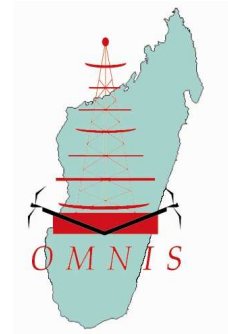


**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**  
**Ecole Supérieure Polytechnique**  
**d'Antananarivo**

**DEPARTEMENT : GEOLOGIE**



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur**  
**de l'E.S.P.A.**  
Spécialité : Géologie

**ESSAI D'INTERPRETATION DES ELEMENTS**  
**GITOLOGIQUES DE LA REGION AURIFERE**  
**D'ANDRIBA**



Présenté par :  
**RALAMBOSOA Hobiniaina**

**PROMOTION 2004**

**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**  
**Ecole Supérieure Polytechnique**  
**d'Antananarivo**

**DEPARTEMENT : GEOLOGIE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur**  
**De l'E.S.P.A.**  
Spécialité : Géologie

**ESSAI D'INTERPRETATION DES ELEMENTS**  
**GITOLOGIQUES DE LA REGION AURIFERE**  
**D'ANDRIBA**

Soutenu publiquement par RALAMBOSOA Hobiniaina

le 28 Mai 2005

Devant le jury composé de

Monsieur RASAMIZAFINDROSOA Dauphin	Président
Monsieur RAKOTOMANANA Dominique	Rapporteur
Madame RAHARIJAONA Léa	Examineur
Monsieur RAKOTOSON Augustin	Examineur

**Promotion 2004**

*« Fa hoy kosa Jehovah : Izaho hampandalo ny fahatsarako  
rehetra eo anatrehanao... »*

*Ekz . 33 :19a*

*Au Roi des rois*

*Pour son Amour. Les mots seraient insuffisants pour traduire et exprimer  
les sentiments que j'éprouve envers Lui.*

*A mes parents*

*Qui ont veillé sur moi. Que cette ouvrage soit la récompense de tous  
leurs sacrifices et le témoignage de toute ma gratitude et mon affection.*

*A mes frères et sœur*

*Pour leur soutien et encouragement.*

*A toute la famille*

*Pour leur gentillesse et leurs soutiens sincères, tous mes vœux de  
bonheur*

*A tous mes amis*

*En guise de reconnaissance pour leurs aides et encouragements*

# REMERCIEMENTS

Aux termes de ce travail, je tiens à exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué à son élaboration

Mes remerciements les plus sincères vont :

- à Dieu tout Puissant, de m'avoir donné une bonne santé, l'intelligence et conseils. Ses grâces me sont indispensables.

- à Monsieur le Professeur RANDRIANOELINA Benjamin, directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, pour avoir autorisé la soutenance de ce mémoire.

- au Docteur RASAMIZAFINDROSOA Dauphin, Maître de conférences e 3 département GEOLOGIE à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo de m'avoir conseillé, m'encouragé. Il a bien voulu présider le jury.

- à Monsieur RAKOTOSON Augustin, Directeur des Ressources Minières et des Minerais Radioactifs à l'O.M.N.I.S. pour avoir proposé le sujet de mémoire.

- au Docteur RAKOTOMANANA Dominique, et Enseignant vacataire de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et Chef de Volet Géologie-Géophysique au P.G.R.M, qui m'a proposé le sujet et qui n'a ménagé ni temps, ni effort pour me diriger, me conseiller et me transmettre ses compétences tout au long de ce travail.

- au Docteur RAHARIJAONA Léa Jacqueline, Docteur, Maître de conférences à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, pour avoir acceptée de participer au jury comme examinateur.

- À Monsieur RANDRIARIMANANA Achille, Géologue à la Direction des Ressources Minières et des Minerais Radioactifs à l'O.M.N.I.S. de m'avoir aidé et conseillé tout au long de ce travail

- à Tous les professeurs qui m'ont inculqué leurs connaissances et leurs savoir-faire durant ces cinq années d'étude à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.

# SOMMAIRE

## LISTE DES ABREVIATIONS

## LISTE DES TABLEUX

## LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION.....	1
PRÉSENTATION DE L'OMNIS .....	2
PARTIE I : GENERALITES ET RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES.....	5
CHAPITRE I : PRESENTATION SOMMAIRE DE LA GEOLOGIE DE MADAGASCAR .....	6
I.1. Généralités .....	6
I.2. Les différentes phases tectoniques de Madagascar.....	6
I.3. Le socle cristallin Malgache .....	7
I.4. Les événements tectoniques récents du socle cristallin.....	8
I.5. La structuration du socle cristallin de Madagascar.....	9
CHAPITRE II : GENERALITES SUR L'OR.....	11
II.1. Introduction.....	11
II.2. Les caractéristiques minérales de l'or.....	11
a. Propriétés physiques de l'or.....	11
b. Propriétés mécaniques de l'or.....	11
c. Propriétés chimiques de l'or.....	12
II.3. La métallogénie de l'or.....	13
a. Mécanisme de l'apparition de l'or .....	13
b. Dépôt et enrichissement de l'or .....	14
c. Classification métallogénique .....	16
II.4. Gîtologie de l'or.....	17
a. Les gisements primaires .....	17
a.1. Gîte minéral.....	17
a.2. Distribution sporadique .....	17
a.3. Possibilité d'épuisement.....	17
a.4. Substance minérale.....	17
i. Minerai métallique .....	17
ii. Gîte métallifère.....	18
b. Les gisements secondaires .....	18
b.1. Les paramètres de piégeage de l'or .....	18
i. Source et mobilisation : .....	18
ii. Transport de l'or : .....	18
iii. Transport de l'or en suspension .....	21
iv. Fixation de l'or en suspension.....	21
v. Transport de l'or particulière.....	22
vi. Fixation de l'or particulière.....	22
vii. Gisement détritique ou placer .....	22
c. Les différents types de gisements.....	23
c.1. Nomenclature de la gîtologie aurifère .....	23
i. Les gîtes primaires .....	24
ii. Les gîtes secondaires.....	24
d. Les gisements d'or à Madagascar .....	25
d.1. Les gîtes primaires .....	25
i. Les gîtes de l'Archéen.....	26
ii. Les gîtes primaires du Protérozoïque .....	26
iii. Les gîtes liés à la tectonique périméso-triasique (250 à 300Ma) .....	26
d.2. Les gîtes secondaires.....	26
i. Les gîtes éluvionnaires .....	26
ii. Les gîtes alluvionnaires.....	27
e. Les grands champs aurifères du monde .....	27

f. L'or à Madagascar .....	27
f.1. Introduction.....	27
f.2. Potentiel et production .....	28
f.3. Production nationale .....	28
f.4. Les principales régions aurifères de Madagascar.....	28
f.5. Marché de l'or à Madagascar.....	31
i. Marché local.....	31
ii. Exportation.....	31
<b>PARTIE II : . MINERALISATION EN OR DE LA REGION D'ANDRIBA .....</b>	<b>33</b>
<b>CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA REGION D'ANDRIBA .....</b>	<b>34</b>
<i>III.1. Localisation .....</i>	<i>34</i>
<i>III.2. Situation économique.....</i>	<i>41</i>
<i>III.3. Géologie de la région d'Andriba .....</i>	<i>41</i>
a. Les formations géologiques d'Andriba .....	41
b. Lithologie.....	41
<b>CHAPITRE IV : LES GRANDS TRAITS STRUCTURAUX DE LA RÉGION D'ANDRIBA .....</b>	<b>44</b>
<i>IV.1. Les structures discontinues .....</i>	<i>44</i>
<i>IV.2. Structures continues hétérogènes.....</i>	<i>45</i>
<i>IV.3. Structures continues homogènes.....</i>	<i>45</i>
<i>IV.4. Métamorphisme.....</i>	<i>45</i>
<i>IV.5. Minéralisation aurifère de la région d'Andriba .....</i>	<i>47</i>
a. Les gîtes primaires .....	47
b. Les gîtes secondaires.....	47
<i>IV.6. Présentation de la zone d'étude .....</i>	<i>47</i>
<b>CHAPITRE V : ETUDES STRUCTURALES .....</b>	<b>50</b>
<i>V.1. Introduction.....</i>	<i>50</i>
<i>V.2. Travaux antérieurs .....</i>	<i>50</i>
<i>V.3. Système d'Information Géographique ou SIG et la télédétection .....</i>	<i>52</i>
a. Le SIG.....	52
a.1. Définition .....	52
a.2. Objectif.....	52
b. Aperçu par la télédétection .....	52
b.1. Définition .....	52
b.2. Intérêts de son utilisation.....	52
<i>V.4. Buts de l'étude.....</i>	<i>53</i>
a. Les données utilisées.....	53
a.1. Les données satellitales .....	53
a.2. BD 500 .....	54
a.3. La carte géologique .....	54
b. Les outils informatiques utilisés .....	54
b.1. Le logiciel ADOBE PHOTOSHOP 7.0 .....	54
b.2. Le logiciel MAPINFO 6.0.....	57
<i>V.5. Les éléments tectoniques identifiés dans la région d' Andriba .....</i>	<i>59</i>
a. Déformation .....	59
b. Trajectoire de foliation.....	59
c. Linéament.....	60
d. Déformation plicative .....	60
d.1. La déformation plicative homogène .....	60
d.2. La déformation plicative hétérogène .....	61
e. Déformation cassante .....	65
e.1. Les cassures.....	66
e.2. Les failles .....	66
<i>V.6. Analyse et interprétation .....</i>	<i>75</i>
<i>V.7. Modélisation structurale .....</i>	<i>79</i>
<i>V.8. Modélisation tectonique .....</i>	<i>79</i>
<i>V.9. Modélisation structurale .....</i>	<i>83</i>



CHAPITRE VI : GITOLOGIE DE L'OR D'ANDRIBA.....	84
VI.1. <i>Historique</i> .....	84
VI.2. <i>Place économique de l'or d'Andriba</i> .....	84
VI.3. <i>Contrôle de minéralisation</i> .....	88
a. Contrôle lithologique .....	88
a.1. Les gneiss à deux micas et les micaschistes .....	88
a.2. Les quartzites à magnétite .....	89
a.3. Les gneiss à nodules de sillimanites .....	89
a.4. Les veines quartzeuses à sulfures et veines pegmatitiques.....	89
b. Contrôle tectonique.....	90
c. Caractères des gîtes d'or .....	93
c.1. Les gisements primaires .....	93
i. <i>Les roches encaissantes</i> .....	93
ii. <i>Les roches porteuses</i> .....	93
c.2. Caractères structuraux et tectoniques .....	95
c.3. Les gisements secondaires.....	98
VI.4. <i>Critère de distribution des indices d'or</i> .....	99
VI.5. <i>Proposition de modèle de mise en place de l'or</i> .....	101
a. Notion d'inclusion fluide .....	101
a.1. Définition .....	101
a.2. Catégories d'inclusion fluide.....	101
VI.6. <i>Modèle de mise en place de l'or d'Andriba</i> .....	102
VI.7. <i>Compréhension des indices secondaire de l'or :</i> .....	102
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>106</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>107</b>

# LISTE DES ABREVIATIONS

Ag	Argent
Ar	Ariary
Bi	Bismuth
BRGM	Bureau de Recherche Géologique et Minière
Cl	Clore
Dir Cab	Directeur du Cabinet
DGA	Directeur Général Adjoint
DAF	Direction Administratif et Financière
DAD	Direction d'Appui au Developpement
DEA	Direction de l'Energie Atomique
DH	Direction des Hydrocarbures
DRM	Direction des Ressources Minières et des minerais radioactifs
Fe	Fer
GA	Giga Année
g	Gramme
g/m <sup>3</sup>	Gramme par mètre au cube
H	Hydrogène
INSTAT	Institut National de la Statistique
Kg/Cm <sup>2</sup>	Kilogramme par Centimètre carré
Km	Kilomètre
Km <sup>2</sup>	Kilometre carré
LANDSAT ETM	Landscap Satellite Enchanced Thematic Mapper
m	metre
mm	Millimètre
MA	Million d'Année
MEM	Ministère de l'Energie et des Mines
NE	Nord Est
NNE	Nord Nord Est
NO	Nord Ouest
OMNIS	Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques
O	oxygène
Pb	Plomb
PGRM	Programme de Gouvernance des Ressources Minérales
RIP	Route d'Intérêt Provinciale

RNC	Route Non Classée
SQD	Schisto Quartzo Dolomitique
SQC	Série Schisto Quartzo Calcaire
N	Sodium
S	Soufre
SE	Sud Est
SO	Sud Ouest
SSE	Sud Sud Est
Te	Tellure
Sb	Antimoine
Cm	Centimètre
DG	Directeur Général
g/t	Gramme par tonne
K	Potassium

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1 : les différents matériaux de l'or .....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau 2 : Classification métallogénique .....</b>	<b>16</b>
<b>Tableau 3 : Statistique de production d'or de 1999 à 2003 .....</b>	<b>28</b>
<b>Tableau 4 : Coordonnées géographique des polygones .....</b>	<b>49</b>
<b>Tableau 5 : Classification des linéaments .....</b>	<b>69</b>
<b>Tableau 6 : Importance de l'or dans la vie communautaire de la région .....</b>	<b>85</b>

# LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Assemblage continentale gondwanéen à la fin du Protérozoïque .....	7
Figure 2 : Unité tectono-métamorphique du Précambrien de Madagascar (Collins, 2002) .....	10
Figure 3 : Croquis d'un environnement du placer continental .....	23
Figure 4 : Les principales régions aurifères de Madagascar .....	30
Figure 5: Carte de localisation géographique de la zone d'étude .....	35
Figure 6: Carte topographique .....	36
Figure 7: Carte des réseaux hydrographiques .....	38
Figure 8: Carte d'occupation du sol .....	39
Figure 9: Carte administrative de la région .....	40
Figure 10: Carte lithologique .....	43
Figure 11: Zonation métamorphique du socle cristallin Malgache d'après Hottin et al, 1996 (Windley 1994) .....	46
Figure 12: Carte représentant les polygones .....	48
Figure 13 : Carte tectonique de Madagascar (Collins et al, 2000) .....	51
Figure 14: Composition colorée 321 .....	56
Figure 15: Composition colorée 754 .....	56
Figure 16: Carte de la trajectoire de la foliation .....	62
Figure 17: mise en évidence des structures en dômes et bassins .....	64
Figure 18: mise en évidence d'une structure de boudinage .....	65
Figure 19: faille normale .....	66
Figure 20: faille inverse .....	66
Figure 21: décrochement dextre .....	67
Figure 22: décrochement senestre .....	67
Figure 23: Carte représentant les linéaments de la région d'Andriba .....	68
Figure 24: Extensions cumulées des linéaments .....	70
Figure 25: Direction générale des failles dextres .....	71
Figure 26: Extension cumulée des failles dextres .....	72
Figure 27: Direction générale des failles senestres .....	73
Figure 28: Extension cumulée des failles senestres .....	74
Figure 29: Direction générale des cassures .....	75
Figure 30: Foliation et déformation cassante .....	77
Figure 31: Carte des domaines d'homogénéité structurale .....	78
Figure 32 : carte qui met en évidence les déformations des structures .....	80
Figure 33: Lithologie et déformation cassante .....	81
Figure 34: failles .....	82
Figure 35: Carte des indices d'or .....	87
Figure 36: Exemple de shear zone d'extension .....	90
Figure 37: Tectonique cassante et or .....	92
Figure 38: Plissement des lits sombres et clairs traversés par une microfaille .....	96
Figure 39: Quartzite à sillimanite .....	97
Figure 40: Gneiss à Biotite (en cours de chloritisation) .....	97
Figure 41: Carte des éléments tectoniques, lithologique, foliation et indice d'or ...	100
Figure 42 : Carte des indices d'or alluvionnaires, courbes de niveaux et lithologie .....	103
Figure 43 : Carte de délimitation des versants d'alimentation .....	105

# INTRODUCTION

L'étude structurale est un des outils qui mettent en évidence la relation entre les éléments structuraux et les minéralisations. Elle peut être utilisée comme guide de prospection et de travaux d'exploitation.

A Madagascar, la première découverte de l'or aurait été faite par Jean Laborde en 1845. C'est en 1883 que les premières exploitations furent autorisées. Les régions de Maevatanana font alors parties des plus grands centres de production d'or.

Andriba est une région où on trouve de nombreux gisements d'or. Des doutes se posent sur la relation entre cette minéralisation aurifère et la structure de la région. Le présent mémoire qui s'intitule « **essai d'interprétation des éléments géologiques de la région aurifère d'Andriba** » a pour objectif de modéliser la ou les relations qui existe entre eux, à partir de l'image satellitale et les résultats des analyses antérieurs.

Les objectifs de ce travail sont:

- Appliquer la télédétection et le système d'information géographique pour le traitement des données existantes,
- Apporter des aides pour la compréhension de la structure régionale
- Donner des renseignements géologiques pour l'exploitation ultérieure de la zone d'étude,

Pour atteindre ces objectifs, on divise le travail en deux parties :

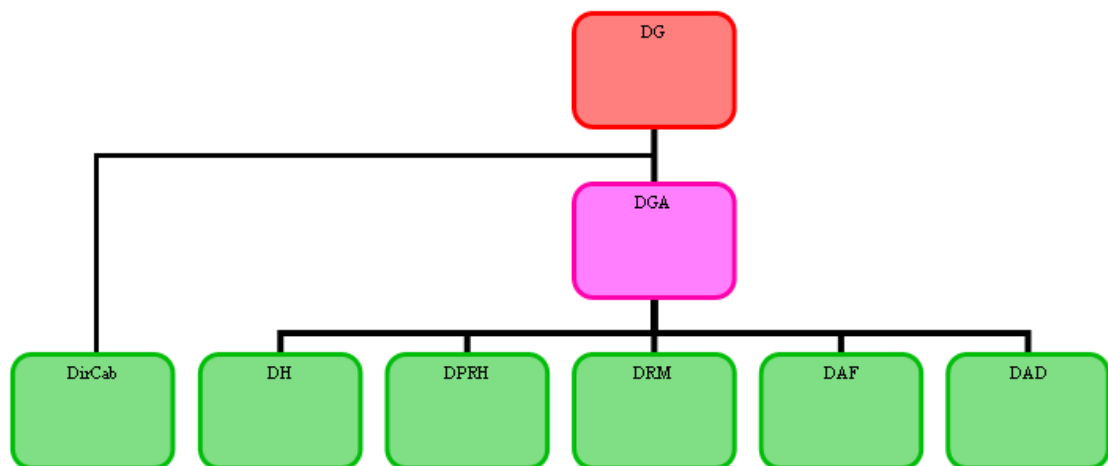
- La première décrit les aspects généraux sur la géologie de Madagascar et sur l'or, et une synthèse bibliographiques.
- La deuxième concerne la minéralisation aurifère dans la région d'Andriba.

## Présentation de l'OMNIS

Le présent sujet a été proposé par l'Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques (OMNIS) et a pour objectif global de caractériser sur le plan géologique les indices et gîtes d'or de la région d'Andriba. Cette société d'Etat a été créée en 1976. Elle a pour missions :

- Valoriser les ressources minières et énergétiques,
- Explorer et exploiter les hydrocarbures,
- Contrôler et assister les sociétés placées sous sa tutelle.

Son organigramme est le suivant :



L'OMNIS dispose de deux directions techniques qui sont :

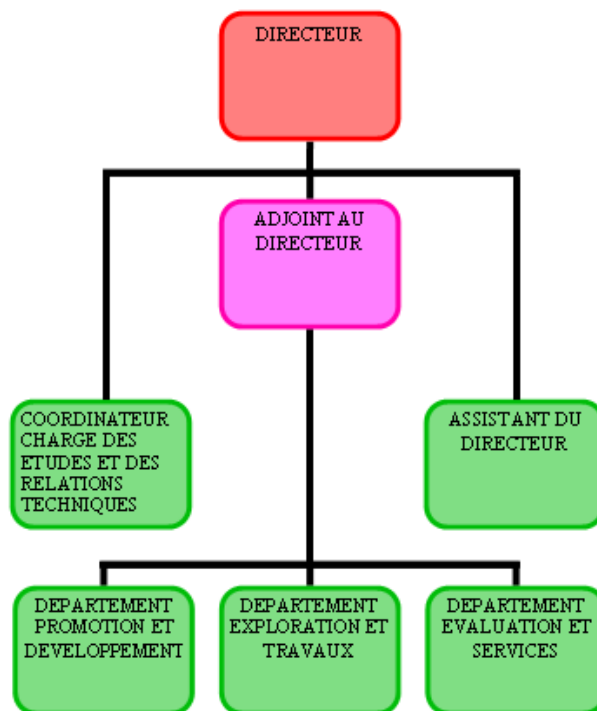
- La Direction des hydrocarbures (D.H)
- La Direction des ressources minières et des minerais radioactifs (DRM) où on fait quelques travaux de documentations pour l'élaboration de ce mémoire.

- La Direction des Hydrocarbures (DH)

Elle est chargée d'entreprendre la recherche, l'exploration et la promotion des matières premières énergétiques dans le domaine des hydrocarbures.

- La Direction des Ressources Minières et des Minerais Radioactifs (DRM)

Elle est auparavant appelée Direction de l'Energie Atomique (DEA). Cette Direction intervient dans la recherche et la mise en valeur des ressources minières, minerais radioactifs et minérales. Elle occupe également le développement économique en général. Son organigramme est le suivant :



Grâce à la collaboration avec cette Direction, on peut traiter ce sujet de mémoire, sous l'encadrement du Département Promotion et Développement.

La DRM a pour mission :

- L'élaboration et l'exécution des programmes de recherches dans le domaine du développement économique en générale et de la prospection minière en particulier ;
- La mise en valeur des substances minières et minérales d'intérêt économique ;
- Le service envers le public et les opérateurs économiques pour le développement du pays.

Comme ses activités se basent sur les recherches et le développement, la DRM travaille en collaboration avec des organismes nationaux et internationaux. Grâce à des expériences et des compétences professionnelles, la DRM est une branche très active, elle intervient dans tout Madagascar et dans la région de l'Océan Indien.

#### Attributions et activités des différents départements de la DRM :

- Le Département promotion et développement s'occupe :
- De la conception et élaboration des programmes ;
- Des recherches méthodologiques ;



- De l'évaluation et suivi des travaux ;
- Du traitement et analyse des données ;
- De la conception et élaboration des dossiers interprétatifs.

Le Département Exploration et Travaux quant à lui a pour activités principales :

- La réalisation des programmes sur terrains ;
- La prospection directe ;
- La géophysique ;
- La géochimie ;
- Le génie minier ;
- La topographie ;
- Les cartographies diverses ;
- La géotechnie.

Le Département études et services s'occupe de :

- L'évaluation et analyse de viabilité financière et économique des projets,
- L'étude des environnements juridique et fiscal des projets.

.

# **PARTIE I : GENERALITES ET RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES**

# **CHAPITRE I : PRESENTATION SOMMAIRE DE LA GEOLOGIE DE MADAGASCAR**

## **I.1.Généralités**

L'histoire géologique de Madagascar est liée à la dislocation du supercontinent Rodina, à la construction puis à l'éclatement du Gondwana. Ces différents événements étaient responsables de la structuration majeure de l'Ile de Madagascar et surtout de son socle cristallin. Ces événements ont également contrôlé et présidé la mise en place de diverses structures de minéralisation.

Madagascar est constitué de deux entités géologiques :

- La première, la plus vieille, présente un ensemble cristallin polystructuré et est appelé « le socle cristallin Précambrien de Madagascar ». Les événements orogéniques et tectono-métamorphiques successifs qui l'ont affecté lui donnent cet aspect polystructuré. Elle affleure sur les deux tiers orientaux de l'Ile.
- La deuxième, plus jeune, dénommée « la couverture Phanérozoïque de Madagascar » est essentiellement de nature sédimentaire. Elle est non métamorphisée, très peu déformée et est constituée par des sédiments de diverses natures du Paléozoïque à l'Actuel.

## **I.2.Les différentes phases tectoniques de Madagascar**

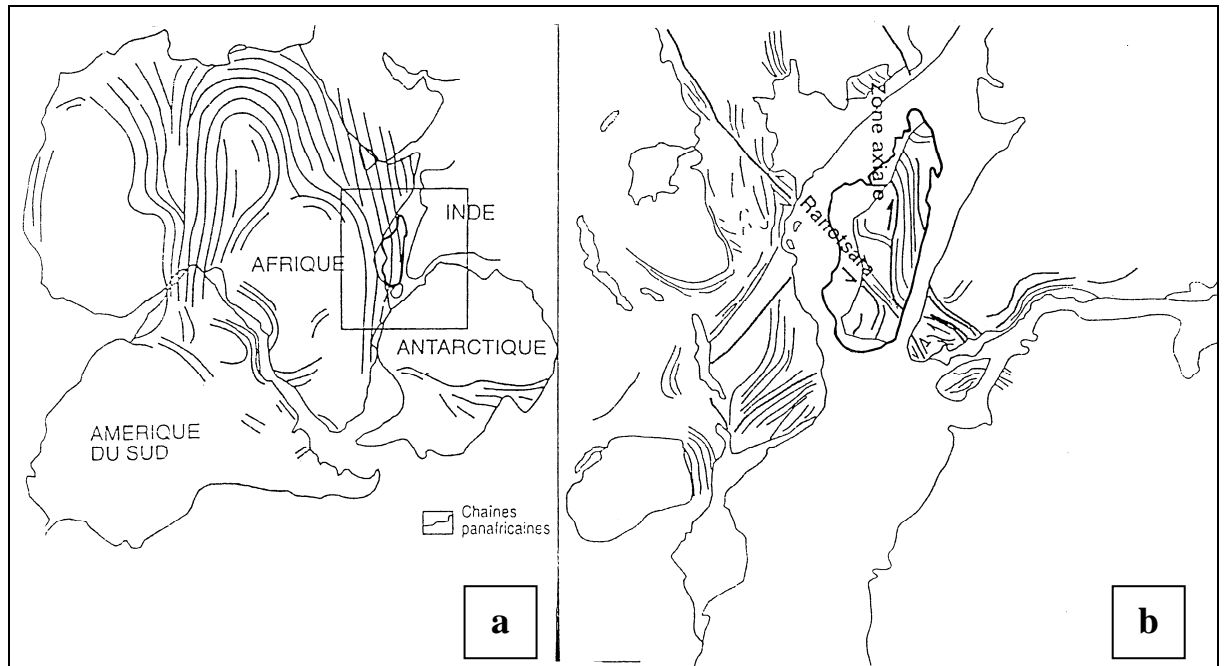
Les diverses étapes de la fragmentation de Gondwana et la dérive de ces morceaux ont abouti à la configuration actuelle de Madagascar. La séparation de l'Afrique de Madagascar s'était faite en trois phases, et a laissé des marques autant dans la partie sédimentaire que dans le socle cristallin :

- La phase permo-triasique : elle est caractérisée par l'extension progressive des failles et le développement du cycle sédimentaire Karroo :
- La phase du rift Toarcien : elle est marquée par la faille majeure de Bemaraha-Ilovo,
- La phase de la marge passive, elle affecte surtout la partie sédimentaire.

### I.3. Le socle cristallin Malgache

Le socle cristallin Précambrien malgache contient trois zones de cisaillement majeures (Collins - Windley 2002) :

Bongolava – Ranotsara,  
 Maevatanana – Manambondro,  
 Ampasindava – Brickcaville



300Km

a: Schéma d'ensemble (Toens et Andrew-Speed), modifié

b: Madagascar et ses régions voisines

**Figure 1 : Assemblage continental gondwanéen à la fin du Protérozoïque**

Ces zones sembleraient se poursuivre en Inde et en Afrique où leurs continuités sont décrites. Le socle cristallin est très faillé. L'existence de rejeux de ces failles rend la détermination des âges des accidents tectoniques difficiles. Le socle cristallin est plus délicat de définition et a toujours été sujet à controverses.

La première synthèse lithostratigraphique du socle cristallin a été proposée par Bésairie en 1948 et cet auteur l'a révisée par deux fois en 1964 et en 1973. Les controverses qui en découlaient ont justifié. D'importants travaux de datation, de 1972 à 1974 réalisés par Vachette (1971-1974) sur la base des quels Hottin (1976) a proposé la distribution zonéographique des âges des formations cristallines de Madagascar. Cette distribution fait ressortir que :

-Le Sud de Madagascar (au Sud de la faille cheveau – décrochante de Ranotsara – Rolin, 1991) est constituée d'une seule unité, d'âge compris entre 2,6 et 2 GA (sauf le granite de Behara). On peut le classer alors parmi les roches d'âge Protérozoïque Inférieur qui n'ont plus été retrouvées nulle part ailleurs dans le socle cristallin,

-L'extrême Nord du socle cristallin (formation d'Ambohipato, de Daraina et de Milanoa) ont des âges comprises entre 2000 et 1000 MA ainsi que les formations du groupe d'Amborompotsy et celle de la série schiste – Quartzite – calcaire (SQC). Ces entités appartiennent alors au Protérozoïque Moyen,

Sur trois régions de la côte Est (les formations granitiques d'Antongil ; les formations leptynitiques et plagioclasiques de la Masora, le granite de Behara) ont été retrouvées les formations dont les âges sont supérieurs à 3 GA ; donc du Catarchéen. Le plus vieil âge à Madagascar (3450 MA) a été retrouvé dans ces formations dans les environs de Rantabe,

Le reste du socle cristallin de Madagascar est constitué par des terrains de l'Archéen où les âges sont compris entre 3 GA et 2,6 GA.

#### **I.4. Les événements tectoniques récents du socle cristallin**

Des résultats de recherches effectuées par différents personnages permettent de reconnaître que le socle cristallin de Madagascar contient les traits tectoniques suivants :

-Une zone majeure de cisaillement méridienne (Angavo), où on a une verticalisation généralisée de la foliation et où les domaines de haute intensité de déformation correspondent aux granites alcalins,

-La structure cheveau – décrochante de Ranotsara (Rolin, 1991), qui serait une structure d'accommodation d'un poinçonnage de craton jeune et malléable africain par le Craton froid et rigide de Darwhar (Régnault, 1991) ;

-La zone de cisaillement Betsileo qui affecte le bloc d'Antananarivo et est marquée par le charriage de la nappe d'Itremo (Collins, 2000) ;

-Les zones de cisaillement de Sud : Vohibory, Ampanihy et Tranomaro (Martelat, 2000) ;

-La suture Betsimisaraka qui limite à l'Est le craton de l'Archéen Inférieur de Darwhar.

## **I.5. La structuration du socle cristallin de Madagascar**

Le socle cristallin de Madagascar a été l'objet de plusieurs événements déformant successifs qui ont tous laissé leurs empreintes. Sa structuration actuelle résulte alors de la juxtaposition de ces événements. Actuellement, d'après Collins (2002), Madagascar est formé de neuf unités :

- Bloc d'Antongil
- Bloc d'Antananarivo
- Nappe de Bemarivo
- Suture Betsimisaraka
- Bloc d'Ikalamavony-Amborompotsy
- Nappe d'Itremo
- Bloc de Taolagnaro - Ampanihy
- Nappe de Tsaratanana
- Nappe de Vohibory

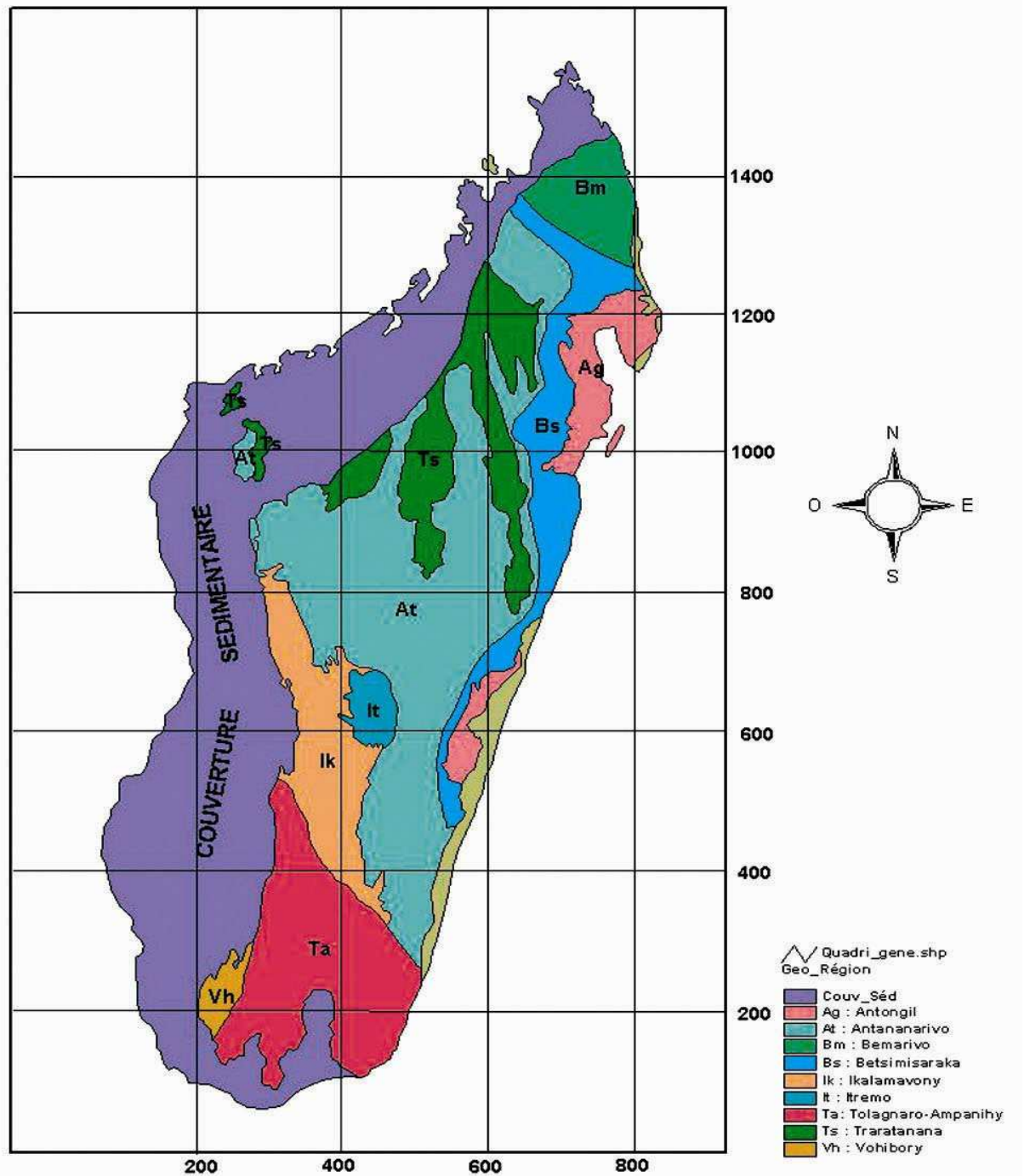


Figure 2 : Unité tectono-métamorphique du Précambrien de Madagascar (Collins, 2002)

## **CHAPITRE II : GENERALITES SUR L'OR**

### **II.1.Introduction**

Depuis les temps les plus anciens, l'or a été considéré comme le métal précieux et noble par excellence. Toutefois, les pays utilisent, pour leur trésorerie la grande partie de leur or comme étalon monétaire afin de garantir les transactions financières internationales. Dans ce cas, l'or titre 24 carat (or pur).

L'or est alors en alliage avec d'autres métaux tels que le cuivre, le platine, l'argent et est utilisé dans les arts décoratifs, en bijouterie, en joaillerie, en orfèvrerie et aussi en horlogerie. Par exemple, l'alliage de l'or avec le platine est utilisé en dentisterie. D'autres alliages sont utilisées pour la conception des filières pour la fabrication des fibres synthétiques servant à la fabrication de divers types d'instruments et équipements des laboratoires scientifiques.

### **II.2.Les caractéristiques minérales de l'or**

#### **a.Propriétés physiques de l'or**

L'or est un métal jaune vif, dont le reflet est variable selon les teneurs des impuretés ; de trace jaune métallique. Il cristallise dans le système cubique, mais se présente sous diverses morphologies :

- Cristaux isolés rares cubiques, cubo – octaédriques et octaédriques ;
- Le plus souvent sous forme de lamelles ou de paillettes millimétriques, de pépites centimétriques.

L'or a un très fort pouvoir réflecteur (73 à 85 %) d'où un vif métallique qui ne ternis pas.

L'or pur a une densité de 19,3, de dureté 2,5 à 3, sa température de fusion est de 1064 °C. Il peut se souder à lui-même.

Il est un bon conducteur de la chaleur et de l'électricité.

#### **b.Propriétés mécaniques de l'or**

L'or est le plus ductile et le plus malléable de tous les métaux ; on peut le réduire en feuille de 1/12500 de mm d'épaisseur ; on peut fournir un fil de 2 Km de longueur avec 1g d'or.

La malléabilité et la ductilité diminuent quand l'or contient des impuretés, en particulier le plomb et l'arsenic. Seul l'argent et le cuivre peuvent être alliés à l'or sans pour autant diminuer ni sa malléabilité ni sa ductilité.



### **c. Propriétés chimiques de l'or**

L'atome d'or dont le symbole chimique est « Au » comporte 79 éléments et sa charge est de 197. Cependant, il y a 19 isotopes qui sont obtenues par transmutation naturelle ou artificielle par suite de bombardements nucléaires du mercure par des neutrons.

Dans les roches ignées, la teneur moyenne de l'or est de 0,05 g/t.

L'or est généralement allié à d'autres métaux tels que l'argent, le cuivre, le cobalt, le chrome, l'étain, le mercure, le molybdène, l'uranium et plus rarement au bismuth, au platine, au palladium et au rhodium.

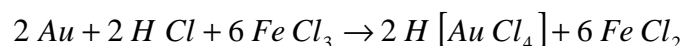
Le titrage de l'or s'exprime en carat qui est le poids d'or pur dans un mélange de 24 gramme : 24 carats pour 100 % d'or ; 18 carats pour 75 % d'or et 25 % d'autres métaux.

L'or est un élément sidérophile.

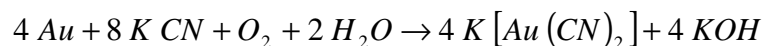
L'or natif et beaucoup d'alliages en or ne sont pas magnétiques : l'alliage d'or avec le manganèse est magnétique, et les alliages d'or avec le Nickel, ou Cobalt sont ferromagnétiques.

L'or est aussi le métal le moins électropositif, peu réactif : il ne réagit pas avec l'oxygène atmosphérique lorsqu'il est chauffé, ni avec la plupart des solvants. Il se dissout cependant dans :

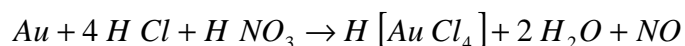
-les mélanges de chlorures, de bromures et de certains iodures :



-certains mélanges oxydants, dans les cyanures alcalins



-l'eau régale



L'or existe sous quatre degrés d'oxydation : +I, +II, +III et +V ; le deuxième et le dernier étant plus rares. En solution aqueuse, l'or forme facilement des ions complexes dans lesquels il a un degré d'oxydation +III

L'or a une grande stabilité et résiste bien à la corrosion.

Le tableau ci-après présente les principales combinaisons de l'or avec d'autres éléments chimiques formant divers minéraux aurifères :

**Tableau 1 : les différents matériaux de l'or**

<i>Nom</i>	<i>Formule</i>	<i>Système cristallin</i>	<i>Dureté</i>	<i>Densité</i>	<i>% Au</i>	<i>Couleur</i>	<i>Observation</i>
Or	Au	Cubique	2,5 à 3	19,3	100	Jaune	
Electrum	Au Ag	Cubique	2,5 à 3	12,5 à 15,5	55 à 80	Jaune pâle	Variant suivant la teneur en Ag
Maldonite	Au <sub>2</sub> Bi	Cubique	1,5 à 2	15,46	65	Blanc argent	Très rare
Calavérite	(Au, Ag)Te <sub>2</sub>	Triclinique	2,5	9 à 9,5	39,5	Jaune bronze	
Krennite	(Au, Ag)Te <sub>2</sub>	Ortho-rhombique	2,5	8,35		Blanc jaunâtre	
Sylvanite	(Au, Ag)Te <sub>4</sub>	Triclinique	1,5 à 2,5	7,9 à 8,3	24,5	Gris acier	
Petzite	(Au, Ag) <sub>2</sub> Te	Ortho-rhombique	2,5 à 3	8,7 à 9	18 à 25	Gris à noir	
Magagite	Au <sub>2</sub> Pb <sub>14</sub> Sb <sub>3</sub> Te <sub>7</sub> S <sub>17</sub>	Ortho-rhombique					

## II.3. La métallogénie de l'or

Les gisements filoniens de quartz aurifère sont répandus dans la plupart des formations de roches vertes et de granitoïdes archéens et comprennent presque vingt pour cent de la production cumulative d'or du monde (Roberts, 1987). Plus de la moitié des filons d'or dans le monde s'est formée dans la croûte archéenne ou vient de la croûte archéenne qui est principalement composée de roches vertes et de terrains de métamorphisme élevé. Les premières sont tellement riches que souvent, nous les associons directement au gisement d'or.

### a. Mécanisme de l'apparition de l'or

Le magma est un bain silicaté, épais et visqueux à haute température (au moins 600 °C), donne des roches par cristallisation fractionnée. Il résulte de la fusion d'une des composantes de la terre. On distingue le magma primaire qui est la fusion du manteau du magma crustal qui est la fusion de la croûte. Au cours de son évolution, le magma se différencie. On peut distinguer les étapes suivantes :

- Cristallisation des minéraux constitutifs des roches,
- Séparation du liquide magmatique résiduel (formation des pegmatites),
- Liquéfaction des vapeurs d'eau et des composants volatiles et formation des solutions aqueuses chaudes (formation des gisements hydrothermaux et pneumatolytiques)

Avant, beaucoup d'attention a été axée vers la minéralisation aurifère liée aux roches vertes archéennes dont les teneurs élevées en or et les conditions de métamorphisme de basse température favorisent la formation des gisements d'or (Condie, 1981 ; Anhaeusser, 1976)

A une condition de température plus élevée, l'or pourrait être dissout et disséminé dans les roches. Le métamorphisme de faciès granulite était une cause destructive pour la formation des gisements d'or. Ainsi, le gisement d'or dans les roches vertes était supposé être du type « mésothermal ».

Il y a quelques années, un nombre de gisement aurifère a été découvert et exploré dans les terrains à intensité élevée de métamorphisme qui pousse à réviser le concept sur la minéralisation aurifère.

Groves et al. (1990, 1991, 1992) ont déjà noté un vaste domaine de conditions de pression et de température pour la formation des gisements d'or et ont insisté que le gisement d'or pourrait être formé continuellement sous des conditions allant du faciès schiste vert au faciès granulite.

L'interaction des fluides provenant des éponges est le principal facteur contrôlant la déposition de l'or. Gan. et al. (1992 a, b) remarquèrent que la température n'est pas le facteur le plus important contrôlant la déposition de l'or à partir du fluide thermal. Le métamorphisme de faciès granulite n'est pas un agent destructif pour la formation des gisements d'or.

Durant un certain temps, les températures de formation des gisements d'or étaient principalement déterminées par des recherches au moyen des inclusions fluides.

### **b.Dépôt et enrichissement de l'or**

L'or accompagne les fluides hydrothermaux et se décante pour former des gisements dans un site favorable. C'est un processus géologique contrôlé par une série de facteurs physico – chimiques comprenant la température, la pression, la composition chimique, la densité, le PH, le Eh, le fluide, la lithologie et la structure des roches hôtes. Tout changement de l'un de ces facteurs peut détruire l'équilibre du système thermodynamique et entraîne la décantation de l'or.

Généralement, l'or est facile à redissoudre et migre à des températures élevées, tandis qu'à basse température, il se dépose et enrichit facilement le fluide. Quand la température est supérieure à 400 °C, l'or est très mobile. Quand la température est inférieure à 400 °C, l'or commence à se déposer. Ainsi, les filons de quartz porteurs d'or dans la plupart des gisements, se sont formés dans un intervalle de température entre 200 °C et 480 °C. Mais le changement de la

température seule ne peut pas entraîner la déposition d'un grand volume d'or à partir des fluides. Un grand nombre d'expériences et de recherches géologiques (Barnicoat, et al ; 1991 ; Groves et al; 1990, 1991, 1991 ; Chi and Lu, 1991 ; Bowers, 1991) ont démontré que, sous les conditions de températures élevées de la croûte inférieure, l'interaction entre les roches encaissantes et les fluides hydrothermaux est le facteur majeur causant la déposition de l'or.

Selon l'expérience de Bowers (1991), l'immiscibilité des fluides peut promouvoir la déposition de l'or et des autres métaux dans de variables conditions.

Groves et al ; (1991) et Barnicoart (1991) ont constaté que les gisements d'or pourraient être formés à une profondeur supérieur à 25 Km et à 700 °C. Par conséquent, le concept disant que le gisement d'or ne peut pas se former à des températures élevées serait à revoir.

### c. Classification métallogénique

Le tableau suivant montre la classification métallogénique de Raguin (1958).

Elle comporte cinq degrés dans le domaine hydrothermal – pneumatolytique :

- Gisement téléthermal
- Gisement épithermal
- Gisement mésothermal
- Gisement catathermal
- Gisement pneumatolytique

Les premiers fondements de « la classification en profondeur » de Lindgren (1906), les apports de Craton et Niggli permettent à Raguin d'établir cette classification :

**Tableau 2 : Classification métallogénique**

CLASSIFICATION METALLOGENIQUE (Raguin, 1958)	Designation des paragenèses Pneumatolytique-hydrothermales ( Shneiderholm, 1949 )			
		Température (°C)	Profondeur (m)	Pression (Kg / Cm2)
Types hydrothermaux	Hydrothermal			
	Téléthermal	90	0-300	70
100°C-épithermaux	Epithermal	90-200	300-1300	70-150
200°C-mésothermaux	Mésothermal	200-300	1000-4000	150-1000
410°C-hypothermaux	Catathermal	300-700	1000-10.000	1000-2500
<u>Type ignés</u> >600 -pneumatolytique et pegmatitique Inclusion, ségrégation, pyrométasomatique <u>Types sédimentaires</u> - détritique, chimique, organique <u>Type dus aux eaux d'infiltration</u> <u>non thermale</u> - gîtes de cimentation	Pneumatolytique-pegmatitique	370-500 500	1000-10.000 1000-10.000	1000-10.000 1000-10.000

## **II.4. Gîtologie de l'or**

### **a. Les gisements primaires**

#### ***a.1. Gîte minéral***

Un gîte minéral ou gisement est une masse de substance minérale susceptible d'être exploitée. Le mot « gîte » est plus souvent réservé à des masses minérales comportant un ou plusieurs métaux susceptibles d'une exploitation (gîte métallifère).

#### ***a.2. Distribution sporadique***

Les gîtes minéraux résultent des phénomènes géologiques normaux, mais dans des conditions exceptionnelles. Seules quelques conditions géologiques favorisent la formation de ces gîtes. Les régions favorisées ne sont pas du tout également réparties sur toute la terre. C'est ainsi par exemple le champ aurifère de Rand en Afrique du Sud qui fournit la moitié de la production annuelle d'or mondial, à partir d'une surface de 75 Km x 30 km.

#### ***a.3. Possibilité d'épuisement***

Les gîtes minéraux ont une extension limitée. Une fois que les matériaux qui ont de la valeur ont été extraits par des travaux miniers, il ne reste que des trous dans le sol. C'est la destinée de toutes les mines.

#### ***a.4. Substance minérale***

La substance minérale se définit comme une formation minérale naturelle du globe terrestre, possédant en principe une composition chimique assez bien définie. On distingue trois groupes de substances minérales :

- Substances métalliques,
- Substances non métalliques,
- Les combustibles minéraux.

#### **i. Minerai métallique**

C'est tout minéral, ou toute association minérale susceptible d'être exploitée pour l'obtention d'un ou de plusieurs métaux,

## **ii. Gîte métallifère**

Le gîte métallifère est une masse de minerai métallique, contenant un ou plusieurs métaux susceptibles d'être exploités.

## **b. Les gisements secondaires**

L'altération des gîtes primaires et la reconcentration de l'or par les eaux de surface donnent les gîtes secondaires. Plus précisément, la désagrégation des roches et des bancs aurifères produit l'enrichissement secondaire en or.

### ***b.1. Les paramètres de piégeage de l'or***

#### **i. Source et mobilisation :**

L'or détritique et / ou l'or précipité des solutions aurifères sont les sources des gîtes secondaires. Il peut y avoir une phase de nourrissage secondaire.

L'or se présente sous forme de paillettes non déformées lorsqu'il est transporté sur une faible distance. Cette forme peut être changée ou cachée lors d'un transport sur de longue distance. Ce changement peut s'accompagner ou non de changement d'état :

- du minéral hôte : par exemple, le cuivre peut être sous forme de chalcopryrite  $\{(Cu, Fe) S_2\}$  au sein des roches ultrabasiques. Après l'attaque hydrothermale de la roche porteuse, le cuivre peut se présenter sous forme de cubanite  $\{(Cu, Fe) S_3\}$ ,

- des caractères atomistiques de l'élément : par exemple le fer ferreux (valence 2) peut être libéré et se présente sous forme fer ferrique (valence 3) par suite de l'altération des silicates qui le constitue.

Les métaux natifs, les alliages naturels nous montrent qu'il y a des éléments chimiques (constituants des minéraux) qui se mobilisent sans qu'il y ait eu changement du minéral.

#### **ii. Transport de l'or :**

L'or peut être transporté soit par des fluides circulant à l'intérieur des massifs rocheux soit par l'eau de ruissellement et d'infiltration lors des actions altérants supergènes. L'efficacité du transport dépend à la fois de la taille des grains d'or, du caractère physico-chimique des agents de transport et les conditions de l'environnement (géomorphologie, variation de température, PH, pression, Eh,...). L'or est toujours transporté sous forme de complexe soluble. Notons que

c'est le cas où le transport de l'or est plus performant comparativement au transport colloïdal et en solution particulaire.

Etat de l'or en solution	Taille (μ m)
Ordinaire ou vraie	$< 2 \cdot 10^{-3}$
Colloïdal	$> 2 \cdot 10^{-3}$ et $< 0,2$
Particulaire	$> 0,2$

#### Solubilité de l'or :

La solubilité de l'or dépend de la nature du milieu :

En milieu acide, et en présence du  $\text{Cl}^-$  en forte concentration avec un oxydant très puissant ( $\text{MnO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$ ), la dissolution de l'or donne un chlorure d'or ( $\text{AuCl}_4^-$ ). Les ions  $\text{H}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  ne sont pas des oxydants assez forts pour déclencher une telle dissolution de l'or à la température ambiante.

En milieu alcalin, la dissolution de l'or se réalise uniquement en présence des sulfures. La réaction entre la solution  $\text{HS}^-$  et l'or métallique est donc favorisée (à la température ambiante) :



Ces complexes formés se caractérisent par leur forte stabilité.

La solubilité de l'or croît avec la température et se calcule en fonction des données thermodynamiques (potentiels standard d'électrode, potentiel d'énergie libre de formation). On peut alors calculer la quantité d'or mise en solution à partir de la constante d'équilibre de la réaction d'oxydo - réduction.

La table ci après nous montre les réactions et les potentiels standard d'électrode respectifs.



Potentiers standards d'électrodes à 25 °C (en Volt) = Pe

(Extrait de Latimer, 1938 in Krauskoff en Konrad 1951)

En solution acide Pe (V)

(1)	$H_2 \rightleftharpoons 2H^+ + 2e^-$	0.0000
(2)	$H_2SO_2 + H_2O \rightleftharpoons SO_4^- + 4H^+ + 2e^-$	-0.20
(3)	$CuCl_2 \rightleftharpoons Cu^{2+} + 2Cl^- + e^-$	0.5
(4)	$Fe^{2+} \rightleftharpoons Fe^{3+} + e^-$	-0.771
(5)	$Au + Cl^- \rightleftharpoons AuCl^4 - 3e^-$	-1.00
(6)	$2H_2O \rightleftharpoons O_2 + 4H^+ + 4e^-$	-1.229
(7)	$Mn^{2+} + 2H_2O \rightleftharpoons MnO_2 + 4H^+ + 4e^-$	-1.28
(8)	$Cl^- \rightleftharpoons \frac{1}{2} Cl_2 + e^-$	-1.358
(9)	$Au \rightleftharpoons Au^{3+} + 3e^-$	-1.42
(10)	$Au \rightleftharpoons Au^{3+} + e^-$	-1.68

En solution alcaline

(11)	$OH^- + FO(OH)_2 \rightleftharpoons FO(OH)_3 + e^-$	+0.56
(12)	$OH^- + Mn(OH)_2 \rightleftharpoons Mn(OH)_3 + e^-$	+0.40
(13)	$H_2O + 2OH^- + CuO \rightleftharpoons 2Cu(OH)_2 + 2e^-$	+0.09
(14)	$4OH^- \rightleftharpoons 2H_2O + 4e^-$	-0.401
(15)	$Au + 4OH^- \rightleftharpoons AuO_2^- + 2H_2O + 3e^-$	-0.5

Ces potentiels ont été mesurés sur des solutions à une température de 25 °C et à une concentration de 1 mole / l.

A partir de cette table, on peut calculer rapidement la quantité d'or mise en solution. Les potentiels d'oxydation croissent vers le bas. En cas de réaction en cours par un couple d'oxydo réduction, des réactions simultanées d'un couple à potentiel d'oxydation plus faible (situé plus haut sur la table) peuvent avoir lieu tandis qu'aucune réaction due à un couple à plus fort potentiel d'oxydation (situé plus bas de la table) ne peut avoir lieu ou au plus cette réaction est très réduite. Ainsi, la dissolution de l'or dans les acides usuels n'est pas possible parce que le couple  $H_2, H^+$  est au dessous de tous les ions de l'or ( $AuCl_4^-$ ,  $Au^{3+}$  et  $Au^+$ ). En effet

la molécule d'hydrogène peut réduire les ions aurifères mais l'ion hydrogène ne peut pas attaquer l'or métallique.

Les potentiels des réactions 3 et 4 sur la table sont voisins de celui de la réaction 5 et à plus forte concentration. Ceci fait que même si les solutions d'ion ferrique  $\text{Fe}^{2+}$  et d'un ion cuivrique  $\text{Cu}^{2+}$  constituent des oxydants plus faible que  $\text{Au Cl}_2^-$ , les ions  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Cu}^{2+}$  peuvent dissoudre l'or mais une très petite quantité.

Dans un milieu géologique, les ions d'or  $\text{Au}^{3+}$  ou  $\text{A}^+$  n'existent pas en solution du fait qu'ils constituent des oxydants plus forts que le chlore libre.

#### La fixation de l'or :

La fixation de l'or dépend de son état dans les solutions. Les concentrations physico chimiques interviennent dans les complexes solubles et colloïdaux d'or, tandis que la fixation particulaire d'or est gérée par des conditions physiques.

Les complexes véhiculés par les eaux sont déstabilisés. Ils libèrent l'or qui va être absorbé par des substrats amorphes (par simple effet électrostatique ou par complexation de surface) ou fixé par suite de précipitation. Ce phénomène est provoqué par la non réalisation de l'équilibre entre les énergies attractives et pulsives qui maintiennent les distances intermicellaires caractéristiques des solutions colloïdales. Ensuite, les micelles s'agglomèrent en donnant des floculats d'or. Pour l'or particulaire, la fixation de l'or est en fonction de l'aptitude des « bed rock » (surtout de sa morphologie) et du régime hydrodynamique (vitesse du courant). Notons que la variation de la température et de la pression peut aussi déclencher une précipitation de l'or.

#### **iii. Transport de l'or en suspension**

Ce mode de transport peut se faire sur une longue distance. Les suspensions colloïdales comprennent des micelles constituées :

- D'or métallique appelé « colloïde d'or ». (Produit synthétiques à forte concentration d'or qu'aucun milieu naturel ne possède)
- D'autres colloïdes porteurs d'or : par le phénomène d'adsorption ou par liaison chimique, les sols d'hydroxydes de fer de manganèse ou de substance humique ou autre contiennent de l'or.

#### **iv. Fixation de l'or en suspension**

Le déséquilibre entre les énergies attractives et répulsives provoque la déstabilisation des suspensions colloïdales. Ceci conduit à un raccourcissement de la distance intermicellaire. La domination de la force attractive provoque une

agglomération des micelles. Ce phénomène s'appelle « floculation ». Une floculation peut aussi être provoqué par la variation de PH qui trouble les états d'ionisations des surfaces de micelle (à PH de charge zéro).

#### **v. Transport de l'or particulaire**

Dans les matériaux détritiques, les éléments lourds tel que l'or natif sont transportés selon leur taille, poids, forme et l'énergie du milieu aqueux (les grains fins ou plus grossiers d'or natif sont caractéristiques de l'or primaire constitué dans le niveau des sulfures).

Le climat, l'environnement géomorphologique, la violence des eaux de ruissellement sont responsables de la forme et de la taille des grains d'or. Les grains d'or très malléables subissent des déformations importantes pendant le transport.

#### **vi. Fixation de l'or particulaire**

Cette fixation concerne les dépôts détritiques transportés mécaniquement. La sédimentation des particules suit la loi de Stocks (en première approximation)

$$V = K d^2 (D - 1)$$

V : vitesse de sédimentation,

d : diamètre des particules,

D : densité des particules.

Le piégeage des grains d'or de taille supérieur à 1 mm, accompagné de gravier de plus de 2 mm ( Miha, 1993) se fait très rapidement tout près de la source primaire dès que la décélération de la vitesse du courant se fait sentir.

Pour les particules de taille inférieure à 1 mm, leur saltation avec les sables sont interrompue par les perturbations locales et la vitesse du courant (couches d'eau mortes). Ils se trouvent alors piégés. Ce piégeage est important lorsqu'on rencontre une couche d'eau morte épaisse (cas des lits à galets plus grossiers)

On doit tenir compte de la taille des grains d'or primaire pour localiser les éléments détritiques équivalents aurifères.

#### **vii. Gisement détritique ou placer**

Les gîtes d'origine profonde (liée aux roches éruptives et métamorphiques) sont attaquées par des agents d'érosion physique, chimique ou organique. Les matériaux démantelés sont transportés par les eaux de ruissellement et le vent. Les dépôts de minerai s'accumulent selon le résultat de la séparation mécanique naturel des éléments lourds aux éléments légers.

L'or des gîtes alluvionnaires constitue un gisement détritique très intéressant dans plusieurs régions.

Une classification basée sur les techniques pour l'exploration et exploitation a été proposée par Macdonald (1983) :

- L'environnement du placer marin qui est une continuation sous marine de la terre adjacente avec la même géologie du soubassement,
- L'environnement du placer transitionnel qui commence vers le large où les vagues dérangent en premier les sédiments sur la mer, et étendent à l'intérieur aux limites du transport éolien,
- L'environnement du placer continental où les techniques de l'exploration commune comptent à forer ou dénoyauter pour obtenir les échantillons

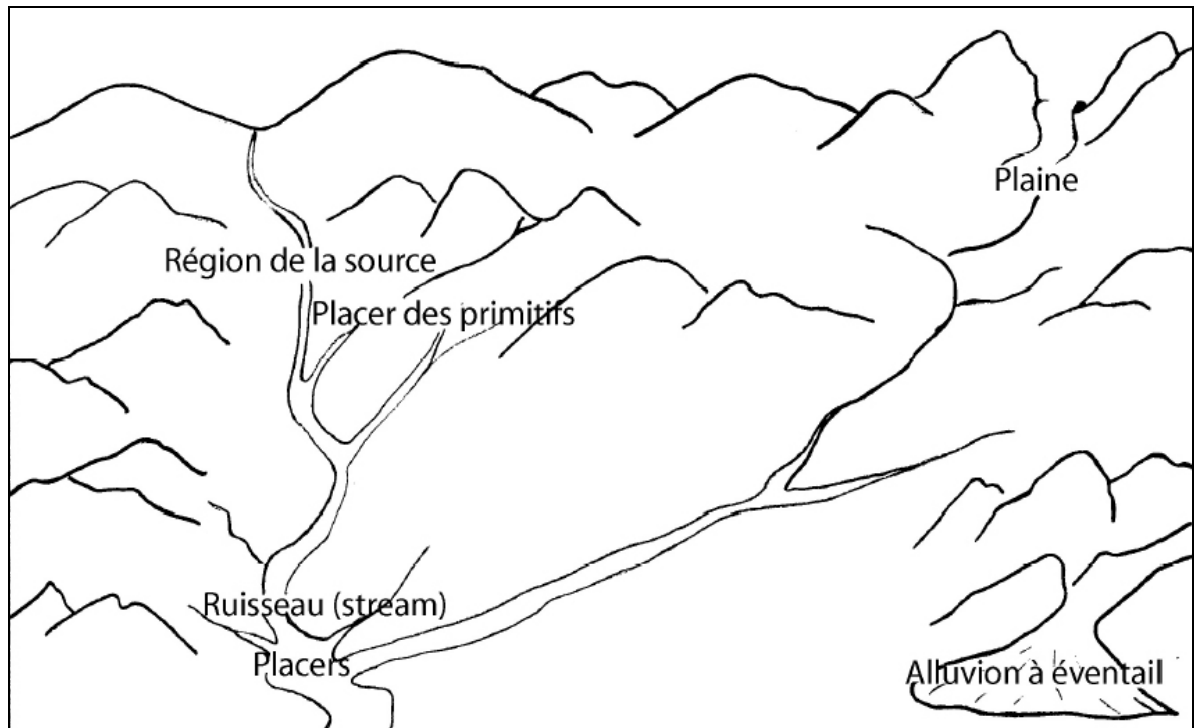


Figure 3 : Croquis d'un environnement du placer continental

### **c. Les différents types de gisements**

#### ***c.1. Nomenclature de la gîtologie aurifère***

D'une manière générale, les minéralisations aurifères sont classées suivant deux types de gîtes :

- Les gîtes primaires, qui sont les structures d'accumulation de l'or des formations géologiques non sédimentaires,
- Les gîtes secondaires : accumulation par suite de transport de produits de démantèlement d'un gîte primaire

### **i. Les gîtes primaires**

#### Les gîtes primaires magmatiques

Pour qu'un gîte magmatique d'or existe, les conditions suivantes sont nécessaires :

- Présence des sources magmatique de l'or : des roches basiques – ultra basiques ;
- Réalisation d'un évènement de granitisation dans le voisinage pour collecter et remobiliser l'or ;
- Opportunité d'un piège à la circulation du fluide enrichi en or. Les bons pièges seraient les filons siliceux qui donneraient les filons de quartz ou le quartzolite aurifère.

L'or magmatique est soit associé aux sulfures de métaux de base, soit aux minéraux des éléments sidérophiles tels que les platinoïdes.

Les gîtes hydrothermaux et les gîtes pegmatitiques de l'or sont également appelés gîtes primaire magmatique. Ces gîtes sont toujours associés à un granite ou à une granitisation.

#### Les gîtes primaires métamorphiques

Les gîtes filoniens sont des fissures, des failles remplies par les éléments des eaux thermales et des eaux d'infiltration non thermales (fluide du métamorphisme). L'or est contenu soit dans les veines ou les filons quartzeux discontinus, soit en dissémination dans divers faciès des roches métamorphiques (gneiss, migmatite, amphibolite, quartzite à magnétite...)

A Madagascar, on rencontre souvent des quartzites aurifères et plus rarement des gneiss à dissémination d'or.

### **ii. Les gîtes secondaires**

Le principal agent érosif responsable de la formation des gîtes secondaires est l'eau. Cette classe renferme trois types de site le long ou dans le voisinage immédiat des cours d'eau et ils peuvent devenir des gîtes secondaires d'or.

-Les alluvions des lits vifs (stream – sédiment) : ce genre de site ne donne que des gîtes difficilement maîtrisables car ils sont en cours d'alimentation. Ces gîtes sont inaccessibles en période de crues.

-Les gîtes des sites alluvionnaires anciens (méandre, les placers...) : les gîtes d'origine profonde liés aux roches éruptives et au métamorphisme sont attaquées par des agents d'érosion physique, chimique ou organique. Des eaux de ruissellement et le vent assurent le transport des matériaux démantelés. Les dépôts des minerais s'entassent selon le résultat de la séparation mécanique naturelle des éléments lourds aux éléments légers (Bésairie 1966).

-Les terrasses sont les meilleurs gîtes secondaires car la potentialité est parfaitement maîtrisable et les gîtes complètement hors d'atteinte des eaux.

#### **d. Les gisements d'or à Madagascar**

Généralement, les minéralisations aurifères primaires à Madagascar se trouvent dans des contextes métamorphiques de minéralisation diffuse des veines quartzieuses. Les filons aurifères dans le Nord de l'Ile à Andavakoera constituent la seule exception. L'or s'y est déposé par suite d'imprégnation des roches sédimentaires encaissantes par une circulation de fluide épithermal dans les fracturations et les brèches permotriasiques. Des filons quartzo – barytiques à ou sans or se sont alors formés en remplissage des failles et des anfractuosités de l'encaissante sédimentaire sur une centaine de kilomètre.

Le métamorphisme de contact est un ensemble de processus de transformation que subissent les roches encaissantes des intrusions magmatiques. Les effets par diffusion d'éléments chimiques affectent des zones limitées appelées « auréoles ». Il en résulte de nombreux types tels que les gîtes hydrothermaux, les gîtes pegmatitiques, les gîtes pneumatolytiques et les gîtes de contact.

La désagrégation mécanique et / ou des réactions chimiques diverses affectent la roche contenant la minéralisation aurifère. Elles font disperser l'or dans son voisinage et même jusqu'à des endroits très éloignés formant des « gîtes secondaires » si les agents transporteurs le permettent

##### ***d.1. Les gîtes primaires***

Les gîtes primaires se localisent dans les terrains métamorphiques Précambriens. Ces roches métamorphiques sont attaquées par les agents d'érosion et par conséquent les systèmes de veines apparaissent en surface. La zone de cémentation riche en minéralisation devient donc très proche de la surface. La minéralisation en or est soit portée par ces veines stratiformes de direction concordante aux foliations de schistes cristallins, soit disséminée dans des divers faciès de ces schistes.

D'après les travaux de synthèse effectués par le BRGM (1985), à Madagascar, on distingue trois classes de gîtes primaires :

#### **i. Les gîtes de l'Archéen**

A Madagascar, les minéralisations primaires aurifères appartiennent généralement à cet âge. La région de Maevatanana en est un exemple, la minéralisation se trouve dans un système de veines stratiformes de direction concordante aux foliations des schistes cristallins. L'association des roches peut être des séries de roches amphibolitiques basiques ou des quartzites à magnétite ou des roches silico - alumineuses du type Ambatolampy et Andriba (quartzite, gneiss, magnétite, micaschiste alumineux et souvent graphiteux). Des filons péritholites, des stockwerks et une dissémination étendue dans les roches métamorphiques existent aussi grâce à des intrusions de granitoïdes tardives qui sont liées à ces veines. Les filons sont les plus favorables pour la minéralisation.

#### **ii. Les gîtes primaires du Protérozoïque**

Ces gîtes sont souvent associés aux faciès à micaschiste ou au quartzite de la série schisto - quartz - dolomitique (SQD)

#### **iii. Les gîtes liés à la tectonique permo - triasique (250 à 300Ma)**

A Madagascar, ce cas ne se rencontre qu'au Nord de l'Ile (entre la vallée de Sambirano et la Côte Est). Ces gîtes contiennent de l'or natif ou de l'or associé à des sulfures.

Les filons s'obtiennent par des fractures remplis de :

- Quartz - barytique (fractures associées à la tectonique d'âge permo - triasique)

- Mélange de petits cristaux de quartz et de l'or cristallitique qui sont très rares.

### ***d.2. Les gîtes secondaires***

C'est le produit de l'altération des gîtes primaires et de la reconcentration de l'or par les eaux de surface.

#### **i. Les gîtes éluvionnaires**

Le transport des éléments lourds tels que l'or conduit à une concentration éluvionnaire aurifère sous l'effet du lessivage météorique. Dans ce cas de gîte éluvionnaire, la limite des roches saines présente la plus forte teneur, plus

précisément au niveau de la base du profil d'altération latéritique. L'exploitation des gîtes éluvionnaires est intéressante.

### **ii. Les gîtes alluvionnaires**

Les gîtes alluvionnaires d'or peuvent donner de très vastes extensions horizontales de la roche latéritisée du sommet jusqu'au lit d'un cours d'eau. Sous la force des agents de transports, associée aux phénomènes physiques tels que l'effet de la hauteur, la dynamique gravitationnelle et des précipitations, la latérite démantelée se dépose dans les talwegs et leurs voisinages. Les terrasses surélevées, le long des vallées, présentant des fentes profondes parcourues par des cours d'eau actuels renferment des alluvions plus ou moins consolidées. Ces alluvions aurifères constituent les gîtes alluvionnaires d'or anciens. Les sables et les graviers des cours d'eau actuels peuvent être aurifères par suite de démantèlement de gîtes primaires d'or et de terrasses anciennes en amont. Ils constituent, avec les basses terrasses, les « gîtes alluvionnaires actuels ». Ces gîtes sont continuellement alimentés, il est alors difficile d'évaluer leurs teneurs et leurs réserves en or. Ils peuvent se déplacer et constituent des gîtes sous-aquatiques.

### **e. Les grands champs aurifères du monde**

L'Afrique du Sud est le grand pays producteur d'or, puis les Etats – Unis et ensuite l'Australie et le Canada avec une production de 524 tonnes d'or en 1995. Les plus grands gisements d'or du monde sont :

- Le paleoplacer de Witwatersrand
- Les dépôts archéens de types filoniens de quartz aurifère comme en :
  - ✓ Golden Mile avec 2000 tonnes de réserves au près de Kalgoorlie, en Australie
  - ✓ Hollinger – Mc Intyre avec une réserve supérieure à 1000 tonnes près de Timmins au Canada
- Le Ghana, deuxième producteur africain a une production de 2,6 % de l'offre mondiale.

### **f. L'or à Madagascar**

#### ***f.1. Introduction***

La dernière exploitation entreprise par l'Etat remonte aux années 1970. Depuis ce temps, les activités se réduisent à des prospections des alluvions et éluvions, effectuées par des orpailleurs dont le nombre augmente chaque année de façon informelle. Leur nombre est actuellement estimé à plusieurs milliers dans les



régions aurifères de Madagascar. Certains permissionnaires et orpailleurs informels commencent à s'intéresser à des gîtes primaires.

### ***f.2.Potentiel et production***

Depuis plus d'un siècle, Madagascar est reconnu comme étant un pays à potentialité aurifère appréciable. On sait que le socle Précambrien malgache possède de nombreuses veines de quartz et de quartzites aurifères. Des travaux de recherches ont été entrepris pour connaître des gisements intéressants comme la prospection des lits vifs des rivières aurifères de Madagascar.

Le développement du secteur informel et le processus d'exploitation ne permettent pas de contrôler la production et la commercialisation de l'or : la production déclarée est très faible.

### ***f.3.Production nationale***

Depuis des années, la production enregistrée à la Direction des Mines et de la Géologie du Ministère de l'Energie et des Mines ne peut être tenue comme le reflet exact de la production de l'or à Madagascar. Le Jeudi 02 Septembre 2004, au Ministère de l'Energie et des Mines, un atelier d'évaluation de la filière or a eu lieu. Durant cet atelier, des participants ont confirmé que la manière d'exploiter les ressources minières malgache est la cause de ces fausses valeurs. On a appris également que sur une estimation de 10 tonnes de production d'or par an, 10 kg seulement sont déclarés légalement auprès de l'Administration. On reconnaît alors qu'une grande partie de la production passe dans des circuits informels de commercialisation et que l'or de Madagascar fait l'objet de trafics illicites.

Le tableau ci après présente bien l'aberrance des chiffres officiels :

**Tableau 3 : Statistique de production d'or de 1999 à 2003**

Subs	U			20	
tance	nité	999	001	02	003
Or	Gr			2801,50	
	amme	316	94		

Source : INSTAT

### ***f.4.Les principales régions aurifères de Madagascar***

Madagascar compte plusieurs régions aurifères qui sont :

Tsaratana - Andriamena :

Ces régions se trouvent au Centre – Nord de Madagascar. On y rencontre de veines quartzieuses interstratifiées où l'or est disséminé. On note également l'existence de nombreux gîtes alluvionnaires.

#### Maevatanana

La région est constituée essentiellement de gneiss et de micaschiste. L'or est disséminé dans des veines de quartz interstratifiées. La teneur moyenne est de 18 g / t. La région qui nous intéresse est localisée dans cette zone.

#### Ambohipihaonana

Pour ce secteur, l'or se trouve dans les veines de quartz. Les roches hôtes sont des migmatites.

#### Betsiriry

Cette région se trouve dans le Centre - Ouest de l'île. On y observe des gneiss à veines de quartz interstratifiées aurifères. On peut citer les localités suivantes :

- Le secteur de Dabolava avec 10 à 50 g / t de teneur moyenne
- Le secteur d'Andimaka avec 20 à 25 g / t d'or en moyenne

#### Itasy

C'est l'un des plus connus prospects du centre de Madagascar. Le minerai est constitué de quartz avec de l'or disséminé interstitiel.

#### Antananarivo – Ambositra

Les gisements sont tous situés dans des schistes cristallins où sont individualisés des veines les interstratifiées de quartz et de filons de pegmatites.

#### Vohilava – Ampasary

La région se trouve dans le Sud – Est de Madagascar. Il y a des filons quartzieux aurifères encaissés dans des schistes.

#### Beforona

L'or est disséminé dans des veines de quartz d'encaissant schiste.

#### Andrarona

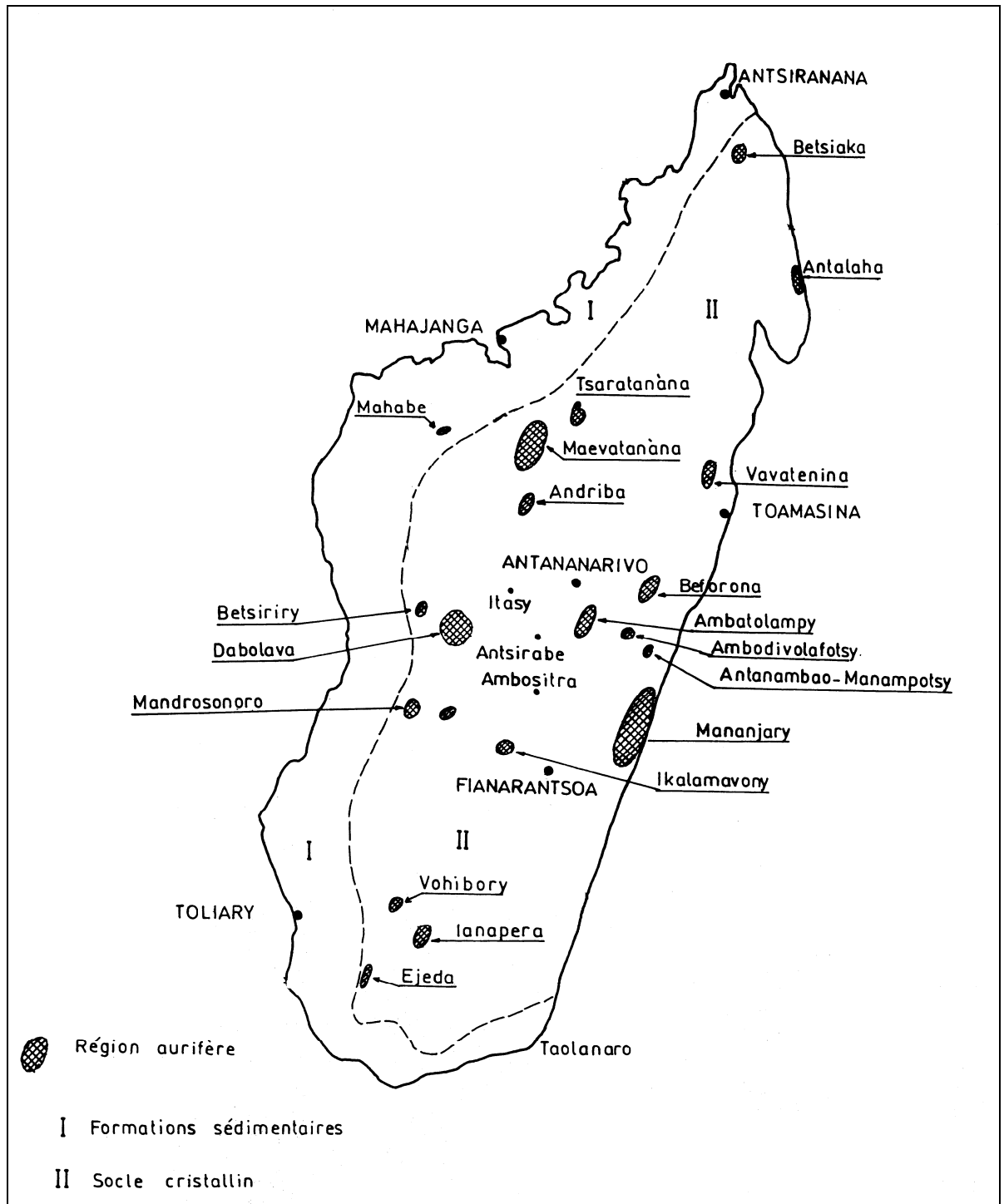
C'est au Nord Nord Est de l'île, l'or est contenu dans des :

- Gîtes alluvionnaires
- Mines de quartz
- Gisements de type stockwerks dans un granite gneissique

#### Vavatenina

Les terrains de la zone aurifère de Vavatenina qui se trouve au Nord – Est de Madagascar se distingue par :

- La prédominance des micaschistes à biotite
- Une imbibition très accentuée par le magma granitique sous jacent



**Figure 4 : Les principales régions aurifères de Madagascar**  
(carte remise à jour par l'OMNIS, 1998)

### ***f.5.Marché de l'or à Madagascar***

#### **i. Marché local**

Sur le marché local, le cours de l'or se négocie entre les orpailleurs et les collecteurs. Les orpailleurs vendent leurs produits selon leur entendement (tous les jours, toutes les semaines...). Pour ces orpailleurs, l'or génère un revenu d'appoint.

Le prix de l'or varie donc en fonction du calendrier cultural :

- Pour les gîtes secondaires, le prix augmente pendant la saison sèche après la récolte du riz et il est en baisse pendant les saisons pluvieuses et surtout pendant la période de soudure.

- Pour les gîtes primaires, le prix augmente pendant la saison pluvieuse et il est légèrement en baisse pendant la saison sèche.

En général, le prix de l'or à Madagascar se réfère à celui de Maevatanana.

#### **ii.Exportation**

Madagascar exporte des produits travaillés de bijouterie et de joaillerie vers la France, La Réunion, vers la Chine et Taiwan. Le trafic illicite de ce métal précieux ne permet pas d'avoir des statistiques exactes d'exportation ainsi que des produits transformés.

Actuellement, par rapport à d'autres pays du monde, Madagascar ne peut pas se classer parmi les pays où la production aurifère est susceptible de jouer un rôle économique notable. Il faut quand même savoir que l'or de Madagascar est l'un des plus chers au monde en rapport à sa qualité. En effet, le coût de notre or est nettement supérieur à celui pratiqué sur le marché mondial. En 2004, le gramme d'or a atteint entre 25 000 Ariary et 26 000 Ariary, alors que sur le marché mondial, ce prix tourne autour de 10 euro, soit environ 24 000 Ariary.

Actuellement, on constate que l'orpaillage à Madagascar est effectué avec des moyens archaïques et suivant des méthodes traditionnelles. Ceci est responsable d'un faible taux de récupération. Il est écoulé suivant des circuits informels de commercialisation. On parle alors :

- du manque de professionnalisme : formation, moyen, méthode,
- d'appartenance au secteur informel et d'absence d'organisation.

Il y a quand même une espérance grâce à l'existence de potentialités à explorer et à exploiter et la main d'œuvre est abondante et bon marché. Il faut donc prendre des mesures pour une meilleure gérance, et on doit viser :

- l'assainissement des activités relatives à l'orpaillage à Madagascar c'est-à-dire la mise en place d'un cadre légal, explicite et approprié,
- le professionnalisme des activités : des séances d'informations, d'éducation et contrôle des orpailleurs doivent être dispensées.

Aujourd'hui, le Ministère de l'Energie et des Mines s'efforce d'informer le public et former son personnel pour mieux gérer les ressources minières malgaches

## **PARTIE II : . MINERALISATION EN OR DE LA REGION D'ANDRIBA**

## **CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA REGION D'ANDRIBA**

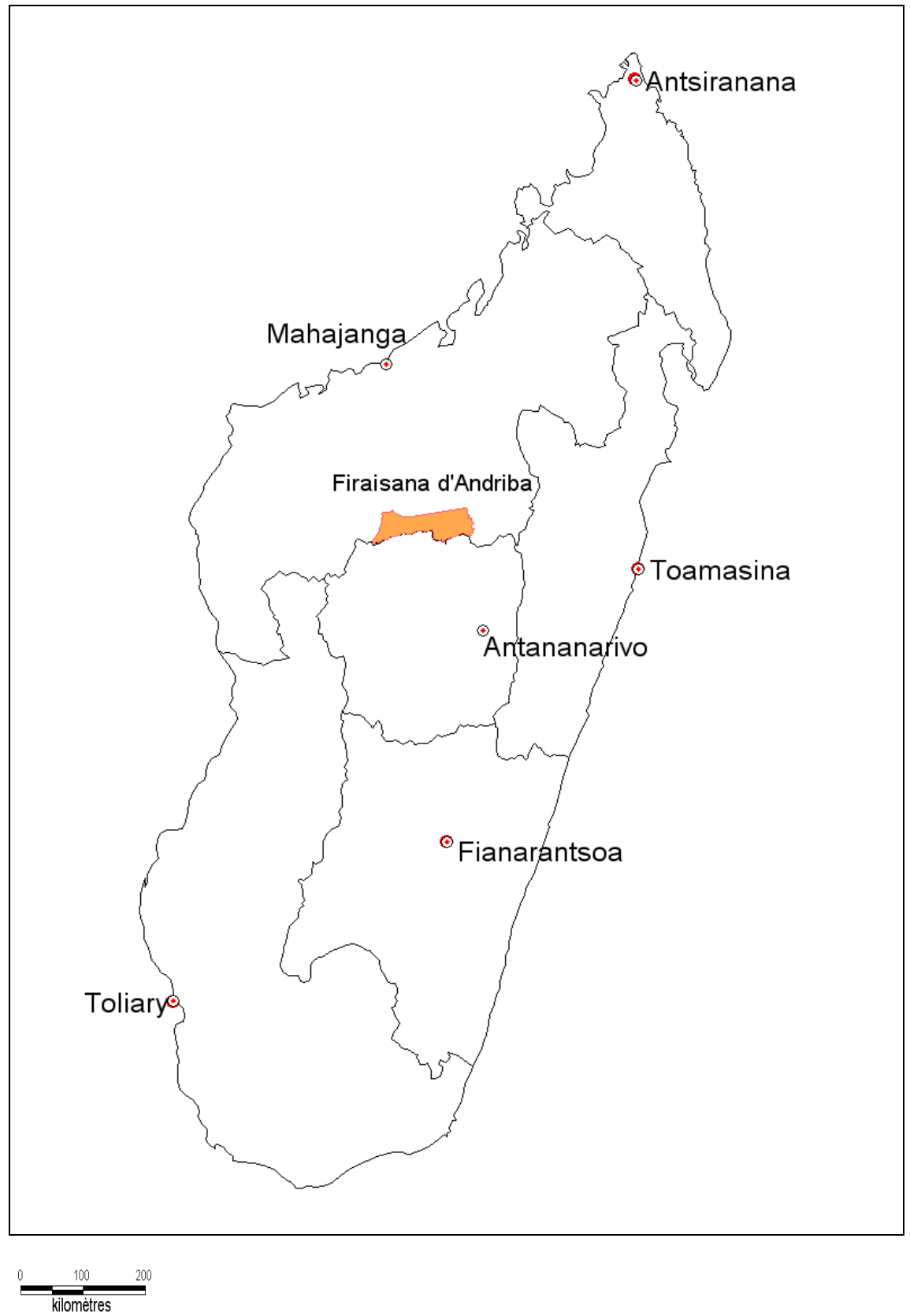
### **III.1. Localisation**

La région d'Andriba est localisée dans le Centre Nord – Ouest de Madagascar. Le village d'Andriba se trouve à 155 Km d'Antananarivo par la route nationale 4 reliant Antananarivo à Mahajanga. La région d'Andriba, au sens de ce travail, est limitée par les coordonnées géographiques suivants :

Longitudes :  $46^{\circ} 48'$  –  $47^{\circ} 06'$

Latitudes :  $17^{\circ} 12'$  –  $17^{\circ} 36'$

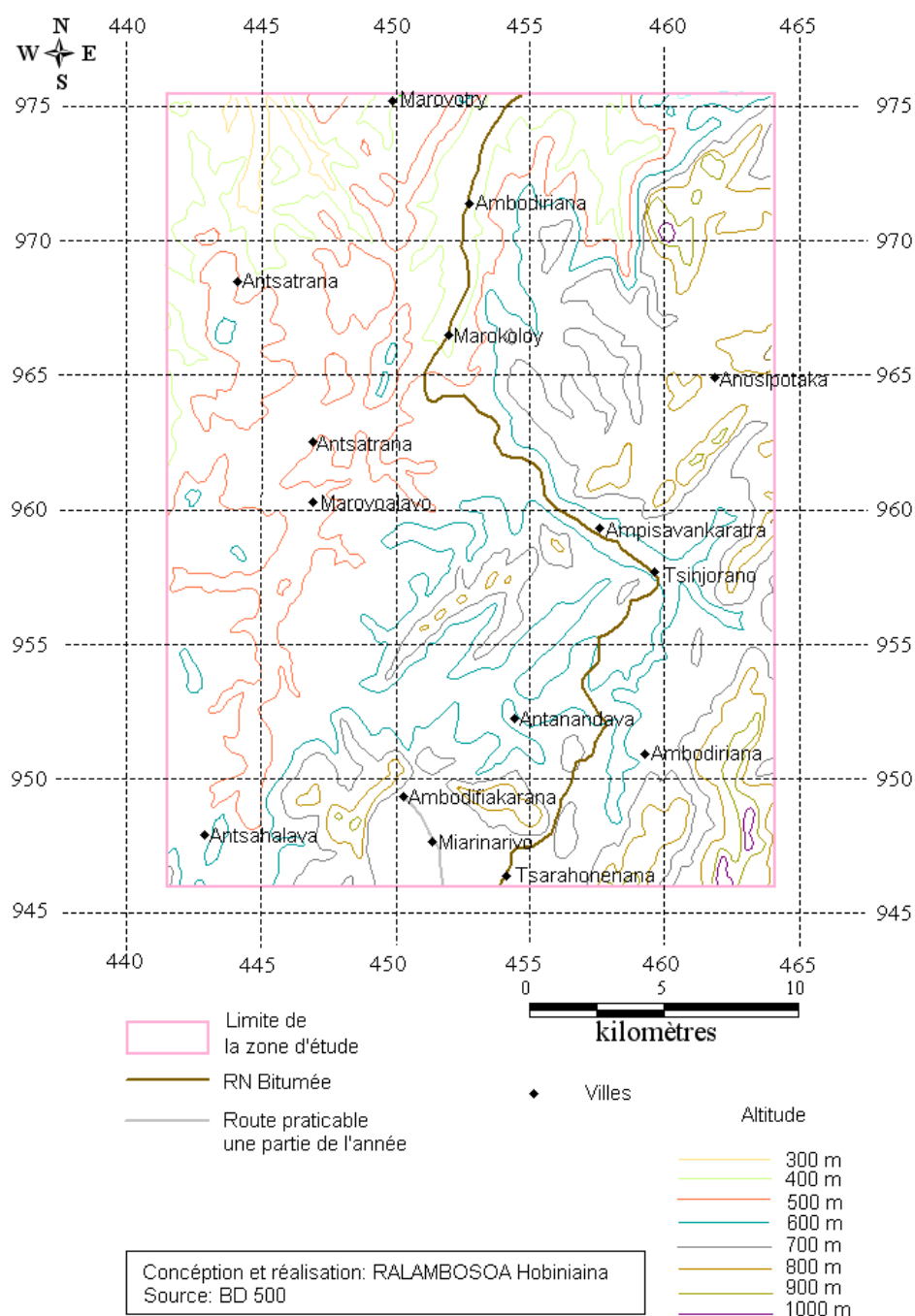
Les infrastructures routiers y sont insuffisants : allant de l'axe RN4 il n'y a que des pistes où seules les voitures de terrains peuvent accéder.



**Figure 5: Carte de localisation géographique de la zone d'étude**



La région est en partie faite de zones de hauts reliefs, d'altitude moyenne 400 m et pouvant atteindre plus de 1000 m (le pic d'Andriba est de 1035 m). Le climat est chaud à tempéré, à pluviométrie modérée de la région centrale.



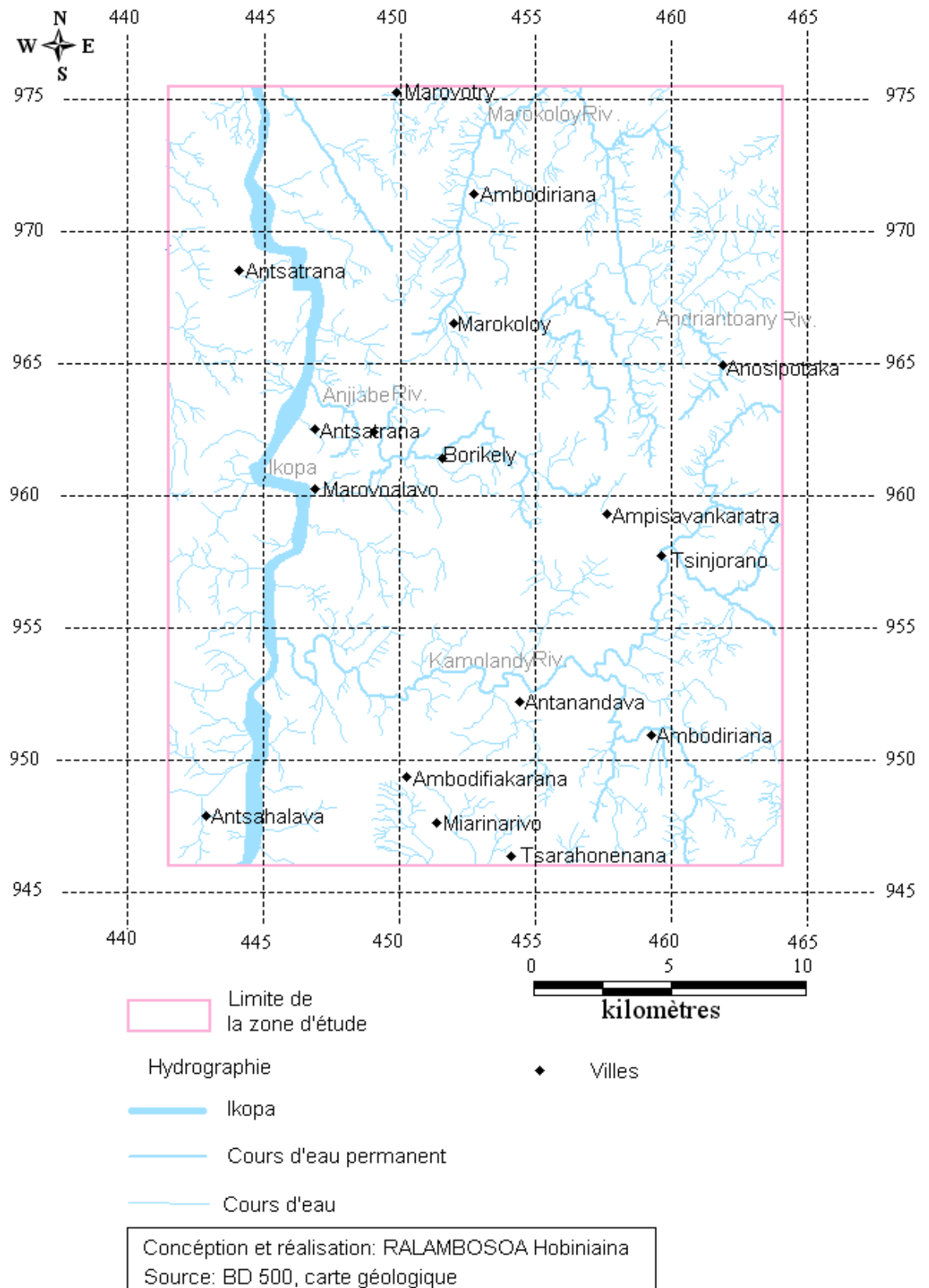
**Figure 6: Carte topographique**

### **Réseau hydrographique**

La région est drainée par les affluents de la rivière qui elle-même se jette dans la rivière Ikopa et le fleuve Betsiboka. Les principaux affluents sont :

- Pour Betsiboka : Ankalamilotra, Boinakely, Isinko, Andriantoany
- Pour Ikopa : Nandrojia, Kamolandy, Mandraty, Anjiabe, Soamahetsaka

Ils ont un débit plus ou moins important durant la saison des pluies (de Décembre à Mai). Pendant la saison sèche, les cours d'eau sont généralement réduits à des minces filets d'eau. On en cite comme exemple Nandrojia, Kamolandy, Ankalamilotrabe. Des fois, des sous écoulements sont enregistrés de la fin d'Octobre au début Novembre. Notons l'existence des barrages hydrauliques dans la région tel que le barrage de Kamolandy et d'Antanimbarindraveriakanga qui permettent de régulariser la circulation des eaux et l'irrigation des cultures vivrières

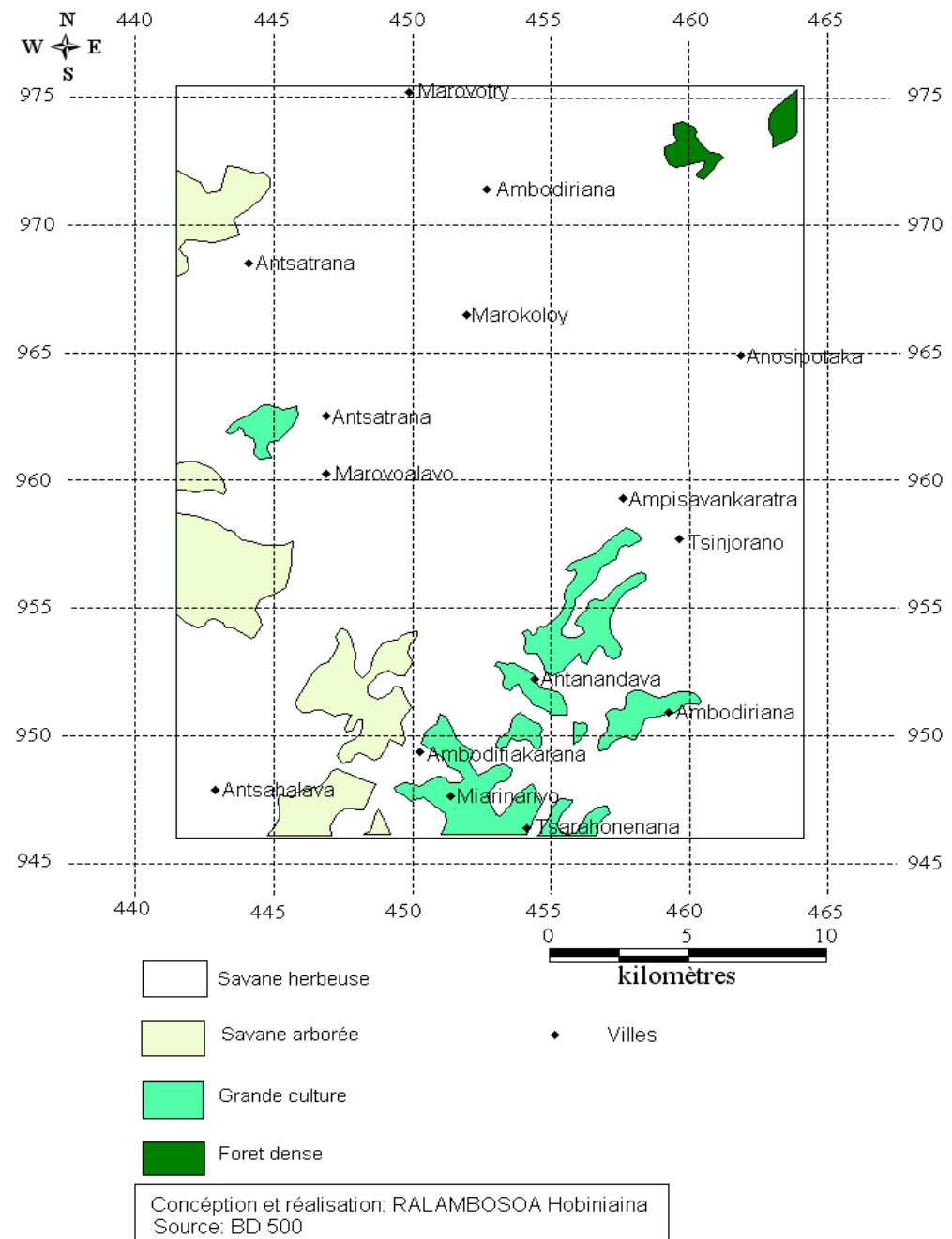


**Figure 7: Carte des réseaux hydrographiques**

### Végétation

Globalement, la région est une vaste savane herbeuse avec des lambeaux de forêts primaires dans la partie Nord – Est de la feuille d’Andriba (N 43)

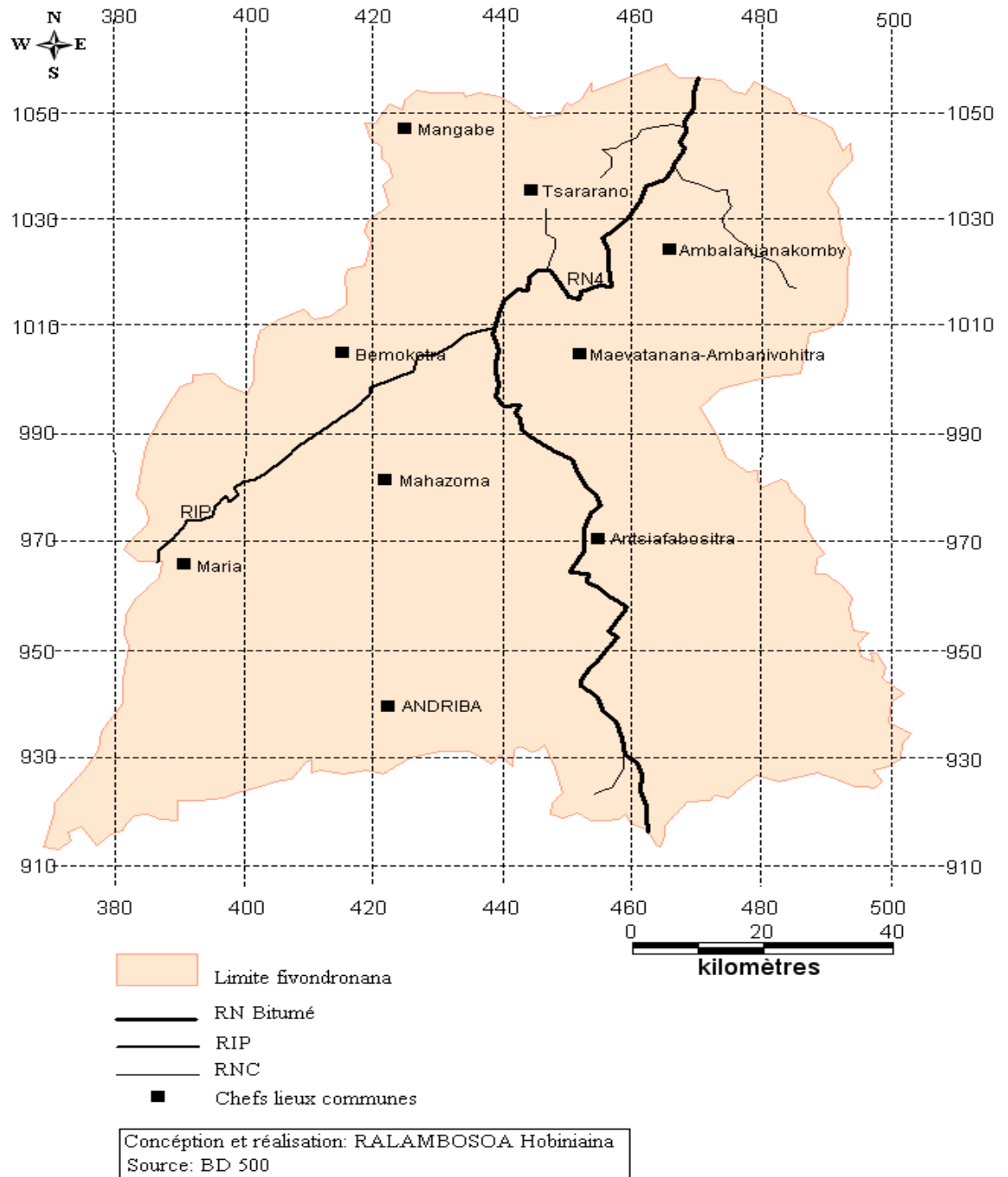
. Enfin d’importantes forêts galeries longent les principaux cours d’eau.



**Figure 8: Carte d'occupation du sol**

### Administration

Administrativement, Andriba appartient à la région de la Province Autonome de Mahajanga.



**Figure 9: Carte administrative de la région**

### **III.2.Situation économique**

Pour la région d'Andriba et pour les deux dernières années, le nombre des habitants qui s'adonnent à l'agriculture et à l'élevage augmente. L'orpaillage constitue une activité périodique et d'appoint, notamment en période de pluie.

### **III.3.Géologie de la région d'Andriba**

La région d'Andriba est caractérisée par les formations géologiques de l'Archéen (Hottin, 1976) du bloc d'Antananarivo (Collins, 2002) de faciès granulite (Besairie 1960 – 1964)

#### **a.Les formations géologiques d'Andriba**

Pour une meilleure compréhension, nous allons encore adopter les descriptions antérieures sans qu'une connotation Lithostratigraphique ne soit attribuée qui définissent la série d'Andriba (Besaire, 1964). La série d'Andriba se trouve au Centre Nord – Ouest de l'Ile, limitée dans la partie Nord – Ouest par la série de Maevatanana qui constitue son équivalent migmatitique.

Cette série a été plissée et métamorphisée par l'orogénèse majeure shamwaienne (2600 MA). Ensuite d'autres événements orogéniques l'auraient affecté :

- Episode thermique éburnéen (2000 MA)
- Orogénèse Kibarienne (1200 MA)
- Orogénèse panafricaine (550 MA)

Leurs effets métamorphiques sont d'une grande complexité.

#### **b.Lithologie**

Les formations superficielles et récentes couvrent presque toute la région. D'après le rapport annuel du Service géologique, 1966, Razafinimparany (feuille N 43 au 1/100 000), la série d'Andriba se caractérise par trois zones dont :

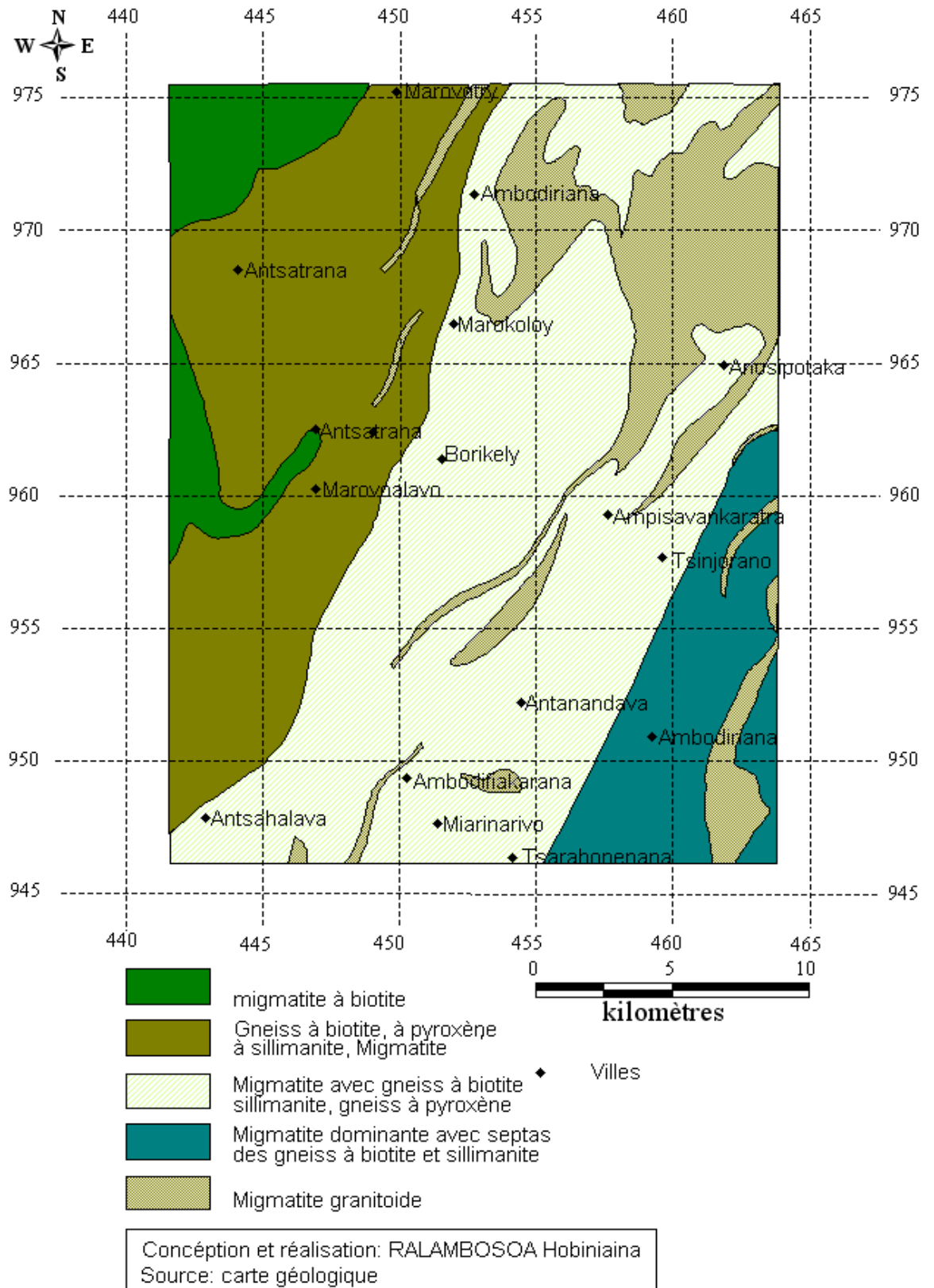
-Une zone supérieure caractérisée par de gneiss à deux micas ou à pyroxène et épidote et parfois à nodules de sillimanite. Elle forme une bande assez mince mais continue, de direction NNE – SSE

-Une zone moyenne constituée de gneiss à deux micas, rarement à pyroxène. La sillimanite, comme minéral accessoire, est très fréquente. On y

rencontre certains affleurements de migmatite, c'est la formation la plus étendue qui couvre presque la totalité de la feuille d'Andriba.

-Une zone inférieure formée de la lame granitique et des migmatites. Les gneiss à biotite, à sillimanite et rarement à graphite apparaissent en mince lame. Cette série se localise au Sud – Est de la coupure.

Les zones moyennes et supérieures présentent des formations gneissiques à intercalations de bancs de quartzite à magnétite (parmi les sièges de minéralisations primaires de l'or) et des amphibolites concordantes aux formations. Le fond géologique est constitué de gneiss. Notons que les minéralisations primaires aurifères sont localisées principalement dans la zone supérieure. La zone inférieure est caractérisée par des migmatites embrêchitiques.



**Figure 10: Carte lithologique**



La dernière synthèse de la série d'Andriba est donnée par le tableau ci-dessous. Cette présentation se distingue par une subdivision en deux zones principales seulement : une zone supérieure et une zone inférieure. La zone supérieure est constituée de gneiss et de micaschiste qui étaient séparés en zones moyenne et supérieure dans l'ancienne subdivision. La zone inférieure rassemble les migmatites qui étaient répartis auparavant dans les zones moyenne et inférieure. Des veines de pegmatites et de quartzites se trouvent dans ces deux zones.

#### ZONE SUPERIEUR

Gneiss à biotite, gneiss à biotite – muscovite, gneiss à biotite – Amphibole, gneiss amphibole

Amphibolites à actinotes ou à trémolite actinote, nodule de sillimanite, micaschistes, quartzites à magnétite

Veine de quartz : recoupant ou conforme à la schistosité générale.

Veine de pegmatite : recoupant ou conforme à la schistosité générale.

#### ZONE INFÉRIEURE

Amphibolite (rare) – aplites

Veines de pegmatites

Migmatites

*Formation et lithologie de la série d'Andriba (système de la Société Vauquelin) d'après Andriamampianina, 1998*

## **CHAPITRE IV : LES GRANDS TRAITS STRUCTURAUX DE LA RÉGION D'ANDRIBA**

Les documents, l'interprétation de l'image Satellitaire nous permet d'observer, de vérifier les éléments structuraux de la région d'Andriba.

### **IV.1. Les structures discontinues**

Andriba appartient au bloc d'Antananarivo où on trouve comme traits structuraux majeurs (Windley) la shear zone d'Ifanadiana – Angavo qui explique l'abondance des fractures.

Généralement, on a deux populations de fractures selon leurs orientations : le premier groupe a une direction générale Nord Est – Sud Ouest et le deuxième

Nord Ouest – Sud Est. L'essentiel des fractures et des failles de la région adoptent ces deux directions de cisaillement. La carte géologique (feuille N43) et l'image satellitale permettent d'établir que le premier groupe a été antérieur au deuxième du fait que ce dernier transpose les structures du premier groupe.

Les fractures sont plus fréquentes dans la partie Nord Ouest de la zone d'étude, ils atteignent parfois 10 à 20 kilomètres où les gisements d'or en place se situent.

## **IV.2.Structures continues hétérogènes**

Le plissement est un mécanisme de déformation continue hétérogène. La roche qui se plie présente une surface définie qui se transforme en une surface gauche, elle affecte surtout les formations plastiques (corps de SAINT VENANT).

Des plis anticlinaux s'observent dans la région d'Andriba comme Andranganala (NE), Ampasanibory (Centre Nord), Tsiafakitra (SO)

## **IV.3.Structures continues homogènes**

Les unités lithologiques montrent une structure monoclinale de direction Nord Est – Sud Ouest. On remarque alors une schistosité générale d'orientation Nord Est – Sud Ouest. Des lignes parallèles entre elles, des microstructures apparaissent.

## **IV.4.Métamorphisme**

Cette région du terrain Archéen a un faible degré de métamorphisme : mésozone à épizone (650 à 300 °C) qui diminue d'Est en Ouest. Elle a un faciès amphibolitique et fait partie de la zone à sillimanite, orthoclase et almandin.

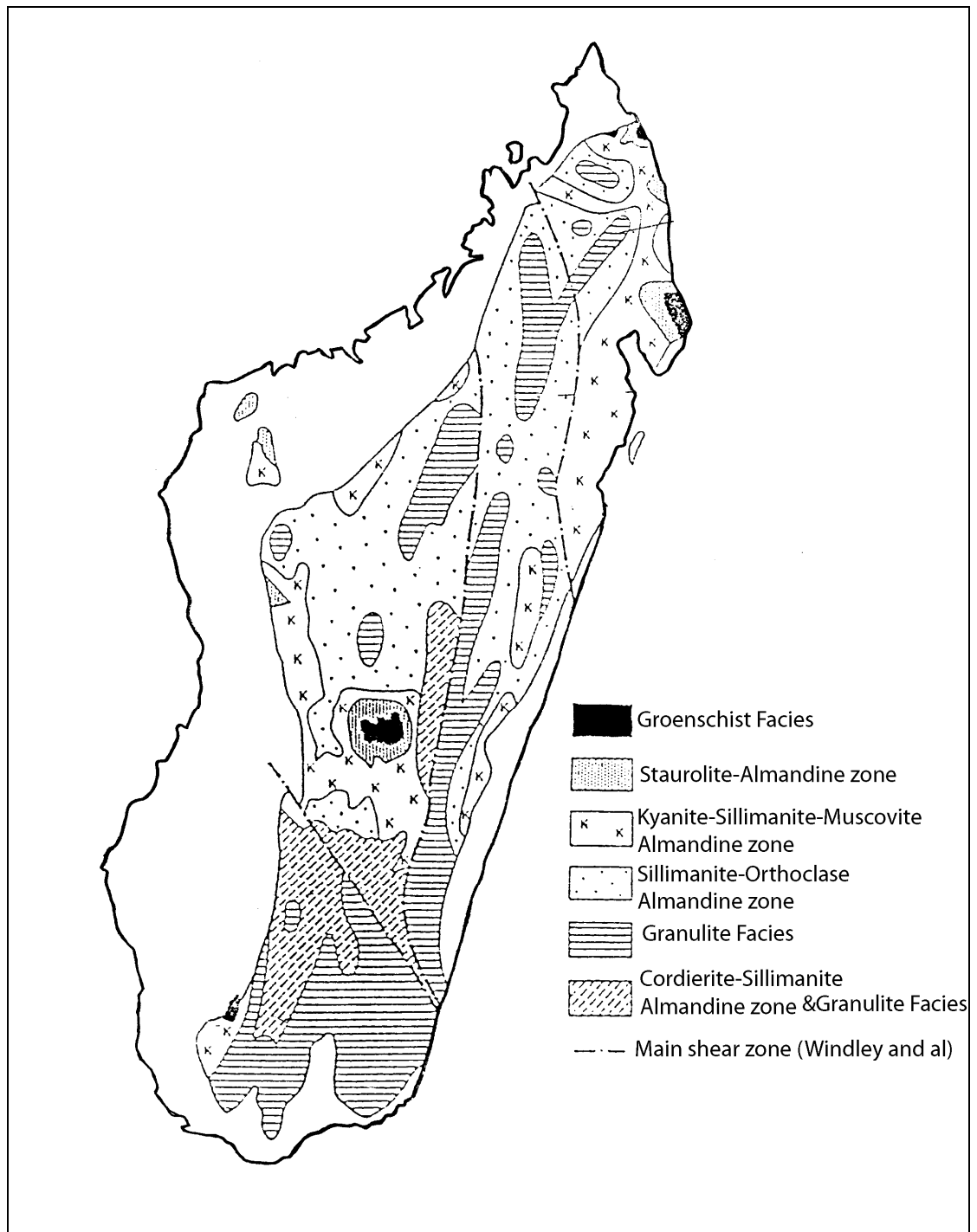


Figure 11: Zonation métamorphique du socle cristallin Malgache d'après Hottin et al, 1996 (Windley 1994)

## IV.5. Minéralisation aurifère de la région d'Andriba

La région renferme des indices d'or alluvionnaire et en place.

### a. Les gîtes primaires

L'or des gîtes primaires se trouve à l'état disséminé en grains microscopique ou en grains visible à l'œil nu. La minéralisation aurifère de la région d'Andriba s'attache aux :

- Veines quartzeuses à sulfure et veines pegmatitique,
- Roches à nodules de sillimanite
- Quartzite à magnétite,
- Gneiss surmicacé à biotite et aux micaschistes

### b. Les gîtes secondaires

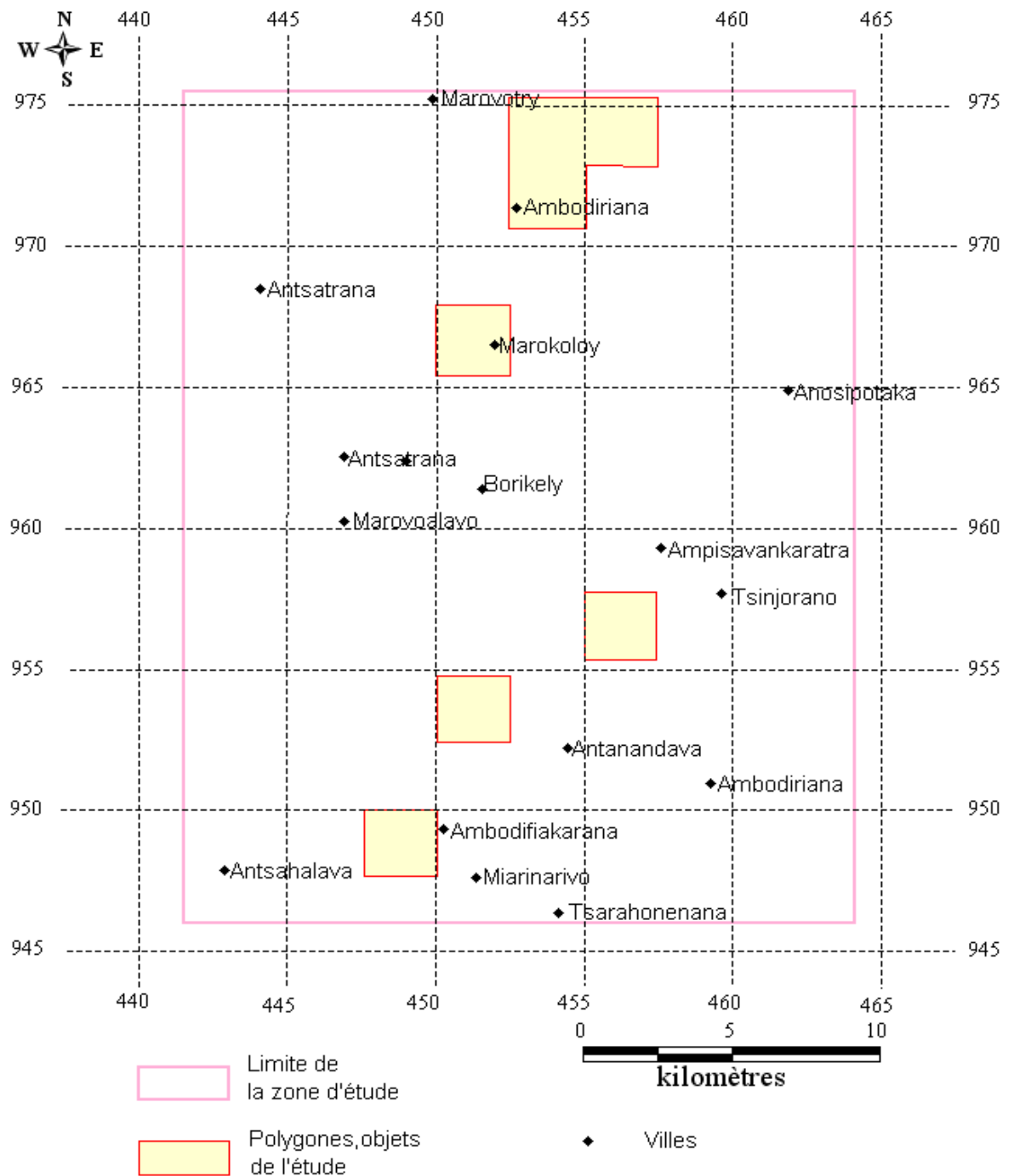
L'enrichissement des gîtes secondaires en or provient de la désagrégation des roches et des bancs aurifères. Ces gîtes se trouvent dans les alluvions, dans les latérites avoisinantes surtout au niveau hydrostatique. L'or provenant de la latérite et des roches entourant s'accumule au niveau hydrostatique par mouvement « per descensum » et « per ascensum » lors des chaleurs intenses (Rantoanina, 1967)

Lors de la mission effectuée par le personnel de la DRM (OMNIS) en Juillet 2003, les analyses minéralogiques faites au laboratoire sur les échantillons donnent les résultats suivants :

Echantillon	Nombre	Teneur en or
roche	4	2 échantillons ont présenté de l'or en trace : 3 et 5 points d'or
alluvionnaire	16	0.045 à 0.45 g/m <sup>3</sup>
TOTAL	20	

## IV.6. Présentation de la zone d'étude

Dans la région d'Andriba, il y a cinq polygones (7 carrés de 2500m x 2500m), qui ont fait l'objet de demande de permis de recherche effectué par l'OMNIS.



Conception et réalisation: RALAMBOSOA Hobiniaina  
Source: carte géologique

**Figure 12: Carte représentant les polygones**

**Tableau 4 : Coordonnées géographique des centres des polygones**

Polygone	Coordonnées (m)	
	X	Y
1	448750	948750
2	451250	953750
3	456250	956250
4	451250	966250
5	453750	971250
6	453750	973750
7	456250	973750

Pour notre étude, on prend une délimitation de manière que les cinq polygones soient compris. Cette limite a pour coordonnées :

X : 441500 m

Y : 975600 m

X' : 463900 m

Y' : 946200 m

## **CHAPITRE V : ETUDES STRUCTURALES**

### **V.1.Introduction**

Durant ces vingt dernières années, la géologie structurale a acquis une place non négligeable dans les sciences de la terre. La démarche d'analyse structurale consiste d'abord à l'analyse des données disponibles (cartes antérieures, images satellitales, photographies aériennes), d'un contrôle sur le terrain (réalisation des coupes et itinéraires, prélèvement d'échantillons orientés) traitement des données et modélisation par utilisation de différents logiciels spécialisés.

### **V.2.Travaux antérieurs**

La carte tectonique de Madagascar d'après Collins et al. (2000) permet d'observer les directions structurales du bloc d'Antananarivo où se trouve la région d'Andriba. La région est caractérisée par des structures monoclinales à plongements faibles avec des plis déversés vers l'Ouest ou vers le Nord - Ouest

L'interprétation des photographies aériennes ont permis à Razafimalala (1998) de confirmer que :

- Les unités lithologiques développent une structure monoclinale de direction Nord Est – Sud Ouest et engendre une schistosité générale Nord Est – Sud Ouest,
- La tectonique cassante est matérialisée par des fractures anciennes. Ces fractures affectent parfois une vingtaine de kilomètres,
- D'autres fractures plus récentes dominant suivant deux grandes orientations, l'une de direction NNE ; et l'autre rassemble les accidents ESE
- Les mouvements tectoniques ont d'abord donné lieu aux fractures anciennes, puis leurs effets tardifs se manifestaient par ces deux autres faisceaux de failles.

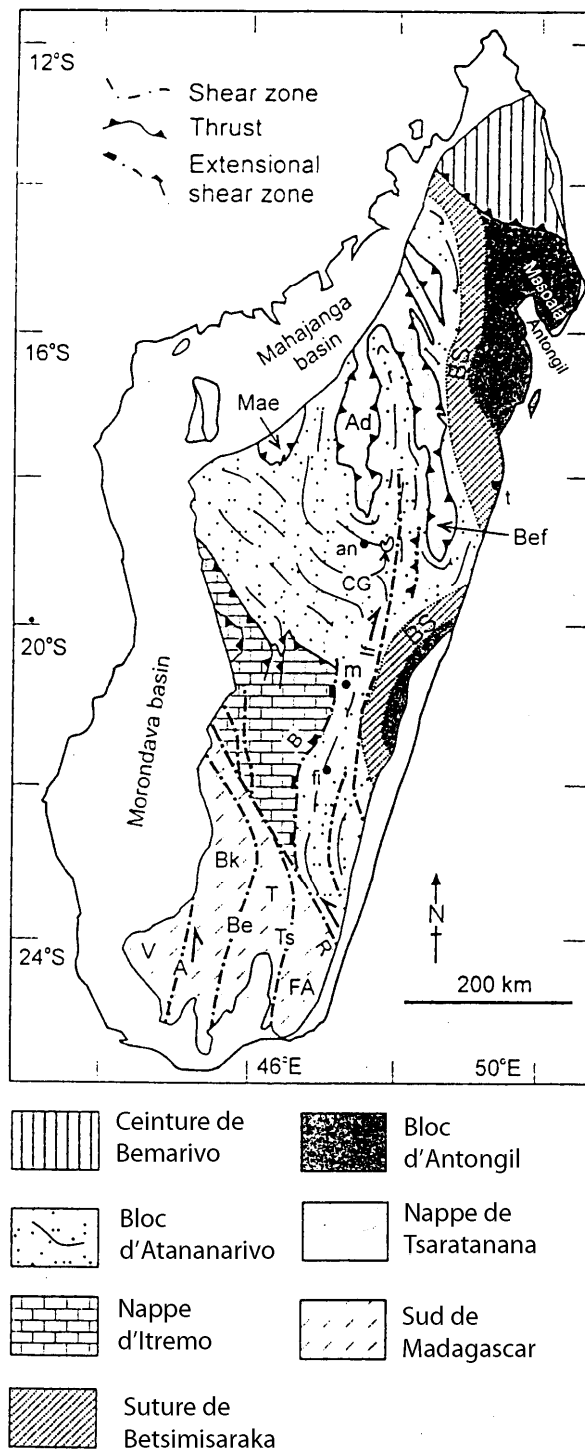


Figure 13 : Carte tectonique de Madagascar (Collins et al, 2000)



## **V.3.Système d'Information Géographique ou SIG et la télédétection**

### **a.Le SIG**

#### ***a.1.Définition***

Le Système d'Information Géographique permet de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, de combiner, d'élaborer et de présenter à partir des sources les informations localisées géographiquement. Il contribue notamment à la gestion de la surface. Autrement dit, un SIG est un ensemble de procédures manuelles ou informatique, automatiques, utilisé pour stocker, manipuler et gérer les données géographiquement référencées

#### ***a.2.Objectif***

Le SIG est un outil de gestion et d'aide à la décision à partir des données géographiques. Il joue alors un grand rôle dans l'aide à la décision, le suivi et le contrôle dans les études.

Le SIG permet de :

- Faire des traitements : sélection spatiale ou attributaires, croisement des données, calculs statistiques, ...
- Fabriquer des cartes
- Faire des requêtes

### **b.Aperçu par la télédétection**

#### ***b.1.Définition***

La télédétection est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques physique et biologique d'objet par des mesures effectuées à distance sans contact matériel direct avec ces derniers. C'est une discipline scientifique rassemblant le moyen et la méthode pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir des informations recueillies à distance.

#### ***b.2.Intérêts de son utilisation***

D'une manière générale, la télédétection présente beaucoup d'avantage. En géologie et en recherche minière c'est une technique qui permet d'obtenir des informations exploitables par l'exploitation des images de la surface terrestre. En ce qui concerne notre cas, on essaye d'expliquer les relations entre la minéralisation

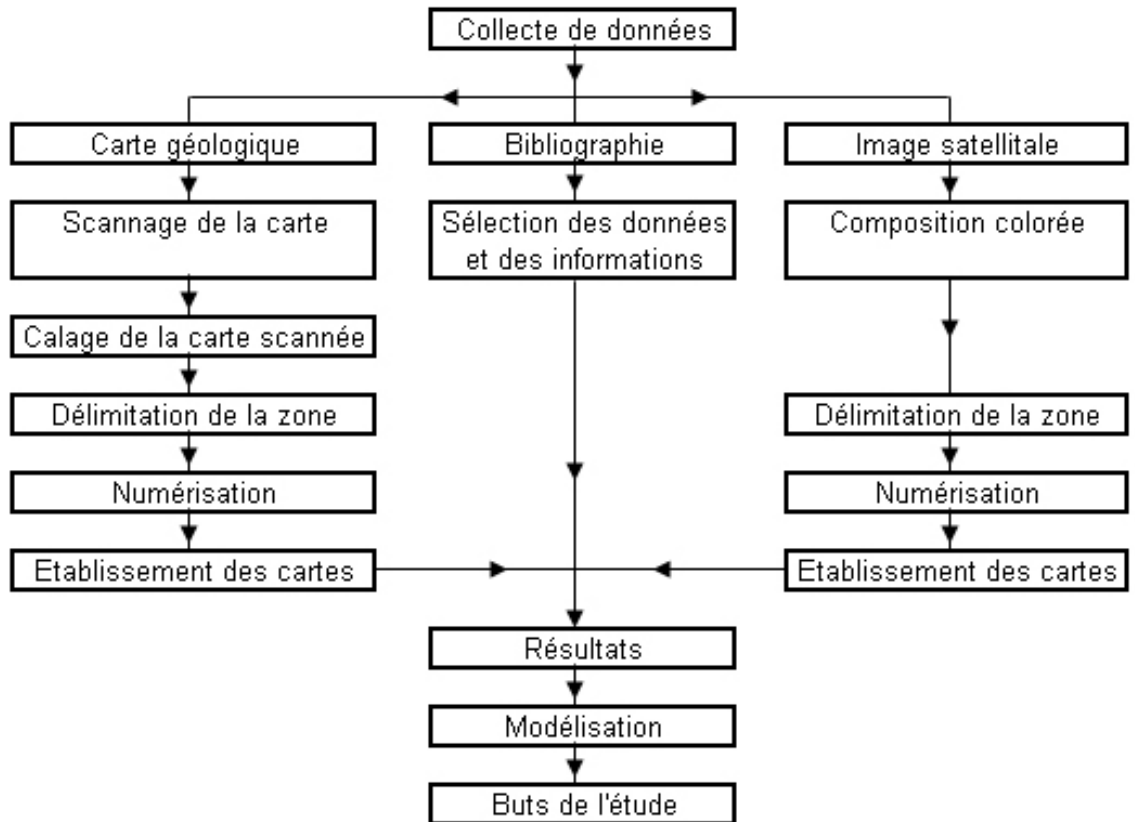
aurifère de la région d'étude et les structures régionales à partir de l'image satellitale.

## V.4. Buts de l'étude

Les principaux buts de notre étude sont :

- de répertorier à partir de la carte géologique les indices d'or et les éléments tectoniques à partir de l'image satellitale et la carte géologique,
- d'établir des relations entre les minéralisations aurifères et les structures de la région d'Andriba.

Pour atteindre ces buts, on suit la démarche suivante :



### a. Les données utilisées

#### a.1. Les données satellitales

On a utilisé une scène d'image LANDSAT ETM (Enchanced Thematic Mapper) N°I72159072; du 12 Mai 2000 Cette image a un bloc de résolution de :

- 30 mètres pour TM1-TM2- TM3- TM4- TM5- TM7
- 60 mètres pour les 2 TM6

- 15 mètres pour TM8

### ***a.2.BD 500***

Elle nous renseigne sur les formations géologiques, réseau hydrographiques, les infrastructures routières de la région d'Andriba.

### ***a.3.La carte géologique***

Elle est utilisée lors de la numérisation pour l'élaboration des cartes telles que :

- La carte des indices d'or,
- La carte lithologique,
- La carte des réseaux hydrographique.

Elle est utile pour l'interprétation des résultats.

## **b.Les outils informatiques utilisés**

### ***b.1.Le logiciel ADOBE PHOTOSHOP 7.0***

Elle est utilisée pour la réalisation des compositions colorées. L'amélioration des images est importante pour réaliser l'analyse et l'extraction d'information.

- Rehaussement de contraste

Les spectres d'image sont distribués suivant 256 tons. Lors de la numérisation, certains tons peuvent être absents et la distribution ne suit pas la courbe de Gauss. Cette opération vise à redistribuer les spectres présents en 256 tons et à ramener à une distribution normale.

On essaye de faire une meilleure composition de couleurs pour avoir une image plus proche de la réalité au sol. Cette opération a pour but d'obtenir les plus d'informations possibles à partir des meilleures images.

- Composition colorée

La composition consiste à combiner trois images (ou plus) correspondant à trois fenêtres spectrales de numérisation différentes en vue d'en constituer une image de synthèse. La sélection se fait en fonction des objets voulus quand on sait que :

- Le canal 1 révèle mieux les teintes naturelles,
- Le canal 2 est sensible aux matériaux métalliques,
- Le canal 3 révèle les déformations et les discontinuités,
- Le canal 4 est sensible aux oxydes de fer,
- Le canal 5 révèle l'eau des sols et de la végétation,

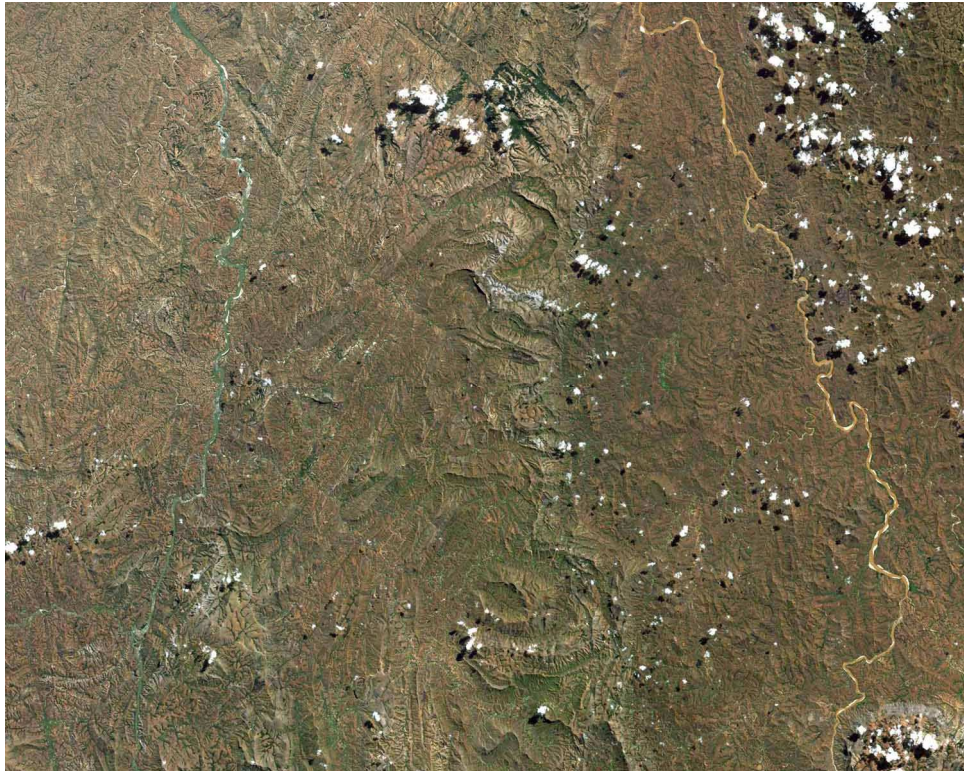
-Le canal 6 est sensible aux contrastes entre roches silicatées et non silicatées,

-Le canal 7 est bon discriminant des roches.

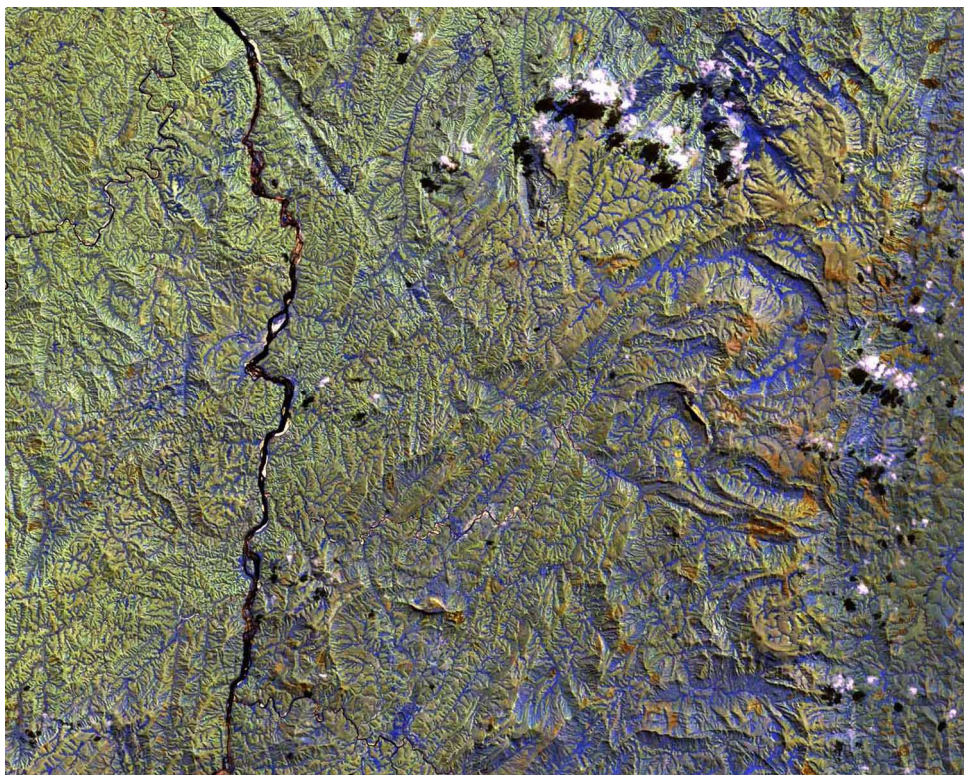
On travaille en général avec les combinaisons Rouge- Vert- Bleu. On utilise deux types de compositions colorées pour notre étude :

-Les canaux 321

-Les canaux 754



**Figure 14: Composition colorée 321**



**Figure 15: Composition colorée 754**

- Délimitation de la zone d'étude

La délimitation de la zone d'étude est faite à partir de ces images, et est limitée par quatre points déjà cités précédemment

### ***b.2.Le logiciel MAPINFO 6.0***

- Structuration des données sous MAPINFO

Il y a deux types de données sous MAPINFO :

- Les données vectorielles
- Les données sémantiques

L'ouverture d'une table MAPINFO fait intervenir au moins deux fichiers :

-Tab : fichier texte décrivant le format de fichier de données : structure de la table

-Dat : données de base de type tabulaire, qui peuvent provenir d'un fichier dBASE ou EXCEL,...

Il y a aussi des fichiers gérant l'information vectorielle :

- Map : description des objets graphiques,
- Id : références croisées qui assurent le lien entre les données et les objets,
- Ind : fichier index, qui permet de faire des collections

- Affichage d'une table

L'ouverture d'une table signifie l'ouverture des données géographiques de type carte ou bien des données textuelles de type tableau. Normalement, une table possède ces deux types d'information comme nous avons vu précédemment mais des cas particuliers se présentent comme les images raster, ils n'ont pas de données textuelles.

-Type de visualisation :

- Automatique,
- Données,
- Carte courante,
- Nouvelle fenêtre carte,
- Pas de visualisation : ouverture de la table sans tableau ni carte

-Contrôle des couches :

Chaque table possède des données géographiques correspond à une couche. Plusieurs tables peuvent être ouvertes en même temps de façon à superposer les couches cartographiques.

L'ouverture d'une fenêtre carte donne accès à la menuette carte, sous menu contrôle des couches.



Chaque couche peut être gérée par sous menus, quatre fonctions sont disponibles :

- Rendre la couche visible ou non,
- Rendre la couche modifiable ou non,
- Rendre la couche selectable ou non,
- Ajouter les étiquettes (= information textuelle contenue dans des champs à côté de l'objet cartographique à laquelle elle est rattachée)

L'ordre des couches dans la liste correspond à l'ordre d'empilement des couches géographiques.

-Affichage de l'information sémantique :

L'information textuelle est contenue dans des tableaux. Ces tableaux sont rendus visibles par la commande menu Fenêtre. Données.

A chaque table correspond un tableau sauf importation d'image type raster,

Chaque ligne correspond à l'information liée à un objet cartographique,

Chaque colonne correspond à un champ qui a été défini lors de la structuration de la base de données.

Pour accéder à l'information d'un objet précis sur la carte, il suffit de cliquer sur celui-ci à l'aide de l'outil i (i : information)

#### ▪ Numérisation

Le traitement d'image sur MAPINFO consiste à numériser les images améliorées afin d'extraire les informations thématiques. La numérisation suit les étapes suivantes :

- Créer une table (fichier, nouvelle table, nouvelle fenêtre carte et données)
- Enregistrer la table,
- Digitalisation

-Création d'une table :

Cela implique la création d'une planche d'information. Il est nécessaire de savoir que l'existence d'une information graphique entraîne l'existence d'une information sous forme de tableau.

Elle consiste à définir un champ minimum avec type et largeur, à définir un système de projection (non terrestre Kilométrique : Laborde) et entre les points de limite cartographique, et à nommer la table.

-Enregistrer la table :

Elle consiste à enregistrer la table sous forme de document pour préserver les points de calage.

-Digitalisation :

Elle consiste à choisir un style (polygone : surface, ligne, point) à passer en mode digitalisation, à saisir des nœuds. L'image numérisée n'apparaît pas lors de la première numérisation. Pour apparaître l'objet, appuyer « Ctrl K » ou bien Carte, afficher totale la couche.

Enfin, pour détecter :

- Les foliations, on suit les surfaces planaires répétitives, produites dans une roche à la suite d'une déformation,
- La faille, on observe les surfaces de discontinuité affectées d'un déplacement parallèle à leurs surfaces,
- Les cassures, on cherche les surfaces discontinues où il n'y a aucun déplacement ou le déplacement est trop petit pour être visible,
- Les structures annulaires : on doit suivre une surface circulaire où les cours d'eau sont divergents.

## **V.5.Les éléments tectoniques identifiés dans la région d'\_Andriba\_**

La géologie structurale est l'étude de l'agencement des différents composants de la terre à différentes échelle : au niveau des plaques, d'une région ou pays, d'un échantillon ou d'une lame mince. Le métamorphisme est un des ces phénomènes. L'étude de détail de ces roches métamorphiques permet de préciser le mécanisme, la succession et la nature des phases de déformations successives. Ces structures tectoniques qui résultent de la déformation initiale peuvent être repartis en déformation cassante et déformation plicative.

### **a.Déformation**

Dès sa constitution (métamorphisme, sédimentation, cristallisation,...), une roche est déjà soumise à des contraintes. Après avoir dépassé le seuil de sollicitation ou la limite d'élasticité et selon les conditions d'application des efforts, les matériaux se fracturent, fluent ou s'écoulent et ils enregistrent des déformations permanentes.

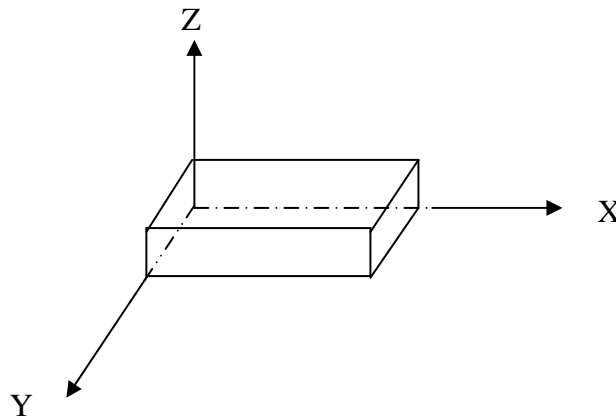
### **b.Trajectoire de foliation**

La trajectoire de foliation n'est autre que l'empreinte de la déformation des roches. Une foliation est une série de nouvelles surfaces planaires pénétratives et répétitives, produites dans une roche à la suite de la déformation. « Foliation » est un terme général englobant différents types de structures produites de différentes façons.



Dans la grande majorité des roches métamorphiques, l'alignement parallèle des grains allongés est visible au niveau des échantillons et aussi dans les lames minces.

L'élément planaire est parallèle ou presque parallèle au plan XY, et perpendiculaire à la principale direction de raccourcissement ou de compression.



### **c.Linéament**

Le linéament est un alignement structural. C'est une ligne droite marquée dans la morphologie comme les filons ou les tracés de cours d'eau. Ces linéaments peuvent être interprétés différemment suivant les effets qu'ils donnent. Ils peuvent être des failles, cassures ou des lignes morphologiques. Si il s'agit d'une faille ou cassure, on remarque une évidence d'interruption locale de la trajectoire de foliation, c'est-à-dire qu'il y a un décalage.

### **d.Déformation plicative**

La déformation plicative est due à l'augmentation de la température qui rend la matière plus ductile. On parle de déformation plicative lorsque tous les couples de points infiniment voisins à l'état initial sont de nouveau voisins à l'état final.

Il y a deux types de déformation plicative : la déformation plicative homogène et la déformation plicative hétérogène.

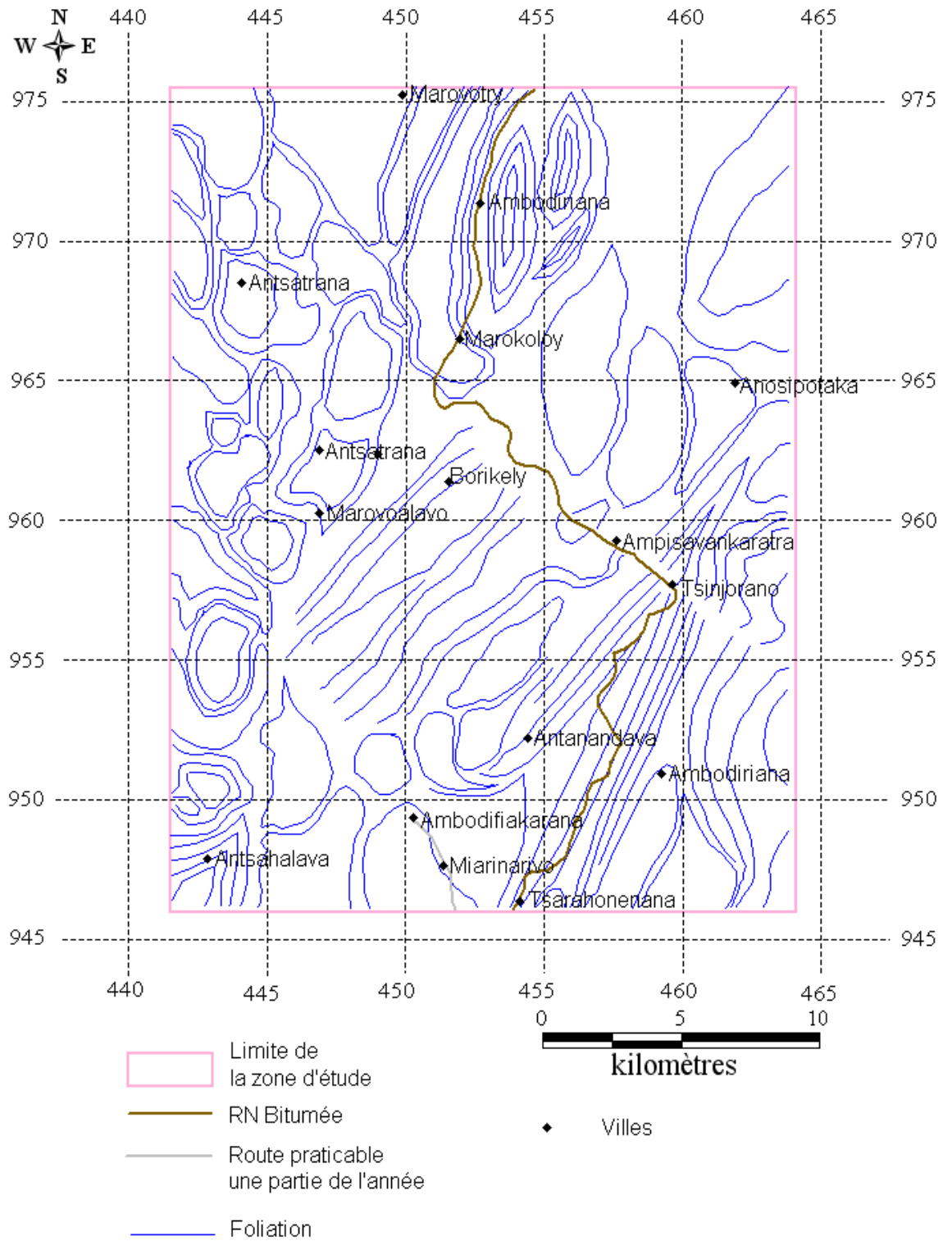
#### ***d.1.La déformation plicative homogène***

Pour ce type de déformation, toutes les droites à l'état initial restent des droites à l'état final comme la schistosité, la linéation, la foliation.

### ***d.2.La déformation plicative hétérogène***

Elle apparaît lorsque certaines droites à l'état initial changent de forme, par exemple les plis.

Dans notre zone d'étude, la déformation plicative majeure, bien visible sur l'image satellitale est la foliation. On choisit les canaux 321 afin de réaliser la carte représentant cette structure.



Conception et réalisation: RALAMBOSOA Hobiniaina  
Source: Image Landsat, Carte géologique

**Figure 16: Carte de la trajectoire de la foliation**

Razafimalala (1998) a remarqué l'existence d'un plissement anticlinal à l'Ouest du fleuve Ikopa et pendant son investigation sur terrain, l'auteur constate également des inversions fréquentes de pendages de différentes formations.

La foliation se présente ici sous différentes formes, elle est marquée par la présence des structures fermées, elliptiques, généralement allongées dans la direction Nord Est – Sud Ouest. Dans la partie Sud Ouest de la zone d'étude, on observe des couloirs linéaires qui séparent ces structures fermées. Ils ont la même orientation.

La trajectoire de foliation dessine un recouvrant presque en pointe de flèche, marquant ainsi le passage probable d'un plan axial redressé d'un pli.

A l'Ouest de l'Ikopa, les trajectoires de foliations sont presque fermées tandis que de l'autre côté, elles présentent une allure mixte (fermée et linéaire) marquant ainsi un boudinage possible.

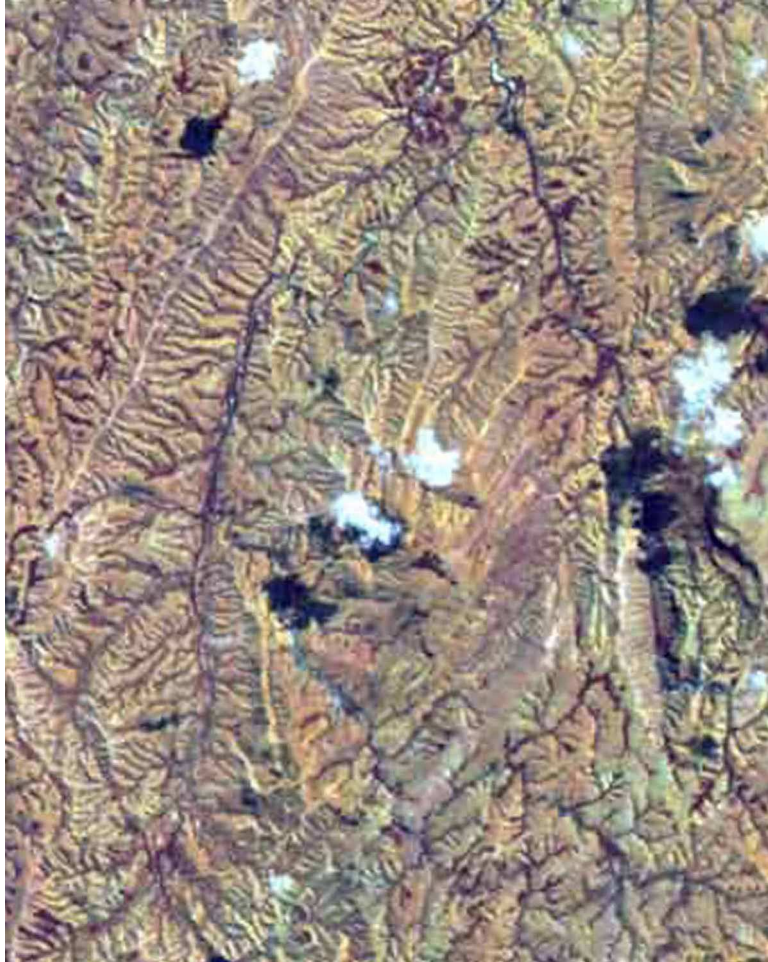
On remarque qu'il y a deux catégories de structures en géométrie fermée :

-La première catégorie de petite taille se trouve dans la partie supérieure de la série d'Andriba et affecte essentiellement les gneiss. Cette structure est caractérisée par un ensemble de lignes fermées concentriques et tel que deux anneaux contigus présentent des écoulements différents des eaux : si dans l'un, les eaux entrent (donc en dépression), de l'autre sortent les eaux (donc en relief). Ceci est typique d'une structure en dômes et bassins.



**Figure 17: mise en évidence des structures en dômes et bassins**  
**(Composition colorée 531)**

-La deuxième, de plus grande taille affecte la zone moyenne, accompagnée des structures linéaires. C'est la zone de migmatite avec gneiss. Elle est typique d'une structure de boudinage avec des figures géométriques fermées allongées autour desquelles les trajectoires de foliation forment des lignes en torsade entre deux figures fermées.



**Figure 18: mise en évidence d'une structure de boudinage**  
(Composition colorée: 531)

Dans la partie migmatitique, zone inférieure, les structures linéaires sont les plus abondantes. Les trajectoires de foliation dessinent des lignes en serpentins étirés avec des étranglements. Cette figure est celle d'un replissement.

### **e.Déformation cassante**

Les marqueurs de la déformation dans les roches sont souvent des ruptures de la foliation. Les matériaux perdent leur cohésion et peuvent être considérés comme étant des plans ou des surfaces de discontinuité. Cette déformation est due à la défaillance progressive d'un réseau de craquelures. Deux types de fractures sont connus : les failles et cassures.

### ***e.1.Les cassures***

La cassure est la surface de discontinuité qui résulte de la rupture d'une roche et qu'il n'y a pas eu de déplacement des blocs. Sur l'image satellitale, on observe que l'Ikopa coule dans une rupture de la structure régionale. La rivière est large et a une direction Nord -Sud. On rencontre cette structure dans les formations gneissiques.

### ***e.2.Les failles***

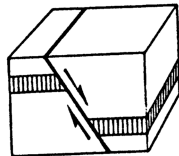
Les failles sont des discontinuités planes selon lesquelles un déplacement s'est produit. L'extension d'une faille peut varier de quelques mètres à plusieurs dizaines de kilomètre.

Les déplacements possibles peuvent se ramener à trois types pour des conditions proches de la surface où deux directions principales de contraintes sont contenues :

- Dans un plan parallèle à la surface,
- Plan perpendiculaire à la surface.

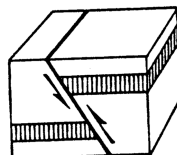
Il existe trois types de failles selon la direction de ces contraintes :

- Les failles normales : la contrainte principale de compression est verticale. Elles correspondent à un allongement dans le plan horizontal.



**Figure 19: faille normale**

- Les failles inverses ou chevauchantes : la contrainte maximale est horizontale, et la contrainte minimale verticale. Elles correspondent à un raccourcissement dans le plan horizontal.



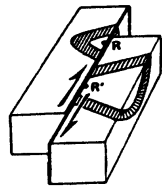
**Figure 20: faille inverse**

- Les failles de décrochement horizontal : les deux contraintes maximale et minimale sont horizontales.

Pour le cas de notre étude, on s'intéresse au troisième type. On détermine le déplacement horizontal sur l'image satellitale, c'est-à-dire qu'on doit chercher le décalage des compartiments à l'aide d'un ou plusieurs repères.

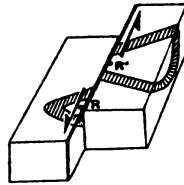
Le décrochement peut être dextre ou senestre.

-Décrochement dextre :



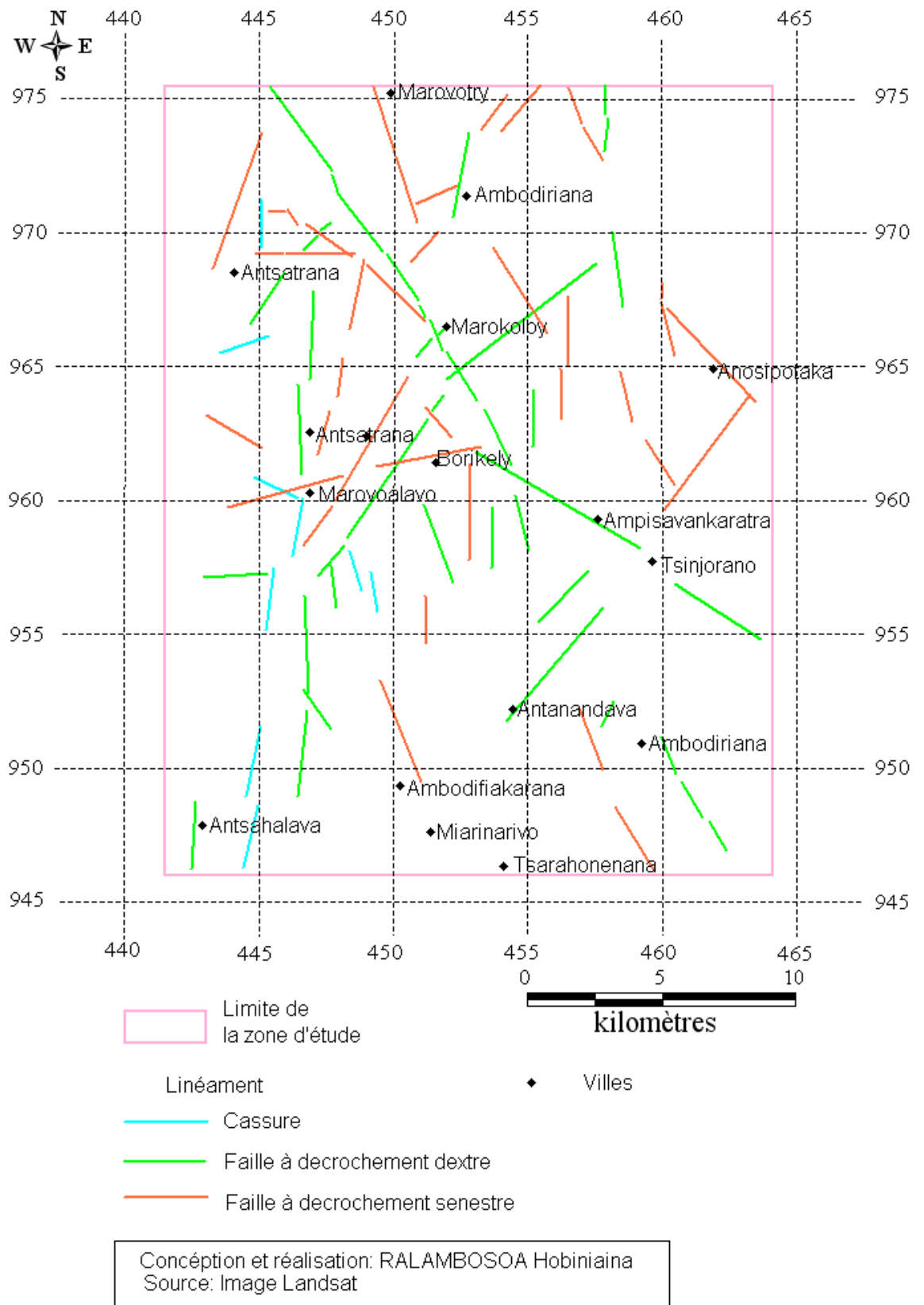
**Figure 21: décrochement dextre**

-Décrochement senestre :



**Figure 22: décrochement senestre**





**Figure 23: Carte représentant les linéaments de la région d'Andriba**

Globalement, la région d'Andriba est très faillée. Les fractures sont très fréquentes aux Nord, Centre Ouest et au Sud Ouest de la zone d'étude, tandis que la partie migmatitique au Sud – Est ne contient presque pas de déformation cassante.

Deux familles de direction de failles sont observées sur l'image satellitale : l'une de direction préférentielle NE – SO et l'autre NO - SE. Chronologiquement, comme nous avons déjà mentionné dans le chapitre précédent, c'est la famille de direction NO – SE qui recoupe la famille d'orientation NE – SO.

Le nombre des failles de décrochement dextre et senestre est à peu près le même :

**Tableau 5 : Classification des linéaments**

Déformation cassante		Fréquence	Pourcentage
Cassure		9	10.23
Faille à décrochement	Dextre	41	46.59
	Senestre	38	43.18
TOTAL		88	100

A grande échelle, l'extension de ces failles varie entre 600 m et 7100 m mais à une échelle plus petite, elle peut atteindre jusqu'à 20 Km.

Les failles se trouvent dans les zones supérieure et moyenne de la région, c'est-à-dire dans les formations gneissiques avec migmatite.

Les diagrammes suivants montrent la direction générale, les longueurs cumulées des linéaments (données détaillées : voir annexes)

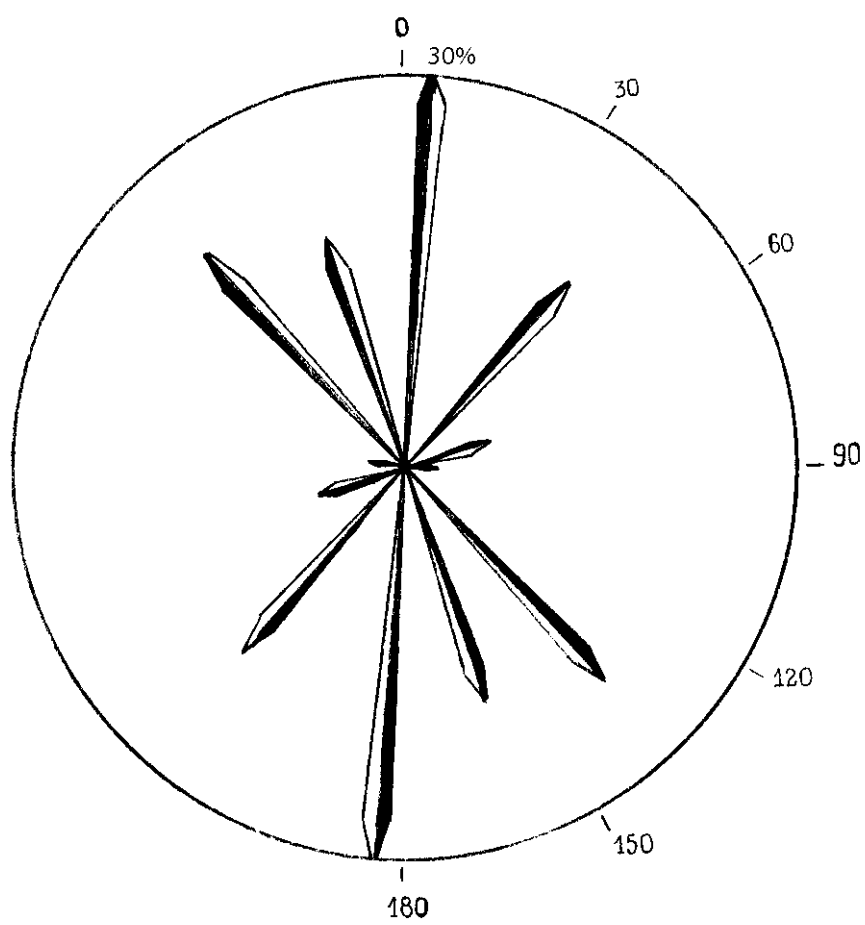


Figure 24: Extensions cum ulées des linéaments

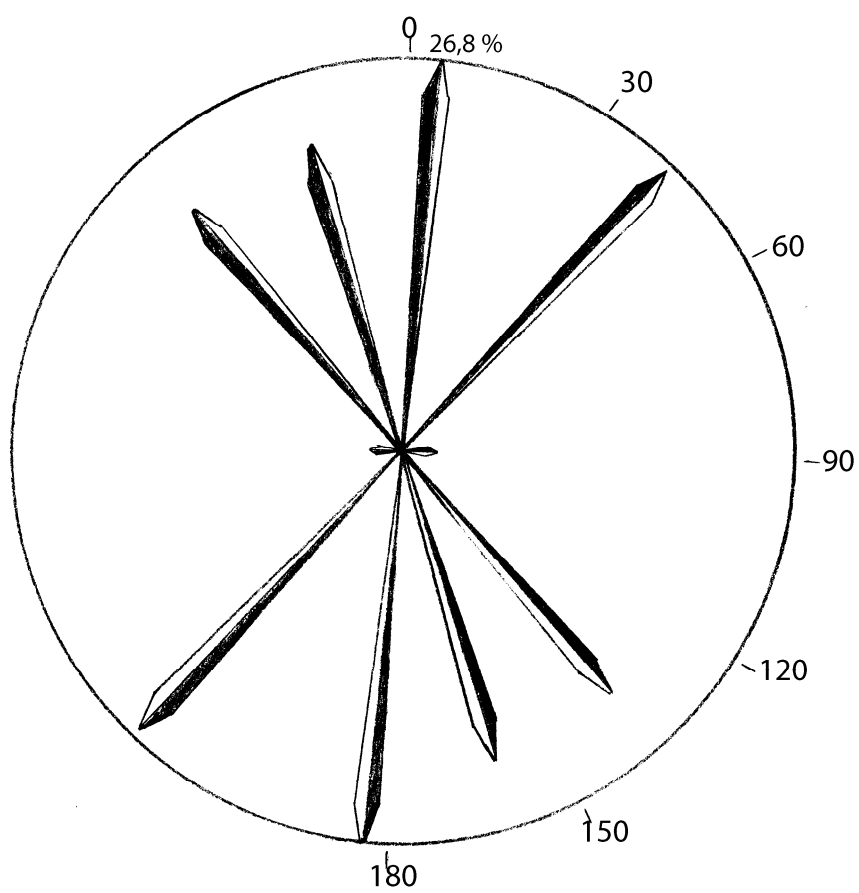


Figure 25: Direction générale des failles dextres

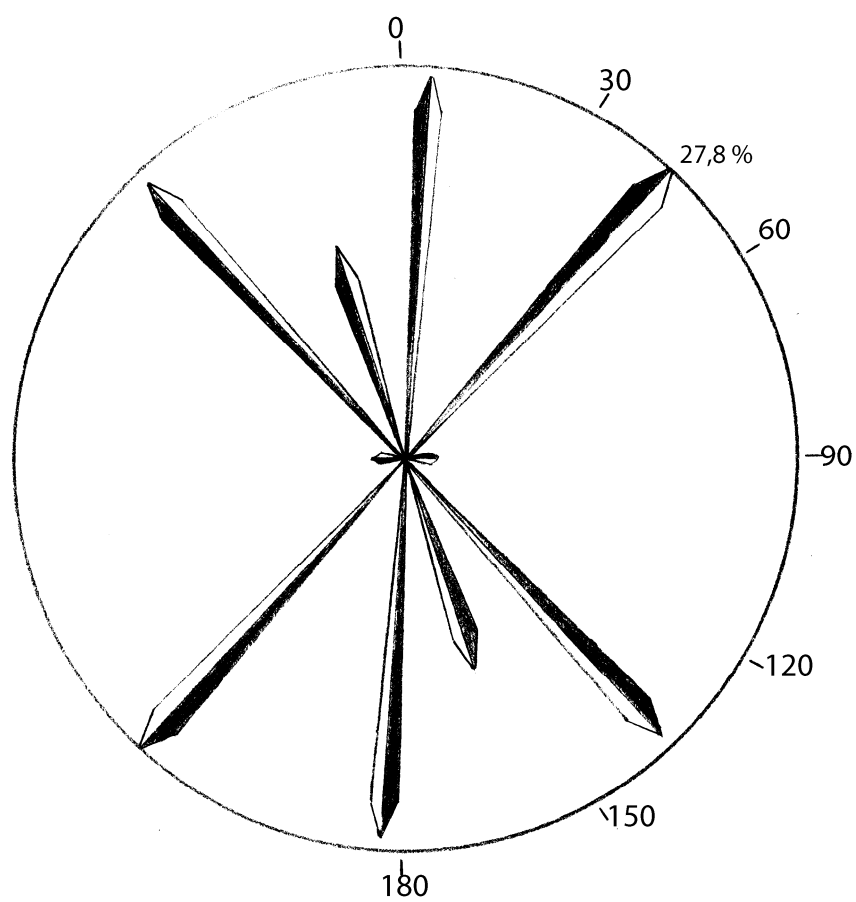
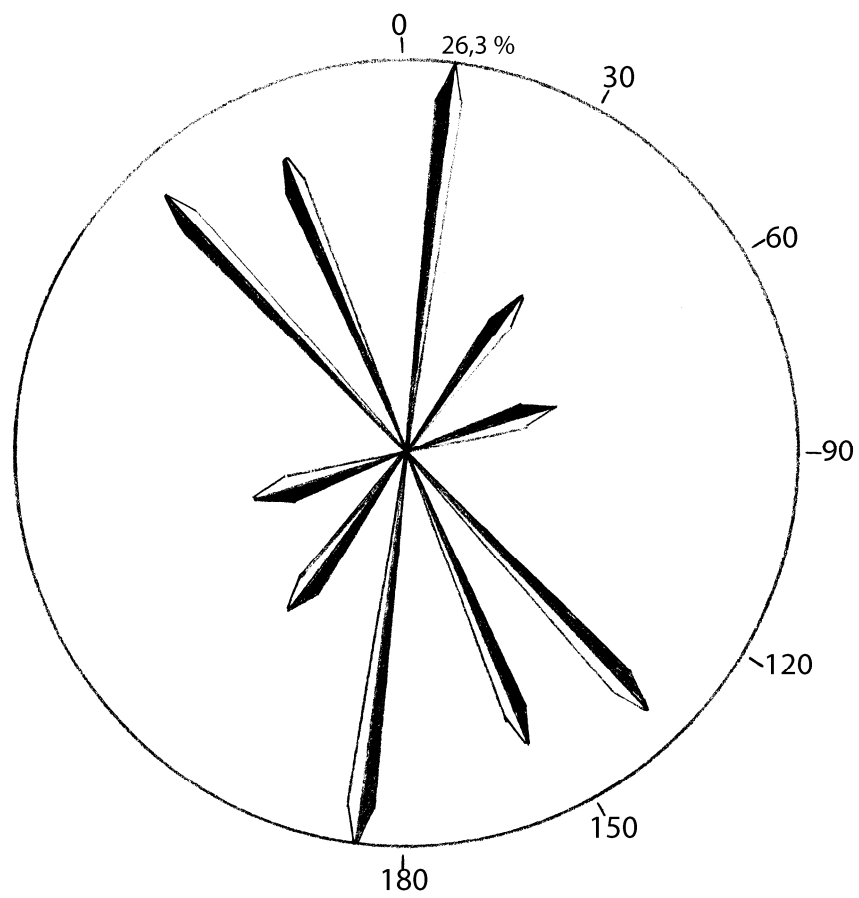


Figure 26: Extension cumulée des failles dextres



**Figure 27: Direction générale des failles senestres**

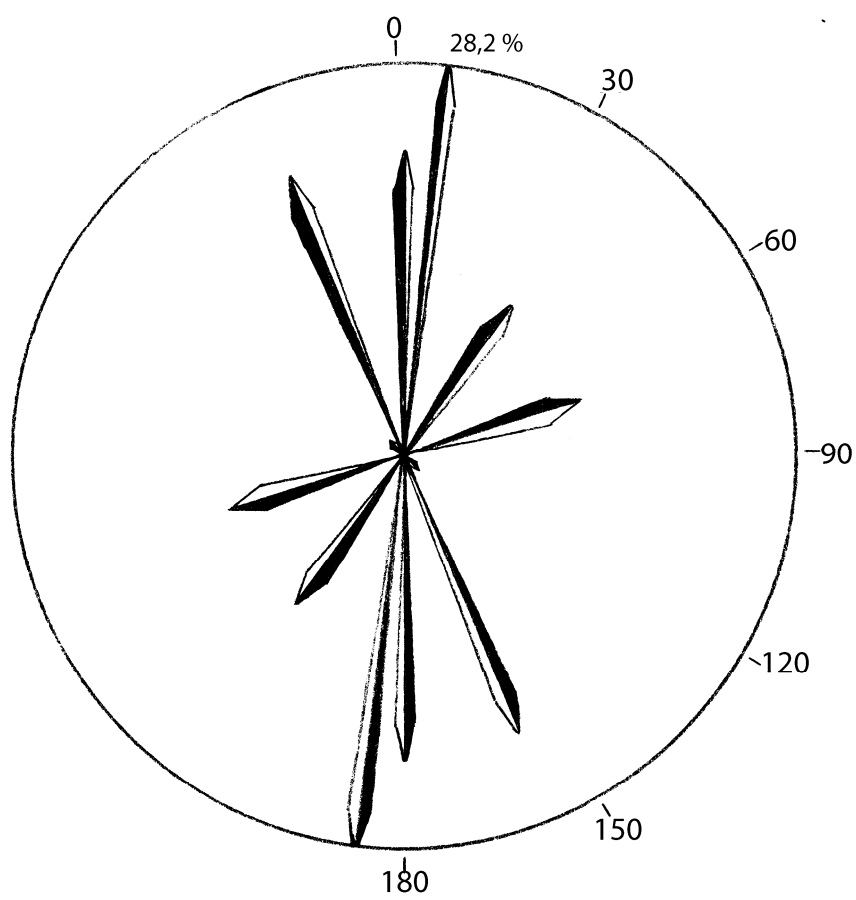


Figure 28: Extension cumulée des failles senestres

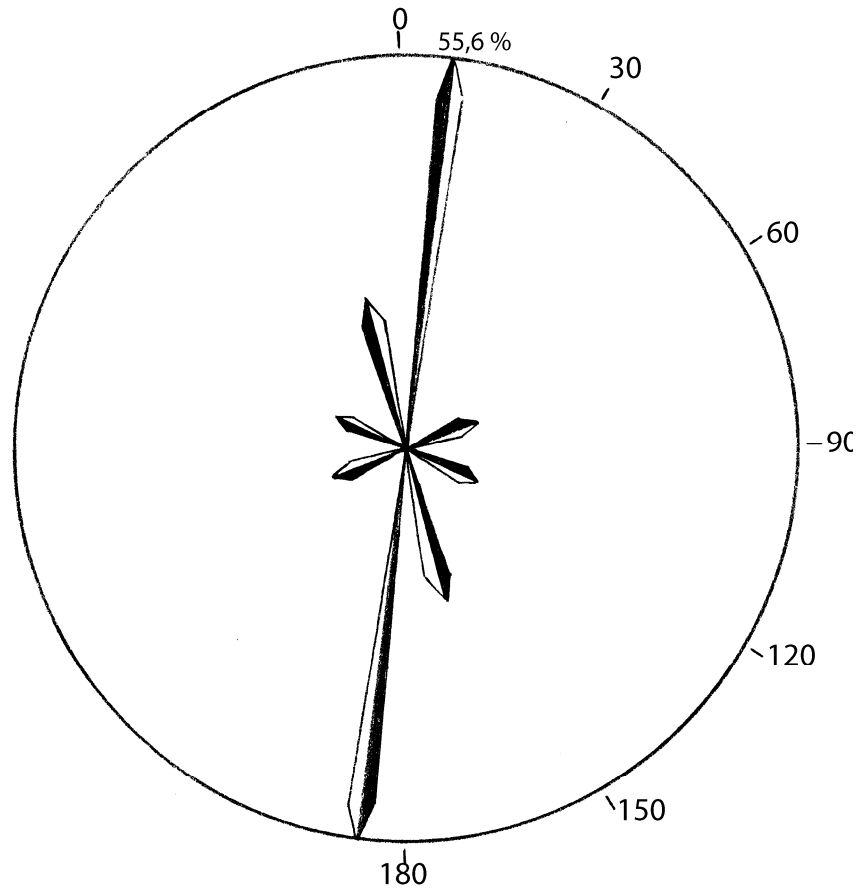


Figure 29: Direction générale des cassures

## V.6. Analyse et interprétation

Une tectonique à plusieurs phases est à l'origine des cassures et des failles de l'échelle métrique à kilomètre.

D'après la carte de la trajectoire de la foliation, la région est plissée. L'allure de la direction générale de la foliation nous donne une idée telle que les roches peuvent être soumises à des forces de compression, et de ces faits, la région subit une fracturation importante.

Comme nous avons déjà remarqué, les formations essentiellement gneissiques sont plus fracturées, faillées. Par conséquent, les réseaux hydrographiques se ramifient dans ces zones et favorisent la circulation des éléments tel que l'or.

D'après l'étude statistique précédente, on constate que les failles de décrochement dextre et senestre se répartissent dans les deux groupes de fractures (NO -SE et NE -SO). Du point de vue longueur, c'est le groupe de direction NO -SE qui contient la faille la plus longue (7100m) avec une échelle



d'étude 1 cm = 2000 m (1cm sur la carte représente 2000 m sur terrain) ; c'est une faille de décrochement dextre.

A une échelle plus petite (1 cm = 4000 m), la faille peut atteindre jusqu'à 22000 m (ou 22 km) et elle appartient à la famille du NO -SE.

En observant l'image satellitale, on remarque que les fractures qui ont affecté d'autres (qui leurs sont antérieurs) sont plus grandes par rapport à ces derniers.

Les différentes formes de la foliation permettent de dire que la déformation est hétérogène. Le mécanisme dépend des efforts appliqués sur les roches. Dans notre cas, il y a au moins une couple de forces qui est responsable de cette déformation.

Comme nous avons déjà constaté, il y a des formes linéaire et fermée. L'allure de ces foliations nous renseigne sur la nature de la déformation (compressive, distensive, plissement, replissement, intrusion...)

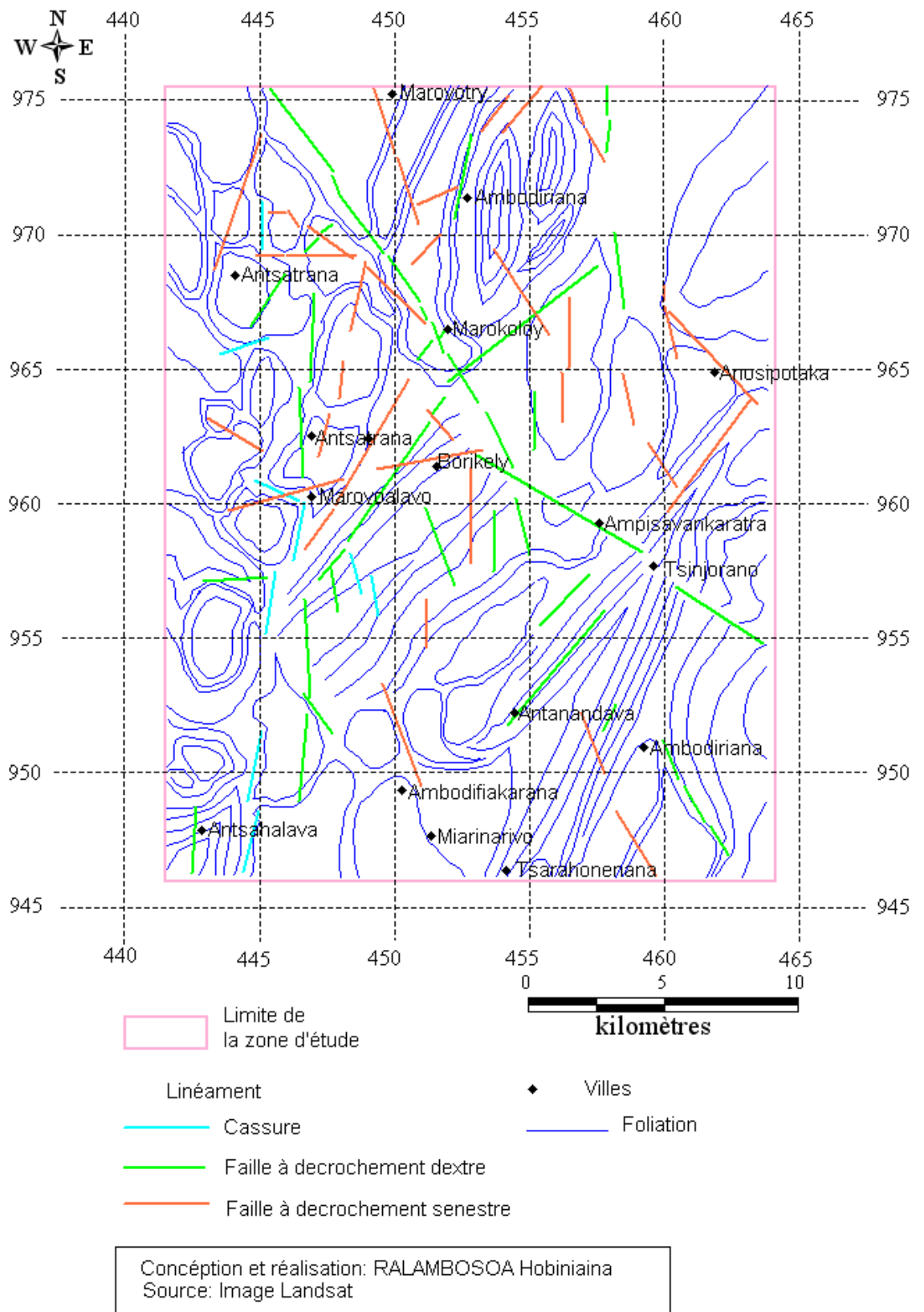
Le comportement des roches en rapport aux contraintes qu'elles reçoivent dépend de leurs natures lithologiques et des conditions thermodynamiques régnautes.

Au niveau de la formation gneissique, sous l'effet de contraintes, la trajectoire de foliation est fermée et forme plusieurs unités,

Pour la zone migmatitique gneissique, l'allure générale de la foliation est encore fermée mais avec une taille plus grande. Au Sud -Est de cette formation on rencontre des foliations linéaires parallèles,

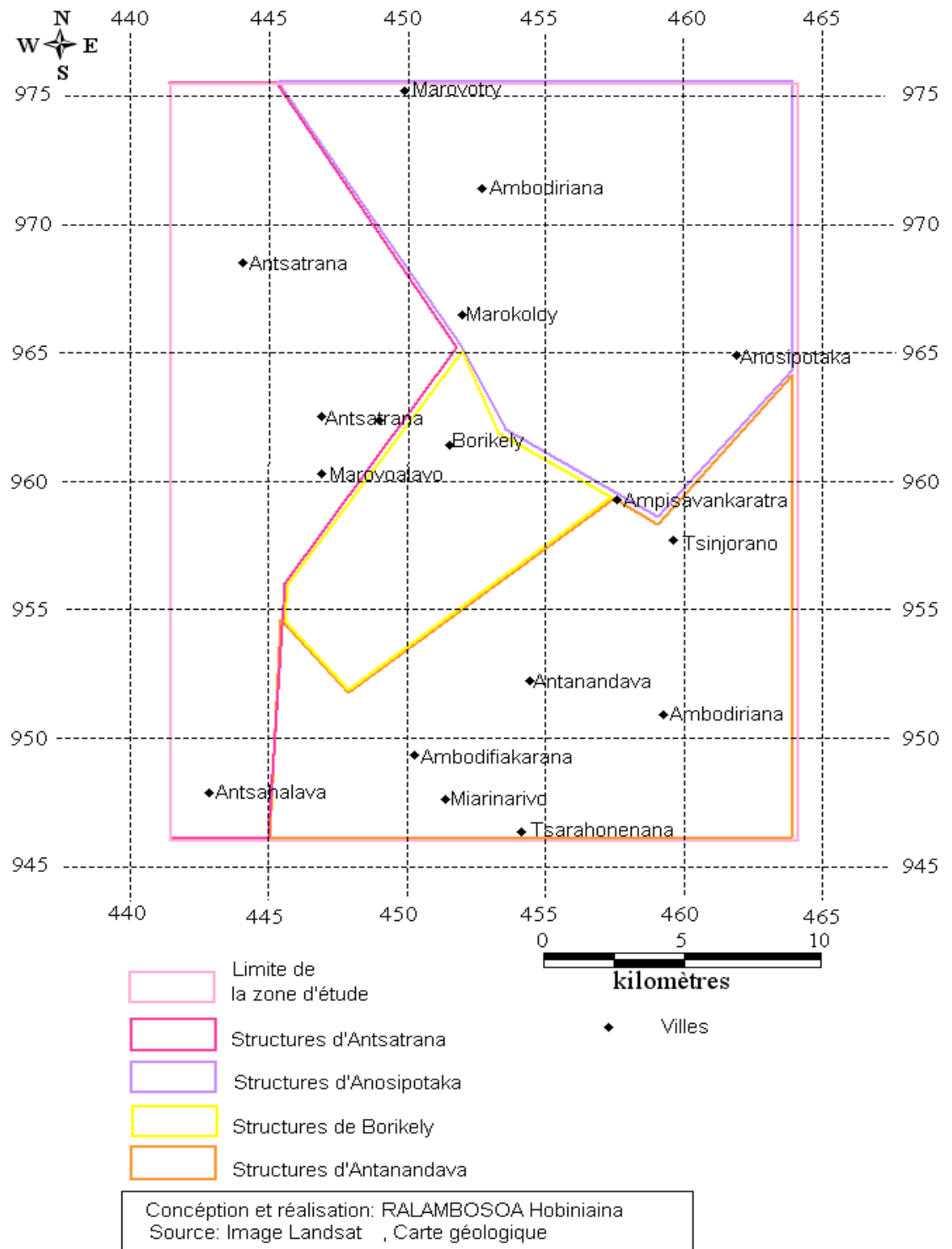
La formation migmatitique donne une trajectoire de foliation courbée.

Ces déformations nous indiquent la souplesse de la région migmatitique et la rigidité de la formation gneissique.



**Figure 30: Foliation et déformation cassante**

Cette carte qui juxtapose la foliation et la déformation cassante permet de distinguer quatre domaines d'homogénéité structurale



**Figure 31: Carte des domaines d'homogénéité structurale**

Le premier domaine d'homogénéité structurale d'Antsatrana est constitué de foliations spécifiques fermées et discontinues entre eux. On y trouve une petite partie de la zone inférieure de Maevatanana et la zone moyenne d'Andriba, mais l'essentiel de cette partie est formée par la zone supérieure d'Andriba. Elle est marquée par les failles et cassures qui séparent ou coupent les foliations. La densité des failles et cassures est respectivement 0,12 faille / km<sup>2</sup> et 0,039 cassure/km<sup>2</sup>. Les roches les plus affectées par ces déformations cassantes sont les gneiss et les quartzites à magnétite.

Le deuxième contient des fractures plus fréquentes avec une densité de 0,16 faille / km<sup>2</sup>. L'allure générale de la foliation est encore fermée, en forme de boudins de grande taille. On y rencontre les zones inférieures de Maevatanana, zone supérieure d'Andriba et surtout la zone moyenne d'Andriba qui est formée de gneiss et quartzite à sillimanite.

Le troisième est le plus petit en surface, il est marqué par des foliations linéaires. La densité des failles est de 0,22 faille / km<sup>2</sup>, où les roches affectées sont les granites, les migmatites et les quartzites à magnétite de la zone supérieure et moyenne d'Andriba.

Le quatrième et le dernier domaine d'homogénéité structurale est peu faillé (12 failles inventoriées) avec une densité de 0,059 faille / km<sup>2</sup>. Cette partie est formée de migmatite, granite, aplite et charnockite (Rantoanina, 1967) des zones moyenne et inférieure d'Andriba. Elle est marquée par une foliation virguée

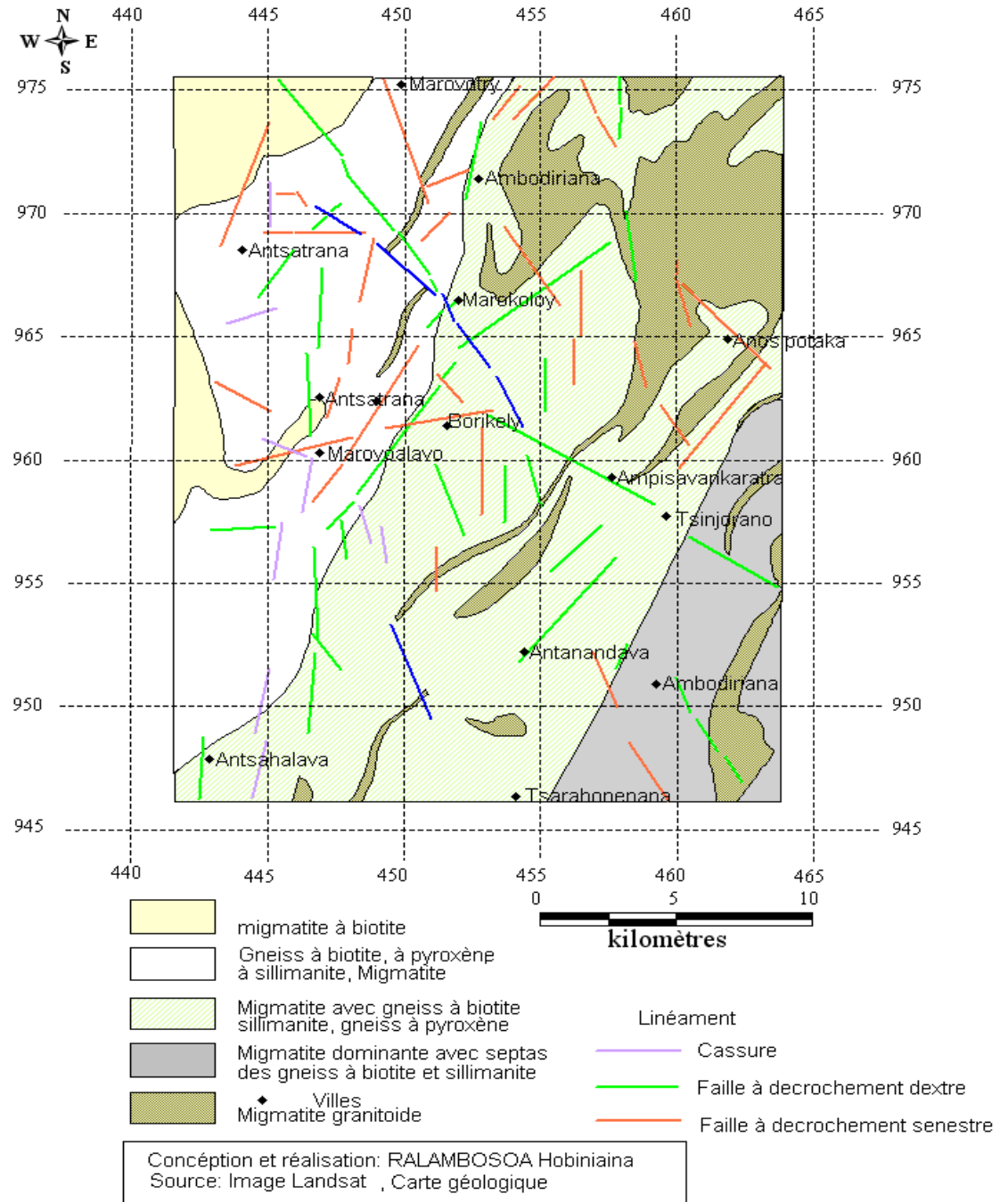
## **V.7.Modélisation structurale**

La zone d'étude se trouve dans le domaine central qui est le plus complexe et le plus varié du point de vue structural. Il est caractérisé par la présence des structures variables.

Cette variation est causée par la superposition de plusieurs phases de déformations.

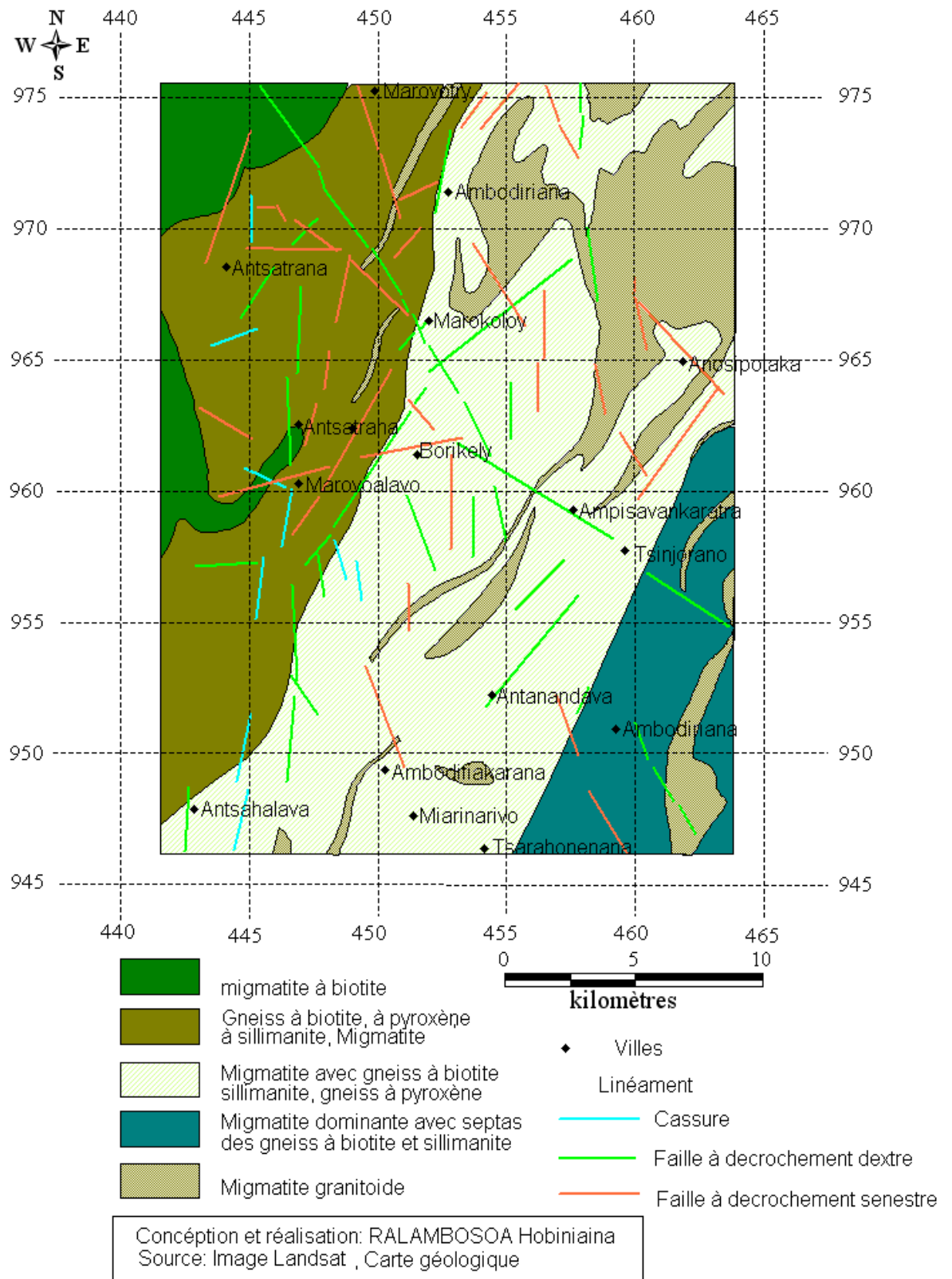
## **V.8.Modélisation tectonique**

Les failles colorées en bleu au Nord et au Sud de la zone d'étude marquent qu'il y avait un mouvement de déformation au niveau de la région dont la direction est parallèle à ces failles (NO –SE). La continuité lithologique est très nette sur cette carte.

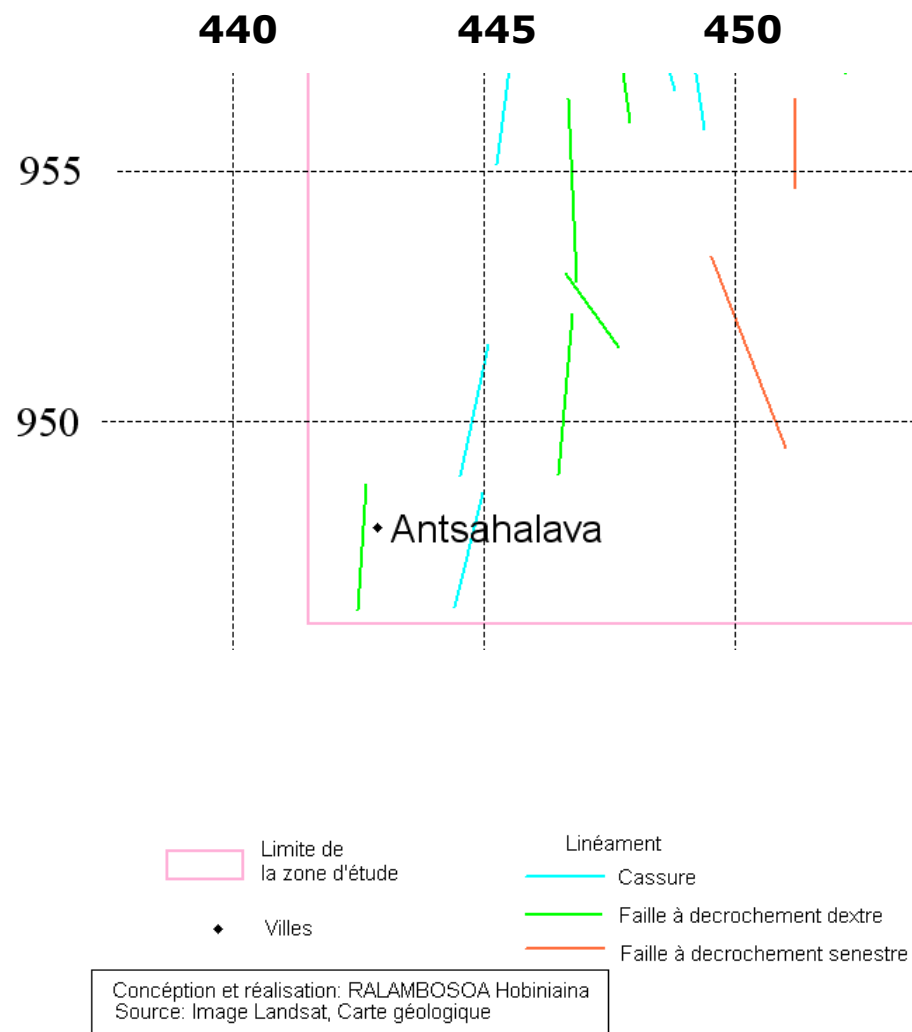


**Figure 32 : carte qui met en évidence les déformations des structures**

D'une part, des fractures sont dues au mouvement de compression vu la fermeture et la courbure de la trajectoire de foliation dans le premier et quatrième domaine d'homogénéités structurales sus cités. D'autre part, l'existence des boudinages et des foliations linéaires nous incite à penser que certaines déformations cassantes naissent à partir d'étirement.



**Figure 33: Lithologie et déformation cassante**



**Figure 34: failles**

Cette figure (34) nous permet d'établir la chronologie des mouvements avec la méthode d'élimination des effets des failles. La faille de direction NS est la plus ancienne avec un décrochement dextre, elle recoupe la faille à décrochement dextre d'orientation SE qui est la plus récente.

On observe que les boudins du deuxième domaine d'homogénéité structurale est cadré par des failles d'orientation NE, NNE, et SE, ESE.

Les failles à décrochement dextres colorées en bleu (figure 33) de direction NO – SE sont l'empreinte d'un mouvement qui est à l'échelle kilométrique et provoque la déformation de la formation géologique de la région. Nous savons que la virgation du bloc d'Antananarivo se manifeste par une inflexion vers l'Ouest des lignes structurales (N – S). Nous pensons alors que la cinématique engendrant la déformation est en relation avec ce plissement.

Des fois, on n'arrive pas à distinguer le sens de déplacement, comme dans le cas du tracé de l'Ikopa. On ne peut pas détecter sur l'image satellitale le mouvement des deux compartiments. On les assimile alors à des cassures qui sont visiblement de direction N – S.

Globalement, l'Ikopa a un tracé conforme à la direction générale de la déformation. Les sinus de cette rivière ont donc une relation avec les contraintes de déformation.

Sur l'image satellitale, les plissements sont également observés mais on ne voit pas vraiment leur déversement. Ils marquent la ductibilité de ces formations.

## **V.9.Modélisation structurale**

D'après les structures que nous avons vues antérieurement, il y a trois grands événements géologiques qui auraient affecté la région.

Le premier est la mise en place des formations géologiques : plutonisme et métamorphisme,

Le deuxième est le plissement du bloc d'Antananarivo dont on trouve des témoins dans la zone d'étude,

Enfin, cet ensemble plissé est repris par des événements compressifs et d'étirement



## **CHAPITRE VI : GITOLOGIE DE L'OR D'ANDRIBA**

### **VI.1. Historique**

A Andriba, l'exploitation de l'or débutait vers 1884 dans la vallée de Nandrojia. Depuis cette époque, une intense prospection est en mise en exploitation par divers organismes miniers, aboutissant à de plusieurs gisements.

La région d'Andriba renferme des indices d'or alluvionnaires et primaires.

Les alluvions ont depuis longtemps et jusqu'à nos jours, fait l'objet d'exploitation artisanale tandis que les gîtes primaires ont été explorés dans leurs parties superficielles par les colons et actuellement par des Malgaches.

388 concentrés de minéraux lourds provenant des lavages d'alluvions, éluvions et latérites de formation en place ont été prélevés et étudiés par Razafimparany (1966). 253 de ces concentrés se sont relevées aurifères et donnent les caractéristiques suivants :

Pourcentage d'échantillon Aurifère (%)	Teneur en or (g/m <sup>3</sup> )
80	< 0,5
13,5	<1 et > 0,5
6,5	> 1 et exceptionnellement 4,05

L'or primaire a une teneur allant de 0,50 à 10 g/t (cas de Tainangidina, Bejofo, Antsatrana)

### **VI.2. Place économique de l'or d'Andriba**

Tel qu'il a été mentionné au chapitre II, le prix de l'or de Maevatanana influence celui de toute l'Ile. Et comme Andriba appartient à la sous préfecture de Maevatanana, le prix de son or n'est pas à négliger.

Dans la vie communautaire, l'or joue un grand rôle parce que 30 % des habitants d'Andriba sont des orpailleurs. Cette information a été obtenue lors de la mission de visite effectuée par les agents de l'OMNIS en Mars 2005 par des contacts auprès des autorités locales.

Le tableau ci dessous montre l'importance de l'or dans la vie communautaire de la région et ses environs (source : OMNIS)

**Tableau 6 : Importance de l'or dans la vie communautaire de la région**

Communes		Andriba	Antanimbary	MaevatananaI (commune urbaine)	MaevatananaI (commune rurale)
Nombre d'habitant		9000	6400	-	-
Nombre d'orpailleur		2700	± 4000	-	2000
Pourcentage		25 à 30	± 62,5	-	-
Collecteur ou sous collecteur	Informel	oui	oui	oui	oui
	Formel	néant	néant	non	04
Orpailleur	Informel	oui	oui	oui	oui
	Formel	néant	néant	-	non
Prix	Ar / g	20.000	22.000	22.000	20.000
Poids total par zone de l'or extrait	Jour	2g à 3g	-	-	1Kg
	Semaine	14g à 21g	2,5 à 3Kg	-	± 7Kg

Lors de cette mission, il a été constaté que (OMNIS, 2005) :

-Pendant le jour du marché hebdomadaire d'Antanimbary qui a lieu chaque Samedi, la quantité d'or qui y circule varie de 2,5 à 3 Kg (Source : Maire d'Antanimbary)

-La production d'or dans la commune rurale de Maevatanana a été abondante avant l'année 2000 selon l'Adjoint au Maire

-Le principal fournisseur en or du marché hebdomadaire d'Antanimbary est la commune d'Antsiabositra (Maire d'Andriba)

-L'opération d'orpaillage s'effectue dans 14 fokontany sur 24 quoique 62,5 % de la population d'Antanimbary pratique l'orpaillage toute l'année (Maire de la commune rurale de Maevatanana)

-Les principaux collecteurs informels des produits sont les Indiens qui habitent à Maevatanana et les collecteurs nationaux de Maevatanana et d'Antananarivo représentent par des sous collecteurs régionaux,

Les Maires souhaitent :

-L'implantation du comptoir de l'or

-La délivrance des cartes de collecteurs, l'orpailleur (au niveau des communes), des cartes d'acheteurs et de revendeurs (au niveau des provinces) par application de la loi en vigueur,

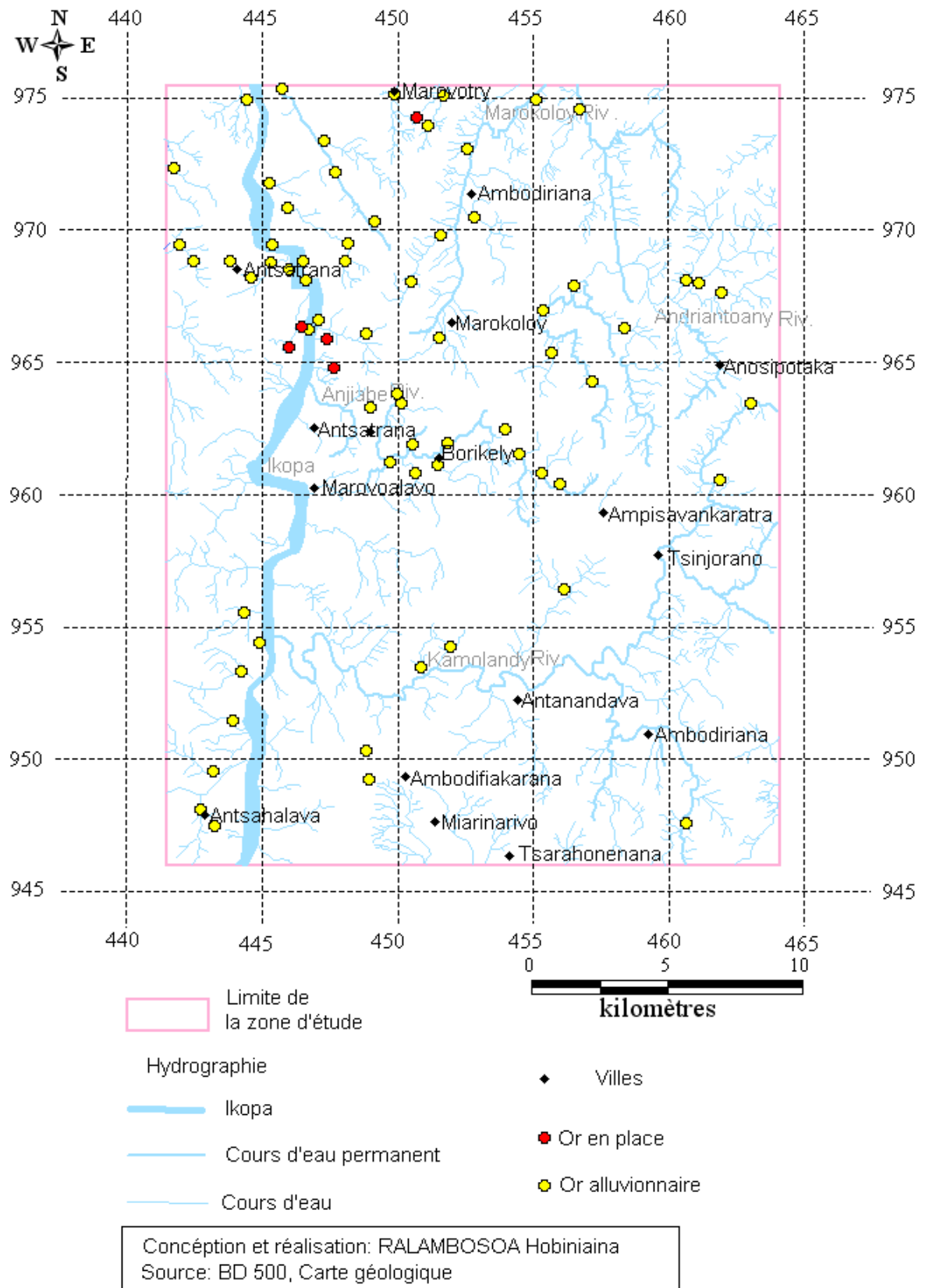
-Le suivi de la circulation de la substance,

-L'impact positif de chaque territoire (par exemple le ristourne au niveau provincial, régionale, communal, fokontany, social et économique)

Des campagnes de sensibilisation ont été menées au niveau de la région et des communes concernées respectivement par le MEM et le PGRM et momentanément par l'OMNIS.

L'équipe de l'OMNIS a souligné que les prix du gramme d'or sont fluctuants et ils sont définis par les paramètres suivant la périodicité saisonnière :

- Le prix maximum du gramme d'or atteint 24 000 Ar à 25 000 Ar durant la saison de pluies,
- Prix minimum du gramme d'or est de 15 000 Ar à 16 000 Ar en Octobre et Novembre (source : Maire d'Andriba)



**Figure 35: Carte des indices d'or**

D'après cette carte, la densité régionale des indices alluvionnaires est de 0,10 indice / km<sup>2</sup>

On remarque que dans la partie Nord de la zone d'étude, les indices sont fréquents tandis que dans la partie Sud, il n'y en a presque pas.

Sur la carte des indices, on peut distinguer deux espaces. L'une au Nord Ouest, contient beaucoup plus d'indices dont certains sont à or en place. L'autre au Nord Est où seuls les indices secondaires sont répertoriés.

La répartition des indices d'or au sein de la région d'Andriba n'est pas uniforme

## **VI.3. Contrôle de minéralisation**

### **a. Contrôle lithologique**

Du point de vue lithologique, Razafimalala (1998) a dit que les zones moyennes et supérieures des séries de Maevatanana et d'Andriba font parties des sièges des minéralisations primaires de l'or et principalement dans les zones supérieures.

D'après RANTOANINA (1967), la minéralisation aurifère de la région d'Andriba est liée aux :

- Veines quartzeuses à sulfures interstratifiées,
- Veines pegmatitiques,
- Bancs de quartzite à migmatite,
- Roches renfermant de nodules riches en sillimanite,
- Gneiss surmicacés à biotite et micaschistes.

Dans son rapport annuel pour l'année 1966, RAZAFINIMPARANY, présente :

-La minéralisation aurifère en place de la région d'Andriba, Maevatanana et Antsitabe est liée aux veines quartzeuses à sulfures, interstratifiées dans les bancs de quartzite à magnétite et dans les gneiss et roches à nodules de fibrolites et les latérites qui en dérivent,

-L'or est quelque fois visible dans les gneiss ou les migmatites (gisement de Bejofo - Mandraty),

-Les bancs de quartzites à magnétites constituent un minerai pauvre mais plus largement distribué.

-Un grand nombre de gisements en place de la région sont étroitement liés aux gneiss ou aux quartzite à nodule de fibrolites.

En 1984, Bésairie a confirmé l'existence de veines de quartz et de quartzite à migmatite aurifères à Nandrojia et à Andranomangatsiaka.

#### ***a.1. Les gneiss à deux micas et les micaschistes***

L'or est à l'état disséminé dans les gneiss surmicacés à biotite et les micaschistes (Razafimalala, 1998). Elle a mentionné que l'or occupe des lits sombres à éléments ferromagnésiens et les contacts filon -gneiss (filon concordant) dans les gneiss à deux micas.

### ***a.2.Les quartzites à magnétite***

Les travaux antérieurs (Rantoanina, 1967 ; Razafimalala 1998) donnent des résultats tels que :

- Ils contiennent des minerais pauvres et ils forment des bancs largement distribués,
- Les filonnets de quartz aurifères sont concordants aux foliations de quartzites à magnétite,
- L'or se présente en grains microscopiques ou millimétriques et se cristallise au contact filon quartzite à magnétite.

### ***a.3.Les gneiss à nodules de sillimanites***

La dissémination des grains d'or à teneur généralement faible caractérise les gneiss et les quartzites à nodule de sillimanite. Les gisements d'or dans la région d'Andriba sont étroitement associés à ces roches (Rantoanina (1974), Ramarokoto, (1974)).

### ***a.4.Les veines quartzeuses à sulfures et veines pegmatitiques***

Guyonnaud (1951) (in Rantoanina, 1967) a considéré les veines et veinules aurifères comme tout les manifestations pegmatitiques tardives incluses dans les dernières phases de la migmatitisation de la série d'Andriba. L'auteur a encore affirmé que l'intrusion des lames granitiques et la migmatitisation qui s'ensuit étaient contemporaines du métamorphisme général qui a affecté la région entière, de même que les cristallisations de l'or.

La carte des indices d'or nous montre que l'or primaire de la région d'Andriba se trouve uniquement dans la zone supérieure de la série d'Andriba.

L'environnement associatif est une série gneissique, des micaschistes. On y trouve également des quartzites à magnétite. La minéralisation aurifère de la région s'attache aux veines quartzeuses à sulfure et aux veines pegmatitique (Rantoanina, 1967) à magnétite et minéraux opaques. Un indice est localisé à quelques mètres d'un filon de pegmatite (une relation génétique pourrait être vérifiée ultérieurement).

L'or est en grains microscopiques ou en grains visibles à l'œil nu et à l'état disséminé au sein des roches porteuses.

### b. Contrôle tectonique

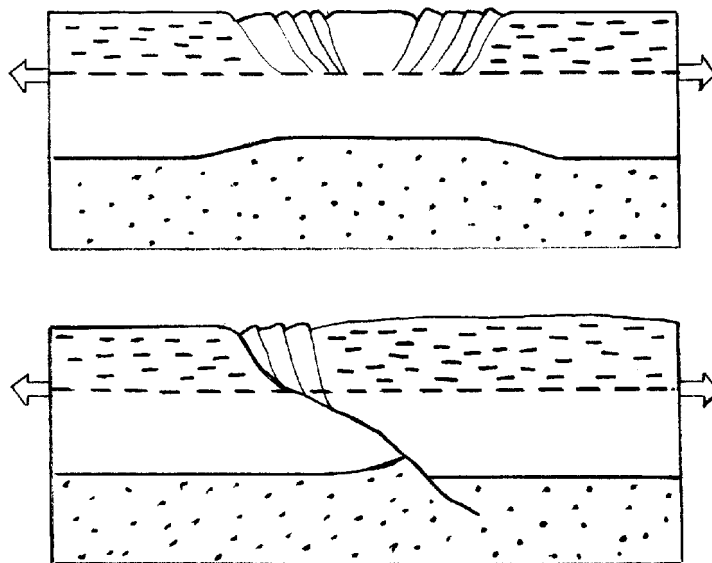
Beaucoup d'études (Samuel Adams (1993-1994), K. Poulsen and F. Robert (1989), Shengfei GAN (1993)) indiquent une liaison spatiale entre les zones de cisaillement (Shear zones) minéralisées et le métamorphisme. Pour caractériser les zones de cisaillement minéralisées il est important de voir :

- Le degré de métamorphisme,
- Le style de déformation du cisaillement car il est en fonction des conditions de pression et des températures,
- Les gradients de température et de pression car ils sont importants en ce qui concerne le contrôle du transport des fluides et de la précipitation.

Généralement, les conditions de basse température et de pression (faciès schiste vert) ont été associées au cisaillement favorisant les gisements filoniens, tandis que les température et pression élevées (faciès amphibolite) favorisent les gisements disséminés (Randrianasolo, 2003).

Le cisaillement peut être compressif ou distensif (Randrianasolo, 2003)

Les Shear zones d'extension présentent un métamorphisme de basse pression et de température élevée.



**Figure 36: Exemple de shear zone d'extension**

Les shear zones de compression se localisent dans les régions dominées par la tectonique de chevauchement et de nappe, et localement au sein des environnements à transpression des régimes de décrochement.

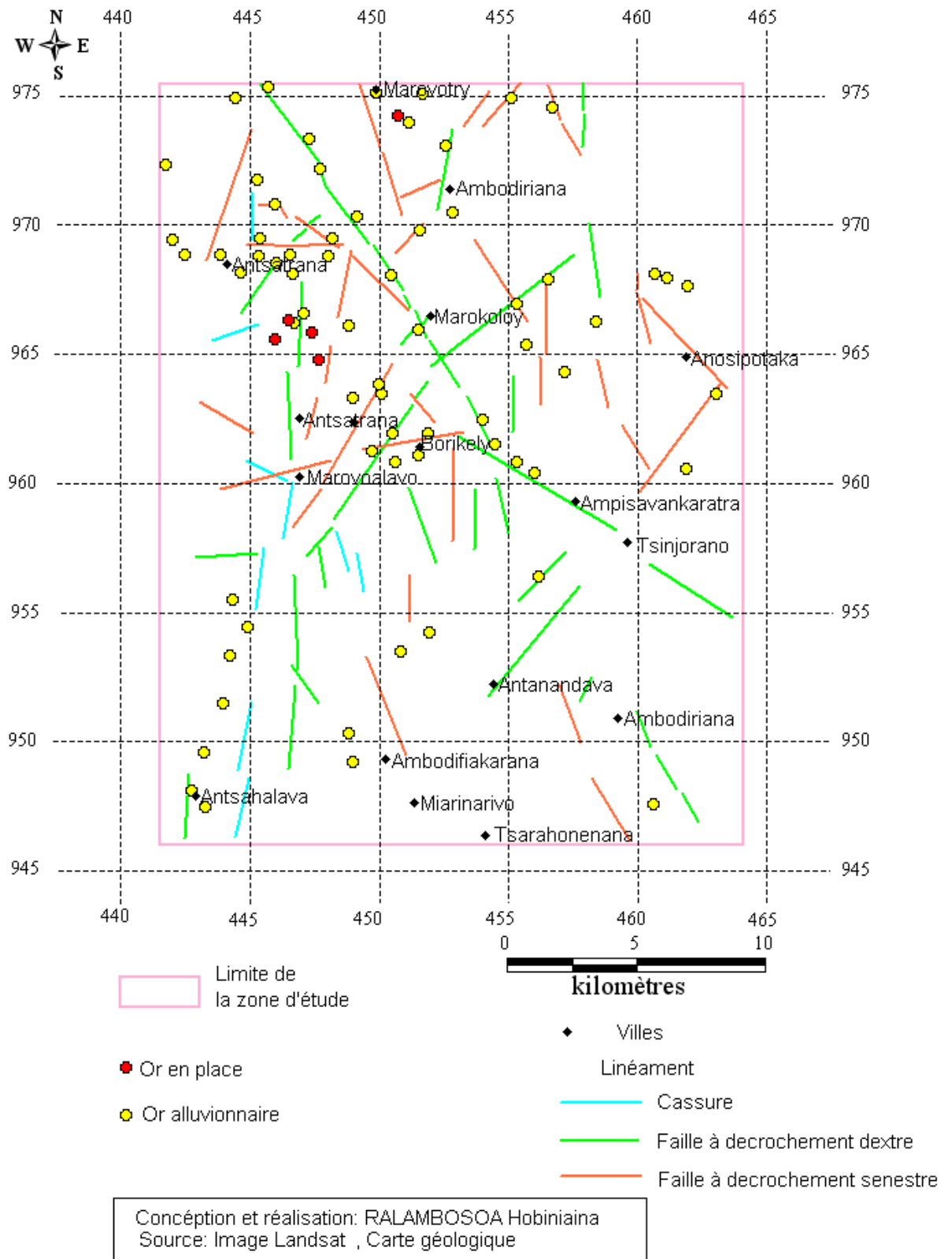
D'après Hottin et al (1976), Windley (1994) la région fait partie de la zone à sillimanite, orthoclase et almandin.

Précédemment, on a vu que dans la zone d'étude, le type de déformation rassemble les régimes compressif et extensif.

De nombreux types de gisements d'or sont spatialement associés à des zones de cisaillement tels que le gisement d'étain, de molybdène, de métaux de base, de tungstène et d'uranium et de l'or. Le gisement est typiquement sous forme de filons ou de veines ce qui est notre cas.

Le gisement est plus communément localisé au sein de la shear zone, mais également dans les zones moins déformées, se trouvant entre les zones de cisaillement, ou dans les zones de bancs contrôlées par la dilatation associée à des plis et à des shear zones en relation avec ces plis (Randrianasolo).





D'après cette carte, le gisement d'or primaire se trouve uniquement dans la zone fortement fracturée, ce qui explique leur relation.

Comme la région est classée dans la mésozone (pression élevée et température inférieure ou égal à 650 °C le gisement disséminé mentionné auparavant est confirmé.

### **c.Caractères des gîtes d'or**

#### ***c.1.Les gisements primaires***

Dans les gisements tel que dans la région d'Andriba, il y a ce qu'on appelle roches encaissantes et roches porteuses

##### *i.Les roches encaissantes*

Ce sont des roches dans lesquelles s'est mis en place un massif ou un filon.

##### Les gneiss :

Ici, les encaissantes sont le gneiss.

D'après la carte géologique (feuille N43), le fond géologique du terrain est surtout constituée de gneiss. Razafimalala (1998) a soutenu que, dans les talwegs, les affleurements sont étendues et atteignent parfois une longueur de 200 m, la roche est caractérisée par la succession des lits noirs constitués de minéraux ferromagnésiens (biotites et/ou amphiboles) et des lits blancs riches en quartz et feldspath. Dans ces lits blancs, les grains de feldspath sont bien développés et donnent à la roche une structure granoblastique.

Des travaux de laboratoire ont été également effectués par Razafimalala. L'observation au microscope lui a permis de confirmer que les cristaux de quartz sont hétérogranulaires.

##### Les migmatites :

Les migmatites de la série d'Andriba sont de faciès embrêchitique et anatexitique. Les premiers conservent l'ancienne foliation des ectinites (gneiss), parfois frustre et les migmatites anatexitiques présentent une foliation irrégulière et marquée parfois par des courbes plus ou moins estompées (Razafimalala)

##### *ii.Les roches porteuses*

Elles sont les roches enrichies en substances utiles tel que l'or qui provient des roches magmatiques ou de l'encaissant. Dans notre cas, d'après Rantoanina (1966) et Razafimparany (1967), les roches porteuses sont le quartzite à magnétite et les veines pegmatitiques.

#### Le quartzite :

On a ici des quartzites à magnétites qui se trouvent à la fois dans la zone supérieure et inférieure d'Andriba. Ces roches se présentent en écoulement éluviaux – colluviaux sur les flancs des collines ou en bancs affleurants aux talus ou en massif rocheux le long des rives (Razafimalala). La puissance des bancs ne dépasse pas 5 m mais ils ont une extension plus large (parfois 20 m)

Macroscopiquement, ces roches sont des grains fins à moyen et ont une structure grenue. Elles présentent des lits très minces noirs constitués uniquement de magnétite qui confère à la roche une texture litée.

#### La pegmatite :

Elle est liée le plus souvent à des granitoïdes ou à des migmatites. Ses minéraux essentiels sont alors ceux du granite : quartz, feldspath, mica.

#### La veine ou filon :

C'est une lame de roche, épaisse de quelques centimètres à quelques mètres recoupant les structures de l'encaissant. Il correspond le plus souvent au remplissage d'une fracture.

Les veines pegmatitiques de la région d'Andriba sont donc des remplissages des fractures par des formations magmatiques de nature pegmatitique et surtout contient de l'or.



**photo 1: Pegmatite minéralisé altéré (Marokoloy)**

**Remarque :**

Dans la région d'Andriba, les gneiss sont à la fois encaissants et porteurs.

***c.2.Caractères structuraux et tectoniques***

Les veines sont recoupant par rapport aux structures de l'encaissant. Ces veines de roches porteuses (quartz à magnétite, veines quartzeuses et pegmatitique) recoupent les gneiss encaissants et parfois conforme à la schistosité générale. Les indices en place se trouvent de part et d'autre de l'Ikopa dont le tracé est probablement tectonique.

D'après les études minéralogiques effectuées par Razafimalala :

-Un quartzite à magnétite est recoupé par une veine constituée essentiellement de quartz blanc laiteux et de biotite comme minéral accidentel.

-Une lame d'un échantillon de gneiss à biotite montre la schistosité de la roche avec l'association des lamelles de biotite baignant dans la plage de quartz et

l'altération du microcline (en hydromuscovite). Il y a aussi la biotite qui est en cours de chloritisation.

-Des plissements de lits sombres et clairs d'une migmatite sont traversés par une microfaille et dessine un sigmoïde.

On remarque que dans une lame de migmatite à biotite, les cristaux s'alignent suivant une direction indécise, avec ses fragments. Ils sont allongés.

Les minéraux opaques d'un quartzite à magnétite sont allongés, il y a allongement des magnétites ou des cristaux de quartz.

On observe l'alignement des hornblendes dans une amphibolite donnant une certaine schistosité empreinte de l'orientation de leur clivage.

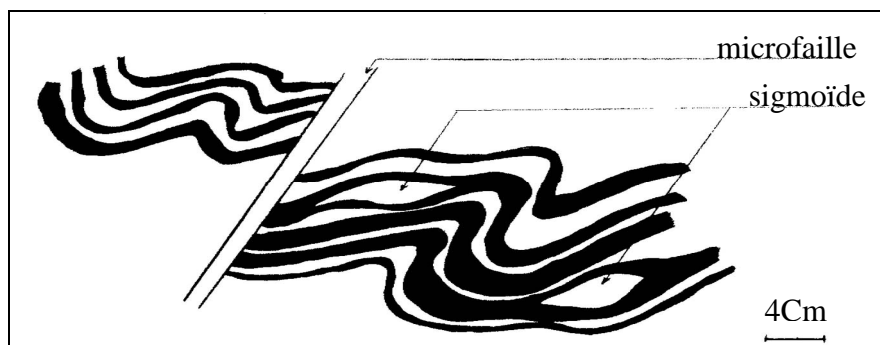
Les cristaux de sillimanite s'allongent entre les cristaux de quartz et dont les clivages sont parallèles et suivent la direction de l'allongement.

Sur les roches en place, elle a remarquée que :

- Les filonnets de quartz aurifère sont concordants aux foliations de quartzite à magnétite,
- Les textures montrent les déformations qu'ont subies les roches,
- Les constituants de la roche sont ceux des gneiss et les foliations sont frustres.

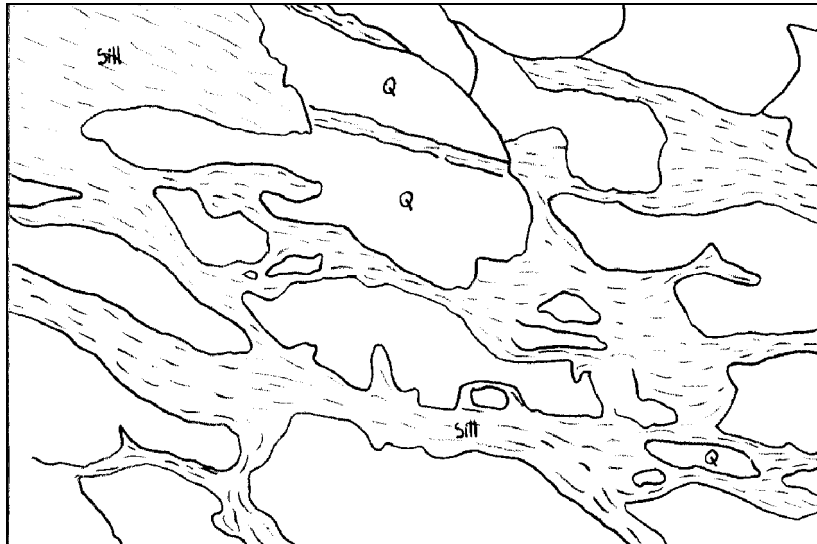
Ces études minéralogiques et pétrographiques montrent que les minéraux constitutifs des roches marquent ou témoignent des contraintes tectoniques qu'elles ont subi :

- Le plissement au niveau de l'échantillon souligne les efforts compressifs,
- L'allongement des cristaux et ses craquelures peut être l'empreinte des mouvements d'étirement,
- L'existence des microfailles marque la déformation cassante.
- La chloritisation des biotites nous indiquent l'existence des microfractures qui ont favorisé la circulation des agents d'altération.



(Résultat d'analyse de Razafimalala, 1998 ; secteur Antsatrana)

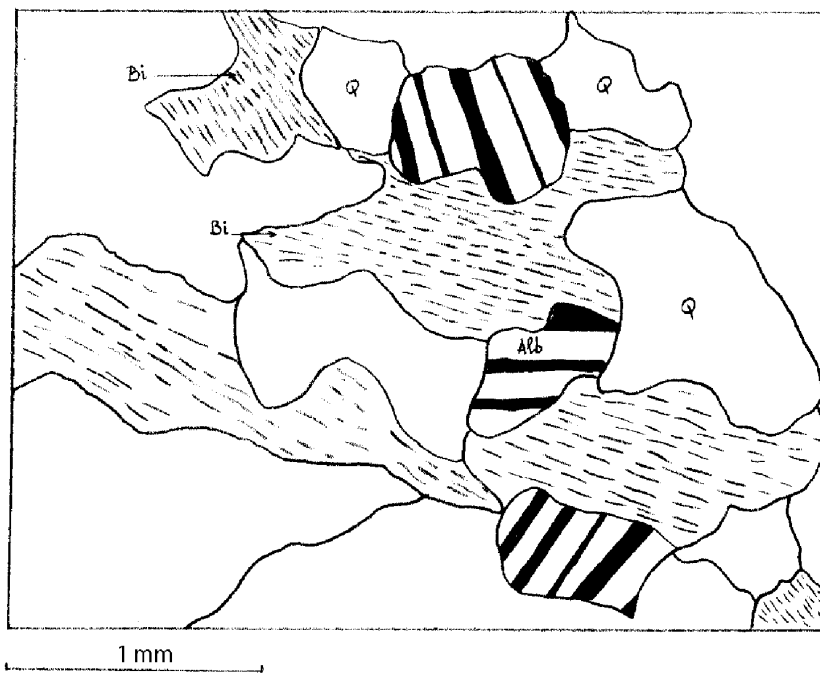
**Figure 38: Plissement des lits sombres et clairs traversés par une microfaille**



(Résultat d'analyser de Razafimalala, 1998; secteur Antsatrana)

**Figure 39: Quartzite à sillimanite**

Les cristaux aciculaires ou fibreux de sillimanite s'allongent entre les cristaux de quartz



(Résultat d'analyse de Razafimalala, 1998 ; secteur Antsatrana)

**Figure 40: Gneiss à Biotite (en cours de chloritisation)**

Paragenèse minérale :

La carte géologique nous montre l'existence des autres substances utiles telle que la pyrite.

Les principaux types des roches sont caractérisés par les associations suivantes :

- Les gneiss : quartz – microcline – plagioclase (albite, oligoclase) – biotite et accessoirement des minéraux noirs,
- Les migmatites : quartz – albite – biotite – minéraux opaques,
- Les quartzites à magnétite : quartz – magnétite – minéraux opaques.

Ce sont des résultats d'analyse de Razafimalala.

Les sulfures dans les veines quartzieuses sont en grande partie de la pyrite (Rantoanina, 1967).

La paragenèse minérale des gneiss micacé à biotite est caractérisée par l'assemblage suivant (Razafimalala)

- Quartz – plagioclase (albite – oligoclase) – biotite
- Quartz – microcline – biotite

Les quartzites à magnétites sont en association avec la pyrite et chalcopryrite.

### *c.3.Les gisements secondaires*

Au chapitre II, on a déjà vu que dans la région d'Andriba, les gîtes secondaires se trouvent dans les alluvions et dans les latérites avoisinantes.

On s'intéresse à la dernière classe de Macdonald (1983) qui tient compte de l'environnement du placier continental.

Les travaux antérieurs dans la région d'Andriba s'orientent beaucoup aux gîtes secondaires et surtout aux gisements alluvionnaires.

La couche productive d'épaisseur au moins 0,50 m comporte du sable argileux, des galets de quartzite en magnétite et des galets de quartz (Razafimalala).

L'eau et l'effet gravitationnel assurent l'enrichissement de cette couche.

L'analyse des concentrées de batée, obtenue par lavage de matériaux du flat, de la couche à galets, dans les marmites de géant et au pied des roseaux a été effectuée par Razafimalala et montre :

- Des grains millimétriques de tourmaline noire à face striée,
- Des zircons à prisme allongé,
- Des grenats arrondis,
- D'hématite,
- D'ilménite,
- De magnétite.

On remarque également que parmi les minéraux lourds du fond du batée, le pourcentage de la magnétite est remarquable, varie de 8,7 à 49,9 %. Ceci explique la présence de quartzite à magnétite dans la région.

Sur la carte des indices d'or, on observe que les indices d'or alluvionnaires se localisent aux environs des réseaux hydrographiques. Ceci est le cas des zones

d'épandage : durant la période de crue, l'eau se répandent et transporte des éléments (que ce soit particulaire ou en suspension) et les déposent dans des lieux plus stables

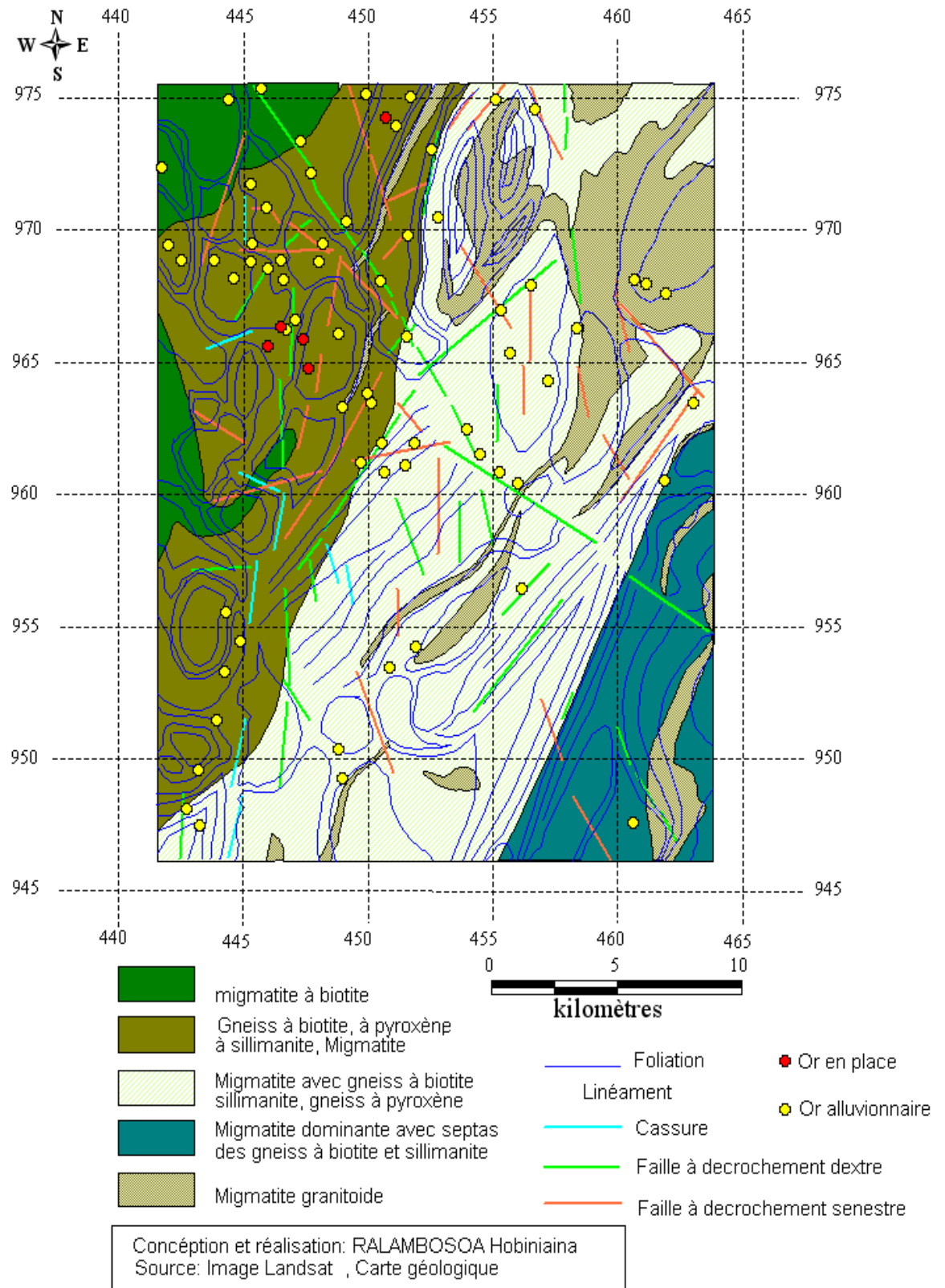
#### **VI.4.Critère de distribution des indices d'or**

La carte qui réunit les éléments tectonique, lithologique, foliation, indice d'or nous montre que :

- Les gites primaires se logent dans la série gneissique qui est fortement tectonisée. Ils se trouvent dans la zone subannulaire et d'altitude inférieure à 600m. Les indices d'or primaires sont également très près de l'Ikopa qui a un tracé probablement tectonique, l'un d'entre eux est localisé à quelques kilomètres de la rivière.

- Les indices d'or alluvionnaires suivent les tracés des cours d'eau. Ils sont abondants dans les zones d'altitude inférieure à 700m et se trouve dans les zones 1, 2 et 3 du domaine d'homogénéité structurale. Ces indices d'or secondaires se situent parfois sur les accidents tectoniques tels que les failles





**Figure 41: Carte des éléments tectoniques, lithologique, foliation et indice d'or**

## **VI.5. Proposition de modèle de mise en place de l'or**

### **a. Notion d'inclusion fluide**

#### ***a.1. Définition***

On peut définir l'inclusion fluide comme :

- Corps à l'état fluide englobé dans un cristal ou minéral hôte et se présente sous forme de cavité de quelques 100µm
- Témoin des fluides dans lesquels les minéraux hôtes ou minerais se sont formés. Ces fluides sont cristallisés dans les microfractures des roches après leur phase majeure de cristallisation
- Des défauts formés dans les cristaux au cours de leur croissance par cristallisation au sein des fractures provoquées par les contraintes tectoniques. Leur contenu est considéré comme un échantillon du milieu fluide présent durant la croissance minérale

#### ***a.2. Catégories d'inclusion fluide***

Il y a trois types d'inclusion fluide :

- L'inclusion fluide primaire ( $P=3Kb$ ,  $T=350^{\circ}C$ ) qui est généralement des fluides piégés dans les stades précoces de la cristallisation parfois situé le long des zones de croissance du minéral hôte, isolés ou groupés au cœur du cristal de grande taille ( $>20\mu m$ ), sous forme de cristaux négatifs (forme géométrique bien définie)
- L'inclusion fluide secondaire ( $P=3Kb$ ,  $T=350^{\circ}C$ ) : Elle est piégée et incluse dans d'autres minéraux, comme le cas des filons souvent minéralisés. Cette inclusion fluide secondaire est liée aux phénomènes tardifs (déformation tectonique et/ou variation thermique) qui ont affecté la roche.
- L'inclusion pseudo secondaire ( $P=5Kb$ ,  $T=700^{\circ}C$ ) située dans des plans ou des microfractures scellés au cours de la croissance du cristal et est limitée à l'intérieur d'un même cristal.

L'inclusion fluide peut être du liquide, gaz ou solide

## **VI.6.Modèle de mise en place de l'or d'Andriba**

Lithologiquement, les roches encaissantes sont du gneiss à biotite, gneiss à pyroxène, gneiss à sillimanite. L'évènement du 2600MA (Shamwaien), aurait déformé, les roches en les stabilisant dans le faciès amphibolite sous les conditions de température 300 à 650°C

Une shear zone de 10Km de long et 400 m de large, est définie dans le secteur où se trouvent les gisements. Cette shear zone est orientée Nord-Sud et à laquelle sont associés des fractures et des failles (à décrochement dextre, subméridiennes)

Les fluides provenant de la déshydratation de la croûte inférieure remonte à la surface (Samuel Adams, 1993-1994), ils peuvent réagir avec le gneiss encaissant à travers lequel ils passent. On a ici un régime cassant, les réactions avec les fluides porteurs de CO<sub>2</sub> peuvent être spatialement restreintes aux zones à filons ou veines dans les shear zone

Comme la partie Nord de la zone d'étude où se trouvent les gisements primaires est fortement fracturée, la dilatation et l'emplacement de la minéralisation se seraient effectués en même temps que la déformation due au cisaillement, c'est-à-dire après le métamorphisme. Ceci indique que l'évènement de dilatation au sein des shear zone ferait partie intégrante du mécanisme de la formation des filons minéralisés en or

L'or est drainé par les fluides pour former les filons et les veines qui sont alors constitués par les mobilisats quartzeux

La région d'Andriba est comprise dans les estimations typiques de température de 300 à 400°C pour les gisements aurifères archéens telles qu'elles sont obtenues à partir des études des inclusions fluides (Robert and Kelly, 1987). Ces même auteurs ont dit que les températures d'homogénéisation qui fournissent une estimation minimale des températures de minéralisation, varient entre 200 et 490°C, confirmant ainsi que les gisements étaient formés dans des conditions mésothermales

## **VI.7.Compréhension des indices secondaire de l'or :**

Comme les indices alluvionnaires se trouvent dans les zones d'altitude plus bas, on doit suivre les cours d'eau dans le sens inverse de leur écoulement. Pour comprendre la relation entre ces indices et la nature pétrologique en amont, on suit le trajet jusqu'à ce qu'on ne rencontre plus d'indice.

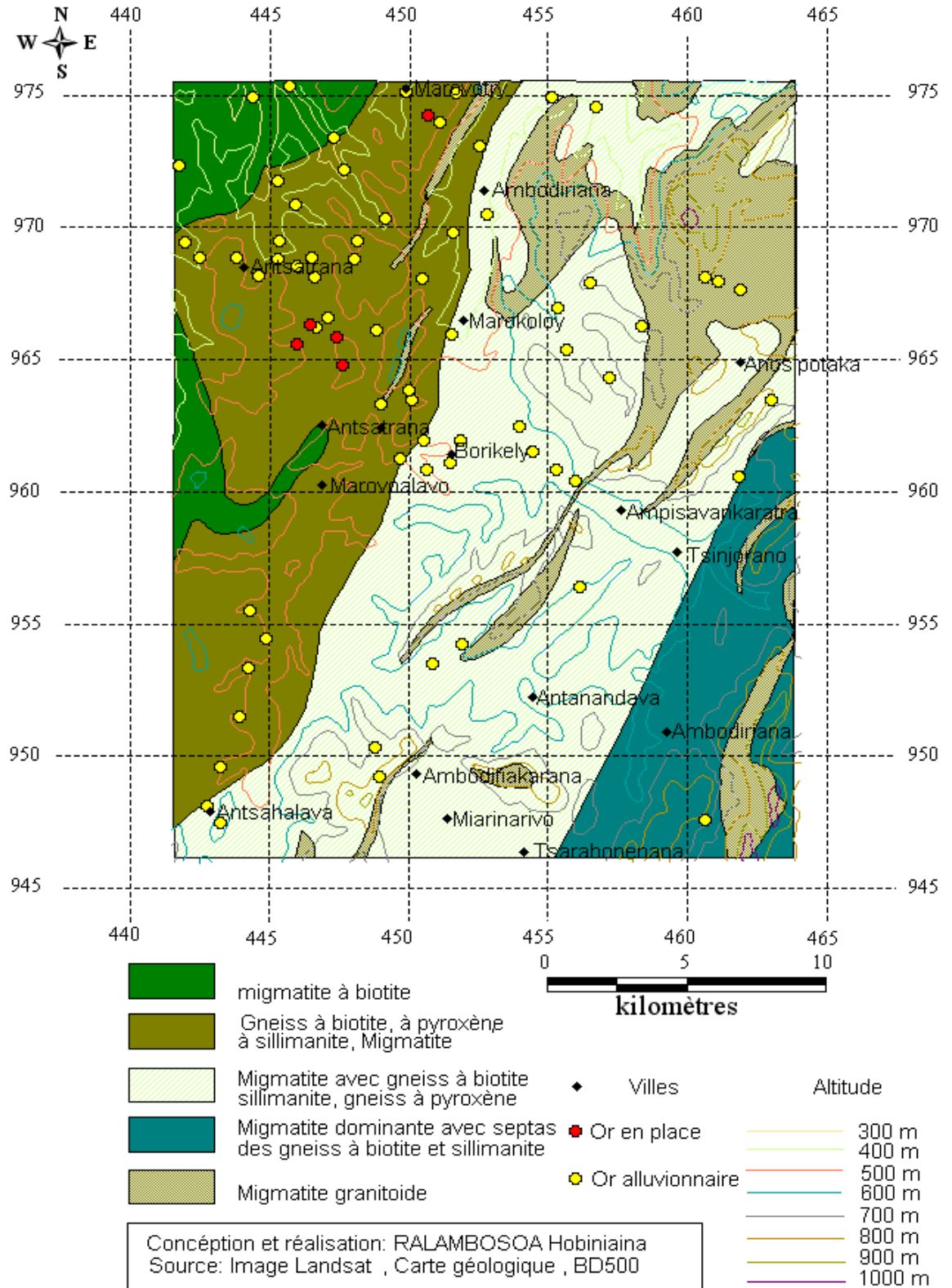


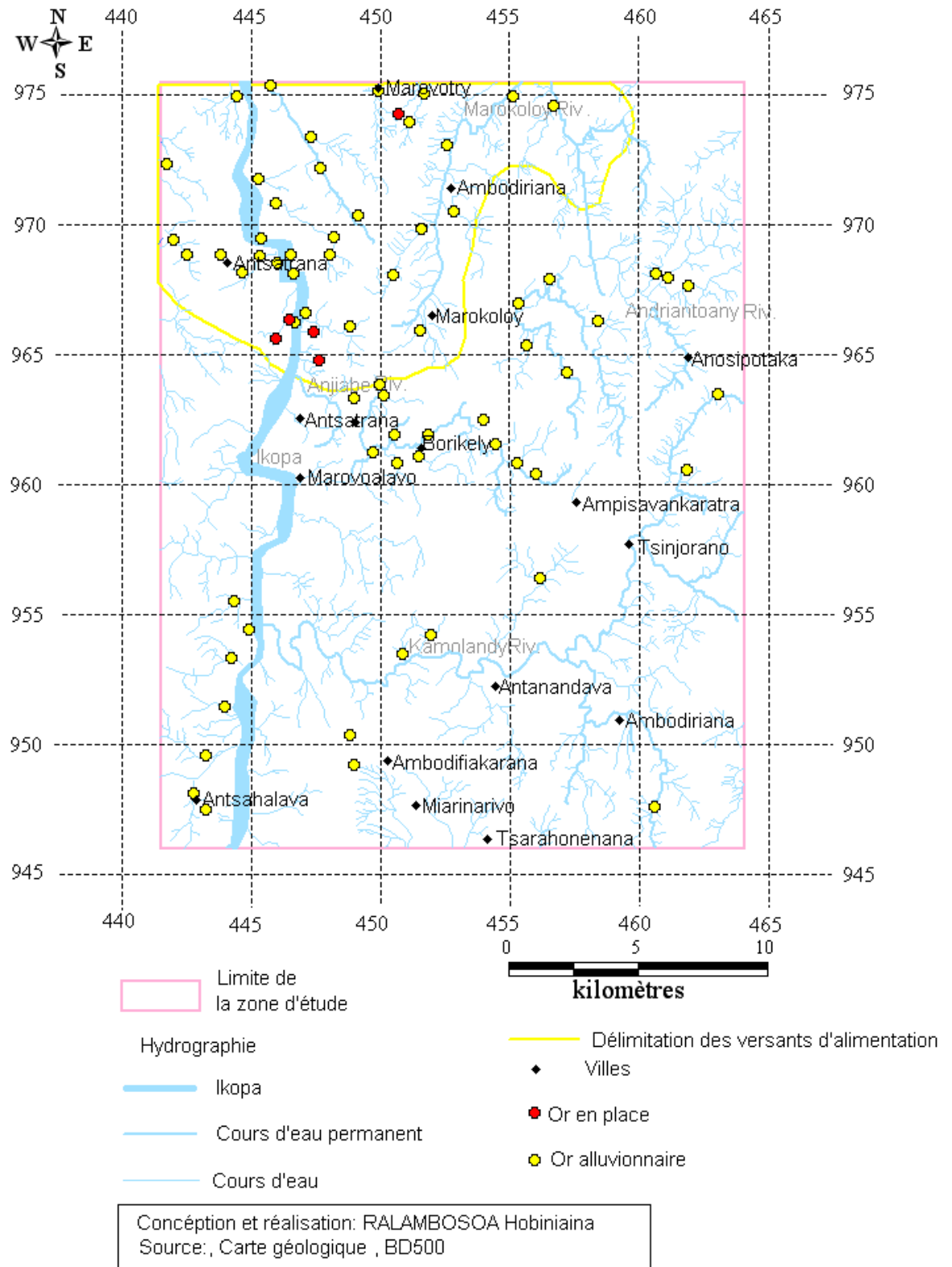
Figure 42 : Carte des indices d'or alluvionnaires, courbes de niveaux et lithologie

La carte rassemblant les indices d'or, les courbes de niveau et la lithologie montre qu'à une altitude 500 m l'or commence à se déposer

Les formations en amont sont constituées de migmatite, gneiss, granite migmatitique. Apparemment, la zone à migmatite dominant (zone inférieure de la série d'Andriba) ne contient pas d'indice. Par contre, dans la formation migmatitique avec gneiss (zone moyenne), presque tout les cours d'eau permanent et ses affluents sont minéralisés. Il est donc possible que la source minéralogique vient de cette formation.

En tenant compte des informations précédentes, la tectonique cassante favorise ou facilite la circulation des fluides et c'est pourquoi les indices sont répandus dans et aux environs de ces fractures.

Il y a une autre possibilité : la région de basse altitude peut être une zone d'épandage, les éléments sont facilement transportés et déposés aux endroits favorables. Ainsi on peut délimiter les versants d'alimentation



**Figure 43 : Carte de délimitation des versants d'alimentation**

## CONCLUSION

La région d'Andriba est très riche en ressources minières notamment en or. La structure est la source principale de cette minéralisation et un contrôle tectonique semble se dégager. Apparemment, la partie Nord de la feuille d'Andriba constitue un secteur d'intérêt minier à cause de sa structuration. Economiquement, l'exploitation des gisements primaires exige des travaux beaucoup plus poussés. Comme par exemple des études géophysiques ou des implantations de forage à large maille.

On peut donc dire que le gisement d'or d'Andriba provenait de la reprise hydrothermale métamorphique. On s'intéresse à l'inclusion fluide secondaire de température 350°C. On peut conclure que la concentration primaire en or du gisement d'Andriba avait eu lieu après le métamorphisme Archéen de faciès amphibolite et était contrôlé par les shear zones. La mise en place des gîtes primaires d'or a été finalisée par le réchauffement d'intrusion granitique qui a favorisé la circulation d'un fluide mésothermal

Par leur caractère de remobilisation, de reconcentration et d'après les résultats d'analyse des échantillons alluvionnaires, les gisements secondaires présentent les plus de potentiel en or pour les recherches à venir. Toute zone de basse altitude est susceptible d'être minéralisée. Approvisionnement, la partie Est d'Andriba peut être minéralisé mais cachée

En ce qui concerne les carrés, le contexte lithologique ne s'y prête pas (migmatite contre les gneiss du domaine à or en place) ainsi que les conditions de contrôle tectonique. La région est peu faillée donc la circulation des fluides hydrothermaux est très faible. En d'autre terme la probabilité de trouver des gîtes d'or en place d'intérêt minier est très faible. Les cours d'eau qui peuvent servir de réceptacle de l'or alluvionnaire sont trop étroits pour accumuler des gîtes d'importance d'or secondaire

# BIBLIOGRAPHIE

1. ADAMS S. (1993-1994) ; "Mineral Deposit Models :Let's go serious "Society of Economic Geologists President, Traduit par Leon RANDRIANASOLO
2. ANDRIAMIHAJA S. (2003) ; " Evolution Tectono-Sédimentaire " ; Mémoire ESPA, Département Géologie
3. BESAIRIE H. (1949) ; "Document sur l'or à Madagascar " ;Service Géologique de Madagascar
4. BESAIRIE H. (1949) ; "Gîtes minéraux de Madagascar " ; Service Géologique de Madagascar
5. CHOUKROUNE P. (1994) ; " Déformation et déplacements dans la croûte terrestre"; MASSON, Paris
6. COLLINS A.S, RAZAKAMANANA T. & WINDLEY B.F.(2000); " Neoproterozoic extensional detachment in central Madagascar: implications for the collapse of the east African Orogen"; Geological Magazine
7. COLLINS A.S. (2000); "The tectonic Evolution of Madagascar: It place in the east African Orogen, Gondwana Research"; Tectonics special Research center, Curtin University of Technology
8. Foucault A., Raoult JF (1968) ; " Dictionnaire de Géologie " ; MASSON Paris Milan Barcelona Mexico
9. Institut National de la Statistique (2003) ; "Rapport des Journées Africaines de la Statistique "
10. LAGAL R. (1992); "gold panning is easy"; Garland, Texas
11. MAMPIHAO (1988) ; " Contribution à la cartographie et méthode de prospection d'or par drague suceuse " ; Mémoire ESPA, Département Géologie
12. NICOLINI P. " Gîtologie des concentrations minérales stratiformes " ; Bibliothèque de l'ESPA
13. Office des Mines National et des Industries Stratégiques (2005) ; " Rapport de mission de visite de sites et contact auprès des autorités locales "
14. Office des Mines National et des Industries Stratégiques (2003); "Rapport de mission de reconnaissance"
15. PRICE N.J. and COSGROVE J.W. "Analysis of geological structures"
16. RANTOANINA M. (1967) ; " Etude Géologique et prospection au 1/100.000 des feuilles Maevatanana-Andriba " ; Service Géologique d'Antananarivo



17. RAZAFIMALALA A. (1998) ; "Les minéralisations aurifère d'Andriba : Etude Géologique et génétique " ; Mémoire ESPA, Département Géologie
18. RAZAFINIMPARANY A. (1967) ; " Rapport annuel du service Géologique " ; Service Géologique de Madagascar
19. RAZEFANIA L. N. (2000) ; " Prospection Géochimique de l'or primaire du secteur Nord-Ouest Ambondrona, Région de Tsinjoarivo Ambatolampy " ; Mémoire ESPA, Département Géologie
20. ROBERT and KELLY; (1987) "mineralization and shear zones"; geological association of Canada, Montreal Quebec
21. VIALON P. (1976) ; "Elément de tectonique analytique" ; MASSON, Paris, New York, Barcelone, Milan
22. YANNOPOULOS J.C. (1991); "The metallurgy of gold"; Copyright by Van Nostrand Reinhold

ANNEXE 1  
Classification des linéaments

N°	DECROCHEMENT	DIRECTION	LONGUEUR (m)
1	Dextre	N140	3898.43
2	Dextre	N160	686.40
3	Dextre	N145	2764.93
4	Dextre	N0	1074.91
5	Dextre	N10	3194.72
6	Senestre	N155	1440.37
7	Dextre	N145	2092.46
8	Dextre	N160	500.89
9	Dextre	N160	1174.04
10	Dextre	N140	2151.17
11	Senestre	N5	614.40
12	Senestre	N160	2018.81
13	Dextre	N170	2849.10
14	Dextre	N120	7086.70
15	Dextre	N0	2149.31
16	Senestre	N140	1963.83
17	Senestre	N160	1922.24
18	Dextre	N0	2297.29
19	Senestre	N0	3582.57
20	Dextre	N155	3080.52
21	Dextre	N40	2682.07
22	Dextre	N50	1497.25
23	Dextre	N170	1597.36
24	Cassure	N160	1571.14
25	Cassure	N170	1482.67
26	Senestre	N0	1803.81
27	Dextre	N165	2136.07
28	Dextre	N0	3653.76
29	Dextre	N8	3239.04
30	Dextre	N40	5542.19
31	Dextre	N120	3837.57
32	Senestre	N160	4098.27
33	Senestre	N120	2387.32
34	Senestre	N15	5355.48
35	Cassure	N70	1932.57
36	Senestre	N25	5400.75
37	Senestre	N0	2631.60
38	Senestre	N150	3779.06
39	Dextre	N90	23.82.47
40	Dextre	N140	1825.40
41	Dextre	N160	1497.63
42	Dextre	N140	1543.09
43	Dextre	N140	1255.57
44	Dextre	N0	3299.18
45	Senestre	N60	1672.78
46	Senestre	N125	2066.13
47	Senestre	N145	704.22
48	Senestre	N90	659.17
49	Cassure	N0	1806.82
50	Senestre	N88	2588.93

51	Senestre	N90	1050.09
52	Dextre	N35	2322.56
53	Dextre	N50	725.06
54	Dextre	N50	488.29
55	Senestre	N8	2643.06
56	Senestre	N5	1429.44
57	Senestre	N20	1670.20
58	Senestre	N30	1836.27
59	Dextre	N40	916.43
60	Dextre	N40	362.94
61	Cassure	N10	2663.17
62	Cassure	N10	2366.24
63	Dextre	N0	3373.02
64	Cassure	N10	2203.77
65	Senestre	N134	3035.07
66	Senestre	N160	2566.54
67	Dextre	N0	2494.56
68	Senestre	N140	1411.90
69	Dextre	N5	1236.04
70	Senestre	N160	2557.08
71	Dextre	N35	5354.69
72	Dextre	N35	772.10
73	Senestre	N45	2302.34
74	Senestre	N30	1693.06
75	Cassure	N10	2365.16
76	Senestre	N145	2829.10
77	Senestre	N155	1448.37
78	Senestre	N45	1571.83
79	Senestre	N0	1855.78
80	Cassure	N115	1780.29
81	Dextre	N25	1070.93
82	Senestre	N35	5336.25
83	Senestre	N140	1485.69
84	Dextre	N50	7040.46
85	Dextre	N150	2254.01
86	Senestre	N135	4780.85
87	Senestre	N75	3993.48
88	Senestre	N70	4427.27

## ANNEXE 2

### Caractéri      des linéaments

Direction	Longueur cumulée (m)	Fréquence	Pourcentage (%)
[0-30[	63553,12	26	29,5
[30-60[	40443,79	16	18,2
[60-90[	14615,03	5	5,7
[90-120[	5872,02	4	4,5
[120-150[	47119,43	18	20,5
[150-180[	39660,57	19	21,6
TOTAL		88 Linéaments	100

### ANNEXE 3

#### Caractéristiques des failles de décrochement dextre

Direction	Longueur cumulée (m)	Fréquence	Pourcentage (%)
[0-30[	27083,26	11	26,8
[30-60[	27704,04	11	26,8
[60-90[	0	0	0
[90-120[	2382,47	1	2,4
[120-150[	26455,32	9	22
[150-180[	15776,02	9	22
TOTAL		41 Dextres	100

## ANNEXE 4

### Caractéristiques des failles de décrochement senestre

Direction	Longueur cumulée (m)	Fréquence	Pourcentage (%)
[0-30[	26987,07	10	26,3
[30-60[	12739,75	5	13,2
[60-90[	12682,46	4	10,5
[90-120[	1709,26	2	5,3
[120-150[	20664,11	9	23,7
[150-180[	20830,74	8	21,1
TOTAL		38 failles senestres	100

# ESSAI D'INTERPRÉTATION DES ÉLÉMENTS GITOLOGIQUES DE LA RÉGION AURIFÈRE D'ANDRIBA

**Nom:** RALAMBOSOA

**Prénom:** Hobiniaina

**Nombre de pages :** 108

**Nombre de tableaux :** 6

**Nombre de figures :** 43

## RESUME

Le contrôle structural des gisements d'or est largement noté. Dans le monde, plusieurs gisements aurifères filoniens sont presque toujours liés à des déformations structurales de différents types et de différentes échelles.

Dans la région étudiée, cette relation entre la minéralisation aurifère et la structure a été mise en évidence. L'application de deux outils, qui sont le SIG et la télédétection dans notre étude, aide les exploitants. Ce présent ouvrage peut aider à la prise de décision et se servir comme base de données géologiques pour les exploitants de la région d'Andriba

**Mots clés :** Or, Gisement d'or, traits tectoniques, gîtologie

**Adresse de l'auteur :** Lot AF 15bis Imanga Atsinanantsena

Sabotsy-Namehana

103 Antananarivo

Tel : 033 14 027 14

**Rapporteur :** Docteur RAKOTOMANANA Dominique