

CONTRIBUTION A LA CARTOGRAPHIE LINEAMENTAIRE ET STRUCTURALE PAR TELEDETECTION ET SIG DE LA REGION ITASY

Perle Léa Rasoamanarivo¹ ; Kanto Volahasina Randrianja² ; Heritahina Rambeloson³ ; Ralijaona Tafitasoloniaina⁴ ; mMiangaly Malanto Randrianja⁵ ; Andriambelo Rakotoandriana⁶

- 1 : ED Ingénierie et géosciences, Université d'Antananarivo
 2 : ED Ingénierie et géosciences, Université d'Antananarivo
 3 : Docteur en Ingénierie Minière et pétrolière, Université d'Antananarivo
 4 : Docteur en Ingénierie et Géosciences, Université d'Antananarivo
 5 : ED Ingénierie et géosciences, Université d'Antananarivo
 6 : Docteur en Ingénierie, Université d'Antananarivo

*Auteur correspondant : Tel. +261331189993, E-mail : rasoamanarivo_perle@yahoo.com

RESUME

La réalisation de ce travail cherche à cartographier les linéaments géologiques et structuraux dans la région Itasy (région Centrale Ouest de Madagascar). Les méthodes de détection manuelle et automatique des linéaments sur des images Landsat 7 ETM+ traités par différentes techniques, la réalisation de la cartographie des linéaments et la superposition des cartes des linéaments sur la carte géologique 1/500 000 dans un SIG sont adoptés pour ressortir des cartographies à l'achèvement de cette étude. Les techniques de la composition colorée, l'analyse en composantes principales (ACP), les ratios et les filtres directionnels sont effectués pour le traitement d'images. Les différentes images, après traçage des segments, ont été superposées avec les cartes topographiques de la Région pour la validation et la vérification des linéaments tracés. Une analyse statistique des linéaments est utilisée dans le but de repérer les nombres et directions principales des linéaments détectés.

Le problème de déficit en cartographie structurale pour l'ensemble de la Région peut être solutionné par l'utilisation de cette technique. C'est une démarche très encourageante aussi bien dans le temps de sa réalisation que dans les moyens financiers pour les travaux de terrains.

Mots clés : Télédétection, cartographie structurale, linéaments, statistique, Itasy

ABSTRACT

The realization of this work seeks to map the geological and structural lineaments in the Itasy region (west central region of Madagascar). The method of manual and automatic detection of lineaments on Landsat 7 ETM + images processed by different techniques, the mapping of lineaments and the superposition of lineament maps on geological map 1/500 000 in a GIS are adopted for map out at the completion of this study. The techniques of color composition, principal component analysis (PCA), ratios and directional filters are performed for image processing. The different images, after tracing segments, were superposed with the topographic maps of the region for the validation and verification of the traced lineaments. A statistical analysis of the lineaments is used in order to identify the numbers and principal directions of the lineaments detected.

The existing structural mapping deficiency for the entire region can be minimized by the use of this technique. This is one of the very encouraging steps both in the time of its realization and in the financial resources for field work.

Key words: *Remote sensing, structural mapping, lineaments, statistics, Itasy*

1. Introduction

L'utilisation de la télédétection est devenue très courante dans les cartographies des structures géologiques [1][2][3]. Avec l'avancée technologique, la technique de détection des linéaments ou structures linéaires peuvent être effectués de différentes façons : interprétation visuelle et traçage directe sur l'image, ou détection automatique par utilisation d'un module de logiciel.

Les linéaments sont caractérisés comme étant des structures linéaires de surface de la terre résultant des déformations structurelles dans la croûte terrestre sous des aspects géomorphologiques différents : plis, failles et les fracture [5][6][7]. L'image Landsat7 ETM+ a été choisi afin d'atteindre l'objectif principale du départ. Les caractéristiques spectrale et spatiale de ces images permettent une bonne cartographie structurale à petite échelle [8] [9] Diverses méthodes de traitement et de rehaussement d'images se sont exposées dans les littératures. Elles permettent dans la plupart des cas de rehausser les contrastes et les détails d'une image. On a appliqué différents traitements sur l'image Landsat 7 ETM + qui sont la composition colorée, l'analyse en composantes principales (ACP), les ratios et les filtres directionnels. Ces différents types de traitements ont permis d'améliorer les images originales et facilitent ainsi la visualisation et détection des linéaments.

Cette étude se rapporte à la Région Itasy qui fait partie de la Haute Terre Centrale de Madagascar (figure1). Du point de vue géologique, elle est constituée d'un socle précambrien métamorphisé et stabilisé vers 2600Ma, rattachée au domaine Antananarivo (PGRM), qui s'étale sur une superficie de 6993 km².

2. Les matériels et méthodes utilisés

2.1. Matériels

Les bases de données cartographiques utilisées dans le cadre de cette étude comportent :

- La carte géologique établie à l'échelle 1/500 000 numérisé de la Région Itasy
- Les cartes topographiques à l'échelle 1/100 000 numérisées recouvrant la Région Itasy.

Les traitements des données satellitaires sont effectués avec ENVI 5.3 ; Geomatica de PCI ; ArcGIS.5.

On s'est basé sur les images satellites extraites d'une scène Landsat 7 ETM+. Celles couvrant la région Itasy ont été téléchargées à partir du site internet à l'adresse <https://earthexplorer.usgs.gov>. Elle est acquise le 31mars 2002. Path 159 Row 073.

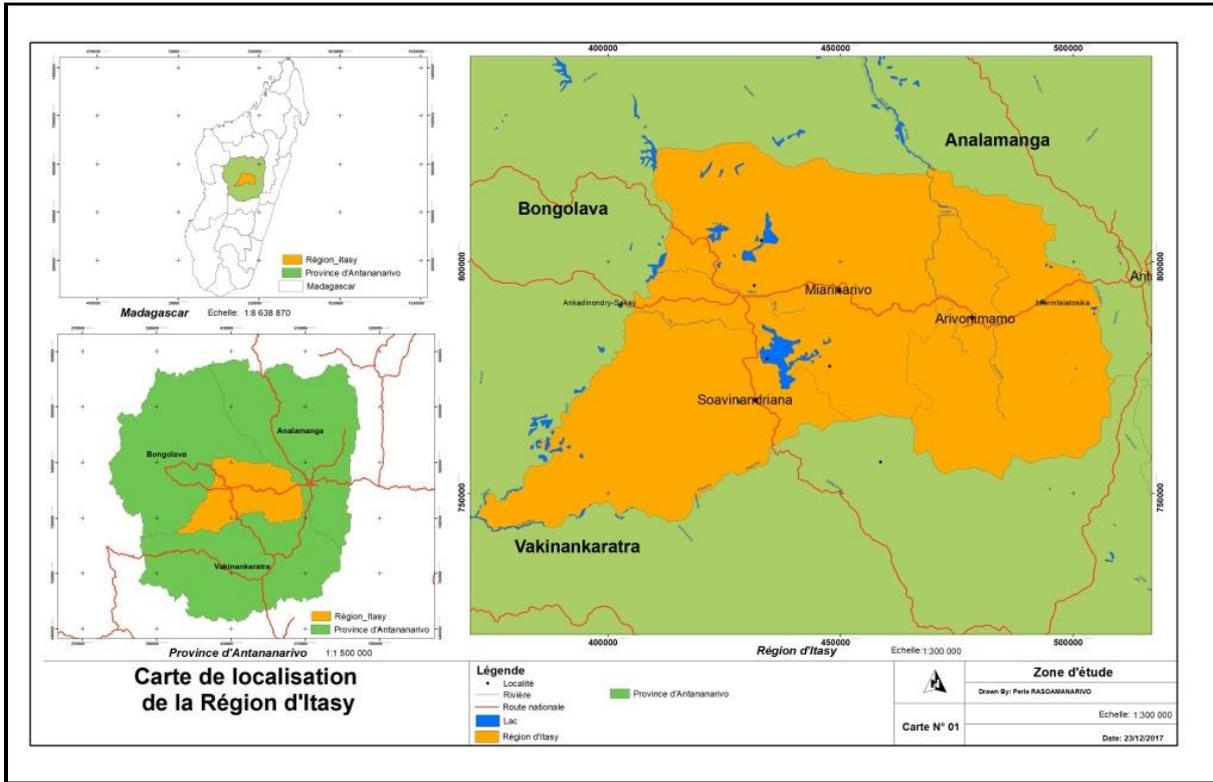


Figure 1. Carte de localisation de la Région Itasy

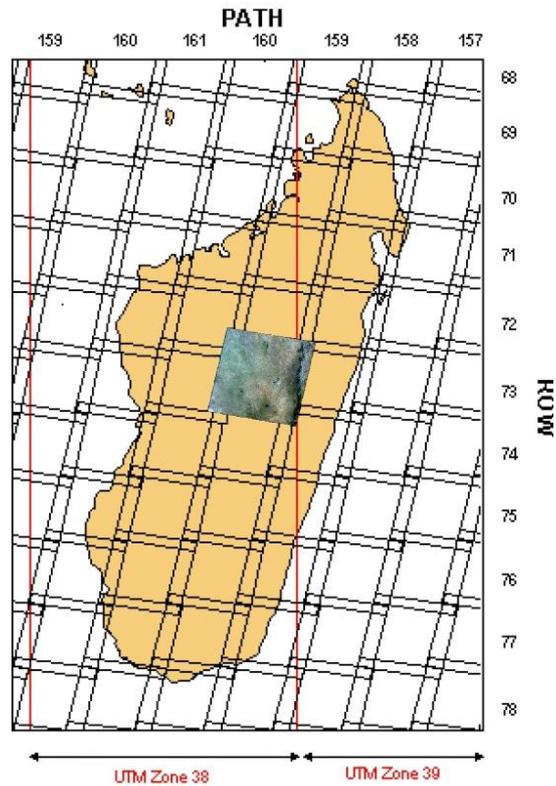


Figure 2. Scène Landsat 7 pour Madagascar

L'aperçu général de la géologie dans cette région d'après les travaux antérieurs [10], permet d'énumérer les formations géologiques existantes :

- les paragneiss (micaschistes, gneiss, quartzites, amphibolites)
- les migmatites
- les roches de granitisation (granites migmatites, migmatites granitoïdes, granites de types Ambatomiranty)
- les roches filoniennes
- les roches volcaniques (basaltes)
- les formations superficielles (argiles latéritiques, carapaces ferrugineuses et bauxites, alluvions).

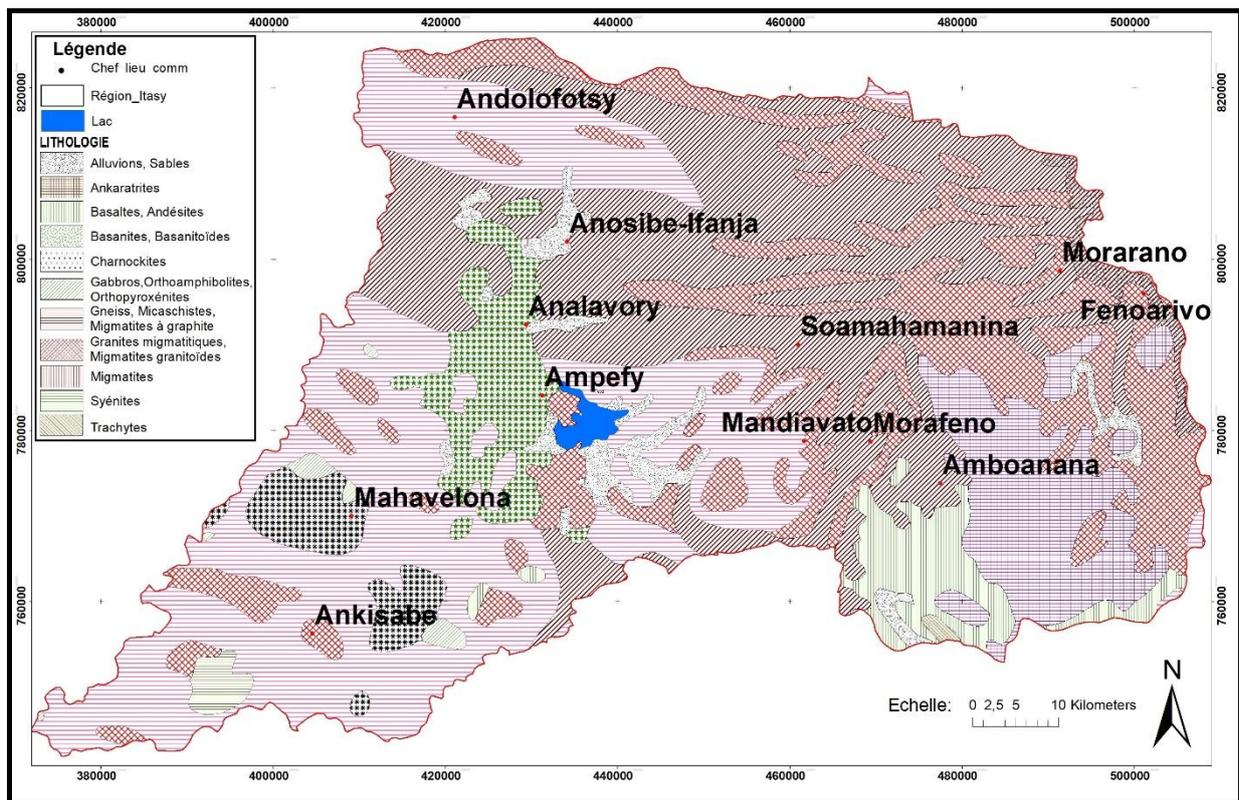


Figure 3. Carte géologique simplifiée à l'échelle 1/500 000 de la Région Itasy

2.2. Les méthodes de traitements utilisés

Pour atteindre les objectifs, on a effectué des traitements d'images avec les images de la scène Landsat ETM+

2.2.1. Composition colorée

On a réalisé, dans un premier temps, une composition colorée conventionnelle (couleurs naturelles vraies) : le 321 RVB. Le rouge est donc affecté au canal rouge (bande 3) le vert au canal vert (bande 2) et le bleu au canal bleu (bande 1). On a ensuite réalisé des compositions en fausse couleur qui sont :

- La composition colorée en RVB respectivement des canaux ETM 453. Cette composition est utilisée pour mettre en évidence des détails subtils.

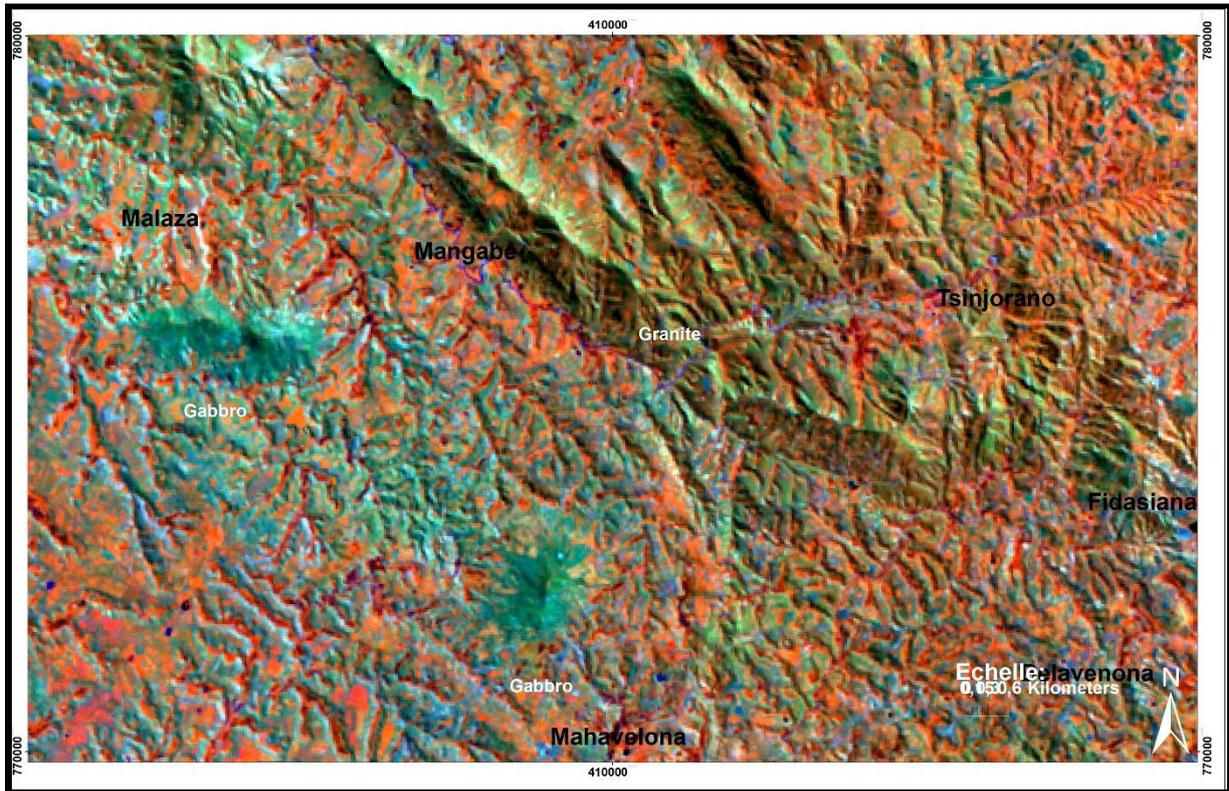


Figure 4. Extrait de la composante colorée en RVB respectivement ETM 453

- la composition colorée en RVB de l'ETM 752 permettant de mettre en évidence les matériaux géologiques.

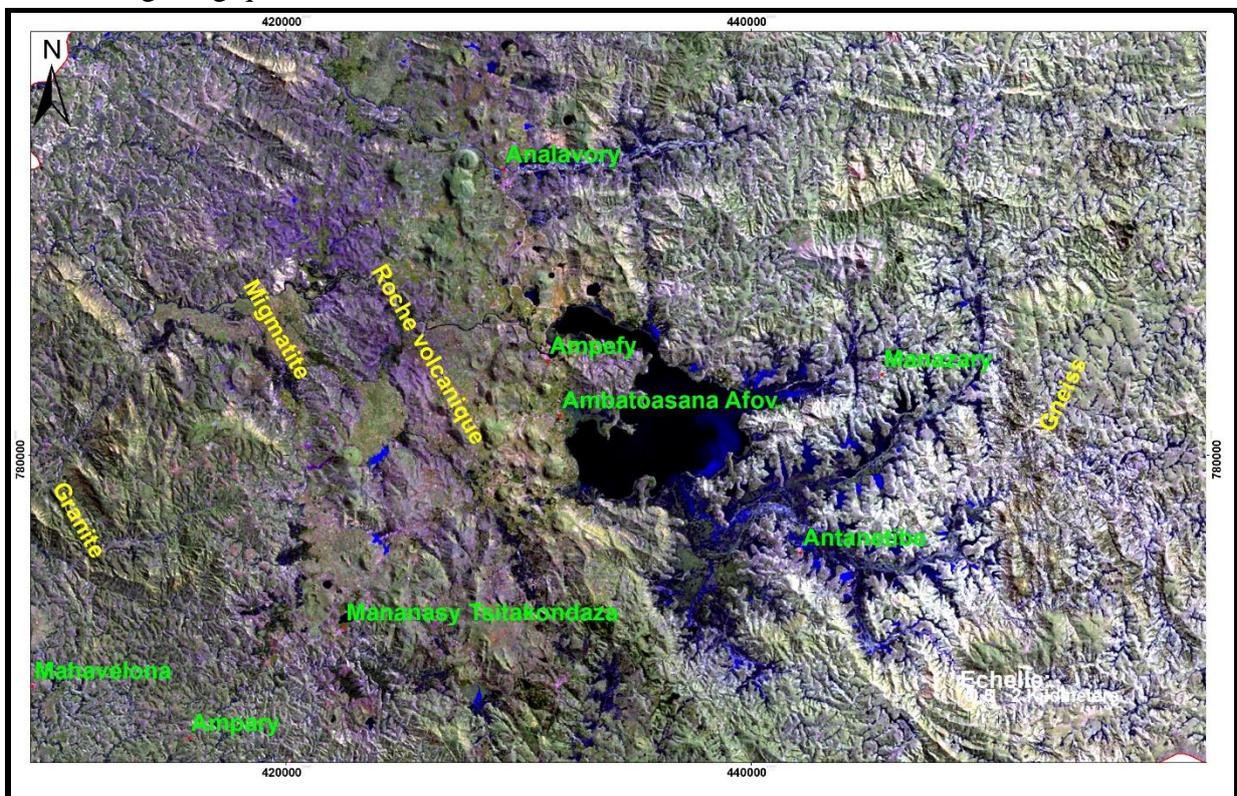


Figure 5. Extrait de la composante colorée en RVB 753 ETM

2.2.2. L'analyse en composantes principales (ACP)

La matrice de corrélation (tableau 1) des différentes bandes permet de constater les niveaux de redondance d'informations existantes dans les bandes originales. L'utilisation de l'ACP dans le domaine de la télédétection s'est avérée très efficace pour la réduction de la dimension des données et les corrélations entre les images [11].

Tableau 1 : matrice de corrélation des six bandes originales de la scène Landsat ETM+ de la région Itasy

	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7
TM 1	1.000000	0.948727	0.820886	0.740499	0.675395	0.674318
TM 2	0.948727	1.000000	0.905021	0.784615	0.750878	0.752849
TM 3	0.820886	0.905021	1.000000	0.653506	0.803606	0.852651
TM 4	0.740499	0.784615	0.653506	1.000000	0.715722	0.637741
TM 5	0.675395	0.750878	0.803606	0.715722	1.000000	0.952733
TM 7	0.674318	0.752849	0.852651	0.637741	0.952733	1.000000

En réalisant l'ACP on a obtenu des nouveaux canaux redimensionnés appelés composantes principales.

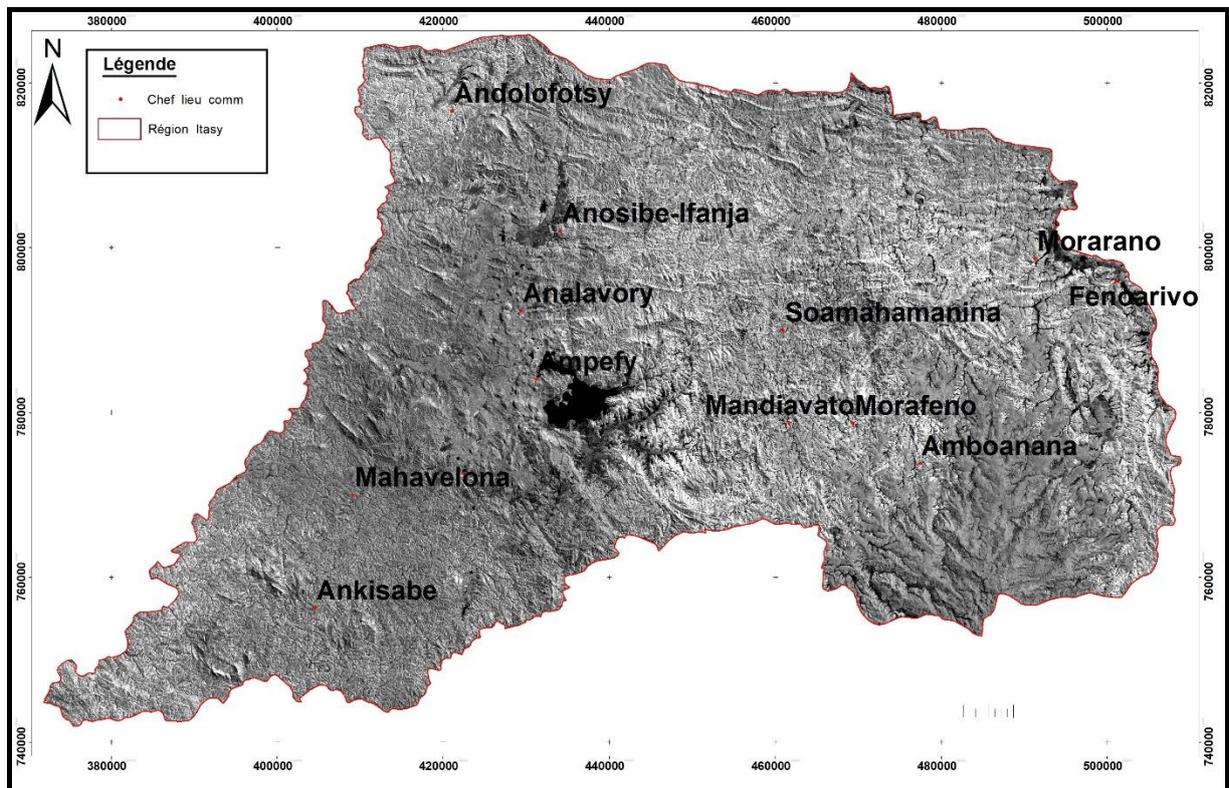


Figure 6. Première composante principale (CP1) issue de l'ACP de la scène Landsat 7 ETM+ de la Région Itasy

En appliquant la règle du coude de Cattell on peut conserver le nombre de facteurs correspondant à un "coude" de l'histogramme, conservant les valeurs propres encore assez élevées à celles devenues trop petites. Ceci permet de conserver les trois premières composantes (CP1, CP2, CP3) qui contiennent 97% des informations. Elles vont être utilisées pour la suite de l'étude.

2.2.3. Les rapports des bandes ou ratios

Pour certains auteurs la méthode de ratio est un moyen qui permet de mettre en évidence certains détails intéressants qui peuvent ne pas être évidents avec d'autres méthodes. [12] a utilisé le ratio pour cartographier la distribution spatiale de la végétation et de l'oxyde de fer. Sur la figure 7, elle montre plus en détail la formation granitique d'Andolofotsy (au Nord-Ouest de Soavinandriana) de la zone d'étude.

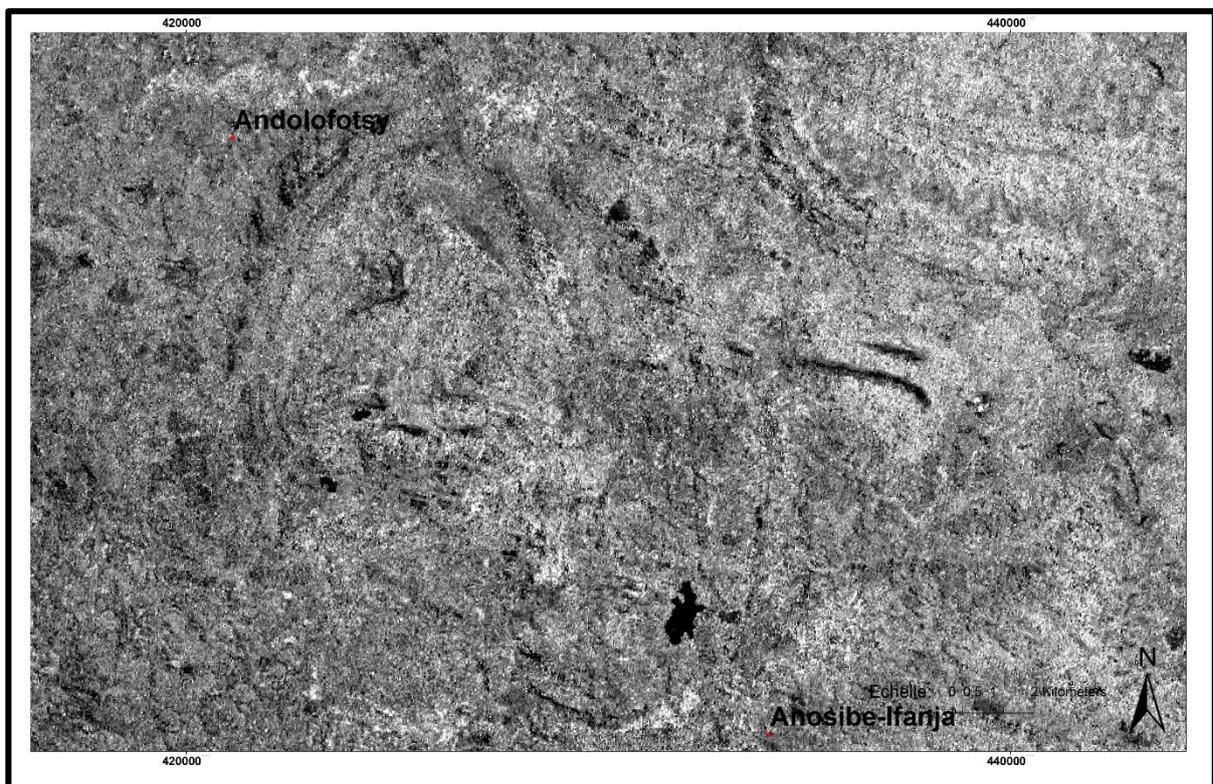


Figure7. Extrait de l'image ratio ETM 2/1 de la Région Itasy

2.2.4. Les filtres directionnels

Elles consistent en l'application d'une transformation mathématique (convolution) à l'image entraînant une modification des valeurs des pixels de coordonnées (x, y) en appliquant un opérateur gradient [13]. Les filtres directionnels sont très utilisés en géologie pour détecter des linéaments. On a appliqué les filtres directionnels Sobel 0°, 45°, 90°, 135° sur les composantes principales issus de l'ACP et les images issus de la composition colorée. Ceci permet de rehausser les contours et faire ressortir les directions des discontinuités géologiques dans l'image. Dans cette étude on a choisi la matrice 7 x 7 (figure 6.) qui a généré des images suffisamment détaillées pour la détection des linéaments.

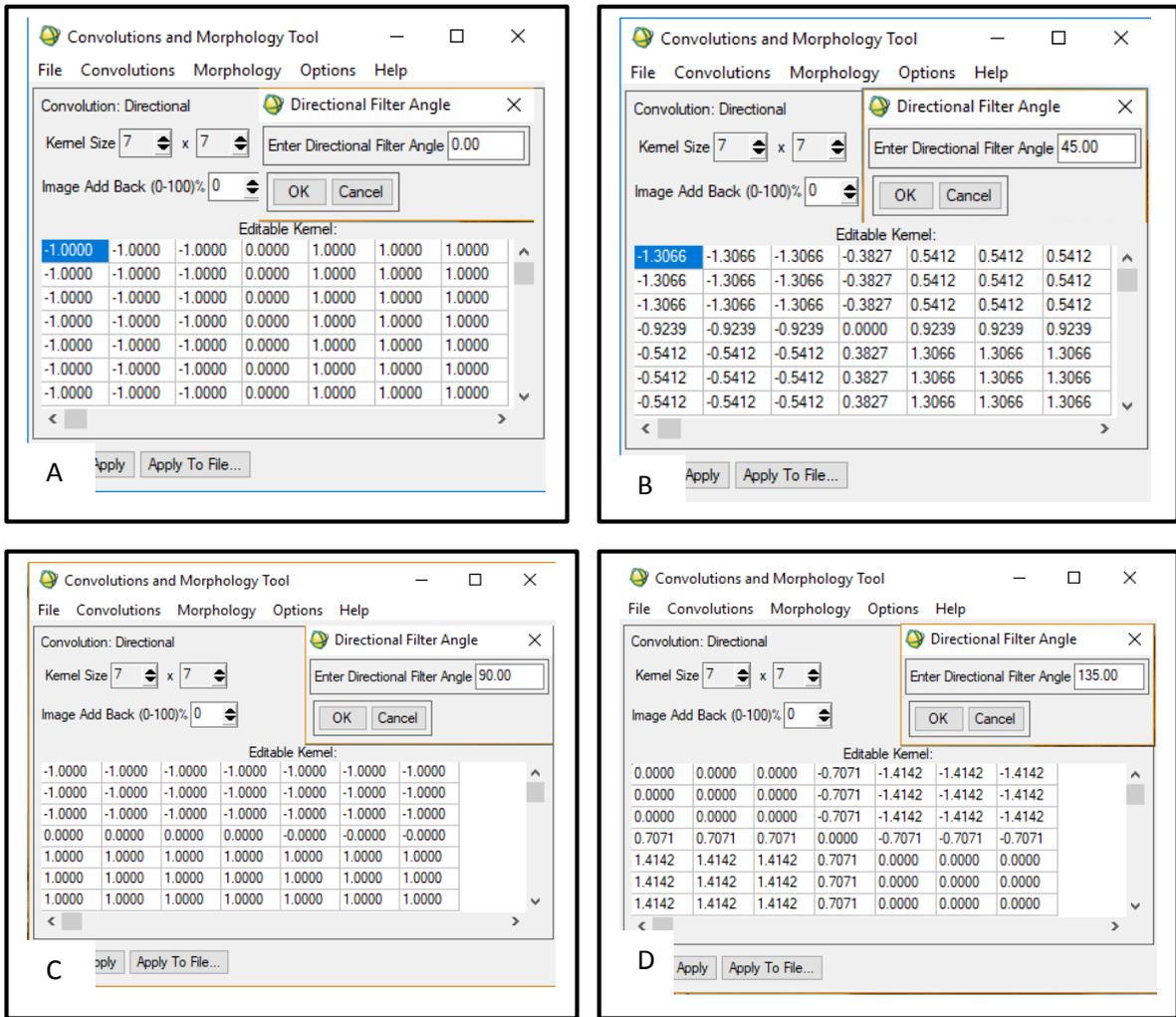


Figure 6 : Matrices des filtres Sobel utilisés. A : filtre 0° ; B : filtre 45° ; C : filtre 90° ;

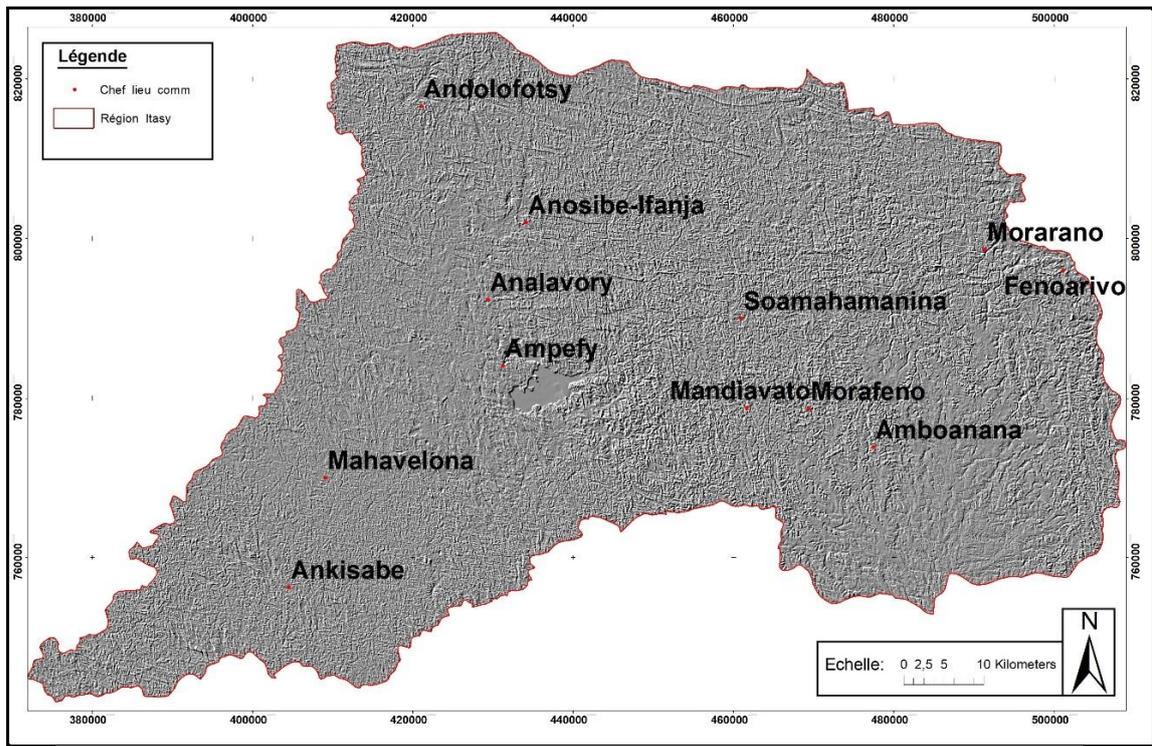


Figure 8. Image obtenu après application du filtre Sobel 45°

2.2.5. Extraction des linéaments

Deux méthodes d'extraction de linéaments à partir d'images satellites ont été utilisées dans cette étude : l'extraction visuelle où les linéaments sont tracés manuellement par interprétation visuelle ainsi que l'extraction automatique par laquelle on a utilisé le module LINE du logiciel Geomatica. La superposition avec la carte topographique permet d'éliminer par géotraitement toutes les structures linéaires d'origine anthropique détectées sur l'image (routes, pistes, lignes de hautes tensions)

La détection manuelle des linéaments est effectuée sur les bandes rehaussées et transformés. La superposition des informations contenues dans les images utilisées pour le traçage manuel a permis de créer la carte des linéaments (figure 9).

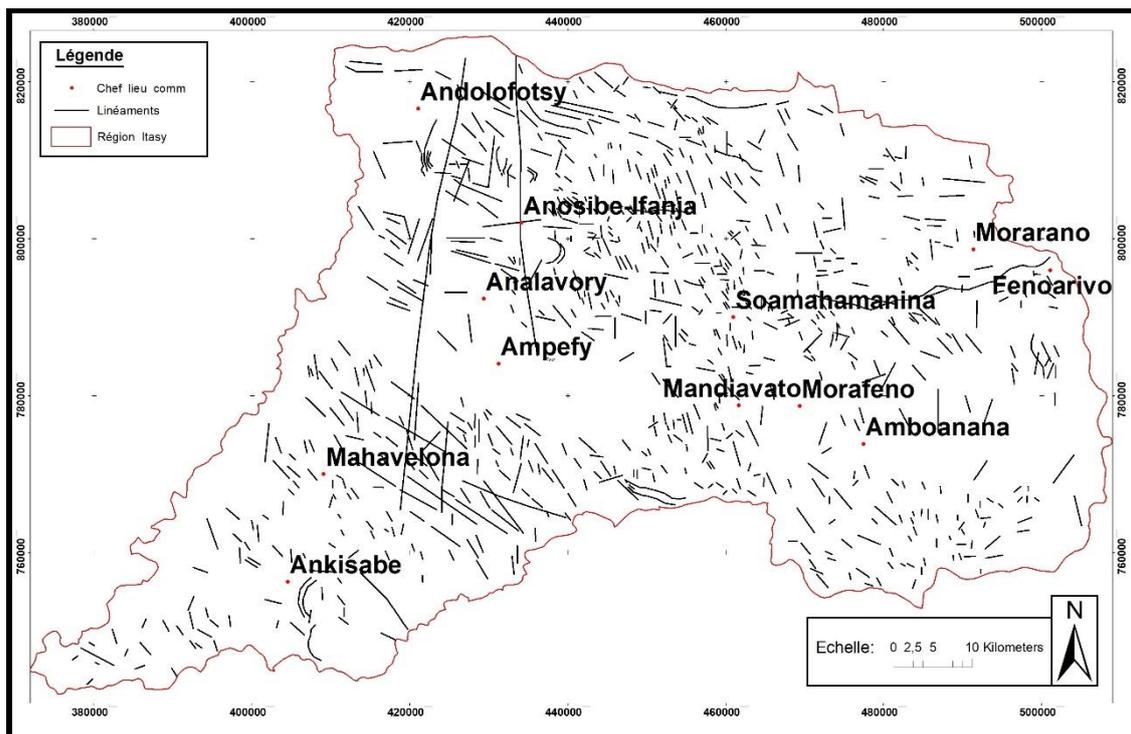


Figure 9: carte de linéaments géologiques détectés manuellement de la Région Itasy

Pour la détection automatique, les linéaments ont été détectés sur les images transformées issues de l'ACP et celles des rapports de bandes. Elles ont été filtrées avant d'être traitées avec le logiciel Geomatica.

1. Résultats et interprétation

Les compositions colorées a permis d'observer les unités lithologiques. La composition colorée 453 RVB est de meilleure qualité visuelle. On peut constater de cette figure que les différentes unités lithologiques de la région se distinguent facilement. Les massifs gabbroïques de Mahavelona, affleurant au sud-ouest de l'image, apparaissent en bleu turquoise. Un peu plus au sud au niveau d'Ankisabe les syénites apparaissent en violet. Dans la totalité de l'image on peut reconnaître les formations granitiques par des couleurs vertes. Les formations volcaniques d'Itasy ressortent par une teinte ocre qui les différencie des alluvions en orange. Les formations migmatitiques apparaissent en des tons jaunes à rouge. Au niveau d'Arivonimamo-Miarinarivo

les séries gneissiques se présentent en bleu-vert. Il est difficile sur cette image de distinguer les gneiss et les migmatites. Les Ankaratrites qui se situent à l'extrême sud-est de la carte apparaissent en bleu-violet

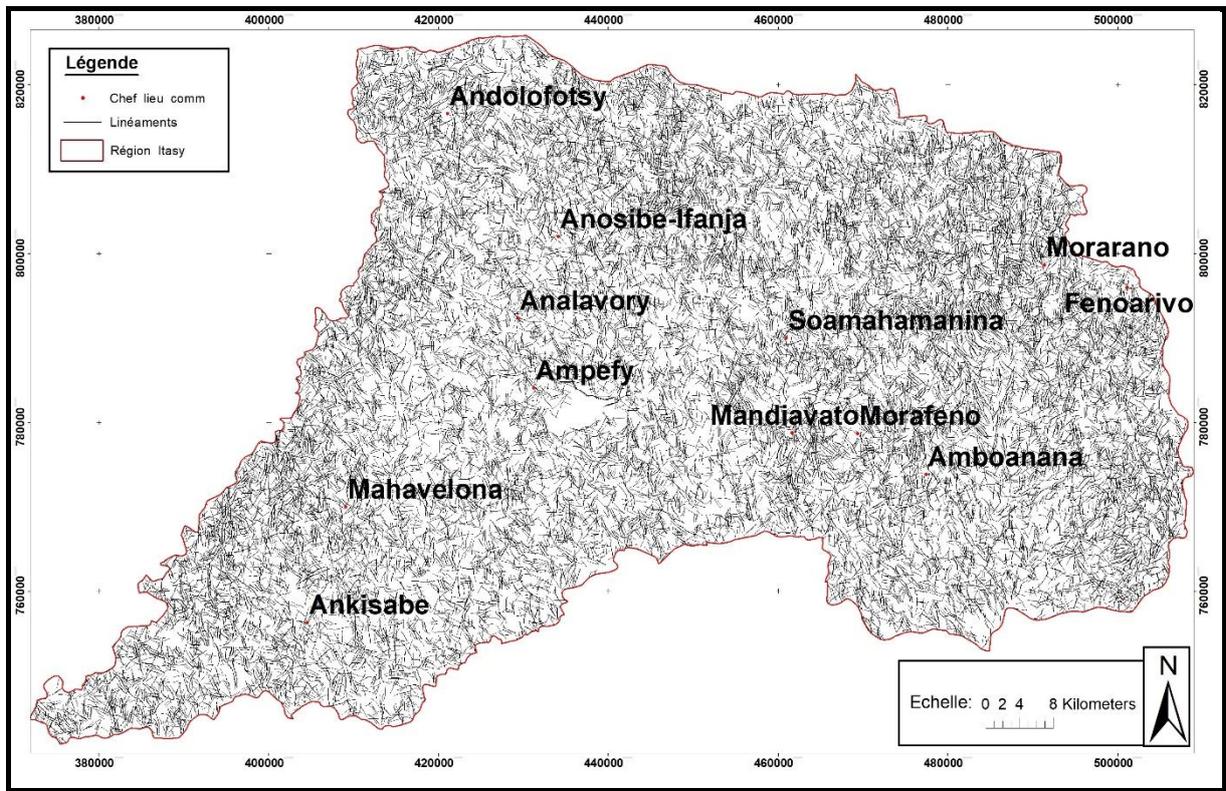


Figure 10. Carte des linéaments géologiques détectés automatiquement de la Région Itasy

L'image de la composition colorée en RVB de l'ETM 753 (figure 5) permet de mettre en évidence les alluvions de la zone d'étude qui se présentent en bleu cyan sur l'image. Les formations volcaniques d'Itasy se différencient, en de teintes vert kaki, des formations migmatitiques qui se montrent en violet. Dans cette composition les formations granitiques sont en vert-blanc.

On a gardé les trois premières composantes, dont le nombre de facteurs correspondant à un "coude" de l'histogramme conservant les valeurs propres encore assez élevées à celles devenues trop petites.

Le ratio des bandes spectrales ETM 2/1 (figure) met en évidence les formes géométriques des roches granitiques de la zone d'étude.

L'analyse statistique et la rose directionnelle des linéaments détectés a permis de classer les directions observées en différentes intervalles. On a constatés que les intervalles de directions entre $]99^{\circ} \quad 132^{\circ}[$ sont les directions à nombre élevé des linéaments.

La méthode de détection manuelle a permis de montrer les longs segments géologiques de direction N et NE, longeant la partie occidentale de la zone d'étude, correspondant à des failles dont leur situation géographique n'a pas été précisé dans les travaux antérieurs. Les résultats obtenus de la détection automatique a permis de détecter 23887 linéaments dont leurs directions ne sont pas très homogènes. On peut observer de la carte (figure 11) que les

orientations des linéaments peuvent se présenter en quelques groupes d'orientation dont chaque groupe suit une direction déterminée.

D'après le tableau les linéaments de direction $157,5^\circ$ sont les plus nombreux, suivis par les directions 0° , 90° et $22,5^\circ$. Celles de directions 135° et 45° existent également et leurs nombres ne sont pas très loin des précédents.

La figure 8 montre que la carte de linéaments automatique est très chargée. Pour cette raison on a retenu la carte de linéaments manuels pour la cartographie structurale.

D'après cette carte on peut observer que c'est dans la partie Est, du côté de Miarinarivo-Arivotrimamo, ainsi que dans la partie extrême Ouest (à l'Ouest de Soavinandriana) que se concentre la forte densité d'accidents géologiques. Cette densité de fracturation annonce les grands bouleversements tectoniques de ces secteurs. La majorité de tous ces accidents ne sont pas connus jusqu'à maintenant. G.Dellubac et al. 1964 ont déjà soupçonné la présence d'une importante fracturation et de nombreux décrochements latéraux dans le secteur Est mais ils n'ont pas pu les déceler de façon satisfaisante du fait de la latéritisation très poussée de cette zone. Ce soupçon est donc fondé et vérifié par ce travail.

La direction SE des linéaments est la plus abondante dans les deux méthodes utilisées.

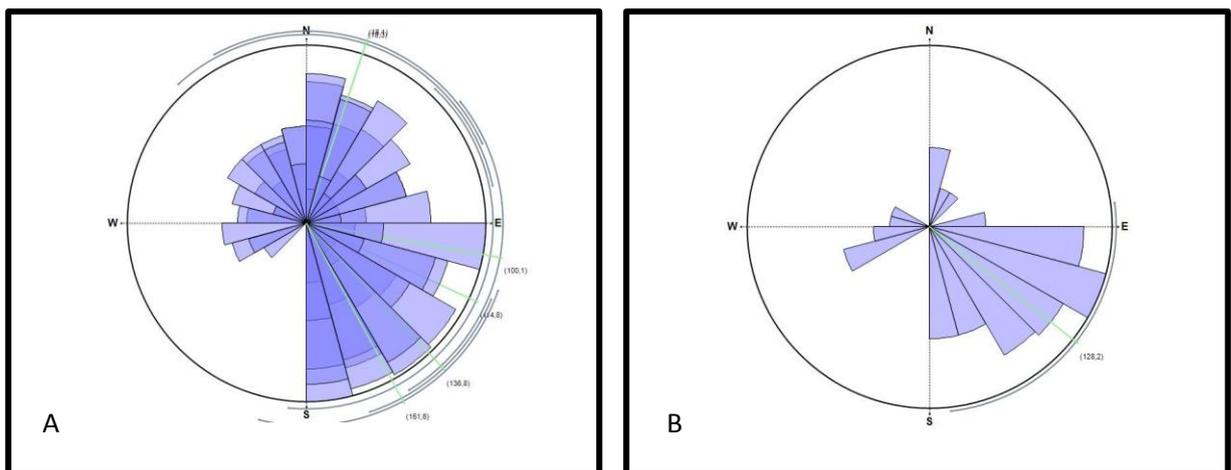


Figure 11. Les roses directionnelles des orientations des linéaments détectés. A : linéaments détectés automatiquement ; B : linéaments détectés manuellement

Cette partie de l'étude a permis de confirmer les soupçons de certains auteurs (G. Dellubac et al.) sur la présence d'une importante fracturation et de nombreux décrochements latéraux qui accompagne la tectonique de plissement complexe de la partie orientale.

Tableau 2: statistique descriptive pour les intervalles des directions des linéaments tracés

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif
0°	33°	46
33°	66°	13
66°	99°	96
99°	132°	319
132°	165°	203

165°	198°	66
198°	231°	0
231°	264°	45
264°	297°	18
297°	330°	2

La superposition de la carte de linéaments avec la carte géologique permet d'élaborer la cartographie structurale.

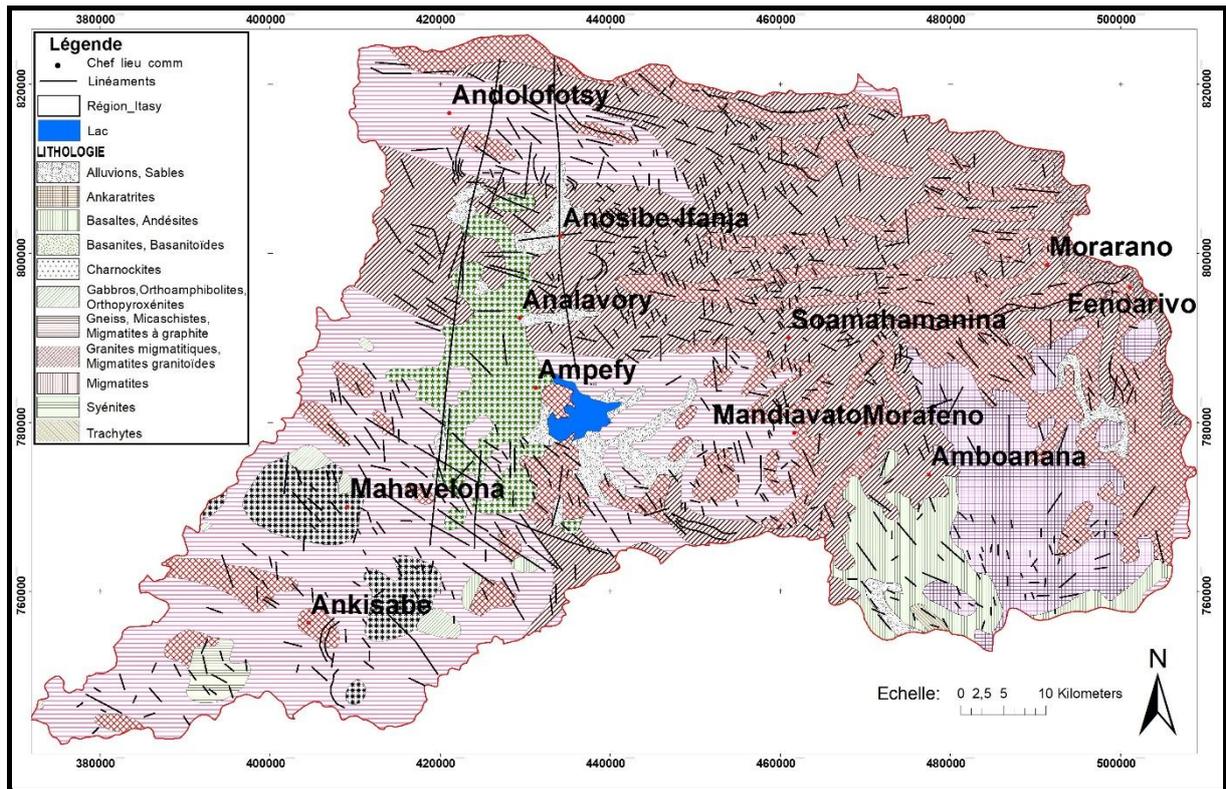


Figure 12. Cartographie structurale de la Région Itasy

2. Conclusion et discussion

Les techniques de l'analyse d'images en télédétection ont permis de réaliser des cartographies linéamentaires. L'ACP, le ratio, la superposition d'image qui forme une composante colorée, sont les méthodologies de traitements d'image qu'on a appliquées. Ils ont permis d'obtenir comme résultat les cartes de linéaments structuraux de la région Itasy.

On a constaté lors de ce travail que l'utilisation des bandes ratios est très efficace pour la détection manuelle des linéaments géologiques. Le ratio ETM 4/2 a permis de détecter les linéaments structuraux de direction N-S qu'on n'a pas détecté dans les autres images traitées.

On a utilisé deux méthodes différentes pour la détection des linéaments. Ces deux méthodes ont donné des résultats très différents mais elles ont tous deux montré l'absence des linéaments géologiques en direction WSW.

La détection automatique a mis en évidence 23887 linéaments. Ils peuvent être regroupés en six orientations dominantes différentes qui sont le 0° 22,5° 45° 90° 135° 157,5°.

A l'achèvement de cette étude, il ressort que l'utilisation de la télédétection, bien qu'il demande beaucoup de précaution, permet de gagner beaucoup de temps en termes de cartographie géologique et structurale.

La détection manuelle des linéaments géologiques demande beaucoup de temps par rapport à la détection automatique mais il reste le plus crédible des deux méthodes en termes de caractérisation des linéaments détectés.

3. Références bibliographiques

- [1] **Valère-Carin Jofack Sokeng, Koffi Fernand Kouamé, Marc Youan, Mahaman Bachir Saley**, 2014 : Extraction automatique des linéaments sur les images satellitaires par réseaux de neurones : contribution à la cartographie structurale du socle précambrien de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire).
- [2] **Gomez Cécile**, 2004. Potentiels des données de télédétection multisources pour la cartographie géologique : Application à la région de Rehovot (Namibie). *Traitement du signal et de l'image. Université Claude Bernard - Lyon I*.
- [3] **Théodore Yao, Olivier Fouché-Grobla, Marie-Solange Oga, Vincent Assoma**, 2012. Extraction de linéaments structuraux à partir d'images satellitaires, et estimation des biais induits, en milieu de socle précambrien métamorphisé. *Télédétection, Editions des Archives Contemporaines / Editions scientifiques GB / Gordon and Breach Scientific Publisher, 10 (4), pp.161-178*.
- [4] **Stephen Mabee, Kenneth C. Hardcastle, Donald U. Wise**, 1994: A Method of Collecting and Analyzing Lineaments for Regional-Scale Fractured-Bedrock Aquifer Studies. *Art. in Ground Water. University of Massachusetts Amherst*.
- [5] **Clark C.D. et Wilson C.**, 1994. Spatial analysis of lineaments. *Computers et Geosciences*, 20, 7-8, 1237-1258.
- [6] **Vassilas N, Perantonis S, Charou E, Tsenoglou T, Stefouli M, Varoufakis S**, 2002. Delineation of lineaments from satellite data based on efficient neural network and pattern recognition techniques. *In: Proceedings 2nd Hellenic conference on AI, SETN-2002, Thessaloniki, Greece, 366p*
- [7] **O'leary, D.W., Frieman, J.D., Pohn, P.A.** 1976. Lineament, Linear and Lineation: Some Proposed New Standards for Old Terms., *Geological Society of America Bulletin*, 87, 1463-1469.
- [8] **Jourda, J.P.R.** 2005. Méthodologie d'application des techniques de Télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'Ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'État, Université de Cocody, Abidjan, 430p.
- [9] **Kouamé, K., Adja, M G., Saley, M.B. Jourda, J.P.R.**, 2013 Réalisation d'une image pseudo-panchromatique RSO de Radarsat-1 pour la cartographie lithostructurale du socle précambrien dans la région de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire), *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN. 2028-9324

- [10] **G. Dellubac et al.** 1964 ; Etude géologique et prospection des feuilles au 1/100 000 Miarinarivo et Arivonimamo.
- [11] **Gomez Cécile**, 2004. Potentiels des données de télédétection multisources pour la cartographie géologique : Application à la région de Rehoboth (Namibie). *Traitement du signal et ; l'image. Université Claude Bernard - Lyon I, 2004.*
- [12] **M. Wahi**, 2013. Traitement numérique d'image aster pour l'identification des zones d'altération hydrothermale associées au skarn d'Azegour. Conference Paper · April 2013
- [13] **Maitine Bergounioux**. Quelques méthodes de filtrage en Traitement d'Image. Cours donné dans le cadre d'une école CIMPA.