

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ABREVIATIONS	iv
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES ANNEXES	ix
INTRODUCTION	1
PARTIE I:	2
PHASE D'ETUDES GENERALES	2
Chapitre I : Présentation du projet	3
Chapitre II : Présentation de la zone du projet	8
Chapitre III : Délimitation de la bande d'étude.....	14
Chapitre IV: Démographie de la Région	25
PARTIE II :.....	32
ETUDE ET ANALYSE TECHNIQUE DE LA CONCEPTION ROUTIERE	32
Chapitre V : Etude topographique en vue du tracé d'un projet de route	33
Chapitre VI : Analyse de la Conception des infrastructures routières.....	52
Chapitre VII : Conception du projet sur le logiciel AutoPISTE	69
Chapitre VIII : Généralités sur 3D et calcul des cubatures	75

Chapitre IX : Cubature des terrassements	81
PARTIE III :.....	84
ANALYSE FINANCIERE ET ETUDE ENVIRONNEMENTALE.....	84
Chapitre X : Estimation du coût du projet.....	85
Chapitre XI : Etude de la rentabilité du projet	110
Chapitre XII : Impacts socio-économiques.....	118
Chapitre XIII : Impacts environnementaux du projet.....	124
CONCLUSION	128
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	A
REFERENCE WEBOGRAPHIQUE	B
ANNEXES.....	C
ANNEXE N° 1 : PROFIL EN TRAVERS CAS DEBLAI.....	D
ANNEXE N° 2 : PROFIL EN TRAVERS CAS REMBLAI.....	E
ANNEXE N° 3 : PROFIL EN TRAVERS MIXTE	F
ANNEXE N°4 : TABLEAU CUBATURES DEBLAI REMBLAI	G
TABLE DES MATIERES	H

LISTE DES ABREVIATIONS

°C : Degré Celsius

°E : Degré Est

°S : Degré Sud

% : Pourcentage

APD : Avant-Projet Détaillé

APS : Avant-Projet Sommaire

Ar : Ariary

ARM : Autorité Routière de Madagascar

ARP : Aménagement des Routes Principales

BB : Béton Bitumineux

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulier

CU : Charge Utile

da : distance d'arrêt

DQE : Détails Quantitatifs et Estimatifs

EC : Entretien Courant

Emq : Erreur Moyenne Quadratique

EP : Entretien Périodique

GPS: Global Positionning System

IBM: International Business Machines

INSTAT : Institut National de Statistique

MNT : Modèle Numérique du Terrain

MST : Maladie Sexuellement Transmissible

MTPM : Ministère des Travaux Publics et de la Météorologie

NGM : Nivellement Général de Madagascar

NTIC : Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

OPM : Optimum Proctor Modifié

PCD : Plan Communal de Développement

PGE : Plan de Gestion Environnementale

PK : Point Kilométrique

PNT : Programme National de Transports

PRD : Plan Régional de Développement

RN5 : Route Nationale N°5

RNGM : Repères Nivellement Général de Madagascar

RNS5 : Route Nationale Secondaire N°5

SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

T_A : Tolérance altimétrique

TRI : Taux de Rentabilité Interne

TTC : Toutes Taxes Comprises

VAN : Valeur Actualisée Nette

VB : Visual Basic

ZIP : Zone d'Influence du Projet

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Districts de la Région Analanjirofo	18
Tableau 2 : Evolution de la population de la zone d'influence	26
Tableau 3 : Croissance démographique de la zone d'influence [hab.]	26
Tableau 4 : Croissance démographique de la zone d'influence.....	27
Tableau 5 : L'évolution de la population dans les districts intéressés par la route [hab].	28
Tableau 6 : L'évolution de la population dans les districts intéressés par la route [hab]. (Suite)	29
Tableau 7 : Population Mananara	29
Tableau 8 : Population Soanierana Ivongo	30
Tableau 9 : Valeur du rayon en fonction de la distance d'arrêt [m]	58
Tableau 10 : Les conditions à respecter pour une sortie	59
Tableau 11 : Longueur de la clohoïde	60
Tableau 12 : Parametres Fondamentaux	62
Tableau 13 : Les différentes catégories des routes.....	63
Tableau 14 : Réseau routier adapté au trafic à l'horizon 2020.....	64
Tableau 15 : Syntaxe de programmation de la cubature de terrassement	82
Tableau 16 : Valeurs minimales et maximales de chaque coefficient	94
Tableau 17 : valeurs des coefficients	95
Tableau 18 : Coût de la production de 10 bornes	96
Tableau 19 : Coût des mains-d'œuvre directes	96
Tableau 20 : Coût de location des matériels de production	97
Tableau 21 : Coût des charges indirectes.....	97
Tableau 22 : Coût de traitement	98
Tableau 23 : Sous Détails de Prix des travaux topographiques	98
Tableau 24 : Détails Quantitatif et Estimatif.....	99
Tableau 25 : Récapitulation des Détails Quantitatifs et Estimatifs.....	101
Tableau 26 : Coûts d'Entretien Courant.....	103
Tableau 27 : Coûts d'Entretien Périodique	103
Tableau 28 : Constituants des coûts d'exploitation	104
Tableau 29 : Les assurances	105
Tableau 30 : Les vignettes	105
Tableau 31 : Les taxes professionnelles	105
Tableau 32 : Les assurances	106
Tableau 33 : Les prix de réparation des véhicules	106
Tableau 34 : Les différents coûts proportionnels pour une route dégradée	106
Tableau 35 : Les différents coûts proportionnels pour une route aménagée	107
Tableau 36 : Résultats des coûts proportionnels pour une route dégradée	107
Tableau 37 : Résultats des coûts proportionnels pour une route aménagée	108
Tableau 38 : Les avantages par type de véhicules	109
Tableau 39 : Estimation du nombre de trafic pour chaque type de véhicule.....	112

Tableau 40 : Les avantages liés au trafic	113
Tableau 41 : Les recettes nettes	114
Tableau 42 : Somme des avantages actualisés	116
Tableau 43 : TRI	117
Tableau 44 : Produits vivriers [T].....	119
Tableau 45 : Effectif du cheptel par sous-préfecture [têtes]	120
Tableau 46 : Effectif de volailles par sous-préfecture [têtes]	120
Tableau 47 : Situation des établissements économiques en 2003 [unité]	122

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plan de localisation (source BD 500 FTM)	5
Figure 2 : Carte de localisation (source : BD 500 FTM)	9
Figure 3 : Dégradation d'ouvrage de tête (mur en aile) du dalot	12
Figure 4 : Nids-De-Poule.....	12
Figure 5 : Fissuration et Cassure de la buse et dégradation du mur en aile.....	13
Figure 6 : Fossés envahis par la végétation.....	13
Figure 7 : Zones d'influence du projet	16
Figure 8 : Croquis pour la détermination altimétrique	41
Figure 9 : Cheminement encadré	50
Figure 10 : Méthode de calcul du cheminement encadré	50
Figure 11 : Visibilité en angle saillant	56
Figure 12 : Visibilité en courbe	57
Figure 13 : Visibilité sous ouvrage.....	57
Figure 14 : Extrait du tracé en plan	66
Figure 15 : Extrait du tracé en plan	67
Figure 16 : Extrait du tracé en plan	67
Figure 17 : Fenêtre de l'axe en pour créer une droite	69
Figure 18 : Fenêtre de raccordement	70
Figure 19 : Fenêtre de tabulation profil	70
Figure 20 : Fenêtre du dessin du profil en long terrain naturel.....	71
Figure 21 : Extrait du profil en long.....	72
Figure 22 : Profil types.....	73
Figure 23 : Interpolation des profils types	73
Figure 24 : Axe en plan	74
Figure 25 : Calcul de cubature de terrassement	81
Figure 26 : Organigramme de Calcul des Volumes Partiels	83

LISTE DES ANNEXES

Annexe n° 1 : Profil en travers cas deblai **D**

Annexe n° 2 : Profil en travers cas remblai **E**

Annexe n° 3 : Profil en travers mixte **F**

Annexe n°4 : Tableau cubatures deblai remblai **G**

INTRODUCTION

Parmi les moyens qui sont indispensables à la réalisation du processus de développement économique, se situent prioritairement les voies de communication en général et la route en particulier : ce sont elles qui permettent la circulation des biens et des personnes dont l'échange est à la base de l'économie.

Jusqu'à présent, les programmes de développement visent toujours à rattraper le retard ou à progresser pour réaliser les objectifs de croissance économique et d'élévation du niveau de vie. La pensée classique est axée sur le capital physique et sur l'idée du manque de technologie et d'infrastructures qui constitue l'obstacle majeur au développement.

La société et, en particulier, les autorités dirigeantes sont plus que jamais convaincues de l'enjeu capital que représente la route, dans le cadre de développement économique régional et national, ainsi que sur l'administration territoriale de la sécurité. Ainsi, le renforcement des infrastructures routières figure parmi les actions prioritaires dans les programmes de redressement économique d'une région.

Chaque Région de Madagascar possède ses potentialités dans différents domaines mais l'exploitation est bloquée par l'insuffisance de réseau de communication et de transport. Dans beaucoup de Régions productives, comme c'est le cas à Analanjirofo, il existe des anciennes routes et des ouvrages d'art qui se trouvent dans l'incapacité de garantir le confort, la sécurité et la sûreté de fonctionnement au cours de leur exploitation.

Ainsi, ce mémoire s'articulera en trois parties :

Phase d'étude Générale : cette partie est consacrée à la présentation du projet et de la zone d'étude

Etude et analyse technique de la conception routière : elle concerne l'analyse de la conception routière

Analyse financière et impact environnemental

PARTIE I:
PHASE D'ETUDES GENERALES

Chapitre I : Présentation du projet

Le projet routier constitue l'une des principales activités dans le domaine du Génie Civil. Il combine différentes disciplines dont la topographie qui est primordiale durant l'élaboration, l'exécution et le contrôle du projet. La réhabilitation de la RNS5 nécessite des études approfondies en matière de topométrie routière.

I.1. Description générale

La RN5 est l'une des composantes importantes du réseau des routes nationales secondaires. Elle compte parmi les voies de désenclavement de la Région d'Analajirofo. Le développement de cette région passe obligatoirement par l'existence d'une liaison routière en bon état qui assure et facilite les échanges entre Soanierana Ivongo et Mananara Nord.

La RN5 relie entre elles les régions Analajirofo et Sava, constituant ainsi un itinéraire qui dessert les différentes localités enclavées mais à fortes potentialités agricoles, d'élevages et commerciales. La RN5, d'une longueur totale de 116Km+828.66 selon l'étude Topographique. L'origine du projet débute au près du bureau du District de Soanierana Ivongo 0+000 et se termine à l'entrée de la ville de Mananara Nord, au niveau du carrefour giratoire près du bureau de District de cette localité (au 116+828.66).

I.2. Caractéristiques du projet :

Afin de relier les villes de la côte Nord- Est au premier port de Madagascar, le port de Toamasina, un seul itinéraire terrestre peut être emprunté en partant du port et en aboutissant à Maroantsetra à 285 km vers le Nord via Fénérive-Est, Soanierana Ivongo et Mananara-Nord.

Cette voie terrestre est constituée par la Route Nationale Secondaire n°5, objet de la présente étude. La deuxième voie possible suit l'itinéraire maritime à travers l'Océan Indien et la troisième voie est aérienne pour Mananara-Nord dont la piste d'atterrissage nécessite encore des travaux d'extension sur la longueur de la piste.

Dans l'ensemble, le réseau routier de la Région est en mauvais état et seulement 30% du réseau est bitumé. En matière de transport terrestre, la priorité du PRD de la Région Analajirofo est la praticabilité permanente pour toute catégorie de véhicules de la section

de la RNS 5 entre Soanierana Ivongo et Maroantsetra dont le linéaire est de 240 km. La section centrale de cet axe, objet de la présente étude, est longue d'environ 122 km en terre difficilement circulable particulièrement en saisons pluvieuses qui durent environ 310 jours de l'année dans cette zone.

I.3. Plan de situation

La figure suivante montre le plan de situation de la RNS 5 : section centrale Soanierana Ivongo-Mananara Nord.

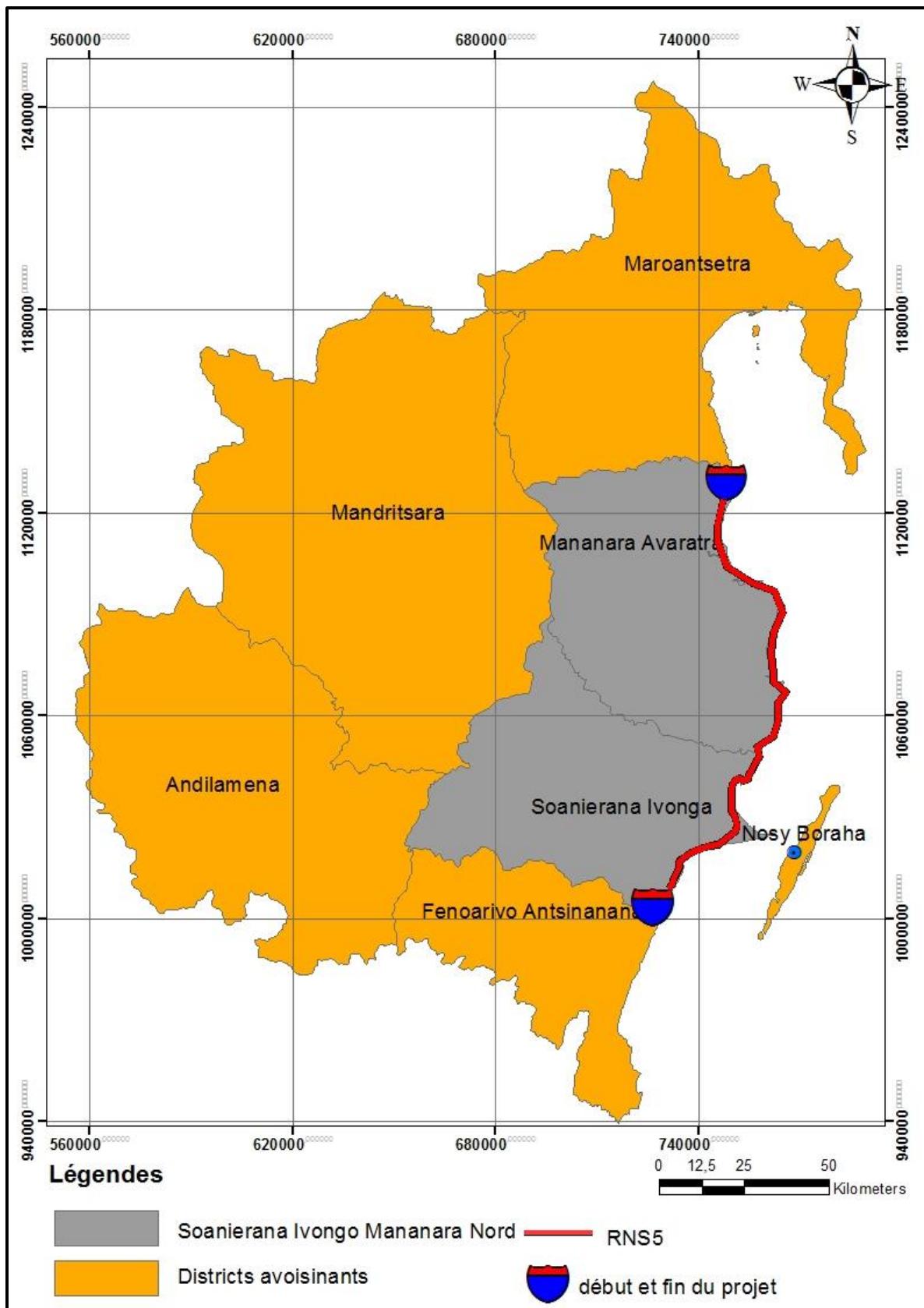


Figure 1 : Plan de localisation (source BD 500 FTM)

I.4. Horizons d'Etude

Le PNT 2004-2020 rédigé par le Ministère de Transports, de Travaux publics et de l'Aménagement du Territoire a réparti le réseau routier national en trois catégories de liaisons :

- ✓ Liaison principale entre les pôles.
- ✓ Liaison permettant un accès entre les pôles locaux
- ✓ Liaison permettant un accès entre les communes.

Le niveau d'aménagement des routes à Madagascar dépendra de sa catégorie et de son type. Ce classement a été réalisé selon l'analyse des différents critères dont : la densité de la population de la région, le trafic moyen (marchandises et voyageurs), l'aspect socio-économique, le tourisme, et l'environnement de la zone ou des localités desservies.

On constate que seulement les liaisons entre les pôles régionaux sont en général des routes revêtues et les deux autres liaisons sont majoritairement des pistes en terre. Pourtant la plupart de ces routes en terre entre 50 à 150 véhicules par jour pour les liaisons à une voie entre 80 à 300 véhicules par jour celles comportant deux voies. Pour la RNS5 ce seuil de bitumage est largement dépassé.

Les mauvais états de ces pistes sont aussi des obstacles pour la croissance économique des régions enclavées et du pays tout entier. D'emblée, la remise en état de certaines de ces routes en terre qui répondraient aux critères d'aménagement est l'une des facteurs de développement économique de Madagascar. De plus l'année théorique de mise en service de ces liaisons en terre est prévue avant l'année 2020.

I.5. Objectifs du projet :

Le projet de route Soanierana Ivongo-Mananara Nord permettra une liaison souple, confortable et permanente entre le port de Toamasina, Mananara Nord et Maroantsetra.

Cette liaison qui dessert les Districts de Fenoarivo Antsinanana, Soanierana Ivongo, Mananara Nord et Maroantsetra ainsi que les Communes Rurales de Soanierana Ivongo, Antanifotsy, Manompana, Tanambe, Ivontaka, Imorona et Mananara Nord, viendra répondre aux principaux objectifs suivants :

- Au niveau national :

- Diminuer le taux d'enclavement ;
 - Baisser les prix de transport des marchandises et des personnes ;
 - Faciliter la collecte des produits agricoles et l'accès au marché ;
 - Augmenter les prix aux producteurs ;
 - Augmenter la rentabilité des activités de l'agriculture.
- Au niveau Régional :
- Contribuer au renforcement de la coopération régionale et l'accès à la mer des Communes Rurales de la Région Analanjirofo ;
 - Stimuler les échanges commerciaux interrégionaux et favoriser l'intégration de leurs économies ;
 - Améliorer les conditions de desserte et l'évacuation des marchandises dans la région Nord-Est et Centre de Madagascar en offrant une liaison pérenne pourvoyant des conditions de circulation sûres et fluides ;
 - Désenclaver les zones rurales situées le long de l'axe et dans sa zone d'influence et valoriser le potentiel touristique et éco touristique de la côte Nord-Est ;
 - Combler la carence des liaisons centre-Nord Est et étoffer le maillage routier malgache, tout en assurant des conditions de dessertes satisfaisantes permettant l'optimisation des réseaux de commercialisation et d'approvisionnement dans la région ;
 - Améliorer les conditions de vie de la population en facilitant l'accès aux soins, à l'éducation, aux loisirs, etc.

I.6. Résultats attendus

Une fois aménagé, cet axe sera praticable toute la saison pour desservir aisément les localités avoisinantes, surtout les deux Districts du Soanierana Ivongo et Mananara Nord

Un Aménagement de cet itinéraire en route circulable en toutes saisons permettrait de rétablir le contact entre le Nord Est, la capitale et le Centre Sud du pays. Même si une seule section de tout l'itinéraire n'est pas en condition d'assurer la circulation permanente des biens et des passagers, c'est tout l'axe qui se trouve compromis dans sa fonction de

transport et chaque section revêt donc une importance primordiale pour assurer ce rôle.

Chapitre II : Présentation de la zone du projet

II.1. Objectif

L'objectif de ce présent chapitre sera constitué par les informations relatives à la délimitation et à la localisation de la zone concernée, à caractère géographique et climatologique, des Régions touchées par le projet.

II.3. Localisation

La section centrale de la Route Nationale n°5 est entièrement située dans la Région administrative d'Analajirofo et la traverse dans le sens Sud vers le Nord. Cette route est l'épine dorsale indispensable pour le développement socio-économique de la Région. La carte ci-dessous montre la localisation du projet et celle de la Région desservie par le projet.

Le projet se déroule dans les deux Districts de Soanierana Ivongo et de Mananara-Nord de la Région Analajirofo situé dans la province de Toamasina.

La Région est délimitée :

- Au Nord, par le District d'Antalaha
- A l'Ouest, par les Districts de Mandritsara (Région SOFIA), d'Andilamena et d'Ambatondrazaka (Région ALAOTRA-MANGORO)
- Au Sud, par le District de Toamasina II (Région ATSINANANA)
- A l'Est, par l'Océan indien.

La figure suivante montre la carte de localisation de la Région Analajirofo

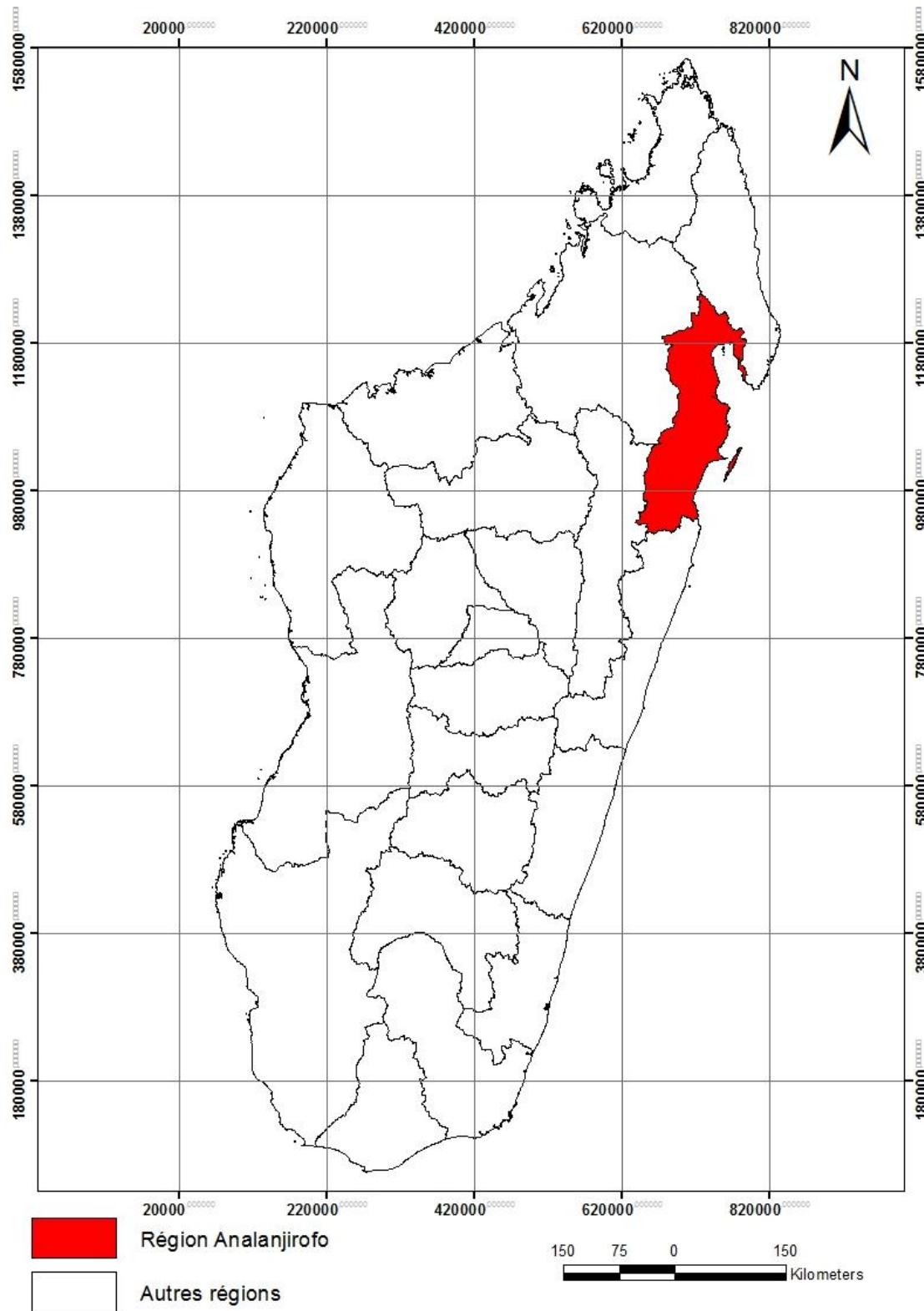


Figure 2 : Carte de localisation (source : BD 500 FTM)

II.4. Situations géographiques

De point de vue géographique la Région se trouve presque au centre-Est de l'île,

distante de 370 km environ de la Capitale. Elle longe l'Océan Indien sur une distance de 600 km environ du Nord au Sud. Sa largeur varie du Sud (Mahanoro) au Nord (Maroantsetra).

Elle est limitée par les coordonnées géographiques suivantes :

- ✓ Longitude entre **47,8°** et **50,5° E** ;
- ✓ Latitude entre **15°** et **20,5° S**.

II.4.1. Reliefs

La morphologie de la Région est constituée de reliefs qui s'étagent par paliers successifs entre le littoral constitué des dunes de sable fin de la mer qui dépasse rarement 50 m d'altitude et hauts massifs constitués de hautes collines oscillant autour de 800 à 1500 m d'altitude et un escarpement.

II.4.2. Climat

De point de vue climatologie la Région sur la côte Est, du Nord-Est au Sud-Est, règne un climat équatorial très humide et la côte rectiligne est exposée annuellement aux alizés et aux cyclones dévastateurs, entre les mois de Janvier et Mars.

II.4.3. Température

La température moyenne annuelle est de 24°C environ près des côtes et décroît vers l'intérieur en fonction de l'altitude. La moyenne des minima dans la Région atteint 16°C en Août et la moyenne tourne autour de 27°C.

II.4.4. Pluviométrie

La Région reçoit des fortes précipitations de l'ordre de 160mm par mois répartie entre 180 et 300 jours dans une année

II.4.5. Hydrographie

Le réseau hydrographique est très dense : il est formé de rivières au cours capricieux, toutes tributaires des crues en amont et de la variation du niveau de l'Océan Indien. Quatre fleuves importants, la Marimbona, la Simianona, la Fandrarazana et l'anode s'ouvrent à leur extrémité en un large estuaire sableux et drainent la plupart des cours d'eau de la Régions.

Tous ces cours d'eau possèdent un régime torrentiel parsemé de rapides et de chutes jusque dans la Région côtière.

II.4.6. Géologie

Les formations géologiques rencontrées sur l'axe sont :

- ➔ Les formations récentes qui sont constituées par ;
 - Les alluvions fluviatiles qui résultent du comblement, à l'abri du cordon sableux, des basses vallées des fleuves et ruisseaux côtiers. Elles peuvent être argileuses ou sableuses
 - Les sables côtiers comprenant des dunes anciennes et récentes. Ils bordent la côte sur une distance de 2 à 3 km, interrompus parfois par des seuils granitiques ou doléritiques.
- ➔ Le granite migmatitique d'Antongil à épidote : nous avons généralement affaire à un granite très orienté. Toutefois au milieu de l'axe se rencontrent des granites d'aspect plus homogène, non porphyroïde et pauvre en ferromagnésiens, parfois à cristaux de magnétite visibles.

II.5. Etat actuel de la route

La route est dégradée à plus de 50% de son itinéraire. Les dégradations qu'on rencontre sont les Nids-De-Poule au niveau de la chaussée les Fossés envahis par la végétation et les dégradations de mur en aile des ouvrages d'assainissement.



Figure 3 : Dégradation d'ouvrage de tête (mur en aile) du dalot



Figure 4 : Nids-De-Poule



Figure 5 : Fissuration et Cassure de la buse et dégradation du mur en aile



Figure 6 : Fossés envahis par la végétation

Chapitre III : Délimitation de la bande d'étude

Avant d'entamer la réalisation de tout le projet linéaire, il est primordial de bien délimiter la bande d'étude. C'est à l'intérieur de cette zone que les principales études topographique du projet se dérouleront. Le plan de cette bande d'étude est au moins à l'échelle 1 /5000 pour le projet d'exécution et devra mentionner toutes les informations concernant le projet, notamment les données topographiques, hydrologiques et géologiques. L'établissement de cette bande d'étude sera réalisé selon la phase d'étude du tracé, les matériels disponibles et les caractéristiques géographiques du terrain.

III.1. Délimitation de la zone d'influence :

La zone d'influence du projet (ZIP) a été déterminée sur la base de l'examen attentif de la cartographie relative à la zone du projet, de l'analyse des données socio-économiques existantes et l'étude des caractéristiques pouvant générer les déplacements sur l'axe du projet, tels que le poids démographique, les liens administratifs, l'existence de centres commerciaux, l'importance de l'activité économique et la configuration du réseau routier.

Compte tenus de ces paramètres, deux types des zones d'influences, directe et élargie, ont été identifiés.

III.1.1. La zone d'influence directe

La zone d'influence directe, qui est définie comme une bande de part et d'autre de l'axe du projet et qui subirait directement les effets de l'aménagement de l'axe.

D'où la zone d'influence du projet direct s'étendrait de Soanierana Ivongo jusqu'à Mananara Nord. Cependant les premières constatations faites lors de la visite des lieux émanant des entretiens avec la population et les représentants locaux ont confirmé l'influence qu'exerce la route en projet au profit des pôles socio-économiques générateurs et récepteurs qui sont les centres de Vavatenina, Mahambo et Fenoarivo au Sud et Maroantsetra au Nord. C'est pour cette raison que la zone d'influence directe du projet a été définie comme étant l'aire englobant l'axe Mahambo-Fénérive-Est-Maroantsetra .Donc la Région Administrative entière d'Analajirofo.

III.1.2. La zone d'influence élargie

Elle est composée des pôles économiques, urbains et administratifs qui interfèrent avec les villes et les villages situés dans la zone d'influence directe.

Ainsi par son existence, la route qui relie Soanierana Ivongo à Mananara Nord a une influence sur toute l'aire entre Antananarivo et Antsiranana. De ce fait, la Zone d'influence élargie du projet est définie comme étant la zone entre Toamasina et Iharana (Vohemar).

La figure suivante montre la localisation approximative des deux zones d'influences.



Figure 7 : Zones d'influence du projet

Donc la zone d'influence du projet est la zone Est de la province de Toamasina plus précisément les Régions Analanjirofo et Antsinanana.

III.2. Délimitation administrative

La Région d'Analajirofo est une des 22 Régions de Madagascar dans la province administrative de Toamasina qui abrite un total d'environ 2 593 000 habitants. C'est une zone à énormes potentialités, agricoles, miniers, touristiques et éco touristiques mais dispose aussi d'une forêt tropicale dense. Administrativement, elle est composée de 6 Districts à savoir Fenoarivo Antsinanana qui est le Chef-lieu de la Région, Sainte Marie, Maroantsetra, Mananara Nord, Soanierana Ivongo et Vavatenina. Les six Districts sont subdivisés en 63 Communes.

Cas général

- Région Atsinanana
 - ✓ Chef-lieu : Toamasina I ;
 - ✓ Province d'appartenance : Toamasina ;
 - ✓ Superficie : 21934km² ;
 - ✓ Régions limitrophes : Analanjirrofo, Alaotra-Mangoro, Vakinankaratra, Amoron'i Mania, Vatovavy- Fitovinany.
- Région Analanjirrofo
 - ✓ Chef-lieu : Fenoarivo Antsinanana ;
 - ✓ Province d'appartenance : Toamasina ;
 - ✓ Superficie : 21930km² ;
 - ✓ Régions limitrophes : SAVA, Sofia, Alaotra Mangoro, Atsinanana ;

Avec une superficie de 21.930 km², la Région Analanjirrofo est composée des 6 Districts suivants :

Tableau 1 : Districts de la Région Analanjirofo

Districts	Superficie (km ²)
Sainte Marie	210
Fénérive-Est	2.570
Vavatenina	2 747
Soanierana Ivongo	5.204
Mananara-Nord	4 .982
Maroantsetra	6 876

III.3. Les différentes phases d'étude d'un aménagement routier

L'établissement d'une bande d'étude d'un tracé routier se base sur des analyses de données de la région. L'étude d'aménagement routier se divise en trois étapes :

- Avant-projet sommaire (APS)
- Avant-projet détaillé (APD)
- Projet d'Exécution

III.3.1 Etude d'Avant-Projet Sommaire

L'objectif de cette phase d'étude est de faire une estimation des avantages à moyen et à long terme que la réalisation du projet apporte par rapport aux investissements nécessaires à sa construction et à ses entretiens. Les apports au développement sont basés sur des analyses des informations topographiques, géographiques, géologiques, hydrauliques, géotechniques, socio-économiques et environnementales des différents tracés ou itinéraires possibles. Les données de base de ces analyses peuvent être cartographiques (informations physiques) et les résultats d'un diagnostic économique (trafic existant et projection de développement) de la région et de ses influents. A partir de ces données on sera en mesure de choisir le tracé qui fera l'objet d'un Avant-Projet Détaillé.

III.3.2. Etude d'Avant-Projet Détailé

Sur la base des résultats de l'APS, on procède à la définition des caractéristiques principales des ouvrages, et les divers paramètres du tracé retenu. Ces données sont primordiales pour l'étude de faisabilité et pour avoir une idée précise sur la rentabilité de ce tracé en évaluant le coût d'investissement en comparaisons avec les retombées économiques attendues de l'aménagement. Les études géométriques nécessaires au futur tracé projeté sont faites à partir d'un plan à grande échelle. Suivant l'importance du projet, l'établissement de ce plan pourra être effectué par voie topographique directe (tachéomètre, GPS) ou par méthode photogrammétrique (photos aériennes).

Au total, lors de l'étude de l'Avant-Projet Sommaire, l'équipe des topographes a effectué l'opération topographique sur une longueur totale de l'ordre de 148 Km au lieu de 122 Km prévue initialement. Sur toute la longueur du levé, le relief de la bande d'étude est représenté par des courbes de niveau avec équidistance de 1 mètre.

III.3.3. Etude du Projet d'Exécution

Avant de commencer les études topographiques définitives pour les travaux d'exécution de la variante retenue, il est nécessaire de délimiter l'emprise du projet où se focalise le levé et de faire une reconnaissance de l'existant.

III.3.3.1. Constatation de l'état actuel de la piste et des bornes de l'APD

Avant de mener toute étude, il est très important de constater l'existant à travers une brève reconnaissance sur terrain. L'objectif de cette descente est d'identifier les différentes contraintes liées à l'état des lieux et des éléments présents sur terrain afin de choisir le mode de levé et les matériels le plus adéquats pour l'exécution. Cette opération permet aussi de localiser les endroits appropriés pour placer les bornes de la polygonale base.

III.4. Quelques exemples de méthodologie

La première phase des travaux d'un aménagement linéaires est la réalisation de la bande d'étude. Suite à la reconnaissance, aux différentes contraintes du projet (précision,

durée d'exécution, état de lieu...) et matériels disponibles, on est maintenant en mesure de déterminer la méthode de levé la plus appropriée pour établir cette bande, soit par

- Levé terrestre direct ;
- Levé photogrammétrique.

III.4.1. Levé terrestre direct

Le levé terrestre direct est un procédé de mesure topographique qui consiste à prendre directement la position planimétrique et altimétrique des objets et des points sur le terrain afin de reproduire fidèlement le relief et tous ce qui s'y trouvent sur un plan. C'est la méthode la plus utilisée pour le levé topographique destiné à l'établissement de plan d'exécution d'un aménagement de génie civil. Ceci s'explique par sa précision plus élevée que la méthode photogrammétrique et que l'exécution de cette dernière doit être confiée à un bureau d'étude spécialisé.

Le levé topographique dans les travaux de génie civil est donc rarement effectué par voie photogrammétrique. C'est pour cette raison que nous traitons essentiellement dans ce présent ouvrage le procédé terrestre. Les détails de ce procédé feront l'objet du chapitre ci-après. Mais il est une grande importance de connaître quelques notions sur le levé photogrammétrique dans le cas où son utilisation est inéluctable.

III.4.2. Levé photogrammétrique

III.4.2.1. Définition

La photogrammétrie est une technique qui permet de reconstituer un modèle dans ses trois dimensions à partir des photographies. Elle a donc pour but l'étude des formes, des dimensions et de la position dans l'espace d'un objet quelconque à partir des mesures faites sur des couples de photographies aériennes de cet objet.

Ce type de levé doit être effectué par un bureau d'étude spécialisé ayant des matériels nécessaires pour son exécution et un personnel qualifié.

Même si le levé photogrammétrique est rarement utilisé à Madagascar surtout dans les travaux de Génie civil, il est important de connaître le procédé dans le cas où son application est impérative.

La réalisation d'un levé photogrammétrique se subdivise en 3 étapes :

- Les travaux préparatoires
- La prise de vue aérienne
- La reproduction de plan

III.4.2.2. Les travaux préparatoires

Avant d'effectuer le levé photogrammétrique proprement dit, il faut délimiter la zone sur une carte. Selon les matériels utilisés, on détermine aussi durant cette phase d'étude l'échelle de prise de vue aérienne, l'échelle du cliché et l'altitude de vol correspondante. Il est aussi important de connaître le nombre de couples de photos pour avoir un recouvrement transversal de plus de 20 % et un recouvrement longitudinal d'au moins 60%, nécessaire pour toute la zone.

On établit aussi dès ces travaux le plan de vol, en tenant compte de la météorologie, la meilleure trajectoire possible, l'heure de prise de vue, l'autonomie de l'avion.

III.4.2.3. La prise de vue aérienne

A l'aide d'une caméra spéciale aéroporté, on photographie la zone suivant les impératives techniques définies lors du travail préparatoire. Cette phase nécessite un appareil capable de voler le plus stable possible, à basse altitude et particulièrement aménagé pour permettre une prise de photos à la verticale.

III.4.2.4. La reproduction de plan

Les différentes phases de processus de production sont :

- La stéréopréparation ;
- L'aérotriangulation ;
- La restitution photogrammétrique.

III.4.2.4.1. La stéréopréparation

Cette opération consiste à placer sur le terrain des points d'appui identifiables sur les photos. Les coordonnées de ces points sont déterminées par des méthodes classiques (levé tachéométrique ; GPS ;...). La stéréopréparation peut nécessiter le positionnement de

plusieurs points répartis sur la zone avec une certaine précision selon l'importance du levé.

III.4.2.4.2. L'aérotriangulation

Elle consiste à augmenter les points de stéréopréparation jusqu'à 6 points par couple. A partir de ces points, on peut transférer le repère d'un cliché à l'autre. Grâce à cette méthode, il n'est plus indispensable de déterminer plusieurs points de calage pour chaque cliché, il faut seulement quelques points de calage de meilleur précision qui serviront d'appuis pour la détermination en bloc par moindre carré des coordonnées définitives de tous les points des autres clichés. A l'issue de cette opération tous les clichés auront des points de stéréopréparation nécessaires à la restitution.

III.4.2.4.3. La restitution photogrammétrique

La restitution est réalisée par un restituteur numérique ou analogique. L'opérateur repositionne chaque couple de cliché dans le restituteur par les points de calage tels qu'ils étaient au moment de la prise de vue, de manière à obtenir l'image en trois dimensions du terrain. Si la restitution du terrain est incomplète, on passe au levé complémentaire et d'intégrer les nouveaux points manquants dans la restitution en 3D.

III.5. Méthodologie utilisée par le Géoinfo

Les coordonnées planimétriques (X, Y) ne sont pas rattachées au réseau géodésique national en raison de l'inexistence de point géodésique utilisable dans les environs des extrémités du projet. Néanmoins, le système indépendant dans lequel l'opération a été réalisée à peu près la même orientation et le même point d'origine que le système national.

En revanche le nivelllement (Z) est rattaché au Nivellement Général de Madagascar (NGM).

Il est à rappeler que pour la phase Avant-Projet Sommaire, l'étude topographique a été conduite dans le sens de Mananara Nord vers Soanierana Ivongo. Ainsi, la première borne polygonale notée B1 ($X=756\ 236,00$; $Y=1\ 099\ 040,00$; $Z=10,313$) mise en place par l'équipe des topographes est située à l'entrée de la ville de Manananara Nord, à proximité du carrefour giratoire ou de la fin du projet. La dernière borne polygonale numérotée B972

(X=763 078,37 ; 1 012 645,87 ; Z=9,435) est placée au voisinage de l'origine du projet, dans la ville de Soanierana Ivongo.

III.5.1. Détermination planimétrique des sommets de la polygonale de base

La détermination des coordonnées planimétriques (X, Y) des sommets de la polygonale de base a été effectuée en appliquant la méthode de trois trépieds. Le contrôle de fermeture planimétrique a été effectué tous les quatre ou trois sommets de la polygonale de base formant des figures géométriques élémentaires à savoir triangles ou quadrilatères.

Les formules utilisées pour les calculs de tolérances linéaires (X, Y) et angulaire sont les suivantes :

- Tolérance linéaire (en mètre) $V \leq \text{Somme Li} / 10.000$ où $V = (\text{Ecart } X^2 + \text{Ecart } Y^2)^{1/2}$ est le vecteur de fermeture et Li longueur du côté de numéro i.
- Tolérance angulaire (en déci milligrade) $E\alpha \leq 10 \times 2,7 \times N1/2$ où N est le nombre de sommets.

N.B: tous les écarts de fermeture planimétrique qui dépassent la tolérance ont été rejétés.

III.5.2. Détermination altimétrique des sommets de la polygonale de base

Partant d'un repère de nivellation portant le numéro matricule 143 (Altitude= 7,791m) et situé près du bâtiment des Postes et Télécommunications dans la ville de Mananara Nord, l'équipe a procédé à la détermination altimétrique des sommets de la polygonale de base.

Les altitudes des sommets de la polygonale sont déterminées par nivellation direct à l'aide d'un niveau automatique **AL 120** de marque spectra precision donnant la précision de **±5mm/km** pour un nivellation double. Pour atteindre la précision requise, la détermination altimétrique des sommets de la polygonale de base s'est faite par la méthode de double station.

Voici la formule utilisée pour cette fermeture altimétrique:

$Ez \leq 5 \times 2,7 \times L1/2$ où Ez est l'écart de fermeture altimétrique et L est la longueur du cheminement.

III.5.3. Levé de la bande d'étude et des détails planimétriques

Afin de permettre au projeteur de conduire le choix du tracé de la route, la bande d'étude a été levée en prenant des points situés à l'intérieur d'une bande ayant une largeur de l'ordre de 100mètres, soit 50mètres de part et d'autre de l'axe. Pour ce faire, l'équipe des topographes a levé le tracé actuel en prenant des points disposés en profils en travers dont la distance entre deux profils voisins est de l'ordre de 100 à 150 mètres, sauf sur les sections montagneuses et les parties en courbes.

Le levé de la bande d'étude a été effectué sur la totalité de l'ancien tracé qui passe par le bac 2 (Andrangazaha) et le bac 3 (Fandrarazana), soit une longueur de bande estimée égale à 122km. Le levé de la bande d'étude a également été entrepris sur la zone de changement de tracé, notamment entre les profils P194 (Pr4165, 90m) et P1250 (Pr 25.223,53) et entre les profils P1290 (Pr 25.957,77) et P1496 (Pr30.663, 24).

III.5.4. Levé de profils en travers

Après avoir implanté l'axe du projet, l'équipe a procédé au levé des profils en travers. La largeur d'un profil en travers est alors réduite à 30 m. 6378 profils en travers numérotés de P1 à P6378 sont implantés sur le terrain. La distance maximale entre deux profils voisins est de 30 m. Après avoir implanté l'axe du projet, l'équipe a procédé au levé des profils en travers. La largeur d'un profil en travers est alors réduite à 30 mètres. 6378 profils en travers numérotés de P1 à P6378 sont implantés sur le terrain. La distance maximale entre deux profils voisins est de 30 m.

III.5.5. Résultat obtenue

L'opération topographique couplée avec la conception géométrique du tracé aboutit à une longueur de route de 116 828,66 m. 972 bornes polygonales numérotées de B1 à B972 sont mises en place sur toute la longueur de la route

Chapitre IV: Démographie de la Région

IV.1. Définition

La démographie est définie d'une manière très large comme l'étude quantitative des populations humaines.

Selon le dictionnaire démographique multilingue des Nations Unies : la démographie est une science ayant pour objet l'étude des populations humaines et traitantes de leur dimension, de leur structure, de leur évolution et de leurs caractères généraux envisagés principalement d'un point de vue quantitatif.

Dans notre projet d'études, les deux régions sont habitées essentiellement par l'ethnie Betsimisaraka mais des populations venant de toutes les régions de l'île y cohabitent temporairement ou de façon permanente.

Avec une densité moyenne de 45 hab /km², les deux régions présentent une concentration humaine élevée notamment dans les chefs-lieux des régions (Toamasina I et Fénérive-Est).

IV.2. Mouvement migratoire:

A l'intérieur de la Région, le déplacement de la population est important surtout à caractère saisonnier du fait de l'agriculture itinérante et de la présence d'unités industrielles, mais parfois aussi à caractère définitif du fait des études et des emplois. Des villages entiers peuvent être ainsi abandonnés et à l'inverse de nouvelles communes se créent. En zone forestière, le mouvement y est plus marqué.

En période de soudure, bon nombre de familles quittent leur village pour trouver d'autres emplois (main d'œuvre) ou pratiquer l'agriculture ailleurs (Ambatondrazaka, Vatomandry). Il s'agit de mouvement de main d'œuvre qui se déplace en période de récolte : girofle, café, letchis, poivre, canne à sucre...

IV.3. Evolution de la population de la Région de l'Est

Tableau 2 : Evolution de la population de la zone d'influence

Sous-préfecture	Superficie [km ²]	1992	1993	1995	1999	2002
Toamasina I	28	133 648	137 782	154 687	176 530	176 530
Sainte Marie	210	12 563	12 563	13 328	15 300	16 927
Maroantsetra	6 876	124 967	128 832	136 678	156 902	173 504
Mananara Nord	4 320	79 262	81 713	86 689	99 517	110 051
Fénérive Est	2 568	179 592	185 147	196 422	225 487	249 354
Brickaville	5 297	118 910	122 588	130 054	149 298	156 010
Vavatenina	3 202	113 336	116 841	123 956	142 298	163 340
Toamasina II	5 063	125 694	129 581	137 472	157 814	172 876
Soanierana Ivongo	5 204	74 177	76 471	81 128	93 133	102 991

Source : RGPH 2002 Bureau Sous-Préfecture

Tableau 3 : Croissance démographique de la zone d'influence [hab.]

Sous-préfecture	Population	Femme 15-49 ans	Naissance 12 derniers mois	Décès 12 derniers mois
Toamasina I	176 530	49 429	4 638	938
Sainte Marie	16 927	3 442	476	88
Maroantsetra	173 504	35 542	5 808	837
Mananara Nord	110 051	22 040	3 995	850
Fénérive Est	249 354	50 760	9 555	1 438
Brickaville	156 010	33 550	5 865	1 816
Toamasina II	17 2876	3 6079	5 583	1 111

Vavatenina	163 340	31 388	5 859	8 56
Soanierana Ivongo	102 991	20 608	3 716	600

Source : RGPH 2002 Bureau Sous-Préfecture

Tableau 4 : Croissance démographique de la zone d'influence

Sous-préfecture	Taux d'accroissement [%]	Taux de Fécondité [%]	Taux de Natalité [%]	Taux de Mortalité [%]
Toamasina I	2.2	9.4	2.8	0.6
Sainte Marie	2.5	13.8	3.1	0.6
Maroantsetra	3.2	16.3	3.7	0.5
Mananara Nord	3.2	18.1	4.0	0.8
Fénérive Est	3.6	18.8	4.2	0.6
Brickaville	2.7	17.5	3.9	1.2
Toamasina II	2.8	15.5	3.5	0.7
Vavatenina	3.5	18.7	4.1	0.6
Soanierana Ivongo	3.3	18.0	3.9	0.6

Source : RGPH 2002 Bureau Sous-Préfecture

Dans notre zone d'étude, le taux de mortalité est inférieur au taux moyen de mortalité de Madagascar qui est de 1.5%. Les phénomènes de migration notoires et les épidémies et les autres maladies (paludismes...) ont des influences sur le taux d'accroissement naturel.

IV.4. Traits caractéristiques de la Région Analanjirofo

Suivant les données de l'INSTAT/Direction de la Démographie et les Statistiques Sociales, la population de la Région d'Analajirofo comptait 980.817 habitants en 2011.C'est une Région relativement peuplée en raison de son taux d' accroissement naturel élevé puisqu'il est de l'ordre de 3.2% largement supérieur par rapport à l'ensemble national (2.8%).Le tableau ci-après montre l'évolution de la population dans les districts intéressés

par la route.

Tableau 5 : L'évolution de la population dans les districts intéressés par la route [hab].

Districts	Fénérive-Est	Mananara Nord	Maroantsetra	Sainte-Marie	Soanierana Ivongo	Vavatenina	TOTAL
1993	184 707	81 519	128 526	12 533	76 286	116 563	600 138
1994	190 551	84 098	132 592	12 533	78 703	120 251	619 124
1995	196 639	86 785	136 829	13 343	81 218	124 093	638 124
1996	202 991	89 588	141 249	13 774	83 841	128 102	659 546
1997	209 606	92 508	145 851	14 223	86 473	132 276	681 037
1998	216 306	95 465	150 514	14 677	86 341	140 783	724 834
1999	223 086	98 457	155 231	15 137	92 141	140 783	724 835
2000	232 688	102 695	161 912	15 789	96 107	146 842	756 032

Tableau 6 : L'évolution de la population dans les districts intéressés par la route [hab]. (Suite)

2001	239 698	105 789	166 789	16 265	99 002	151 267	778 810
2002	246 767	108 909	171 710	16 265	101 922	155 728	801 779
2003	253 893	112 053	176 663	17 228	104 865	160 225	824 932
2004	261 200	115 278	181 753	17 724	107 883	164 836	848 674
2005	270 639	119 444	188 321	18 364	114 954	175 639	904 296
2006	278 319	122 834	193 665	18 885	114 954	180 577	929 716
2007	286 143	126 287	199 109	19 416	118 185	180 577	929 716
2008	294 102	129 799	204 647	19 956	121 473	185 600	955 577
2009	276 751	152 505	198 299	23 823	122 094	155 449	928 921
2010	284 390	156 714	203 773	24 480	125 464	159 739	954 559
2011	292 213	161 025	209 378	25 154	128 915	164 133	980 817

Source : INSTAT/Direction de la Démographie et des Statistiques Sociales

Le taux de croissance moyen annuel de la population, entre 1993 et 2011, pour les deux districts est de l'ordre de 3%.

IV.4.1. Cas du District de Mananara

IV.4.1.1. Démographie

➤ Population

Tableau 7 : Population Mananara

Année	2010	2011
Nombre/population	156 714	161 025

Source : PRD Analanjirofo

La population du District de Mananara représente les 16.42 % de la population totale de la Région d'Analajirofo.

- Taux de croissance (estimation à 2006 des dix dernières années) : 3.2% d'après la PCD Mananara
- Taux d'urbanisation / rural (dix dernières années) : 32% d'après la USAID

IV.4.1.2. Activités de la population

Les types d'activités les plus pratiqués par la population dans le District de Mananara Nord, d'après la monographie de la province de Toamasina (1990) sont de la vente des produits de rente.

Revenu moyen de la population : 1 174 930 Ar/mois

IV.4.2. Cas du District de Soanierana Ivongo

IV.4.2.1. Démographie

- Population

Tableau 8 : Population Soanierana Ivongo

Année	2010	2011
Nombre/population	125 464	128 915

Source : PRD Analajirofo

La population du District de Soanierana Ivongo représente les 13.14% de la population totale de la Région d'Analajirofo.

- Taux de croissance (estimation à 2006 des dix dernières années) : 3.3% d'après USAID
- Taux d'urbanisation / rural (dix dernières années) : 33% d'après le RGPH 1993 ; INSTAT /DSM/EPM-2005

IV.4.2.2. Activités de la population

Types d'activités les plus pratiquées par la population :

- ❖ Agriculteurs : 91.50%
- ❖ Pêcheurs : 3%

- ❖ Eleveurs : 0.4%
- ❖ Artisans(Vannerie) :1.4%
- ❖ Industrie : 0.1%
- ❖ Commerçants et collecteurs de produits locaux : 1.6%
- ❖ Secteur tertiaire (hôtelleries, transport...) : 1.5%
- ❖ Administration : 0.5%

PARTIE II :
ETUDE ET ANALYSE TECHNIQUE DE LA CONCEPTION
ROUTIERE

Chapitre V : Etude topographique en vue du tracé d'un projet de route

V.1. Généralités

Tous les travaux de construction d'une route neuve ou travaux de réhabilitation d'une route existante nécessitent une étude topographique. Cette étude a pour but d'obtenir les données nécessaires à l'étude du tracé de cet aménagement.

L'étude topographique de route se résume comme suit :

- tracé en plan ;
- profil en long ;
- profils en travers.

V.2. Reconnaissance

La descente sur terrain est plus que nécessaire car elle a pour but de rechercher et de reconnaître sur le lieu la possibilité de la réalisation du projet. La reconnaissance de terrain est obligatoire pour tout projet du Génie Civil.

La reconnaissance nous permet de choisir la méthode topographique appropriée, et les appareils à utiliser en vue d'exécuter le levé.

Cette opération a permis de localiser les endroits appropriés pour placer les bornes de la polygonale de base.

Lors de la Reconnaissance, on a trouvé quelques repères de nivellation le long de la bande d'étude. Il y a un repère de nivellation à proximité d'un carrefour giratoire, près de la poste Mananara-Nord et un autre repère de nivellation au centre-ville de Soanierana-Ivongo. Ces deux (2) repères de nivellation servent pour la fermeture altimétrique le long du cheminement polygonal.

V.3. Polygonation

La polygonation est l'ossature nécessaire à l'établissement des levés à toutes échelles.

La polygonation aussi est une base pour implanter des courbes et des piquetages du projet et qui a pour but de déterminer chaque point en X, Y et Z.

V.4. Exécution de la polygonation

La polygonation qu'on a réalisé concerne en même temps la planimétrie et l'altimétrie, c'est à dire que chaque point doit avoir ses coordonnées en (X, Y, Z).

Le début du projet se situe à Soanierana-Ivongo et la fin du projet à Mananara-Nord. L'étude topographique a été conduite dans le sens de Mananara-Nord vers Soanierana-Ivongo pour éviter d'aller vide pour le retour de la reconnaissance c'est-à-dire le PK1 se situe à Soanierana-Ivongo mais le premier sommet de la polygonale de base noté B1 se situe à Mananara-Nord.

Ainsi, le premier sommet polygonal B1(X=756236,00m ; Y=1099040,00 m; Z=10,313m) mis en place par l'équipe topographique est situé à l'entrée de la ville de Mananara-Nord, à proximité du carrefour giratoire. Le dernier point polygonal noté B972(X=763078,37m ; Y=1012645,87m ; Z=9,435m) est placé au voisinage de l'origine du projet, dans la ville de Soanierana-Ivongo.

Ces points de la polygonale de base sont placés tous les 150 à 200m environ le long de la route à des endroits permettant leur bonne conservation.

Pour réaliser le lever de la bande d'étude dans les meilleures conditions de rapidité et de précision, on doit couvrir celle-ci par un ensemble de points , principaux et secondaires formant respectivement entre eux deux cheminements topographiques appellés cheminement directeur et polygonale de base.

V.4.1. *Cheminement directeur*

Le cheminement directeur est un cheminement principal devant relier deux points, dits « points d'appui », rattachés au canevas géodésique de Madagascar et situés l'un aux environs de l'origine de la bande , appelé point de départ , et l'autre aux environs de son terme, appelé point d'arrivée.

Suivant la possibilité de passage des visées sur terrain entre points des canevas géodésique d'une part, et deux points qui constituent le directeur d'autre part, ces points d'appui pourront être :

- ✓ Deux points géodésiques préalablement connus et visibles en ces sommets ;
- ✓ Deux nouveaux points de triangulation déterminés à partir des points géodésiques dans le cas où aux environs du premier et du dernier sommet on dispose un certain nombre des points géodésiques mais, cette fois-ci, aucun d'entre eux n'est visible en ces sommets ;
- ✓ Un point géodésique et un point de triangulation.

Ce cheminement à essentiellement pour objet de couvrir dans son ensemble la bande à lever avec la densité moyenne de un point au kilomètre.

V.4.2. *Cheminement secondaire*

La polygonale de base, quant à elle, est un cheminement secondaire qui s'appuie obligatoirement sur des points du cheminement directeur.

La densité des points de la polygonale de base sera de sept à vingt points au kilomètre.

Dans le cadre de l'exécution de cette polygonation, on devra effectuer les opérations suivantes :

- ✓ Etablir et déterminer les points d'appui du cheminement directeur dans le cas ou ceux-ci sont des points de triangulation ;

- ✓ Etablir leurs sommets, c'est-à-dire choisir sur le terrain leur emplacement convenable puis procéder à leur matérialisation et à leur repérage ;
- ✓ Mesurer les angles horizontaux aux sommets et les angles verticaux ;
- ✓ Mesurer les longueurs des cotés ;
- ✓ Procéder aux opérations de nivellation qui cotera leurs sommets ;
- ✓ Déterminer les coordonnées de leurs sommets.

V.4.3. Etablissement et détermination des points d'appui du cheminement directeur

Lorsqu'il existe aux environs de l'une ou des deux extrémités de la bande à lever (lieux l'emplacement du premier et dernier sommet du cheminement directeur) un certain nombre de points géodésiques ne pouvant pas être directement utilisés comme points d'appui pour cause d'impossibilité de passage des visées, on devrait créer un point de triangulation intermédiaire satisfaisant en même temps aux conditions suivantes :

- Possible d'être stationné ;
- Visible de l'extrémité de la bande ;
- Permettant d'observer un ou, si possible, plusieurs points géodésiques.

V.4.3.1. Etablissement

L'établissement de ce point de triangulation fait généralement appel à une succession d'opérations que nous allons après rappeler brièvement :

V.4.3.1.1. Etude d'avant-projet de triangulation sur carte

Cette étude d'avant-projet a principalement pour objet d'une part de choisir sur la carte, en se référant aux altitudes, l'emplacement du point à créer et, d'autre part de voir, au moyen du profil du terrain dressé à partir des courbes de niveau, si les visées issues de ce point vers les points géodésiques seront possibles ou interceptées.

On tâchera, dans cette étude, d'obtenir des triangles sensiblement équilatéraux.

V.4.3.1.2. Reconnaissances sur terrain

L'étude d'avant-projet est suivie par des reconnaissances visuelles sur terrain. Ces dernières permettent de voir si l'avant-projet envisagé sera pratiquement réalisable. Dans le cas contraire, il subira des rectifications faites immédiatement sur le terrain.

A l'issue de ces travaux de reconnaissance, le projet de triangulation étant mis au point. L'opération suivante consiste à matérialiser et à repérer le point.

V.4.3.1.3. Matérialisation et repérage

Lorsque le point de triangulation à créer ne coïncide pas avec un point existant de stabilité reconnue (par exemple borne de territoire, cloché, etc...) On le matérialise par une borne en béton implantée dans une fouille de façon que sa partie supérieure dépasse légèrement le sol naturel.

Sur un sol rocheux, il sera matérialisé par un repère métallique scellé (fer à béton, gougeons, etc...).

Par ailleurs, en vue de rétablissement éventuel de la borne en cas de sa disparition ou de sa destruction, on doit la repérer par rapport à des points fixes et durables, par des mesures angulaires et/ou linéaires. Ce repérage doit faire l'objet d'un croquis, tant obligatoirement le point à repérer, les points par rapport auxquels les mesures ont été prises et les valeurs mesurées.

Après la matérialisation et le repérage, on devrait normalement procéder aux opérations qui conduisent à la détermination des angles et les mesures des distances. Mais, lorsqu'une végétation assez dense couvre ce point inconnu ou les points géodésiques utilisés pour sa détermination, ce qui est souvent le cas rencontré dans les travaux de triangulation, ces observations angulaires et mesures des distances seront précédées par l'opération dite balisage.

V.4.3.1.4. Balisage

Cette opération consiste à mettre, au-dessus du point de triangulation inconnu et des points géodésiques concernés par le projet de triangulation une balise matérialisation la verticale en ces points.

Généralement, on construit deux types de balises en bois :

- Des balises à pied unique ou monopodes ;
- Des balises à trois pieds ou tripodes, sous lesquelles on pourra librement stationner avec un théodolite.

Quel que soit leur type, elles sont toujours surmontées par des étages d'ailettes de volige fixe sur un chevron soigneusement dressé à l'aide de deux fils à plomb ou de deux théodolites de manière à ce que son axe reste confondu avec la verticale du point et maintenu dans cette position par des contrefiches.

Pour éviter toute confusion avec d'autres environnements et améliorer les conditions d'observations, les étages d'ailettes seront alternativement peints en blanc et en rouge.

Le choix du type de balises à confectionner au-dessus de ces points dépend nécessairement des procédés angulaires (intersection ou relèvement adopté pour la détermination du point de triangulation)

En effet, lorsqu'on procédera par intersection, des tripodes doivent être mises en place sur les points géodésiques et une monopode sur le point à déterminer. Par contre, le procédé de détermination par relèvement nécessite la pose d'une tripode sur le point inconnu et des monopodes sur les points géodésiques.

V.4.3.2. Détermination

A l'issue de ces opérations successives, les points d'appui du cheminement directeur sont établis. Il nous reste enfin à déterminer, par rapport aux points géodésiques, d'une part leur position planimétrique et, d'autre part leur position altimétrique.

V.4.3.2.1. Détermination planimétrique

Dans le plan, les points d'appui pourront être déterminés :

- Par intersection,
- Par relèvement,
- Par recouplement (combinaison intersection relèvement)

Ces procédés résultent de l'intersection de lieux géométriques : lieux –droites et lieux –cercles

Un lieu- droite :

Il est défini par un de ces points, connu et stationné, et par sa direction ou plus précisément son gisement.

Rappelons que le gisement d'une droite est l'angle qu'elle fait avec le NORD conventionnel, angle complet depuis celui-ci est dans le sens des aiguilles d'une montre.

Un lieu-cercle

Il est constitué par l'arc capable de l'angle sous lesquel on voit, du point cherché, le segment de droite défini par deux points connus. L'intersection et le relèvement utilisent respectivement des lieux-droites et lieux-cercles. Le recouplement utilise concurremment les deux lieux. Théoriquement, pour déterminer le point d'appui, il suffit donc de viser le point cherché de deux points connus stationnés (cas de l'intersection) ou de viser du point cherché stationné trois points connus (cas du relèvement).

Mais, en réalité, toute mesure est imparfaite et les points connus eux- mêmes ne sont définis qu'avec une certaine approximation. Ainsi, il est apparu indispensable d'utiliser PLUS DE DEUX LIEUX, pour déterminer un point d'appui, afin d'atténuer les erreurs résultant de ces causes et, par ailleurs, d'éliminer le risque d'une faute d'observations ou de calcul.

Trois lieux indépendants convenablement répartis seront pratiquement utilisés :

- ✓ Soit 3 lieux-droites, les Go (gisement de la graduation Zéro du limbe) étant appuyé sur au moins deux points ;

- ✓ Soit 3 segments indépendants appuyés sur un minimum de quatre points.

Le problème se complique alors par l'embarras de choix car chaque groupe de deux lieux donne une solution.

Le choix du point définitif peut être envisagé de diverses manières :

- ✓ Représentation graphique à très grande échelle (1/1 ; 1/2 ou 1/5) des lieux définissant le point et le choix de la solution définitive sur le graphique,
- ✓ Compensation par la méthode de moindres carrés.

Nous invitons le lecteur à consulter les ouvrages spécialisés ou éventuellement, le cours de canevas complémentaire pour les détails de ces opérations.

Soulignons, enfin, que les angles horizontaux qui interviennent dans cette détermination planimétrique seront mesurés par TOUR D'HORIZON avec un théodolite donnant le déci milligrade en lecture directe.

Chaque tour d'horizon sera observé par réintégration avec quatre séries de deux pointés ainsi réparties :

- ✓ 1^{er} temps : Origine O-cercle à gauche-rotation dans le sens direct ;
- ✓ 2^{eme} temps : Origine 100-cercle à droite-rotation dans le sens indirect ;
- ✓ 3^{ème} temps : Origine 50-Cercle à droite-rotation dans le sens direct ;
- ✓ 4ème temps : Origine 150-cercle à gauche –rotation dans le sens indirect.

La fermeture de chaque tour de devra pas dépasser de 20 secondes. Le point choisi comme référence n'a pas besoin d'être éloigné, l'essentiel est qu'il se prête à un pointé indiscutable, puisque son rôle est de contrôler la fermeture du tour d'horizon.

Remarque :

Compte tenu de la précision des appareils de mesure par réflexion d'onde (distancemètres électroniques), il est possible de les utiliser également pour déterminer les points d'appui à l'aide des seules distances relevées sur le terrain après les avoir rendues exploitables par application éventuelle des diverses méthodes de réduction. Ce procédé s'appelle le TRILATERATION.

Cette trilateration peut se combiner avec les procédés de triangulation (intersection, relèvement et recouplement) pour contrôler les fautes et pour vérification.

V.4.3.2.2. Détermination altimétrique :

L'altitude des points d'appui du cheminement directeur sera déterminée par niveling trigonométrique ou indirect utilisant les visées Zénithales unilatérales ou réciproques effectuées entre les points géodésiques et ces points d'appui.

Dans ce niveling, on doit tenir compte de l'influence de l'erreur de niveau apparent qui est par définition la résultante des erreurs dues à la réfraction atmosphérique et à la sphéricité de la terre, car les longueurs des visées sont importantes

En effet, soient par exemple, A, B, C, des points géodésiques d'altitude sera à déterminer.

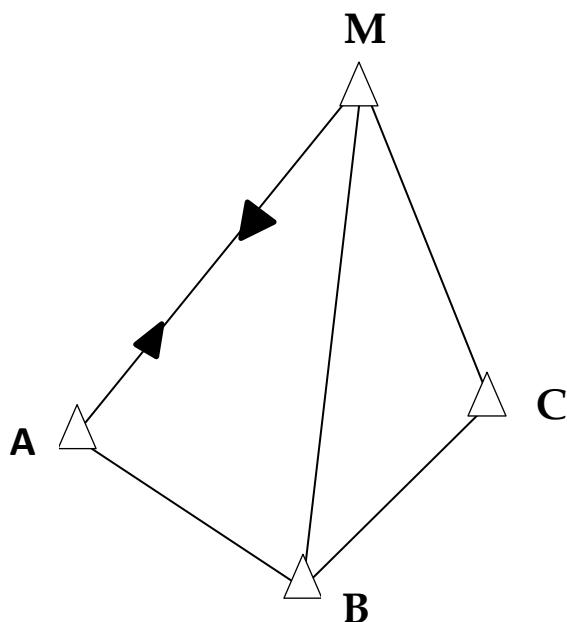


Figure 8 : Croquis pour la détermination altimétrique

Ces points géodésiques pourront être ceux qui ont été pris dans la détermination planimétriques du point M.

Les visées effectuées entre (A, M) ;(B,M) ;(C,M) peuvent être donc unilatérales ou réciproques, et chacune d'elles fournit une valeur d'altitudes pour le point d'appui M.

Les formules donnant ces valeurs, en utilisant par exemple la visée (A, M), sont les suivantes :

❖ Visées unilatérales :

- Cas de l'intersection (A stationné)

$$\text{Alt (M)} = \text{Alt (A)} + D \cdot \cotg Z + (H_a - H_z) + K \cdot D^2 \quad [1]$$

- Cas du relèvement (M stationné)

$$\text{Alt (M)} = \text{Alt (A)} - D \cdot \cotg Z - (H_a - H_z) + K \cdot D^2 \quad [2]$$

Avec

- ✓ D : distance horizontale entre (A, M) exprimée en mètre et déduite des coordonnées préalablement calculées de ces points ;
- ✓ Z : distance zénithale observées ;
- ✓ Ha : hauteur des tourillons de l'appareil au-dessus du point stationné ;
- ✓ Hz : hauteur du signal au-dessus du point visé ;
- ✓ K : coefficient rentrant dans la correction de niveau apparent (pratiquement, on prendra K=1/15.10⁻⁶).

❖ Visées réciproques :

C'est le cas où, entre A et M, on a effectué une visée d'intersection et de relèvement.

L'altitude du point M peut être calculée :

- ✓ Soit en faisant la moyenne des résultats obtenus avec les formules (1) et (2) ;
- ✓ Soit par la formule ci-après en utilisant comme site la moyenne des valeurs absolues des sites des visées (A, M) et (M, A), réduits préalablement de repère à repère, qui annule la correction de niveau apparent, et ceci dans le seul cas où le

signal au-dessus des points visés est constitué par un voyant spécial posé sur trépied :

$$\text{Alt (M)} = \text{Alt (A)} \pm D \cdot \text{tg} [\text{IAII} + \text{IMIII}] / 2 \quad (3)$$

Avec IA et IM désignent respectivement les angles de site en A et en M réduits de repère à repère.

Ils se déduisent des angles de site observés (\hat{i}) par la relation :

$$I = \hat{i} + 63.66 \cdot (\text{Ha-Hz}) / D \quad (3a)$$

Dans la formule [3], on convient de prendre comme signe de la dénivellation celui de la visée (A, M) :

- ✓ Signe (+) si la visée (A, M) est ascendante ;
- ✓ Signe (-) si la visée (A, M) est descendante.

Si, au lieu des sites, on utilise la distance zénithale, la formule (3) peut encore s'écrire :

$$\text{Alt (M)} = \text{Alt (A)} + D \cdot \text{cotg} (ZA - ZM + 200) / 2 \quad (4)$$

Où ZA et ZM désignent respectivement les distances zénithales en A et en M, également réduites de repère à repère. Elles se déduisent des distances zénithales observées (Z) par la relation :

$$Z = z - 63,66(\text{Ha-Hz}) / D \quad (4a)$$

Remarque :

Lorsque le chantier est situé à plus de 1000 mètre d'altitude, on sait que la distance D déduite des coordonnées diffère sensiblement de la distance réelle. Aussi faudrait-il tenir compte de ce fait en ajoutant à ces formules précédentes le terme correctif suivant :

$$C = D \cdot \text{cotg} [z - \text{Alt (M)} / R] \quad (5)$$

Où R désigne le rayon moyen de la terre (valeur arrondie=6 400 000 m) et Alt(M) désigne la moyenne des altitudes du point visé et du point stationné. Elle sera calculée avec une approximation suffisante en ajoutant algébriquement à l'altitude du point connu la

moitié de la dénivellation approchée, soit $\frac{1}{2}D \cdot \cot g z$.

Lorsque l'inclinaison des visées dépasse de 3 grades, il convient, en outre, de corriger la distance D de manière à compenser l'altération due au système de projection.

Nous venons donc de voir les différentes formules permettant de calculer une valeur d'altitude du point M pour une seule visée de détermination.

Comme valeur de son altitude définitive on adoptera pratiquement la moyenne des résultats obtenus avec toutes les visées de détermination.

V.4.4. Etablissement des sommets de la polygonation

Les points d'appui étant mis en place et déterminés, on établira ensuite les sommets qui constituent le cheminement directeur et la polygonation de base.

Dans le cadre de leur établissement, on doit d'abord choisir sur le terrain leur emplacement en tenant compte de certaines conditions puis procéder à leur matérialisation et à leur repérage.

V.4.4.1. Conditions d'établissement

Afin d'obtenir, au cours de la détermination de la polygonation et de l'exécution du levé des points de détail, les meilleurs résultats possibles avec le minimum de difficultés, les conditions énumérées ci-après doivent être remplis pour le choix de l'emplacement des sommets de la polygonation sur le terrain :

- ➔ Pour que les angles puissent être mesurés à chaque sommet, il faut que pour chaque côté, les visées soient possibles dans les deux sens. Il n'est pas indispensable de viser le point au sol, on peut tout simplement utiliser des instruments qui permettent de matérialiser la verticale en ce point ;
- ➔ Pour que la compensation de l'écart de fermeture donne un résultat satisfaisant, il faut que les côtés soient homogènes, c'est -à-dire à peu près de même longueur, et que le cheminement soit aussi tendu que possible ;
- ➔ Pour que l'accumulation des erreurs tolérables ne donne pas un écart trop grand susceptible d'atteindre l'importance d'une faute, il faut en principe

- limiter le nombre de sommets à moins de 20 (données pratiques) ;
- ➔ Il faut que l'emplacement des sommets de la polygonation de base permette le levé des points de détail, En effet, ces points doivent être visibles d'au moins un sommet, ou plutôt qu'une partie quelconque d'une mire de 4 mètres placée en ces points puisse être visée.

V.4.4.2. Matérialisation des sommets

En terrain meuble, les sommets de la polygonation seront toujours matérialisés par des bornes parallélépipédiques en béton de 60 cm de hauteur et de 25 cm × 25 cm de section, l'axe étant constitué par un fer à béton 8mm de diamètre et 60cm de long et scellé au centre des bornes et dépassant du béton de un centimètre.

Ces bornes sont confectionnées par coulage du béton dosés 350 Kg/m³ dans un moule. Lors de l'implantation de ces bornes, il faut que leurs parties supérieures doivent araser le sol naturel et qu'elles occupent une position à peu près verticale.

Sur un sol rocheux, on le latéralisé par des piquets métalliques scellés ou entourés de glacis de béton.

V.4.4.3. Repérage des sommets

Comme son nom l'indique, cette opération consiste à repérer la position des bornes-sommets par rapport à deux bornes auxiliaires, dites bornes de repérage, à l'aide des mesures qu'on effectue entre ces bornes.

Ce repérage permettra de rétablir éventuellement les bornes-sommets détruites ou disparues ;

Deux techniques de repérage peuvent être utilisées : repérage en triangle et repérage en parallèle.

V.4.4.3.1. Repérage en triangle :

Le triangle sera constitué par les deux bornes de repérage et la borne-sommet à repérer.

Pour repérer la borne-sommet avec cette méthode il faut mesurer :

- ⊕ D'une part, les trois angles du triangle par un couple cercle à gauche, cercle à droite et, si nécessaire, on procédera à un second couple;
- ⊕ D'autre part, la longueur de ces cotés.

La reconstitution de la borne-sommet s'obtiendra par « intersection bipolaire angulaire » à partir des bornes de repérage. Il faudra faire en sorte que cette intersection soit bornée, en d'autres termes, l'emplacement des bornes de repérage devra être choisi de manière à ne pas avoir une intersection en fuseau.

La longueur des cotés n'intervient pas dans la détermination rigoureuse de la borne-sommet, elle permet seulement de localiser cette dernière.

Enfin, les bornes de repérage devront être cotées par un niveling géométrique.

V.4.4.3.2. Repérage en parallèle :

Les bornes de repérage et la borne à repérer doivent se trouver dans le plan bissecteur du trièdre formé par les plans verticaux qui passent par deux cotés consécutifs du cheminement.

Les bornes de repérage peuvent être placées de part et d'autre ou d'un même côté du sommet à repérer.

Cette technique de repérage consiste à mesurer d'une part les distances horizontales entre bornes et, d'autre part les cotes des bornes de repérage par un niveling direct.

La reconstitution des bornes-sommets se fait alors par la méthode dite « par alignement ».

Signalons, pour terminer ce paragraphe, que les bornes de repérage doivent être implantées sur un endroit bien protégé de toute destruction, étant donné leur utilité et leur importance.

V.4.4.4. Polygonale de base :

Pour la polygonale de base, les distances entre sommets pourront être mesurées :

- Soit, avec le même appareil de mesures électroniques utilisé pour le cheminement directeur ;
- Soit, par la méthode parallactique, en utilisant un stadia horizontal comportant deux voyants espacés de deux mètres et un théodolite susceptible de donner le déci milligrade en lecture direct.

L'angle parallactique entre les voyants sera mesuré par deux couples aux origines 0 et 100 grades, et la distance s'obtiendra facilement, à l'aide d'une table ou par calcul, avec la formule trigonométrique $D = \cot g a/2$ (6) (a = angle parallactique horizontal moyen).

L'erreur moyenne de la distance est donnée par $m_s = D^2/400$ (7), avec D exprimée en mètre et m_s en millimètre.

Les altitudes des sommets de la polygonale de base sont déterminées par le nivelllement géométrique ou nivellement direct, à l'aide d'un niveau automatique de précision de marque SPECTRA PRECISION AL 220, en s'appuyant sur les Repères de Nivellement Général de Madagascar (RNGM). Ce niveau fonctionne avec deux mires et deux crapauds métalliques et offre une précision de l'ordre de 5mm/Km.

V.4.4.5. Détermination altimétrique des sommets de la polygonale de base :

On part du Repère de Nivellement Général de Madagascar noté RNGM1 qui a pour altitude $Z=7.791\text{m}$ et on situe près du bâtiment des Postes et Télécommunications dans la ville de Mananara-Nord. Et à chaque fois qu'on rencontre d'autres Repères de Nivellement on fait la fermeture altimétrique. Si cette fermeture est inférieure à la tolérance, on continue mais si la fermeture est hors tolérance, on refait les visées et ainsi de suite.

Pour la traversée des zones non cheminables, on doit utiliser la méthode des visées réciproques.

Enfin, en vue de rechercher les fautes éventuelles de lecture ou de pouvoir procéder aux vérifications permettant de s'assurer de l'exactitude des calculs des trois différences

égales l'opérateur doit obligatoirement, en chaque station, lire le fil nivelleur et des deux fils stadiométriques.

Après le Repère de Nivellement RNGM1, on a rencontré un deuxième Repère de Nivellement Général noté RNGM2 qui a comme altitude Z=9.590m.

V.4.4.6. Tolérance altimétrique

On sait que :

$$T_A = 2.7 \times E_{mq} \times \sqrt{L} \quad (8) \quad [2]$$

Avec :

T_A : Tolérance altimétrique exprimée en mm et L en Km

E_{mq} : Erreur moyenne quadratique du niveau automatique NPL 220 ($E_{mq} = 5\text{mm/km}$)

L : Longueur totale du cheminement

V.4.4.7. Résultats obtenus

V.4.4.7.1. Tracé en plan

Le tracé en plan d'une route est constitué d'une succession de courbes et d'alignements droits séparés ou pas par des raccordements progressifs. Il vise à assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort tout en s'intégrant au mieux dans la topographie du site.

Les alignements droits sont les éléments de la polygonale de base d'un cheminement topographique. Le dimensionnement des rayons du tracé en plan et des devers correspondant est lié à la dynamique des véhicules ; aux conditions de contact pneu-chaussée ; au confort et à la sécurité de l'usager.

V.4.4.7.2. Profil en long

Un profil en long est la représentation d'une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire. Le profil en long est complété par des profils en travers qui sont des coupes verticales perpendiculaires à l'axe du projet. Leur établissement permet en général le calcul

des mouvements de terres (cubature) et par exemple, permet de définir le tracé idéal d'un projet de manière à rendre égaux les volumes de terres excavés avec le volume de terre remblayés. L'informatique joue ici un rôle déterminant puisque ces calculs sont répétitifs. En effet, il faut plusieurs essais lors d'une recherche de tracé avant d'arriver au tracé définitif.

Les échelles de représentation peuvent être différentes en abscisse et en ordonnées (en rapport de l'ordre de 1/5 à 1/10) de manière à souligner le relief qui ne peut pas apparaître sur un projet de grande longueur.

V.4.4.7.3. Profils en travers

Les profils en travers (section transversales perpendiculaires à l'axe du projet) permettent de calculer les paramètres comme la position des points théoriques d'entrée en terre des terrassements ; l'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel ; les pentes des talus de déblai et de remblai ; les cubatures (volumes des déblais et des remblais).

Le profil en travers est représenté en vue de face pour une personne qui déplacerait sur l'axe du projet de l'origine à l'extrémité du projet. La voie de gauche doit donc être sur la partie gauche du profil.

V.5. Proposition si on effectue un levé GPS bi fréquence

L'équipe topographique de la société GEOINFO a utilisé la station totale pour déterminé la polygonation.

Ce paragraphe nous montre comment faire si on veut déterminer la polygonation à partir d'un levé GPS bi fréquence.

Voici les procédures à suivre pour réaliser un levé GPS bi fréquence :

- On doit d'abord caler le GPS au point géodésique national existant aux environs de la zone ;
- On pique deux points tous les cinq kilomètres ;
- On applique le cheminement encadré sur ces cinq kilomètres.

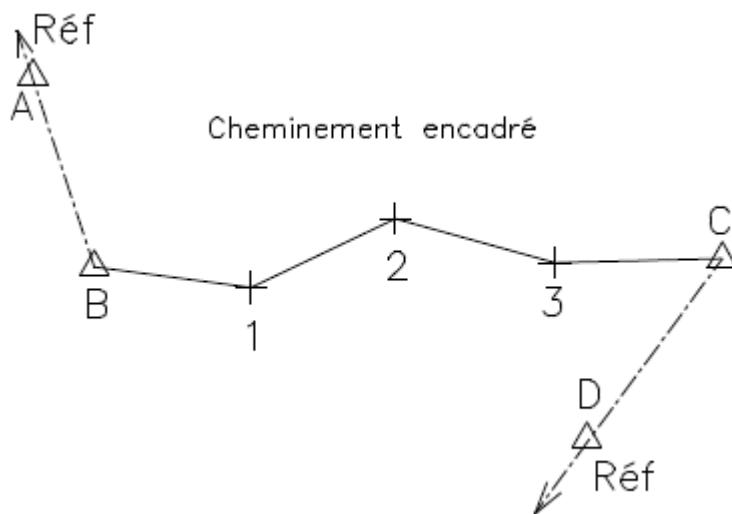


Figure 9 : Cheminement encadré

Un cheminement encadré c'est un cheminement qui arrive sur un point connu différent du point de départ.

Fermeture angulaire d'un cheminement encadré

Les données sont : A, B, C et D, donc aussi G_{AB} noté G_d , et G_{CD} noté G_f .

On calcule de proche en proche tous les gisements de tous les côtés pour arriver au gisement d'arrivée G_{CD} connu qui sert de contrôle des erreurs de lecture d'angles.(voir figure 10).

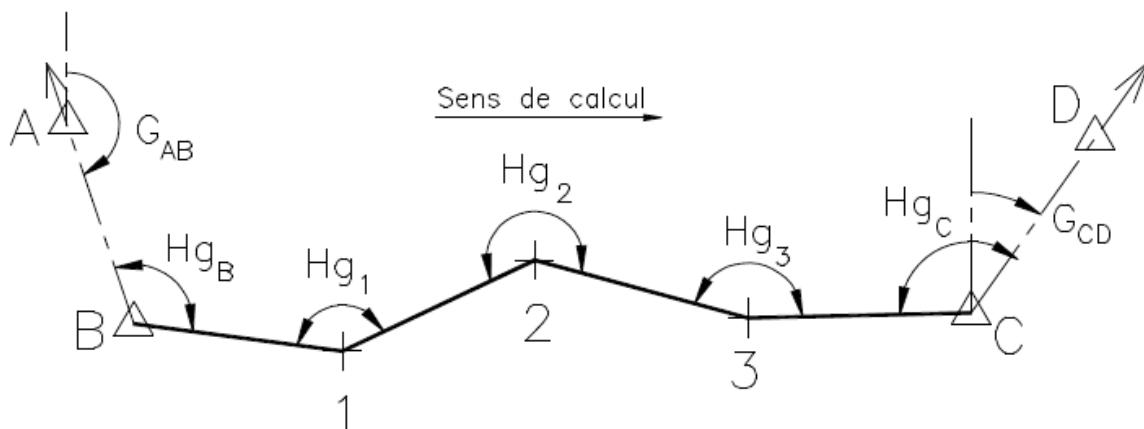


Figure 10 : Méthode de calcul du cheminement encadré

Voici les démarches à faire pour faire le calcul :

$$G_{B1} = G_{AB} + Hg_B - 200$$

$$G_{1-2} = G_{B1} + Hg1 - 200$$

(9) [3]

etc.

$$G'_f = G_{3C} + HgC - 200$$

G'_f : gisement d'arrivée observé (G'_{CD})

Si l'on fait la somme de ces équations membre à membre, on obtient :

$$G'_f = G_d + \sum (Hg_j) - (n + 1) \times 200$$

(10) [3]

n : nombre de côtés de la polygonale

$\sum (Hg_j)$: somme de tous les angles de gauche

Remarque : Si le résultat G'_f est négatif, ajoutez 400 gon autant de fois nécessaires.

L'erreur de fermeture angulaire f_a est alors la différence entre ce gisement de fermeture observé et le gisement de fermeture théorique G_{CD} , noté G_f , issu des coordonnées des points connus C et D (les deux points piqué par GPS).

$$f_a = G'_f - G_f$$

(11) [3]

Chapitre VI : Analyse de la Conception des infrastructures routières

En matière de conception géométrique des infrastructures routières, la prise en compte de la sécurité routière est assurée par des normes et des réglementations à deux niveaux :

- facteurs à caractères très généraux : qui sont les facteurs liés au véhicule automobile (caractéristiques physiques et dynamiques, état de fonctionnement) et les facteurs liés au comportement humain (réactions psychophysiologiques de l'homme)
- facteurs locaux : ce sont les facteurs liés aux caractéristiques du milieu (climat, trafic, aspects sociaux et économiques)

VI.1. Normes routières

Les normes routières sont celles prises pour assurer, une meilleure utilisation de la route, la stabilité des véhicules et leur sécurité.

Voici les paramètres à tenir compte pour respecter les normes de conception routière :

- ➔ Distance de visibilité ;
- ➔ Vitesse de référence ;
- ➔ Vitesse de V85 ;
- ➔ Dévers ;
- ➔ Largeur de chaussée ;
- ➔ Zone de récupération ;
- ➔ Sur-largeur ;
- ➔ Visibilité ;
- ➔ Rayon de raccordement ;
- ➔ Alignements droits ;
- ➔ Infrastructures de protection.

VI.1.1. *Distance de visibilité*

La distance de visibilité est la distance d'arrêt **da** sur l'arrière d'un véhicule arrêté sur

sa voie.

Les contraintes de conception ne permettent cependant pas d'atteindre cet objectif en toute circonstance. Néanmoins, une étude d'ensemble, intégrant en amont cette sujexion de visibilité, permet de réduire le nombre et l'importance de telles situations.

Par contre, cette distance d'arrêt doit être assurée à l'approche de points ou zones présentant un risque particulier de ralentissement ou de retenue des véhicules : réduction du nombre de voies, points d'accès, gares de péage, ouvrages d'art non courants, tunnels,...

VI.1.1.1. Distance d'arrêt (da)

C'est la distance conventionnelle nécessaire à un véhicule pour passer de sa vitesse initiale à la vitesse nulle. Elle ne correspond pas aux données des constructeurs automobiles et est fonction de la vitesse initiale, de la déclivité et du coefficient de frottement longitudinal (valeur comprise entre 0 et 1). Ce dernier, de par ses hypothèses de calcul, offre des marges de sécurité importantes pour la majeure partie des situations.

$$D_f = \frac{v^2}{2g(c_{fl} \pm p)} \quad (11) \quad [4]$$

v = vitesse en mètres par seconde

g = 9,81 m/s² (accélération de la pesanteur)

c_{fl} = coefficient de frottement longitudinal

p = déclivité du profil en long (en m/m)

VI.1.1.2. Distance de visibilité de dépassement

Pour les routes bidirectionnelles, quel que soit le niveau de vitesse, une distance de 500 m de visibilité permet généralement d'assurer des dépassements sûrs. Le point d'observation est situé à 1 m de hauteur sur l'axe de la chaussée et le point observé est situé à 1m situé sur l'axe de la chaussée pour une route à 3 voies ou sur l'axe de la voie de sens inverse pour une route de 2 voies.

VI.1.2. Vitesse de référence

C'est la vitesse qui peut être pratiquée en tout point de la section considérée. Elle est donc imposée par les zones dont les caractéristiques géométriques sont les plus contraignantes et elle permet ainsi de définir les caractéristiques minimales d'aménagement de ces zones particulières.

Pour éviter tout effet de surprise, la vitesse de référence doit être la même sur de longues sections (50 km ou plus) et la transition entre deux sections de vitesses de référence différentes doit être perceptible.

Les vitesses sont dans l'ensemble peu influencées par les panneaux de limitation de vitesse, sauf s'ils sont renforcés par des feux clignotants.

VI.1.3. Vitesse de V85

C'est la vitesse au-dessous de laquelle roulent 85% des usagers. On peut mesurer la valeur de V85 sur les itinéraires existants, elle ne peut être qu'estimée pour les projets neufs. La vitesse V85 en fonction du nombre de voies et du rayon de courbure et elle sert notamment aux calculs de la distance d'arrêt et de la distance d'évitement. La vitesse V85 adoptée est de 90Km/h.

$$2v \text{ (5 m)} : V85 = 92 / (1 + 346 / R^{1,5})$$

$$3v \text{ et } 2v \text{ (6 et 7 m)} : V85 = 102 / (1 + 346 / R^{1,5})$$

$$2x2 v : V85 = 120 / (1 + 346 / R^{1,5})$$

VI.1.4. Dévers

Le dévers ou pente transversale permet de favoriser l'évacuation des eaux de surface.

Dans les rayons de courbure faibles, il contribue à l'équilibre dynamique des véhicules. Toutefois, cette contribution reste limitée et sa valeur est donc plafonnée (généralement à 7%). Au-delà de cette valeur plafond, d'autres problèmes surviennent et notamment des difficultés constructives.

Ce maximum doit être réduit dans certains cas comme par exemple les zones enneigées ou soumises à verglas fréquent ainsi que les zones où la pente en profil en long est déjà forte.

VI.1.5. Largeur de chaussée

Il n'y a pas de largeur minimale réglementaire pour une chaussée. Cette valeur doit être retenue en fonction du type de véhicules circulant ou attendus sur l'itinéraire et des vitesses prévues. En ce qui concerne le véhicule, le code de la route a fixé les dimensions maximales des véhicules à 2,60 m hors rétroviseur : ces derniers peuvent faire une saillie de 20 cm au-dessus de 1,90 m.

En pratique la plupart des véhicules légers n'excèdent pas les largeurs suivantes :

- Véhicules légers : 1,70 mètre
- Véhicules types « monospace » : 1,90 mètre
- Véhicules « 4X4 » : 2,20 mètres
- Camping-car : 2,30 mètres

Pour les voiries existantes de largeur de chaussée comprise entre 4 et 6 m, il est important de noter que les niveaux de vitesse pratiquée sont très sensibles aux largeurs de route et en conséquence, toute intervention en matière d'élargissement de chaussée devra tenir compte de l'impact en matière d'augmentation des vitesses.

VI.1.6. Zone de récupération

La zone de récupération est de fait multifonctionnelle : les piétons peuvent y marcher et les vélos peuvent y circuler. Et aussi elle permet à un conducteur de rétablir son véhicule après la déviation subite. Le dimensionnement de cette zone de récupération est fortement dépendant des vitesses pratiquées et sa largeur dépend du type de voies et des possibilités : de 0.25m à 2.50m

Dans tous les cas, il conviendra de rechercher la meilleure tenue dans le temps des qualités de sécurité de l'accotement et proscrire toute différence de niveau avec la chaussée.

Il faut éviter de donner à l'usager le sentiment d'une chaussée trop large favorisant les vitesses excessives. Sur des sections de tracé monotone, l'implantation d'une bande sonore entre la chaussée et la zone de récupération peut également s'avérer intéressante.

VI.1.7. Sur-largeur

Dans les courbes de rayon inférieur à 200m, une sur-largeur est préconisée dans les virages. Elle vaut normalement, par voie de circulation 50/R en mètres, R étant le rayon de courbure exprimé en mètres. Cette sur-largeur peut être ramenée à 25/R pour les routes en relief difficile.

VI.1.8. Visibilité

VI.1.8.1. Visibilité en angle saillant

En fonction de la vitesse **V**, on considère les rayons **R** qui permettent d'assurer la visibilité derrière l'angle saillant sur un obstacle légèrement supérieur à **x** à la distance d'arrêt **d**, les yeux du conducteur étant situés à une hauteur **h**.

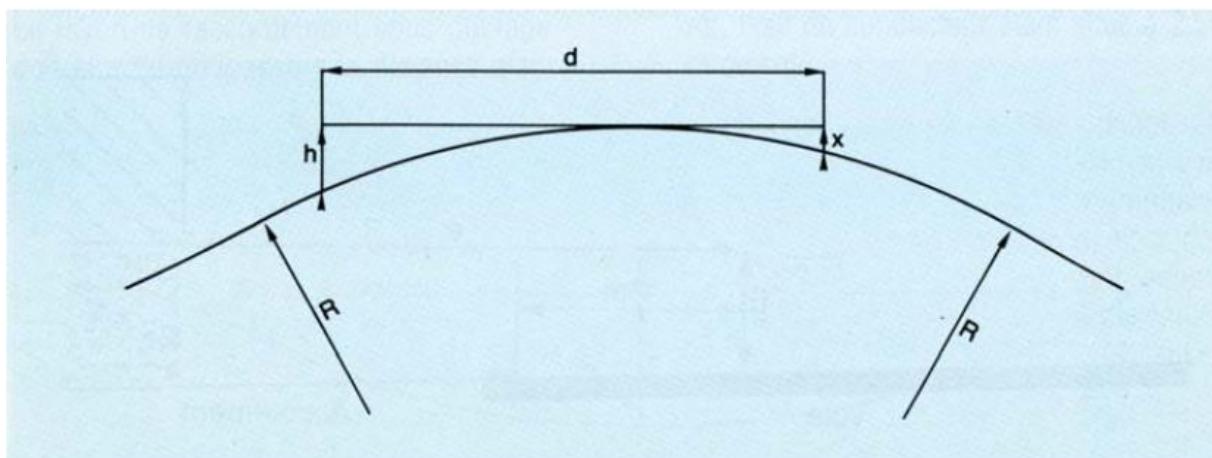


Figure 11 : Visibilité en angle saillant

VI.1.8.2. Visibilité en courbe

La distance d'arrêt doit être assurée en courbe par dégagement latéral d'obstacles visuels sur une bande de largeur e , de façon à ce que l'œil du conducteur (1 m du sol) puisse percevoir un véhicule à l'arrêt (1 m du sol).

Cette largeur $e = d^2 / 8R$ est décomposée à partir de 2 m du bord droit de la chaussée dans le cas d'une courbe à droite et de 1,50 m du bord gauche de la chaussée dans le cas d'une courbe à gauche.

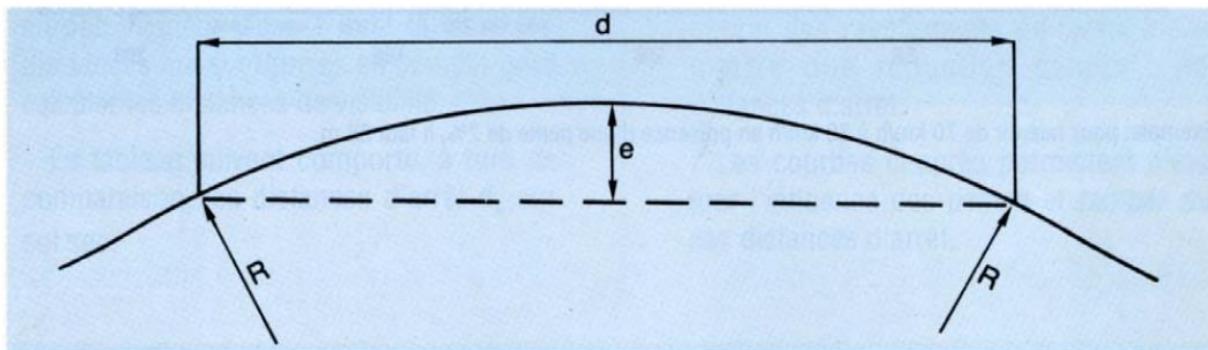


Figure 12 : Visibilité en courbe

VI.1.8.3. Visibilité sous ouvrage

Le rayon de raccordement sous ouvrage doit être tel qu'il assure la distance d'arrêt, l'œil du conducteur étant situé à 2,50 m du sol.

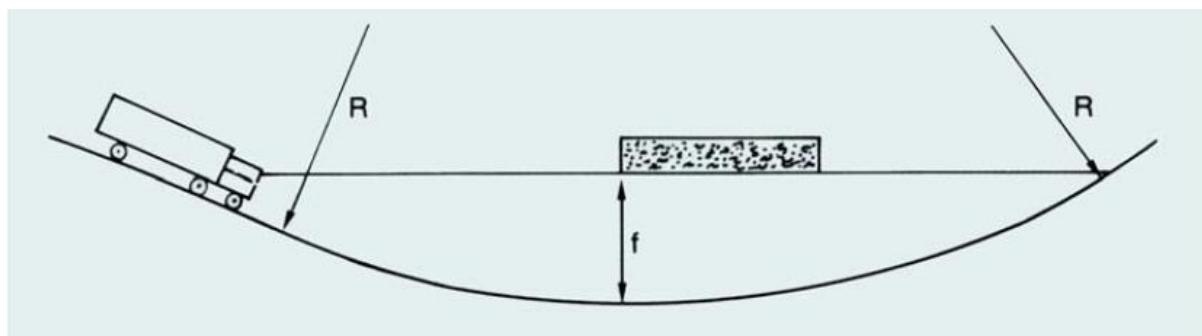


Figure 13 : Visibilité sous ouvrage

Le tableau ci-dessous donne les valeurs du rayon en fonction de la distance d'arrêt associée à la vitesse V et de l'ouverture f :

Tableau 9 : Valeur du rayon en fonction de la distance d'arrêt [m]

f V [km/h]	60	80	100
3,5 m	260 m	600 m	1 400 m
4 m	220 m	490 m	1 150 m
4,5 m	185 m	420 m	1 000 m

Source : ARP –SETRA

VI.1.8.4. Visibilité aux points d'entrée et de sortie

La visibilité sur les entrées et les sorties est une condition de leur bon niveau de fonctionnement et de sécurité.

Elle s'apprécie pour un conducteur, dont l'œil est positionné à 2 m du bord droit de sa voie et à 1 m du sol, circulant à la vitesse prescrite.

Aux points d'accès, on assurera pour les usagers de la chaussée principale concernés par l'accès, des distances de visibilité au moins égales aux distances définies ci-après.

Pour une sortie, on respectera deux conditions minimales :

- distance de perception 1 (dp1) sur les panneaux d'avertissement et les panneaux de pré signalisation. Elle correspond à la distance parcourue en 3 secondes à la vitesse prescrite.
- distance de perception 2 (dp2) sur le panneau de signalisation avancée, tout en assurant qu'à cette distance l'usager percevra simultanément la balise ($h = 1 \text{ m}$). Elle correspond à la distance parcourue en 6 secondes à la vitesse prescrite, pour permettre la décision.

Tableau 10 : Les conditions à respecter pour une sortie

V (km/h)	50	70	90	110
dp1 (m) 3v	45	60	75	90
dp2 (m) 6v	85	120	150	185

Source : ARP –SETRA

VI.1.9. Rayon de raccordement

Le rayon de courbure est inversement proportionnel au dévers. Le rayon non déversé qui assure cette même stabilité en l'absence de dévers.

- Les faibles rayons sont néfastes au confort de l'usager et à la sécurité à l'extrémité d'un alignement droit ;
- Trop de grands rayons nuisent à la sécurité des dépassements tout en favorisant les vitesses élevées. Il est préférable de recourir à des alignements droits et des courbes moyennes ;
- Une courbe à faible rayon après une succession de grands rayons pose des problèmes de sécurité dans la mesure où l'usager s'attend à une certaine homogénéité de l'itinéraire.

VI.1.9.1. Raccordements progressifs

La longueur de ces raccordements est limitée afin de faciliter l'appréciation de la courbe finale par l'usager notamment en cas de faible rayon. Il convient aussi d'éviter des rayons de raccordement trop réduits aux points bas, pour des raisons de confort et de sécurité.

Pour assurer les conditions de stabilité du véhicule et le confort dynamique des usagers, les courbes circulaires et les alignements droits sont reliés par des courbes clochoïdales. Comme il s'agit d'une route à deux voies, la longueur maximale d'un raccordement clochoïdal a été fixé égale à 67 mètres.

Il est nécessaire de prévoir des zones de raccordement entre les alignements droits

et les courbes ainsi qu'entre des courbes de rayon différent, à la fois pour permettre de passer progressivement d'un profil en toit à un dévers et pour éviter une variation trop rapide de la force centrifuge. Dans ces zones, le raccordement se fait en général au moyen d'une courbe spirale.

Le tableau ci-après montre les valeurs admises dans l'ARP

Tableau 11 : Longueur de la clohoïde

Profil en travers	Longueur de la clohoïde
Route à 2 voies	Inf ($6R^{0.4}$, 67 m)
Route à 3 voies	Inf ($9R^{0.4}$, 100 m)

Source : ARP –SETRA

VI.1.10. Alignements droits

On évite les sections en plan rectilignes de trop grande longueur, c'est-à-dire d'une longueur supérieure à 2 à 3Km. Elles peuvent être source d'accidents pour deux raisons : les longs alignements droits sont favorables aux éblouissements par les phares de nuit et ils créent chez le conducteur une certaine torpeur c'est-à-dire le ralentissement des fonctions vitales, la diminution de la sensibilité et de l'activité sans perte de conscience.

Il faut éviter un virage serré après une longue ligne droite, ainsi qu'une courte ligne droite entre deux courbes lorsque celles-ci tournent dans le même sens.

Donc, entre deux courbes successives de rayon R1 et R2, l'équation suivante $0.67 < R1/R2 < 1.5$ est à respecter sauf en cas de rayons $> 500\text{m}$ et deux courbes de même sens doivent être séparées par une longueur d'alignement droit.

VI.1.11. Infrastructures de protection.

Les équipements de sécurité peuvent se regrouper en 3 catégories sur les routes. Il s'agit de glissières de sécurité, des ralentisseurs de vitesse, des garde-corps sur les ouvrages d'art.

- Les ralentisseurs de vitesse sont des dispositifs que l'on place sur la chaussée pour permettre de diminuer la vitesse en cas de modification du tracé et la largeur de la chaussée, exemple ponts et dalots et aussi en entrant de quelques zones comme des écoles, des hôpitaux.
- Les garde-fous ou garde-corps sont construits sur les ouvrages d'art (ponts et dalots) pour assurer la sécurité des piétons et des véhicules pour qu'en cas d'accident, les véhicules ne tombent pas dans les ravins et ne causent pas davantage de victimes.
- Les glissières de sécurité sont des dispositifs métalliques de protection placées en bordure d'une chaussée pour empêcher la sortie des véhicules. Ils permettent aussi de lutter contre le dérapage des véhicules en virage ou en zone de remblais, de les bloquer et de les ramener sur la chaussée

VI.1.12. Caractéristiques techniques

VI.1.12.1. Paramètres fondamentaux

La construction routière est régie par des normes techniques préétablis. Les paramètres géométriques dans ces normes sont dégagés à partir des expériences ou la déduction des constatations statiques des évènements produites dans le temps. Mais ces normes diffèrent selon le pays et les entités qui les publient.

Les normes de conception des routes sont intégrées dans différents logiciels comme Covadis, Mensura, Piste,... Les paramètres fondamentaux de ces normes de conception routière admise dans l'instruction sur l'Aménagement des Routes Principales du ministère de l'équipement français donnés dans le tableau suivant :

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES | IGF

Tableau 12 : Paramètres Fondamentaux

DESIGNATION DU PARAMETRE			SYMBOLE ET UNITE	CATEGORIE DE ROUTE				
Vitesse de référence			V_r (km/h)	40	60	80	100	120
TRACE EN PLAN	Dévers maximum		δM (%)	7	7	7	7	7
	Rayon en plan RH	Minimum (dévers δM)	R_{Hm}	40	120	240	425	665
		Non déveré	R_H	400	600	900	1300	1800
PROFIL EN LONG	Déclivité maximale en rampe			v_m(%)	8	7	6	5
	Rayon en angle saillant RV(m)	Chaussée Unidirectionnelle	Minimum	RV_{m1}	500	1500	3000	6000
		Chaussée bidirectionnelle (Route à 2 ou 3 voies)	Minimum	RV_{m2}	500	1600	4500	10000
		Minimum		RV_m	700	1500	2200	3000
<i>Source : ARP –SETRA</i>								

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES | IGF

Tableau 13 : Les différentes catégories des routes

Description	Routes multifonctionnelles (routes et artères inter urbaines)		Transit (routes express à une chaussée)		Liaison (autoroutes)			Voies rapides urbaines à caractère routier		Autres voies rapides urbaines	
Catégorie	R60	R80	T80	T100	L80	L100	L120	A80	A100	U60	U80
Cas d'emploi	relief vallonné	relief peu vallonné	Relief vallonné	relief peu vallonné	Site difficile	Alternative à L120	Restriction à une vitesse de référence de 140km/h	Relief vallonné	relief peu vallonné	Relief vallonné	relief peu vallonné
Nombre de chaussées	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Nombre de voies	1 ou 2	2 ou 3	2 ou 3	2 ou 3	2	2 à 3	2 à 3	2	2	2	2
Vitesse de référence en km/h	90 ou 110		90		130, 110 ou moins	110 à 130		90		70	

Source : ARP –SETRA

Comme Madagascar suit la norme de conception routière française réalisée par LOUIS BERGER International pour la réhabilitation de la RN5, on a retenue comme vitesse de référence du futur tracé à 60 km/h. Par conséquent, la conception du tracé en plan et du profil en long adopte les paramètres indiqués dans le tableau ci-dessus correspondants à cette vitesse de référence.

De plus, le Ministère des transports, des Travaux Publics et de l'Aménagement du territoire de l'époque a classifié les routes à Madagascar en 6 types selon le tableau ci-après.

Tableau 14 : Réseau routier adapté au trafic à l'horizon 2020

Type	Caractéristiques (m)	Largeur totale (m)	Chaussée (m)	Accotement (m)
R1	Route Express 2x2voies	22.00-25.40	2x7.30	2x2.40
R2	Route primaire améliorée			
R3	Route primaire	10.50-12.80	7.30	2x (1.80-2.40)
R4	Route secondaire	8.50-10.50	6.60	2x (1.50-1.80)
R5	Route tertiaire	6.75-8.50	5.50	2x (0.75-1.50)
R6 et R7	Autres routes	4.00-6.75	4.00-5.00	2x (0.50-0.75)

(Source : PNT/Ministère des Transports, des Travaux Publics et de l'Aménagement du Territoire)

La classe « R2 » est une route à 2 voies sur la majeure partie, incluant jusqu'à 30% du linéaire des sections à 4 voies permettant un dépassement

La classe « R6 » est une route revêtue et « R7 » représente une route non revêtue.

LOUIS BERGER INTERNATIONAL en tant que Maître d'œuvre de la réhabilitation de la RN5 a fixé dans le CCTP les principales caractéristiques du profil en travers-type pourtant classé de type «R6» par le Ministère des Travaux Publics tels que :

- ➔ La largeur du revêtement de la chaussée mesurée ;
- ➔ Pente de la chaussée en toit :

- Chaussée revêtue ;
- Accotements ;
- ➔ Pente de la chaussée déversée :
 - Accotement du côté bas du devers ;
 - Accotement du côté haut du devers ;
- ➔ Largeur de la couche de base (chaussée + accotements)
 - 7.00 m dans le cas général.

Cette largeur est variable dans les agglomérations où elle est fonction de l'emprise disponible. Cette largeur variable s'applique également lorsque la largeur de la plate-forme existante est inférieure à 7.00m.

VI.2. Analyse proprement dite de la conception:

VI.2.1 Généralités sur l'analyse de la conception

L'analyse de la conception routière consiste à discuter et à expliquer la conception faite à propos d'une route. Le plus souvent, la conception ne suit pas la norme au niveau des rayons de courbures et aux angles saillants et entrants Ainsi, on doit analyser et étudier chaque axe afin de savoir la raison de la conception pour ceux qui ne suivent pas la norme et surtout afin de suggérer des solutions aux problèmes causés par la conception.

VI.2.2 Quelques exemples d'analyse

VI.2.2.1 PK 48+456.35 :

Cette figure nous montre un extrait de l'axe n°20 se trouve au PK 48+456 entre Anove-Antanambe. Sur cette partie, la valeur du rayon de courbure est de 50m, ce qui est inférieure à la norme (120m). Cela signifie que cette partie ne respecte pas la norme routière française.

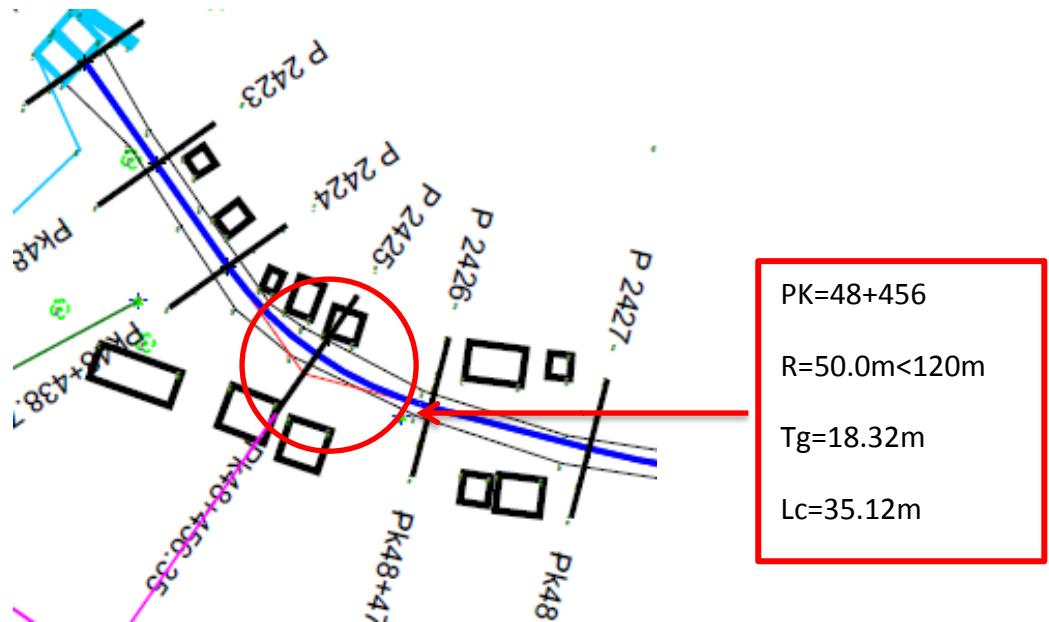


Figure 14 : Extrait du tracé en plan

Comme on voit sur la figure ci-dessus, il y a des agglomérations de part et d'autre de la route. Ainsi, si le projeteur veut suivre les règles de conception, on doit dégager ces habitations pour que le rayon de courbure normal soit atteint. Cela provoquera un mécontentement des villageois.

VI.2.2.2 PK 49+166

Cette figure montre le même cas de figure précédente, le rayon de courbure est inférieur à la norme.

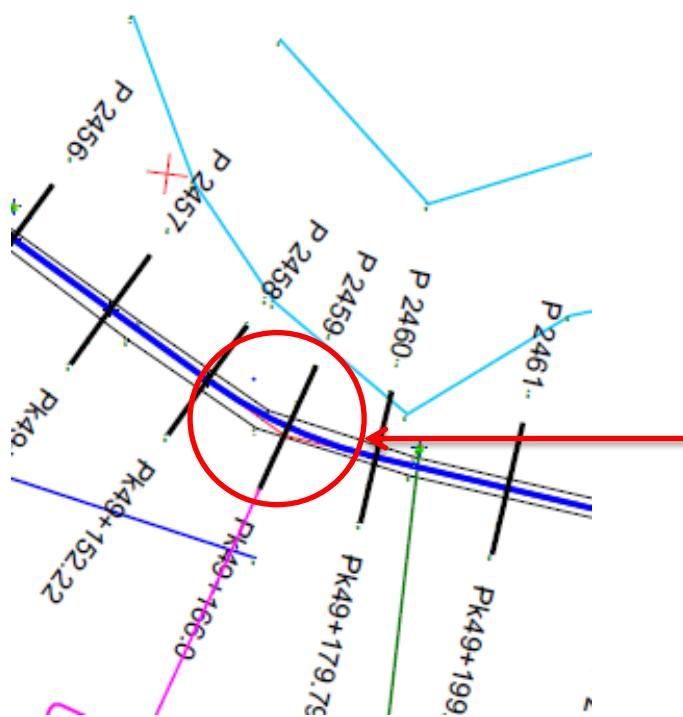


Figure 15 : Extrait du tracé en plan

Comme la figure nous montre à la partie amont, il y a un cours d'eau qui est tout près de notre tracé. Ainsi, le concepteur ne pourra pas suivre la norme faute de la présence du cours d'eau. Sinon le tracé atteint le cours d'eau.

VI.2.2.3. PK 49+678

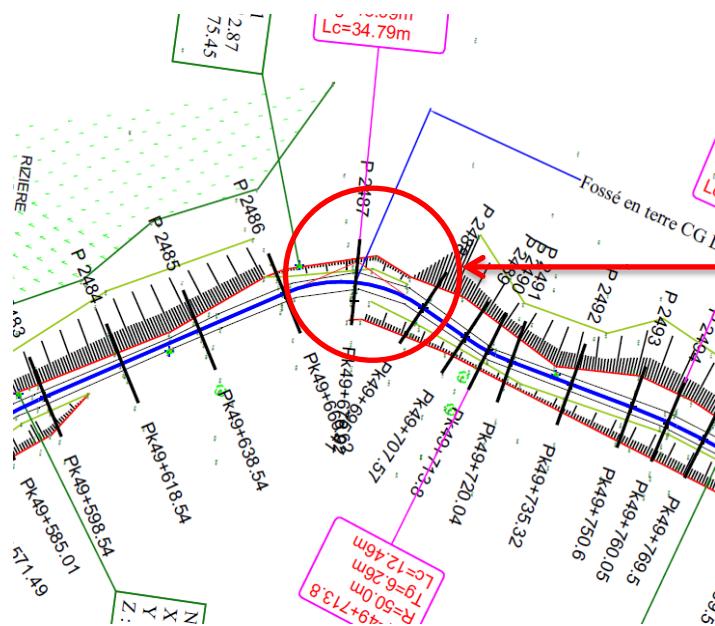


Figure 16 : Extrait du tracé en plan

Au PK 49 + 678 le rayon de courbure en tracé en plan est de 35.0m qui présente un grand virage. La norme de conception est violée car il y a des grands talus sur ces zones.

Cette zone du PK 49+678 représente une zone très dangereuse. On aura dû mettre des panneaux de signalisation pour indiquer en avance qu'il y aura de virage et des casseurs de vitesse pour que les véhicules se ralentissent à l'entrée de ce virage.

VI.2.3. Solutions aux problèmes

Voici les solutions :

- Installer des panneaux de signalisation à 300 m avant qu'il y a risque d'accident ;
- Construire un ralentisseur de vitesse à 100 m à l'entrée et à la sortie du virage.

Chapitre VII : Conception du projet sur le logiciel AutoPISTE

VII.1. Généralités sur le logiciel :

Le logiciel AutoPISTE est intégré dans le logiciel de Covadis, c'est un logiciel destiné aux ouvrages routiers.

Le logiciel Covadis est fourni par Géomédia s.a. qui est une société spécialisée en topographie et infrastructure. Covadis est un logiciel complet et performant de calculs topométriques et de géocodification de levés, on peut l'exploiter pour la production de plans topographiques et surtout la conception d'un projet routier.

VII.2. Axe en plan

Tout d'abord, démarrer le logiciel Covadis puis cliquer sur **Autopiste** et choisir **nouveau projet**.

Pour faire le dessin de l'axe en plan, on clique sur **axe en plan** puis choisir la fenêtre **droite** puis **création droite**.

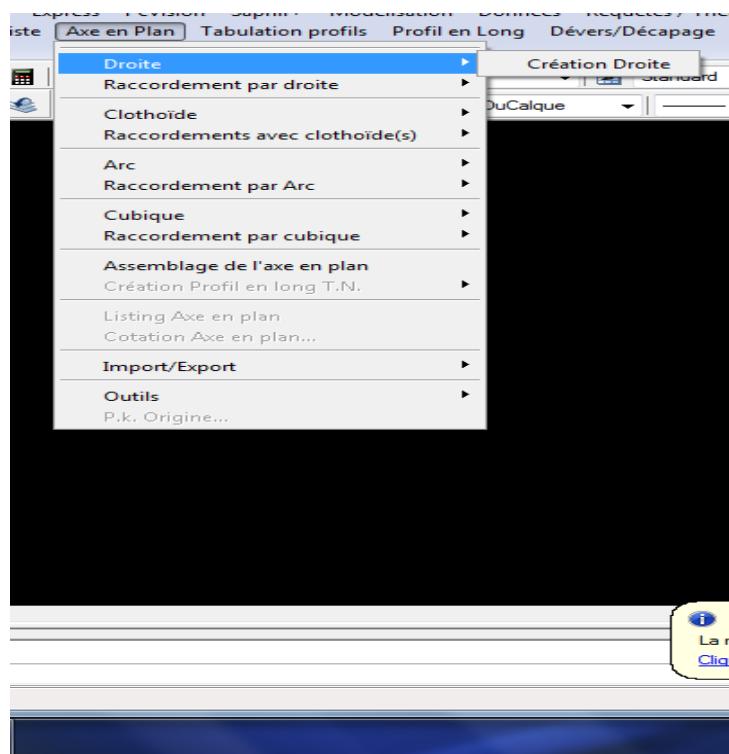


Figure 17 : Fenêtre de l'axe en pour créer une droite

On raccorde les droites créées par la fenêtre **raccordement par arc** et puis on clique sur **droite droite avec rayon**. Cette étape consiste à assembler les droites qu'on a choisi sur

l'axe afin de déterminer un nouveau tracé.

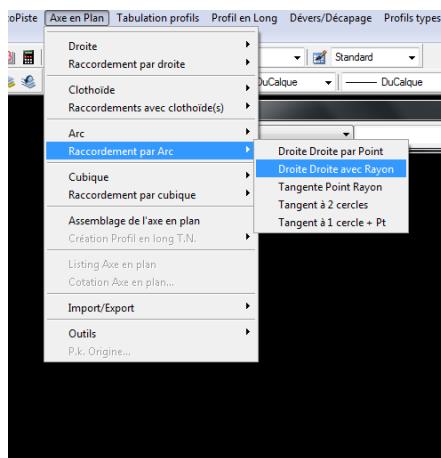


Figure 18 : Fenêtre de raccordement

VII.3. Tabulation de l'axe

La tabulation de l'axe sert à implanter les axes des profils en travers. Tout d'abord, on clique sur **tabulation profils**. Une fenêtre s'ouvre et on clique sur **largeur de profil**.

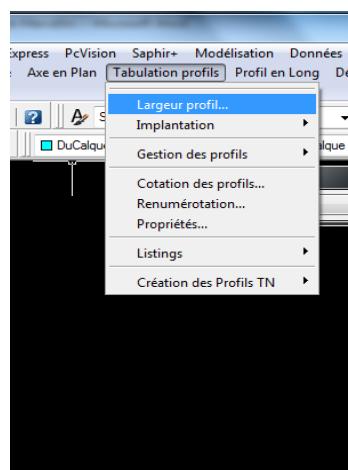


Figure 19 : Fenêtre de tabulation profil

Après, on définit la largeur des profils, c'est-à-dire à quelle distance par rapport à l'axe de la route, ici on a choisi 10 m de gauche à droite de cette valeur.

Ensuite on choisit les distances entre ces profils, le concepteur à son propre choix, dans notre cas cette distance est de 50 m.

Enfin on exécute les autres sous menu comme cotation des profils, renumérotation et ainsi de suite.

Ces actions ont pour but de créer les profils en travers du projet, les interpoler avec l'axe en plan, le terrain naturel et le MNT.

VII.4. Dessin du profil en Long

Le profil en long du terrain naturel ne possède pas encore la courbe du projet. Cette courbe est créée à partir d'une suite d'éléments de types pente et rampes, paraboles, arcs, cubique et de raccordements.

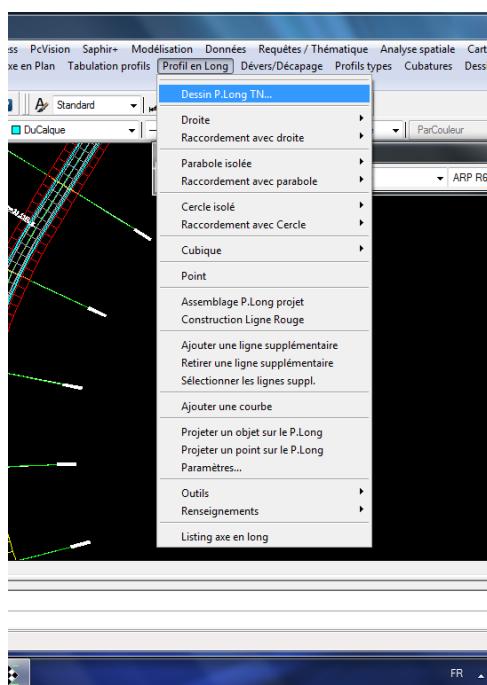


Figure 20 : Fenêtre du dessin du profil en long terrain naturel

Pour le dessin du profil en long on clique sur **Dessin P. long TN** et on obtient une dessin, il est à noter que l'échelle en longueur et en hauteur du profil est en mode par défaut, et c'est au Concepteur de les modifier selon son Choix.

Le type de la route à concevoir est de catégorie R60, le logiciel propose une aide à la Conception des éléments du profil en long.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES | IGF

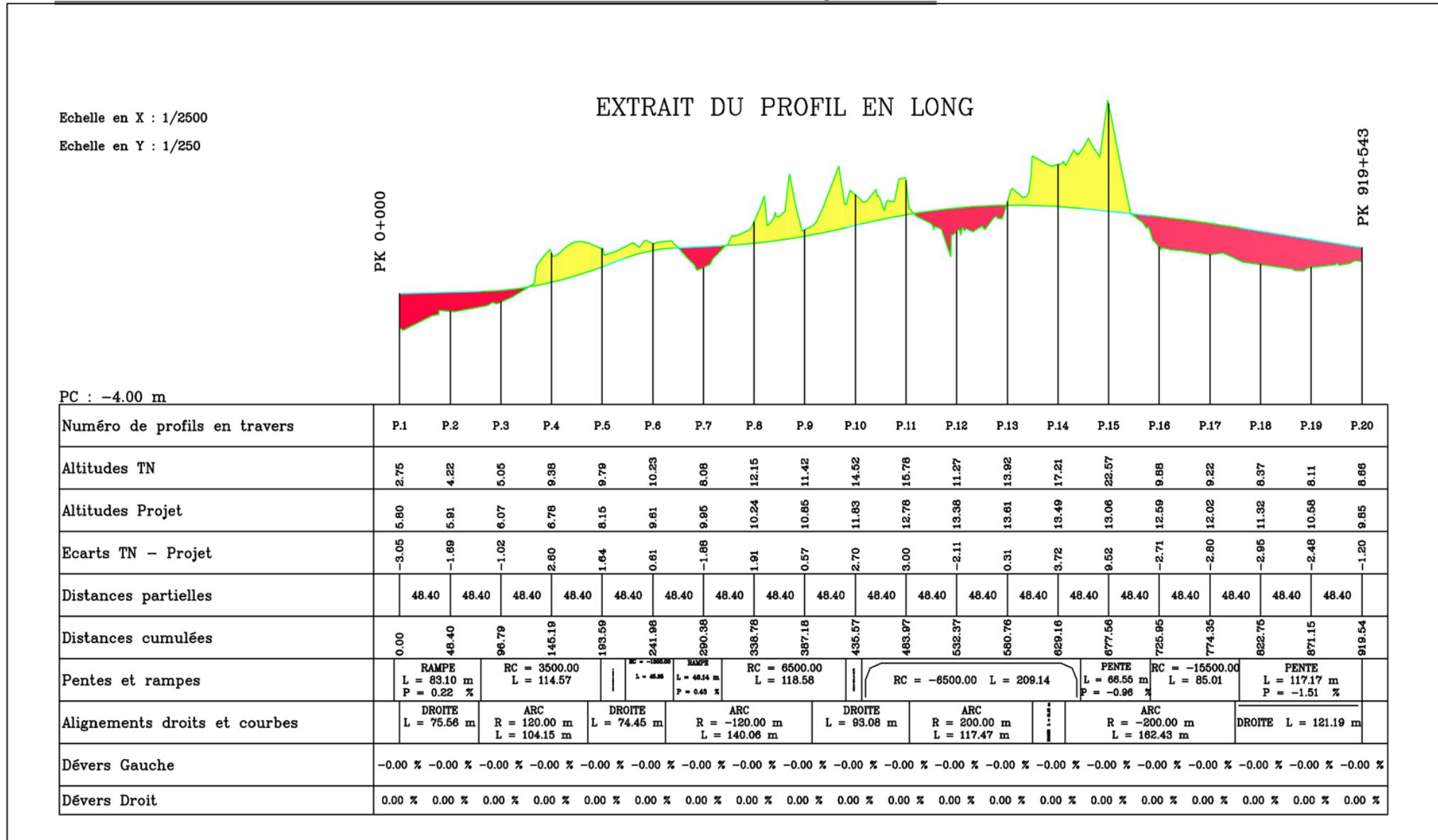


Figure 21 : Extrait du profil en long

VII.5. Conception transversale

Cette étape consiste à concevoir les éléments constitutifs du profil en travers de la méthode de création des profils types par couches, la méthode est rapide où les éléments constitutifs de la chaussée sont déjà paramétrés pour des projets routiers de grande envergure.

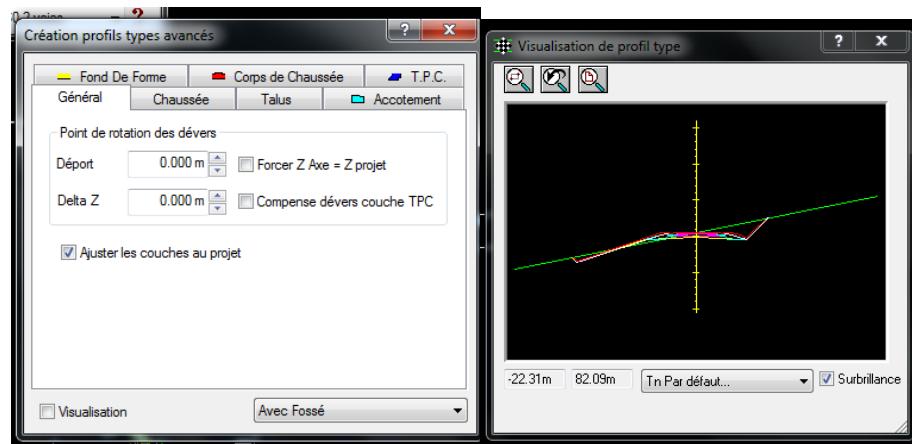


Figure 22 : Profil types

Quelle que soit la méthode de définition pour les détails du profil en travers, les dimensions de différentes couches, le logiciel propose ainsi d'insérer des éléments de type Terre-Plein Central (TPC).

Après le paramétrage du profil, il faut interpoler et affecter les profils types avec le profil en long.

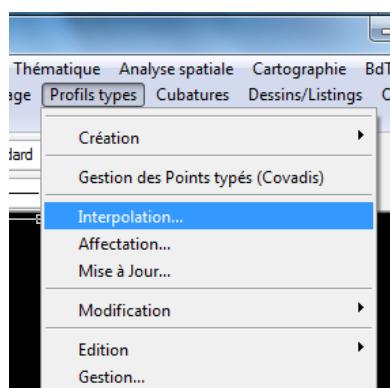


Figure 23 : Interpolation des profils types

Une fois ces opérations terminées l'axe en plan est automatiquement affecté avec le profil type, les caractéristiques de la chaussée sont dessinées aussi.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

IGF

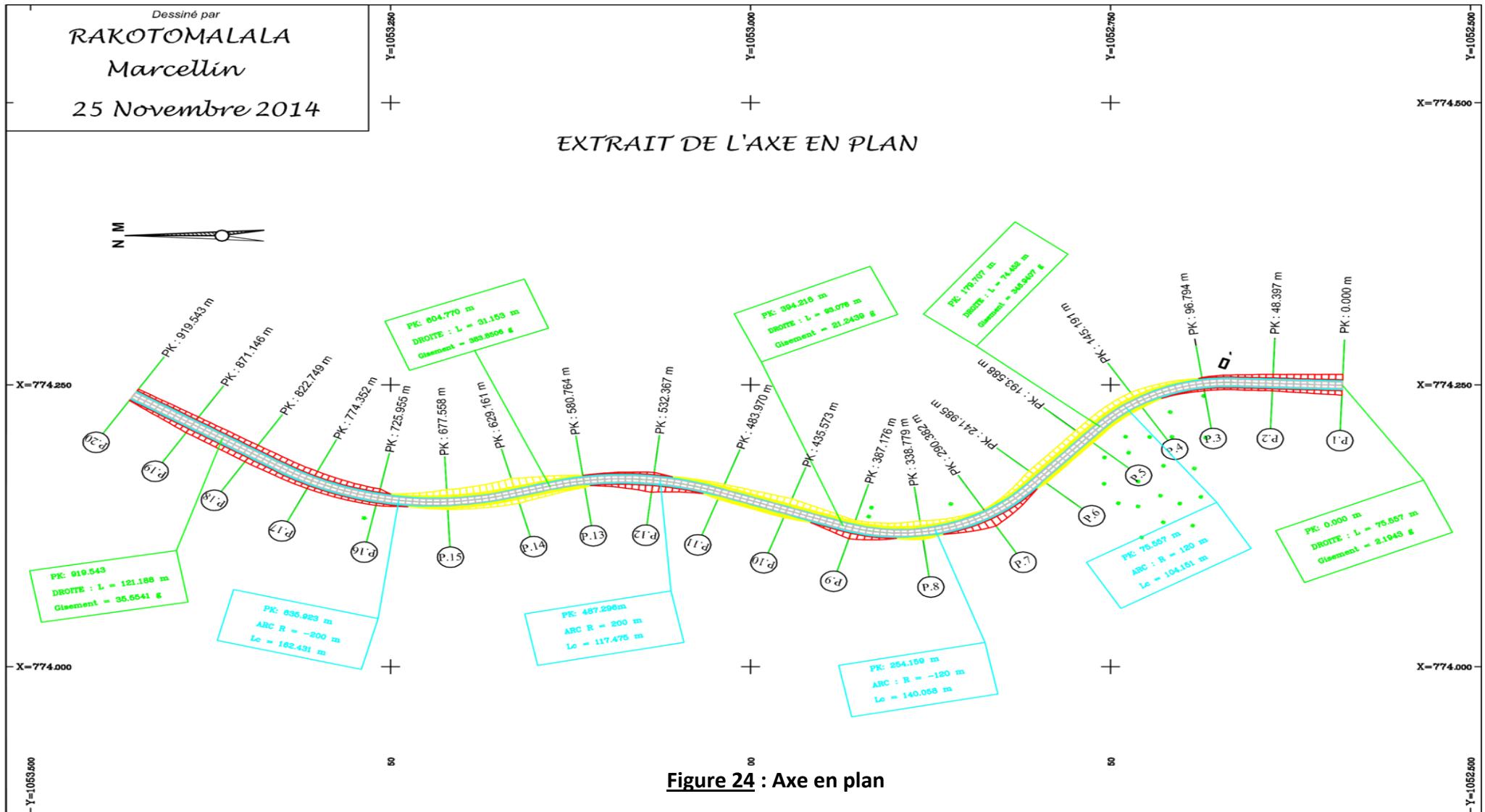


Figure 24 : Axe en plan

Chapitre VIII : Généralités sur 3D et calcul des cubatures

VIII.1. Généralités sur l'imagerie 3d

VIII.1.1. Les aspects actuels

L'imagerie 3D souvent abrégée 3D (3D pour Trois Dimensions), est un ensemble de techniques notamment issues de la « CAO ». Elle permet la représentation d'objets en perspective sur un moniteur. Elle est très utilisée en art numérique et dans l'industrie du film. Initiée par les studios Pixar et ILM, et depuis un certain temps dans beaucoup de jeux vidéo. Il ne faut cependant pas oublier tout l'intérêt scientifique et notamment médical du sujet car il permet de recréer l'impression de volume, d'espace

VIII.1.2. Historique

Les images en trois dimensions sont naturellement l'évolution de l'état de l'art du dessin en perspective apparu depuis déjà la renaissance comme l'atteste la figure1.1 mettant en évidence la technique de perspective dans l'image. Les images de synthèse actuelles sont fondées sur les mêmes principes de projection sur un plan mais sont, de par leur nom, indissociables de l'histoire de l'informatique. Cette dernière étant le plus souvent à la fois le frein mais aussi ce qui permet l'évolution de l'imagerie virtuelle.

Ainsi, l'histoire de l'imagerie de synthèse remonte vers les années 50 mais elle restait cependant réservée à des fins de recherche, menées grandement dans les universités américaines.

Une des toutes premières animations virtuelles se situe vers 1976 à la création de la première animation faciale ainsi que celle d'une main réalisée par Ed Catmull et Fred Parke à l'université de l'Utah.

Jusque dans les années 80, le domaine de la 3D était assez restreint dû aux contraintes matérielles. Et ce ne fut qu'à l'apparition des ordinateurs personnels tels l'IBM-PC, l'Apple Macintosh que les images de synthèse et la 3D puissent connaître une certaine démocratisation et ne furent ainsi plus limités aux grandes unités de calculs. Ceci est aussi notamment dû à l'avènement de matériels permettant le traitement en temps réel comme

les cartes graphiques spécialisées en traitement 3D tel la 3DFX

VIII.1.3. L'espace 3D

Tous les objets placés dans le monde virtuel de l'informatique n'existent que dans la mémoire du calculateur, ils sont placés dans un espace en 3D qui est un cube d'espace virtuel défini mathématiquement dans la mémoire de l'ordinateur. Dans cet espace virtuel, un système de coordonnées est utilisé pour y placer les objets.

VIII.1.3.1. Mathématique liée à la 3D

L'informatique étant un domaine fortement lié aux mathématiques, 3D n'en est pas exempt. Ainsi, il est plus que fréquent d'approcher la 3D par les mathématiques géométriques. La 3D utilise pratiquement les mêmes définitions que les maths, pratiquement car certaines nécessités obligent souvent à ajouter quelques propriétés afin de correspondre aux prérequis de l'informatique.

Par exemple : la définition d'un point ou d'une « vertice » (de l'anglais : « vertex ») est la même suivant la dimension de l'espace. C'est le croisement de 2 droites dans un espace à 2D, 3 plans en 3D,... cependant, une vertice implémente des informations autre que ses propres coordonnées avec elle , telles les informations liées aux matériaux et textures y afférent.

Majoritairement, on parle de vecteurs, de matrices ainsi que des transformations. On utilise généralement dans la 3D un repère orthonormé (0, i ; j,) muni de vecteurs unitaires sur les axes x, y, z pour pouvoir s'orienter. A la suite de quoi, on définit les vecteurs se trouvant dans l'espace par scalaire avec les vecteurs unitaires. Par exemple un vecteur $\vec{v} = (2, 3, 1) = (2 \vec{i} + 3 \vec{j} + 1 \vec{k})$.

VIII.1.3.2. Les fondations de la 3D

Similairement au monde réel qui est basé sur des atomes, à un manteau de laine fait de fils, les fondements de la 3D se doivent d'être définis pour qu'on puisse créer et visualiser les objets et environnement souhaités.

Les figures représentés dans l'espace virtuel sont formés par des maillages de

polygones, ce maillage est une collection de points ou vertices, de bordures et de surfaces ; qui ensemble définissent la forme d'un objet. Un objet consistant essentiellement en des surfaces planes n'a, généralement besoin que d'un nombre limité de points. Tandis que les surfaces galbées et plus complexes, nécessitent un plus grand nombre de points pour approximer la forme de l'objet.

VIII.1.4. La caméra et la perspective

Afin de visionner les scènes 3D, il est besoin de disposer de dispositifs permettant de prendre des images tel une caméra. Car ce que l'on voit dépend de la position de cette dernière, dans quelle direction elle pointe, si elle est inclinée ainsi que sa distance focale.

Lors de la projection vers une surface bidimensionnelle, il faut considérer la profondeur de la scène, plusieurs approches peuvent être considérées. Les parties frontales d'une scène ou d'une figure apparaissent comme plus grands tandis que les parties en arrière vont apparaître comme plus petites. Au contraire, avec la projection orthographique, aucune distinction de la taille ne se fera voir malgré la profondeur. Ainsi pour la plupart des applications, la perspective est celle qui est utilisée sauf pour les applications de dessins en 3D

VIII.1.5. Les sources de lumière et les ombres

Il parait plus qu'évident que pour afficher une image depuis une scène, il est nécessaire d'avoir inclus dans la scène, une source de lumière et les calculs d'interaction lumière-objet. Ces calculs se font sur deux champs : le modèle de réflexion locale et le modèle de réflexion globale. Ces deux méthodes permettent en gros de définir les ombres appliquées ou à appliquer sur un maillage suivant la lumière.

En 3D, il existe différentes sortes de sources lumineuses, l'une souvent nommée ambiante, imite la lumière du jour quand on ne voit pas directement le soleil. La lumière semble répartie uniformément sans qu'il y ait une source évidente de lumière. Les autres types de sources présentent une direction exacte de la lumière émise incluant :

- ✓ les sources distantes : imitent la lumière du jour lorsqu'on peut voir le soleil.
- ✓ les sources omnidirectionnelles : imitent l'ampoule et émet dans toutes les

directions.

- ✓ les spots : pouvant être considéré comme la lumière d'un flash. Les rayons sont envoyés dans toutes les directions mais avec une longueur différente, similaire à la forme d'un cône.

Il existe aussi des variantes mais celles citées sont les plus communes, surtout dans les logiciels de modélisation courantes.

Etant défini la façon dont on stipule la constitution d'un modèle et d'un monde 3D, la production d'image en 3D se décompose essentiellement en deux étapes :

- ✓ Modéliser ce que l'on veut visualiser ou représenter. Cette étape est la modélisation
- ✓ Effectuer la visualisation de ce que l'on a modélisé. Cette étape est appelée rendu.

Dans chacune de ces étapes, un grand nombre de techniques existent. Bien que théoriquement les techniques de modélisation et de rendu soient indépendantes, il va de soi que le rendu doit pouvoir exploiter les données modélisées et bien souvent une technique de modélisation est étroitement associée avec une technique de rendu.

VIII.1.6. Méthodes

En termes quelques peu minimalistes, modéliser consiste à décrire à l'ordinateur la scène : c'est-à-dire lui donner des informations sur ce qui devrait exister dans l'image. Puis faire le rendu serait de demander à l'ordinateur de dessiner la scène qui lui a été décrite. Il existe plusieurs façons de créer les modèles, soit par génération par calculs, soit à l'aide de logiciels conçus à cet effet tels que Maya, 3ds Max, Blender, AutoCad, Cinema4D et Archicad 16 et Lumion 4.0.2 dans notre cas.

Afin de définir une animation palpable depuis la caméra, il doit être introduit sur au moins un objet de la scène un mouvement dont la rapidité ne doit dépasser le nombre d'images générée à la seconde pour le rendu, cela afin d'éviter un effet de flou à moins que cela ne soit l'effet désiré

Un nombre assez vaste de modèles ont été explorées pour s'approcher le plus possible du processus physique avec pour objectif de générer des images qu'on ne saurait

différencier des photographies. D'où un domaine sous-jacent de l'infographie: le rendu photoréaliste.

Cependant, malgré que la technique de rendu photoréaliste soit aussi le but ultime de l'imagerie 3D, il existe une autre approche pour faire de la 3D que nous allons explorer durant le mémoire car il remplit les conditions (qui varient depuis la contrainte technique à l'appréciation artistique) que l'on requiert à la restitution du mouvement depuis une captation.

D'ailleurs, on peut grouper au moins à partir de leurs résultats trois façons de produire le rendu d'une scène 3D :

- ❖ La 3D pré calculée : celle utilisée pour les films d'animations. Elle permet d'avoir un rendu d'une grande qualité mais impose cependant ainsi un temps de calcul assez imposant vu qu'en plus pour le cas d'animations. Le nombre d'images à générer doit être supérieur à 24 par seconde. Ceci pour pouvoir produire une animation fluide alors que chaque image rendu peut nécessiter un temps de rendu assez long. Elle est employée pour faire des images avec des effets spéciaux et est ainsi la plus utilisée par les artistes de l'infographie 3D.
- ❖ La 3d temps réelle : elle est surtout utilisée avec des contraintes d'animation incluant un certain souci d'interaction entre le monde réel et celui du virtuel. Principalement employée dans les jeux vidéo, elle requiert de faire apparaître une animation fluide tout en essayant d'obtenir la meilleure qualité d'image. Tout cela induit donc un certain compromis au niveau des calculs et de la qualité. La vulgarisation des activités ludiques usant de cet artefact a permis de faire évoluer son environnement et généra la technologie suffisante pour pouvoir intégrer des unités de calculs puissants pour pouvoir l'améliorer à son tour. On cite par-là, la puissance sans cesse grimpante des cartes graphiques intégrée dans les ordinateurs personnels depuis la carte graphique « Voodoo » de 3DFX jusqu'aux actuelles cartes intégrant jusqu'à plus de 1024 unités de calculs (nVidia GeForce GTX 590). Pour accéder et utiliser facilement ces matériels, il est nécessaire d'utiliser pour les programmeurs, des interfaces standardisées tels Direct3D ou OpenGL.

- ❖ La 3d hybride : cette technique est comme son nom l'indique, une composition des deux techniques précédentes. Elle permet d'accentuer le réalisme et la qualité des images de la 3D en temps réel. La principale différence avec le temps réel est l'optimisation du pré-calcul des éclairages surtout pour les éléments qui ne sont pas animés.

VIII.1.7. Intérêts de la 3D

De nos jours les applications de l'imagerie 3D touchent à pratiquement tout l'univers des NTIC allant des téléphones aux plus puissants des ordinateurs car elle est présente depuis la télévision, les revues, les jeux vidéo aux les simulateurs de vie, d'entraînement dans un monde virtuel.

La 3D induit une immersion car elle permet d'apprécier théoriquement la même scène suivant plusieurs angles de vue. Ce qui constitue notamment un atout majeur dans les domaines du type médical et de la simulation.

Ce secteur de l'informatique est actuellement très populaire car vulgarisé par les supports médias réalisés tels les jeux, les films d'animations qui sont toujours une grande source d'inspiration pour le public et c'est aussi un secteur lucratif grâce à cet engouement. Il existe actuellement sur le marché plusieurs familles de cartes graphiques dédiées à cet effet dont ceux connus du grand public sont fournis par les deux géants que sont Nvidia et Ati/Amd avec chacune leurs gammes professionnels et joueurs (par exemple, Quadro pour les cartes graphiques professionnelles chez Nvidia)

Dernièrement, avec l'évolution des technologies et de la puissance de calcul, il devient possible de non plus faire une projection sur un plan de modèle en 3D mais d'en faire une projection réelle, « holographique »

Chapitre IX : Cubature des terrassements

IX.1. Définition

La cubature de terrassement est l'évaluation des volumes de terre à enlever (déblai) ou à ajouter (remblai) pour l'exécution d'un projet.

Les volumes sont calculés à l'aide des paramètres suivants :

- Superficie des remblais et déblais fournis par les profils en travers calculés ;
- Distances entre profils en travers indiquées sur les profils en long.

IX.2. Calcul de cubature de terrassement

Il y a plusieurs méthodes pour calculer la cubature de terrassement. Mais nous allons utiliser la méthode « par la moyenne des entre profils ». Dans cette méthode, le volume engendré par un profil est égal au produit de sa superficie par la moyenne des entre profils qui l'encadre.

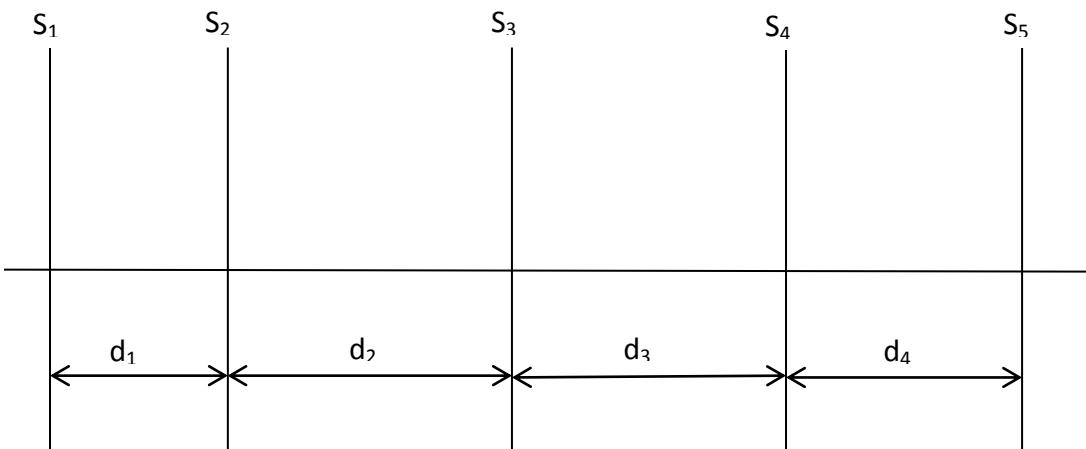


Figure 25 : Calcul de cubature de terrassement

$$\mathcal{V} = \frac{d_1}{2} S_1 + \frac{d_1 + d_2}{2} S_2 + \frac{d_2 + d_3}{2} S_3 + \dots \frac{d_i + d_{i+1}}{2} S_{i+1} + \dots + \frac{d_{n-1}}{2} S_n,$$

Ou en d'autre expression :

$$\mathcal{V} = \frac{S_1 + S_2}{2} d_1 + \frac{S_2 + S_3}{2} d_2 + \dots \frac{S_i + S_{i+1}}{2} d_i + \dots + \frac{S_{n-1} + S_n}{2} d_{n-1},$$

Où les distances $\mathcal{V} = \frac{d_i}{2}; \frac{d_i+d_{i+1}}{2} \dots$ s'appellent « distances d'application » du profil

Cette méthode est la plus utilisée et peut être appliquée dans les calculs des autres matériaux constitutifs des couches successives de la chaussée.

Les volumes totaux de remblai ou de déblai sont obtenus en additionnant les différents volumes partiels correspondants, les calculs étant groupés dans les tableaux des cubatures. Les calculs se font par programmation en Excel. Et la syntaxe de saisie se fait comme ce qui est indiqué par le tableau suivant :

Tableau 15 : Syntaxe de programmation de la cubature de terrassement

A	B	C	D	E	F	G	H	I
N.P	Abscisse	Longueur	Surface		Volumes partiels		Volumes cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
1	X ₁	L ₁	S _{d1}	S _{r1}	=C3*D3	=C3*E3	F3	G3
2	X ₂	L ₂	S _{d2}	S _{r2}	COPIE	COPIE	=F3+F4	=G3*G4
3	X ₃	L ₃	S _{d3}	S _{r3}	COPIE	COPIE	COPIE	COPIE

Où S_{di} et S_{ri} sont respectivement les surfaces de déblai et de remblai entre les profils Ni-1 et les profils Ni, nous pouvons les mesurer à partir des mesures de l'aire du profil considéré dans le logiciel AutoCAD.

IX.3. Cubature de terrassement sur Visual Basic

IX.3.1. Organigramme *Calcule des Volumes Partiels*

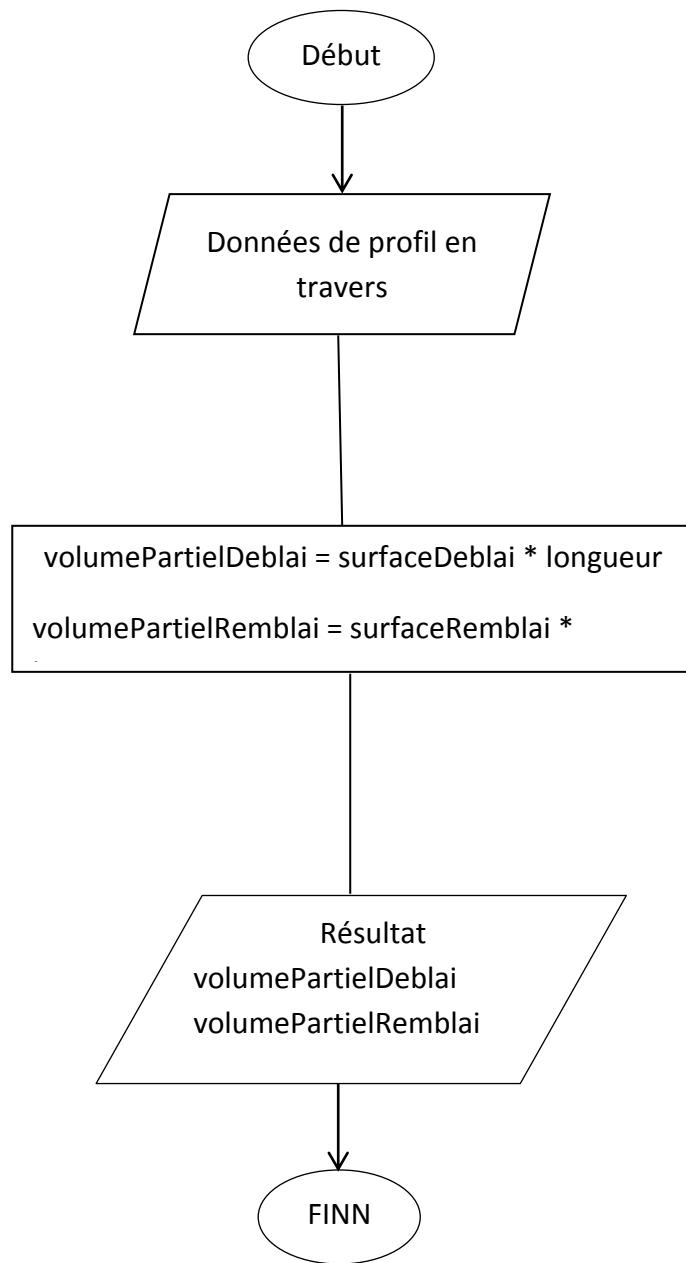


Figure 26 : Organigramme de Calcul des Volumes Partiels

PARTIE III :

ANALYSE FINANCIERE ET ETUDE ENVIRONNEMENTALE

Chapitre X : Estimation du coût du projet

X.1. Introduction :

On estime les coûts des travaux pour identifier et apprécier l'ensemble des impacts qui peuvent être pris en considération par ceux qui sont amenés à arrêter une décision. Une telle décision ne pourra être prise qu'après analyse des conséquences financières. Mais elle doit intégrer les différents avantages retirés par les usagers sur le plan de la qualité de service tels que de la sécurité, l'amélioration du confort et de la qualité de service, et de l'aménagement de la société et le gain de temps.

Pour notre projet, on utilisera la méthode de l'économie publique.

L'estimation des coûts des travaux consiste à évaluer :

- Les coûts des travaux relatifs à la reconstruction ;
- Ensuite les coûts d'entretien courant et périodique ;
- Et enfin les coûts d'exploitation des véhicules suivant que la route est dégradée ou aménagée.

X.2. Les coûts des travaux à réaliser

Nous allons voir alors les différents paramètres nécessaires pour la construction d'une route tels que l'origine des prix, les unités et la modalité des travaux.

X.2.1. Devis descriptif :

On élabore le devis descriptif après consultation des divers prix pour les différents travaux qui va suivre :

- Travaux préparatoires ;
- Terrassement ;

- Assainissement et franchissement ;
- Chaussée ;
- Mesure environnementale ;
- Travaux topographiques ;
- Série Ouvrages.

Les travaux sont réalisés de la façon suivante :

100. Travaux préparatoires :

101. installation de chantier :

Ce prix non révisable rémunère au prix forfaitaire (fft). Il comprend :

- le transport des engins, les matériels nécessaires affectés au chantier ;
- l'aménagement de la baraque de l'entreprise ;
- la facture, la confection et la pose des panneaux de chantier ;
- l'amenée du personnel nécessaire ;
- l'aménagement et l'entretien des déviations éventuelles ;
- le déplacement total ou partiel de ces installations au cours du chantier ;
- la construction et l'équipement des bâtiments mis à la disposition de la mission de contrôle.

102. repli de chantier :

Ce prix non révisable rémunère au prix forfaitaire (fft). Il comprend :

- le rapatriement des matériels ;
- l'enlèvement de tous les produits utilisés issus de l'installation de chantier et de l'exécution des travaux, la remise en état de tous les lieux d'intervention ;
- démontage de la base.

200. Série Terrassement

201. Débroussaillage et désherbage :

L'écoulement des eaux sur les accotements, la visibilité des usagers sont assurés par

les désherbages et débroussaillages :

- l'arrachage des broussailles (la fréquence de coupe des herbes est telle que leur hauteur ne dépasse pas 10cm) ;
- la largeur à traiter est de 1m du bord du fossé latéral ;
- l'enlèvement des racines ;
- l'évacuation de tous les produits végétaux en lieu de dépôt.

202. Déblais ordinaires

C'est la mise en dépôt et le régalage des déblais en terrains ordinaires et éboulement sur des emplacements agréés. Ce sont :

- au préalable tout abattage d'arbres, débroussaillage, décapage, dessouchage, ainsi que l'enlèvement de tout obstacle préjudiciable à l'écoulement des eaux ;
- l'utilisation des engins pour enlever ces matériaux ;
- les travaux de finition nécessaires à la remise en état de la plate-forme, de la chaussée et du fossé.

203. Déblai rippicable

Il concerne les déblais nécessaires pour la réalisation du profil en travers type. Il comprend :

- l'extraction des matériaux, la rectification des talus ou le gabaritage ;
- Le décaissement des talus ;
- Le transport des produits de déblai jusqu'à un lieu de dépôt.

204. Remblai en provenance de déblai

Ce sont des déblais agréés et les plus proches du lieu des travaux :

- le terrain d'assise est débroussaillé, dessouché ;
- la terre végétale est enlevée et mise en dépôts ;
- les profils en travers du terrain naturel sont levés contradictoirement avant la réalisation du remblai ;

- les matériaux sont mis en œuvre par couche de 15cm maximum, arrosés et compactés ;
- mise en œuvre d'une nouvelle couche.

205. Remblai en provenance d'un emprunt

Ce sont des remblais en provenance d'emprunt pour l'exécution de tous travaux de remblayage. Il comprend :

- les pistes d'accès et leur entretien ;
- les frais de recherche des gisements meubles ;
- l'extraction après débroussaillage et décapage ;
- le chargement, le transport sur toute distance, le déchargement des matériaux ;
- la mise en œuvre : répandage, réglage, arrosage et compactage ;

206. Engazonnement

L'engazonnement assure la protection des empierremens par cloutage de la chaussée. Les actions à faire sont :

- l'assise est préparée et compactée ;
- Les mottes de gazon sont prélevées sur le site agréé le plus proche, par plaques jointives de vingt-cinq centimètres (25cm) de côté et de dix centimètres (10 cm) d'épaisseur moyenne ;
- elles seront posées et fixées par des piquets en bois fiches ;
- l'arrosage est assuré jusqu'à la repousse.

207. Enrochement de protection

Ce prix rémunère au METRE CUBE (m³) de blocs de roche dure 30 à 50kg. Il comprend :

- la fourniture et le transport des blocs quel que soit la distance ;
- la préparation du lit de pose et l'exécution des terrassements correspondant en terrain de toute nature ;

- la mise en œuvre, l'agencement, le pilonnage ;
- Le réglage et l'arasement des parties supérieures et des parements visibles.

300. Série Assainissement

301. Démolition d'ouvrage

Avant de créer les nouveaux ouvrages, il faut démolir d'abord les ouvrages en maçonnerie ou en béton existants. Ce sont :

- les fouilles nécessaires ;
- la démolition de l'ouvrage proprement dit ;
- Le chargement, transport, mise en dépôt des matériaux provenant de la démolition.

302. Fouilles pour ouvrages

Les ouvrages d'assainissement nécessitent des fouilles exécutées avec des engins ou manuellement. Les actions à faire sont :

- l'extraction des terres ;
- le chargement, le transport sur toutes distances, le déchargement et réglage sommaire aux lieux de dépôts ;
- les blindages et batardeaux, si nécessaire ;
- le remblaiement et le compactage des volumes non occupés par l'ouvrage.

303. Fossé de pied maçonné

Conformément au plan-type, ils sont exécutés en maçonnerie de moellons. Les actions à faire sont :

- creuser les fouilles ;
- mettre en place les gabarits ;
- réaliser le béton de propreté ;
- construire le radier et les piédroits de l'ouvrage ;
- jointoyer les parements et réaliser les chapes ;

- combler éventuellement les vides aux abords, compacter et si nécessaire les engazonner.

304. Curage des dalots ou buses

Les eaux de fossé sont collectés par les dalots ou les buses et ces ouvrages permettent de passer ces eaux de l'autre côté de la chaussée :

- les ouvrages sont nettoyés au moyen d'une barre d'acier ou d'une pelle ;
- les produits retirés sont étalés ou mis en dépôt là où ils ne gênent pas l'écoulement de l'eau ;
- pour garder un système d'assainissement fonctionnel, les ouvrages doivent être dégagés de tous débris.

305. Gabions de protection

Les gabions seront exécutés pour les aménagements divers tels que: extrémités d'ouvrages, protection de berge en rivières, mur de soutènement, culées, dalots. La petite dimension des moellons devra être le triple de la plus grande dimension de la maille. Lors du remplissage, les faces de chaque gabion seront haubanées à mi-hauteur par des tirants transversaux en fil galvanisé.

400. Série Chaussée

401. Préparation de la plate-forme

La préparation de la plate-forme correspond à la remise en profil de la chaussée lorsque la profondeur des dégradations est supérieure à 10cm. Il comprend :

- le décapage des zones couvertes d'herbes, y compris l'enlèvement des produits de décapage et leur transport sur toute distance ;
- la scarification à l'aide d'une niveleuse, de la surface jusqu'au fond des déformations ;
- l'arrosage et compactage des matériaux ;
- l'apport de remblai par couche de 15cm au maximum si nécessaire, arrosé et compacté de manière à reconstituer le profil en travers demandé et afin

- d'obtenir une densité sèche en tout point de la chaussée égale ou supérieure à Quatre-vingt-quinze pour cent de l'optimum Proctor modifié (95% d'OPM) ;
- le réglage de talus.

402. Couche de fondation

Ce prix rémunère au mètre cube (m³) la fourniture et mise en œuvre de grave non traitée pour couche de fondation de chaussée, destinés à la chaussée elle-même.

403. Couche de base

Le prix de l'exécution des couches de roulement comprend les prix de l'extraction des granulats et leur transport, le concassage des granulats, l'épandage du bitume et son compactage.

404. Couche de roulement

La couche de roulement sera exécutée en béton bitumineux. Les techniques sont les suivantes :

- l'extraction des granulats et leur transport ;
- le concassage des granulats ;
- le répandage du bitume, le compactage, la mise en œuvre, le réglage, toutes sujétions de mise en œuvre et d'obtention des qualités requises.

500. Série Environnementale

501. Réunion de sensibilisation

Des tenues de réunions ou de séances d'information et de sensibilisation seront effectuées par le titulaire :

- Préalablement à l'ouverture du chantier et à l'exploitation des carrières ;
- Sur la santé et les maladies ;
- À la fermeture du chantier.

502. Panneaux et balises de signalisation

Des panneaux provisoires seront installés pour le maintien de la circulation durant les

travaux.

Des balises et des panneaux définitifs de circulation seront en outre installés par le titulaire, selon les plans-types et avec l'accord de l'autorité compétente.

- Les balises sont en béton préfabriqués et installées sur l'entrée des ouvrages de franchissement, les virages dangereux et les chaussées rétrécies ;
- Les panneaux en aciers seront de deux types :
 - ✓ signalisation pour les dangers et limitation de charge ;
 - ✓ de localisation pour les villages, villes et rivières.

600. Travaux topographiques

Le coût des travaux topographiques consiste à déterminer :

- les coûts des Pose des bornes polygonales de base ;
- levé de détails ;
- nivellation ;
- le traitement des données.

601. Matériaux et fournitures

Les matériaux et fournitures pour les travaux topographiques sont composés :

- ciment ;
- fer rond ø8 ;
- gravillon et sable pour la matérialisation des bornes polygonales de base.

602. Mains d'œuvre directes

Les mains d'œuvre directes sont composées de personnel topographique. Ce sont :

- les topographes ;
- les manœuvres chargés de polygonation et des levés de détail.

603. Location des matériels de production

Les travaux topographiques nécessitent l'utilisation des matériels topographiques

comme les stations totales et les niveaux. Donc, le prix de location des matériels de production consiste à déterminer les prix de location des stations totales, des niveaux et des accessoires accompagnés aux appareils.

604. Charges indirectes

Les prix des charges indirectes consistent à déterminer les prix de carburant pour les véhicules de transport lors des travaux, les prix des véhicules de transport comme les 4 x 4 et les tracteurs pour les abattages des arbres et les défrichements, les prix des autres personnels comme les cuisiniers, les chauffeurs et les prix des logistiques.

605. Traitement des données topographiques

Le prix de traitement des données topographiques consiste à déterminer la rémunération de personnel chargé de reproduire les plans topographiques, à l'aide du logiciel Autopiste, contenant le profil en long, les profils en travers et le tracé en plan.

X.2.2. Sous détails des prix unitaires

Les sous détails des prix unitaires sont les évaluations des prix de chaque composante des prix de règlement. Ainsi le prix est composé de l'allocation de matériels, des salaires des mains d'œuvre employés, des coûts de matériaux aux pieds d'œuvre et des divers nécessaires. Cette évaluation est basée sur l'évaluation d'un rendement selon la nature de chaque travail à réaliser. Le prix unitaire PU est donné par la formule suivante :

$$PU = K \times \frac{D}{R} \quad (12) [5]$$

Avec :

- K : coefficient de majoration des déboursés en (%) ;
- R : rendement ;
- D : déboursé ou dépense.

Le coefficient K est obtenu par la relation suivante :

$$K = \frac{[(1+A_1/100)(1+A_2/100)]}{[(1+T/100)(1+A_3/100)]} \quad (13) \quad [5]$$

Avec :

- $A_1 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$ en % : frais généraux proportionnels aux déboursés
- $A_2 = a_5 + a_6 + a_7 + a_8$ en % : bénéfice brut et frais principal aux prix de revient ;
- $A_3 = a_9$ en % : frais de siège, $A_3 = 0$ pour les entreprises dont le siège est à Madagascar ;
- **Ten %** : Taxes sur les Valeurs Ajoutées selon la Loi des Finances, en principe $T = 0\%$.

Le tableau suivant donne les valeurs minimales et maximales de chaque coefficient à prendre :

Tableau 16 : Valeurs minimales et maximales de chaque coefficient

Description	Coefficients	Minimale	Maximale
Frais d'agence et de patente	a_1	3,5	7,00
Frais de chantier	a_2	8,00	12,00
Frais d'étude et de laboratoires	a_3	3,00	4,00
Assurances	a_4	0,50	1,00
Bénéfices nets et impôts sur les bénéfices	a_5	6,00	10,00
Aléas techniques	a_6	2,00	3,00
Aléas de révision des prix	a_7	1,50	6,00
Frais financiers	a_8	2,00	4,00

Frais de siège	a ₉	0,00	
-----------------------	----------------	------	--

Ainsi, pour des Travaux de moyenne envergure réalisés par une moyenne entreprise siégeant à Madagascar, nous allons prendre les valeurs suivantes pour le calcul du coefficient de déboursé :

Tableau 17 : valeurs des coefficients

Description	Coefficients	Valeurs (%)	
Frais d'agence et de patente	a ₁	5	A ₁ = 19.7%
Frais de chantier	a ₂	10	
Frais d'étude et de laboratoires	a ₃	4	
Assurances	a ₄	0.7	
Bénéfices nets et impôts sur les bénéfices	a ₅	9	A ₂ = 17%
Aléas techniques	a ₆	2	
Aléas de révision des prix	a ₇	4	
Frais financiers	a ₈	2	
Frais de siège	a ₉	0	A ₃ = 0%

Ainsi, K = 1,4.

X.2.3. Sous détails de prix des travaux topographiques :

Il est difficile d'évaluer précisément le coût des opérations topographiques isolément dans les travaux routiers car les topographes interviennent dans toutes les phases des travaux, dès l'avant-projet sommaire à la livraison au maître d'ouvrage. Mais on peut estimer le coût des opérations topographiques durant la phase d'exécution :

Tableau 18 : Coût de la production de 10 bornes

Désignation	Unité d'œuvre	Nbre d'Unité d'œuvre	Prix unitaire (Ar)	Montant (Ar)
Ciment	sac	1	30 000,00.	30 000,00
Fer rond Ø8	barre	1/3	33 000,00	11 000,00
Gravillon	daba	10	1 500,00	15 000,00
Sable	daba	15	1 500,00	22 500,00
Total				78 500,00

Comme la production de 10 bornes vaut **78 500,00 Ar.** Or notre étude nécessite 146 bornes (Anove Pk 48+404 – Antanambe Pk 70+302). Donc la production de ces bornes Vaut **1 146 100,00 Ar.**

Tableau 19 : Coût des mains-d'œuvre directes

Désignation	Quantité	Unité d'œuvre	Coût unitaire(Ar)	Temps d'affectation (jour)	Montant (Ar)
Topographe	13	Jour	40 000,00	90	46 800 000,00
Manœuvre	7	Jour	20 000,00	90	12 600 000,00
Manœuvre local	10	Jour	15 000,00	90	13 500 000,00
Total					72 900 000,00

Tableau 20 : Coût de location des matériels de production

Désignation	Quantité	Unité d'œuvre	Coût unitaire(Ar)	Temps d'affectation (jour)	Montant (Ar)
Trimble 5000	2	Jour	40 000,00	90	7 200 000 ,00
Nikon NL 332	2	Jour	35 000,00	90	6 300 000,00
Niveau Spectra Precision	2	Jour	30 000,00	90	5 400 000,00
Accessoires accompagnés aux appareils					2 250 000,00
Total					21 150 000,00

Tableau 21 : Coût des charges indirectes

Désignation	Quantité	Unité d'œuvre	Coût unitaire(Ar)	Temps d'affectation (jour)	Montant (Ar)
Carburant 4×4	20	litre/jour	2 860,00	90	5 148 000,00
Carburant tracteur	20	litre/jour	2 860,00	30	1 716 000,00
Location 4×4	2	Jour	80 000,00	90	14 400 000,00
Location tracteur	1	Jour	80 000,00	30	2 400 000,00
Cuisinier	4	Jour	10 000,00	90	3 600 00,00

Chauffeur	1	Jour	15 000,00	90	2 700 000,00
Logistique	1	Jour	100 000,00	90	9 000 000,00
Total					38 964 000,00

Tableau 22 : Coût de traitement

Désignation	Quantité	Unité d'œuvre	Coût unitaire(Ar)	Temps d'affectation (jour)	Montant (Ar)
Personnel	2	mois	1 200 000,00	3	7 200 000,00
Total					7 200 000,00

Tableau 23 : Sous Détails de Prix des travaux topographiques

Coût de la production des bornes	1 146 100,00 Ar
Coût des mains-d'œuvre directes	72 900 000,00 Ar
Coût de location des matériels de production	21 150 000,00 Ar
Coût des charges indirectes	38 964 000,00 Ar
Coût de traitement	7 200 000,00 Ar
Total	141 360 100,00 Ar

X.2.4. Détail Quantitatif et Estimatif

Tableau 24 : Détails Quantitatif et Estimatif

Prix	DESIGNATION	Unité	QUANTITE	PRIX UNITAIRE (Ar)	MONTANT (Ar)
Travaux préparatoire					
101	Installation de chantier	fft	1	1 509 444 444,00	1 509 444 444,00
102	Repli de chantier	fft	1	764 296 296,00	764 296 296,00
Terrassement					
201	Désherbages / Débroussaillages	m ²	11 000	2 417,00	26 587 000,00
202	Déblais ordinaires	m ³	43 933,63	18 519,00	1 565 706 706,00
203	Déblai rippicable	m ³	37 904,22	35 638,00	1 350 830 592,00
204	Remblais en provenance d'emprunt	m ³	45 201,31	25 037,00	1 131 705 198,00
205	Remblai en provenance du déblai du sol meuble	m ³	24 539,69	25 037,00	614 400 218,50
206	Engazonnement	m ²	4 699,55	3 792,00	17 820 693,60
207	Enrochement	m ²	1 233,50	5 937,00	7 323 289,50
Assainissement					
301	Démolition d'ouvrages en béton	m ³	10	18 256,00	182 560,00
302	Fouilles pour l'ouvrage	m ³	683,80	5 892,00	4 028 949,60
303	Démolition d'ouvrages en M.M	m ³	16	12 992,00	207 872,00
304	Fossé maçonné trapézoïdal type FM 2	m ³	333,65	54 257,00	18 102 848,05
305	Gabions pour structures et protections	m ³	395.35	85 507,00	33 805 192,45
306	Maçonnerie de moellons	m ³	420,42	141 877,00	59 647 928,34
307	Perrés maçonnés jointoyés au mortier de ciment	m ²	4 147	40 692,00	168 749 724,00

Tableau 23 : Détails Quantitatif et Estimatif (suite)

308	Béton Q150	m ³	38,06	56 388,00	2 146 127,28
------------	------------	----------------	-------	-----------	--------------

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

IGF

309	Béton Q350	m ³	55,63	66 888,00	3 720 979,44
310	Coffrage	m ²	166,91	8 939,00	1 492 008,49
311	Armatures	kg	5 039,22	6078,00	30 628 379,16
312	Curage des dalots ou buses	ml	84,50	2 419,00	204 405,50

Chaussée

401	Préparation de la plate-forme	ml	30 449,16	10 445,00	318 041 476,20
402	GNT 0/60 pour couche de fondation	m ³	39 083,40	40 197,00	1 571 035 430,00
403	GCNT 0/31 ⁵ pour couche de base	m ³	37 837,25	41 387,00	1 565 970 266,00
404	Couche de roulement en Béton Bitumineux	T	6 498,15	38 223,00	248 378 787,50

Mesure environnementale

501	Panneaux de localisation et de direction	U	35	24 280,00	849 800,00
502	Panneaux de prescription	U	26	24 280,00	631 280,00
503	Réunion sur la maladie	U	1	450 000,00	450 000,00
504	Fermeture gîte, emprunt et carrières	fft	1	425 000,00	425 000,00
505	Réunion pour fermeture de chantier	fft	1	425 000,00	425 000,00

Travaux topographiques

601	Production des bornes	U	146	7 850,00	1 146 100,00
602	Mains-d'œuvre directes	J	90	810 000,00	72 900 000,00
603	Location des matériels de production	J	90	235 000,00	21 150 000,00
604	Charges indirectes	J	90	432 933,33	38 964 000,00
605	Traitement des données	U	2	3 600 000,00	7 200 000,00

Tableau 23 : Détails Quantitatif et Estimatif (suite)

Ouvrage					
701	Dépose des buses	U	15	113 000,00	1 695 000,00
702	Dalot	U	10	10 703 043,00	100 703 043,00
703	Pont à construire	U	7	577 168 218,00	4 040 177 526,00
704	Gabions	m ³	2 937	142 400,00	418 228 800,00
Signalisation					
801	Bornes kilométrique	U	22	85 100,00	1 872 200,00
802	Balise de virage	U	10	57 500,00	575 000,00
803	Panneaux	U	21	234 200,00	4 918 200,00
804	Marquage de chaussée	ml	21 000	21 100,00	443 100 000,00

Par suite, on peut récapituler le DQE comme suit :

Tableau 25 : Récapitulation des Détails Quantitatifs et Estimatifs

N° PRIX	DESIGNATION	MONTANT EN ARIARY
100	Travaux préparatoire	2 273 407 740,00
200	Terrassement	4 714 373 698,00
300	Assainissement	322 916 974,30
400	Chaussée	3 703 425 960,00
500	Mesure environnementale	2 781 080,00
600	Travaux topographiques	141 360 100,00
700	Ouvrage	4 560 804 369,00
800	Signalisation	450 465 400,00
	TOTAL GENERAL HORS TAXES	16 169 535 320,00
	TVA 20%	3 233 907 064,00
	MONTANT TTC	19 403 442 380,00

Arrêté le présent devis à la somme de « **ARIARY DIX-NEUF MILLIARD QUATRE CENT TROIS MILLIONS QUATRE CENT QUARANTE-DEUX MILLE TROIS CENT QUATRE-VINGT » (19 403 442 380,00)**, inclue la Taxe sur les Valeurs Ajoutées de vingt pour cent, soit la somme de **ARIARY TROIS MILLIARD DEUX CENT TRENTÉ-TROIS MILLIONS NEUF CENTS SEPT MILLE ZERO SOIXANTE-QUATRE. (3 233 907 064,00)**.

Le coût au kilomètre du projet s’élève alors à « **ARIARY HUIT-CENTS QUATRE-VINGT-UN MILLIONS NEUF CENTS SOIXANTE-QUATORZE MILLE SIX CENTS CINQUANTE-QUATRE » (881 974 654,00)**.

IX.3. Coût d'Entretien Préventif systématique

L'entretien Préventif systématique est réalisé pour :

- Eviter la dégradation des qualités structurelles de la chaussées et pour maintenir les ouvrages d'assainissement ou restaurer l'imperméabilité de la couche de roulement ;
- Maintenir ou restaurer une bonne qualité de surface, une bonne condition de confort et de sécurité ;
- Limiter l'Entretien ultérieur et améliorer le comportement de la structure de la chaussée. L'Entretien Préventif se décompose en deux parties :
 - L'Entretien Courant (EC) qui se fait dès le premier jour de la mise en service de la Route et après l'apparition des petites dégradations ;
 - L'Entretien Périodique (EP) qui peut être effectué tous les cinq ans pendant la durée de vie de la Route.

X.3.1. Travaux d'Entretien Courant

Les Travaux d'Entretien courant consistent à faire des opérations plusieurs fois par an à savoir :

- Travaux de cantonnage : c'est le contrôle de la végétation, entretien des assainissements et ouvrages, inspection du réseau.
- Mise à niveau et Travaux d'urgence de faibles envergures : Cette catégorie de

Travaux regroupe des tâches qui sont exécutées à la suite d'évènement imprévu du type : accident de circulation, glissement de terrain, forte pluie, cyclone... Ces Travaux sont réalisés par des brigades spécialisés.

Le tableau suivant donne l'estimation du Coût d'Entretien Courant de la Route aménagée :

Tableau 26 : Coûts d'Entretien Courant

	Entretien courant (Ar/km/an)	Total EC(Ar)
Route revêtue	5 500 000,00	297 000 000,00

Source : MTPM

X.3.2. Travaux d'Entretien Périodique

Les Travaux d'Entretien Périodique consistent à recharger la couche de roulement avec mise en œuvre d'une nouvelle couche de roulement bitumineux (Enduit Superficielle d'Usure).

La périodicité de ces opérations d'entretien est de 5 ans.

Tableau 27 : Coûts d'Entretien Périodique

	Entretien courant (Ar/km/an)	Total EP(Ar)
Route revêtue	18 300 000,70	988 200 037,80

Source : MTPM

X.4. Coûts d'exploitation des véhicules

Le but de notre projet est de donner un transport à moindre coût par l'amélioration du niveau de service. La méthode que nous allons utiliser est donc basée sur les différences de coûts de transport en piste dégradée et en route bitumée que nous avons trouvée dans les parties ci-dessus. Nous sommes alors obligés de connaître les coûts d'exploitation des

véhicules.

Pour mieux évaluer ce 3ème coût, nous devons adopter une hypothèse telle que le trafic sera composé de trois (3) types de véhicules. Ces véhicules seront pris comme référence, ils transporteront les passagers et les produits agricoles.

Ces véhicules sont :

- Des camionnettes de charge utile (CU) égale à deux tonnes (2T) ;
- Des autocars 28 places de charge utile égale à 2T ;
- Des camions de charge utile égale à 5T

On définit alors deux types de coûts d'exploitation à savoir :

- Les coûts fixes;
- Les coûts proportionnels.

Tableau 28 : Constituants des coûts d'exploitation

COÛTS D'EXPLOITATION	COÛTS FIXES	COÛTS PROPORTIONNELS
Caractéristiques	 Les assurances ;  Les vignettes et les taxes professionnelles ;  Le personnel de conduite ;  Les réparations (main d'œuvre).	 Les carburants ;  Les lubrifiants ;  Les pneumatiques  Les frais d'amortissements ;  Les réparations (matériels).

Nous allons ensuite définir des hypothèses sur chaque type de coût. On va voir ci-dessous ces différentes hypothèses :

X.4.1. Hypothèses sur les couts fixes

X.4.1.1. Les assurances

On va commencer par les hypothèses sur les assurances :

Tableau 29 : Les assurances

Types	CU [T]	Activités	Assurances [Ar/mois]
Camionnette	2	Transporteur	39 000,00
Autocar	2	Transporteur	45 000,00
Camion	5	Transporteur	47 000,00

X.4.1.2. Les Taxes professionnelles :

Pour les taxes professionnelles et les vignettes, on évalue les vignettes à Ar 1.400/cheval vapeur. Quant aux taxes professionnelles, elles sont évaluées suivant les activités et la charge utile des véhicules.

Tableau 30 : Les vignettes

Types	CU [T]	CV	Activités	Assurances [Ar/mois]
Camionnette	2	9	Transporteur	12 600,00
Autocar	2	11	Transporteur	15 400,00
Camion	5	15	Transporteur	21 000,00

Tableau 31 : Les taxes professionnelles

Types	CU [T]	Activités	Taxes professionnels [Ar/mois]
Camionnette	2	Transporteur	39 000,00
Autocar	2	Transporteur	45 000,00
Camion	5	Transporteur	47 000,00

X.4.1.3. Le personnel de conduite

Ce sont les chauffeurs et les aides-chauffeurs. La rémunération de ce personnel se fait à partir du type de véhicule. Elle est donnée par le tableau suivant :

Tableau 32 : Les assurances

Types	CU [T]	Chauffeur [Ar/mois]	Aides-Chauffeur [Ar/mois]
Camionnette	2	80 000	52 000,00
Autocar	2	91 000	62 000,00
Camion	3	111 000	70 000,00

X.4.1.4. Les réparations

Les coûts des réparations des véhicules se diffèrent suivant le type :

Tableau 33 : Les prix de réparation des véhicules

TYPES DE VEHICULE	MONTANT (Ar/mois)
Camionnette	78 000,00
Autocar	93 000,00
Camion	108 000,00

X.4.2. Hypothèse sur les couts proportionnels

On doit noter que les coûts proportionnels de la route dégradée sont différents de ceux revêtue. Nous allons voir alors les coûts proportionnels à une route dégradée et d'une route revêtue :

X.4.2.1. Route dégradée

Le tableau suivant récapitule les coûts proportionnels d'une route en terre dégradée :

Tableau 34 : Les différents coûts proportionnels pour une route dégradée

DÉSIGNATION DES COÛTS	CAMIONNETTE	AUTOCAR	CAMION
Carburant (litre/100 km)	15	25	35
Lubrifiant (% de carburant)	5	5	5
Pneumatiques (durée de vie en km)	10 000	10 000	10 000
Amortissement (durée de vie en année)	4	4	4
Distance parcourue (km/an)	35 000	25 500	20 600
Distance de parcours (km)	41,00	41,00	41,00
Réparations matérielles (% du prix véhicule neuf)	20	25	25

X.4.2.2. Route aménagée

Le tableau suivant donne les coûts pour une route aménagée :

Tableau 35 : Les différents coûts proportionnels pour une route aménagée

DÉSIGNATION DES COÛTS	CAMIONNETTE	AUTOCAR	CAMION
Carburant (litre/100 km)	12	20	30
Lubrifiant (% de carburant)	3	3	3
Pneumatiques (durée de vie en km)	12 000	12 000	12 000
Amortissement (durée de vie en année)	7	7	7
Distance parcourue (km/an)	35 000	25 500	20 600
Distance de parcours (km)	41,00	41,00	41,00
Réparations matérielles (% du prix véhicule neuf)	15	20	20

X.4.3. Résultats des coûts d'exploitation des véhicules

X.4.3.1. Route dégradée

Tableau 36 : Résultats des coûts proportionnels pour une route dégradée

COUTS FIXES (Ar / Véhicules)			
COUTS	CAMIONNETTES	AUTOCARS	CAMIONS
Assurances	401	635	821
Taxes pro	50	68	175
Personnel de conduite	1 358	2160	3163
Réparations	802	1313	1887
Vignettes	130	217	367
Total coûts fixes (CF)	2 740	4394	6 414
COUTS PROPORTIONNELS (Ar / Véhicules)			
CARBURANTS	26 253	33 750	41 250
Lubrifiant	720	1 200	1 680
Pneumatique	1 860	2 700	4 860
Réparations	1 607	3 640	6 235
Amortissement	8 036	14 559	24 939
Total coûts proportionnels (CP)	38 476	55 849	78 964
TOTAL (CF + CP)	41 216	60 243	85 378

X.4.3.2. Route aménagée

Pour la route aménagée, nous allons voir les coûts d'exploitation des véhicules :

Tableau 37 : Résultats des coûts proportionnels pour une route aménagée

COUTS FIXES (Ar / Véhicules)			
COUTS	CAMIONNETTES	AUTOCARS	CAMIIONS
Assurances	401	635	821
Taxes pro	50	68	175
Personnel de conduite	1 358	2160	3163
Réparation	802	1313	1887
Vignettes	130	217	367
Total coûts fixes (CF)	2 740	4 394	6 414
COUTS PROPORTIONNELS (Ar / Véhicules)			
Carburants	9 000	15 000	22 500
Lubrifiant	346	576	864
Pneumatique	1 550	2 250	4 050
Réparation	689	1 664	2 850
Amortissement	4 592	8 319	14 25
Total coûts proportionnels (CP)	16 176	27 809	44 515
TOTAL (CF + CP)	18 917	32 203	50 929

X.4.4. Analyse des résultats des coûts d'exploitation des véhicules :

Les avantages tirés par type de véhicules sont données par la formule suivante :

$$\Delta C_i = C_{Dégradée} - C_{Aménagée}$$

(14) [6]

Avec :

ΔC_i : Avantage par type de véhicules;

$C_{Dégradée}$: Coûts d'exploitation des véhicules pour route dégradée;

$C_{Aménagée}$: Coûts d'exploitation des véhicules pour route aménagée.

Nous allons résumer ces différents avantages dans le tableau suivant :

Tableau 38 : Les avantages par type de véhicules

TYPE DE VEHICULES	AVANTAGES $\Delta C_i(Ar)$
Camionnette	22 299,00
Autocar	28 040,00
Camion	34 449,00

Chapitre XI : Etude de la rentabilité du projet

L'évaluation des rendements et des recettes financières engendrés par le Projet par rapport aux dépense effectuées se fait à travers l'étude de rentabilité du Projet afin d'évaluer les gains.

Pour ce faire, il nous faut rechercher :

- Les recettes et dépenses ;
- La Valeur Actualisée Nette (VAN) ;
- Le Taux de Rentabilité Interne (TRI).

XI.1. Recettes et dépenses

Il s'agit de déterminer les gains et les frais du Projet

XI.1.1. Recettes

Les Communes concernées ont réalisé en 2009 une recette de 140 391 880,00 Ar. Mais après l'a projetée, nous estimons à 12 % l'accroissement annuel de ces recettes dès l'année de mise en service.

Bien que le trafic soit très faible sur la route actuelle, ceci est dû au très mauvais état de la route et surtout pendant la saison cyclonique, nous estimons à partir de l'année de mise en service 2016 que la recette communale de cet axe concerné a une augmentation de 50% par rapport à la recette actuel, lorsqu'on évalue les paramètres ci-après :

- Coût d'exploitation forestière ;
- Coût d'exploitation sur la ressource minière ;
- Revenu touristique.

XI.1.1.1. Coûts d'investissement

Les coûts d'investissement comprennent :

- D'une part, le coût de travaux de reconstruction;

- Et d'autre part, le coût d'entretien courant et le coût d'entretien périodique de la route aménagée.

XI.1.1.2. Les avantages liés au trafic

La Route réhabilitée a des avantages liés au trafic qui sont : les coûts de circulation, l'assurance, les frais de transport, etc. D'après les études effectuées dans le chapitre précédent, les coûts d'exploitation des véhicules sont : pour les camionnettes $T_1 = 22\ 299$ Ar, pour les autocars $T_2 = 28\ 040$ Ar et $T_3 = 34\ 449$ Ar pour les camions.

Les avantages liés au trafic comprennent à la fois :

- La réduction des coûts d'exploitation des véhicules;
- Et l'augmentation des recettes après l'aménagement de la route. Ces avantages sont calculés par la formule suivante :

$$\Delta t = \Delta C_i \times T$$

(15) [6]

Avec :

ΔC_i : Avantage par type de véhicules;

T : Nombre de trafic par an.

Nous allons maintenant faire une estimation de trafic par an pour les trois types de véhicules prévision du trafic du tableau.

Tableau 39 : Estimation du nombre de trafic pour chaque type de véhicule

Année	Camionnettes (T ₁)	Autocars(T ₂)	Camions (T ₃)
2016	17 885	1 460	6 205
2017	18 250	1 825	6 570
2018	18 980	1 825	6 935
2019	20 075	1 825	7 300
2020	20 805	1 825	8 030
2021	21 535	1 825	8 395
2022	22 265	2 190	9 125
2023	23 360	2 190	9 855
2024	24 090	2 190	10 585
2025	25 185	2 190	11 315
2026	26 280	2 555	12 045
2027	27 375	2 555	12 775
2028	28 470	2 555	13 870
2029	29 565	2 555	14 600
2030	30 660	2 920	15 695
2031	31 755	2 920	16 790
2032	33 215	2 920	17 885
2033	34 310	3 285	19 345
2034	35 770	3 285	20 440
2035	37 230	3 285	21 900

Les avantages liés au trafic pendant l'exploitation de la route, les recettes communales et les recettes totales sont donc déterminés à partir du tableau suivant :

Tableau 40 : Les avantages liés au trafic

ANNEE	Camionnette s (T1) $\Delta C_1 T_1$	Autocars (T2) $\Delta C_2 T_2$	Camions (T3) $\Delta C_3 T_3$	Avantages lié au trafic $\Sigma \Delta C_i T_i$	Recette Communale A	Recettes Totales R_n
2016	398 817 615,00	501 495 400,00	289 199 355,00	1 189 512 370,00	939 109 444,00	2 128 621 814,00
2017	40 695 6750,00	542 433 800,00	301 773 240,00	125 116 3790,00	1 051 802 577,00	230 296 6367,00
2018	423 235 020,00	580 813 550,00	314 347 125,00	1 318 395 695,00	1 178 018 887,00	2 496 414 582,00
2019	447 652 425,00	619 193 300,00	326 921 010,00	1 393 766 735,00	1 319 381 153,00	2 713 147 888,00
2020	463 930 695,00	657 573 050,00	364 642 665,00	1 486 146 410,00	1 477 706 891,00	2 963 853 301,00
2021	480 208 965,00	695 952 800,00	377 216 550,00	1 553 378 315,00	1 655 031 718,00	3 208 410 033,00
2022	496 487 235,00	752 243 100,00	402 364 320,00	1 651 094 655,00	1 853 635 524,00	3 504 730 179,00
2023	520 904 640,00	805 974 750,00	427 512 090,00	1 754 391 480,00	2 076 071 787,00	3 830 463 267,00
2024	537 182 910,00	852 030 450,00	465 233 745,00	1 854 447 105,00	2 325 200 402,00	4 179 647 507,00
2025	561 600 315,00	913 438 050,00	490 381 515,00	1 965 419 880,00	2 604 224 450,00	4 569 644 330,00
2026	586 017 720,00	977 404 300,00	515 529 285,00	2 078 951 305,00	2 916 731 384,00	4 995 682 689,00
2027	610 435 125,00	1 046 487 850,00	553 250 940,00	2 210 173 915,00	3 266 739 150,00	5 476 913 065,00
2028	634 852 530,00	115 571 400,00	590 972 595,00	2 341 396 525,00	3 658 747 848,00	6 000 144 373,00
2029	659 269 935,00	1 184 654 950,00	628 694 250,00	2 472 619 135,00	4 097 797 590,00	6 570 416 725,00
2030	683 687 340,00	1 271 649 050,00	666 415 905,00	2 621 752 295,00	4 589 533 301,00	7 211 285 596,00
2031	708 104 745,00	1 356 084 500,00	729 285 330,00	2 793 474 575,00	5 140 277 297,00	7 933 751 872,00
2032	740 661 285,00	1 448 195 900,00	767 006 985,00	2 955 864 170,00	5 757 110 572,00	8 712 974 742,00
2033	765 078 690,00	1 550 541 900,00	829 876 410,00	3 145 497 000,00	6 447 963 841,00	9 593 460 841,00
2034	797 635 230,00	1 650 329 250,00	867 598 065,00	3 315 562 545,00	7 221 719 502,00	10537282047,00
2035	830 191 770,00	1 765 468 500,00	930 467 490,00	3 526 127 760,00	8 088 325 842,00	11614453602,00

XI.1.2. Dépenses :

Pour que les Infrastructures restent en bon état après la Réhabilitation de la Route, il importe de les entretenir. Il y a deux types d'Entretien :

- L'Entretien Courant
- L'Entretien Périodique

XI.1.3. Tableau récapitulatif des avantages nets

On définit les avantages nets par la formule suivante :

$$R_n = A_n - C_c$$

Avec :

- $A_n = A + \sum \Delta t$
 - A_n : Sommes des avantages liés au trafic et à la recette communale
 - A : Recette communales
 - $\sum \Delta t$: Somme des avantages liés au trafic.

$$\sum \Delta t = \Delta C_c \cdot T$$

- C_c : Coût d'entretien courant ou d'entretien périodique ;

Tableau 41 : Les recettes nettes

ANNEE	Avantages $R_n (Ar)$	Coûts d'Entretien $C_c (Ar)$	Recettes nets $R_n (Ar)$
2016	2 128 621 814,00	297 000 000,00	1 831 621 814,00
2017	2 302 966 367,00	297 000 000,00	2 005 966 367,00
2018	2 496 414 582,00	297 000 000,00	2 199 414 582,00
2019	2 713 147 888,00	297 000 000,00	2 416 147 888,00
2020	2 963 853 301,00	988 200 038,00	1 975 653 263,00
2021	3 208 410 033,00	297 000 000,00	2 911 410 033,00
2022	3 504 730 179,00	297 000 000,00	3 207 730 179,00
2023	3 830 463 267,00	297 000 000,00	3 533 463 267,00
2024	4 179 647 507,00	297 000 000,00	3 882 647 507,00
2025	4 569 644 330,00	988 200 038,00	3 581 444 292,00
2026	4 995 682 689,00	297 000 000,00	4 698 682 689,00
2027	5 476 913 065,00	297 000 000,00	5 179 913 065,00
2028	6 000 144 373,00	297 000 000,00	5 703 144 373,00
2029	6 570 416 725,00	297 000 000,00	6 273 416 725,00
2030	7 211 285 596,00	988 200 038,00	6 223 085 558,00
2031	7 933 751 872,00	297 000 000,00	7 636 751 872,00
2032	8 712 974 742,00	297 000 000,00	8 415 974 742,00
2033	9 593 460 841,00	297 000 000,00	9 296 460 841,00
2034	10 537 282 047,00	297 000 000,00	10 240 282 047,00
2035	11 614 453 602,00	988 200 038,00	10 626 253 564,00

XI.2. Taux de rentabilité

Classiquement, le Taux de Rentabilité Interne (T.R.I.) représente l'indicateur de base retenu par les bailleurs de fonds et investisseurs pour juger la rentabilité du projet, et par la suite du financement en vue de sa réalisation.

Un projet rentable est caractérisé par un TRI supérieur au coût maximum du financement. Le TRI mesure la rentabilité du projet du point de vue de l „économie nationale en tenant compte de toutes les contraintes et ressources économiques du pays, notamment en déduisant les taxes qui ne sont que des transferts.

Le TRI est obtenu à partir des bilans économiques annuels actualisés entre les coûts et les avantages.

XI.2.1. Valeur actuelle nette (VAN)

La valeur actuelle nette mesure la création de valeur du projet. Elle est calculée de la manière suivante :

$$VAN = \sum_{n=1}^P R_n (1 + r)^{-n} - I$$

Avec :

- R_n : Avantage ou flux net de trésorerie de la période p ;
- I : investissement ;
- P : durée de vie du projet ;
- r : Taux d'actualisation (actuellement ce taux est de 12% à Madagascar)
- $R_n(1+r)^{-n}$: Avantage actualisé ;
- $(1 + r)^{-n}$: Facteur d'actualisation.

La règle de décision est : « un projet peut être adopté si la VAN est positive ou nulle »

Tableau 42 : Somme des avantages actualisés

Année	R_n	$(1 + r)^{-n}$	$R_n (1+r)^{-n}$
1	1 831 621 814,00	0,89	1 630 143 414,00
2	2 005 966 367,00	0,80	1 604 773 094,00
3	2 199 414 582,00	0,71	1 561 584 353,00
4	2 416 147 888,00	0,64	1 546 334 648,00
5	1 975 653 263,00	0,57	1 126 122 360,00
6	2 911 410 033,00	0,51	1 484 819 117,00
7	3 207 730 179,00	0,45	1 443 478 581,00
8	3 533 463 267,00	0,40	1 413 385 307,00
9	3 882 647 507,00	0,36	1 397 753 103,00
10	3 581 444 292,00	0,32	1 146 062 173,00
11	4 698 682 689,00	0,29	1 362 617 980,00
12	5 179 913 065,00	0,26	1 346 777 397,00
13	5 703 144 373,00	0,23	1 311 723 206,00
14	6 273 416 725,00	0,20	1 254 683 345,00
15	6 223 085 558,00	0,18	1 120 155 400,00
16	7 636 751 872,00	0,16	1 221 880 300,00
17	8 415 974 742,00	0,15	1 262 396 211,00
18	9 296 460 841,00	0,13	1 208 539 909,00
19	10 240 282 047,00	0,12	1 228 833 846,00
20	10 626 253 564,00	0,10	1 062 625 356,00
SOMME DES AVANTAGES ACTUELS			26 734 689 100,00

$$\mathbf{VAN = 26\,734\,689\,100 -- 19\,403\,442\,380 = 7\,331\,246\,720}$$

Donc le Projet permet de récupérer l'Investissement initial et de dégager un excédent de liquidité, la création de valeur d'Ar 7 331 246 720. Alors ce projet peut être adopté.

XI.2.2. Taux de Rentabilité Interne (TRI)

Le TRI est le Taux d'actualisation qui annule la VAN. La décision est la suivante : « Un Projet peut être adopté si $TRI > r = 12\%$, c'est-à-dire si la rentabilité moyenne du Projet est au moins égale au Coût des ressources financement ».

Tableau 43 : TRI

r	12%	18%
Année	Avantage actualisé	Avantage actualisé
1	1 630 143 414,00	1 552 221 882,00
2	1 604 773 094,00	1 440 653 812,00
3	1 561 584 353,00	1 338 631 611,00
4	1 546 334 648,00	1 246 222 213,00
5	1 126 122 360,00	863 576 257,00
6	1 484 819 117,00	1 078 478 102,00
7	1 443 478 581,00	1 006 986 793,00
8	1 413 385 307,00	940 036 066,00
9	1 397 753 103,00	875 366 448,00
10	1 146 062 173,00	684 286 755,00
11	1 362 617 980,00	760 806 190,00
12	1 346 777 397,00	710 785 236,00
13	1 311 723 206,00	663 205 713,00
14	1 254 683 345,00	618 238 506,00
15	1 120 155 400,00	519 727 462,00
16	1 221 880 300,00	540 501 042,00
17	1 262 396 211,00	504 789 492,00
18	1 208 539 909,00	472 543 195,00
19	1 228 833 846,00	441 116 943,00
20	1 062 625 356,00	387 918 081,00
$\sum_{n=1}^p R_n (1 + r)^{-n}$	26 734 689 100,00	16 646 091 833,00
I₀	19 403 442 380,00	19 403 442 380,00
VAN	7 331 246 720,00	-2 757 350 547,00

D'après le tableau ci-dessus on a :

- Pour un coefficient d'actualisation de 12 %, VAN = 7 331 246 720
- Pour un coefficient d'actualisation 18%, VAN = -2 757 350 547

Nous allons faire alors une interpolation pour trouver le TRI :

$$TRI = 12 + \frac{19\ 403\ 442\ 380 \times (18 - 12)}{19\ 403\ 442\ 380 - (-2\ 757\ 350\ 547)}$$

$TRI = 17,25\%$

Chapitre XII : Impacts socio-économiques

La RN5 traverse l'une des zones les plus fertiles de Madagascar, son aménagement aura des impacts positifs sur le plan socio-économique du pays plus particulièrement pour la Région d'Analajirofo.

XII.1. Situation Socio-économique

Avant d'identifier l'impact socio-économique à court terme et d'évaluer celui sur le long terme, il est important de connaître quelques données sur la situation socio-économique de la Région Analajirofo directement bénéficiaire de la réhabilitation de la RN5

XII.1.1. Région Analajirofo

La Région Analajirofo est composée de six districts

- Fenoarivo Est (chef lieu)
- Maroantsetra
- Mananara Nord
- Sainte Marie
- Soanierana Ivongo
- Vavatenina

Superficie: 21930 km²

Estimation de la population en 2004: 860 930

Régions limitrophes: SAVA, SOFIA, ALAOTRA-MANGORO, ATSINANANA

XII.1.1.1. Les principaux secteurs de production de la Région

XII.1.1.1.1. Agriculture

L'agriculture demeure la principale activité économique dominante dans les zones rurales de la Région Analajirofo. La culture vivrière, principalement le riz et le maïs. En effet, lorsqu'une augmentation de la production de paddy de 15%, soit 540 000 tonnes, et une augmentation de la superficie de plaines à bonne maîtrise d'eau de 4 000 ha sont prévues en 2010. Les résultats ont affiché la production 468 390 tonnes de paddy pour une

superficie de 4 075 ha. Cette situation de la production locale en riz est attribuable à la baisse de la culture contre saison.

Tableau 44 : Produits vivriers [T]

SPECULATION	OBJECTIF	REALISATIONS	ECARTS	EXPLICATION DES ECARTS
RIZ	540 000	468 390	-71 610	Bonnes conditions climatiques en saison. Impacte négatifs de la sécheresse sur bles rendements en contre saison entraînant une baisse de la production annuelle de paddy de 13.26% par rapport à l'objectif.
Manioc	120 000	196 800	+76 800	Bonne saison, récolte à partir de Juin-Juillet
Maïs	10 000	8 200	-1 800	Récolte de contre saison un peu compromise
Patate douce	9 000	11 460	+2 460	Bonne saison, récolte à partir de Juin-Juillet
Haricot	425	375	-50	Beaucoup d'attaques de prédateurs et de maladie pendant la saison pluvieuse
Cuma	34 500	52 400	+17 900	Bonnes récoltes de légumes feuilles améliorant le tonnage annuel des produits vendus sur le marché
Arboric	63 000	28 250	-34 750	Collecte difficile au niveau des communes
Superficie à bonne maîtrise d'eau (Ha)	4 000	4 075	+75	Objectif de superficie à bonne maîtrise d'eau atteint à 104% grâce aux appuis conjugués de différents bailleurs et partenaires financiers suivants: FIDA(PPRR)/UE(PPRR-PARECAM). -. USAID(Projet SALOHI-CARITAS) – MINAGRI(RPI/FERHAS)

Source : INSTAT/DES/Direction Interrégionale de la Statistique

XII.1.1.2. Elevage

La Région de l'Est n'est pas tout à fait favorable à l'élevage. Au niveau global de la région, Fénérive-Est vient largement en tête pour les bovins et les volailles et Vatomandry pour les porcins. L'élevage extensif de volailles est aussi courant tandis que les ovins et les caprins, sont peu en nombre à cause du climat qui est trop humide et le relief qui ne leur conviendrait pas.

En ce qui concerne les gros élevages même si les bovins sont majoritaires, leur

présence est beaucoup plus faible que dans le reste de Madagascar, de 20 à 40% des exploitations. Viennent ensuite les porcs qui ne sont présent significativement que dans quelques sous-préfectures : Mahanoro, Marolambo.

L'élevage bovin se trouve donc largement répandu surtout du côté Fénérive-Est et Maroantsetra mais il s'agit surtout d'un système d'élevage extensif, les animaux étant laissés en pâturage. Ils sont utilisés pour le patinage. Le nombre élevé de cheptel peut s'expliquer du fait des circulations avec la Région de Mandritsara et d'Alaotra.

Tableau 45 : Effectif du cheptel par sous-préfecture [têtes]

Sous-préfecture	Bovin	Porcin	Ovin	Caprin
Toamasina II	1 136	1 435	0	0
Brickaville	2 980	674	0	0
Sainte Marie	58	5	0	0
Fénérive Est	8 860	2 114	0	0
Vavatenina	5 190	1 282	0	0
Soanierana Ivongo	3 532	1 978	0	0
Mananara Nord	2 275	811	11	13
Maroantsetra	8 897	5 333	5	0

Source : Enquête Agricole de basse campagne 1998/99, DPEEE 99

Aviculture :

Pour le petit élevage, les poulets sont présents dans presque toutes les exploitations. Il s'agit généralement d'animaux destinés à l'autoconsommation des ménages (œufs et chair). Le canard, l'oie et le dindon sont présentés sous le tableau suivant.

Tableau 46 : Effectif de volailles par sous-préfecture [têtes]

Sous-préfecture	Poulet	Canard	Oie	Dindon	Lapin
Toamasina II	19 716	5 716	185	1 242	169
Brickaville	20 793	4 212	733	873	141
Sainte Marie	745		38	22	0
Fénérive Est	29 788	10 691	2 191	1 180	27

Vavatenina	16 699	4 687	2 275	554	0
Soanierana Ivongo	11 765	4 763	1 332	327	0
Mananara Nord	18 348	3 188	392	222	0
Maroantsetra	16 063	7 113	864	11	0

Source : Enquête Agricole de basse campagne 1998/99, DPEEE 99

Autre élevages :

Il s'agit de l'apiculture (Ruche) et de la pisciculture. Elles se développent bien mais du fait de leur exploitation saisonnière, il pose de grands problèmes par la discontinuité de l'exploitation donc discontinuité de revenu qui décourage les opérateurs.

XII.1.1.3. Pêche et ressource Halieutique

Du fait de sa longue façade maritime et de son réseau hydrographique dense, la côte Est jouit à la fois d'un potentiel en pêche maritime et continentale.

La pêche est pratiquée en toute saison sur l'océan Indien mais le rendement demeure très modeste du fait des matériels rudimentaires (pirogue à balancier). Notons que toutes les sous-préfectures ont des façades maritimes sauf Vavatenina, Marolambo et Antanambao Manampotsy. Les produits sont tout de suite vendus sur place ou collectés par des opérateurs nationaux.

On y rencontre 3 types de pêche : pêche industrielle et pêche artisanale en mer, et pêche traditionnelle en mer, dans les estuaires ou en eau douce.

La pêche industrielle est depuis quelques années peu développée mais sous la main d'autres opérateurs venant d'autres pays (Japon, Chine,...).

XII.1.1.4. Artisanat

Les travaux de l'artisanat sont nombreux et variés, allant des traditionnelles vanneries (chapeaux, paniers et nattes) aux matériels divers (charrettes, bêches...) mais aussi des petits artisanats familiaux (extraction d'huile essentielle, articles destinés aux touristes...). Les matières premières se trouvent à proximité des locaux et à des quantités

suffisantes.

X.III.1.1.4. Infrastructures

Les proportions des communes de la Région disposant des infrastructures sont les suivantes :

Tableau 47 : Situation des établissements économiques en 2003 [unité]

Branche d'activité	Forme juridique				TOTAL
	EI	SA	SARL	AUTRES	
Agriculture	62	-	1	4	67
Elevage-pêche-chasse	2	-	9	1	12
Industrie alimentaire	108	-	3	3	114
Industrie de boissons	117	-	1	-	118
Industrie de tabac	-	-	-	-	-
Industrie de bois	30	-	3	-	33
Bâtiment et TP	202	1	7	5	215
Transport de voyageurs	36	-	1	1	38
Industrie électrique	6	-	2	-	8
Enseignement	2	-	-	2	4
Services récréatif et sociaux	10	1	5	1	17
banques	-	1	-	4	5
hôtels-restaurants	474	1	31	2	508

Source : INSTAT/DES/Direction Interrégionale de la Statistique

D'après ces données en remarque que les infrastructures de base sont loin de satisfaire les besoins de la population. Cette insufisance vient souvent des caractéristiques des Communes enclavées de la Grande île.

XII.2. Impacts socio-économiques de la réhabilitation

Pour bien encadrer notre étude, nous allons reformuler en terme économiquement évaluables les effets directs et indirects au niveau régional de l'investissement en question.

Les indicateurs majeurs des impacts sociaux du projet sont d'une manière générale:

- La santé
- L'éducation
- La population

XII.2.1. Impacts sur la santé:

Premièrement, la réhabilitation de la piste favorise l'évacuation urgente des médecins car le problème des communes rurales est le manque d'un corps médical qui empêche la construction des infrastructures sanitaires.

En effet la réhabilitation de la RN5 va augmenter le taux d'accessibilité de la population aux différents centres sanitaires. L'augmentation du taux d'utilisation de la route améliore l'échange culturel, social et économique d'une communauté à l'autre.

XII.2.2. Impacts sur l'éducation

Exactement comme le cas de la santé, le problème majeur de l'éducation est l'insuffisance du personnel éducatif lié à l'inaccessibilité de la piste et cela provoque bien atteindre un taux de réussite très faible à l'examen officiel. Cependant la réhabilitation de la piste motivera les enseignants à s'installer définitivement dans la ville de Toamasina.

XII.2.3. Impacts sur la population :

Au point de vue démographique, les effets de la réhabilitation cités auparavant, auront des impacts sur :

- La diminution nette de taux de mortalité ;
- Le développement de la relation humaine et sociale ;
- L'augmentation du niveau de vie et réduction du chômage

Au point de vue administratif, une piste réhabilitée favorisera les visites et les tournées des autorités de l'état pour pouvoir contrôler et superviser le déroulement des affaires publiques car d'une part, cela évitera la question d'anarchie mais d'autre part cela

accélera la diffusion de l'information et la prise de décision.

Chapitre XIII : Impacts environnementaux du projet

Tout aménagement conduit à modifier l'environnement et notre projet routier n'échappe pas à cette règle. En effet, la construction puis l'exploitation de la route engendrent des perturbations ayant une incidence sur toutes les thématiques directement liées à l'environnement (eau, air, faune, flore) de la région, mais aussi sur l'environnement de l'être humain.

XIII.1.L'eau :

Sur les infrastructures routières, les eaux de ruissellement se chargent d'apports provenant des gaz d'échappement, de l'usure des chaussées et des pièces des véhicules (plaquettes de frein, pneumatiques par exemple).

À titre d'exemple les apports annuels sur une route à deux voies supportant un trafic de 10 000 véhicules par jour s'élèvent à:

- ✓ Matières en suspension : 200 à 1 200 kg/km
- ✓ Demande chimique en oxygène : 230 à 400 kg/km
- ✓ Plomb : 0,9 à 1,3 kg/km
- ✓ Zinc : 1,5 à 2,5 kg/km
- ✓ Hydrocarbures : 5 kg/km

Il est donc nécessaire de prévoir des dispositifs de récupération des eaux superficielles provenant d'une plate-forme routière

Une autre donnée à prendre en compte est la pollution accidentelle, liée aux accidents. Les matières incriminées sont dans ce cas principalement les hydrocarbures. N'étant pas miscibles dans l'eau, ils ont un pouvoir polluant très important. La protection contre ce genre de pollution est réalisée par des bassins séparateurs qui permettent d'isoler les hydrocarbures de l'eau, très souvent par des parois siphoides.

XIII.2. Faunes, flore, écosystèmes

Dès lors que le projet a une incidence sur l'équilibre écologique, les fonctionnalités de l'écosystème et les équilibres faune-flore, l'impact sur les milieux naturels est apprécié sur l'ensemble d'un biotope ou d'une zone écologique cohérente.

Les biotopes de la Région sont constitués de vestiges dégradés de la forêt, de la savane arbustive ou herbeuse sillonnée d'une réserve de galerie forestière. Sur le plan faunique, les grands mammifères sont rares et la flore quant à elle est très riche, avec les palissandres et les katrafay. La Région appartient au domaine des sols ferrugineux.

XIII.3. Santé humaine

Cette thématique doit être développée dans les études d'impact, et les mesures compensatoires ou préventives doivent être mises en œuvre par le maître d'ouvrage.

Les principaux impacts dommageables de l'existence et de l'exploitation de la route réhabilitée concernent :

- ❖ La sécurité des personnes transportées : accidents de circulation par augmentation de la vitesse.
- ❖ La santé de la population riveraine : accidents de circulation, les maladies liées à la pollution de l'air, augmentation des MST-Sida par accroissement du flux de voyageur.

PROPOSITION DE PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTALE (PGE)

Définition du programme

Ce plan de gestion environnemental s'articule autour des impacts ci-après :

- compensation des cultures sous l'emprise des travaux ainsi que des maisons ;
- programme de sensibilisation en matière de transmission des maladies sexuellement transmissibles et du VIH/SIDA ;
- diminution des impacts visuels et de l'érosion par les banquettes ;
- contrôle de la pollution atmosphérique par arrosage ;
- contrôle de la pollution des sols par les hydrocarbures grâce à la construction d'une

aire de stockage ;

- la minimisation de la destruction du couvert végétal par le marquage systématique des arbres et pour des programmes de plantation d'arbres ;
- la réduction du risque d'accident en imposant une limitation des vitesses et en construisant les ralentisseurs ;
- la résolution des conflits sociaux entre riverains et le personnel du chantier grâce au recrutement des villageois et l'utilisation des tâches à haute intensité de main-d'œuvre.

Mise en œuvre du PGE

Concernant la mise en œuvre du Plan de Gestion Environnemental, les activités y relatives seront imposées aux différentes entreprises en charge des travaux, sous forme de cahier de charge environnemental. Mais également, on fera appel à des prestataires de services pour les volets des mesures d'accompagnement, le tout sur la supervision du volet environnement de la Mission de Contrôle des travaux.

Les opérations environnementales mises en œuvre portent essentiellement sur :

- ❖ L'élaboration d'un plan de gestion environnemental de l'entreprise comprenant :
 - le règlement intérieur pour le respect de l'environnement par tous les personnels du chantier (topographique, d'exécution et de contrôle) ;
 - le plan sanitaire et sécuritaire ;
 - le plan de gestion de déchets ;
 - l'intégration des bases vie dans la nature ;
 - le plan d'abattages des arbres ;
 - le plan de protection de l'environnement des sites ;
 - les mesures liées aux dégagements d'emprises ;
 - le recalibrage des lits des rivières ;
 - revêtement des talus en terre végétale ;
 - la remise en l'état des différentes aires ; la remise en l'état des sites de carrière en roche massive ;
 - l'expertise des biens ;

- le rétablissement des accès des riverains ;
- les actions de lutte contre la pollution des milieux récepteurs et les nuisances qui en résultent.
- ❖ Le volet d'accompagnement du projet relatif à la prévention des MST/SIDA, comprenant l'étude du milieu, la formation des pairs éducateurs et la sensibilisation des groupes cibles, la mise à disposition des préservatifs et la prise en charge psychosociale, le suivi évaluation.

CONCLUSION

Le développement socio-économique de la Région Analanjirofo et des Districts qui le composent passent inévitablement par le désenclavement des zones rurales à fortes potentialités agricoles, touristique et éco touristique. Soixante et une (61) Communes Rurales sont concernées par ce désenclavement et sont réparties sur une superficie de 22 272 km². Le PRD de la région a priorisé pour cette zone de la côte Est la RNS 5 comme moyen de transport terrestre prioritaire devant être revêtue avant 2016.

La conception géométrique est très délicate à cause de l'existence des zones marécageuses et de relief exceptionnel entre la section Soanierana Ivongo et Andranomalany. Ce qui conduit le projeteur à non respecter certaines normes de conception géométrique comme par exemple entre PK48+456 et PK 49+166. Au PK48+456 le rayon de courbure adopté est de 50m à cause de l'existence des agglomérations. C'est un grand virage qui risque de grand accident. Mais pour atténuer le risque d'accident, l'installation des panneaux de signalisation est à recommander pour signaler les conducteurs qu'il y a de grand virage. Et aussi l'installation des casseurs de vitesse permet le ralentissement des véhicules.

Pour l'étude topographique, l'utilisation des matériels topographiques sophistiqués et modernes sont envisageables.

Le coût TTC du projet est évalué à Ariary 19 403 442 380 qui est jugé raisonnable comparé aux impacts positifs apportés par le projet.

Pour terminer, ce travail de mémoire de fin d'études m'a permis d'approfondir les études théoriques acquises pendant la formation à l'ESPA telles que la compréhension de la méthodologie de l'étude géométrique et de l'étude topographique d'un projet routier. Il permet aussi de me donner des idées de la vie professionnelle.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Ministère des transports du Québec, (1994) « Normes sur les constructions routières », Service de la qualité et des normes, Québec ;
- [2] Baas, K. et Badeau, N., (2000) « Les impacts des accotements et de la largeur des voies sur la sécurité routière », Ecole polytechnique de Montréal, Montréal, 103p
- [3] Direction de la voirie, (1986) « Catalogue de dégradations de chaussées », Laboratoire régional de l'Est parisien du Ministère de l'urbanisme et du logement, Paris, 129p
- [4] Hubert NGABMEN, (2002) « Les transports routiers au Cameroun Volume II », ALPHA PRINT, Cameroun, 162p ;
- [5] Pierre GAUTHIER et Michel PIGEON, (2000) « Développement et exploitation d'une technique de réhabilitation des trottoirs en béton », Université Laval, Québec, 19p ;
- [6] Conception et dimensionnement des structures de chaussée – Guide technique SETRA 1994 ;
- [7] Cours de route, -4^{ème} Année, RATSIMBAZAFY Andrianirina
- [8] Cours Procédé et Méthode, 4^{ème} Année, RABETSIAHINY

REFERENCE WEBOGRAPHIQUE

- ✓ http://fr.wikipedia.org/wiki/Profil_en_travers_d'une_route
- ✓ http://www.esgt.cnam.fr, 2008 [Site de l'Ecole Supérieure des Géomètres et des Topographes en France].
- ✓ http://fr.wikipedia.org/wiki/Route_en_relief_difficile
- ✓ http://fr.wikipedia.org/wiki/Conception_générale_du_tracé_d'une_route_en_France
- ✓ <http://www.setra.equipement.gouv.fr>
- ✓ http://www.topo-ingénierie.com, 2008 [Site du prestataire topographique français « Topo-Ingénierie »].

ANNEXES

Annexe n° 1 : Profil en Travers cas Déblai

EXTRAIT DU PROFIL EN TRAVERS

Echelle des longueurs : 1/250

Echelle des altitudes : 1/250

 Déblai : 55.15 m²

Dévers Gauche -7.00 %
Dévers Droite -7.00 %
X= 774119.391
Y= 1052880.962

PC : 2.00 m

Altitudes TN	-8.719	12.09	-7.777	12.52	-6.682	12.16	-5.431	12.18	4.977	2.901	-0.454	11.62	2.447	-14.77	9.428	-18.62	11.994	19.10
Altitudes TN	0.941	-12.17	1.095	-10.24	1.251	-9.9	1.251	-10.24	4.977	2.901	2.447	-14.77	9.428	-18.62	11.994	19.10		
Distances à l'axe TN	0.941	-8.719	1.095	-7.777	1.251	-6.682	1.251	-5.431	4.977	2.901	2.447	-0.454	11.62	9.428	-18.73	11.994	19.10	
Distances partielles TN	0.941	-8.719	1.095	-7.777	1.251	-6.682	1.251	-5.431	4.977	2.901	2.447	-0.454	11.62	9.428	-18.73	11.994	19.10	
Altitudes Projet	6.719	-12.17	5.750	-10.24	4.750	-9.9	4.750	-10.24	3.988	2.750	2.750	-0.000	10.24	10.24	10.24	10.24	10.24	
Distances à l'axe Projet	6.719	-8.719	5.750	-7.777	4.750	-6.682	4.750	-5.431	3.988	2.750	2.750	3.760	-3.760	3.760	-3.760	3.760	-3.760	
Distances partielles Projet	6.719	-8.719	5.750	-7.777	4.750	-6.682	4.750	-5.431	3.988	2.750	2.750	3.760	-3.760	3.760	-3.760	3.760	-3.760	

Annexe n° 2 : Profil en Travers cas Remblai

EXTRAIT DU PROFIL EN TRAVERS

Echelle des longueurs : 1/200

Echelle des altitudes : 1/200

Remblai : 35.86 m²

Dévers Gauche 2.50 %
Dévers Droite -2.50 %
X= 774249.486
Y= 1052588.950

PC : -2.00 m

Annexe n° 3 : Profil en Travers Mixte

EXTRAIT DU PROFIL EN TRAVERS

Echelle des longueurs : 1/200

Echelle des altitudes : 1/200

Remblai : 5.84 m²
Déblai : 14.70 m²

Dévers Gauche -7.00 %
Dévers Droite -7.00 %
X= 774122.915
Y= 1052928.902

PC : 0.00 m

Altitudes TN	-11.912	6.62	8.930	7.23	-7.825	7.65	2.983	12.84	5.176	13.11	2.193	2.315	1.514	7.491	13.44	9.006	13.77
Distances à l'axe TN		2.983	1.104					2.983									
Distances partielles TN		2.983	1.104				10.808				2.193	2.315	1.514				
Altitudes Projet		7.03					10.38	10.81	10.83	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85		
Distances à l'axe Projet		-9.912	7.03				0.640	0.480	0.420	0.370	0.320	0.270	0.220	0.170	0.120	0.070	
Distances partielles Projet							0.640	0.480	0.420	0.370	0.320	0.270	0.220	0.170	0.120	0.070	



Annexe n°4 : Tableau Cubatures déblai remblai

Num	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes partiels		Volumes cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P.1	0.000	24.20	0.00	35.86	0.000	867.812	0	868
P.2	48.397	48.40	0.00	16.80	0.000	813.192	0	1681
P.3	96.794	48.40	0.00	7.46	0.000	357.507	0	2038
P.4	145.191	48.40	49.14	0.00	2433.070	0.000	2433	2038
P.5	193.588	48.40	41.76	0.00	2032.534	0.000	4466	2038
P.6	241.985	48.40	29.47	0.46	1413.752	22.300	5879	2061
P.7	290.382	48.40	0.00	24.76	0.193	1239.113	5880	3300
P.8	338.779	48.40	55.15	0.00	2607.954	0.000	8488	3300
P.9	387.176	48.40	14.70	5.84	699.121	291.530	9187	3591
P.10	435.573	48.40	57.19	0.00	2767.590	0.000	11954	3591
P.11	483.970	48.40	39.68	0.00	1923.914	0.000	13878	3591
P.12	532.367	48.40	0.00	30.04	0.000	1438.391	13878	5030
P.13	580.764	48.40	9.98	0.00	479.778	0.000	14358	5030
P.14	629.161	48.40	123.45	0.00	5949.692	0.000	20308	5030
P.15	677.558	48.40	111.71	0.00	5336.350	0.000	25644	5030
P.16	725.955	48.40	0.00	27.06	0.000	1307.510	25644	6337
P.17	774.352	48.40	0.00	31.29	0.000	1508.373	25644	7846
P.18	822.749	48.40	0.00	33.70	0.000	1631.177	25644	9477
P.19	871.146	48.40	0.00	26.57	0.000	1285.695	25644	10762
P.20	919.543	24.20	0.00	8.19	0.000	198.225	25644	10961

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ABREVIATIONS	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES ANNEXES.....	ix
INTRODUCTION	1
PARTIE I:	2
PHASE D'ETUDES GENERALES	2
Chapitre I : Présentation du projet.....	3
I.1. Description générale	3
I.2. Caractéristiques du projet :	3
I.3. Plan de situation.....	4
I.4. Horizons d'Etude	6
I.5. Objectifs du projet :	6
I.6. Résultats attendus.....	7
Chapitre II : Présentation de la zone du projet	8
II.1. Objectif	8
II.3. Localisation.....	8
II.4. Situations géographiques.....	9
II.4.1. Reliefs	10
II.4.2. Climat.....	10
II.4.3. Température.....	10
II.4.4. Pluviométrie	10
II.4.5. Hydrographie.....	10
II.4.6. Géologie.....	11
II.5. Etat actuel de la route	11
Chapitre III : Délimitation de la bande d'étude.....	14
III.1. Délimitation de la zone d'influence :.....	14

III.1.1. La zone d'influence directe.....	14
III.1.2. La zone d'influence élargie	15
III.2. Délimitation administrative.....	17
Cas général	17
III.3. Les différentes phases d'étude d'un aménagement routier	18
III.3.1 Etude d'Avant-Projet Sommaire.....	18
III.3.2. Etude d'Avant-Projet Détaillé.....	19
III.3.3. Etude du Projet d'Exécution	19
III.3.3.1. Constatation de l'état actuel de la piste et des bornes de l'APD.....	19
III.4. Quelques exemples de méthodologie.....	19
III.4.1. Levé terrestre direct	20
III.4.2. Levé photogrammétrique.....	20
III.4.2.1. Définition	20
III.4.2.2. Les travaux préparatoires	21
III.4.2.3. La prise de vue aérienne	21
III.4.2.4. La reproduction de plan.....	21
III.4.2.4.1. La stéréopréparation.....	21
III.4.2.4.2. L'aérotriangulation.....	22
III.4.2.4.3. La restitution photogrammétrique	22
III.5. Méthodologie utilisée par le Géoinfo.....	22
III.5.1. Détermination planimétrique des sommets de la polygonale de base	23
III.5.2. Détermination altimétrique des sommets de la polygonale de base.....	23
III.5.3. Levé de la bande d'étude et des détails planimétriques	24
III.5.4. Levé de profils en travers	24
III.5.5. Résultat obtenue	24
Chapitre IV: Démographie de la Région.....	25
IV.1. Définition.....	25
IV.2. Mouvement migratoire:.....	25
IV.3. Evolution de la population de la Région de l'Est.....	26
IV.4. Traits caractéristiques de la Région Analanjirofo.....	27
IV.4.1. Cas du District de Mananara	29
IV.4.1.1. Démographie	29
IV.4.1.2. Activités de la population	30
IV.4.2. Cas du District de Soanierana Ivongo	30
IV.4.2.1. Démographie	30
IV.4.2.2. Activités de la population	30
PARTIE II :.....	32
ETUDE ET ANALYSE TECHNIQUE DE LA CONCEPTION ROUTIERE	32
Chapitre V : Etude topographique en vue du tracé d'un projet de route	33
V.1. Généralités	33
V.2. Reconnaissance	33
V.3. Polygonation	34

V.4. Exécution de la polygonation.....	34
V.4.1. Cheminement directeur	35
V.4.2. Cheminement secondaire	35
V.4.3. Etablissement et détermination des points d'appui du cheminement directeur	36
V.4.3.1. Etablissement	36
V.4.3.1.1. Etude d'avant-projet de triangulation sur carte	36
V.4.3.1.2. Reconnaissances sur terrain	37
V.4.3.1.3. Matérialisation et repérage	37
V.4.3.1.4. Balisage	38
V.4.3.2. Détermination	38
V.4.3.2.1. Détermination planimétrique.....	39
V.4.3.2.2. Détermination altimétrique :.....	41
V.4.4. Etablissement des sommets de la polygonation	44
V.4.4.1. Conditions d'établissement.....	44
V.4.4.2. Matérialisation des sommets	45
V.4.4.3. Repérage des sommets	45
V.4.4.3.1. Repérage en triangle :.....	45
V.4.4.3.2. Repérage en parallèle :	46
V.4.4.4. Polygonale de base :	47
V.4.4.5. Détermination altimétrique des sommets de la polygonale de base	47
V.4.4.6. Tolérance altimétrique	48
V.4.4.7. Résultats obtenus	48
V.4.4.7.1. Tracé en plan	48
V.4.4.7.2. Profil en long.....	48
V.4.4.7.3. Profils en travers	49
V.5. Proposition si on effectue un levé GPS bi fréquence	49

Chapitre VI : Analyse de la Conception des infrastructures routières 52

VI.1.Normes routières	52
VI.1.1. Distance de visibilité	52
VI.1.1.1. Distance d'arrêt (da).....	53
VI.1.1.2. Distance de visibilité de dépassement	53
VI.1.2. Vitesse de référence.....	54
VI.1.3. Vitesse de V85	54
VI.1.4. Dévers.....	54
VI.1.5. Largeur de chaussée.....	55
VI.1.6. Zone de récupération	55
VI.1.7. Sur-largeur.....	56
VI.1.8. Visibilité	56
VI.1.8.1. Visibilité en angle saillant	56
VI.1.8.2. Visibilité en courbe	57
VI.1.8.3. Visibilité sous ouvrage	57
VI.1.8.4. Visibilité aux points d'entrée et de sortie	58
VI.1.9. Rayon de raccordement	59
VI.1.9.1. Raccordements progressifs	59
VI.1.10. Alignements droits	60
VI.1.11. Infrastructures de protection.....	60
VI.1.12. Caractéristiques techniques	61

VI.1.12.1. Paramètres fondamentaux.....	61
VI.2. Analyse proprement dite de la conception:.....	65
VI.2.1 Généralités sur l'analyse de la conception.....	65
VI.2.2 Quelques exemples d'analyse	65
VI.2.2.1 PK 48+456.35 :.....	65
VI.2.2.2 PK 49+166	66
VI.2.2.3. PK 49+678	67
VI.2.3. Solutions aux problèmes	68
Chapitre VII : Conception du projet sur le logiciel AutoPISTE.....	69
VII.1. Généralités sur le logiciel :	69
VII.2. Axe en plan.....	69
VII.3. Tabulation de l'axe	70
VII.4. Dessin du profil en Long.....	71
VII.5. Conception transversale	73
Chapitre VIII : Généralités sur 3D et calcul des cubatures.....	75
VIII.1. Généralités sur l'imagerie 3d	75
VIII.1.1. Les aspects actuels	75
VIII.1.2. Historique	75
VIII.1.3. L'espace 3D.....	76
VIII.1.3.1.Mathématique liée à la 3D	76
VIII.1.3.2. Les fondations de la 3D	76
VIII.1.4. La caméra et la perspective.....	77
VIII.1.5. Les sources de lumière et les ombres	77
VIII.1.6. Méthodes	78
VIII.1.7. Intérêts de la 3D	80
Chapitre IX : Cubature des terrassements	81
IX.1. Définition.....	81
IX.2. Calcul de cubature de terrassement	81
IX.3. Cubature de terrassement sur Visual Basic.....	83
IX.3.1. Organigramme Calcule des Volumes Partiels	83
PARTIE III :.....	84
ANALYSE FINANCIERE ET ETUDE ENVIRONNEMENTALE.....	84
Chapitre X : Estimation du coût du projet	85
X.1. Introduction :.....	85
X.2. Les coûts des travaux à réaliser.....	85
X.2.1. Devis descriptif :	85
102. repli de chantier :	86
X.2.2. Sous détails des prix unitaires	93
X.2.3. Sous détails de prix des travaux topographiques :	95

X.2.4. Détail Quantitatif et Estimatif.....	99
IX.3. Coût d'Entretien Préventif systématique	102
X.3.1. Travaux d'Entretien Courant	102
X.4. Coûts d'exploitation des véhicules.....	103
X.4.1. Hypothèses sur les couts fixes.....	104
X.4.1.1. Les assurances	104
X.4.1.2. Les Taxes professionnelles :.....	105
X.4.1.3. Le personnel de conduite	105
X.4.1.4. Les réparations	106
X.4.2. Hypothèse sur les couts proportionnels.....	106
X.4.2.1. Route dégradée	106
X.4.2.2. Route aménagée.....	107
X.4.3. Résultats des coûts d'exploitation des véhicules	107
X.4.3.1. Route dégradée	107
X.4.3.2. Route aménagée.....	108
X.4.4. Analyse des résultats des coûts d'exploitation des véhicules :	108
Chapitre XI : Etude de la rentabilité du projet	110
XI.1. Recettes et dépenses	110
XI.1.1. Recettes.....	110
XI.1.1.1. Coûts d'investissement.....	110
XI.1.1.2. Les avantages liés au trafic	111
XI.1.2. Dépenses :	113
XI.1.3. Tableau récapitulatif des avantages nets	114
XI.2. Taux de rentabilité	115
XI.2.1. Valeur actuelle nette (VAN).....	115
XI.2.2. Taux de Rentabilité Interne (TRI).....	116
Chapitre XII : Impacts socio-économiques.....	118
XII.1. Situation Socio-économique	118
XII.1.1. Région Analanjirofo	118
XII.1.1.1. Les principaux secteurs de production de la Région	118
XII.1.1.1.1. Agriculture	118
XII.1.1.1.2. Elevage	119
XII.1.1.1.3. Pêche et ressource Halieutique	121
XII.1.1.1.4. Artisanat.....	121
XII.1.1.1.4. Infrastructures	122
XII.1.2. Impacts socio-économiques de la réhabilitation	122
XII.2.1. Impacts sur la santé:.....	123
XII.2.2. Impacts sur l'éducation	123
XII.2.3. Impacts sur la population :	123
Chapitre XIII : Impacts environnementaux du projet.....	124
XIII.1.L'eau :	124
XIII.2. Faunes, flore, écosystèmes	125
XIII.3. Santé humaine	125

CONCLUSION	128
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	A
REFERENCE WEBOGRAPHIQUE	B
ANNEXES.....	C
ANNEXE N° 1 : PROFIL EN TRAVERS CAS DEBLAI.....	D
ANNEXE N° 2 : PROFIL EN TRAVERS CAS REMBLAI.....	E
ANNEXE N° 3 : PROFIL EN TRAVERS MIXTE	F
ANNEXE N°4 : TABLEAU CUBATURES DEBLAI REMBLAI	G
TABLE DES MATIERES	H