



VUE PREVISIONNELLE DES OUVRAGES
APRES L'ACHEVEMENT DES TRAVAUX
(La Route)



VUE PREVISIONNELLE DES OUVRAGES
APRES L'ACHEVEMENT DES TRAVAUX
(Le Douxième Pont sur l'IKOPA)

Liste des Tableaux

| | | |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 2-2-1 | Choix de l'itinéraire..... | 9 |
| Tableau 2-2-2 | Données météorologique de la région d'étude (Moyenne sur la période de 30 ans : 1960 à 1990) | 10 |
| Tableau 2-2-3 | Précipitations journalières maximum sur une année (Dix plus grandes valeurs, sur la période de 57 ans : 1943 à 1999) | 11 |
| Tableau 2-2-4 | Vitesse maximale annuelle du vent (10 plus grandes valeurs, sur la période de 44 ans : 1955 à 1998) | 12 |
| Tableau 2-2-5-1 | Débit maximum annuel (Dix plus grandes valeurs, sur la période de 29 ans : 1960 à 1998) | 13 |
| Tableau 2-2-5-2 | Débit moyen mensuel de l'Ikopa à Ambohimambola (Sur la période de 24 ans :1956 à 1980) | 14 |
| Tableau 2-2-6 | Normes de dimensionnement géométrique applicables..... | 24 |
| Tableau 2-2-7 | Tableau des résultats de l'examen du tassement et de la stabilité | 28 |
| Tableau 2-2-8 | Calcul de l'écoulement uniforme au point de construction prévue du pont de l'Ikopa..... | 38 |
| Tableau 2-2-9 | Variation du niveau d'eau due aux piliers de pont calculée par la formule d'Aubuisson | 39 |
| Tableau 2-2-10 | Analyse comparative globale du pont n°1 (pont du val d'inondation rive gauche)..... | 52 |
| Tableau 2-2-11 | Analyse comparative globale du pont n°2 (Pont sur la rivière Ikopa) | 53 |
| Tableau 2-2-12 | Contenu principal des travaux..... | 94 |
| Tableau 2-2-13 | Principales catégories de travaux pour chaque pont | 97 |
| Tableau 2-2-14 | Travaux à la charge de chaque partie | 99 |
| Tableau 2-2-15 | Liste des contrôles de qualité par catégorie de travaux..... | 105 |
| Tableau 2-2-16 | Répartition de l'approvisionnement en matériaux..... | 106 |
| Tableau 2-2-17 | Répartition de l'approvisionnement des principaux matériels pour les travaux | 108 |

Liste des Figures

| | | |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 2-2-1 | Moyennes des données météorologiques (sur la période 30 ans : 1960 ~ 1990) de la région d'étude | 11 |
| Figure 2-2-2 | Débit moyen mensuel de l'Ikopa à Ambohimambola (Sur la période de 24 ans : 1956 à 1980)..... | 14 |
| Figure 2-2-3 | Structure du remblai de route et méthodes de construction contre le terrain mou | 20 |
| Figure 2-2-4 | Profil en travers du point de construction du pont n°2 (sur l'Ikopa) | 42 |
| Figure 2-2-5 | Détermination de la largeur d'ouverture du Pont n°1 | 44 |
| Figure 2-2-6 | Composition de la largeur du pont n°1..... | 46 |
| Figure 2-2-7 | Composition de la largeur du pont n°2..... | 46 |
| Figure 2-2-8 | Comparaison des coupes des poutres du pont n°1 | 51 |
| Figure 2-2-9 | Plan de Situation du Projet | 57 |
| Figure 2-2-10 | Plan de la Route (1/4)..... | 58 |
| Figure 2-2-10 | Plan de la Route (2/4)..... | 59 |
| Figure 2-2-10 | Plan de la Route (3/4)..... | 60 |
| Figure 2-2-10 | Plan de la Route (4/4)..... | 61 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (1/16) | 62 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (2/16) | 63 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (3/16) | 64 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (4/16) | 65 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (5/16) | 66 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (6/16) | 67 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (7/16) | 68 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (8/16) | 69 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (9/16) | 70 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (10/16) | 71 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (11/16) | 72 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (12/16) | 73 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (13/16) | 74 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (14/16) | 75 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (15/16) | 76 |
| Figure 2-2-11 | Plan et Profil (16/16) | 77 |
| Figure 2-2-12 | Carrefour Giratoire Croisement (1/3)..... | 78 |
| Figure 2-2-12 | Carrefour Giratoire Croisement (2/3)..... | 79 |
| Figure 2-2-12 | Carrefour Giratoire Croisement (3/3)..... | 80 |
| Figure 2-2-13 | Profils en Travers Type de la Route | 81 |

| | | |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 2-2-14 | Profils en Travers Type et Plan de la Route (Le Zone D'arret pour Urgence)..... | 82 |
| Figure 2-2-15 | Detail et Generaux des Buses en Béton et Dalots (1/4) | 83 |
| Figure 2-2-15 | Detail et Generaux des Buses en Béton et Dalots (2/4) | 84 |
| Figure 2-2-15 | Detail et Generaux des Buses en Béton et Dalots (3/4) | 85 |
| Figure 2-2-15 | Detail et Generaux des Buses en Béton et Dalots (4/4) | 86 |
| Figure 2-2-16 | Dessin Général du Pont N°1..... | 87 |
| Figure 2-2-17 | Dessin Général du Pont N°2..... | 88 |
| Figure 2-2-18 | Renouvellement du chemin de fer dessin général (1/2) | 89 |
| Figure 2-2-18 | Renouvellement du chemin de fer dessin général (2/2) | 90 |
| Figure 2-2-19 | Organigramme des étapes de l'exécution des travaux..... | 98 |
| Figure 2-2-20 | Schéma du planning d'exécution..... | 110 |
| Figure 2-4-1 | Organigramme du Ministere des Travaux Publics | 114 |

Abbréviation

| | |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------|
| AFD | : Agence Française de Développement |
| AfDB | : Banque Africaine de Développement |
| AGETIP | : Projet d'Infrastructures Urbaines II |
| APIPA | : Autorité pour la Protection contre les Inondations de la Plaine d'Antananarivo |
| BDU | : Bureau du Développement Urbain |
| BPPA | : Bureau du Projet de Développement de la Plaine d'Antananarivo |
| BPPAR | : Bureau des Projets de Promotion et d'Aménagement des Régions |
| CBR | : California Bearing Ratio |
| DCP | : Dynamic Cone Penetration test |
| DI | : Direction des Infrastructures |
| EU | : Union Européenne (UE) |
| FED | : Fonds Européens de Développement |
| FER | : Fonds d'Entretien Routière |
| FTM | : Foiben-Taosarintanin I Madagasikara |
| JICA | : Agence Japonaise de Coopération Internationale |
| LNTPB | : Laboratoire National des Travaux Publics et Bâtiment |
| MATV | : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de la Ville |
| MTP | : Ministère des Travaux Public |
| USAID | : Unites States, Agency for International Development |

Résumé

Madagascar, quatrième île du monde par sa superficie, est situé à 390 km à l'est du continent africain au delà du détroit de Mozambique. Sa longueur est de 1600 km du nord au sud, sa largeur de 570 km environ d'est en ouest et la superficie totale du territoire national est de 587 041 km². Toutefois, les zones montagneuses étant importantes, la surface cultivée est de 30 200 km² et ne correspond qu'à 5,1 % du territoire national. Une dorsale montagneuse traverse l'est des régions centrales sur un axe nord-sud. Sur la côte est, le terrain descend en pente rapide vers l'océan Indien et, vers la côte ouest, en pente douce. A cause de sa situation géographique et des différences d'altitude à l'intérieur du pays, Madagascar a des climats divers, variant du climat tropical au climat subtropical de type semi-aride et est affecté par des cyclones. La capitale, Antananarivo, se trouve sur un plateau d'environ 1300 m d'altitude, un peu au nord du centre de l'île. A la capitale, le climat est tempéré avec une température moyenne annuelle de 18°C et un taux de précipitations annuel d'environ 1500 mm.

Madagascar, ancienne colonie française, gagna son indépendance en 1960 puis, après le coup d'état militaire de 1972, devint un pays socialiste. Après la démocratisation et les troubles sociaux exigeant la réforme de la constitution, l'adoption d'une nouvelle constitution en 1992 mit fin au régime socialiste. Depuis l'élection en 1996 de son deuxième président, jusqu'à aujourd'hui, la situation politique est restée stable.

L'agriculture est le principal secteur d'activité, l'économie s'est surtout développée à partir de la plantation de cultures destinées à l'exportation, mais l'exportation des ressources halieutiques a évolué ces dernières années. Parmi les principaux produits agricoles, le riz, le manioc, le maïs, etc. abondent et constituent des cultures vivrières, tandis que le café, le cacao, la vanille, les clous de girofle, le sisal, le coton, le sucre, etc. sont destinés à l'exportation. En ce qui concerne les ressources halieutiques, le littoral occidental abrite des élevages de crevettes exportées en partie vers le Japon.

A Madagascar, les transports routiers prédominent, complétés par les transports maritimes et aériens. Les chemins de fer sont sous régie nationale mais n'assurent pas de trafic régulier et sont actuellement en voie de privatisation. Par conséquent, les transports terrestres de marchandises et de passagers s'effectuent surtout par route.

La longueur totale du réseau routier malgache est de 34 739 km, dont 8 528 km de routes nationales reliant les 6 provinces et les chefs-lieux des 28 régions, 11 101 km de routes régionales (grandes routes locales) reliant les districts à l'intérieur des régions et 15 110 km d'autres routes locales (routes communales) gérées par les communes. Le taux de

bitumage est faible, 59% pour les routes nationales, 2% pour les grandes routes locales et un peu plus de 1% pour les autres routes locales.

Le problème du secteur routier malgache reste la faiblesse de l'ensemble des réseaux routiers et leur manque de continuité. L'existence de villages isolés dans les zones rurales et la hausse du coût des transports, due à cette faiblesse et à ce manque de continuité, entraîne une baisse de la compétitivité dans l'import-export et la stagnation de l'économie malgache. Afin de régler ces problèmes, l'administration routière du gouvernement malgache a choisi comme axes politiques le développement du secteur privé, le retrait des entreprises nationales du secteur de la production et une plus grande autonomie des provinces, en suivant le Document Cadre Politique et Economique (DCPE), dans le cadre de la politique d'ajustement structurel et de libéralisation. Au cours de ce processus, dans l'administration routière aussi, le Ministère des Travaux Publics mène la réorganisation des organismes, la création d'un Fonds d'Entretien Routier (FER) et la privatisation des travaux d'entretien.

D'autre part, le 8^e programme routier est actuellement mené, principalement par le Fonds Européen de Développement, en vue de l'aménagement des réseaux routiers du pays. En suivant ce plan d'aménagement routier, la Banque Mondiale, la Banque Africaine de Développement, la Banque Arabe pour le Développement Economique en Afrique, l'Agence Française de Développement, la République Populaire de Chine, etc. aident le secteur routier en se répartissant les travaux.

Dans le cadre du 8^e programme routier (1999-2003) du Fonds Européen de Développement, le présent projet de déviation a pour but l'aménagement du réseau structurant de l'agglomération de la capitale.

Au niveau du réseau routier national, la capitale Antananarivo est le point de départ du réseau structurant reliant les 3 ports principaux et constitué de la route nationale n°2 (vers le port de Toamasina à l'est), la route nationale n°4 (vers le port de Mahajanga au nord-ouest), la route nationale n°7 (vers le port de Toliara au sud), etc., et, en même temps, un centre de redistribution par lequel passent la plupart des usagers et des biens matériels tels que les produits d'import-export et les principaux produits alimentaires. C'est donc la première zone commerciale, industrielle et de consommation du pays.

D'autre part, en ce qui concerne la circulation routière dans l'agglomération d'Antananarivo, à cause de l'accroissement considérable du trafic ces dernières années et de l'augmentation des dimensions des véhicules, les embouteillages sont devenus permanents et un nombre croissant d'accidents, ainsi que l'augmentation de nuisances dues à la circulation telles que la pollution atmosphérique et le bruit, sont devenus des problèmes

très graves. Les trottoirs et la chaussée des rues non aménagées de l'agglomération, au nombre desquelles figure la route nationale n°7 faisant l'objet du projet, sont encombrés de chariots, de charrettes, d'étalages et l'utilisation de ces rues comme espace public est désordonnée.

A l'agglomération de la capitale malgache, il n'existe actuellement pas de routes circulaires reliant les routes principales, ce qui oblige, pour déplacer d'une route principale à une autre, de passer par la ville d'Antananarivo qui souffre d'embouteillages permanents comme décrit ci-dessus. De plus, des mesures de limitation de l'afflux de poids lourds dans la ville sont prises pour résoudre le problème d'embouteillage. Ces circonstances empêchent une distribution physique régulière.

De ce fait, pour assurer une distribution physique régulière entre la route nationale n°7 et la route nationale n°2 et viser ainsi à réaliser le développement de l'économie malgache, le gouvernement malgache a demandé au gouvernement japonais sa Coopération financière non remboursable pour la construction d'une déviation de la route nationale n°7, faisant partie du plan d'aménagement des routes circulaires de l'agglomération d'Antananarivo.

Au début, le contenu de la requête pour le projet de construction d'une déviation de la route nationale n°7 était le suivant.

- Réhabilitation de la route existante (longueur : 10 km, 1 voie dans chaque sens)
- Construction d'une route (longueur : 6,4 km, 2 voies dans chaque sens)
- Construction d'un nouveau pont (longueur : 150 m)
- Construction d'un nouveau pont sur le chemin de fer (longueur : 150 m)

Sur la base de cette requête, le gouvernement du Japon a décidé de réaliser une étude de concept de base et la JICA a envoyé une mission d'étude de concept de base à Madagascar du 18 février au 10 mai 2000, puis du 30 juin au 30 juillet 2000. Celle-ci a discuté avec les représentants du gouvernement malgache et a fait une étude sur site. Par suite de cette étude, il s'est avéré que la route projetée se situerait sur un terrain peu solide et qu'une étude supplémentaire serait nécessaire pour établir une estimation plus sûre. Pour cette raison, le gouvernement du Japon a envoyé de nouveau une mission d'étude à Madagascar pendant la période du 28 novembre au 7 décembre 2000 pour expliquer aux personnes concernées du gouvernement malgache le résultat général des études effectuées jusque-là et les détails de l'étude supplémentaire à réaliser. Ensuite, cette étude supplémentaire sur les terrains mous a été effectuée sur le site du 31 mars au 9 juillet 2001 et une séance d'explication sur le rapport sommaire du concept de base a été organisée à Madagascar pendant la période du 3 au 12 novembre 2001.

La mission d'étude du concept de base a confirmé l'arrière-plan et le contenu de la requête, le positionnement du projet et les systèmes de réalisation, de gestion et d'entretien en discutant entre autres avec la Direction des infrastructures du Ministère des Travaux Publics. D'autre part, elle a fait des prospections sur site, un arpentage des terrains, une étude de la nature du terrain, une recherche du sol et des comptages routiers dans les zones faisant l'objet de l'étude et a rassemblé les données concernant les indices économiques et sociaux, la météorologie, l'hydrologie, la sismologie, etc. pour analyser et examiner le contenu de la coopération.

Suite à cet examen, le projet a été établi de manière que la quasi-totalité de la route du présent projet soit remblayée parce qu'elle traverse le val d'inondation et la vallée remblayée de l'Ikopa et de ses tributaires et qu'en plus du pont routier enjambant la rivière, un pont (pont n°1) soit construit pour faciliter l'évacuation des eaux du val d'inondation de la rivière, compte tenu du projet de mesures anti-inondation du pays.

Le contenu général du projet après examen est le suivant.

- Construction d'une route (longueur : environ 15 km, 1 voie dans chaque sens, largeur de voie : 3,5 m, accotement : 2,0 m, revêtement en asphalte)
- Construction de ponts : pont n°1 (longueur : 96 m, 1 voie dans chaque sens)
pont n°2 (longueur : 150 m, 1 voie dans chaque sens)

En ce qui concerne les délais d'exécution nécessaires à la réalisation du présent projet, il faudra environ 6 mois pour la conception de l'exécution des travaux et 40 mois pour leur exécution même.

Effets directs

- Réduction du temps requis pour la circulation
Comme la route nationale n°2 et la route nationale n°7 seront reliées directement sur un terrain plat dans la proche banlieue de la capitale, il sera possible de transporter des biens matériels sans passer par les routes de la ville qui sont étroites et qui ont de nombreuses pentes raides. Par conséquent, le temps requis pour la circulation des véhicules, qui est actuellement d'une heure et demie (sauf aux heures d'embouteillage), sera réduit à environ 20 minutes.
- Transport régulier non influencé par la limitation de la circulation dans la ville
Actuellement, l'entrée dans la ville des poids lourds de transport est limitée, ce qui provoque une perte de temps pour le transport (véhicules en attente stationnant sur les côtés de la route nationale, etc.). La construction de la présente déviation

permettra un transport efficace reliant les ports, les sites industriels et les zones agricoles.

Effets indirects

- **Résolution du problème d'embouteillage en ville**
La construction du tronçon envisagé permettra aux véhicules de circuler entre la route nationale n°7 et la route nationale n°2, qui ont un grand trafic, sans passer par la ville d'Antananarivo, ce qui contribuera à la diminution du trafic en ville et donc à l'élimination des embouteillages.
- **Réduction du coût de transport**
Comme le rendement du transport sera amélioré, le coût de fonctionnement des véhicules et le coût des carburants seront réduits, d'où la diminution du coût global de transport.
- **Augmentation de la motivation des agriculteurs riverains pour la production**
Avec l'augmentation de la capacité de transport, nous pouvons espérer une amélioration de la volonté de production des agriculteurs riverains de la route nationale n°7 qui passe dans le grenier du pays.
- **Correction de la disparité économique entre la zone urbaine et la zone rurale**
L'amélioration de la capacité et du rendement du transport des produits agricoles permettra d'augmenter les revenus dans la zone rurale et nous pouvons ainsi espérer la diminution de la disparité économique entre la zone urbaine et la zone rurale du pays.

Comme ce projet promet les grands effets mentionnés ci-dessus et, en même temps, apportera une grande contribution aux besoins de base des habitants, sa réalisation est conforme à l'esprit de la coopération financière non remboursable du gouvernement japonais.

L'organisme compétent du présent projet est la Direction des Infrastructures du Ministère des Travaux Publics, et son Service d'Entretien Routier s'occupe de l'entretien des routes en le sous-traitant au secteur privé et en utilisant le Fonds d'Entretien Routier. Or, ayant exécuté de nombreux projets routiers et des travaux d'entretien jusqu'au présent, ce Service a de l'expérience et donc il n'y aura pas de problème spécial à cet égard.

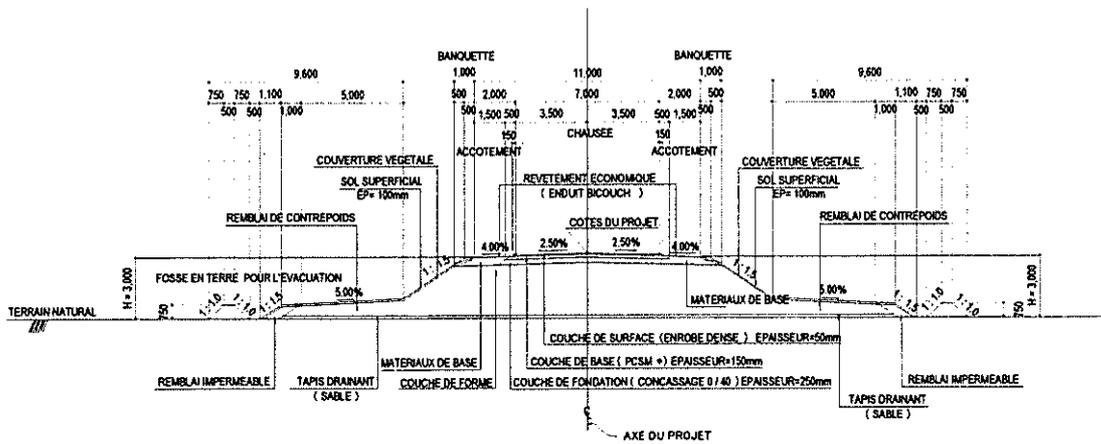
Par ailleurs, le présent projet pourra être réalisé régulièrement et efficacement si le Ministère des Travaux Publics assure les points suivants :

(1) Affectation d'un personnel technique pour l'entretien des routes

Comme Madagascar n'a pas d'expérience de l'entretien des routes construites sur un terrain mou, la Direction des Infrastructures du Ministère des Travaux Publics devra se disposer d'un personnel technique qui s'occupera de l'entretien des routes.

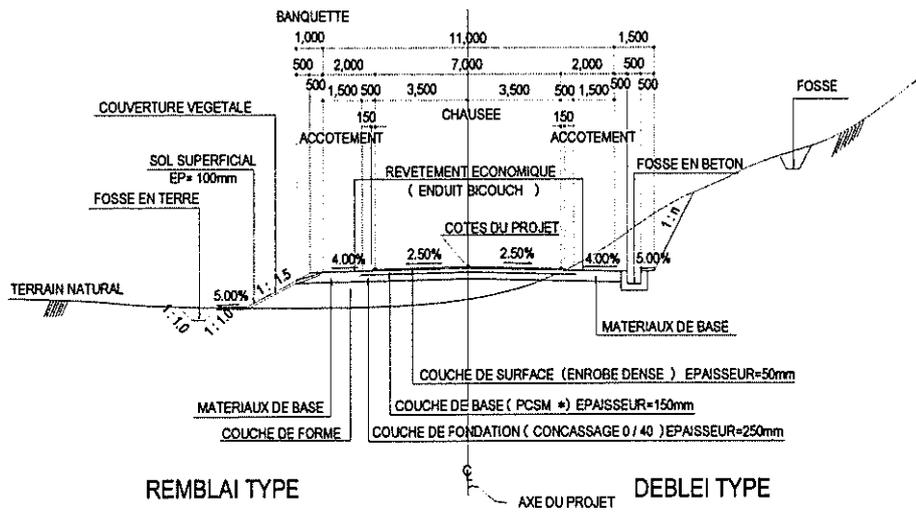
(2) Coopération avec le "Plan pour la défense d'inondation dans la région métropolitaine"

D'après ledit plan, le val d'inondation de la rive gauche de l'Ikopa, sur lequel passera la route future, deviendra un champ d'inondation lors d'une crue. Or, pour éviter la mauvaise influence sur le remblai de la route et assurer un entretien à long terme des installations, la réfection et l'aménagement de la rivière, prévus par ledit plan, devront être concrétisés le plus tôt possible. En outre, il faudrait réduire la mauvaise influence sur les installations en obtenant préalablement les informations sur l'état des eaux de la rivière à l'aide par exemple des prévisions 24h sur 24 des crues, faites actuellement dans le cadre dudit plan par l'APIPA (Autorité pour la Protection contre les Inondations de la Plaine d'Antananarivo), qui dépend de l'organisme compétent dudit plan, BPPAR (Bureau des Projets de Promotion et d'Aménagement des Régions).



MESURE A PRENDRE DE TERRAIN FRAGILE

PROFILS EN TRAVERS TYPES

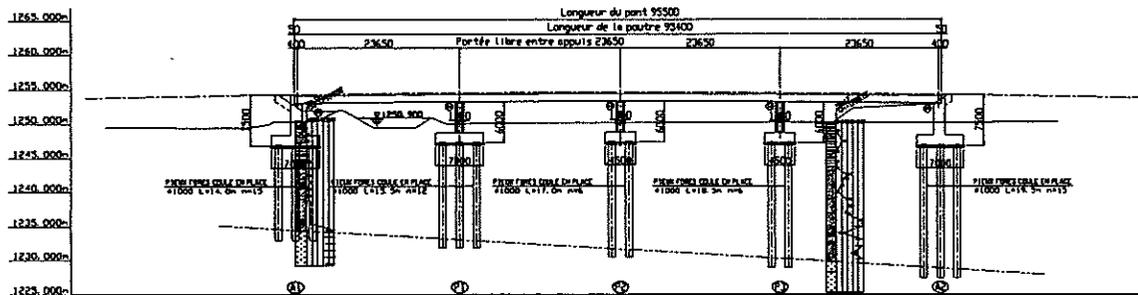


PROFIL EN TRAVERS TYPE GENERALEMENT

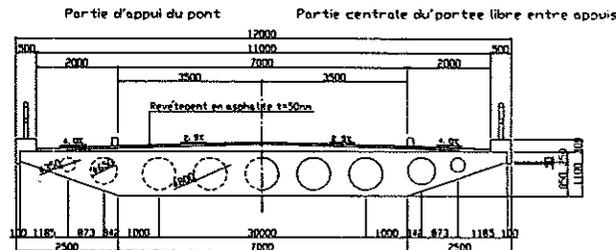
PROFIL EN TRAVERS TYPE GENERALEMENT

DESSIN GENERAL DU PONT

VUE DE COTE E=1/300

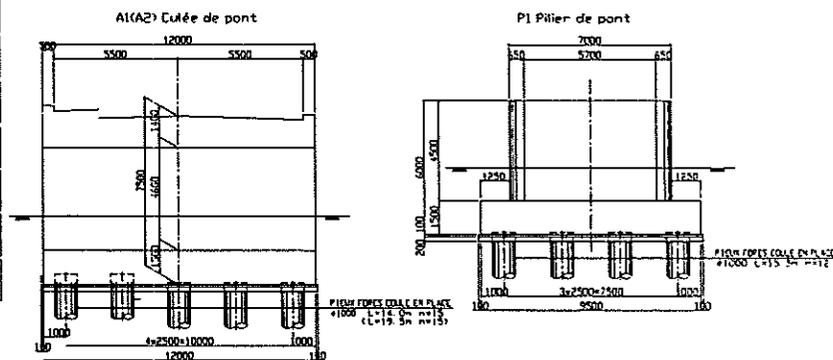


VUE EN COUPE E=1/50

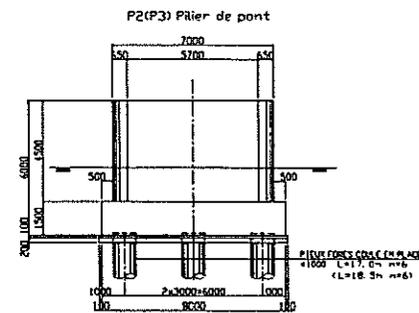
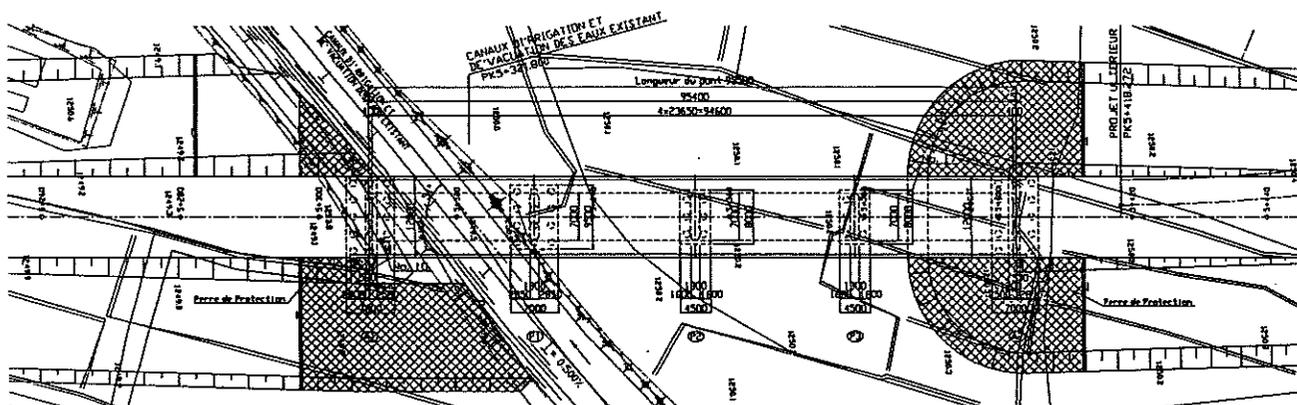


| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| PENTE | | | | | | | | | | |
| COTE DU PROJET | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 |
| COTE DU TERRAIN NATUREL (N) | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 | 1274.125 |
| BORNES KILOMETRIQUE (K) | 0.000-3106.467 | 18.000-3115.260 | 36.000-3124.053 | 54.000-3132.846 | 72.000-3141.639 | 90.000-3150.432 | 108.000-3159.225 | 126.000-3168.018 | 144.000-3176.811 | 162.000-3185.604 |
| DISTANCES PARTIELLES (M) | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 |
| NUMERO DES PROFILES | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 |
| ALIGNEMENTS COURBES | R=1000 | | | | | | | | | |
| DETAILS DE RACCORDEMENT | | | | | | | | | | |

VUE DE FACE DE L' INFRASTRUCTURE E=1/100



PLAN



AGENCE JAPONAISE DE COOPERATION INTERNATIONALE

REPUBLIQUE DE MADAGASCAR
MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS

L'ETUDE DE CONCEPT DE BASE POUR LE PROJET DE CONSTRUCTION D'UN BY-PASS DE LA ROUTE NATIONALE N°7

CONSTRUCTION PROJECT CONSULTANTS, INC. EN ASSOCIATION AVEC CHODAI Co., Ltd., JAPAN

ECHELL
A1 1:300
A3 1:600

DATE
OCTOBRE 2001

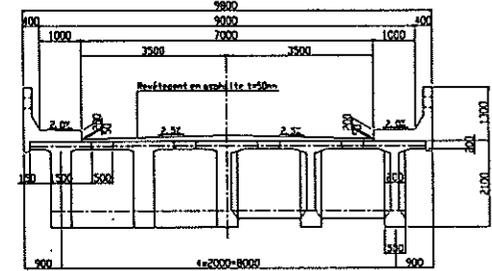
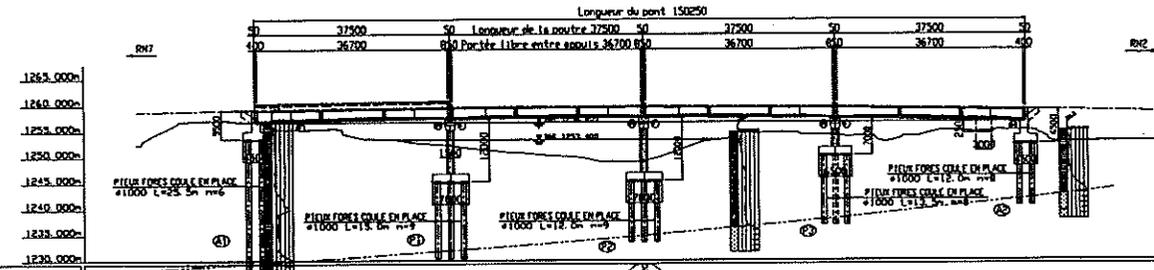
DESSIN GENERAL DU PONT
PONT N° 1

DESSIN GENERAL DU PONT (IKOPA RIV)

VUE DE COTE E=1/400

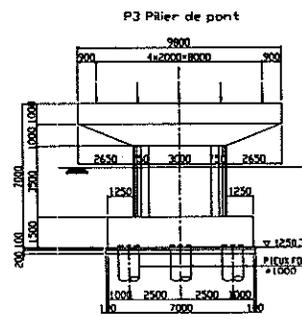
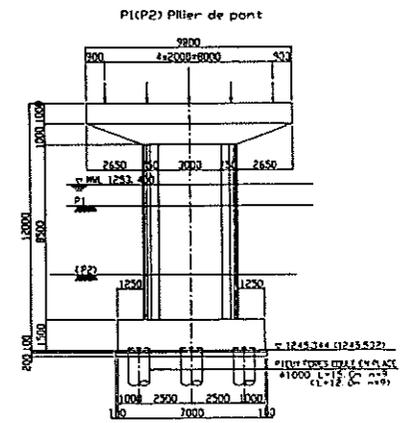
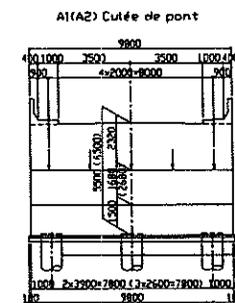
VUE EN COUPE E=1/50

Partie d'appui du pont Partie centrale du portée libre entre appuis

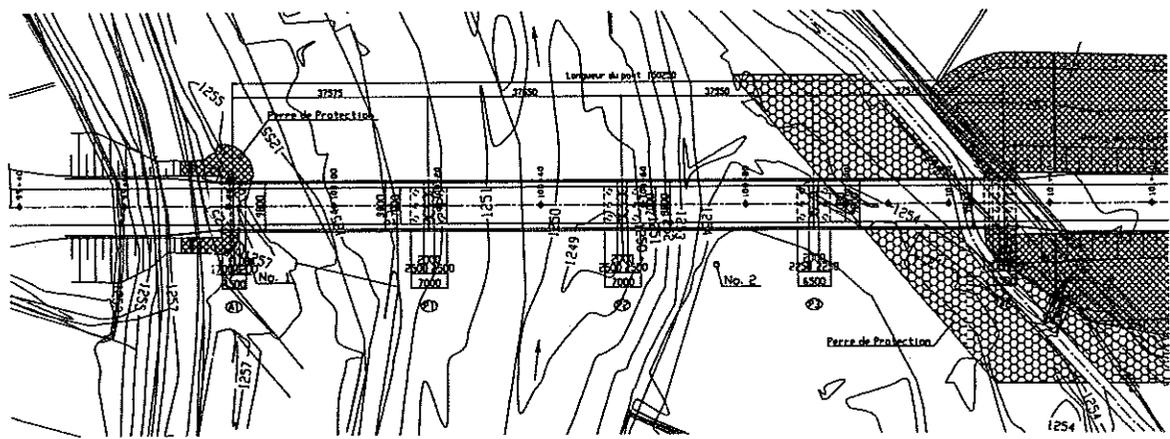


| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| PENTE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COTE DU PROJET | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 |
| COTE DU TERRAIN NATUREL (m) | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 | 1237.117 |
| BORNE KILOMETRIQUE (m) | 0.000 | 1.000 | 2.000 | 3.000 | 4.000 | 5.000 | 6.000 | 7.000 | 8.000 | 9.000 | 10.000 | 11.000 | 12.000 | 13.000 | 14.000 | 15.000 | 16.000 | 17.000 | 18.000 | 19.000 |
| DISTANCES PARTIELLES (m) | 0.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| NUMERO DES PROFILS | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| ALIGNEMENTS COURBES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DETAILS DE RACCORDEMENT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

VUE DE FACE DE L' INFRASTRUCTURE E=1/100



PLAN



AGENCE JAPONAISE DE COOPERATION INTERNATIONALE

REPUBLIQUE DE MADAGASCAR
MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS

L'ETUDE DE CONCEPT DE BASE POUR
LE PROJET DE CONSTRUCTION
D'UN BY-PASS DE LA ROUTE NATIONALE N° 7

CONSTRUCTION PROJECT CONSULTANTS, INC.
EN ASSOCIATION AVEC
CHODAI Co., Ltd., JAPAN

ECH. A1 1:400
A3 1:800

DATE
OCTOBRE 2001

DESSIN GENERAL DU PONT
PONT N 2 (PONT DE L'IKOPA)

**RAPPORT DE L'ETUDE DU CONCEPT DE BASE
POUR
LE PROJET DE CONSTRUCTION D'UN BY-PASS
DE LA ROUTE NATIONALE N°7
EN
REPUBLIQUE DE MADAGASCAR**

Table des matières

| | |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Avant-propos | |
| Lettre de présentation | |
| Plan d'implantation, schéma prévisionnel | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| Abréviation | |
| Résumé | |
| | |
| Chapitre 1 | Arrière-plan du Projet..... 1 |
| | |
| Chapitre 2 | Contenu du Projet..... 3 |
| 2-1 | Description générale du Projet 3 |
| 2-2 | Principes de base du projet de coopération 5 |
| 2-2-1 | Principes de la conception..... 5 |
| 2-2-2 | Plan de base..... 23 |
| 2-2-3 | Schémas de concept de base 55 |
| 2-2-4 | Plan d'exécution des travaux 91 |
| 2-2-4-1 | Principes d'exécution des travaux 91 |
| 2-2-4-2 | Points à retenir lors des travaux 93 |
| 2-2-4-3 | Répartition des travaux 98 |
| 2-2-4-4 | Plan de surveillance des travaux 100 |
| 2-2-4-5 | Plan de contrôle de la qualité 102 |
| 2-2-4-6 | Plan d'approvisionnement en matériel et en matériaux..... 105 |
| 2-2-4-7 | Planning d'exécution 110 |
| 2-3 | Résumé des mesures à prendre par le pays bénéficiaire 111 |
| 2-4 | Plan de gestion et d'entretien du projet..... 112 |

| | | |
|------------|----------------------------------------------|-----|
| Chapitre 3 | Vérification de la pertinence du Projet..... | 115 |
| 3-1 | Effets du Projet..... | 115 |
| 3-2 | Problèmes à résoudre et propositions..... | 116 |

[Annexes]

1. Liste des membres de la mission d'étude
2. Calendrier de l'étude
3. Liste des personnes concernées
4. Procès-verbaux
 - (1) Février 2000 lors du commencement de l'étude de concept de base
 - (2) Décembre 2000 lors du rapport intérimaire
 - (3) Novembre 2001 lors de la présentation du rapport finale
5. Autres documents et information
 - (1) Plan de profil en long géologique
 - (2) Extrait du rapport d'évaluation d'impact environnemental

CHAPITRE 1 ARRIERE-PLAN DU PROJET

Chapitre 1 Arrière-plan du Projet

La capitale Antananarivo, au centre du réseau routier national, est le point de départ du réseau structurant reliant 3 ports importants et constitué de la route nationale n°2 (vers le port de Toamasina à l'est), la route nationale n°4 (vers le port de Mahajanga au nord-ouest), la route nationale n°7 (vers le port de Toliara au sud), etc. et un centre de redistribution par lequel passent la plupart des produits d'import-export et des principaux produits alimentaires.

La route nationale n°7 est le réseau structurant le plus important passant par Antsirabe, première zone d'industrie légère et de production agricole de Madagascar, par Fianarantsoa, seconde ville du pays et aboutissant à Toliara dotée des plus importantes installations portuaires du sud-ouest de l'île. D'autre part, la route nationale n°2 est le réseau structurant reliant Antananarivo à Toamasina, premier port malgache pour l'import-export.

Les produits nationaux transportés via la route nationale n°7 arrivent à Toamasina en passant par la route nationale n°2, tandis que les produits importés déchargés à Toamasina sont transportés vers le centre du pays en suivant l'itinéraire inverse.

Cependant, l'observation de la situation de la proche banlieue de l'agglomération montre que, sur la route nationale n°2, l'entrée des grands véhicules de transport dans la ville est réglée par des limitations horaires afin d'y réduire les embouteillages (interdiction d'entrer de 6 heures du matin à 6 heures du soir). Le long stationnement des grands véhicules attendant la fin de la limitation horaire sur l'épaule des routes perturbe la circulation des véhicules ordinaires. En ce qui concerne la route nationale n°7, à cause de l'urbanisation, sa chaussée est menacée par les maisons et les magasins, encombrée de chariots, de charrettes ainsi que d'étalages et le croisement de grands véhicules est devenu difficile, ce qui perturbe davantage la circulation. En particulier, dans le tronçon de la route nationale n°7 de Tanjombato, situé au sud d'Antananarivo, la route est si étroite que les grands véhicules ne peuvent pas circuler facilement. Ce tronçon est donc le point faible de la route nationale n°7, provoque des embouteillages et perturbe aussi la circulation des véhicules d'urgence.

D'autre part, à l'intérieur d'Antananarivo, la rencontre des grandes routes comme les routes nationales et des voies urbaines forme un quadrillage mais :

1. puisque le réseau des boulevards de la capitale part en étoile du centre-ville et qu'il est dépourvu de déviations telles que les routes circulaires, la plupart des

véhicules ordinaires, grands véhicules compris, doivent passer par le centre-ville ;

2. d'autre part, les normes des boulevards varient d'un boulevard à l'autre et d'une section à l'autre avec, par exemple des sections à voie unique et la largeur des rues et des routes de l'agglomération d'Antananarivo n'est pas uniformisée ;
3. par ailleurs, le trafic et la taille des véhicules ont considérablement augmenté ces dernières années, par exemple, le taux d'augmentation du nombre de véhicules à Antananarivo est de 8 % par an.

Par conséquent, en plus des embouteillages permanents et des accidents fréquents, les nuisances dues à la circulation telles que la pollution atmosphérique, le bruit, etc. ont augmenté et entraînent divers problèmes comme des effets néfastes sur les activités sociales, économiques et sur la vie quotidienne dans l'agglomération d'Antananarivo.

En tenant compte de cette situation, le gouvernement malgache a demandé au gouvernement japonais de prendre en charge la construction de la déviation reliant les routes nationales n°2 et n°7, réhabilitation des routes existantes comprise, afin de réduire les embouteillages dans les villes malgaches et de faciliter la circulation des marchandises et les échanges humains entre les zones urbaines et rurales. Le gouvernement japonais a confié l'étude du présent projet à la JICA, organisme japonais chargé des projets d'aides techniques et de coopérations financières non-remboursables, à la suite de quoi la JICA a envoyé une mission d'étude du concept de base à Madagascar.

Au début, le contenu de la requête présentée par la partie malgache à la partie japonaise était le suivant.

Construction de la déviation de la route nationale 7 longueur 16,4km

(Détail)

- Réhabilitation de la route existante (longueur : 10km, 1 voie dans chaque sens)
- Construction d'une route (longueur : 6,4km, 2 voie dans chaque sens)
- Construction d'un pont (longueur : 150m, 1 voie dans chaque sens)

Toutefois, suite aux discussions pendant l'étude de concept de base du présent projet, le contenu de la requête est devenu le suivant.

Construction de la déviation de la route nationale 7 longueur environ 15km

(Détail)

- Construction d'une route (longueur : 6,4km, 2 voie dans chaque sens)
- Construction de 2 ponts (longueur : 150m et 96m respectivement, 1 voie dans chaque sens)

CHAPITRE 2 CONTENU DU PROJET

Chapitre 2 Contenu du Projet

2-1 Description générale du Projet

Comme il a été mentionné dans "Arrière-plan du Projet" du Chapitre 1, la Route Nationale n°7, le long de laquelle se trouvent la plus grande zone d'industrie légère du pays et la zone agricole, et la Route Nationale n°2, qui mène à Toamasina, ville portuaire située à la côte est, partent toutes les deux de la capitale Antananarivo. Or, les contraintes topographiques, le retard d'aménagement des routes, etc. provoquent des embouteillages de plus en plus graves dans la capitale, avec pour conséquence le retard de transport intérieur de matériels, y compris des produits exportés et importés.

Le présent Projet de construction d'un by-pass vise, compte tenu de cette situation, à permettre, par la construction d'une déviation d'une longueur d'environ 15 km reliant dans la proche banlieue de la capitale Antananarivo les deux Routes Nationales n°2 et n°7 qui constituent les grandes artères pour la distribution physique du pays, la circulation entre la Route Nationale n°7 le long de laquelle se trouvent des zones agricoles et industrielles et Toamasina, point terminal de la Route Nationale n°2 et la plus grande ville portuaire du pays, sans subir l'influence des limitations horaires de la circulation dans la ville, et à réaliser ainsi des transports plus efficaces des marchandises. En conséquence, le présent Projet a pour objectif de réduire aussi les embouteillages dans la ville et d'accélérer ainsi les échanges humains pour corriger la disparité économique entre le milieu urbain et le milieu rural.

(1) Objectif de niveau supérieur et objectif du présent Projet

Ces dernières années, Madagascar enregistre un taux de croissance du P.I.B. d'environ 6% (de 1998 à 2000) avec un taux de croissance démographique estimé à 7% dans l'agglomération de la capitale. D'autre part, le taux moyen d'augmentation du trafic dans l'agglomération de la capitale est de 8 % (valeur moyenne des 18 dernières années). L'économie du pays se développe ainsi régulièrement depuis l'introduction de l'économie de marché.

Sur la Route Nationale n°2 reliant la capitale et Toamasina, ville portuaire dans l'Est, la distribution physique ne s'effectue pas régulièrement à cause, en partie, des mesures d'interdiction des entrées des poids lourds dans la capitale (les poids lourds ne peuvent pas entrer dans la ville de 6 h à 18 h), prises pour réduire les embouteillages dans la capitale. D'autre part, sur la Route Nationale n°7 qui relie la capitale aux zones agricoles et industrielles situées au Sud du pays, des embouteillages permanents sont observés dans la

banlieue sud de la capitale par suite de l'urbanisation de la banlieue et de la saturation des ponts.

L'objectif supérieur consiste donc à relier les routes principales partant en étoile de la capitale aux principales villes portuaires du pays, à permettre la circulation entre ces routes principales sans passer par le centre-ville de la capitale souffrant des embouteillages permanents et à réduire de cette façon les embouteillages.

De ce fait, le Fonds Européen de Développement a établi un plan d'aménagement routier de l'agglomération de la capitale et a réalisé une étude de faisabilité du "Programme d'aménagement des routes circulaires de l'agglomération d'Antananarivo" (FED : 1996). Ledit Programme propose de construire des routes circulaires autour de la capitale et le présent projet de construction d'un by-pass correspond, parmi ces routes circulaires, à la voie de communication sud, à la route circulaire sud et à la voie de communication est.

En conséquence, la République de Madagascar vise à développer son économie par l'accélération de la distribution physique, basée sur le Programme d'aménagement des routes circulaire. Or, le présent Projet a pour objectif de relier préalablement les Routes Nationales n°7 et n°2 dans la banlieue de la capitale par une déviation construite en tant que partie de ces routes circulaires, de réduire le temps requis pour la circulation, d'assurer ainsi des transports réguliers sans influence néfaste de la limitation de la circulation dans l'agglomération de la capitale et, en même temps, de stimuler la volonté de production des agriculteurs riverains par l'élimination des embouteillages dans la ville, la réduction du coût du transport et l'accélération de la distribution physique et de corriger enfin la disparité économique entre le milieu urbain et le milieu rural.

Actuellement, le déplacement entre la Route Nationale n°2 et la Route Nationale n°7 demande environ une heure et demie en passant par la ville même sans embouteillage. Cependant, la construction de la présente déviation permettra de réduire ce temps à environ 20 minutes. Nous pouvons donc espérer une réduction considérable du temps requis.

D'après une estimation du trafic des routes circulaires, faite sur la base du recensement de circulation réalisé dans le cadre dudit programme, le nombre de véhicules circulant entre la Route Nationale n°7 et la Route Nationale n°2 est de l'ordre de 3.000 à 6.500 par jour (en 1996). De même, lors de l'étude effectuée en 2000 pour le présent Projet de construction d'un by-pass, le trafic de ce by-pass a été estimé à 4.400 à 6.500 véhicules par jour. Compte tenu de la croissance économique

récente du pays, le trafic passant sur le tronçon à l'horizon 2015 est estimé à plus de 12.000 véhicules par jour (trafic équivalent). D'autre part, l'achèvement du présent by-pass (en 2010) permettrait d'améliorer le degré moyen d'encombrement en journée de la Route Nationale n°7; il passerait de 1,7 à 0,5 (de 2,2 à 1,0 aux heures de pointe).

(2) Description générale du Projet

Le présent Projet consiste à construire un nouveau by-pass reliant directement les Routes Nationales n°7 et n°2 dans la banlieue de la capitale pour atteindre les objectifs mentionnés ci-dessus, avec pour conséquence attendue, l'élimination des embouteillages et de la pollution (de l'air, etc.) causée par ces embouteillages, la réduction du temps de transport de matériels et la correction de la disparité des conditions économique et de vie entre le milieu urbain et le milieu rural.

Le contenu du présent Projet de construction d'un by-pass est décrit ci-dessous :

Construction d'un by-pass de la Route Nationale n°7, longueur d'environ 15 km

(Détail)

- Construction d'une nouvelle route : Longueur d'environ 15 km, 1 voie dans chaque sens (route à 2 voies sur toute sa longueur)
- Construction de 2 ponts : Pont n°1 (longueur 96 m), Pont n°2 (longueur 150 m), une voie dans chaque sens pour les deux ponts.

2-2 Principes de base du projet de coopération

2-2-1 Principes de la conception

La pertinence du présent Projet a été vérifiée à travers des discussions avec le Ministère des Travaux Publics (MTP) malgache pour l'adopter comme projet de coopération, et en même temps, les résultats et les données obtenues lors des études sur place effectuées dans le cadre de l'étude du concept de base du présent Projet ont été analysés et examinés.

Comme la rénovation de la route actuelle prévue dans la requête initiale pour le présent Projet d'un by-pass nécessitait le déménagement de nombreux habitants et, de plus, il était difficile de déterminer le tracé de la route du point de vue de la norme routière, il a

été décidé que le by-pass projeté passera sur presque toute sa longueur au pied des collines et sur le val d'inondation.

Par ailleurs, en ce qui concerne les projets des ponts, vu la capacité limitée en charge et largeur des deux ponts actuels reliant la Route Nationale n°7 et la Route Nationale n°2 (Ambohimambola et Ankadindratombo), il a été décidé de construire un deuxième pont (Pont n°2) sur l'Ikopa. De plus, compte tenu du Programme de lutte contre l'inondation de l'agglomération de la capitale, d'après lequel la rive gauche de l'Ikopa joue le rôle d'un champ d'inondation en cas de crue, le Pont n°1 sera construit dans la zone d'écoulement des eaux de façon à favoriser l'évacuation des eaux de crues vers l'aval pour éviter que le by-pass n'empêche l'écoulement des eaux.

(1) Principe de base

Le présent by-pass devra constituer une partie de la route circulaire prévue par le projet supérieur et relier la Route Nationale n°7 et la Route Nationale n°2 en évitant l'influence des embouteillages de la ville

En conséquence, le point de départ et le point terminal du présent Projet sont prévus de façon à relier les deux routes nationales dans la banlieue de la capitale avant l'entrée dans le centre-ville. Le point de départ du by-pass se situera à environ 5 km au sud (Iavoloha) du Pont Tanjombato par lequel la Route Nationale n°7 franchit l'Ikopa dans la banlieue sud de la capitale, et le point terminal à l'endroit situé à environ 7 km (Ambohimangakely) du centre de la ville sur la Route Nationale n°2, qui va de la capitale vers l'Est.

Le by-pass croise deux lignes actuelles de chemin de fer ; celle entre Antananarivo et Antsirabé et celle entre Antananarivo et Toamasina. Or, comme il n'y a actuellement presque pas de circulation des trains des chemins de fer nationaux et que le plan d'exploitation future n'est pas clair à cause partiellement de la privatisation qui est en cours, il a été décidé que le croisement du by-pass et des lignes de chemin de fer se fera à niveau. Cependant, pour la ligne de chemin de fer allant vers Toamasina, compte tenu du Pont n°2 (Pont sur l'Ikopa) qui sera construit sur le côté sud de ladite ligne de chemin de fer, il sera nécessaire de déplacer la voie de chemin de fer. Le coût de ce déplacement est compris dans le présent Projet de construction d'un by-pass.

En ce qui concerne le nombre de voies du présent by-pass, certes, le résultat de l'investigation du volume de trafic indique la nécessité d'augmenter le nombre de voies dans l'avenir, mais, il a été jugé qu'une seule voie dans chaque sens (deux voies

au total) pourrait répondre au besoin pour le moment. Dans le Programme d'aménagement des routes circulaires de l'agglomération de la capitale, des routes à 4 voies sont envisagées dans l'avenir, ce qui correspond à la politique appliquée au présent projet de by-pass.

1) Conception du tracé en plan

Par suite des discussions avec le MTP, comme points de contrôle (CP) par lesquels passera le présent by-pass, ont été adoptés le point de départ (Route Nationale n°7), le point terminal (Route Nationale n°2), le pont sur le val d'inondation de la rive gauche de l'Ikopa (Pont n°1), le pont sur l'Ikopa (Pont n°2) et la voie d'accès au nouveau pont sur l'Ikopa planifié par le Fonds Européen de Développement (ci-après dénommée "voie d'accès FED").

De plus, par suite des études sur place, il s'est avéré que les cimetières, les habitations, les infrastructures socio-économiques telles que pylônes électriques haute tension et ouvrages d'irrigation et d'évacuation des eaux, les conditions naturelles telles que les terrains mous, les escarpements, les terrains susceptibles de glissement, les lacs et marais, etc. sont à éviter comme point de contrôle. En particulier, à Madagascar, il est d'usage de mettre les cimetières au voisinage d'habitations, et étant donné qu'il faut des coûts et du temps importants pour leur enlèvement, l'itinéraire a été défini en évitant les cimetières. De même, du fait que la route à réaliser par le Projet passe sur presque toute sa longueur dans un val d'inondation et une vallée remblayée ayant des terrains mous, l'itinéraire a été sélectionné de manière à les atténuer dans la mesure du possible.

La page suivante montre le résultat des analyses des principaux tronçons (Tableau 2-2-1).

2) Conception du profil en long

Sur la base du résultat des études sur place, les points de contrôles à utiliser pour déterminer la hauteur minimale de la surface de route dans la conception du profil en long sont définis comme suit : la hauteur de la route actuelle pour le point de départ (Route Nationale n°7) et le point terminal (Route Nationale n°2) du Projet, la hauteur du fond inférieur de poutres pour le Pont n°1 dans le val d'inondation de la rive gauche de l'Ikopa et le Pont n°2 (pour sur l'Ikopa).

Comme hauteur minimale de la surface de route de la partie route, le niveau des eaux enregistré lors du cyclone Géralda (II) a été adopté comme point de contrôle sur la base du résultat des études sur les traces d'inondations. Pour les

points de croisement des chemins de fer, la hauteur de la route sera celle de la voie ferrée actuelle pour le croisement de la ligne de chemin de fer allant vers Antsirabé (environ 5 km du point de départ), et elle sera exhaussée jusqu'à la hauteur de la surface de route de la voie d'accès au pont pour le chemin de fer sur la rive droite de l'Ikopa, allant vers Toamasina, ce qui nécessitera le déplacement de la voie ferrée.

Tableau 2-2-1 Choix de l'itinéraire

| Tronçon | Requête initiale | Présent Projet | Raisons |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Point de départ : Route Nationale No. 7 | Près du PK 11 + 500m RN7, coté ville | Près du PK 13 RN7, coté banlieue. | <ul style="list-style-type: none"> Minimum de maisons à déplacer et minimum de longueur de la route existante à réhabiliter. |
| Du chemin de fer (vers Antsirabé) au Pont n°1 | La route passe dans la zone de rizières à l'ouest, soit sur le coté droit du canal d'irrigation central. | La route passe dans la zone de rizières entre le coté gauche du canal d'irrigation et les collines. | <ul style="list-style-type: none"> Le pont d'écoulement des eaux constitue le point de contrôle. L'itinéraire proposé permet d'éviter les terrains mous et les habitations se trouvant sur la plaine au pied de collines. Cela tient compte de la sécurité en cas de crue. |
| Du croisement FED jusqu'à la digue de la rivière Ikopa | L'itinéraire passe vers le milieu du quartier d'habitations. | L'itinéraire passe l'extrémité est du quartier d'habitations. | <ul style="list-style-type: none"> L'itinéraire proposé permet d'éviter de couper le quartier d'habitations. |
| De la digue de la rivière d'Ikopa jusqu'à l'intersection de la rive gauche du pont n°2 (pont sur l'Ikopa) | L'itinéraire emprunte la Route Nationale No. 58B. | Itinéraire parallèle à la digue. | <ul style="list-style-type: none"> L'intersection sud du pont n°2 constitue le point de contrôle. L'itinéraire de la requête nécessite une intersection juste avant la digue actuelle. En outre, si l'on applique la norme de conception (R = 240 m) à la courbure en plan de la route de digue, la grande partie de la route nationale actuelle ne peut pas être utilisée. S'il s'agit d'un élargissement en utilisant le talus de la digue existante, il faut prévoir des mesures contre les tassements de digue. De plus, des fissures pourront se produire à la partie limite entre la route actuelle et la partie élargie. |
| Collines sur la rive droite de l'Ikopa | L'itinéraire passe dans les lacs et marais et la zone de rizières à côté des collines. | L'itinéraire passe dans la zone au pied des collines. | <ul style="list-style-type: none"> L'itinéraire proposé permet d'éviter les terrains mous de grande profondeur. Etant donné qu'aux bords de la crête de colline les maisons et les cimetières sont denses, l'itinéraire qui passe dans la zone au pied de colline est choisi. |
| Aux environs du point terminal | L'itinéraire passe dans la zone de rizières. | L'itinéraire passe dans la zone de collines. | <ul style="list-style-type: none"> Terrains mous de grande profondeur à éviter. |

(2) Principe concernant les conditions naturelles

1) Conditions climatiques

Le site du Projet se situe sur un plateau central d'une altitude d'environ 1 250 à 1 300 m. De ce fait, malgré la basse latitude (18° de latitude sud), le climat appartient à celui de mousson tropicale de haute altitude qui est proche du climat de la zone tempérée. A Antananarivo, la température moyenne annuelle est de 18,8°C, le maximum et le minimum des températures moyennes mensuelles sont de 23,5°C et de 13,2°C respectivement, le climat est donc tempéré en général. Une année est divisée en saison des pluies (novembre à mars) et saison sèche (avril à octobre) et 87 % du total des précipitations annuelles se concentre sur la saison des pluies.

Les précipitations journalières maximales, la vitesse maximale du vent sur une année et les données générales météorologiques enregistrées à l'observatoire météorologique d'Antananarivo(EL 1 381 m、 18° 55' S、 47° 33' E), qui relève du Ministère des Transports et de la Météorologie (MTM), sont indiquées ci-dessous (Tableaux 2-2-2 à 2-2-4, Figure 2-2-1).

**Tableau 2-2-2 Données météorologique de la région d'étude
(Moyenne sur la période de 30 ans : 1960 à 1990)**

| Mois | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-----------------|
| Précipitations mensuelles (mm) | 270,4 | 256,9 | 183,1 | 50,5 | 20,1 | 7,2 | 11,1 | 15,0 | 9,5 | 66,6 | 170,8 | 304,1 | Total 1365,3 |
| Humidité moyenne (%) | 80,5 | 80,3 | 80,1 | 79,1 | 78,2 | 77,8 | 78,0 | 76,6 | 71,8 | 71,5 | 75,5 | 79,4 | Moyenne 77,4 |
| Température moyenne (°C) | 21,2 | 21,4 | 20,8 | 20,0 | 17,9 | 15,8 | 15,2 | 15,4 | 17,1 | 19,3 | 20,5 | 21,1 | Moyenne 18,8 |
| Vitesse moyenne du vent (km/h) | 19 | 9 | 9 | 9 | 11 | 9 | 9 | 19 | 15 | 15 | 15 | 15 | Moyenne 12,8 |
| Direction moyenne du vent | E | E | E | E | E | SE | E | SE | SE | SE | E | E | - |

Source : Service de la Météorologie, Ministère des Transports et de la Météorologie (MTM)

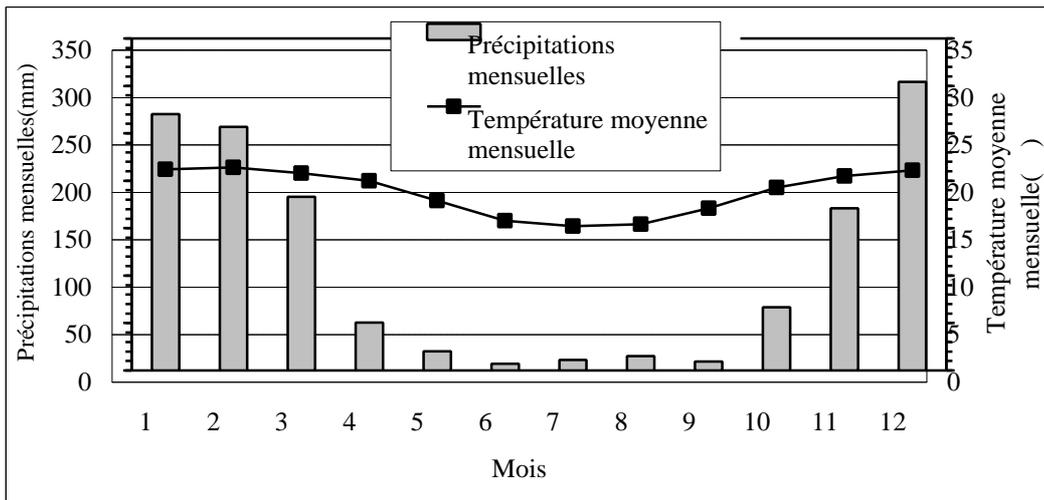


Figure 2-2-1 Moyennes des données météorologiques (sur la période 30 ans : 1960 ~ 1990) de la région d'étude

Tableau 2-2-3 Précipitations journalières maximum sur une année (Dix plus grandes valeurs, sur la période de 57 ans : 1943 à 1999)

| Ordre | Date d'apparition | Précipitations journalières (mm) |
|-------|-------------------|----------------------------------|
| 1 | 12 mars 1985 | 318,4 |
| 2 | 28 jan. 1982 | 147,0 |
| 3 | 01 jan. 1987 | 140,7 |
| 4 | 10 jan. 1981 | 131,9 |
| 5 | 12 mars 1975 | 128,0 |
| 6 | 12 nov. 1978 | 115,2 |
| 7 | 20 jan. 1994 | 112,5 |
| 8 | 20 déc. 1966 | 105,4 |
| 9 | 21 mars 1950 | 102,3 |
| 10 | 09 mars 1953 | 100,0 |

Source : Service de la Météorologie, Ministère des Transports et de la Météorologie

**Tableau 2-2-4 Vitesse maximale annuelle du vent
(10 plus grandes valeurs, sur la période de 44 ans : 1955 à 1998)**

| Ordre | Vitesse maximale instantanée | | Vitesse maximale moyenne du vent de 10 minutes | |
|-------|------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|
| | Date d'apparition | Vitesse du vent (km/h) | Année d'apparition | Vitesse du vent (km/h) |
| 1 | 13 avr. 1986 | 112 | 1958 | 39 |
| 2 | 23 nov. 1959 | 101 | 1984 | 35 |
| 3 | 13 jui. 1992 | 100 | 1985 | 35 |
| 4 | 03 nov. 1982 | 97 | 1959 | 34 |
| 5 | 21 août 1985 | 97 | 1972 | 34 |
| 6 | 06 avr. 1980 | 86 | 1960 | 33 |
| 7 | 30 nov. 1983 | 86 | 1986 | 32 |
| 8 | 10 oct. 1994 | 85 | 1971 | 31 |
| 9 | 30 sep. 1990 | 83 | 1983 | 31 |
| 10 | 23 nov. 1957 | 79 | 1957 | 30 |

Source : Service de la Météorologie, Ministère des Transports et de la Météorologie (MTM)

2) Conditions topographiques des cours d'eau

L'Ikopa, qui est la plus longue rivière du pays, a sa source dans une dorsale montagneuse et se jette dans le détroit de Mozambique. Or, le site faisant l'objet de l'étude se situe dans la plaine d'Antananarivo, au cours moyen de ladite rivière, et la superficie du bassin versant à Ambohimambola, situé à environ 3 km en amont du site prévu de construction du pont n°2, est de 1 311 km².

Il est dit que la plaine d'Antananarivo a été formée, par la stagnation des eaux de crue de l'Ikopa à la partie rétrécie au nord-ouest de la ville d'Antananarivo et ensuite par la progression de la sédimentation. Pour cette raison, cette plaine, malgré sa haute altitude, est extrêmement plate ; l'altitude ne varie qu'entre 1250 et 1260 m pour la zone de rivière d'une longueur d'environ 40 km. Elle constitue ainsi un delta sédimentaire marécageux, bas et humide.

A propos, il y a un service s'occupant des côtes et cours d'eau au sein du MTP, le Service des Travaux Maritimes et Fluviaux (STMF), mais ses activités surtout les côtes et rarement les cours d'eau.

3) Conditions hydrologiques de la rivière Ikopa

Sur la rivière Ikopa, il y a l'observatoire limnigraphique d'Ambohimambola (EL 1 255 m, 18°56' S, 47°35' E, A=1 311 km²) à environ 3 km en amont du site prévu de construction du pont n°2 et le Service de l'Hydrologie de la

Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie, MTM, y assure l'observation du niveau d'eau et du débit depuis 1956.

Le débit moyen annuel de l'Ikopa, enregistré audit observatoire est d'environ 30m³/s. Le débit maximum annuel et le débit moyen mensuel sont indiqués (voir le Tableau 2-2-5 et la Figure 2-2-2).

Le débit maximum annuel s'observe en saison des pluies, pendant la période de janvier à mars, le plus grand débit enregistré jusqu'ici est de 400 m³/s, valeur observée lors l'assaut du cyclone Géralda en février 1994. Par ailleurs, le plus grand débit que la rivière a connu serait celui de la crue de 1959, mais le débit de pointe de l'époque est inconnu, car le niveau de crue a dépassé la capacité de l'appareil de mesure de niveau. L'année hydrologique commence en novembre et se termine en octobre de l'année suivante du calendrier.

**Tableau 2-2-5-1 Débit maximum annuel
(Dix plus grandes valeurs, sur la période de 29 ans : 1960 à 1998)**

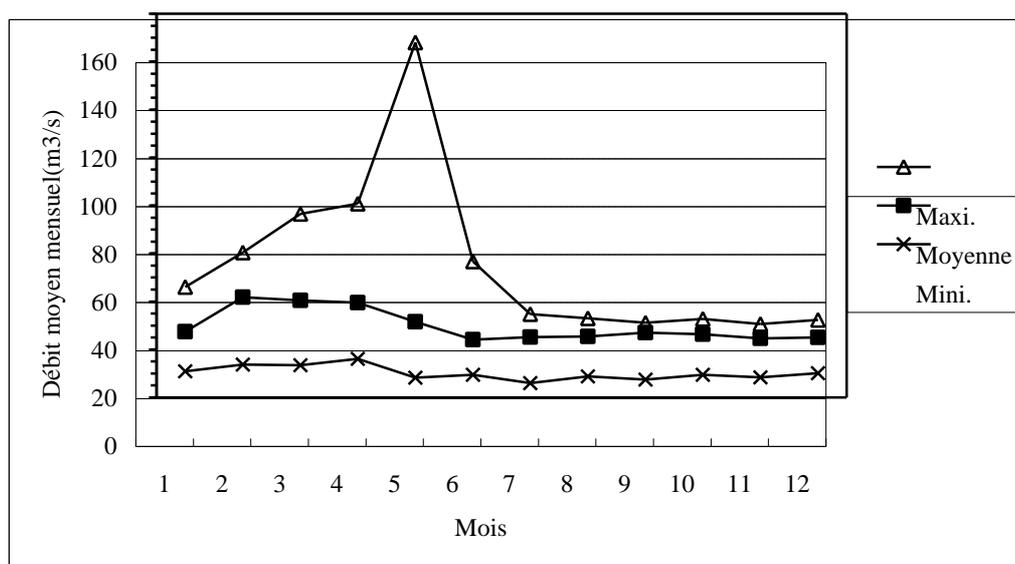
| Ordre | Date d'apparition | Débit (m ³ /s) |
|-------|-------------------|---------------------------|
| 1 | 04 fév. 1994 | 400 |
| 2 | 14 mar. 1975 | 342 |
| 3 | 11 fév. 1977 | 321 |
| 4 | 11 mar. 1982 | 280 |
| 5 | 04 jan. 1987 | 270 |
| 6 | 08 fév. 1996 | 236 |
| 7 | 17 mar. 1986 | 226 |
| 8 | 16 fév. 1972 | 221 |
| 9 | 18 fév. 1963 | 220 |
| 10 | 26 fév. 1973 | 214 |

Source : BPPA & Service Hydrologique, MTM (février 1999) "Etude de Faisabilité de l'Extension de l'Annonce de Crue de l'Ikopa et ses Affluents (La Sisaony et L'Andromba), Phase 2: Rapport sur la Faisabilité". EDF-DTG-CHPMC, AFD.

**Tableau 2-2-5- 2 Débit moyen mensuel de l'Ikopa à Ambohimambola
(Sur la période de 24 ans :1956 à 1980)**

| Mois | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Moyen -ne |
|---------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| Moyenne | 27,4 | 41,8 | 40,5 | 39,6 | 31,5 | 24,1 | 25,2 | 25,4 | 27,0 | 26,4 | 24,6 | 25,0 | 29,9 |
| Maximum | 46,1 | 60,4 | 76,5 | 80,8 | 148,0 | 56,7 | 34,8 | 33,0 | 31,2 | 32,8 | 30,6 | 32,4 | - |
| Minimum | 10,9 | 13,7 | 13,5 | 16,1 | 8,2 | 9,5 | 6,0 | 8,8 | 7,4 | 9,4 | 8,4 | 10,1 | - |

Source : DMH, CNRE (mai 1993) "Fleuves et Rivières de Madagascar". P. Chaperon, J. Danloux et L. Ferry.



Source: DMH, CNRE (mai 1993) "Fleuves et Rivières de Madagascar". P. Chaperon, J. Danloux et L. Ferry.

**Figure 2-2-2 Débit moyen mensuel de l'Ikopa à Ambohimambola
(Sur la période de 24 ans : 1956 à 1980)**

4) Séismes

Le relevé des observations des séismes est assuré par l'Institut et l'observatoire géophysique de l'Université d'Antananarivo depuis 1979 qui a recensé jusqu'à présent pendant une période d'environ 20 ans 2.228 séismes de magnitude supérieure à 2,5.

Parmi ces séismes enregistrés, le plus important est celui survenu le 8 juin 1996 à un lieu qui est à environ 150 km d'Antananarivo avec une magnitude de 5,7. Lors de ce séisme, le degré de séisme à Antananarivo était de l'ordre de II (2,5 à 8,0 Gal), donc faible.

Les séismes sont assez fréquents bien qu'ils ne soient pas importants, d'où il serait nécessaire d'en prendre en compte dans la conception des ponts.

(3) Principe concernant les conditions socio-économiques

Le site du Projet se trouve dans la banlieue est à sud de la ville d'Antananarivo. Il s'agit d'une zone agricole dans la proche banlieue, dans laquelle sont pratiquées la culture de riz aquatique dans les terrains bas par la méthode d'irrigation parcelle à parcelle et la culture de légumes, etc. au pied des collines pour le marché de l'agglomération de la capitale. Une partie du site du Projet est équipée d'un système d'eau courante collectif et d'un réseau d'électricité et de téléphone, mais beaucoup de ménages sont privés d'électricité et utilisent le puits de chaque foyer ou les puits collectifs pour obtenir l'eau pour l'usage quotidien et l'eau potable.

D'autre part, bien qu'il s'agisse d'une banlieue proche de la capitale, la coutume traditionnelle et la forme du village agricole sont encore conservées ; de petits villages sont regroupés sur une colline ou un petit plateau près de la terre de culture, et de nombreuses tombes traditionnelles se trouvent près du sommet de la colline aux alentours des petits villages. Il est à noter surtout que la coutume malgache interdit le déplacement ou l'enlèvement des tombes.

Lors des études sur place du présent Projet de construction d'un by-pass, nous nous sommes mis d'accord avec le MTP, organisme responsable de la partie malgache, les points mentionnés ci-dessous :

- Lors du choix de l'itinéraire, on essaiera de minimiser le nombre de maisons à enlever.
- De même, on essaiera d'éviter le passage dans les cimetières dans la mesure du possible.
- Pour les canaux d'irrigation, prévoir des ouvrages hydrauliques assurant le maintien du débit projeté actuel.
- Le by-pass sera muni de ponceaux transversaux et de caniveaux le long du tracé pour le passage d'eau de façon à ne pas empêcher la situation de culture actuelle.
- L'expropriation des terrains pour les rizières et les habitations par lesquelles passera le by-pass sera à la charge de la partie malgache.

Ainsi, pour le choix de l'itinéraire, nous avons effectué, avec les agents du MTP chargés d'expropriation de terrains, les vérifications sur place concernant l'enlèvement des maisons et avons obtenu le consentement.

Comme il s'agit d'une zone de rizières irriguées par la méthode parcelle à parcelle, on maintiendra le débit d'eau projeté actuel pour les canaux d'irrigation et d'évacuation d'eau et, en même temps, maintiendra l'état de passage d'eau actuel en prévoyant des ponceaux traversant la route et des caniveaux longeant la route.

D'autre part, en ce qui concerne le croisement des routes existantes, celles-ci croiseront le by-pass sans être déplacées, mais, compte tenu de la norme de conception sur le tracé pour l'entrée des véhicules, etc., il pourra y avoir des endroits où sera construite une nouvelle voie d'accès.

(4) Principe concernant les circonstances relatives à la construction

1) Autorisations et permissions pour l'exécution du Projet

Il existe comme contraintes pour l'exécution du Projet, l'évaluation de l'impact sur l'environnement, l'expropriation de terrains pour le tracé de la route, l'autorisation d'utilisation des fouilles d'emprunt pour les matériaux de remblai avant le commencement de l'exécution, et pendant l'exécution, l'autorisation pour l'importation des matériaux, etc.

En ce qui concerne l'évaluation de l'impact sur l'environnement, cette évaluation (EIA) a été achevée en 2000. Quelques impacts sont signalés, mais des mesures d'atténuation sont prises en considération.

(5) Principe concernant l'utilisation des entrepreneurs locaux

Dans la capitale, il y a environ 200 sociétés de construction, mais celles qui sont considérées comme capables de participer au présent Projet ne seraient qu'au nombre de 7, dont la plupart sont des sociétés à capitaux étrangers. Compte tenu des résultats de l'exécution dans le passé, du capital social, du nombre de personnel technique, des types et du nombre de matériel disponible, etc., il est jugé que toutes ces sociétés sont aptes à répondre au besoin du présent Projet à titre de sous-traitant local.

Les 7 sociétés de construction ont exécuté de nombreux travaux de construction de route à Madagascar, mais certaines d'entre elles ont eu des problèmes du point de vue de la compétence technique d'exécution, du contrôle qualité et du délai d'exécution dans les projets de construction de route auxquels elles ont participé jusqu'ici. En ce qui concerne la construction des ponts, les sociétés COLAS, COGENAL, SOGEA, SNTPI et SMATP ont l'expérience de la construction des ponts en béton précontraint et en béton armé, mais elles ont eu également un problème de contrôle qualité et de

délai d'exécution lors de la construction d'un pont en béton précontraint de la route nationale n°4 et ont causé ainsi un retard d'exécution des travaux.

Malgré tout, bien qu'il y ait quelque problème concernant le contrôle qualité ou la gestion du délai, il est jugé que ces sociétés sont capables de participer au présent Projet sous la gestion de l'exécution et la direction technique d'une société de construction japonaise.

(6) Principe pour les mesures concernant la capacité d'exploitation et d'entretien de l'agence d'exécution

Quant à l'entretien après l'achèvement de la construction de la route, par suite de la privatisation, cette activité est prise en charge par un entrepreneur privé sauf le cas d'urgence ou de sinistre. Or, comme les entrepreneurs privés qui s'occupent de l'entretien des routes revêtues sont des sociétés filiales locales de sociétés de construction étrangères, elles ont une bonne compétence.

Par ailleurs, le MTP annonce que le by-pass du présent Projet sera élevé au rang des routes nationales après son achèvement, ce qui revient à dire qu'il fera partie des routes principales auxquelles le budget d'entretien est affecté prioritairement. En conséquence, le fonds sera suffisant, mais sur le plan technique, à cause du manque d'expérience dans le domaine de l'entretien de routes sur des terrains mous, la technique d'entretien de routes du MTP, autorité compétente, devra être renforcée.

Actuellement, le MTP est en train de réduire son effectif dans le cadre de la politique de privatisation et de la réforme de l'organisation des administrations et confie les opérations de la plupart des services d'exploitation à des sociétés privées. Par ailleurs, par suite de la réduction du personnel, les agents expérimentés partent dans le secteur privé. En outre, comme les détails du plan général de réduction du nombre de fonctionnaires ne sont pas encore clairs, il y a des problèmes à résoudre ; par exemple, le recrutement de nouveau personnel, la formation et le stage, etc. ne sont pas réalisés selon un planning précis.

En conséquence, un encadrement pour la technique d'exploitation et de gestion sera nécessaire pour le personnel, technique ou administratif, du MTP à travers une formation sur le tas.

(7) Principe concernant la méthode de construction/approvisionnement et la durée des travaux

1) Méthode d'exécution

a) Route

Le présent by-pass est projeté sur des terrains mous sur presque toute sa longueur. Il est donc nécessaire d'adopter les méthodes de construction mentionnées ci-dessous pour le remblai de route. Comme ce by-pass est réalisé dans le cadre de la coopération financière non-remboursable, pour le choix de la méthode de construction, on accorde l'importance à l'économicité et, en même temps, on tient compte du fait que peu de données sont disponibles, car il s'agit de la première route à construire sur des terrains mous à Madagascar.

- Méthode par matre de sable
- Remblayage lent
- Observation de comportements
- Méthode par remblai de contrepoids
- Méthode de terre armée (treillis métallique, géotextile)
- Charges (Surcharges, précharges)

En principe, la méthode par matre de sable sera adoptée pour assurer la praticabilité des engins de construction lors de l'exécution et pour assurer le rôle de couche supérieure de drainage pour la consolidation de la couche molle et, en ce qui concerne les parties dans lesquelles la capacité portante du terrain mou ne peut pas avoir le facteur de sécurité nécessaire contre la destruction par glissement du remblai, sera utilisée la méthode par remblai de contrepoids qui consiste à stabiliser le remblai en appliquant une charge sur les parties latérales du corps du remblai. Toutefois, afin d'obtenir la capacité portante du sol et la stabilité du terrain remblayé, on appliquera la méthode de terre armée en utilisant le géotextile à la surface de fond du remblai pour les tronçons à terrain mou dont la capacité portante du terrain est spécialement faible et en installant, comme renforcement du remblai dans le terrain incliné, le treillis métallique dans le terrain remblayé pour réduire les fissures du remblai provoquées par la différence de tassement entre le terrain mou et le sol, etc.

En outre, pour éviter les tassements nuisibles et la destruction des ouvrages enterrés dans le remblai, la méthode de charge accélérant préalablement le tassement dû à la consolidation des terrains mous et augmentant la résistance sera appliquée. La méthode de précharge consiste à accélérer la consolidation par le remblai avant l'exécution d'un ouvrage et, après avoir laissé la charge pendant un certain temps, à enlever cette charge, tandis que la méthode de surcharge consiste à appliquer une charge par le surhaussement de remblai jusqu'à une hauteur supérieure à celle de calcul et, après avoir laissé la charge pendant un certain temps, à enlever la charge en excès. La Figure 2-2-3 indique le schéma de chaque méthode.

Par ailleurs, la mise en place du matériau de remblai sera effectuée selon la méthode de remblayage lent et, lors de l'exécution, l'observation de comportement sera conduite pour avancer les travaux tout en vérifiant le comportement du remblai (tassement dû à la consolidation, stabilisation du remblai, fluage latéral, etc.)

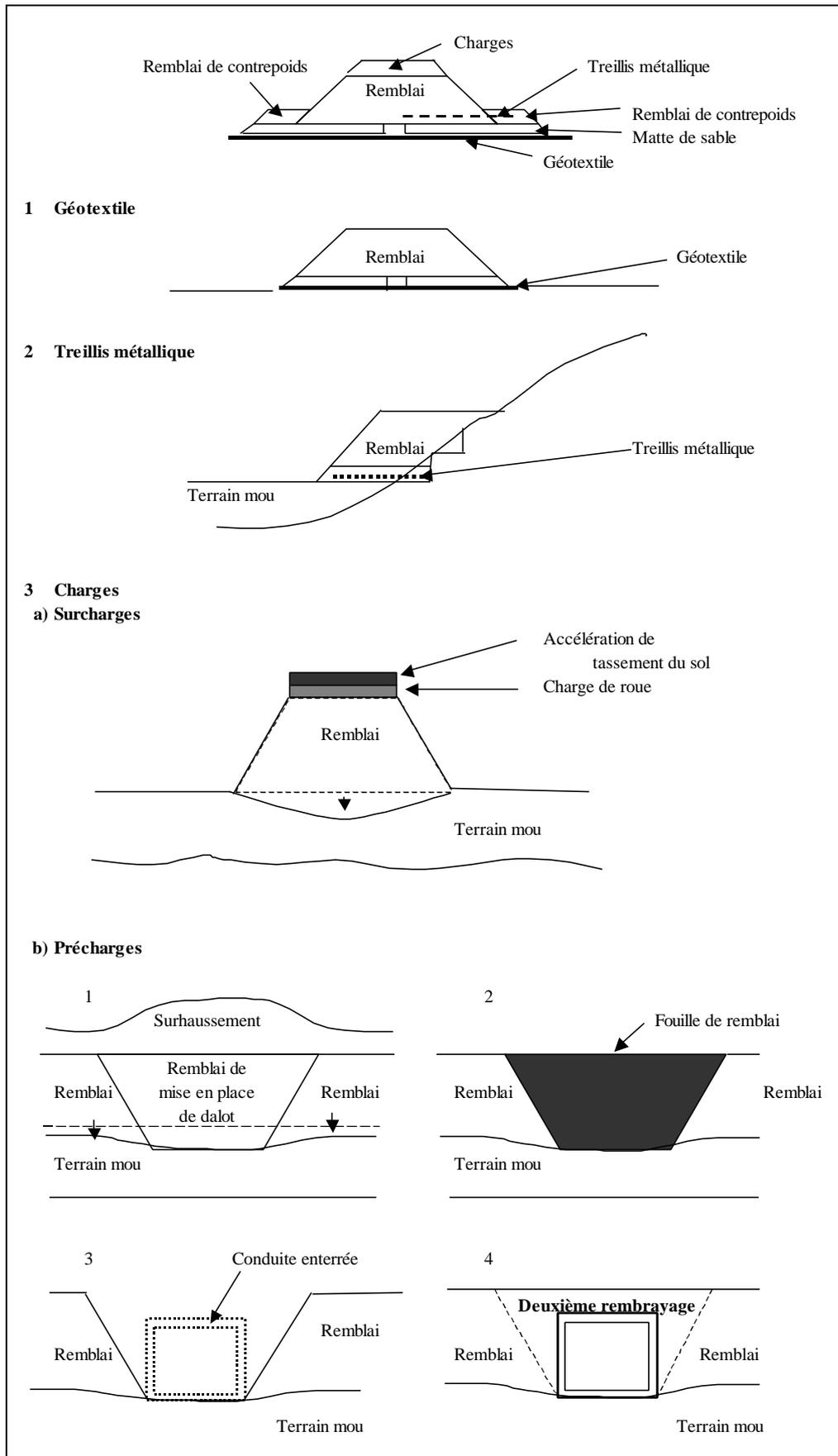


Figure 2-2-3 Structure du remblai de route et méthodes de construction contre le terrain mou

b) Ponts

Le présent Projet de construction d'un by-pass prévoit la construction de deux ponts, qui seront tous les deux en béton à fondation sur pieux en béton moulés dans le sol. En ce qui concerne les matériaux et le matériel utilisés pour la construction, comme les matériaux disponibles à Madagascar sont limités, l'approvisionnement se fera à Madagascar, ou dans un pays tiers ou au Japon tout en tenant compte de l'économicité et de la qualité.

Quant au pont n°1 dont la construction est prévue dans le val d'inondation de la rive gauche de l'Ikopa dans le cadre du présent Projet, il n'y a pas de route permettant le transport des matériaux jusqu'au site prévu du pont, et des terrains mous sont répandus dans cette zone. En conséquence il sera nécessaire de procéder à l'exécution en construisant la voie d'accès pour les travaux. En outre, pour le pont n°2 sur l'Ikopa, comme la route existante sur la rive droite n'est pas suffisante comme voie d'accès pour les travaux, il faudra construire un pont temporaire avant de commencer l'exécution.

i) Substructure

D'après le résultat de l'étude géologique sur place, le sol de l'emplacement d'implantation du pont n°1 comporte une couche portante en granite au-dessous d'une couche profonde de terre molle. En ce qui concerne le pont n°2, les fondations des culées du pont sont situées sur la terre, et la couche portante est relativement profonde aussi bien pour les culées que pour les piliers. Compte tenu de ce qui précède, le type de fondation sur pieux en béton moulés dans le sol sera adopté pour les deux ponts.

ii) Superstructure

Le pont n°1 est un pont spécial qui sera submergé en cas d'une crue de probabilité vicennale ou plus. En outre, le site du pont se trouve sur un terrain mou. En conséquence, compte tenu de la facilité d'exécution, de l'entretien et des caractéristiques d'un pont submergé, un pont-dalle creuse continue en béton précontraint par post-tension sera adopté pour ce pont.

Quant au pont n°2, après examen du type de pont et de la répartition optimale des portées pour un pont d'une longueur de 150 m, un pont à

poutres simples en T en béton PC par post-tension de 4 travées d'une portée de 37,5 m est adopté.

2) Méthodes d'approvisionnement

a) Engins de construction et matériaux

A Madagascar, du point de vue climatique, une année est divisée en saison des pluies et saison sèche. La zone considérée est submergée dans la plupart de l'année et le tracé de la route passe dans une zone de rizières, basse et humide, ayant une couche de terre molle.

De ce fait, pour l'exécution, le plan est établi de façon que le délai des travaux soit bien pris en considération et que le matériel et les matériaux locaux soient utilisés dans la mesure du possible. Cependant, il n'existe pas d'entreprise locale de location des machines pour travaux généraux et revêtement de routes, le parc de machines des entrepreneurs locaux est limité en nombre et en type et il n'y a pas de machines spéciales destinées à la construction d'un pont, etc.

En conséquence, l'approvisionnement en matériel sera effectué en principe à Madagascar, mais une partie du matériel sera transportée du Japon.

b) Route

Les matériaux de remblai utilisés pour la construction de la route seront pris des collines situées aux environs du site. Les fouilles d'emprunt seront vérifiées lors de l'étude sur place et le MTP se chargera des formalités, de l'obtention, etc. de diverses autorisations pour l'extraction de ces matériaux. De même, en principe, l'approvisionnement en matériaux utilisés pour la méthode de terre armée se fera à Madagascar, mais en cas d'impossibilité ou de qualité douteuse, l'approvisionnement se fera compte tenu du coût, dans un pays tiers ou au Japon.

c) Ponts

Comme le matériel de construction de ponts n'est pas disponible à Madagascar, les coffrages et les centrales à béton seront acquis au Japon et transportés au site. Le ciment sera de fabrication locale, mais les barres d'armature et les fils de précontrainte seront de fabrication japonaise.

3) Principe concernant le délai des travaux

En ce qui concerne le délai des travaux du présent Projet de construction d'un by-pass, il faut noter que presque toute la longueur du tracé de la route projetée (longueur d'environ 15 km) sera construite en remblai et que la construction de deux ponts dont un sur l'Ikopa est prévu.

Comme la route en remblai sera construite sur des terrains mous répandus dans le val d'inondation de l'Ikopa et les vallées remblayées de ses affluents, la route sera exécutée par la mise en place de remblai selon la méthode de remblayage lent pour tenir compte de la capacité portante des terrains mous et il sera nécessaire de procéder à l'exécution tout en faisant l'observation de comportement pour vérifier la stabilité de la couche molle au-dessous du remblai de la route ainsi que l'état de tassement dû à la consolidation.

De plus, il est nécessaire de construire sur un terrain mou une voie d'accès au site du pont prévu dans le val d'inondation. De même, pour le pont sur l'Ikopa, un pont temporaire devra être construit avant de commencer les travaux de construction dudit pont. Par ailleurs, lors de la construction de chaque culée, le préchargement par remblai sera nécessaire pour éviter la friction inversée de la couche molle.

Comme il a été mentionné ci-dessus, à cause du tassement dû à la consolidation de la couche molle, le remblai devra être laissé pendant un certain temps jusqu'à ce que son influence sur la route achevée devienne suffisamment faible. La conséquence se traduit par la période de mise en oeuvre du présent projet d'un by-pass, qui sera plus longue pour sa taille que les projets généraux d'aménagement de routes.

2-2-2 Plan de base

(1) Plan d'ensemble

Les instructions, normes, etc. ci-dessous énumérées qui sont couramment utilisées à Madagascar et dans les pays africains francophones seront appliquées. Il est à noter toutefois que, pour les sujets qui ne sont pas précisés dans lesdites normes ou instructions mais qui sont nécessaires pour la conception des ouvrages du Projet, le Décret sur les normes japonaises, notamment les normes techniques japonaises des routes, seront appliquées.

i) Normes du Ministère des Travaux Publics (MTP)

INSTRUCTION GÉNÉRALE SUR LES CONDITIONS TECHNIQUES
D'AMÉNAGEMENT DES VOIES RAPIDES URBAINES (Déc. 1968)
DISPOSITIFS DE SORTIE ET D'ENTRÉE SUR CHAUSSÉE SÉPARÉE
(Mars 1970)

ii) Normes généralement appliquées dans les pays africains francophones (y compris Madagascar)

LES ROUTES DANS LES ZONES TROPICALES ET DÉSERTIQUES
(1991)
GUIDE PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES
POUR LES PAYS TROPICAUX (1984)

iii) Normes japonaises utilisées à titre indicatif

Explications et application des normes techniques des routes
Rapport du concept de base pour le "Projet d'aménagement des 3 pont sur
la Route Nationale n°. 2"

(2) Plan de la route

1) Normes de dimensionnement géométrique applicables

Le tableau 2-2-6 montre les normes de dimensionnement géométrique appliquées au présent Projet de construction d'un by-pass.

Tableau 2-2-6 Normes de dimensionnement géométrique applicables

| Description | Normes |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classification de la route | Route Nationale |
| Topographie | La topographie applicable est le val d'inondation et les collines. Banlieue urbaine |
| Trafic journalier moyen futur | Le trafic journalier moyen futur est de 13.000 à 18.000 véhicules/jour (2 sens: en 2015) |
| Classe de trafic pour la conception du bitumage | La classe est de T3 selon la norme malgache. |
| Vitesse de calcul | La vitesse de calcul est de 80 km/h. |
| Rayon de courbe en plan minimale | Le rayon de courbe en plan minimale est de 240 m conformément aux instructions pour la conception . |
| Déclivité maximale | La déclivité maximale est de 5 % conformément aux instructions pour la conception . |

1) Selon "INSTRUCTION GENERALE SUR LES CONDITIONS TECHNIQUES
D'AMENAGEMENT DES VOIES RAPIDES URBAINES" (Déc. 1968)

2) Composition de plate-forme de la route

Sur la base de ce qui vient d'être précisé, la composition de plate-forme de la route est conçue comme suit :

| | | |
|----------------------|---|-------------------------------|
| Nombre de voies | : | 2 (1 voie dans chaque sens) |
| Largeur de voie | : | 3,5 m |
| Largeur d'accotement | : | 2,0 m |

La pente transversale standard est fixée à 2,5 % pour la chaussée et à 4 % pour les accotements pour faciliter le drainage superficiel.

3) Conception de bitumage

i) Conditions de conception

| | | |
|----------------------|---|------------------|
| Classe de trafic | : | T3 |
| Indice CBR de calcul | : | S3 (CBR 10 à 15) |

ii) Composition de bitumage

| | |
|---------------------|------------------------------------------------------------|
| Voie | |
| Couche de surface | Epaisseur = 5 cm, béton bitumineux |
| Couche de base | Epaisseur = 15 cm, pierres concassées (Concassée o/d) |
| Couche de fondation | Epaisseur = 25 cm, concassage (0/40) |
| Accotement | |
| Couche de surface | Bitumage économique bi-couche (DBST) |
| Couche de base | Epaisseur = 15 cm, concassage (0/40) |

4) Plan de terrassement

La structure du tronçon de la route en remblai passant le val d'inondation sera conçue de manière qu'elle ne puisse pas être rompue par l'inondation. Par conséquent, les talus en contact direct avec les eaux d'inondation seront protégés en principe par la végétation. Au pied de talus sera aménagé un fossé en terre. En principe, la pente de remblai sera de 1:1,5, et celle de talus de déblai 1:1. Toutefois, cette dernière sera ajustée en fonction des conditions géologiques du sol.

5) Traitements de sols compressibles

Sur la base du résultat des études géotechniques, des examens approfondis ont été effectués et avec la hauteur de remblai basée sur le plan de profil en long, la quantité et la durée de tassement ont été estimées et la stabilité du remblai a été examinée.

Comme il a été déjà mentionné sous "Méthode d'exécution", la méthode par matre de sable sera adoptée pour assurer la praticabilité des engins de construction lors de l'exécution et pour la consolidation et le drainage de la couche molle et, en ce qui concerne les parties dans lesquelles la capacité portante du terrain mou ne peut pas avoir le facteur de sécurité nécessaire contre la destruction par glissement du remblai, sera utilisée la méthode par remblai de contrepoids qui consiste à stabiliser le remblai en appliquant une charge sur les parties latérales du corps du remblai. Toutefois, en ce qui concerne les tronçons à terrain fragile en particulier dont la capacité portante du terrain est spécialement faible, afin d'obtenir la capacité portante du sol et la stabilité du terrain remblayé, on utilisera comme méthode de terre armée le géotextile à la surface de fond du remblai, et, sur un terrain incliné, le treillis métallique dans le terrain remblayé pour réduire l'influence exercée sur le remblai par la différence de tassement produite dans la limite entre le terrain mou et le sol.

En outre, pour éviter les tassements nuisibles et la destruction des ouvrages enterrés dans le remblai, la méthode de charge accélérant préalablement le tassement dû à la consolidation des terrains mous et augmentant la résistance du sol sera appliquée pour réduire la durée des travaux. On adoptera la méthode de précharge qui consiste à accélérer la consolidation par le remblai avant l'exécution d'un ouvrage et, après avoir laissé la charge pendant un certain temps, à enlever cette charge, ainsi que la méthode de surcharge consistant à appliquer une charge par le surhaussement de remblai jusqu'à une hauteur supérieure à celle de calcul et, après avoir laissé la charge pendant un certain temps, à enlever la charge en excès (voir la Fig. 2-2-3). Par ailleurs, la partie des culées du pont sera conçue compte tenu du fluage latéral, etc. Les détails de la méthode d'exécution sont mentionnés en 2-2-4-2 " Points à retenir lors des travaux ".

Sur la base du résultat des études géologiques et des investigation des sols réalisées le long du tracé du by-pass prévu, les constantes de sol ont été déterminées, la hauteur de remblai de projet a été prise en compte et la largeur du remblai de contrepoids, etc. a été examinée en calculant le tassement et la

stabilité du remblai pour un certain nombre de profils de route (voir le Tableau 2-2-7).

Comme il s'agit d'une route en remblai sur des terrains mous et qu'il est nécessaire de vérifier la quantité de tassement et la stabilité du remblai, la route sera exécutée par la méthode de remblayage lent consistant à mettre en place le remblai tout en vérifiant le comportement du remblai par l'observation de comportement. Etant donné que le remblayage lent a un effet important sur le délais d'exécution, le plan d'exécution des travaux sera élaboré en examinant attentivement la durée d'exécution.

Tableau 2-2-7 Tableau des résultats de l'examen du tassement et de la stabilité

| Division topographique | No. | Position de la section de structure | Constante de sol d'après le résultat de l'étude du sol | Hauteur de remblai de calcul (m) | | Remblai de contreponds (m) | | Epaisseur de la couche de tassement (m) | Tassement du remblai | | | |
|------------------------|----------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------|-------------|-----------------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| | | | | (La charge du trafic, etc. tenue en compte comme charge du remblai) | | Hauteur (m) | Largeur (m) | | Tassement final (m) | Tassement résiduel (m) | Nombre de jours requis pour tassement à 90% (jours) | |
| | | | | | | | | | | | | |
| PN 7 Intersection | 1 | B/C 2*2*1 cell PK 0+500 | C (kN/m²)= 32.0 Cv (cm²/jour)= 84.8 E50 (kN/m²)= 172.7 | Pied de talus gauche | | | | 3.60 | | | | |
| | | | | Sommet de talus gauche | 3.63/5.63 | | | | 0.51 | 0.00 | 219 | |
| | | | | Milieu | 3.78/5.78 | | | | 0.54 | 0.00 | 216 | |
| | | | | Sommet de talus droit | 3.63/5.63 | | | | 0.51 | 0.00 | 219 | |
| | | | | | Pied de talus droit | | | | | | | |
| | 2 | Intersection PK 0+531.51 BP 13 | C (kN/m²)= 32.0 Cv (cm²/jour)= 84.8 E50 (kN/m²)= 172.7 | Pied de talus gauche | -1.20 | | | 3.60 | | | | |
| | | | | Sommet de talus gauche | 3.20/3.73 | | | | 0.51 | 0.00 | 279 | |
| | | | | Milieu | 3.40/3.93 | | | | 0.56 | 0.02 | 494 | |
| | | | | Sommet de talus droit | 3.20/3.53 | | | | 0.51 | 0.01 | 448 | |
| | | | | | Pied de talus droit | -0.20 | | | | | | |
| | 3 | Remblai ordinaire Terrain incliné PK 0+626.7 BP 13 | C (kN/m²)= 32.0 Cv (cm²/jour)= 84.8 E50 (kN/m²)= 172.7 | Pied de talus gauche | 0.00 | | | 3.60 | | | | |
| | | | | Sommet de talus gauche | 4.00/4.42 | | | | 0.50 | 0.00 | 316 | |
| Milieu | | | | 4.22/4.63 | | | 0.53 | | 0.00 | 313 | | |
| Sommet de talus droit | | | | 4.00/4.42 | | | 0.45 | | 0.01 | 407 | | |
| | | | | Pied de talus droit | 1.50 | | | | | | | |
| PK 2+500 | 4 | B/C 4*3*2 cell PK1+365 | C (kN/m²)= 14.7 Cv (cm²/jour)= 19.6 E50 (kN/m²)= 172.7 | Pied de talus gauche | | | | 2.80 | | | | |
| | | | | Sommet de talus gauche | 2.71/4.71 | | | | 0.27 | 0.01 | 374 | |
| | | | | Milieu | 2.86/4.86 | | | | 0.30 | 0.02 | 382 | |
| | | | | Sommet de talus droit | 2.71/4.71 | | | | 0.27 | 0.01 | 373 | |
| | | | | | Pied de talus droit | | | | | | | |
| | 5 | Remblai ordinaire PK 2+000 BP 14 | C (kN/m²)= 14.7 Cv (cm²/jour)= 19.6 E50 (kN/m²)= 172.7 | Pied de talus gauche | 0.00 | | | 2.80 | | | | |
| | | | | Sommet de talus gauche | 2.00/3.05 | | | | 0.24 | 0.02 | 719 | |
| | | | | Milieu | 2.19/3.24 | | | | 0.27 | 0.03 | 713 | |
| | | | | Sommet de talus droit | 2.00/3.05 | | | | 0.24 | 0.02 | 719 | |
| | | | | | Pied de talus droit | 0.00 | | | | | | |
| | PK 3+400 | 6 | Remblai ordinaire PK 2+850 BP 15 | C (kN/m²)= 15.6 Cv (cm²/jour)= 27.9 E50 (kN/m²)= 172.7 | Pied de talus gauche | -0.30 | | | 6.60 | | | |
| | | | | | Sommet de talus gauche | 2.40/3.19 | | | | 1.07 | 0.52 | 5,243 |
| Milieu | | | | | 2.61/3.40 | | | 0.83 | | 0.13 | 1,094 | |
| Sommet de talus droit | | | | | 2.40/3.19 | | | 0.23 | | 0.00 | 32 | |
| | | | | | Pied de talus droit | | | | | | | |
| 7 | | Remblai ordinaire PK 3+325 BP 15 | C (kN/m²)= 15.6 Cv (cm²/jour)= 27.9 E50 (kN/m²)= 172.7 | Pied de talus gauche | 0.00 | | | 2.50 | | | | |
| | | | | Sommet de talus gauche | 4.10/4.52 | | | | 0.75 | 0.27 | 2,204 | |
| | | | | Milieu | 4.28/4.70 | | | | 0.81 | 0.29 | 2,197 | |
| | | | | Sommet de talus droit | 4.10/4.52 | | | | 0.75 | 0.27 | 2,204 | |
| | | | | | Pied de talus droit | 0.00 | | | | | | |

| Division topographique | No. | Position de la section de structure | Constante de sol d'après le résultat de l'étude du sol | Hauteur de remblai de calcul (m) | | Remblai de contrepois (m) | | Epaisseur de la couche de tassement (m) | Tassement du remblai | | |
|------------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|-------------|-----------------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|
| | | | | (La charge du trafic, etc. tenue en compte comme charge du remblai) | | Hauteur (m) | Largeur (m) | | Tassement final (m) | Tassement résiduel (m) | Nombre de jours requis pour tassement à 90% (jours) |
| | | | | | | | | | | | |
| PK 3+400 | 8 | Croisement à niveau ch. de fer | C (kN/m ²)= 15.6 | Pied de talus gauche | 4.00/4.37 | | | 2.50 | 0.67 | 0.27 | 2,155 |
| | | PK 3+350 | Cv (cm ² /jour)= 27.9 | Sommet de talus gauche | 0.00/0.37 | | | | 0.13 | 0.04 | 202 |
| | | BP 15 | E50 (kN/m ²)= 172.7 | Milieu | 0.00/0.37 | | | | | | |
| | | | | Sommet de talus droit | 0.00/0.37 | | | | 0.20 | 0.05 | 219 |
| | | | | Pied de talus droit | 3.50/3.87 | | | | 0.71 | 0.30 | 2,557 |
| PK 5+000 | 9 | B/C 3.5*3*2 cell | C (kN/m ²)= 10.3 | Pied de talus gauche | | 2.00 | 13.00 | 4.65 | | | |
| | | PK 3+858 | Cv (cm ² /jour)= 52.7 | Sommet de talus gauche | 3.53/5.53 | | | | 0.90 | 0.31 | 2,483 |
| | | | E50 (kN/m ²)= 235.7 | Milieu | 3.68/5.68 | | | | 0.98 | 0.34 | 2,486 |
| | | | | Sommet de talus droit | 3.53/5.53 | | | | 0.90 | 0.31 | 2,483 |
| | | | | Pied de talus droit | | 2.00 | 13.00 | | | | |
| | 10 | Remblai ordinaire | C (kN/m ²)= 10.3 | Pied de talus gauche | 0.00 | 1.00 | 8.00 | 4.65 | | | |
| | | PK 3+950 | Cv (cm ² /jour)= 52.7 | Sommet de talus gauche | 3.30/3.83 | | | | 0.86 | 0.36 | 3,081 |
| | | BP 16 | E50 (kN/m ²)= 235.7 | Milieu | 3.45/3.92 | | | | 0.96 | 0.40 | 3,059 |
| | | | | Sommet de talus droit | 3.30/3.83 | | | | 0.86 | 0.36 | 3,081 |
| | | | | Pied de talus droit | 0.00 | 1.00 | 7.00 | | | | |
| | 11 | Remblai ordinaire | C (kN/m ²)= 10.3 | Pied de talus gauche | 1.30 | | | 4.00 | | | |
| | Terrain incliné | Cv (cm ² /jour)= 52.7 | Sommet de talus gauche | 2.80/3.38 | | | | 0.68 | 0.18 | 1,643 | |
| | PK 4+750 | E50 (kN/m ²)= 235.7 | Milieu | 3.06/3.64 | | | | 0.79 | 0.22 | 1,638 | |
| | BP 16 | | Sommet de talus droit | 2.80/3.38 | | | | 0.70 | 0.19 | 1,642 | |
| | | | Pied de talus droit | 1.00 | 1.00 | 4.00 | | | | | |
| PK 6+000 | 12 | B/C 5*4*2 cell | C (kN/m ²)= 10.3 | Pied de talus gauche | | 2.00 | 12.00 | 4.00 | | | |
| | | PK 5+021 | Cv (cm ² /jour)= 52.7 | Sommet de talus gauche | 3.93/5.93 | | | | 0.85 | 0.20 | 1,544 |
| | | | E50 (kN/m ²)= | Milieu | 4.08/6.08 | | | | 0.92 | 0.22 | 1,544 |
| | | | | Sommet de talus droit | 3.93/5.93 | | | | 0.85 | 0.20 | 1,544 |
| | | | | Pied de talus droit | | 2.00 | 12.00 | | | | |
| | 13 | Culée | C (kN/m ²)= 14.6 | Pied de talus gauche | 0.70 | 2.00 | 12.00 | 6.00 | | | |
| | | PK 5+300 | Cv (cm ² /jour)= 109.0 | Sommet de talus gauche | 4.40/6.40 | | | | 0.95 | 0.06 | 663 |
| | | BP 10 | E50 (kN/m ²)= 163.5 | Milieu | 4.60/6.60 | | | | 1.12 | 0.05 | 519 |
| | | (BP 17) | | Sommet de talus droit | 4.40/6.40 | | | | 1.01 | 0.03 | 498 |
| | | | | Pied de talus droit | 0.40 | 2.00 | 14.00 | | | | |
| | 14 | Culée | C (kN/m ²)= 14.6 | Pied de talus gauche | 0.00 | 2.00 | 12.00 | 6.40 | | | |
| | | PK 5+400 | Cv (cm ² /jour)= 109.0 | Sommet de talus gauche | 3.90/5.90 | | | | 0.91 | 0.04 | 608 |
| | | BP 17 | E50 (kN/m ²)= 163.5 | Milieu | 4.14/6.14 | | | | 1.01 | 0.06 | 624 |
| | | | | Sommet de talus droit | 3.90/5.90 | | | | 0.91 | 0.04 | 608 |
| | | | Pied de talus droit | 0.00 | 2.00 | 12.00 | | | | | |
| PK 7+900 | 15 | Remblai ordinaire | C (kN/m ²)= 26.6 | Pied de talus gauche | 0.00 | | | 3.45 | | | |
| | | PK 6+100 | Cv (cm ² /jour)= 24.0 | Sommet de talus gauche | 3.00/3.58 | | | | 0.53 | 0.06 | 875 |
| | | BP 11 | E50 (kN/m ²)= 112.5 | Milieu | 3.16/3.74 | | | | 0.58 | 0.06 | 865 |
| | | | | Sommet de talus droit | 3.00/3.58 | | | | 0.53 | 0.06 | 875 |
| | | | Pied de talus droit | 0.00 | | | | | | | |

| Division topographique | No. | Position de la section de structure | Constante de sol d'après le résultat de l'étude du sol | Hauteur de remblai de calcul (m) | | Remblai de contrepois (m) | | Epaisseur de la couche de tassement (m) | Tassement du remblai | | | |
|------------------------|-----|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------|-------------|-----------------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|-------|
| | | | | (La charge du trafic, etc. tenue en compte comme charge du remblai) | | Hauteur (m) | Largeur (m) | | Tassement final (m) | Tassement résiduel (m) | Nombre de jours requis pour tassement à 90% (jours) | |
| | | | | | | | | | | | | |
| PK 7+900 | 16 | B/C 2*2*1 cell | C (kN/m ²)= 26.6 | Pied de talus gauche | | | | 4.80 | | | | |
| | | PK 6+885 | Cv (cm ² /jour)= 24.0 | Sommet de talus gauche | | 2.85/4.85 | | | 0.71 | 0.10 | 1,495 | |
| | | | E50 (kN/m ²)= | Milieu | | 3.00/5.00 | | | 0.78 | 0.12 | 1,507 | |
| | | | | Sommet de talus droit | | 2.85/4.85 | | | 0.71 | 0.10 | 1,495 | |
| | | | | Pied de talus droit | | | | | | | | |
| | | 17 | B/C 2*2*1 cell | C (kN/m ²)= 26.6 | Pied de talus gauche | | | | 4.80 | | | |
| | | | PK 6+905 | Cv (cm ² /jour)= 24.0 | Sommet de talus gauche | | 2.85/4.85 | | | 0.71 | 0.10 | 1,495 |
| | | | | E50 (kN/m ²)= | Milieu | | 3.00/5.00 | | | 0.78 | 0.12 | 1,507 |
| | | | | | Sommet de talus droit | | 2.85/4.85 | | | 0.71 | 0.10 | 1,495 |
| | | | | | Pied de talus droit | | | | | | | |
| | | 18 | Remblai ordinaire | C (kN/m ²)= 26.6 | Pied de talus gauche | | 0.00 | | 7.70 | | | |
| | | | PK 7+350 | Cv (cm ² /jour)= 24.0 | Sommet de talus gauche | | 2.40/3.19 | | | 0.81 | 0.27 | 4,767 |
| | | | BP 4 | E50 (kN/m ²)= 112.5 | Milieu | | 2.63/3.42 | | | 0.94 | 0.34 | 4,779 |
| | | | | | Sommet de talus droit | | 2.40/3.19 | | | 0.81 | 0.27 | 4,767 |
| | | | | Pied de talus droit | | 0.00 | | | | | | |
| PK 10+200 | 19 | Remblai ordinaire | C (kN/m ²)= 23.3 | Pied de talus gauche | | 0.00 | | 2.45 | | | | |
| | | PK 8+700 | Cv (cm ² /jour)= 24.0 | Sommet de talus gauche | | 1.40/2.98 | | + | 0.31 | 0.01 | 549 | |
| | | BP 12 | E501 (kN/m ²)= 271.4 | Milieu | | 1.57/3.15 | | 3.00 | 0.38 | 0.02 | 563 | |
| | | | E502 (kN/m ²)= 237.5 | Sommet de talus droit | | 1.40/2.98 | | | 0.31 | 0.01 | 549 | |
| | | | | Pied de talus droit | | 0.00 | | | | | | |
| | | 20 | B/C 2*2*1 cell | C (kN/m ²)= 23.3 | Pied de talus gauche | | | | 2.45 | | | |
| | | | PK 9+720 | Cv (cm ² /jour)= 24.0 | Sommet de talus gauche | | 1.42/3.42 | | + | 0.27 | 0.00 | 149 |
| | | | | E501 (kN/m ²)= | Milieu | | 1.57/3.57 | | 3.00 | 0.32 | 0.00 | 150 |
| | | | | E502 (kN/m ²)= | Sommet de talus droit | | 1.42/3.42 | | | 0.27 | 0.00 | 149 |
| | | | | | Pied de talus droit | | | | | | | |
| | | 21 | Intersection | C (kN/m ²)= 23.3 | Pied de talus gauche | | -0.30 | | 3.00 | | | |
| | | | PK 10+034.87 | Cv (cm ² /jour)= 24.0 | Sommet de talus gauche | | 4.00/4.26 | | | 0.36 | 0.01 | 310 |
| | | | BP 1 | E50 (kN/m ²)= 271.4 | Milieu | | 4.24/4.50 | | | 0.41 | 0.03 | 609 |
| | | | | | Sommet de talus droit | | 4.00/4.26 | | | 0.32 | 0.02 | 511 |
| | | | | Pied de talus droit | | 0.50 | | | | | | |
| | 22 | Culée | C (kN/m ²)= 23.3 | Pied de talus gauche | | 0.00 | | 3.00 | | | | |
| | | PK 10+100 | Cv (cm ² /jour)= 24.0 | Sommet de talus gauche | | 5.60/7.60 | | | 0.46 | 0.02 | 345 | |
| | | BP 1 | E50 (kN/m ²)= 271.4 | Milieu | | 5.79/7.79 | | | 0.49 | 0.02 | 334 | |
| | | | | Sommet de talus droit | | 5.60/7.60 | | | 0.46 | 0.02 | 346 | |
| | | | | Pied de talus droit | | 0.00 | | | | | | |
| PK 10+500 | 23 | Culée | C (kN/m ²)= 17.5 | Pied de talus gauche | | 0.00 | 2.00 | 15.00 | 7.00 | | | |
| | | PK 10+325 | Cv (cm ² /jour)= 24.0 | Sommet de talus gauche | | 5.20/7.95 | | | 1.89 | 0.77 | 4,166 | |
| | | BP 3 | E50 (kN/m ²)= 118.0 | Milieu | | 5.36/8.11 | | | 2.02 | 0.85 | 4,174 | |
| | | (BP 19) | | Sommet de talus droit | | 5.20/7.95 | | | 1.89 | 0.77 | 4,166 | |
| | | | | Pied de talus droit | | 0.00 | 2.00 | 12.00 | | | | |

| Division topographique | No. | Position de la section de structure | Constante de sol d'après le résultat de l'étude du sol | Hauteur de remblai de calcul (m) | | Remblai de contrepois (m) | | Epaisseur de la couche de tassement (m) | Tassement du remblai | | |
|-----------------------------------|-----|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|-------------|-----------------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------------------------------|
| | | | | (La charge du trafic, etc. tenue en compte comme charge du remblai) | | Hauteur (m) | Largeur (m) | | Tassement final (m) | Tassement résiduel (m) | Nombre de jours requis pour tassement à 90% (jours) |
| | | | | | | | | | | | |
| PK15+000 | 31 | Intersection | C1 (kN/m ²)= 19.4 | Pied de talus gauche | 0.00 | | | 2.00 | | | |
| | | PK 14+989.04 | C2 (kN/m ²)= 19.4 | Sommet de talus gauche | 2.40/3.19 | | | + | 0.89 | 0.32 | 3,391 |
| | | BP 23 | Cv1 (cm ² /jour)= 16.1 | Milieu | 2.54/3.33 | | | 4.80 | 1.08 | 0.41 | 3,446 |
| | | | Cv2 (cm ² /jour)= 12.7 | Sommet de talus droit | 2.40/3.19 | | | | 0.88 | 0.31 | 3,389 |
| | | | E501 (kN/m ²)= 270.9 | Pied de talus droit | 0.00 | | | | | | |
| | | | E502 (kN/m ²)= 225.2 | | | | | | | | |
| Partie déplacée de la voie ferrée | 32 | Partie déplacée de la voie ferrée | C (kN/m ²)= 17.5 | Pied de talus gauche | -1.30 | 1.50 | 7.00 | 7.00 | | | |
| | | R -0+050 | Cv (cm ² /jour)= 24.0 | Sommet de talus gauche | 3.50/5.00 | | | | 1.34 | 0.57 | 3,422 |
| | | BP 3 | E50 (kN/m ²)= 118.0 | Milieu | 4.00/5.00 | | | | 1.16 | 0.48 | 2,987 |
| | | | | Sommet de talus droit | 3.50/5.00 | | | | 0.95 | 0.36 | 2566 |
| | | | | Pied de talus droit | 2.00 | | | | 0.56 | 0.13 | 914 |

(3) Plan de ponts

1) Conditions hydrologiques relatives de projet pour le pont n°2 (pont de l'Ikopa)

i) Historique d'inondation à l'emplacement du pont

a) Crue de mars 1959

Il s'agit de la crue la plus grave que Madagascar a connue, qui a causé les dégâts sur toute la plaine par la rupture de la digue. Etant donné que le niveau des eaux de l'Ikopa a dépassé la capacité de l'appareil de mesure du niveau d'eau, ni le niveau d'eau de maximum ni le débit d'eau de pointe ne sont connus. Selon le résultat de l'enquête menée auprès des habitants de la zone, bien que le débordement au niveau du pont n°2 prévu ne se soit pas produit, le niveau des eaux de crue a atteint environ 0,3 m au-dessous de la crête de la digue de rive droite (hauteur de l'emprise de chemin de fer).

b) Crue de février 1994

Un énorme cyclone dénommé "Géralda" que Madagascar n'a pas connue depuis 76 ans a causé une crue catastrophique qu'on n'a pas vue depuis 1959. Les eaux de crues ont débordé aux nombreux points notamment au point de goulot d'étranglement d'une largeur entre les digues de 100 m à 1,5 km en amont de l'emplacement prévu du pont n°2 et aux différents points où la section mouillée (section de la rivière) diminue.

Le niveau des eaux à l'emplacement du pont à construire n'est pas connu, mais le débordement ne s'est pas produit sur les digues. Les débits des eaux de pointe en amont (Observation d'Ambohimambola) et en aval (Observation d'Anosizato) de l'emplacement du pont à construire ont été respectivement de 400 m³/s et 226 m³/s. La différence de débit entre ces observations situées respectivement en amont et en aval est une preuve évidente de l'intensité de débordement.

ii) Caractéristiques hydrologiques de projet pour le pont n°2

a) Taille de projet : Niveau des eaux de probabilité décennale

Le programme de lutte contre l'inondation de l'agglomération de la capitale du BPPAR a adopté comme base de protection une crue de

probabilité centenaire. Toutefois, du fait qu'après la réalisation par ledit programme d'un déversoir de crue sur la rive gauche de l'Ikopa à 4 km en amont de l'emplacement du nouveau pont n°2 sur l'Ikopa, le débit des eaux de crues supérieur au débit de projet de la crue de probabilité décennale ($430 \text{ m}^3/\text{s}$) sera déversé artificiellement sur la zone de rizières de la rive gauche, un débit des eaux supérieur à $430 \text{ m}^3/\text{s}$ n'affluera plus dans la rivière de l'Ikopa. Par conséquent, conformément audit programme, les ouvrages à construire à l'emplacement du nouveau pont de l'Ikopa seront dimensionnés sur la base d'une crue de probabilité décennale.

Par ailleurs, comme il en sera mentionné plus bas, la capacité maximale actuelle de passage des eaux de crues à l'emplacement du nouveau pont est importante ($820 \text{ m}^3/\text{s}$ au niveau plein d'eau), elle a donc un degré de sécurité correspondant pratiquement à celui d'environ une crue de probabilité tricennale (se reporter à la Figure 2-2-3), donc une marge assez importante par rapport même au débit des eaux lors du débordement, prévu par BPPAR.

b) Hauteur de lit de rivière de projet : 1248,4 m (altitude)

Du fait qu'aucun projet d'aménagement de l'Ikopa n'est prévu actuellement, la hauteur de lit de rivière de projet n'est pas définie.

Par conséquent, sur la base du résultat de la topographie transversale de la rivière effectuée par la mission d'étude sur l'emplacement du nouveau pont, la hauteur du lit de rivière mesurée dernièrement (1248,4 m) est considérée comme hauteur de lit de rivière de projet pour le point n°2.

c) Niveau des plus hautes eaux de projet : 1256,8 m (altitude)

Du fait qu'aucun projet d'aménagement de l'Ikopa n'est prévu actuellement, le niveau des plus hautes eaux de projet n'est pas défini.

Par conséquent, le niveau des plus hautes eaux de projet pour la construction du pont est fixé à 1256,8 m qui est la hauteur actuelle de l'emprise de chemin de fer, compte tenu du fait que lors de la plus grande crue de 1959 le niveau des eaux de crue a atteint 0,3 m au-dessous de la crête de la digue de rive droite actuelle (hauteur de l'emprise de chemin de fer).

- d) Niveau du dessous des poutres : 1257,6 m (Niveau des plus hautes eaux de projet 1256,8 m + Marge 0,8 m)

A Madagascar il n'existe aucune norme technique relative à l'aménagement des cours d'eau. De ce fait, la marge au-dessous des poutres est fixée à 0,8 m selon la norme japonaise ($200 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 500 \text{ m}^3/\text{s}$) sur la base du débit des eaux d'une crue de probabilité décennale du BPPAR ($430 \text{ m}^3/\text{s}$). Dans les pays en développement, les ponts empêchant les cours d'eau en raison du manque du franc-bord au-dessous des poutres provoquent souvent le débordement sous l'effet de remous et constituent l'obstacle pour l'aménagement de cours d'eau.

Il est dit qu'il est souhaitable en général de fixer le niveau du dessous des poutres à une hauteur supérieure à celle de la crête des digues existantes quelle que soit la taille de projet. Sur ce point aussi, la valeur fixée ici ne présente pas de problème.

- iii) Evaluation des conditions hydrologiques à l'emplacement du nouveau pont n°2

Le résultat des différentes évaluations ci-dessous mentionnées montre que l'emplacement prévu pour la construction du pont n°2 sur l'Ikopa présente peu de problèmes hydrologiques et est donc propice à la construction de pont.

- a) Emplacement du nouveau pont

Dans la plaine d'Antananarivo, la rivière de l'Ikopa est munie de digues sur ses deux rives. La largeur totale (largeur entre les digues) de la rivière de l'Ikopa à l'emplacement prévu pour la construction du pont est de 190 m et la largeur du lit mineur est de 70 m. L'emplacement prévu pour la construction du pont est jugé pertinent du fait qu'il est situé au point dont la largeur de la rivière est relativement faible par rapport à celle d'alentours en amont et en aval et que le pont traverse la rivière en formant un angle quasiment droit avec cette dernière. Le point où la section mouillée est la plus petite est situé à 1,5 km en amont de l'emplacement actuellement prévu avec une largeur de 100 m (entre les digues), mais ce point n'est pas préférable pour le plan de route, car elle nécessiterait un prolongement de la longueur de la route, etc.

Par conséquent, l'emplacement prévu actuellement pour la construction du pont, proposé par la partie malgache, est jugé optimal.

b) Tracé en plan

Comme le montre la comparaison des cartes topographiques de 1941 et de 1999, ni le lit mineur ni les rives de la rivière de l'Ikopa qui coule dans la plaine d'Antananarivo n'ont pratiquement pas changé depuis 60 ans, d'où le tracé de la rivière est très stable. Lors de l'exécution des travaux, il y a lieu en général d'éviter dans la mesure du possible les travaux pouvant perturber la stabilité du tracé de rivière qui est actuellement maintenue naturellement, car même si le tracé de rivière est reconstitué après l'achèvement des travaux, le changement du lit mineur a pour conséquence de remplacer le matériau originel du lit de rivière par un autre.

Lors de la construction de ce pont, il sera nécessaire d'exécuter les travaux des piliers au niveau du lit de la rivière Ikopa. Cependant, l'influence sur l'ensemble du tracé de rivière est considérée faible, car, lors des travaux de fondation, seules les parties de piliers seront entourées de palplanche en acier, etc.

c) Impacts dus à la voie d'accès de la berge

Au Japon lorsqu'il s'agit de ponts ordinaires, en général le taux d'obstruction de la section mouillée (taux de la largeur totale des piliers de pont par rapport à la largeur de rivière) est limité à environ 6 % lors de la construction d'un pont afin de ne pas perturber par les piliers dans le lit, etc. l'écoulement des eaux de crues. D'autre part, pour le nouveau pont de l'Ikopa, compte tenu de la contrainte budgétaire du Projet, il faut le construire de la manière la plus économique possible.

La capacité de passage des eaux de crues du lit de cours d'eau de l'Ikopa au point de construction du pont n°2 a été évaluée par le calcul de l'écoulement uniforme au moyen de formule de Manning sur la base du résultat de la topographie transversale de la rivière effectuée dans le cadre des études sur place. Le profil en travers du lit de cours d'eau au point de construction du pont et le résultat de calcul de l'écoulement uniforme sont respectivement présentés sur la Figure 2-2-4 et dans le Tableau 2-2-8 ci-après.

$$Q = Av = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

Où

- Q : Débit ;
- A : Section mouillée ;
- n : Coefficient de rugosité de Manning ;
- R : Rayon hydraulique ;
- I : Déclivité du lit de cours d'eau.

La déclivité moyenne du lit de cours d'eau (sol) *I* aux alentours du point de construction du nouveau pont est de l'ordre de 1/3.300.

Après l'examen, la capacité maximale actuelle de passage des eaux de crues est de 820 m³/s à un débit plein de digues, et même après la construction d'une voie d'accès de 40 m sur le lit majeur, cette valeur demeure encore à 790 m³/s, ce qui se traduit par un taux d'obstruction par rapport au débit maximum de 3,6 % seulement. Par conséquent la construction d'une voie d'accès à l'emplacement prévu du pont ne pose pas de problème même du point de vue de la capacité calculée de passage des eaux de crues de l'Ikopa, d'autant plus que le débit de projet est réduit à 430 m³/s après la réalisation du programme de lutte contre l'inondation de l'agglomération de la capitale par le BPPAR et que même maintenant les eaux de crues débordent au point du goulot d'étranglement situé en amont.

Par conséquent, il est jugé que la construction d'un pont d'une longueur d'environ 150 m et d'une voie d'accès en remblai d'une longueur de 40 m sur le lit majeur de la rive droite de l'Ikopa n'exerce pas de mauvaise influence sur l'écoulement des eaux de la rivière.

Tableau 2-2-8 Calcul de l'écoulement uniforme au point de construction prévue du pont de l'lkopa

| | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|-----------------------------|---------|---------------------------|-------|
| | Déclivité | 1/3300 | Franc-bord (m) | 0,0 | Largeur de la crête (m) | 10,0 |
| | 1,741E-02 | | Niveau d'eau | 1256,80 | $Q(q_l+q_hL+q_hR, m^3/s)$ | 785,7 |
| Basses eaux | Largeur (miroir, m) | 71,0 | Profondeur totale d'eau (m) | 8,30 | | |
| Chenal | Largeur (fond, m) | 12,5 | Profondeur d'eau (m) | 6,50 | S(m) | 72,43 |
| | Profondeur | 6,50 | Largeur (m) | 71,0 | R(m) | 5,511 |
| | Déclivité de pente | 4,5 | $A(m^2)$ | 399,2 | V(m/s) | 1,81 |
| | n | 0,030 | | | | |
| | Élévation du lit (m) | 1248,5 | | | $q_l(m^3/s)$ | 721,7 |
| Hautes eaux | Largeur | 9,0 | Profondeur d'eau | 1,80 | S(m) | 16,42 |
| Chenal | Déclivité de pente | 4,0 | Largeur (m) | 16,2 | R(m) | 1,381 |
| (Côté gauche) | n | 0,050 | $A(m^2)$ | 22,7 | V(m/s) | 0,43 |
| | | | | | $q_hL(m^3/s)$ | 9,8 |
| Hautes eaux | Largeur | 57,0 | Profondeur d'eau | 1,80 | S(m) | 61,02 |
| Chenal | Déclivité de pente | 2,0 | Largeur(m) | 60,6 | R(m) | 1,734 |
| (Côté droit) | n | 0,050 | $A(m^2)$ | 105,8 | V(m/s) | 0,50 |
| | | | | | $q_hR(m^3/s)$ | 53,2 |
| Note) Comme le montre la Figure 2-2-3, le calcul est fait par approximation de la section actuelle. | | | | | | |

En outre, du fait que, après la construction de la voie d'accès, la section mouillée utile diminuera quelque peu, ce qui aura pour effet la baisse du niveau d'eau due à l'accroissement de la vitesse de courant par rapport à la valeur actuelle, on peut conclure que la voie d'accès ne provoquera pas de remous de niveau d'eau de la rivière.

- d) Influence des piliers du pont sur la hauteur du niveau d'eau en conséquence du remous

La hauteur du niveau d'eau en conséquence du remous par les piliers de pont est calculée par la formule d'Aubuisson ci-dessous présentée. Le résultat de calcul montre que le niveau d'eau à un débit plein de digues n'augmente que 2,5 cm, d'où l'impact dû aux piliers de pont est très petit (se reporter au Tableau 2-2-9). Il est à noter que ce calcul est effectué en supposant que le pont est constitué de 4 piliers de 2 m de largeur pour tenir compte de la sécurité.

$$\text{Hauteur de remous par piliers } \Delta h_p = \frac{Q^2}{2g} \left\{ \frac{1}{C^2 B_2^2 (h_1 - \Delta h_p)^2} - \frac{1}{B_1^2 h_1^2} \right\}$$

Où

Q : Débit ;

B1 : Largeur du lit de cours d'eau en amont des piliers de pont ;

B2 : Largeur du lit de cours d'eau déduite de la largeur totale des piliers ;

h1 : Profondeur d'eau en amont des piliers de pont ;

C : Coefficient de forme de piliers de pont.

Tableau 2-2-9 Variation du niveau d'eau due aux piliers de pont calculée par la formule d'Aubuisson

| Conditions de calcul | | | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------|-------|
| Augmentation du niveau d'eau par le remous | m | h_p | 0,025 |
| Débit | m ³ /s | Q | 790 |
| Coefficient de forme de piliers de pont | | C | 0,92 |
| Largeur du lit de cours d'eau en amont des piliers de pont | m | B_1 | 191,0 |
| Largeur du lit de cours d'eau déduite de la largeur totale des piliers | m | B_2 | 183,0 |
| Taux d'obstruction de la section mouillée | % | | 4,0 |
| Longueur de la voie d'accès | m | | 40 |
| Profondeur moyenne d'eau en amont des piliers de pont | m | h_1 | 3,3 |

e) Nécessité de protection au moyen de revêtement de rives, etc.

Sur la base du résultat du calcul de l'écoulement uniforme, la vitesse d'écoulement à un débit plein de digues de 790 m³/s sur le lit mineur et celle sur le lit majeur sont respectivement de 1,8 m/s et de 0,5 m/s. Pendant la période de l'étude sur place en février 2000, les membres de l'étude ont pu assister à une crue de l'Ikopa due à un cyclone, provoquant une légère submersion du lit majeur sur la rive droite, mais il semblait que la vitesse d'écoulement sur le lit majeur était faible.

Culées et piliers de pont : En général, à une vitesse d'écoulement égale ou inférieure à 2 m/s, il est considéré qu'il n'est pas nécessaire de prévoir une protection au moyen du béton ou de la maçonnerie. Cependant, comme la date de concrétisation du

"Programme de lutte contre l'inondation de l'agglomération de la capitale" n'est pas encore fixée, et compte tenu de la situation d'entretien sur place, etc., les culées seront protégées par perré, car les pierres y sont facilement disponibles.

Voie d'accès : Bien que la vitesse de courant sur le lit majeur en cas de crues soit seulement de 0,5 m/s, la surface du remblai est molle pendant un certain temps après la construction et donc peut être érodée facilement sous l'effet du courant d'eau, il est donc souhaitable de prévoir une protection si besoin est. Le perré de protection sera donc réalisé en utilisant les pierres disponibles sur place.

f) Montée du lit de cours d'eau

Dans le bassin versant (superficie $A = 1.311 \text{ km}^2$) en amont du point de construction du pont n°2, il existe deux lacs artificiels, l'un le lac Mantasoa et l'autre le lac Tiazonpaniry. Ces 2 lacs qui ont été construits respectivement en 1936 et en 1955 constituent la source de l'approvisionnement en eau, la production d'électricité et l'eau d'irrigation pour environ 1.200.000 habitants de la capitale. Ces deux lacs ne sont pas dotés de la fonction d'écrêtement des crues.

Pour le bassin versant de l'Ikopa, aucun programme de développement de grande envergure n'existe, mais au contraire les alentours des deux lacs artificiels susmentionnés sont classés et protégés comme "zone de boisement contrôlé de bassin" qui nécessite donc les activités de boisement et de gestion pour prévenir l'érosion de sols. Par conséquent, il n'y aura pas d'augmentation de la quantité d'alluvions convoyées de l'amont dans le futur et les sédiments en suspension s'écouleront vers l'aval sans se déposer au point de construction du nouveau pont, d'où la montée du lit de cours d'eau par les sédiments n'aura pas lieu.

g) Baisse du lit de cours d'eau

Aux alentours du point de construction du nouveau pont, le gravier est extrait mais en faible quantité. En outre, dans le bassin versant en amont, il n'existe aucun programme de construction de nouveau barrage, ce qui se traduit qu'il n'y aura pas de baisse du lit de cours d'eau dans le futur.

h) Affouillement local des culées et piliers

Après l'examen de la profondeur d'affouillement des culées et piliers lors d'une crue, il s'est avéré que la profondeur d'affouillement local est inférieure à l'enfoncement de projet (2 m sur le lit mineur et 1 m sur le lit majeur). Par conséquent, les protections telles que le remblai de moellon, le gabion de section circulaire, etc. ne seraient pas requises.

Le résultat de l'examen de la profondeur d'affouillement local est indiqué dans l'annexe jointe à la fin de ce document.

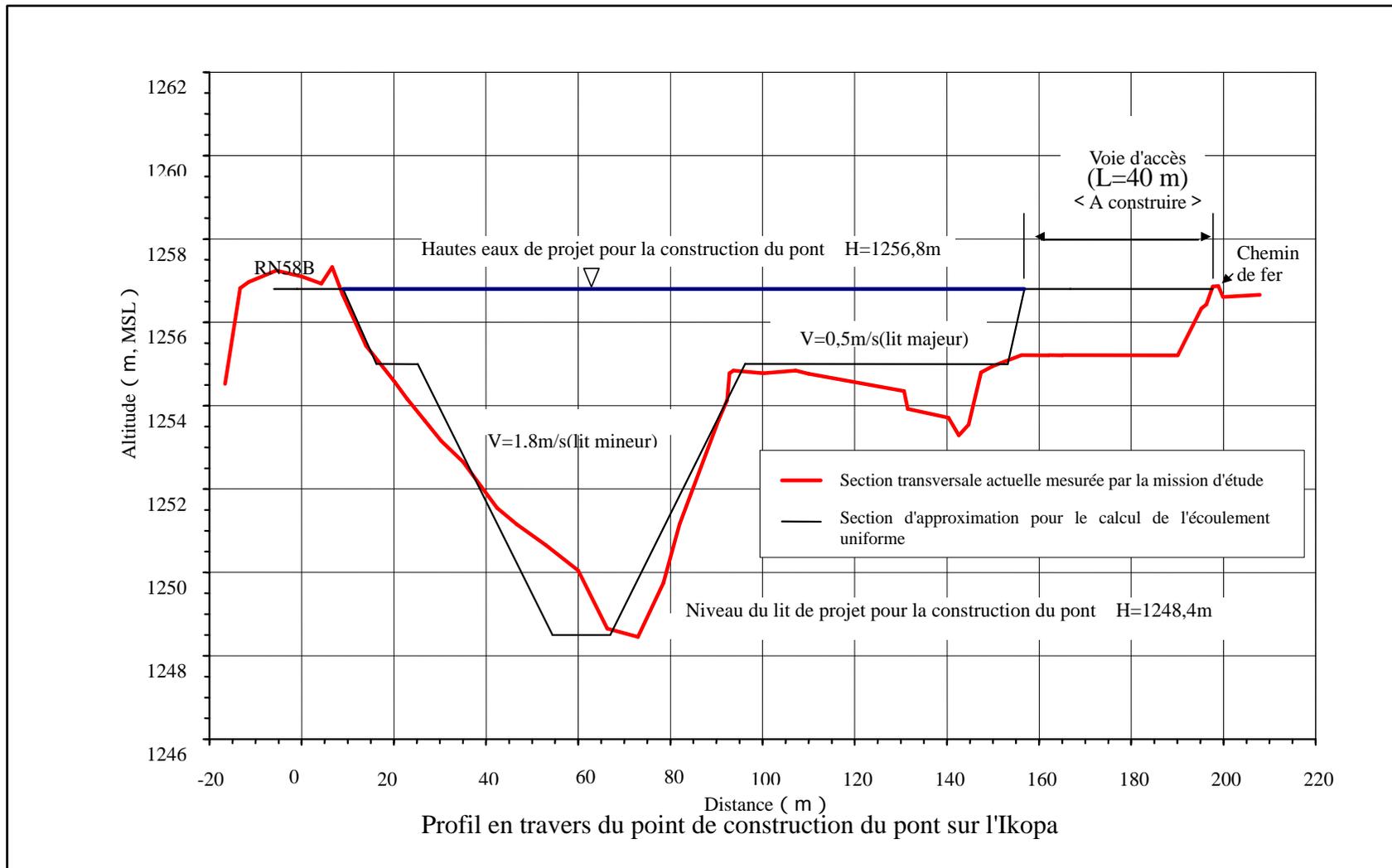


Figure 2-2-4 Profil en travers du point de construction du pont n°2 (sur l'Ikopa)

2) Principe de conception

i) Détermination de la longueur des ponts

a) Pont n°1

Pour déterminer la largeur de l'ouverture qui correspond à un débit des eaux de crues débordant en amont de l'Ikopa inférieur à celui de crue de probabilité vicennale, l'écoulement non uniforme est calculé en utilisant les largeurs de chenal de cours d'eau sur le val d'inondation simulées comme paramètres de sorte que le sommet de la route ne soit pas submergé par un débit d'eau correspondant à celui du cyclone "Géralda" (février 1994).

Le résultat du calcul susmentionné montre que la largeur d'ouverture nécessaire est de l'ordre de 80 m pour que la vitesse de courant qui passe au travers cette ouverture soit inférieure à celle qui provoque l'érosion sur le remblai. Sur la base du résultat d'une étude comparative de facilité d'entretien et de stabilité, effectuée entre un pont et un dalot cadre pour la largeur d'ouverture susmentionnée, il s'est avéré qu'un pont est plus facile à entretenir et plus stable comme ouvrage hydraulique transversal, donc cette option a été adoptée. La longueur du pont n°1 calculée sur la base de la largeur d'ouverture calculée, de la largeur totale nécessaire des piliers et de la pente des talus s'élève à environ 100 m (voir la Figure 2-2-5).

Cependant, si une crue provoquant un débit supérieur à celui connu lors du cyclone "Géralda" se produit, les eaux passeront sur le pont.

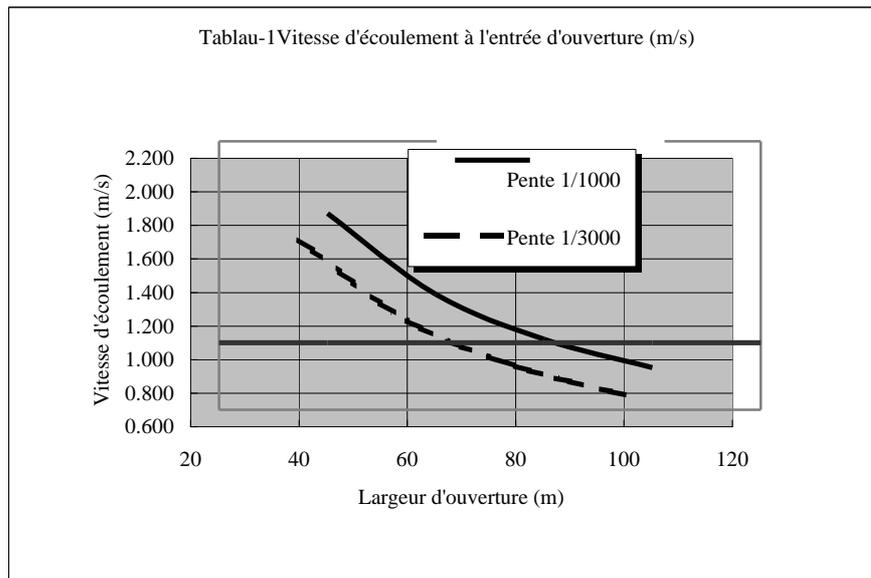


Figure 2-2-5 Détermination de la largeur d'ouverture du Pont n°1

b) Pont n°2

Les points de contrôle pour déterminer la longueur du pont n°2 qui traverse la rivière Ikopa sont le chemin de fer sur la digue de la rive droite et la Route Nationale n°58B sur la digue de la rive gauche. Etant donné que le projet de construction d'un pont doit tenir compte en premier lieu de l'économicité, en principe la route et le chemin de fer se croiseront à niveau et la longueur du pont sera aussi courte que possible.

Comme topographie des berges de la rivière aux environs du point prévu de construction du pont, sur le lit majeur de la rive droite il existe des champs de culture et des rizières. En outre, une piste agricole passe à partir du chemin de fer et traverse diagonalement le lit majeur de la rive droite. L'ancienne carte topographique montre que le chenal d'eau, qui serpente du côté de la rive gauche, n'a pas changé son tracé depuis longtemps.

Comme il était préférable, pour la réduction des coûts, de diminuer la longueur du pont, il y avait deux propositions : adopter la largeur entre les digues des deux rives comme longueur du pont, ou effectuer un remblai en aval de cette piste agricole sur la rive droite pour y créer une voie d'accès de façon à réduire la longueur du pont. Etant donné que la

mise en place de remblai sur le bord de la rivière peut empêcher l'écoulement du cours d'eau, les deux propositions ont été examinées.

Après l'examen, il s'est avéré que, bien qu'il s'agisse d'un lit majeur, la mise en place d'un remblai d'une longueur de 40 m sur le bord de la rivière n'aura que des effets mineurs sur le cours de la rivière pour les raisons ci-dessous mentionnées :

Même en cas d'une crue équivalente à la plus grave crue de 1959, qui s'est produite avant que les mesures de lutte contre l'inondation ne soient prises (telles que déversoir de crue, élargissement de la partie du goulot d'étranglement, etc.), le résultat de l'analyse hydraulique montre que l'effet du remblai sur la rivière est minime ; Après que les mesures de lutte contre l'inondation auront été prises, le débit d'eau de la rivière Ikopa à l'emplacement prévu du pont sera réduit à 430 m³/s si bien que l'augmentation du niveau d'eau sur le lit majeur de la rive droite ne sera pas grande ;

Il est bien possible de prévenir les dégâts dus à l'affouillement en effectuant le revêtement de rives au moyen de la maçonnerie sur le remblai de la voie d'accès et la partie de la piste agricole en face.

Même avec ces mesures, il est toujours plus économique de réduire la longueur du pont en mettant en place le remblai de la voie d'accès ;

Par conséquent, une route en remblai d'une longueur de l'ordre de 40 m sera construite sur la zone de lit majeur de la rive droite de l'Ikopa. La longueur du pont sera de l'ordre de 150 m.

ii) Composition de la largeur de la route sur les ponts

a) Pont n°1

En général, sur la partie du pont, la largeur (en particulier les accotements) est souvent réduite. Cependant, pour la composition de la largeur du pont n°1, une largeur de route égale à celle de la partie remblayée est adoptée afin d'accorder, pour le tronçon entre Dorodosy et Ankadievo, une priorité à la fonction d'un by-pass plutôt qu'à celle d'un pont d'une part, et d'assurer la sécurité d'autre part (voir la Figure 2-2-6).

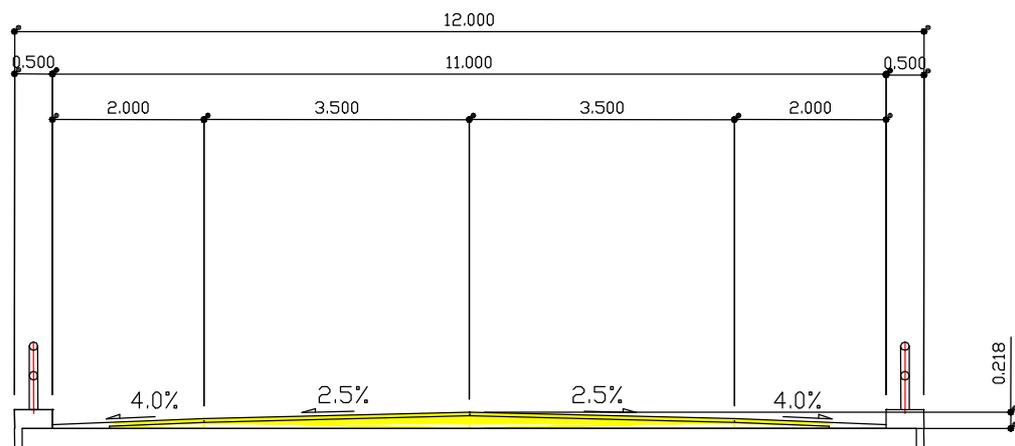


Figure 2-2-6 Composition de la largeur du pont n°1

b) Pont n°2

Pour la composition de la largeur de la route du pont n°2, la largeur des chaussées sera de 3,5 m comme celle de la partie de route ordinaire, et un trottoir de 1 m chacun sera aménagé sur les deux côtés à la place des accotements (voir la Fig 2-2-7). Du fait que le pont n°2 est situé entre le carrefour giratoire de la rive gauche et l'intersection à niveau avec le chemin de fer de la rive droite et que la vitesse de roulement des véhicules ne peut pas être élevée, la largeur totale sur le pont est réduite par rapport à celle de la partie de la route ordinaire.

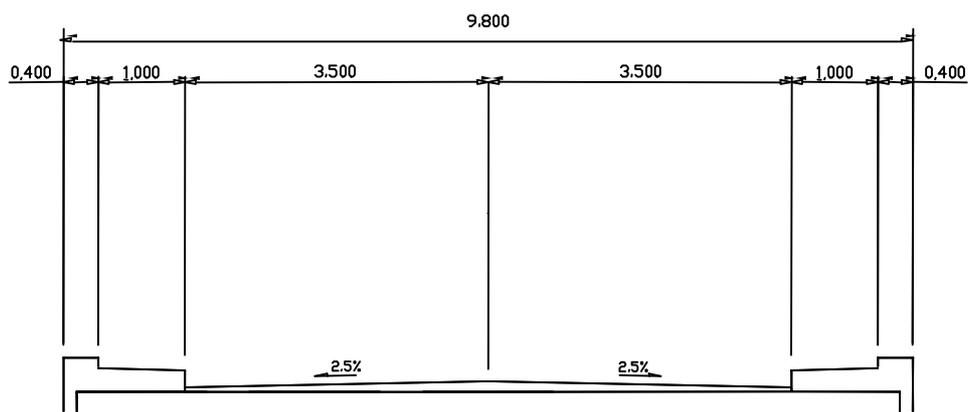


Figure 2-2-7 Composition de la largeur du pont n°2

iii) Hauteur libre au-dessous de poutre

a) Pont n°1

Une hauteur libre au-dessous de poutre de 3 m sera prévue sur la base de la hauteur minimale du remblai de la route. En effet, pour un débit d'eau supérieur à celui de crue de probabilité vicennale ou plus, le déversement sera admis.

b) Pont n°2

Après l'achèvement du programme de lutte contre l'inondation, un débit d'eau de 430 m³/s au maximum s'écoulera dans la rivière d'Ikopa. La marge au-dessous de poutres correspondant à ce débit d'eau est de 80 cm selon le décret portant sur la structure des cours d'eau du Japon, il est donc possible de réduire le niveau du fond inférieur de poutres à une hauteur inférieure à celle de la crête des digues.

Toutefois, si le niveau du fond de poutres est fixé à une valeur inférieure à la hauteur de la crête des digues, l'érosion du talus des digues, etc. peut se produire et, donc, cette option n'est pas préférable du point de vue de l'entretien du pont et de ses ouvrages accessoires. En conséquence, le niveau du fond de poutres est fixé à une valeur égale à celle de la crête de la digue de la rive gauche.

3) Conditions de conception

i) Normes de conception applicables

Les règlements relatifs à la restriction des véhicules passant sur les ponts de Madagascar sont maintenant quasiment identiques à ceux de la France après leurs modifications en mai 2000. Il s'agit des règlements relatifs à la circulation des véhicules qui sont comparables à ceux les plus avancés du monde qui tiennent compte du transport combiné (poids total 44 tf) de la norme ISO 40 tf. Par contre, les normes malgaches de conception des ponts ne sont pas encore adaptées à cette modification des règlements et, compte tenu de la situation actuelle du transport à Madagascar, il faudrait attendre encore longtemps avant que ladite situation de transport prévue par les règlements se présente.

Par conséquent, en ce qui concerne la norme de conception des ponts du Ministère des Travaux Publics, il serait nécessaire d'examiner la possibilité d'application future des règlements français qui comprennent la restriction des véhicules. Toutefois, pour la conception du présent Projet de construction d'un by-pass, eu égard à la situation actuelle du transport à Madagascar et à la norme de conception actuelle du MTP, et du fait qu'il s'agit d'un projet de don japonais, seront appliquées les normes de conception japonaises qui ont été utilisées lors de la réhabilitation des 3 ponts de la Route Nationale No. 2 (1995).

ii) Charges de calcul

a) Charge mobile

Comme charge mobile de calcul, la charge mobile B est adoptée. Il est à noter que cette charge est égale à la charge de conception des 3 ponts de la Route Nationale n°2. A la charge mobile B, le poids total des véhicules pouvant circuler est d'environ 40 tf, et compte tenu de l'état de la circulation actuelle à Madagascar, cette valeur est jugée suffisante

b) Charge due au vent de calcul

Les données climatiques montrent que la vitesse du vent maximale en moyenne de 10 minutes à une altitude de 10 m des 44 dernières années à Antananarivo est d'environ 10,8 m/sec., donc relativement faible.

Par conséquent, la vitesse du vent de calcul est fixée à 40 m/s en application de la norme de conception japonaise, compte tenu de la sécurité.

c) Charge due au séisme

Jusqu'à présent, 2228 séismes de magnitude supérieure à 2,5 ont été recensés pendant une période d'environ 20 ans. Parmi ces séismes, le plus important est celui survenu le 8 juin 1996 à un lieu qui est à environ 150 km d'Antananarivo avec une magnitude de 5,7. Lors de ce séisme, le degré de séisme enregistré à Antananarivo était de l'ordre de II (2,5 à 8,0 Gal), donc faible. En tout état de cause, les séismes sont assez fréquents bien qu'ils ne soient pas importants, d'où il serait nécessaire d'en prendre en compte dans la conception.

De ce fait, le degré de séismicité horizontale de calcul à utiliser pour la conception sera fixé à une valeur égale à l'accélération maximale censée se produire une fois toutes les 100 ans à Antananarivo, et d'après le résultat de l'analyse effectuée en utilisant un séisme d'une magnitude supérieure à 4, l'accélération estimée s'élève à environ 60 Gal (degré de séismicité $K_h = 0,06$). Par conséquent, la séismicité horizontale de calcul est fixée à $K_h=0,10$.

d) Charge thermique

La température moyenne à Antananarivo est de 18,8 °C. Par conséquent, la température standard à utiliser pour la conception est fixée à + 20 °C. En outre, la température ne varie que peu, oscillant entre + 15 °C à 22 °C suivant la période de l'année. De ce fait, la variation de température est fixée à ± 15 °C par rapport à la température standard.

iii) Matériaux à utiliser

Le pont n°1 et le pont n°2 seront tous les deux en béton, avec les fondations sur pieux en béton moulés dans le sol. Dans les pages qui suivent sont décrites les caractéristiques à utiliser pour la conception des principaux matériaux de construction. Les caractéristiques telles que le poids spécifique et le module d'élasticité sont basées sur les instructions sur les ponts routiers du Japon.

a) Béton

Superstructure des ponts : $f_{ca}=35,0$ Mpa

Le résultat des études montre que la résistance du béton peut atteindre jusqu'à 40 Mpa. Toutefois, compte tenu de la variation de la qualité, etc., une résistance de 35,0 Mpa est adoptée.

Substructure des ponts : $f_{ca}=24,0$ à 30,0 MPa

b) Acier de construction, etc.

Barre d'armature : Jusqu'à un matériau équivalent à JIS SD345.

Fil de précontrainte : En principe, les fils du type Freyssinet seront utilisés.

4) Plan d'exécution des superstructures et substructures

i) Plan d'exécution des superstructures

a) Pont n°1

Le pont n°1 est un pont spécial qui sera submergé en cas d'une crue de probabilité vicennale. En outre, du fait que le pont se trouve sur un sol compressible, la hauteur du remblai sur cette partie doit être limitée. Nous avons comparé les 3 type de pont ci-dessous en tenant compte de ce fait, un pont-dalle creuse continue en béton précontraint par post-tension avec des portées de 20 à 25 m environ est adopté.

En cas de pont à poutres, avec les mêmes portées que celles ci-dessus indiquées, la hauteur des poutres est plus élevée et la configuration du fond inférieur du pont devient compliquée si bien que sa résistance contre l'eau courante est importante. De plus, en raison d'un grand espace entre les poutres, autrefois un pont de ce type a été soulevé sous l'effet de la poussée verticale et a été emporté par les eaux. Par conséquent, ce type n'est pas convenable pour le pont n°1 du présent Projet.

En cas de pont-dalle en béton, la hauteur des poutres peut être réduite et la configuration de la coupe des poutres peut être telle que la résistance contre l'eau courante est faible. En outre, le pont-dalle en béton demande peu d'entretien, d'où les frais d'entretien de la partie malgache réduits.

Après la comparaison et l'examen des aspects économicité, facilité des travaux, maintenance ainsi que pertinence en tant que pont submersible, il a été décidé d'adopter un pont-dalle creuse continue PC par post-tension (voir le Tableau 2-2-10).

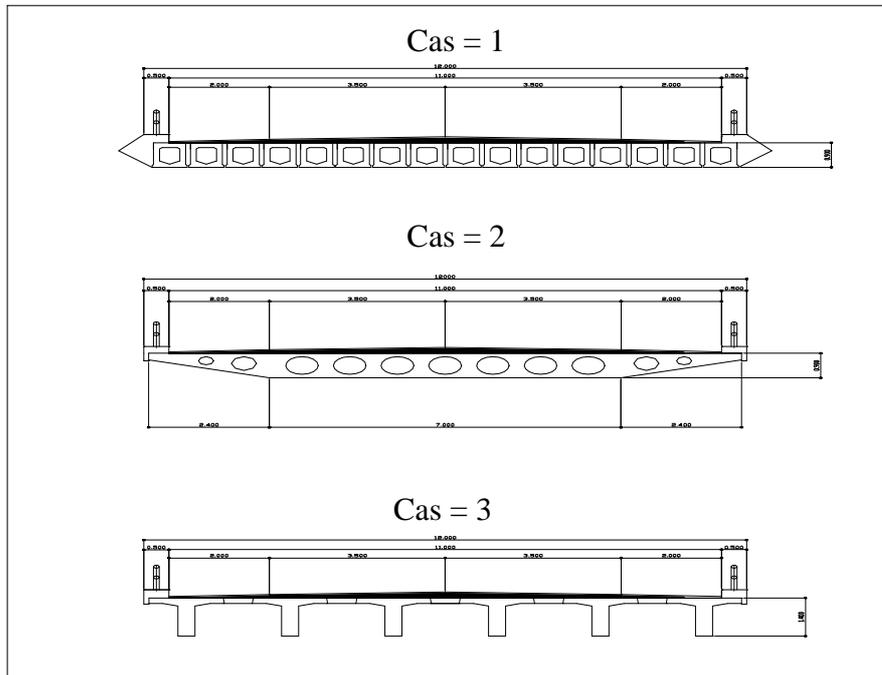


Figure 2-2-8 Comparaison des coupes des poutres du pont n°1

Tableau 2-2-10 Analyse comparative globale du pont n°1 (pont du val d'inondation rive gauche)

| Type de pont | Economicité | Facilité des travaux | Maintenance | Caractéristique du pont submersible | Autres points particuliers | Evaluation globale |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------|-------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CAS 1 Pont-dalle simple en béton précontraint par pré-tension | | | | | Les installations de fabrication sont énormes. | En raison des installations de fabrications énormes, ce type de pont n'est pas économique. × |
| CAS 2 Pont-dalle creuse continue en béton précontraint par post-tension | | | | | Rien de particulier à signaler | Meilleure economicité. |
| CAS 2 Pont-dalle simple en béton précontraint par post-tension, type appliqué | | | | | Rien de particulier à signaler | Ce type de pont est convenable, mais du point de vue economicité, le type est meilleur. |
| CAS 3 Pont à poutres simples en T en béton précontraint par post-tension | | | | × | Rien de particulier à signaler | Les caractéristiques structurelles en tant que pont submersible sont inférieures. × |

Très bon Bon Médiocre × Mauvais

b) Pont n°2

Afin de déterminer le type de pont et la répartition optimale des portées d'un pont d'une longueur de 150 m, une étude comparative entre le pont en béton et le pont métallique a été effectuée. Par suite de cette étude, un pont à poutres simples en T en béton PC par post-tension de 4 travées d'une portée de 37,5 m a été adopté pour les raisons ci-dessous mentionnées (voir le Tableau 2-2-11).

Le pont en béton est plus économique de 20 % environ par rapport au pont métallique ;

Le pont en béton est facile à entretenir, d'où les charges financières réduites pour la partie malgache;

La hauteur des poutres du pont en béton est inférieure à celle du pont métallique, d'où le pont en béton est avantageux pour l'intersection à niveau avec le chemin de fer ;

Le résultat de l'étude comparative des ponts en béton montre qu'une portée d'environ 40 m est la plus économique. Toutefois, pour que les travées puissent être homogènes, un pont de 4 travées d'une portée de 37,5 m est adopté.

Tableau 2-2-11 Analyse comparative globale du pont n°2 (Pont sur la rivière Ikopa)

| Type de pont | | Economicité | Facilité des travaux | Maintenance | Autres points particuliers | Evaluation globale |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pont en béton | Pont-dalle creuse continue en béton précontraint à 7 travées | | | | Rien de particulier à signaler | L'économicité est légèrement inférieure à celle du type . |
| | Pont à poutres simples en T en béton précontraint par post-tension à 5 travées | | | | Rien de particulier à signaler | L'économicité est médiocre par rapport à celle d'autres ponts en béton. |
| | Pont à poutres simples en T en béton précontraint par post-tension à 4 travées | | | | Rien de particulier à signaler | L'économicité est meilleure, de même, la facilité des travaux et de la maintenance est également bonne. |
| Pont métallique | Pont mixte à 2 poutres principales simples à 5 travées | | | × | Comparé à d'autres ponts en béton de même portées, la longueur du tronçon à surélever du chemin de fer est plus grande dans le cas de pont métallique en raison de la hauteur de poutres plus élevée | Des coûts pour la maintenance seront engendrés. |

Très bon Bon Médiocre × Mauvais

ii) Plan de substructures

a) Pont n°1

D'après le résultat de l'étude géologique, le sol de l'emplacement d'implantation du pont n°1 comporte une couche portante en granite altérée au-dessous d'une couche profonde de terre molle. Etant donné que la taille du pont est relativement petite, les fondations sur pieux avec lesquelles il est possible d'ajuster la taille de fondation seront optimales. Par conséquent, compte tenu aussi de la possibilité d'utilisation en commun de matériel et des matériaux dans la construction des ponts, le type de fondations sur pieux moulés dans le sol, qui est adopté pour le Pont n°2, sera sélectionné également pour le Pont n°1.

b) Pont n°2

Comme fondation du pont n°2, du fait que les fondations des culées du pont sont situées sur la terre et que la couche portante est relativement profonde, le type de fondation sur pieux peut être envisagé. D'autre part, pour les piliers de pont, du fait qu'ils sont situés dans les berges et que la couche portante est profonde, ce qui se traduit par la nécessité de batardeaux autour des piliers, par la mise en place de palplanches en acier lors de la construction des piliers.

En ce qui concerne les piliers, en plus du type de fondation sur pieux, les fondations à puits foncé peuvent être envisagées. Toutefois, par suite de l'étude géologique, il s'est avéré que le sol de la couche intermédiaire sableux de l'emplacement des piliers de pont est relativement dur (Valeur N = 20), mais pour accélérer le tassement dû à la consolidation de la couche molle répartie au niveau peu profond, proche de la surface, il sera nécessaire d'employer éventuellement la méthode par précharge comme procédé auxiliaire contre le tassement. En conséquence, les fondations sur pieux sont adoptées à l'instar de celles pour les culées.

c) Etude comparative des types de pieux

Sur la base du résultat de l'étude comparative sur l'économicité entre la fondation sur pieux moulés dans le sol et la fondation sur pieux tubulaires en acier qui sont toutes les deux couramment utilisées à Madagascar et dans les pays voisins, il s'est avéré que la première est

plus économique. Par conséquent, le type de fondation sur pieux moulés dans le sol sera adopté.

2-2-3 Schémas de concept de base

(1) Dessin général de la route

Le tracé de route, le plan et le profil longitudinale, le plan des intersections, le profil en travers type, le dessin général de l'ouvrage d'évacuation d'eau et le plan de la partie à déplacer du chemin de fer et le profil en travers du remblai du chemin de fer du présent projet de construction d'un by-pass sont présentés aux Figures 2-2-9 à 2-2-18.

(2) Dessins généraux des ponts

Pour les schémas généraux des ponts, la vue en plan et la vue de côté sont présentées aux Figures 2-2-16 et 17.

1) Pont n°1

a) Superstructure

Type de structure : Pont-dalle creuse continue en béton précontraint (post-tension)

Travée : 4 travées

b) Substructure

Type de pieux : Pieux moulés dans le sol au moyen de tubes de coffrage

Profondeur de pieux: 20 m au maximum

Diamètre de pieux : 1 m

2) Pont n°2

a) Superstructure

Type de structure : Pont à poutres simples en T en béton précontraint (post-tension)

Travée : 4 travées

b) Substructure

Type de pieux : Pieux moulés dans le sol au moyen de tubes de coffrage

Profondeur de pieux: 35 m au maximum

Diamètre de pieux : 1 m