

Évolution des versants de collines : conséquences de la dualité climatique-anthropique. Cas de la région de Soanierana Ivongo.

BOTOZANDRY Aimé Jekonia Riedel¹

¹EDT « Sciences, Culture, Société et Développement » de l'Université de Toamasina.

Correspondant: botoaime@gmail.com

Résumé

Les morphologies collinaires dans le Monde et à Madagascar sont en évolution. Dans la zone de Soanierana Ivongo, cette évolution se présente par des glissements en cuiller et en planche. Dans diverses échines, l'intensité de ces glissements est inégale selon l'exposition des versants. Ce sont les glissements en cuiller qui sont les plus importants et les versants-est sont les plus touchés. La prépondérance des cicatrices s'observent principalement dans les moyennes collines. Par ces formes, les versants s'amaigrissent inégalement en fonction de types et la pente de collines. La dualité changement avec effets climatiques – anthropisation est la responsable de la morphogénèse et de l'évolution morphologique de ces versants collinaires.

Mots clés : Evolution de versants, morphologie, climat, anthropisation et Soanierana Ivongo.

Abstract

Hill morphologies in the World and Madagascar are evolving. In the area of Soanierana Ivongo, this evolution is presented by slides in spoon and board. In various spines, the intensity of these slips is uneven depending on the exposure of the slopes. Spoon slides are the most important and the eastern slopes are the most affected. The preponderance of scars is observed mainly in the middle hills. By these forms, the slopes are unevenly thinned according to types and slope of hills. The duality change with climatic effects – anthropization is responsible for the morphogenesis and morphological evolution of these hilly slopes.

Keywords: Evolution of slopes, morphology, climate, anthropization and Soanierana Ivongo.

I. Introduction

Les effets de la dualité climatique-anthropique dans le monde et dans la Grande-Ile concernent principalement la façade littorale orientale. Ils s'observent au niveau des surfaces topographiques et se sont marqués par l'augmentation de la température et la diminution de la précipitation d'une année à l'autre. Dans la zone de Soanierana Ivongo, ces impacts commencent à s'alourdir. Ils conduisent à l'évolution de versants de collines. Ainsi, comment se manifeste donc cette évolution des versants dans cette zone ? Elle se révèle par l'importance des glissements en cuiller et en planche.

Ce présent article consiste à étudier à quel point le changement climatique et l'anthropisation modifient et évoluent la morphologie collinaire de 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 de changement climatique à travers la température et la précipitation ainsi que la fréquence des perturbations cycloniques est abordée avant d'étudier leurs impacts en relation avec l'anthropisation sur l'évolution de versants collinaires de la zone.

II. Matériels et méthodes

II.1. Matériels

Notre recherche a été réalisée dans la zone de Soanierana Ivongo (figure 1), située dans le Centre-Est de Madagascar (Région Analanjirofo). Elle se situe entre 49°12' et 49°48' LE et entre 16°30' et 17°06' LS.

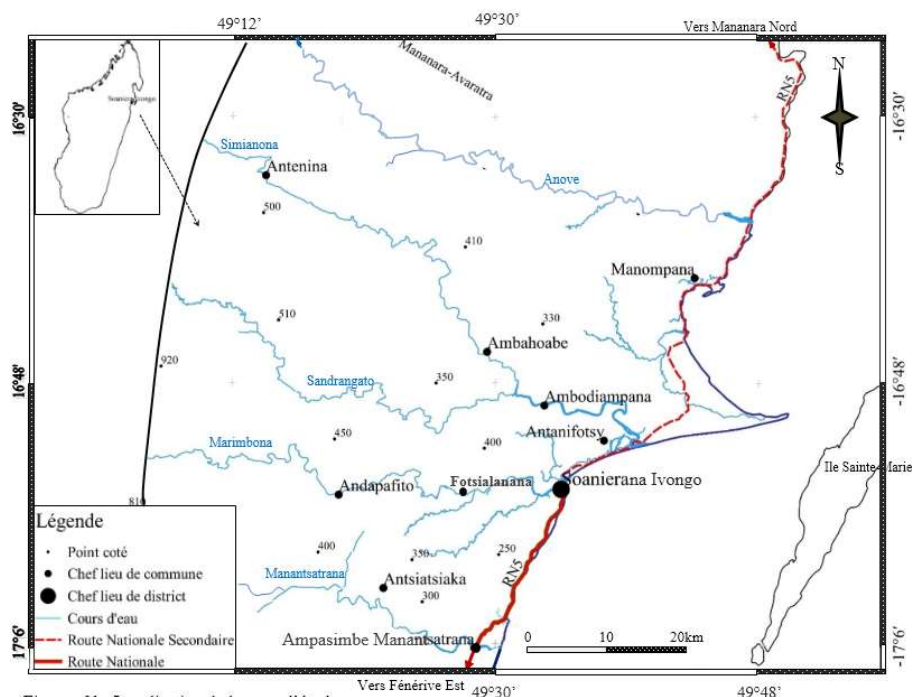


Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude.

Source : BD 500 FTM, arrangement de l'auteur.

Cartes topographiques au 1/100 000^e du FTM ou Foibe-Taosaritanin'i Madagasikara (coupures V41, V42, W41 et W42 pour connaissance topographique, repère de la zone d'étude et vérification directe de l'existence des végétations sur la carte au terrain), appareil photo numérique, décamètre (pour mesurer les dimensions de glissement), sont les matériels qui ont été mobilisés lors de nos travaux sur le terrain, après avoir fait la documentation.

II.2. Méthodes d'analyse

- Données climatiques :

Les méthodes adoptées se sont concentrées sur les analyses de données fournies par la Direction générale de la Météorologie. Il s'agit de données quantitatives qui sont classées par périodes : 1950 à 1980 et 1990 à 2020. Elles nous ont permis de connaître l'évolution de la température et de la précipitation.

- Pertes en terres :

L'équation universelle des pertes en terre en tonnes /ha/an (Universal Soil Loss Equation ou USLE) de Wischmeier et Smith a été utilisée, avec $A = R \times K \times LS \times C \times P$, où R correspond au facteur de pluie et de ruissellement par secteur géographique, K représente le facteur d'érodibilité du sol, LS est le facteur de longueur et d'inclinaison de la pente, C correspond au facteur culture-végétation et gestion, et P indique facteur de pratique de conservation.

De plus, l'utilisation d'images satellitaires (source FTM BD 500 et IMAGE LANDSAT) et d'enquêtes auprès des responsables étatiques et des personnes locales ont été également réalisées.

III. Résultats

III-1- Changement climatique à travers la température et la précipitation

III-1-1- Température en augmentation entre 1950 à 1980 et 1990 à 2020

Entre les périodes de 1950 à 1980 et de 1990 à 2020, la température de la région de Soanierana Ivongo connaît une augmentation dont l'écart est de 0,5°C (tableau 1).

Tableau 1 : Évolution de température entre les périodes de 1950 à 1980 et 1990 à 2020

Périodes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
1950 à 1980	26,6	26,9	26,4	25,6	24,4	23	22,3	22,3	22,4	24	25,1	26,1	24,6
1990 à 2020	27,2	27,2	26,7	25,9	25	23,4	22,8	23,2	22,6	24,5	25,8	26,9	25,1
Écart	0,6	0,3	0,3	0,3	0,6	0,4	0,5	0,9	0,2	0,5	0,7	0,8	0,5

Source : Direction générale de la Météorologie

Ce tableau 1 montre que les températures annuelles entre les périodes 1950 à 1980 et 1990 à 2020 à Soanierana Ivongo selon le tableau 1 ont connu une augmentation assez

marquée 0,5°C. Les écarts les plus considérables sont ceux des mois d'août, de novembre, de décembre et de janvier (de l'ordre de 0,6 à 0,9°C), et l'écart le plus faible est celui de septembre (0,2°C). On constate également que ces données statistiques varient dans le temps : le XXI^e siècle est remarqué plus chaud que le XX^e siècle. En 70 ans, l'élévation de 0,5°C explique que dans cette zone, le réchauffement climatique est bel et bien visible à travers les températures.

III-1-2-Précipitations en diminution entre 1950 à 1980 et 1990 à 2020

Chaque mois est marqué par des précipitations causant des saisons humides toute l'année. Mais, entre ces deux périodes, contrairement à la température, on constate une diminution pluviométrique (tableau 2 et figure 2).

Tableau 2 : Évolution de la précipitation entre 1950 à 1980 et 1990 à 2020

Périodes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
1950 à 1980	396	511	398	279	216	275	316	226	152	156	146	165	3236
1990 à 2020	339	480	475	228	218	273	272	190	114	125	151	183	3048

Source : Direction générale de la Météorologie

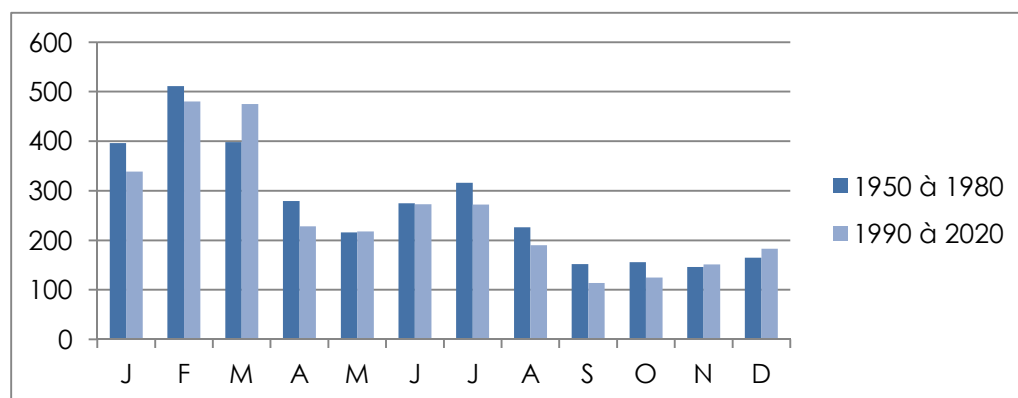


Figure 2 : Diagrammes de comparaison de la précipitation entre 1950 à 1980 et 1990 à 2020

Il est indiqué dans le tableau 2 et dans la figure 2 qu'il existe une diminution des hauteurs de précipitations dans la zone Soanierana Ivongo. La première période (1950 à 1980) était beaucoup plus pluvieuse que la seconde : de 3236 à 3048mm, avec un écart de 188mm (soit 6%). Dans ces deux périodes, le mois de février est le plus arrosé avec 511mm et 480mm, mais les mois les moins pluvieux sont le mois de novembre (146mm) pour la première période et le mois de septembre (114mm) pour la seconde. L'écart des maxima est de 31mm si celui des minima 32mm. Tout cela montre qu'il y existe la

diminution des précipitations prouvant la présence effective du changement climatique dans cette zone.

III-1-3-Fréquence de perturbations cycloniques

La zone de Soanierana Ivongo est parmi les zones les plus menacées de perturbations cycloniques chaque année. 14 perturbations y ont touché de 1986 à 2018 (tableau 3).

Tableau 3: Les perturbations cycloniques qui ont touché la zone de 1986 à 2018

Saisons cycloniques	Noms de perturbation	Dates de passage	Vents
1986	Cyclone tropicale Honorine	Mars 1986	-
1988	Cyclone tropicale Golidera	Janvier 1988	-
1994	Cyclone tropicale Geralda	Janvier-Février 1994	200km/h
1996	Cyclone tropicale très intense Bonita	Mars 1996	215km/h
2000	Tempête tropicale Gloria	Mars 2000	-
2000	Cyclone tropicale très intense Hudah	Mars-Avril 2000	300km/h
2002	Cyclone tropical très intense Ihary	09 Mars 2002	212km/h
2004	Cyclone tropical Gafilo	06 mars 2004	278km/h
2007	Cyclone tropical Jaya	Mars 2007	152km/h
2008	Cyclone tropicale Yvan	17 au 19/02/08	-
2009	Forte tempête intertropicale Jade	Avril 2009	95km/h
2012	Cyclone tropical très intense Giovanna	14 février 2012	222km/h
2017	Cyclone tropical Enawo	Mars 2017	171km/h
2018	Cyclone tropical Ava	5 janvier 2018	155km/h

Source : Direction générale de la météorologie

Sur ce tableau 3 montrant 14 perturbations, huit (8) sont des cyclones tropicaux, quatre (4) des cyclones tropicaux très intenses, une tempête et une forte tempête tropicale. A chaque dizaine d'années, quatre (4) perturbations passent et à partir de 2007 à 2009, la zone voit une perturbation annuellement. Cette fréquence marque également un indice de visibilité de changement climatique (G. Donque, 1971).

III.2. Évolution des versants

L'évolution des versants et la multitude des formes de la topographie sont principalement liées à des conditions climatiques et des activités anthropiques, malgré

les couvertures végétales et les rôles lithologique (cohésion interne, nature minéralogique...) et tectonique de la zone (F.Bourgeat et M.Petit, 1968).

III.2.1. Formes d'évolution

Cette évolution se présente sous deux principales formes : par glissement en cuiller (sous formes de loupes) et par glissement en planche.

a. Par glissement en cuiller.

La pratique excessive du *tavy* dans les versants de collines fait perdre le rôle d'équilibre joué par la végétation, du fait que cette pratique favorise la baisse du taux de recouvrement du sol rendant ce sol plus érodible, accentuant de ce fait la fréquence des glissements en cuiller sur les versants collinaires des hautes et des moyennes collines (Jaoriziky, 2002), comme ceux observés à Sahamalaza, Andapafito, voire dans les basses collines. Les analyses faites sur les collines d'Ambodivoapaka, d'Ambahoabe (Photo 1) et d'Andapafito révèlent que les aspects des paysages témoignent de l'évolution de ces unités morphologiques.



Photo 1 : Glissement en cuiller sur le versant de basse colline d'Ambahoabe, à 16km au Nord-ouest de Soanierana Ivongo.

Cliché de A.J. Botozandry, septembre 2020

Il est montré sur photo 1 que ce glissement en cuiller en phase de jeunesse se place sur une parcelle de culture de manioc dans une pente de 31°, au niveau de versant de basse colline dans une altitude de 25m. Ici, cette forme a une profondeur de 40 à 110cm, dont la largeur horizontale 4m, et de l'amont à l'aval de 3m. Sur cette photo, l'activité anthropique est encore observée : l'existence des *matrangy* (une formation végétale de 3mois après récolte). Ce phénomène a été déclenché par

l'engorgement de l'eau sous des terrains à *savoka* à *ravenala madagascariensis*. Dans des versants sous culture pluviale, des petits rills se sont souvent observés lors de désherbage. Le phénomène est favorisé par la dénudation du sol pendant 4 ou 5 mois de champs laissant le sol à une éventuelle activité de l'eau. A chaque désherbage, les couches du sol se sont enlevées et les particules vont être transportées par l'eau. Dans ce cas, les versants s'amincissent. Les rills, suite à l'action répétée du climat se transforment en rigoles qui font face aux dépôts des matériaux vers l'aval par une érosion régressive et différentielle. L'excavation continue jusqu'à ce qu'elle touche le fond où une végétation commence à stagner à l'intérieur.

b. Par glissement en planche

Il a été constaté qu'une végétation épaisse a d'impacts importants sur l'évolution des versants. Orchestré par le climat humide, les glissements en planche, deuxième forme de glissement, y dominent. Dans le secteur de moyenne colline d'Antenina, de 245m d'altitude sur une pente de 50° sur micaschiste de faciès amphibolite à trémolite et œillé, on a constaté que le déplacement des masses de sol se fait en planche, de l'amont vers l'aval.

Dans cette région de Soanierana Ivongo, l'évolution de glissement s'effectue en trois stades qui sont le stade de jeunesse, de maturité et de vieillesse :

- Stade de jeunesse : modelé en forme d'une plaie qui n'est pas stable, évoluant et s'agrandissant au fil des années.
- Stade d'extension : le modelé se creuse dans tous les profils et dans tous les sens des parois. L'amplification continue jusqu'à ce qu'il touche la roche dure. Les matériaux de déblaiement sont transvasés d'une manière progressive vers l'aval par le biais de ruissellement et par le soutirage qui entraîne des effondrements des flancs et des parois.
- Stade de vieillesse. Dans ce stade, les versants se stabilisent et la végétation commence à s'installer dans le fond de ces loupes de glissement.

III.2.2. Inégalités d'évolution des collines

L'importance de chaque forme de glissement prouvant l'évolution de versants est différente. Dans le secteur entre Simianona et Anove, trois échines (basse, moyenne et haute collines) ont été entreprises. Le résultat de cette différence du côté de versants-est (1,5 km²) est donné dans le tableau 4.

Tableau 4 : Taux d'importance de glissements selon le secteur collinaire.

Formes de glissement	Glissement en cuiller	Glissement en planche	Total	
			Effectif	%
Basse colline	11	6	17	17
Moyenne colline	27	18	45	45
Haute colline	24	14	38	38
Total	62	38	100	100

Source : Observations sur terrain.

Ce tableau 4 nous révèle que la majorité des glissements s'observe dans les moyennes et hautes collines avec 83%, si 17% correspondant aux basses collines. Il est aussi montré que 45% de glissements en planche s'observent dans les moyennes collines, mais 38% dans les hautes collines. Cette différence est favorisée par l'existence plus remarquable de couvertures végétales dans les hautes collines avec anthropisation moins marquée contre celle plus exprimée au niveau des versants de moyennes collines. Pour les glissements en cuiller, leur importance est conditionnée par la fragmentation d'aplanissement inachevée (F. Bourgeat et M. Petit, 1968).

De plus, dans les jeunes savoka (*matrangy et trematrema*) moins de quatre (4) ans, l'importance des cicatrices de glissement en planche (en forme de poire) dans une même échine a été constatée. Leur densité n'est pas proportionnelle : celle de versant-Est est plus considérable par rapport au versant-ouest. Le tableau 5 montre cette différence sur une surface de 4km².

Tableau 5: Densité de cicatrices de glissement au niveau de quelques échines.

Ver-sants	Echine de Marovovona		Echine d'Ambatomitao		Echine d'Andramanjezi		Moyenne	
		%		%		%	Effectif	%
Est	18	58	21	60	23	56	21	58
Ouest	13	42	14	40	18	44	15	42
Total	31	100	35	100	41	100	36	100

Source : Observations sur terrain.

Nos entretiens avec les paysans locaux à Andramanjezika (à 10km au Sud-ouest de Soanierana Ivongo) et notre analyse nous apprennent que les fortes densités dans les versants-Est s'expliquent par la fréquence des cyclones qui les touchent directement, notamment Giovanna en 2012, Enawo en 2017 et Ava en 2018. Donc, ce sont des cicatrices plus ou moins récentes.

Les cicatrices en planche ont des longueurs de l'ordre de 6 à 9m avec des largeurs variées (1 à 4m). Leurs profondeurs sont différentes : sur les versants ordinaires, la profondeur de la paroi est inférieure à 1m (elle va de 40 à 90cm), mais la paroi en amont peut atteindre 150cm. Par l'importance des activités anthropiques dans ces versants, la majorité des cicatrices est encore fraîche. Mais, suite à la mise en jachères, ces cicatrices peuvent être recolonisées par la végétation.

Quant aux pertes en terre, nous avons obtenu qu'un glissement perde 14m³ de terres. Si dans chaque échine de 4km² sous riz pluvial (avec 36 cicatrices en moyenne), 504m³ de terres sont perdues. C'est-à-dire, à chaque kilomètre carré, la perte est de 126m³, ce qui va donner 2,73 tonnes par hectare surtout lors du passage de cyclone. Mais en général, cette perte est de 0,5t/ha au cours de l'année (Brand J. et Rakotovao W. L, 1997).

III.2.3. Amaigrissement des profils de versants.

Les entretiens agricoles répétitifs, comme le sarclage qui se fait normalement deux (2) fois jusqu'à la récolte, favorisent ce phénomène, par le déblaiement des minces couches de sol à chaque passage des sarclettes. Par la suite, les couches enlevées vont être transportées dans les pieds de versants ou dans les bas-fonds voire dans les cours d'eau avoisinants. En effet, le profil des sols ferrallitiques se trouve très amaigri et la fraction organique devient mince et épuisée lesquels sont les facteurs des affleurements des roches dures par endroit, comme celui observé dans la basse colline d'Ambodivoapaka (photo 2).



Photo 2 : Affleurement de granite suite au défrichage au niveau de versant de basse colline d'Ambodivoapaka.

Cliché de A.J. Botozandry, septembre 2020

Cette photo 2 révèle un versant de 21° de basse colline d'Ambodivoapaka offrant une surface topographique où apparaissent des blocs des roches pouvant atteindre 1,5m de long et des roches dures demi-dégagées partiellement.

Dans les parties sans affleurements rocheux, la profondeur du sol n'atteint pas de 1m. Ce phénomène se manifeste suite à la destruction des couverts végétaux, due à la riziculture et aux effets climatiques par le ruissellement. Il a aussi été constaté que la différence et l'épaisseur de couches ferrallitiques sont conditionnées par l'évolution du manteau d'altération. Ces différences sont montrées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Epaisseurs des manteaux d'altération aux mi-versants de quelques zones collinaires.

Basses collines			Moyennes collines		Hautes collines	
Manan-kinany	Tsara-tanana	Ambodi-voapaka	Ambohidasny	Antrafonomby	Salangina	Antenina
3m	25m	7m	3m	4m	1m	2m

Source : Observations sur terrain.

L'étude de ce tableau 6 révèle que :

- dans les basses collines, l'épaisseur du manteau d'altération peut atteindre 25m dans les zones sous couverts denses sempervirentes.
- dans les moyennes collines, elle n'atteint pas plus de 4m,
- et dans les hautes collines, le manteau d'altération ne domine que 1 à 2m d'épaisseur.

Le complexe bio-morpho-climatique qui est lié aux conditions lithologiques et aux pressions humaines de chaque endroit, résultent de ces différences. Dans les basses collines, l'altération est plus poussée par rapport à l'érosion du sol, ce qui amplifie l'épaisseur du manteau d'altération, contrairement aux moyennes et hautes collines. L'évolution des versants de collines est donc, liée à l'action des processus élémentaires sur la topographie, qui se traduit par la croissance d'instabilités mécaniques (les incisions) et qui conduit à la formation d'un réseau hydrographique et d'un réseau de vallées.

IV. Discussion

Dans le cadre de ces versants, les effets favorisés par le climat changent l'aspect des formes de paysages accentuées par l'anthropisation. Cela est perceptible dans la zone de Soanierana Ivongo avec l'importance de glissements au niveau des collines. Ces effets ont également eu une influence sur le développement des couvertures

végétales qui, à leur tour, garnissent l'évolution des versants. Les analyses effectuées dans cette zone permettent d'avancer certaines conclusions.

- Le changement climatique, l'anthropisation et leurs manifestations tendent à devenir de plus en plus importants :
 - les températures enregistrées 24,6°C en 1950-1980 deviennent 25,1°C en 1990-2020.
 - les quantités de pluies recueillies entre ces deux périodes diminuent de 5,8% et les perturbations cycloniques deviennent de plus en plus fréquentes.
- De plus, nos observations et les entretiens effectués avec les paysans nous permettent de déduire qu'il y a phénomènes extrêmes sur l'évolution morphologique de versants de collines de la zone d'étude.

L'augmentation de la température (0,5°C) et la diminution de précipitation (5,8%) dans cette zone prouvent la tendance à l'assèchement, accentuant la possibilité d'existence de perturbations cycloniques et favorisant le phénomène d'érosion. L'érosivité, durant le passage de la pluie, est intense au niveau des versants, surtout dans les zones anthropisées. Ce phénomène paradoxal rappelle le displuvial quaternaire qui était marqué par l'accentuation du phénomène d'érosion sur les versants. Donc, ce n'est pas la diminution quantitative de la précipitation qui conditionne la fréquence de ces deux types de glissement, mais c'est sa violence au cours de sa tombée favorisant une forte érosivité dans les zones à faible couverture due à l'anthropisation.

- Il a été également constaté que les poids des activités anthropiques dans chaque secteur ne sont pas les mêmes, tant sur les formes que sur l'intensité :
 - dans les basses collines aux versants faiblement anthropisés, on assiste à une faible évolution (17% de glissement),
 - dans les hautes collines, versants moyennement anthropisés : 38% de glissement (moyenne évolution),
 - et dans les moyennes collines aux versants fortement anthropisés : 45% de glissement (forte évolution).

La faiblesse du taux de glissement dans les basses collines est constatée, grâce à l'existence des larges bassins-versants et des-fonds aménageables et utilisables à des fins agricoles. En effet, le rôle de l'activité anthropique sur l'évolution morphologique des versants de basses collines est minime, malgré l'apparition de micro-loupes. Dans les zones à forte couverture forestière et à faible anthropisation, bien qu'il y ait importance des effets climatiques, on n'observe pas la prépondérance de ces glissements. Pour les paysans locaux, sans intervention climatique, le phénomène de

glissement est moins important, même s'il y a l'intervention humaine. Donc, c'est la contribution de ces deux phénomènes (climat et anthropisation) qui conditionne l'évolution actuelle des versants dans la zone d'études par l'existence de ces deux types de glissement.

A Madagascar, les phénomènes ultimes d'évolution morphologique sont liés aux climats et à l'anthropisation et répandent sur l'ensemble de la façade littorale orientale. On sait que les phénomènes climatiques pour le GIEC¹ revêtent tous les changements attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables. Mais, géomorphologiquement, ils sont les précurseurs modifiant le milieu naturel suite à l'anthropisation.

Etudier les phénomènes climatiques en liaison avec l'anthropisation sur la morphogenèse présente des avantages sur l'interprétation des effets de changements climatiques flandriens et actuels.

V. Conclusion

Cette étude sur l'évolution des versants de collines de la zone de Soanierana Ivongo basée sur les effets de climat démontre que les versants de collines de la zone changent de façon inégale suite aux actions humaines. Cette recherche permet de comprendre l'évolution du climat et ses impacts sur la morphogenèse et l'évolution morphologique collinaire. On peut conclure que la tendance à l'assèchement actuel accentue l'évolution de ces versants. Cette recherche permet de mieux connaître les évolutions climatiques, le rôle anthropique et leurs conséquences géomorphologiques pour les prochaines années dans les milieux biophysiques.

VI. Remerciement

Je tiens à remercier les responsables de la Direction Générale de la Météorologie Ampandrianomby qui ont fourni des données climatiques telles que les températures et les précipitations.

VII. Références bibliographiques

1-Bourgeat (F) et Petit (M), 1968. Contribution à l'étude des surfaces d'aplanissement sur les Hautes Terres centrales malgaches. *Annales de géographie, Paris, pp.158-188 + Carte géomorphologique à 1/500 000.*

¹ GIEC : Groupe Intergouvernemental pour l'Etude de Climat.

2-Brand (J) et Rakotovao (W. L), 1997. La dégradation des sols. Cahiers Terre – Tany N°6 pp.49-67. Tananarive

3-Donque (G), 1971, Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar, *Thèse d'Etat, Aix-en-Provence, 48 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.*