

Terrasses fluviales quaternaires : conséquences des variations paléoclimatiques. Cas de la région de Soanierana Ivongo.

A.J.R. Botozandry¹, L. T. Fridman², B.A. Fidèle³, H.Lydia⁴, F.G.Voavy⁵,

¹Docteur en Géographie - Faculté des Lettres et sciences humaines de l'Université de Toamasina.

²EDT « Sciences, Culture, Société et Développement », Université de Toamasina

Correspondant : botoaime@gmail.com

Résumé

Faisant partie de l'arrière-pays littoral du domaine du rift central de la retombée orientale de Madagascar, les paysages collinaires de la zone de Soanierana Ivongo entre 49° 12' et 49°48'E et 16°30' et 17°6'S présentent des témoins de la variation paléoclimatique du quaternaire. Ces témoins se dévoilent par des moyennes et basses terrasses fluviales. Leurs présences s'observent selon le système hydrographique ancien, les durées des périodes pluviales, displuviales et l'efficacité de l'érosion. Les moyennes terrasses moins rependues s'individualisent aux mi-versants de collines si les basses terrasses et les sédiments actuels plus rependus au bas des pentes et dans les zones drainées. Des particules de dimensions différentes constituées des sables, des limons et des argiles sur des galets ayant des coefficients d'aplatissement qui varient entre 1,2 et 2,8 les constituent.

Mots clés : sédiments fluviaux, érosion, variations climatiques, quaternaire et Soanierana Ivongo.

Abstract

Part of the coastal hinterland of the central rift domain of the eastern fall of Madagascar, the hilly landscapes of the Soanierana Ivongo area between 49° 12' and 49°48'E and 16°30' and 17°6'S present witnesses of the paleoclimatic variation of the Quaternary. These witnesses are revealed by medium and low river terraces. Their presence is observed according to the old hydrographic system, the duration of rainfed and displuvial periods and the effectiveness of erosion. The average terraces less rependue are individualized at the mid-slopes of hills if the low terraces and the current sediments more rependus at the bottom of the slopes and in the drained areas. Particles of different dimensions consisting of sands, silts and clays on pebbles with flattening coefficients that vary between 1.2 and 2.8 constitute them.

Keywords: fluvial sediments, erosion, climatic variations, quaternary and Soanierana Ivongo.

I. Introduction

Les effets des variations climatiques quaternaires dans le monde et dans la Grande-Ile concernent également la façade littorale orientale. Ils touchent le milieu physique et s'observent au niveau des versants ou dans des surfaces déprimées. Dans la zone de Soanierana Ivongo, ces effets voient leur ampleur. Ils témoignent l'évolution ancienne de versants de collines (A.J.R. Botozandry, 2021) et se révèlent aux contrebas par l'importance des terrasses. Ainsi, quels sont les types dépôts en existence dans cette zone, liés à ces variations climatiques quaternaires ?

Ce présent article consiste à prouver à quel point ces modifications climatiques avaient mis en place les sédiments dans la zone de Soanierana Ivongo. Des documentations et des observations sur terrain ont été effectuées afin de bien mener l'analyse du thème. De ce fait, l'analyse des séquences climatiques anciennes du quaternaire marquée par les displuviaux sambainien et vavatenien est abordée avant d'étudier les dépôts d'héritages paléoclimatiques aux périodes différentes.

II. Matériels et méthodes

II.1. Milieu d'études

II.1.1. Situation de la zone d'études

La recherche a été effectuée dans la zone de Soanierana Ivongo (Figure n°1), située dans la façade littorale orientale de Madagascar (Région Analanjirofo). Elle se trouve sur 49°30'LE et 16°48'LS.

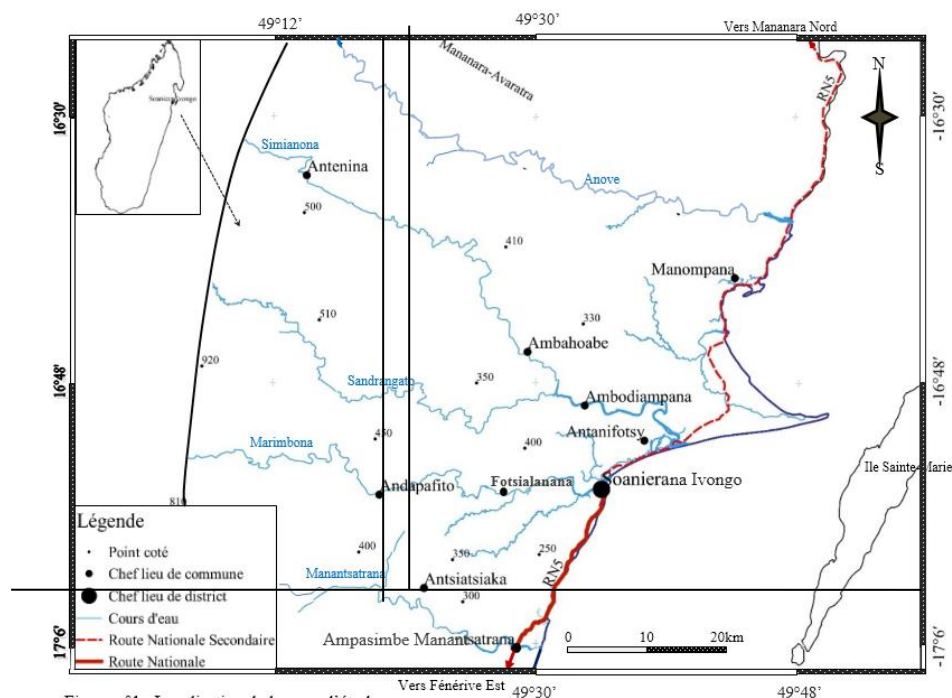


Figure n°1. Localisation géographique de la zone de recherche.

Source: BD 500 FTM, Landsat 7TM+

Nous avons effectué nos recherches:

-pour les basses terrasses, à Ambodivohitra (49°14'LE et 17°01'LS) et à Marotoko (49°46'LE et 16°29'LS),

-pour les moyennes terrasses, à Ambodivohitra (49°14'LE et 17°01'22'LS) et à Sahataranta (49°14' LE et 16°36'LS),

-et pour les alluvions, à Marotoko (49°46'LE et 16°29'LS) et à Andranomiditra (49°18'LE et 17°02' LS).

II.1.2. Matériels

Notre étude s'est basée essentiellement sur les travaux de terrain. A part les cartes topographiques (FTM) et géologiques (service géologique de Madagascar) au 1/100 000è, coupures V41, V42, W41 et W42, nous avons mené un appareil photo numérique pour prise de photos, un décimètre pour mesure d'épaisseur des horizons et hauteurs de terrasses, cinq (5) sachets plastiques pour la conservation des échantillons de particules des sols prélevés, un pied à coulisse pour mesure des galets, un altimètre pour savoir les altitudes et un GPS pour géolocalisation.

II.2. Méthodes d'analyse

Autres que la documentation, trois méthodes ont été adoptées pour étudier ces terrasses : évaluation de la variation altitudinale ainsi que les hauteurs entre différentes terrasses, l'analyse granulométrique et le calcul du coefficient d'aplatissement des galets.

-L'évaluation altitudinale et des hauteurs entre différentes terrasses nous a permis de savoir l'inertie ou le changement d'altitudes ainsi que leurs hauteurs par rapport à la mer et aux lits actuels.

-L'analyse granulométrique a été procédée au FOFIFA (FOibem-pirenena momba ny Flkarohana ampiharina amin'ny Fampandrosoana ny Ambanivohitra) Atsinanana afin de déterminer les particules fines contenues dans les sols prélevés. L'utilisation de mailles de diverses dimensions nous a permis d'identifier cinq (5) particules : les sables grossiers et fins, les limons grossiers et fins et les argiles. Les résultats de cette analyse nous ont permis également de déterminer les différentes phases climatiques dans différents endroits de la zone d'étude.

-Le coefficient d'aplatissement α : il est obtenu à partir de la méthode de Cailleux et Tricart : $\alpha = (L+I)/2e$ avec L=longueur, I=largeur et e=épaisseur des galets. Nous avons appliqué cette formule après les mesures issues d'un pied à coulisse sur 55galets dans chaque site (deux pour moyennes terrasses et deux pour les basses terrasses).

III. Résultats

III.1. Les variations climatiques anciennes du quaternaire

Madagascar bénéficie une température tropicale avec variations locales qui dépendent de la couverture végétale, du relief et des influences océaniques. Durant le quaternaire, d'importants sédiments se sont observés. Dans le Centre-Est de l'île, ce sont des rivières aujourd'hui asséchées qui ont formé les dépôts quaternaires (A. Rakotovo, 2015). Les travaux de F. Bourgeat et C. Ratsimbazafy en 1975 sur la chronologie du Quaternaire continentale de Madagascar et de H. Straka en 1996 concernant l'étude biogéographique sur la détermination de la limite supérieure de la forêt tropicale nous ont permis de savoir l'existence de deux (2) séquences paléoclimatiques dans notre zone après l'étude des systèmes de terrasses existants. Ces deux séquences que nous présentons dans le tableau n°1 sont marquées par les displuviaux sambainien et vavatenien.

Tableau n°1 : Le quaternaire dans notre zone d'étude :

CLIMAT	TERMINOLOGIE	MANIFESTATION	DATATIONS ABSOLUES
Tendance à l'assechement	Actuel	Remaniement des alluvions	0-3 000ans BP
Pluvial	Post-vavatenien	Creusement	3 000 - 7 000ans
Displuvial	Vavatenien	Basses terrasses de Sandrantsimbo, d'Ambodivohitra et de Marotoko	7 000 - 25 000
Pluvial	Post-sambainien	Creusement	25 000 - 40 000
Displuvial	Sambainien	Moyennes terrasses d'Ambodivohitra et de Sahataranta	40 000 – 70 000

Source : A.J.R.Botozandry, 2022.

Ce tableau n°1 offre des phases pluviales et displuviales :

- **Pluvial**

Il est caractérisé par une courte saison sèche ayant pour conséquence la fermeture de la couverture végétale et l'on assiste à une atténuation sensible de l'ablation. La vie emporte grâce à la pérennité de l'humidité et à la durée de vie végétative (Jaoriziky, 2002). L'humidité et la végétation concourent à l'altération des roches et à l'accroissement des sols. Dans ce cas, l'altération profonde prenait sa place et se faisait sans modifier nettement les formes de relief : c'est isovolumétrie.

- **Displuvial**

Ce displuvial est une phase rhexistasique. Dans cette situation, les conditions climatiques sont sévères pour la couverture végétale. Ce displuvial est caractérisé par une saison sèche prolongée causant une ouverture de la couverture végétale, favorisant une reprise d'érosion sur les versants suivis de la sédimentation des éléments détritiques dans les cours d'eau. Durant cette phase, se forment les terrasses liées à une forte intensité d'érosion favorisée par la dénudation des versants.

Les displuviaux concordent aux phases d'érosion (sambainienne et vavatenienne). Le displuvial sambainien a mis en place, dans notre zone de recherche, les héritages paléoclimatiques tels que les moyennes terrasses d'Ambodivohitra et de Sahataranta dominant le lit actuel de plus de 15m, si le displuvial vavatenien a laissé des basses terrasses qui enjoints le lit actuel, notamment l'Ambodivohitra et la Marotoko de 3 à 5m.

Les moyennes terrasses se placent sur les versants de collines si les basses terrasses dans les bas-fonds drainés par les cours d'eau.

III.2. Les sédiments fluviaux : héritages paléoclimatiques

III.2.1. Les moyennes terrasses

Elles s'observent dans notre zone, notamment à Ambodivohitra et à Sahataranta par la présence des galets. Par rapport au lit actuel de la rivière, elles se trouvent entre 11 et 15m de hauteur. Pour la terrasse d'Ambodivohitra, les galets s'observent environ à 12m par rapport au lit actuel si ceux de Sahataranta à 14m. Les mises en place de ces galets dans ces zones pourraient être expliquées par l'existence des migmatites et quartzites charriés après avoir parcourus des distances de 10km et 9km sur des pentes de 10% et 4,5%.

- La moyenne terrasse d'Ambodivohitra.

L'analyse effectuée dans le mi-versant de colline d'Ambodivohitra nous offre le profil suivant :

- de 0 à 50cm : horizon limono-argileux de couleur noir ou grisâtre,
- de 50 à 160cm : horizon sableux de couleur beige avec des limons et des argiles,
- et de 160cm et plus : horizon constitué de galets.

Pour l'horizon sableux avec limons et argiles, la granulométrie effectuée révèle que 78% des particules sont constituées de sables grossiers, 7% de sables fins et 15% de limons et d'argiles. Mais, pour l'horizon constitué des galets, nous avons :

- . un coefficient d'aplatissement moyen (a_m) est 1,7,
- . $a \leq a_m = 60$ galets,

$\alpha > \alpha_m = 90$ galets.

Le tableau n°2 montre la classification des indices d'aplatissement.

Tableau n°2 : Classification des indices d'aplatissement.

Classes des indices	Effectifs		Effectifs cumulés	
	Fréquence	Pourcentages	Fréquence	Pourcentages
[1,2 – 1,4[	19	12,7	19	12,7
[1,4 – 1,6[	23	15,3	42	28
[1,6 – 1,8[	19	12,7	61	40,7
[1,8 – 2[	41	27,3	102	68
[2 – 2,2[	19	12,7	121	80,7
[2,2 – 2,4[	13	8,7	134	89,4
[2,4 – 2,6[	5	3,3	139	92,7
[2,6 – 2,8[	11	7,3	150	100
TOTAL	150	100	150	100

Source : Observations sur terrain

Ce tableau n°2 révèle que :

- 68% des galets ont l'indice d'aplatissement entre 1,2 et 2 (soit 102 galets),
- 32% des galets ont l'indice supérieur à 2 (soit 48 galets).

- **La moyenne terrasse de Sahataranta**

A une altitude de 406m, la terrasse de Sahataranta se situe à 14m de hauteur par rapport à la situation actuelle du lit Sahataranta. L'observation réalisée dans un sentier reliant Antenina Sahavalanina et Sahataranta nous offre que :

- de 0 à 1,3m, on assiste à la prépondérance des limons et d'argiles,
- de 1,3 à 2,2m, l'horizon sableux mais des limons et des argiles ont été observés également. Dans cet horizon, 55,3% sont des sables grossiers, 15,6% sables fins et 29,1% de limons et d'argiles.
- à partir de 2,2m, les galets de quartz dominant.
- quant à l'usure et à l'arrondissement, 62% des galets ont un aplatissement inférieur à 2 et le reste supérieur (tableau n°3).

Tableau n°3 : Classification des indices d'aplatissement.

Classes des indices	Effectifs		Effectifs cumulés	
	Fréquence	Pourcentages	Fréquence	Pourcentages
]1,2 – 1,4[	3	2	3	2
[1,4 – 1,6[	35	23,3	38	25,3

Classes des indices	Effectifs		Effectifs cumulés	
	Fréquence	Pourcentages	Fréquence	Pourcentages
[1,6 – 1,8[	25	16,7	63	42
[1,8 – 2[	30	20	93	62
[2 – 2,2[	16	10,7	109	72,7
[2,2 – 2,4[	22	14,7	131	87,4
[2,4 – 2,6[	11	7,3	142	94,7
[2,6 et + [	8	5,3	150	100
TOTAL	150	100	150	100

Source : Observations sur terrain

Ces dépôts sont observés également à Sahavalanina et à Salangina.

III.2.2. Les basses terrasses

Ces basses terrasses s'observent dans de nombreux endroits, notamment dans les vallées d'Ambodivohitra, d'Andranomiditra, de Marotoko, de Saranindona et de Mangalimaso. Elles dominent de 3 à 5m les alluvions actuelles. Ces dernières forment un bourrelet de faible étendue de 5 à 50m. Les dépôts sont à dominance argileuse, malgré l'observation des strates sableuses à la base de la série. Vers 3 ou 4m de profondeur, la présence d'un niveau tourbeux fossilisé est marquée. Au moment de crues, elles sont inondables. Deux basses terrasses ont été entreprises, telles que la basse terrasse d'Ambodivohitra (Manantsatrana) et celle de Marotoko (Anove). Il a été constaté que les galets de ces terrasses sont aussi issus des roches migmatitiques et quartzitiques à des distances relativement importantes. Les galets de la basse terrasse d'Ambodivohitra parcourent une distance de 8km si ceux de Marotoko 10km avec des pentes 12% et 3,4%.

- **La basse terrasse d'Ambodivohitra**

Elle domine le lit actuel de plus de 3m (Photo n°1).



Photo n°1 : Basse terrasse d'Ambodivohitra

Cliché de A.J.R. Botozandry, Octobre 2019.

Du sommet vers la base, son profil présente :

- un horizon de 185cm d'épaisseur dominé par les trois particules (sables, limons et argiles) dont 31,6% sables grossiers, 27,7% sables fins, 18,4% limons et 22,3% argiles.
- un horizon sableux de moyenne épaisseur 87cm dont 78,1% de sables (59,2% sables grossiers et 18,9% de sables fins), 11,7% de limons et 10,2% d'argiles.
- un horizon constitué majoritairement des sables grossiers d'épaisseur 23cm : dans cet horizon, 85,1% sont des sables grossiers, 5,5% sables fins, 5,9% limons et 3,5% argiles.
- sous ce dernier horizon, se met en place l'horizon avec galets de quartz révélant que : $-a_m$ est 1,8.

$-a \geq a_m = 68$ galets,

$-a < a_m = 82$ galets.

Le tableau n°4 présente la classification de ces indices.

Tableau n°4 : Classification des indices d'aplatissement.

Classes des indices	Effectifs		Effectifs cumulés	
	Fréquence	Pourcentages	Fréquence	Pourcentages
[1,2 – 1,4[	22	14,7	22	14,7
[1,4 – 1,6[	27	18	49	32,7
[1,6 – 1,8[	33	22	82	54,7
[1,8 – 2[	36	24	118	78,7

Classes des indices	Effectifs		Effectifs cumulés	
	Fréquence	Pourcentages	Fréquence	Pourcentages
[2 – 2,2[	8	5,3	126	84
[2,2 – 2,4[	16	10,7	142	94,7
[2,4 – 2,6[	3	2	145	96,7
[2,6 – 2,8[	5	3,3	150	100
Total	150	100	150	100

Source : Analyse sur terrain

Ce tableau n°4 indique que :

- 32,7% des galets ont un émoussé inférieur à 1,6,
- 46% ont l'indice entre 1,6 et 2 (soit 69 galets),
- 24% entre 1,8 et 2 (soit 36 galets),
- et 21,3% (soit 32 galets) supérieur à 2.

- La basse terrasse de Marotoko

D'épaisseur 5m dans le lit de rivière Sahave (Anove), cette terrasse s'observe à 1km au Sud-est de Marotoko à une altitude de 11m. L'observation sur place effectuée nous révèle un indice d'aplatissement moyen égal ($a : 1,8$) à celui d'Andranomiditra ($a : 1,8$). Nos observations nous offrent également que :

- . 88 galets (soit 58,6%) ont un aplatissement $a \geq a_m$
- . 62 galets (soit 41,4%), $a < a_m$
- . 100 galets (soit 66,7%), $a < 2$
- . et 50 galets (soit 33,3%), $a \geq 2$.

Tableau n°5: Classification des indices d'aplatissement.

Classes des indices	Effectifs		Effectifs cumulés	
	Fréquence	Pourcentages	Fréquence	Pourcentages
[1,4 – 1,6[	16	10,7	16	10,7
[1,6 – 1,8[	46	30,7	62	41,4
[1,8 – 2[	38	25,3	100	66,7
[2 – 2,2[	25	16,7	125	83,4
[2,2 – 2,4[	14	9,3	139	92,7
[2,4 – 2,6[	6	4	145	96,7
[2,6 et + [	5	3,3	150	100
Total	150	100	150	100

Source : Analyse sur terrain

Au-dessus de ce niveau avec galets de la basse terrasse de Marotoko, des autres horizons existent de haut en bas :

- horizon d'épaisseur 275cm marqué par l'équilibre fractionnel des taux de sables, limons et argiles. Les sables constituent les 54,5% dont les sables grossiers 29,6%, les sables fins 24,9% ; les limons 23,6% et les argiles 21,9%.
- horizon moyennement dominé des sables de 150cm dont 67,2% de sables dont 43,4% de sables grossiers et 23,8% de sables fins ; 18,8% de limons et 14% d'argiles.
- horizon à fort taux de sables de 50cm : les sables occupent les 85,6% des particules : les sables grossiers 75,1%, les sables fins 10,5%, les limons 8,2% et les argiles 6,2%.

Au total, les résultats d'analyses effectuées nous ont permis de conclure que :

- Les particules sableuses dominent dans tous les horizons :
 - . basse terrasse d'Ambodivohitra 74,2%,
 - . basse terrasse de Marotoko 69,1%.
- de haut en bas, le taux de sables devient de plus en plus fort (Figure n°2) :
 - .basse terrasse d'Ambodivohitra: 59,3%, 78,1% et 90,6%.
 - .basse terrasse de Marotoko : 54,5%, 67,2% et 85,6%.

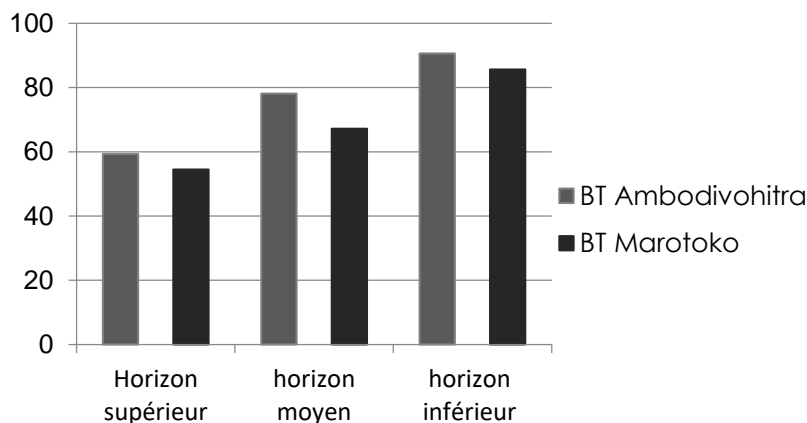


Figure n°2 : Courbe des taux de sables des basses terrasses d'Ambodivohitra et de Marotoko.

Pour conclure, dans ces sédiments, les grossiers provenant de l'érosion se placent dans la base, mais les plus fins et mieux calibrés sont transportés pour se placer en dessus des grossiers. C'est-à-dire, de bas vers le haut d'un dépôt, les sédiments grossiers deviennent de plus en plus fins, allant des sables grossiers jusqu'aux argiles.

a. Dépôts actuels.

Des dépôts formant des alluvions soumises à l'inondation, en bordure des axes hydrographiques, à une hauteur moyennement supérieure à 1m à 2m constituant des bourrelets limoneux ont été observés dans plusieurs zones. On suppose que l'ensemble des dépôts est constitué des alluvions récentes post-vavateniennes, étant donné que le décalage altimétrique observé correspond à l'accumulation actuelle des sédiments.

Nous avons constaté que la période actuelle devrait favorable au recreusement du lit des rivières, mais à cause de l'anthropisation, on assiste à une érosion accélérée de sol responsable de l'importance de l'alluvionnement, surtout durant la période cyclonique.

De plus, à cause de cette érosion, la modification de la prépotence quantitative et la granulométrie des apports fluviatiles est constatée. En effet, si dans un premier temps, le décapage des horizons superficiels des sols de versants fournit des alluvions fines, argileuses ou limoneuses, l'apparition de phénomènes de ruissellement provoque une augmentation de la charge en volume et en poids et de ses éléments grossiers (sables et galets, des limons et argiles). Le résultat est que les bas-fonds inondables sont de plus en plus souvent ensablés. A cet égard, la comparaison de la granulométrie des alluvions actuelles et des alluvions de la basse terrasse est significative. Les résultats des fractions obtenues à partir des deux profils pédologiques d'alluvions d'Andranomiditra et de Marotoko présentés dans le tableau n°6 nous révèlent la domination remarquable des sables. La dissemblance observée de ces alluvions par rapport aux basses terrasses est l'absence des galets.

Tableau n°6 : Granulométrie d'alluvions d'Andranomiditra et de Marotoko.

Fractions	Pourcentages		Moyenne
	Alluvions actuelles d'Andranomiditra	Alluvions actuelles de Marotoko	
Argiles (0 à 2 μ)	13,8	15,2	14,5
Limons (2 à 50 μ)	20,5	23,9	22,2
Sables fins (50 à 200 μ)	17,6	19,7	18,7
Sables grossiers (200 à 2000 μ)	48,1	41,2	44,7

Source : FOFIFA Toamasina et analyse des auteurs

Sous l'horizon sableux, on se heurte à l'horizon correspondant à la roche-mère. Dans certains endroits, nous n'avons pas observé la domination des sables, seuls les argiles et les limons qui dominent (ils occupent plus de 70% des particules de sols).

IV. Discussion

Dans le cadre de cette recherche, les effets favorisés par le climat ancien du quaternaire changent l'aspect des formes de paysages collinaires (A.J.R.BOTOZANDRY, 2022). Ils sont perceptibles dans la zone de Soanierana Ivongo avec l'importance des sédiments au niveau des zones dépressionnaires (ou des sédiments fluviatiles). Les introspections procédées dans cette zone nous ont permis d'avancer certaines

conclusions. Les variations paléoclimatiques du quaternaire, se manifestent par l'existence des phases pluviale et displuviale. Leurs présences sont marquées par des sédiments issus des versants de collines aux contrebas ou au niveau des vallées ou des bas-fonds.

- les pluviales s'enregistrent par l'importance de l'humidité, de la pédogenèse et de l'érosion accentuant la persistance des dépôts fluviatiles, tandis que les phases displuviales sont marquées par l'efficacité de l'érosion et de creusement dans les dépôts mis en place lors des pluviales.
- Les durées des phases pluviales et displuviales deviennent de plus en plus courtes : displuviales (sambainienne 30 000ans, vavatenienne 18 000ans) et pluviales (sambainienne 15 000ans, vavatenienne 4 000ans).

De plus, les sédiments observés dans cette zone sont identiques aux sédiments retrouvés dans diverses régions de l'île, avec alluvions à dominance sableuse et argileuse, comme les terrasses dans le Sud-ouest qui sont issues des colluvions calcaires éocènes de 4 à 6m du lit mineur par construction polygénique (A. Pallas, 2019). Dans le versant oriental de Madagascar, la présence d'alluvions anciennes de 3 à 5m des lits actuels, dans les basses vallées existe, comme celles observées à dominance sableuse à Ranomafana en bordure de la Manombonitra, à l'Ouest de Rantabe, et dans la Région d'Amborano en bordure de la Sakanila, et à dominance argileuse, dans les basses vallées de Manampatrana et de la Manambato, à Brickaville en bordure de la Rianila, dans la plaine d'Anosivelo, dans la plaine d'Iazafo (F. Bourgeat, 1972). Rappelons que les terrasses dans notre zone de recherche sont dominées principalement par des particules sableuses et argileuses (plus de 75% des sables pour les moyennes terrasses, 71,7% pour les basses terrasses, 63,4% pour les alluvions actuelles).

Dans les milieux tropicaux, les terrasses fluviatiles sont souvent objet d'analyse en géomorphologie du fait qu'elles permettent d'établir des repères dans l'enfoncement des cours d'eau en relation avec des oscillations paléoclimatiques du Quaternaire. Le calibre du matériau différencie les capacités des agents de transports et de dépôt final de chacune des terrasses.

V. Conclusion

Cette étude sur les sédiments du quaternaire de la zone de Soanierana Ivongo basée sur les effets des climats démontre que les terrasses au niveau des zones fluviatiles ou aux mi-versants de collines sont différentes suites aux durées différentes des périodes climatiques anciennes. Cette recherche permet de comprendre l'importante efficacité climatique et ses impacts sur la sédimentation après l'érosion ancienne des

versants de collines. On peut conclure que la tendance à l'assèchement actuel accentue l'efficacité de l'érosion et la sédimentation des charges. Cette recherche permet de mieux comprendre les effets climatiques sur la destruction des versants en contribuant à la modification du système morpho-pédologique à venir dans le versant oriental de Madagascar.

VI. Références

1. Bourgeat (F), 1972, *Sols sur socle ancien à Madagascar*, ORSTOM, Paris, 324pages.
2. Bourgeat (F) et Ratsimbazafy (C), 1975, *Retouches à la chronologie du Quaternaire continental à Madagascar. Conséquences sur la pédogenèse*. B.S.G.F., Tome 17, N°4, pp 554-561.
3. Cailleux (A) et Tricart (J), 1957, *Cours de géomorphologie, Paris V, CDU, 252 pages*.
4. Jaoriziky, 2002, *Contribution à l'étude du milieu de la façade orientale de Madagascar (Cas de la région de Vavatenina (province de Tamatave), Thèse, Université d'Antananarivo*.
5. Botozandry (A.J.R), 2022, *Contribution à l'étude géomorphologique de la façade littorale orientale comprise entre les fleuves Manantsatrana et Anove (Centre-est de Madagascar), Thèse, Université de Toamasina*.
6. Botozandry (A.J), 2021, *Évolution des versants de collines : conséquences de la dualité climatique-anthropique. Cas de la région de Soanierana Ivongo*, *Revue des ISTs*, ISSN 2710-4648, 6^e édition.
7. Pallas (A), 2019, *Terrasses fluviales et paléoclimats dans la zone intertropicale : l'exemple de Fiherenana (Sud-Ouest de Madagascar)*, *in Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, n°8,1984. pp. 3-22;
8. Rakotovao (A), 2015, *Carte paléontologique de Madagascar, Inventaire et mise en valeur du patrimoine paléontologique*, *Université Toulouse 3 Paul Sabatier*, 486 pages.
9. Straka (H), 1996, *Histoire de la végétation de Madagascar orientale dans les derniers 100 millénaires*, *symposium Biogéographie de Madagascar*. Muséum nat. Hist. Nat. Paris (1995) p.37-47.