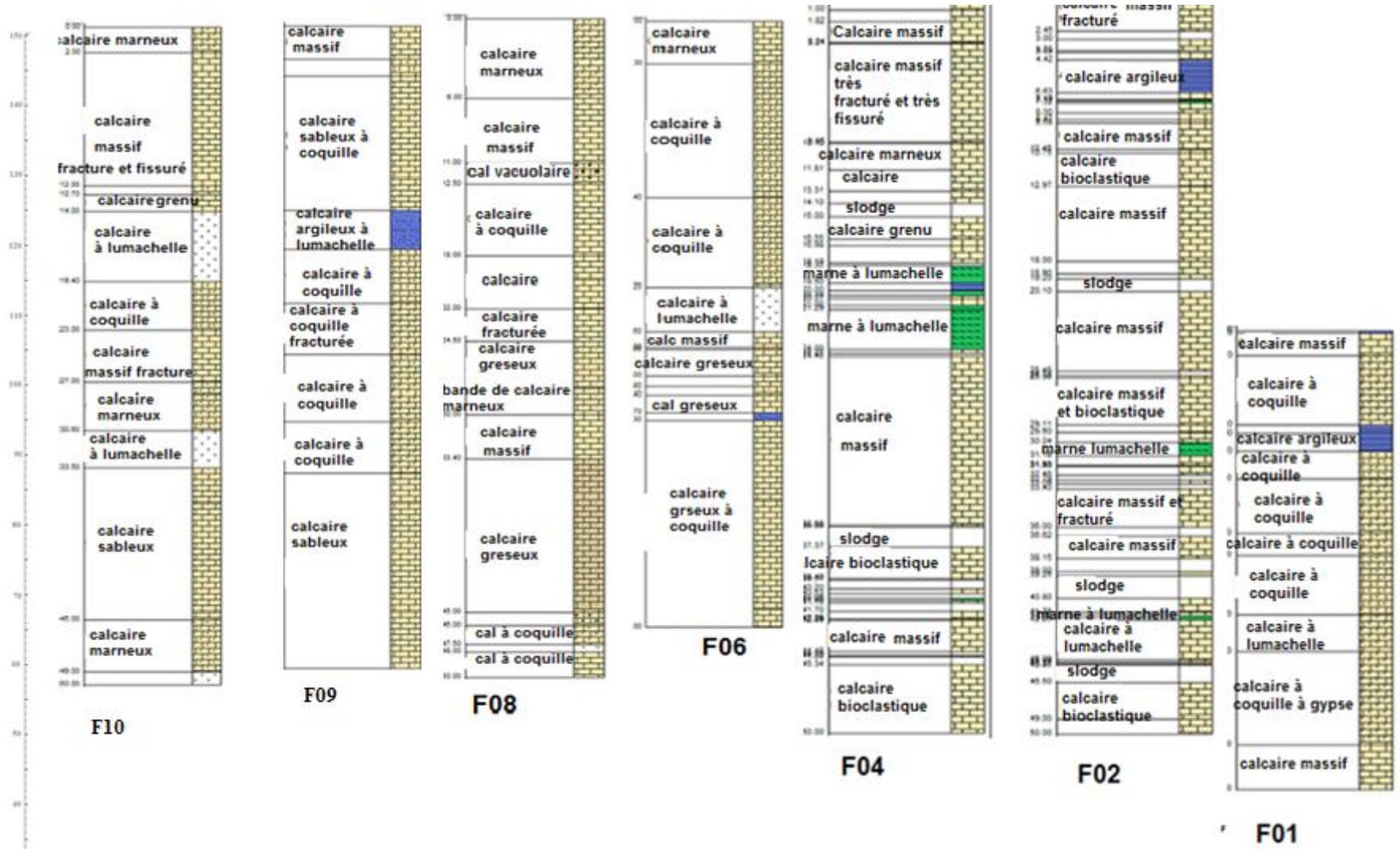


Figure 28: Positions des fractures et fissures

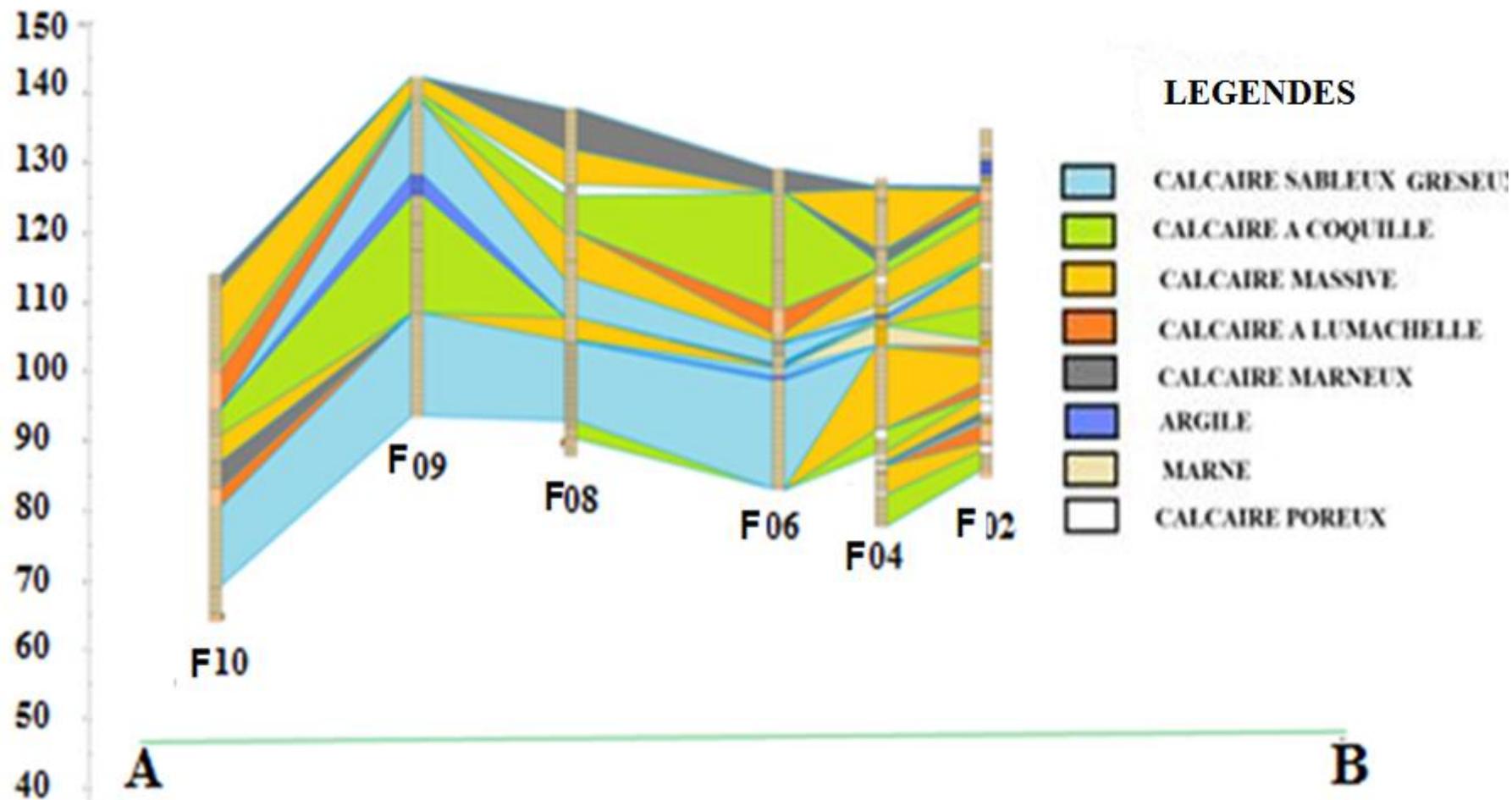
a-3 Colonnes stratigraphiques des forages géologiques F01 à F10 et leurs corrélations suivant la direction



Source : Traitement et analyse des données sur GESFOR

NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017

Figure 29: Colonnes stratigraphiques des forages suivant la coupe A-B



Source : Traitement et analyse des données sur GESFOR

Figure 30: Corrélation stratigraphique est-ouest suivant la coupe A-B

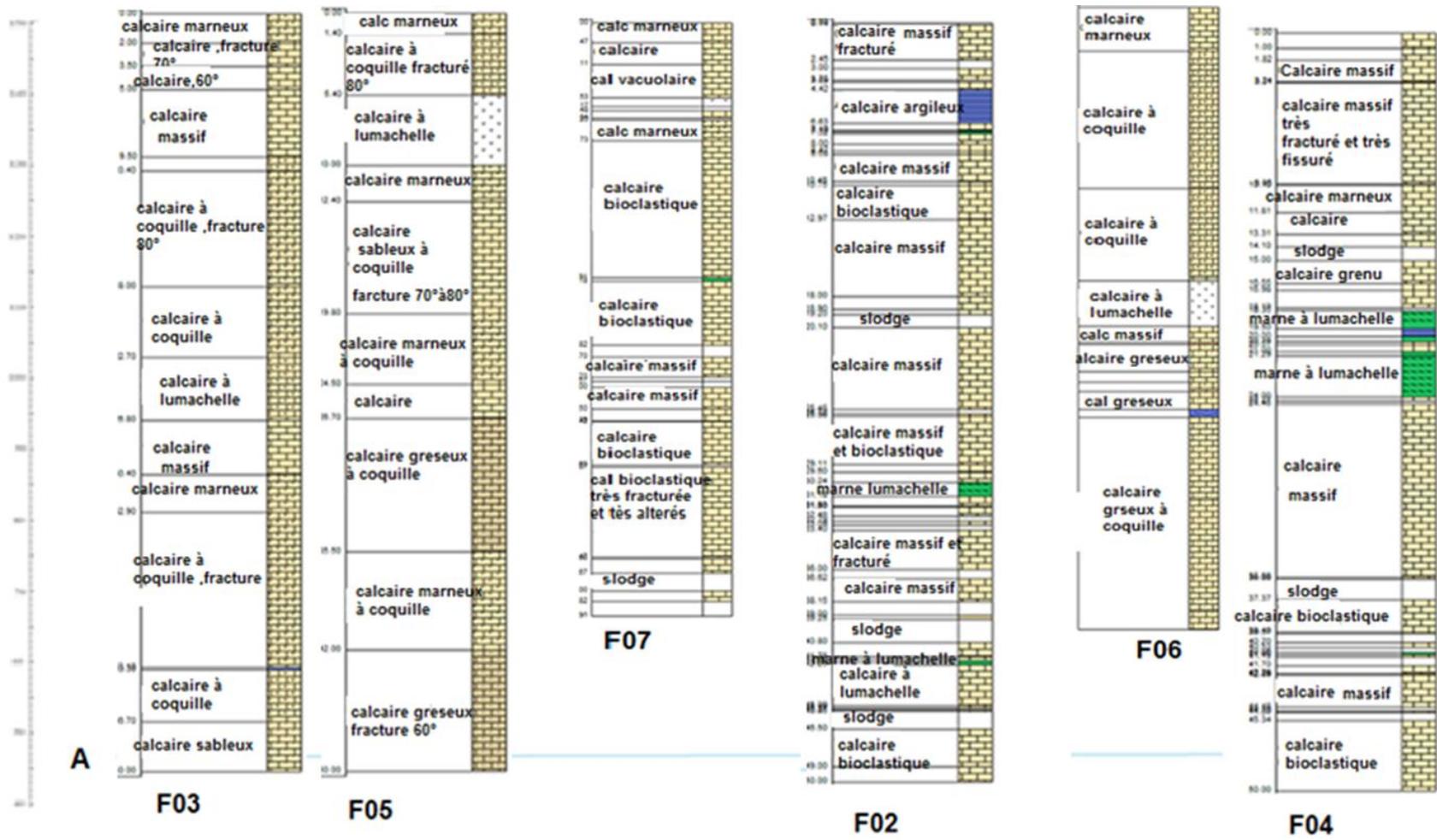
NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017

La coupe géologique obtenue montre encore la prédominance de la couche calcaire par rapport aux autres formations.

Suivant la direction Ouest-Est, on ne voit pas la structure monoclinale caractéristique des couches sédimentaires observés non seulement dans le bassin sédimentaire de Morondava mais aussi dans les autres bassins. Autrement dit, il y a une continuité irrégulière, c'est-à-dire une discontinuité des strates. Les épaisseurs des couches sont inégales d'Est en Ouest comme celles des calcaires à coquilles observés dans la partie supérieure de la formation. Elles sont de deux mètres (2m) d'épaisseur, depuis de F09 à l'Ouest, puis cinq mètres (5m) au niveau de F08. Un peu moins de vingt mètres (20m) au niveau de F06, elles deviennent quatre mètres (04m) en F02; c'est pareil pour les calcaires massifs qui se trouvent à 90m d'altitude. A l'Ouest leur épaisseur sont environ cinq mètres (5m), elles sont presque invisibles en F09, de nouveau elles s'épaississent jusqu'à ce qu'elles aient des épaisseurs de demi-mètre (0.5m) au niveau de F06 et F04. Elles réépaississent à l'Est avec une épaisseur de dix mètres (10m).

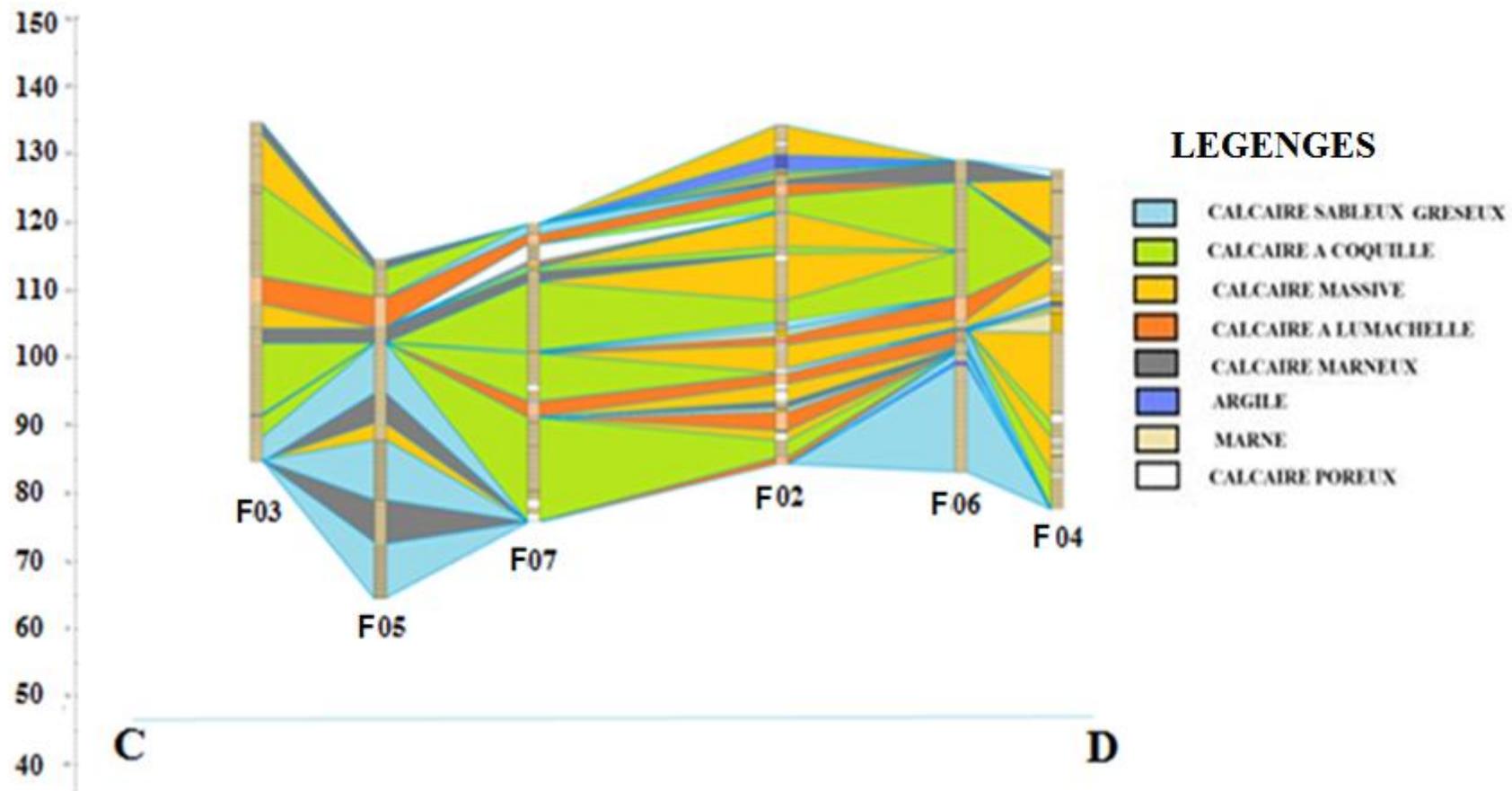
Elles sont découpées dont quelques-unes disparaissent ou apparaissent brusquement en certains points. C'est la particularité de la formation. Elle est la conséquence des mouvements tectoniques qui ont affecté la région, suivis des phénomènes de retrait et de l'avancée de la mer, (d'érosions et des dépôts) des sédiments marins ou continentaux. Des successions des périodes de régression et de transgression marines ont eu lieu. De ce fait, on distingue des dépôts d'argile, des lumachelles, aussi des dépôts mélangés, des marnes, des calcaires gréseux, de calcaire argileux.

a) Coupe de Forage suivant C-D



Source : Traitement et analyse des données sur GESFOR

Figure 31: Colonnes stratigraphiques des forages suivant la coupe C-D



Source : Traitement et analyse des données sur GESFOR

Figure 32 : Corrélation nord-sud suivant la ligne de coupe C-D

Suivant la direction nord-sud on fait une coupe transversale de la formation. Cette coupe a pour but de déterminer la répartition et l'étendue des couches.

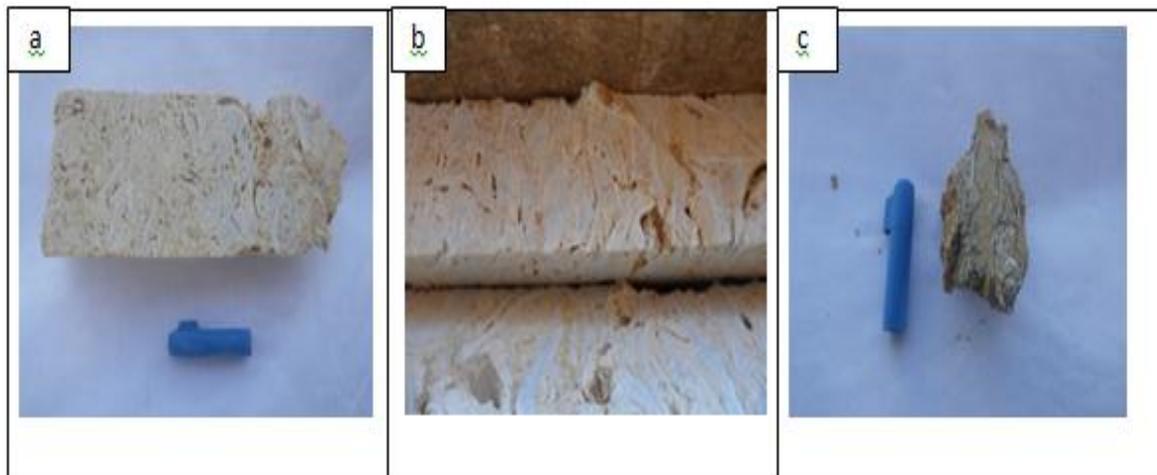
La région est également caractérisée par des superpositions des couches de calcaires de diverses natures. On peut distinguer des continuités non effectives des couches. On note de nombreux découpages comme ceux des couches de calcaires coquillés. Au niveau des forages F05 sont mises à jours la disparition et l'apparition de couche de calcaire massif, de lumachelles, de marnes de calcaires marneux et à certains niveaux de plusieurs forages.

Ces irrégularités des couches justifient de nouveau les manifestations de fortes activités géologiques et climatiques durant la période de l'éocène. Certaines stratifications dans la région se présentent comme de couche uniforme, d'autres comme un simple dépôt. Il est alors difficile d'atteindre l'objectif, c'est-à-dire de faire la projection de ces stratifications dans l'espace.

b. Résultat des observations

Les échantillons prélevés ont permis de présenter quelques différents types de calcaires identifiés dans la zone étudiée.

b.1 Calcaire à fossile



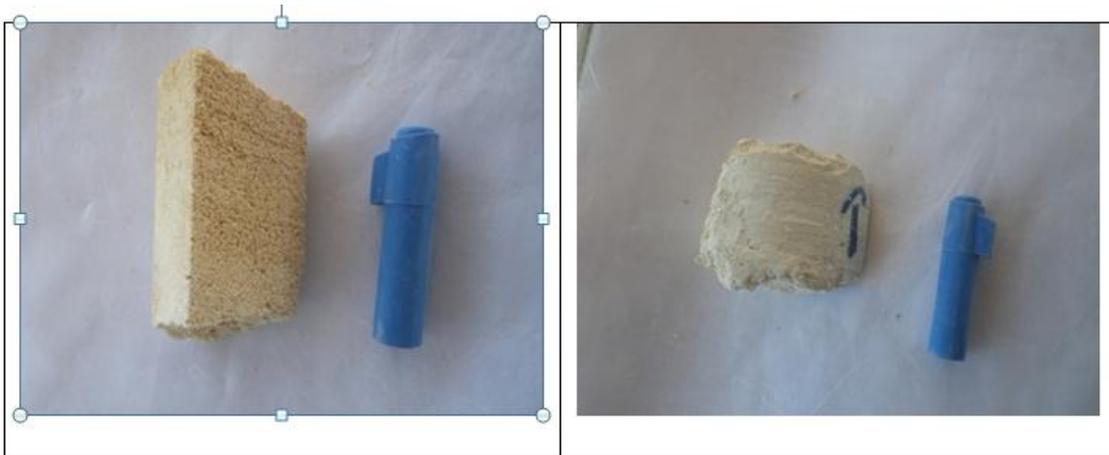
SOURCE : étude sur terrain

Figure 33:a=b=c : Calcaire à huitre

Ces roches présentées dans les photos montrent des calcaires qui ne sont pas purs. En fait , ils présentent en majorité des fossiles, c'est-à-dire des calcaires à huitre ,qui sont cimentés par le

calcaire. Ceci montre certainement une période de transgression marine de longue durée ou de régression marine de courte durée. Elle est marquée par de dépôts des sédiments marins riches en coquille ou également riches en fossiles continentaux. Ces dépôts dominent dans la composition de la couche ou ils constituent la grande partie la roche.

b.2 Calcaire massif



SOURCE : étude sur terrain

Figure 34:calcaire massif

Du point de vue pétrographique, ce type de calcaire est différent de ce qui est cité ci-dessus, en fait, il est très homogène, compact et est composé à 95% de CaCO_3 . Cette composition se joue surtout avec la température et la pression lors de la sédimentation de la roche. Ce type de calcaire a une bonne résistance mécanique à la déformation triaxiale. Donc à un certain niveau, le calcaire de Soalara présente un bon matériau, dans le domaine de construction ainsi que pour le traitement chimique des minerais.

b.3 Calcaire vacuolaire

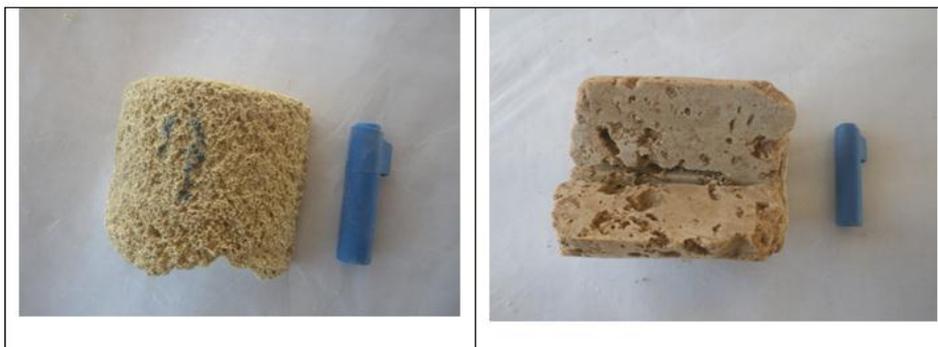


Figure 35:calcaire vacuolaire

Un autre type de calcaire a été aussi identifié .Le calcaire poreux : il présente des creux macroscopiques. Ceci montre que ce calcaire n'est pas parfaitement compact dès sa formation. La roche n'est pas pure .Sa composition est un mélange des argiles et de sables...soit elle est fissurée. Ces conditions favorisent l'attaque chimique extérieure à la roche.

b.4 Gypse

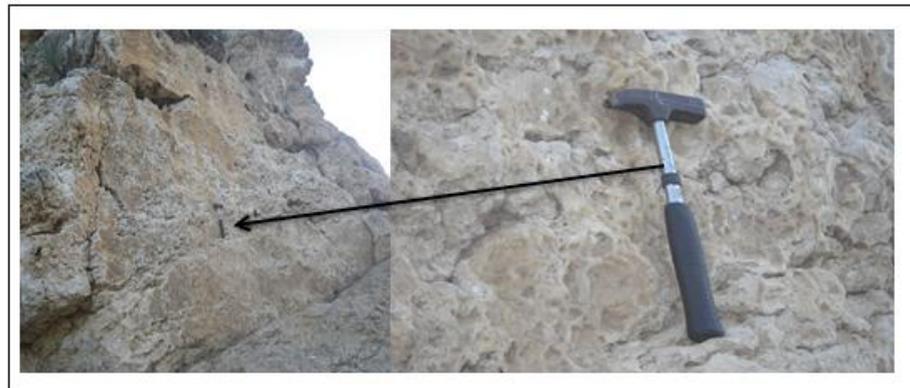
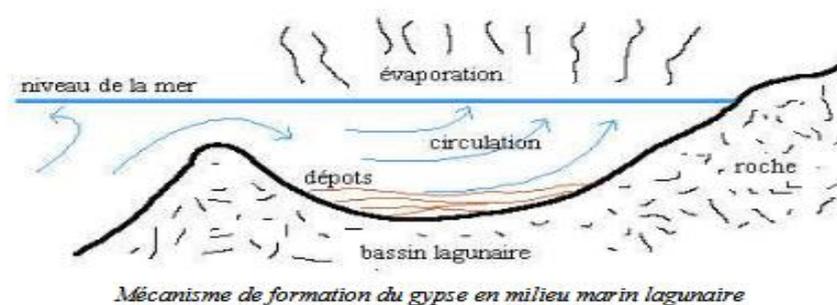


Figure 36:Gypse

Le gypse de formule chimique (CaSO_4) se forme dans un milieu lagunaire à faible température et à faible concentration saline. La fluctuation incessante des eaux douces et eaux de mer au cours du temps géologique pendant la période de régression et transgression marines sur la zone qui devient une zone lagunaire. Elle favorise la précipitation du sulfate de calcium CaSO_4 par évaporation d'eau salée et la formation de gypse.

Mécanisme de formation de gypse :



Source : google 2016

Figure 37: Montrant le mécanisme de formation de gypse

b.5 Conglomérat

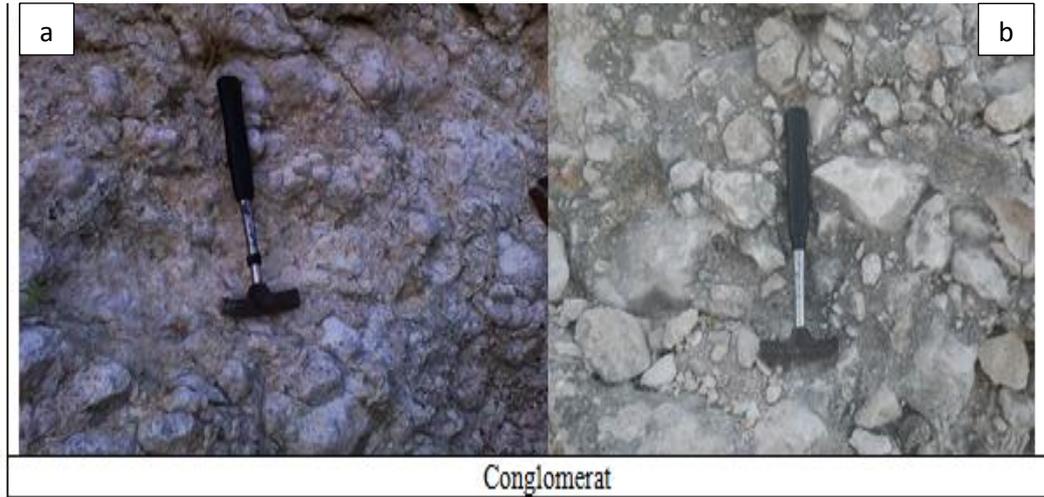


Figure 38: a) Orthoconglomerat et b)Paraconglomerat

Orthoconglomerat car il est composé des clastes qui se touchent et les graviers sont transportés tandis que le paraconglomerat est composé de clastes anguleux et entourés de matrice et non transportés mais en suspension dans un flux turbulent.

Les conglomérats sont composés de morceaux discernables liés entre eux par un ciment naturel. Ils ont été formés au moment où la mer envahissait une surface primitivement continentale c'est-à-dire pendant la période de la transgression.

b.6 Fossiles observés sur terrain



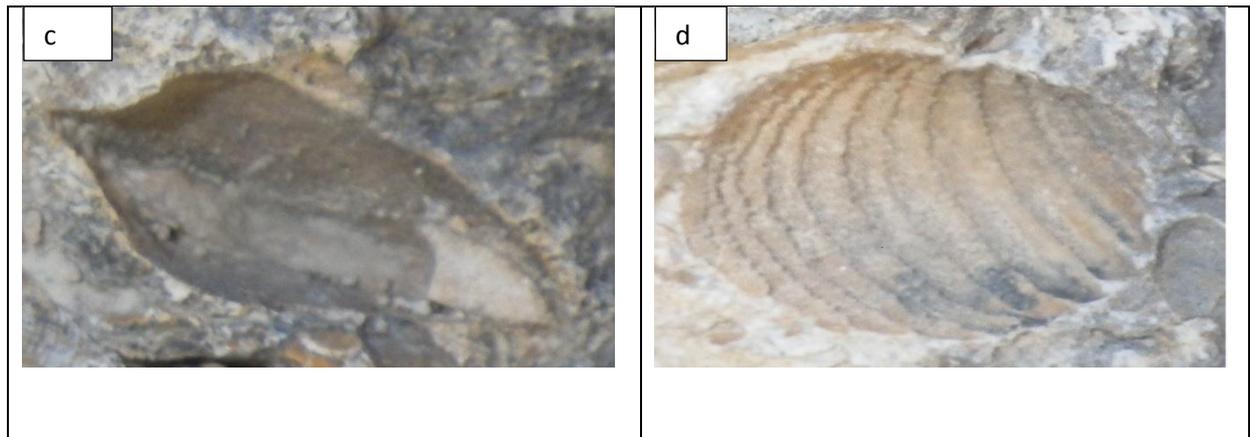


Figure 39: fossile observé dans le terrain : a= mollusque ,b= poisson fossile ,c=algue et d=mollusque

b.7-Calcaire oolithique ferrugineux



Figure 40 : calcaire oolithique ferrugineux

Cette roche calcaire montre qu'elle s'est formée dans un milieu marin à climat chaud et moins profond. La couleur rouge de la roche signifie que la période de régression avait une longue durée et le sédiment était en contact avec l'atmosphère. Dans ce cas, l'ion de l'hématite se déposait, se désoxyde et libère l'ion ferreux (ou ferrique) qui est responsable de la couleur rouge. L'ion ferreux (ou ferrique) a teinté cette formation et conduit à la formation de roche calcaire oolithique ferrugineux. On l'appelle calcaire oolithique car la dimension des œufs est inférieure à 2mm.

b.8 -Calcaire récifal

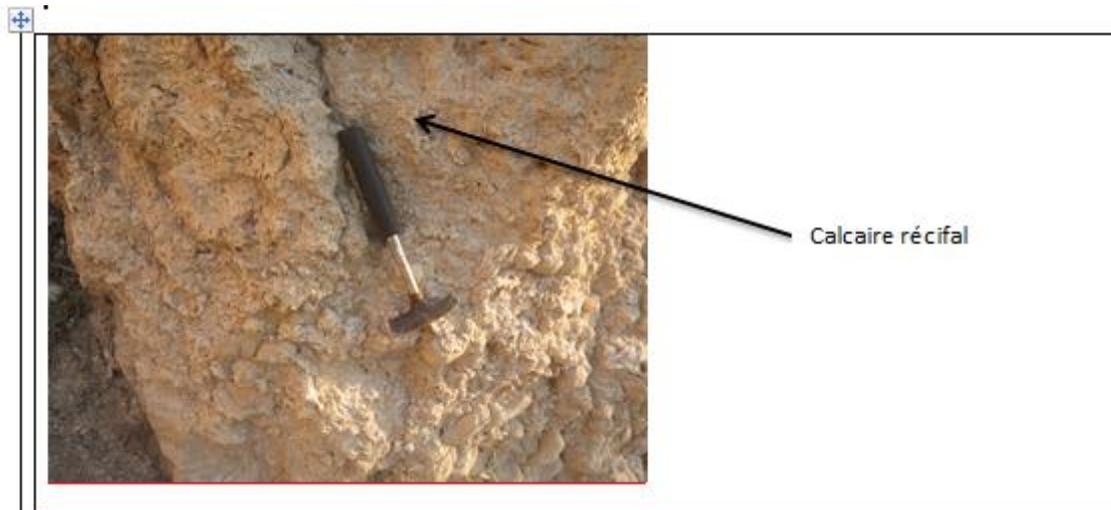


Figure 41: calcaire récifal

Cette roche calcaire montre que son milieu de formation était peu profond, de climat chaud et a une faible activité hydrodynamique.

c. Paléoclimat

Ces différents fossiles observés sur les échantillons prélevés dans ces forages et ces affleurements (Figure 39) permettent de dire que la sédimentation s'est déroulée dans un milieu chaud, peu profond et à faible hydrodynamique.

La présence d'algues témoigne de l'existence d'une zone photique selon (Rakotovao, 2014).

La prédominance des Miliolites (*Triloculina*, *Quinqueloculina*) caractérise la mise en place des dépôts en milieu de plateforme interne (Sliter et Baker, 1972).

L'association faunistique et floristique suggère un milieu néritique marin interne à influence chaude et à l'abri des courants marins. L'épaisseur des dépôts et l'abondance des microfossiles sont le résultat de l'importante transgression marine de l'Eocène (Razanamalala, 2011).

La diversité de ces formations ci-dessus a été notée et analysée. L'hypothèse pouvant l'expliquer se repose sur le paléoclimat. Durant des périodes successives, des événements géologiques (sédimentation, métamorphisme, ...), des changements climatiques (périodes de refroidissement, ou de réchauffement...), les différents paramètres (températures, pressions...) exercent sur leur action et sur les formations géologiques : stratifications, NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA, 2017

compositions minéralogiques , les compositions chimiques et donnent naissance à une diversification des formations.

Un tableau récapitulatif relatif à ces paléoclimats sera représenté ci-dessous (tableau N°9)

Tableau 9:Paléoclimat de la zone d'étude

MILIEUX DE SEDIMENTATION	EPAIS SEUR	FORMATION	EVENEMENTS GEOLOGIQUES	SERIE	AGE	ERE
CONTINENTAL	0-80m	ALLUVION, SABLES DUNES, DEPOT LACUSTRE	REGRESSION		QUATERNAIRE	QUATERNAIRE
LACUSTRE	150m	SABLES, GRES ET ARGILES	DISCORDANCE		NEOGENE	TERTIAIRE
MARIN		CALCAIRE, MARNE	TRANSGRESSION		MIOCENE	
MARIN / LAGUNAIRE	150m	CALCAIRE MARNEUX, MARNES A HUITRE, MARNE A GYPSES	REGRESSION		OLIGOCENE	
MARIN	150m	CALCAIRES ARGILEUX A ORBITOLINES	TRANSGRESSION	EOCENE 2	EOCENE	
MARIN	300m	CALCAIRES A NIMMULITES, GRES CALCAIRES, CALCAIRES OOLITHIQUES	TRANSGRESSION	EOCENE 1		
MIXTE	30 m	GRES CALCAIRES EVAPORITIQUE	REGRESSION	CRETACE POST- BASALTIQ UE	CRETACE SUPERIEUR	SECONDAIRE
	30 m	COULEES ET FILONS DE BASALTES	REGRESSION		DISLOCATION	
SUBSIDIAIRE	200m	GRES DOMINANTS, PASSEES MARINES A CALCAIRES ET ARGILES A GYPSE	TRANSGRESSION- REGRESSION	CRETACE ANTE- BASALTIQ UE	CRETACE	

La formation de l'ère secondaire a une épaisseur de 260m selon Besairie (1972). La période crétacée est une période de l'activité volcanique à Madagascar (LECLAIRE *et al.*, 1989). C'était la phase finale des phénomènes tectoniques qui conduisaient à la formation de l'Ile de Madagascar (LECLAIRE *et al.*, 1989).. Il y avait la régression, c'est à dire le recul de la mer, la formation de coulée et de filons de basaltes. Cette régression est due au soulèvement de bloc du substratum qui continuait à chercher son équilibre isostatique.

La formation tertiaire a une épaisseur de 750m selon Besairie (1972). La période éocène est la période de la plus grande vitesse de sédimentation marine. La transgression avait duré longtemps. Après, il y a une courte régression, ayant abouti à la formation du calcaire de cette zone tels que :les calcaires gréseux ,les calcaires oolithiques ,les marnes ,les calcaires marneux ,les calcaires argileux ,les calcaires à huitre, etc...

La formation quaternaire a une épaisseur de 80m , elle est marquée par la sédimentation continentale (les alluvions, les sables dunes , les dépôts lacustres). Une longue régression a eu lieu. Des formations des alluvions , des dune de sable ,et des dépôts lacustres ont été mises à jours.

Elles se trouvent dans la zone étudiée et témoignent clairement de l'existence du paléoclimat caractéristique de la zone de sédimentation le phénomène de paléoclimat sur cette zone.

III .1.2 Pétrographie et minéralisation des roches carbonatées :

Tableau 10 : montrant la pétrographie de la roche carbonatée

N°	Minéralisation	Fossile trouvé	Couleur	Caractéristique	Nomenclature
1	Calcite	huitre	Blanche jaunâtre	Roche de forme allongé et fossile forme aplatie	Calcaire à lumachelle
2	Quartz; calcaire	0	Jaune grisâtre	Présence de quartz avec la forme massif du calcaire.	Calcaire massif à oolithes
3	calcite et quartz	fossile	Gris jaunâtre	Présence de quartz et de fossile	Calcaire Massif à grain fin
4	calcite, quartz ,sable	fossile	Blanche	Présence de sable en majorité, quartz et quelque fossile	Calcaire gréseux à grain fin
5	Hématite, calcite ,quartz	fossile forme ovale	roux blanchâtre	Présence des oolithes et calcaire ,hématite	calcaire oolithique ferrugineux
6	Quartz, présence de cristallisation de calcite	0	Blanche jaunâtre	Présence de cristallisation du Calcite	Calcaire massifs

7	fossile, calcaire,	oolithes	blanche	Présence de fossile et des oolithes	Calcaire fossilifère à oolithes
8	Argile, fossile, quartz, nummulite et oolithe	débris de coquille	Blanche	Présence de fossile en forme spirale, aplatie et lenticulaire	Calcaire à nummulite
9	Débris d'argile coquille, calcaire, quartz	débris de coquille	blanche grisâtre	présence de fossile et de quartz	Calcaire argileux
10	argile, quartz et calcite	0	Jaune et blanc	présence de quartz, calcite et argile	Calcaire marneux
11	Débris de coquille, oolithes, cristallisation en calcite	débris de coquille	blanche	présence de fossile et calcite	Calcaire coquillier à oolithes
12	Argile et nummulite oolithe	0	Orange jaunâtre	happe à la langue	Marnes
13	Calcaire	fossile	Jaune blanchâtre	en forme de brèche ovale	Calcaire à stromatolithe noduleux
14	Calcaire, marne et argile	fossile	Blanche	Présence de calcite et fossile	Calcaire oolithique
15	Calcite et quartz	fossile	Blanc grisâtre	Présence de calcite et de nummulite	Calcaire massif altéré

III.1.3 Géochimie

La formation calcaire de Soalara fait partie de la grande zone de formation calcaire d'âge éocène qui appartient à la partie sud de bassin de Morondava. Elle est caractérisée par une épaisse couche de calcaire (de 500 à 600m), souvent intercalée de marnes, grès et argiles d'épaisseurs variables.

Dans cette formation de Soalara, le substrat est marqué par l'affleurement de dalles calcaires, alternant avec un régo-lite. Ce dernier est composé de fragments de calcaires, de sables blancs et de sables roux. Ils proviennent de la décomposition du calcaire gréseux à matrice ferrugineuse. Des prélèvements d'échantillons pétrographiques ont été effectués en certains points, en vue d'étudier les caractères géochimiques.

Tableau 11:Resultat calcimétrie

Echantillons	F01	F02	F04
Teneurs	%	%	%
SiO₂	0,8	1,24	0,3
Al₂O₃	Tr	0,2	0,3
Fe₂O₃	0,6	0,4	0,05
CaO	55,07	54,89	56
MgO	0,5	tr	0,45
Perte au feu	43,1	43,17	43,3
Total	100,07	99,9	100,4

Source: EIE DynatecToliara

a. Les calcaires

Les calcaires sont des roches sédimentaires formées essentiellement de calcite et d'aragonite. Elles peuvent contenir plus de 99,9% de Ca CO₃, de la silice, de l'argile et de la matière organique (coquilles...), de quelques autres minéraux dont les plus courants sont la dolomite, la sidérite...

Les types de calcaires

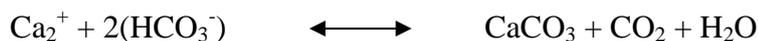
On distingue les calcaires purs constitués essentiellement de calcite, les calcaires comportant de proportion non négligeable des fossiles, de matériels terrigènes, liés par un ciment calcaire.

En outre, on identifie les Calcaires massifs, les calcaires oolithiques, les marnes ou calcaires marneux, les calcaires argileux, les calcaires sableux ou gréseux, etc.

La genèse

Précipitation

Les calcaires se forment généralement en milieu marin ou lacustre. A partir du carbonate de calcium dissous dans l'eau et par précipitation d'ions dissouts ,la réaction biochimique se réalise de la façon suivante :



Les calcaires peuvent également se former en milieu continental. Le brusque dégazage en surface d'une eau souterraine à l'air libre (grotte, source) ou le prélèvement par des végétaux , du CO₂, peuvent provoquer une précipitation localisée. Ces phénomènes géologiques et biologiques se produisent, selon les circonstances et donnent, des stalactites et stalagmites. Ces calcaires formés en milieu continental sont rarement fossilifères car il n'y a pas des êtres vivants qui vivaient dans ce milieu.

-L'action des êtres vivants :

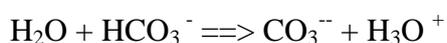
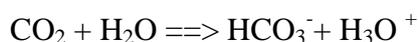
Ils peuvent résulter d'une forte accumulation de coquilles ou de carapaces calcaires (intactes ou en débris), comme la craie, ou les calcaires récifaux. Ils sont toujours fossilifères.

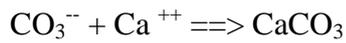
-Érosion :

Les brèches calcaires ou ophicalcites

La composition chimique et propriétés chimiques

La formation des calcaires se produit de la réaction :





Le calcaire est facilement identifiable car il peut être attaqué par les acides tel que l'acide chlorhydrique en solution. L'hydrogénocarbonate étant une base, réagit avec l'acide chlorhydrique en solution selon l'équation :



Le chauffage aux environs de 900 °C produit l'oxyde de calcium ou chaux vive avec du CO₂.

Les propriétés mécaniques

Les calcaires ont une dureté généralement réduite (ils sont rayés au couteau). Les caractéristiques mécaniques des calcaires sont importantes, et très variables. Les calcaires peuvent être soit très adaptés, soit inutilisables, dans les divers usages auxquels ils sont destinés.

Ils sont surtout utilisés comme matériaux de construction, de sculptures et des outils ménagers. Dans le domaine industriel son pH basique permet également de traiter des résidus acidifiés rejetés par les sociétés c'est-à-dire que en utilisant son pH, il neutralise les acides sulfurique (acide fort) dans le but de protéger l'environnement.

La couleur

En général blanc, les calcaires peuvent contenir un peu de dolomite, d'aragonite ou de sidérite. Ils renferment aussi parfois un peu de fer sous forme de sulfure (calcaires bleus) ou d'oxyde (calcaires jaunes ou rouges) ou d'autres éléments à l'état de traces .Le calcaire existe aussi dans des teintes de jaune, gris, brun ou même noir.

III.1.4 Echantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé d'une manière aléatoire (environ un échantillon tous les vingt à trente mètres de distance). En fait , ce maillage varie , suivant les étapes de prospection. De ce fait il se resserre et change de profondeur au fur et à mesure que des indicateurs soient intéressants. La fréquence de l'échantillonnage est donc proportionnelle à cette méthodologie.



Figure 42: Baque d'échantillon

Les échantillons provenant des travaux de forage seront collectés dans des baques d'échantillons. Ils sont stockés suivant des mesures prédéfinies. Les carottes obtenues à partir de la pénétration d'une couronne diamantée dans la formation, jusqu'à la profondeur prévue sont déposées dans la baque à échantillon. A chaque mètre de formation creusée, on fait le prélèvement. Une baque contient environ cinq mètres (5m) d'échantillons, des différentes natures.

Cette méthodologie est complémentaire à celle des autres approches. Ainsi des échantillons sont pris à partir des forages réalisés et analysés au laboratoire. Après analyses on a observé que ces échantillons sont très riches en calcite comme les sites F01 et F02. Ces deux échantillons de F01 et F02 sont plus clairs par rapport aux autres. En effet, la zone Nord est caractérisée par une impureté : les forages F05 et F03.

On avait pris les échantillons avec précaution, en évitant la destruction de l'environnement. On a pris des mesures de protection du sol, des plantes et des animaux. Cette phase est complémentaire à celle de la première exploration en 2007.

La structure cristalline

Les cristaux de calcite qui constituent les calcaires sont, en général, très petits On peut parfois les voir au microscope, mais ils sont imbriqués les uns dans les autres de sorte que l'on ne peut pas reconnaître leur forme. Ils sont souvent si petits qu'ils ne soient même pas visibles au microscope optique

La calcite se présente généralement sous forme de cristaux rhomboédriques

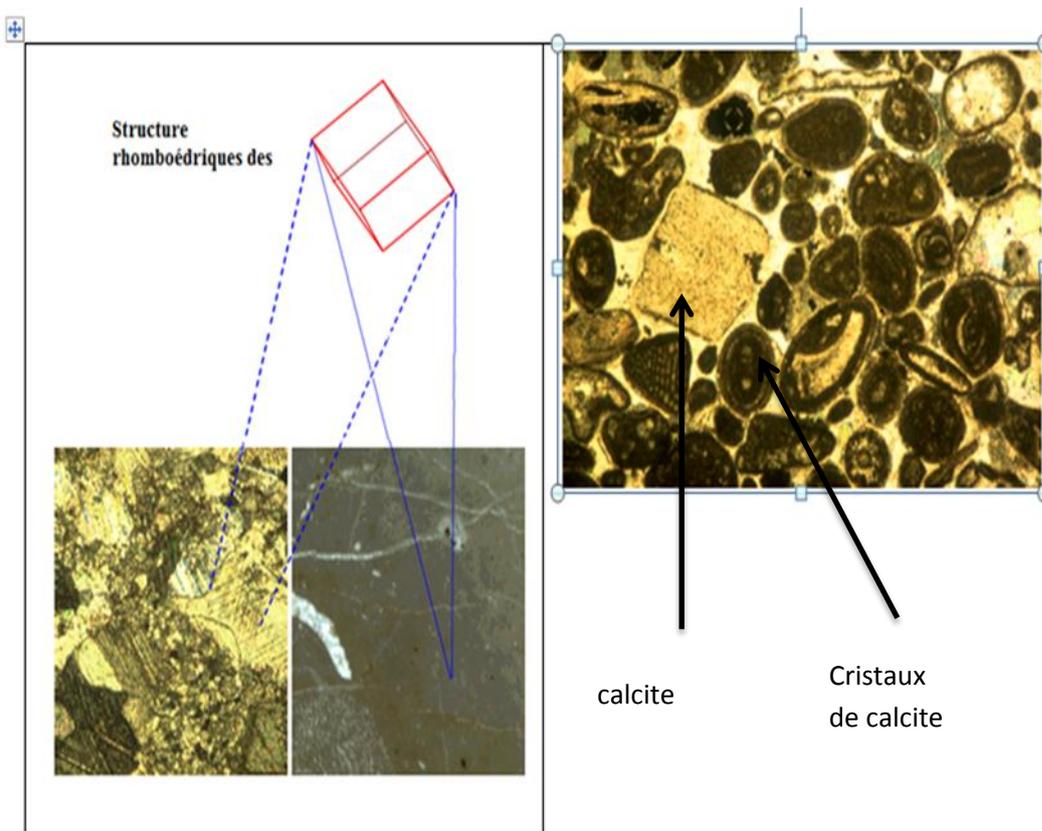


Figure 43:Image microscopique de calcaire

III.2. Les évènements tectoniques

La formation calcaire a une structure fracturée (paraclase, diaclase) et souple, ...). Le réseau hydrographique présente une allure digitée suivant les fractures. La densité et les zones d'intersections majeures de fractures correspondent à des dispositions favorables pour la présence d'eaux souterraines. Les puits ou avens, les grottes ou galeries sont souvent éboulés ou noyés. Les gites de calcaire à exploiter sont surtout recouverts par la terre végétale. On peut observer que la morphologie et les réseaux hydrographiques sont contrôlés par les structures géologiques :

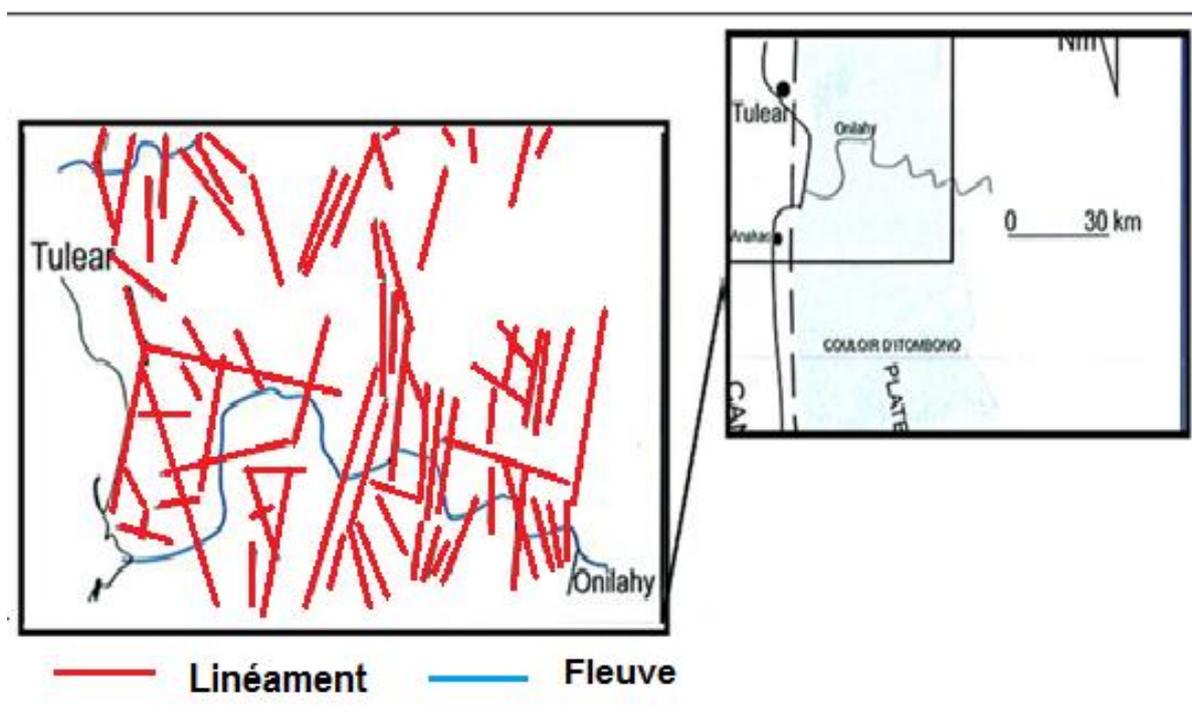
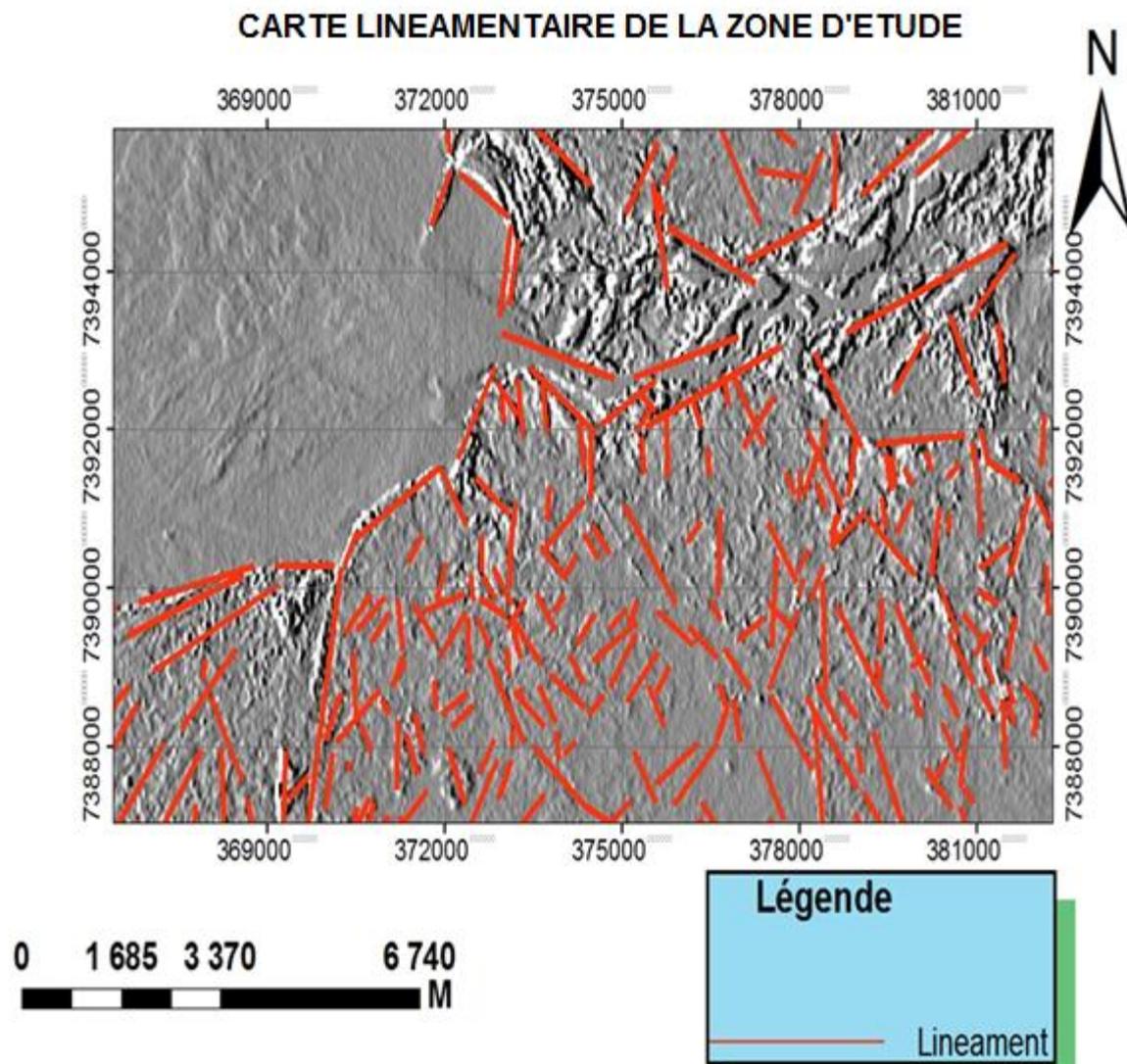


Figure 44: Montrant les structures linéamentaires de la Zone (GUYOT ,2002 modifié par N.Jeannot ,2017)

Cette photo montre plusieurs groupes de fractures suivant différentes directions N0-N10°E, N45-50°E, N120-150°E, d'autres linéaments de direction générale N5- 20E sont également observés et enfin des linéaments parallèles à la grande faille de direction Nord 10 à Nord16°E, confirmé par l'escarpement à l'Est de Soalara , sont définis. Il s'agit d'une faille normale affaissée vers l'ouest. De plus les photographies aériennes ont permis de relever sur le terrain de petites fractures. L'analyse de ces linéaments témoigne dans une grande relation avec les directions de grands accidents. On y retrouve les deux directions principales, "Bongolava" et "Cote est" des fractures tectoniques de Madagascar (GUYOT, 2002).

En outre, il existe quelques linéaments de direction WNW-ESE à WSW-ENE plus ou moins perpendiculaires à celles de grands accidents qui sont estimés correspondre à la faille transformante.



Source : Traitement et analyse des Image Satellites sur ENVI

Figure 45: Carte lineamentaire de la zone étudiée à partir de FILTRE 45° A MATRICE 7X7

Ainsi, on a pu déterminer 431 linéaments qui représentent les lignes de la vallée profonde, la grande faille, le fleuve de la région étudiée. Le tableau 12 résume la distribution de l'orientation de linéaments

Tableau 12 : distribution de l'orientation de linéaments de la carte linéamentaire (45° à matrice 7x7) :

Angle	Direction	Nombre de Linéament	%
0-30	NNE-SSW	56	13
30-60	NE-SW	22	5
60-90	ENE-WSW	103	24
90-120	ESE-WNW	69	16
120-150	NW- SE	95	22
150-180	SSE-NNW	86	20
TOTAL		431	100

La Fig 45 : montre la rosace des directions des linéaments. En effet, on a pu révéler quatre familles importantes selon l'orientation des trajectoires des linéaments: NNE-SSW, NE-SW; NW-SE et NNW-SSE (Tab. 12). Les linéaments appartenant à la famille NNE-SSW et NE-SW qui regroupent respectivement 13% et 5%, sont relatifs au mouvement tectonique affectant la zone. Ensuite, les orientations NW-SE et NNW-SSE représentant respectivement 22% et 20% épousent aussi les fractures, les failles et quelques foliations de la déformation

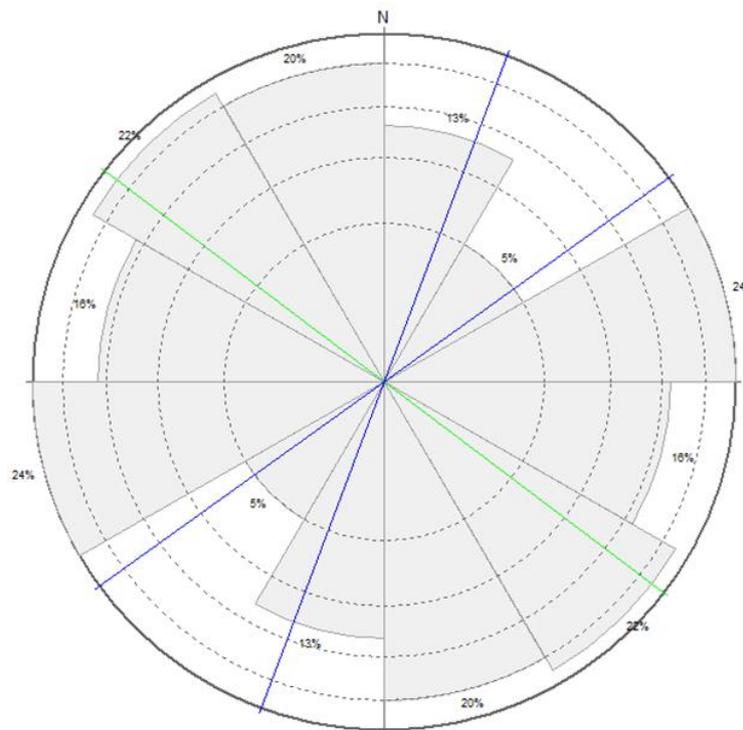


Figure 46 : Rosace des directions des linéaments

III.2.1 Les déformations cassantes

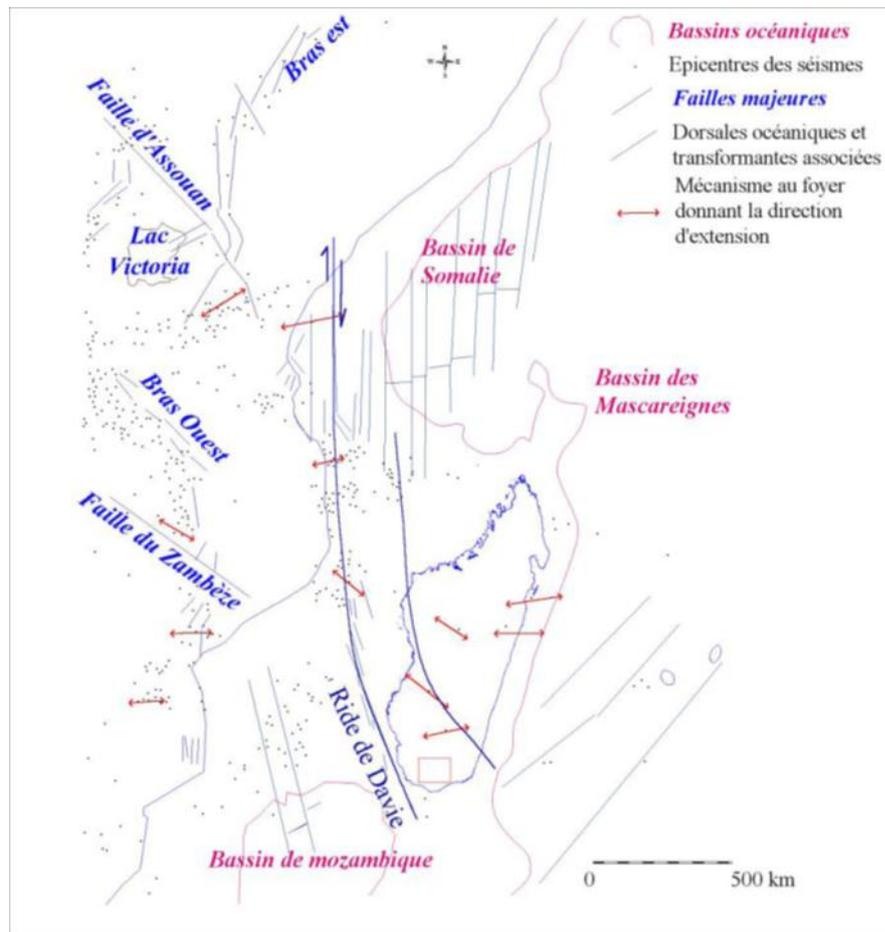
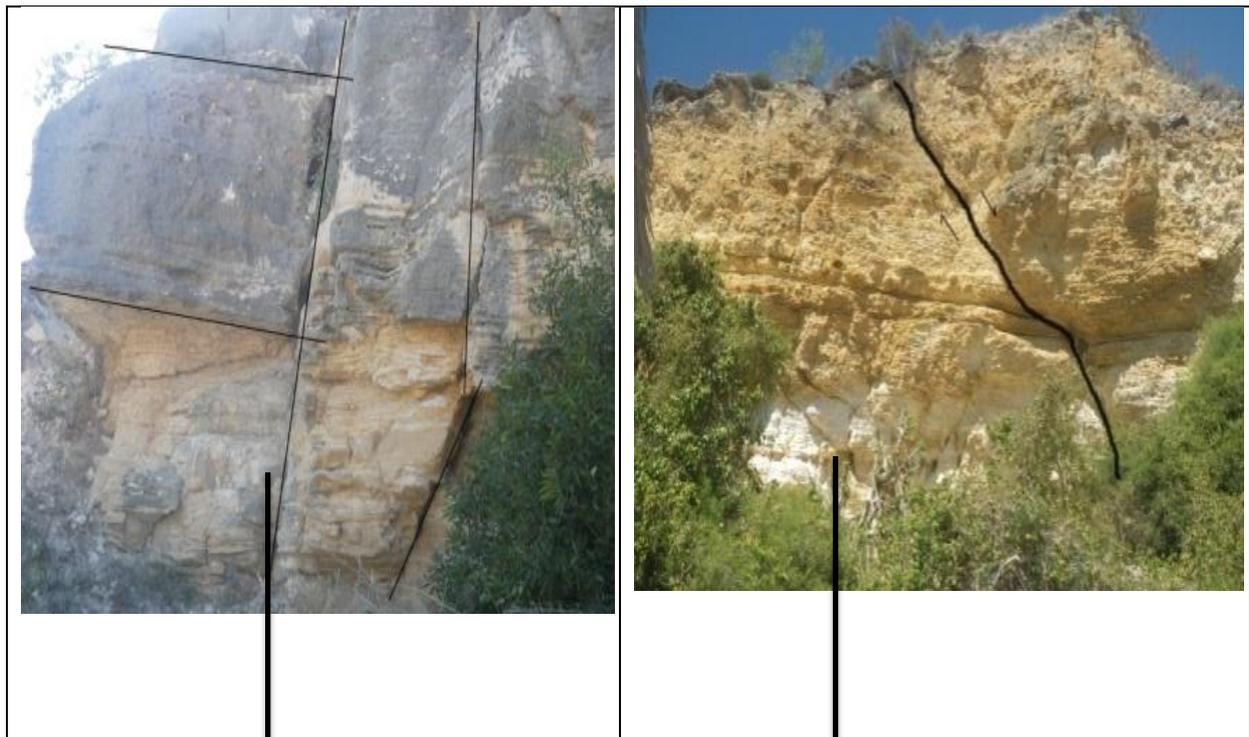


Figure 47: Montrant le déplacement de Madagascar (GUYOT, 2002)

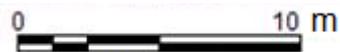
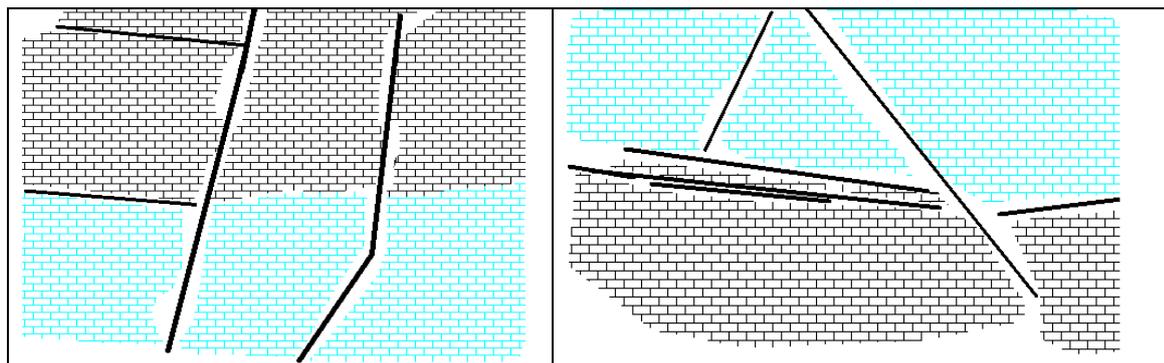
Les riftings au centre du Gondwana sont les plus grands phénomènes tectoniques qui ont touché ce super continent. Du jurassique supérieur au crétacé (entre 150 et 83 million d'années) a eu lieu la phase tectonique active provoquant la dislocation de Gondwana en plusieurs blocs. Elle est définie par la formation de la ride de Davie. C'est l'époque d'une intense activité tectonique, et d'un volcanisme fissural, non seulement le long de la ride mais aussi dans les zones avoisinantes.

Ce mouvement tectonique donne naissance dans la partie occidentale de Madagascar à la formation des horsts et des grabens. Une extension de direction NE-SW à E-W s'est exprimée dans la partie Nord-Ouest de l'île. La mise en place des dykes a eu lieu dans le sud-ouest malgache (crétacé-tertiaire)

III.2.1.2 Structure cassante observée sur terrain :



Source : observation sur terrain



Légendes

-  calcaire marneux
-  calcaire massif
-  fracture et fissure

Figure 48: fractures observées dans la zone étudiée

Beaucoup des chercheurs travaillant dans la zone d'étude confirmaient les activités tectoniques dans cette zone d'étude .Des lignes de fractures sont visibles tout le long du flanc du fleuve Onilahy. Certaines sont des fissures qui découpent l'épais massif de calcaires
NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017

suyvant des directions multiples. D'autres représentent des fractures plus individualisées ayant de faibles rejets. La plupart de déformations observées sont des fractures sans déplacement des compartiments et des grottes.

Par ailleurs, on peut noter que les fractures prennent de direction N10-N15 avec des pendages vers l'ouest, d'une valeur plus grandes ou égal à 60°. La dimension des fractures est de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres et elles sont souvent colmatées par des formations argileuses.



Source : observation sur terrain

Figure 49: Fissure observée sur les échantillons

Du point de vue tectonique, les échantillons pris et étudiés à partir des forages dans cette formation calcaire confirment également l'existence des fissures au cœur même de cette zone. Ces fractures confirment la possibilité de leur interconnexion au sein cette étendue calcaire. Elles permettent de la libre circulation de la nappe dont témoignent les commencements d'érosion sur les échantillons. Ils aboutissent à la formation des résurgences ou également la structuration des grottes et des avens.

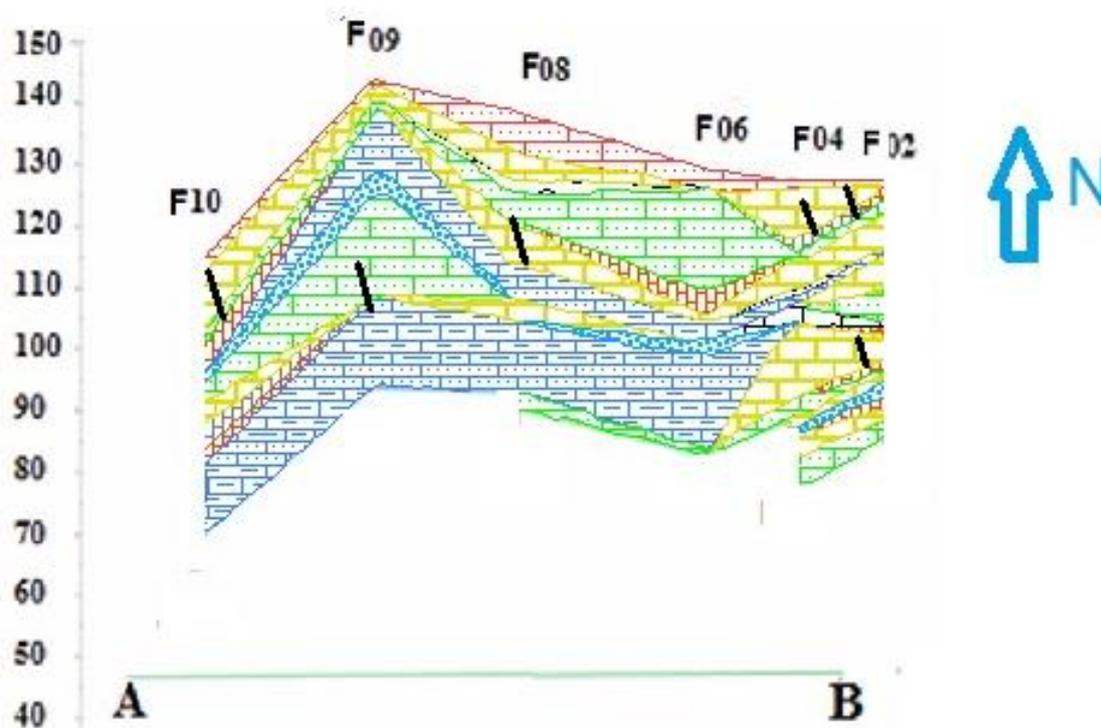
Donc suivant l'observation faite sur les échantillons de forages les fractures sont importantes. Elles sont dues aux mouvements tectoniques. Leurs directions sont difficiles à déterminer par contre leurs pendages sont évidents et mesurables. Ils varient entre 60° et 80°. Les échantillons montrent des fissures de quelques millimètres jusqu'à des dizaines de centimètre

de long. Elles sont accompagnées des ouvertures apparemment sans obstructions et elles sont de l'ordre de micromètre à une dizaine de centimètre.

Par ailleurs, on peut montrer par le schéma ci-dessous et suivant les coupes A-B et C-D les fractures cassantes de la zone d'étude. Les fractures sont souvent observées sur les couches de calcaire massif. Ces fractures sont aussi visibles de l'extérieur (figure 34) et elles sont de failles. Pendant la période jurassique supérieure jusqu'au crétacé supérieure c'est-à-dire entre (150 Ma et 83Ma), La tectonique de plaque était très active avec la migration de Madagascar le long de la ride de Davie (faille transformante). C'est l'époque d'une intense activité tectonique. Des fractures des magmatismes fissuraux marquaient cette période. Ce phénomène a provoqué des accidents (failles) sur la marge continentale de l'Ouest de Madagascar. Et en plus, le socle, au-dessous de la formation sédimentaire, est aussi instable et provoquaient des fractures sur les formations su-jacentes.

III.2.1.3 Les fractures observées dans des forages :

III.2.1.3.1 Les fractures suivant la coupe A-B :

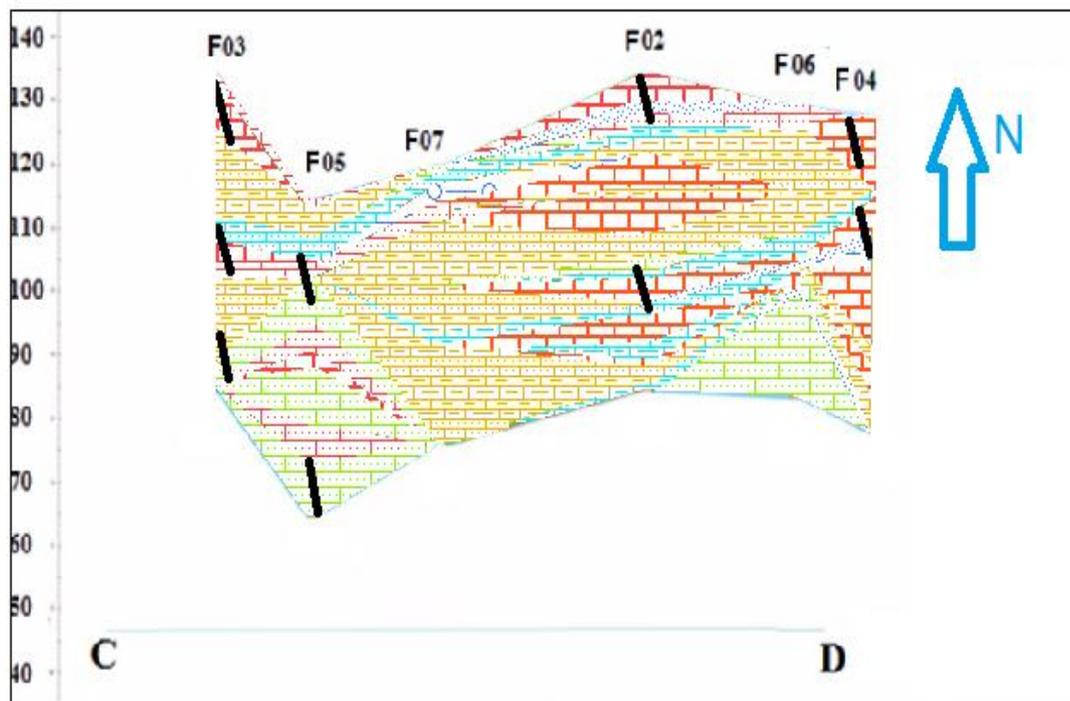


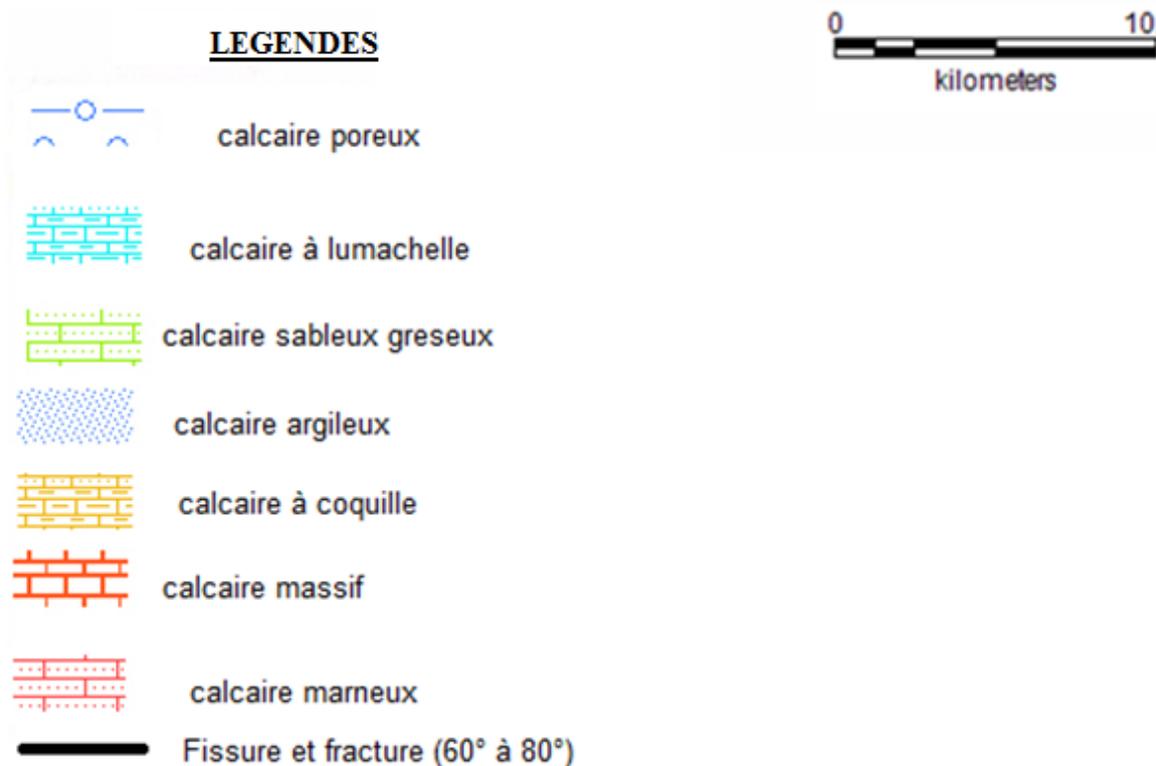


Source : traitement à partir de logiciel Mapinfo

Figure 50: montrant les structures fracturées interne de la zone suivant la coupe A-B (N.Jeannot, 2017)

III.2.1.3.2 Les fractures suivant la coupe C-D :





Source : traitement à partir de logiciel Mapinfo

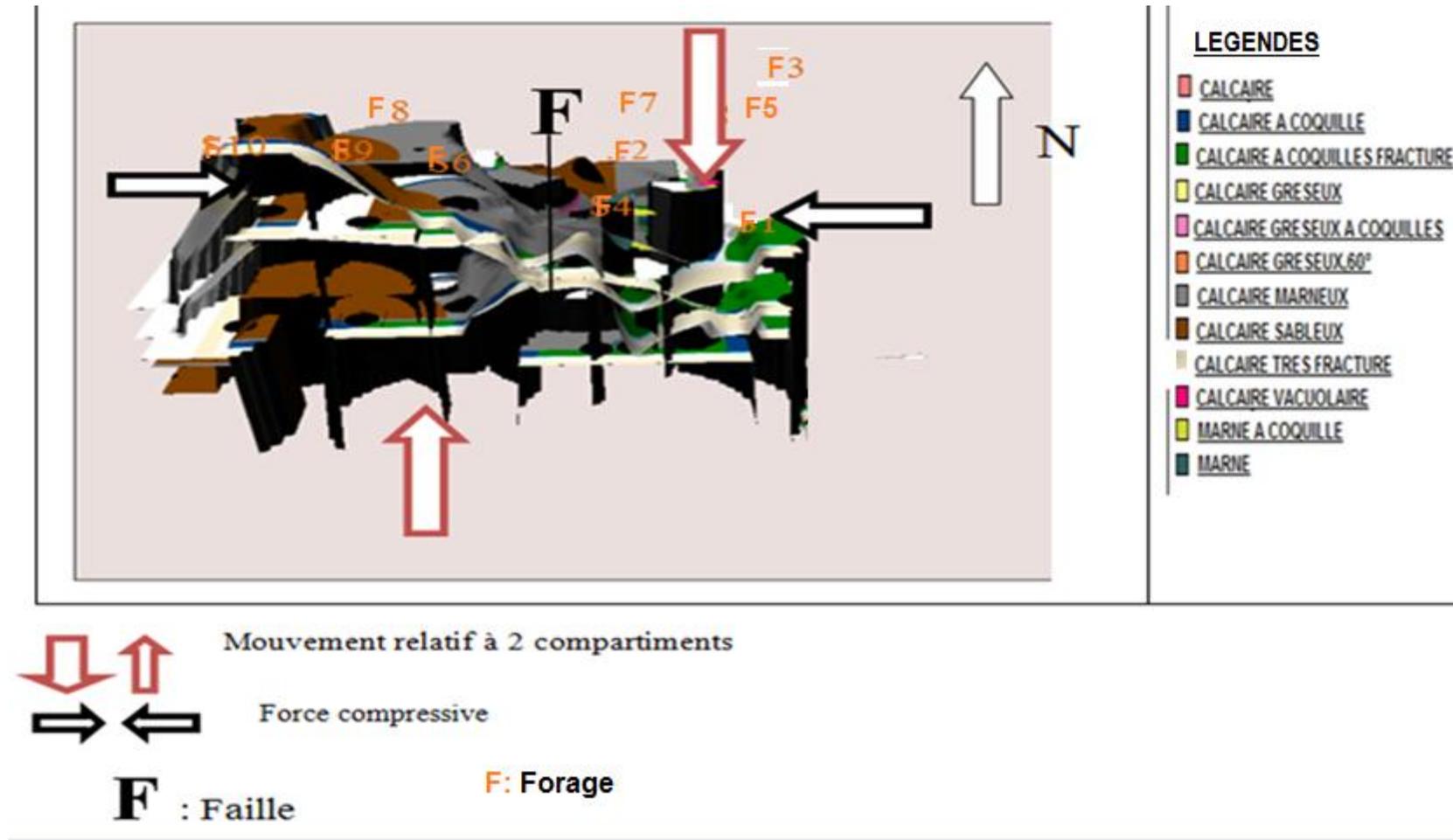
Figure 51: montrant la structure fracturée interne de la zone suivant la coupe C-D
(NANTENAINA , 2017 in presse)

III.2.2 Les forces responsables de ce phénomène

La zone d'étude est constituée par une formation calcaire tabulaire. Les formations présentent une stratigraphie monoclinale, légèrement inclinée vers l'ouest. En outre, on a constaté que plusieurs activités géologiques ont affecté la région. Les conséquences sont les déplacements de Madagascar et des autres pays du carbonifère jusqu'à leurs places actuelles. Les coulissements suivant la ride de Davie, l'ouverture des bassins de Somalie et de Mozambique sont causés par de mouvements tectoniques des décrochements et des distensions. Ces phénomènes créent des contraintes (compression, extensions) dans des autres zones. Ainsi les mouvements ont produits des déformations de la zone d'étude. Ils se traduisent par des fractures dans les formations dures et entraînent des plissements des couches tendres; à l'intérieur de la zone. Ils sont marqués par de nombreuses dépressions qui se développent dans la zone d'étude.

Le traitement de données à l'aide de logiciel GESFOR montre bien la superposition de couches en 3D :

III.2.2.1 Litho structurale de dépôts présentée en 3D :



Source : traitement logiciel ArcGIS

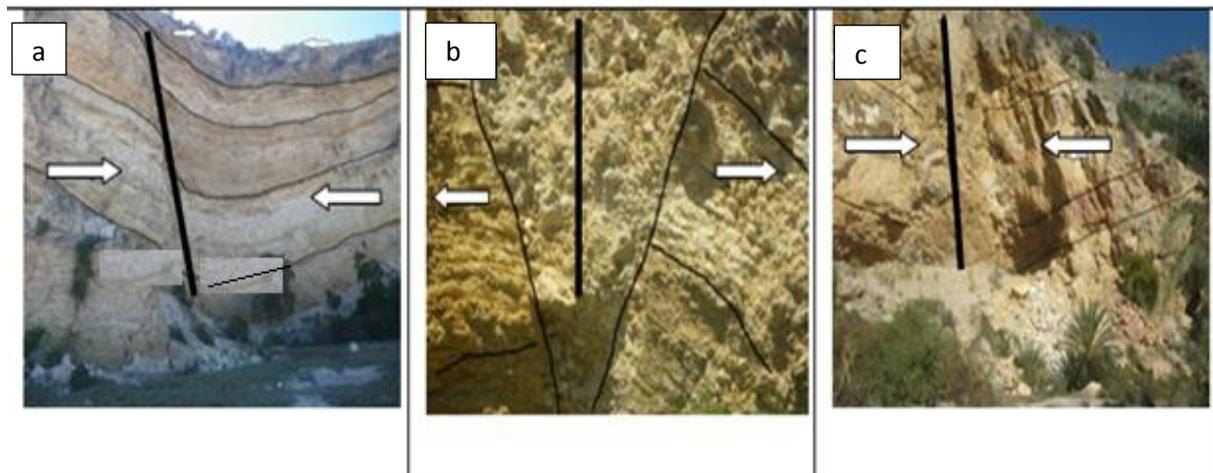
Figure 52: Présentation en 3D de litho structurale des dépôts (NANTENAINA ,2017 in presse)

NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017

Cette photo explique que, la zone d'étude a subi de phénomènes tectoniques très majeurs, la compression et le décrochement de direction Ouest –Est.

II.2.3. Description des failles dans la zone

Ainsi elles sont observées sur les flancs, sur la rive gauche et la rive droite du fleuve Onilahy. Des couches de calcaires correspondants à l'âge éocène c'est-à-dire, ayant une profondeur de 50 à 100m ont été rencontrées. Elles ont subi des contraintes relatives à des extensions ou des compressions. Elles ont engendré des structures plissées avec succession d'anticlinal et de synclinal dans la région. On peut les déterminer à partir de l'axe de plis qui sont souvent fracturés quand le degré de la pression est important. A cause de ces mouvements, on note en général une contrainte de direction W-E.



Faille (a) direction N10 et de pendage 12° et il s'agit de faille normale car le plan de faille est incliné dans le sens du compartiment affaissé, la faille (b) : s'agit de faille de distension et la faille (c) de direction N10 et de pendage 22° : s'agit d'une faille inverse car le plan de faille est incliné dans le sens du compartiment soulevé

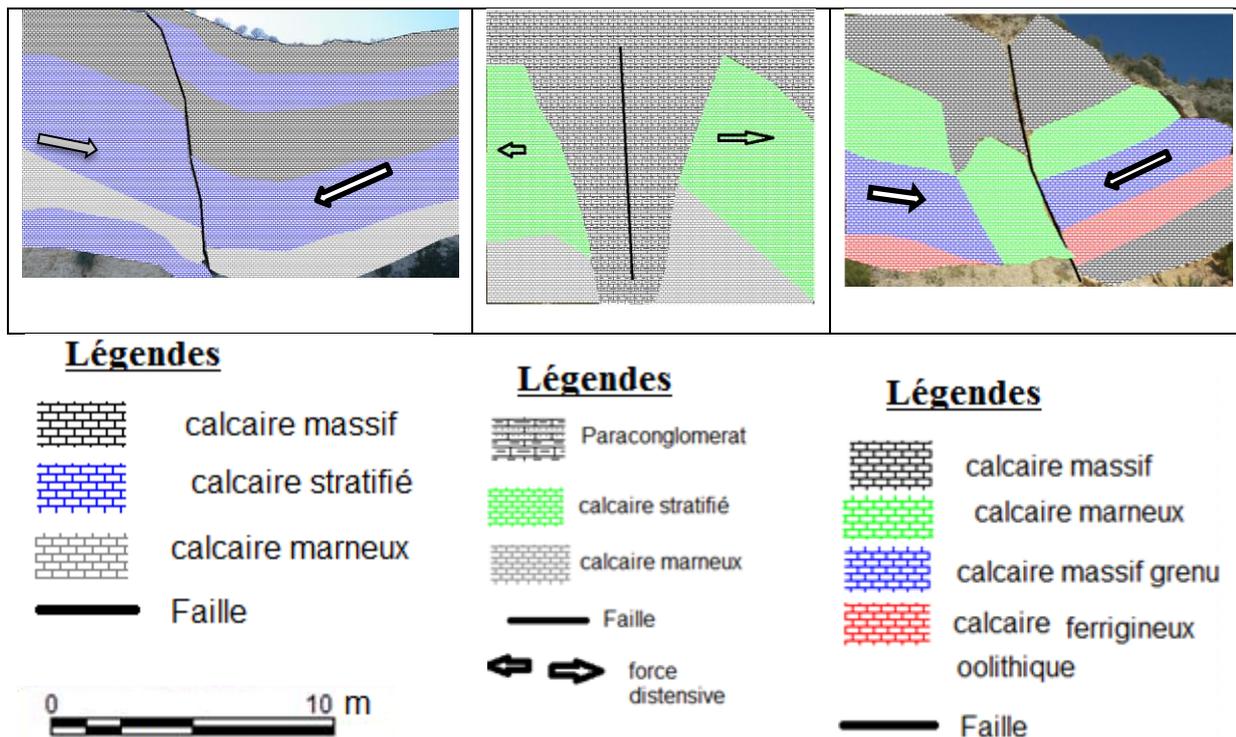
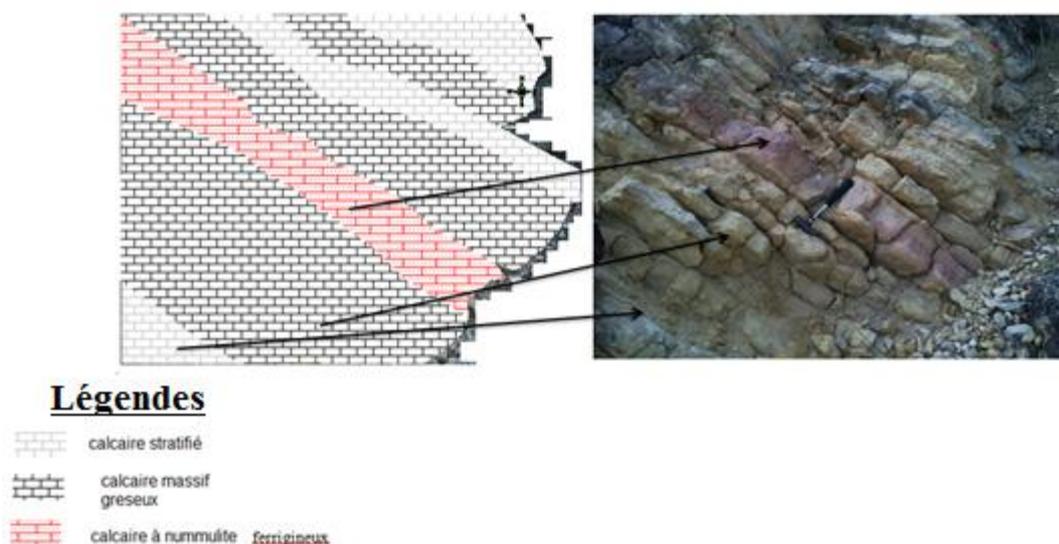


Figure 53: Résultats des mouvements tectoniques (NANTENAINA , 2017 in presse)

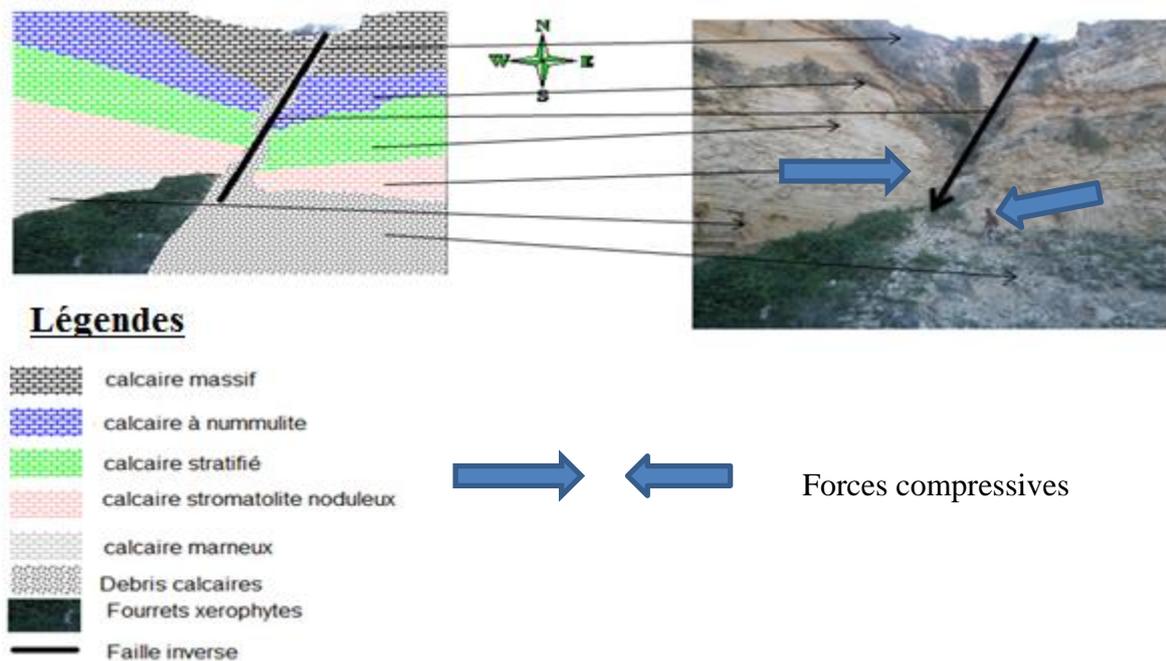


Source : traitement logiciel Mapinfo et observation sur terrain 2016

Figure 54: Faïlle oblique (NANTENAINA , 2017 in presse)

Cette faïlle oblique : c'est une rotation de 63° dans la formation éocène du plateau calcaire à soalara, due à la force compressive de deux compartiments. Cette formation est composée de l'alternance des calcaires stratifiés, calcaires massifs et calcaires ferrugineux à NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017

nummulites .La présence de couleur rouge est due à la presence des oxydes ferreux ou ferriques au contact avec l’atmosphère pendant la période de régression ,il y a des oxydations de fer , un arrêt de sédimentation pendant une longue période.Après ,il y a la reprise des phénomènes de transgression. .

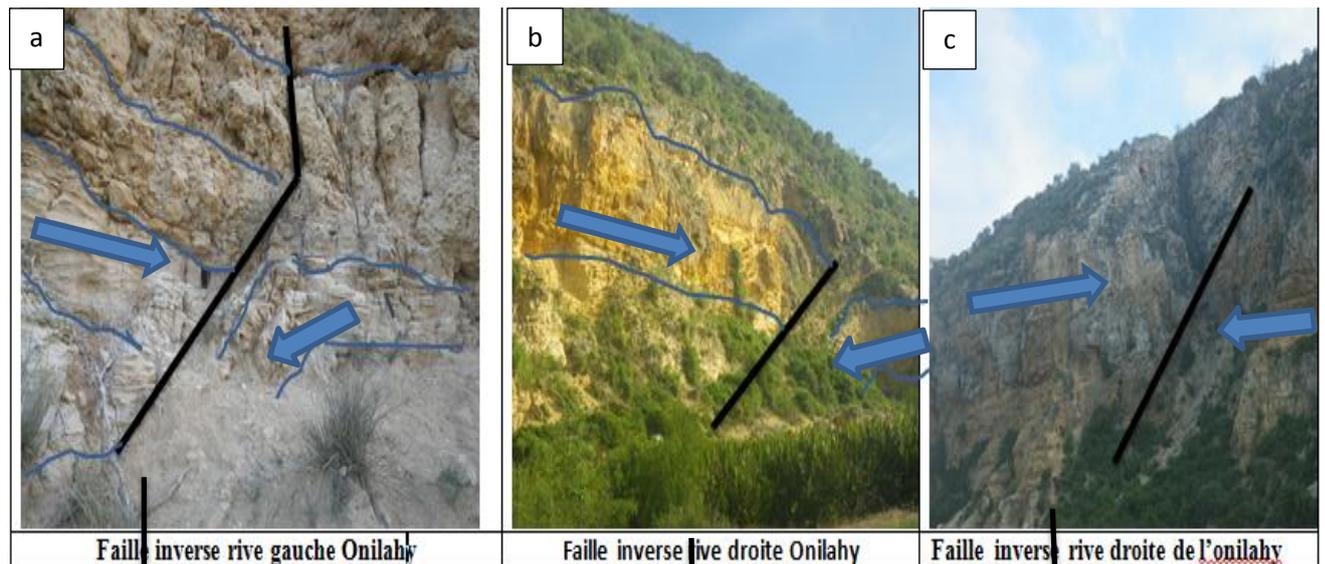


Source : observation sur terrain 2016

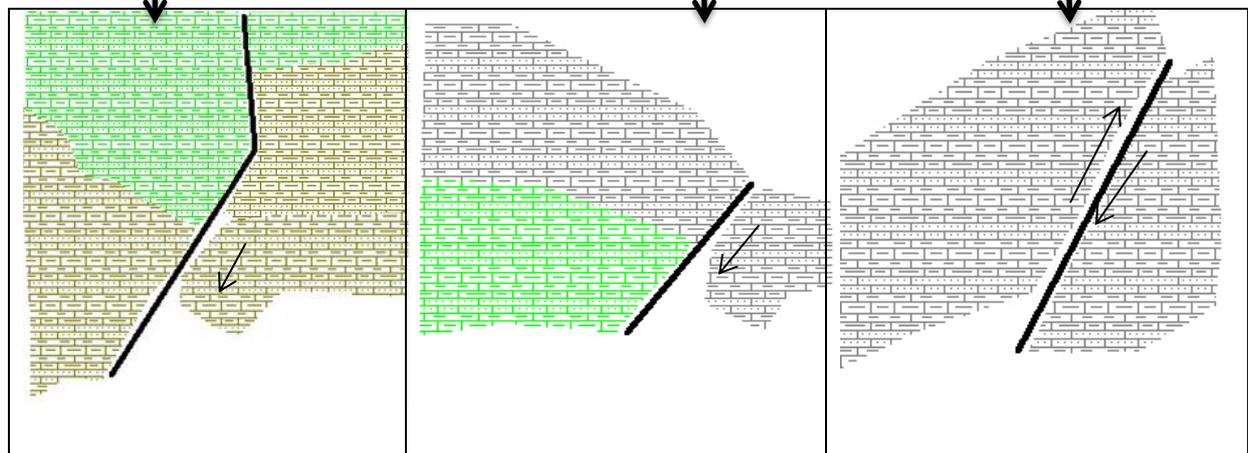
Figure 55:faille inverse

Cette formation carbonatée a subi de déformation à cause de mouvement tectonique .Il y a des forces compressives qui étaient responsables de ce phénomène et qui ont abouti à la formation de faille inverse de direction N10 et de pendage 12°.

Ces séries carbonatées sont peu déformées, ci-dessous , on observe une voussure résultant des jeux de failles inverses qui tronçonnent le plateau. Le plateau calcaire est limité à l'ouest par un accident majeur : la faille normale de Tuléar qui décale les séries tertiaires à l'ouest de plusieurs centaines de mètres.



Source : observation sur terrain 2016



Légendes



Figure 56:Faïlle inverse rive droite de l'Onilahy

Faïlle (a) a de direction N20 et de pendage 30°.

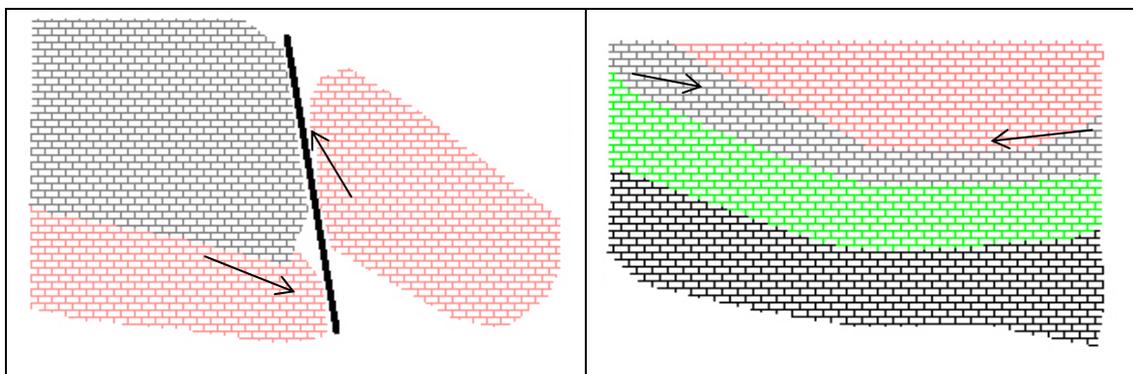


Source : observation sur terrain 2016

Figure 57: Faille inverse rive gauche de l'Onilahy

Cette faille inverse a de direction N10 et de pendage 22°.

Ci-dessous, les figures montrent les lithologies et les déformations à cause de mouvement tectonique :

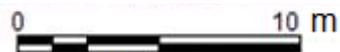


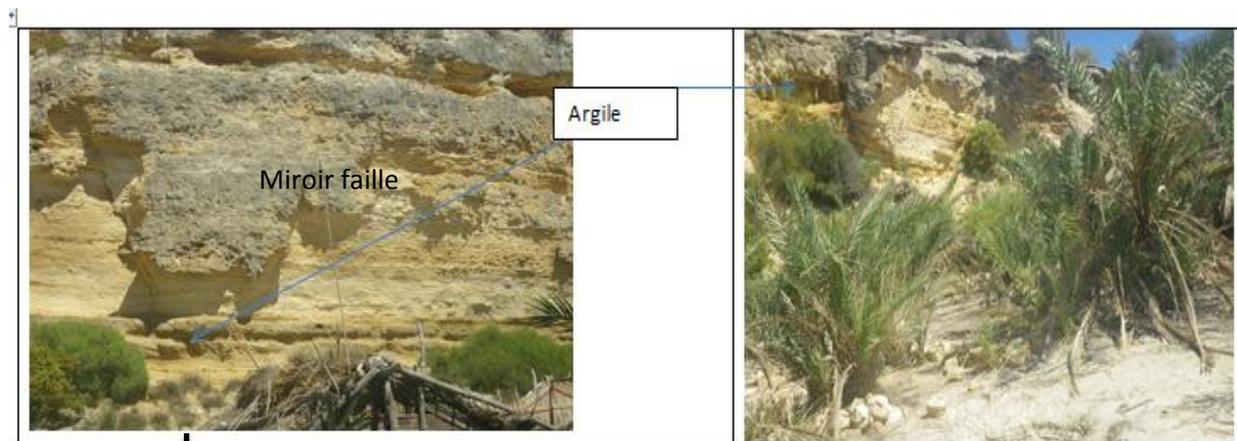
Légendes

-  calcaire stratifié
-  calcaire marneux
-  calcaire stromatolite noduleux
-  calcaire argileux

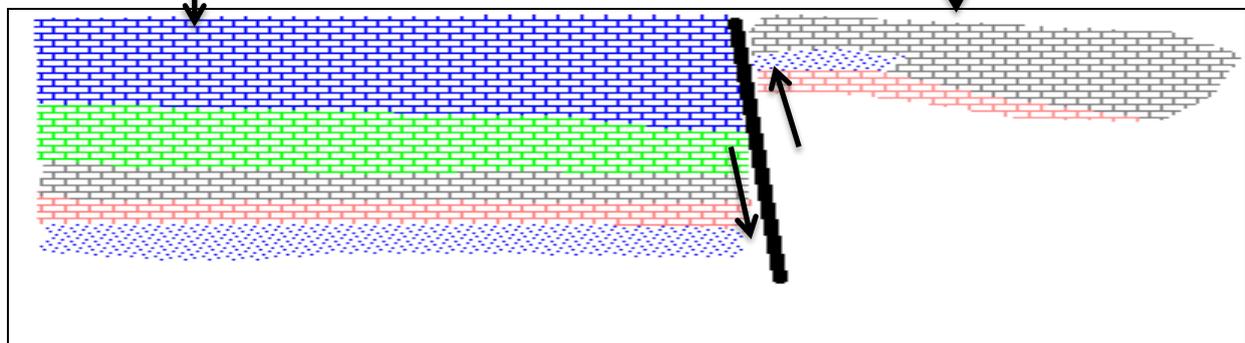
 Faille

  Forces compressives

 0 10 m



Source : observation sur terrain 2016

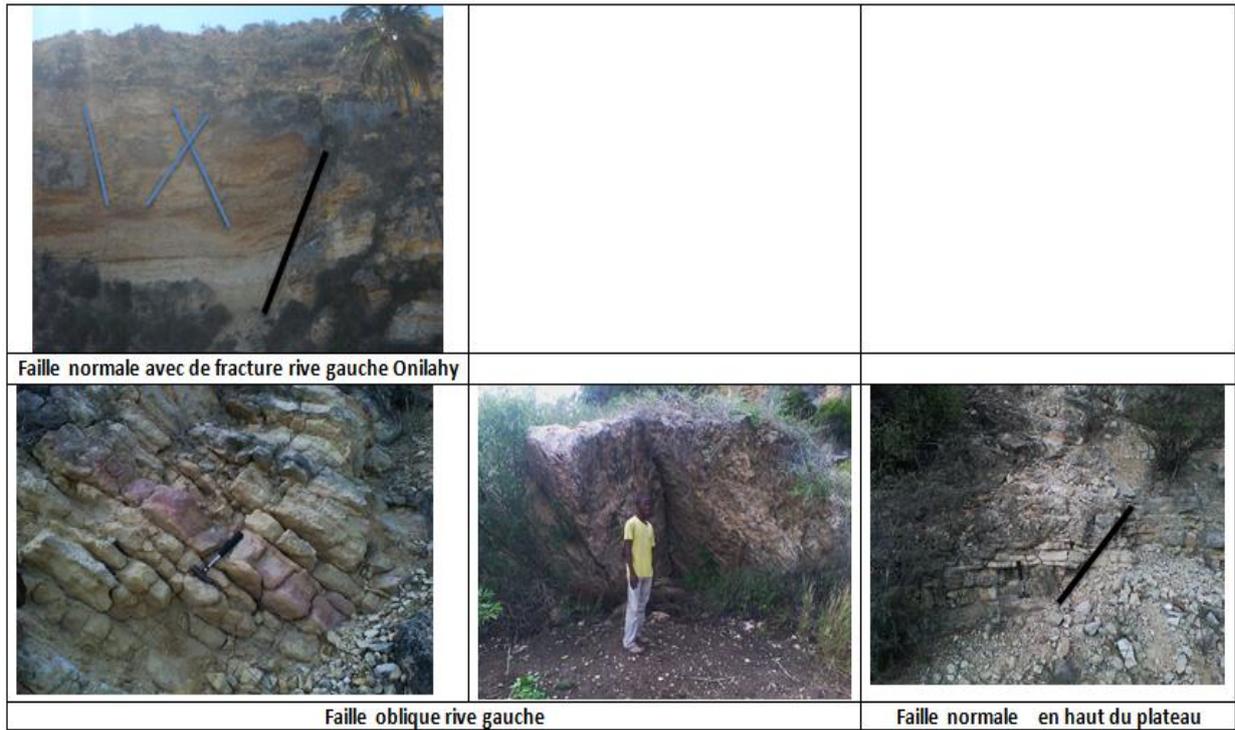


Légendes

-  calcaire noduleux
-  calcaire massif altéré
-  calcaire stratifié
-  calcaire marneux
-  argile
-  faille

 Déplacement de compartiment

Figure 58: faille normale observée sur la rive droite de fleuve Onilahy à Lavenombato



Source : donnée sur terrain 2016

Figure 59: Failles observées dans le terrain

Ces séries carbonatées ont subi de quelques mouvements tectoniques (de forces extensives et de forces compressives) à certains niveaux à Lavenombato et à Saint-Augustin

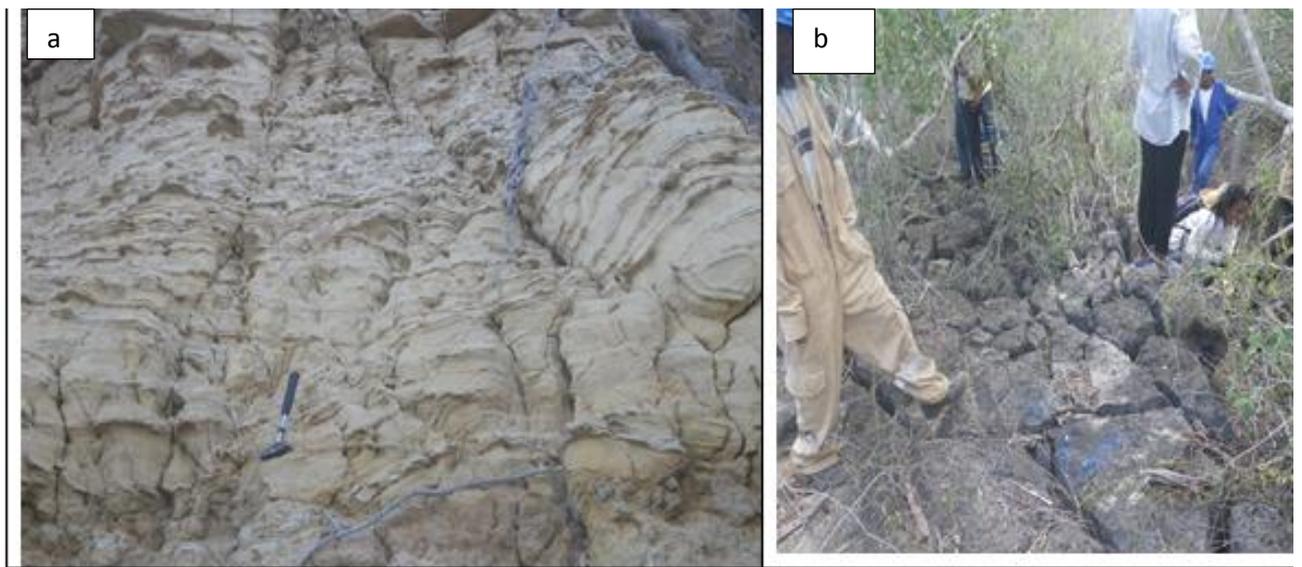


Figure 60: a) stries et b) diaclases observées sur le terrain

Figure 60 (a) : Figures d'érosion .Le courant peut creuser des marques allongées dans son sens d'écoulement.

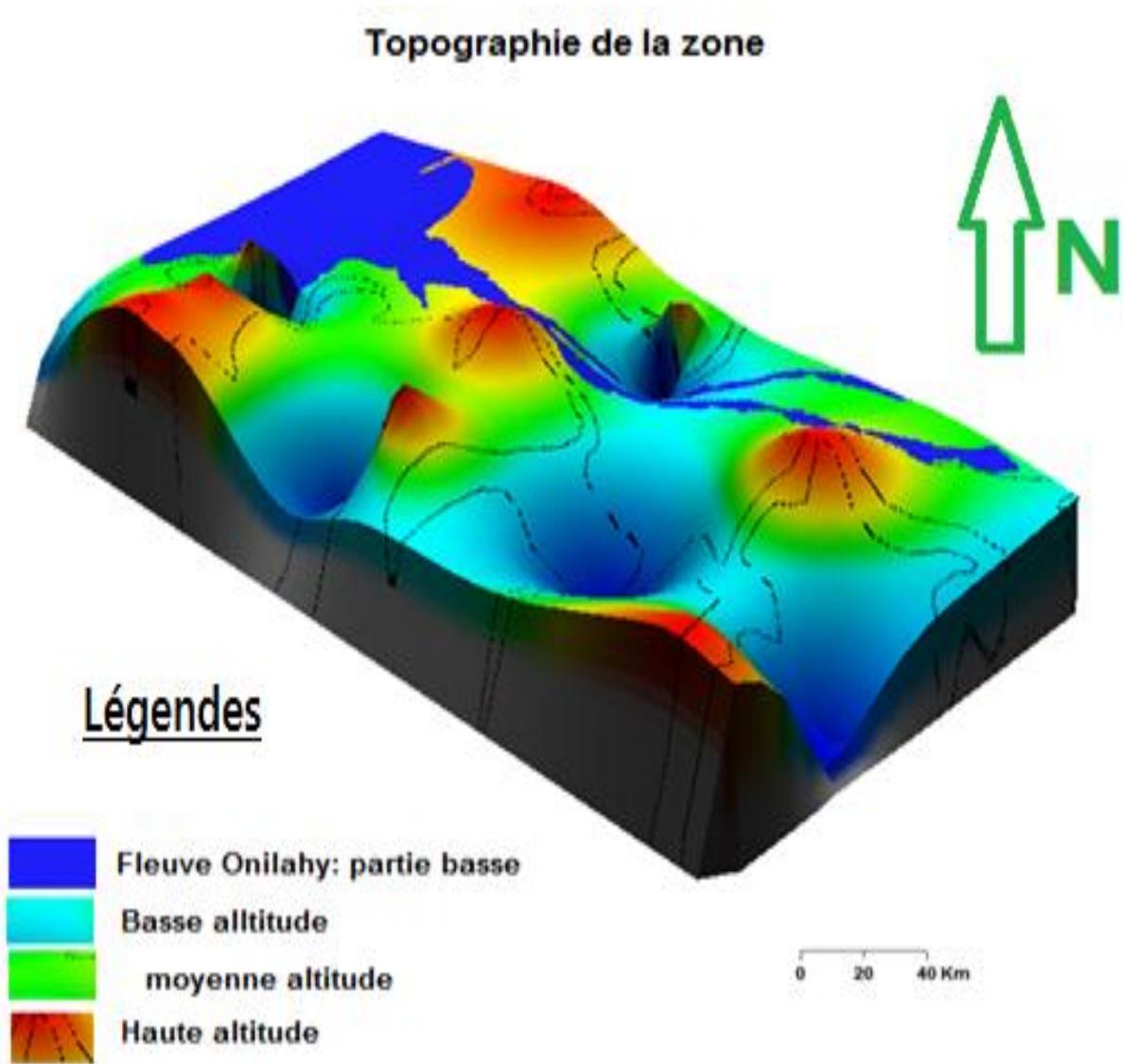
Empreintes d'objets : des objets divers (galets, coquilles, morceaux de bois) peuvent imprimer une surface de banc là où ils se trouvent, ou être emportés et laissés une trainée sur la surface.

Perturbations liées aux êtres vivants : Par leur activité, les êtres vivants peuvent perturber la surface du sédiment, et ces traces peuvent être fossilisées (indurées, recouvertes d'un sédiment qui en fait moulage...

Figure 60 b : La déformation observée est une diaclase (fracture sans déplacement des compartiments). Cette fracturation favorise le développement des réseaux karstiques lors des périodes plus humides (Pliocène, Quaternaire).

III.2.4 Les dépressions

De plus le plateau calcaire présente d'importantes différenciations d'altitude qui ,à l'intérieur, semblent être la projection des phénomènes de plissement observés sur des flancs du fleuve Onilahy. Ainsi les dépressions et les soulèvements correspondent aux structures anticlinales et synclinales d'un plissement qui résultent des phénomènes tectoniques affectant la zone. Des fractures se manifestent au cœur de ces structures. Cette topographie a favorisé aussi l'action d'érosion qui a réactualisé la géomorphologie du terrain.



Source : traitement logiciel ArcGis

Figure 61:Topographie de la zone d'étude

III.3 Géomorphologie

Géomorphologiquement, la zone d'étude est constituée de différentes unités. On distingue le vaste plateau karstique qui est d'âge éocène. Plusieurs talwegs coupent considérablement ce grand plateau calcaire dont le composant principal est le fleuve Onilahy. Des buttes témoins sont fréquentes dans les formations calcaires et on peut identifier le pendage de plaine littorale qui est recouverte par des dunes.

III.3.1 Talweg :

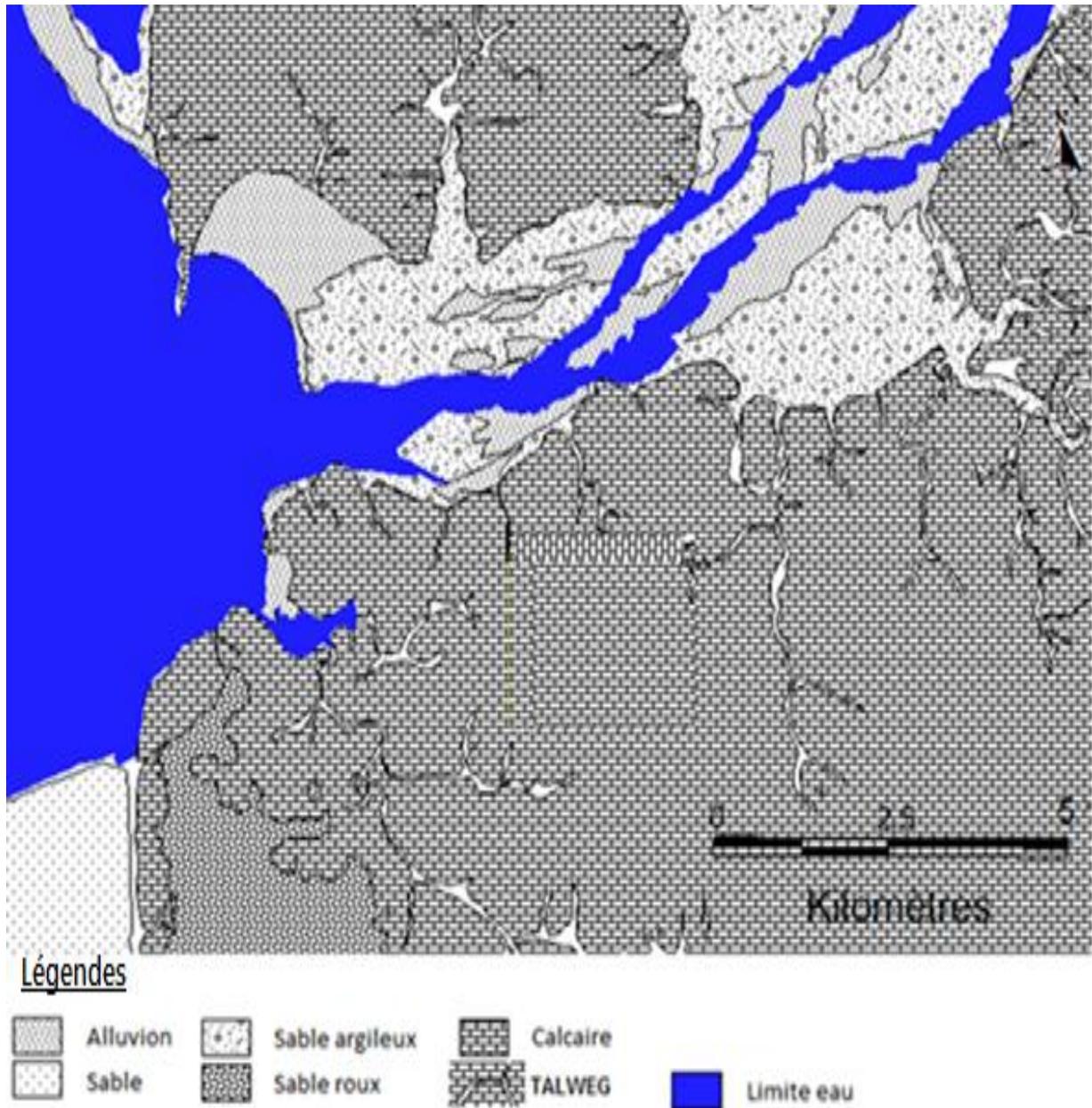


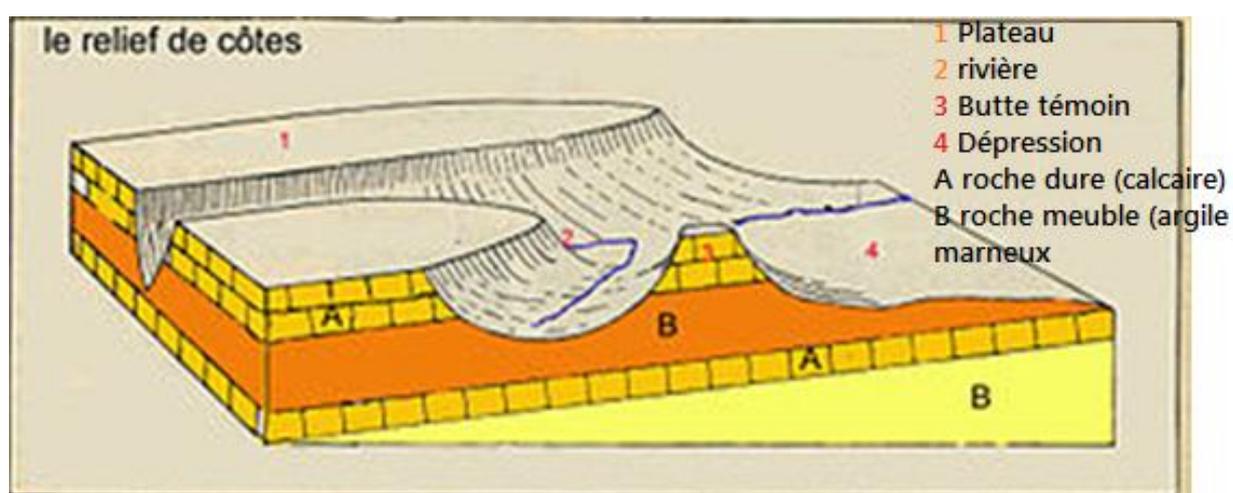
Figure 62:Présentation des talwegs dans la zone d'étude

La zone d'étude est très riche en talwegs, ils se localisent de part et d'autre du fleuve Onilahy. En général, ils la creusent en profondeur et jusqu'à plusieurs kilomètres à l'intérieur du plateau calcaire. En fait, ils sont les résultats des creusements des courants de fond marin du quaternaire .Ils forment des talwegs qui sont en réalité des canyons sous-marins du secondaire. Actuellement ces formations sont accentuées par les érosions causées par les précipitations au niveau du plateau calcaire.



Figure 63: talweg observé dans le terrain

III.3.2 Butte témoin :



Source : google ,2016

Figure 64:coupe de butte témoin

Une butte est rencontrée dans la zone d'étude. Ce phénomène est familier dans la formation calcaire. Elle résulte d'une érosion des formations tendres qui se trouvent autour d'une formation dure. Sur le site, on a pu vérifier que les formations au niveau de la partie érodée sont différentes de celle de la partie non abimée à cause de l'érosion différentielle.

Une autre observation nous a donné des informations complémentaires. Les lignes de creusement des canyons traversent de part et d'autre de la butte. De ce fait, cela renforce la théorie de la résistance de la formation de la butte par rapport aux autres.



Figure 65:une butte témoin observée sur terrain

III.3.3 Karst

Un des phénomènes les plus remarquables dans le plateau calcaire est la grotte. On rencontre des grottes un peu partout dans la région. En fait, des dizaines, voire des centaines sont été recensés dans ce plateau. Elles ne sont pas encore bien étudiées des structures pareilles.

III.3.4 Grotte

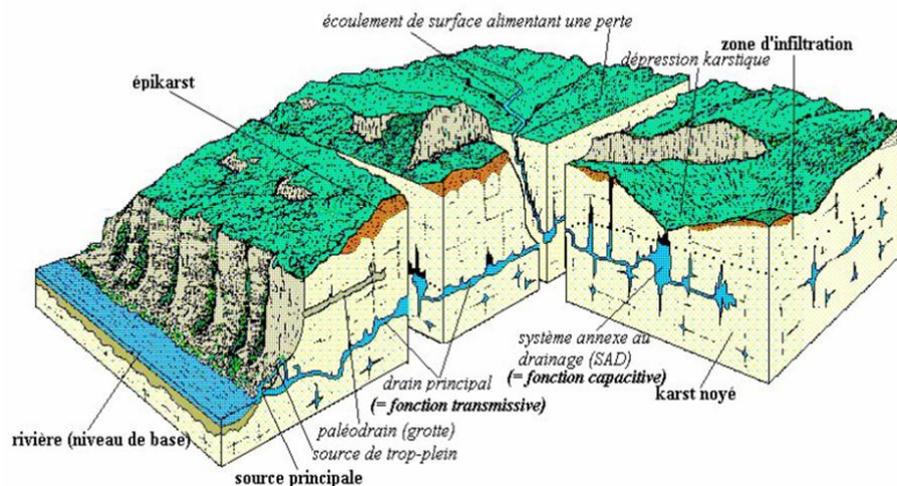
Concernant notre zone des expéditions réalisées peuvent montrer l'existence des grottes sur le flanc du versant de la rive droite du fleuve Onilahy. Ce sont des excavations horizontales creusant vers l'intérieur de massif de calcaires. En outre il faut noter l'existence des résurgences dans la même zone.



Figure 66: grotte observée dans notre zone d'étude

-Karstification

Bakalowicz (1999) a défini le Karst comme « l'ensemble des formes superficielles et souterraines résultant de la dissolution des roches carbonatées (calcaires et dolomies) par l'eau redue acide par le dioxyde de carbone. L'ensemble de formes comparables se développe dans les roches salines (gypses, anhydrite, halite)». L'interconnexion de ces formes donne naissance à un système karstique.



Source : Bakalowicz.M. 1999

Figure 67:schéma de karst

La karstification est donc l'ensemble des phénomènes qui amènent à la formation des Karsts ; elle est conditionnée par deux facteurs principaux :

Le solvant qui a le rôle de dissoudre les roches, pour les karsts classiques il faut l'intervention de H₂O (l'eau de précipitation) et CO₂ ce qui conduit aux réactions chimiques suivant

Formation de l'acide carbonique : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

Dissociation de l'acide carbonique : $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$

Dissociation de l'ion hydrogencarbonate : $\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$

Dissociation de la calcite : $\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$

Quant au gradient hydraulique, il conditionne la circulation de l'eau et l'évacuation des matières dissoutes.

Ainsi confirme la grande importance de l'occupation des fractures dans le plateau calcaire plus particulièrement dans la zone d'étude.

-Les formations éocènes

La zone d'étude est évidemment composée par des roches sédimentaires calcaires,

Les niveaux de l'éocène moyen et supérieur apparaissent relativement peu karstifiés en surface, soit parce que la nature lithologique des calcaires s'y prête moins (calcaires marneux de l'éocène moyen), soit parce que les formes karstiques sont anciennes et n'évoluent plus sous le climat actuel, ce qui aboutit à leur remblaiement. Les dolines sur la zone de l'Eocène supérieur sont presque toutes remblayées. On n'y connaît que très peu d'avens) (Sourdat et al. 1971).

La présence de sources au pied de la falaise, sur la rive gauche de l'Onilahy (sources de Soalara) et l'intense fracturation de la zone septentrionale du plateau (nord du couloir d'Itombona) permet toutefois d'y suspecter la présence d'un réseau actif.

Les niveaux de l'éocène inférieur à alvéolines sont en revanche constitués de calcaires très compacts particulièrement favorables à la karstification. Ainsi, la surface structurale matérialisant le toit de ces calcaires (zone des avens), est littéralement truffée de nombreux avens. Même si une cinquantaine d'entre eux, les plus importants, sont visibles sur les photographies aériennes, ils n'ont, pour la plupart, pas encore été explorés.

Ainsi, la karstification de l'éocène inférieur montre à quel point celui-ci peut être considéré comme un "château d'eau". On peut s'attendre à ce qu'il existe en plus, de nombreuses cavités occultes, dont l'effondrement n'a pas encore atteint la surface.

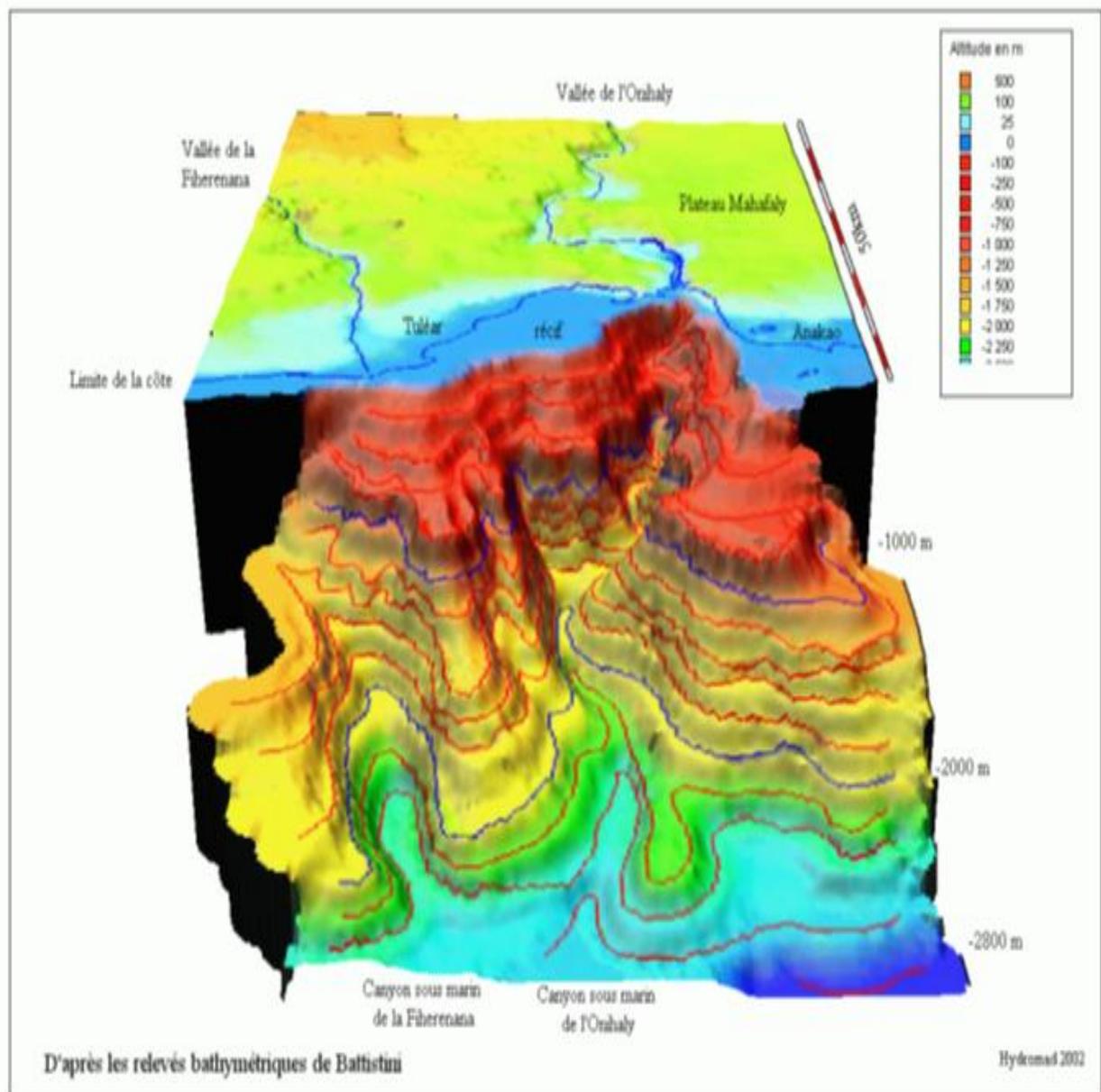
III.4 l'Onilahy

III.4.1-Le fleuve Onilahy

Le fleuve Onilahy est un des fleuves qui parcourent le Sud-Ouest de Madagascar. La morphologie de ces réseaux hydrographiques se différencie des autres par son allure digitée et méandreuse. Par ailleurs on note l'importance des canyons qui caractérisent également le fleuve. Il est alors intéressant d'étudier l'origine et la morphologie de l'Onilahy (J.N Salomon 1986)

III.4.1.1 Allure du fleuve

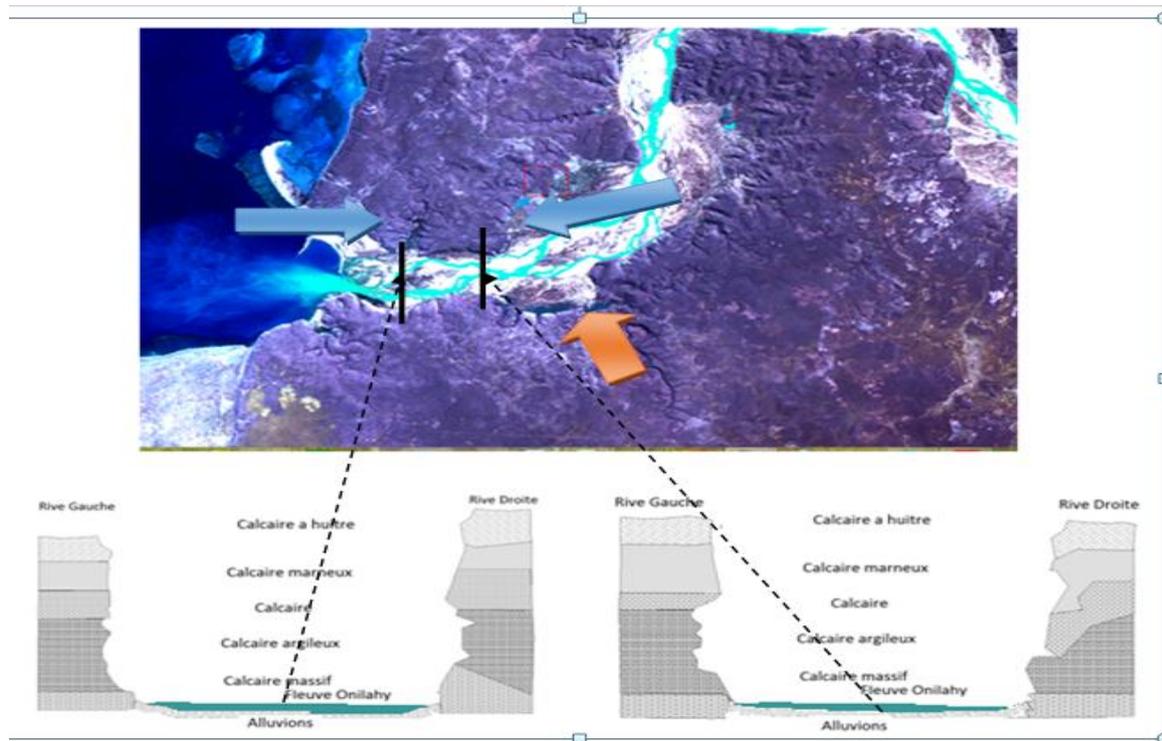
Le fleuve Onilahy a déjà fait l'objet d'une étude, plus particulièrement, la mise en évidence de l'existence de la vallée sous-marine. Ainsi le paysage sous-marin de l'Onilahy a été reconnue jusqu'à la profondeur de 2 600 m (Battistini et al 1975). En amont, le fleuve Onilahy présente une vallée étroite et relativement encaissée avec une altitude de 80 à 150. Elle s'élargit vers l'aval, notamment à partir de la profondeur de 2 000 m (Battistini et al 1975). Les versants sud et nord sont identiques avec des pentes plus ou moins faibles. Toutefois elles se trouvent encaissées par de nombreuses vallées secondaires dont deux talwegs remarquables se transforment en des affluents principaux du fleuve Onilahy à la hauteur de la moitié nord du Grand Récif. Ayant une direction générale WNW-ESE, le parcours du fleuve Onilahy est régulièrement sinueux. On note successivement deux directions probablement perpendiculaire ; direction W-E suivi de direction N-S. Cette allure commence depuis et est toujours observable jusque dans la partie sous-marin (Battistini 1975).



Source : Hydromad 2004

Figure 68: Canyon dans l'embouchure du fleuve Onilahy

Plusieurs hypothèses se présentent pour définir la genèse de l'Onilahy. Une distension est possible, l'allure générale des deux rives du fleuve (rive droite et rive gauche) montre une similarité. En plus, d'après l'étude sur terrain, les deux côtés présentent également plus ou moins les mêmes formations. Jusqu'à aujourd'hui, aucun document n'a encore évoqué cette théorie.



Source :étude sur terrain



Figure 69: Montrant type de faille sur la rive de l'Onilahy

La plupart des auteurs ont défini la formation de l'Onilahy à partir de canyon sous-marin (selon René Battistini, Christina Jouannic, LA Maugé, G.Castellato et E.Vernier, 1975). Ce dernier se forme généralement par le creusement causé par le courant de fond marin ou courant de turbidité marin. Une étude montre l'existence d'une vestige de ce canyon à l'embouchure du fleuve Onilahy. Mais pourquoi le courant a suivi cette allure ?

Un canyon se formait donc par le creusement d'un courant (René Battistini 1975) on peut penser qu'il n'a excavé que les formations plus tendres créant ainsi l'allure du fleuve. On peut également réfléchir ce qui est aussi possible d'après les auteurs à l'action à la fois d'un courant de fond marin ou un courant de turbidité et le cisaillement d'une faille. On va appuyer cette dernière hypothèse dans ce mémoire, ainsi nous allons revenir sur l'histoire géologique

de Madagascar précisément à l'époque de la genèse du canal de Mozambique l'action de la ride de Davie.

Chapitre IV : DISCUSSION

Argument lithologique :

D'après notre observation sur le terrain, la colonne stratigraphique (Figure 22 et 23) montre la succession des couches géologiques de profondeur (0 à 50m): calcaire massif , calcaire argileux ,calcaire à huitre , , calcaire lumachelle ,calcaire marneux ,argile ,marne ,calcaire poreux suivant la coupe CD.

Les auteurs précédents (Bésairie .H 1972 , Luc Guyot 2002) ont trouvé les variations de la formation lithologique suivant la profondeur :sur le plateau calcaire d'âge Eocène :

-Eocène 3 : calcaire marneux, marne à huitre ,gypse dans la profondeur 150m

-Eocène 2 : calcaire argileux à orbitholine dans la profondeur 150m

-Eocène1 : calcaire à nummulite, grès , calcaire ,calcaire oolithique dans la profondeur 30m

Les travaux lithologiques de RAKOTOVAO H.R.2014 sur les log stratigraphiques sont presque vérifiables à quelques profondeurs. Mais notre observation sur terrain a découvert une nouvelle information sur formation calcaire à fossile de couleur rouge c'est-à-dire le calcaire oolithique ferrugineux.

Les calcaires dominant donc sur toute l'épaisseur de la formation, pour tous les forages réalisés allant jusqu'à 100% pour certains. En détails les calcaires à coquilles imposent par sa nature sur les calcaires impurs ou mélangés avec d'autres roches et ceux des calcaires purs pour la plupart des sites ; toutefois certains sites présentent des intéressantes couches de calcaires purs et une abondance de dépôt autres que marine. Par ailleurs 9/10 forages à une profondeur de 50m montrent la présence de fractures et/ou des fissures qui entaillent le calcaire, elles se trouvent en position moyenne de 20 à 40m

-Argument structural :

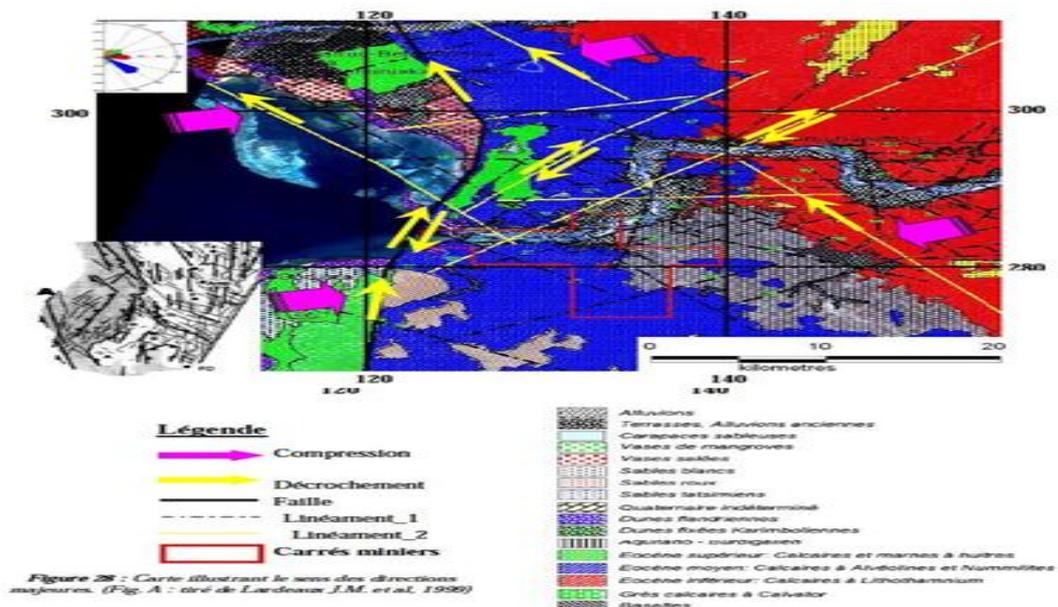
La structure de la zone d'étude à Soalara a montré des structures acclinales. Ensuite, l'interprétation de la structure interne qui était mal connue , on a observé de fracture faille sur le carottes (Figure 32 et 33).Du point de vue tectonique, les échantillons pris et étudiés à partir des forages dans cette zone d'étude confirment également l'existence des fractures au cœur même du plateau. Par ailleurs ceci peut confirmer la possibilité d'interconnexion des fissures au sein du vaste plateau calcaire permettant la circulation de la nappe dont témoignent les traces ou le commencement des traces d'érosion sur les échantillons. Ils aboutissent à la

formation des sources au niveau des résurgences ou également la structuration des grottes et des avens.

Donc suivant l'observation sur les échantillons de forages sur la zone d'étude les fractures sont importantes, leurs directions sont difficiles à déterminer, par contre leurs pendages sont évidents et mesurables. Ils varient entre 60° et 80° . Les échantillons montrent des fissures sur les formations dures de quelques millimètres jusqu'à des dizaines de centimètre de long. Ils sont accompagnés des ouvertures apparemment sans obstructions, ils sont de l'ordre de micromètre à une dizaine de centimètre. et entraînent des déformations pour les couches tendres. A l'intérieur du plateau ils sont interprétés par des nombreuses dépressions qui se développent dans le plateau.

Les études des affleurements ont montré plusieurs types de faille notamment : failles obliques (environ 63° à 65°), les failles inverses et les failles normales sur le plateau calcaire mahafaly à Soalara qui les diffère par rapport aux travaux des auteurs précédents.

Les travaux sur la carte illustrant les sens de directions majeurs de MOANAZAFY S.O.2009 sont bien confirmés d'après notre observation sur terrain, les forces compressives (Figure 55 au 57).



Source :MOANAZAFY S.O.2007

Figure 70:Carte illustrant le sens de direction majeures

-Géomorphologie :

Les autres auteurs comme Guyot et al 2005, Hydromad 1997 ont étudié le contrôle des structures tectoniques sur l'hydrologie karstique de cette formation calcaire.

Les fractures et conduits karstiques colmatés par des argiles de décarbonatation dans les calcaires Eocènes accueillent la nappe phréatique (embouchure de l'Onilahy, Saint-Augustin).

L'existence d'une circulation souterraine actuelle sous le plateau calcaire est avérée par de nombreuses résurgences souvent à fort débit +50l /s dans la basse vallée de l'Onilahy (Hydromad ,1997), au pied de l'escarpement occidental en bordure de mer de Soalara.

L'étude de RADO Razafimandrato 2009 et EIE Dynatec 2009 ont montré l'existence de quelques points d'eaux au pieds du plateau calcaire : soalara, Lavenombato ,ambatobe et Andranoloza Antaha.Ce sont de lieux qui se trouvent sur la zone périphérique du Site Soalara.

Nous confirmons que ces études précédentes ci-cités existent sur la zone d'étude .D'après notre observation sur terrain, les conduits karstiques sont visibles à la surface, de cavité interne et de grotte.

La présence de butte témoin dans cette zone a montré une nouvelle information géomorphologique.

CONCLUSION, ET RECOMMANDATION

Conclusion

L'étude de différentes caractéristiques géologiques, stratigraphiques, structurales et l'analyse géomorphologique sont le fruit de ce présent mémoire.

Les formations sédimentaires couvrant la zone ont été montrées par de log représentatif à l'aide de logiciel GesFor comme F01, F02 ; F03 ...Elles sont d'âge éocène, on a identifié les détails lithostratigraphiques en 3D à l'aide des traitements et des analyses des carottes.

Les études des affleurements ont permis de découvrir les types de failles comme : la faille oblique, les failles inverses sur les rives de l'Onilahy.

Enfin l'étude de la géomorphologie de la zone a permis de démontrer un modèle sur le système karstique qui constitue en grande partie la formation de cette zone.

En conséquence, on a pu positionner l'emplacement des épi-karsts, des zones d'infiltration. On peut évaluer le trajet de principal drainage marqué par son exutoire qui se traduit par des sources.

Les informations des forages et fournies par les fossiles (faune, flore) ont contribué à avoir une meilleure connaissance des conditions de dépôts des formations dans la zone étudiée. Les conditions physico-géographiques des formations calcaires : climat chaud, profondeurs à faibles hydrodynamiques. La présence d'algues témoigne de l'existence d'une zone photique.

Malgré les efforts déjà fournis et qui ont permis d'obtenir ces résultats, des améliorations doivent être envisagées, d'une part par rapport aux traitements, analyses et interprétations de l'étude déjà entreprise, d'autre part sur les études à entamer pour atteindre un autre objectif.

En référence de l'objectif fixé :

Il nous faut plusieurs forages ayant une bonne répartition dans l'espace avec une profondeur plus importante pour assurer la présentation de la coupe géologique extrapolée et plus précise de la zone.

Les interprétations des données des forages et des formations à la surface, sont insuffisantes pour définir les activités structurales dans la région, une étude plus approfondie est donc sollicitée dans ce sens.

Une étude beaucoup plus précise de la géomorphologie surtout les grottes, pourrait sans doute permettre de définir les systèmes Karstiques de la zone.

Des données importantes, des logiciels appropriés seront des atouts pour mener à terme les études effectuées.

Ce travail de mémoire a donné des résultats qui se rapprochent à ceux des différentes études déjà réalisées antérieurement (RAKOTOVAO H.R.2014 et MOANAZAFY S.N.2007 et ANDRIANARIMANDIMBY M .2008) dans le site d'étude.

Recommandation :

Relatif à ces recommandations, d'autres études peuvent être réalisées :

- ✓ La sédimentologie beaucoup plus poussée
- ✓ Le système formation calcaire du Sud de bassin de Morondava.
- ✓ L'identification des fractures et des structurales de formation calcaire
à des profondeurs plus grandes
- ✓ La modélisation de la formation calcaire à l'aide de logiciel avancé.
- ✓ L'application de la méthode géophysique, à savoir la méthode sismique pour bien mettre en évidence l'organisation des matériaux terrestre

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andrianarimandimby M .2008.Modelisation 2D et 3D des gisements de calcaire de soalara ,sud -ouest de Madagascar
- Aurouze J. 1959. Hydrogéologie du Sud de Madagascar. Thèse de Doctorat, Université Paris.
- Arnaud C., 2011. Evaluation bibliographique du potentiel hydrogéologique du plateau Mahafaly, Madagascar
- Association Géologique d'Alès et de sa Région (AGAR)
- Bakalowicz M., 1999 .connaissance et gestion de ressources en eau souterraine dans les régions Karstiques Guides technique n°3,Lyon,Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-corse .
- Battistini R., 1964. Etude Géomorphologie de l'extrême sud de Madagascar. Etudes Malagasy. Thèse. Edition CUJAS, 577 p
- Battistini R., Jouannjc C., Mauge L. A., Casellato G et Vernier E. 1975. Morphologie et sédimentologie du canyon sous-marin de l'Onilahy (Sud-Ouest de Madagascar). Cah. ORSTOM, série Géol., vol. VII, n°2, 95-110.
- Bésairie H. (1967) ."The Precambrian of Madagascar." In: Rankama (Ed), The precambrian. Intescence Publ., London: 9.
- Besairie H. 1970. Précis de Géologie Malagasy, Annales géologiques Fasc-36.
Documentation du Bureau Géologique N° 180. Tananarive, 206p.
- Besairie H. (1970). " Carte Géologique de Madagascar, scale 1/ 500. 000,. " Service Géologique de Madagascar ,Antananarivo Color (3 sheets).
- Besairie H. (1971). " Carte géologique de Madagascar ,scale: 1/ 100.000, feuilles : I , J, K, L, M, N, O , P, Q - 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60 & notices explicatives . " Service Géologique de Madagascar , Antananarivo.

- Besairie H.1972.cartes géologiques de Madagascar sur une échelle 1/1000 000.
- Collins A. S.and S. A. Pisarevsky (2005). "Amalgamating eastern Gondwana: The Evolution of the Circum -Indian Orogens ." *Earth-Science Reviews* 71(3- 4):229-270
- Collins A. S. (2006). "Madagascar and the amalgamation of Central Gondwana." *Gondwana Research*9 (1-2): 3-16.
- Chaperon P.Danloux .J Ferry .L. 1993. Fleuve et rivière de Madagascar
- Consortium GAF/BGR .2008.sur le Projet de Gouvernance des Ressources Minérales, financé par la Banque Mondiale, avait effectué la révision cartographique de Madagascar sur une échelle de 1/1 000 000.
- Dyment, J., 1991. Structure et évolution de la lithosphère tectonique dans l'océan Indien: Apport des anomalies magnétiques. Thèse de doctorat., Univ. L. Pasteur, Strasbourg, 374 pp.
- Fox. P.J., Gallo, D.G.. 1984. A tectonic model for ridge-transform-ridge plate boundaries: implication for the structure of oceanic lithosphere. *Tectonophysics* 104, 205-242.
- Dynatec Rapport,2007. EIE Exploration calcaire de Soalara-Toliara;Vol.1: corps de l'étude. 105p.
- Grégoire .A, Gilles.B, Contrôle structural et tectonique sur l'hydrogéologie karstique du plateau Mahafaly (domaine littoral semi-aride, sud-ouest de Madagascar), *KARSTOLOGIA* n°45-46, 12p
- Gilles .B, Rakoto.T, 2004. Etude et Travaux hydrogéologiques et géophysiques dans le grand sud de Madagascar Rapport final, Hydromad, 125p.
- Geiger M., Clark D. N, and Mette . W, (2004)."Reappraisal of the timing of the breakup of Gondwana based on sedimentological and seismic evidence from the Morondava Basin, Madagascar." *Journal of African Earth Sciences* 38(4): 363-381.
- Hottin G. (1976)." Présentation et essai d'interprétation du Précambrien de Madagascar." *Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*. 4:117- 153.
- Hoerner J.M. 1996. Géographie Régionale du sud-ouest de Madagascar. Collection « Tsiokatimo » Séries de recherche N° 05 C.U.R Toliara Pages ?????
- NANTENAINA Jeannot, mémoire en DEA ,2017*

- Hydromad Rapport final 2004. études et travaux hydrogéologiques et géophysiques dans le grand sud de Madagascar.
- Guyot L. 2002. Reconnaissance hydrogéologique pour l'alimentation en eau d'une plaine littorale en milieu semi-aride : Sud-Ouest de Madagascar. Thèse de Doctorat, 228p.
- Guyot L. 2005. Contrôle structural et tectonique sur l'hydrogéologie karstique du plateau Mahafaly (domaine littoral semi-aride, sud-ouest de Madagascar), *KARSTOLOGIA* n°45-46, 12p.
- Guyot L. 2008. Logging de sondages et interprétation géologique pour un projet d'ouverture de carrière à Soalara (Tuléar). Rapport BRGM/RC-55516-FR.
- Léclaire .1979.Reconstitution de la répartition de la croûte continentale au Jurassique moyen, vers-160M.a.Le bloc continental quasi-unique barrait le Globe du pôle sud au pôle nord. Cette disposition, dirigeant les circulations océaniques de l'équateur vers les hautes latitudes, rend compte de la prévalence mondiale des climats tropicaux au Mésozoïque.
- Leclaire, L., Y. Bassias, M. Clocchiatti & Segoufin .J, 1989. La Ride de Davie dans le Canal de Mozambique : approche stratigraphique et géodynamique. *C.R. Acad. Sci.*3, 08, II :1077-1082.
- Michel Konstantinos C. 2006. Applications de méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection des ressources en eaux dans les milieux Karstiques, Thèse de Doctorat, 223p
- Mangin A., 1975. Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse de Doctorat, Univ.Dijon , 298p.
- Moanazafy S. O., 2007. Cartographie des structures tectoniques et traçages des apports terrigènes par image satellitaire (Plateau calcaire du Sud-Ouest de Madagascar). Mémoire d'ingénieur. ESPA. Univ. Antananarivo. Madagascar ,75p.p51
- Nicollet C. (1985). " les gneiss rubanés à cordiérite et grenat d'Ihosa: un marqueur Thermo barométrique dans le sud de Madagascar. " *Precambrian Research* 30:10.
- Pomérol C. et Fouet R. 1982 .les Roches sédimentaires, Presses Universitaires de France p :129.

- Randriamalala Z.M., 2009. Caractérisation des formations calcaires de l'éocène du site Soalara vis-à-vis de l'exploitation minière par le projet Ambatovy 132p
- Rakotondralambo A., 2008. Origine et connaissance de l'érosion des sols des bassins.
- Razanamalala F. N., 2009. Paléoenvironnement du plateau calcaire de Soalara (Bassin de Morondava). Mémoire d'ingénieur. ESPA. Univ. Antananarivo. Madagascar.
- Razafindrazaka Y, T. Randriamananjara, A. Pique, C. T houin, E. Laville, J. Malod and Groupe Campus "le rifting Malgache". 1999. L'évolution géologique de Madagascar et la dislocation du Gondwana : une introduction. Journal of African Sciences 28(4), 919-930.
- Razafimandrato R., 2009, Contribution à l'étude hydrologique et hydrogéologique du site Soalara vis-à-vis de l'exploitation minière de calcaire par le projet Ambatovy, Mémoire d'Ingénieur, 153p
- Razakamanana T., 1999. High-grade granulites of the Precambrian of southern Madagascar: petrologic, tectonic and metallogenic implications with regards to plate tectonic setting. Unpub. Thèse d'État, Université de Toliara, Madagascar. 276p.
- Rakotovao H.R., 2014, modélisation de séquences de dépôts calcaires de l'éocène de Soalara, mémoire d'ingénieur, 92P, 65
- Rossi G., 1981. Caractères du Quaternaire Littoral de l'Ouest de Madagascar.
- Rehault J. P., 1999. " Extension et sédimentation au paléozoïque terminal et au Mésozoïque dans le bassin de Majunga (Nord-Ouest de Madagascar) Latepalaeozoic and mesozoic extension and sedimentation in the Majunga basin in north western Madagascar . " Journal of African Earth Sciences 28(4): 949-959.
- Revue de Géographie N° 38, pp.23-51.
- Riquier J., 1954. Etudes sur les « Lavaka », Mémoire de l'institut scientifique de Madagascar, 33p
- Salomon J.N., 1986. Le Sud-Ouest de Madagascar, Etude de géographie physique, Thèse d'Etat, 996p.

Segoufin J. 1981. Morphologie et Structure du canal de Mozambique, Thèse de Doctorat, 236p

Service météoToliara 2011

Schandelmeier, H., F. Bremer and H. G. Holl (2004). "Kinematic evolution of the Morondava rift basin of SW Madagascar--from wrench tectonics to normal extension." *Journal of African Earth Sciences* 38(4): 321-330

Sourdat M., Karche, J. P. & Battistini, R. 1971. Phénomènes de pédogénèse et de karstification dans le sud-ouest de Madagascar. *Revue de géographie* 18, 50-75.

Subrahmanya K. R. (1998). "Tectono-magmatic evolution of the west coast of India." *Gondwana Research* 1(3-4): 319-327

Texas instrument incorporated denver ,colorado,USA Décembre 1966. Carte photo géologique et structurale selon géophoto service, inc science service

Windley, B. F. , A. Razafiniparany, T . Razakamanana and D. Ackermann (1994) ." Tectonic framework of the Precambrian of Madagascar and its Gondwana connections : a review and reappraisal. " *Geologische Rundschau* 83: 642- 649.

Wentworth C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392.

Yatheesh, V, G. C. Bhattacharya and K. Mahender (2006). "The terrace like feature in the mid-continental slope region off Trivandrum and a plausible model for India-Madagascar juxtaposition in immediate pre-drift scenario." *Gondwana Research* 10(1-2): 179-185.

WEBOGRAPHIE

https://search.yahoo.com/yhs/search?hspart=ddc&hsimp=yhs-ddc_bd&type=450_pr__alt__ddc_dss_bd_com&p=image+calcimetre

Résumé

Le plateau calcaire est une entité géologique très intéressante mais jusqu'à actuellement n'a pas fait l'objet d'une étude détaillée. Ce présent mémoire fournit de nouvelles informations géologiques pour la région, la précision sur les parties stratigraphique et structurale, l'analyse géomorphologique spécialement des Karsts sur le plateau calcaire Soalara par rapport à l'étude précédente. A travers ce mémoire ; l'étude de l'histoire géologique de Madagascar notamment relatif au Ride de Davie, la lithologie, le traitement et l'analyse des images satellites et des cartes, les études géomorphologiques et l'analyse structural et surtout la prospection géologique particulièrement le sondage géologique donnant des carottes échantillons des couches ; la connaissance du plateau calcaire s'enrichit. Ces divers méthodologies citées ci-dessus ont permis de délimiter la zone d'étude, de déterminer en détail les formations géologiques, l'emplacement et l'étendue ou/et l'épaisseur des affleurements, la superposition des couches géologiques dans la zone, d'identifier les phénomènes structurales et tectoniques par la présentation en 3D et en correlative affectant la zone, l'évolution des formations sédimentaires, le bouleversement des formations carbonatées en Karst sous l'action des processus physico-chimiques, identification de la pétrographie des roches calcaires par observation macroscopique nous aide à comprendre le paléoclimat et paléogéographique. Les travaux réalisés nous ont donc procurés des données scientifiques exploitables aboutissant à la proposition de l'hypothèse par rapport à l'objectif de cette étude.

Le mot clé: calcaire, géologie, stratigraphique, structurale, Karsts, tectonique, pétrographie , géomorphologiques ,corrélation.

Abstract

The limestone plateau is a very interesting geological feature but until now has not been the subject of a detailed study. This memory provides this new geological information for the region, the accuracy of the stratigraphic and structural parts, geomorphological analysis especially on the Karst limestone plateau Soalara from the previous study. Through this memory; the study of the geological history of Madagascar in particular on the Ride of Davie, processing and analysis of satellite images and maps, geomorphological studies and the structural analysis and especially geological prospecting particular geological survey giving samples of layers carrots; knowledge of the limestone plateau enriched. These various methodologies cited above delineated the study area to determine in detail the geological formations, location and extent and / or the thickness of the outcrops, the superposition of geological layers in the area, identify measures of structural and tectonic phenomena by 3D and correlation presentation affecting the area, the evolution of sedimentary formations, carbonate formations of upheaval in Karst under the action of physical and chemical processes, identification of petrography limestone rocks, helps us understand paleoclimate and paleogeography. The work has therefore given us realized usable scientific data leading to the proposal of the hypothesis in relation to the objective of this study.

The key word: limestone, geology, stratigraphic, structural, petrography, Karst, tectonic, geomorphology , correlation.