

INTRODUCTION

Globalement, dans un langage vulgaire, un pont se définirait comme un passage en suspend par lequel deux points éloignés peuvent communiquer. Dans le dictionnaire, il se définit comme un ouvrage d'art qui permet de franchir un obstacle en creux. Pour un ingénieur, un pont est une création, une conception, une solution, et au-delà de tout cela, il s'agit d'un travail de minutie, de délicatesse, de précision par lequel il contribue à améliorer et à faciliter la vie de ses compatriotes.

Jadis, un pont se résumait à des bouts de bois dressés ensemble pour franchir un obstacle creux. Petit à petit, un développement de la technique s'est fait constater, initiant les prémisses des travaux d'ingénierie en matière de pont.

En cet ère de développement technologique et technique, la conception des ponts n'est plus la même. L'imagination des ingénieurs a fait place en quelque sorte à la réalité, inventant des ponts de plus en plus impressionnant, tant par leur structure, par leur ingéniosité, par leur audace, que par leur technique de réalisation.

Actuellement, dans les pays industrialisés, des ponts pouvant être qualifiés d'inimaginables ont vu le jour ces dernières décennies, ne citons ici que le pont suspendu de Copenhague.

Cette tendance a actuellement un caractère universel. En effet, dans cet esprit, notre pays, Madagascar, n'est pas sans reste. Dans la province de Mahajanga, sur la RN4, le pont suspendu de Kamoro illustre bien cette affirmation.

Pour perpétuer cette idée de perpétuelle innovation, nous nous sommes proposé de mener une étude sur la conception d'un pont en arc métallique sur la RNS5.

Dans l'application de la stratégie de développement des infrastructures de transport, le MTP (Ministère des Travaux Publics) a défini un programme national à l'horizon 2020, définissant particulièrement les priorités du secteur de transport terrestre en vue de soutenir la croissance économique, le développement du pays et la lutte contre la pauvreté.

Ce programme priorise les liaisons des grands ports longs courriers aux pôles de production d'une part et d'autre part aux pôles de régionaux et aux pôles de relais. Le projet sur

l'itinéraire RN 5 reliant le port de Toamasina sur l'Océan Indien aux principales villes de la côte Nord Est fait partie de ces priorités.

Les travaux s'effectueront à Andrangazaha, sur le fleuve de Simianona, situé dans le commune rural d'Antanifotsy, district de Soanierana-Ivongo, région Analanjirofo, de l'ex-province Toamasina. Le présent pont d'étude remplacera le bac qui se trouve à Andrangazaha. Pour ce fait, le travail actuel renferme les études en rapport avec le **Proposition de construction d'un pont en arc métallique remplaçant le bac d'Andrangazaha sur la RNS5 au pk 178 + 232.**

Avant toute exécution sur terrain, des travaux sur table sont nécessaires pour connaître la faisabilité du projet, son coût, de plus que sa durabilité. De ce fait, ce mémoire renferme une partie des nombreuses études nécessaires à étudier avant la partie exécution.

Par conséquent, les présents travaux sont constitués de sept (7) grandes parties ; la partie Introduction, la deuxième partie consiste à la description du projet, la troisième partie donne les démarches des études préliminaires, quant à la quatrième partie, elle est consacrée à l'étude technique, la cinquième partie se rapporte aux études supplémentaires, et enfin la sixième partie sera attribuée à la conclusion.

CHAPITRE I : **DESCRIPTION DU PROJET**

I. Contexte

Dans l'application de la stratégie de développement des infrastructures de transport, le MTP (Ministère des Travaux Publics) a défini un programme national à l'horizon 2020, définissant particulièrement les priorités du secteur de transport terrestre en vue de soutenir la croissance économique, le développement du pays et la lutte contre la pauvreté.

Ce programme priorise les liaisons des grands ports longs courriers aux pôles de production d'une part et d'autre part aux pôles de régionaux et aux pôles de relais. Le projet sur l'itinéraire RN 5 reliant le port de Toamasina sur l'Océan Indien aux principales villes de la côte Nord Est fait partie de ces priorités. Il permet l'accessibilité de la zone rurale agricole et touristique. Le projet d'aménagement et d'asphaltage de la RN 5 est en cohérence avec les objectifs poursuivis dans les stratégies de lutte contre la pauvreté de Madagascar, d'intervention des principaux bailleurs de fonds pour la période 2004-2020 ainsi que les objectifs du PNT à l'horizon 2020.

Ce projet désenclave une zone fortement agricole et productrice reliant le chef-lieu de la Région aux Districts et aux Communes rurales de toute la Région. Il permet ainsi d'établir des échanges commerciaux entre la Région, le port principal du pays et la Capitale Antananarivo.

Dans le cadre de la réalisation de cette vision, plusieurs ouvrages d'art ont été conçus, parmi eux le pont d'Andrangazaha, construit pour remplacer le bac d'Andrangazaha, vu que la circulation par ce moyen de transport s'avère être difficile et à risque.

Le projet consistera à la conception d'un pont en arc métallique à tablier intermédiaire. Le pont comportera deux voies de portée 240m. Les poutres et les arcs seront en treillis Warren et le platelage en dalle orthotrope. Le tablier et l'arc seront reliés entre eux par l'intermédiaire des câbles. Le tablier porté par l'arc, s'appuie à ses extrémités sur des culées. Les parties libres du tablier non maintenues par l'arc sont portées par des potelets s'appuyant directement au sol. L'arc est encastré au sol par le biais d'une culée (socle) travaillant à la fois comme un ancrage

et comme un contrepoids. Le tout formera un ensemble homogène faisant ressortir l'art dans sa forme.

II. Localisation du projet

Situé dans la région Analanjirofo, le pont d'Andrangazaha est implanté à l'axe de la RNS5 au PK 178 +232. Il large le fleuve Simianona avec ses 240 m de portée.

Plus précisément, de coordonnées géographiques : $16^{\circ}48'58,47''$ de latitude Sud et $49^{\circ}43'20,20$ longitude Est.



Figure 1 : Plan de situation du projet

CHAPITRE II : CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU PROJET

I. Le milieu d'implantation du projet : la région d'Analanjirofo

I. 1. Localisation géographique

La région d'Analanjirofo est surnommée également « capitale malgache du girofle », elle est située dans la partie Nord-Est de Madagascar (la région n° 4 sur la carte), de la province de Toamasina dont la capitale est Fenoarivo Antsinanana et couvre une superficie de 21 930 km².

Elle est délimitée :

- Au nord par le district d'Antalaha (Région SAVA)
- Au sud par le district de Toamasina II (Région Atsinanana)
- A l'ouest par les districts de Mandritsara (Région Sofia), d'Andilamena et d'Ambatondrazaka (Région Alaotra Mangoro) ; et à l'Est par l'Océan Indien.



Figure 2: Carte exposant les 22 régions de Madagascar

I. 2. Cadres Administratifs

Elle compte six (6) districts (Fenoarivo-Atsinanana, Mananara-Avaratra, Maroantsetra, Sainte-Marie, Soanierana Ivongo, et Vavatenina) avec 32 arrondissements administratifs ; 63 communes composent la région, avec 811 fokontany.

Les districts de la région sont composés de 10 communes en moyenne avec un maximum de 18 communes pour le district de Maroantsetra et une (1) commune seulement pour Sainte-Marie. Chaque district possède en moyenne 134 fokontany ; le district de Fenerive-Est disposant du nombre maximum avec 211 fokontany, suivi par Mananara avec 207 fokontany, Maroantsetra 161, Vavatenina 110 et Soanierana Ivongo 105. Le nombre minimum de fokontany revient au district de Sainte-Marie avec 17 fokontany.

Tableau 1: Découpage administratif et territorial de la région

District	Nombre des communes	Nombre des Fokontany
Fenerive-Est	12	211
Mananara	14	207
Maroantsetra	18	161
Sainte-Marie	1	17
Soanierana Ivongo	8	105
Vavatenina	10	110
Total région	63	811

Source: VPEI/CREAM/Monographie 2009+ Région Analanjirofo, atelier validation)

I. 2. Climat

Le climat de la région appartient au climat de la côte Est de Madagascar qui est du type tropical chaud et humide. Par sa position naturelle exposée au vent d'Est et bordée par l'Océan Indien, elle est sujette à une forte pluviométrie presque toute l'année.

I. 2. 1. Pluviométrie

La région est soumise à une influence océanique et une pluviométrie très élevée. C'est l'une des plus humides de Madagascar avec une moyenne de précipitations estimée à 2000 mm par an. Durant l'été austral, du mois d'Octobre jusqu'en mai, la région reçoit de très fortes précipitations avec une moyenne mensuelle pouvant aller de 80 à 160 mm. Par contre, d'Avril en Septembre, comme il s'agit de la saison sèche, la région connaît un climat relativement frais avec des précipitations moins importantes qu'en saison humide. Sur le littoral, à Mananara Nord, la pluviométrie est moins abondante durant la saison sèche avec le mois le plus sec en Novembre (82 mm) et le plus humide en Février (383 mm) ; à Maroantsetra, elle atteint parfois jusqu'à 3 000 mm et détient le record absolu en volume de précipitations à Madagascar en raison de conditions de site assez particulière : les vents s'engouffrent dans la baie d'Antongil, canalisés par des parois rapprochées qui se ferment en cul-de-sac obligeant les courants à une vive ascendance.

I. 2. 2. Température

La température moyenne annuelle est de 24 °C environ. La moyenne des maxima du mois le plus chaud tourne autour de 27 °C et les plus fortes chaleurs sont enregistrées en Décembre et Février. Le minimum du mois le plus froid oscille autour de 14 °C. La moyenne des minimas se situe entre 16 et 17 °C durant les mois de Juillet, Août et Septembre.

I. 2. 3. Contextes Cycloniques

La région est de ce fait constamment exposée aux risques cycloniques. Les précipitations mensuelles peuvent parfois atteindre 700 à 800 mm durant les périodes cycloniques qui font augmenter davantage la quantité de pluie. Les enquêtes effectuées par l'ONE en 2006 ont permis de relever les principaux faits marquants suivants :

- Les cyclones, principalement Hudah (2000) mais aussi ceux de 1959 et 1997 ont été très perçus dans la zone ;
- Inondation dans les fokontany de Mariarano (2000, 2002), de Valambahoaka (2000, 2002), Sahajinjan'i Manonga (2000), de Beanana (2003), de Mafaipoza (2000)
- Fortes précipitations dans le fokontany de Beravina, commune d'Androndrona en 2003.

La fréquence des ces cyclones occasionne des ravages considérables dans la région. En témoigne, plus récemment, le passage du cyclone Giovanna (2012).

I. 2. 4. Vents

La zone de Makira reçoit le vent d'Est en permanence avec des composantes Nord ou Sud selon les latitudes. Ce vent, appelé Alizé, est relativement froid et sec ; il s'échappe de la haute pression permanente de l'Océan Indien et est attiré par la basse pression se localisant sur Madagascar et sur le canal de Mozambique. Ce vent emmagasine de la chaleur et de l'humidité en traversant l'Océan Indien et déclenche des pluies orographiques sur les côtes orientales. Durant l'été austral, c'est-à-dire de Novembre à Avril, ce vent d'Est ou Alizé est moins fort et plus irrégulier. Il est contrebalancé par une Mousson qui souffle du Nord vers le Sud. Le couloir créé par le fleuve d'Antainambalana, favorise le déplacement de ce vent, et lui permet de rejoindre le district de Maroantsetra.

I. 3. Formation végétale

La région dispose d'une très grande richesse en ressources naturelles (faune et flore terrestres et aquatiques) qui lui confère des paysages naturels très variés et à haute potentialité pour l'écotourisme.

I. 3. 1. Types de forêts existants

En se basant sur l'altitude de ses reliefs, le climat, l'endémisme local, on peut distinguer trois types de forêts caractéristiques de la région : la forêt humide de basse altitude, la forêt humide de moyenne altitude et les forêts littorales. D'après Conservation International, en 2005, la couverture forestière composée de forêts humides et de forêts littorales occupait 79,5 % de la superficie totale de la région.

- **La forêt humide de basse altitude (0 à 800 mètres)** : elle est très riche en flore avec la présence marquée des membres de familles endémiques de plantes malgaches. Le massif forestier de Mananara Nord – est un des derniers vestiges et en cela un témoin important de la forêt tropicale humide de basse altitude de la région orientale du pays. La flore et la faune qui la composent sont

en majorité endémiques. 170 espèces arborescentes y ont été recensées sur une population totale estimée à 250 espèces sur la Côte Est. Après le passage des feux, la forêt primaire se modifie en des formations forestières secondaires puis en des formations arbustives, «savoka», de plus en plus dégradées. La végétation modifiée se caractérise par sa pauvreté en espèces, souvent à large répartition géographique. Les espèces dominantes des savoka à Mananara Nord sont : *Ravenala madagascariensis* (Strelitziaceae), *Trema orientalis*(Ulmaceae), *Harunga madagascariensis* (Hypericaceae) et *Psidia altissima* (Asteraceae) (Ramangalahy, D., 1990).

- **La forêt humide de moyenne altitude (800 à 1 800 mètres) :** elle est caractérisée par les genres *Tambourissa*, *Weinmania*, *Ravensara*, *Ococea* et *Canarium*. Le plateau de Makira, situé à l'Ouest de la Baie d'Antongil, fait partie de cette catégorie avec une forêt largement ou entièrement intacte. Des études scientifiques ont indiqué que les pressions sur la forêt étaient faibles et qu'il existait une forêt intacte représentative de la zone. La superficie totale de la forêt de Makira est de 5 400 km² (une partie se trouve dans la région de Sofia et d'Alaotra Mangoro). On y trouve également la Réserve Spéciale d'Ambatovaky qui possède à la fois une forêt dense humide sempervirente et une variante de végétation sur rocher qu'on retrouve à Ambatovaky Nord, Sahave et Andrambengy. Enfin, le Parc National Zahamena dont la forêt dense humide se répartit dans des altitudes de moins de 800 m à plus de 1 200 m.

- **Les forêts littorales :** La Région Analanjirofo abrite la dernière plus grande forêt littorale de Madagascar à savoir le complexe du Cap Masoala composé par un bloc forestier terrestre et des parcelles marines tout autour, offrant une diversité de paysages, d'habitats, de faune et de flore exceptionnelles. 4 des 6 familles endémiques de plantes malgaches sont présentes à Masoala et plus de 27 % des fougères malgaches y sont recensées.

I. 3. 2. Autres végétations

Outre ces trois grands ensembles, d'autres formations forestières particulières méritent d'être citées telles que :

- la forêt d'Analabe située vers une quinzaine de kilomètres au sud de Maromitety et à l'ouest de Mahabo, fleuve de Fanifara. Ce reliquat de forêt primaire pourrait témoigner de l'éventuelle relation dans le temps des forêts littorales et le corridor forestier de Zahamena-Ankeniheny ;

- la Station forestière de Tampolo gérée par ESSA Forêt ;
- les forêts littorales sur sols ferrallitiques localisées à Nosy Boraha semblables à des forêts denses humides, forêt de belle qualité avec des orchidées ;
- et les forêts littorales marécageuses localisées à Antsiraka.

I. 4. Relief

La morphologie de la Région Analanjirofo est identique à celle de l'ensemble de la côte orientale malgache à savoir des reliefs qui s'étagent par paliers successifs. On peut ainsi distinguer :

- le secteur du littoral ayant une largeur moyenne de 6 km et une altitude qui dépasse rarement les 50 m. Il est dépourvu de grandes plaines et est constitué uniquement de petites dépressions étroites, isolées les unes des autres et séparées par un relief de basses collines, des vallées plus ou moins importantes drainées par des cours d'eau, des plages bordées de dunes peu stables, sans ouverture autre que celle des embouchures. La mer, souvent forte, occasionne à certaines périodes de l'année la formation d'une barre aux embouchures des fleuves. Ce phénomène est très redouté par les passagers d'embarcations assurant la navette entre Sainte-Marie et Soanierana Ivongo ;
- Le secteur des hauts massifs, avec les hautes collines et un escarpement, se dresse dans l'arrière-pays. Il est formé de matériaux de socle cristallin avec une altitude moyenne de 800 à 900 m et pouvant dépasser les 1 200 m à certains endroits (Beanjada avec 1 311 m et Antongovitsika avec 1 272 m dans la partie nord).

I. 5. Hydrologie

Avec la forte densité pluviométrique de la côte Est de Madagascar, la Région Analanjirofo est riche en divers fleuves et cours d'eau. La densité des cours d'eau varie d'un district à un autre ; ainsi, ceux de Vavatenina et Sainte-Marie sont les moins importants tandis que le district de Maroantsetra détient 36 % du nombre de fleuves et rivières de la région.