

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ABREVIATIONS	iv
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES PHOTOS	viii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : CADRE GEOLOGIQUE	2
I.1. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE	3
I.1.1. Généralités sur la région d'Ihorombe	3
I.1.2. Localisation du périmètre d'étude	8
I.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE	9
I.2.1. Sommaire sur la géologie cristalline et structurale de Madagascar	9
I.2.2. Aperçu sur la géologie du Sud de Madagascar.....	11
I.2.3. Contexte géologique de la zone d'étude	13
I.2.4. Caractéristiques structurales de la zone d'étude.....	13
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODE.....	16
II.1. MATERIELS	17
II.1.1. Les matériels géologiques utilisés	17
II.1.2. Les bases de données utilisées	18
II.2. METHODOLOGIE	20
II.2.1. Compilation bibliographique.....	20
II.2.2. Méthode de travail sur terrain	20
II.2.3. Traitement des données	25
II.2.4. Numérisation	29
CHAPITRE III : RESULTATS.....	30
III.1. ETUDE ET ANALYSE DES AFFLEUREMENTS.....	31
III.1.1. Etudes sur le terrain.....	31
III.1.2. Observations macroscopiques.....	37
III.2. PROCESSUS D'ELABORATION DE LA CARTE GEOLOGIQUE.....	42
III.2.1. Carte des points d'affleurement	42
III.2.2. Délimitation des principales roches en affleurement	43
III.2.3. La nouvelle carte géologique	45
CHAPITRE IV : INTERPRETATION DES RESULTATS.....	46
IV.1. OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN	47

IV.2. INTERPRETATION STRUCTURALE	51
IV.2.1. Interprétation structurale des couches	52
IV.2.2. Interprétation structurale des diaclases.....	58
CONCLUSION.....	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	62
TABLE DES MATIERES.....	A

LISTE DES ABREVIATIONS

°C	: Degré Celsius
µm	: Micromètre
3D	: Trois dimensions
BD	: Base de données
CIRAD	: Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
DIRA	: Direction Inter-Régionale de l'Agronomie
E	: Est
ENVI	: Environment for Visualizing Images
ESPA	: Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
FTM	: Foibe Taosaritanin'i Madagasikara
J	: Nombre de jours de précipitations mensuelles
J/N	: Nombre de jours de précipitations normales
Km²	: Kilomètre carré
GPS	: Global Positioning System
Hab. /Km²	: habitant par kilomètre carré
m	: mètre
MA	: Million d'années
N	: Nord
NNE	: Nord Nord Est
NNW	: Nord Nord Ouest
N-S	: Nord-Sud
PRD	: Programme régional de développement
RN7	: Route Nationale Numéro 7
RR	: Hauteur de pluies mensuelles
RR/N	: Hauteur de pluies moyennes normales
SIG	: Système d'Information Géographique
T°M	: Température moyenne mensuelle
T°M/N	: Température moyenne normale
W	: Ouest

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation de la région Ihorombe	3
Figure 2 : Carte morphologique de la région Ihorombe.....	4
Figure 3 : Carte hydrographique de la région Ihorombe.	5
Figure 4 : Carte de localisation du carré d'étude.	8
Figure 5 : Carte géologique simplifiée montrant les 5 grands ensembles lithologiques et structuraux du socle Précambrien et les traits structuraux majeurs modifiée	10
Figure 6 : Carte des unités tectono-métamorphiques du socle cristallin précambrien de Madagascar.	11
Figure 7 : Carte géologique du Sud de Madagascar.	12
Figure 8 : Carte géologique de Zazafotsy 1972, Feuille L55.....	14
Figure 9 : Carte structurale de Zazafotsy	15
Figure 10 : Type des bases de données	18
Figure 11 : Image Satellite du Carré C2	19
Figure 12 : Carte de tracé du permis en 9 carrés	21
Figure 13 : Maillage de la zone d'étude B.	22
Figure 14 : Carte d'échantillonnage.....	24
Figure 15 : Méthode de traitement des données.	25
Figure 16 : Choix de projection.....	27
Figure 17 : Calage d'une image satellite.	28
Figure 18 : Carte des points de parcours	31
Figure 19 : Carte des points d'affleurement.....	42
Figure 20 : Délimitation des principaux corps géologiques	43
Figure 21 : Carte des accidents structuraux	44
Figure 22 : Nouvelle carte géologique	45
Figure 23 : Illustration de la formation d'une « neck-zone ».....	47
Figure 24 : Localisation des coupes géologiques	48
Figure 25 : Coupes géologiques A-B, C-D, E-F.....	49
Figure 26 : Division en zone A, B, C, D, E.....	51
Figure 27 : Traces polaires des couches de la zone A.	52
Figure 28 : Histogramme des directions de la zone A.	52
Figure 29 : Traces polaires des couches de la zone B.	52
Figure 30 : Histogramme des directions de la zone B	52
Figure 31 : Traces polaires des couches de la zone C.	53
Figure 32 : Histogramme des directions de la zone C.	53
Figure 33 : Histogramme des directions de la zone D.	54

Figure 34 : Traces polaires des couches de la zone D	54
Figure 35 : Traces polaire des couches de la zone E.	54
Figure 36 : Histogramme des directions de la zone E.	54
Figure 37 : Traces polaires des couches de la zone d'étude	55
Figure 38 : Histogramme de l'ensemble des directions	55
Figure 39 : Bloc diagramme de la zone d'étude	56
Figure 40 : Carte structurale du Sud de Madagascar et coupe schématique Est-Ouest.....	57
Figure 41 : Modèle d'accommodation de l'encaissant lors de la mise en place d'un batholite	57
Figure 42 : Traces polaires des diaclases.	58
Figure 43 : Histogramme des directions des diaclases.....	58
Figure 44 : Carte de synthèse	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Température moyenne de la période 1999 à 2000.....	5
Tableau 2 : Pluviométrie annuelle de la période 1999 à 2000	6
Tableau 3 : Tableau d'échantillonnage	23
Tableau 4 : Les formations identifiées sur le terrain.....	32
Tableau 5 : Description des échantillons récoltés.....	41
Tableau 6: Tableau récapitulatif des mesures de la zone A.....	52
Tableau 7 : Tableau récapitulatif des mesures de la zone B.....	53
Tableau 8: Tableau récapitulatif des mesures de la zone C	53
Tableau 9 : Tableau récapitulatif des mesures de la zone D	54
Tableau 10 : Tableau récapitulatif des mesures de la zone E.....	54
Tableau 11 : Tableau récapitulatif	55
Tableau 12 : Tableau récapitulatif des mesures des diaclases.....	58

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Echantillon n° VBE-III : Gneiss à grenat.....	38
Photo 2: Echantillon n° VBE-I : Gneiss à grain fin	38
Photo 3: Echantillon n° VBE-IV : Gneiss amphibolo-pyroxénite.....	39
Photo 4: Echantillon n° VBE-II : Leptynite à grenat, cordiérite et sillimanite.....	40
Photo 5: Echantillon n° VBE-VI : Ortholeptynites à grenat.....	40
Photo 6: Echantillon n° VBE-V : Cipolin.....	41

Rapport-Gratuit.com

INTRODUCTION

Actuellement, l'exploitation minière occupe une place importante dans l'économie du pays. Ainsi de nombreuses compagnies et sociétés minières, comme la société VARUN-International, viennent dans l'île pour l'exploitation de diverses substances minérales. Les travaux d'exploration et d'exploitation exigent des techniques fiables et efficaces. La zone qui a servi d'étude dans le cadre de ce mémoire, est incluse dans le permis de la société VARUN-International.

La problématique soulevée est l'insuffisance des bases de données géo-structurales qui seraient utilisés en routine lors des campagnes de terrain.

L'objectif principal de ce mémoire est de réaliser la cartographie géologique d'un carré de 2,5 km² situé dans la zone de Vatovaky à 10 km au Nord de Zazafotsy. Il s'agit d'une part, d'établir une carte géologique prévisionnelle à l'échelle de 1/20.000^e et d'autre part, de procéder à la caractérisation des principales formations géologiques et structurales, d'où le titre de ce mémoire : **« Caractérisation structurale de la zone de Vatovorona Ihosy ».**

Par ailleurs, la zone d'étude étant également dans les environs immédiats de la fameuse shear-zone « Ranotsara-Bongolava », les résultats pourront apporter leurs contributions à une meilleure compréhension de la géodynamique de la région.

La méthodologie de travail que nous avons optée pour mener cette étude sont : la bibliographie et documentation, la télédétection, les travaux sur terrain, l'exploitation des résultats et des données et la rédaction du manuscrit.

Dans ce présent mémoire, l'étude est divisée en cinq chapitres :

- Le premier chapitre de ce mémoire correspond à la cadre géologique qui est la présentation générale et le contexte géologique de la région Ihorombe et la zone d'étude ;
- Le deuxième chapitre concerne les matériels et méthode que nous avons utilisés lors du terrain et du traitement des données ;
- Le troisième chapitre est destiné aux résultats qui sont l'étude et l'analyses des affleurements et les processus d'élaboration de la carte géologique ;
- Le quatrième chapitre comporte l'interprétation des résultats dont l'interprétation des observations sur terrain et l'interprétation structurale ;
- Une liste de Références Bibliographiques est dressée à la fin de cet ouvrage pour citer les documents qui ont apporté les informations capitales pour arriver à sa réalisation.

CHAPITRE I : CADRE GEOLOGIQUE

I.1. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

I.1.1. Généralités sur la région d'Ihorombe

La région d'Ihorombe est l'un des vingt-deux (22) régions de Madagascar qui se situe dans province de Fianarantsoa au centre Sud de l'île. Elle est traversée par la Route Nationale sept (RN7) et est répartie en trois districts : Ihosy, Iakora et Ivohibe dont le chef lieu est Ihosy. Elle a une superficie de 26.930 km² (figure N°1).

Les régions limitrophes sont : Haute Matsiatra, Atsimo Atsinanana, Anosy, Atsimo Andrefana (Source : PRD Ihorombe, 2005).

En 2005, 246 873 habitants ont occupé la région (Source : DIRA Fianarantsoa ; Districts Ihosy, Iakora et Ivohibe) qui sont en majorité des Bara et des Antesaka. La région Ihorombe a une densité moyenne de 7,63 habitants/km².

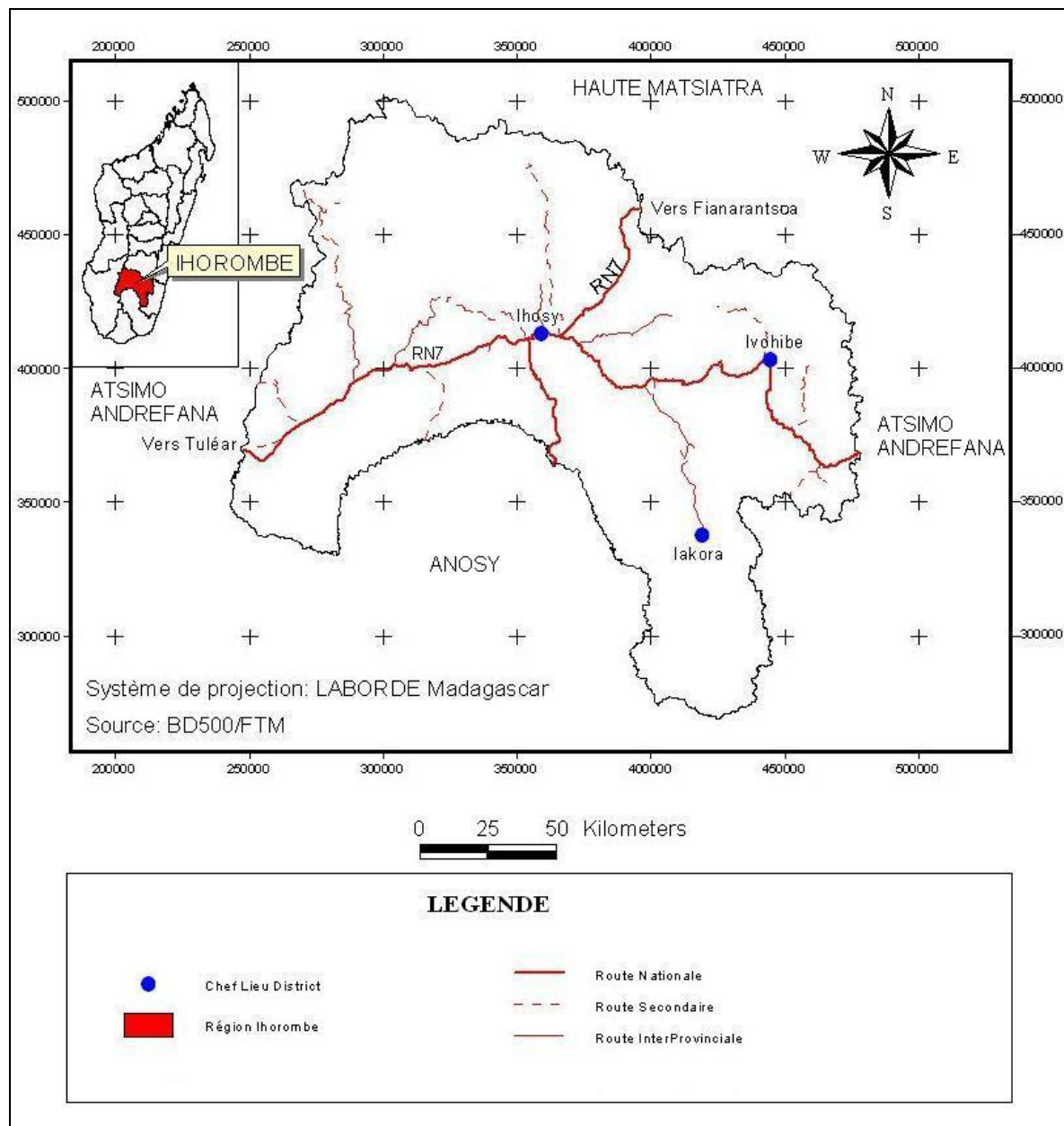


Figure 1 : Carte de localisation de la région Ihorombe (Source : BD500, FTM).

I.1.1.1. Description physique

I.1.1.1.1. Géomorphologie et cours d'eau

a. Géomorphologie

On y retrouve trois types de paysages (*figure N°2*) (Source : PRD Ihorombe, 2005):

- Le district d'Ivohibe fait partie du seuil de Ranomafana. L'agencement du relief se fait du Nord au Sud par la montagne d'Ivohibe qui culmine à 2.060m d'altitude au Nord-Est et une vaste plaine dans le moyen Ouest et le Sud ;
- Le district d'Ihosy est dominé par le plateau de l'Ihorombe, qui s'étend de l'Est vers l'Ouest, sous forme de paysages de plaines dont l'altitude varie de 300 à 600 m jusqu'au Massif de l'Isalo qui est à plus de 1 000 m. La Région est formée de terrains sédimentaires ;
- Le district d'Iakora est dominé par le paysage des plateaux alternés de dépressions et de plaines alluvionnaires d'altitude allant de 800 à 900m.

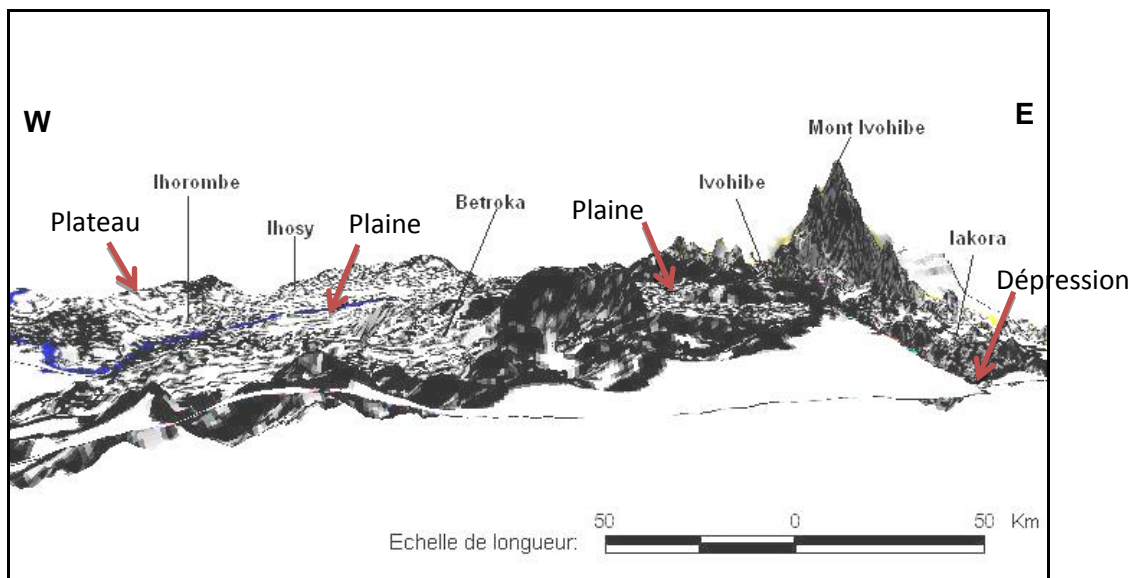


Figure 2 : Carte morphologique de la région Ihorombe (Source : R. Z. Sehen, 2008, Modifiée).

b. Cours d'eau

L'Ihorombe est parsemée d'un réseau hydrographique dense qui se répartit presque équitablement entre les trois Districts (*figure 3*):

- Au niveau du District d'Ihosy, les complexes de Maloto/Iagnana, de Menamaty de Malio et d'Ihosy ;
- Au niveau du District d'Ivohibe apparaît le complexe de Manampatra ;
- Au niveau du District d'Iakora se dégage les complexes d'Ionaivo et de Menarahaky.

Ces cours d'eau, en majeure partie stables, représentent un atout non négligeable en vue de l'intensification de la riziculture par l'installation de micro-hydrauliques villageoises (Source : CIRAD).

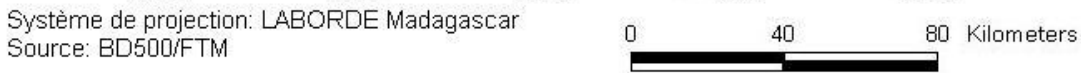


Figure 3 : Carte hydrographique de la région Ihorombe.

I.1.1.1.2. Climat

a. Température

Tableau 1 : Température moyenne de la période 1999 à 2000

STATION (Ranhira)	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T°M				22	19,8	16,9	16,4	19	22,4	21,7		24,4
T°M/N	24,2	24,2	23,5	22,2	19,6	17,5	17,4	18,5	20,8	22,8	23,8	24

T°M = Température moyenne mensuelle

T°M/N = Température moyenne normale (moyenne mensuelle des 30 dernières années)

Source : PRD Ihorombe, 2005

La Région Ihorombe bénéficie à la fois d'un climat tropical humide, dans la partie Est, et d'un climat tropical sub-humide, dans les parties Ouest et Sud-Ouest. La plus basse température (13,5°C) est enregistrée dans la partie nord de la Région. Au fur et à mesure que l'on descend vers le Sud, elle augmente progressivement et peut atteindre jusqu'à 20°C (Source : PRD Ihorombe, 2005). Le même phénomène apparaît également quand on évolue de l'Est vers l'Ouest.

Exemple : En 1999 à 2000, la station de Ranohira a montré que la température moyenne la plus basse est de 16,4°C le mois de Juillet. La température moyenne la plus haute est de 24,4°C le mois de décembre (tableau 1).

b. Pluviométrie

Tableau 2 : Pluviométrie annuelle de la période 1999 à 2000

STATION (Ranohira)	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
RR	274,9	279,2		12,4		2,8	0,3	3	1,1	24		193,8
RR/N	218,4	182,4	118,7	33,7	19	4,1	4,6	5,6	13,8	55,3	106	227,7
J	20	19		2		1	1	2	1	2		20
J/N	17	15	11	6	3	2	2	2	2		12	18

RR = Hauteur de pluies mensuelles (en millimètre)

RR/N = Hauteur de pluies moyennes normales (en millimètre)

J = Nombre de jours de précipitations mensuelles

J/N = Nombre de jours de précipitations normales (moyenne mensuelle des 30 dernières années)

Source : PRD Ihorombe, 2005

La période pluvieuse commence vers mi-octobre avec un maximum aux mois de décembre ou de janvier. Ensuite, la pluviométrie décroît pour tendre aux valeurs minimales à partir le mois d'avril ou mai. La période sèche s'étend du mois de mai à octobre (tableau 2). Toutefois, on enregistre des précipitations sous forme de crachins ou d'orage; utiles pour la régénération des pâturages. Les pluies tombent souvent sous forme d'orages violents qui entraînent un fort ruissellement, une érosion importante et des crues (Source : PRD Ihorombe, 2005).

I.1.1.1.3. Sols et végétation

a. Caractéristiques pédologiques

Pédologiquement, la région d'Ihorombe se distingue par l'existence des sols ferrugineux tropicaux d'Ihorombe, des îlots d'associations de sols ferralitiques rouges et jaunes/rouges, des sols faiblement ferralitiques et des ferrisols.

Dans la partie bassin sédimentaire, le sous-sol est formé de couches de matériaux sableux et de galets remaniés à plusieurs reprises dans les temps géologiques. (Source : PRD Ihorombe - 2005).

b. Formations végétales

Dans l'ensemble, la couverture végétale est constituée de savanes boisées (Districts Ivohibe et Iakora) ou tout simplement de savanes herbeuses avec des palmiers caractéristiques de la Région, tel le dimaky dans le district Ihosy. Les marais qui occupent les bas-fonds non cultivés et les rizières ensablées sont composés de bararata (*Phragmites* sp.), de vondro (*Typha augustifolia*) et des cypéracées (*Source : Monographie PDR - 2003*).

Malheureusement, la Région est annuellement parcourue par des feux de brousse et de pâturage, ce qui entraîne la dégradation de la végétation et le lessivage d'un sol déjà peu évolué.

I.1.1.2. Contexte socio-économique

Le sud est une des régions les moins peuplées de Madagascar. La densité de la population ne dépasse guère les 10 hab. /km² surtout dans les villes.

La population est très diversifiée. Les plus influentes sont les Bara, avec des immigrants Betsileo, Antandroy et Merina. La population est inégalement répartie.

La population se contente de se plier aux conditions naturelles (insuffisance des pluies). Elle se contente aussi d'utiliser les immenses espaces à leur disposition sous forme d'un nomadisme pastoral qui influence toute la vie sociale de la population. L'insécurité y règne à cause des vols de bovidés qui frappent les zones les plus reculées de la région. Les possibilités de cultures y sont réduites. Les sols cultivables sont rares et le problème de l'eau commande toute leur existence. Ceci provoque un risque d'insécurité alimentaire.

Les femmes et les enfants parcourent plusieurs kilomètres par jour jusqu' au point d'eau ou rivière la plus proche et bien souvent pour une eau de qualité déplorable. Le manque d'eau entraîne une très faible possibilité de cultures (*Source : PRD Ihorombe - 2005*).

Conclusion partielle :

Le relief d'Ihorombe est caractérisé par un plateau sous forme de paysage de plaines remarquables à une altitude variant de 300 au 2060m. Les roches décrites sont essentiellement cristallines, mais la partie ouest de la région est formée de terrains plutôt sédimentaires. Les cours d'eau existants dans la région sont les complexes suivant: Ihosy, Menarahaky, Menamaty, Maloto, Ilagnana, Ionaivo, Malio et Manampatra qui sont en majeure partie stable. La région bénéficie d'un climat tropical humide avec une température de 13.5° à 20°C. La période sèche s'étale dans toute l'année sauf le mois de novembre au mois de février. La couverture végétale est constituée de savanes boisées et savanes herbeuses. La population est en majorité des Bara, Betsileo, Antandroy, Antesaka et Merina. Le problème socio-économique est basé sur l'insécurité sociale, l'insuffisance de pluies et l'insécurité alimentaire (rareté des sols cultivables et problème d'eau potable). Ce chapitre est utile à une meilleure compréhension de la région et sert de base pour les analyses et tout projet de développement soutenable.

I.1.2. Localisation du périmètre d'étude

La zone d'étude se trouve à 5km au Nord-Est de la Route Nationale n°07 (RN7) et à 55km au Nord de la ville d'Ihosey qui est à 600km au Sud d'Antananarivo. Elle fait partie de la commune rurale de Zazafotsy, dans le district d'Ihosey, région Ihorombe et province de Fianarantsoa. Les coordonnées du permis sont comprises entre $x_{\text{minimum}}=397500$ et $x_{\text{maximum}}=407500$; $y_{\text{minimum}}=440000$ et $y_{\text{maximum}}=452500$.

La figure 4 présente le permis 39110 de la société VARUN-International qui est distribué en 9 carrés de 2,5km x 2,5km. La zone d'étude, localisée dans la partie B de ce permis, est délimitée par les coordonnées : $x_{\text{minimum}}=447500$ et $x_{\text{maximum}}=450000$; $y_{\text{minimum}}=397500$ et $y_{\text{maximum}}=400000$.

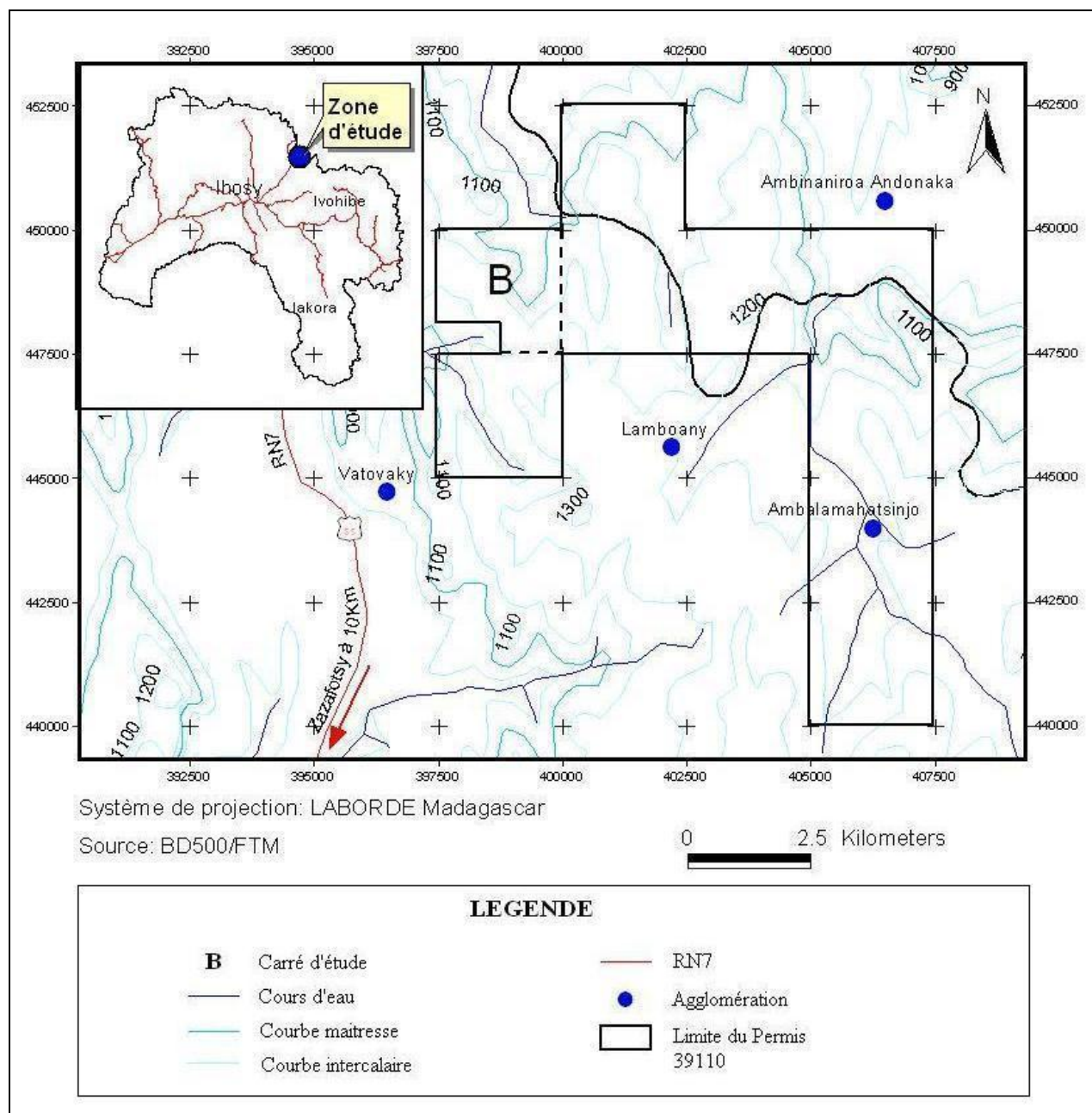


Figure 4 : Carte de localisation du carré d'étude (Source : BD500, FTM).

I.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le socle Précambrien malgache constitue approximativement les deux tiers de l'île.

Il est recouvert dans la partie occidentale de l'île par des sédiments déposés lors de la séparation de Madagascar et des Grandes Indes (Sri Lanka, Inde et Seychelles) du continent Africain, depuis la fin du Paléozoïque et pendant tout le Mésozoïque. Cette séparation s'est accompagnée de la formation d'une lithosphère océanique au Jurassique: le Bassin de Somalie et du Mozambique. Madagascar et les Grandes Indes, initialement juxtaposés avec le Kenya et la Tanzanie, se sont déplacés vers le Sud le long de la faille transformante de Davie jusqu'à sa position actuelle acquise au début du Crétacé (~130 Ma). La séparation de Madagascar et des Grandes Indes a eu lieu à la fin du Crétacé (~90 Ma) lors de l'ouverture de l'Océan Indien, qui résulterait du début de fonctionnement du point chaud de Marion sous le Sud de Madagascar (*Hartz et Torsvik, 2002*). Cet événement est marqué à Madagascar par la mise en place de roches volcaniques (basaltes et rhyolites) et plutoniques (gabbros) datées à 92 Ma (*Goncalves, 2002*).

I.2.1. Sommaire sur la géologie cristalline et structurale de Madagascar

I.2.1.1. Géologie cristalline malgache

Le socle Précambrien malgache, qui se compose d'une grande variété de lithologies d'âge Archéen à fini-Protérozoïque (~3.2 Ga à 530 Ma), a été subdivisé en plusieurs unités lithotectoniques dès les travaux pionniers de *Bésairie (1963)*. Cette classification a été reprise plus récemment par *Windley (1994)* et *Collins et Windley (2002)*. Cinq grands ensembles sont distingués en fonction de leur lithologie, âge et position structurale (*Goncalves, 2002*) (*figure 5*):

1. le craton Archéen de l'Antongil ;
2. le socle granito-gneissique ;
3. les unités basiques de Beforona ;
4. la série Schisto-Quartzo-Calcaire(SQC) ;
5. le Nord Madagascar (les unités de Bemarivo).

Collins et al, 2002, présente le Précambrien de Madagascar comme constitué de (*figure 6*):

- Cinq blocs tectono-métamorphiques stables qui sont du Nord au Sud: le bloc d'Antongil (Archéen inférieur), le bloc d'Antananarivo (Archéen), le bloc d'Ikalavony-Amborompotsy (Protérozoïque moyen), le bloc de Vohibory et le bloc de Taolagnaro-Ampanihy, d'âge Protérozoïque Inférieur ;
- Trois nappes de charriage : la nappe de Bemarivo essentiellement formée par des terrains du Protérozoïque moyen, traversée par des intrusions magmatiques récentes du Néoprotérozoïque, la nappe de Tsaratanana avec trois ceintures magmatiques (ceinture de Maevatanana, ceinture d'Andriamena et ceinture de Befandriana-Alaotra-Beforona) et enfin, la nappe d'Itremo ;
- La suture Betsimisaraka, vestige de la fermeture d'un océan durant la coalescence gondwanéenne.

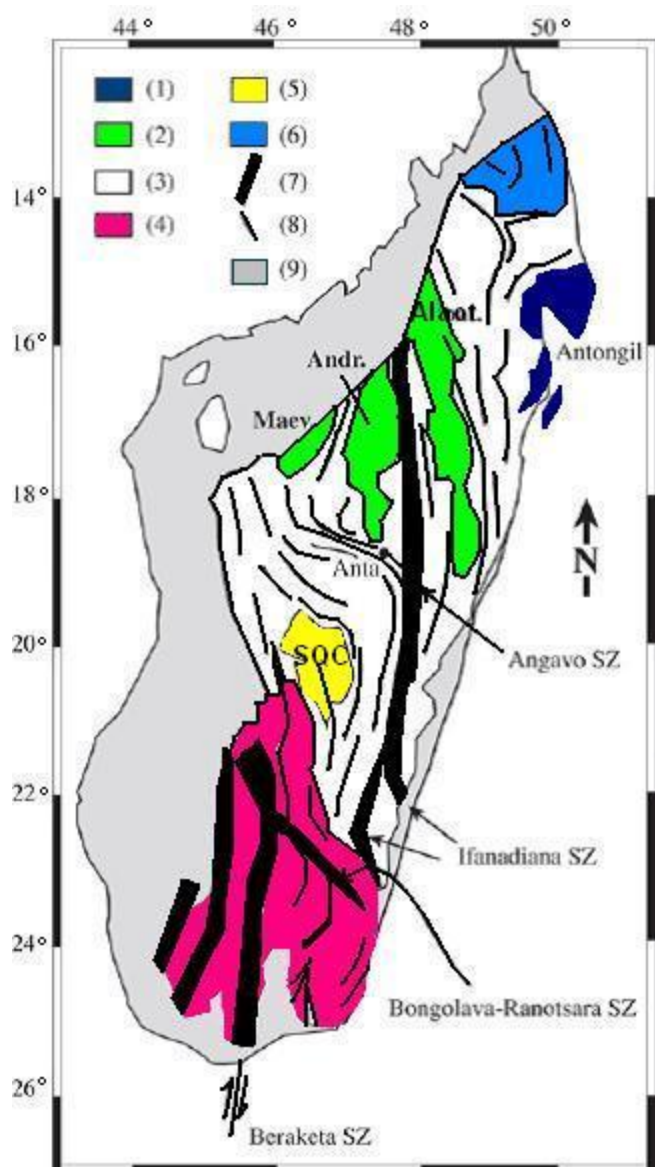


Figure 5: Carte géologique simplifiée montrant les 5 grands ensembles lithologiques et structuraux du socle Précambrien et les traits structuraux majeurs modifiée (Goncalves, 2002)

Légende

- 1) Craton Archéen de l'Antongil;
- 2) Unités basiques de Beforona incluant Maevatanana (Maev.), Andriamena (Andr.) et Alaotra-Beforona (Alaot.);
- 3) socle granito-gneissique Archéen-Néoprotérozoïque sur Antananarivo (Anta);
- 4) socle granito-gneissique Néoprotérozoïque;
- 5) Série Schisto-Quartzo-Calcaire (SQC);
- 6) Unités de Bemarivo;
- 7) traces de foliations majeures;
- 8) zones de cisaillement fini-Néoprotérozoïques - Cambriennes;
- 9) sédiments phanérozoïques.

I.2.1.2. Survol de la géologie structurale de Madagascar

Sur le plan structural, des zones de cisaillement contrôlent les principaux traits structuraux de l'île (Windley et al. 1994) (figure 6):

- La zone de cisaillement d'Ifanadiana-Angavo qui traverse du Nord au Sud les hauts plateaux centraux malgaches est responsable de raccourcissement accompagné d'une verticalisation de la foliation et d'un déversement général vers l'Est des plis régionaux ;
- La zone de cisaillement de Toamasina-Manongarivo longe la suture Betsimisaraka dans sa partie Nord-Ouest entre Toamasina et la presqu'île d'Ampasindava ;
- La structure cheveu-décrochante (Rolin, 1991) de Bongolava-Ranotsara qui serait une structure gondwanéenne réactivée au Crétacé et qui serait alors responsable de la formation par accréation des intrusions circulaires qui la longent (Lardeaux et al, 1997).

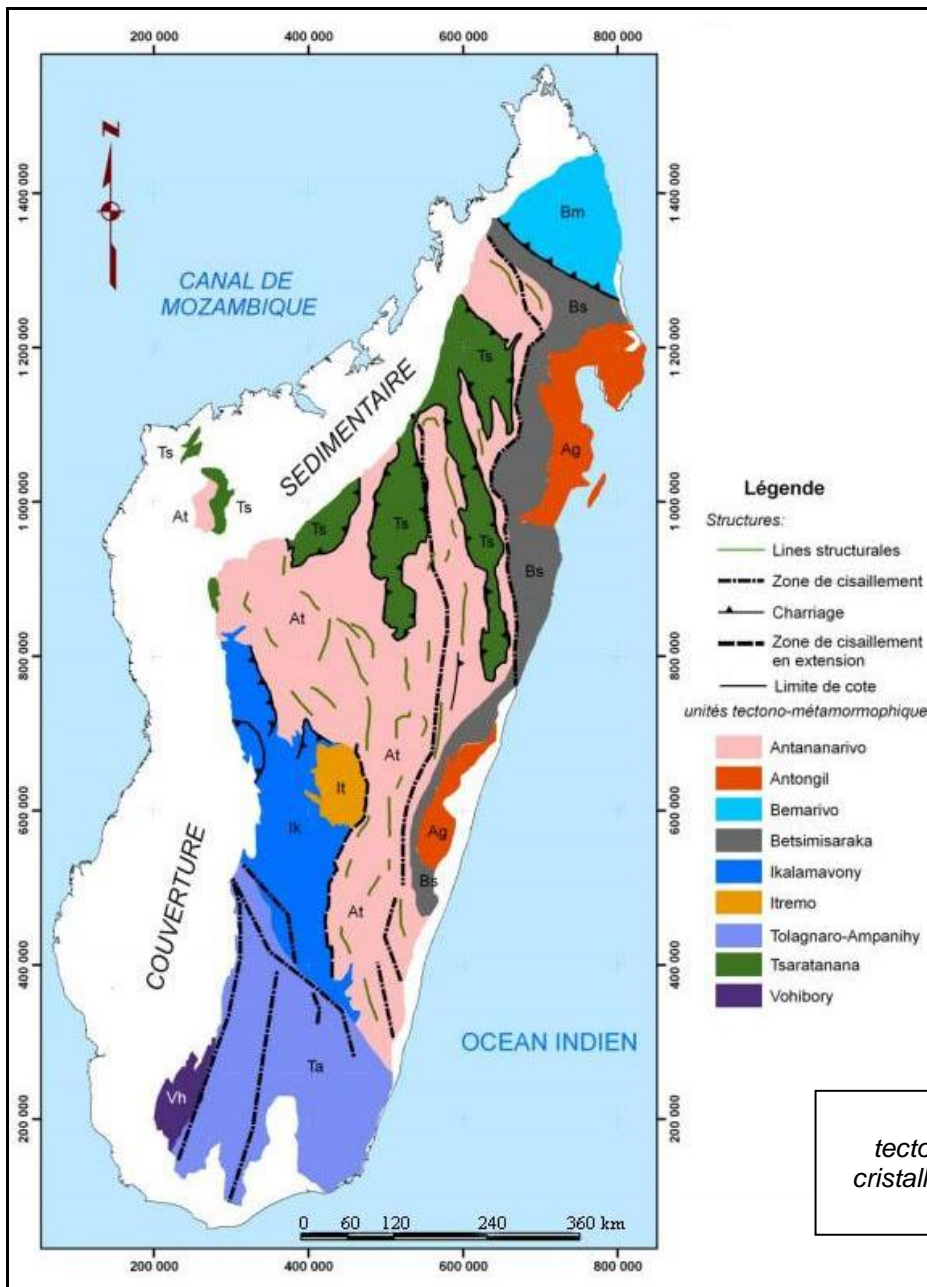


Figure 6 : Carte des unités tectono-métamorphiques du socle cristallin précambrien de Madagascar (Collins et al. 2002).

I.2.2. Aperçu sur la géologie du Sud de Madagascar

Le socle de Madagascar, unité précambrienne constituée de blocs archéens et protérozoïques, est composé essentiellement de migmatites et de granitoïdes et d'une unité supérieure composée d'alternances de divers types de gneiss mais également de roches métasédimentaires (quartzite, cipolin, Banded Iron Formation,...).

Au Nord, on trouve des roches principalement archéennes (~2,5 Ga) (granitoïdes, migmatites, gneiss d'Antongil Masora, d'Antananarivo, de Bemarivo) et métamorphosées par l'activité tectonique du Néoprotérozoïque Moyen (800-770 Ma) et du Néoprotérozoïque tardif (580-520 Ma). Au Sud, on trouve des roches protérozoïques métamorphosées pendant l'âge Pan-Africain (600-530 Ma) : Itremo- Ikalamavony - Taolagnaro et Vohibory (Ramiandrasoa N. et al. 2009).

Le Sud de Madagascar est formé d'une part, par les blocs de Taolagnaro-Ampanihy et de Vohibory situés au Sud de la structure de Ranotsara et d'autre part, par le bloc d'Ikalamavony-Amborompotsy situé au Nord de la structure de Ranotsara (Martelat, 1998).

La dernière période correspondant à l'assemblage de ces blocs au cours de l'orogénèse panafricaine, est marquée par des zones de cisaillements verticaux et par la mise en place de granitoïdes (Ramiandrasoa N. et al. 2009).

1.2.2.1. Les blocs de Taolagnaro-Ampanihy et de Vohibory

Correspondant au système Androyen de Bésairie avec le groupe de base du système du graphite (groupe Ampanihy), ce bloc est essentiellement formé de leucogneiss à leptynite essentiellement paradérivé du Protérozoïque inférieur. A 750Ma, une intense migmatisation avec des foyers locaux plus ou moins importants de granitisation a affecté la partie Sud de Madagascar. A cet événement est attribué la formation des chaînes Anosyennes de nature migmatitique avec plusieurs individualisations de granites et de charnockites (composées de cordiérite, orthopyroxène, corindon et plagioclase basique ; l'amphibole devient plus stable vers l'Ouest.) (figure 7).

Un second événement de granitisation à 550 Ma a été à l'origine de la genèse d'un skarn à uranothorianite dans la région de Tranomaro.

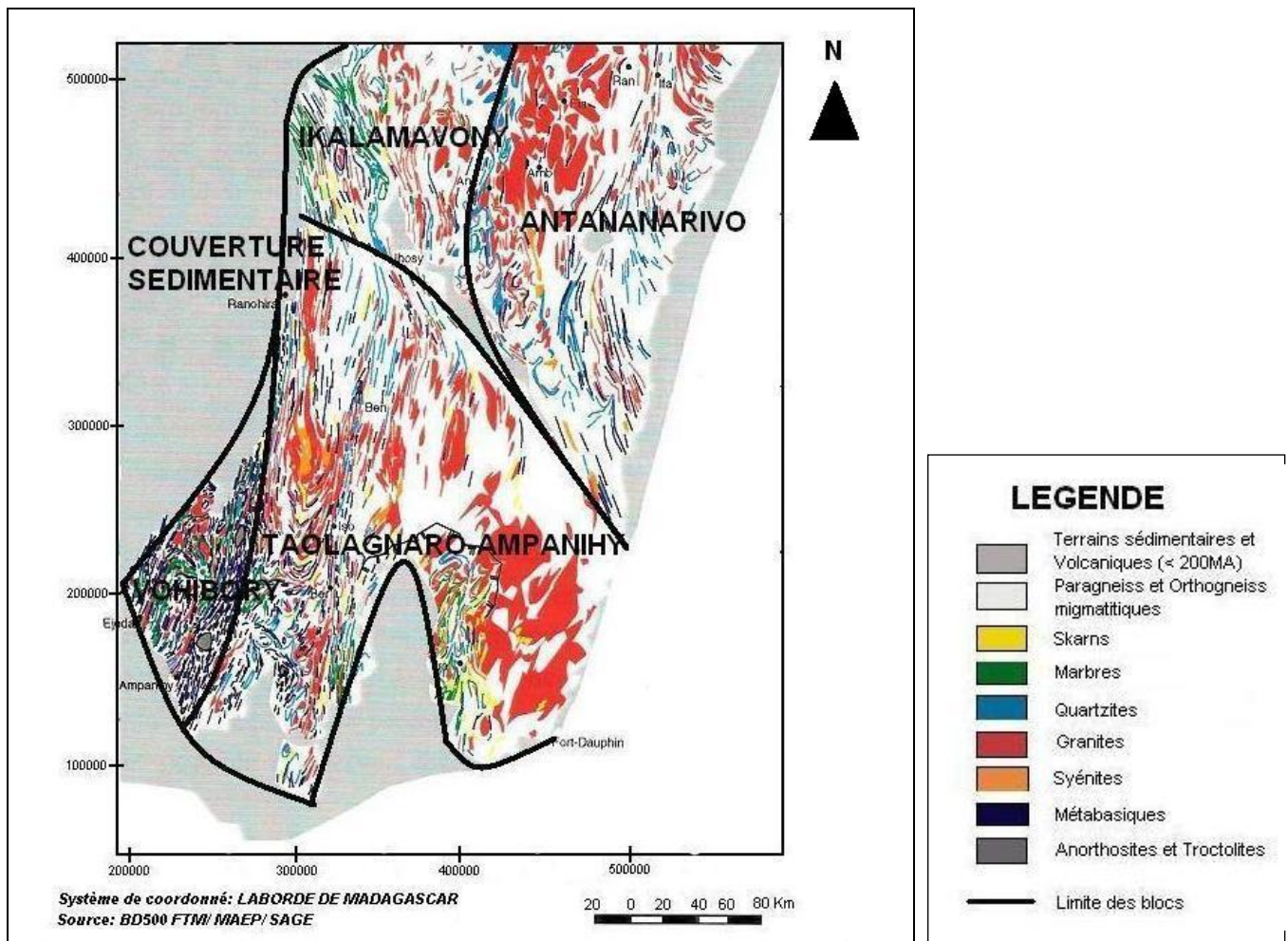


Figure 7 : Carte géologique du Sud de Madagascar (Martelat, 1998).

I.2.2.2. Le bloc d'Ikalamavony-Amborompotsy

Ce groupe est compris comme étant l'équivalent abyssal de la nappe d'Itremo dénommée série schisto-quartzo-dolomitique et qui est constituée de formations de plateforme continentale stable. C'est un ensemble gneissique largement migmatitisé localement granitisé, avec des pegmatites associées à la minéralisation de pierres fines.

Le site d'étude de ce présent mémoire est situé dans ce bloc, plus précisément aux environs de Zazafotsy.

I.2.3. Contexte géologique de la zone d'étude

La latérite occupe une partie importante de la surface étudiée (70 à 80%) alors que les roches saines affleurent sur les zones de crête et les cours d'eau. Sur les cartes géologiques d'Ihosy (*feuilles J-K-L 55 et 56, échelle 1/500 000 du Service géologique d'Ampandrianomby*), elles sont définies comme deux entités géologiques bien distinctes.

Elle fait partie du complexe ultramétamorphique androyen délimité par les deux cisaillements majeurs de Ranotsara et de Beraketa.

Cette zone est formée de gneiss migmatitiques à grenat, à cordiérite avec ou sans biotite, à sillimanite et leptynitiques. On y distingue aussi des intercalations de leptynites, quartzites, pyroxénites, des intrusions acides (*H. Bésairie, 1967*).

D'après les levées géologiques faites par *G. Rakotomavo (1966)* de la feuille L55 de Zazafotsy (*figure 8*), cette région est représentée, d'Ouest en Est, par une prédominance de leptynites à grenat et de gneiss à grain fin, sillimanite et cordiérite et également des gneiss à amphibole et pyroxène.

I.2.4. Caractéristiques structurales de la zone d'étude

La région est classée dans le groupe d'Amborompotsy (série d'Ikalamavony). L'analogie de leur disposition relative a permis le rattachement de ces séries à celles d'Ikalamavony. Les quartzites de base sont l'équivalent de la séquence arénacée de l'Amporona. Les formations des gneiss dominants correspondent à la séquence à prédominance pélitique d'Ikalamavony. La série des cipolins de Vohimena correspond au niveau à cipolin aux quartzites et gneiss à pyroxène. Les niveaux de leptynites semblent répondre à une différence d'intensité du métamorphisme (*Rakotomavo, 1966*).

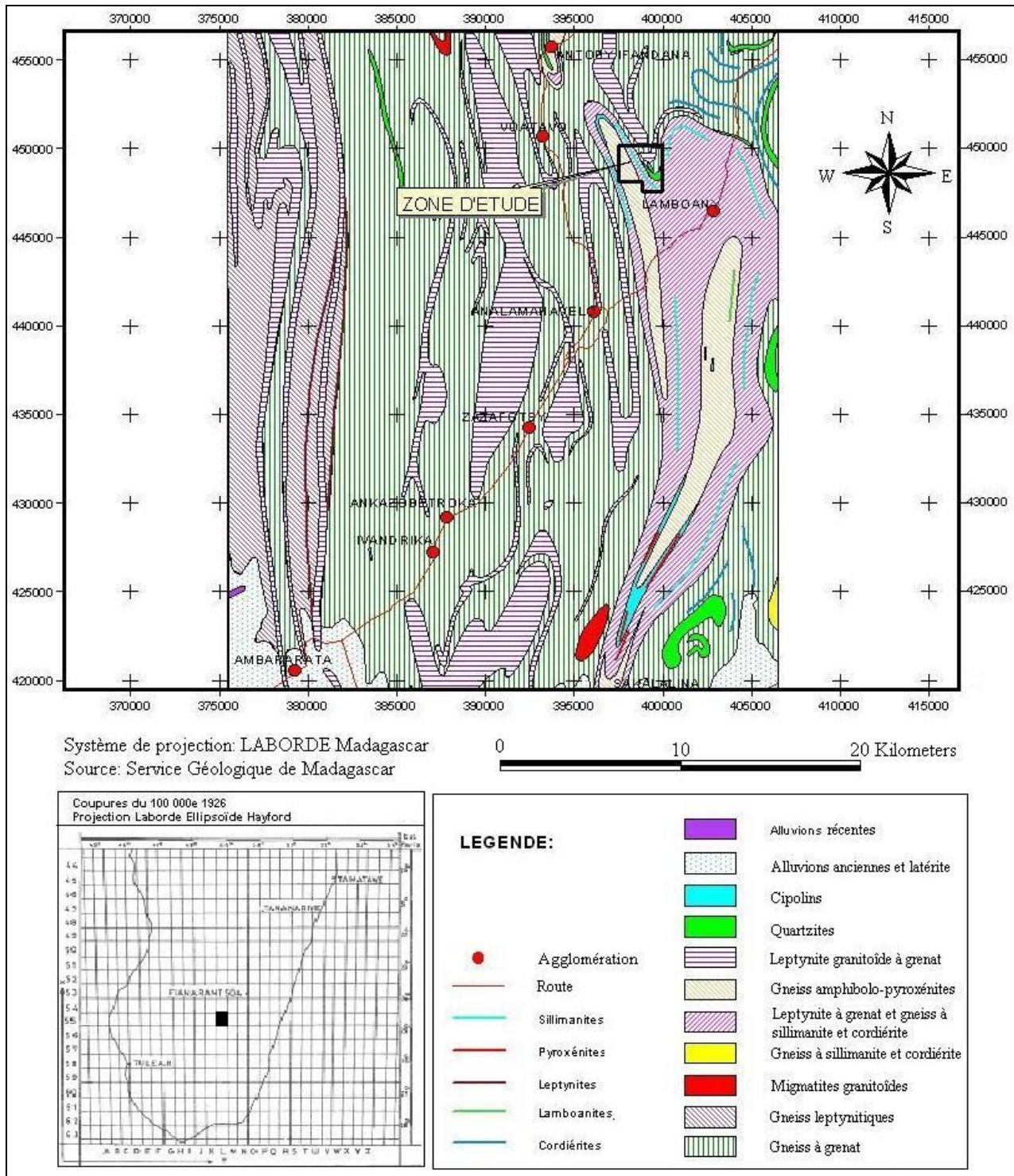


Figure 8 : Carte géologique de Zazafotsy 1972, Feuille L55 (Rakotomavo, 1966).

L'étude des structures de cette zone a été réalisée par *Martelat (1992)* à partir de données issues d'images satellites et de photos aériennes (*figure 9*).

Dans ce complexe ultramétamorphique, deux cisaillements majeurs ductiles s'interfèrent : la zone de cisaillement de Bongolava-Ranotsara avec la direction N140 et la zone de cisaillement de Zazafotsy de direction N-S (*Nicollet, 2010*). La zone de Zazafotsy aurait subi une déformation EW avec un système de décrochement senestre.

La direction NNW et NNE indique une structure cisailante. L'allure subparallèle aux couches géologiques des foliations caractérise des zones de cisaillement ductile.

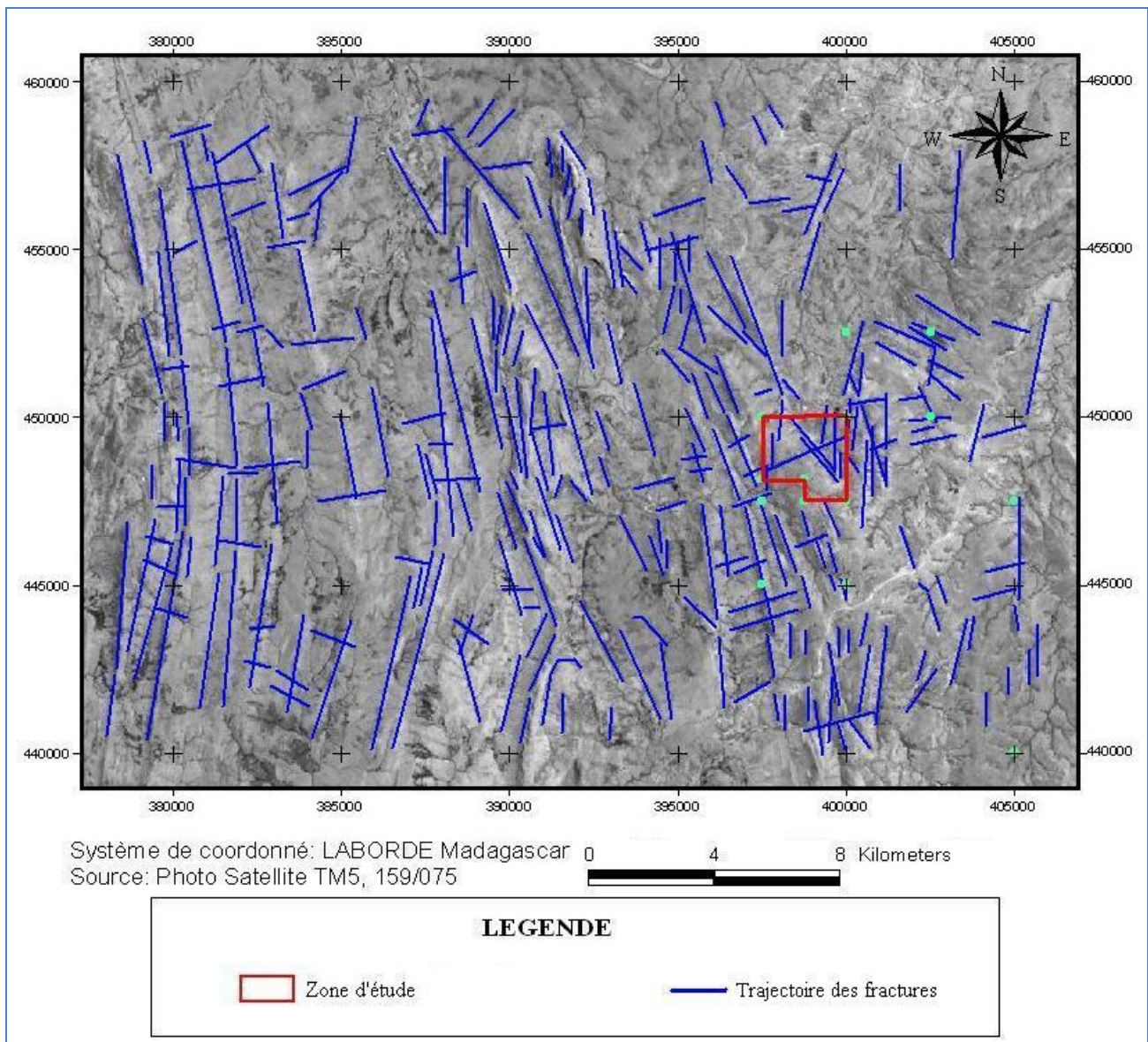


Figure 9 : Carte structurale de Zazafotsy, (Source : TM 5, 159/075)

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODE

II.1. MATERIELS

II.1.1. Les matériels géologiques utilisés

II.1.1.1. GPS

Le GPS ou Global Positioning System est un système de navigation radio qui est composé de 24 satellites et d'une base terrestre. Il permet de fournir à un abonné sa position précise en trois dimensions (latitude, longitude, altitude), sa vitesse et l'heure.

Le GPS-72 Garmin qui a utilisé nous aide à déterminer la position sur l'intervalle de 200m qui sépare d'un point à un autre où un signal indique une bonne précision de localisation.

II.1.1.2. Boussole de géologue

La boussole est un instrument indiquant une direction. Elle est en général nord-sud et permettant de se rendre d'un point à un autre.

Cette boussole nous indique la direction des couches qui est exprimée en degré. Mais pour que celle-ci soit exacte, il faut tenir compte la déclinaison magnétique. Si la déclinaison dans une région est de 10° vers l'ouest, il faut ajouter 10° au nord magnétique indiqué par la boussole. Si la boussole indique 30°, on doit en fait lire 40°.

Cette boussole nous aide aussi à déterminer le pendage des couches, des failles et des diaclases par rapport à l'horizontale.

II.1.1.3. Canevas Stéréographique

C'est un outil pour traiter les mesures et effectuer des constructions géométriques et/ou cinématique. Les objets utilisés en tectonique pourront la plupart du temps se rapporter à des droites (orientées ou non) ou à des plans.

- ✓ *Stéréogrammes polaires* : sur ces stéréogrammes, les plans sont représentés par un point (point de tangente du plan à la demi-sphère).
- ✓ *Stéréogrammes cyclographiques* : les plans passent tous par le centre de la sphère. Un grand cercle représente la trace de recoupement du plan avec la surface de la demi-sphère. Cette présentation donne une image en relief des plans et de leurs droites d'intersection (*M. Ruhland, 1973*).

II.1.2. Les bases de données utilisées

II.1.2.1. Bases de données (BD500)

Ce sont des données numériques à l'échelle 1/500000 produites par la FTM. La BD500 est composé des plusieurs cartes scannées de la région pouvant être utilisées comme supports supplémentaires pour la conception du SIG (*figure 10*).

Avec des logiciels, les informations tirées de la base de données nous aident à délimiter la zone d'étude, à localiser des lieux, à tracer des réseaux hydrographiques et des routes.

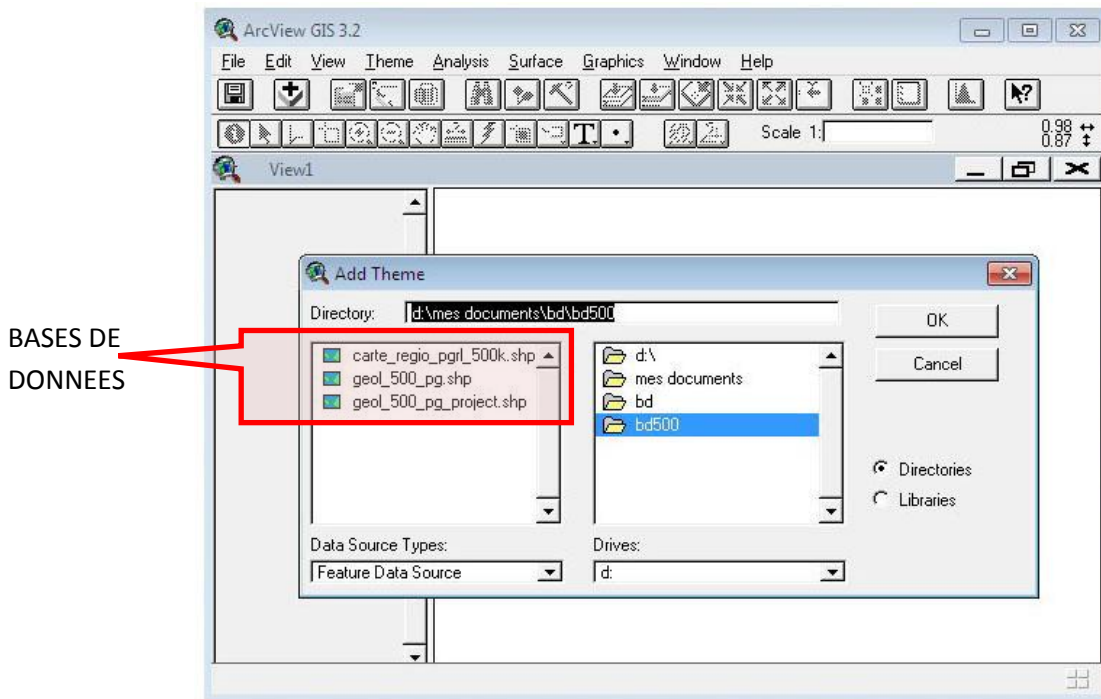


Figure 10 : Type des bases de données (BD500)

II.1.2.2. Les données cartographiques

II.1.2.2.1. Carte géologique

Nous avons utilisé la carte géologique de Zazafotsy (feuille L55 et échelle 1/100000) levés de G. Rakotomavo et al. (1966), qui donne toutes les informations sur les éléments géologiques comme les formations lithologiques, les différentes structures (zone de cisaillement, filon, faille, plissement,...), les ressources minérales et les directions et pendages des couches.

II.1.2.2.2. Carte topographique

La société VARUN-International a déjà élaboré un levé topographique. Nous avons utilisé des cartes topographiques d'équidistance égale à 1m, 5m, 10m et 25m de la feuille L 55 de Zazafotsy.

II.1.2.3. Image Satellite

Les travaux réalisés dans le Sud de Madagascar par *Martelat (1998)* ont montré très clairement que les structures tectoniques dans la croûte inférieure atteignent des dimensions pluri-kilométriques. Par exemple, les zones de cisaillement correspondent à des structures d'échelle lithosphérique qui font de 15 à 25 km de large par plus de 1000 km de long. Par conséquent, l'étude de la déformation dans la croûte inférieure nécessite d'avoir une vision à grande échelle.

L'analyse d'images satellites (*figure 11*) est une technique particulièrement bien adaptée pour visualiser les structures d'échelle kilométriques quelles soient fragiles, comme les failles, ou ductiles comme les plis ou zones de cisaillement. En domaine ductile, l'analyse d'images satellites permet d'approcher la direction du plan d'aplatissement.

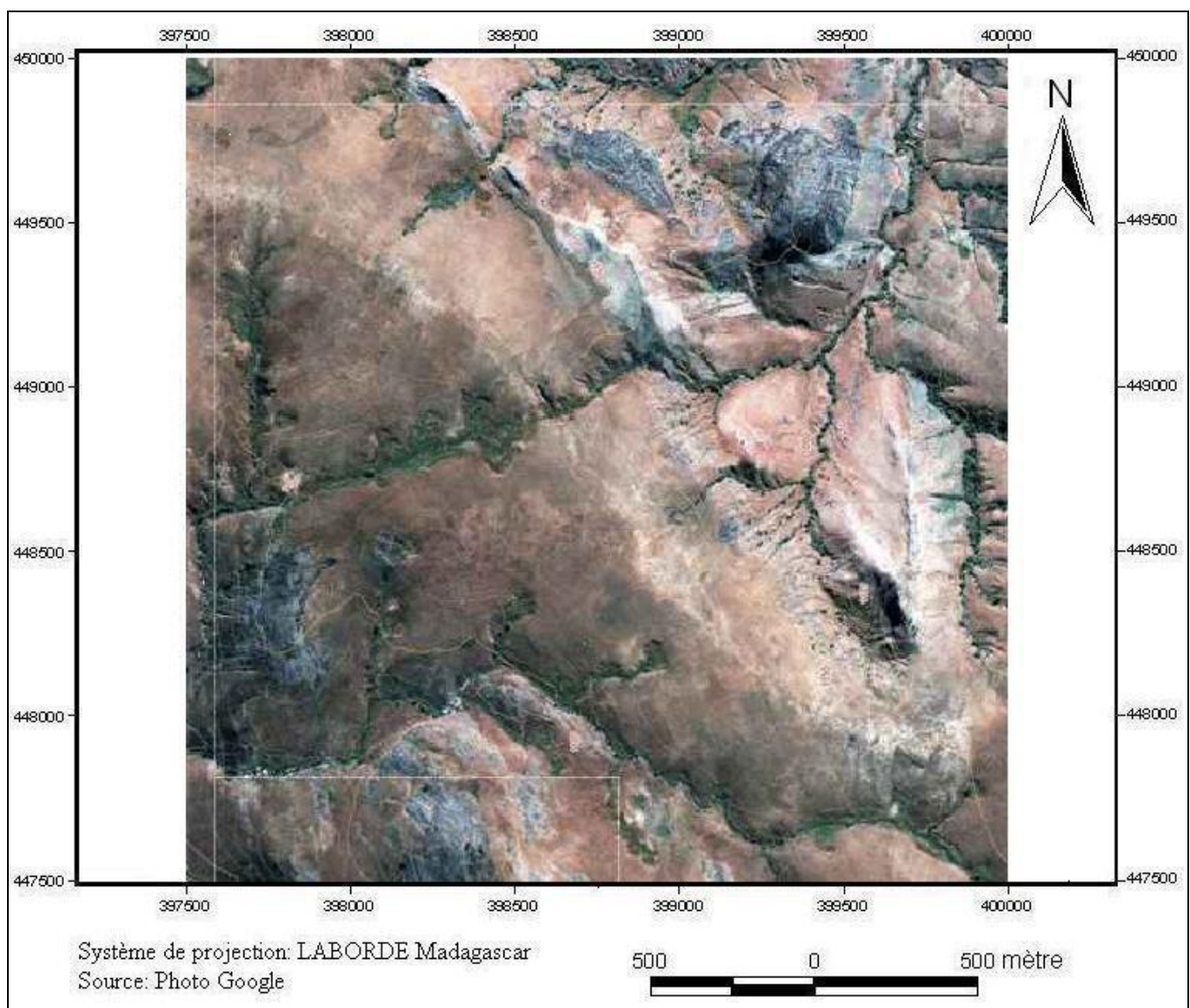


Figure 11 : Image Satellite du Carré C2 (Source : GoogleEarth).

L'image satellite (*figure 11*) reflète l'état de surface de terrain qui est influencé à la fois par la lithologie, la végétation, les sols, les fracturations, etc.....

II.1.2.4. Les logiciels

Les principaux logiciels utilisés dans ce mémoire :

- **ArcView 3.2 et ArcGIS 9.3** : Ce sont les modèles du logiciel ArcGIS qui sont les plus adaptés pour le traitement d'image et le contrôle des bases de données. ArcMap est l'application primaire dans ArcGIS pour créer et interagir avec des cartes. Pour découper une région, l'Arc Tools-Books est le plus facile à utiliser ;
- **Map INFO 8.5** : C'est la nouvelle version du logiciel MapInfo. Le MapInfo est un tableur géographique. On peut classer les tables de MapInfo en deux catégories : soit elles contiennent des objets non graphiques (feuille de calcul Excel ou base de données), soit des objets graphiques (objet cartographique, image raster) ;
- **ENVI 4.0** ou « *Environment for Visualizing Images* », est un système de traitement d'image révolutionnaire. En télédétection, ce logiciel est utilisé pour une visualisation et analyse complète des données d'une image de n'importe quelle taille et de tous types ;

STEM : C'est un logiciel pour le traitement de failles, de direction et de plongement des couches à l'aide du canevas.

II.2. METHODOLOGIE

II.2.1. Compilation bibliographique

L'objectif essentiel de ce travail était de synthétiser les informations pour élaborer un outil accessible et pratique pour servir de base à la cartographie et optimiser les travaux sur le terrain.

II.2.2. Méthode de travail sur terrain

Lors de la descente sur le terrain durant le mois de Juillet 2010, les opérations suivantes ont été effectuées :

- La réalisation du maillage de la zone d'étude,
- Le prélèvement d'échantillons,
- La mesure des paramètres in situ,

Et les diverses observations géologiques sont nécessaires pour une meilleure compréhension de la zone à étudier.

Ainsi, les principales étapes des opérations menées sur le terrain se présentent comme suit :

- Division du permis 39110 de la société VARUN-International en 9 carrés de 2,5 km x 2,5 km ;
- Choix de la zone d'étude ;
- Subdivision en mailles de 200m x 200m ;
- Attribution de nom pour chaque point d'intersection, par pas de 200m ;
- Calage du GPS-72 : élévation, précision et coordonné (X, Y) du Laborde ;
- Mesure des directions et pendages des couches et des fractures identifiées ;
- Détermination pétrographique des affleurements par pas de 200m ;
- Prise d'échantillons sur les différents types des roches saines en affleurement.

II.2.2.1. Division du permis 39110 en 9 carrés

La division du permis 39110 en 9 carrés de 2,5 km x 2,5 km nous a permis d'avoir une approche plus pratique et de mieux travailler dans un carré bien délimité (*figure 12*).

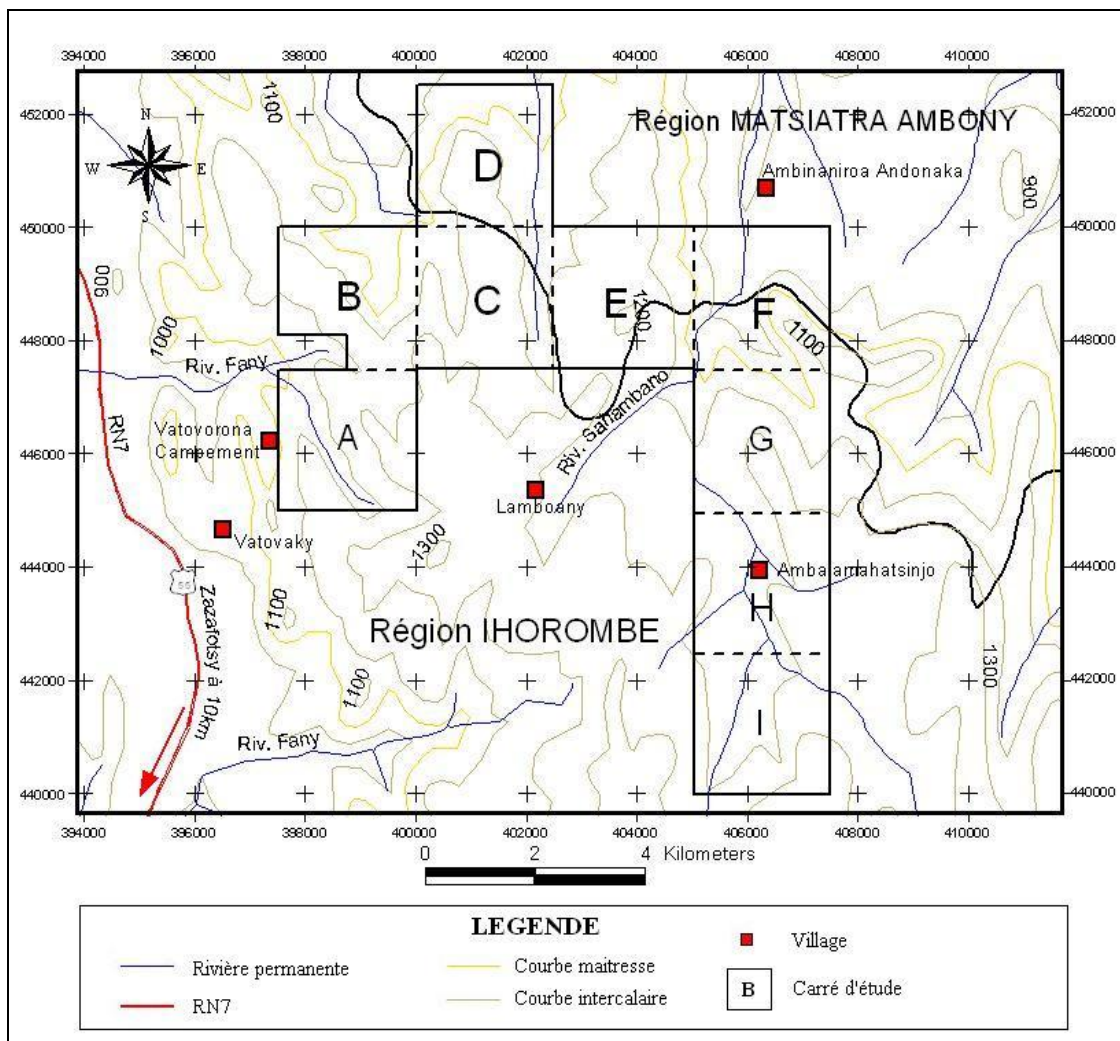


Figure 12 : Carte de tracé du permis en 9 carrés (Source : BD500, FTM)

II.2.2.2. Choix de la zone d'étude

La zone d'étude choisie comme objet de ce mémoire est celle délimitée par la partie B du permis (*figure 12*). Ce choix s'est imposé de par le fait que le permis de la Société Varun couvrant une très grande surface, le temps et les moyens d'accès très limités ainsi que des raisons de sécurité, nous ont obligé à limiter notre zone d'étude au carré B, carré le plus proche possible du campement.

II.2.2.3. Maillage de la partie B

Par commodité et au vu de la morphologie constatée sur le terrain, le choix de la maille de 200m x 200m s'est avéré plus pratique pour suivre plus facilement toutes les variations des couches, des structures et de morphologie (*Figure N°13*).

Par pas de 200m, nous avons relevé les coordonnées de tous les points du carré de la partie B à l'aide du GPS. A chaque point d'échantillonnage est donc attribué les lettres ou chiffres suivants :

V : Vatovorona

B : Partie B du permis 39110

01 : Numéro de la ligne avec la coordonné Y du Laborde

01 : Numéro de la colonne avec la coordonné X du Laborde

Exemple : VB0101 : X=398750, Y=447500

Cette méthode peut être appliquée pour réaliser une cartographie à grande échelle.

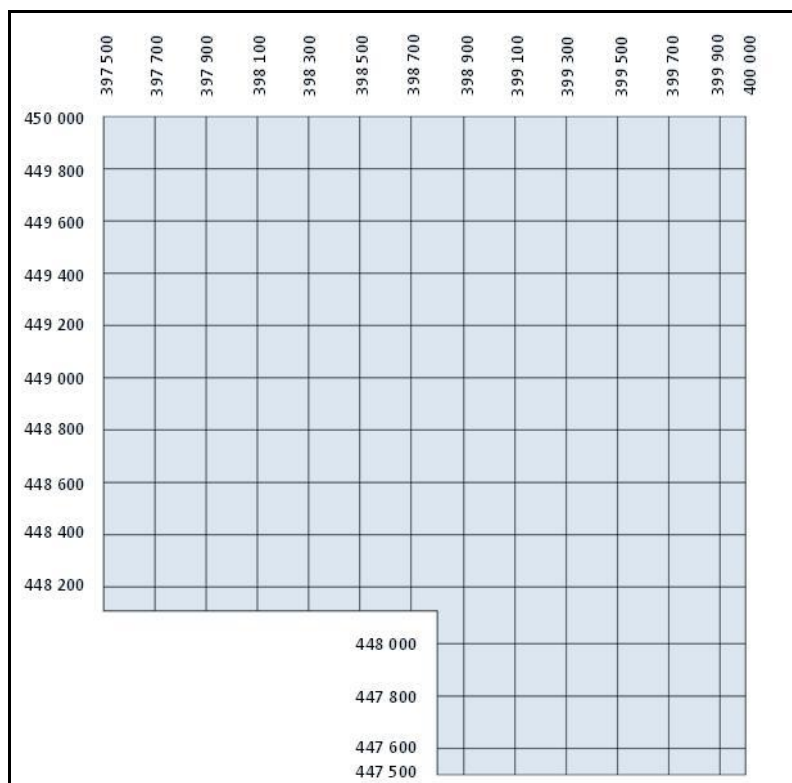


Figure 13 : Maillage de la zone d'étude B.

II.2.2.4. Calage du GPS-72

C'est une transformation qui consiste à effectuer un géoréférencement avec la carte géologique de Zazafotsy de 1/100000 (*H. Bésairie, 1964*).

L'élévation, la précision et les coordonnées X, Y Laborde nous aident à vérifier la carte topographique.

II.2.2.5. Mesures

Ce sont les mesures de direction et de pendage des objets géologiques identifiés sur le terrain. Les mesures seront alors reportées sur le canevas de Wulf. Celui-ci sert à représenter spatialement les plans et les droites, les intersections de plans, les intersections de droites et de plans, les intersections de droites (angles). Outre ces représentations, on peut faire des évaluations statistiques, réaliser des opérations de rotation (suppression de l'effet de plissement dans les mesures de linéations, de direction de joints etc...).

II.2.2.6. Détermination pétrographique des affleurements

La détermination pétrographique de ces roches se fait par pas de 200m. Celle-ci se porte sur la structure, la texture et la granulométrie. Ainsi, nous avons déduit partiellement le nom de la roche.

II.2.2.7. Prise d'échantillons

La prise d'échantillons s'est faite sur les différents types des roches saines en affleurement (*figure 14*) à l'aide du marteau de géologue. Ces échantillons ont été scellés dans des sachets portant leurs noms, les coordonnées, l'élévation, la direction, le pendage et la précision du GPS pour chaque échantillon (*tableau 3*).

Avec V: Vatovorona; B: Partie B; E: Echantillon; I: numéro, Exemple : VBE-I, VBE-II

Tableau 3 : Tableau d'échantillonnage

N° échantillon	Coordonnées Laborde	Elévation, direction et pendage	Précision GPS
VBE-I	X=398600 Y=449970	926,6m N175, 40°w	7.0
VBE-II	X=398600 Y=449970	926,6m N145, 40°w	7.0
VBE-III	X=397828 Y=448970	1061m N5, 40°E	7.5
VBE-IV	X=397514 Y=448611	1065m N170, 60°E	3.8
VBE-V	X=399200 Y=448860	1006m N0, 50°w	5.6
VBE-VI	X=398973 Y=449390	1073m N175, 70°w	7.0

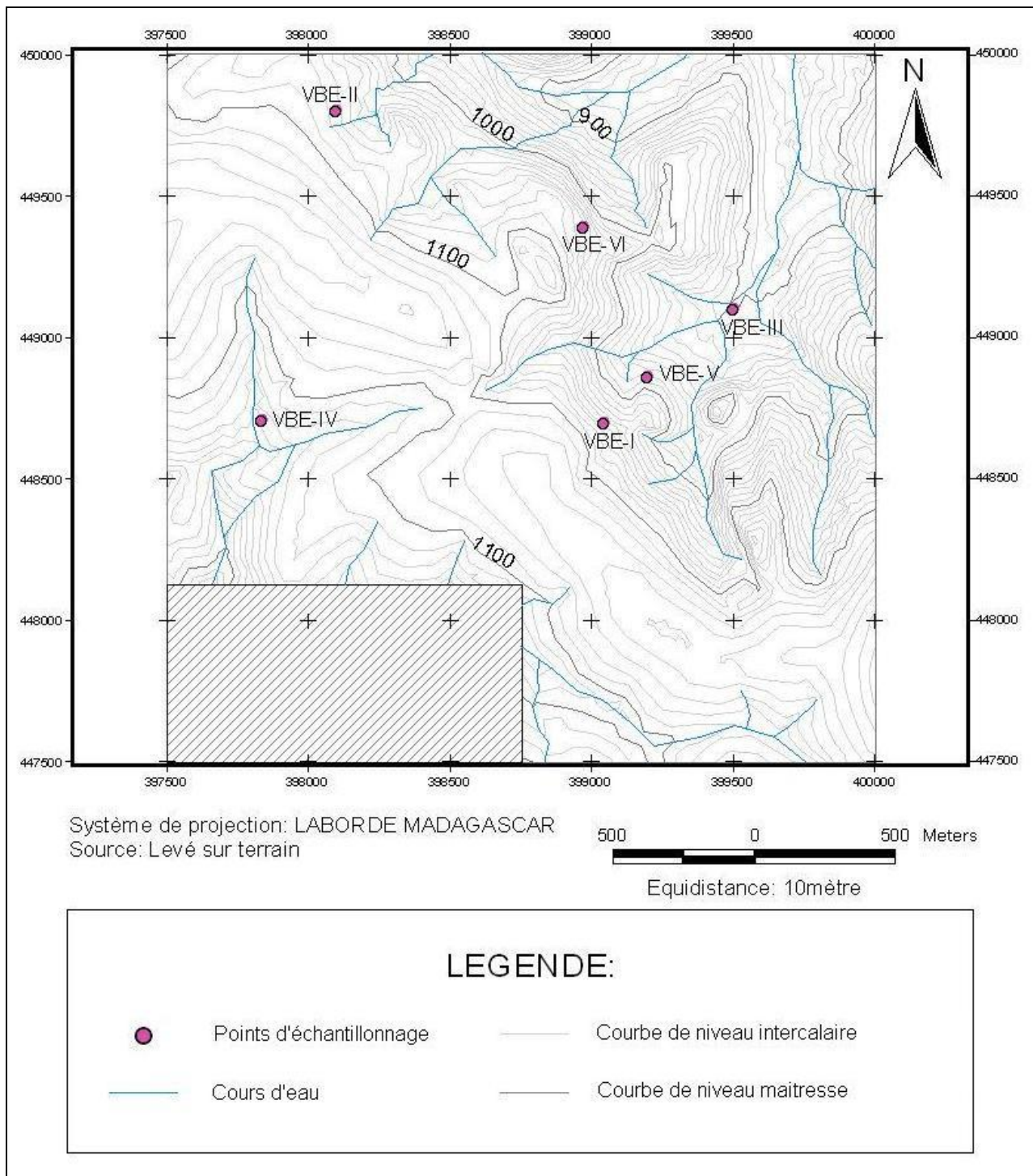


Figure 14 : Carte d'échantillonnage

II.2.3. Traitement des données

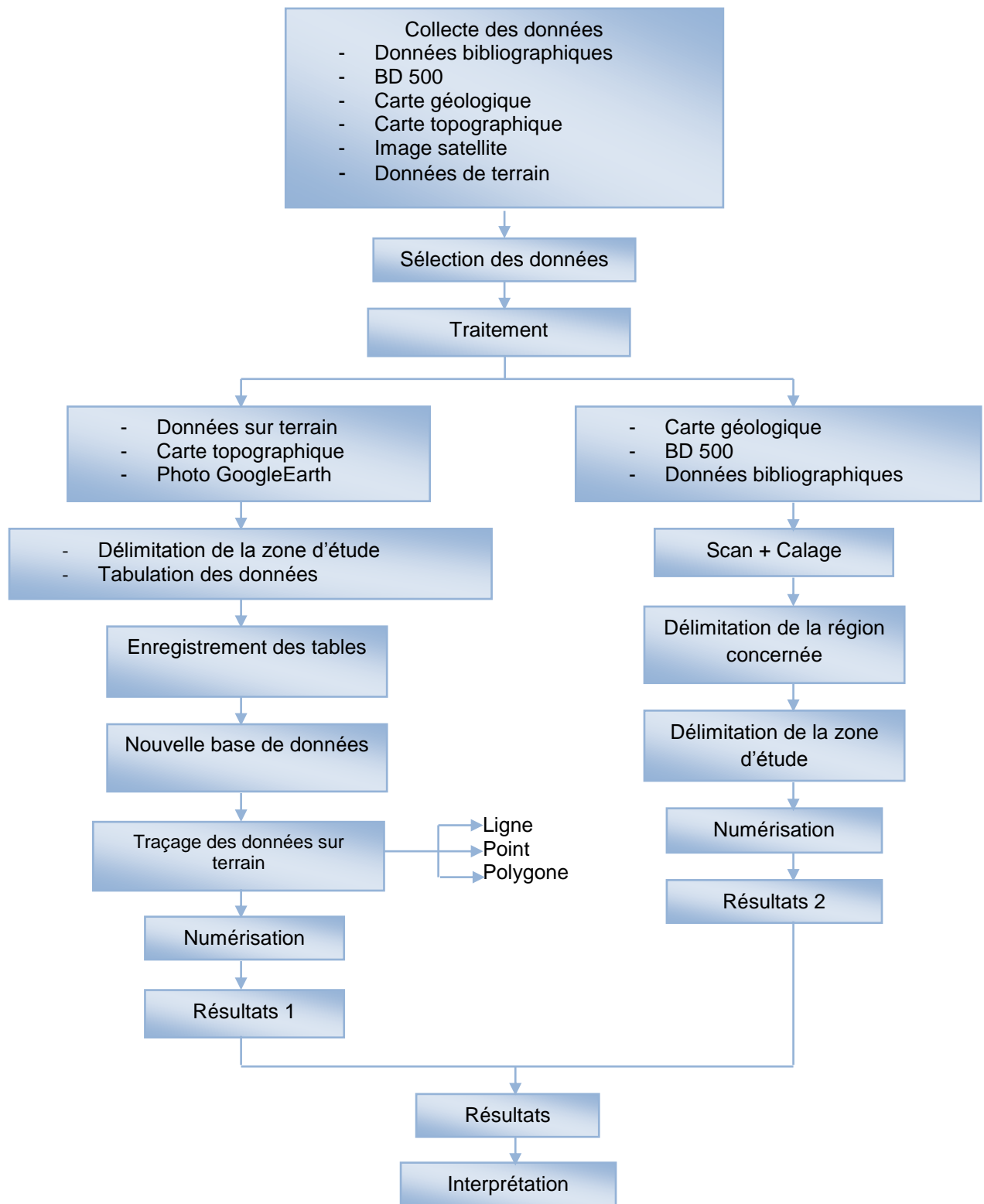


Figure 15 : Méthode de traitement des données.

II.2.3.1. Collecte de données

Quelles que soient les méthodes de cartographie envisagées, il est indispensable de disposer de bases de données et de bases de connaissances permettant de faire le lien entre les observations réalisées sur le terrain et les caractéristiques géologiques de la région étudiée à partir des données déjà existantes.

La phase la plus importante du travail est représentée par cette collecte de données. Les données disponibles sont (*figure 15*):

- Données bibliographiques ;
- BD 500 ;
- Carte géologique ;
- Carte topographique ;
- Image satellite ;
- Données sur terrain.

II.2.3.2. Géoréférencement des cartes

Sur le logiciel MapInfo, avant de restituer les cartes choisies, il faut tout d'abord procéder au géoréférencement des cartes qui seront utilisées, avec une projection non-terrestre (*Figure 16*).

Le référentiel géographique est l'ensemble de conventions qui permettent d'associer à tout point d'une partie de la surface terrestre en un point unique sur une carte. L'espace géométrique au voisinage de la Terre est parfaitement décrit par trois dimensions (*Patrick Sillard, 2000*).

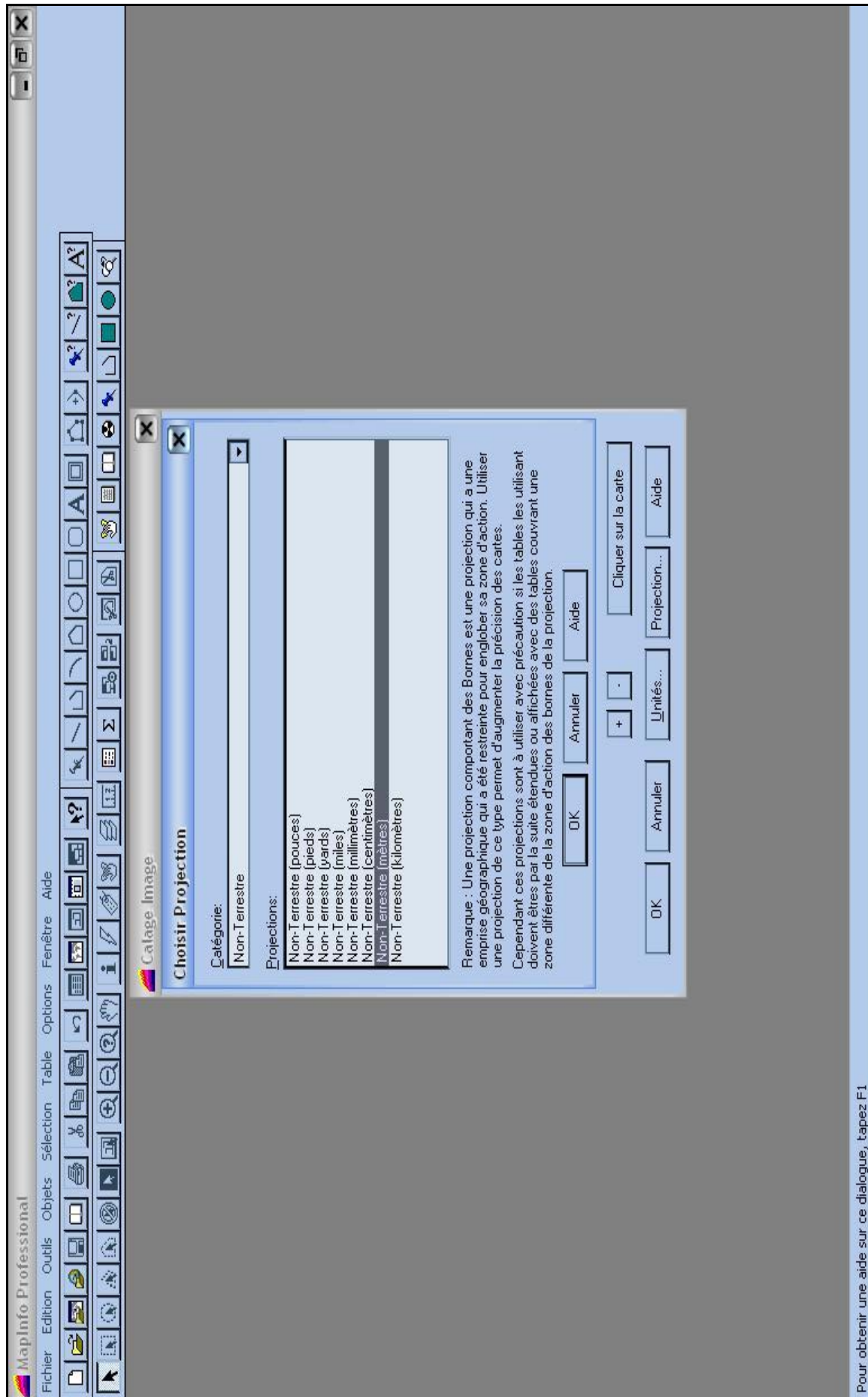


Figure 16 : Choix de projection. (Source : MapInfo)

Le calage de la carte nécessite au moins quatre points remarquables avec des coordonnées Laborde bien déterminées sur la carte existante (Figure 17).

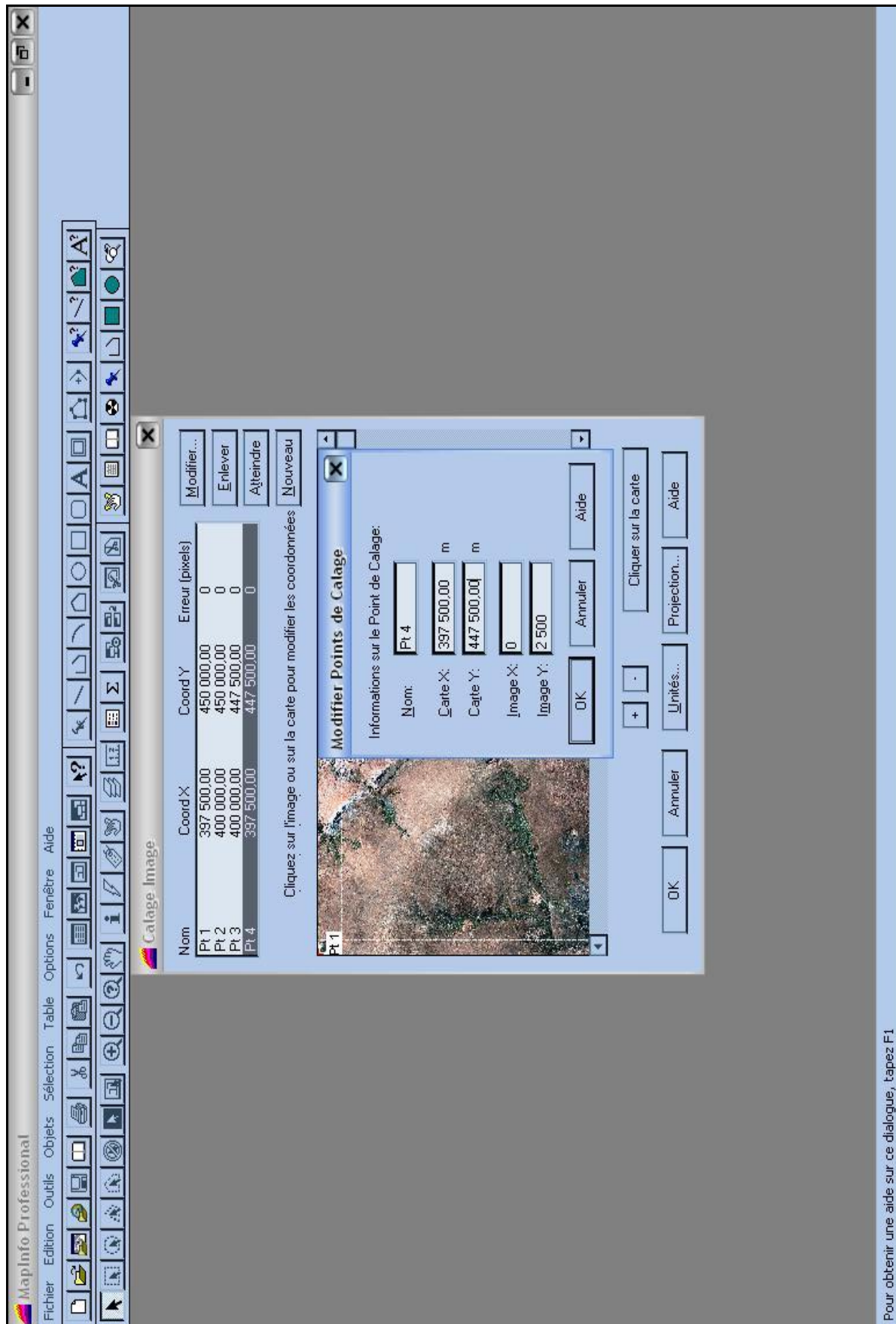


Figure 17 : Calage d'une image satellite. (Source : MapInfo)

II.2.4. Numérisation

La numérisation des images photographiques a révolutionné le monde professionnel de la photographie, donnant naissance à un domaine spécifique appelé traitement de l'image. Numériser les données visuelles d'une photographie consiste à les convertir en nombres binaires (0 et 1) par le biais d'un ordinateur. Cette technique permet de manipuler l'image photographique grâce à des logiciels conçus à cet effet. Ceci peut être réalisé avec les logiciels MapInfo 8.0, ArcView 3.2 et ArcGIS 9.3 suivant la procédure suivante:

- Création d'une nouvelle table en rapport avec le Microsoft Excel ;
- Ouverture d'une fenêtre carte (Map) pour afficher les différentes données;
- Tracé de ligne pour les linéaments et/ou polygones pour la délimitation des couches géologiques à l'aide de figures géométriques ;
- Etablissement d'une nouvelle carte ;
- Mise en page.

CHAPITRE III : RESULTATS

III.1. ETUDE ET ANALYSE DES AFFLEUREMENTS

III.1.1. Etudes sur le terrain

La zone d'étude est caractérisée par la dominance des altérites qui sont des formations récentes d'âge quaternaire.

Des gneiss à grenat, gneiss à sillimanite et cordiérite, gneiss amphibolo-pyroxéniques, leptynites à grenat, sillimanite et cordiérite, ortholeptynite à grenat, quartzites et du cipolin affleurent abondamment en surface. Ils se présentent en bancs quasi-parallèles, visibles en bordure de rivières et dans des lavakas (*Tableau N°4*).

La *figure 18* présente le détail des trajets parcourus sur le terrain ainsi que la position des points d'observations et de prélèvement des échantillons.

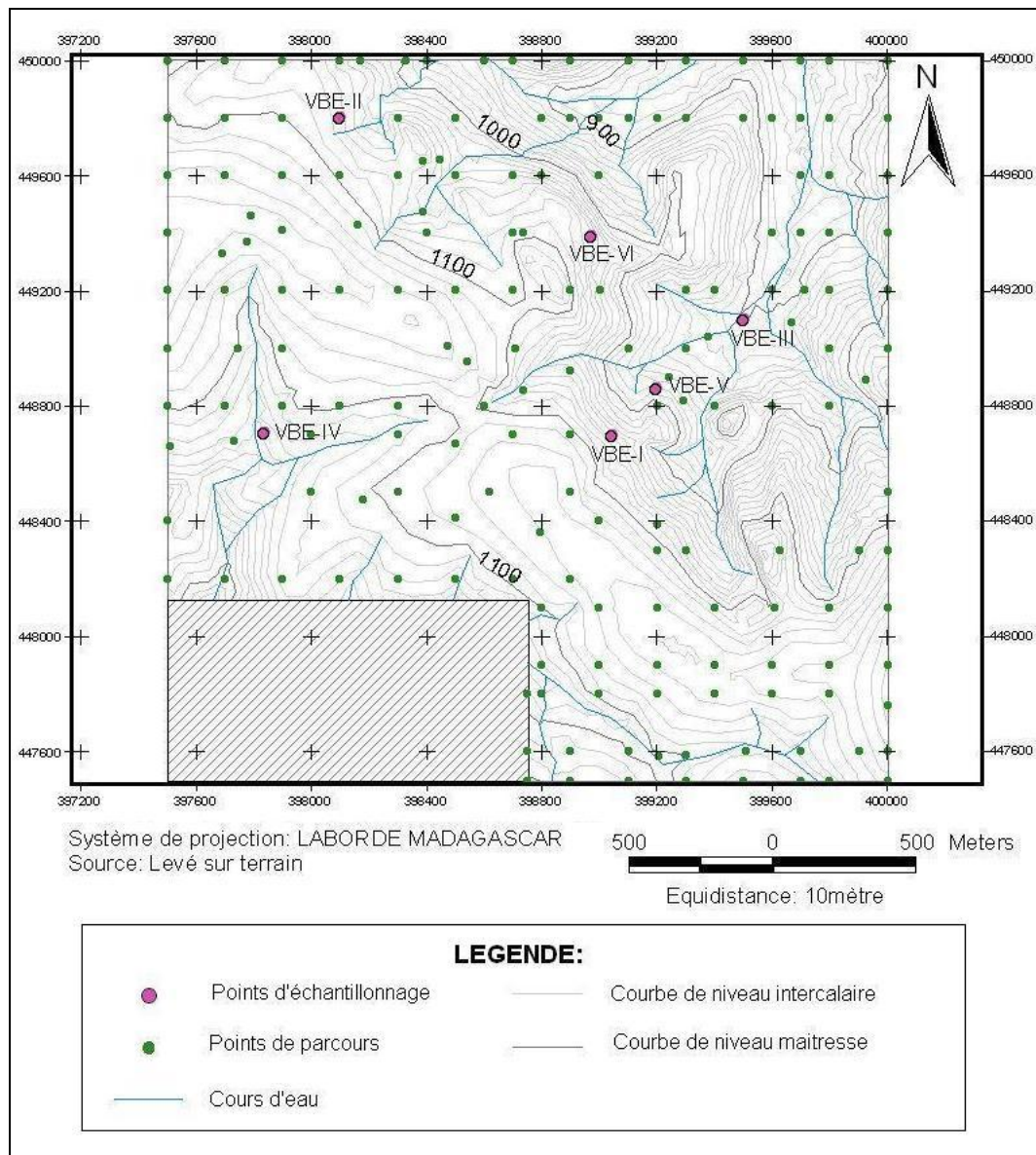


Figure 18 : Carte des points de parcours

Tableau 4 : Les formations identifiées sur le terrain

N°	X	Y	Elévation	Formation	Direction et pendage des couches	Direction et pendage des fractures	Précision GPS
VB0101	398750	447500	1132	Altérite			6.1
VB0102	398900	447500	1125	Affleurement d'altération de gneiss à amphibole et éboulis de quartz	N145,20°W	N55,90°NW	6.0
VB0103	399100	447500	1115	Affleurement de leptynite altéré, gneiss ferromagnésien, petite veine de quartz à grains anguleux	N145,32°W		6.0
VB0104	399300	447500	1110	Couche de leptynite à grenat + veine de quartz à grains moyens	N145,35°W	N55,80°NW	5.8
VB0105	399500	447500	1130	altérite			4.6
VB0106	399700	447500	1120	altérite			4.5
VB0107	399800	447500	1125	Couche de leptynite à grenat, gneiss à grains fins + veine de quartz à grains moyens	N0, 50°W	N90,80°N	4.4
VB0108	400000	447500	1167	Couche de leptynite, gneiss à grains fins	N05, 60°W	N95,80°N	4.4
VB0208	400000	447600	1180	Sol : altérite			4.6
VB0207	399900	447600	1162	Affleurement de leptynite à grain moyen et gneiss à grain fin	N05, 60°W		4.5
VB0206	399700	447600	1123	Affleurement de leptynite à grain moyen et gneiss à grain fin	N05, 60°W		4.5
VB0205	399510	447600	1117	altérite			5.0
VB0204	399300	447590	1104	Cours d'eau : affleurement de gneiss + leptynite à grenat à grain moyen	N145,35°W		5.1
	399208	447584	1103	Cours d'eau : affleurement de gneiss + leptynite à grain moyen	N145,32°W	N55,80°NW	5.0
VB0203	399100	447600	1100	Leptynite altérée, gneiss ferromagnésien, petite veine de quartz (grain anguleux)	N145,30°W	N55,80°NW	5.4
VB0202	398900	447600	1112	altérite			5.2
VB0201	398750	447600	1115	altérite			5.2
VB0301	398750	447800	1090	altérite			5.1
VB0302	398800	447800	1082	altérite			5.3
VB0303	399000	447800	1105	Leptynite altérée, gneiss leucocrate, petite veine de quartz (grain anguleux)	N145,30°W		5.2
VB0304	399200	447800	1128	altérite			5.1
VB0305	399400	447800	1142	Altérite			5.2
VB0306	399600	447800	1151	Gneiss + leptynite à grenat à grain moyen + éboulis de quartz	N05, 60°W		5.1
VB0308	400000	447760	1182	Altérite + éboulis de quartz			7.0
VB0407	400000	447900	1180	altérite			7.0
VB0406	399800	447900	1160	Altérite + Eboulis de quartz			6.8
VB0405	399600	447900	1152	Altérite + Eboulis de quartz			6.9

N°	X	Y	Elévation	Formation	Direction et pendage des couches	Direction et pendage des fractures	Précision GPS
VB0404	399400	447900	1146	Altérite + Eboulis de quartz			5.3
VB0403	399200	447900	1141	Altérite			5.5
VB0402	399000	447900	1120	Affleurement de leptynite altérée, gneiss leucocrate, petite veine de quartz (grain anguleux)	N145,30°W	N55,80°NW	5.6
VB0401	398800	447900	1080	Cours d'eau : couche de leptynite à grenat et gneiss leucocrate	N145,20°W		5.4
VB0501	398800	448100	1100	Cours d'eau : couche de leptynite à grenat et gneiss leucocrate	N145,20°W	N55,80°NW	5.1
VB0502	399000	448100	1133	Cours d'eau : couche de leptynite à grenat et éboulis de gneiss à grain fin	N145,35°W	N55,80°NW	4.0
VB0503	399200	448100	1142	Altérite			4.6
VB0504	399400	448100	1110	Altérite			4.5
VB0505	399610	448100	1110	Altérite + éboulis de quartz			4.8
VB0506	399800	448100	1110	Eboulis de quartz			4.4
VB0507	400000	448100	1166	Altérite			4.1
VB0705	400000	448300	1125	Affleurement de leptynite à grenat	N6, 65°W	N95,85°N	7.2
VB0905	400000	448500	1065	Affleurement de leptynite à grenat	N6, 60°W		7.0
VB0704	399900	448300	1096	Affleurement de gneiss +/- altéré et leptynite à grenat	N6, 62°W		7.0
VB0703	399624	448300	1135	Veine de quartz	N150,40°W	N60,80°NW	6.6
VB0702	399300	448300	1076	Affleurement de gneiss et leptynite +/- altéré et des éboulis de quartz à gros grain	N150,40°W		6.8
VB0701	399200	448300	1107	Altérite + éboulis de quartz			5.5
VB0804	399200	448390	1085	Affleurement de gneiss et leptynite +/- altéré et des éboulis de quartz à gros grain	N150,40°W		6.5
VB0803	399000	448400	1121	Altérite + éboulis de quartz			5.2
VB0608	398900	448200	1130	Leptynite +/- altérée	N145,35°W	N55,80°NW	5.5
VB0606	398500	448200	1075	Cours d'eau : Affleurement de gneiss à amphibole	N145,20°W	N55,90°NW	6.1
VB0605	398300	448200	1080	Altérite + éboulis de quartz			6.0
VB0604	398100	448200	1063	Gneiss à amphibole +/- altéré	N147,15°W		6.0
VB0603	397900	448200	1072	Massif de gneiss à amphibole (roche saine)	N147,15°E	N53,80°NW	5.8
VB0602	397700	448200	997	Massif de gneiss à amphibole (roche saine)	N145,20°E		4.6
VB0601	397500	448200	1020	Affleurement de leptynite à grenat et de gneiss leucocrate	N145,35°E	N55,85°NW	4.5
VB0801	397500	448400	1030	altérite			4.4

N°	X	Y	Elévation	Formation	Direction et pendage des couches	Direction et pendage des fractures	Précision GPS
VB1001	397510	448660	1075	Gneiss à amphibole et à pyroxène	N145,20°E		4.4
VB1002	397734	448676	1066	Gneiss à amphibole et à pyroxène	N145,15°E	N55,80°NW	4.6
VB1003	397838	448705	1062	Gneiss à amphibole et à pyroxène	N145, 5°W		4.5
VB1004	398000	448700	1084	Gneiss à amphibole et à pyroxène	N145,20°W		4.5
VB0901	398000	448500	1080	Massif de gneiss à amphibole (roche saine)	N145,10°W	N55,80°NW	5.0
	398179	448475	1096	Massif de gneiss à amphibole (roche saine)	N145,20°W		5.1
VB0902	398300	448500	1104	altérite			5.0
VB0802	398500	448410	1112	Altérite et éboulis de quartz			5.4
VB0903	398620	448500	1124	Altérite et éboulis de quartz			5.2
	398793	448363	1129	Altérite et éboulis de quartz			5.2
VB0904	398900	448500	1123	Altérite + éboulis de quartz			5.1
VB1101	397500	448800	1100	altérite			5.3
VB1102	397700	448800	1085	altérite			5.2
VB1103	397900	448800	1090	Gneiss à amphibole et à pyroxène	N145, 5°W		5.4
VB1104	398100	448800	1100	Gneiss à amphibole et à pyroxène	N145,20°W		5.5
VB1005	398300	448700	1087	Gneiss à amphibole et à pyroxène	N145,30°W		5.1
VB1006	398500	448670	1107	Leptynite à grenat	N145,30°W		5.0
VB1007	398700	448700	1115	Leptynite à grenat et gneiss à grain fin + éboulis de quartz	N145,30°W	N55,75°NW	6.0
VB1008	398900	448700	1105	Leptynite à grenat et gneiss à grain fin + éboulis de quartz	N145,30°W		6.3
VB1009	399044	448696	1055	Gneiss et leptynite à grenat	N145,45°W		6.4
VB1107	399200	448800	1008	Cipolin	N160,50°W	N70,80°N	6.2
VB1108	399290	448820	976	Gneiss à grenat altéré	N160,50°W	N70,80°N	6.1
VB1109	399400	448800	970	Gneiss à grenat saine	N175,50°W		6.0
VB1110	399600	448800	990	Filon de quartz	N05, 50°W		6.2
VB1111	399800	448800	965	Leptynite et gneiss à grenat	N05, 50°W		5.1
VB1206	399925	448892	1020	Leptynite et gneiss à grenat	N05, 50°W		4.3
VB1310	400000	449000	1030	Altérite			4.3
VB1309	399800	449000	976	Altérite + éboulis de quartz			5.2
VB1402	399669	449087	920	Gneiss à grenat altéré	N05, 50°W	N95,80°N	5.4
VB1401	399500	449100	903	altérite			4.2
VB1308	399379	449041	921	Gneiss à grenat	N0, 50°W	N90,80°N	4.3
VB1205	399241	448900	965	Gneiss à grenat altéré	N170,50°W		4.2
VB1204	399200	448860	980	Cipolin	N160,50°W	N70,80°N	4.3
VB1203	398900	448920	1053	Gneiss et leptynite à grenat +/- altéré	N160,50°W		4.1
VB1106	398600	448800	1097	Gneiss et leptynite à grenat +/- altéré et éboulis de quartz	N150,50°W	N60,80°N	4.3
VB1201	398540	448955	1123	Altérite + éboulis de quartz			4.2

N°	X	Y	Elévation	Formation	Direction et pendage des couches	Direction et pendage des fractures	Précision GPS
VB1305	398710	449000	1094	altérite			4.3
VB1304	398472	449010	1132	Altérite + petite veine de quartz et éboulis de quartz			4.2
VB1307	399300	449000	930	Gneiss à grenat	N175,50°W	N85,80°N	4.1
VB1306	399100	449000	985	Gneiss à grenat altéré	N170,50°W		4.1
VB1303	397900	449000	1107	Gneiss amphibolique +/- altéré	N145,30°W	N55,85°NW	4.2
VB1302	397745	449000	1097	Cours d'eau : gneiss amphibolique et à pyroxène	N145, 5°W		4.1
VB1301	397500	449000	1130	Altérite + éboulis de quartz			4.3
VB1501	397500	449200	1145	Altérite + éboulis de quartz			4.3
VB1502	397700	449200	1115	Gneiss amphibolique +/- altéré	N145,15°W	N55,80°NW	4.2
VB1503	397900	449200	1127	Gneiss amphibolique +/- altéré	N145,25°W		4.3
VB1504	398100	449200	1140	Altérite + éboulis de quartz			4.2
VB1505	398300	449200	1130	Altérite + Veine de quartz	N145,30°W	N55,80°NW	4.3
VB1506	398500	449200	1110	Altérite + éboulis de quartz			4.4
VB1507	398700	449200	1096	Affleurement de leptynite à grenat et gneiss à grain fin	N145,45°W		4.4
VB1508	398900	449200	1100	Veine de quartz	N145,50°W		4.2
VB1610	398734	449400	1095	Veine de quartz	N135,50°W	N45,75°NW	4.5
VB1611	398973	449390	1060	Ortholeptynite à grenat	N0, 45°W		4.5
VB1509	399004	449200	1038	Affleurement de gneiss à grenat	N0, 45°W		4.2
VB1510	399300	449200	942	Massif de l'ortholeptynite à grenat	N0, 50°W	N90,80°N	4.1
VB1512	399600	449200	890	Bloc de roche de gneiss à grenat dans un cours d'eau			4.2
VB1513	399710	449200	910	Gneiss à grenat +/- altéré	N05, 55°W	N95,80°N	4.1
VB1514	399800	449200	942	Altérite et éboulis de quartz			4.3
VB1515	400000	449200	990	Affleurement de gneiss et leptynite à grenat	N05, 60°W		4.3
VB1615	400000	449400	950	Affleurement de gneiss à grain fin et leptynite à grenat	N10, 60°W		4.2
VB1614	399800	449400	895	Gneiss à grenat +/- altéré	N05, 60°W		4.3
VB1613	399700	449400	886	Gneiss à grenat +/- altéré	N05, 60°W	N95,80°N	4.2
VB1612	399600	449400	884	Eboulis de leptynite granitique à grenat			4.3
VB1712	399700	449600	866	Eboulis des ortholeptynites à grenat			4.4
VB1713	399800	449600	878	Bloc de roche de gneiss à grenat			4.4
VB1714	400000	449600	940	Gneiss à grain fin et leptynite à grenat	N10, 60°W	N100,75°N	4.2
VB1601	397500	449400	1152	Altérite + éboulis de quartz			4.5
VB1602	397690	449329	1137	Altérite + éboulis de quartz			4.5
VB1603	397776	449371	1136	Affleurement des gneiss amphibolo-pyroxénite + éboulis de quartz	N145,15°W	N55,80°NW	4.2
VB1604	397791	449461	1141	Altérite + éboulis de quartz			4.1

N°	X	Y	Elévation	Formation	Direction et pendage des couches	Direction et pendage des fractures	Précision GPS
VB1605	397900	449410	1142	Affleurement des gneiss amphibolo-pyroxénite	N145,35°W	N55,80°NW	4.1
VB1606	398160	449428	1113	Altérite + éboulis de quartz			4.2
VB1608	398400	449400	1062	Altérite + éboulis de quartz			4.1
VB1607	398386	449472	1080	Affleurement de leptynite à grenat	N145,50°W	N55,80°NW	4.3
VB1609	398700	449400	1092	Veine de quartz	N135,50°W		4.3
VB1710	398800	449600	1040	Massif de l'ortholeptynite à grenat			4.2
VB1709	398700	449600	1050	Massif de l'ortholeptynite à grenat			4.3
VB1707	398446	449653	1053	Veine de quartz	N140,50°W	N50,80°NW	4.3
VB1706	398388	449650	1075	Affleurement de gneiss et leptynite à grenat	N140,50°W		4.4
VB1705	398300	449600	1078	Gneiss et leptynite à grenat +/- altéré	N145,50°W	N55,90°NW	4.4
VB1704	398100	449600	1097	Altérite + éboulis de quartz			4.2
VB1703	397900	449600	1120	Altérite + éboulis de quartz			4.5
VB1702	397700	449600	1130	Altérite + éboulis de quartz			4.5
VB1701	397500	449600	1132	Altérite + éboulis de quartz			4.2
VB1801	397500	449800	1105	Affleurement des gneiss à amphibole +/- altéré	N145,20°W	N55,80°NW	4.1
VB1802	397700	449800	1100	Altérite + éboulis de quartz			4.1
VB1803	397900	449800	1101	Altérite + éboulis de quartz			4.2
VB1804	398100	449800	1074	Gneiss et leptynite à grenat +/- altéré	N145,45°W	N55,90°NW	4.1
VB1805	398300	449800	1055	Veine de quartz	N145,50°W		4.3
VB1806	398500	449800	1010	Gneiss à grenat	N145,50°W		4.3
VB1807	398801	449800	922	Gneiss à grenat +/- altéré	N170,50°W		4.2
VB1808	398900	449800	903	Gneiss à grenat +/- altéré	N170,50°W	N80,80°N	4.3
VB1809	399000	449800	886	Gneiss à grenat	N170,50°W		4.2
VB1810	399100	449800	880	Gneiss à grenat	N170,50°W		4.3
VB1711	399000	449600	952	éboulis de leptynite granitique à grenat			4.4
VB1811	399200	449800	887	Altérite et éboulis de gneiss à grenat et leptynite granitique			4.4
VB1812	399300	449800	900	Eboulis de l'ortholeptynite à grenat			4.2
VB1813	399500	449800	924	Eboulis de l'ortholeptynite à grenat			4.5
VB1814	399600	449800	881	Eboulis de l'ortholeptynite à grenat			4.5
VB1815	399700	449800	858	Eboulis de l'ortholeptynite à grenat			4.2
VB1816	399800	449800	875	Gneiss à grenat +/- altéré	N0, 60°W	N90,80°N	4.1
VB1817	400000	449800	924	Affleurement de leptynite à grenat et gneiss à grain fin	N05, 70°W	N95,80°N	4.1
VB1916	400000	450000	905	Affleurement de leptynite à grenat et gneiss à grain fin			4.2

N°	X	Y	Elévation	Formation	Direction et pendage des couches	Direction et pendage des fractures	Précision GPS
VB1915	399800	450000	860	Gneiss à grenat +/- altéré	N05, 65°W		4.1
VB1914	399700	450000	850	Affleurement de l'ortholeptynite +/- altéré	N170,60°W		4.3
VB1913	399500	450000	872	Affleurement de l'ortholeptynite à grenat +/- altéré	N170,60°W	N80,80°N	4.3
VB1912	399300	450000	863	Marécage : éboulis de gneiss à grenat			4.2
VB1911	399100	450000	902	Massif de l'ortholeptynite à grenat	N160,50°W		4.3
VB1910	398899	450000	962	Massif de l'ortholeptynite à grenat	N160,50°W	N70,80°N	4.2
VB1909	398700	450000	945	Massif de l'ortholeptynite à grenat	N160,50°W		4.3
VB1908	398600	450000	942	Massif de l'ortholeptynite à grenat	N160,50°W		4.4
VB1907	398400	450000	976	Altérite : gneiss à grenat +/- altéré	N147,54°W	N57,80°NW	4.4
VB1906	398327	450000	994	Affleurement de gneiss à grenat	N147,54°W		4.2
VB1905	398171	450000	1033	Veine de quartz	N145,50°W		4.5
VB1904	398100	450000	1057	Leptynite à grenat et gneiss à grain fin + éboulis de quartz	N145,50°W	N55,80°NW	4.5
VB1903	397898	450000	1078	Altérite + éboulis de quartz			7.0
VB1902	397699	450000	1087	Marécage : altérite			7.1
VB1901	397500	450000	1105	Marécage : altérite			6.0

III.1.2. Observations macroscopiques

III.1.2.1. Gneiss

Ce sont des roches métamorphiques sombres à grains moyens. Leur foliation est marquée par l'alternance de lits clairs (quartz, feldspath potassique), avec des lits sombres (biotite, amphibole et pyroxène) ayant à peu près les mêmes minéraux que ceux des granites. Ce sont des roches typiquement cristallophylliennes, mais très fortement recristallisées, ce qui les rend plus cohérentes et, de ce fait, plus résistantes à l'érosion.

Sur une vue d'ensemble, les faciès gneissiques sont composés aussi de gneiss à grenat (*photo 1*), de gneiss à sillimanite et cordiérite (*photo 2*), et de gneiss amphibolo-pyroxéniques (*photo 3*).

- **Gneiss à grenat** (*photo 1*): cette roche renferme accessoirement des grenats en proportions notables. Elle est composée des quartzs et des feldspaths orthoses. Les minéraux sont généralement sous forme de boudin surtout les feldspaths et les grenats. C'est une roche leucocrate.

Les gneiss rubanés à grenat d'Ihosy sont un marqueur thermo-barométrique dans le sud de Madagascar (*Nicollet, 2010*).

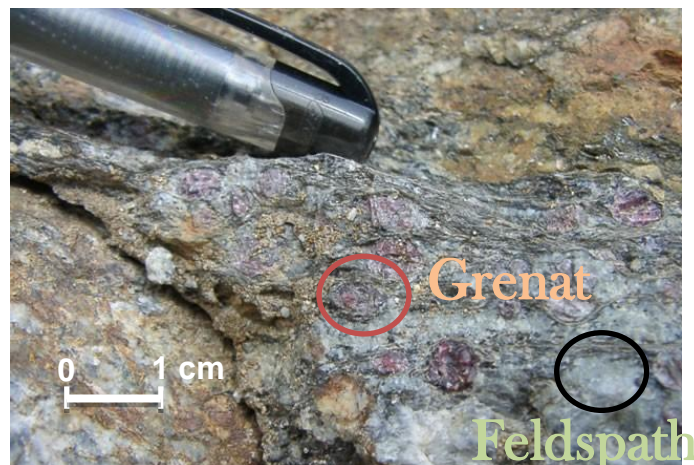


Photo 1: Echantillon n° VBE-III : Gneiss à grenat

- **Gneiss à sillimanite et cordiérite ou gneiss à grain fin** (*photo 2*): cette roche est formée principalement de feldspaths (orthoses et plagioclases) et s'intercale notamment avec des leptynites. C'est une roche leucocrate semblable à des gneiss à grenat et montrant des lits fins à reflets bleutés dus à la présence de la cordiérite. La biotite est également présente. Ces minéraux ne peuvent s'observer qu'à la loupe.



Photo 2: Echantillon n° VBE-I : Gneiss à grain fin

- **Gneiss amphibolo-pyroxénite** (*photo 3*): c'est une roche sombre (\pm noire en amphibole et \pm verte en pyroxène) composée de quartz, de feldspath et de grenat.

On parle souvent de gneiss amphiboliques car ils présentent une alternance plus ou moins nette de lits sombres, franchement amphiboliques, et de lits clairs feldspathiques moins calc-magnésiens. L'épaisseur des lits est le plus souvent centimétrique à décimétrique (*photo n°3*).

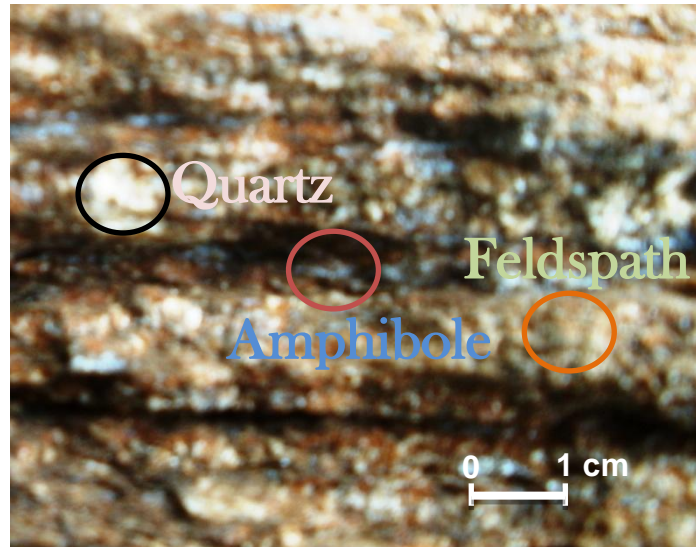


Photo 3: Echantillon n° VBE-IV : Gneiss amphibolo-pyroxénite

III.1.2.2. Leptynites

Ce sont des roches métamorphiques leucocrates à grains moyens. Elles montrent des foliations discontinues marquées par la présence de minéraux clairs étirés dans le plan de foliation et de cristaux de biotite.

D'autres variations de faciès leptynitiques sont rencontrées dans la zone d'étude : des leptynites à cordiérite (*photo 4*), sillimanite et à grenat, des ortholeptynites à grenat (*photo 5*). L'assemblage minéralogique est formé par du feldspath potassique, du plagioclase, du quartz, de la biotite, du grenat (taille 2 à 3 centimètres), de minéraux opaques, de sillimanite et de cordiérite.

- **Leptynites à grenat, cordiérite, sillimanite** (*photo n°4*): les leptynites sont caractérisées par leur structure montrant du quartz +/- aplati et étiré. Elles dérivent, par recristallisation, d'une roche originelle qui peut être un grès arkosique. La sillimanite, le grenat et la cordiérite sont beaucoup plus abondantes.

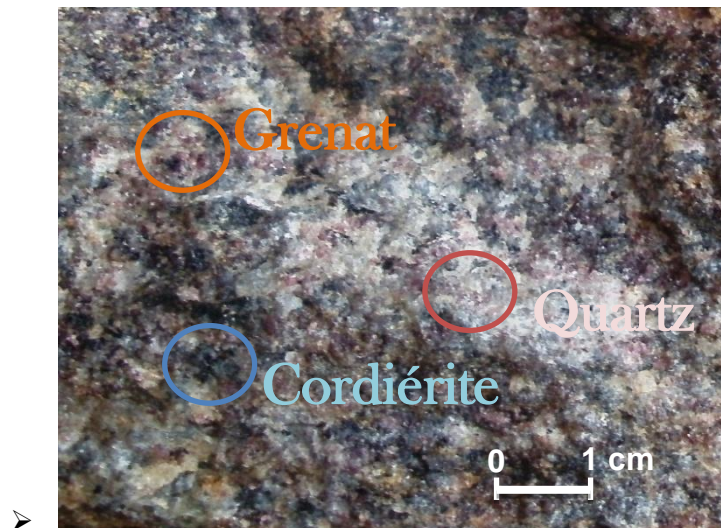


Photo 4: Echantillon n° VBE-II : Leptynite à grenat, cordiérite et sillimanite

- **Ortholeptynites à grenat (photo 5):** ces leptynites sont essentiellement massives avec une foliation plus ou moins floue par endroits. Elles sont composées de quartz, de feldspath, de plagioclase et de grenat.

Dans ce cas, ces leptynites représenteraient d'anciens épanchements volcaniques de nature alternativement plus acide qui résultent du phénomène de séparation des éléments minéralogiques du magma dans les chambres magmatiques (Rakotomavo et al, 1966).



Photo 5: Echantillon n° VBE-VI : Ortholeptynites à grenat

III.1.2.3. Cipolins

Par définition, ce sont des variétés de marbre clair présentant des veines concentriques, c'est-à-dire des roches carbonatées (calcaires ou dolomies) ayant acquis un grain régulier et homogène par suite d'une recrystallisation (photo 6).

Ce sont des roches métamorphiques faiblement recrystallisées, qui n'ont pas développé d'autres minéraux que de la calcite et qui se singularisent en général par leur absence de feuilletage (ce qui indique un échauffement sans action de fortes pressions) (Nicollet, 2010).

Sur le site d'étude, les cipolins contiennent généralement par de la calcite de couleur blanche éclatante ou rose sur un puissant banc de 10 mètres d'épaisseur environ. La roche présente également une tâche verte.



Photo 6: Echantillon n° VBE-V : Cipolin

III.1.2.4. Quartzites

Sur le site les quartzites affleurent un peu partout. Pétrographiquement, il s'agit d'une roche siliceuse massive, constituée de cristaux de quartz soudés, à cassure conchoïdale, de couleur généralement claire. C'est un monominéral à grains fins avec peu de minéraux accessoires comme le mica, issu de la recristallisation d'un grès, ou d'un filon de quartz.

Excellents horizons repères, les quartzites ont beaucoup servi pour la détermination de certaines structures, la position stratigraphique de l'ensemble de la région ainsi que la localisation de la zone d'étude sur l'image satellite.

L'ensemble de l'observation des échantillons est récapitulée dans le *tableau 5*.

Tableau 5 : Description des échantillons récoltés.

N° échantillon	Coordonné Laborde	Description lithologique	Elévation, direction et pendage	Précision GPS
VBE-I	X=398600 Y=449970	Gneiss à sillimanite et cordiérite	926,6m N175, 40°w	7.0
VBE-II	X=398600 Y=449970	Leptynite à grenat, sillimanite et cordiérite	926,6m N145, 40°w	7.0
VBE-III	X=397828 Y=448970	Gneiss à grenat	1061m N5, 40°E	7.5
VBE-IV	X=397514 Y=448611	Gneiss amphibolo-pyroxénite	1065m N170, 60°E	3.8
VBE-V	X=399200 Y=448860	Cipolin	1006m N0, 50°w	5.6
VBE-VI	X=398973 Y=449390	Ortholeptynite à grenat	1073m N175, 70°w	7.0

III.2. PROCESSUS D'ELABORATION DE LA CARTE GEOLOGIQUE

III.2.1. Carte des points d'affleurement

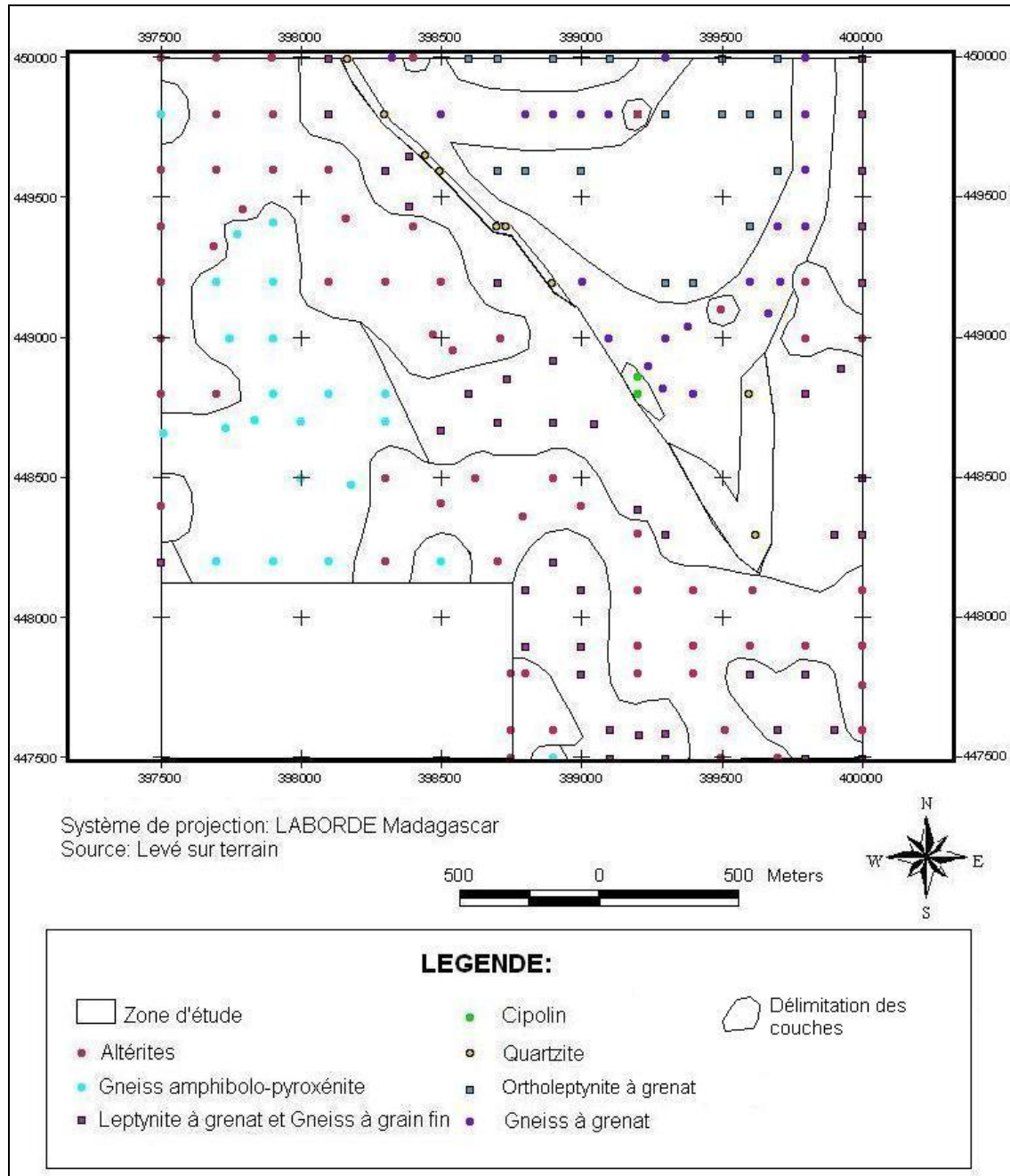


Figure 19 : Carte des points d'affleurement

Dans le carré d'étude, nous avons observé six types de roches en affleurement en interpolé tous les points isovaleur. De l'Ouest vers l'Est : des gneiss amphibolo-pyroxéniques ; des gneiss à grain fin et des leptynites à grenat ; veine de quartzite ; cipolins ; gneiss à grenat et ortholeptynite à grenat.

La partie superficielle est généralement couverte des altérites qui sont différenciées par leurs couleurs (figure 19).

III.2.2. Délimitation des principales roches en affleurement

L'étude sur terrain nous montre que cette région renferme des plis fermés dont les axes sont souvent fortement pentés. L'inclinaison des couches est essentiellement orientée suivant une direction variable entre N145 à N10 avec des différents pendages qui sont tellement variés. C'est une zone de déformation très intense qui forme une zone importante de circulation de fluides qui affecte les gneiss à grains fins (Martelat, 1998).

Dans la partie Ouest affleure une bande de gneiss à amphibole et de leptynites à grenat, allongée suivant une direction entre N145 et N5 avec un pendage de 45° vers l'Ouest, S-SO et N-NO. Vers l'Est, se rencontrent des intercalations de leptynites à grenat et des gneiss à amphibole et de Cipolin. Cet ensemble s'aligne suivant une direction N010 et un pendage variable entre 50 et 75 vers l'Ouest, SS-O, NN-O, Est, NN-E et SS-E. Les niveaux gneissiques renferment souvent des filons d'amphibolites de direction variable, ainsi que des filons de quartz généralement concordants avec la foliation (figure 20).

La morphologie dans la partie SW de la zone indique une différence tonalité de couleur (sombre et claire). Celle-ci montre une fermeture allongée ou un nez allongé qui est un indicateur d'une terminaison periclinale.

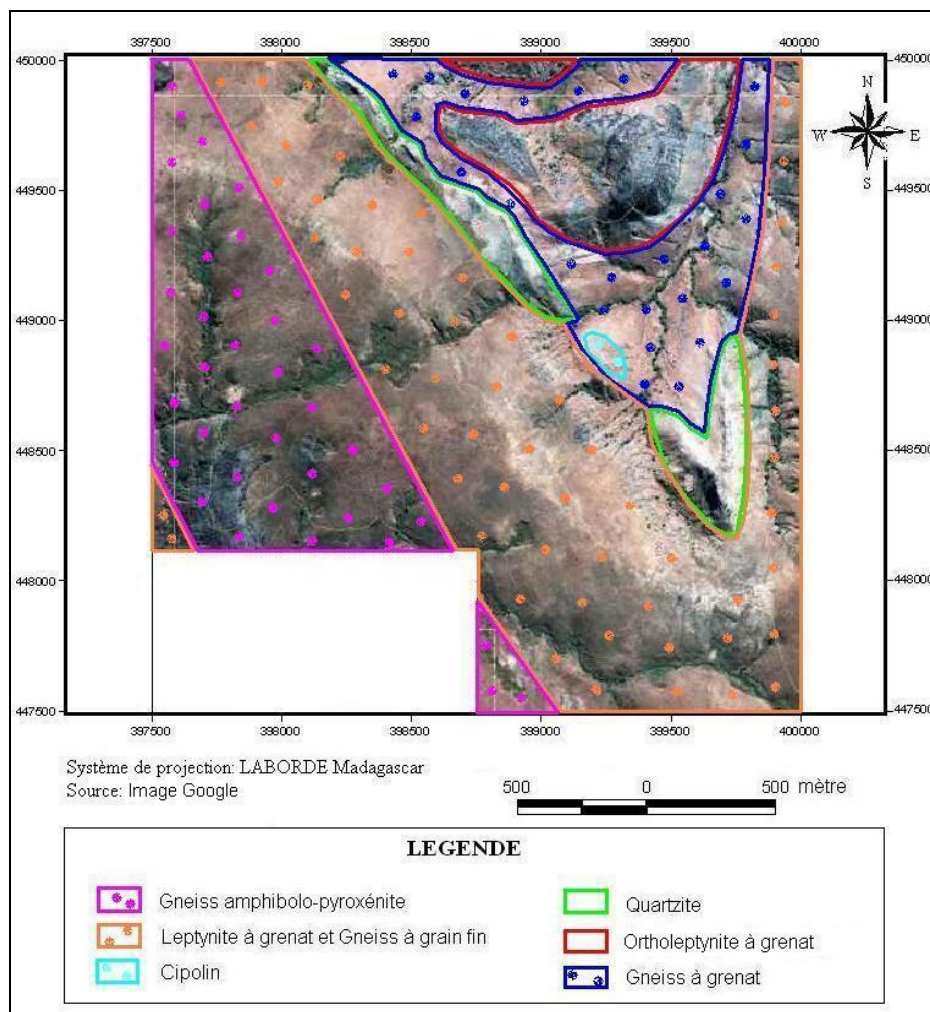


Figure 20 : Délimitation des principaux corps géologiques (fond image Google Earth)

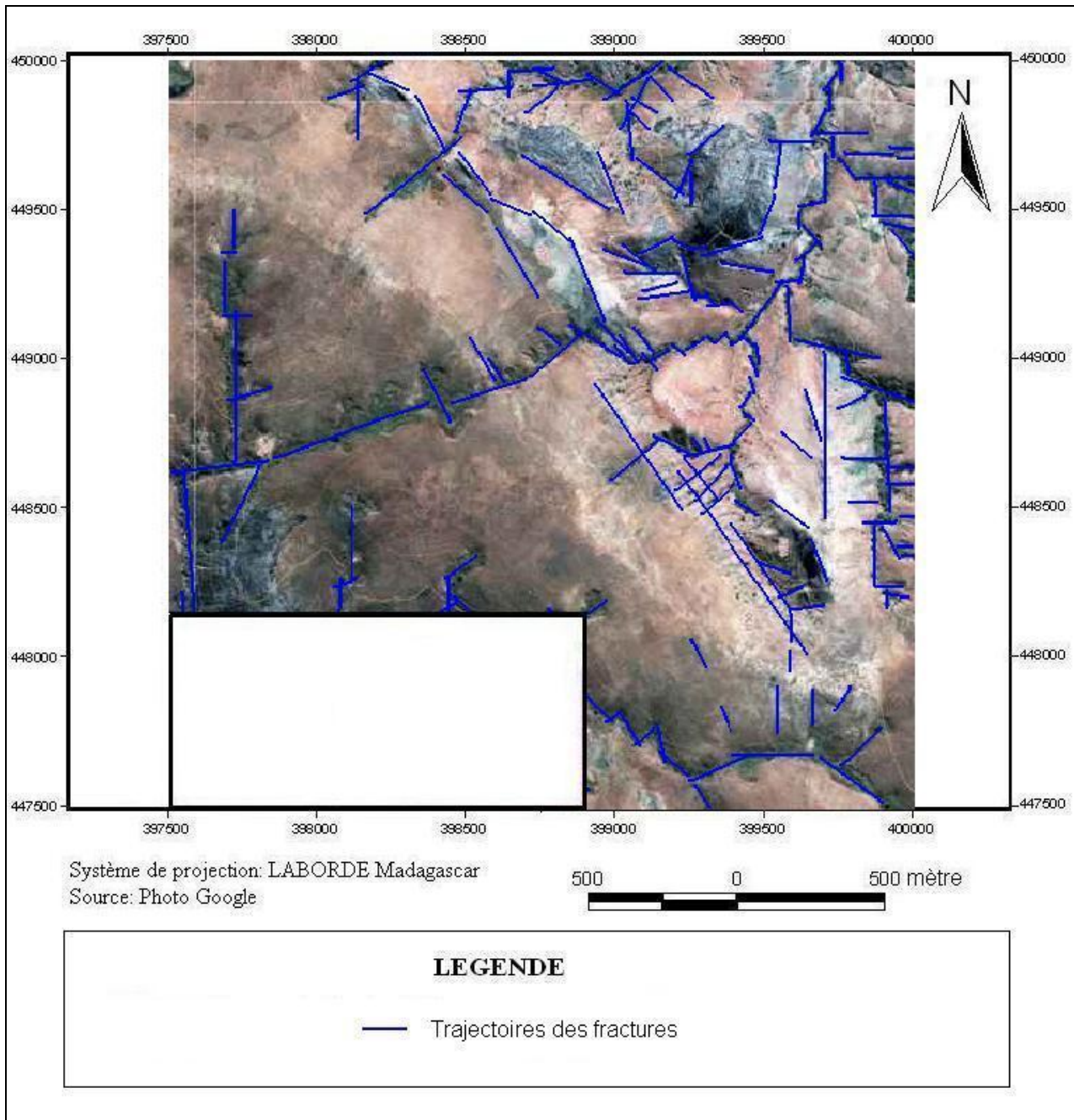


Figure 21 : Carte des accidents structuraux (fond image Google Earth)

Des accidents majeurs recoupent la structure et provoquent la formation des diaclases qui sont de direction N20 à N40 et on peut voir aussi de direction Est-Ouest (*figure 21*).

Une nouvelle carte géologique (*figure 22*) sera créée à l'aide de la méthode de superposition des différentes cartes élaborées sur image Google Earth.

III.2.3. La nouvelle carte géologique

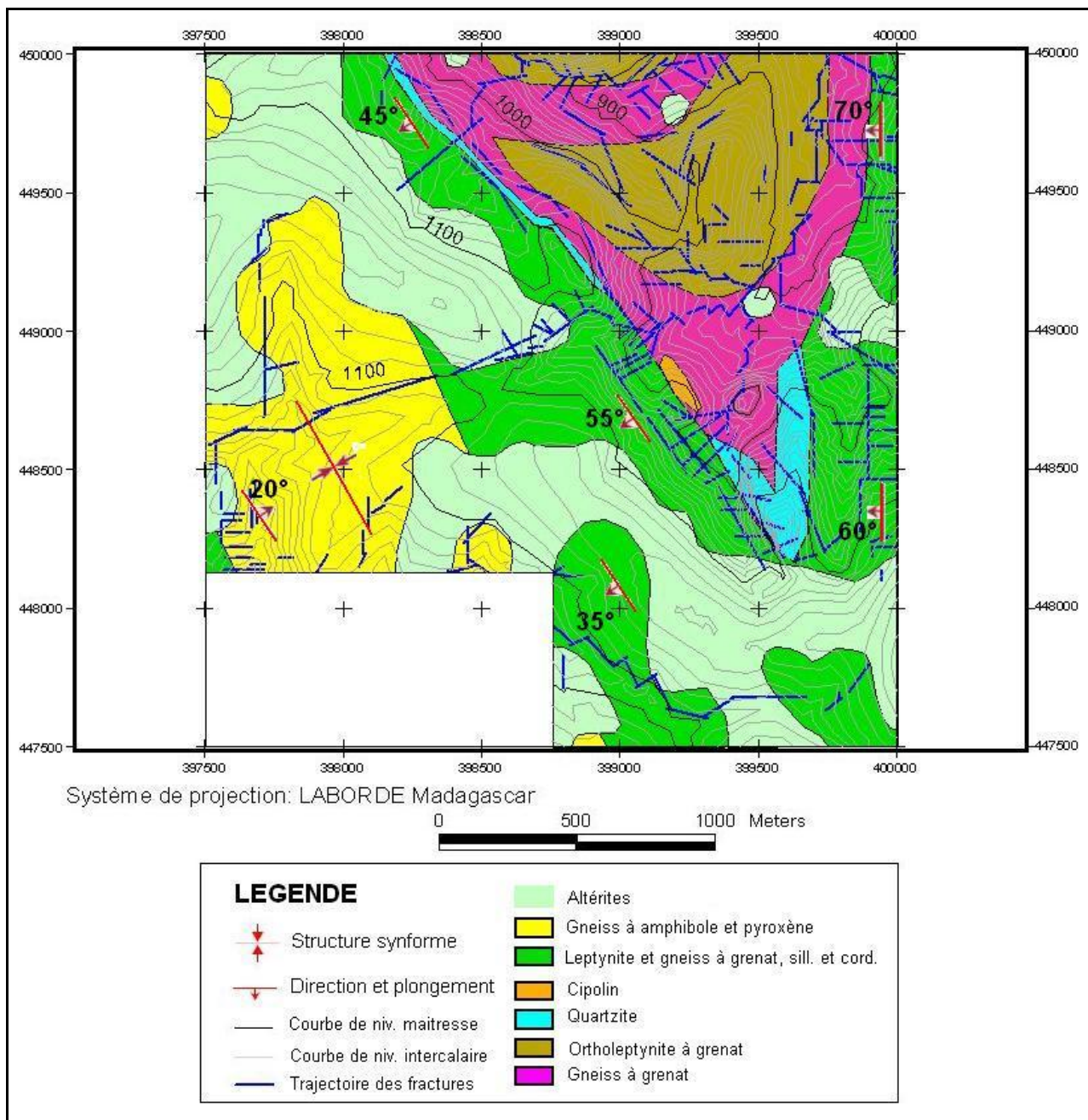


Figure 22 : Nouvelle carte géologique

CHAPITRE IV : INTERPRETATION DES RESULTATS

IV.1. OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN

Sur le site étudié ont été rencontrés fréquemment des schistes cristallins, des roches métasomatiques, des roches intrusives proprement dites et des formations superficielles.

La série paragneissique du système du Vohibory s'étale sur toute la zone. Il s'agit essentiellement de paragneiss amphiboliques avec des cipolins, des quartzites et des pyroxénites en bancs ou en lentilles continus plus ou moins importants.

Le boudinage des minéraux est provoqué par une forte compression qui donne une « neck-zone » (figure 23) sur toute la morphologie (figure 24).

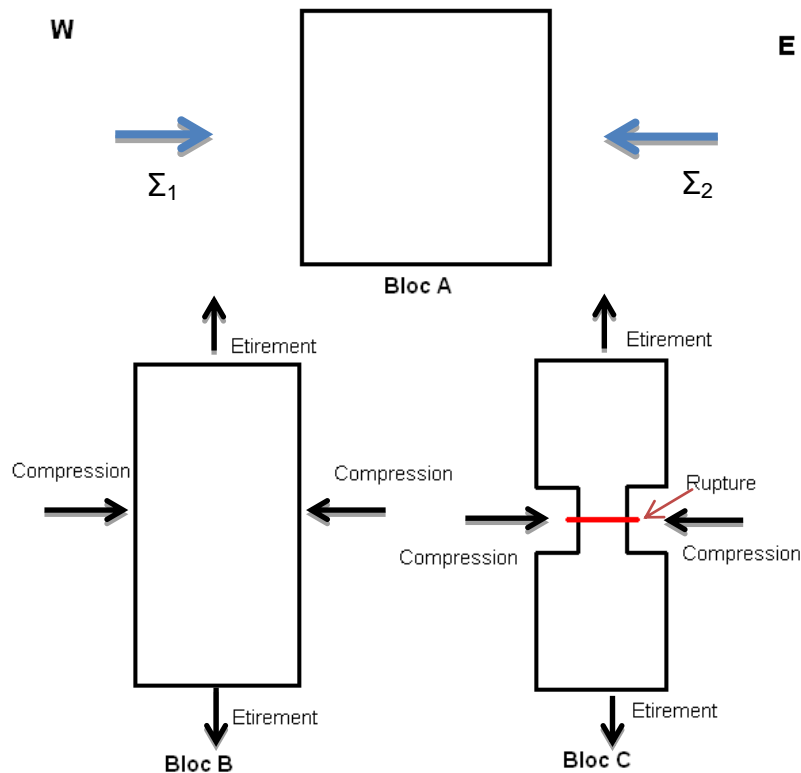


Figure 23 : Illustration de la formation d'une « neck-zone ».

Quand on exerce deux contraintes latérales sur le *bloc A*, on obtient après une déformation souple (*bloc B*), composée d'un étirement et d'une compression. Si l'intensité de la contrainte E-W augmente, il y aura formation de « neck-zone » qui précède la rupture (*bloc C*).

Au-dessus des gneiss se superpose des leptynites souvent grenatifères à sillimanite. Les roches à cordiérite sont très fréquentes dans cette zone. La présence de biotite, d'amphibole, de pyroxène et de cordiérite témoignent de la présence d'un métamorphisme profond appartenant à la catazone. Les bancs de leptynites et de gneiss à grenat et de quartzites forment des alignements subméridiens sur cette zone. Pour une meilleure interprétation des résultats, différentes coupes ont été réalisées sur le site étudié (figure 24, 25).

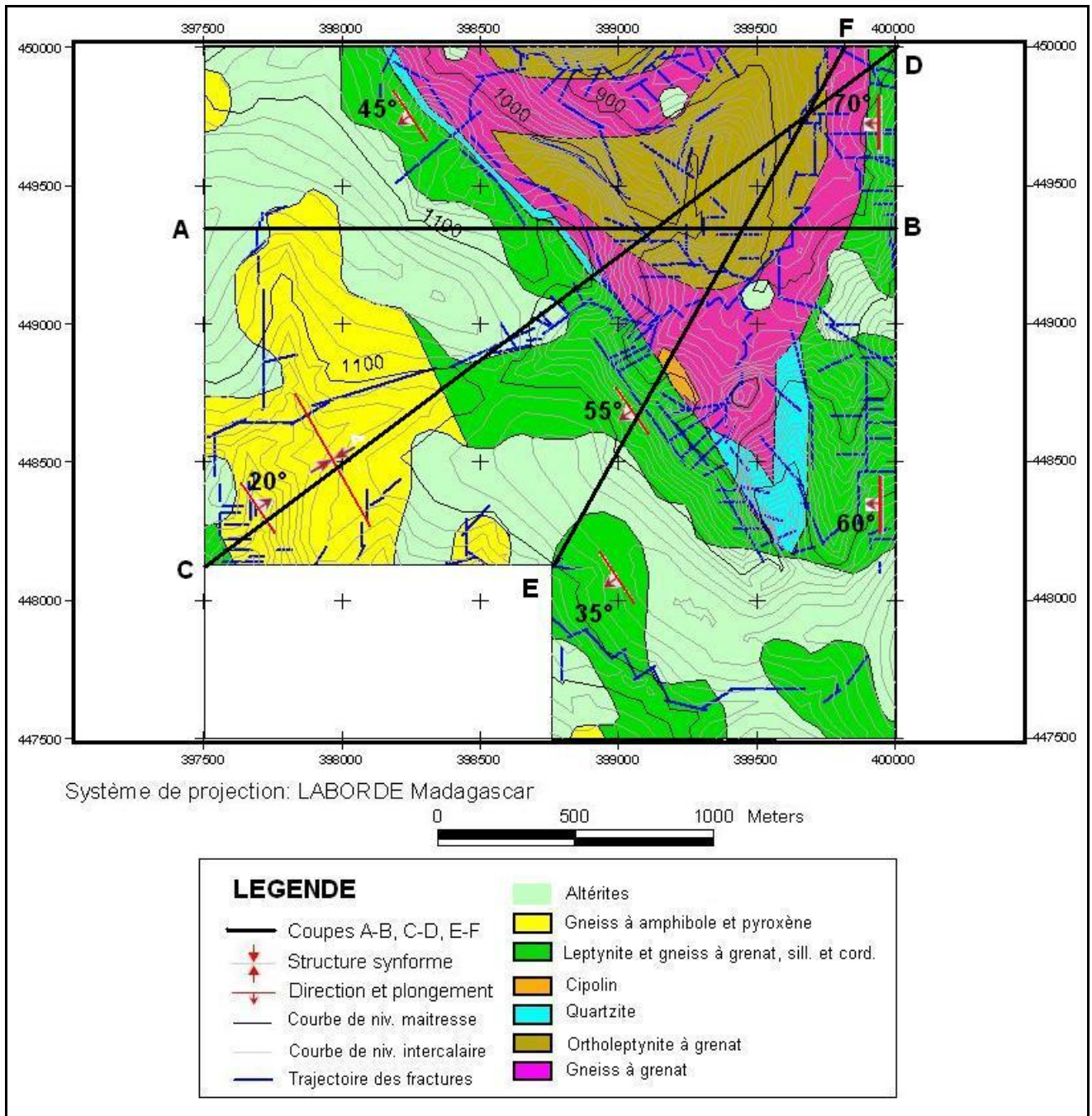


Figure 24 : Localisation des coupes géologiques

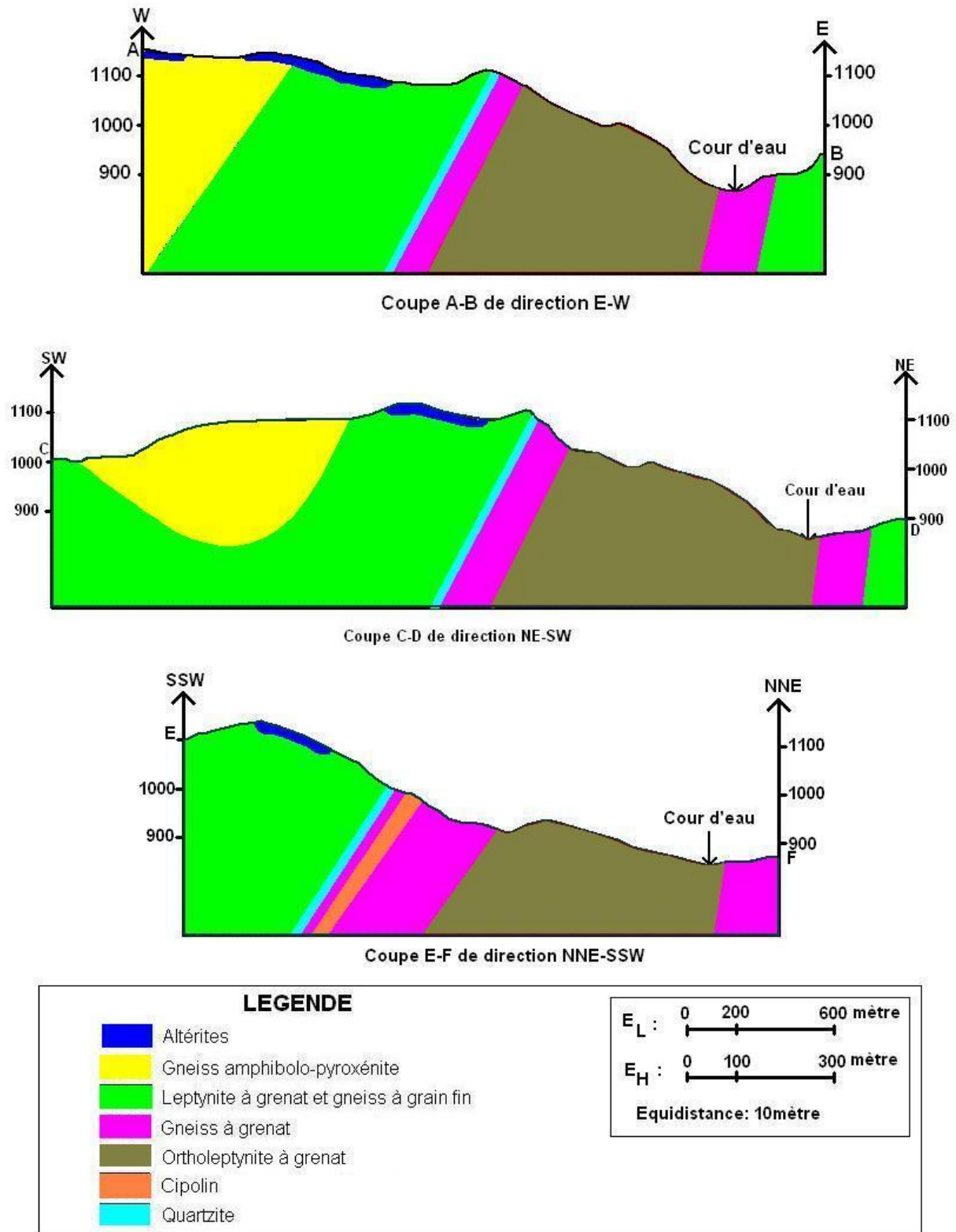


Figure 25 : Coupes géologiques A-B, C-D, E-F.

L'interprétation des coupes et l'analyse des différentes cartes amènent à proposer la succession chronologique d'unités lithotectoniques suivantes, de bas en haut :

- Niveau quartzitique
- Niveau à cipolin
- Ortholeptynite à grenat
- Gneiss à grenat
- Leptynite à grenat et gneiss à grain fin
- Gneiss amphibolo-pyroxénite

Les coupes A-B et E-F mettent en évidence les différents plongements des couches et la présence d'une roche intrusive de l'ortholeptynite à grenat. L'encaissant de cette roche est du gneiss à grenat qui est un peu plus cristallisé en minéraux. Le quartzite se présente en banc de plus de 5 mètres d'épaisseur qui s'étend vers le NNO (*figure 25*).

La coupe E-F montre la présence d'un banc de cipolin qui s'allonge jusqu'à 20 mètre au milieu de la carte avec une épaisseur d'environ 6 mètres (*figure 25*). Ce banc de cipolin est très rare dans la zone. Ceci est dû par un cisaillement ductile compressé verticalement et s'enfuit comme des fluides dans les diaclases où ils alimentent les zones d'ouverture dans ce réseaux de fractures.

La coupe C-D met en évidence la présence d'une structure synforme dans la partie Ouest de la coupe. Le gneiss à amphibole surmonte la couche de leptynite à grenat et gneiss à grain fin. Son plongement vers l'Ouest est plus important que le plongement vers l'Est. Le principe de continuité des couches est vérifié comme le montre, vers l'Ouest, les leptynites à grenat et gneiss à grains fins qui apparaissent au SW de la carte et La couche la plus récente (gneiss à amphibole et pyroxène) affleure au centre. Ce qui signifie que les pendages convergent vers le cœur de la couche récente (*figure 25*).

C'est à l'Est du site d'étude se remarque cette continuité avec une inclinaison vers l'Ouest de tous les pendages des couches.

IV.2. INTERPRETATION STRUCTURALE

Face à la dimension des corps géologiques, tirer des conclusions et avancer des interprétations sur les formes rencontrées sur le terrain ne sont pas évidents, aussi 103 mesures de directions et de pentes des couches et 47 mesures de fractures, ont été effectuées afin de pouvoir les représenter dans l'espace tout en conservant les angles à l'aide du canevas de Wulf par exemple.

Par commodité et pour une meilleure analyse des résultats, la carte figurant le site étudié sera divisée en cinq zones : A, B, C, D, E (figure 26).

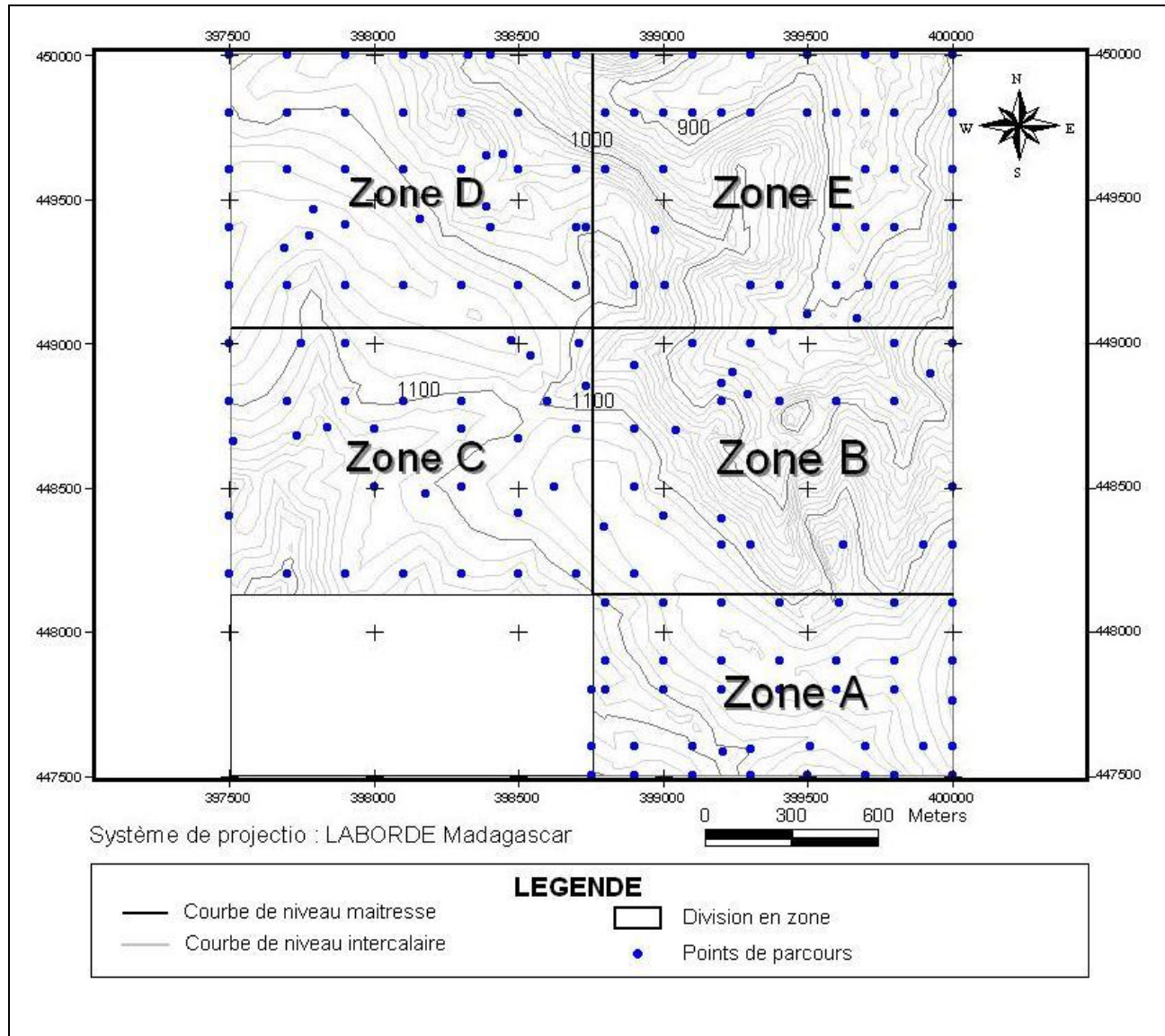


Figure 26 : Division en zone A, B, C, D, E.

IV.2.1. Interprétation structurale des couches

1) ZONE A :

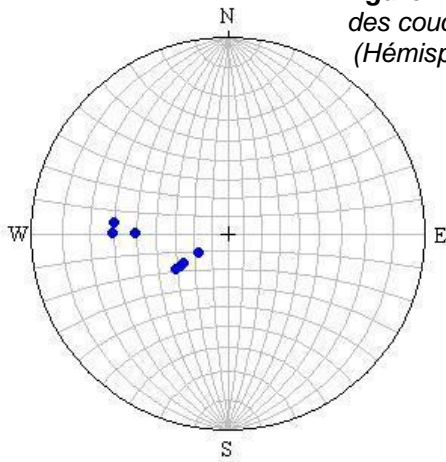


Figure 27 : Traces polaires des couches de la zone A. (Hémisphère supérieure).

Figure 28 : Histogramme des directions de la zone A.

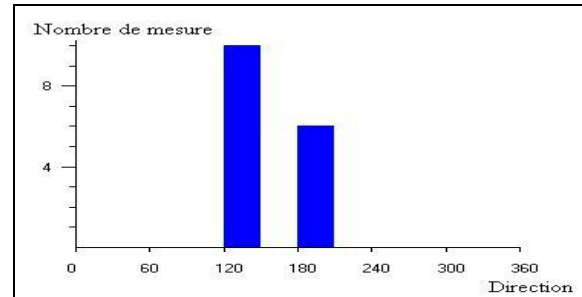


Tableau 6: Tableau récapitulatif des mesures de la zone A

Classe	Nombre	Pendage moyen
0° à 29°	6	58,33°SW
120° à 149°	10	28,70°SW

Sur la partie Ouest de la zone A, le nombre de mesures entre N120 et N150 est de 10 avec un pendage moyen de 28,70°. Sur la partie Est, avec 6 nombres de mesures (entre N0 et N30), le pendage augmente jusqu'à une moyenne de 58,33° (tableau 6, figure 28). Ces résultats reflètent la présence d'une variation importante de directions et de pendage (figure 27). L'interprétation de la distribution des points du canevas montre une évolution de la contrainte provoquée par l'intrusion du massif de l'ortholeptynite à grenat.

2) ZONE B :

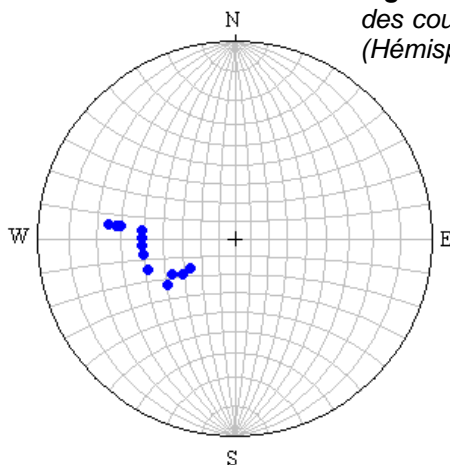


Figure 29 : Traces polaires des couches de la zone B. (Hémisphère supérieure).

Figure 30 : Histogramme des directions de la zone B

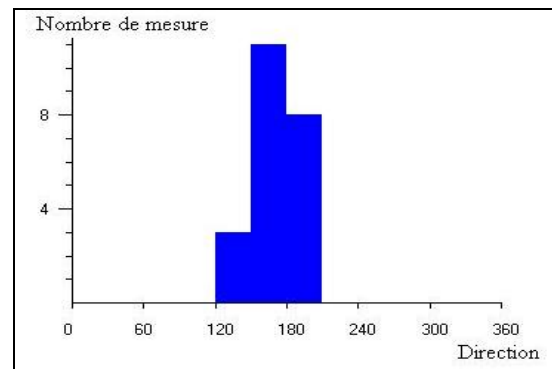


Tableau 7 : Tableau récapitulatif des mesures de la zone B

Classe	Nombre	Pendage moyen
0° à 29°	8	54,62°SW
120° à 149°	3	40°SW
150° à 180°	11	47,27°SW

Cette zone peut être divisée en 3 classes. La classe de N0 à N30, la classe de N120 à N149 et la classe de N150 à N179 (*figure 30, tableau 7*). Les directions et les pendages augmentent de l'Ouest vers l'Est (*figure 29*). Par rapport à la zone A, cette zone B présente une différente variation de direction et pendage. Ce qui implique qu'on se rapproche du massif de l'ortholeptynite à grenat.

3) ZONE C :

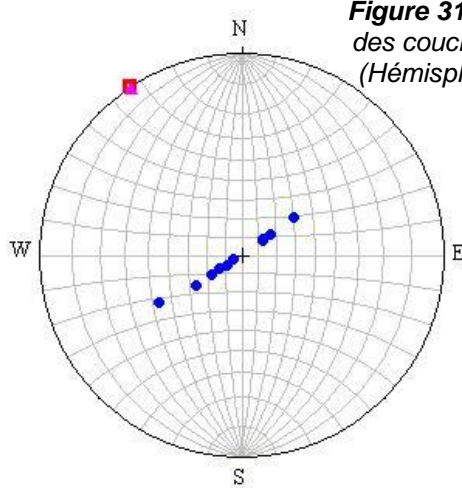


Figure 31 : Traces polaires des couches de la zone C. (Hémisphère supérieure).

Figure 32 : Histogramme des directions de la zone C.

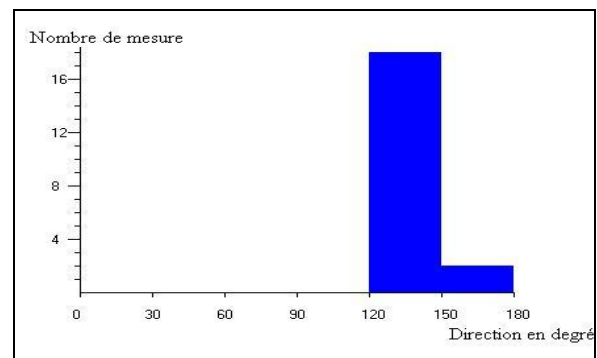


Tableau 8: Tableau récapitulatif des mesures de la zone C

Classe	Nombre	Pendage moyen
120° à 149°	18	22,72°
150° à 180°	2	50°

La zone C présente des pendages faibles (*tableau 8*) avec un changement de pendage du SW au NE.

L'axe du pli est la droite perpendiculaire au grand cercle de pôle N56, 10°SE sur lequel les pôles des couches se mettent en zone. L'angle d'ouverture du pli est le supplément de l'écart entre les deux couches extrêmes. En effet, le meilleur petit cercle permet de trouver l'ouverture du pli avec 88° d'ouverture (*figure 31*). Il suffit en principe de trois mesures de pendages réparties sur l'ensemble du pli pour définir l'axe d'un pli (*Jacques Henry, 1976*).

4) ZONE D :

Figure 34 : Traces polaires des couches de la zone D (Hémisphère supérieure).

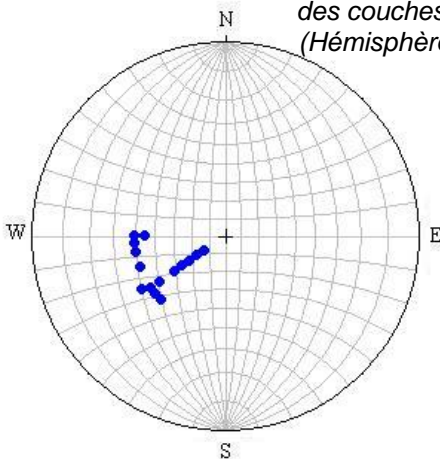


Figure 33 : Histogramme des directions de la zone D.

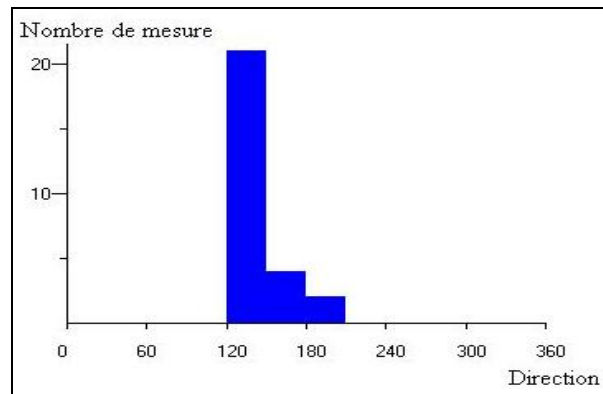


Tableau 9 : Tableau récapitulatif des mesures de la zone D

Classe	Nombre	Pendage moyen
120° à 149°	21	42,28°SW
150° à 179°	4	50°SW
180° à 209°	2	47,5°SW

Dans la zone D, la majorité des mesures se retrouve dans la classe de N120 à N149. Les pendages varient de 42,28° à 50° vers le Sud-Ouest (*figure 33, tableau 9*), indiquant la présence d'une monoforme. Cette variation de direction et du pendage apparaît vers l'Est de la zone (*figure 34*).

5) ZONE E :

Figure 35 : Traces polaire des couches de la zone E. (Hémisphère supérieure).

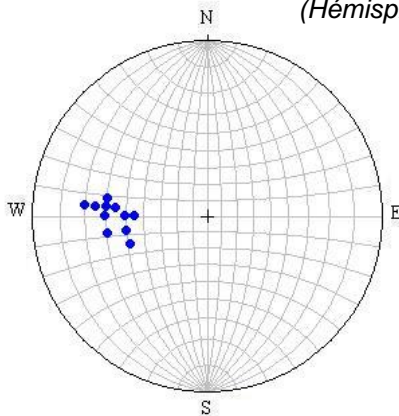


Figure 36 : Histogramme des directions de la zone E.

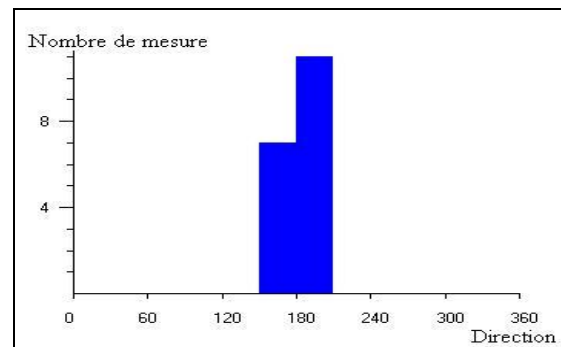


Tableau 10 : Tableau récapitulatif des mesures de la zone E

Classe	Nombre	Pendage moyen
150° à 179°	7	52,85°
180° à 209°	11	58,64°

La projection des traces polaires (*figure 35*) montre un plan général N178, 56° vers l'Ouest. Toutes les couches sont dirigées vers le Nord. D'Ouest en Est, à mesure que la valeur du pendage augmente, les directions s'orientent vers le Nord (*figure 36, tableau 10*). La zone est affectée par

une contrainte verticale dans sa partie Ouest ; en d'autres termes, c'est l'intrusion du massif de l'ortholeptynite qui serait responsable du changement d'orientation de la direction de toutes les couches voisines.

Figure 37 : Traces polaires des couches de la zone d'étude (Hémisphère supérieure).

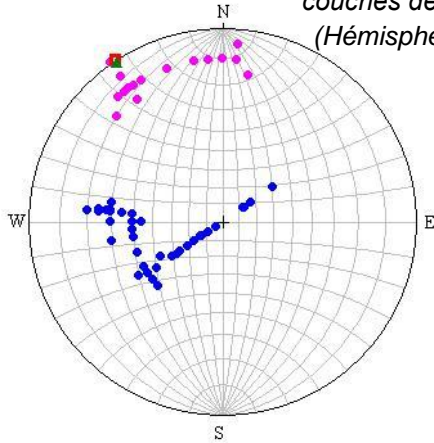


Figure 38 : Histogramme de l'ensemble des directions

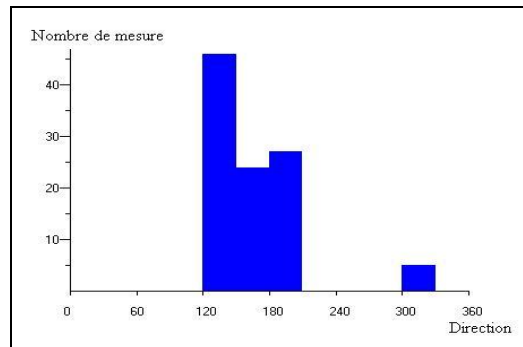


Tableau 11 : Tableau récapitulatif

Classe	Nombre	Pendage moyenne
120° à 149°	46	33,42°NE, SW
150° à 179°	24	50,03°SW
180° à 209°	27	54,77°SW
300° à 329°	5	40°SW

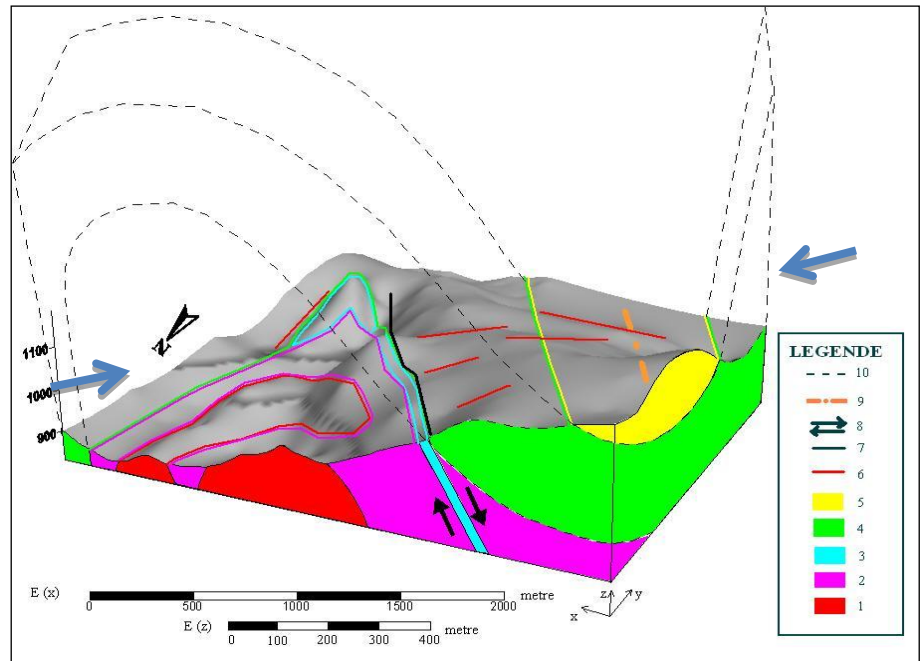
La figure n°37 montre l'ensemble de toutes les projections stéréographiques dans la zone d'étude qui montre que, dans la partie Ouest de la zone, avec 46 mesures (figure 38, tableau 11), les couches ont une direction presque parallèle mais le pendage change de SW en NE. Vers l'Est, la variation du pendage se rapproche de la verticale et les couches prennent une direction Nord. La zone présente une intensité de métamorphisme très élevée.

Interprétation :

Il semble que deux phases de déformation aient affecté les roches de la zone d'étude :

- 1) Une première déformation représentée par une compression NE-SW qui a provoqué le plissement des couches (*figure N° 39*).

Figure 39 : Bloc diagramme de la zone d'étude



1. Ortholeptynite à grenat ;
2. Gneiss à grenat ;
3. Quartzites ;
4. Leptynite et gneiss à grenat, sillimanite et cordiérite ;
5. Gneiss à amphibole et pyroxène ;
6. Fractures majeures ;
7. Faille normale probable
8. Mouvement de faille
9. Axe de pli (N56, 10°SE)
10. Illustration de plissement

Ce phénomène peut être lié à la compression générale qui caractérise le Sud de Madagascar et l'intense déformation marquée par le développement d'un réseau de zones de cisaillement anastomosées verticales globalement orientées Nord-Sud (*Figure 40*). Le champ de déformation finie, contemporain du métamorphisme granulitique (580-520 Ma) est compatible avec un raccourcissement horizontal Est-Ouest en régime transpressif qui résulterait de la convergence de cratons lors de la fin de la consolidation du Gondwana (*Martelat, 1998 ; Martelat et al. 2000 in Goncalves, 2002*).

- 2) La seconde déformation est provoquée par l'intrusion du magma granitique entraînant ainsi la désorganisation des couches (*Figure 41*). On observe alors le glissement couche-à-couche qui affecte le flanc du pli. L'angle mesuré entre les couches par rapport à l'horizontale est très faible (10°) et montre un déplacement des couches supérieures suivant un plan N56, 10°SSE.

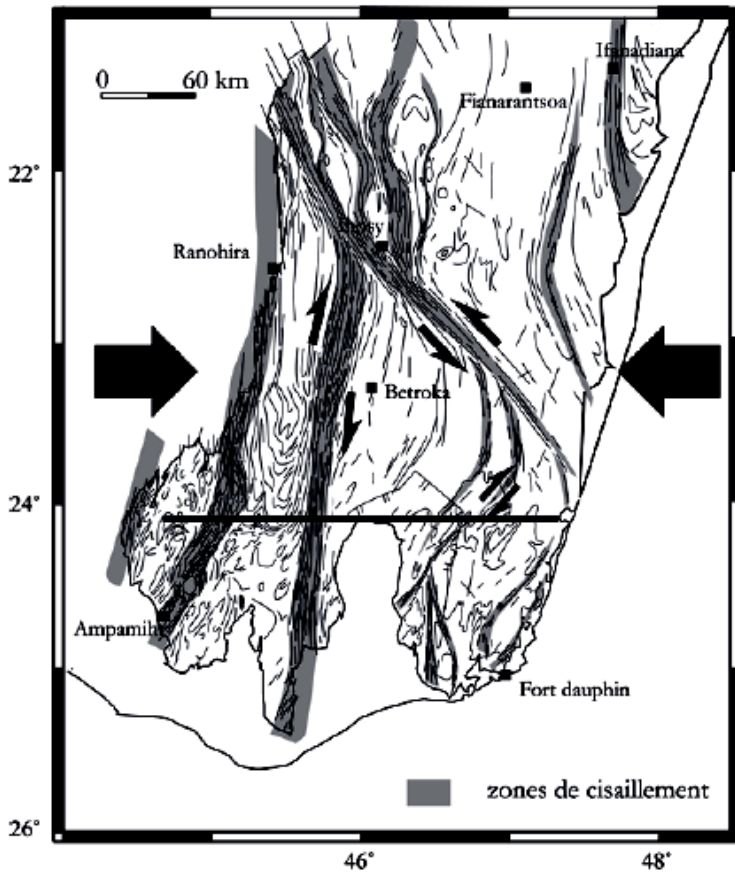


Figure 40 : Carte structurale du Sud de Madagascar et coupe schématique Est-Ouest (Martelat, 1988) in Goncalvès, 2002.

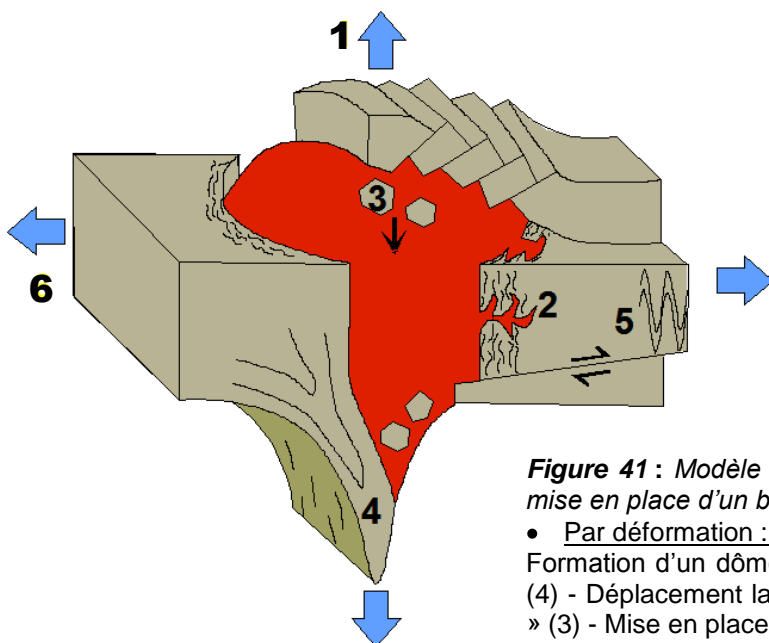


Figure 41 : Modèle d'accommodation de l'encaissant lors de la mise en place d'un batholite (Gruneisen et al, 1973)

- Par déformation :
Formation d'un dôme au toit (1) - Déformation ductile des murs (4) - Déplacement latéral et plissement des murs (5) - « Stopping » (3) - Mise en place dans un contexte extensif (6)
- Par assimilation : Fusion partielle de l'encaissant (2)

IV.2.2. Interprétation structurale des diaclases

La plupart des diaclases reconnues ont été mesurées dans les roches de direction générale N80 (*tableau 12*). Les mesures ont été réalisées essentiellement sur des diaclases transversales. Ces diaclases sont orientées presque perpendiculairement à la direction des couches.

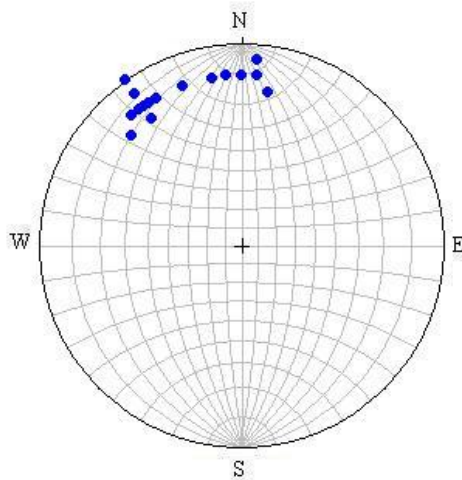


Figure 42 : Traces polaires des diaclases. (Hémisphère supérieure).

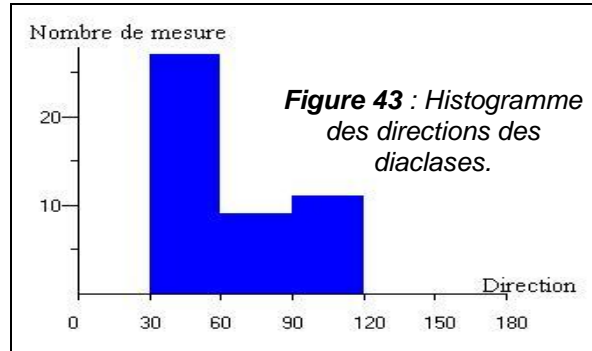


Figure 43 : Histogramme des directions des diaclases.

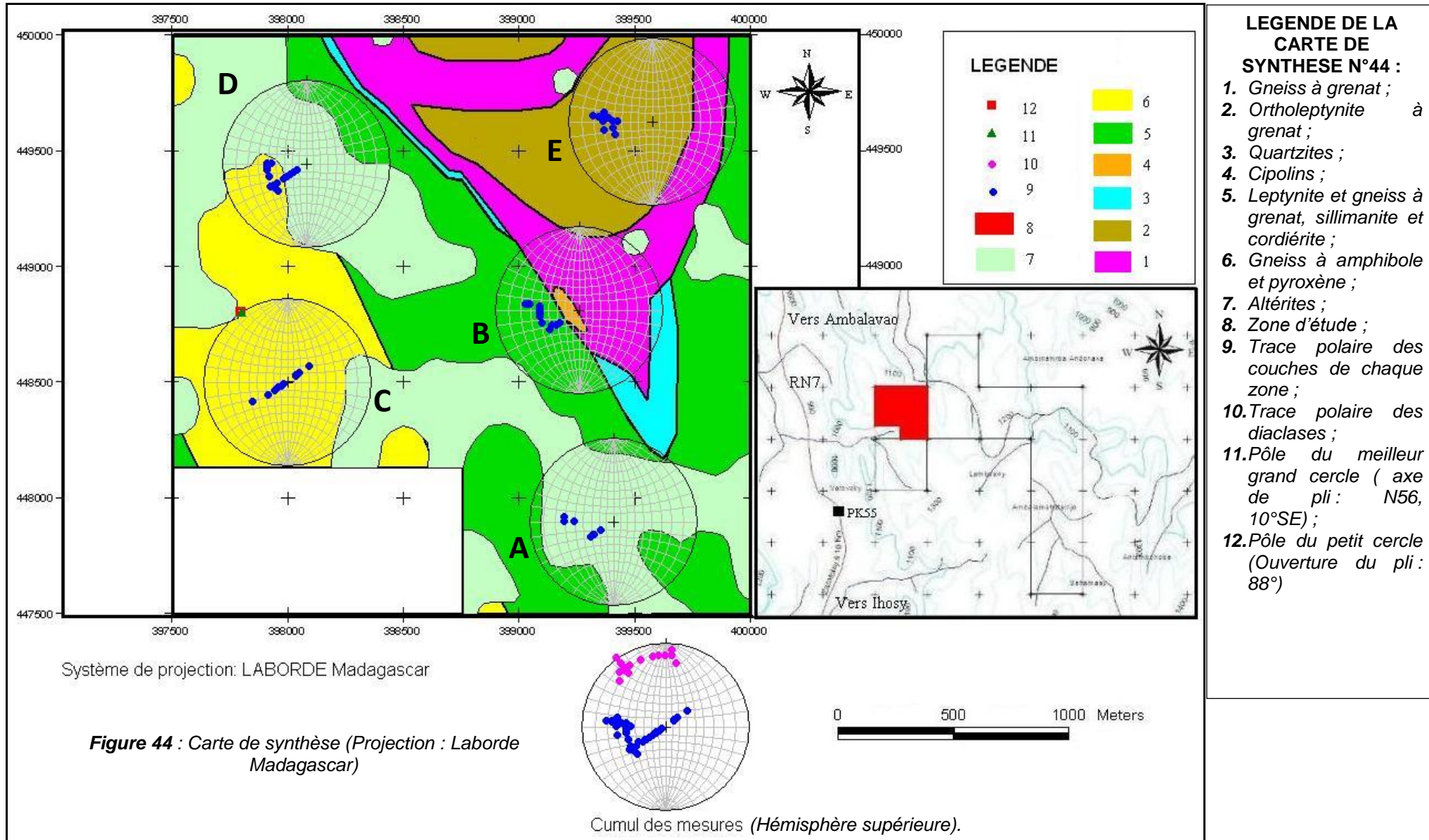
Tableau 12 : Tableau récapitulatif des mesures des diaclases

Classe	Nombre	Moyenne Pendage
30° à 59°	27	Environ 80°NNW
60° à 89°	9	
90° à 119°	11	

Le report des mesures sur le canevas de Wulf (*figure 42*) et l'histogramme (*figure 43*) montrent trois directions : N30 à N59, N60 à N89 et N90 à N119 classé dans le *tableau 12*. La variation de ces directions est due à la désorganisation des couches. L'angle entre l'horizontale et les diaclases transversales est en moyenne 80°NNW environ. Ce type de diaclase correspond à la définition de « *paraclase transversale* » évoquée par Gruneisen et al (1973). Ce paraclase se manifeste sur le flanc d'un pli et il est associé à des glissements couche-à-couche.

L'intrusion de l'ortholeptynite à grenat dans la partie Nord de la zone d'étude provoque l'inclinaison vers 10°SSE de toutes les couches, entraînant la déclinaison des diaclases transversales de 80°NNW environ par rapport à l'horizontale.

La *figure 44* représente l'ensemble de toutes les données prises sur terrain et qui ont été reportées sur le canevas de Wulf.



La carte de synthèse montre bien la présence d'un synforme dans la partie SW de la carte où l'on observe une variation des pendages du SW au NE, l'axe du pli est N56, 10°SE. On peut également remarquer la présence d'une antiforme dans la partie E, avec une inclinaison vers le SW des couches. Si l'on se réfère à la reconstitution sur le bloc diagramme (*figure 39*) et les observations effectuées sur le terrain, il ressort que l'on est en présence d'un pli déversé, l'axe et la charnière du pli n'étant pas visibles car ils sont en réalité hors de la zone d'étude.

CONCLUSION

Les observations sur le terrain et le traitement des données selon les différentes méthodes ont permis la réalisation d'une nouvelle carte géologique et structurale de la zone de Vatovorona Ihosy. Par ailleurs, l'utilisation du canevas de Wulf a grandement contribué à une meilleure appréciation de la disposition des corps géologiques ainsi que de leur mode de déformation. C'est ainsi par exemple, que l'on a pu observer la présence d'un synforme dans la partie SW du site d'étude où les pendages varient du SW vers le NE avec un axe de N56, 10°SE, ainsi qu'une antiforme dans la partie E, avec une inclinaison vers le SW des couches, composants les éléments d'un pli déversé. L'analyse des différents accidents montre que l'on est dans une zone tectonique fortement perturbée qui a subi d'importantes déformations (compression, étirement, etc.) dues en grande partie au fait que le site appartient à une zone de subduction (Goncalvès, 2002) qui provoque en surface l'arrivée de nombreuses intrusions granitiques.

L'ensemble des résultats reflète l'influence de l'événement Néoprotérozoïque moyen (720-820 Ma) sur la zone de Vatovorona Ihosy. Cet événement est interprété comme un magmatisme d'arc continental résultant de la subduction de l'océan Mozambique sous Madagascar lors de la fragmentation du Rodinia. Cette convergence est marquée par le développement d'une intense déformation liée à une *tectonique d'extrusion*¹ (Goncalvès 2002).

¹ **Tectonique d'extrusion** : Au cours de la subduction, la croûte océanique se transforme sous l'effet de changement de température et de pression et entraînant la transformation des minéraux de roches en de nouveaux ensembles minéralogiques. Cette transformation structurale et minéralogique aboutit à la formation de nouvelles roches. Donc, lorsqu'un magma cristallise en profondeur, il est à l'origine des roches plutoniques de type granitoïde (structure grenue) qui n'atteigne la surface qu'à la faveur de l'érosion. L'enfouissement de ces roches plutoniques forme un dôme (comme les batholites) à la surface et exerce une désorganisation de la structure des roches encaissantes (Goncalvès, 2002).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BESAIRIE, 1963. « *Description géologique du massif ancien de Madagascar. Premier volume Centre Nord et Centre Nord-Est* ». Service Géologique Tananarive.
- BESAIRIE, 1967. « *The Precambrian of Madagascar* » In: Rankama, K. (Ed.), *The Precambrian*, vol.3. Wiley, New York, pp. 133-142.
- COLLINS et al. 2002. « *The tectonic architecture of the East African Orogen in central Madagascar-a structural and geochronological perspective* ». *Journal African Earth Sci.* 30 (4A), 21p.
- GONCALVES P. 2002. « *Pétrologie et géochronologie des granulites de ultra-hautes températures de l'unité basique d'Andriamena (Centre-Nord Madagascar). Apport de la géochronologie in-situ U-Th-Pb à l'interprétation des trajets P-T* ». Université Blaise Pascal, Thèse. 320p.
- GOUJOU-JCG-CONSULT, 22 Juin 2005 « *Etude géologique et minéralogique des zones de Sahambano, Mosalahy, Befanova, Manivala, Zazafotsy, Ranotsara et Iakora* », Editions Les Grands Goulets 26420 La Chapelle-en-Vercors. Review. Page 4-6.
- GRUNEISEN P., HIRLEMANN G., JANOT P., 1973 « *Analyse de la fracturation naturelle d'une structure plissée : anticlinal de la Lance (Drôme)* », *Bulletin de l'Institut de Géologie, Université Louis Pasteur de Strasbourg (France)*. Tome 26, Fascicule 2-3.p 161-186.
- HARTZ E.H et TORVISK T.H., 2002, « *Baltica upside down: A new plate tectonic model for Rodinia and the Iapetus Ocean* ». *Geology*; March 2002; v. 30; no. 3; p. 255–258; 3 figures.
- HENRY J. (SNPA), 1976. « *Méthodes modernes de géologie de terrain. Manuel d'analyse structurale : Traitement de données* ». Editions Technip – Paris. Vol.2. fasc.b.p 3-10
- HOTTIN G., 1976, « *Présentation et essai d'interprétation du Précambrien Malgache* ». *Bulletin de Bureau des Recherches Géologiques et Minières*, 2ème Série, Section IV, n°2, pages 117 à 153.
- INSTAT, Nov. 2004, « *Monographie du 22 Régions.* » PRD Ihorombe, 2005 ; DIRA Fianarantsoa ; Districts Ihosy, Iakora et Ivohibe ; CIRAD ; UPDR – 2003.
- LARDEAUX et al, 1997, « *Metamorphism and Tectonics in Southern Madagascar: An Overview. Gondwana Research* ». UMR 5570, Université Lyon 1 et ENS Lyon, 43 Bd du 11 Nov., 69622 Villeurbanne, France. Review, Vol. 2, No. 3, p.355-362.
- MARTELAT J.E., 1998, « *Evolution thermomécanique de la croûte inférieure du Sud de Madagascar.* », PhD Thesis, Univ. B. P. Clermont-Ferrand II, 232p.

- MEERTA et VAN DER VOO, 1997, "*The assembly of Gondwana 800-550 Ma.*", Journal Geodyn. 23, 223-235.
- MEERTA J.G., TORSVIK T.H. 2003. "The making and unmaking of a supercontinent: Rodinia revisited". Tectonophysics 375 (2003) 261–288
- NEDELEC et al. 2000, « *Structure and metamorphism of the granitic basement around Antananarivo: a key to the Pan-African history of the central Madagascar and Its Gondwana connections. Tectonic.* », Tectonics 19, 997-1020.
- NICOLLET Ch., 2010, « *Métamorphisme et Géodynamique* », Centre Universitaire Régional de Tuléar (Madagascar) et Laboratoire de Pétrologie des Zones Profondes, U.S.T.L. 34060, Montpellier France. Article. p.2
- RAMIANDRISOA Njararivelo et al, 2009. « *Minéralisation aurifère dans les formations protérozoïques de Dabolava, Miandrivazo centre ouest de Madagascar : étude pétrographique et géochimique des veines de quartz aurifères* ». MadaGéo13, 10p.
- RAKOTOARIDERA Zina S., 2008, « *Etude préliminaire des caractéristiques physico-chimique et hydrodynamiques des aquifères du socle cristallin de la région Ihorombe* », Université d'Antananarivo-Faculté des Sciences-Département des Sciences de la Terre, Mémoire de fin d'étude en DEA en Science de la Terre et Evolution, p.6.
- RAKOTOMAVO G., RAKOTOMANDIMBY et L. RANDRIANASOLO, 1966, « *Etude géologique et prospection de la feuille de Zazafotsy (L55)* », Service Géologique de Madagascar, Rapport de fin de mission (1966). 18p.
- ROLIN, 1991, « *Présence de décrochements précambriens dans le bouclier méridional de Madagascar : Implantations structurales et géodynamiques.* », C. R. Acad. Sci. Paris, v.312, pp.625-629.
- RUHLAND M., 1973. « *Méthode d'étude de la fracturation naturelle des roches associée à divers modèles structuraux* », Bulletin de l'Institut de Géologie, Université Louis Pasteur de Strasbourg (France). Tome 26, Fascicule 2-3. 20p
- SILLARD P., 2000, « *Les projections et référentiels cartographiques* », Ecole Nationale des Sciences Géologiques. Review, p.5-10.
- WINDLEY et al. 1994, "*Tectonic framework of the Precambrian of Madagascar.*", Géol. Rundsch, v.83, pp.642-659.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ABREVIATIONS	iv
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES PHOTOS	viii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : CADRE GEOLOGIQUE	2
I.1. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE	3
I.1.1. Généralités sur la région d'Ihorombe	3
I.1.1.1. Description physique	4
I.1.1.1.1. Géomorphologie et cours d'eau	4
a. Géomorphologie.....	4
b. Cours d'eau.....	4
I.1.1.1.2. Climat	5
a. Température	5
b. Pluviométrie	6
I.1.1.1.3. Sols et végétation	6
a. Caractéristiques pédologiques	6
b. Formations végétales	7
I.1.1.2. Contexte socio-économique	7
I.1.2. Localisation du périmètre d'étude	8
I.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE	9
I.2.1. Sommaire sur la géologie cristalline et structurale de Madagascar	9
I.2.1.1. Géologie cristalline malgache	9
I.2.1.2. Survol de la géologie structurale de Madagascar	10
I.2.2. Aperçu sur la géologie du Sud de Madagascar.....	11
I.2.2.1. Les blocs de Taolagnaro-Ampanihy et de Vohibory	12
I.2.2.2. Le bloc d'Ikalamavony-Amborompotsy	13
I.2.3. Contexte géologique de la zone d'étude	13
I.2.4. Caractéristiques structurales de la zone d'étude.....	13
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODE.....	16
II.1. MATERIELS	17
II.1.1. Les matériels géologiques utilisés	17
II.1.1.1. GPS.....	17

II.1.1.2.	Boussole de géologue	17
II.1.1.3.	Canevas Stéréographique	17
II.1.2.	Les bases de données utilisées	18
II.1.2.1.	Bases de données (BD500)	18
II.1.2.2.	Les données cartographiques	18
II.1.2.2.1.	Carte géologique	18
II.1.2.2.2.	Carte topographique	18
II.1.2.3.	Image Satellite	19
II.1.2.4.	Les logiciels	20
II.2.	METHODOLOGIE	20
II.2.1.	Compilation bibliographique	20
II.2.2.	Méthode de travail sur terrain	20
II.2.2.1.	Division du permis 39110 en 9 carrés	21
II.2.2.2.	Choix de la zone d'étude	22
II.2.2.3.	Maillage de la partie B	22
II.2.2.4.	Calage du GPS-72	23
II.2.2.5.	Mesures	23
II.2.2.6.	Détermination pétrographique des affleurements	23
II.2.2.7.	Prise d'échantillons	23
II.2.3.	Traitement des données	25
II.2.3.1.	Collecte de données	26
II.2.3.2.	Géoréférencement des cartes	26
II.2.4.	Numérisation	29
CHAPITRE III :	RESULTATS	30
III.1.	ETUDE ET ANALYSE DES AFFLEUREMENTS	31
III.1.1.	Etudes sur le terrain	31
III.1.2.	Observations macroscopiques	37
III.1.2.1.	Gneiss	37
III.1.2.2.	Leptynites	39
III.1.2.3.	Cipolins	40
III.1.2.4.	Quartzites	41
III.2.	PROCESSUS D'ELABORATION DE LA CARTE GEOLOGIQUE	42
III.2.1.	Carte des points d'affleurement	42
III.2.2.	Délimitation des principales roches en affleurement	43
III.2.3.	La nouvelle carte géologique	45
CHAPITRE IV :	INTERPRETATION DES RESULTATS	46
IV.1.	OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN	47

IV.2. INTERPRETATION STRUCTURALE	51
IV.2.1. Interprétation structurale des couches	52
IV.2.2. Interprétation structurale des diaclases.....	58
CONCLUSION.....	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	62
TABLE DES MATIERES	A

« CARACTERISATION STRUCTURALE DE LA ZONE DE VATOVORONA IHOSY »

Auteur : RAMAROSON Tantely Dina Ali Emma
Nombre de pages : 63
Nombre de figures : 44
Nombre de photos : 6
Nombre de tableaux : 12
Téléphone : 034 10 267 79
E-mail : aliramaroson@yahoo.fr



RESUME

L'élaboration d'une nouvelle carte géologique et structurale de la zone de Vatovorona Ihosy par une approche SIG ainsi que le traitement des données sur canevas de Wulf, ont fortement contribué à une meilleure compréhension de la géodynamique du site étudié.

C'est ainsi que l'analyse de la relation entre la disposition des différents corps géométriques et les déformations qui les ont affectées, a permis de les replacer dans un contexte géologique plus large lié à l'événement Néoprotérozoïque qui a mis en place des granitoïdes durant la fermeture de l'Océan Paléo-Mozambique lors de la fragmentation du supercontinent Rodinia.

Mots clés: Cartographie, canevas de Wulf, structures, gneiss, Vatovorona-Ihosy, Madagascar.

SUMMARY

The development of a new map geological and structural Vatovorona Ihosy area by a GIS approach and the processing of data on canvas of Wulf, have strongly contributed to a better understanding of the geodynamics of the study site.

As well as the analysis of the relationship between the provision of various geometrical and strains that were affected, to return them to a wider geological context linked to the Neoproterozoic event that has implemented granitoids during the closure of the Paléo-Mozambique Ocean in the fragmentation of the Rodinia supercontinent.

Keywords: Mapping, Wulf canvas, structures, gneiss, Vatovorona-Ihosy, Madagascar.