

ANALYSE DE LA CARTE D' OCCUPATION DU SOL

1- Analyse statistique

Ce paragraphe consiste, en s'appuyant sur l'analyse de la matrice de confusion (cf. Tableau N°3), à vérifier et à préciser les résultats obtenus lors de la classification.

La première étape permet de calculer :

- le critère cartographique (rapport entre la valeur de la diagonale et la somme des valeurs dans la colonne correspondante),
- la précision cartographique moyenne (rapport entre la somme des critères cartographiques et le nombre de classe),
- le critère statistique (rapport entre la somme des lignes et la somme des colonnes de chaque thème),
- la précision de chaque classe (rapport entre la valeur située sur la diagonale et la somme des valeurs sur la ligne correspondante),
- la précision sur la classification (somme des valeurs de la diagonale sur la somme des valeurs des lignes).

Plus la valeur obtenue est grande, plus la précision est bonne d'après les résultats du tableau N°7.

Tableau N°7: Résultats d'analyse de la matrice de confusion

THEME	FS	FG	AF	SN	SB	SA
Critère cartographique	99	70	99	100	44	86
Critère statistique	101	83	111	154	55	100
Précision pour un thème	97	84	89	65	80	86

Précision cartographique moyenne : 83,5%

Précision de la classification générale : 84%

L'étape suivante montre les proportions qu'occupent les différents thèmes dans le résultat numérique de la classification qui est la carte d'occupation du sol.

Tableau N°8: Résultats numériques de la classification

THÈMES	PIXELS	SURFACE en Km2	SURFACE en %
FS	447	90.9324	14.95
FG	1048	58.9680	9.70
AF	23	5.7006	0.94
SN	358	100.4454	16.52
SB	925	70.0659	11.52
SA	1033	281.9826	46.37
Total	3834	608.0949	100.00

Ces résultats numériques de la classification (voir tableau ci-dessus) confirment la large prédominance des savanes qui représentent plus de 40 % dans le secteur d'étude.

2- Relation entre la végétation et le sous-sol

Une analyse oriente notre réflexion vers l'identification des principales relations entre ces thèmes et les entités géologiques. Du tableau N°9 ressort quelques hypothèses :

Tableau N°9: Résultats statistiques de l'interaction entre la végétation et le sous-sol

CODE	FS	FG	AF	SN	SB	SA
1	0.021	8.778	0.000	1.645	7.614	6.995
2	7.267	15.514	0.000	97.637	48.802	107.674
3	0.107	0.060	0.020	0.000	0.019	2.702
4	0.000	0.044	0.000	0.017	0.211	0.270
5	73.658	20.648	0.000	0.013	1.633	61.487
6	2.964	2.306	0.619	0.032	1.166	16.781
7	0.534	2.892	4.910	0.039	0.789	7.606
8	0.000	0.166	0.034	0.001	0.049	0.200
9	0.193	1.009	0.010	0.000	1.415	10.115
10	0.016	0.353	0.000	0.000	0.263	2.849
11	0.000	0.156	0.000	0.000	0.246	3.168
12	2.815	3.058	0.000	0.022	1.742	14.758
13	3.122	2.826	0.096	0.308	4.856	42.926
14	0.024	0.764	0.005	0.027	1.074	3.428

La végétation de savane couvre presque toutes les formations géologiques rencontrées dans notre zone d'études mais de composition différente. Citons par exemple les sols sableux sur grès qui portent le plus souvent une savane plus ou moins arborée composée de graminées (Hétéropogon, Hyparrhenia, Loudetia) et d'arbres composés de palmiers (Medemia nobilis, Hyphaene Shatan).

La forêt dense sèche est favorisée sur les formations calcaires, calcaires marneux de l'Éocène Inférieur et les calcaires à Polypiers du Bathonien – Bajocien. Mais, ce qui la différencie c'est la présence d'une savane herbueuse à Aristida dans l'Éocène Inférieur tandis que sur les calcaires du Bathonien – Bajocien, s'adapte le plus souvent la savane graminéenne, arbustive ou arborée à Hétéropogon, Loudetia, Panicum, Hyparrhenia, Aristida.

La végétation de savane masque très peu les coulées basaltiques.

Des forêts galeries et des sables bordent les cours d'eau.

III- ANALYSE DE LA CARTE PÉDOLOGIQUE SYNTHÉTIQUE

Cette carte synthétique est issue de la correction de l'ancienne carte pédologique (figure 6) en s'appuyant sur la relation qui existe entre le sol et la forme du relief rencontrée dans la carte géomorphologique (cf. figure 17)

1- Relief et sol

Les sols ferrugineux tropicaux prennent une grande extension dans la zone d'études :

- les sols ferrugineux peu ou non lessivés de couleur jaune occupent les zones légèrement déprimées, à savoir les glacis dont les types de sols varient en fonction de la topographie : sols ferrugineux non lessivés prédominent sur les parties sommitales, lessivés sur les versants enrichis en argile et vertisols au niveau des bas-fonds ou des dépressions.
- les sols fersiallitiques se trouvent dans des positions surélevées des plateaux à morphologie karstique diverse (karst formé de champs de dolines, relief en coupoles, chicots rocheux lapiézés).

Ce sont des sols à propriétés physiques assez bonnes : texture plus sableuse, sols meubles, friables, très filtrants, résistants peu à la sécheresse. Ils sont interprétés par les pédologues comme des sols jeunes dont les processus d'hydromorphie restent actifs [15]. Ce qui favorise l'action de l'érosion ravinante entraînant les formes de relief en bad-lands et ruiniforme.

Cependant sur les plateaux mal drainés, comme les plateaux basaltiques, karstiques en gradins, se développent les vertisols qui sont des sols riches chimiquement, et qui ont un pH neutre ou basique et des teneurs élevées en matière organique.

Les sols minéraux bruts représentés par les lithosols se localisent sur les plateaux lapiézés. Ce sont des sols peu profonds comportant des fragments de roches en place et montrent peu de développement des profils.

Sur les pentes faibles des versants de raccord aux oueds, les sols peu évolués d'apport alluvial prennent le relais.

2- Relation entre sol et sous-sol

Tableau N°10: Résultats statistiques de l'interaction entre le sol et le sous-sol

CODE	VALUE_1	VALUE_2	VALUE_3	VALUE_4	VALUE_5
1	0.000	4.658	10.556	5.662	4.191
2	9.446	82.126	178.731	4.271	2.087
3	0.000	1.365	1.543	0.000	0.000
4	0.262	0.000	0.293	0.000	0.000
5	155.880	0.373	1.185	0.000	0.000
6	2.834	13.048	7.285	0.701	0.000
7	0.160	8.493	8.116	0.000	0.000
8	0.000	0.173	0.277	0.000	0.000
9	0.000	0.322	12.419	0.000	0.000
10	0.000	0.014	3.468	0.000	0.000
11	0.000	0.000	3.563	0.000	0.006
12	0.000	0.573	4.055	17.524	0.243
13	0.000	36.231	3.707	14.099	0.098
14	0.000	0.080	4.872	0.364	0.012

Sur les reliefs disséqués correspondant aux affleurements de grès de l'Isalo et de grès ferrugineux (Néogène), les sols qui en dérivent sont des sols ferrugineux tropicaux peu ou non lessivés et des sols à tendance podzolique.

Les parties sommitales en gradins des plateaux calcaires du Jurassique Moyen sont recouvertes par des vertisols. Tandis qu'au bas de pente, sur les plateaux ruinés, on rencontre des sols ferrugineux tropicaux de type fersiallitique.

Les formations du Crétacé Inférieur ayant une morphologie en bad-lands et du Crétacé Supérieur sous forme de plateau, portent des sols ferrugineux tropicaux peu ou non lessivés.

Sur les plateaux basaltiques ainsi que le cuesta grésocalcaire du Crétacé s'observent des vertisols.

Les calcaires du Paléocène et de l'Éocène qui se présentent sous forme de lapiez sont couverts de lithosols.

Les alluvions qui bordent les oueds portent des sols peu évolués d'apport alluvial.

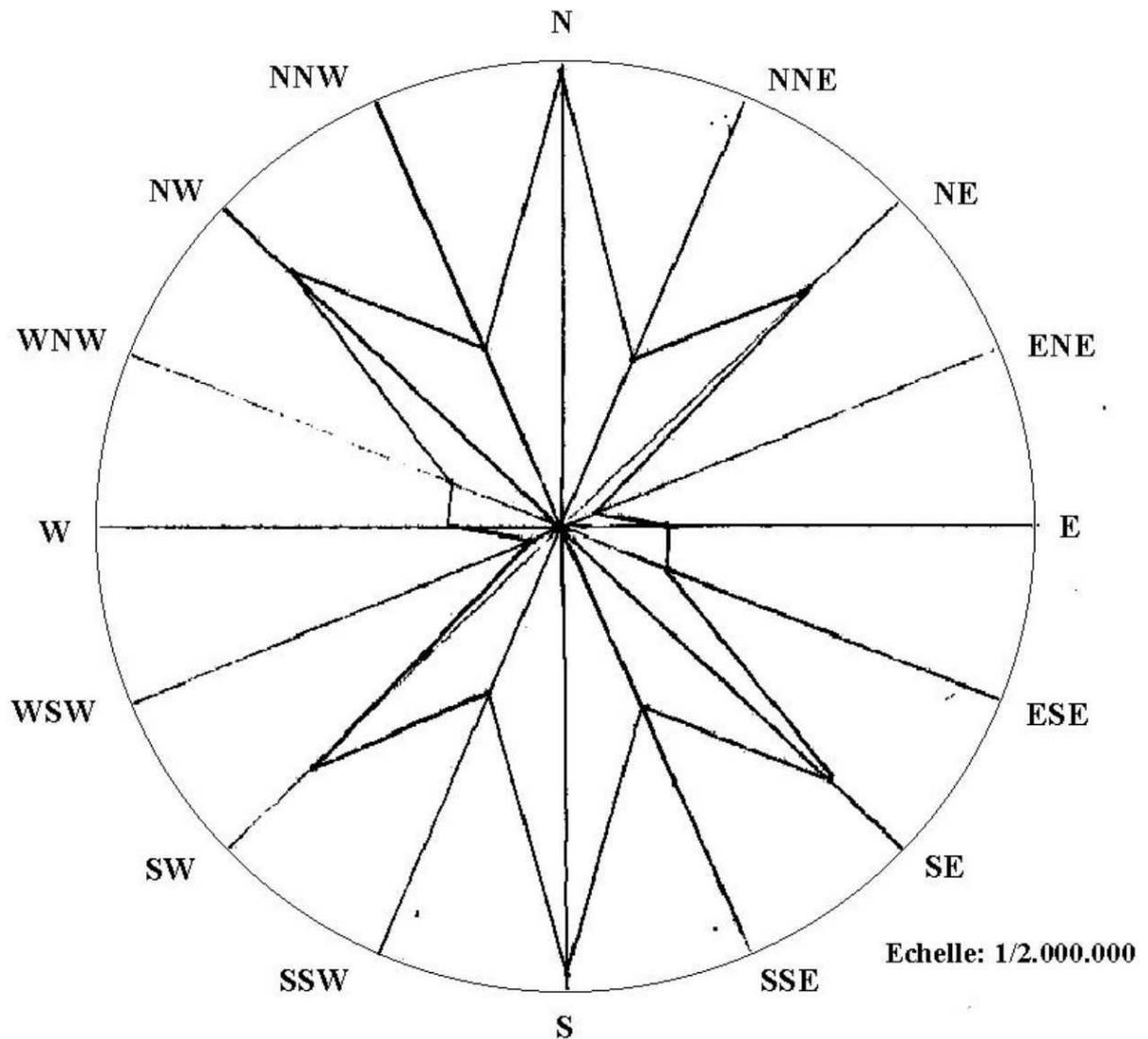
Les sols ferrugineux tropicaux peu ou non lessivés sont ciblés aussi au niveau des glacis.

IV- ANALYSES STRUCTURALES

Les linéaments observés qui représentent les différents alignements (failles, limites lithologiques, réseaux hydrographiques rectilignes, etc.) ont été interprétés comme suit :

1- Rosaces directionnelles

Figure 22 : Longueur cumulée des linéaments

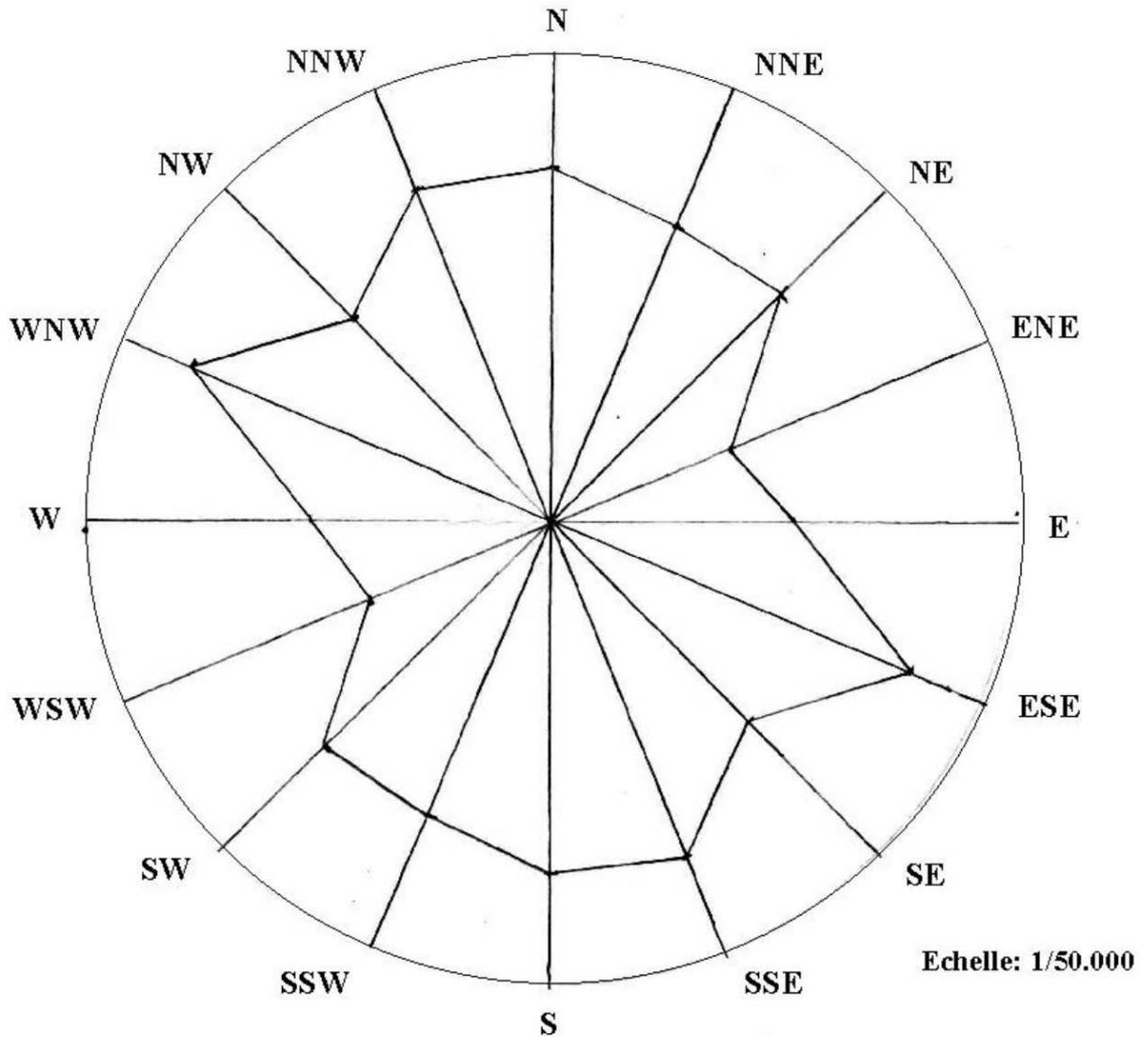


[Source : N. A. RAZAFINDRABE]

Tableau N°11 : Résultats statistiques de linéaments en fonction de la longueur cumulée

ORIENTATION	NOMBRE DE LINÉAMENTS	LONGUEURS CUMULÉES (Km)
N-S	52	116.1000
NNE-SSW	22	45.4000
NE-SW	43	88.0000
ENE-WSW	7	8.9000
E-W	18	28.3000
WNW-ESE	12	30.5000
NW-SE	52	93.7000
NNW-SSE	22	50.7000

Figure 23 : Longueur moyenne des linéaments



[Source : N. A. RAZAFINDRABE]

Tableau N°12 : Résultats statistiques des linéaments en fonction de la longueur moyenne

ORIENTATION	NOMBRE DE LINÉAMENTS	LONGUEUR MOYENNE (Km)
N-S	52	2.2327
NNE-SSW	22	2.0636
NE-SW	43	2.0465
ENE-WSW	7	1.2714
E-W	18	1.5722
WNW-ESE	12	2.5417
NW-SE	52	1.8019
NNW-SSE	22	2.3045

D'après les figures 22 et 23, notre zone d'études est caractérisée par la présence des principaux linéaments majeurs qui sont les suivants :

- Linéaments de direction N-S,
- Linéaments de direction NNE-SSW,
- Linéaments de direction NW-SE,
- Linéaments de direction NNW-SSE,
- Linéaments de direction NE-SW,
- Linéaments de direction WNW-ESE.

L'analyse structurale a été faite suivant la nature lithologique, et on a pu ressortir quelques hypothèses :

- Les massifs calcaires du Jurassique Moyen sont très fracturés avec des directions majeures (N-S, NW-SE, NNW-SSE, WNW-ESE). Ces fissures apparaissent inévitablement lors de l'émersion de cette formation calcaire car la masse rocheuse rigide a été soumise à des déformations cassantes.
- Les coulées de basalte sont délimitées à l'Est et à l'Ouest par des linéaments de direction NNE-SSW, au Nord et au Sud par ceux de direction ENE-WSW. Elles sont traversées au centre par ceux de direction NE-SW. Ces différents linéaments (fissures) construisent des passages permettant la remontée magmatique (origine de ces coulées) en surface.
- Le massif calcaire de l'Éocène est délimité à l'Est par des escarpements de faille et à l'Ouest par des linéaments de directions N-S, NNE-SSW, NE-SW.
- Les carapaces sableuses sont affectées par des linéaments ayant une direction majeure de NW-SE et NE-SW. Cependant, ces linéaments observés ne sont pas vraiment des alignements mais ce sont seulement une allure superficielle.
- Les linéaments de direction NNE-SSW sont reconnus au niveau des formations gréseuses du Crétacé Moyen. Cependant, on ne sait pas faire la distinction entre faille et fissure sauf si on a établi des analyses microscopiques des sédiments par exemple.

2- Chronologie

Les failles normales de direction N-S parallèles à la faille bordière du socle affectent à priori notre secteur d'études en traversant des diverses formations surtout au niveau des calcaires dans la partie Est. Ces failles provoquent un épaississement brutal des couches déposées postérieurement indiquant l'approfondissement rapide de la partie Ouest.

Ces failles ont été recoupées ensuite par des faisceaux de failles de direction NNW-SSE permettant aux couches du Crétacé Inférieur et du Crétacé Moyen de s'émerger. Cette phase d'émergence a été suivie par une phase d'érosion importante d'âge Coniacien.

L'orientation NNW-SSE a été changée en NNE-SSW, ce qui provoque le basculement des formations.

Le jeu de ces accidents peuvent être l'origine du soulèvement du Crétacé et du Jurassique, de la terminaison des couches du Jurassique et du Crétacé Inférieur en biseau.

Cette reprise tectonique a été suivie d'une activité volcanique.

Les failles dextroinverses de direction NW-SE et WNW-ESE font détourner le réseau hydrographique en coude, ce qui déclenche le basculement vers la droite du compartiment effondré du Jurassique Moyen.

D'autres directions ont été observées mais de moindre importance car elles sont moins nombreuses dans notre secteur

V- ANALYSE DE LA CARTE DE PENTES

En général, la région présente une topographie uniformément en pente douce de 0 à 7% vers l'Ouest. Les fronts des cuesta et les rebords des plateaux ont par contre une pente raide pouvant atteindre la verticale. Cette constatation nous permet de déduire que :

- Dans les grès qui sont des roches compactes, hétérogènes, relativement perméables, le réseau hydrographique est peu dense, le ruissellement est peu abondant, le façonnement des versants est retardé et les pentes restent fortes.
- Dans les calcaires massifs, les versants qui sont dépourvus de ruissellement sont loin d'évoluer, et gardent la forme abrupte.
- Au niveau des marnes peu perméables, le réseau est plus ou moins dense. Les pentes sont faibles s'ils se trouvent en surface et ne forment pas de reliefs mais donnent des plaines à multiples vallées.
- Les pentes faibles sont fournies par des couches composées d'argiles et de sables.

VI- SYNTHÈSE

Les interprétations faites à partir de ces différentes analyses nous permettent de faire une synthèse sur la stratigraphie, la tectonique et de rectifier les imperfections de l'ancienne carte géologique afin d'établir une nouvelle carte (cf. figure 24).

1- Stratigraphie et tectonique

a- La série continentale du Karoo (la Makay)

C'est un massif gréseux fracturé qui se présente sous forme de corniche ruiniforme ayant une face tournée vers l'Ouest. Il est composé de grès grossiers massifs à la base et des conglomérats polygéniques avec une stratification oblique à entrecroisée. Les sols qui en dérivent sont des sols ferrugineux peu ou non lessivés. Derrière le revers de ce massif se dressent des buttes témoins chapeautés par des sols de type vertisol.

b- Le Jurassique Moyen

Il renferme des sédiments marins , transgresse sur la Makay, et est représenté par des plateaux calcaires karstiques monoclinaux fortement fracturés.

Ces fracturations qui sont de direction différente et qui se recoupent entre eux sont dues à la tectonique cassante et au soulèvement des plateaux au Crétacé et à la fin du Tertiaire. Cependant, les failles normales divisent les blocs du Jurassique Moyen en deux compartiments dont la partie Ouest a été effondrée, puis des failles dextroinverses font basculer cette partie effondrée.

Les éléments mis en jeu dans la morphologie de karstification sont l'épaisseur de couches et la densité de fracturation des calcaires (diaclasses, failles).

C'est un ensemble calcaire intercalé d'une séquence gréseuse de faciès Makay [2]. La végétation au-dessus des sols ferrugineux tropicaux ou des vertisols sont soit des forêts denses sèches soit des savanes.

c- Le Crétacé Inférieur

Il se situe dans la falaise à l'Ouest d'Anontsy et est caractérisé par des grès verts glauconieux sous forme de ruban. Cette série se termine en biseau par la transgression du Crétacé Moyen et par le jeu des différentes failles.

d- Le Crétacé Moyen

Constitué par des dépôts subcontinentaux, il se présente sous forme de plateau de faible profondeur. Il est caractérisé par des grès riches en calcaires et intercalés avec des marno-calcaires. Les plateaux gréseux sont monoclinaux avec un léger pendage vers l'Ouest [16]. Les grès durs à l'Ouest de Ranonda forment un modelé de cuesta regardant vers l'Est, et les zones marneuses des bad-lands (cf. figure 17). Les sols ferrugineux tropicaux portent une savane plus ou moins arborée et peuvent être plus ou moins bien drainés avec des drainages de type parallèle à mailles serrées.

Cette série a été affectée par un mouvement tectonique et par le volcanisme basaltique au début du Crétacé Supérieur, puis par un rejeu de failles et de soulèvement à la fin du Tertiaire. Ce qui résulte la surrection de la série.

e- Le Crétacé Supérieur

La formation est franchement marine. Elle est définie par la présence de calcaires reposant sur les coulées basaltiques déposées à la fin du Crétacé Moyen qui les limitent à l'Est. Elle est entourée à l'Ouest par les calcaires Eocènes.

A l'Ouest d'Ambatry, le Crétacé Supérieur transgresse sur la Makay avec une discordance angulaire.

Cette série contient des grès ferrugineux dont les grains de quartz sont fins à grossiers, anguleux à arrondis et cimentés par de la limonite [3]. Ces grès s'intercalent avec les calcaires à diverses reprises.

Des failles Tertiaires N-S ont relevé la bordure Est du plateau (escarpement de faille) [16] et ont augmenté son pendage vers l'Ouest.

f- Le Tertiaire

➤ Le Paléogène

Il est caractérisé par des calcaires de l'Eocène et se présente sous forme de plateaux soit lapiézés couverts de forêts denses sèches, soit couverts de carapaces sableuses. La dissolution et l'évolution karstique ont été activées par des faisceaux de failles de direction NNE-SSW et NNW-SSE. Ces failles découpent le plateau en multiples buttes en lanières étroites, et provoquent la surélévation de compartiments.

➤ **Le Néogène**

Il est représenté par des dépôts continentaux de grès ferrugineux et transgresse sur le Crétacé Supérieur à l'Ouest d'Ambatry. Il constitue les éléments du plateau de Vohitsara et les buttes témoins qui se trouvent à l'arrière de ce plateau.

➤ **Le Pliocène**

Il est constitué par des carapaces sableuses étalées en grande partie sur la région. Ces carapaces sableuses proviennent de l'amoncellement des matériaux extraits soit des séries gréseuses, soit du socle. Le type de réseau parallèle y est rencontré, ce qui affirme la présence d'un faible pendage de la formation.

2- Rectification des imperfections de l'ancienne carte géologique

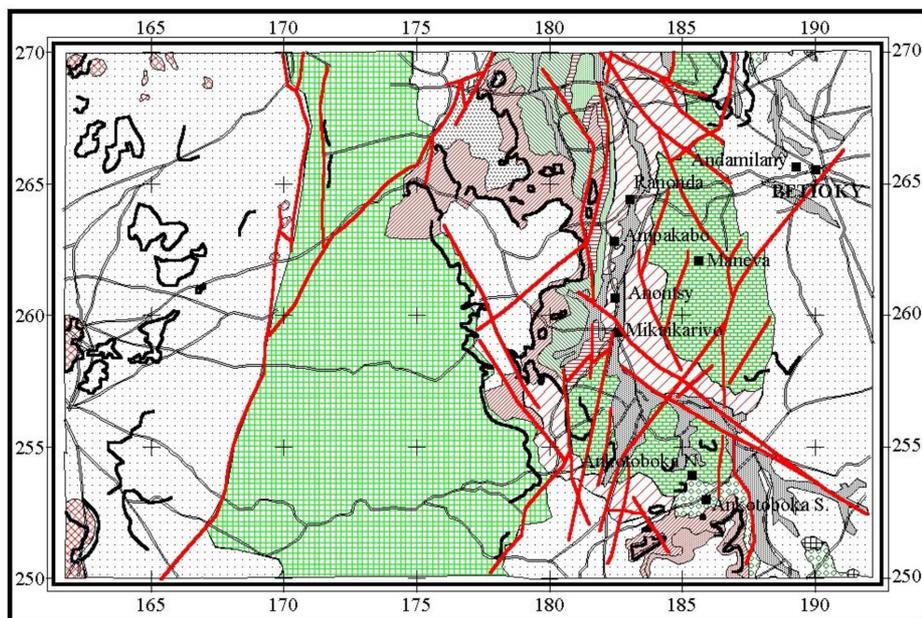
La rectification faite se situe au niveau de la répartition spatiale des différentes entités lithologiques d'une part et sur la représentation des déformations tectoniques d'autre part.

Au niveau de la répartition spatiale des différentes entités lithologiques, plusieurs modifications sur les tracés de chaque entité ont été réalisées.

Tandis qu'au niveau des déformations tectoniques marquées par les linéaments, la révision nous a permis d'ajouter des déformations qui ne sont pas répertoriées dans l'ancienne carte.

Ainsi, la nouvelle carte géologique établie (cf. figure 24) reflète mieux la réalité sur le terrain.

Figure 24 : CARTE GÉOLOGIQUE MISE A JOUR DE BETIOKY - SUD



Echelle: 1/200.000

[Source : N. A. RAZAFINDRABE]

LÉGENDE

<p>■ Village</p> <p> Routes</p> <p> Alluvions</p> <p> Carapace sableuse, Sable roux</p> <p> Néogène continental : Grès ferrugineux</p> <p> Eocène moyen : Calcaires</p> <p> Yprésien : Calcaires, marnes, Nummulites Atacicus</p> <p> Paléocène : Calcaires à Archéolithothamnium, Discolina</p> <p> Maestrichtien : Grès calcaires à Pachydiscus compressus</p> <p> Campanien : Grès calcaires à Alectryonia</p> <p> Coulées basaltiques</p> <p> Coniacien : Grès et marnes à Barroisiceras</p> <p> Turonien : Grès à Romaniceras, Fagesia</p> <p> Cénomaniens : Acanthoceras, Mantelliceras</p> <p> Albien : Grès à Pervinqueria, Douvilleiceras</p> <hr style="border: 1px solid black;"/> <p> Barrémien ?..: Grès verts glauconieux à Paracrioceras</p> <p> Hauteriviens : Grès verts glauconieux à Saynella, Duvalia</p> <hr style="border: 1px solid black;"/> <p> Callovien : Calcaires, Oolithes, Macrocéphalites, Pygaster</p> <p> Bathonien supérieur : Calcaires, Grès, Cadomites, Anabacia /Grès verts à Bois fossiles</p> <p> Bajocien - Bathonien : Calcaires à Polypiers</p> <p> Grès du Karoo (Makay)</p>	<p> Escarpement</p> <p> Faille</p> <p> Neck basaltique</p>
	<p>Discordance</p> <p>Discordance</p>

CONCLUSION

La contribution des outils géographiques, exprimée dans cet ouvrage pour la remise à jour de la carte géologique, se manifeste par l'élaboration d'une nouvelle méthodologie d'évaluation des phénomènes d'interaction entre les formes de relief et le sol, les caractères du sol et du sous-sol, le comportement de végétation vis-à-vis du substratum géologique, le type de drainage et le sous-sol en utilisant des données géographiques de base élaborées à partir des cartes et des images satellitales existantes.

Ces outils sont les suivants :

- La carte d'occupation du sol permettant la détermination du type de végétation rencontré,*
- Le MNT permettant de voir l'allure générale du terrain et d'avoir d'autres produits utiles comme par exemple la carte de pentes qui donne l'information concernant les pentes du terrain, la carte géomorphologique qui montre les différents types de relief et qui permet d'établir une carte pédologique synthétique,*
- La carte de linéaments facilite l'évaluation des directions majeures des alignements et la compréhension généralisée des phénomènes tectoniques qui se sont produites,*
- La carte du réseau hydrographique permettant de connaître les formes de drainage rencontrées.*

Les interprétations des différentes analyses faites à partir de la superposition 2 à 2 de ces cartes nous permettent de faire une synthèse sur la stratigraphie, et la tectonique. Cette synthèse associée à des analyses de la carte d'estompage nous