

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE - CONCEPTS ET DEMARCHE DE RECHERCHE.....	3
CHAPITRE I. LES CONCEPTS EN HYDROGEOLOGIE.....	4
CHAPITRE II. DEMARCHE DE RECHERCHE.....	14
DEUXIEME PARTIE - PRESENTATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE LA ZONE DE RECHERCHE.....	17
CHAPITRE III. CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE DE RECHERCHE.....	18
TROISIEME PARTIE - PREMIERS RESULTATS ET INTERPRETATION.....	24
CHAPITRE IV. DESCRIPTION DES COUPES LITHOSTRATIGRAPHIQUES LEVEES.....	25
CHAPITRE V. INTERPRÉTATION MORPHOLOGIQUE.....	38
CONCLUSION.....	46

TABLE DES ILLUSTRATIONS

	Pages
Liste des cartes :	
Carte 1. Localisation administrative de la zone de recherche	18
Carte 2. Carte géomorphologique des HTC.	23
Carte 3. Localisation des coupes lithostratigraphiques dans le secteur d'études. ...	25
 Liste des figures :	
Figure 1. Une vaste platitude traversée par l'Onive à l'extrémité Nord de la ville d'Antanifotsy.....	2
Figure 2. Alternance des strates déposées horizontalement à 13 km au Nord d'Ambovovy – Majunga.	4
Figure 3. Illustration érosion et dépôts	5
Figure 4. Exemple de morphologie d'un cours d'eau.....	6
Figure 5. Démonstration des zones préférentielles d'érosion et de dépôts (en aval).	7
Figure 6. Balance de Lane : le principe d'équilibre dynamique de la rivière.....	7
Figure 7. Clichées sur le pont d'Ambohimandroso.....	9
Figure 8. Représentation lithostratigraphique d'une séquence fluviatile prélevée à Ambohimandroso	10
Figure 9. Dépôts témoignant l'instauration d'un plan d'eau calme dans la plaine d'Ambohimandroso et l'existence d'un paléolac à 100 mètre du contact socle-sédiment de la Côte-Est de Madagascar.....	11
Figure 10. Coupe schématique dans un lac.....	12
Figure 11. Deux types de disposition de terrasses fluviatiles.....	13
Figure 12. Coupe naturelle observée dans la plaine d'Ambohimandroso.....	15
Figure 13. Coupe naturelle résultant de l'action de l'érosion.....	16
Figure 14. Présentation par Satellite de la zone de recherches.	19
Figure 15. Affleurement de granite et de migmatite dans le bassin.....	21
Figure 16. Les alluvions anciennes et récentes.....	22
Figure 17. Les principaux types de barres fluviatiles; (1) chenal droit; (2) chenaux en tresse	32
Figure 18. Dépôts de galets et de sable au niveau des points barres de l'Onive.....	33

Figure 19. Une barre qui sépare deux chenaux	34
Figure 20. Barre vue de près dans le lit mineur de l'Onive	34
Figure 21. Présentation des réseaux à méandre dans le bassin d'Antanifotsy	35
Figure 22. Une barre de méandre pavé de galets	36
Figure 23. Ancien lit exploité par des orpailleurs	37
Figure 24. A : Bras morts. B : chenaux récemment abandonnés	37
Figure 25. Répartition des terrasses dans le bassin d'Antanifotsy	38
Figure 26. Section transversale schématique de la partie inférieure de l'Ilempona.	39
Figure 27. Section transversale schématique de l'Onive	39
Figure 28. Disposition des terrasses emboîtées	40
Figure 29. Accumulation sur la rive convexe et recoupement de méandre	42
Figure 30. Les vases d'origine lacustre	43
Figure 31. Les bras morts de l'Ilempona par divagation	43

Liste des tableaux :

Tableau 1. Caractéristiques climatiques d'Antanifotsy.....	20
Tableau 2. Types de réseaux fluviatiles.....	32

GLOSSAIRE

Accrétion : accroissement d'une région continentale ou océanique par apport de matériaux.

Allochtone : se dit d'un terrain sédimentaire ayant subi un important déplacement horizontale et qui se repose sur des terrains autochtones.

Barre : Zone d'ablation de la rive convexe où la vitesse de courant est très intense.

Point barre : Zone de dépôts, souvent ensablée, de la rive concave.

Décantation : séparation et migration des particules fines non solubles vers le fond.

Floculation : agglomération en flocons de particules en suspension dans un liquide.

Divagation : déplacement, permanent ou temporaire, d'un lit d'un cours d'eau.

Lamines : dépôts lacustres, composés d'argile de couleur jaunâtre d'épaisseur supérieur à 1cm à stratification horizontale.

Méandrique : Répétition de plusieurs méandres.

Anastomosé : ensemble de plusieurs chenaux entrelacés.

Cryptopographie : Topographie souterraine.

Radio-carbone : Carbone 14 (14 C)

Tourbe : Produit combustible résultant de la décomposition lente de plantes herbacées dans les eaux stagnantes.

Séquences fluviales : matériaux de forme et de nature variées qui alimentent un bassin.

Vases : dépôts fins d'argile résultant de la décantation.

Varves : sédiments lacustres faits de dépôts alternativement fins et grossiers, déposés en avant des glaciers.

Bioturbé : Bulles de méthane provenant de la décomposition de la matière organique.

Turbidité : teneur en trouble, en boue ... d'un cours d'eau.

Litage : formation sédimentaire comprenant plusieurs strates.

ACRONYMES

14 C : Carbone 14

F.T.M. : Foibe Taon-tsaritany Madagasikara

O.N.G. : Organisation Non Gouvernementale

T1 : Terrasse subactuelle

T2 : Terrasse moyenne ou terrasse intermédiaire

T3 : Haute terrasse

INTRODUCTION

Le bassin d'Antanifotsy s'est formé à partir des formations fluviales et de la dynamique du fleuve Onive. Les études faites par A. LENOBLE et al. 1949 sur « *Les dépôts lacustres pliocènes-pléistocènes* » sont peu détaillées, mais à partir des observations cartographiques et des travaux de terrains, les résultats de recherches sur l'Onive dévoilent déjà quelques secrets suites à nos travaux antérieurs sur les formations alluviales de la plaine d'Ambohimandroso, appartenant toujours au grand bassin du fleuve. D'où l'intitulé de ce travail de recherche : **« Les Formations superficielles de la vallée de l'Onive (Bassin d'Antanifotsy), Région Vakinankaratra »**

La platitude de cette partie orientale de l'Ankaratra m'a toujours interpellé. La présente étude, étant la suite d'une étude antérieure¹, tient le même objectif de préciser la nature des formations rencontrées puis de démontrer, leur provenance et la dynamique du fleuve dans leur mise en place. Est-ce que cela correspond à des surfaces d'érosion, d'aplanissement, d'accumulation ou d'alluvionnement ?

D'où, la problématique qui se pose :

« Comment peut-on expliquer et justifier cette platitude à l'est du massif de l'Ankaratra ? »

Cette problématique principale est complétée par deux questions :

Résulte-t-elle de la succession de mouvements tectoniques, suivie du volcanisme et de la dynamique fluviale, ou, y a-t-il d'autres phénomènes responsables ?

Et si ce n'est pas le cas, cette zone résulte-t-elle tout simplement d'une érosion, d'un aplanissement ou d'alluvionnement ?

L'objectif est de dégager une chronologie relative puis absolue à partir de la datation par C14 des formations du bassin à partir des résultats apportés par les coupes naturelles. La contribution réelle des séquences fluviales au volume des dépôts associée à d'autres arguments permettra de préciser dans un deuxième temps les limites temporelles de dépôt de ces formations détritiques quaternaires.

¹ Mémoire de maîtrise : Formation alluviale de la rivière Kelilalina dans la plaine d'Ambohimandroso, 2014



Figure 1. Une vaste platitude traversée par l'Onive à l'extrémité Nord de la ville d'Antanifotsy.

Cliché de l'auteur le 21 Juillet 2015

PREMIERE PARTIE
CONCEPTS ET DEMARCHE DE RECHERCHE

CHAPITRE I. LES CONCEPTS EN HYDROGÉOMORPHOLOGIE.

I.1. Les formations superficielles.

« Les formations superficielles sont constituées de sédiments et de roches exogènes et volcaniques, demeurés à l'interface lithosphère-atmosphère depuis leur mise en place sur les continents, disposés en une ou plusieurs unités d'épaisseur métrique à décimétrique, avec ou sans relation génétique avec le substratum, mais étroitement associés à l'évolution du relief actuel dont ils sont l'expression lithologique. » (M. CAMPY & J.J. MACAIRE, 1989)

I.1.1. Position dans le temps et dans l'espace.

Au contact entre les continents, l'atmosphère et le milieu marin, les *formations superficielles* résultent d'une modification du paysage et des milieux associés dans un intervalle de temps : du jour au lendemain à une ère géologique, en relation avec différents facteurs (climat, pression, température...). S'expliquant par des phénomènes physiques et biologiques, les évolutions des formes en surface sont appelées « géomorphologie dynamique », et celles des profondeurs sont appelées « géomorphologie structurale ».



Figure 2. Couche sédimentaire issue du diagenèse à 13 km au Nord d'Amborovy - Majunga.

Cliché A. ANDRIANARY en Novembre 2014

I.1.2. Phénomène d'érosion et de dépôts.

En étudiant simultanément les deux cas, l'érosion et les dépôts ne sont pas toujours forcément naturels, mais aussi d'origine anthropique. Le *phénomène d'érosion et de dépôts* peut être divisé en trois zones (Figure 3) : zone d'érosion ou d'ablation (en amont), zone de transfert ou de transport (le versant), et la zone d'accumulation ou de dépôts (en aval). (DEVLESSCHOUWERX., 2008 – 2009)

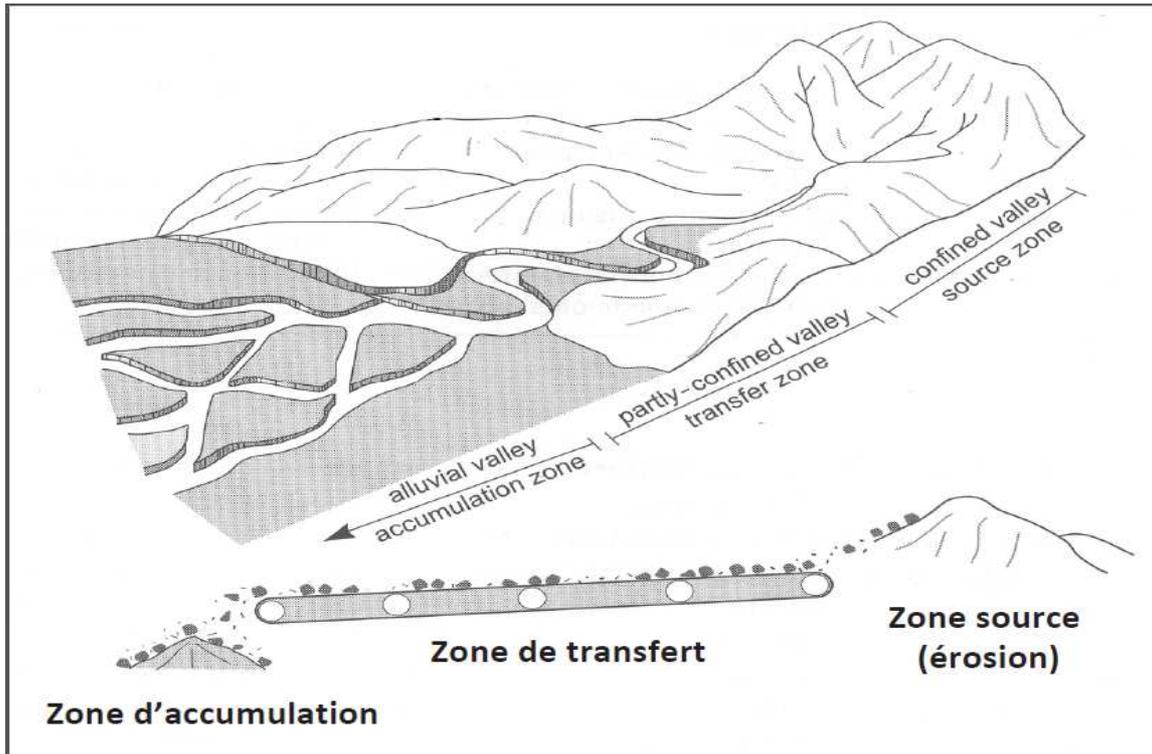


Figure 3. Illustration érosion et dépôts.

Source : DEVLESSCHOUWER X. en 2008

L'érosion peut apparaître dans chaque zone, mais plus intense en amont, par contre, les dépôts se concentrent toujours en aval. Le versant reçoit les deux en même temps et le taux de transfert dépend du degré d'inclinaison de la pente : pente douce = vitesse de transfert faible à moyenne, pente raide = vitesse de transfert élevée à extrême.

En considérant l'existence des végétaux, l'érosion est moins intense sous une forte couverture végétale, y compris le transfert, ainsi que la quantité des matériaux exportés. Dans les zones à couverture mince (herbeuse) le taux de matériaux arrachés peut être massif.

I.1.3. Relation des formations superficielles et la dynamique fluviale.

Un cours d'eau est un système qui recueille et transporte vers l'aval, sous l'effet de la gravité, les eaux des pluies et des sources d'un même bassin versant. La grande diversité morphologique des rivières n'est nullement le fruit du hasard (MALAVOI J. R. et BRAVARD J. P., 2010). Elle dépend du climat, de la géologie et du relief (Figure 4).

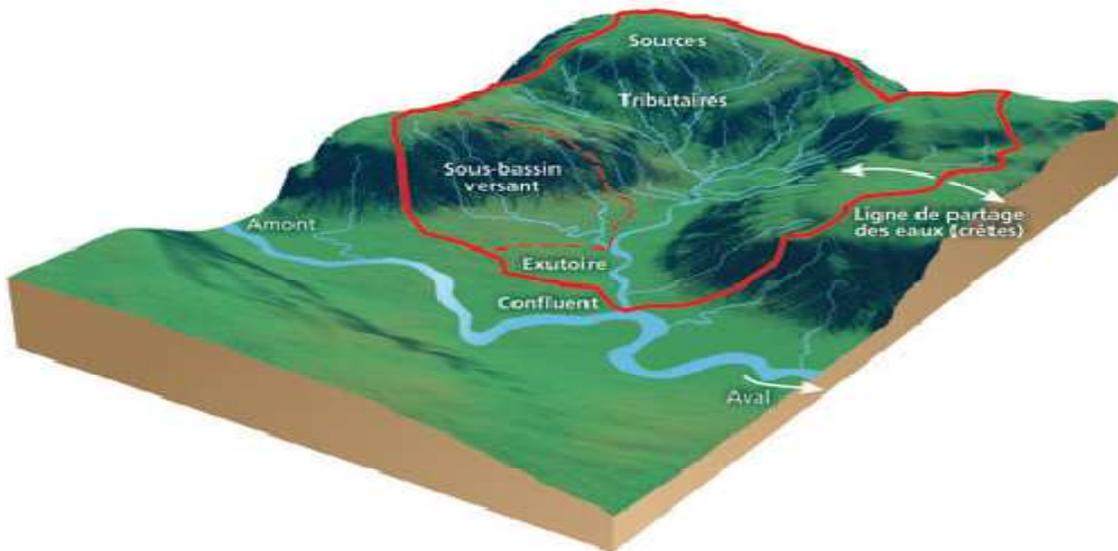


Figure 4. Exemple de morphologie d'un cours d'eau.

Source : T. B. BELANGER, en 2010

Dans les coudes des cours d'eau sinueux ou méandriformes, la rive extérieure dite *concave* est une zone préférentielle d'érosion sous l'effet de la force centrifuge, tandis que la rive intérieure dite *convexe* est une zone préférentielle de dépôts de matériaux (Cf. Figure 5).

Longitudinalement, les dépôts s'effectuent dans les ruptures de pente et aux endroits où le lit du cours d'eau est élargi. Les dépôts les plus grossiers forment des faciès d'écoulement appelés *radiers* (zones courantes et peu profondes).

La balance de Lane (Cf. Figure 6), d'après E. W. LANE, et W. BORLAND, 2008, illustre le principe d'équilibre dynamique de la rivière. Un cours d'eau, présentant un fort débit liquide et/ou une forte pente, se charge en un point précis en matériaux solides. Quand le débit liquide baisse et/ou la pente diminue, le cours d'eau perd de l'énergie et dépose les matériaux transportés jusque-là. Les éléments fins se déposent pour un débit plus faible que les éléments grossiers. Le profil en long de la rivière est stable lorsqu'il existe un équilibre entre les sédiments qui partent et ceux qui arrivent.



Figure 5. Démonstration des zones préférentielles d'érosion et de dépôts (en aval).

*Cliché et arrangement de l'auteur le 24 Mai 2014 à Ambohimandroso
 1 : berge extérieure, zone préférentielle d'érosion.
 2 : berge intérieure, zone préférentielle de dépôt.*

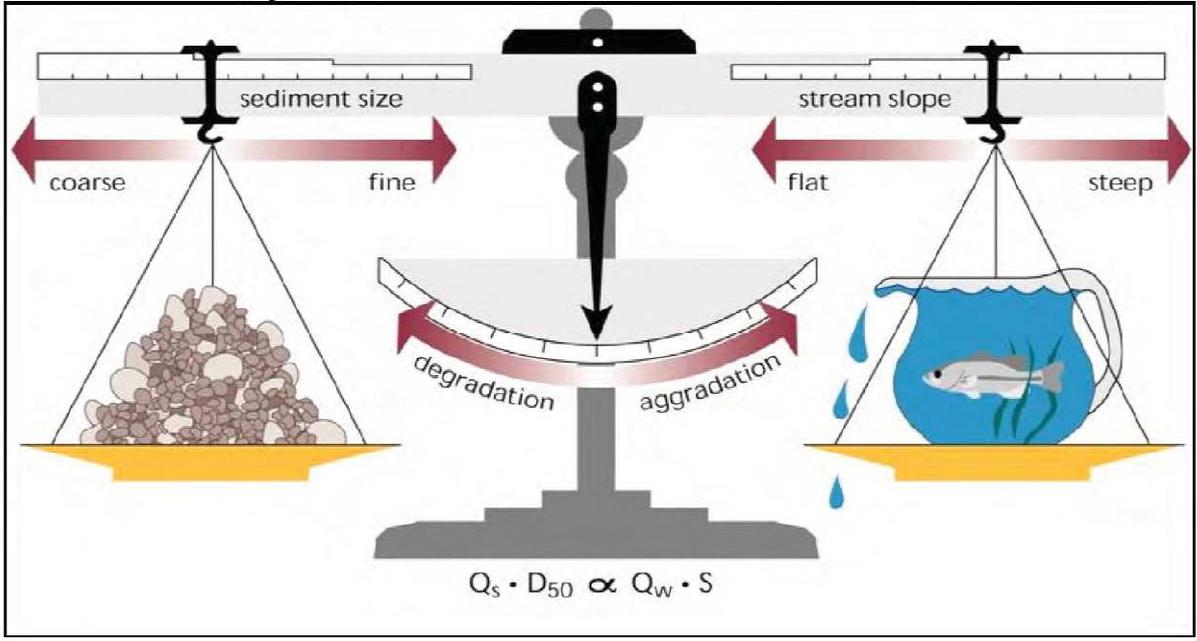


Figure 6. Balance de Lane : le principe d'équilibre dynamique de la rivière.

Source : W. LANE, 2008

I.1.4. Nature lithologique et stratification.

Les formations superficielles sont, exogènes (sédimentaires et résiduelles) et endogènes (volcaniques). En générale, ce sont des roches meubles. Elles résultent des dérivés des particules physico-chimiques ou chimio-organiques (induration, travertin...). Elles peuvent être d'origine organique (tourbes). Pour les roches volcaniques, ce sont des formations superficielles si l'épaisseur est mince et la topographie initiale est gardée.

Selon J. L. BALLAIS et S. CHAVE (2011), la stratification des dépôts suit des règles qu'on a pu déterminer sur le terrain :

- Principe de l'horizontalité : les strates sont disposés à l'horizontale ou avec un angle très faible par rapport à la surface horizontale des dépôts.
- Principe de continuité : une séquence doit maintenir son épaisseur et sa continuité au cours de sa mise en place dans une surface d'extension donnée.
- Principe de superposition : la plus jeune au-dessus et la plus vieille en contact avec le support ou une séquence sédimentaire plus ancienne.
- Principe de l'orientation vers le haut : les éléments plus grossiers en dessous et les éléments plus fins au-dessus.
- Principe de fragment inclus : les débris de dépôts plus anciens peuvent être inclus dans une couche de dépôt plus récente et jamais l'inverse.
- Principe de la relation de recoupe : une séquence qui recoupe une autre doit être toujours la plus récente.
- Principe d'identification d'une couche et de corrélation par les fossiles inclus permet d'affirmer qu'une couche peut être datée et corrélée avec la séquence et l'unicité de la flore et de la faune (fossile) qu'elle contient.

Les formations superficielles présentent de ce qui reste de l'érosion et de la sédimentation. Elles peuvent être issues du substrat qui les supporte, résidant de la dégradation physique et chimique (altérites), ou des matériaux mobiles d'origine fluviatile, lacustre, éolien... (alluvion, colluvion, cendre volcanique...).

Elles résultent des formes externes que l'on aperçoit actuellement.

I.1.5. Épaisseur et extension des formations superficielles.

Épaisseur : Voir de centimétrique à métrique, au niveau continental, dans les bassins sédimentaires, les formations superficielles, dans leur répartition, pourraient atteindre jusqu'à plusieurs décamètres.

Décimétrique à métrique : dans les zones inondables et les d'accumulation (zone basse), comme : les plaines alluviales les grands bassins inclus dans le socle.



Figure 7. Clichées sur le pont d’Ambohimandroso.

Clichés de l’auteur le 25 Mai 2014

- Métrique à décimétrique : dans les cuvettes intramontagnardes, les dépôts littoraux, et tout ce qui est dans les bassins sédimentaires.

I.1.6. Rapport avec la morphologie.

« Les formations superficielles sont présentes lorsque la dynamique des agents de transport est insuffisante pour les exporter. Cette dynamique est contrôlée par la *topographie* et la *nature des facteurs géologiques*. » (M. CAMPY & J.J. MACAIRE, 1989)

De plus, il n’est pas rare que les vallées se créent le long ou à proximité des accidents tectoniques, comme les failles (Faille de Betampona, Bassin d’Antsirabe). Le développement morphologique, dans ce sens, est favorable grâce à la collecte des eaux de ruissellement, qui à leur tour, se mettent en action pour façonner tout l’ensemble qui résulte de la dynamique morphologique. Grâce à cela, la tectonique, en créant les pentes et les ruptures de pentes, influence le relief et son évolution. Les déformations qu’elle y provoque laissent des traces, aussi bien que les terrasses et les paléo-fleuves et rivières (RAZAFIMAHEFA & Al. 2012).

I.1.7. Age.

On peut déterminer la durée de la mise en place des formations superficielles à partir de leur âge. Pour connaître leur mise en place à une période donnée, il faut se référer aux paléoclimats et avoir des éléments datables, capable de préciser avec exactitude tous les

phénomènes existants de toutes les périodes passées et qui sont enfuies actuellement par exemple la tourbe.

I.2. Les séquences possibles rencontrées sur terrain.

Dans le socle, on pourrait avoir différemment des dépôts volcaniques, fluviatiles et lacustres. Mais il est fort possible que les trois peuvent se mélanger rendant les observations plus difficiles.

Les dépôts volcaniques se composent de différents matériaux issus de chaque éruption. Durant une éruption, on peut avoir des coulées de lave, des cendres, des lapillis, des scories ...

L'extension latérale des dépôts fluviatiles n'est importantes que dans les plaines alluviales aux reliefs aplanis et dans certaines dépressions côtières. La fossilisation des sédiments fluviatiles dans les zones de forte subsidence et d'accumulation (H. CHAMLAY, 1987). Les séquences purement fluviatiles apparaissent souvent dans les surfaces d'alluvionnement. Elles se présentent toujours par la présence d'éléments fins et d'éléments grossiers. Une séquence, sans interruption, se termine toujours par une couverture ferrugineuse (induration, carapace ferrugineuse ...).

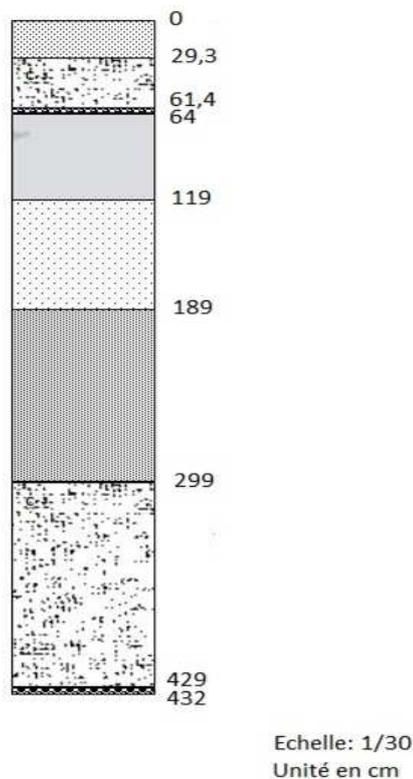


Figure 8. Représentation lithostratigraphique d'une séquence fluviatile prélevée à Ambohimandroso.

Arrangement de l'auteur

Dans les eaux stagnantes, c'est-à-dire des plans d'eau calmes petites ou vastes étendues, se forment les sédiments lacustres. Les plus reconnus des dépôts lacustres sont les **laminées** et les **vasières** (Figure 9). D'après K. LEMOINE et H. CHAMLEY, ces types de dépôts se forment à partir de deux phénomènes : d'abord par le phénomène de **floculation** précédé par le phénomène de **décantation**.

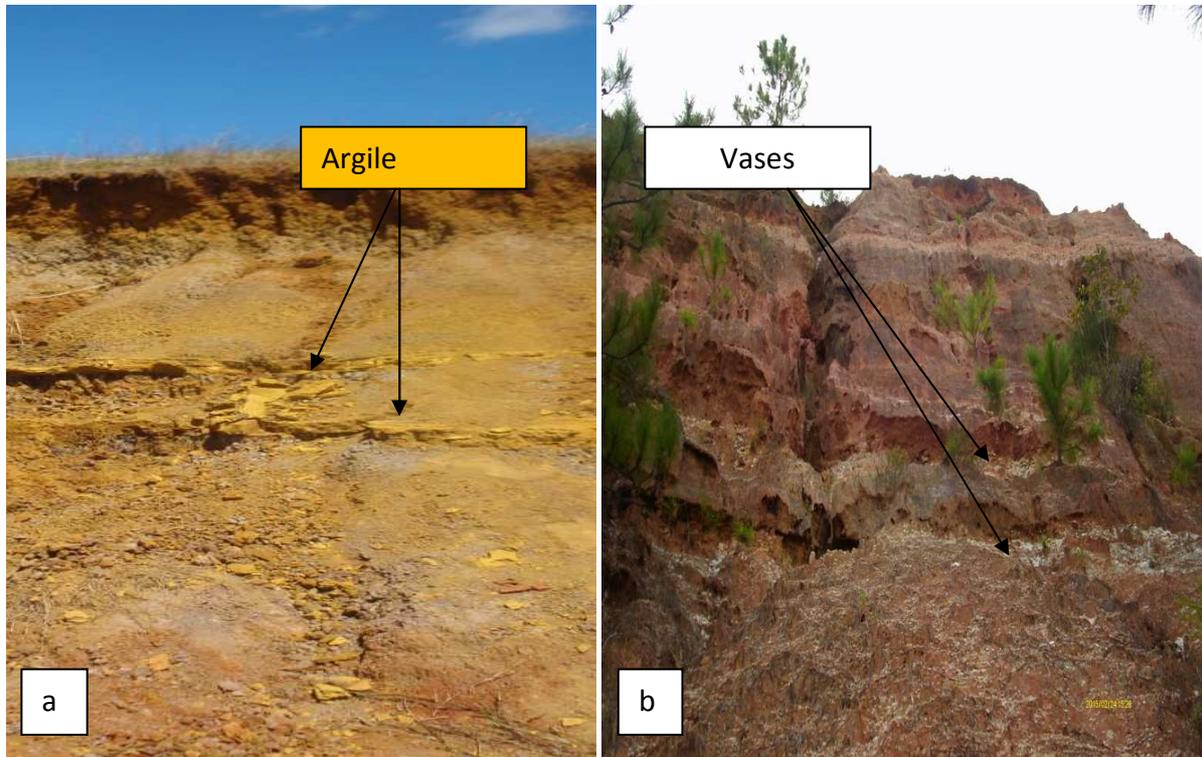


Figure 9. a) Dépôts témoignant l'instauration d'un plan d'eau calme dans la plaine d'Ambohimandroso. b) L'existence d'un paléolac à 100 mètre du contact socle-sédiment de la Côte-Est de Madagascar.

Clichés de l'auteur en Avril 2014 et A. ANDRIANARY en Février 2015 plus arrangement de l'auteur

Lors de la floculation, les matières, légères au début, s'agglomèrent et deviennent de gros agglomérats qui peuvent décanter. La floculation est donc l'agglomération des matières solides en suspension d'un liquide au repos.

Pour H. CHAMLEY, le phénomène de décantation est une opération de séparation mécanique, sous l'action de la gravitation, de plusieurs phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide. C'est-à-dire que les dépôts par décantation s'effectuent lorsque les actions hydrodynamiques interviennent peu, et autorisent la « chute lente » des particules élémentaires et des agrégats vers le fond sans transport horizontal ou oblique brutal, dans les lacs ou dans la partie aval des fleuves méandriformes de très faible pente.

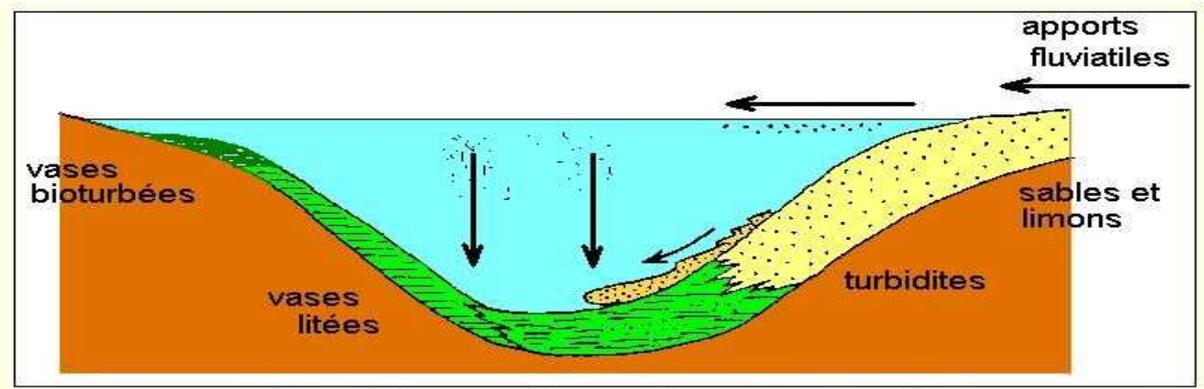


Figure 10. Coupe schématique dans un lac.

Source : J. BEAUCHAMP, 2010

D'après J. BEAUCHAMP, On distingue 3 types de milieux dont les dépôts dépendent de l'hydrodynamisme et de la nature des apports détritiques.

- les berges: dépôts grossiers (galets, sables); pour les petits lacs dont l'hydrodynamisme est faible ou qui ne reçoivent que des parties fines, dépôts fins bioturbés (vases).
- les pentes et le fond: hydrodynamisme faible, absence d'oxygène; vases laminées à bulles de méthane provenant de la décomposition de la matière organique; précipitation possible de carbonates; horizons sableux dus à l'arrivée de turbidités. Les vases laminées peuvent montrer une alternance de lamines claires et sombres correspondant à une rythmicité annuelle: ce sont des varves.
- l'éventail deltaïque sous-lacustre: il comporte des chenaux, des lobes, des levées; des glissements et des courants de turbidité se déclenchent quand l'apport détritique est important.

I.2.1. Les terrasses fluviales.

Les séquences fluviales sont généralement grano-décroissantes (elles sont dites positives), avec un niveau de galets à la base et des limons au sommet. Parmi les structures sédimentaires, on trouve en particulier des rides lingoïdes (en forme de langue) et des grands litages obliques quand le réseau est méandrique. Les structures orientées (litage oblique, imbrications) montrent un courant en moyenne unidirectionnel. Les fossiles sont généralement absents; on observe seulement des traces d'activité organique dans les limons (terriers, racines).

Les formations quaternaires de la partie orientale de l'Ankaratra sont des dépôts fluviaux de réseaux en tresse ou à méandres. L'alternance des périodes d'érosion et de sédimentation depuis la genèse d'une rivière produit des niveaux fluviaux étagés ou emboîtés appelés « terrasses » (Cf. Figure 11). On peut distinguer un ensemble de terrasses à

forte altitude et très développées « les terrasses supérieures » et un ensemble à faible altitude et moins développées « les terrasses inférieures ».

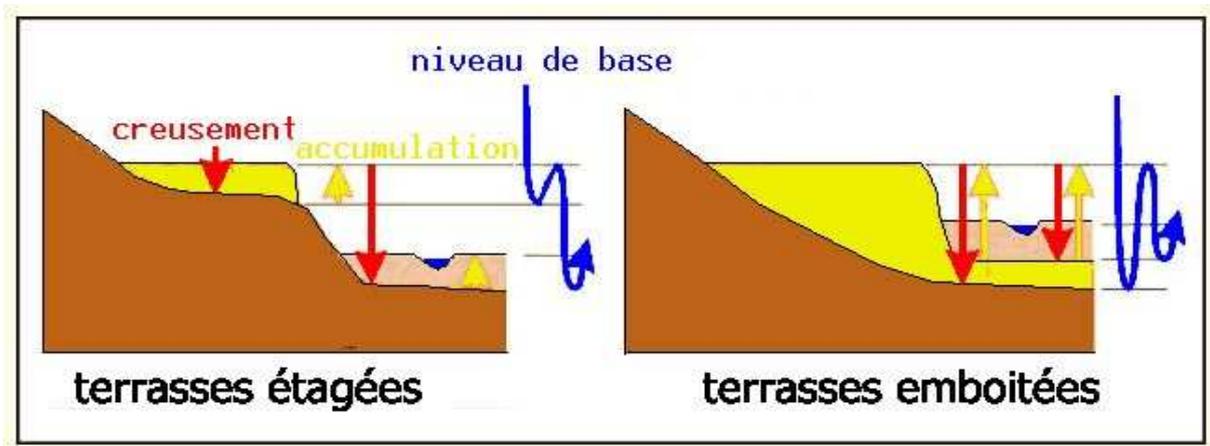


Figure 11. Deux types de disposition de terrasses fluviales.

Arrangement de J. BEAUCHAMP, 2010

Chacune de ces types de disposition de terrasses d'origine fluviale renferme trois séquences qui correspondent chacune à une phase de crue. L'épaisseur d'une séquence détermine la durée et l'intensité d'une crue dans une période donnée. A partir de ces séquences, on peut déduire la genèse d'une terrasse fluviale et son ancienneté.

I.2.2. La tourbe.

La tourbe est à l'origine de matériaux organiques compacts issus de l'accumulation de débris végétaux, brun sombre, à teneur en carbone élevée (60%), formée par la décomposition partielle et la carbonisation de la végétation. D'après H. CHAMLEY, « les milieux sédimentaires d'origine sont caractérisés par une forte production végétale associée à des apports terrigènes temporairement limités, ainsi que par un enfouissement assez rapide pour limiter l'oxydation et la biorégénération des tissus morts ». La présence de la tourbe dans une plaine alluviale témoigne d'un passage d'une période d'accalmie à une période de reprise d'une forte phase érosive.

A partir de la tourbe, la datation par ^{14}C permet de placer la formation et même la genèse d'un secteur où elle s'est formée. Puis à partir des analyses de laboratoire, on peut effectuer des prélèvements de pollen afin de savoir les types de végétation ancienne qui occupaient la zone.

CHAPITRE II. DEMARCHE DE RECHERCHE.

II.1. Collecte de données nécessaires.

Cette étape consiste à avoir toutes informations nécessaires sur la zone de recherche à partir de la bibliographie, l'usage des cartes et les premières visites virtuelles par image satellite de Google Earth.

II.1.1. Renseignements sur la zone de recherche.

La première étape a consisté à coupler les cartes topographiques et les cartes géologiques (BD 100^{ème} de la F.T.M. et du service géologique) suivie de la bibliographie concernant la zone et tout ce qui l'influence, dans le cadre physique.

La seconde étape est de voir s'il existe des travaux faits dans la zone, pouvant donner des indices ou de pistes qui faciliteront les travaux de terrain. Exemples : travaux de forage, des projets d'assainissement effectués par des O.N.G., des aménagements collectifs ou privés en cours...

Ces étapes se poursuivront par la suite par l'usage des outils dites : « outils préliminaires » qui seront utiles durant la réalisation du travail.

II.1.2. Utilisation des outils préliminaires.

Les cartes topographiques et géologiques sont les outils primaires dans la réalisation de ce présent travail.

La carte topographique montre les aspects externes globaux qui concernent toute la zone, comme : la topographie, le système hydrographique, les habitats, mais le plus intéressant c'est d'avoir une vision à propos des aspects physiques.

La carte géologique montre exactement la nature des éléments à la surface et en profondeur des dépôts. Sans détails précis, les dépôts identifiés en surface indiquent plus ou moins précisément la taille, la limite du bassin et l'extension spatiale des sédiments.

En s'appuyant sur les images Google Earth, les images cartographiées évoluent temporellement de quelques années antérieures jusqu'à maintenant.

II.2. Les travaux de terrain.

En moyenne, la durée des travaux de terrain a été de 10 à 15 jours, divisée comme suit : 2 jours pour la reconnaissance, 10 à 12 jours pour les grands travaux et pour les dernières vérifications.

II.2.1. Recherches de coupes naturelles.

Les coupes naturelles sont utiles dans une étude géomorphologique, en particulier dans les milieux sédimentaires (Figure 12).



Figure 12. Coupe naturelle observée dans la plaine d’Ambohimandroso

Cliché de l’auteur le 13 Avril 2014

Pour que le travail soit pertinent, l’observation de plusieurs coupes, dans un secteur d’études permet de connaître la genèse, l’évolution morphologique des formations superficielles.

L’objectif des observations et descriptions des coupes est d’identifier les différentes séquences de dépôts : argile, limon, sable, gravier et galets. Souvent, ces dépôts se mélangent et sont difficiles à discerner, surtout le limon et l’argile : argile-limoneux, limono-argileux.

II.2.2. Techniques de description de coupe.

Des accessoires de terrain sont nécessaires comme le G.P.S., un bloc-note, une bonne jumelle, une bêche, un marteau de géologue et un instrument de mesure ou ce qui peut servir d’échelle. Au cours d’un parcours, il faut penser et avoir des idées des zones où l’on peut trouver des « points d’arrachement ».

C'est l'endroit où l'érosion attaque plus fréquemment, exemples : au contact de la haute terrasse et les rives concaves (Figure 13).



Figure 13. Coupe naturelle résultant de l'action de l'érosion.

Cliché le 22 Mai 2014 et arrangement de l'auteur

II.3. Analyse des données et rédaction.

La phase finale consiste à rassembler toutes les données et les outils pour pouvoir rédiger la version manuscrite du travail. Les données seront analysées sur table, et à l'aide des cartes, on pourrait les recartographier à nouveau pour avoir la répartition spatiales des levés de terrain.

Dans un tel travail, le but est de fournir les données utiles afin de faire la différence entre dépôts volcaniques, fluviatiles et lacustres pour pouvoir faire une correspondance entre l'originalité et la nature morphologique d'un secteur d'études en rapport avec les séquences paléoclimatiques intervenues.

Quand les dépôts se mélangent, cela signifie que les périodes volcaniques s'alternent ou se passent simultanément avec les périodes pluviales ou displuviales, ou les effets de l'activité volcanique entraînent un changement brusque du climat. Par conséquent, la morphologie évolue au cours d'une période climatique à une autre.

Dans les bassins sédimentaires, ce sont souvent les dépôts d'origines fluviatiles qui apparaissent le plus souvent, c'est-à-dire que le domaine fluvatile domine largement. Souvent la morphologie finale d'un bassin résulte de la dynamique fluviale et même parfois dans les milieux volcaniques. C'est pour cela qu'en premier lieu, il est essentiel d'admettre que la rencontre de séquences fluviatiles permet avant tout de savoir la différence entre surface d'aplanissement, surface de remblaiement, surface d'alluvionnement.

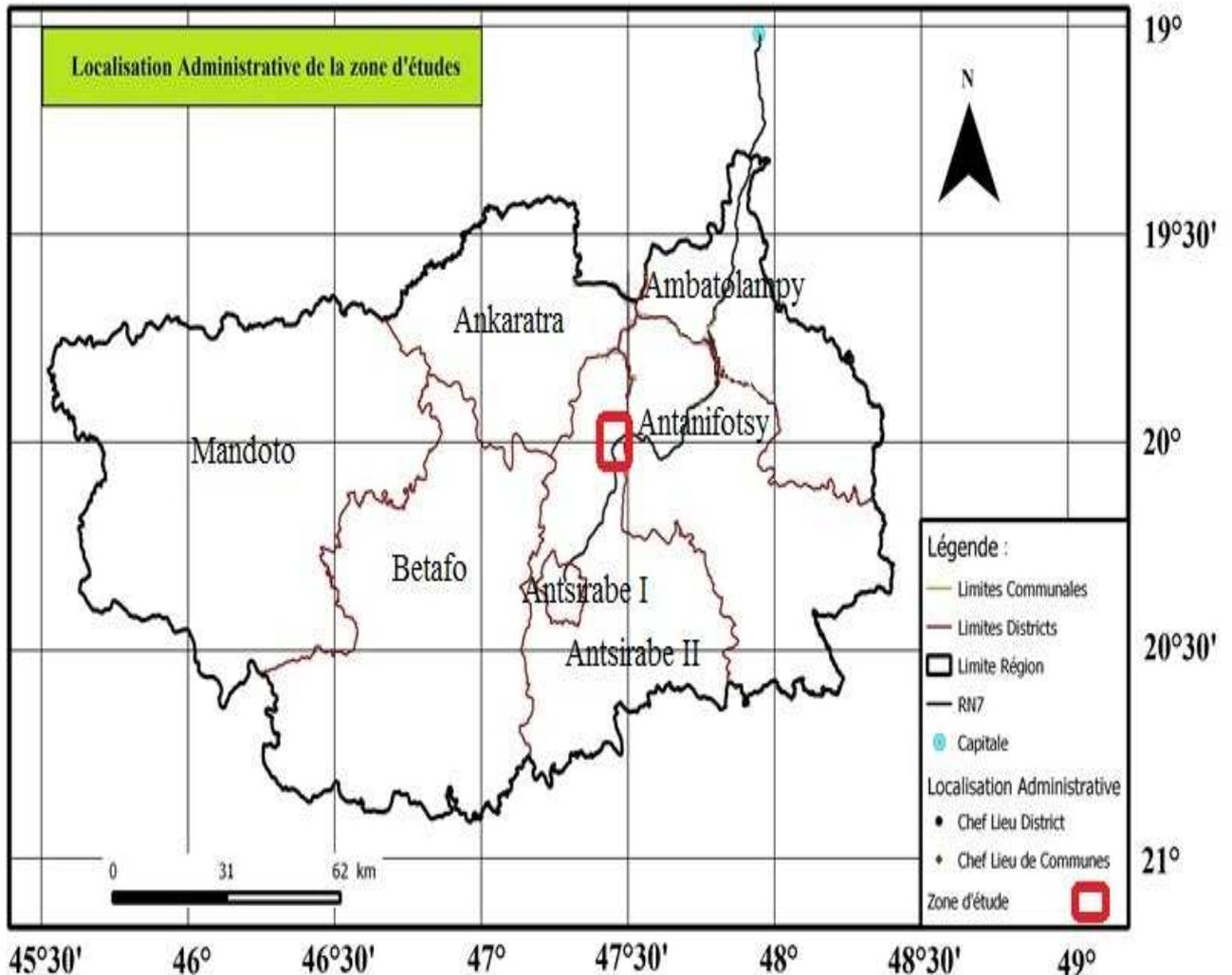
DEUXIEME PARTIE

**PRESENTATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE
LA ZONE DE RECHERCHE**

CHAPITRE III. CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE DE RECHERCHE.

III.1. Localisation géographique et caractéristiques.

La zone de recherche a une superficie de 40 km², c'est-à-dire dans une zone comprise entre les méridiens 47°17'E et 47°22'E et les parallèles 19°37'S et 19°41'S (Carte 1).



Carte 1. Localisation administrative de la zone de recherche

Source : BD FTM et Arrangement de l'auteur

Le bassin d'Antanifotsy correspond à l'extension des dépôts Quaternaires et il est inclus dans le grand bassin de l'Onive. Le secteur n'a pas été couvert dans tout son ensemble, vu que la limite nord n'atteint même pas jusqu'à Ampitatafika, et l'Ilempona, un autre bras gauche de l'Onive, venant de la cuvette de Sambaina, ne touche qu'une petite partie de la zone couverte.

III.1.1. Présentation de la zone de recherche.

L'Onive, dont le bassin-versant est de 2 990 km², traverse le sous bassin d'Antanifotsy qui est inclus dans un ensemble hydrologique et hydrogéologique. Le quadrilatère de 50km² étudié, est traversé par la RN 7, est limité au Nord à l'entrée d'Ampitatafika, à l'Est par les collines Antsahondra 1661m et Ambohitrankarina 1657m, à l'Ouest par la RN7 jusqu'à la sortie pour Ambohibary Sambaina et la rivière Ilemona, et au Sud vers Andasy 1618m.

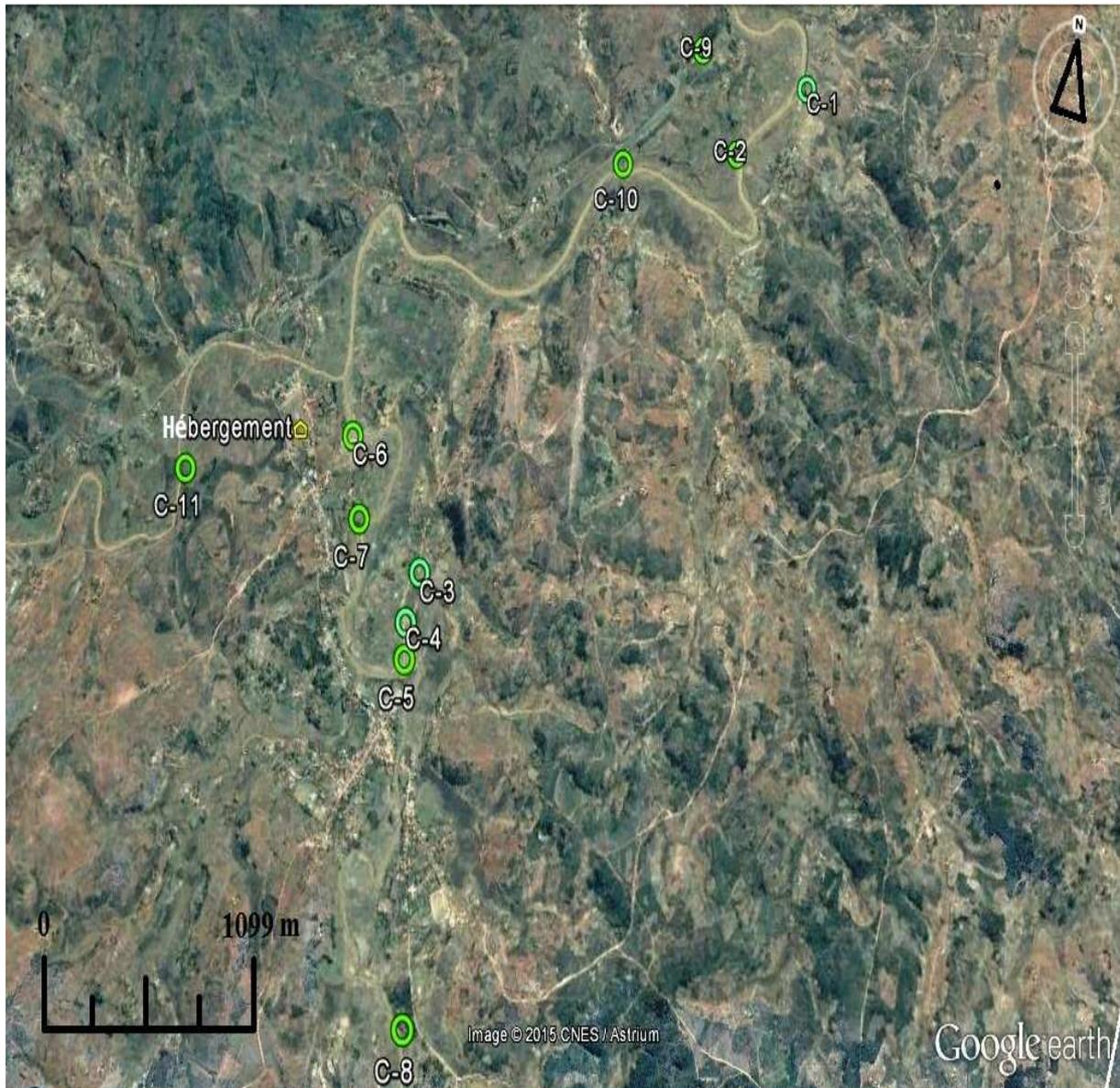


Figure 14. Présentation à l'aide d'une image Satellite.

Image Google Earth et Arrangement de l'auteur

III.1.2. Caractéristiques climatiques.

Dans le bassin d'Antanifotsy, les mesures considérées ont été empruntées à la station d'Ambatolampy.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Précipitations	289	251	215	85	36	19	18	17	25	63	157	258
T en °C	19.4	19.1	18.9	17.7	15.4	13.3	12.3	12.8	14.6	17.0	18.5	18.9
T en °C (min)	14.1	13.8	13.6	11.7	8.6	6.4	6.1	6.2	7.3	9.6	11.9	13.3
T en °C (max)	24.7	24.5	24.2	23.7	22.2	20.2	18.6	19.5	21.9	24.4	25.1	24.6

Tableau 1. Caractéristiques climatiques d'Antanifotsy.

Source: New Loc Clim. FAO 2005

La pluviométrie :

Les précipitations varient de 272 mm entre le plus sec et le plus humide des mois. Une différence de 7.1 °C existe entre la température la plus basse et la plus élevée sur toute l'année.

Des précipitations moyennes de 17 mm font du mois d'Août le mois le plus sec. Les records de précipitations sont enregistrés en Janvier. Elles sont de 289 mm en moyenne.

Au mois de Janvier, la température moyenne est de 19.4 °C. Janvier est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Le mois le plus froid de l'année est celui de Juillet avec une température moyenne de 12.3 °C.

Le climat d'Antanifotsy est dit tropical d'altitude. La température moyenne annuelle est de 12.3 °C. La moyenne des précipitations annuelles atteints 1365mm. On distingue deux saisons :

- la saison chaude et pluvieuse qui commence le mois d'Octobre et se termine au mois d'Avril. Elle est marquée par de pluies abondantes souvent orageuses. Le mois de Janvier, la pluviosité atteint le seuil de 289 mm.

- la saison fraîche et peu humide qui s'étend du mois de Mai au mois de Septembre. Elle est caractérisée par une saison relativement fraîche dont les précipitations occultes. Les mois de Juin à Août sont les mois les plus secs avec 17 mm de pluie.

III.2. Cadre géologique du secteur étudié.

Le soubassement du bassin d'Antanifotsy correspond généralement à des migmatites gneissiques et migmatites granitoïdes.



Figure 15. Affleurement de granite et de migmatite dans le bassin.

Cliché et arrangement de l'auteur le 21 Juin 2015

III.2.1. Les formations superficielles.

Les formations les plus représentées dans le bassin d'Antanifotsy sont les formations détritiques, d'âge Quaternaire, constituées dans l'ensemble de la vallée de l'Onive par des alluvions récentes et anciennes.

Les alluvions, comme celles d'Ambohimandroso, sont disposées en terrasses.

On distingue :

- Les alluvions anciennes : les matériaux constituant ces alluvions sont des galets et des graviers siliceux à matrice limoneuse. A la base dominant des graviers quartzitiques dans une matrice argilo-sableuse.

- Les alluvions récentes des cours d'eau actuels. Ces dépôts sont visibles mais leur support est très souvent à base de galets, toujours, sans apparition du substratum dans le cours du lit du fleuve.

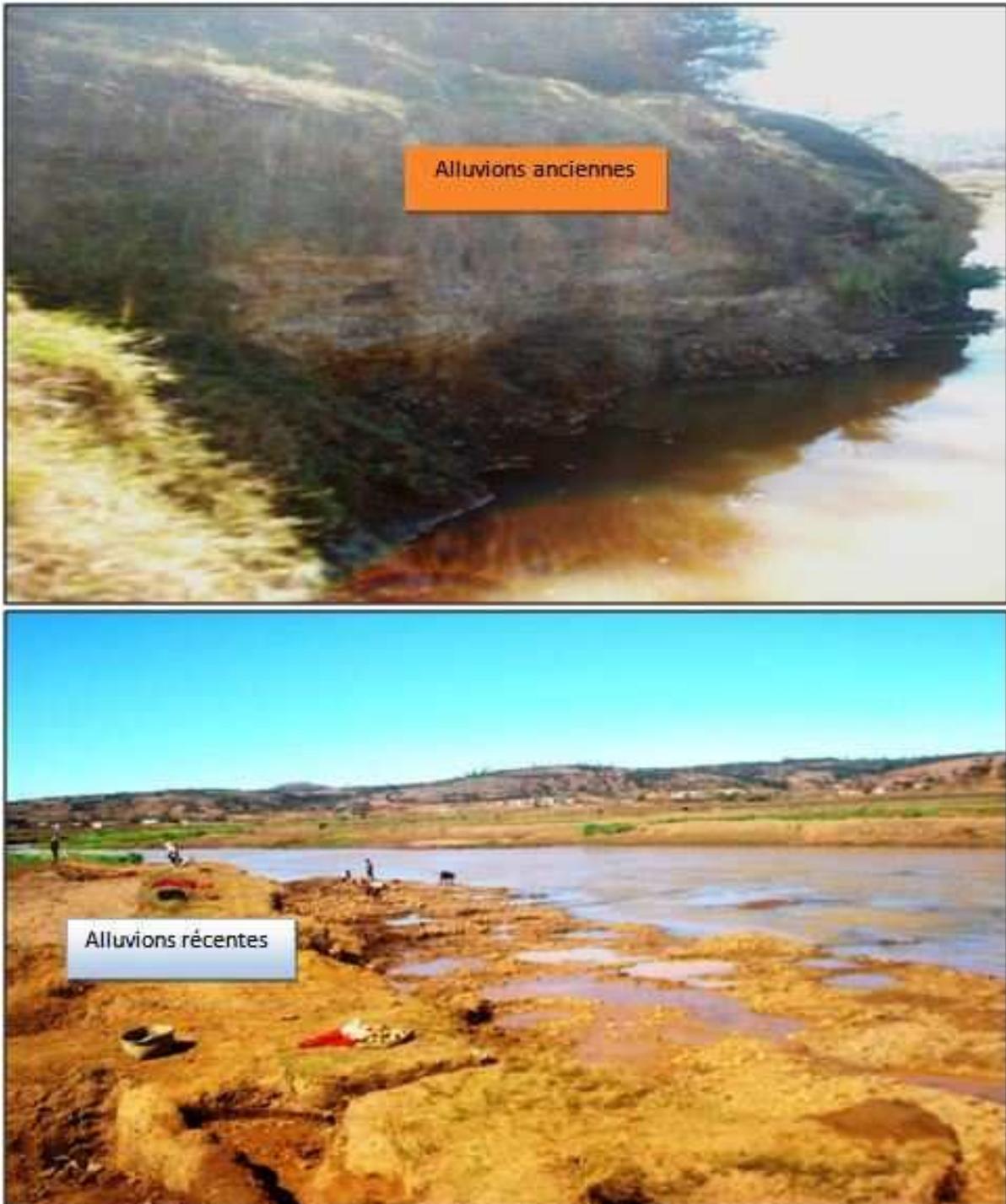


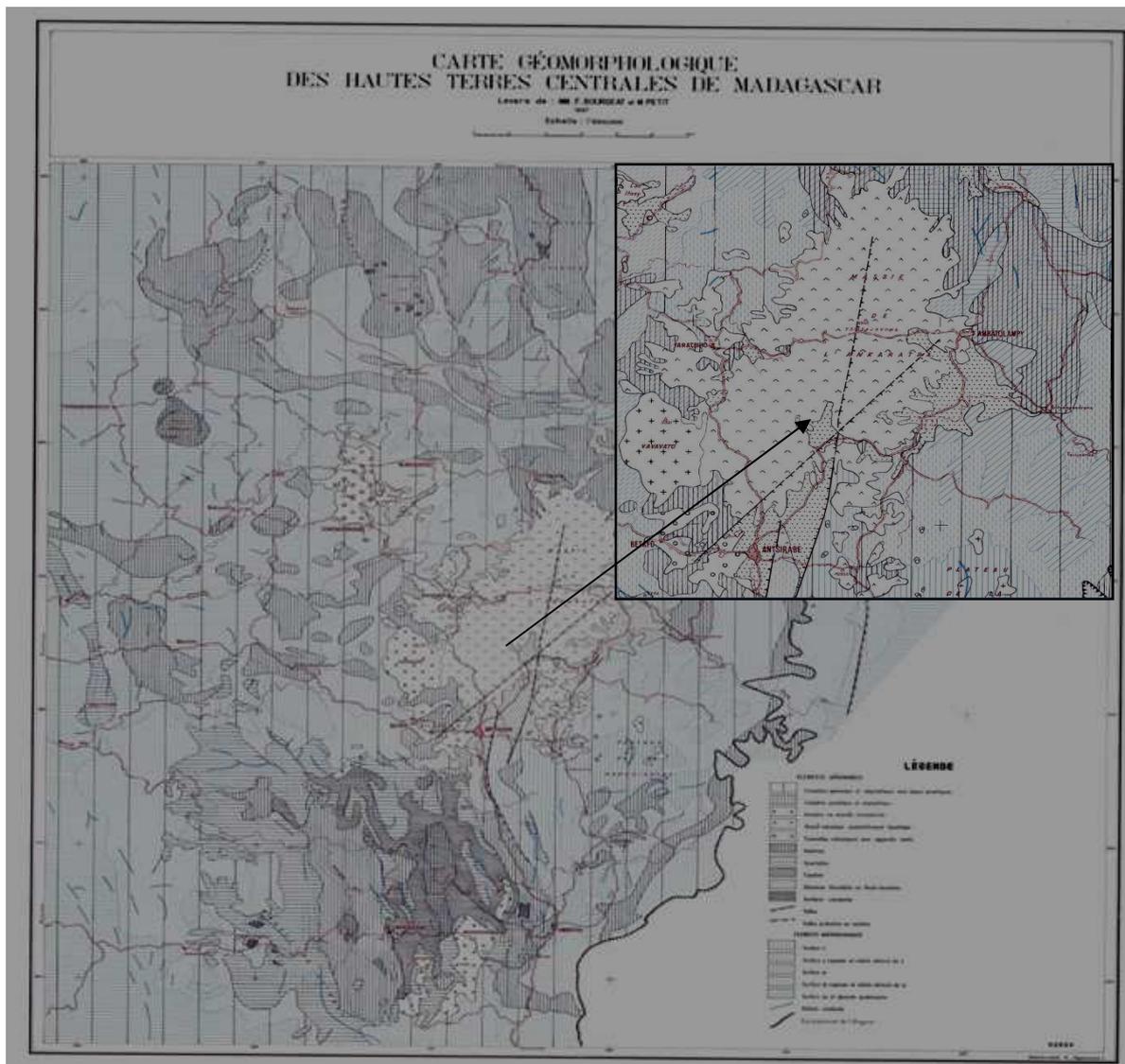
Figure 16. Les alluvions anciennes et récentes.

Clichés le 21 et 22 Juillet 2015 plus arrangement de l'auteur

III.2.2. Sur le plan géomorphologique.

Dans la partie orientale de l'Ankaratra, l'aplanissement est généralisé. Les éléments morphologiques sont :

- Surface I
- Surface I rajeuni, dérivé de surface I
- Surface II
- Surface II rajeuni, dérivé de surface II
- Surface III et épicycle Quaternaire.

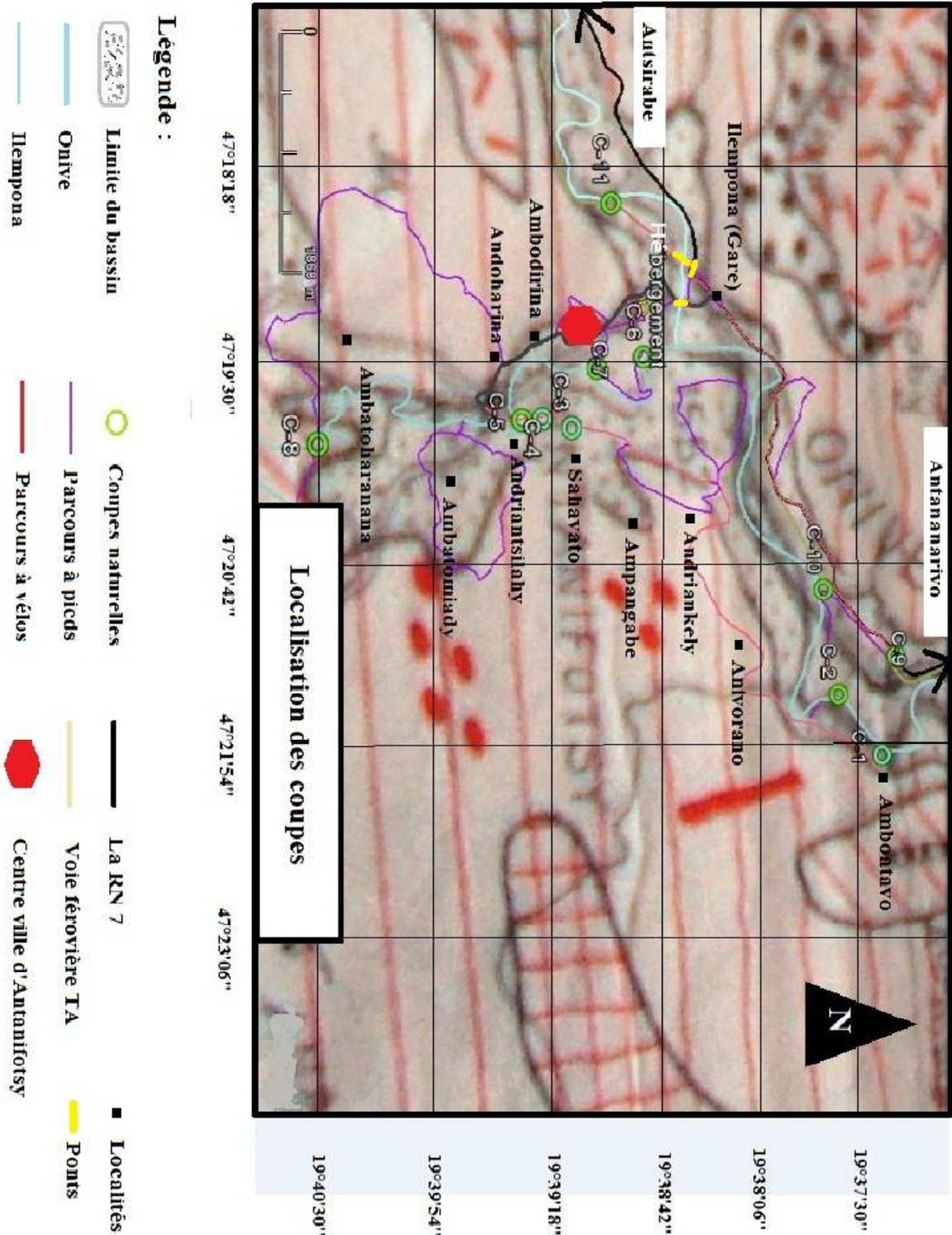


Carte 2. Carte géomorphologique des HTC.

Source : Levers de F. BOURGEAT et M. PETIT

TROISIEME PARTIE
PREMIERS RESULTATS ET INTERPRETATION

CHAPITRE IV. DESCRIPTION DES COUPES LITHOSTRATIGRAPHIQUES LEVEES.



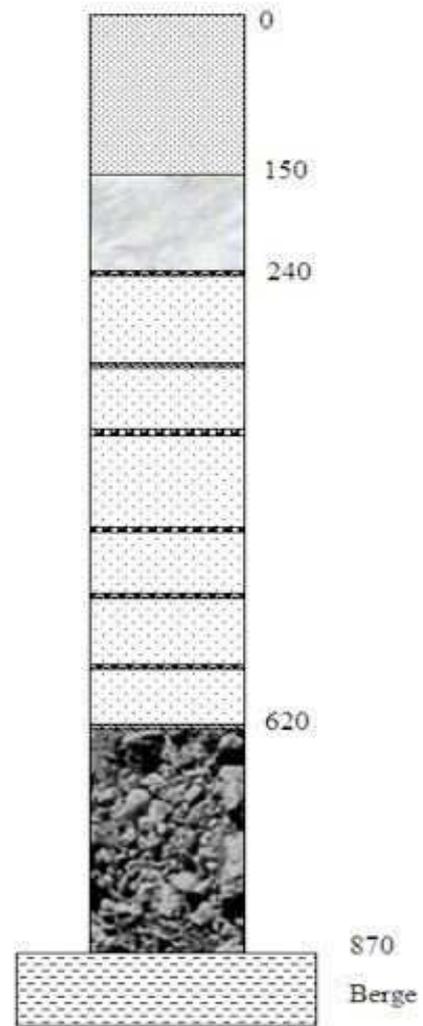
Carte 3. Localisation des coupes lithostratigraphiques dans le secteur d'études.

Google Earth et arrangement de l'auteur

Les coupes naturelles sont nettoyées après leur mise à jour par l'érosion.

Coupe 1

Coordonnées : Altitude 1561m, Latitude : 19°37'25.91"S, Longitude : 47°21'11.50"E



Echelle: 1/50
Unité en cm

Cliché et arrangement de l'auteur

Description :

Hauteur 870 cm jusqu'au niveau de la berge.

0 – 150 cm : Limon ocre à consistance faible.

150 – 240 cm : Argile limoneuse de couleur jaune, à consistance moyenne.

240 – 620 cm : Sable roux micacé, avec quelques concrétions fines millimétriques, à consistance moyenne à forte.

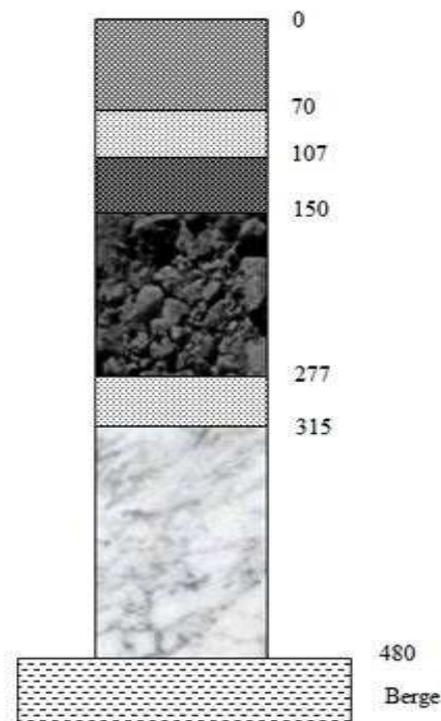
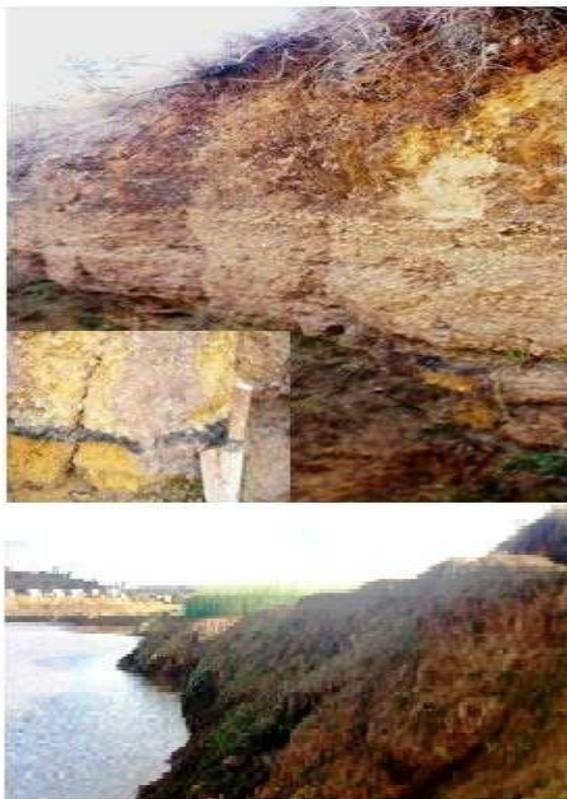
620 - 870 cm : Mélange de sable et de galets hétérométriques.

Interprétation :

Du haut vers le bas, une succession de limon, du mélange d'argile et de limon, puis du sable intercalé par cinq niveaux de concrétions fines d'ordre millimétrique avec à la base des galets émoussés de nature quartzitique qui varient de 0.9 à 16 cm de diamètre. Le niveau du sable est beaucoup plus épais, la couleur roux avec quelques éléments brillants indique que la matrice présente du silicate d'aluminium et de potassium. La présence des galets et le degré d'émoussé, témoigne que ces dépôts sont de nature fluvatile et ont parcouru une longue distance pour arriver jusque-là.

Coupe 2

Coordonnées : Altitude 1559m, Latitude : 19°37'42.19"S, Longitude : 47°20'51.92"E



Echelle : 1/50
Unité en cm

Cliché et arrangement de l'auteur

Description :

Hauteur 480 cm jusqu'au niveau de la berge.

0 – 70 cm : Limon de couleur jaune, à consistance faible à moyenne.

70 – 107 cm : Limono-sableux bigarré jaune, à consistance moyenne.

107 – 150 cm : Sablo-argileux jaune claire, à consistance moyenne à forte.

150 – 277 cm : Galets quartzitiques hétérométriques, bien émoussés, dont la base est soulignée en noir, à consistance forte.

277 – 375 cm : Sablo-argileux jaune claire, à consistance moyenne à forte.

375 – 480 cm : Argile limoneuse de couleur marron, à consistance faible à moyenne.

Interprétation :

Du sommet vers la base, on a une succession de banc décimétrique de limon, limon sableux, de sable argileux, du galet de taille variable dont la base est marquée par un ruban noir qui indique un milieu biotique transformé en matière organique et dont le fond, jusqu'au niveau de la berge, on a une grande épaisseur d'argile limoneuse contenant de manganèse et de marcassite. Ceci indique un changement de lit par la présence de dépôts de nature fluvatile.

Coupe 6

Coordonnées : Altitude 1562m, Latitude : 19°38'50.31"S, Longitude : 47°19'11.14"E

Description :

Hauteur 623 cm jusqu'au niveau de la berge.

0 – 340 cm : Argile jaune, à consistance moyenne à faible.

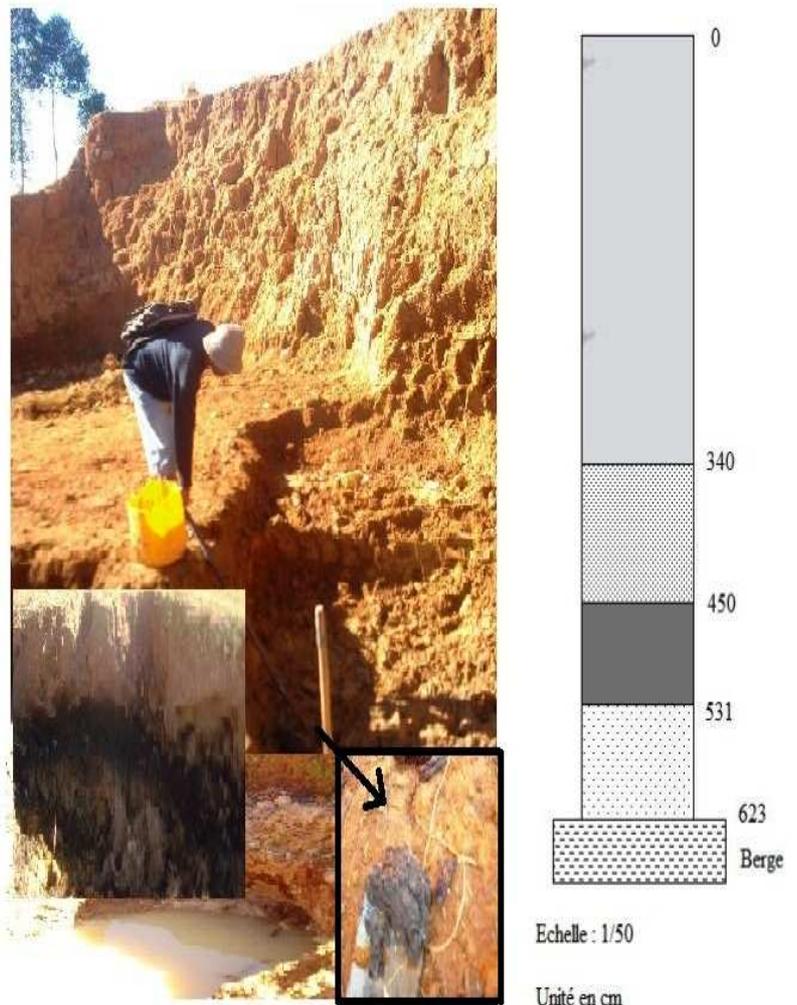
340 – 450 cm : Limon ocre, à consistance faible.

450 – 531 cm : Argile noir, avec des morceaux de tronc d'arbre.

531 – 623 cm : Sable blanc, à consistance moyenne.

Interprétation :

En continuité avec la coupe numéro cinq, sur la rive gauche, en se rapprochant du centre-ville, les briquetiers ont travaillé un peu plus de dix ans. En atteignant le niveau de la berge, une couche d'argile noire emprisonne des morceaux de tronc d'arbre. L'épaisseur de l'argile au-dessus, peu cimenté, est intercalée par une couche de limon ocre. La différence

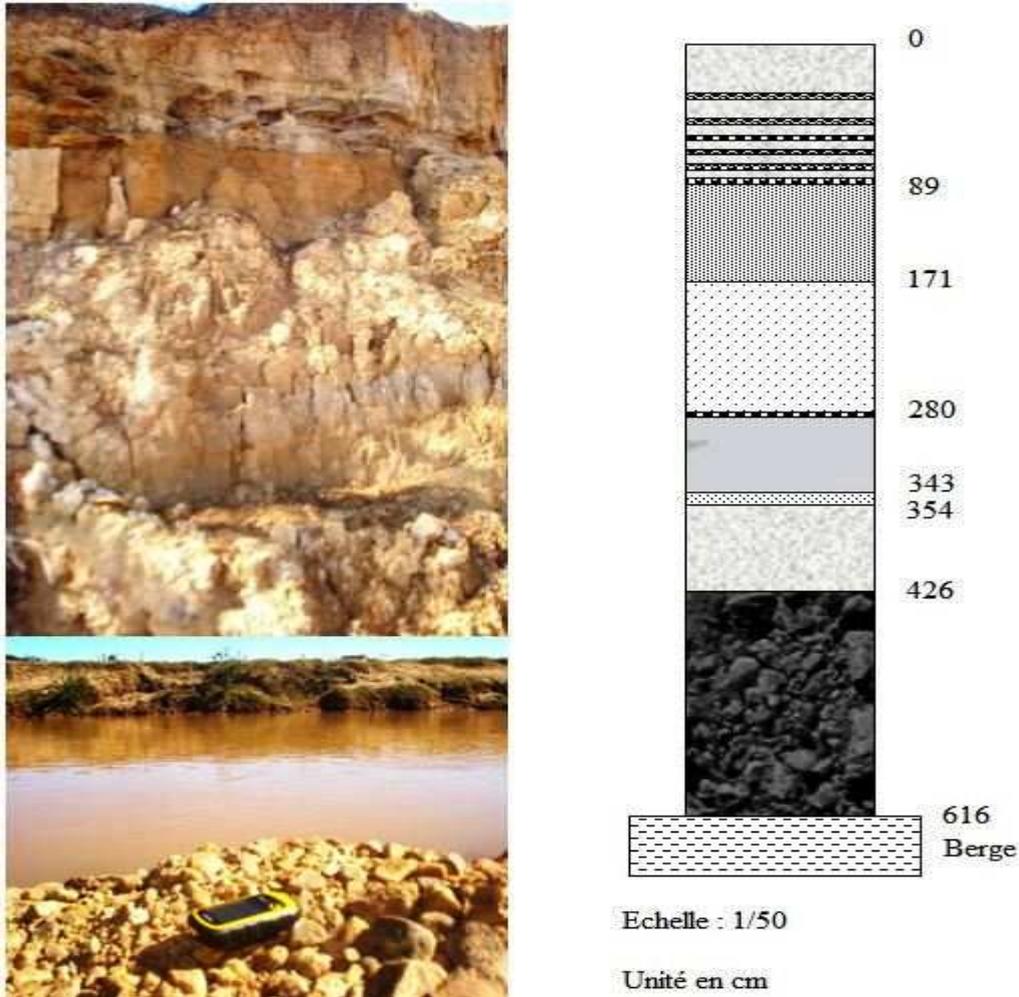


Cliché et arrangement de l'auteur

de couleur sur les deux niveaux de couche d'argile indique que la couleur noire est due à la transformation en matière organique des végétaux. Et le sable blanc indique le niveau de la nappe phréatique.

Coupe 8

Coordonnées : Altitude 1566m, Latitude : 19°40'28.40"S, Longitude : 47°19'40.87"E



Description :

Hauteur 616 cm, sur la rive droite, un peu plus au Sud du centre de la ville.

0 – 89 cm : Argile sableuse de couleur brun clair, à consistance moyenne à faible.

89 – 171 cm : Limon sableux de couleur jaune peu foncé, à consistance moyenne.

171 – 278 cm : Sable roux, à consistance moyenne forte.

278 – 280 cm : Induration.

280 – 343 cm : Argile bleu, à consistance faible.

Cliché et arrangement de l'auteur

343 – 354 cm : Sable roux, à consistance forte.

354 – 426 cm : Argile sableuse, à consistance faible à moyenne.

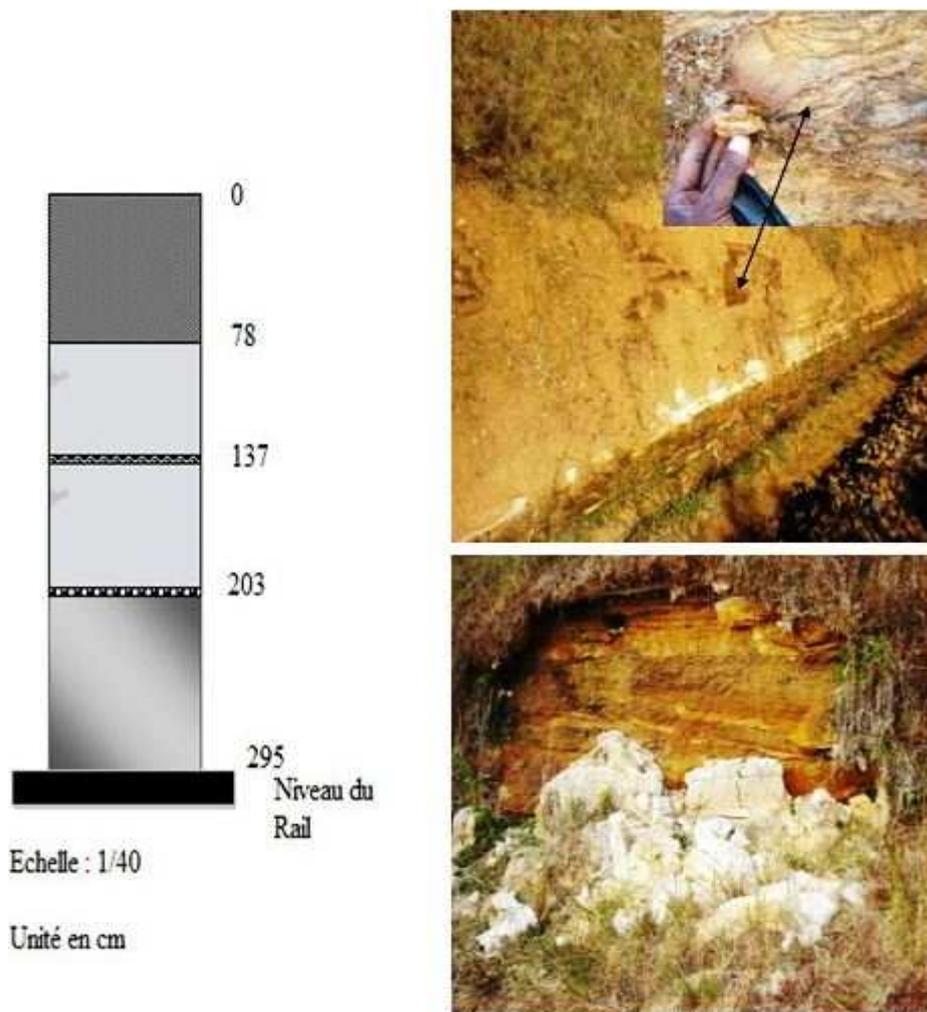
426 – 616 cm : Galets quartzitiques

Interprétation :

Du sommet à la base, on a une séquence d'argile, de limon, de sable et de galet. En haut, sur la première couche d'argile mélangée avec du sable, on a six niveaux d'induration centimétrique d'épaisseur peu considérable de 1 à 1,7 cm. La circulation du fer modifie parfois la couleur des couches. Mais le niveau du galet semble gagner en profondeur et peut signifier que l'ancienne topographie du tracé du lit du fleuve peut se trouver sous-jacent. Ce qui est toujours probable, c'est qu'on a une cryptotopographie de l'ancien lit du fleuve.

Coupe 11

Coordonnées : Altitude 1569m, Latitude : 19°39'0.78"S, Longitude : 47°18'26.75"E



Cliché et arrangement de l'auteur

Description :

Hauteur 295 cm. Cette coupe n'a pas été travaillée en totalité.

0 – 78 cm : Limon argileux rouillé, à consistance moyenne.

78 – 135,5 cm : Argile bleu, à consistance moyenne.

135,5 – 137 cm : Induration.

137 – 200,5 cm : Argile bleu, à consistance moyenne.

200,5 – 203 cm : Induration.

203 – 295 cm : Vase cimenté, de couleur blanche.

Interprétation :

Au Sud, à proximité de la rivière Ilempona, en traversant la voie ferrée en direction d'Ambohivary Sambaina, cette coupe montre une particularité, vue que c'est le niveau de la haute terrasse et en regardant de haut jusqu'au niveau des rails, les travaux ont dévoilé des dépôts laminés s'apparentant à des dépôts lacustres. En dessous, on aura probablement des dépôts fluviaux de l'Ilempona et de l'Onive, ainsi, l'instauration d'un lac aurait atteint ce niveau à une certaine période.

IV.1. Les séquences fluviales types.

L'Onive et l'Ilempona sont les agents de transport. Ils déposent des dépôts néanmoins aux endroits où la vitesse diminue, c'est-à-dire le long de leur cours et finalement à leur embouchure où peuvent s'ajouter des phénomènes de floculation des argiles et de précipitation de corps en solution.

De nature et de formes variées, les matériaux qui alimentent le bassin d'Antanifotsy dans l'ensemble des lits anciens et actuels sont composés presque exclusivement de quartz, ou bien encore de quartz mêlé à des concrétions ferrugineuses.

IV.1.1. La succession lithologique en rapport avec la dynamique fluviale.

Les formes d'accumulation dépendent des caractères du réseau fluvial qui sont l'indice de sinuosité et le nombre de chenaux. L'indice de sinuosité est exprimé par le rapport de la distance entre deux points parcourue au fond du chenal sur celle parcourue en ligne droite.

Un chenal rectiligne a un coefficient de sinuosité égal à 1 (J. BEAUCHAMP, 2010). Quatre grands types de réseaux sont distingués:

	Un chenal	Plusieurs Chenaux
Indice de sinuosité faible (<1.5)	Droite	En tresse
Indice de sinuosité fort (>1.5)	Méandrique	Anastomose

Tableau 2. Types de réseaux fluviaux.

J. BEAUCHAMP, 2010

Dans les coupes levées, la mise en place des dépôts suit une suite logique caractéristique de la sédimentation fluviale. Elle se définit toujours par le nombre de crues qui se succèdent au cours de la formation de la plaine toute entière. Les synthèses des travaux de terrain décrivent un recouvrement allochtone des versants (alluvions), les autres montrant au contraire une évolution sur place (altérites).

Le type de réseau dépend essentiellement de la pente, de la charge transportée, de la stabilité des rives (rôle stabilisant de la végétation) (Figure 17).

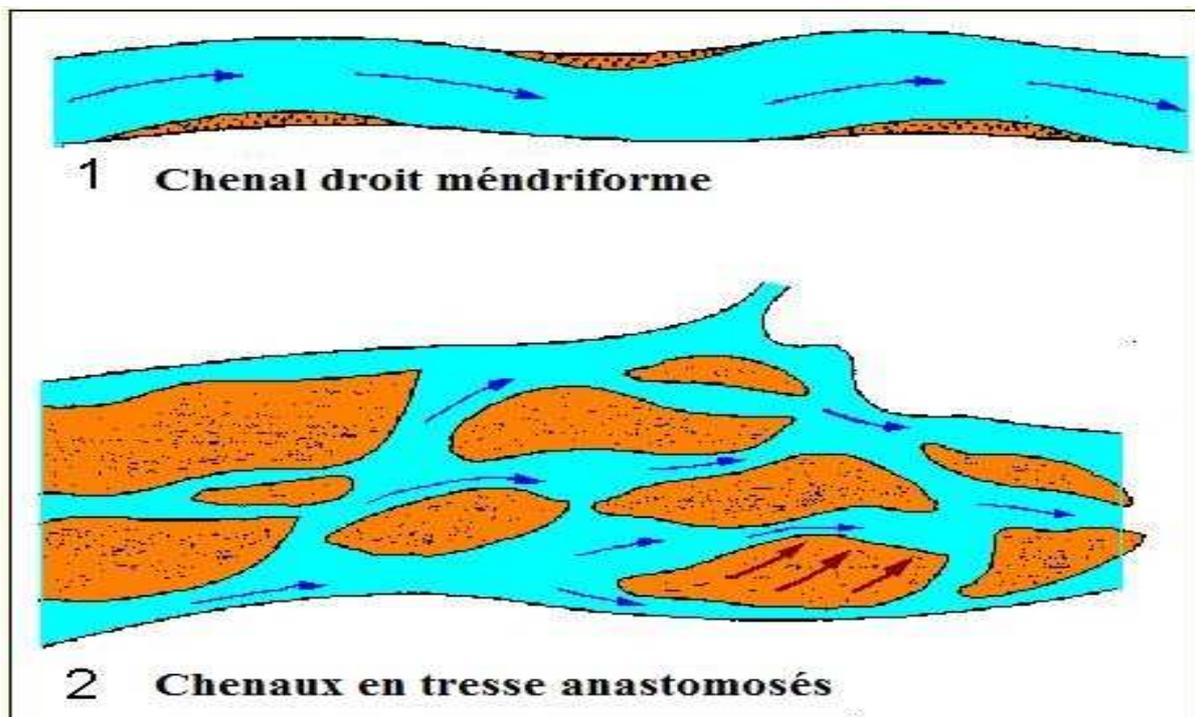


Figure 17. Les principaux types de barres fluviales; (1) chenal droit; (2) chenaux en tresse.

Arrangement de J. BEAUCHAMP, 2010

Une même rivière change de type de sa source à son embouchure. Le réseau est généralement en tresse en amont et à méandres en aval. Les réseaux droits sont rares. Les réseaux anastomosés sont observés dans les zones de subsidence de climat humide. Les réseaux en tresse et méandriques sont les plus fréquents.

Une rivière dépose dans son ou ses chenaux formant son lit mineur des amas de galets et sables appelés « barres » (Figure 18). Lors des crues, elle envahit sa plaine d'inondation et y dépose des matériaux généralement plus fins, les limons, contenant une forte proportion d'argile.



Figure 18. Dépôts de galets et de sable au niveau des points barres de l’Onive.

Cliché du 23 Juillet 2015 plus arrangement de l’auteur

IV.1.2. Sédimentation au niveau des chenaux en tresse.

Elle se fait sous forme de barres longitudinales qui séparent les chenaux. Ces barres deviennent obliques (transversales) dans les courbes; elles sont mobiles et s'accroissent dans le sens du courant (accrétion longitudinale), leur forme dépend de la charge et du débit (Cf. Figure 19). Elles sont constituées de galets imbriqués qui tombent en avalanche en aval, de

graviers, de sable à litage entrecroisé. Elles sont souvent ravinées par le déplacement des chenaux.



Figure 19. Une barre qui sépare deux chenaux.

Image Google Earth et arrangement de l'auteur

Les rivières en tresse sont rapides et on les trouve dans les régions de montagne comme l'Onive qui est à proximité de l'Ankaratra. La coupe 1 se situe près de la partie tressée en descendant vers l'aval (Figure 20). Le sable correspond aux barres longitudinales, les galets sont des remplissages de chenaux qui érodent les barres sous-jacentes.

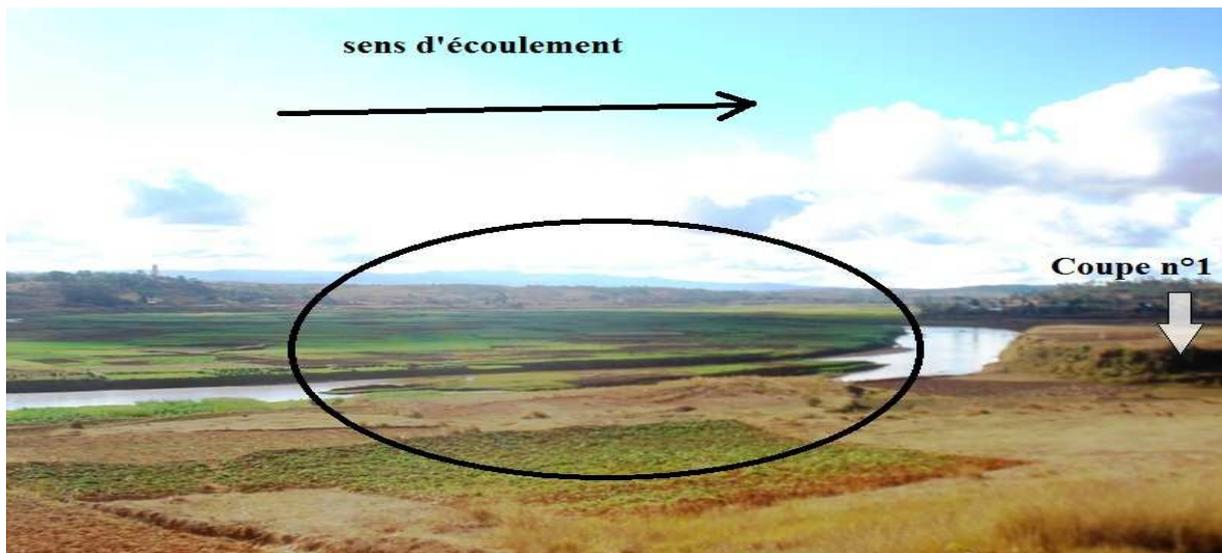


Figure 20. Barre vue de près dans le lit mineur de l'Onive.

Cliché du 21 Juillet 2015 plus arrangement de l'auteur

IV.1.3. Sédimentation des chenaux à méandres.

La sinuosité est beaucoup plus fréquente dans le bassin d'Antanifotsy (Cf. Figure 21). La sédimentation se fait sur la rive convexe sous forme d'une barre de méandre. La barre s'accroît latéralement en même temps que la migration du méandre (accrétion latérale). Elle est constituée de sable disposé en litage oblique de grande taille (litage epsilon). Le fond du chenal est pavé de galets (Cf. Figure 22).

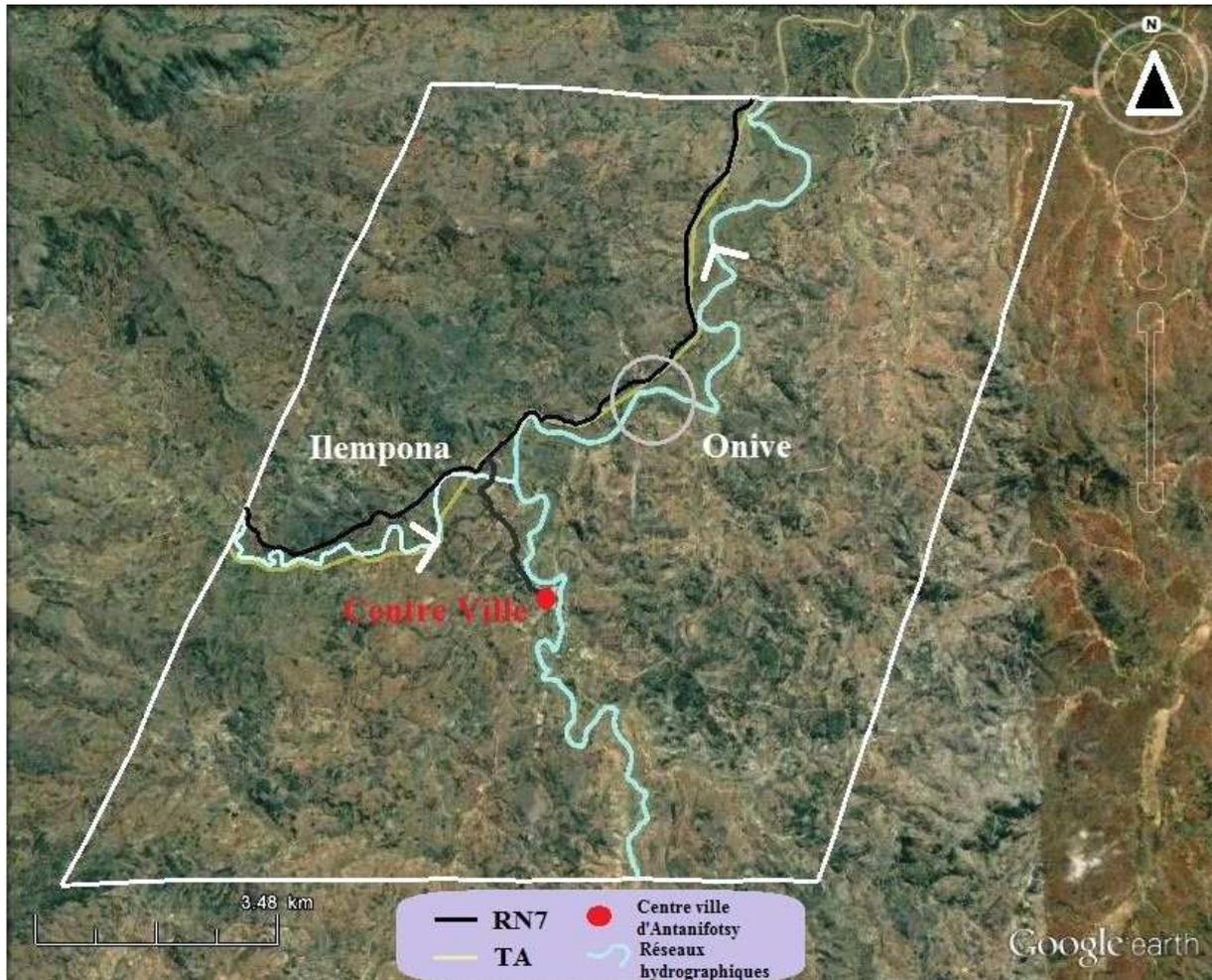


Figure 21. Présentation des réseaux à méandre dans le bassin d'Antanifotsy.

Image Google Earth et arrangement de l'auteur

Le chenal est bordé par des levées qui le séparent de la plaine d'inondation couverte de dépôts fins. Si une levée est crevée pendant une crue, des sables se répandent dans la plaine d'inondation sous forme d'un microdelta de crevasse. A partir de la coupe 8, les séquences de rivières à méandre sont positives : elles débutent par un pavage de galets et se terminent par des limons de plaine d'inondation montrant des traces de sols et de végétation.



Figure 22. Une barre de méandre pavé de galets.

Cliché du 23 Juillet 2015 plus arrangement de l'auteur

IV.1.4. Sédimentation au niveau des chenaux anastomosés.

Les chenaux anastomosés divaguent peu dans la plaine alluviale qui est fréquemment inondée et est couverte de marécages ; la végétation est abondante. La vitesse de l'eau est faible, les sédiments sont fins et riches en matière organique (Cf. Figure 23). Les remplissages de chenaux se distinguent par des galets et des graviers formant des corps à accrétion verticale (rôle de la subsidence).

Dans le bassin d'Antanifotsy, l'Ilempona présente près de son embouchure des bras morts. A 6 km du centre ville, en descendant en aval, en direction d'Ampitatafika, des chenaux récemment abandonnés sont fréquents (Cf. Figure 24). Les berges sont stabilisées par la végétation et les chenaux se déplacent peu en déposant des graviers en barres à aggradation verticale. La plaine d'inondation est très humide et les chenaux déposent des limons, des lamines, ou même des vases et de la tourbe.

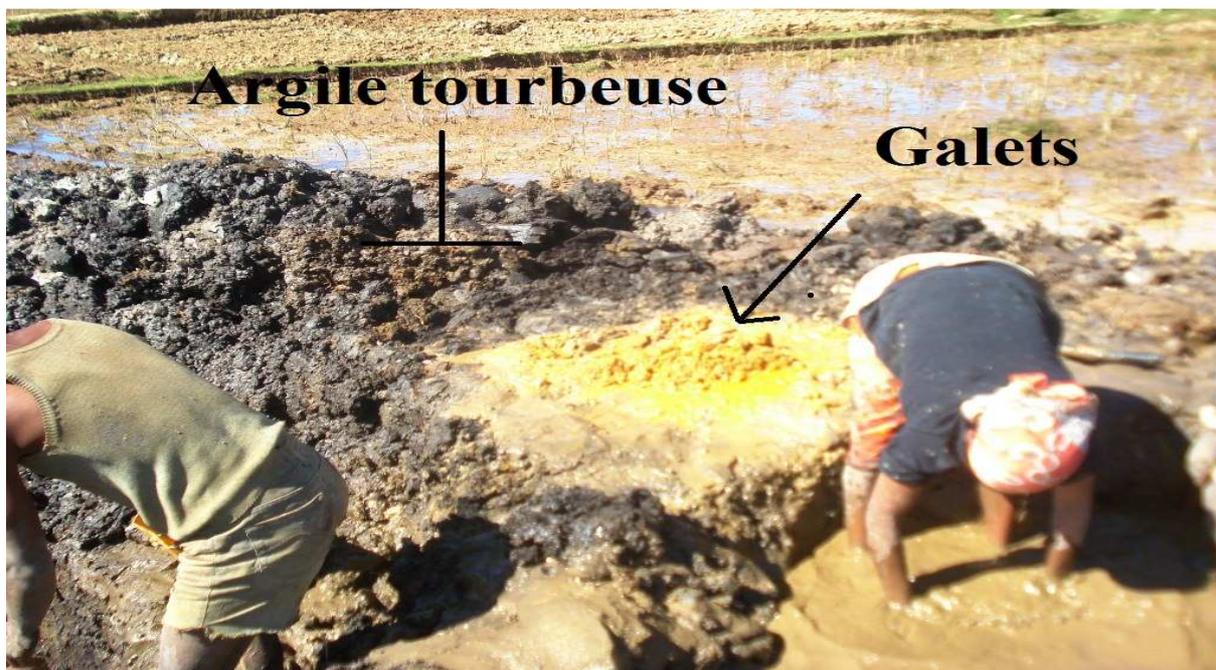


Figure 23. Ancien lit exploité par des orpailleurs.

Cliché le 22 Juillet 2015 et arrangement de l'auteur



Figure 24. A : Bras morts. B : chenaux récemment abandonnés.

Image Google Earth et arrangement de l'auteur

CHAPITRE V. INTERPRÉTATION MORPHOLOGIQUE.

Les travaux sur terrain restent absolument indispensables afin de vérifier les éléments qui résultent de l'interprétation des images satellites et figures.

V.1. Les terrasses T1, T2 et T3.

Dans le secteur étudié, on a trois niveaux de terrasses, toutes d'origine fluviale. Les terrasses T1, T2 et T3 mises en évidence dans ce mémoire, sont situées dans les couloirs de l'Ilempona et l'Onive (Figure 25).

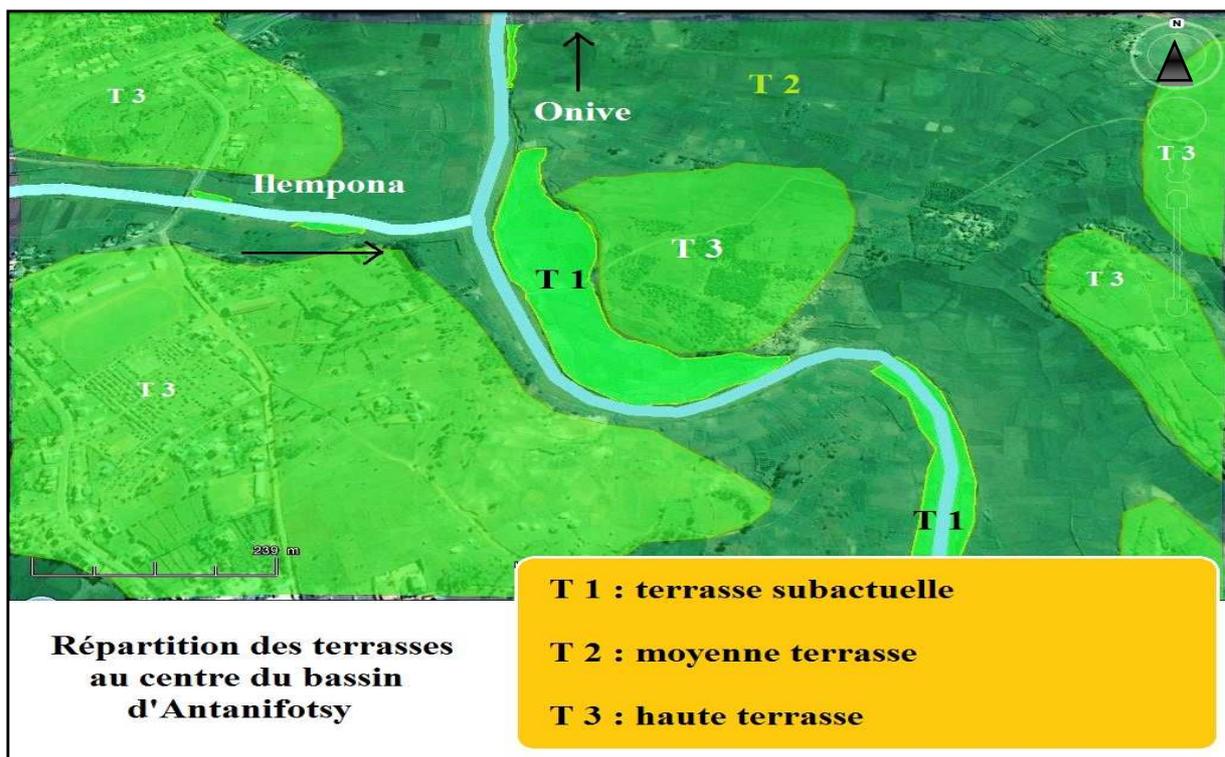


Figure 25. Répartition des terrasses dans le bassin d'Antanifotsy.

Google Earth et arrangement de l'auteur

Les observations sur terrain démontrent que, dans le bassin d'Antanifotsy, les terrasses sont réparties de façon continue et disposées symétriquement. Elles sont aujourd'hui fortement fragmentées. On a identifié trois niveaux de terrasses : **la première terrasse** (ou terrasse subactuelle T1), qui est en cours de formation et qui est le résultat d'accumulation des dépôts fluviaux actuels, est visible le long de la rivière, **la seconde terrasse** (ou terrasse intermédiaire T2) qui est inondable, et un niveau plus élevé et sec **la troisième terrasse** (ou haute terrasse : T3).

V.1.1. Deux exemples de coupe transversale dans la plaine.

Le bassin d'Antanifotsy est formé de trois niveaux de terrasses, dont le niveau supérieur est peu développé avec une altitude relative de 9 à 10 m. Elles se sont formées par le dynamisme de l'Onive et les variations de niveau de crue dans le bassin.

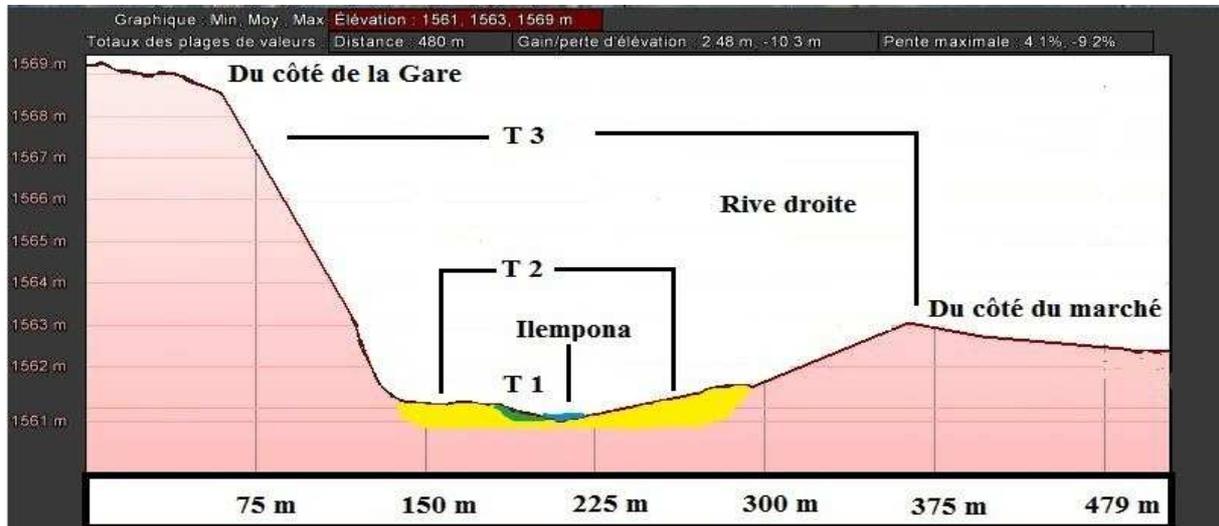


Figure 26. Section transversale schématique de la partie inférieure de l'Ilempona.

Profil d'élévation Google Earth plus Arrangement de l'auteur

Pour l'Ilempona (Cf. Figure 26), chaque niveau de terrasse est bien différencié. Du côté de la Gare (rive gauche) vers le marché (rive droite), sur 479 m, on a une platitude bien visible à petite échelle. La haute terrasse est asymétrique avec une altitude de 1569 m pour la rive gauche et 1563 m pour la rive droite.

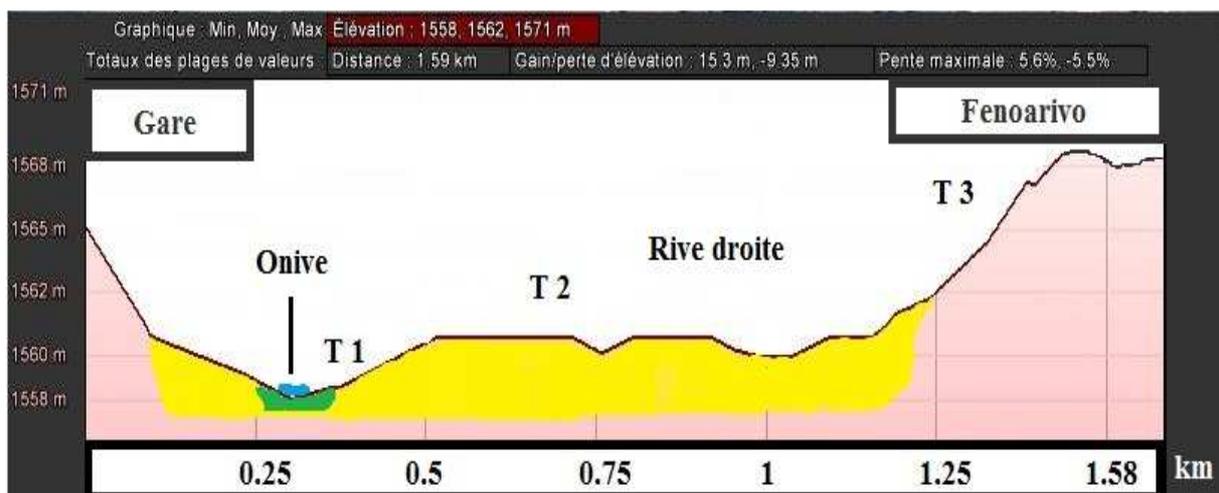


Figure 27. Section transversale schématique de l'Onive.

Profil d'élévation Google Earth plus arrangement de l'auteur

Pour l'Onive, en partant toujours de la Gare vers Fenoarivo, soit une distance de 1.58 km, la rivière s'est très largement encaissée dans les terrasses supérieure et intermédiaire (Cf. Figure 27). On distingue mal la terrasse actuelle. Les irrégularités de platitude de la terrasse intermédiaire sont toujours causées par d'anciens tracés de lits de la rivière et les chenaux abandonnés. Les terrasses supérieures sont peu conservées et asymétriques.

V.1.2. Démonstration de l'emboîtement des terrasses.

Du côté de la coupe 10, en rive gauche et vers l'aval, les terrasses ont été tranchées et le fond du lit de la rivière coule sur des pavés de galets. La terrasse supérieure devient une terrasse suspendue. Par contre, en rive opposée, les niveaux inférieurs T1 et intermédiaire T2 apparaissent et pas de trace du T3 (Figure 28).



Figure 28. Disposition des terrasses emboîtées.

Cliché du 22 Juillet 2015 plus arrangement de l'auteur

V.2. Les phases d'érosion.

Les terrasses fluviales du bassin d'Antanifotsy se disposent en plans emboîtés, plus ou moins asymétriques, de chaque côté des rives. Elles représentent les positions successives des lits fluviaux qui jalonnent les étapes de l'enfoncement du réseau hydrographique, durant le Quaternaire.

V.2.1. Phase 1 : la haute terrasse T 3.

Dans le bassin d'Antanifotsy, vu la largeur du lit majeur de l'Onive, la terrasse est mal développée. Elle est constituée majoritairement au sommet d'un ensemble de sable limoneux et de limons argileux et quelque fois des graviers, et à la base on a des énormes galets de 21 cm de diamètre et biens émoussés.

V.2.2. Phase 2 : la terrasse moyenne T 2.

C'est la plus large et la plus dominante. Elle représente en grande partie les chenaux abandonnés et les anciens et récents bras morts. Elle est conglomératique à la base et sablo-limoneuse à limono-argileuse au sommet. C'est le niveau où les argiles tourbeuses sont plus fréquentes.

V.2.3. Phase 3 : la terrasse actuelle T 1.

Après une nouvelle phase d'incision et d'érosion qui a déterminé la terrasse intermédiaire T2, la phase actuelle d'alluvionnement construit cette basse terrasse. Elle est représentée dans toutes les vallées et elle est peu développée par rapport aux vallées qui ont donné naissance aux terrasses T3 et T2. Elle est formée, elle aussi, de sédiments plus grossiers à la base et de sédiments limono-argileux au sommet.

V.3. Les éléments de dynamique fluviale.

Les travaux sur terrain restent absolument indispensables afin de vérifier les éléments qui résultent de l'interprétation des images de Google Earth traitées à la place des photos aériennes.

V.3.1. Les changements fréquents de lits

Sur la figure 29, « les changements de lits sont causés par la formation des méandres qui ont tendance à se déplacer vers l'extérieur et vers l'aval du cours d'eau par érosion sur la rive concave aux versants raides (où la vitesse du courant est la plus forte) et dépôt sur la rive convexe basse à pente faible (où la vitesse est la plus faible). Cette dissymétrie résulte de la

dynamique fluviale, l'action de l'eau n'étant pas identique sur chaque rive. Sur la rive convexe en revanche, aux eaux plus calmes, la faiblesse du courant favorise l'alluvionnement et la construction d'une grève doucement inclinée ». (M. ANDRIAMPARANY, 2014)



Figure 29. Accumulation sur la rive convexe et recouplement de méandre.

Image Google Earth et arrangement de l'auteur

V.3.2. L'instauration d'un Lac.

La coupe 11 témoigne de l'existence d'un paléolac par la présence des « vases » qui sont des dépôts fins d'argile formés par « décantation » (Cf. Figure 30).

Le lac s'est installé près de la confluence de l'Ilempona avec l'Onive, vu que les séquences fluviales apparaissent au dessous et au dessus du niveau des vases. Les vases sont plus fréquentes dans les chenaux anastomosés, et la présence de lits anciens à l'embouchure de l'Ilempona peut être due à sa divagation très fréquemment au cours d'une période pluviale (Cf. Figure 31).

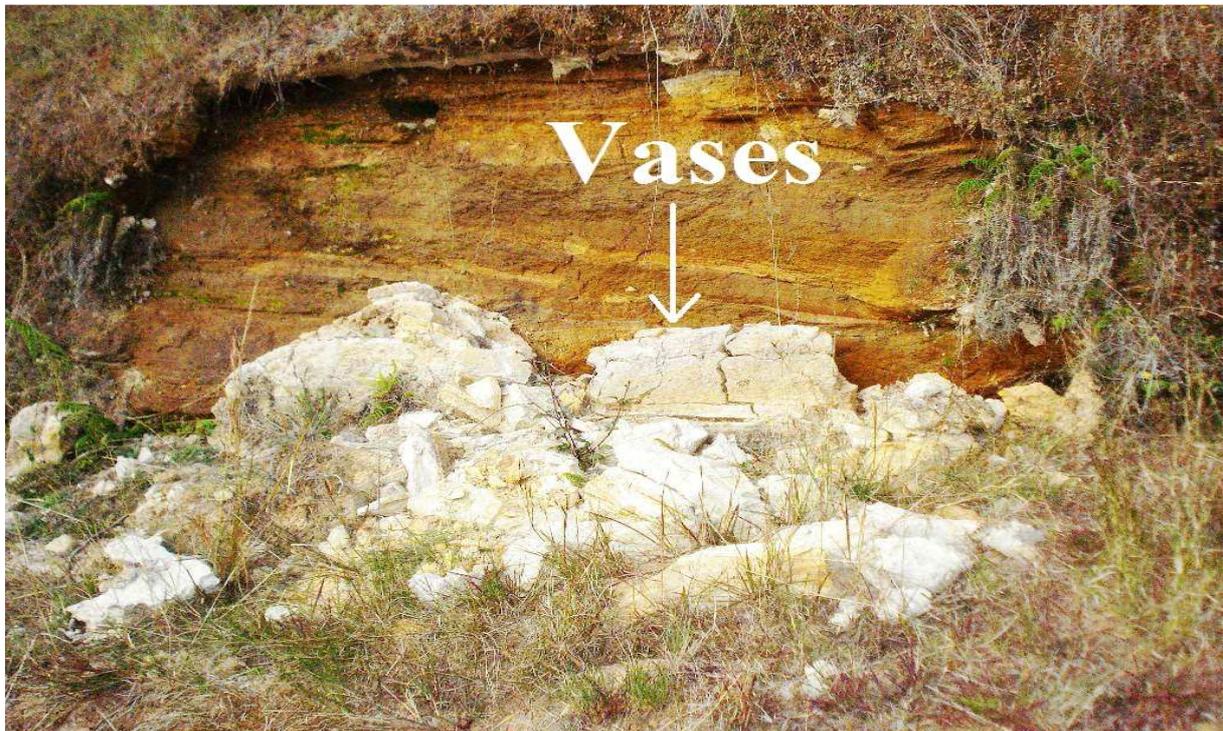


Figure 30. Les vases d'origine lacustre.

Cliché le 10 Septembre 2015 plus arrangement de l'auteur



Figure 31. Les bras morts de l'Ilempona par divagation.

Image Google Earth et arrangement de l'auteur

V.4. Les différentes étapes de formation.

Dans ce travail de recherche, trois niveaux de terrasses d'origine fluvio-volcano-lacustre ont été repérés dans le bassin d'Antanifotsy, dont le niveau supérieur avec une altitude relative de 10 m par rapport au niveau de base déterminé par l'Ilempona et l'Onive. Ils se sont formés entre le Pliocène supérieur et le Pléistocène (G. MOTTET, 1980) mais probablement avant celles de la rivière Kelilalina d'Ambohimandroso¹, car la nature lithologique des sédiments montrent que les dépôts sont composés à la base de galets et la terrasse moyenne et la haute terrasse renferment un niveau d'argile tourbeuse composé de végétaux à structure conservée.

V.4.1. Les dépôts Pliocènes.

Les terrasses représentent les positions successives des lits fluviaux qui jalonnent les étapes de l'enfoncement du réseau hydrographique, durant le Quaternaire jusqu'à l'état actuel. Pendant deux périodes pluviales successives, l'érosion a été d'autant plus importante dans la partie supérieure du bassin de l'Onive, que la vitesse, la turbulence et la charge sédimentaire sont élevées.

Pendant le passage du Pliocène supérieur au Pléistocène inférieur, on a deux périodes interglaciaires entre la chronologie Alpine de Biber et Günz qui correspondent à deux périodes pluviales dans la zone intertropicale. Cela peut expliquer que les galets grossiers qui couvrent le fond du bassin et qu'on trouve à la base des terrasses y ont été déposés durant ces périodes successives.

V.4.2. Les dépôts Pléistocènes.

Ces dépôts résultent de l'alternance de période pluviale et displuviale sans oublier l'intervention des activités tectoniques et le volcanisme de l'Ankaratra qui pourrait perturber ou faire un passage progressif d'une période à l'autre, où la période pluviale est moins courte.

A partir du *Pléistocène inférieur*, on a une période interglaciaire Günz-Mindel, jusqu'au Pléistocène moyen. La présence des galets, de taille inférieure à ce qu'on a au fond du bassin, très émoussés et parfois arrondis, permet de dire que cette période a permis **la formation des terrasses et l'instauration d'un paléolac dans la zone de confluence.**

Au cours du *Pléistocène moyen*, on a la succession de trois périodes glaciaires de Mindel, Mindel-Riss et Riss, équivalentes à une longue période d'accalmie. Les périodes de crue sont marquées par le dépôt des éléments grossiers à la base, tandis que le sommet des

terrasses fluviales à sédiments fins semblerait être mis en place au cours d'une phase plus calme.

Depuis le *Pléistocène supérieur*, l'emboîtement des terrasses se fait par, alluvionnement puis incision. A l'origine, l'épaisseur des dépôts durant les phases de remblaiement était intense et a permis l'encaissement des réseaux hydrographiques jusqu'à l'état actuel. La fragilité des unités sommitales a permis le changement fréquent de lit et l'eau emprunte alors le chemin le plus court et court-circuite le tracé plus sinueux imposé par les méandres.

L'alluvionnement fluviale et volcanique résulte d'un empilement répétitif de matériaux détritiques arrachés en amont de l'Onive et de l'Ilempona, lors de différentes phases de crue et a donné naissance à :

- la formation en cours de la basse terrasse (T1) dans le lit mineur de la rivière.
- une terrasse intermédiaire (T2), ou lit majeur souvent inondable.
- et la haute terrasse T3, perchée d'une dizaine de mètres au-dessus de T1.

Du fait que la faille de Betampona est à proximité du bassin d'Antanifotsy, l'Onive se trouve dans le bloc soulevé, par contre, pour l'Ilempona, une partie se situe dans le bloc affaissé. Cela explique que l'écoulement de l'Onive vers l'Est a débuté après la première phase de la formation du massif de l'Ankaratra alors que l'Ilempona continuait son cours vers l'Ouest. Au cours de sa formation, l'Ankaratra se développait progressivement jusqu'à son état actuel, puis il a fini par dévier l'Ilempona en formant une cluse au niveau du seuil de Betampona à l'entrée de la R.N. 7, venant d'Antanifotsy, dans la cuvette d'Ambohibary.

Les coulées de basalte de part et d'autre du tracé de la ligne de Betampona prouvent qu'ils sont postérieurs à l'Ankaratra.

La zone étudiée est le résultat de l'accumulation de dépôts fluviaux et volcaniques durant et surtout postérieurement au volcanisme de l'Ankaratra, lors des alternances de périodes pluviales intenses et d'autres plus sèches. Leurs régimes sont influencés par le climat. Les épisodes de crue ont été accompagnés de fréquents changements de lits. La faible pente de la vallée vers l'aval favorise la formation des méandres.

CONCLUSION

Le bassin d'Antanifotsy correspond à une accumulation de formations fluvio-volcaniques et lacustres, d'âge plio-quadernaire, disposées en trois générations de terrasses. L'Ilempona et l'Onive ont déterminé trois niveaux de terrasses emboîtées. La terrasse intermédiaire occupe la majeure partie du bassin. La mise en place des dépôts suit parfaitement le sens d'écoulement des cours d'eau. Les données lithostratigraphiques ont été fournies par les onze coupes naturelles levées dans la zone de recherche.

Les dépôts de crue sont séparés par des indurations, créés par la précipitation des oxydes de fer contenus dans les alluvions lors des battements de la nappe phréatique.

L'histoire morphologique du bassin d'Antanifotsy est en partie le résultat de la dynamique fluviale, du volcanisme et de l'influence tectonique car des datations absolues n'ont pas encore été effectuées. Mais dans les coupes naturelles de la haute terrasse et celles de la terrasse intermédiaire, les argiles tourbeuses pourraient fournir des âges précis par analyse au ^{14}C .

L'étude des séquences de dépôts dans le secteur choisi doit permettre par la suite d'envisager leur relation avec le paléoclimat et le volcanisme de l'Ankaratra qui influence nécessairement la morphogenèse de la vallée toute entière. De même vers l'aval, l'étude de l'évolution plio-quadernaire de Mandray doit fournir des éléments pour apprécier les variations des niveaux de base hydrologiques de tous ses affluents.

A la fin, cette présente étude contribue à compléter la chronologie du Quadernaire dans les Hautes Terres Centrales de Madagascar, mais pour l'instant, il n'est pas possible d'apporter une chronologie absolue faute de moyens financiers pour des datations, mais les niveaux de tourbe sont bien présents.

BIBLIOGRAPHIE

1. **BEAUCHAMP J., 2010** - *Les dépôts continentaux*, Chapitre 5. 24p.
2. **BOURGEAT F., 1972** - *Sols sur socle ancien à Madagascar* (types de différenciation et interprétation chronologique au cours du quaternaire), Ed O.R.S.T.O.M, Paris, 337p.
3. **BOURGEAT F. et PETIT M.** - *les «stone lines» et les terrasses alluviales des hautes terres malgaches*. Maitre de recherches, Centre O.R.S.T.O.M. de Madagascar et Maitre assistant de géographie, Université de Madagascar. Pages 3-18.
4. **BOSSER J. et HERVIEU J., 1957** - *Carte d'Utilisation des Sols de la vallée de l'Onive, avec notice explicative*. Publications de l'I.R.S.M. (sous presse).
5. **CHAMLEY H., 2000** – *Base de sédimentologie*, 2ème édition, Dunod, Paris, 178 p.
6. **CAMP M. & MACAIRE J.J., 2003** – *Géologie de la surface : Erosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux*, 2ème édition, Dunod, Paris, 440 pages.
7. **CHAPERON P., DANLOUX J. et FERRY L., 2005** - *Fleuves et rivières de Madagascar*. Monographie hydrologique 10. Paris 1993.
8. **CHAVE S. et BALLAIS J. L. 2011** - *Lacs quaternaires du Sahara*. Internat. Symp. paleolimnology, Tihany, (sous presse).
9. **COLLINS A.S., FITZSIMONS I.C.W., HULSCHER B. & RAZAKAMANANA T., 2003** - Structure of the eastern margin of the East African Orogen in Central Madagascar. *Precambrian Research*, **123**(2/4), 111-133.
10. **COLLINS A.S., 2006** - *Madagascar and the amalgamation of central Gondwana*. *Gondwana Research*, **9**, 3-16.
11. **CLOZIER R., 1936** - *Les terrasses fluviales*. In: L'information géographique. Volume 1 n°1, http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ingeo_0020-0093n°114642. Pages 13-16.
12. **DERRUAU M., 1960** – *Précis de géomorphologie*, Édition Masson et Cie, 120 Boulevard Saint- Germain, Paris-VIe, 413p.

13. **DEVLEESCHOUWER X., 2008 – 2009** – *Cours de sédimentologie, notion de stratigraphie et terminologie des couches* (Géol-F-204), Université Libre de Bruxelles, 27p.
14. **DUBAR M., 1987** – *Âges et signification des Hautes Terrasses des grandes vallées Alpines : Le cas de la Durance*. Géologie Alpine. Mémoire h. s. n°13. Pages 451-455.
15. **GASSE F. & VAN CAMPO E., 1998** - *A 40,000-yr Pollen and Diatom Record from Lake Tritrivakely, Madagascar, in the Southern Tropics*. Quaternary Research, **49** (3), 299-311.
16. **GASSE F. & VAN CAMPO E., 2001** – *Late quaternary environmental changes from a pollen and diatom record in the southern tropics (Lake Tritrivakely, Madagascar)*. Palaeogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, **167** (3/4), 287-308.
17. **GERARD H., 1979** – *Les faciès d'altération des terrasses alluviales de la moyenne vallée du DUERNA (Prov. de Léon) : un exemple de l'évolution des nappes alluviales siliceuses du Nord-Ouest de la Vieille Castille*. ACTA GEOLOGICA HISPANICA. Homenage a Lluís Solé I Sabaris. Pages 466-473.
18. **GIGNOUX M. 1960** - *Géologie stratigraphique*, Édition Masson et Cie, 120 Boulevard Saint-Germain, Paris-VIe, 413p.
19. **GUIGUES J., 1952** - *Études Géologiques des feuilles Antsirabe-Ambatolampy*. Travaux du Bureau Géologique de Madagascar. Tananarive.
20. **GUILLAUMET J.L., BETSCH J.M. & CALLMANDER M.W., 2008** - *Renaud Paulian et le programme du CNRS sur les hautes montagnes à Madagascar : étage vs domaine*. *Zoosystema*30 (3): Pages 723-748.
21. **HADLEY R.F., 1967** - *Pediments and pediment forming processes*. Journal of Geological Education, vol. 15, p. 83-89.
22. **HERVIEU J. 1957** - *Observation pédologique dans la plaine d'Ambohimandroso*, Le Naturaliste Malgache, Tome IX, Fasc. I, 10p.
23. **BALLAISJ.L., CHAVES., DUPONTN., MASSON É. et PENVENM.J., Mars 2011** – *La méthode hydrogéomorphologique de la détermination des zones inondables*. Géographie Physique et Environnement (ISSN 1958-573X) Collection «Ouvrages».

- 24. J.P. PEULVAST et SALESV.C., 4/2005 | 2006, mis en ligne le 01 janvier 2008.** « *Surfaces d'aplanissement et géodynamique* », *Géomorphologie : relief, processus, environnement* [En ligne], URL : <http://www.geomorphologie.revues.org/605> ; DOI : 10.4000/géomorphologie. 605, p. 249-274.
- 25. LAGEAT Y. et PEYROT B., 1972** – *La plaine d'Ambohibary Sambaina et ses bordures.* Contribution à l'étude de la tectonique Plio-quadernaire des Hautes Terres Centrales de Madagascar. Pages 158-178.
- 26. LAPAIRE J. P., 1973** - *La cuvette de Belobaka, une unité régionale du moyen-ouest aux marges du Bongolava* Laboratoire de géographie de l'université de Madagascar et ERA 344 du C.N.R.S. (France) 59p.
- 27. LEMOINE K. et CHAMLEY H., 1987** - *La dynamique fluviale, à l'origine de la biodiversité et du bon état écologique.* CSPNB (2008), 64p.
- 28. LENOBLE A., 1938** - Sur la chronologie des éruptions volcaniques du massif de l'Ankaratra. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, **206**, pages 613-615.
- 29. LENOBLE A., MANGUIN E. & BOUREAU E., 1949** - Les dépôts lacustres pliocènes pléistocènes de l'Ankaratra (Madagascar). *Annales Géologiques du Service des Mines*, **18**, pages 1-137.
- 30. MALAVOI J. R. et BRAVARD J. P., 2010.** - «*Eléments d'hydromorphologie fluviale* », Onema : 224p.
- 31. MARTIN C., 2010** – *Détermination de la sensibilité potentielle des roches cristallophylliennes à l'altération chimique à partir de leur composition chimique.* Études de Géographie Physique n°XXXVII. Pages 3-11.
- 32. MARTIN F., MARTIN C., LAVABRE J. et FOLTON N., 2004** - *Fonctionnement hydrologique des bassin-versant de roches métamorphiques: exemple du bassin-versant des Maurets (Massif des Maures, Var, France)* Études de Géographie Physique, n° XXXI, Pages 39-69.
- 33. MINISTÈRE DE LA GÉOLOGIE ET DES MINES, 2005** – *Carte numérisée Antsirabe-Antanifotsy.* Service géologique, Antananarivo.

34. **MOTTET G., 1980** - *L'Ankaratra et ses bordures (Madagascar). Recherches de géomorphologie volcanique. Tome 1 : Le massif de l'Ankaratra. Tome 2 : Les bordures et le volcanisme quaternaire.* C.R.D.P., Lyon, 431 & 299 p.
35. **PALLAS A., Janvier-Juin 1983** – *Modèles, structure et lithologie en zones intertropicales, exemples du bassin-versant du Fiherenana.* Madagascar Revue Géographique n°42. Pages 24-38.
36. **PECH P., 1999** -*Géomorphologie structurale*, Armand Colin, Col. Synthèse Géographie, 94 pages.
37. **PETIT M. et BOURGEAT F. 1991** - *Études morphologique du bassin versant de la Tafaina* (centre de Madagascar), O.R.S.T.O.M./Tananarive.
38. **PETIT M. et BOURGEAT F., 1969** -*Contribution à l'étude des surfaces d'aplanissements sur les hautes terres centrales Malgache*, Annales de géographie n° 426, pp 158-188.
39. **PIERRE G., 1974** - *Dictionnaire de la géographie*, Paris, PUF.
40. **RAZAFIMAHEFA R., 2010** - *Les formations superficielles du bassin d'Antsirabe (Hautes Terres centrales de Madagascar). Nature et dynamique hydrogéomorphologique.* Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo, Antananarivo, 195 p.
41. **RAZAFIMAHEFA R., NICOUD G., MIETTONM. & PAILLET A., 2012** – *Réinterprétation des formations superficielles Pléistocènes du bassin d'Antsirabe. (Hautes Terres Centrales de Madagascar).* Quaternaire, **23**, (4), p. 339-353.
42. **RIQUIER J.** – *Définition et classification des sols ferrallitiques de Madagascar.* Directeur de recherches de l'O.R. S. T. O. M., F.A.O. (Rome). Pages 75-88.
43. **RIQUIER J., 1951** -*Essai de classification des sols latéritiques de Madagascar selon la topographie.* Mémoire Institut Scientifique. Madagascar, D, III.
44. **ROSSI G., 1984** - *Crises morphogéniques et paléoclimats : l'exemple du versant ouest malgache* In: Annales de Géographie. N°519. pp. 537-546.

45. **SAFFACHE P., 2004** – *Travaux pratiques de géologie pour géographes*. IBIS ROUGE éditions. <http://www.ibisrouge.fr>. 61 p.
46. **SALOMON J.N., 2007** -*Cône d'éboulis, de déjection, glacis et piémonts : essai de définitions*, Laboratoire de géographie physique appliquée (L.G.P.A), Institut de géographie, Université Michel de Montagne-Bordeaux 3, étude de géographie physique, N° XXXIV, p53-67.
47. **TRICART J. et CAILLEUX A., 1957** - *Cours de géomorphologie*. Introduction à la géomorphologie climatique. Revue de géographie alpine, Année, Volume 45, Numéro 1p. 200 – 202.
48. **VALADAS B., 2005** -*Géomorphologie dynamique*, Armand Colin, Col. Campus Géographie, 192 pages.
49. **VIERS G., 1967** – *Éléments de géomorphologie*. Edition Fernand Nathan, 18 rue Monsieur-le-prince-Paris VIe, 204 p.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	I
RESUME.....	II
SOMMAIRE	III
TABLE DES ILLUSTRATIONS	IV
GLOSSAIRE.....	VI
ACRONYMES.....	VII
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : CONCEPTS ET DEMARCHE DE RECHERCHE.....	3
CHAPITRE I. LES CONCEPTS EN HYDROGEOMORPHOLOGIE.....	4
<i>I.1. Les formations superficielles.</i>	4
I.1.1. Position dans le temps et dans l'espace.	4
I.1.2. Phénomène d'érosion et de dépôts.....	5
I.1.3. Relation des formations superficielles avec la dynamique fluviale.....	6
I.1.4. Nature lithologique et stratification.	8
I.1.5. Épaisseur et extension des formations superficielles.....	8
I.1.6. Rapport avec la morphologie.	9
<i>I.2. Les séquences possibles rencontrées sur terrain.</i>	10
I.2.1. Les terrasses fluviales.	12
I.2.2. La tourbe.	13
CHAPITRE II. DEMARCHE DE RECHERCHE.....	14
<i>II.1. Collecte de données nécessaires.</i>	14
II.1.1. Renseignements sur la zone de recherche.	14
II.1.2. Utilisation des outils préliminaires.....	14
<i>II.2. Les travaux de terrain</i>	14
II.2.1. Recherches de coupes naturelles.	15
II.2.2. Techniques de description de coupe.....	15
<i>II.3. Analyse des données et rédaction.</i>	16
DEUXIEME PARTIE : PRESENTATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DE LA ZONE DE RECHERCHE.....	17
CHAPITRE III. CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE DE RECHERCHE.....	18
<i>III.1. Localisation géographique et caractéristiques.</i>	18
III.1.1. Présentation de la zone de recherche.....	19
III.1.2. Caractéristiques climatiques.....	20
<i>III.2. Cadre géologique du secteur étudié.</i>	21
III.2.1. Les formations superficielles.	21
III.2.2. Sur le plan géomorphologique.	23
TROISIEME PARTIE : PREMIERS RESULTATS ET INTERPRETATION.....	24
CHAPITRE IV. DESCRIPTION DES COUPES LITHOSTRATIGRAPHIQUES LEVEES.....	25
Coupe 1	26
Coupe 2	27

Coupe 6	28
Coupe 8	29
Coupe 11	30
<i>IV.1. Les séquences fluviales types.</i>	31
IV.1.1. La succession lithologique en rapport avec la dynamique fluviale.	31
IV.1.2. Sédimentation au niveau des chenaux en tresse.....	33
IV.1.3. Sédimentation des chenaux à méandres.....	35
IV.1.4. Sédimentation au niveau des chenaux anastomosés.....	36
CHAPITRE V. INTERPRÉTATION MORPHOLOGIQUE.....	38
<i>V.1. Les terrasses T1, T2 et T3.</i>	38
V.1.1. Deux exemples de coupe transversale dans la plaine.....	39
V.1.2. Démonstration de l'emboîtement des terrasses.	40
<i>V.2. Les phases d'érosion.</i>	41
V.2.1. Phase 1 : la haute terrasse T 3.	41
V.2.2. Phase 2 : la terrasse moyenne T 2.	41
V.2.3. Phase 3 : la terrasse actuelle T 1.....	41
<i>V.3. Les éléments de dynamique fluviale.</i>	41
V.3.1. Les changements fréquents de lits.....	41
V.3.2. L'instauration d'un Lac.	42
<i>V.4. Les différentes étapes de formation.</i>	44
V.4.1. Les dépôts Pliocènes.	44
V.4.2. Les dépôts Pléistocènes.	44
CONCLUSION.....	46
BIBLIOGRAPHIE	47
TABLE DES MATIERES	52
ANNEXES	54

ANNEXES

