

ESSAI D'ELABORATION DE LA CARTOGRAPHIE NUMERIQUE DU SECTEUR

IV.1- Les données utilisées pour la configuration de base

La méthode d'approche utilisée consiste en premier lieu à collecter des données relatives aux thèmes de ce mémoire suivi de l'analyse, la combinaison et la numérisation de certaines données et enfin des applications numériques permettant de définir des nouvelles données géochimiques.

IV.1.1- **Données cartographiques**

IV.1.1.1- *La carte géologique*

La carte géologique de Marovitsika (feuille N60 en 1975) à l'échelle 1/100.000 éditée par le Service Géologique de Madagascar en 1960 a été utilisée pour la connaissance des formations existantes dans le secteur. Ainsi, les éléments structuraux et quelques gîtes sont déterminés et reportés sur la carte établie par H. BESAIRIE et de la ROCHE et al.

IV.1.1.2- *La carte topographique*

La carte topographique à l'échelle 1/100.000 de la FTM des mêmes coupures que les cartes géologiques offre les autres données physiques concernant le secteur d'étude.

Les données bibliographiques

Les données bibliographiques ont beaucoup aidé à la réalisation des cartes numériques. L'étude bibliographique a porté essentiellement sur les domaines suivants: la géologie du secteur d'étude, la géologie structurale, la pétrographie, la minéralogie.

IV.1.3- Images satellitaires

Nous avons simultanément utilisé l'image LANDSAT TM7 (scène n°158077 acquise en 1999) ainsi que l'image du senseur Quick Bird ; c'est une scène de 185 Km, en format numérique.

L'image couvre toute la commune urbaine et une partie d'Andotsy dont nous avons fait l'extraction du secteur d'étude afin de bien la traiter.

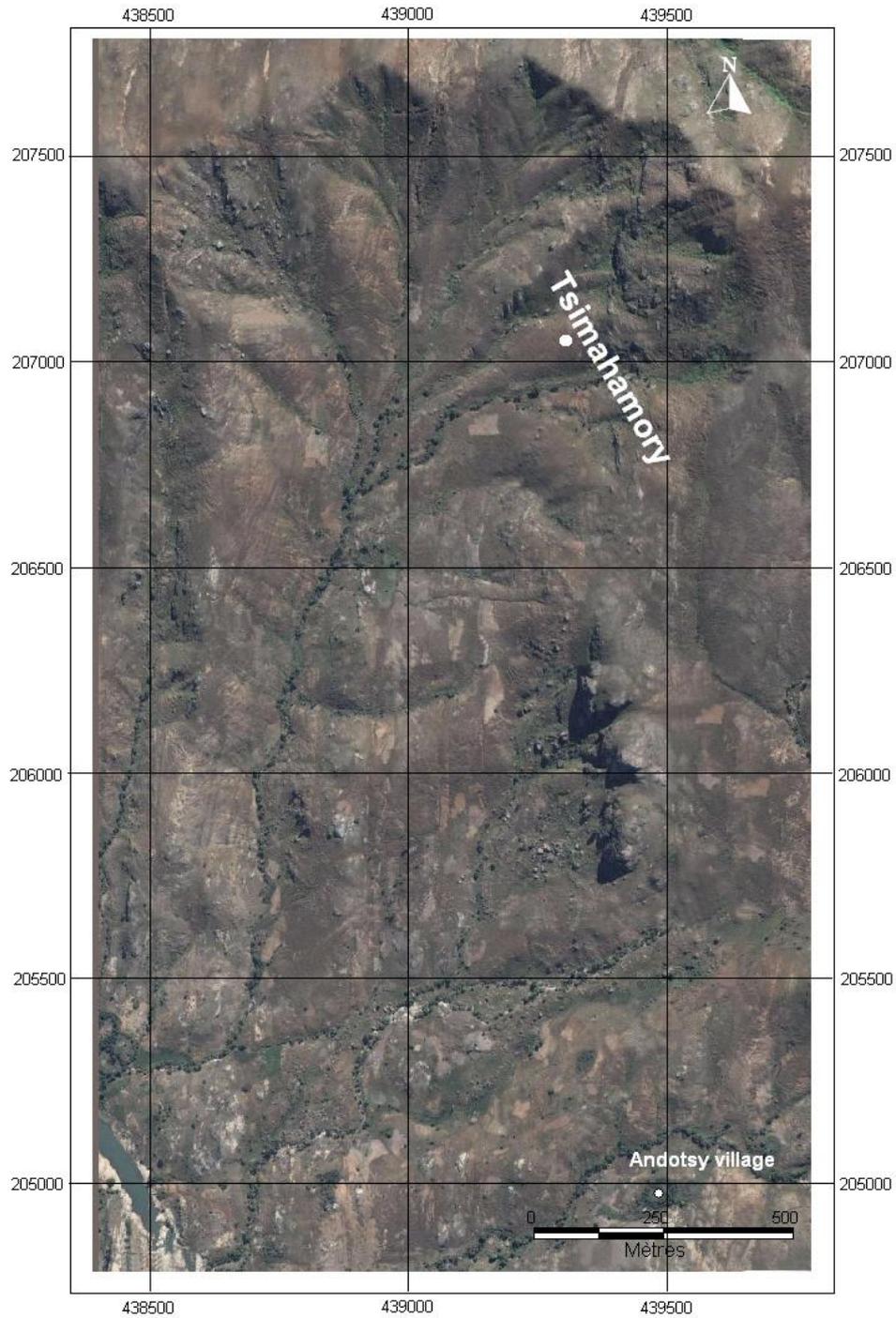
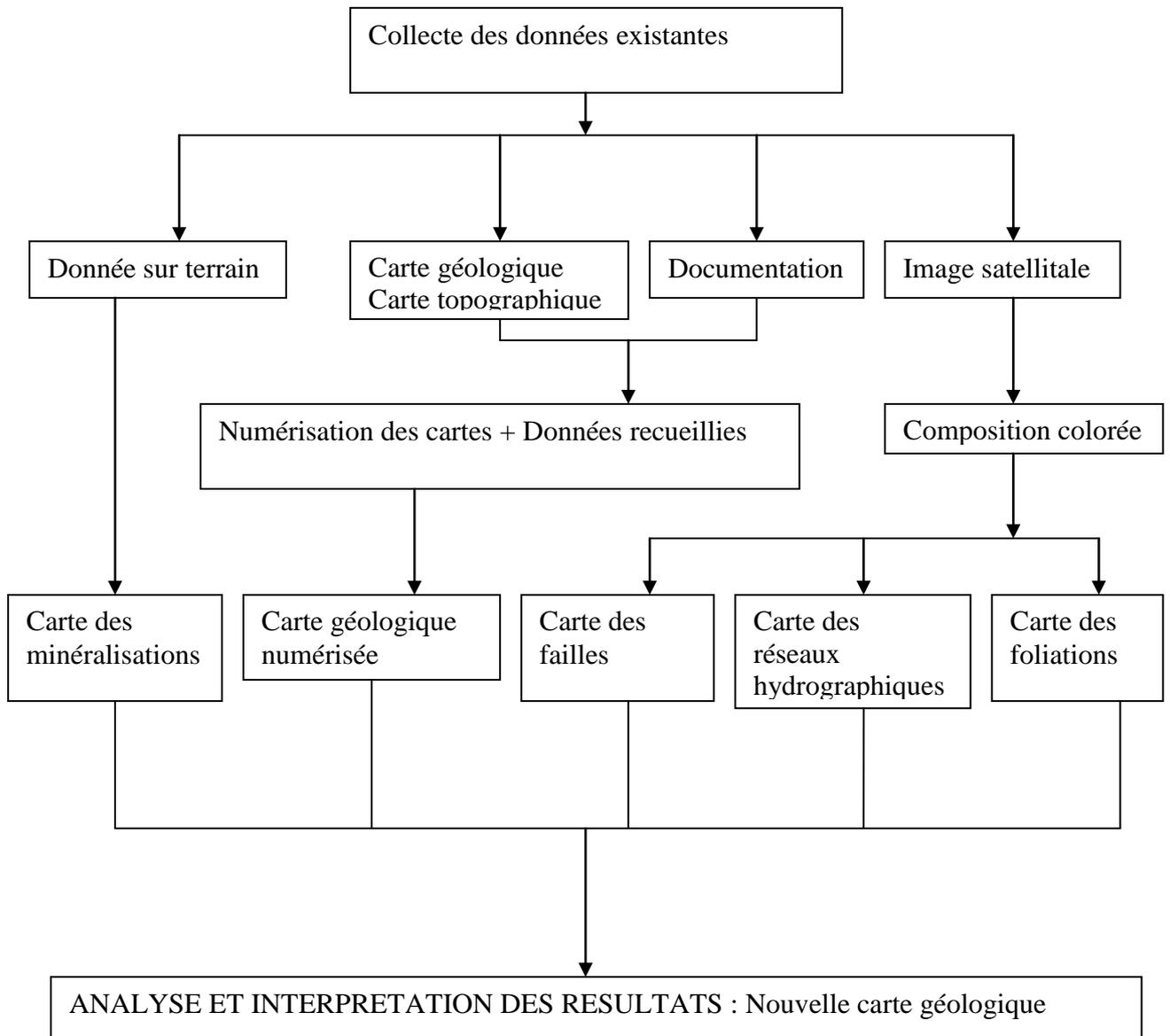


Figure 7 : Extrait d'une image Quick Bird couvrant le secteur étudié (Google Earth)

Cette image fait apparaître la dénudation du secteur opposé à un très faible développement des sols, il affleure bien. La zone n'est pas habitée et ne se prête pas à l'agriculture.

IV.2- Acquisition d'une nouvelle base de données

IV.2.1- Méthodologie



Organigramme 1 : Méthodologie de configuration de la base de données

Traitement des images satellitales

Les données existantes ont été numérisées à partir de la carte géologique, de la carte topographique et des travaux bibliographiques. Le logiciel de SIG a été utilisé pour combiner et numériser les produits finaux et intermédiaires.

Le traitement des images satellitales a été réalisé avec le logiciel Adobe Photoshop qui a permis des compositions colorées en RVB (Rouge, Vert, Bleu). Pour notre cas on a retenu la combinaison 4 (rouge), 3 (vert), 2 (bleu).

Le logiciel Mapinfo a été utilisé pour la numérisation et la saisie des données obtenues. Pour cela, les informations sont prises une à une pour chaque structure trouvée et reportée sur la carte du secteur d'étude.

Ensuite, la superposition de ces données dans une fenêtre carte permet d'apprécier et d'affiner les limites de couches ainsi que la trajectoire de la foliation ou de foliation et les tracés des linéaments.

Les travaux ont permis d'élaborer :

- la carte des failles
- la carte de la trajectoire de la foliation
- la carte de la lithologie

IV.2.2.1- Adobe Photoshop

Elle est utilisée pour le traitement des images dont notamment les compositions colorées.

L'image qui correspond à notre secteur a les propriétés suivantes :

Extraction d'image nécessaire : LANDSAT 7 TM a pour dimension de 185 km x 185 km.

Date de prise de l'image : 11 Mai 2007, Canal 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8.

Pour faire les études sur les images satellitales nous avons fait la composition colorée 3-2-1.

Premièrement, on prend ces images c'est-à-dire des fenêtres spectrales 3, 2, et 1 un par un en les améliorant par le rehaussement des contrastes des teintes en procédant à la réalisation des spectres telle que la distribution des niveaux radiologiques des teintes doit globalement d'allure gaussienne. Les spectres d'image sont distribués suivant 256 tons, identifiés de 0 à 255. L'objectif de la redistribution est d'obtenir une image meilleure définition des images et des contrastes des teintes. Cette opération a pour but d'optimiser l'expression des traits de

l'image finale. Après on assemble les 3 images et on combine les couleurs.

Il est préférable d'employer les couleurs naturelles. RVB (Rouge, Vert, Bleu).

On exporte l'image ainsi améliorée dans MAPINFO pour les diverses numérisations.

IV.2.2.2- *Mapinfo*

Configuration requise : 8 Mo de RAM au moins, sur un PC 486 ou Pentium.

a- Structure des données

Comme dans tous SIG, les données sous MAPINFO sont de deux types :

Des données graphiques= ce sont des objets placés dans l'espace et à géoréférence.

Des données textuelles qui renseignent ces objets géographiques.

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

. Le fichier de suffixe « .tab », c'est un fichier texte décrivant le format de fichier de donnée= structure de table

. Et le fichier de suffixe « .dat », c'est un fichier de données de base de type tabulaire, et qui peuvent provenir d'un fichier de base, Excel...

S'y ajoutent des fichiers gérant l'information graphique :

.map= description des objets pétrographiques

.id = références rapides qui assurent le lien entre les données et les objets

.ind = fichier mère qui permet de faire des sélections.

- Structure des données tectoniques

Nature	Décrochement	Directionazmiroir	Plongementazmiroir
Faille	Dextre	125	45 ⁰

- Structure des données lithologiques

Pétrographie	Structure	Morphoscopie	Mode de gisement	Age
Gneiss à biotite	Massive	Gros grain	Couche	Archéen

b- Affichage d'une tabl

L'ouverture d'une table signifie l'ouverture de données géographiques de type carte ou bien des données textuelles de type tableau. Normalement une table possède ces deux types d'information comme nous l'avons vu précédemment. Des cas particuliers se présentent comme pour les images raster qui n'a pas de données textuelles ou bien les tableaux portés issus de tableur qui n'a pas de données cartographiques rattachées.

c- Modèles de visualisation

- Automatique (par défaut) : carte si données géographiques sont rentrées
- Données : affichages des données concernant la table sélectionnée
- Carte courante : Mapinfo superpose, si possible (même référentiel de base), les données à la carte active
 - Nouvelle fenêtre carte
 - Pas de visualisation (ouverture de la table sans tableau ni carte)

d- Contrôle des couches

Chaque table possédant des données géographiques correspond à une couche. Plusieurs tables peuvent être ouvertes de façon à superposes couches cartographiques « comme les feuilles de calque ».

L'ouverture d'une fenêtre carte donne accès au menu Carte, sous-menu Contrôle des couches.

Chaque couche (soit chaque table cartographique) peut être géré par ce sous-menu :

Quatre fonctions sont disponibles :

- . Rendre la couche visible ou non
- . Rendre la couche modifiable ou non
- . Rendre la couche sélectable ou non
- . Ajouter des étiquettes (Ce sont les informations textuelles contenues dans des champs à côté de l'objet cartographique auquel elle est rattachée).

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

e- Modes d'affichage

L'information textuelle (de type numérique, alphanumérique) est comme dans des tableaux.

Ces tableaux sont rendus visibles par la commande menu Fenêtre de 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 sur la carte, il suffit de cliquer sur celui-ci à l'aide de l'outil *i* (*i*= information).

Enfin l'information textuelle peut être atteinte sélectivement à l'aide de requête (menu Sélection).

f- Gestion des tables

Menu table permet de :

Modifier la structure de la table ; modifier le nom d'un champ, rajouter un champ, supprimer un champ...

Renommer une table (cette commande permet de renommer automatiquement tous les fichiers rattachés à cette table comme ceux avec une extension .dat, .map...).

Supprimer une table (cette commande permet de supprimer automatiquement dans les fichiers rattachés à cette table comme ceux avec une extension .dat, map...).

Compacter une table permet de supprimer tous les objets graphiques ou données qui ont été effacés.

IV.3- Modèle numérique des résultats

IV.3.1- Carte du réseau hydrographique

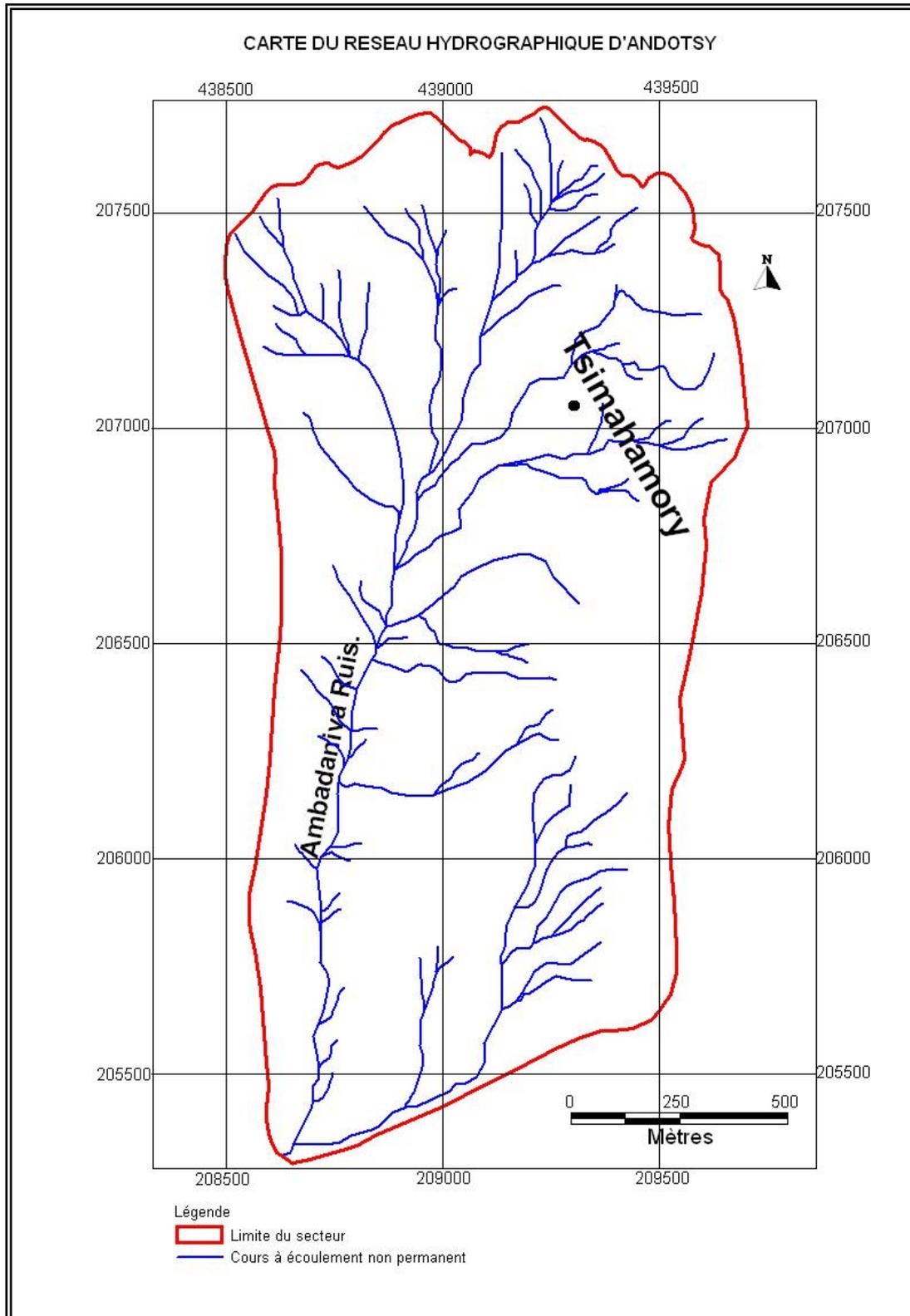


Figure 8: Carte du réseau hydrographique du secteur d'Andotsy

IV.3.2- Carte lithologique

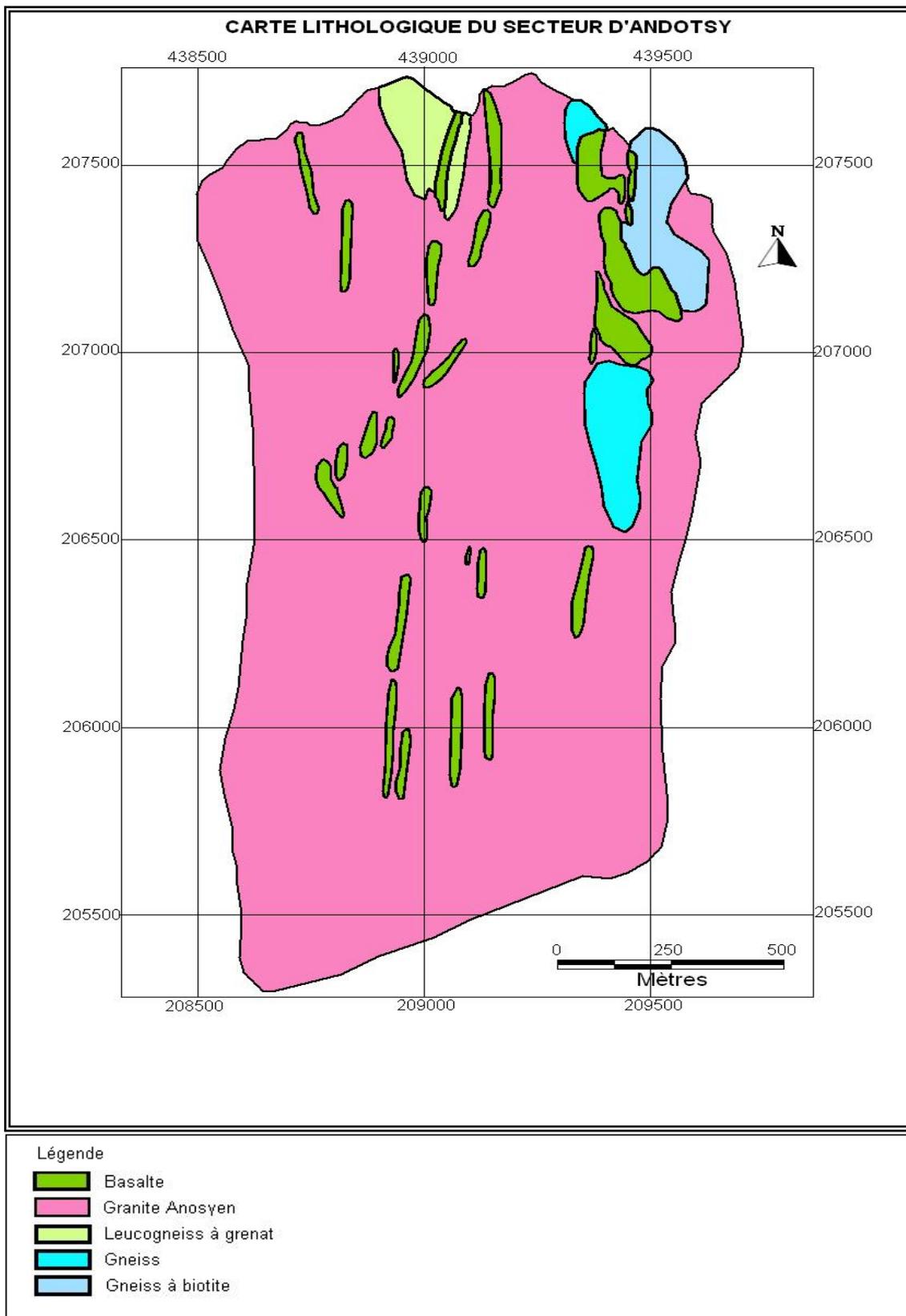


Figure 9: Carte lithologique du secteur d'Andotsy

IV.3.3- Carte des failles

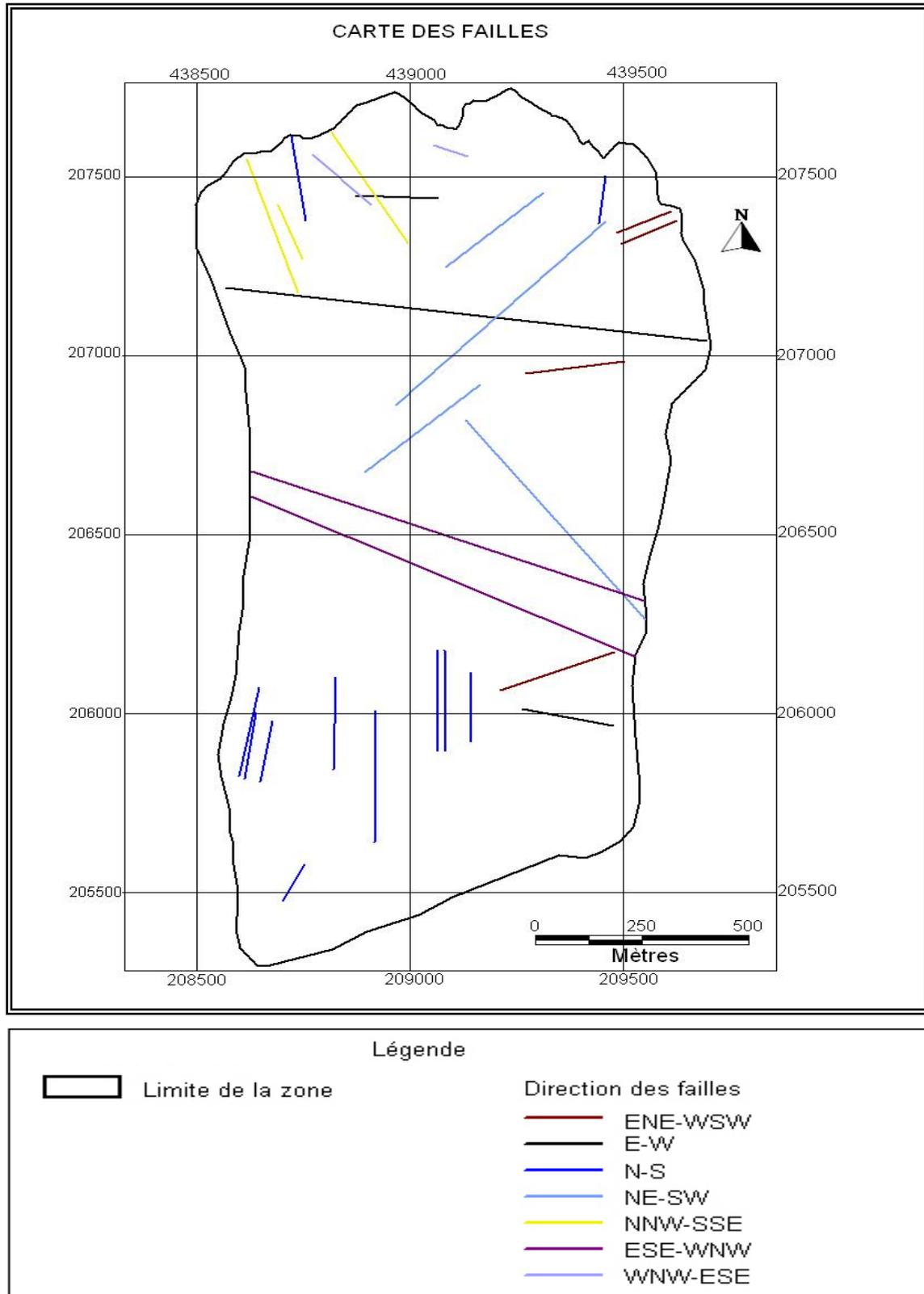


Figure 10: Carte des failles du secteur d'Andotsy

IV.3.4- Carte de la trajectoire de la foliation

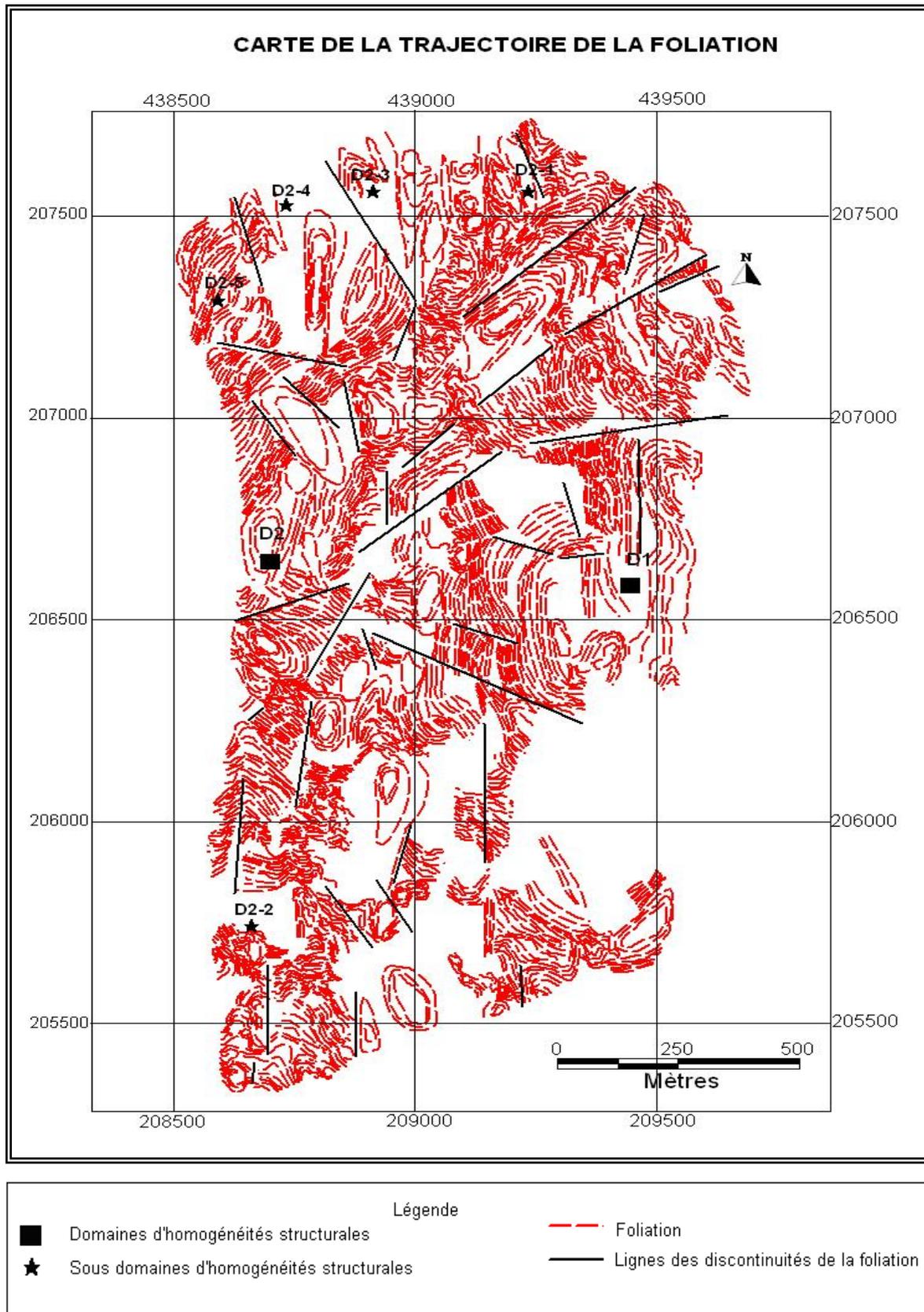


Figure 11 : Carte de la trajectoire de la foliation du secteur d'Andotsy

IV.3.5- Carte géologique

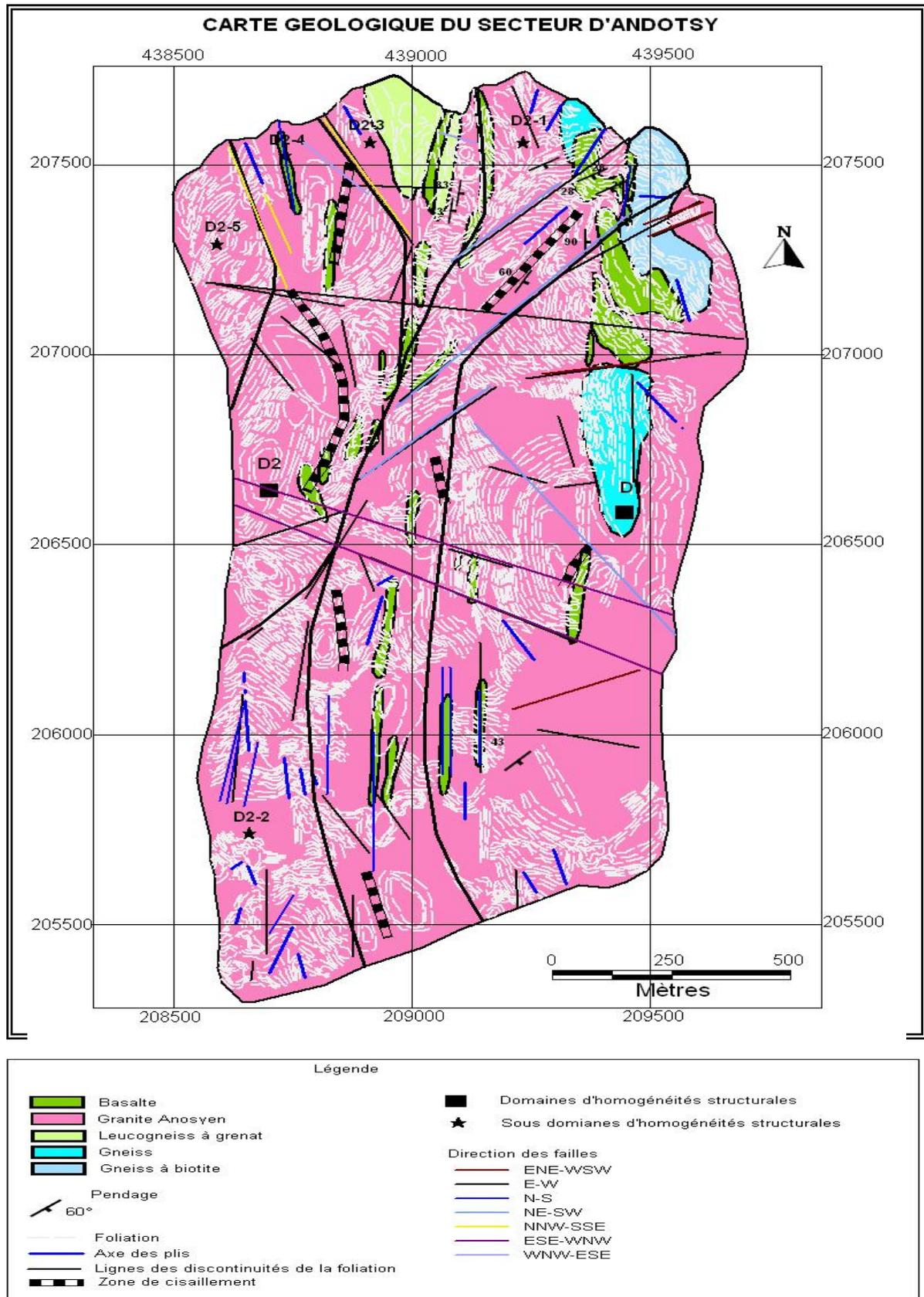


Figure 12: Carte géologique du secteur d'Andotsy

IV.3.6- Carte de la synthèse structurale

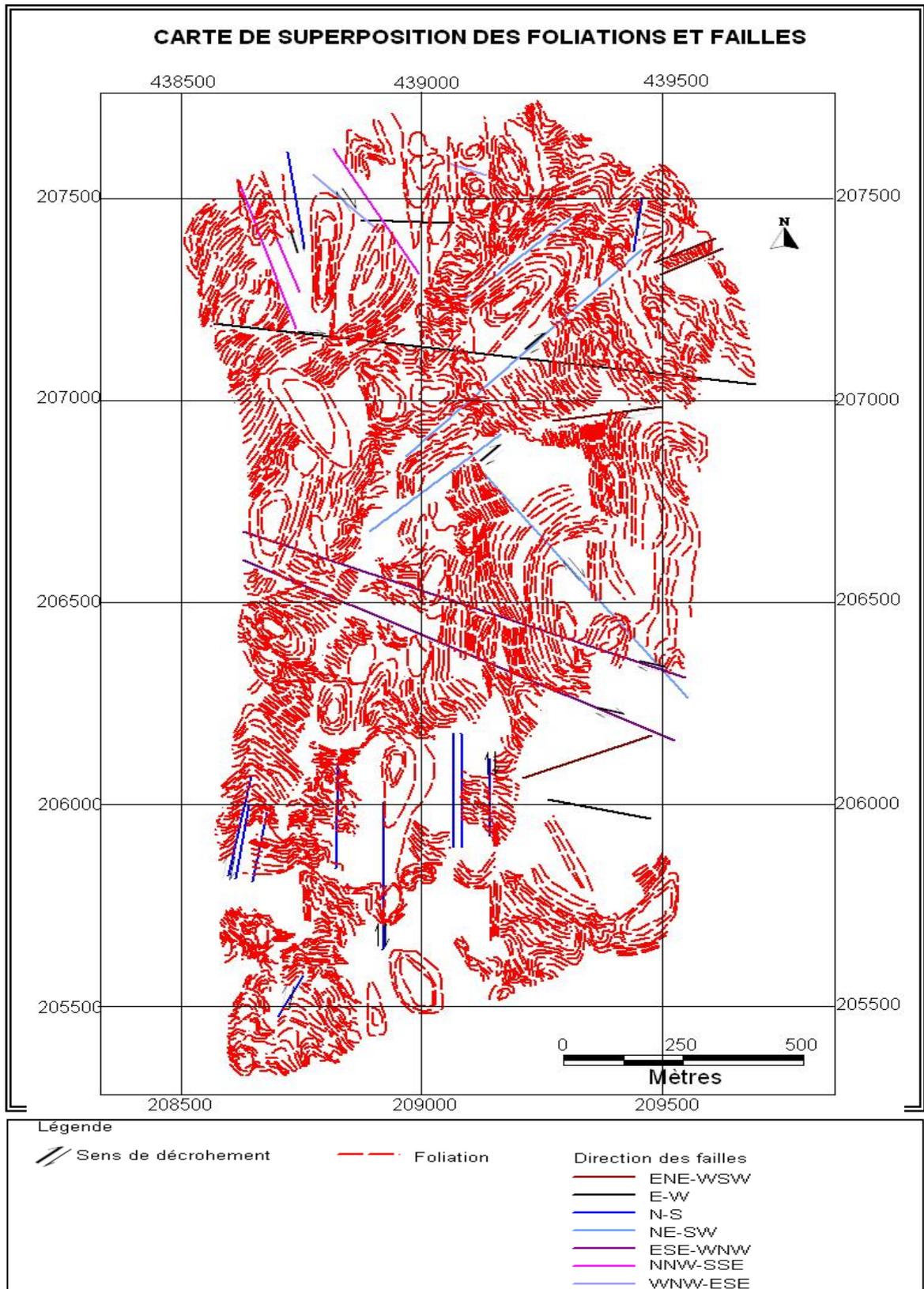


Figure 13 : Carte de la synthèse structurale

IV.4- Interprétations et perspectives

L'objectif principal de cette étude est de proposer une carte numérique de la géologie du secteur d'Andotsy. Pour ce faire, un élément très important est la définition des domaines d'homogénéité structurale du secteur, plus précisément délimiter les domaines géographiques au sein desquels les éléments structuraux et tectoniques (les linéaments, ligne de foliation...) respectent globalement une même règle.

En effet, les différentes formations géologiques soumises au même événement de déformation subirait les mêmes effets et enregistreraient les mêmes déformations à la même intensité aux nuances près de leurs comportements respectifs vis-à-vis des contraintes qu'elles ont subies en faisant intervenir la rhéologie de chaque roche.

Le secteur d'étude est affecté par différents événements tectoniques. Ainsi, un mouvement de compression se serait produite suite à une fracture majeure et s'est matérialisé par la présence de structures plissées dans le secteur. Le boudinage très fréquent dans la région, rend compte de ce mouvement de cisaillement. Outre l'allure circulaire des foliations, des trajectoires courbes a été observée à l'Est dans DHS D2-5 ; elles traduisent une structure due à un effet de transpression. Par contre, l'important allongement des foliations indique un mouvement de distension.

La structuration du secteur d'Andotsy a été interprétée à partir de la superposition de la carte de la trajectoire de la foliation et celle des failles. Ces deux éléments de la déformation sont enregistrés par les roches.

Initialement le terrain a été plissé suivant le pli P1 et repris par une autre seconde phase de plissement P2. L'allure finale de la déformation rend compte d'un plan axial P2 est perpendiculaire ou oblique à un plan axial antérieur P1. Ces deux plis ont été replissés par un troisième événement responsable d'une transpression.

On constate simplement que le secteur d'Andotsy coïncide à un plissement complexe observé en surface.

Les domaines structuraux du secteur d'Andotsy témoignent d'un complexe de déformations souples et ductiles responsables de la constitution de plis serrés.

La mise en place du basalte probablement postérieur à l'événement de cisaillement se serait

faite grâce à un mouvement senestre associé à la déformation (figure 20).

On définit, à partir des différentes cartes ci-dessus précisées, que la foliation définit deux grands domaines d'homogénéité structurale qui est :

- Le domaine d'homogénéité structurale D1 qui est caractérisé par des trajectoires de foliation sub-méridienne relativement bien organisées.
- Le domaine d'homogénéité structurale D2 qui est caractérisé par des structures annulaires étirées dans une matrice de foliation de plissement.

La synthèse structurale du secteur d'Andotsy est obtenue par la superposition de la carte des foliations avec celle des failles qui permet d'apprécier (figure 13).

L'envergure des événements tectoniques importants qui auraient affecté le secteur d'Andotsy.

IV.4.1- Carte des éléments structuraux

Le pli est une déformation résultant de la flexion ou de la torsion des roches. Une roche se plisse lorsqu'une surface de référence définie se transforme en une surface axiale (pli droit, pli déjeté, pli déversé...), selon la forme qu'elle acquiert (flexure, pli coffré, pli en éventail,), et selon le type de déformation (pli isopaque, pli anisopaque, pli semblables,...), selon leur genèse (pli de revêtement), selon leur mode d'association (plis en échelons, plis isoclinaux).

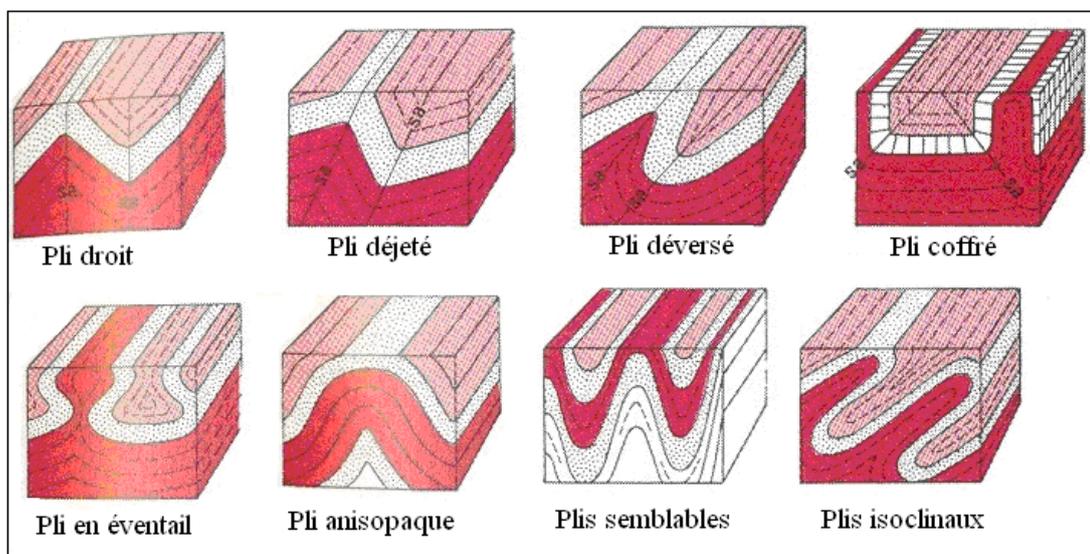


Figure 15 : Différents types des plis

On classe les plis d'après :

- l'orientation de leur plan axial, la disposition des flancs par rapport au plan soit horizontale, soit verticale, la forme de la charnière,
- les variations d'épaisseur sur une coupe transversale.

Le secteur a été affecté d'un mouvement de compression caractérisé par des raccourcissements (faille inverse, chevauchant, plis couchés...).

L'observation de ces différentes structures et les mesures nécessaires comme la direction, les plongements des divers plans se font directement sur le terrain. Elle est grandement aidée par l'exploitation des données satellitales.

Les petits éléments de la cinématique du mouvement (les linéations, les stries, les petites failles, les schistosités...) ne sont observés et mesurés que sur le terrain et ce, en confirmation du mouvement ou de la déformation de la roche. Par contre, les grandes structures sont retrouvées par l'interprétation des images satellitales et qui permet également d'avoir une vue globale de la zone pour faciliter la compréhension des traits physiques.

Le secteur a été affecté d'un mouvement de compression matérialisé par la présence des plis de différentes directions ; le phénomène de boudinage affecte la partie Nord-Ouest du secteur.

Deux phases de plissements sont reconnues au sein du secteur étudié:

- La première phase engendrant des plis à plan axial de direction Nord-Est, observables dans DHS D2 (D2-1), il s'agit des plis déversés (figure 15, image a).

Les plis en fourreaux témoignent d'un événement de replissement ou des plis replissés prouvés par l'enrobage des boudins par des plis ou des microplis peu nets.

- La deuxième phase formant des plis à plan axial de direction Sud –Ouest dans DHS D2 (D2-2), le plus souvent des plis serrés et droits à plan axial subvertical (figure 15, image b).

Signalons que dans le secteur, il existe des plissements très compliqués et désharmoniques. (DHS D1).

La présence des mylonites témoigne d'un effort tectonique accompagné d'une recristallisation des minéraux.

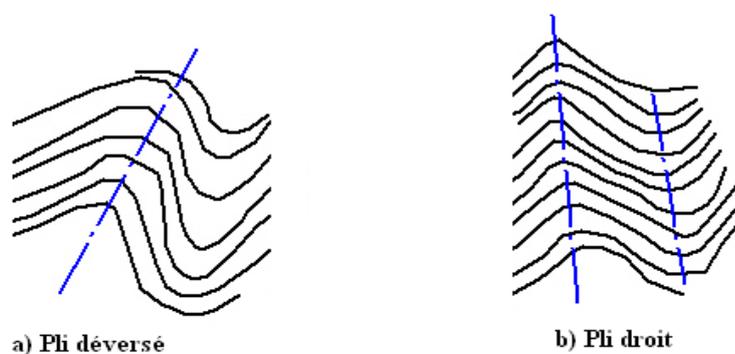


Figure 16 : Deux phases de plissement

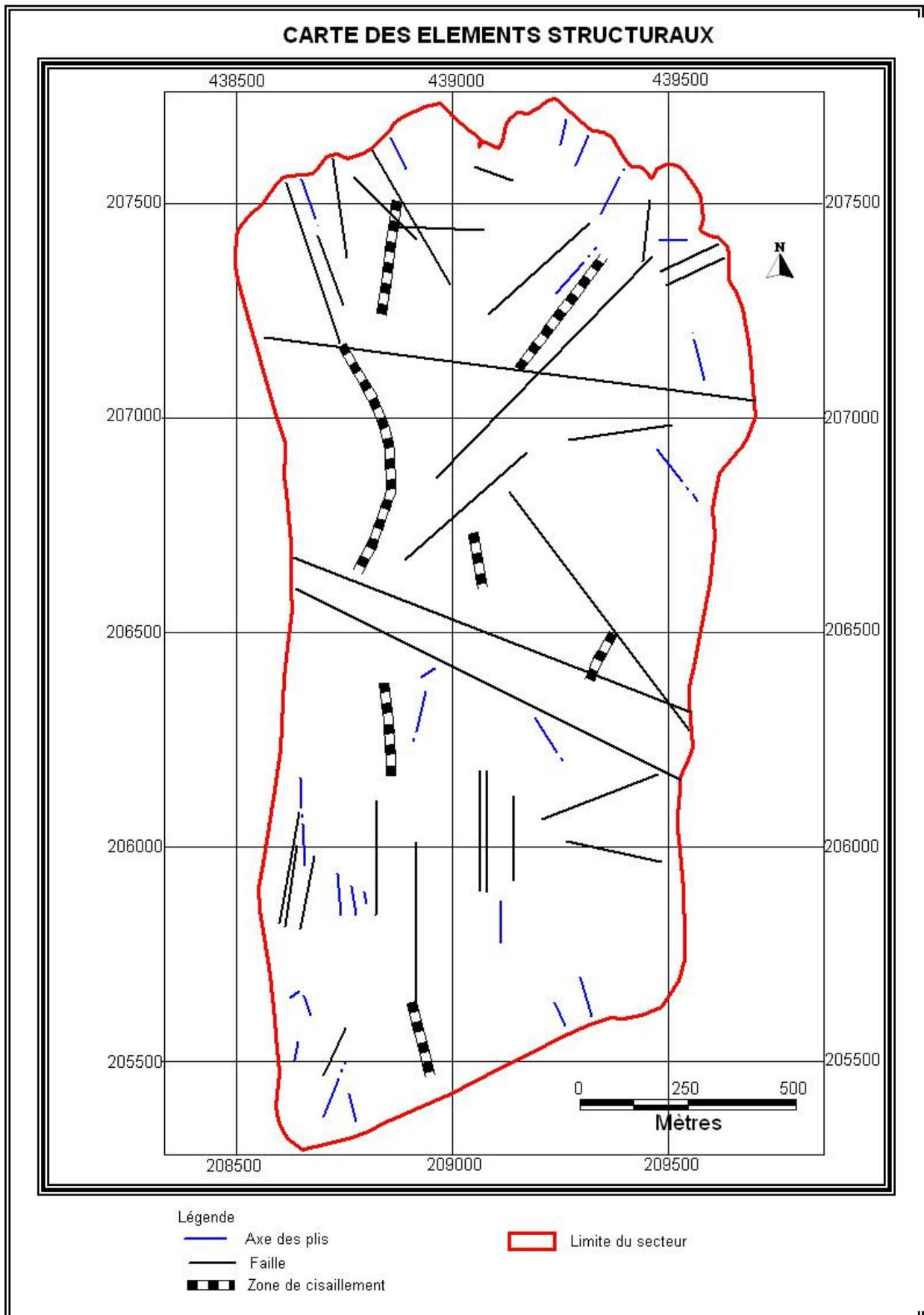


Figure 17 : Carte des éléments tectonique d'Andotsy

IV.4.2- Carte des failles

Les valeurs de l'orientation ainsi que les pendages sont portées sur le canevas de Wulff à l'aide du logiciel STEM pour la représentation cyclographique des différents plans.

IV.4.2.1- *Analyse structurale avec le logiciel STEM*

Le logiciel STEM utilisé pour les analyses structurales a les caractéristiques suivantes :

- Version 1. 1. 3. 5
- Logiciel initialement développé sur Mac (version PC offrant de nouvelles fonctionnalités)
- Report des mesures sur canevas soit de Wulff, ou soit de Schmidt
- Source : Arnaud Pêcher, Grenoble (20 Avril 2004)

❖ Principe

- Lancer le programme
- Ouvrir un nouveau document
- Remplir les informations : nature, valeur de la direction et du pendage, numéro
- Plot / Entrée depuis liste / Report sur canevas / Wulff
- Stats en 2D / Diagramme en rose

❖ But

- Représentation cyclographique des divers plans et lignes, rosaces et densités
- Analyse tectonique

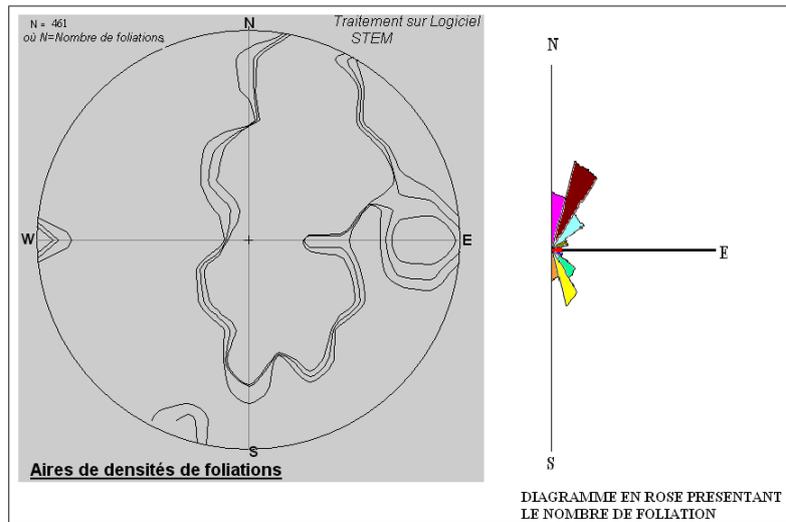


Figure 18 : Représentation sur STEM des foliations

IV.4.2.2- Représentation des failles sur la rosace

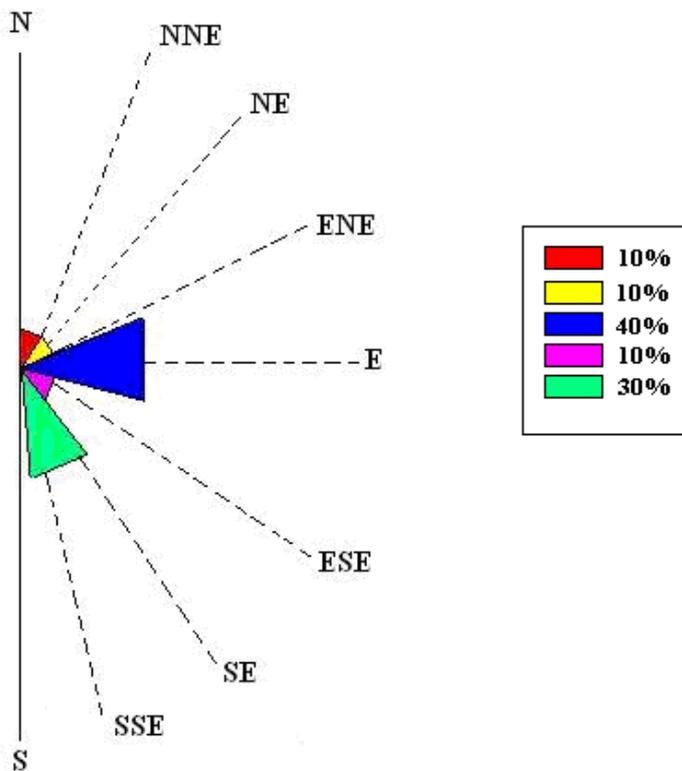


Figure 19 : Rosace directionnelle des failles décrochante dextre

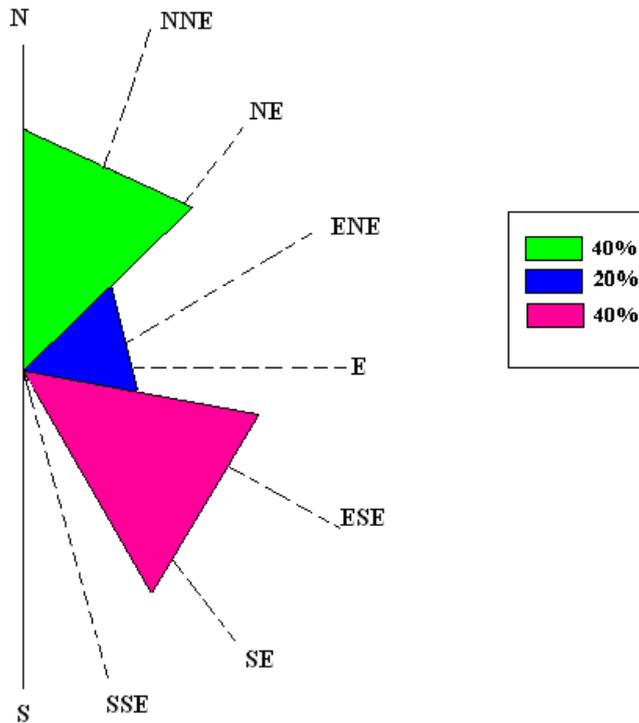


Figure 20 : Rosace directionnelle des failles décrochantes senestres

IV.4.2.3- *Analyses de la carte des failles*

Les failles proviennent d'une structure de surface simple ou complexe cartographiable, dont les éléments sont alignés de manière rectiligne ou curviligne et qui traduisent l'existence des phénomènes profonds comme l'arrangement de formation entre elle.

Les grandes ruptures ou des rangées de plusieurs petites ruptures correspondent souvent à des failles.

En pratique, ce terme désigne le plus souvent des accidents verticaux ou à pendage fort. Les failles et les cassures affectent toutes les formations géologiques, ne peut être pas toujours de la même façon jusque dans les profondeurs où elles peuvent être amorties.

La distinction entre les failles et les foliations ne sont pas toujours évidentes, d'autant plus que les structures fragiles sont liées à des événements tectoniques qui reprennent souvent les directions des structures ductiles majeures.

La direction des failles a permis de tirer les propositions suivantes :

- Direction générale NW-SE : direction de la structure cheveu-décrochante sénestre de Bongolava-Ranotsara
- La zone est faillée.
- Coexistence d'une certaine densité de la minéralisation et de foliation estompée puis changement de direction est la marque de cisaillement.

Les différents traitements par SIG et Adobe Photoshop permettent de mettre en évidence les structures géologiques du secteur d'Andotsy; ces traits structuraux sont représentés par la carte des failles et par la carte de la trajectoire de la foliation (figure 10 et figure 11).

Des structures géologiques non décelées sur le terrain ont été mise en évidence. Une approche plus orientée a été rendue par l'utilisation du logiciel Mapinfo en même temps que ce logiciel permet une étude d'une superficie intéressante et ce, avec une possibilité de jouer avec l'échelle des études.

L'observation de la carte des failles dans notre secteur a également permis de définir l'orientation des failles. La majorité des failles a une direction ESE et quelques unes d'entre elles ont une tendance à être parallèle à la direction de la foliation (ESE-WNW et certains sont SE-NW).

Dans la partie Sud du secteur, les failles ont une tendance subverticale. De plus, on observe beaucoup plus de failles dans le Nord (sous DHS D2-1 et D2-4) que dans le Sud du secteur (sous DHS D2-2).

On remarque aussi deux différents types de faille décrochantes :

- Faille décrochante dextre dans DHS D1 et les sous DHS D2-5 dont la majorité de cette faille a une direction ENE. On note une prédominance de faille de tendance ENE-WSW avec plus de 40% de trajectoire de faille rencontré dans le secteur (figure 18). Les accidents orientés ENE-WSW, sur cette image, se trouvent dans certains cas décalés de façon dextre par des structures orientées EW ou NS.

- Faille décrochante sénestre dans les sous DHS D2-1 dont la majorité de cette faille a une direction NNE. Sa rosace présente également des valeurs dispersées, regroupées en deux

directions principales : NNE et SE constituent 40% des failles (figure 19). Les structures orientées NE-SW et SE-NW sont parfois décalées de façon sénestre les unes par rapport aux autres par des orientations NS.

Ces failles provoquent un décrochement qui sont généralement imprimées par les déplacements des foliations.

Finalement, les roches affectées par les déformations sont les granites Anosyens.

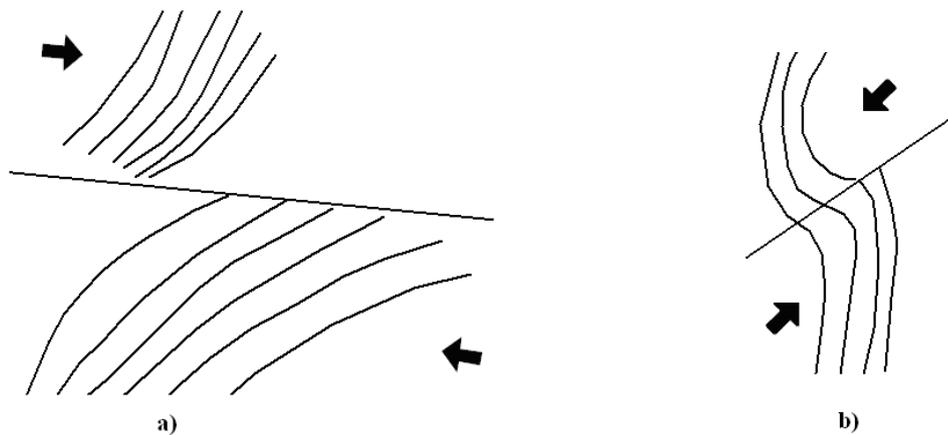


Figure 21 : Les décrochements dextre (a) et senestre (b) du secteur d'Andotsy.

Ces déformations peuvent être causées par des forces de compression sur les deux côtés Est et Ouest ou éventuellement des chevauchements.

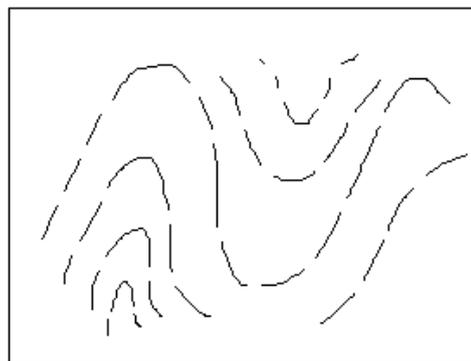


Figure 22 : Evénement 1

Des contraintes de compression, suivant la direction NE-SW, seraient probablement déroulées et auraient affecté le secteur étudié.

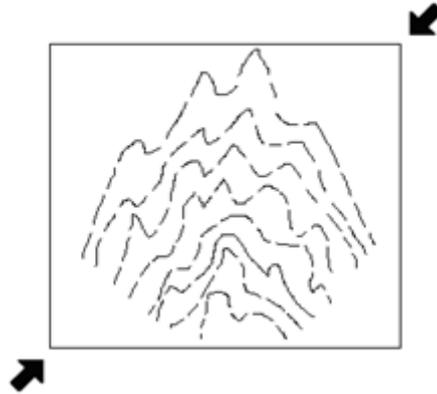


Figure 23 : Evénement 2

Comme le bloc est essentiellement formé de roches gneissiques, il aurait eu un comportement semi-fragile c'est ainsi qu'il se serait boudiné en individualisant quelques figures sigmoïdes bien distinctes dans le sous DHS D2-1

Les déformations discontinues postérieures qui se manifestent par les failles et les fractures ont affecté le secteur.

Ensuite, la densité élevée des failles montre un comportement ductile des formations géologiques d'Andotsy.

On remarque que les trajectoires de foliations sont presque linéaires et homogènes, parfois fermées, ceux-ci nous donne l'impression de déformation que ce soit :

- Compressive
- Distensive
- Plissement, et aussi des intrusions

Ainsi, d'après les trajectoires des failles, presque toutes les formations géologiques dans le secteur d'Andotsy sont affectées de fractures et de failles.

Ces fractures d'allure rectiligne sont exploitées par les cours d'eau, des plissements coïncidents surtout au sein des gneiss ; il est préférable de considérer les formations de gneiss comme un matériau plus ou moins plastique souple par rapport à la roche granite massive et rigide.

En général, les gneiss sont sensibles au phénomène de plissement car les plis se forment dans un matériel plus ou moins plastique capable de se déformer.

IV.4.3- Analyse de la carte des trajectoires des foliations

Les foliations tracées peuvent donc être d'origine primaire ou tectonique. Les foliations tectoniques peuvent représenter des phases de déformation différente.

Les observations suivantes sont tirées selon la trajectoire des foliations :

- Direction NW et SE : direction générale du cisaillement majeur de Bongolava-Ranotsara ;
- Direction WNW et ESE : cisaillement dextre ;
- Direction ENE et WSW : cisaillement senestre ;
- Foliations circulaires ou ovoïdes : présence de structures anticlinales ;
- Elles semblent indiquer une zone de cisaillement ;
- Changements brusques de direction des foliations dans les voisinages immédiats des structures cassantes.

L'interprétation des trajectoires des foliations du secteur d'Andotsy montre clairement que le socle a subi une tectonique polyphasée.

Une phase principale pénétrative D1 est caractérisée par une foliation associée à une faille d'étirement E-W (figure 24).

Les trajectoires des foliations correspondantes au secteur étudié sont reportées dans la rosace directionnelle.

Dans les deux domaines d'homogénéité structurale (DHS1 et DHS2), marquée par des foliations en lignes parallèles ; ces lignes parallèles prennent des directions variables.

Ces diverses directions permettent de classer les domaines suivants :

- Le domaine DHS1, dont les foliations suivent généralement une direction Nord vers le Sud.
- Le sous domaine DHS2-1 et DHS2-4 avec des foliations de direction Nord Est vers le Sud Ouest.

La majeure direction (Nord Ouest vers le Sud Est) des foliations constitue le 22,99% des trajectoires de foliation rencontrées dans le secteur.

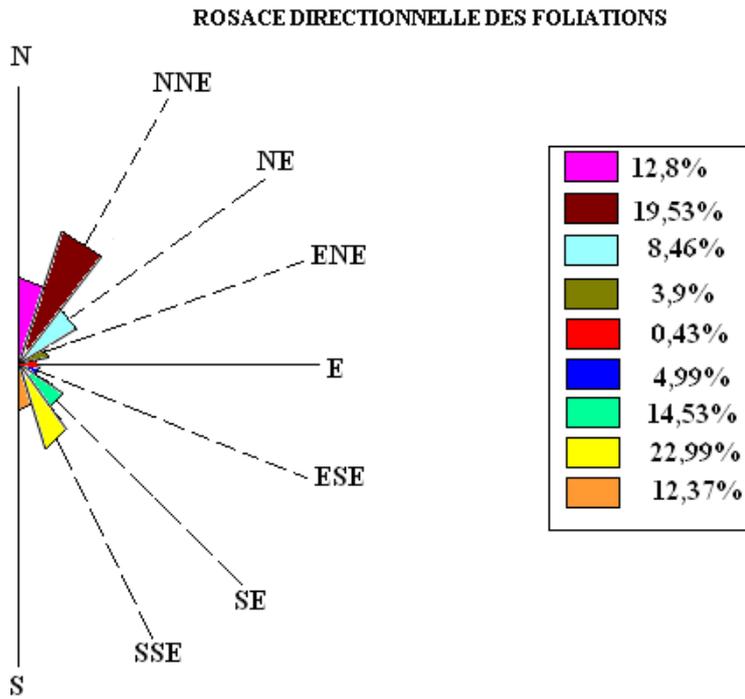


Figure 24 : Rosace directionnelle des foliations