

SOMMAIRE

DECLARATION SUR L'HONNEUR

TENY FISAORANA

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABAQUES

LISTE DE ABREVIATION

LISTE DES UNITES

INTRODUCTION

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE PROJET

I-1. Problématique

I-2. Objectif de l'étude

I-3. Situation géographique de la zone d'étude :

I-3-1. Relief et Hydrographie de la zone d'étude

I-3-2. Géologie :

I-4. Climatologie de la zone

I-4-1. Température

I-4-2. Pluviométrie

I-4-3. Humidité relative

I-4-4. Insolation

CHAPITRE II : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

II-1. Etude hydrologique

II-1-1. Analyse statistique des données pluviométriques

II-1-2. Détermination des caractéristiques physiques du bassin versant

II-1-3. Détermination de la crue de projet

II-2. Etude hydraulique

II-2-1. Dimensionnement hydraulique des dalots

II-2-2. Principe de dimensionnement hydraulique des ponts

CHAPITRE III : ETUDES STRUCTURALE DES OUVRAGES

III-1. Dimensionnement des dalots

III-1-1. Logiciel utilisé et principe de fonctionnement

III-1-2. Hypothèses et Données de base

III-1-3. Etape de fonctionnement du logiciel

III-1-4. Récapitulatif des quantités des matériaux dans la réalisation des dalots :

III-2. Dimensionnement des buses

III-2-1. Hypothèses et données de base

III-2-2. Récapitulatif des quantités des matériaux dans la réalisation des buses

III-3. Dimensionnement des ponts

III-3-1. Hypothèses et Données de base

III-3-2. Logiciels utilisés et principes de fonctionnement

III-3-3. Récapitulatif des quantités des matériaux dans la réalisation des ponts

CHAPITRE IV : ETUDE DU COMPORTEMENT DE L'EAU EN AMONT DE LA ROUTE EN
CAS DE CRUE DE 100 ANS

IV-1. Laminage de crue

IV-1-1. Définition

IV-1-2. Principe des méthodes de calcul du laminage de crue

IV-1-3. Application de la méthode de résolution

CHAPITRE V : EVALUATION ECONOMIQUE DU PROJET

V-1. Principe de sous-détail de prix

V-2. Détermination du coefficient de déboursés K

V-3. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Conclusion partielle :

CHAPITRE VI : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET

VI-1. Procédures pour l'établissement d'une étude d'impact environnemental et social

VI-2. Charte de l'Environnement

VI-3. Décret MECIE

VI-4. Impact Environnementaux

VI-5. Mode de détermination et évaluation des impacts

VI-5-1. Evaluation de l'importance des impacts

VI-5-2. Critères d'appréciation des impacts

VI-5-3. Evaluation des impacts

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

WEBOGRAPHIE

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Température mensuelle d'Antananarivo	6
Tableau 2: Pluviométrie moyenne mensuelle entre 1983 à 2015.....	7
Tableau 3 : Valeurs de l'humidité relative	7
Tableau 4 : Données relatives à l'insolation annuelle de notre zone d'étude	7
Tableau 5 : Pluies maximales journalières de différente fréquence.....	8
Tableau 6 : Paramètres caractéristiques du bassin versant.....	11
Tableau 7 : Tableau récapitulatif des débits cinquantennales et des débits de projets.....	12
Tableau 8: Résultat du dimensionnement hydraulique des dalots	17
Tableau 9 : Résultat des PHE.....	20
Tableau 10 : Résultat des coefficients de contraction Cc	21
Tableau 11 : Résultat des coefficients dû à l'influence du nombre de Froude CF	22
Tableau 12 : Résultat des coefficients de submersion du pont Cs	23
Tableau 13 : Résultat des pertes de charge due aux caractéristiques hydrauliques du pont	23
Tableau 14 : Résultat hauteur d'eau correspondant à la pression dynamique.....	23
Tableau 15 : Résultat des pertes de charge par frottement.....	24
Tableau 16 : Résultat de la surélévation Δz	24
Tableau 17: Résultat de la cote sous poutre	25
Tableau 18 : Résultat de la profondeur D'affouillement normal HN	26
Tableau 19 : Diamètres des protections contre l'affouillement	27
Tableau 20 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du dalot N°01	33
Tableau 21 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du dalot N°02	34
Tableau 22 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du dalot N°03	34
Tableau 23 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation d'une buse	37
Tableau 24: Caractéristique général des ponts	39
Tableau 25 : Caractéristique de la chaussée.....	39
Tableau 26 : longueur de calcul des travées.....	40
Tableau 27 : Hauteur des poutres	41
Tableau 28 : Dimensionnement géométrique des poutres en Té	41
Tableau 29 : Tableau du choix du nombre de poutre	42
Tableau 30 : Caractéristique des entretoises	42

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Tableau 31 : Dimensionnement géométrique des chevêtres	43
Tableau 32 : Dimensionnement géométrique des fûts	43
Tableau 33 : Caractéristique géométrique des culées	44
Tableau 34 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du pont 1 variante 1	48
Tableau 35: Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du pont 2 variante 1	49
Tableau 36 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du pont 1 variante 2	49
Tableau 37 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du pont 2 variante 2	50
Tableau 38 : Tableau récapitulatif du bassin versant sur la zone inondable	54
Tableau 39 : Résultat des débits centennal et cinquannal et du temps de concentration	54
Tableau 40 : Tableau du volume d'eau de retenue à évacuer	56
Tableau 41 : Valeur des coefficients <i>Ai</i> et <i>ai</i> qui caractérise l'indice de déboursé.....	64
Tableau 42: Tableau récapitulation des coûts des ouvrages pour la variante 1	67

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude	4
Figure 2: Carte géologique de la zone d'étude.....	5
Figure 3 : Carte des limites des Bassins Versants	9
Figure 4 : Emplacement des ouvrages sur la nouvelle voie VRSN	13
Figure 5 : Courbe de tarage sur la section de Mamba.....	19
Figure 6 : Courbe de tarage sur la section d'Ikopa	19
Figure 7 : Sélection de l'assistant sur CYPE.....	29
Figure 8: Charge réelle appliquer sur la buse.....	36
Figure 9: Application sur Robot d'une buse	36
Figure 10: Phénomène de laminage de crue.....	51
Figure 11: Méthode de résolution graphique selon l'épure de Blackmore	53
Figure 12: Courbe Hauteur/Volume de la retenue en amont (en fonction de la topographie).....	55
Figure 13: Hydrogramme de crue	56
Figure 14: Hydrogramme de crue	57

Figure 15 : Résultat du débit de sortie en fonction de la hauteur	60
Figure 16: Résultat de l'Epure de Blackmore	61

LISTE DES ABAQUES

Abaque 1 : « Influence de la contraction ».....	ee
Abaque 2 : « Influence de la présence des piles ».....	ee
Abaque 3 : « Influence du nombre de Froude ».....	ff
Abaque 4 : « Influence de la profondeur relative de l'eau »	ff
Abaque 5 : « Calcul de la hauteur d'eau »	gg
Abaque 6 : « Calcul de la pente critique en fonction du débit »	hh
Abaque 7: « Calcul de la vitesse dans un dalot »	ii



LISTE DE ABREVIATION

BDE : Bordereaux des Détails Estimatifs
BPPAR : Bureau des Projets de Promotion et D'Aménagement des Régions
BV : Bassin Versant
CTGREF : Centre Technique de Génie Rural et des Eaux et Forêts
Dfc : Débit fictif continu
EIE : Etude d'Impact Environnemental
ESPA : Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
ETP : Evapotranspiration potentielle
ETR : Evapotranspiration réelle
FAO : Food and Agricultural Organisation
HTVA : Hors Taxe sur la Valeur Ajoutée
MECIE : Mise En Compatibilité des Investissements avec l'Environnement
MNT : Modèle Numérique du Terrain
RN : Route National
SIG : Système d'Information Géographique
TVAC : Taxe sur la Valeur Ajoutée Comprise
WGS : World Geodesic System
QGIS : Quantinium Geographic Information System
BA : Béton Armé
BAEL : Béton Armé aux Etats Limites
CSP : Côte Sous Poutre
DAA : Dotation Aux Amortissements
DQE : Devis Quantitatifs et Estimatifs
DS : Déboursé Sec
PHE : Plus Hautes Eaux
Pm : Par mètre linéaire
PTC : Poids Total en Charge
PU : Prix Unitaire
U : Unité
VAN : Valeur Actuelle Nette

LISTE DES UNITES

°C	: Degré Celsius
Ar	: Ariary
cm	: Centimètre
Fft	: Forfaitaire
h	: Heure
Hj	: Homme jour
kg	: Kilogramme
kg/j	: Kilogramme par jour
m	: Mètre
m/km	: Mètre par kilomètre
m/s	: mètre par seconde
m/s ²	: mètre par seconde carré
m ²	: Mètre carré
m ² /j	: Mètre carré par jour
m ³	: Mètre cube
m ³ /j	: Mètre cube par jour
m ³ /s	: Mètre cube par seconde
ml	: Mètre Linéaire
mm	: Millimètre
MN	: Méga Newton
MNm	: Méga Newton mètre
MPa	: Méga Pascal
t	: Tonne
t/ m ³	: Tonne par mètre cube
t/ml	: Tonne par mètre linéaire
tm	: Tonne mètre

INTRODUCTION

Dans la grande Métropole urbaine d'Antananarivo, l'accroissement des populations vivant dans les villes périphériques est exponentiel. Cette augmentation en masse affecte l'augmentation de la densité du trafic causée par des véhicules de toutes catégories. De ce fait, dans tous les quartiers de la ville, les routes sont pratiquement affectées par des embouteillages. Ce problème engendre l'augmentation du temps de circulation routière jusqu'à des niveaux difficilement supportable pour la capitale de Madagascar. En effet, un réseau routier opérationnel permet entre autres de promouvoir la fluidité des échanges qui garantit le bon développement économique. Compte tenu de cet engouement des habitants vers les villes périphériques, la construction d'une route interconnectant ces villes est primordiale.

La réalisation d'une route perturbe les écoulements naturels qui peut mettre en cause des enjeux importants comme l'inondation, l'érosion et la sécurité des usagers. Au regard de l'importance et du rôle de l'assainissement pour un réseau routier sain, il convient de bien dimensionner les ouvrages de franchissement le long de cette nouvelle voie.

D'où l'intitulé de ce mémoire : « **Etude hydrologique, conceptions et dimensionnements des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute « Voie Rapide Sud - Nord », partant d'Ivato vers Antsahabona** ».

Ce mémoire comportera alors six grandes parties dont la première se penchera sur la généralité du projet. Ensuite, nous ferons l'étude hydrologique de la zone, les études hydraulique et structurale des ouvrages de franchissement adéquats à cette nouvelle voie (Ivato-Antsahabona). En dernier lieu, nous allons faire des études financières et environnementales pour la prise de décision dans l'exécution du projet.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE PROJET

I-1. Problématique

La grande métropole urbaine d'Antananarivo présente actuellement un grand problème de mobilité, motivé à notre jugement, par les causes suivantes :

- L'accroissement en masse des populations vivant dans les villes périphériques ;
- Une augmentation fulgurante de la densité du trafic causée par des véhicules de toute sorte, y compris poids lourds, taxis B, bicyclettes et charrettes à traction animale ou humaine ;
- L'insuffisance de section des rues ;
- L'absence des réseaux routiers qui favorisent l'interconnexion des villes périphériques d'Antananarivo.

Ces faits affectent pratiquement tous les quartiers de la ville, des embouteillages systématiques, qui augmentent les temps de parcours des véhicules jusqu'à des niveaux qui peuvent être qualifiés d'inabordables et d'inacceptables pour une grande ville.

Tel est le cas de la route en direction de l'aéroport d'IVATO, qui pour un trajet de 18 km nécessite parfois un temps de 2 à 3 heures.

I-2. Objectif de l'étude

L'aéroport constitue la porte principale d'entrée à la ville, voire, au pays. Il est classé dans l'une des composantes majeures de l'activité économique et touristique d'une agglomération. Et selon les normes, les aéroports sont desservis par des liaisons routières rapides, d'où la justification de la conception d'une nouvelle voie reliant IVATO-IAVOLOHA sous le nom VRSN (Voies Rapides Sud-Nord).

La réalisation d'une route perturbe les écoulements naturels. Le rétablissement des écoulements naturels consiste à assurer la continuité des écoulements superficiels des bassins versants interceptés par la route. Cette opération doit être adaptée aux enjeux comme l'inondation, l'érosion, la pérennité de l'infrastructure et la sécurité des usagers. Pour assurer la prise en compte de tous ces critères, il convient de dimensionner et d'étudier les ouvrages de

franchissement sur cette nouvelle conception tout en respectant les réglementations en vigueur. Nous devons, à travers cette étude, faire un dimensionnement hydraulique et structurel de l'ouvrage de franchissement suivant les normes de calculs en vigueur.

I-3. Situation géographique de la zone d'étude :

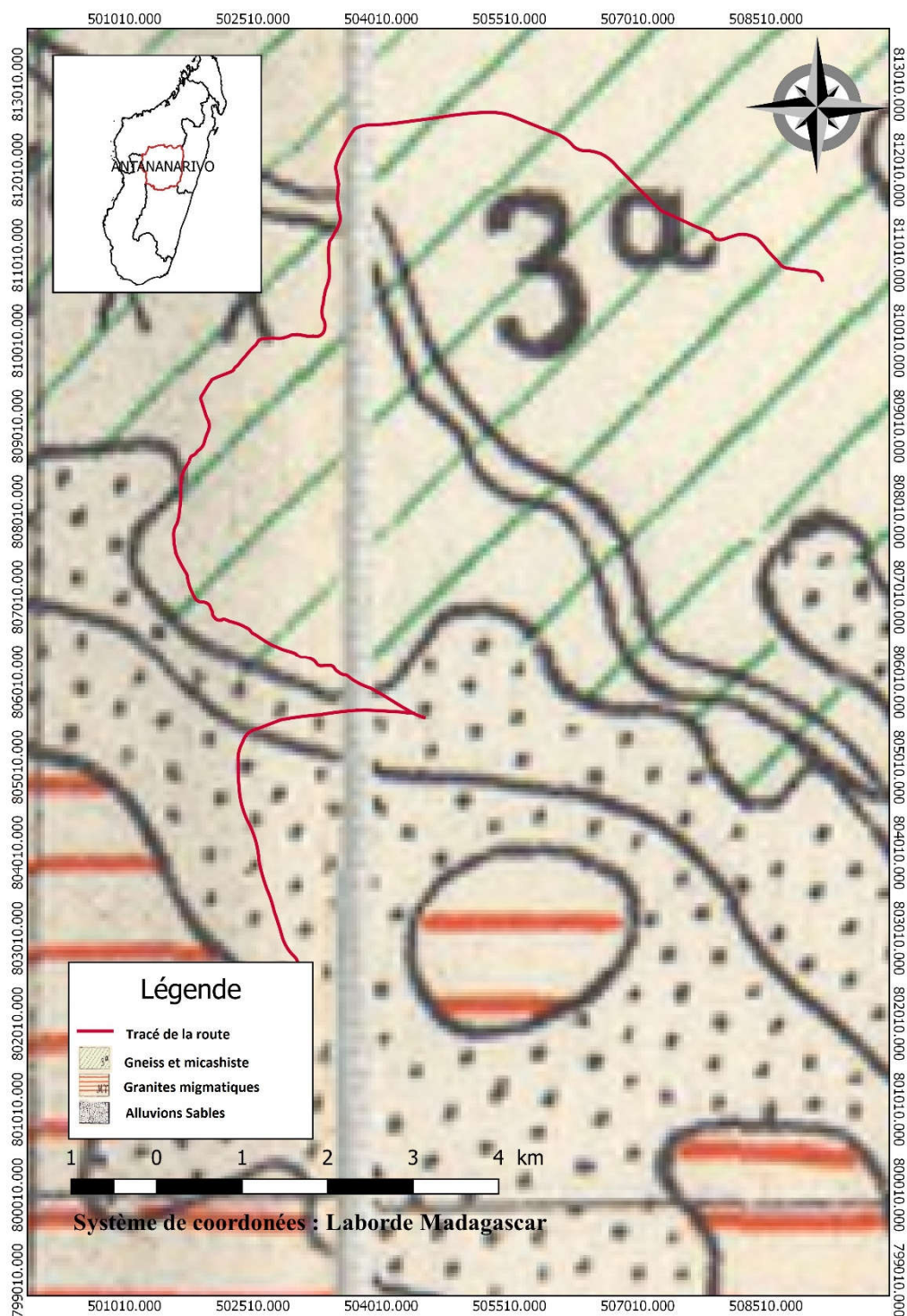
La nouvelle voie relie IVATO-FENOARIVO-IAVOLOHA, mais notre étude se limitera au tracé qui a comme origine à la sortie de l'aéroport d'Ivato et sa fin se situe dans le village d'Antsahabona (un village dans la commune d'Ampangabe).

I-3-1. Relief et Hydrographie de la zone d'étude

Notre zone d'étude se situe dans le centre des hauts plateaux, dont le paysage est caractérisé par les moins accidentées des collines de l'Imerina et des plaines inondables d'Antananarivo. Le réseau hydrographique intercepté par notre zone d'étude projeté appartient au bassin du fleuve Ikopa. Ce réseau est constitué de l'Ikopa et de ses affluents : Sisaony à la droite et Mamba à la gauche.

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

I-3-2.Géologie :



(Source : FOIBEN-TAOSARINTANIN'I MADAGASIKARA)

Figure 2: Carte géologique de la zone d'étude

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

I-4. Climatologie de la zone

Pour la région d'Antananarivo, le climat est tropical d'altitude. Bien qu'elle soit située dans la zone intertropicale, la température moyenne de l'année est modérée par les effets de l'altitude. Le climat est caractérisé par des hivers frais et très secs et des étés doux et très pluvieux. Système de coordonnées

I-4-1. Température

La température en saison hivernale descend rarement au-dessous de 10 °C. En saison chaude, elle dépasse rarement 30 °. Les données disponibles de la température sont celles relevées à la station d'Ivato-Aéroport.

Tableau 1 : Température mensuelle d'Antananarivo

Mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Tmax[°C]	26,4	26,5	25,9	25,2	23,2	21,1	20,4	21	23,6	25,8	26,6	26,4
Tmin [°C]	16,6	16,8	16,3	15	12,3	10	9,5	9,6	10,6	12,9	14,8	16,2
Tmoy [°C]	21,5	21,65	21,1	20,1	17,75	15,55	14,95	15,3	17,1	19,35	20,7	21,3

(Source : Direction des Exploitations Météorologiques Ampasampito)

I-4-2. Pluviométrie

Les données pluviométriques utilisées pour l'étude hydrologique ont été fournies par la Direction des Exploitations Météorologiques Ampasampito. Il s'agit essentiellement de la pluviométrie mensuelle et maximale journalière de la station Antananarivo Observatoire pour la période de 1983 à 2015. Compte tenu des données existantes insuffisantes pour les études statiques de la station d'Ivato qui est la plus proche.

Entre les années d'observation de 1983 à 2015, la pluviométrie moyenne annuelle est de **1236,06 [mm]**, les pluviométries moyennes mensuelles varient de **5,32 [mm]** à **321,23 [mm]**.

Le tableau suivant donne les résultats de la pluviométrie moyenne mensuelle de la zone d'étude :

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Tableau 2: Pluviométrie moyenne mensuelle entre 1983 à 2015

[mm]	Janv	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuelle
Moyenne	321,23	257,92	150,70	49,50	12,75	5,32	5,96	8,59	10,50	53,67	129,89	230,05	1236,06

(Source : Direction des Exploitations Météorologiques Ampasampito)

I-4-3. Humidité relative

L'humidité relative est le rapport de la tension de vapeur effective à la tension de vapeur saturante.

L'humidité relative de l'air varie de 71% à 85% pendant l'année.

Tableau 3 : Valeurs de l'humidité relative

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Humidité [%]	84	84	85	82	80	80	80	77	74	71	76	82

(Source : Base de données de la FAO)

I-4-4. Insolation

Selon l'encyclopédie en ligne Wikipédia, l'insolation désigne l'exposition au rayonnement solaire. Plus précisément en météorologie, insolation signifie la quantité d'énergie solaire reçue, mais aussi peut être synonyme d'ensoleillement, c'est-à-dire la durée d'exposition d'un site au soleil.

Tableau 4 : Données relatives à l'insolation annuelle de notre zone d'étude

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Heure/jour	6,5	6,2	6,3	7,2	7,3	6,6	6,6	7,4	8,2	8,1	7,5	6,3

(Source : Base de données de la FAO)

CHAPITRE II : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

II-1. Etude hydrologique

L'étude hydrologique a pour objectif la détermination des caractéristiques hydrologiques (la section d'écoulement, le débit de dimensionnement, la hauteur des plus hautes eaux) qui entreront en compte dans le calcul de l'ouvrage de franchissement. Les données utilisées lors des ajustements statistique sont les données pluviométriques de la station d'Antananarivo Observatoire de la direction des Exploitations Météorologiques Ampasampito.

II-1-1. Analyse statistique des données pluviométriques

De l'analyse des données pluviométrique maximale de 24 heure avec le test de Khi-deux χ^2 (voir annexe II), il ressort que les données de la station sont assez homogènes pour être judicieusement utilisées dans cette étude.

Nous avons utilisé l'ajustement statistique suivant la loi GUMBEL, pour déterminer les pluies maximales journalières de différente fréquence (P_T). Du reste, nous utiliserons la pluie maximale journalière de fréquence cinquantennale (P_{50}), pour le calcul de la Crue cinquantennale (Q_{50}) de projet.

Tableau 5 : Pluies maximales journalières de différente fréquence

T [ans]	P_T [mm]
5	84,34
10	96,00
50	121,70

II-1-2. Détermination des caractéristiques physiques du bassin versant

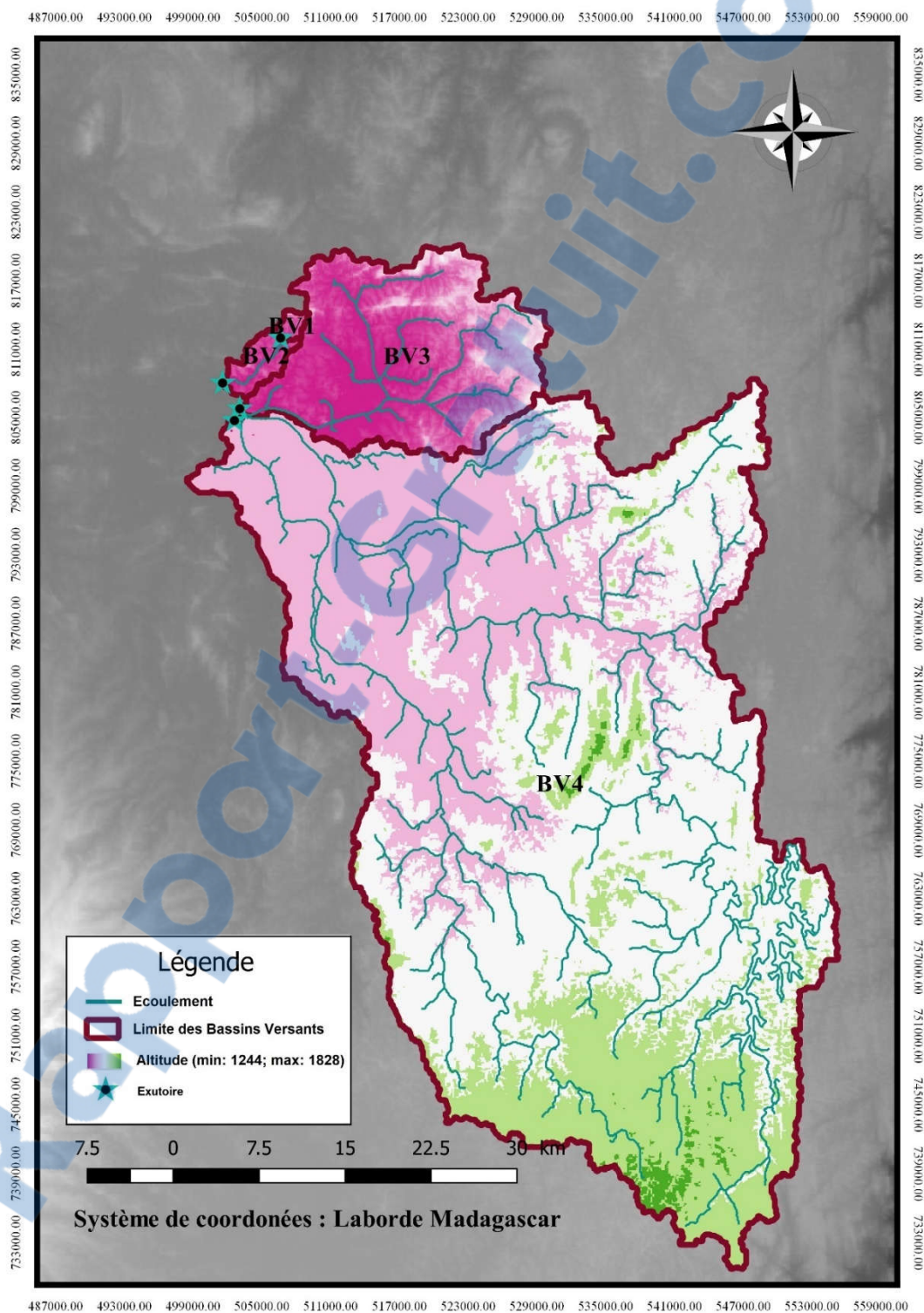


Figure 3 : Carte des limites des Bassins Versants

Les paramètres physiques du bassin versant désignent un ensemble de caractéristiques physiographiques, obtenues à partir des données cartographiques, et qui donnent un certain nombre d'informations sur ce dernier. Dans notre cas, certains paramètres physiques (comme la superficie, le périmètre, la longueur du plus long cheminement et les altitudes), ont été déterminés d'après un modèle numérique de terrain construit à partir de la courbe de niveau équidistante de 1 [m] sur le logiciel QGIS.

Les différents paramètres physiques de notre bassin versant sont :

- **La superficie** du BV (S) exprimée en km² ;
- **Le périmètre** du BV (P) exprimé en km ;
- **La longueur du plus long cours d'eau** (L_{riv}) du BV exprimée en km ;
- **L'indice de compacité de Gravelius** (K_G) qui permet de caractériser la forme du bassin versant, Elle est définie par la formule :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0,28 \frac{P}{S}$$

Où,

P désigne le périmètre du bassin versant en [km] ;

S désigne la surface du bassin versant en [km²].

- **Le rectangle équivalent**, c'est un rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le BV, Ces dimensions peuvent être calculées à partir des relations suivantes :

$$L_{req} = \frac{K_G \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \text{ et } l_{req} = \frac{P}{2} - L_{req}$$

Où,

L_{req} est la longueur du rectangle équivalent en [km],

l_{req} est la largeur du rectangle équivalent en [km],

S est la surface du BV en [km²],

K_G est l'indice de compacité de Gravelius,

- **Pentes des bassins versants,**

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

La pente du bassin versant joue un rôle très important dans l'estimation des débits de crues, le ruissellement et l'infiltration de l'eau dans le sol, dépendent de la valeur de la pente du bassin versant,

Selon la formule de Louis Duret, la pente I est exprimée en fonction de l'altitude maximale, altitude minimale et aussi de la longueur du rectangle équivalent,

$$I = \frac{0,95(Z_{max} - Z_{min})}{L_{Réq}}$$

Avec,

I est Pente moyenne du bassin versant ;

Z_{max} est l'altitude maximale ;

Z_{min} est l'altitude minimale ;

$L_{Réq}$ Longueur du rectangle équivalent.

- **Indice de pente**

$$Ip = \sqrt{\frac{I_{moyenne}}{1250}}$$

Avec,

I_p , c'est l'indice de pente ;

$I_{moyenne}$, c'est la pente moyenne du bassin versant.

Voici le tableau récapitulatif des caractéristiques des bassins versants :

Tableau 6 : Paramètres caractéristiques du bassin versant

	SURFACE (S)	PERIMETRE (P)	Lriv	Zmax	Zmin m	Kg	Lreq km	l reg km	PENTE (I)	Ip	Ig
	[km ²]	[km]	[km]	[m]	[m]		[km]	[km]	[m/km]	[m/m]	[m/m]
BV1	5,17	10,81	2,70	1303,00	1260,00	1,34	4,22	1,18	9,67	0,088	0,006
BV2	24,87	28,54	13,73	1305,00	1251,00	1,61	12,37	1,90	4,15	0,058	0,003
BV3	332,97	104,74	34,34	1460,00	1246,00	1,62	45,43	6,94	4,47	0,060	0,003
BV4	2495,08	341,02	166,08	1671,00	1248,00	1,93	155,77	14,74	2,58	0,045	0,002

II-1-3. Détermination de la crue de projet

La crue cinquantennale représente une crue dont la fréquence d'apparition est d'une fois tous les 50 ans. Elle a été retenue comme crue de projet dans notre étude car sur un axe routier à grande circulation, la crue adoptée est cinquantennale à la rigueur. Les formules adoptées pour la détermination des crues de projet sont les formules d'ORSTOM, Louis Duret, rationnelle et de la Station de jaugeage. La procédure de détermination des débits est détaillée dans l'Annexe 2.

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des débits cinquantennales et des débits de projets

[m ³ /s]	Rationnelle	Louis Duret	ORSTOM	Q_{projet}
BV1	39,41	Non applicable	Non applicable	39,41
BV2	Non applicable	56,02	30,66	43,34

[m ³ /s]	ORSTOM	Louis Duret	Station de jaugeage	Q_{projet}
BV3	188,29	253,97	97,33	179,86
BV4	695,68	1066,57	348,62	703,62

II-2. Etude hydraulique

Dans une construction routière, le franchissement des obstacles naturels ou artificiels peut se faire à l'aide de différents types d'ouvrages d'art (pont, dalot, buses, etc.). Le choix du type d'ouvrage à réaliser tient compte de plusieurs critères tels que la topographie du terrain, le débit à évacuer pour ce qui est des cours d'eau, l'aspect sécurité, les contraintes techniques, économiques et esthétiques. Dans notre cas on optera pour des dalots sur les BV1 et BV2 ; et des ponts pour les BV3 et BV4.

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

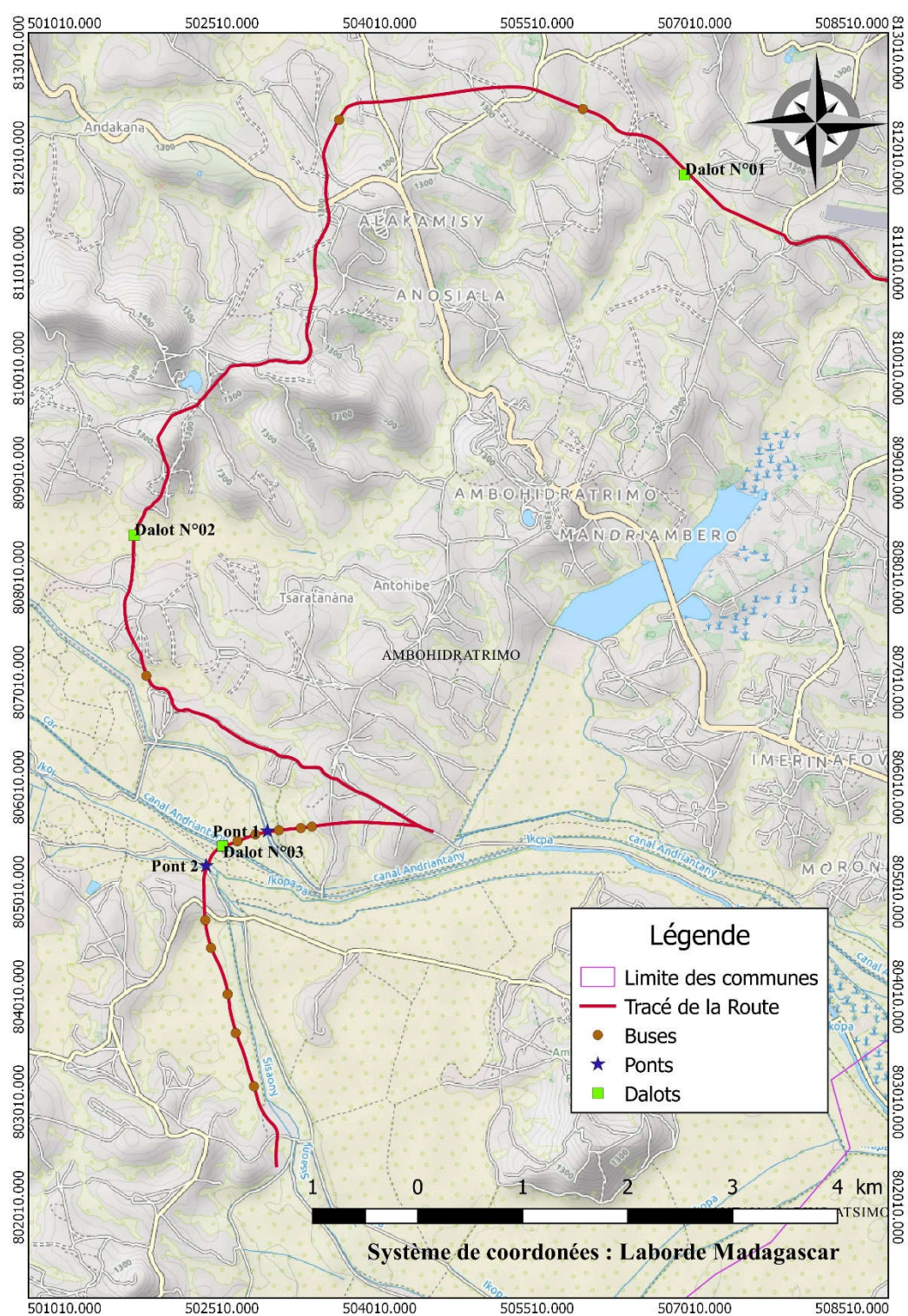


Figure 4 : Emplacement des ouvrages sur la nouvelle voie VRSN

II-2-1. Dimensionnement hydraulique des dalots

II-2-1-1. Description

Les dalots sont des ouvrages à section rectangulaire permettant d'assurer le passage de l'eau sous la chaussée. Ils sont constitués par des murs verticaux appelés les piédroits reposant sur un radier général ou une semelle, sur lesquels repose une dalle en béton armé continue ou constituée par la juxtaposition d'éléments préfabriqués.

On distingue différents types de dalots :

- Les dalots ordinaires ;
- Les dalots cadres ;
- Les dalots portiques qui sont analogues aux dalots cadres mais sans radier (piédroits verticaux fondés sur semelles).

II-2-1-2. Principe de dimensionnement hydraulique des dalots

Pour le dimensionnement hydraulique des dalots et des ponts cadres, on considère plus généralement la sortie dénoyée avec l'écoulement à surface libre qui est le plus fréquent. La condition pour un écoulement dénoyé est : la hauteur amont (H_1) doit être inférieure ou égale à 1,25 fois la hauteur (D) de l'ouvrage (la condition $H_1/D < 1,25$).

La sortie noyée est obtenue lorsque que le niveau de l'eau à la sortie immédiat de l'ouvrage dépasse le bord supérieur de l'ouvrage. C'est le cas des ouvrages situés en zone inondables ou subissant la marée en zone littorale, ou présentant un niveau aval élevé parce qu'ils sont à la confluence avec un autre cours d'eau à fortes crues.

Pour le dimensionnement des dalots les étapes sont les suivantes :

a) Etape 1 : Calcul du débit à évacuer

A ce niveau il s'agit d'effectuer les calculs hydrologiques qui fourniront le débit du projet. La détermination des débits a été évoqué auparavant, et ont permis d'avoir le débit projet Q_{50} .

b) Etape 2 : Calcul de la profondeur en amont H₁

A cette étape, il s'agira de calculer la profondeur amont et de vérifier si celle-ci est conforme à la situation topographique de l'ouvrage, après avoir estimé une valeur approchée de D et B (hauteur et largeur dans le cas des dalots), en utilisant pour cela la formule de base $Q = V \times S$, dans laquelle l'on déduit S la section mouillée (avec Q connu et V la vitesse, V_{limite} étant fixée à 3,5 [m/s]), et D étant également fixé pour les dalots, on déduira B, On utilisera ensuite la formule $Q^* = \frac{Q}{BD \sqrt{2gD}}$ pour calculer le débit réduit Q^* . Cette valeur donnera la valeur réduite H_1^* en utilisant l'abaque (figure 77 du document « Hydraulique routière » de **Nguyen VAN TUU [1978]**, [page 248]), de l'Annexe 7, la valeur de H_1 est ainsi calculée par la relation $H_1^* = \frac{H_1}{D}$.

La valeur H_1 ainsi trouvée est comparée à la situation topographique du projet.

Avec,

H_1 : Profondeur en amont [m] ;

Q^* : Débit réduit [m^3/s] ;

D : Hauteur d'une ouverture du dalot [m] ;

B : Largeur d'une ouverture du dalot [m].

c) Etape 3 : Calcul de la pente critique I_c

L'ouvrage doit être capable d'évacuer le débit critique correspondant à la profondeur H_1 amont. Pour cela, il faut que sa pente longitudinale soit au moins égale à la pente critique ($I \geq I_c$). Il s'agira donc à cette étape de calculer la pente critique de l'ouvrage (notée I_c) qui guidera le choix de la pente longitudinale de l'ouvrage (notée I). Connaissant B et q, on calcule le débit réduit pour la pente critique en utilisant la formule suivante $Q_i^* = \frac{q}{\sqrt{gB^5}}$, on lira sur l'abaque (figure 82, du document « Hydraulique routière » de **Nguyen VAN TUU [1978]**, [page 258], dans l'Annexe 7) la valeur de la pente I_c^* qui permet d'avoir la pente

critique I_c par la formule suivante : $I_c = \frac{g I_c^*}{k^2 B^3}$ connaissant le coefficient de rugosité K , la pente longitudinale à donner à notre ouvrage sera supérieure ou égale à la pente critique ainsi déterminée.

Avec,

K : Coefficient de rugosité ;

g : Accélération de la pesanteur à la surface de la Terre [m/s^2] ;

B : Largeur de la base des ouvertures [m] ;

I_c : Pente critique [m/m] ;

q : Débit passant dans une ouvertures [m^3/s].

d) Etape 4 : Calcul de la vitesse dans l'ouvrage

Au niveau de cette étape il s'agira de calculer la vitesse de l'eau dans l'ouvrage, et de vérifier si celle-ci ne dépasse pas la vitesse limite (prise égale à 3,5 [m/s]). L'on calculera le débit réduit Q_v^* à partir des formules dérivées de Manning et en fonction de la pente

longitudinale retenue $Q_v^* = \frac{q}{K I^{\frac{1}{2}} B^{\frac{2}{3}}}$.

Cette valeur réduite donne, grâce à l'abaque (figure 84 du document « Hydraulique routière » de **Nguyen VAN TUU [1978]**, [page 263], dans l'Annexe 7) la valeur de V^* de laquelle l'on déduira la valeur de la vitesse V recherchée à partir de la relation suivante :

$$V^* = \frac{V}{K} I^{\frac{1}{2}} B^{\frac{2}{3}}$$

Avec,

Q_v : Débit réduite [m^3/s] ;

V^* : Valeur de la vitesse réduite [m/s] ;

V : Vitesse de l'eau dans l'ouvrage [m/s] ;

I : Pente longitudinale [m/m].

e) Etape 5 : Itération

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Si la vitesse est acceptable (c'est-à-dire autour de 3 [m/s]) le calcul est terminé, sinon il faut changer les paramètres d'ouvertures B et D et reprendre totalement tout le cheminement. Nous avons utilisé le tableur Excel pour automatiser le calcul.

On obtient ainsi les caractéristiques des dalots suivants :

Tableau 8: Résultat du dimensionnement hydraulique des dalots

Désignation	Débit totale à évacuer [m ³ /s]	Nombre d'ouverture	Débit pour une ouverture [m ³ /s]	Largeur B [m]	Hauteur D [m]
BV1	39,41	2	19,71	6	2
BV2	43,34	3	14,54	5	2
Sur le Canal Andriantany	10,00	2	5,00	3	2

Désignation	Hauteur d'eau en amont				Ecart	Vérification
	Surface S	Q*	H*	H		Les dalots ne fonctionnent pas en charge pour l'évacuation du débit de projet
BV1	12,00	0,26	0,78	1,56	0,44	
BV2	10,00	0,23	0,74	1,48	0,52	
Sur le Canal Andriantany	6,00	0,13	0,50	1,00	1,00	

Désignation	Pente critique			Vitesse			Vérification
	Q*	Icr*	Icr	Q*	V*	V	Les vitesses dans les ouvrages sont acceptables
BV1	0,07	2,65	0,003	0,04	0,26	3,18	
BV2	0,08	2,65	0,003	0,05	0,26	2,96	
Sur le Canal Andriantany	0,10	2,66	0,004	0,06	0,28	2,43	

II-2-2.Principe de dimensionnement hydraulique des ponts

Pour les rivières Mamba et Ikopa, nous opterons pour des ponts comme ouvrage de franchissement compte tenu de leurs débouchés linéaires assez élevés, variant de 54 à 125 [m]. Les formules utiliser dans la suite sont prise dans document « Hydraulique routière » de **Nguyen VAN TUU [1978]**

II-2-2-1.Descriptions

Le but de l'étude hydraulique est de donner à l'ouvrage un gabarit de structure capable d'évacuer le débit de projet évalué dans la partie « étude hydrologique ». En d'autres termes, elle permet de déterminer les conditions d'écoulement de l'eau sous l'ouvrage. Cette étude passe par l'évaluation du niveau des Plus Hautes Eaux (PHE) qui permettra à la fois de caler l'ouvrage, d'estimer les remous sur l'ouvrage et le calcul des affouillements. Et tout ceci dans le respect des contraintes de vitesse : une vitesse trop importante provoquera de l'érosion aux abords de l'ouvrage et une très petite vitesse occasionnera des dépôts. On retiendra :

$$V_{max} = 3,5 [m/s] \text{ et } V_{min} = 0,5 [m/s]$$

II-2-2-2.Détermination des plus hautes eaux ou PHE

Le PHE se détermine par l'établissement de la relation niveau-débit qui est la « courbe de tarage » du cours d'eau. On utilisera la formule de Manning Strickler :

$$Q = K S R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

Avec,

K : coefficient de rugosité ;

S : section mouillée du cours d'eau en [m²] ;

R : rayon hydraulique en [m] ;

I : pente longitudinale du cours d'eau en en [m/m] ;

Après itération, on obtient les courbes de tarage suivantes :

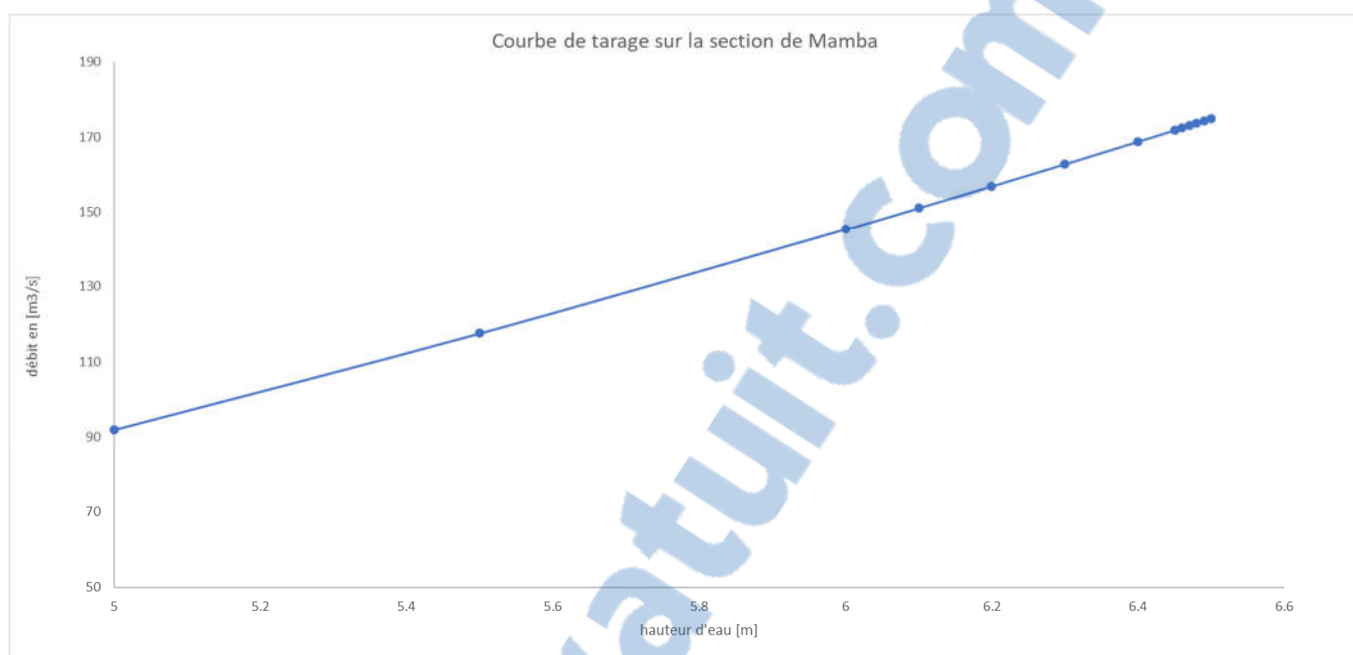


Figure 5 : *Courbe de tarage sur la section de Mamba*

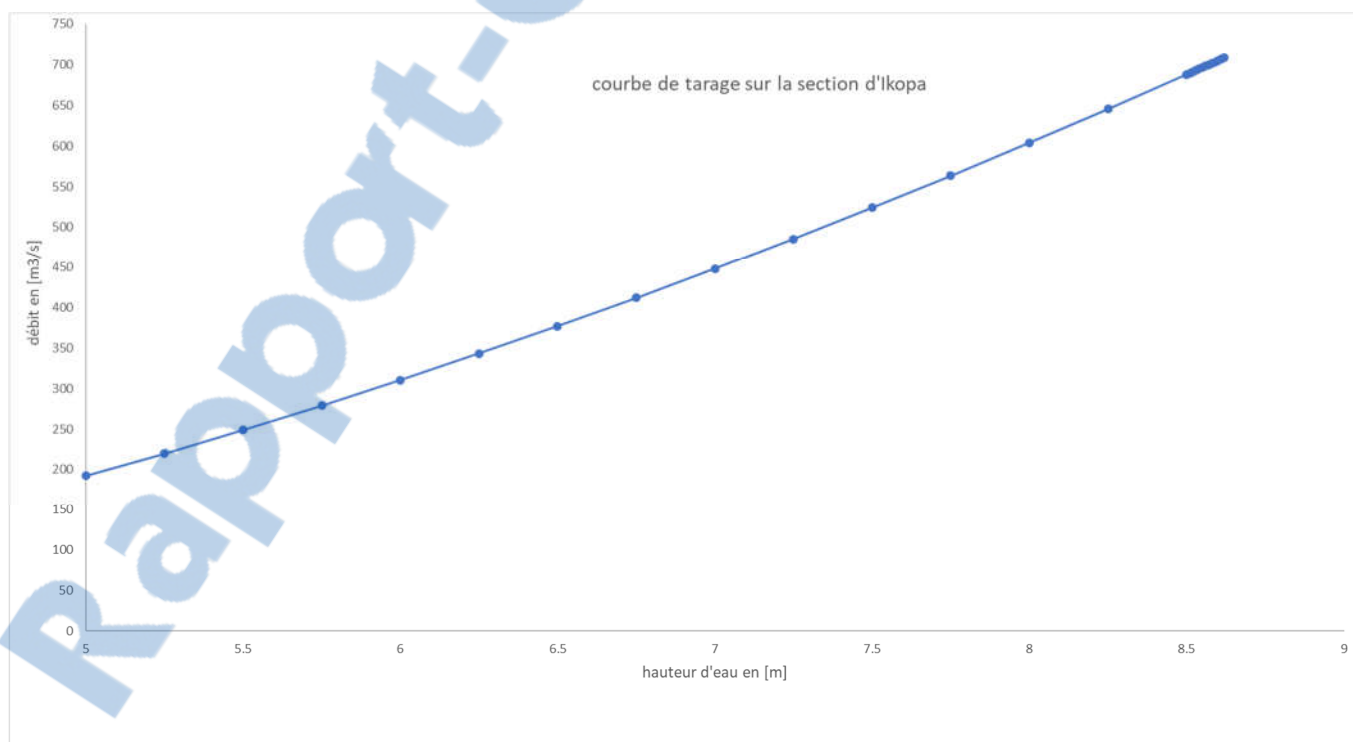


Figure 6 : *Courbe de tarage sur la section d'Ikopa*

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

On en déduit de ces courbes les PHE par rapport aux crues de projet. Les valeurs des PHE et les cotes qui sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Résultat des PHE

	Rivière	PHE	Cote du PHE
Pont 1	Mamba	6,59	1250,98
Pont 2	Ikopa	8,59	1252,85

II-2-2-3. Calcul de la surélévation du niveau de l'eau ou remous du courant

Le débit de la crue de projet correspond à la pointe de son hydrogramme ; il s'agit d'un débit qui est observé pendant un temps relativement court. A son passage, ce débit provoque un étranglement de la section d'écoulement, ce qui entraîne une surélévation du niveau d'eau à l'amont du pont. La présence des piles participe aussi à cette surélévation du niveau d'eau. C'est cette surélévation du niveau d'eau qu'on appelle le remous. Il faut savoir la maîtriser afin de bien caler la ligne rouge.

La construction d'un ouvrage et de ses remblais d'accès entraîne une surélévation du niveau de l'eau due à l'étranglement de la section d'écoulement. Déduite du théorème de BERNOUILLI, la formule suivante permet de déterminer la surélévation :

$$\Delta z = \frac{Q^2}{2g(CS_0)^2} + \alpha \frac{V AM^2}{2g} + \Delta hf$$

Avec,

Q: débit de la crue du projet en m³/s ;

S: débouché du pont correspondant à Q en m² ;

C: coefficient de débit ;

V: vitesse moyenne de l'écoulement à l'amont en m/s ;

α : coefficient représentant la distribution des vitesses dans la section considérée ou coefficient de Coriolis ;

Δhf : perte de charge du frottement en m ;

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

III-3-1-5-1

Détermination de la perte de charge due aux
caractéristiques hydrauliques du pont

Elle est exprimée par la formule : $\frac{Q^2}{2g(CS_0)^2}$

Avec,

g : accélération de la pesanteur ;

Q : le débit de projet en [m³/s] ;

S_0 : débouché du pont correspondant au débit de crue en [m] ;

C : coefficient de débit, déterminer par la formule :

$$C = C_c \cdot C_E \cdot C_\theta \cdot C_P \cdot C_F \cdot C_Y \cdot C_X \cdot C_S$$

a) Coefficient de contraction C_c

Il peut être déterminé à l'aide de l'abaque intitulé « Influence de la contraction » à

l'Annexe 7, en fonction de $\frac{b'}{B_0}$ et de la contraction $m = 1 - \frac{T_0}{T_{AM}}$:

- ✓ b' : largeur moyenne des culées, $b' = 9$ [m] ;
- ✓ B_0 : débouché linéaire efficace du pont ;
- ✓ T_0 : coefficient de transfert à l'ouverture, $T_0 = k_0 S_0 R_0^{\frac{2}{3}}$;
- ✓ T_{AM} : coefficient de transfert en amont de l'ouvrage, $T_{AM} = k_{AM} S_{AM} R_{AM}^{\frac{2}{3}}$;

Tableau 10 : Résultat des coefficients de contraction C_c

Pont	Débouché linéaire B_0	$\frac{b'}{B_0}$	m	C_c
1	125	0,07	0 car $T_{AM} = T_0$	1
2	54	0,17		1

b) Coefficient dû aux conditions d'entrée C_E

Ce coefficient ne s'applique que pour les ouvrages présentant des murs en ailes formant un angle Φ avec leur axe, Ce qui n'est pas le cas pour ce projet donc :

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

c) Coefficient dû au biais θ C_θ

L'ouvrage étant perpendiculaire à la ligne d'écoulement, nous avons :

$$C_\theta = 1$$

d) Coefficient dû à la présence des piles C_p

Ce coefficient qui est aussi fonction de m et est obtenu par l'abaque intitulé « influence de la présence des piles », dans l'Annexe 7.

e) Coefficient dû à l'influence du nombre de FROUDE F C_F

$$F = \frac{Q}{S_{AV} \sqrt{g y_{AV}}}$$

S_{AV} : section d'écoulement à l'aval du pont ;

y_{AV} : profondeur d'eau moyenne dans cette section ;

g : accélération de la pesanteur, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

D'après l'abaque intitulé « influence du nombre de FROUDE », dans l'Annexe 7. On

a :

Tableau 11 : Résultat des coefficients dû à l'influence du nombre de Froude C_F

Pont	Sav	Yav	F	Cf
1	246,74	6,58	0,10	0,92
2	816,31	8,59	0,10	0,92

f) Coefficient dû à la profondeur relative de l'eau C_Y

D'après l'abaque intitulé « influence de la profondeur relative de l'eau », dans l'Annexe 7.

$$C_Y = 1$$

g) Coefficient dû à l'excentricité du pont C_X

L'ouvrage ne présente aucun excentrement donc :

$$C_X = 1$$

h) Coefficient de submersion du pont C_S

Le pont ne doit pas être submergé, alors on prendra : $C_S = 1$.

Il en suit les valeurs de C :

Tableau 12 : Résultat des coefficients de submersion du pont Cs

Pont	C
1	0,92
2	0,92

D'où

Tableau 13 : Résultat des pertes de charge due aux caractéristiques hydrauliques du pont

Pont	Perte de charge due aux caractéristiques hydrauliques du pont
1	0,03
2	0,04

III-3-1-5-2

Détermination de la hauteur d'eau correspondant à
la pression dynamique

Elle est exprimée par : $\alpha \frac{V_{AM}^2}{2g}$

Avec,

$\alpha = 1$;

V_{AM} : vitesse en amont de l'ouvrage, $V_{AM} = \frac{Q_{50}}{S_{AM}}$;

On a ainsi la valeur de la hauteur d'eau correspondant à la pression dynamique :

Tableau 14 : Résultat hauteur d'eau correspondant à la pression dynamique

Pont	Hauteur d'eau correspondant à la pression dynamique
1	0,03
2	0,04

Elle est traduite par :

$$\Delta hf = B_0 \left(\frac{Q_{50}}{T_{AM}} \right)^2 + b' \left(\frac{Q_{50}}{T_0} \right)^2$$

Tableau 15 : Résultat des pertes de charge par frottement

Pont	Δhf
1	0,01
2	0,01

D'où la surélévation Δz :

Tableau 16 : Résultat de la surélévation Δz

Pont	Δz
1	0,06
2	0,09

II-2-2-4. Le tirant d'air

Des détritiques et des corps flottants sont régulièrement transportés par un cours d'eau. Ce qui démontre un risque d'obstruction de la section d'écoulement sous le pont. L'ouvrage est dans ce cas en danger car le tablier du pont n'est pas dimensionné pour supporter des charges horizontales importantes. En plus, toute submersion du pont entraîne l'interruption du trafic et des risques de destruction des remblais d'accès. Le tirant d'air est prévu pour diminuer le risque d'obstruction partielle ou totale du pont. Le tirant d'air est en général une marge de sécurité sous la poutre pour pallier au problème de charriage.

Pour les ponts courants, on adopte en général un tirant d'air au moins égal à :

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

- 1 m en zone dégagée, peu dense et de faible charriage ;
- 1,5 m en zone de savane ;
- 2 m en zone de végétation dense ;
- 2,50 m en zone forestière ;

Dans notre cas on adoptera la revanche de **1,5 [m]**.

II-2-2-5. Calage de l'ouvrage

On aboutit à la côte sous poutre de l'ouvrage par l'addition des termes suivants déjà évalués :

$$\text{Cote sous poutre} = \text{Côte du PHE} + \Delta z + \text{Tirant d'air}$$

Tableau 17: Résultat de la cote sous poutre

Côte du PHE	PHE	Tirant d'air	Surélévation du niveau d'eau	PHE + Tirant d'air + Δz	Cote sous poutre
1251,43	6,58	1,50	0,06	8,14	1259,58
1253,52	8,59	1,50	0,09	10,18	1263,71

II-2-2-6. Calcul des affouillements et des protections

Du point de vue de dimensionnement hydraulique, le pont est confronté aux risques d'affouillements, autour des piles, qui constituent une des causes les plus fréquentes d'accidents sur ces ouvrages. L'affouillement est lié à la diminution de la section d'écoulement au droit de l'ouvrage, menant à l'augmentation de la vitesse d'écoulement. Ainsi, afin de garantir la sécurité et assurer la fiabilité dans le calage des fondations des piles, l'évaluation de ces phénomènes revêt une importance toute particulière. Pour évaluer cette profondeur d'affouillement nous avons utilisé la méthode dite « enveloppe » développée par C.S.DUNN dans le document intitulé «Hydraulique Routière». La profondeur totale d'affouillement (H_{aff}) est la somme de trois termes :

- ✓ Une profondeur appelée « profondeur normale d'affouillement » qui est celle se produisant dans le lit uniforme et résultant d'une modification du débit H_N ;

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

- ✓ Une profondeur d'affouillement local due à la présence des piles H_L ;
- ✓ Une profondeur due à la réduction de la section du cours d'eau par les remblais d'accès H_R .

$$H_{aff} = H_N + H_L + H_R$$

III-3-1-5-4

Détermination de la profondeur normale
d'affouillement H_N

La profondeur normale d'affouillement H_N au-dessous du niveau d'équilibre du lit d'après les travaux de HAYNIE et SIMONS publiés en 1968 est :

$$H_N = 0,48 Q^{0,36} - \frac{S}{L}$$

Avec,

S : section mouillée correspondant au PHE du projet ;

L : Largeur au miroir correspondant au crue de projet ;

Tableau 18 : Résultat de la profondeur D'affouillement normal H_N

Pont	H_N	Commentaire
1	-1.46	$H_N < 0$, l'affouillement est négligeable
2	-1.45	

III-3-1-5-5

Détermination de la profondeur d'affouillement local
due à la présence des piles H_L

La présence d'une pile de pont dans une rivière interrompt l'écoulement uniforme et développe un système de vortex.

La profondeur d'affouillement local due à la présence des piles est estimée à l'aide de la formule empirique de BREUSERS suivante :

$$H_L = 1,4 P$$

Dans laquelle :

H_L : profondeur locale d'affouillement autour d'une pile, mesurée au-dessous du lit moyen (m) ;

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

P : largeur de la pile projetée sur un plan perpendiculaire à l'écoulement (m), La largeur des piles a aussi une influence sur cet affouillement,

D'où, pour nos deux ponts, les piles et les culées ont les mêmes dimensions :

$$H_L = 4,2 \text{ [m]}$$

III-3-1-5-6 Détermination de la profondeur due à la réduction de la section du cours d'eau par les remblais d'accès H_R

Pour ce projet, comme les remblais d'accès n'entraînent pas la réduction de la section du cours d'eau, alors l'affouillement qui y correspond n'aura pas lieu, D'où :

$$H_R = 0$$

III-3-1-5-7 Protection contre l'affouillement

La méthode la plus couramment utilisée pour protéger les piles de pont contre l'affouillement est la mise en place d'un tapis d'enrochements tout autour de chaque pile dont leur diamètre est obtenu à l'aide de la formule d'IZBASH suivante :

$$d = \frac{\rho V^2}{0,72 g (\rho_s - \rho)}$$

Avec,

V : vitesse d'écoulement en crue en [m/s] ;

ρ_s : masse volumique de l'enrochement, $\rho_s = 2,7 \text{ t/m}^3$;

ρ : masse volumique de l'eau, $\rho = 1 \text{ t/m}^3$;

g : accélération de la pesanteur, $g = 9,81 \text{ m/s}^{-2}$;

Tableau 19 : Diamètres des protections contre l'affouillement

Pont	d [cm]
1	4,43
2	6,19

En réalité, un diamètre de 4 [cm] à 7 [cm] est un peu trop faible, nous allons opter pour une valeur de $d = 15 \text{ [cm]}$.

CHAPITRE III : ETUDES STRUCTURALE DES OUVRAGES

L'étude structurale consiste aux calculs BA des différentes parties de l'ouvrage de franchissement. Dans cette partie les vérifications et les calculs se feront à l'aide de logiciel, pour les dalots nous utiliserons CYPE, pour les ponts et les buses se sera la combinaison des deux logiciels REVIT et ROBOBAT STRUCTURAL ANALYSIS.

III-1. Dimensionnement des dalots

III-1-1. Logiciel utilisé et principe de fonctionnement

Pour le dimensionnement du dalot, nous avons utilisé le **logiciel CYPE** version 2015.n (Module ouvrage d'art, Ponts-Cadres PICF). Ponts-Cadres PICF est un logiciel conçu pour le dimensionnement et la justification des ponts cadres en béton armé utilisés pour les passages inférieurs de routes ou pour les ouvrages de drainage. Les ponts-cadres peuvent être rectangulaires, trapézoïdaux ou de tracé polygonal libre en plan, ou encore unis ou multicellulaires.

Le logiciel permet de réaliser le dimensionnement du pont-cadre soit pour une préfabrication en définissant les joints soit pour une exécution sur site.

Le logiciel utilise la méthode de calcul par les éléments finis triangulaires de type lamelle épaisse tridimensionnelle qui prend en compte la résistance à l'effort tranchant. Les éléments comportent 6 nœuds situés sur chaque sommet et au centre de chaque côté et ayant chacun 6 degrés de liberté. Pour notre étude, nous avons configuré le logiciel sur les règles françaises de dimensionnement c'est-à-dire le BAEL91 modifié 99 et le fascicule 61.

Au niveau du tablier, afin de voir le convoi qui engendre les sollicitations maximales, nous avons utilisé des convois civils (Bc, Bt).

III-1-2. Hypothèses et Données de base

NORME ET MATÉRIAUX :

- Norme : BAEL-91 (R-99) (France)

- Béton : B25
- Acier des barres : Fe E400
- Enrobage : 3 [cm]
- Surcharge du trottoir : 150 [kg/m²] ou 1,47 [kN/m²]
- Les surcharges prises en compte dans nos calculs sont A(l), Bc, Br et Bt,
- Fissuration Préjudiciable

TERRAINS :

- Module de réaction : 50000.0 [kN/m³]
- Contrainte admissible sol d'assise : 200.00 [kN/m²]
- Poids volumique : 19.0 [kN/m³]
- Angle de frottement interne : 33 [degrés]
- Angle de transmission des charges : [45 degrés]

III-1-3. Etape de fonctionnement du logiciel

❖ **Etape 1 : Création d'un nouvel ouvrage**

On crée l'ouvrage avec l'aide de l'assistant, en sélectionnant le type d'assistant utile :

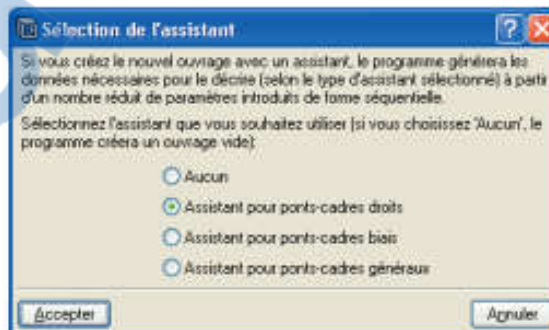
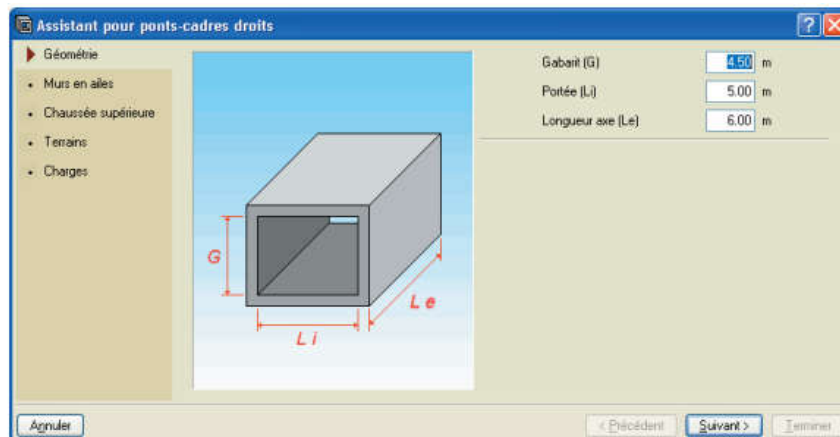


Figure 7 : Sélection de l'assistant sur CYPE

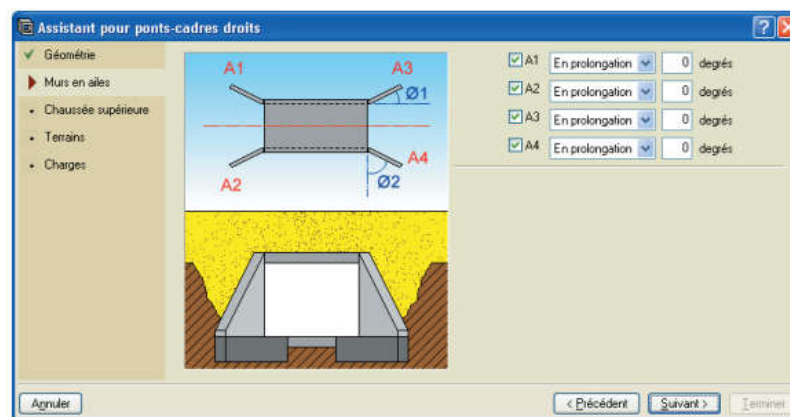
Le programme générera les données nécessaires pour le décrire à partir d'un nombre réduit de paramètres introduits de façon séquentielle. Le paramètre nécessaire s'introduit comme suit :

- ✓ Entrer le gabarit ou la hauteur intérieure libre des modules, la portée et la longueur totale des modules :

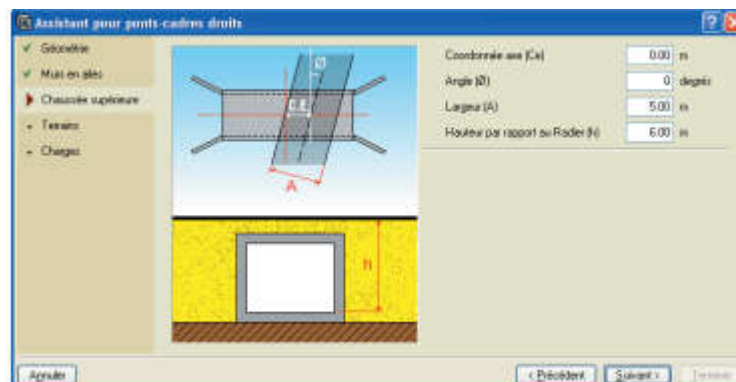
Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN



- ✓ On peut activer ou non la présence de murs en aile et leur angle. Le programme génère la charge sur le remblai présent sur l'extrados des murs en aile en fonction du sinus de l'angle en prolongation choisie qui est de 30°.

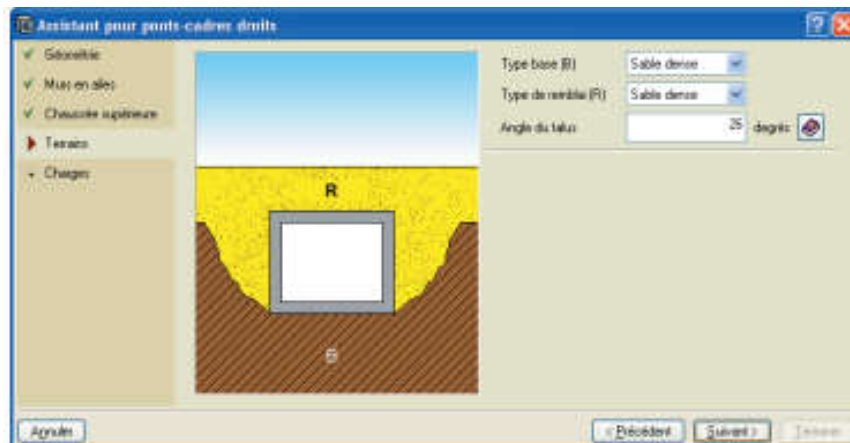


- ✓ On définit la chaussée supérieure et on dispose les charges en bande (uniformément réparties) en indiquant la position et la direction.

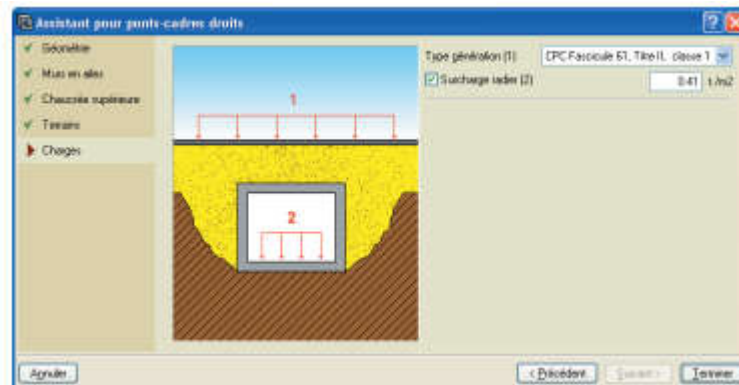


- ✓ On définit les terrains de base et de remblai

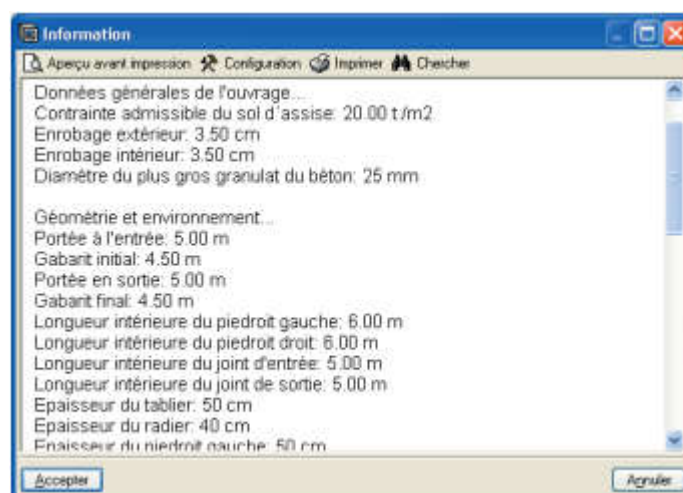
Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN



- ✓ Le programme demande maintenant le type de convois de charges et la surcharge sur le plan intérieur de roulement.



- ✓ Un résumé des paramètres de génération du pont cadre s'affiche



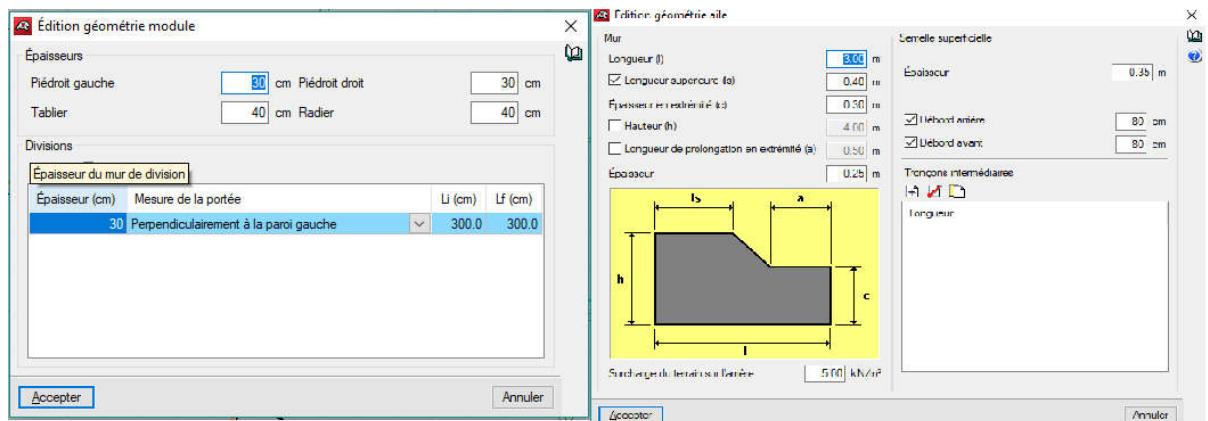
Le logiciel générera la géométrie, les charges du terrain, les convois de charges, les surcharges uniformes en bande et les surcharges uniformes sur les dalles. Les épaisseurs des

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

dalles qui sont en fonction de la portée entre les piédroits. Les épaisseurs des piédroits qui sont fonction du gabarit du passage inférieur.

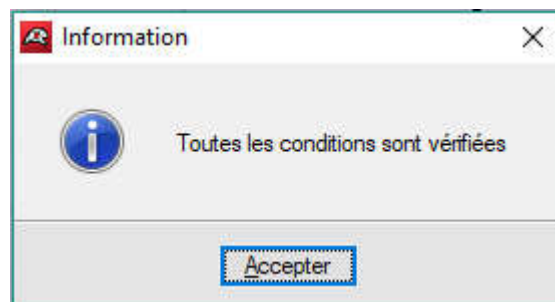
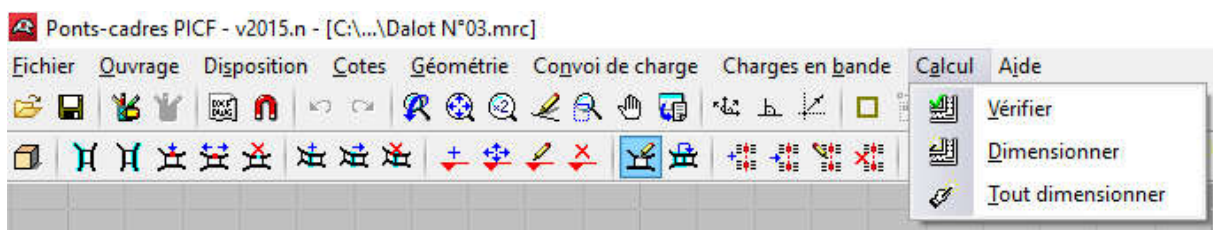
❖ Etape 2 : Modification de la géométrie selon les résultats de l'étude hydraulique des dalots

Une fois la génération terminée, on peut modifier toutes les données de géométrie du module que l'on désire pour notre dalot.

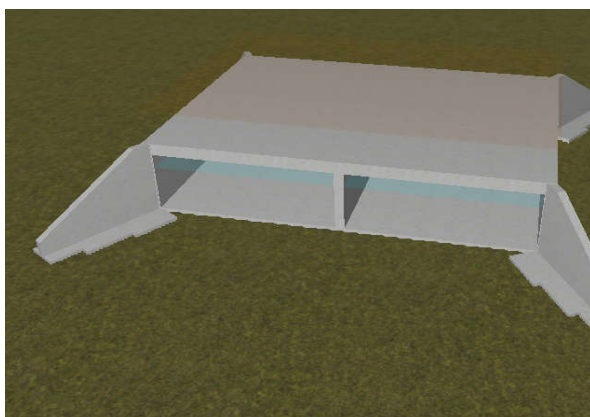


❖ Etape 3 : Vérification de la structure.

Après avoir modifier les données de géométrie du module le logiciel veille à ce que l'on procède à une vérification intégrale de la structure.



III-1-4. Récapitulatif des quantités des matériaux dans la réalisation des dalots :



Dalot a 2 ouvertures



Dalot a 3 ouvertures

Les récapitulatifs des matériaux sont donnés par le logiciel CYPE.

III-1-4-1. Dalot N°01 :

Ce dalot à 2 ouvertures de 6 [m] × 2 [m] pour l'évacuation du débit de projet du BV1.

Tableau 20 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du dalot N°01

Élément	Fe E400 (kg)							Béton (m³)
	HA8	HA10	HA12	HA14	HA16	HA20	Total	B25
Référence: Mur en aile d'entrée gauche	10.16	170.56	41.33				222.05	3.90
Référence: Mur en aile d'entrée droite	10.16	170.56	41.33				222.05	3.90
Référence: Module		1342.95	2273.96	1258.24	2099.73	2603.34	9578.22	118.26
Référence: Mur en aile de sortie gauche	10.16	170.56	41.33				222.05	3.90
Référence: Mur en aile de sortie droite	10.16	170.56	41.33				222.05	3.90
Total	40.64	2025.19	2439.28	1258.24	2099.73	2603.34	10466.42	133.87

III-1-4-2. Dalot N°02

Ce dalot à 3 ouvertures de 5 [m] × 2 [m] pour l'évacuation du débit de projet du BV2.

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Tableau 21 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du dalot N°02

Élément	Fe E400 (kg)					Béton (m³)
	HA10	HA12	HA14	HA16	Total	B25
Référence: Mur en aile d'entrée gauche	199.41	41.17			240.58	4.18
Référence: Mur en aile d'entrée droite	199.41	41.17			240.58	4.18
Référence: Module	2393.75	3857.68	1304.00	3522.71	11078.14	138.24
Référence: Mur en aile de sortie gauche	199.41	41.17			240.58	4.18
Référence: Mur en aile de sortie droite	199.41	41.17			240.58	4.18
Total	3191.39	4022.36	1304.00	3522.71	12040.46	154.97

III-1-4-3. Dalot N°03

Ce dalot à 2 ouvertures de 3 [m] × 2 [m] pour le franchissement du Canal d'Andriantany qui coupe le projet routier. Il a été dimensionné hydrauliquement à un débit de 10 [m³/s] car c'est la capacité maximale du Canal d'Andriantany.

Tableau 22 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du dalot N°03

Élément	Fe E400 (kg)				Béton (m³)
	HA8	HA10	HA12	Total	B25
Référence: Mur en aile d'entrée gauche	31.88	113.03	30.10	175.01	3.06
Référence: Mur en aile d'entrée droite	31.88	113.03	30.10	175.01	3.06
Référence: Module		1910.94	1874.07	3785.01	65.88
Référence: Mur en aile de sortie gauche	31.88	113.03	30.10	175.01	3.06
Référence: Mur en aile de sortie droite	31.88	113.03	30.10	175.01	3.06
Total	127.52	2363.06	1994.47	4485.05	78.12

III-2. Dimensionnement des buses

III-2-1. Hypothèses et données de base

NORME ET MATÉRIAUX :

- Norme : BAEL-91 (R-99) (France)
- Béton : B25
- Acier des barres : Fe E400
- Diamètre des barres : 6 à 8 [mm]
- Enrobage : 2.5 [cm]
- Dimension des buses : rayon : 0.6 [m] et épaisseur : 15 [cm]

TERRAINS :

- Module de réaction : 50000.0 kN/m³
- Contrainte admissible sol d'assise : 200.00 kN/m²
- Poids volumique : 19.0 kN/m³

EMPLACEMENT DES CHARGES

- Charges permanentes : poids propre de l'ouvrage qui est donnée automatique par le logiciel,
- Charge due au revêtement de la chaussée
- Charge d'exploitation : Elle est déterminée par la formule,

$$q = \gamma_{terre} Z + \sigma_z$$

Avec,

γ_{terre} : poids volumique de la terre,

Z : hauteur entre la chaussée et la buse en [m],

σ_z : contrainte réelle appliquée sur la buse qui s'obtient par la formule de BOUSSINESQ

$$\sigma_z = \frac{Q}{Z^2} N$$

Dans cette formule :

- Q désigne la charge des essieux déjà affectée au coefficient de majoration dynamique δ ;

- N désigne le coefficient d'influence déterminé par $N = 1 - \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{R}{Z}\right)^2} \right]^{\frac{3}{2}}$.

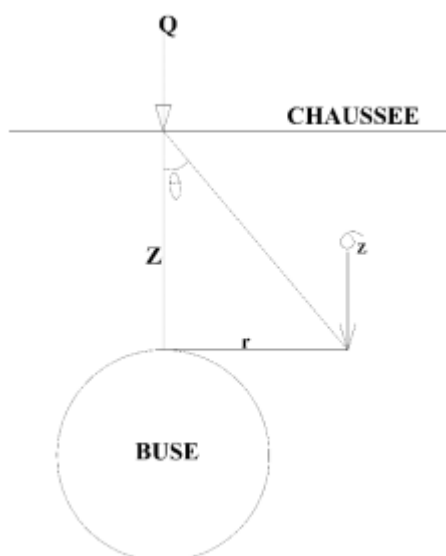


Figure 8: *Charge réelle appliqué sur la buse*

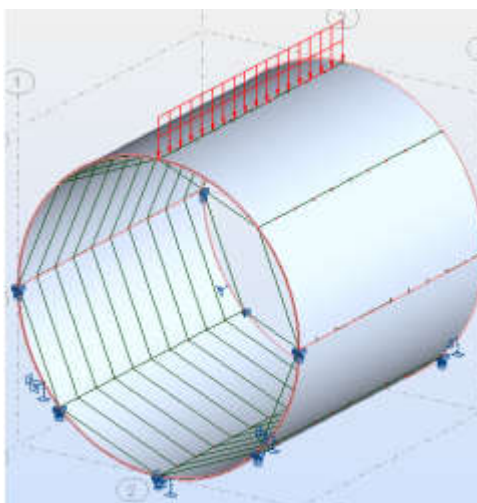


Figure 9: *Application sur Robot d'une buse*

III-2-2. Récapitulatif des quantités des matériaux dans la réalisation des buses

Tableau 23 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation d'une buse

Désignations	Unité	Quantité
Coffrage	m ²	63,01
Béton	m ³	7,20
Armature	kg	36,01

III-3. Dimensionnement des ponts

III-3-1. Hypothèses et Données de base

NORME ET MATÉRIAUX :

- Norme : BAEL-91 (R-99) (France)
- Béton : B25
- Acier des barres : Fe E400
- Les surcharges prises en compte dans nos calculs sont A(l), Bc, Br et Bt

 Le système de charges A(l)

Le système de charges A(l) représente une charge uniformément répartie sur une longueur l (m) mesurée entre le point 0 et la ligne d'influence de l'effet calculé.

La charge supportée par la chaussée est uniforme, et a une intensité A(L) exprimée par la formule :

$$A(l) = 230 + \frac{36000}{l + 12} \text{ kg/m}^2$$

 Le système de surcharges B

Le système de surcharges de type B, ou système de charges ponctuelles, est composé de trois (3) sous systèmes différents :

- Sous système Bc ;

- Sous système Br ;
- Sous système Bt.

Chacun de ces cas de charges sont pondérés par un coefficient de majoration dynamique δ :

$$\delta = 1 + \alpha + \beta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{G}{Q}}$$

Avec,

L= Longueur de l'élément ou portée de la travée (m) ;

G= Charges permanentes sur élément (t);

Q= Surcharges maximum B relatives à l'élément (t).

a) Sous système Bc

Il est composé de camions de 30T. Transversalement, on peut disposer autant de files de 2 camions que de voies de circulation et longitudinalement, on ne doit dépasser 2 camions par file. En plus du coefficient de majoration dynamique, ces charges sont affectées des coefficients de pondération $b_c=1,10$.

b) Sous système Br

La surcharge prise en compte dans ce cas de figure est une roue isolée de 10t qui peut prendre n'importe quelle position sur la largeur roulable.

Sa zone d'impact est formée par un rectangle, chargé d'une façon uniforme, et ayant 0,60m de côté transversal et 0,30m de côté longitudinal.

c) Sous système Bt

Un tandem de sous-système Bt est composé de 2 essieux de 16t chacun. Ces 2 essieux, à roues simples munies de pneumatiques, possèdent les caractéristiques suivantes :

- la surface d'impact de chaque roue est de : $(0,60 \times 0,25) \text{ m}^2$
- on peut disposer transversalement sur la chaussée au maximum deux tandems Bt et longitudinalement le nombre de tandem est limité à 1
- Un coefficient b_t , déterminé en fonction de la classe de pont (voir tableau ci-dessus), est affecté aux valeurs de charges du sous-système Bt.

- Surcharge du trottoir : $150 \text{ [kg/m}^2\text{]}$ ou $1,47 \text{ [KN/m}^2\text{]}$

- Fissuration Préjudiciable

TERRAINS :

- Module de réaction : 90000.0 [kN/m³]
- Poids volumique : 19.0 [kN/m³]
- Angle de frottement interne : 33 degrés

III-3-1-1. Nombre de travées des ponts

Tableau 24: Caractéristique général des ponts

Pont	Longueur du pont [m]	Nombre de travées	Longueur de la travée [m]
1	125	5	25
2	57	2	27

III-3-1-2. Caractéristique de la chaussée

Tableau 25 : Caractéristique de la chaussée

Largeur roulable [m]	Largeur des trottoirs [m]	Largeur du pont [m]
6	3	9

III-3-1-3. Détermination de la travée

Les valeurs approximatives de la longueur de la travée de calcul « l » ainsi que de la longueur totale « l₁ » des poutres peuvent être déterminées à l'aide des formules suivantes :

$$\begin{aligned}l &= 1,05 l_0 + 0,6 \\l_1 &= 1,07 l_0 + 0,65\end{aligned}$$

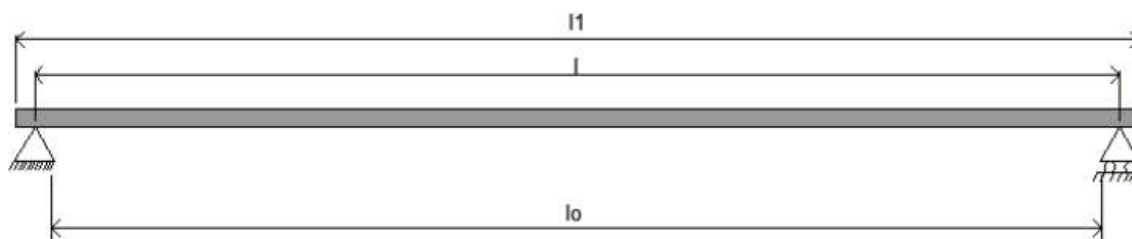


Tableau 26 : longueur de calcul des travées

Pont	Longueur totale des poutres [m]	Portée libre [m]	Longueur de la travée de calcul [m]
1	25	22,76	24,49
2	27	24,63	26,46

III-3-1-4. Pré-dimensionnement des structures des ponts

Ce prédimensionnement se base sur des normes déjà établies et publiées par le SETRA pour la détermination des dimensions économiques des ouvrages d'art dits courants. Il suivra cette logique : Poutres-Hourdis- Entretoises-Chevêtres-Piles-Culées-Fondation.

1) Poutre

La forme des poutres est en T. Elles comportent une table de compression constituant la fibre supérieure et un talon constituant la fibre inférieure, tous deux reliés par une âme de faible épaisseur.

Hauteur H_p

La hauteur de la poutre dépend de l'élancement usuel, elle est déterminée à l'aide de la formule :

$$\frac{1}{17} \leq \frac{H_p}{L} \leq \frac{1}{15},$$

Où,

H_p désigne la hauteur de la poutre sans hourdis ;

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

L la portée.

Tableau 27 : Hauteur des poutres

Pont	Portée [m]	L/17 [m]	L/15 [m]	Hp [m]
1	24,49	1,44	1,63	1,50
2	26,46	1,56	1,76	1,50

La dimension de la poutre doit respecter les règles suivantes, pour l'emplacement des armatures :

$$\left\{ \begin{array}{l} h_0 \leq e_d \text{ et } h_0 \geq 10 \text{ [cm]} \\ 0,2 h_p \leq b_0 \leq 0,4 h_p \text{ avec } b_0 \geq 15 \text{ [cm]} \\ b_1 \leq \frac{d}{2}, \text{ avec } d: \text{ distance entre deux poutres} \\ b_1 \leq \frac{l}{10}, \text{ avec } l: \text{ largeur de la dalle} \\ b_1 \leq 6 \text{ à } 8 h_0 \\ \text{donc } b \approx 0,6 \text{ à } 0,8 h \end{array} \right.$$

Après vérification de chaque condition, nous aurons comme caractéristique des poutres :

Tableau 28 : Dimensionnement géométrique des poutres en T

Hauteur hp	h_0	Largeur de la poutre	b_0	b_1
1,500	0,300	1	0,300	0,35

f) Nombre de poutres N

Le tableau ci-dessous donne le nombre minimal de poutres en fonction de la largeur du tablier.

Tableau 29 : Tableau du choix du nombre de poutre

L_{Tablier} (m)	<6	6-9	9-11	11-14
Nombre de poutres	2	3	4	5

Dans notre cas, le tablier est de 9 m, donc nous opterons pour **3 poutres**.

2) Epaisseur de la dalle

La dalle constitue l'élément du tablier qui reçoit directement les véhicules. Donc c'est elle qui accueille l'étanchéité ainsi que le revêtement de chaussée. Elle sera en Béton Armé, coulée par-dessus les tables de compression des poutres sur toute la largeur du tablier.

Son épaisseur dépend de sa portée transversale et donc de l'espacement des poutres. En effet :

- ✓ Epaisseur = 0,16 m si espacement $\leq 2,75$ m ;
- ✓ Epaisseur = 0,18 m si $2,75 \text{ m} \leq \text{espacement} \leq 3,50$ m ;
- ✓ Epaisseur = 0,20 m si espacement $\geq 3,50$ m,

Prenons donc : **$e_d = 0,30$ [m]**

3) Entretoises

L'entretoise a pour rôle principal la répartition des efforts dans les poutres, Sa hauteur h_e varie comme suit : **$0,6 h_p < h_e < 0,9 h_p$** .

Tableau 30 : Caractéristique des entretoises

Distance entre entretoise	Nb entretoise	H entretoise [m]	ep entretoise [m]
5	5	1,000	0,30

4) Pile

Nous optons pour des piles de type « pile-marteau » constitués d'un seul fût de section cylindrique surmonté d'un chevêtre en porte-à-faux.

 Chevêtre

Le chevêtre est la partie supérieure d'une pile. Il supporte le tablier par l'intermédiaire d'un ou plusieurs appareils d'appui. Il doit être dimensionné de manière à assurer la diffusion des efforts dans les piles et permettre la mise en place et le positionnement des appareils d'appui et les vérins.

Le chevêtre de la pile-marteau est de section sensiblement rectangulaire. Sa hauteur varie de 1,5 à 2 [m], de l'encastrement avec le fût de pile vers son extrémité.

La hauteur H et la largeur b doivent vérifier les conditions suivantes :

$$L/30 \leq l \leq L/4 \text{ et } H/l \leq 10$$

Tableau 31 : Dimensionnement géométrique des chevêtres

Hauteur [m]	Largeur [m]	Longueur [m]
1,5 à 2	2	9,00

 Fût

Tableau 32 : Dimensionnement géométrique des fûts

Pont	Hauteur [m]	Diamètre [m]
1	8	2
2	10	2

5) Culée

Pour les deux ponts, les caractéristiques géométriques sont presque identiques, ce qui leur différencie est la hauteur de leur mur de front.

Tableau 33 : Caractéristique géométrique des culées

Mur garde grève			
Hauteur [m]		Épaisseur [m]	Largeur [m]
2,0		0,3	9,0
Mur de front			
Hauteur[m]		Épaisseur [m]	Largeur [m]
Pont 1	Pont 2	2	9,0
5,5	6		
Mur en retour			
Hauteur [m]		Épaisseur [m]	Longueur [m]
3,0		0,3	4,0
Dalle de transition			
Largeur [m]		Épaisseur[m]	Longueur [m]
3,7		0,3	8,4
Semelle sous culée			
Largeur [m]		Épaisseur [m]	Longueur [m]
8,0		1,75	9,0

III-3-1-5. Variantes des ponts

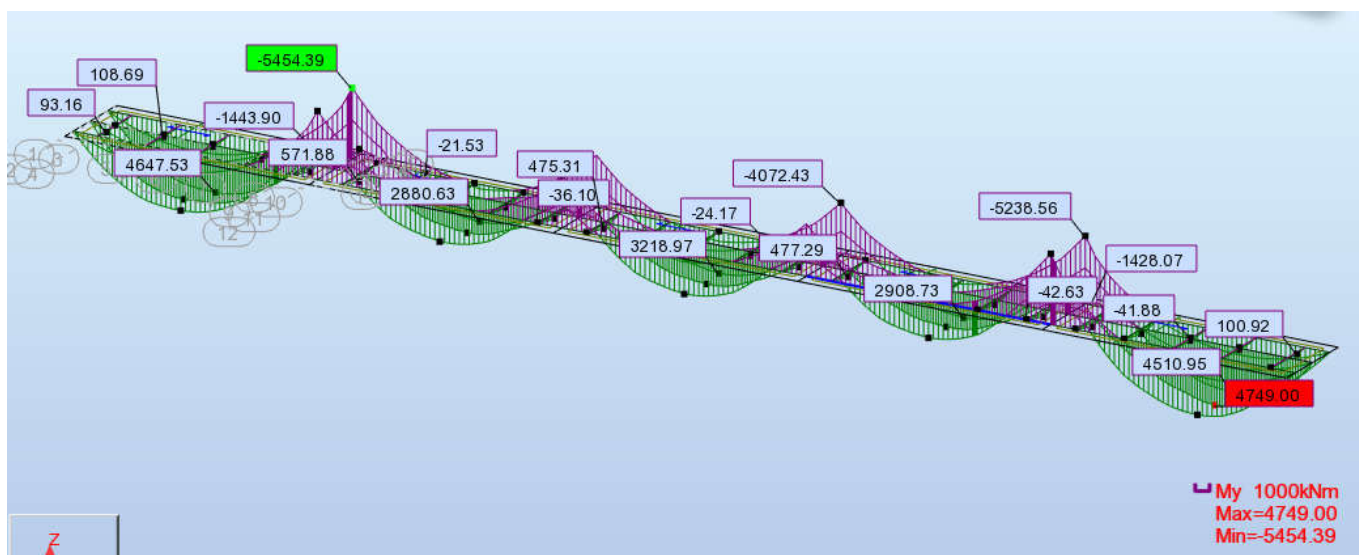
Pour les ponts nous opterons pour deux variantes, les premières étaient de travée respective de 25 et 27 [m]. Dans le deuxième cas on considère qu'il n'y a pas de recouvrement sur les aciers du béton armé. Cela veut dire que la longueur d'une travée ne dépasse pas la longueur limite d'une barre d'acier de 11,6m.

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

III-3-1-5-1 PONT 1 DE LONGUEUR DE 125 [m]

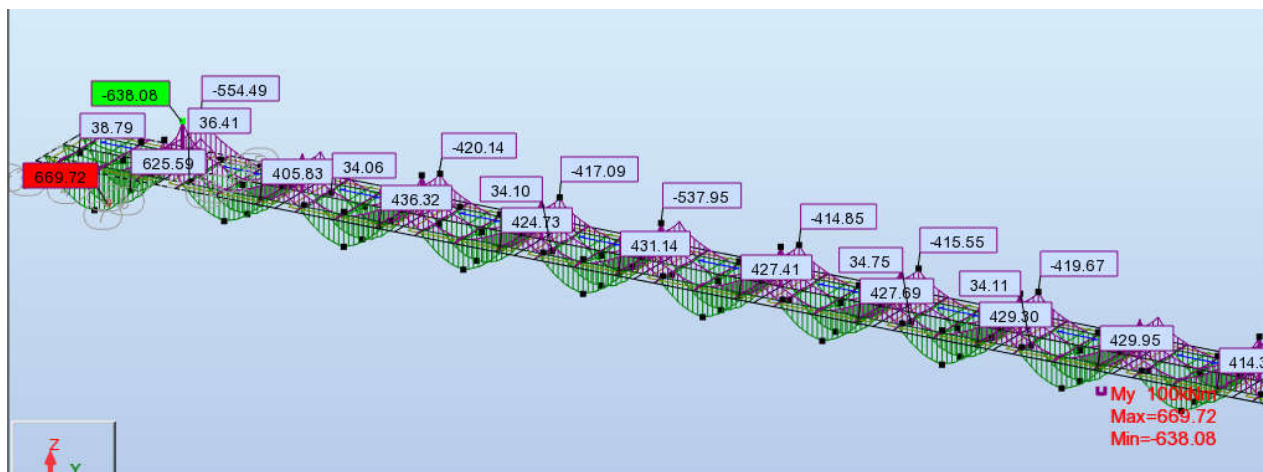
A- VARIANTE 1 : Pont à 5 travées de 25 [m]

1) Diagramme des moments en ELS :



B- VARIANTE 2 : Pont à 11 travées de 11,36 [m]

1) Diagramme des moments en ELS :



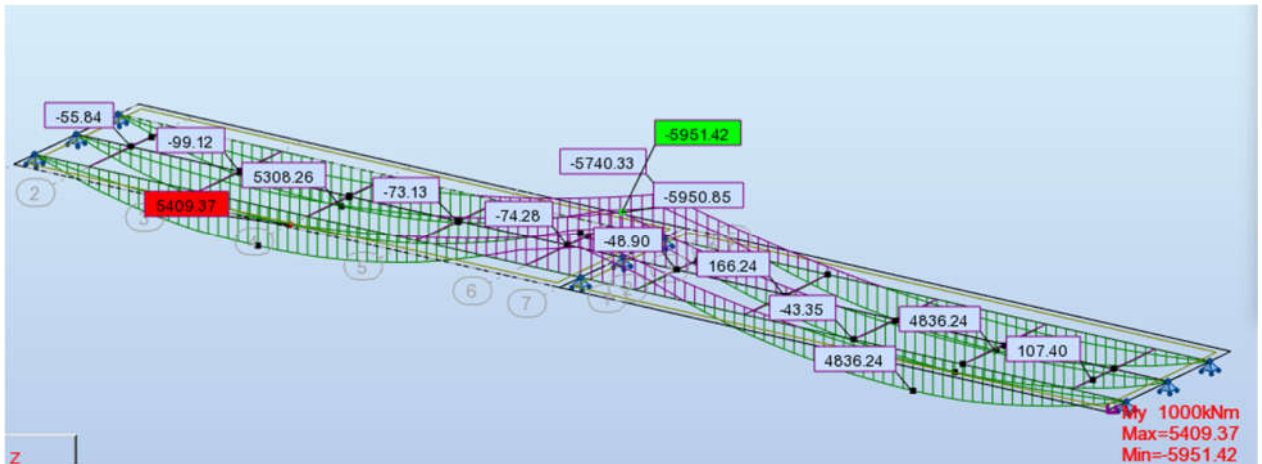
2) Ferrailage de la poutre T_é

III-3-1-5-2 PONT 2 DE LONGUEUR DE 54 [m]

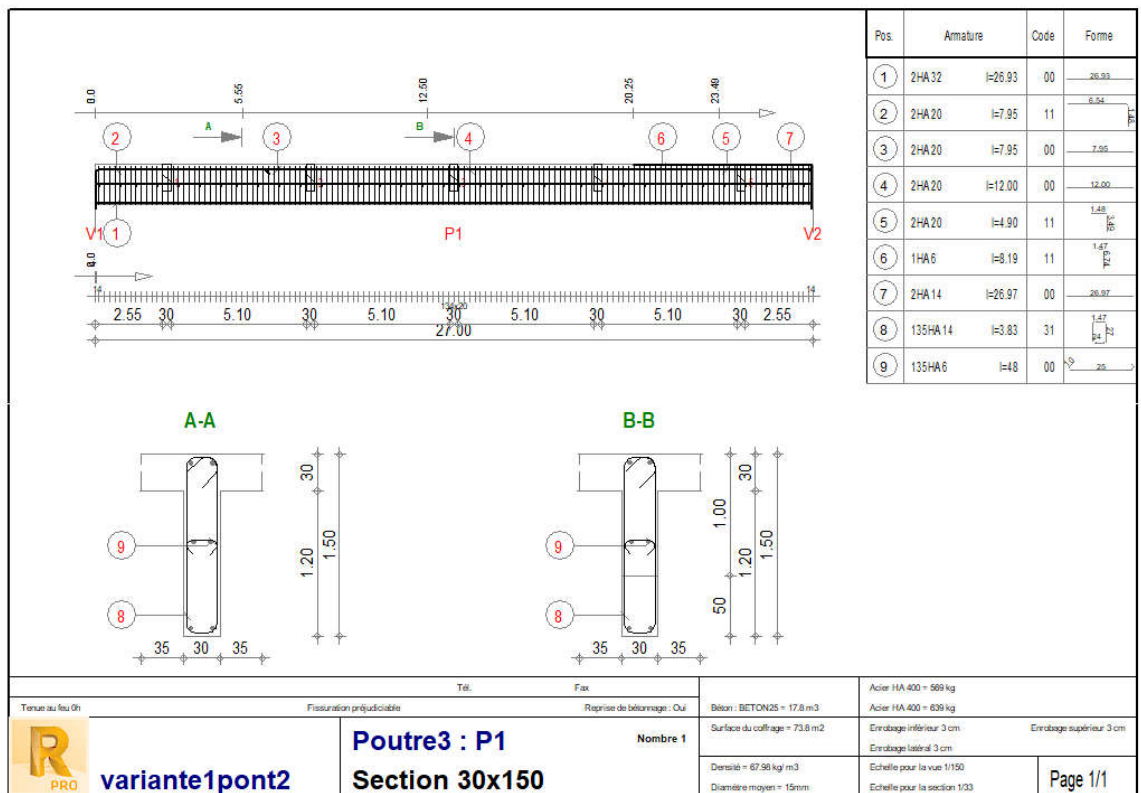
A- VARIANTE 1 : Pont à 2 travées de 27 [m]

1) Diagramme des moments en ELS :

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN



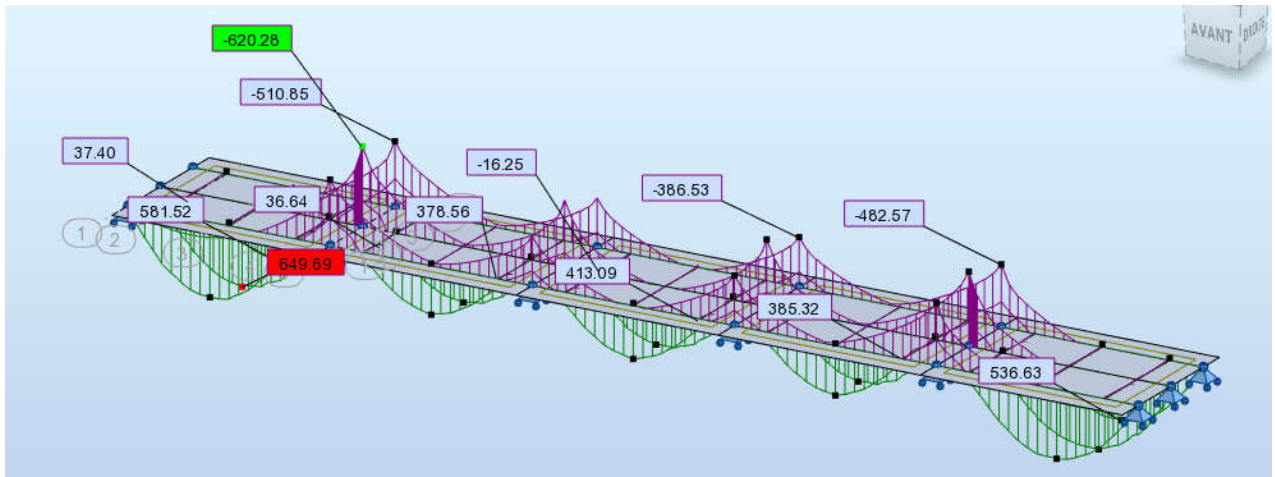
2) Ferraillage de la poutre Té :



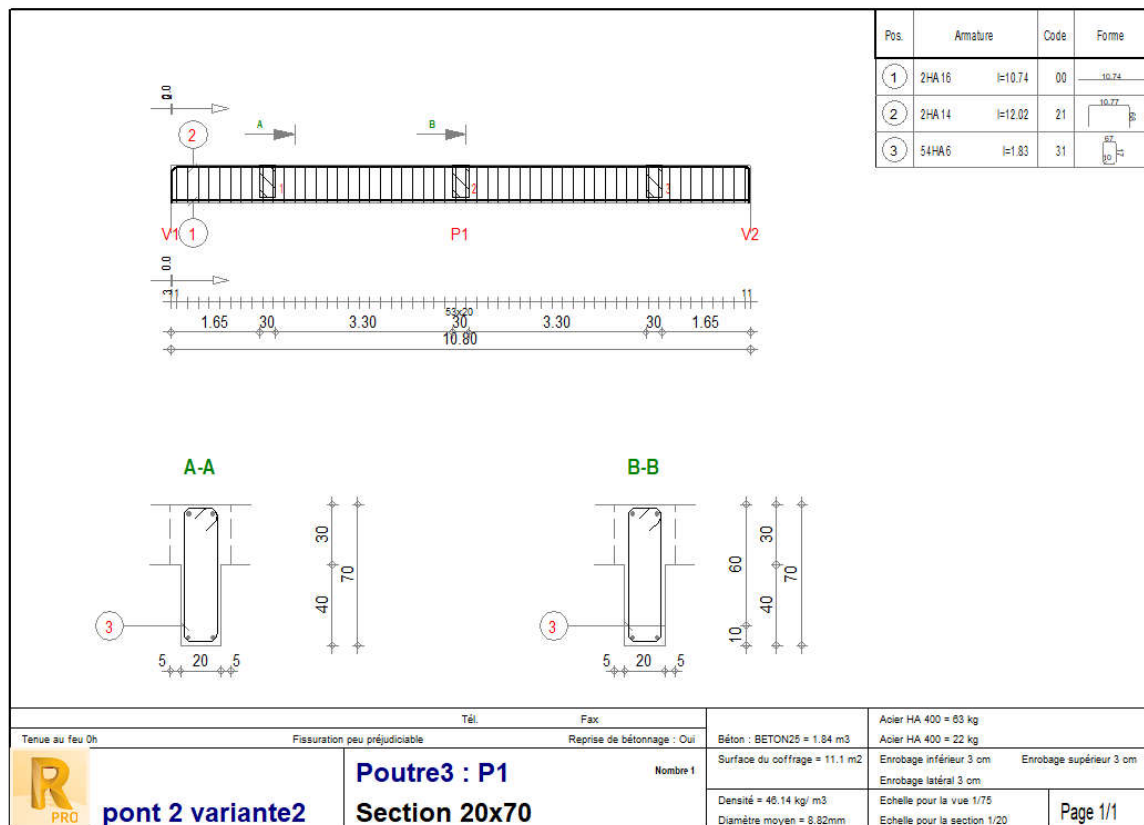
B- VARIANTE 2 : Pont à 5 travées de 10,8 [m]

1) Diagramme des moments en ELS :

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN



Ferrailage de la poutre Té :



III-3-2. Logiciels utilisés et principes de fonctionnement

Nous utiliserons l'association des logiciels **REVIT** et **ROBOBAT STRUCTURAL ANALYSIS**, chacun d'eux a sa propre fonction :

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

- REVIT est un logiciel d'architecture qui permet de créer un modèle en 3D d'un ouvrage pour créer divers documents nécessaires à sa construction ;
- ROBOBAT STRUCTURAL ANALYSIS permet de créer les structures, les calculer, vérifier les résultats obtenus, dimensionner les éléments spécifiques de la structure. Il est basé sur la méthode des éléments finis et de l'élasticité.

Vu qu'ils ont leurs propres fonctionnements, nous utiliseront l'extension « Structural Analysis toolkit », qui permet d'envoyer les modèles réalisés avec Revit Structure vers Robobat Structural pour générer les ferraillages et de revenir sur Revit Structure pour avoir les quantités de matériaux en format « Excel ».

III-3-3. Récapitulatif des quantités des matériaux dans la réalisation des ponts

A- Variante 1 :

Tableau 34 : *Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du pont 1 variante 1*

Eléments de la structure	Désignation	Unité	Quantité
Superstructure	<i>Béton</i>	m^3	699,75
	Armatures	kg	69 975,00
Piles	<i>Béton</i>	m^3	194,27
	Armatures	kg	15 541,24
Culées	<i>Béton</i>	m^3	240,05
	Armatures	kg	18 063,36
Fondations	<i>Béton</i>	m^3	756,00
	Armatures	kg	60 480,00
Total	<i>Béton</i>	m^3	1 890,06
	Armatures	kg	164 059,60

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Tableau 35: *Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du pont 2 variante 1*

Eléments de la structure	Désignation	Unité	Quantité
Superstructure	<i>Béton</i>	m^3	300,42
	Armatures	kg	30 042,00
Piles	<i>Béton</i>	m^3	48,57
	Armatures	kg	3 885,31
Culées	<i>Béton</i>	m^3	258,05
	Armatures	kg	18 063,36
Fondations	<i>Béton</i>	m^3	756,00
	Armatures	kg	60 480,00
Total	<i>Béton</i>	m^3	1 363,03
	Armatures	kg	112 470,67

A- Variante 2

Tableau 36 : *Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du pont 1 variante 2*

Eléments de la structure	Désignation	Unité	Quantité
Superstructure	<i>Béton</i>	m^3	572,06
	Armatures	kg	26 886,90
Piles	<i>Béton</i>	m^3	386,33
	Armatures	kg	15 453,10
Culées	<i>Béton</i>	m^3	240,05
	Armatures	kg	10 321,92
Fondations	<i>Béton</i>	m^3	1 134,00
	Armatures	kg	56 700,00
Total	<i>Béton</i>	m^3	2 332,44
	Armatures	kg	109 361,91

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Tableau 37 : Tableau récapitulatif des quantités des matériaux pour la réalisation du pont 2 variante 2

Eléments de la structure	Désignation	Unité	Quantité
Superstructure	<i>Béton</i>	m^3	248,94
	Armatures	kg	11 486,09
Piles	<i>Béton</i>	m^3	244,53
	Armatures	kg	9 781,24
Culées	<i>Béton</i>	m^3	258,05
	Armatures	kg	10 321,92
Fondations	<i>Béton</i>	m^3	1 134,00
	Armatures	kg	56 700,00
Total	<i>Béton</i>	m^3	1 885,52
	Armatures	kg	88 289,25

CHAPITRE IV : ETUDE DU COMPORTEMENT DE L'EAU EN AMONT DE LA ROUTE EN CAS DE CRUE DE 100 ANS

Dans la construction d'une route, les remblais d'accès forment un barrage dans la vallée, ils peuvent provoquer des débordements importants en amont. Le volume ainsi retenu entraîne ainsi un laminage du crue entrant, modifiant ainsi la cote du PHE qui réduit la capacité des ouvrages de franchissement (qui sont considéré comme exutoire). Le problème pose ici est celui de l'évacuation de la crue Centennale à travers les ouvrages dimensionnés par la crue cinquantennale, avec débordement des eaux en amonts des ouvrages.

IV-1. Laminage de crue

IV-1-1. Définition

Le laminage est l'abaissement du débit de pointe de l'hydrogramme et le décale dans le temps en fonction de la forme de l'étendue de la surface de retenue en amont des exutoires.

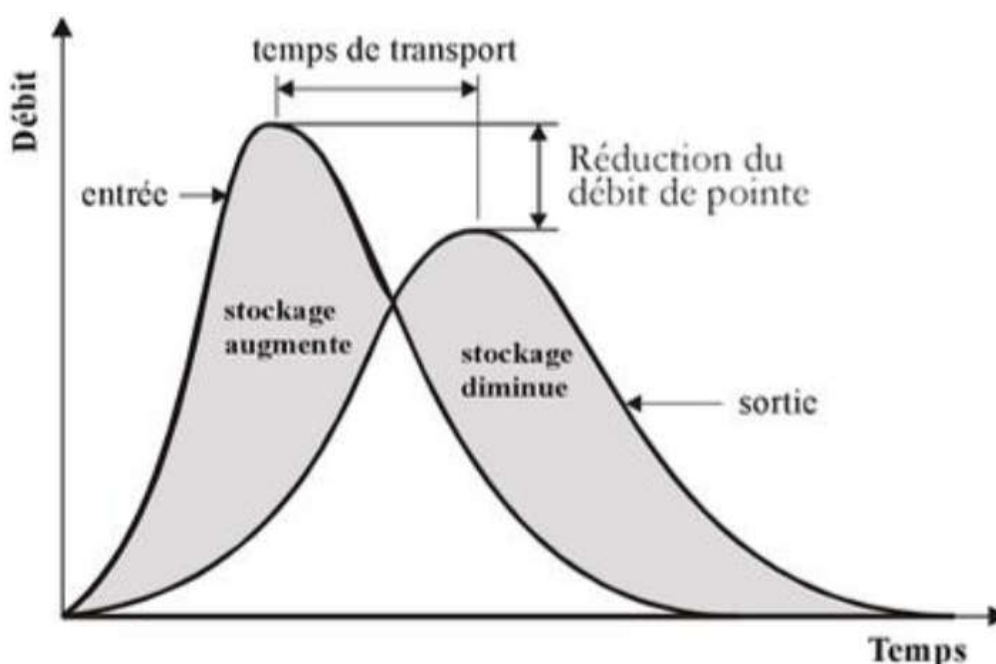


Figure 10: Phénomène de laminage de crue



IV-1-2. Principe des méthodes de calcul du laminage de crue

Les méthodes de laminage de crue sont basées sur la résolution numérique ou graphique de l'équation de continuité et de la relation hauteur-débit et/ou hauteur-volume de stockage en amont de l'exutoire.

L'équation de continuité s'écrit,

$$\boxed{S(Z) dZ = dV(Z) = Q_e(t) dt - Q_s(Z) dt} \quad (1)$$

Ici Z varie en fonction de t

Avec,

S : la superficie du plan d'eau en fonction de la cote Z obtenue par planimétrage de la zone délimitée par la courbe de niveau Z et la route ;

dZ : l'accroissement du niveau d'eau en amont de l'exutoire pendant le temps dt ;

V : le Volume d'eau à laminier ;

Q_e : le débit de crue ou d'entrée

Q_s : le débit du pont ou de sortie.

Pour des Δt suffisamment petits pour que ΔZ le soit aussi et que les variations de $S(Z)$, $Q_e(t)$ et $Q_s(Z)$ puissent être considérées comme linéaires dans les intervalles Δt .

L'équation de continuité s'écrit par différences finies :

$$S(Z) \frac{dZ}{dt} = \frac{dV(Z)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(Z)$$

Ou

$$\boxed{S_{i,m} \Delta Z = \frac{Q_{e,i} - Q_{e,i+1}}{2} \Delta t - \frac{Q_{s,i} - Q_{s,i+1}}{2} \Delta t} \quad (2)$$

Avec,

$$S_{i,m} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2}$$

L'équation (2) devient alors,

$$\boxed{\frac{\Delta Z}{Q_{e,i} + Q_{e,i+1} - (Q_{s,i} + Q_{s,i+1})} = \frac{\Delta t}{2 S_{im}}} \quad (3)$$

Cette équation contient deux inconnues, S_{i+1} et $Q_{s,i+1}$, pour la résoudre il faut une deuxième équation. Cette dernière est donnée par la relation $Q_s(Z)$ entre le débit de sortie à travers l'ouvrage (pont, déversoir, section de contrôle, ...) et le niveau d'eau Z .

Pour résoudre cette équation, considérons les courbes $Q_e(t)$ et $Q_s(Z)$ représentées sur le graphique à double axe des ordonnées de la Figure suivante :

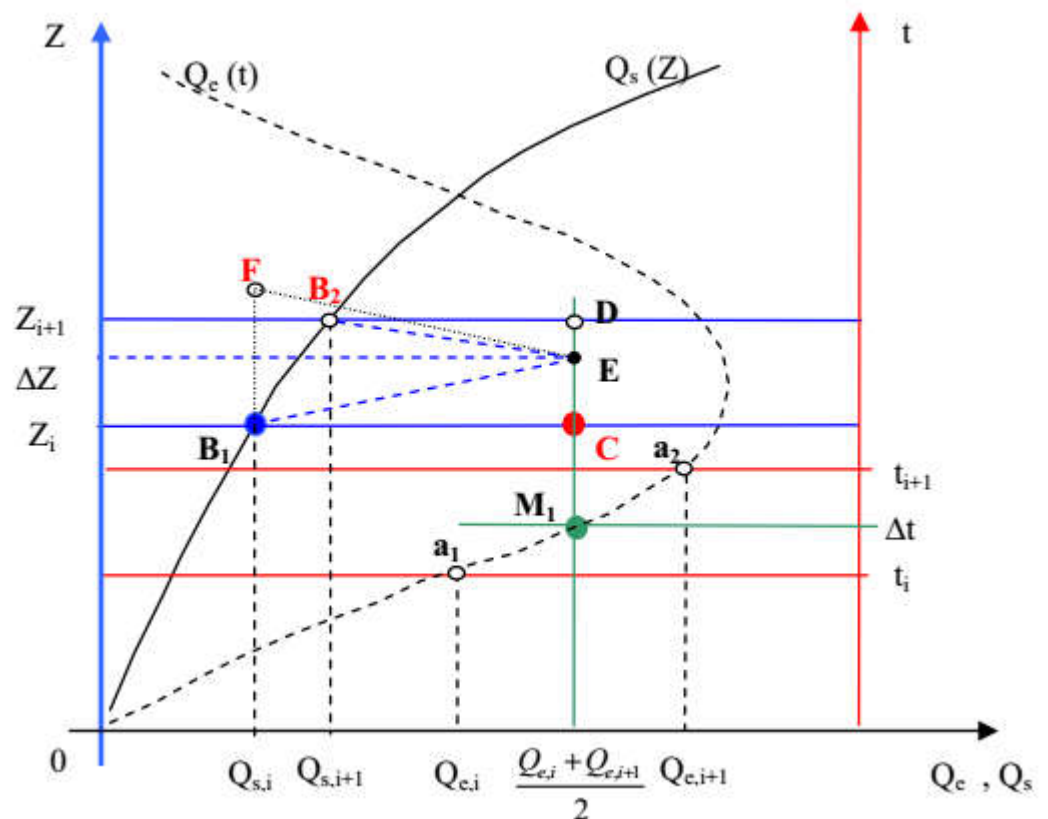


Figure 11: Méthode de résolution graphique selon l'épure de Blackmore

IV-1-3. Application de la méthode de résolution

IV-1-3-1. Caractéristique du Bassin versant sur notre zone inondable

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Tableau 38 : Tableau récapitulatif du bassin versant sur la zone inondable

	SURFACE (S)	PERIMETRE (P)	Lriv	Zmax	Zmin m	Kg	Lreq km	l reg km	PENTE (I)	Ip	Ig
	[km²]	[km]	[km]	[m]	[m]		[km]	[km]	[m/km]	[m/m]	[m/m]
BV	831.50	253.37	110.58	1673	1244	2.58	120.75	5.94	3.33	0.05	0,002

On usera de la même méthode que pour la détermination de la crue centennale ; la crue centennale du bassin versant et son temps de concentration à l'aide de la formule de Passini sont récapitulés comme suit :

Tableau 39 : Résultat des débits centennal et cinquantennal et du temps de concentration

Q100	Q50	Tc
[m³/s]	[m³/s]	[h]
474,86	412,30	21,46

IV-1-3-2. Etablir la courbe Hauteur-Volume de la retenue

Le volume de retenue varie en fonction de sa cote ou en fonction de sa hauteur. Les valeurs de volume de retenue en fonction de la hauteur correspondante seront obtenue à l'aide d'un logiciel SIG à partir du MNT. On obtient la courbe « Hauteur – Volume » ci-après,

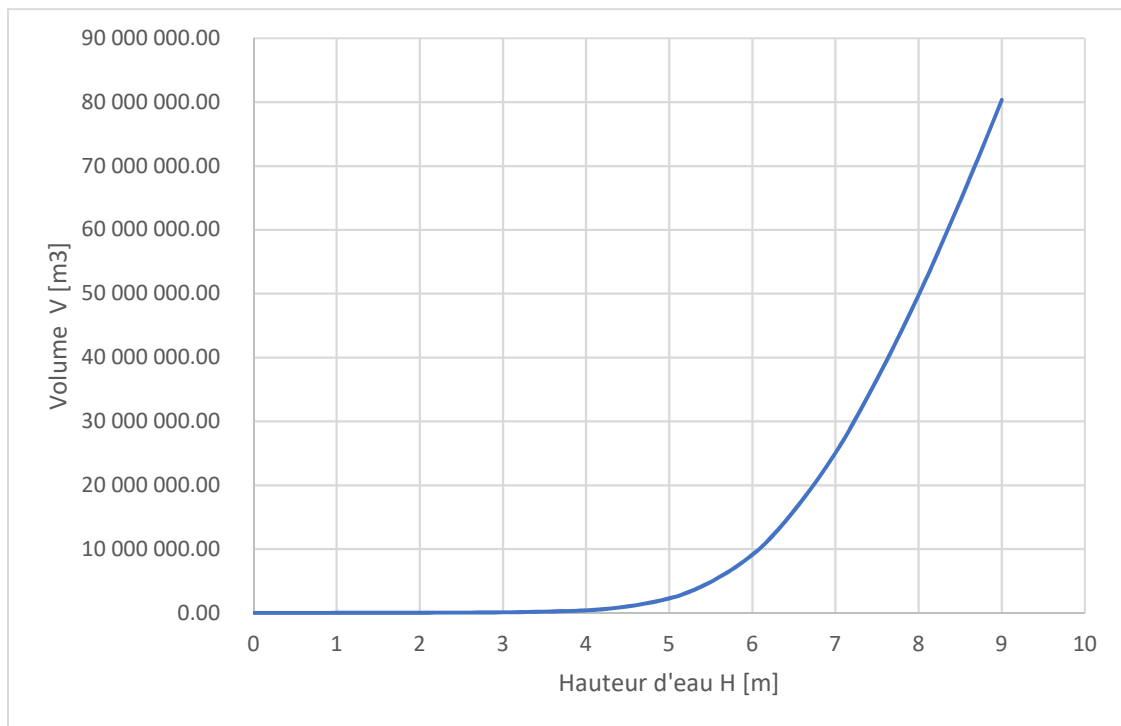


Figure 12: Courbe Hauteur/Volume de la retenue en amont (en fonction de la topographie)

IV-1-3-3. Etudes de volume de crue cinquantennale en amont de la route

Nous devons recourir au calcul du volume de crue cinquantennale car on doit évacuer ce volume à l'aide des ouvrages de franchissement que l'on dimensionnera pour éviter la submersion de la route.

Nous avons pris le débit de crue cinquantennale ci-dessus.

En effet, le volume de crue cinquantennale dans un bassin versant peut-être obtenu par le débit décennal multiplié par le demi du temps de base (T_b) et diminué de la perte par évapotranspiration. Or, le temps de base est égal environ au temps de concentration (T_c) multiplié par 2.

L'évapotranspiration est négligeable pendant le ruissellement.

L'infiltration est aussi négligeable, car le calcul est considéré pendant le temps de base, c'est-à-dire pendant le ruissellement avec lequel le terrain est quasi saturé.

Nous pouvons donc modéliser la formule suivante :

$$V_{50} \cong Q_{50} \frac{T_b}{2} = Q_{50} T_c - ETP - I$$

Tableau 40 : Tableau du volume d'eau de retenue à évacuer

Q50	Tc	Volume total	Débit maxima transité par la rivière	Volume d'eau retenue
[m³/s]	[h]	[m³]	[m³]	[m³]
412,30	21,46	31851444,99	152,50	20070284,21

Ce volume correspond à une cote de 1250, 8 [m], pour cela nous allons prendre comme cote minimale de la route de **1251 [m]**.

IV-1-3-4. Détermination du débit d'entrée $Q_e(t)$

Généralement pour Madagascar l'hydrogramme de crue a l'allure suivante,

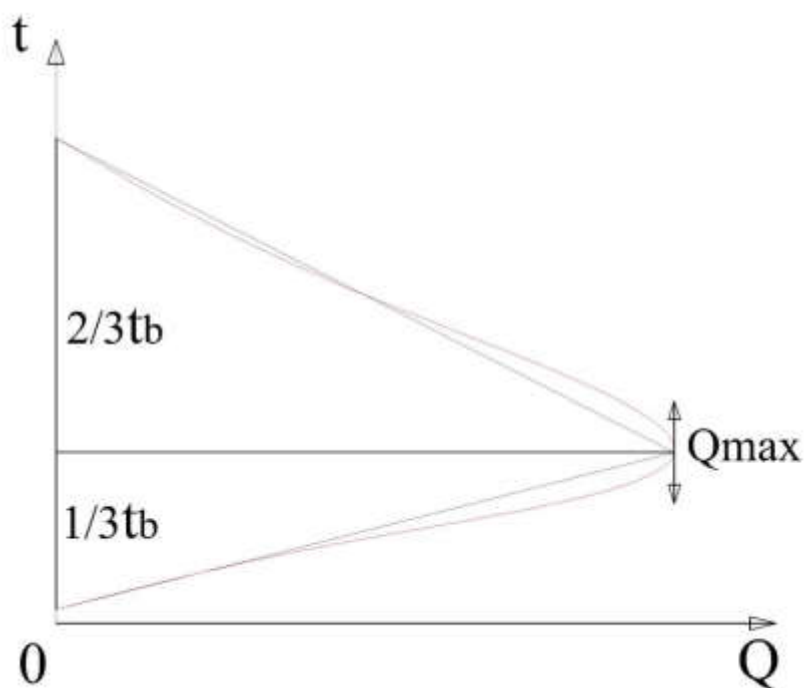


Figure 13: Hydrogramme de crue

A l'aide de cette figure notre hydrogramme de crues à pour caractéristiques :

	Qp [m³/s]	tc [h]	tb [h]	tm [h]	td [h]
Formule			tb = 2 tc	tm = (1/3) tb	td = (2/3) tb
Valeur	474,86	21,46	42,92	14,31	28,61

Avec,

Q_p : débit de pointe,

t_c : temps de concentration,

t_b : temps de base,

t_m : temps de monté,

t_d : temps de descente.

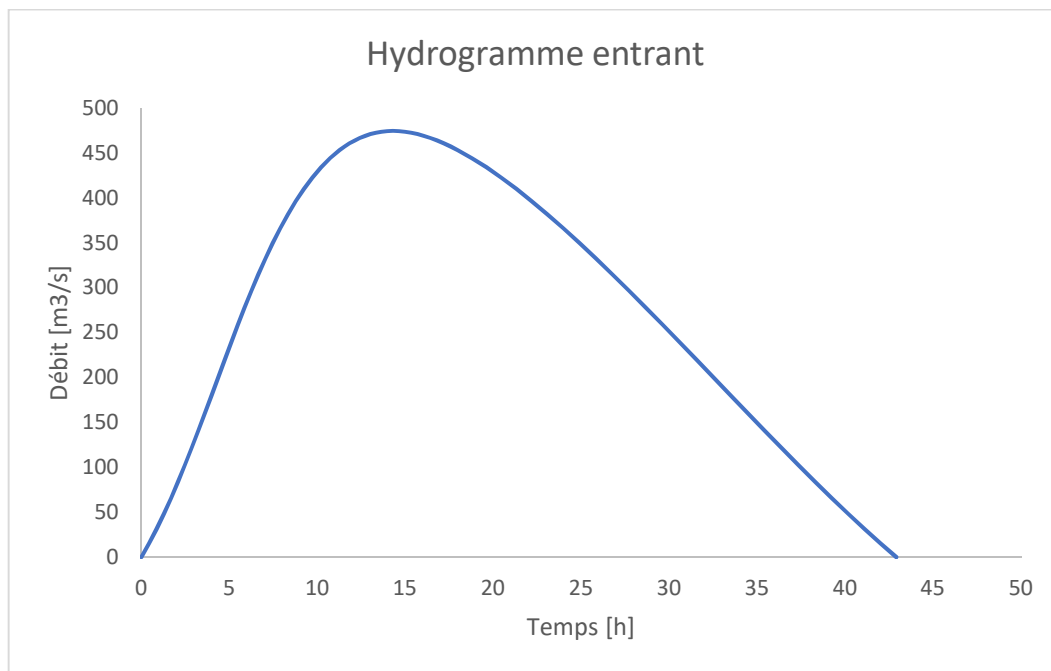


Figure 14: Hydrogramme de crue

IV-1-3-5. Détermination du débit de sortie $Q_s(h)$ en fonction de la hauteur h

Sur la partie de notre route qui passe sur la plaine inondable, les débits sortant du bassin versant sont caractérisés par les débits sortant de la rivière Sisaony et des buses. Nous avons constaté qu'une buse doit se placer sur le niveau le plus bas du profil. Une origine fictive est prise sur un axe des ordonnées (H). Cette côte sera l'origine du repère, elle est égale à 1244 [m].

Nous allons considérer comme hypothèse de base que la section de la rivière est de forme trapézoïdale, qui a pour caractéristiques :

m1	m2	b [m]
1.5	1.5	11.16

Avec,

m1 et m2 : pente de talus,

b : largeur du plafond

[1] Pour la section de la rivière :

Les débits de sortie est déterminé à l'aide de la formule de Manning Strickler:

$$Q = K S R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

Avec,

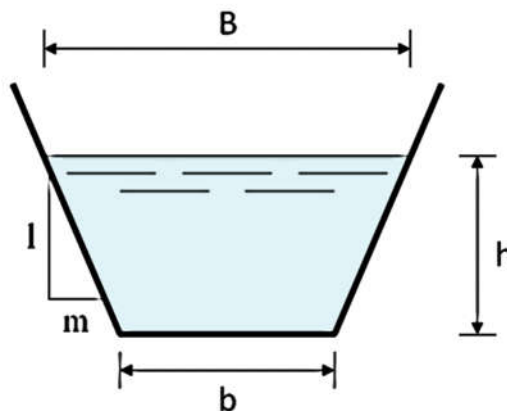
K : coefficient de rugosité ;

S : section mouillée du cours d'eau en [m²] en fonction de H ;

R : rayon hydraulique en [m] en fonction de H ;

I : pente longitudinale du cours d'eau en en [m/m] ;

La section mouillée S et le rayon hydraulique R sont donnés par les formules suivantes:



$$S = b h + m h^2$$

$$P = b + 2h \sqrt{m^2 + 1}$$

$$R = \frac{S}{P}$$

Avec , m : fruit des berges

[2] Pour les buses :

Pour les buses, les débits de sortie sont calculés à l'aide de la formule :

$$Q = C S \sqrt{2 g h_1}$$

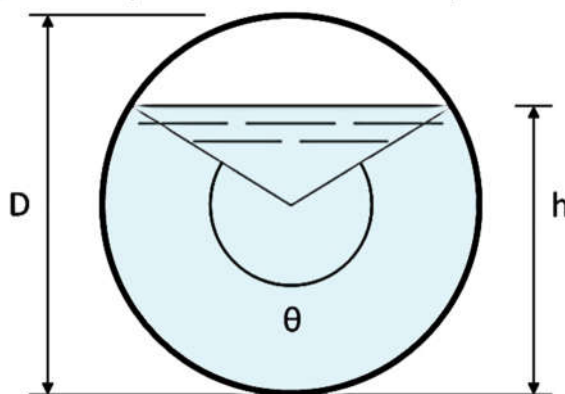
Car dans notre cas $h_1/D > 1,5$ et $h_3/D < 1,0$. Du fait que les pentes en aval sont plus vastes que celle qui se trouvent en amont (c'est-à-dire que la sortie est dénoyée).

Avec,

- h_1 : la hauteur d'eau à l'amont de la buse;
- C : coefficient de débit dont la valeur dépend des caractéristiques géométriques de l'entrée de la buse ; $C = 0,5$ pour une forme circulaire.
- h_3 : la hauteur d'eau à l'aval de la buse;
- D : le diamètre de la buse ;
- S : surface mouillée [m^2].

La section mouillée S et le rayon hydraulique R sont donnés par les formules suivantes

$$S = \frac{1}{8} (\theta - \sin \theta) D^2$$
$$P = \frac{1}{2} \theta D$$



Avec,

D : diamètre de la buse,

θ : Angle en radian en fonction de la hauteur d'eau H, $\theta = 2 \sin^{-1} \left(2 \frac{\sqrt{H(D-H)}}{D} \right)$.

Le résultat du débit de sortie Q_s en fonction de la hauteur d'eau H est donnée par la courbe suivante :

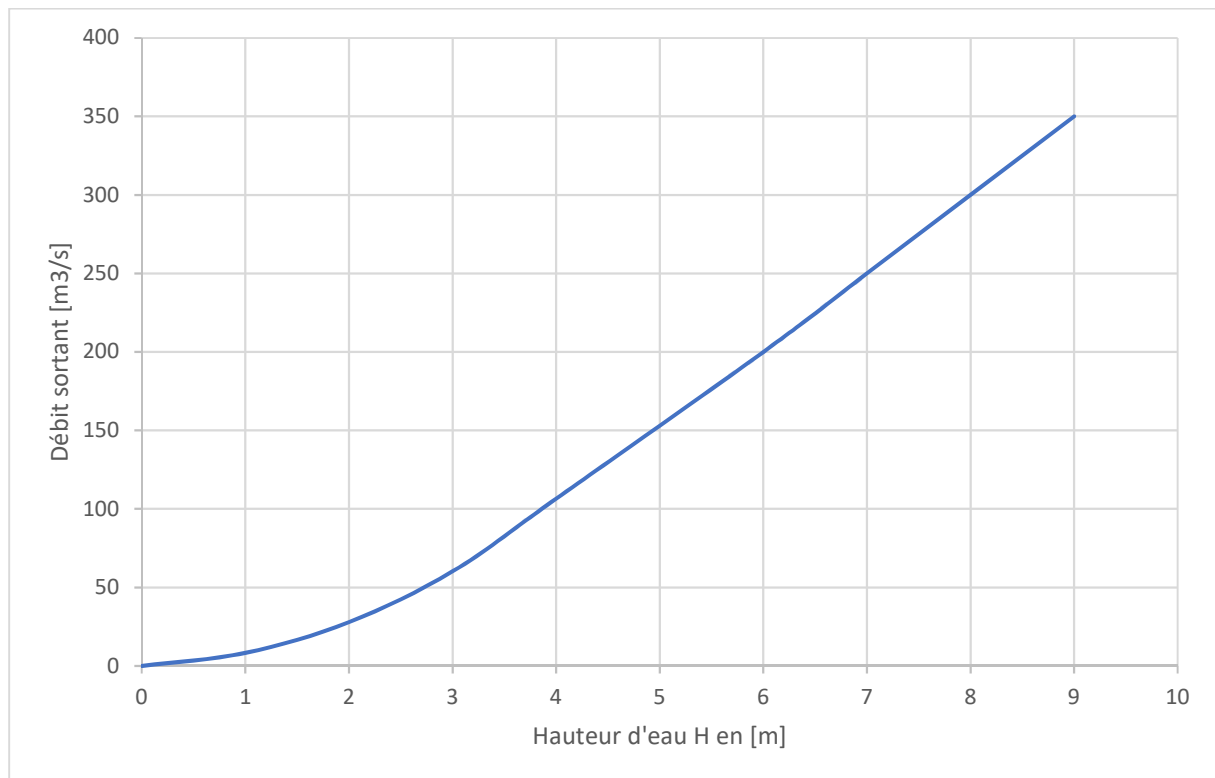


Figure 15 : Résultat du débit de sortie en fonction de la hauteur

IV-1-3-6. Résolution graphique du laminage de crue par l'épure de Blackmore

Dans la résolution graphique de l'Épure de Blackmore nous avons besoin de tracer deux courbes distinctes :

- L'hydrogramme de crue $Q=f(t)$,
- La courbe de débit de sortie $Q=f(h)$.

La finalité du tracé est d'obtenir la courbe de débit laminé exprimée par :

$$Q_s(t) = Q_s[h(t)].$$

La figure suivante nous montre le résultat de l'Épure de Blackmore :

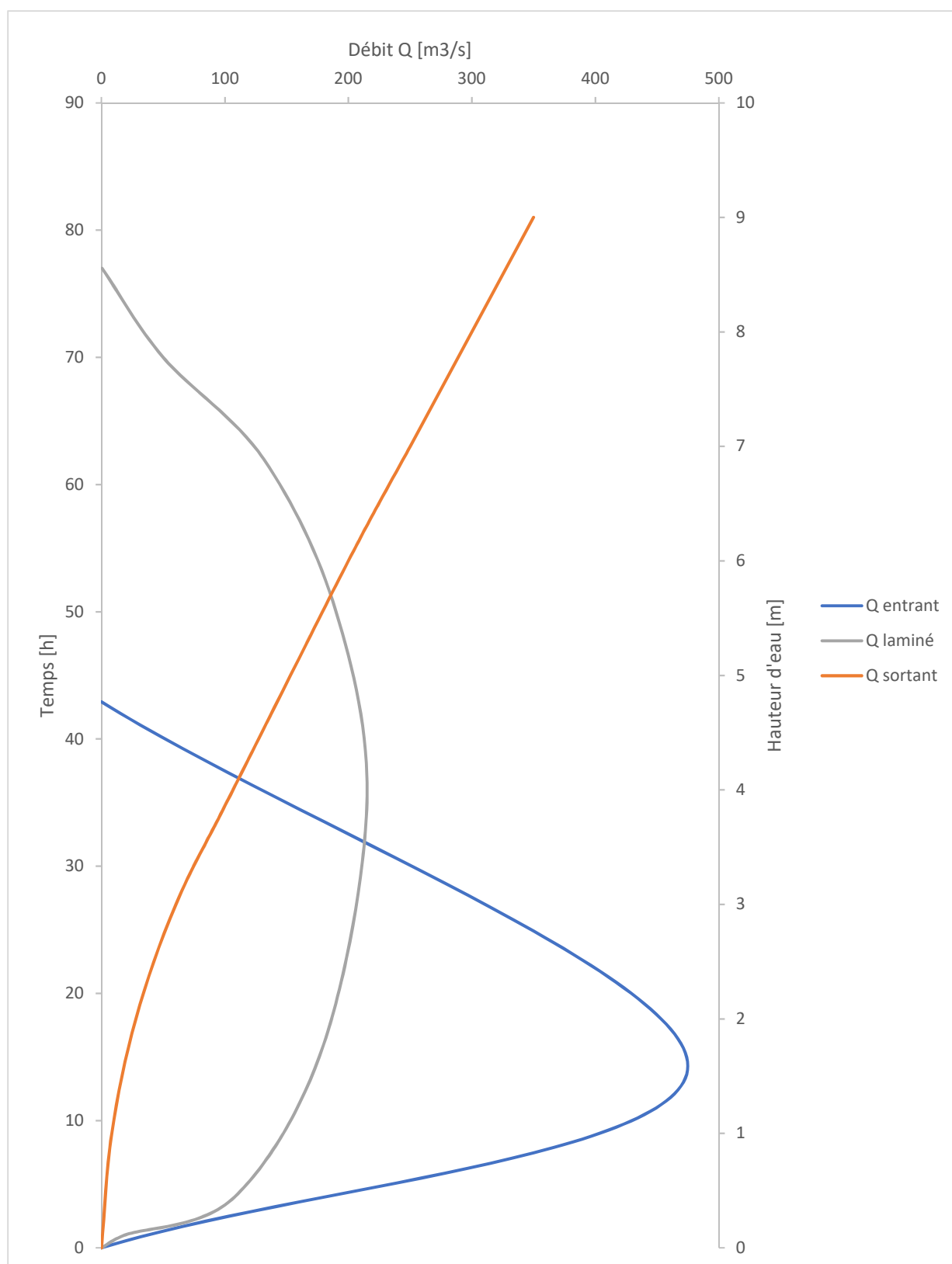


Figure 16: Résultat de l'Épure de Blackmore

Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Selon le graphisme le débit maximal laminé est égal à : $Q_{\text{laminé}} = 214,74 \text{ [m}^3/\text{s]}$, ce débit correspond à une hauteur d'eau H de 6,63 [m] avec une cote de 1250.63[m].

Pour la crue centennale, en tenant compte de la condition géométrique du milieu, les 05 buses et la rivière permettent d'évacuer $214,74 \text{ [m}^3/\text{s]}$.

Conclusion partielle

L'étude du Laminage de crue a permis de conclure que pour une crue centennale de l'ensemble du bassin versant, l'eau ne submergera pas la route Antsahabona–Ivato. Pour une côte minimale de la route de 1251 [m], on observe une revanche de 0.37 [m].

CHAPITRE V : EVALUATION ECONOMIQUE DU PROJET

V-1. Principe de sous-détail de prix

Nous avons évalué les prix de chaque composante définis par la nature des tâches comprises dans chaque lot de travaux. Les prix sont composés de l'allocation des matériels, des salaires et charges de la main d'œuvre affectée, des coûts des matériaux amenés au pied d'œuvre et les diverses charges : taxes, frais financiers, frais généraux. Cette évaluation est basée sur le choix du rendement de chaque tâche à réaliser. En effet, le prix unitaire est obtenu par la formule suivante :

$$PU = K \frac{D}{R}$$

Où,

K : coefficient de déboursé ;

R : rendement ;

D : déboursé sec.

V-2. Détermination du coefficient de déboursés K

Le coefficient de déboursé ou coefficient de vente est un coefficient permettant de passer directement du Déboursé Sec (DS) au Prix de vente Hors Taxe (PVHT). Il est déterminé par la formule suivante :

$$K = \frac{(1 + A_1) (1 + A_2)}{(1 - A_3) (1 + TVA)}$$

Avec,

A_1 : Frais proportionnels aux déboursés, $A_1 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$ en % ;

A_2 : bénéfice brut et frais financiers proportionnels au prix de revient de l'entreprise en %, $A_2 = a_5 + a_6 + a_7 + a_8$;

A_3 : Frais proportionnels aux TVA en %, $A_3 = a_9 = 0$, car à Madagascar les frais de siège pour les Entreprises sont nuls.

TVA = 20%.

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Tableau 41 : Valeur des coefficients A_i et a_i qui caractérise l'indice de déboursé

Catégorie de frais	Décomposition à l'intérieur de chaque catégorie de frais	Indice de composition	
Frais généraux proportionnels aux déboursés	Frais d'agence et patente	a1	1,5
	Frais de chantier	a2	3
	Frais d'étude et de laboratoire	a3	2,5
	Assurances	a4	1,4
		A1	8,4
Bénéfice brut et frais financiers	Bénéfice net et impôt sur le bénéfice	a5	14
	Aléas technique	a6	1,4
	Aléas de révision de prix	a7	1,5

Catégorie de frais	Décomposition à l'intérieur de chaque catégorie de frais	Indice de composition	
proportionnels aux prix de revient	Frais financiers	a8	12
		A2	29,9
Frais proportionnel au prix règlement avec TVA	Frais de siège	a9	0
		A3	0

V-3. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Les bordereaux de devis quantitatif et estimatif sont indiqués dans les tableaux ci-après :

Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant
DALOT N°01				
Coffrage	278,00	m ²	38 750,00	10 772 500,00
Béton Q350	133,87	m ³	477 650,00	63 943 005,50
Armature	10 466,42	kg	10 000,00	104 664 200,00
			Total	179 379 705,50

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant
DALOT N°02				
Coffrage	350,00	m ²	38 750,00	13 562 500,00
Béton Q350	154,97	m ³	477 650,00	74 021 420,50
Armature	12 040,46	kg	10 000,00	120 404 600,00
			Total	207 988 520,50

Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant
DALOT N°03				
Coffrage	168,00	m ²	38 750,00	6 510 000,00
Béton Q350	78,12	m ³	477 650,00	37 314 018,00
Armature	4 485,05	kg	10 000,00	44 850 500,00
			Total	88 674 518,00

Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant
LES 13 BUSES				
Coffrage	882,14	m ²	38 750,00	34 182 925,00
Béton Q350	100,80	m ³	477 650,00	48 147 120,00
Armature	504,14	kg	10 000,00	5 041 400,00
			Total	87 371 445,00

Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant
PONT 1 variante 1				
Béton Q350	913,19	m ³	477 650,00	436 185 203,50
Béton Q400	976,88	m ³	525 950,00	513 790 036,00
Armature	164 059,60	kg	10 000,00	1 640 596 000,00
			Total	2 590 571 239,50

*Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN*

Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant
PONT 2 variante 1				
Béton Q350	474,98	m ³	477 650,00	226 874 197,00
Béton Q400	888,05	m ³	525 950,00	467 069 897,50
Armature	112 470,67	kg	10 000,00	1 124 706 700,00
			Total	1 818 650 794,50

Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant
PONT 1 variante 2				
Béton Q350	845,89	m ³	477 650,00	404 039 358,50
Béton Q400	1 486,55	m ³	525 950,00	781 850 972,50
Armature	109 361,91	kg	10 000,00	1 093 619 100,00
			Total	2 279 509 431,00

Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant
PONT 2 variante 2				
Béton Q350	682,65	m ³	477 650,00	326 067 772,50
Béton Q400	1 202,87	m ³	525 950,00	632 649 476,50
Armature	88 289,25	kg	10 000,00	882 892 500,00
			Total	1 841 609 749,00

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Le tableau ci-dessous donne la récapitulation des coûts des ouvrages :

Tableau 42: Tableau récapitulation des coûts des ouvrages pour la variante 1

N°	Désignation	Montant
1	DALOT N°01	179 379 705,50
2	DALOT N°02	207 988 520,50
3	DALOT N°03	88 674 518,00
4	LES 13 BUSES	87 371 445,00
5	PONT 1	2 590 571 239,50
6	PONT 2	1 818 650 794,50
	MONTANT HTVA	4 972 636 223,00
	TVA 20%	994 527 244,60
	MONTANT TOTAL TTC	5 967 163 467,60

Le coût total des ouvrages est estimé à la somme de **CINQ MILLIARD NEUF CENT SOIXANTE-SEPT CENT SOIXANTE-TROIS QUATRE CENT SOIXANTE-SEPT ARIARY SOIXANTE (5 967 163 467,60 Ar)**.

N°	Désignation	Montant
1	DALOT N°01	179 379 705,50
2	DALOT N°02	207 988 520,50
3	DALOT N°03	88 674 518,00
4	LES 13 BUSES	87 371 445,00
5	PONT 1	2 279 509 431,00
6	PONT 2	1 841 609 749,00
	MONTANT HTVA	4 684 533 369,00
	TVA 20%	936 906 673,80
	MONTANT TOTAL TTC	5 621 440 042,80

Le coût de la réalisation du Pont Variante 2 est arrêté à **CINQ MILLIARD SIX CENT VINGT UN MILLE QUATRE CENT QUARANTE MILLE QUARANTE-DEUX ARIARY QUATRE-VINGT (5 621 440 042,80 Ar)**.

Conclusion partielle :

Du point de vue cout de l'ouvrage la variante 2 est plus rentable par rapport à la variante 1. Même si le béton est assez volumineux pour la variante 2. Les deux variantes sont proposées, mais le seul décideur est le maître d'ouvrage.

CHAPITRE VI : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET

L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) consiste en l'analyse scientifique et préalable des risques d'incidences environnementales découlant d'un projet prévu. L'EIE établit les mesures qui peuvent être adoptées pour contrer les effets environnementaux négatifs ou pour les réduire à des niveaux acceptables au préalable.

En d'autres termes l'EIE est une approche proactive et préventive en matière de gestion et de protection environnementales. Pour tout projet de construction ayant atteint à l'environnement une étude doit être mise en route.

VI-1. Procédures pour l'établissement d'une étude d'impact environnemental et social

Comme tout projet de construction d'infrastructures, la construction des ouvrages d'art engendre des impacts positifs comme négatifs sur l'environnement.

Il existe deux types d'analyse d'impact :

- ✓ EIE ou Etude d'Impact Environnemental : ceci est consacré à un nouveau projet et qui nécessite une étude exhaustive et complète ;
- ✓ PREE ou Programme d'Engagement Environnemental : ceci est pour un projet déjà existant. On peut avoir 2 cas de figures :
 - a- Audit Environnemental : commandité par l'Etat et à la charge du promoteur, c'est-à-dire que si les observateurs autres que le promoteur constate les effets du projet sur l'environnement.
 - b- Mise en conformité : commandité par le promoteur et à la charge de l'Etat, c'est-à-dire que si le promoteur expose en avance à l'Etat les effets néfastes sur l'environnement du projet.

Pour notre cas, nous allons traiter l'Etude d'Impact Environnemental, avec la mise en évidence des points suivants : le contexte du projet, ses objectifs, sa Mise En Compatibilité à

l'Investissement et l'Environnement (MECIE), l'évaluation de ses impacts sur l'environnement et la société ainsi que les mesures d'atténuation ou de compensation selon la nature des impacts, et l'établissement d'un PGES (Plan de Gestion Environnementale et Sociale).

Cette étude (EIE) suit les lois et les décrets tirés de la Charte de l'environnement Malagasy.

VI-2. Charte de l'Environnement

Conformément à l'article 10 de la loi N° 90-033 du 21 décembre 1990 portant Charte de l'Environnement Malagasy, et ses modificatifs les projets d'investissements publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'environnement doivent faire l'objet d'une étude d'impact environnemental (EIE).

A cet effet, toute personne physique ou morale doit être en mesure d'être informée sur les décisions susceptibles d'exercer quelque influence sur l'environnement et ce directement ou par l'intermédiaire de groupements ou d'association.

Elle a également la faculté de participer à des décisions." L'article 10 énonce le principe de réalisation des EIE pour les projets d'investissements publics ou privés. "Les projets d'investissements publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'environnement doivent faire l'objet d'une étude d'impact, compte tenu de la nature technique, de l'ampleur des projets ainsi que de la sensibilité du milieu d'implantation..."

VI-3. Décret MECIE

Pourquoi une « Étude d'impact environnemental » ?

L'État malgache procède à un investissement rural qui répond aux ententes sur tous les plans. Le pays est parmi le premier à vulgariser la charte de l'environnement pour tout projet. Le décret MECIE article 4 et toutes les annexes prévoient dans le cadre des aménagements sur les zones sensibles, selon le décret d'application n°4355 / 97 du 13 mai 1997, et du décret n°2004 – 167 du 03 février 2004 modifiant certaine disposition du décret n°99-954 du 15 décembre 1999.

❖ Contexte :

Dans le contexte, on étudie les problèmes, les enjeux et les préoccupations majeures du projet en général.

❖ **Objectifs :**

Les objectifs doivent répondre aux problèmes constatés dans le contexte ; ils constituent alors une sorte de résolution.

❖ **Mise En Compatibilité à l'Investissement et l'Environnement (MECIE)**

Pour la MECIE, on effectue en parallèle l'étude du milieu et l'étude du projet.

- a- Etude du milieu : milieu physique (eau, air, sol), milieu biologique (faune et flore) et le milieu humain (social, économique, culture, santé, ...) ;
- b- Etude du projet : les phases et leurs composantes

C'est à partir de ces études que nous allons établir les impacts environnementaux et sociaux directs et indirects entre le milieu et le projet. Ces impacts peuvent être positifs ou négatifs.

✓ **Impact négatif**

Un impact est négatif s'il est défavorable ou provoque des désordres sur les milieux récepteurs, c'est-à-dire que les effets sont négatifs.

✓ **Impact positif**

L'impact est dit positif s'il crée et/ou améliore les activités présentes dans le milieu concerné.

VI-4. Impact Environnementaux

La construction de la route IVATO-FENOARIVO-IAVOLOHA est un grand Projet pour la Région Analamanga du point de vue économique et du point de vue social.

Cependant, ce Projet engendre dans sa réalisation, des Impacts sur l'Environnement pouvant causer des dégradations. La loi portant la Charte de l'Environnement Malagasy et le décret MECIE ou Mise en Compatibilité d'Impact Environnemental obligent le projecteur des investissements publics ou privés susceptible de porter atteinte à l'Environnement, soit de procéder à l'EIE (Etudes d'Impact environnemental) afin de déterminer les impacts du projet et d'adopter les mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement, à un coût économiquement acceptable.

VI-5. Mode de détermination et évaluation des impacts

VI-5-1. Evaluation de l'importance des impacts

L'importance de l'impact peut être Majeure, Mineure ou Moyenne.

- ✓ **Majeure** : si l'intégrité de la nature d'un élément et son utilisation sont modifiées de façon importante autrement dit si l'impact met en danger la vie d'individu ou la survie d'une espèce animale ou végétale ;
- ✓ **Moyenne** : l'intégrité de la nature d'un élément et son utilisation sont modifiées de façon partielle c'est-à-dire si l'impact ne met pas en danger la vie d'individus ou la survie d'une espèce animale ou végétale ;
- ✓ **Mineure** : l'intégrité de la nature d'un élément et son utilisation sont modifiées légèrement.

VI-5-2. Critères d'appréciation des impacts

L'importance des impacts positifs et négatifs du projet a été appréciée sur la base des trois critères suivants : INTENSITE, DUREE, ETENDUE.

- ❖ **INTENSITE** : C'est l'ampleur de la perturbation ou de la modification. Souvent, nous distinguons 03 degrés de perturbation :
 - ✓ ***Faible*** : l'impact altère ou améliore de façon peu perceptible un élément, sans modifier les caractéristiques propres de l'élément, son utilisation ou sa qualité.
 - ✓ ***Moyenne*** : l'impact entraîne la perte ou la modification (ou bonification) de certaines caractéristiques propres à l'élément affecté et en réduit (ou en augmente) légèrement l'utilisation, le caractère spécifique ou la qualité.
 - ✓ ***Forte*** : l'impact altère de façon significative les caractéristiques propres de l'élément affecté, remettant en cause son intégrité ou diminuant considérablement son utilisation ou sa qualité ; une perturbation positive améliore grandement l'élément ou en augmente fortement la qualité ou l'utilisation.

❖ **ETENDUE** : Elle correspond à la portée spatiale de l'impact considéré.

Habituellement, nous distinguons les 3 niveaux d'étendue :

- ✓ ***Ponctuelle*** : La perturbation est bien circonscrite et touche une faible superficie ou encore utilisée ou perceptible par quelques individus seulement.
- ✓ ***Zonale*** : la perturbation touche une zone plus vaste, par exemple une série de lots ou qui affecte plusieurs individus ou groupes d'individus dans la zone d'étude.
- ✓ ***Régionale*** : La perturbation touche de vastes territoires ou des communautés d'importance.

❖ **DUREE** : correspond à la période de l'existence de l'impact :

- ✓ ***Courte*** : s'il touche un élément du milieu pendant une courte période.
- ✓ ***Moyenne*** : s'il peut s'échelonner sur quelques jours, semaines ou mois, mais doit être associé à la notion de réversibilité
- ✓ ***Longue*** : s'il a un caractère d'irréversibilité et ses effets sont ressentis de manière définitive ou sur une longue durée

Une note est attribuée à chaque critère pour connaître l'importance de l'impact considéré. Le tableau ci-après montre les notes qui correspondent à chaque critère.

Le mode d'attribution d'une note pour un impact quelconque est résumé dans le tableau suivant :

Critères	Intensité	Durée	Etendue	Note attribuée
Evaluation	Faible	Courte	Ponctuelle	0
	Moyenne	Moyenne	Zonale	1 à 2
	Forte	Longue	Régionale	3 à 5

En faisant la somme des notes attribuées pour un impact, l'importance de l'impact est donnée par le résultat suivant :

Note	Impact
<4	MINEURE
[5 ;6]	MOYENNE
7 ≤	MAJEURE

VI-5-3. Evaluation des impacts

a- Impact Négatifs

Les deux tableaux suivants nous montrent les Impact sur le milieu biophysique et les Impacts sur le milieu social et économique.

Impacts négatifs sur le milieu biophysique et humain						
Impacts	Source d'impact	Phase concernée	Appréciation de l'impact			
			Intensité	Etendue	Durée	Importance
Contamination du sol	Mise en place des installations de chantier Engin de Chantier Produits chimiques Dépôt des matériaux Déposition de sédiments dans les cours d'eau	Chantier Exploitation	1	1	1	3 : Mineure
Perturbation des milieux	Déversement des hydrocarbures (gasoils, huiles de	Chantier Exploitation	1	1	1	3 : Mineure

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

aquatique (eaux superficielles)	vidanges, ...) des engins de chantier					
Augmentation des pressions anthropiques	Présence des ouvriers Plus de migrants Libre circulation Exploitation illicite	Chantier Exploitation	4	3	3	10 : Majeure
Perte de paysage naturel	Changement de tracé Création d'excavation aux zones d'emprunts	Chantier	1	1	4	6 : Moyenne

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Impacts négatifs sur le milieu social et économique						
Impacts	Source d'impact	Phase concernée	Appréciation de l'impact			
			Intensité	Etendue	Durée	Importance
Scénarios d'accidents majeurs (accident de travail, accident sur la route)	Travaux Vitesse de circulation élevée. Non-respect des codes de la route Transport de matières dangereuses	Chantier Exploitation	4	2	1	7 : Majeure
Perturbation sonores	Travaux Exploitation des carrières et des gisements meubles Engin, machines, camion et véhicule	Chantier Exploitation	1	1	1	3 : Mineure
Pollution de l'air	Poussière liée aux travaux sur chantier Gaz d'échappement des engins	Chantier Exploitation	2	2	1	5 : Moyenne
Pertes en superficie des territoires agricoles	Changement de tracé Elargissement de l'emprise de la	Chantier	1	2	3	6 : Moyenne

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

	future autoroute Déviation provisoire					
Migration de la population	Travailler au chantier Destruction des logements	Chantier Exploitation	1	2	3	6 : Moyenne
Risque d'épidémie des maladies	Manque d'hygiène	Chantier	4	2	3	9 : Majeure
Déplacement d'habitation	Acquisition des terrains : carrière, emprunt et accès. Elargissement de l'emprise de la future autoroute	Chantier	1	2	3	6 : Moyenne
Détours occasionnés par les nouveaux aménagement	Mise en place des installations de chantier Travaux	Chantier	1	2	3	6 : Moyenne
Risque d'augmentation des pressions anthropiques	Présence des ouvriers Plus de migrants Libre circulation Exploitation illicite	Chantier Exploitation	4	3	3	10 : Majeure

b- Impacts Positifs

Les impacts positifs, sur le milieu biophysique et sur le milieu social et économique, sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Impacts positifs sur le milieu biophysique et humain						
Impacts	Source d'impact	Phase concernée	Appréciation de l'impact			
			Intensité	Etendue	Durée	Importance
Amélioration de l'écoulement des eaux	Assainissement longitudinal et transversale	Chantier Exploitation	1	1	4	6 : Moyenne
Protection des abords immédiats	Engazonnement	Chantier Exploitation	1	1	4	6 : Moyenne
Augmentation de la praticabilité	Construction et/ou réparation des ouvrages de franchissement	Exploitation	1	1	4	6 : Moyenne

Impacts positifs sur le milieu social et économique						
Impacts	Source d'impact	Phase concernée	Appréciation de l'impact			
			Intensité	Etendue	Durée	Importance
Amélioration de la sécurité routière	Mobilité de la Gendarmerie	Exploitation	2	2	3	7 : Majeure
Accessibilité et à la visibilité des commerces	Diversification des activités commerciales Réduction de prix des denrées de bases	Exploitation	2	2	3	7 : Majeure
Stimulation de l'économie	Aménagement d'accès ou de	Exploitation	3	2	3	8 : Majeure

**Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN**

locale et régionale	déviations ou de pistes connexes					
Facilité d'accès à l'administration	Aménagement de la route	Exploitation	3	2	3	8 : Majeure

c- Mesures d'atténuation et de compensation des impacts

Les mesures d'atténuation ont pour but d'éviter ou d'éradiquer les impacts négatifs des travaux effectués par une entreprise sur l'Environnement naturel et Humain.

Mesures d'atténuation des impacts négatifs			
Milieu récepteur	Impact	Importance	Mesure d'atténuation
Milieu biophysique	Pollution de sol Pollution des eaux	Mineure	Bien délimiter les zones sensibles Collecter et entreposer les filtres et les huiles
	Augmentation des pressions anthropiques	Majeur	Concertation des autorités locales
Milieu Humain	Scénarios d'accidents majeurs	Majeure	Instaurer des règlements interne mentionnant les règles de sécurité pendant le travail
	Pollution de l'air	Moyenne	Humidification des matériaux durant le concassage Arrosage de la chaussée traversant des agglomérations. Mise en place des zones de chantier à accès restreint avec une distance suffisante

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

	Pertes des terres agricoles	Moyenne	Concertation des autorités locales
	Déplacement d'habitation	Moyenne	Eviter de toucher autant que possible les habitations, les aires de culture et les tombeaux.
	Migration de la population	Moyenne	Indemniser les populations à la hauteur de la valeur actuelle du remplacement de leurs biens démolis.
	Détours occasionnés par les nouveaux aménagements		Maintenir la circulation et assurer la signalisation durant la période des travaux

d- Mesures d'accompagnement et bonification des impacts positifs

C'est une bonne chose de savoir qu'il existe des impacts positifs, mais nous n'allons pas nous contenter de ce résultat, en le faisant accroître et l'exploiter pour les rendre encore meilleurs.

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Mesures d'accompagnement des impacts positifs			
Milieu récepteur	Impact	Importance	Mesure d'atténuation
Milieu biophysique	Amélioration de l'écoulement des eaux	Moyenne	Entretien de la route
	Protection des abords immédiats	Moyenne	
	Diminution des embouteillages	Moyenne	
Milieu Humain	Désenclavement	Majeure	Entretien de la route
	Renforcement de la sécurité routière	Majeure	Sensibiliser les usagers de la route à bien respecter les instructions sur les panneaux de signalisation et à suivre le code de la route.
	Accessibilité et à la visibilité des commerces	Majeure	Entretien de la route
	Valorisation des ressources locales	Majeure	Mettre en œuvre des techniques d'exploitation appropriées
	Facilité d'entrée aux sites d'internet économique et touristique	Majeure	Favoriser les circuits touristiques et favoriser l'entrée des touristes étrangers. Encourager les entrepreneurs à s'investir dans ce domaine.

Conclusion partielle :

En faisant l'analyse, la construction de la nouvelle route présente plusieurs impacts positifs important et aussi des impacts négatifs qui non négligeables.

Nous avons pu alors en déduire que l'environnement défini non seulement comme le milieu naturel mais également comme le milieu socio-économique, risque d'être soumis à plusieurs dangers, face à quoi des mesures d'atténuation ont été proposées. Cette construction peut apporter plusieurs bienfaits plus importants à l'environnement.

CONCLUSION

La ville d'Antananarivo subit en ce moment une grande expansion surtout dans ces périphéries, qui entraîne un grand problème de mobilité. A fortiori, la réalisation d'une nouvelle voie « Voies Rapide Sud Nord » connectant IVATO-FENOARIVO-IAVOLOHA est l'une des solutions qui permettraient la diminution des embouteillages dans la capitale. Une partie de notre route se situe dans une plaine formée de rizières, qui est surtout une zone inondable. Afin d'éviter les risques d'inondation à cause du remblayage de la plaine qui perturbe l'écoulement naturel sur cette zone, plusieurs études du point de vue hydrologique, hydraulique et structurel sont nécessaires.

Dans ce document, les crues de projet dans les bassins versants engendrant des débits qui a une période de retour de cinquante (50) ans, sont déterminées dans l'étude hydrologique. A l'aide de ce calcul de la crue de projet et certaines considérations de la zone d'étude, nous avons pu choisir les types d'ouvrage de franchissement et leurs dimensionnement hydrauliques les mieux adaptés, tout en respectant la vitesse limite. Afin que cet ouvrage puisse garantir une sécurité des usagers et sa pérennité, les épaisseurs des différents éléments ainsi que les sections d'aciers et dispositions constructives ont été déterminées dans le dimensionnement structural.

A cause de la plaine qui joue un rôle de réservoir tampon en période de crue, nous avons étudié le comportement de l'eau en amont des ouvrages sur cette plaine au cas où une crue de 100 ans se produit en utilisant l'épure de Blackmore. Cette étude a permis d'obtenir les bonnes dimensions hydrauliques des ouvrages de franchissement qui protège la route contre sa submersion. Le but de ce mémoire est la détermination du dimensionnement du positionnement des ouvrages de franchissement le long de la nouvelle voie.

La réalisation d'un projet, quel qu'il soit, engendre des impacts sur le milieu naturel et sur l'environnement au sens large, d'où la pertinence de l'idée de mener une étude d'impact environnemental.

Cependant, ces ouvrages routiers ne peuvent assurer leurs fonctionnalités ni garantir leurs pérennités sans un entretien régulier.

BIBLIOGRAPHIE

❖ OUVRAGES :

- [1] VAN TUU, Nguyen, LEMOINE, Bernard et POUPLARD, Jaques, Hydraulique Routière, 1981.
- [2] Fascicule 61 (1980), **Conception, calcul et épreuve des ouvrages d'art, Titre II : Programmes de charges et épreuves des ponts-poutres ;**

❖ SUPPORT DE COURS :

- [1] RAMANANTSOA Benjamin, « Hydraulique routière » en 4^{ème} année,
- [2] RANDRIAMAHERISOA Alain, « Hydrologie Appliquée » en 4^{ème} année,
- [3] RANDRIAMAHERISOA Alain, « Etude d'Impact Environnemental » en 4^{ème} année,
- [4] RAVAOARISOA Lalatiana, « Pont en Béton armé » en 5^{ème} année.

WEBOGRAPHIE

- 1) Wikipédia
- 2) <http://dtrf.setra.fr/>
- 3) www.fao.org
- 4) www.pnae.mg
- 5) <http://www.conseilsgratuits.fr/affaires-%26-finances/b%E2timent/hydraulique-%26-construction-routiere.html>

ANNEXES

ANNEXE 1: DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Les données pluviométriques sont des données obtenues de la direction météorologie d'Ampandrianomby, sur la station d'Antananarivo Observatoire.

1) Pluviométrie maximale de 24 heures :

Année	P [mm]	Année	P[mm]
2015	62,29	1997	51,6
2014	56,36	1996	71,1
2012	88,3	1995	90,7
2011	83,6	1994	90,5
2010	86,3	1993	65,7
2009	61,8	1992	76,4
2008	49,5	1991	39,6
2007	80,8	1990	38,1
2006	58,3	1989	52,8
2003	73	1988	41
2002	73	1987	76,4
2001	118,7	1986	61,3
2000	99	1985	59,7
1999	45	1984	93,6
1998	96	1983	59

Les valeurs de la Pluviométrie maximale journalière doivent-être ajustées par la Loi de GUMBEL. Cet ajustement se procède comme suit :

✓ Valeur de u suivant la période de retour

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

T (ans)	5	10	25	50	100
LOI DE GUMBEL					
u = - Ln (Ln(1-1/T))	1,5	2,25	3,199	3,901	4,6
LOI DE GAUSS OU LOI NORMAL					
u (dans la table	0,84	1,26	1,75	2,09	3,09

*Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN*

Année	JANV	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	TOTAUX
1983	188,2	209,4	110,9	16,5	2,1	6,9	3,4	2,6	8,9	20,5	182,6	418,9	1170,9
1984	384,0	382,7	133,3	133,3	1,0	5,1	6,2	17,7	2,3	61,9	264,4	118,5	1510,3
1985	132,7	265,2	461,3	62,7	2,7	4,2	1,1	8,5	4,0	23,5	98,1	204,1	1268,1
1986	90,4	320,9	132,3	109,8	55,7	1,9	2,2	12,0	4,0	208,7	165,4	204,8	1308,1
1987	687,4	264,9	173,4	71,2	0,4	0,6	11,7	14,6	1,0	50,1	88,9	131,2	1495,6
1988	261,9	124,2	50,8	15,6	7,5	1,5	17,2	0,9	0,8	20,5	75,6	221,2	797,5
1989	160,0	372,4	35,6	17,1	46,7	0,3	5,1	12,9	3,5	53,9	115,9	369,6	1193,0
1990	135,8	172,0	66,2	28,3	8,8	2,6	2,4	0,9	25,9	50,8	81,9	163,9	739,4

*Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN*

1991	130,2	202,2	174,6	47,3	12,0	16,7	0,3	0,0	0,1	25,7	181,0	234,6	1024,8
1992	469,6	231,9	174,0	47,6	2,9	0,8	1,8	16,0	0,8	12,4	254,6	93,7	1306,0
1993	137,4	319,2	134,5	36,1	14,7	10,6	8,1	0,5	6,5	100,0	143,5	164,4	1075,5
1994	660,8	213,0	185,9	44,9	3,0	19,5	10,0	15,7	37,2	119,5	46,1	188,5	1544,1
1995	536,8	265,0	198,9	54,4	3,3	0,9	2,1	18,3	0,9	14,1	290,9	107,0	1492,7
1996	675,1	191,8	272,1	0,8	1,0	4,3	5,8	11,6	8,7	6,3	2,8	385,4	1565,8
1997	281,9	317,9	81,5	53,2	21,1	19,0	9,4	6,4	18,9	33,3	116,8	276,1	1235,6
1998	229,8	553,6	179,3	12,4	20,4	3,5	2,4	5,0	46,1	13,4	3,7	470,8	1540,4
1999	288,5	101,9	183,6	6,9	20,3	0,0	5,0	6,3	1,5	76,8	79,4	86,7	857,0
2000	112,7	250,4	140,4	1,4	4,2	4,1	15,7	0,5	0,5	31,0	188,0	199,1	947,9

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

2001	534,0	141,0	42,3	10,5	1,1	1,5	1,9	33,1	0,2	43,8	29,1	306,5	1144,9
2006	263,0	84,9	202,5	52,5	8,1	6,0	3,1	5,4	5,5	55,4	128,4	253,2	1068,1
2007	481,8	357,6	73,3	72,1	41,4	4,8	8,4	0,2	5,8	84,1	79,9	274,5	1484,0
2008	202,5	307,2	61,3	107,1	14,6	7,3	6,1	0,2	58,1	38,4	272,7	106,8	1182,4
2009	343,7	282,6	197,9	136,9	0,4	0,3	7,2	8,2	0,0	90,3	98,0	311,7	1477,3
Moyenne	321,23	257,92	150,70	49,50	12,75	5,32	5,96	8,59	10,50	53,67	129,89	230,05	1236,06
%	0,26	0,21	0,12	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,11	0,19	1,00
Ecart- type	194,38	105,83	92,13	40,54	15,61	5,84	4,54	8,23	16,10	45,58	83,61	108,46	253,79
P5	265,83	213,43	124,71	40,96	10,55	4,41	4,93	7,11	8,69	44,41	107,49	190,37	1022,87

ANNEXE 2: Traitement des données pluviométriques et test de khi-deux

A. Hydrologie statique

1) Définition de base

Les caractéristiques d'une crue de fréquence donnée peuvent se déterminer par les méthodes statistiques si on dispose de données hydrométriques.

➤ Fonction de répartition :

La fonction de répartition $F(x)$ est la probabilité pour cette variable étudiée X soit inférieur ou égal à x .

Avec

:

x étant une valeur que peut prendre X .

X étant la variable aléatoire continue à étudier (pluviométrie)

$$F(x) = \text{Prob} [X \leq x]$$

$F(x)$ est aussi appelée fréquence de *non-dépassement* et qui tend asymptotiquement vers 1, pour X tend vers l'infini. Cette fonction $F(x)$ est liée à la fonction de dépassement $P(x)$ par la relation ci-après :

$$P(x) = 1 - F(x)$$

Le temps de retour est donné par :

$$T = \frac{1}{P} = \frac{1}{1 - F}$$

Un échantillon de N valeur de X_i se caractérise d'une part par ses valeurs centrales comme la moyenne algébrique $\bar{X}$ telle que :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

➤ Variance ou moment centré d'ordre 2 :

Pour un échantillon de N valeur de X_i : l'écart type σ est :

$$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}$$

2) Lois statistiques principales

Le phénomène de crue est ajustable à des lois statistiques tels que :

a) Loi de GAUSS (ou loi Normale) :

La loi de GAUSS est utilisée pour l'ajustement des valeurs des pluviométries moyennes mensuelles. On considère comme variable X la pluie P.

Si on prend comme variable la pluie P, la fonction de répartition a pour expression :

$$F(P) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

Avec,

$$u = \frac{P - \bar{P}}{\sigma}$$

$\bar{P}$: Moyenne arithmétique de la série des pluviométries

σ : Écart-type de la série des pluies

b) Test de validité de la loi Normale :

Le test de χ^2 se procède comme suit :

➤ Calculer le nombre χ^2 :

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - v_i)^2}{v_i}$$

Où

n_i : nombre expérimental

v_i : nombre théorique

➤ Calculer le nombre m appelé « degré de liberté » associé à la loi Normale :

$$m = k - l - 1$$

Avec,

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

k : nombre de classe ;

l : Nombre de paramètres mis en jeu dans le calcul : (P et σ), donc $\ell = 2$.

- Lire sur la table la valeur χ^2 de correspondant au seuil choisi (généralement égal à 5%) en tenant compte de la valeur de m.
- Comparer la valeur de χ^2 calculée avec la valeur lue sur la table :
La loi est acceptable si $\chi^2_{calculé} \leq \chi^2_{table}$ sinon elle sera rejetée.

3) Ajustement statistique des données pluviométriques

a) Loi de GAUSS (ou loi Normale) :

L'ajustement suit les étapes suivantes :

- **Classement et rangement des pluviométries par ordre décroissant en utilisant la fréquence expérimentale :**

Soit F_i la fréquence expérimentale exprimer par la formule :

$$F_i = \frac{i}{N + 1} \%$$

Où, i est le rang de la variable dans le classement.

Donnée pluviométrique annuelle :

Année	P[mm]
1983	1170,85
1984	1510,31
1985	1268,09
1986	1308,07
1987	1495,65
1988	797,48
1989	1193,00
1990	739,43
1991	1024,79
1992	1306,03
1993	1075,49
1994	1544,09

Année	P[mm]
1995	1492,66
1996	1565,79
1997	1235,58
1998	1540,44
1999	857,02
2000	947,93
2001	1144,90
2006	1068,09
2007	1483,99
2008	1182,43
2009	1477,28

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

D'après les données sur les tableaux, on a :

- La pluie moyenne annuelle : $\bar{P} = 1236,06$
- Ecart type : $\sigma = 253,79$
- N : table d'échantillon égale à 23

- Calcul de P_i correspond aux fréquences F :

Avec $F = \{0,8 ; 0,9 ; 0,96\}$

La formule de la variable réduite utilisé est :

$$u = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma} \text{ ou } P_i = u \sigma + \bar{P}$$

F	0,8	0,9	0,96
Pi	1449,24	1555,84	1680,19

Ajustement selon la loi de Gauss ou loi Normale :

- Nombre de classes :

$$k = 1 + \frac{10}{3} \log 24 = 5,41$$

Soit $k = 5$

- Largeur d'une classe

$$\Delta = \frac{1565,79 - 739,43}{5} = 166$$

- **Le classement avec rang des pluies annuelles par ordre décroissant :**

Rang	Annuelle	Classe	Rang par classe
1	1565,79	1	1
2	1544,09		2
3	1540,44		3
4	1510,31		4

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

5	1495,65	$\geq 1403,43$	5
6	1492,66		6
7	1483,99		7
8	1477,28		8
9	1308,07	2	1
10	1306,03	≥ 1237	2
11	1268,09		3
12	1235,58	3	1
13	1193,00		2
14	1182,43		3
15	1170,85		4
16	1144,90		5
17	1075,49	≥ 1071	6
18	1068,09	4	1
19	1024,79		2
20	947,93	≥ 905	3
21	857,02	5	1
22	797,48		2
23	739,43		3

➤ **Fonction de répartition :**

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

Avec,

$$u = \frac{P - \bar{P}}{\sigma} = \frac{P - 1236,06}{253,79}$$

P	1403	1237	1071	905
Valeur de u	0,6578	-0,0037	-0,6504	-1,3045

En utilisant la table de la loi Normale :

$$u \in] - \infty ; -1,3045 [: F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-1,3045} e^{-\frac{u^2}{2}} du = 1 - 0,9032 = 0,0968$$

**Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN**

$$u \in] - 1,3045 ; -0,6504[: F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-1,3045}^{-0,6504} e^{-\frac{u^2}{2}} du = 0,9032 - 0,7422 = 0,161$$

$$u \in] - 0,6504 ; -0,0037[: F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-0,6504}^{-0,0037} e^{-\frac{u^2}{2}} du = 0,7422 - 0,5 = 0,2422$$

$$u \in] - 0,0037 ; 0,6578[: F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-0,0037}^{0,6578} e^{-\frac{u^2}{2}} du = 0,7454 - 0,5 = 0,2454$$

$$u \in] 0,6578 ; +\infty [: F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0,6578}^{+\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du = 1 - 0,7454 = 0,2546$$

➤ **Test de χ^2 :**

Numéro de classe	Borne	Nombre d'élément n_i	F(u)	$v_i = F(u) * N$	$\frac{(n_i - v_i)^2}{v_i}$
5	$] - \infty ; -1,3045 [$	3	0,0968	2,2264	0,269
4	$] - 1,3045 ; -0,6504[$	3	0,161	3,703	0,133
3	$] - 0,6504 ; -0,0037[$	6	0,2422	5,5706	0,033
2	$] - 0,0037 ; 0,6578[$	3	0,2454	5,6442	1,239
1	$] 0,6578 ; +\infty [$	8	0,2546	5,8558	0,785
	SOMME	N= 23		χ^2	2,459

La valeur de χ^2 calculée est égale à 2,459

➤ **Degré de liberté**

- Nombre de classe = 5 ;

Les paramètres mis en jeu : (P et σ)

Donc $p(5-2-1) = p(2) = 5,99$

$$\sum \frac{(n_i - v_i)^2}{v_i} = 2,459 < 5,99$$

La valeur de χ^2 correspondante au seuil de 5% est $\chi^2_{\text{table}} = 5,99 > \chi^2_{\text{calculée}}$, Donc la loi normale est acceptable.

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

En premier lieu, nous allons justifier à l'aide du test χ^2 si les pluies maximales journalière sont assez homogènes pour l'ajustement de Loi de GUMBEL. Elle se procédera comme suit :

- Calcul des valeurs moyennes des pluviométries maximales de 24 heures.
- Classement et rangement suivant l'ordre décroissant de ces précipitations
- Loi GUMBEL.
- Test de χ^2

1) Calcul des valeurs moyennes des pluviométries maximales de 24 heures

Moyenne Xbar	69,98
Somme	2099,45
Ecart type σ	19,94
Nb d'échantillon	30

- Nombre de classes :

$$k = 1 + \frac{10}{3} \log 30 = 5,91$$

Soit $k = 6$

- Largeur d'une classe

$$\Delta = \frac{118,7 - 38,1}{6} = 14$$

2) Classement et rangement des rapports suivant l'ordre décroissant

Rang	Pluie Max	Classe	Rang par Classe
1	118,7	1 ≥ 108	1
2	99	2 ≥ 94	1
3	96		2
4	93,6	3	1

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

5	90,7	≥80	2
6	90,5		3
7	88,3		4
8	86,3		5
9	83,6		6
10	80,8		7
11	76,4	4	1
12	76,4		2
13	73		3
14	73		4
15	71,1		5
16	65,7		1
17	62,29	≥52	2
18	61,8		3
19	61,3		4
20	59,7		5
21	59		6
22	58,3		7
23	56,36		8
24	52,8		9
25	51,6	6	1
26	49,5		2
27	45		3
28	41		4
29	39,6		5
30	38,1		6

3) Loi de GUMBEL :

$$F(P) = e^{-e^{-u}}$$

Avec :

$$u = \alpha (P - P_0)$$

**Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN**

$$(1/\alpha) = 0,78\sigma$$

$$P_0 = \bar{P} - 0,45\sigma$$

α : gradex égale à 0,064

σ : Ecart type égale à 19,94

$\bar{P}$: Moyenne de la pluviométrie max de 24h, égale à 69,98

Alors,

$$F(P) = e^{-e^{-\alpha(P-P_0)}}$$

P	F(P)
$+\infty$	1
108	0,95
94	0,89
80	0,74
66	0,48
52	0,17

4) Test de χ^2

Classe	P	F(P)	$\alpha = F(P_i) - F(P_{i-1})$	ni	$V_i = N \cdot \alpha$	$\frac{(n_i - v_i)^2}{v_i}$
	$+\infty$	1				
1	108	0,95	0,05	1	1,43	0,13
2	94	0,89	0,07	2	1,96	0,0007
3	80	0,74	0,14	7	4,27	1,74
4	66	0,48	0,26	5	7,81	1,01
5	52	0,17	0,32	9	9,49	0,02
	0	0	0,17	6	5,04	0,18
SOMME			N	30	χ^2	3,09

Test de χ^2 pour une erreur de 5%

Le nombre de classe est de 6

Il y a deux paramètres qui sont : (P et σ)

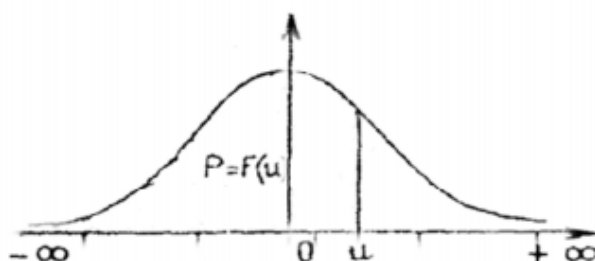
$p(6-2-1) = p(3) = 7,81$ (d'après la table de χ^2)

$$\text{Or } \sum \frac{(n_i - v_i)^2}{v_i} = 3,09 < 7,81$$

Donc la loi de GUMBEL est acceptable.

Fonction de répartition de la loi normale réduite

(Probabilité de trouver une valeur inférieure à u)



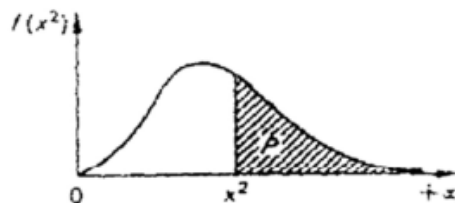
Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

u	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7290	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9779	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986

Table pour les grandes valeurs de u

u	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,8	4,0	4,5
F(u)	0,99865	0,99904	0,99931	0,99952	0,99966	0,99976	0,99984	0,999928	0,999968	0,999997

(Valeur de χ^2 ayant la probabilité p d'être dépassées)



*Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN*

$\begin{matrix} P \\ n \end{matrix}$	0,990	0,975	0,950	0,900	0,100	0,050	0,025	0,010	0,001
1	0,000 2	0,001 0	0,003 9	0,015 8	2,71	3,84	5,02	6,63	10,83
2	0,02	0,05	0,10	0,21	4,61	5,99	7,38	9,21	13,82
3	0,12	0,22	0,35	0,58	6,25	7,81	9,35	11,34	16,27
4	0,30	0,48	0,71	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28	18,47
5	0,55	0,83	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09	20,52
6	0,87	1,24	1,64	2,20	10,64	12,59	14,45	16,81	22,46
7	1,24	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,47	24,32
8	1,65	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09	26,13
9	2,09	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67	27,88
10	2,56	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21	29,59
11	3,05	3,82	4,57	5,58	17,27	19,67	21,92	24,72	31,26
12	3,57	4,40	5,23	6,30	18,55	21,03	23,34	26,22	32,91
13	4,11	5,04	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69	34,53
14	4,66	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14	36,12
15	5,23	6,26	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58	37,70
16	5,81	6,91	7,96	9,31	23,54	26,30	28,84	32,00	39,25
17	6,41	7,56	8,67	10,08	24,77	27,59	30,19	33,41	40,79
18	7,01	8,23	9,39	10,86	25,99	28,87	31,53	34,80	42,31
19	7,63	8,91	10,12	11,65	27,20	30,14	32,85	36,19	43,82
20	8,26	9,59	10,85	12,44	28,41	31,41	34,17	37,57	45,32
21	8,90	10,28	11,59	13,24	29,61	32,67	35,48	38,93	46,80
22	9,54	10,98	12,34	14,04	30,81	33,92	36,78	40,29	48,27
23	10,20	11,69	13,09	14,85	32,01	35,17	38,08	41,64	49,73
24	10,86	12,40	13,85	15,66	33,20	36,41	39,37	42,98	51,18
25	11,52	13,12	14,61	16,47	34,38	37,65	40,65	44,31	52,62
26	12,20	13,84	15,38	17,29	35,56	38,88	41,92	45,64	54,05
27	12,88	14,57	16,15	18,11	36,74	40,11	43,19	46,96	55,48
28	13,57	15,31	16,93	18,94	37,92	41,34	44,46	48,28	56,89
29	14,26	16,05	17,71	19,77	39,09	42,56	45,72	49,59	58,30
30	14,95	16,79	18,49	20,60	40,26	43,77	46,98	50,89	59,70

ANNEXE 3: Traitement des données pluviométriques maximales de 24 heures par la loi de GUMBEL

Les pluies maximale journalières de période de retour T sont déterminées par la formule suivante :

$$P_F = P_0 + a_g * u$$

Avec,

u : variable réduite de Gumbel, $u = -Ln(Ln(F))$;

P_F : pluviométrie de fréquence F, où $F = 1 - \frac{1}{T}$;

a_g : gradex ;

P_0 : paramètre de position, $P_0 = \bar{P} - 0,45\sigma$;

σ : écart-type

Moyenne $\bar{P}$	69,98
Somme	2099,45
Ecart type σ	19,94
Nb d'échantillon	30

T [ans]	u	ag	Xo	P (mm)
5	1,5	15,55	61,01	84,34
10	2,25			96,00
50	3,902			121,70

ANNEXE 4: Temps de concentration

Le temps de concentration T_c est le temps que met le ruissellement d'une averse pour parvenir à l'exutoire depuis le point du bassin pour lequel la durée du parcours est la plus longue. Sa valeur est déterminée par les formules suivantes :

➤ Formule de PASSINI :

$$T_c = 0,108 \frac{(S * L)^{1/3}}{I_p^{1/2}}$$

Avec, I_p indice de pente égale à $I_p = \left(\frac{I}{1250}\right)^{1/2}$

➤ Formule de VENTURA :

$$T_c = 0,127 \left(\frac{S}{I_p}\right)^{1/2}$$

➤ Formule Californienne :

$$T_c = 0,98 \left(\frac{L}{I^{1/2}}\right)^{0,77}$$

Désignation	PASSINI [h]	VENTURA [h]	CALIFORNIENNE [h]
BV1	0,88	0,97	0,88
BV2	3,15	2,64	4,26
BV3	9,95	9,47	8,38
BV4	37,78	29,76	34,87

ANNEXE 5: Calcul des crues de projet

Pour la détermination des crues de projet nous allons utiliser les formules suivantes :

1) Formule rationnelle :

La formule n'est valable que pour les BV de $S < 4 \text{ km}^2$

$$Q_F = 0,278 C \cdot i_F \cdot S$$

Avec,

Q_F : débit de crue (m^3/s) ;

C : coefficient de ruissellement ;

i_F : intensité maximale de l'averse de fréquence F (relative au temps de concentration) (mm/h) ;

S : superficie du bassin versant (km^2).

2) Formule de Louis Duret :

La formule n'est valable que pour les BV de $S > 10 [\text{km}^2]$

$$Q_F = 0,002 S^{0,8} I^{0,32} P_F^{1,39} \text{ pour } S > 150 \text{ km}^2$$

$$Q_F = 0,009 S^{0,5} I^{0,32} P_F^{1,39} \text{ pour } S < 150 \text{ km}^2$$

Avec,

Q_F = débit de crue de fréquence F (m^3/s) ;

I = pente du bassin versant (m/km) ;

P_F = pluie maximale de 24 h tombée en un point du bassin versant pour la même fréquence F (mm) ;

S = superficie du bassin versant (km^2).

3) Formule d'ORSTOM :

La formule n'est valable que pour les BV de $S > 10 [\text{km}^2]$

Ici Q_{50} est déterminé à partir de Q_{10} :

$$Q_{50} = \beta * Q_{10}$$

Avec,

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

- Q_{10} = débit de crue de fréquence décennale (m^3/s) ;
- β = coefficient multiplicateur, $\beta = \frac{Q_{50} \text{ de la formule de Louis Duret}}{Q_{10} \text{ de la formule de Louis Duret}}$
- I = pente du bassin versant (m/km)
- P_{10} = pluie maximale de 24 h tombée en un point du bassin versant pour la même fréquence décennale (mm)
- S = superficie du bassin versant (km^2)
- E : indice d'exondité
- G : coefficient d'imperméabilité
- V : indice de couverture

4) Méthode de Myer à l'aide de station de Jaugeage

La méthode de Myer est utilisée pour la détermination de crue si on a un débit de crue de référence retenue au droit d'une station hydrométrique jaugeée au droit du bassin versant d'étude.

Cette méthode est applicable dès lors que l'on dispose de données hydrométriques soit en un autre point du bassin versant à étudier (ce qui est le cas ici), soit sur un bassin versant voisin présentant les mêmes caractéristiques morphologiques.

La formule de Myer permet alors d'obtenir le débit de crue recherché :

$$Q_T = Q_{T \text{ BV Connu}} \times \left(\frac{S_{BV}}{S_{BV \text{ Connu}}} \right)^\alpha$$

Avec,

Q_T : débit de fréquence T en m^3/s du bassin versant à étudier ;

$Q_{T \text{ BV Connu}}$: débit de fréquence T en m^3/s du bassin versant connu ;

S_{BV} : surface en km^2 du bassin versant à étudier ;

$S_{BV \text{ Connu}}$: surface en km^2 du bassin versant connu ;

α : Coefficient de Myer

a) Donnée des stations de Jaugeage pour IKOPA et les caractéristiques de son BV :

- Débit maximaux recueillis par année :

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Année	Débit [m³/s]
2001	144,68
2002	288,53
2003	390,41
2004	314,12
2005	308,43
2006	257,88
2007	423,47
2008	369,86
2009	276,92
2010	250,96
2011	279,11
2012	287,86
2013	292,26
2014	229,64
2015	432,94
2016	257,41
2017	334,36

➤ Caractéristique du BV connu :

SBV Connu = 4194 [km²]

**b) Détermination des débits de fréquence T en m³/s du bassin versant connu par
l'ajustement de GUMBEL :**

<i>Somme</i>	4804,48
<i>Moyenne</i>	300,28
<i>Variance</i>	5507,85
<i>Écart type</i>	74,21
<i>Ag</i>	57,89
<i>X0</i>	266,88

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

<i>T(ans)</i>	5	10	50
<i>F</i>	0,8	0,9	0,98
<i>u</i>	1,50	2,25	3,90
<i>X</i>	353,71	397,15	492,75

c) Estimation du débit de fréquence T des bassins versants N°03 et N°04 :

<i>Désignation</i>	<i>Surface</i> <i>S_{BV}</i>	<i>Q_T</i>
BV3	332,97	39,12
BV4	2495,08	293,15

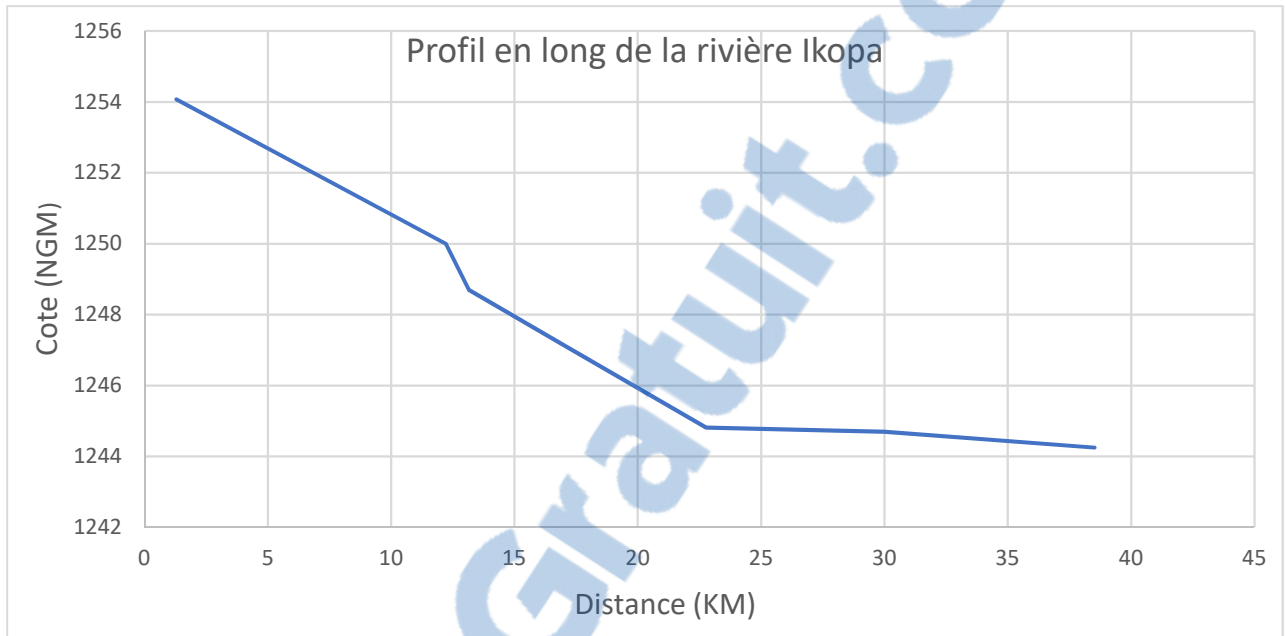
Selon chaque domaine d'application des formules nous avons le tableau de synthèse suivant :

[m3/s]	Superficie du BV [km²]	Rationnelle	Louis Duret	ORSTOM	<i>Q_{projet}</i>
BV1	5,17	39,41	Non applicable	Non applicable	39,41
BV2	24,87	Non applicable	56,02	30,66	43,34

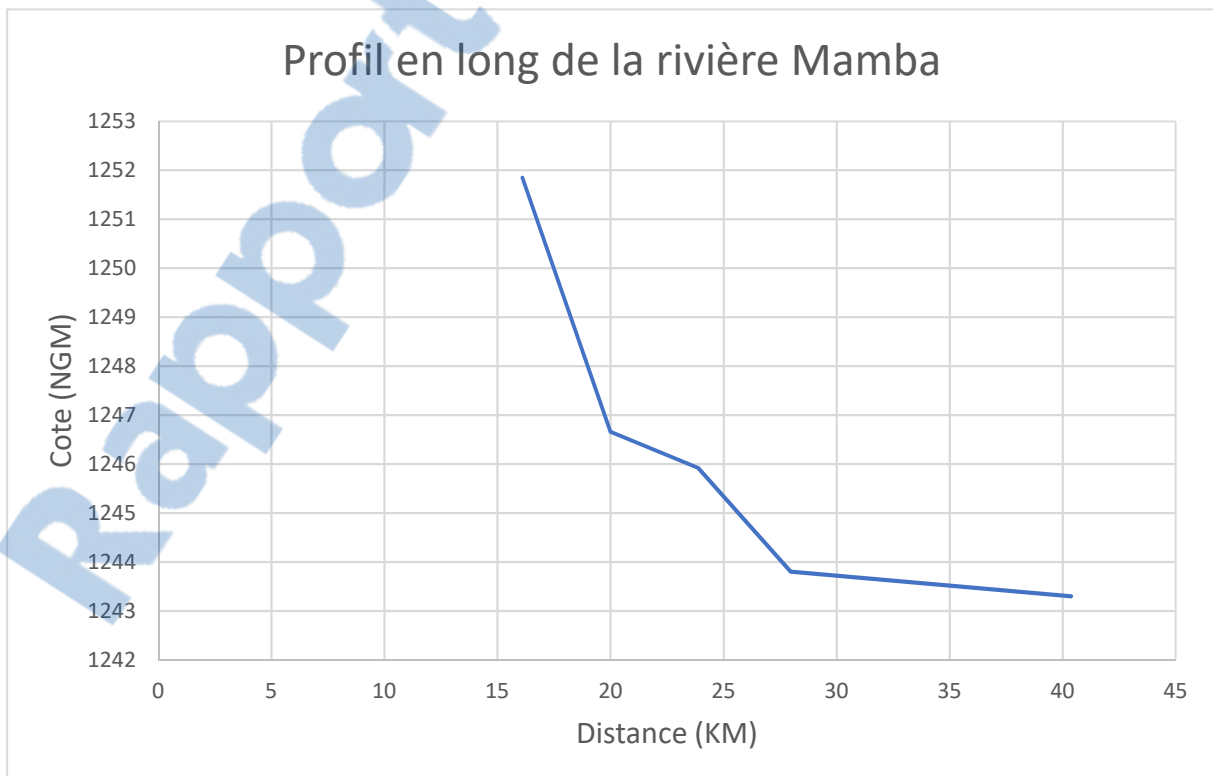
[m3/s]	Superficie du BV [km²]	ORSTOM	Louis Duret	Méthode de Myer	<i>Q_{projet}</i>
BV3	332,97	188,29	253,97	97,33	179,86
BV4	2495,08	695,68	1066,57	348,62	703,62

ANNEXE 6: Détermination du PHE sous le Pont

1) Détermination des pentes des cours d'eau



(Source : BBPAR)



(Source : BBPAR)

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

➤ Calcul de la pente de la rivière

Le profil en travers et le profil en long de la rivière nous permettent de calculer la section mouillée de l'ouverture, et aussi la pente du cours d'eau.

La pente moyenne du cours d'eau est exprimée par la relation suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{I}} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^n \frac{l_j}{\sqrt{i_j}}$$

Pour la rivière Ikopa

<u>Pour</u>	<u>la</u>	l_j	Y	$i_j = \frac{y}{l_j}$	$\frac{l_j}{\sqrt{i_j}}$	<u>rivière Mamba</u>
		10,92	4,07	0,37	17,90	
		0,93	1,30	1,40	0,79	
		3,70	1,50	0,41	5,81	
		5,92	2,39	0,40	9,32	
		7,23	0,11	0,02	58,62	
		8,52	0,45	0,05	37,06	

L	37,22
$\sum_{j=1}^n \frac{l_j}{\sqrt{i_j}}$	129,49
I [m/km]	0,083

l_j	Y	$i_j = \frac{y}{l_j}$	$\frac{l_j}{\sqrt{i_j}}$
3,9	5,19	1,33	3,38
3,88	0,74	0,19	8,88
4,08	2,12	0,52	5,66
12,41	0,5	0,04	61,83

L	24,27
----------	-------

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

$\sum_{j=1}^n \frac{l_j}{\sqrt{i_j}}$	79,75
I [m/km]	0,093

➤ Profil en travers de la rivière

Profil en travers sur la section d'Ikopa



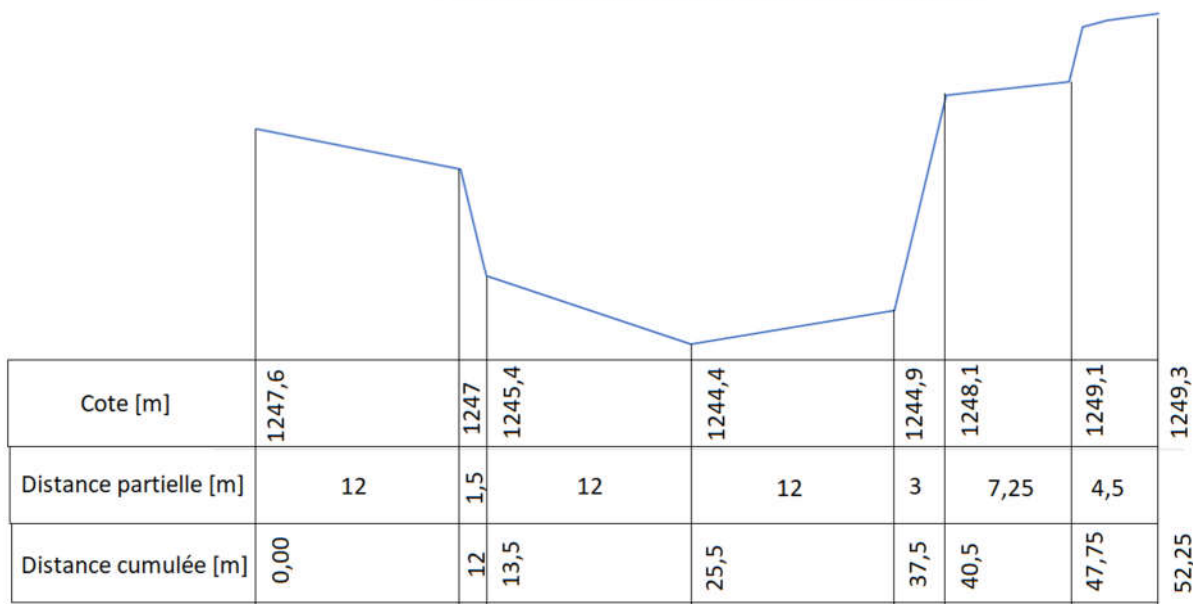
(Source : BBPAR)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Profil en travers sur la section de Mamba



(Source : BBPAR)

2) Détermination de la cote du PHE

La formule de Manning- Strickler s'écrit :

$$Q = KSR^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$$

Avec,

Q, débit en [m³/s]

K, coefficient de rugosité pris égal à 30

S, section mouillée du cours d'eau

I, pente longitudinale du cours d'eau

La courbe de tarage est obtenue en faisant varier les cotes.

➤ Pour la section sur la rivière Ikopa :

Hauteur d'eau	Cote du PHE	K	S	P	R	R^(2/3)	I^(1/2)	Q
5.00	1 249.25	30	367.39	138.08	2.66	1.92	0.01	192.37
5.25	1 249.50	30	398.64	138.58	2.88	2.02	0.01	219.88
5.50	1 249.75	30	429.89	139.08	3.09	2.12	0.01	248.75

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

5.75	1 250.00	30	461.14	139.58	3.30	2.22	0.01	278.95
6.00	1 250.25	30	492.39	140.08	3.51	2.31	0.01	310.42
6.25	1 250.50	30	523.64	140.58	3.72	2.40	0.01	343.13
6.50	1 250.75	30	554.89	141.08	3.93	2.49	0.01	377.04
6.75	1 251.00	30	586.14	141.58	4.14	2.58	0.01	412.11
7.00	1 251.25	30	617.39	142.08	4.35	2.66	0.01	448.33
7.25	1 251.50	30	648.64	142.58	4.55	2.75	0.01	485.64
7.50	1 251.75	30	679.89	143.08	4.75	2.83	0.01	524.04
7.75	1 252.00	30	711.14	143.58	4.95	2.91	0.01	563.48
8.00	1 252.25	30	742.39	144.08	5.15	2.98	0.01	603.95
8.25	1 252.50	30	773.64	144.58	5.35	3.06	0.01	645.42
8.50	1 252.75	30	804.89	145.08	5.55	3.13	0.01	687.87
8.51	1 252.76	30	806.14	145.10	5.56	3.14	0.01	689.59
8.52	1 252.77	30	807.39	145.12	5.56	3.14	0.01	691.31
8.53	1 252.78	30	808.64	145.14	5.57	3.14	0.01	693.03
8.54	1 252.79	30	809.89	145.16	5.58	3.15	0.01	694.75
8.55	1 252.80	30	811.14	145.18	5.59	3.15	0.01	696.48
8.56	1 252.81	30	812.39	145.20	5.59	3.15	0.01	698.20
8.57	1 252.82	30	813.64	145.22	5.60	3.15	0.01	699.93
8.58	1 252.83	30	814.89	145.24	5.61	3.16	0.01	701.66
8.59	1 252.84	30	816.14	145.26	5.62	3.16	0.01	703.39
8.60	1 252.85	30	817.39	145.28	5.63	3.16	0.01	705.12
8.61	1 252.86	30	818.64	145.30	5.63	3.17	0.01	706.85
8.62	1 252.87	30	819.89	145.32	5.64	3.17	0.01	708.59

➤ **Pour la section sur la rivière Mamba :**

Hauteur d'eau	Cote du PHE	K	S	P	R	$R^{(2/3)}$	$I^{(1/2)}$	Q
5.00	1249.40	30.00	161.41	58.34	2.77	1.97	0.01	91.84
5.50	1249.90	30.00	188.41	59.34	3.18	2.16	0.01	117.51
6.00	1250.40	30.00	215.41	60.34	3.57	2.34	0.01	145.27

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

6.10	1250.50	30.00	220.81	60.54	3.65	2.37	0.01	151.05
6.20	1250.60	30.00	226.21	60.74	3.72	2.40	0.01	156.91
6.30	1250.70	30.00	231.61	60.94	3.80	2.44	0.01	162.85
6.40	1250.80	30.00	237.01	61.14	3.88	2.47	0.01	168.86
6.45	1250.85	30.00	239.71	61.24	3.91	2.48	0.01	171.89
6.46	1250.86	30.00	240.25	61.26	3.92	2.49	0.01	172.50
6.47	1250.87	30.00	240.79	61.28	3.93	2.49	0.01	173.10
6.48	1250.88	30.00	241.33	61.30	3.94	2.49	0.01	173.71
6.49	1250.89	30.00	241.87	61.32	3.94	2.50	0.01	174.32
6.50	1250.90	30.00	242.41	61.34	3.95	2.50	0.01	174.94
6.51	1250.91	30.00	242.95	61.36	3.96	2.50	0.01	175.55
6.52	1250.92	30.00	243.49	61.38	3.97	2.51	0.01	176.16
6.53	1250.93	30.00	244.03	61.40	3.97	2.51	0.01	176.77
6.54	1250.94	30.00	244.57	61.42	3.98	2.51	0.01	177.39
6.55	1250.95	30.00	245.11	61.44	3.99	2.52	0.01	178.00
6.56	1250.96	30.00	245.65	61.46	4.00	2.52	0.01	178.62
6.57	1250.97	30.00	246.19	61.48	4.00	2.52	0.01	179.23
6.58	1250.98	30.00	246.46	61.49	4.01	2.52	0.01	179.54
6.58	1250.98	30.00	246.73	61.50	4.01	2.52	0.01	179.85
6.59	1250.99	30.00	247.00	61.51	4.02	2.53	0.01	180.16
6.59	1250.99	30.00	247.27	61.52	4.02	2.53	0.01	180.47
6.60	1251.00	30.00	247.54	61.53	4.02	2.53	0.01	180.78
6.60	1251.00	30.00	247.81	61.54	4.03	2.53	0.01	181.08

Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

➤ Formule d'interpolation linéaire

Formule de Taylor-Young au premier ordre

$$f(x) = y_a + (x - x_a) \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a}$$

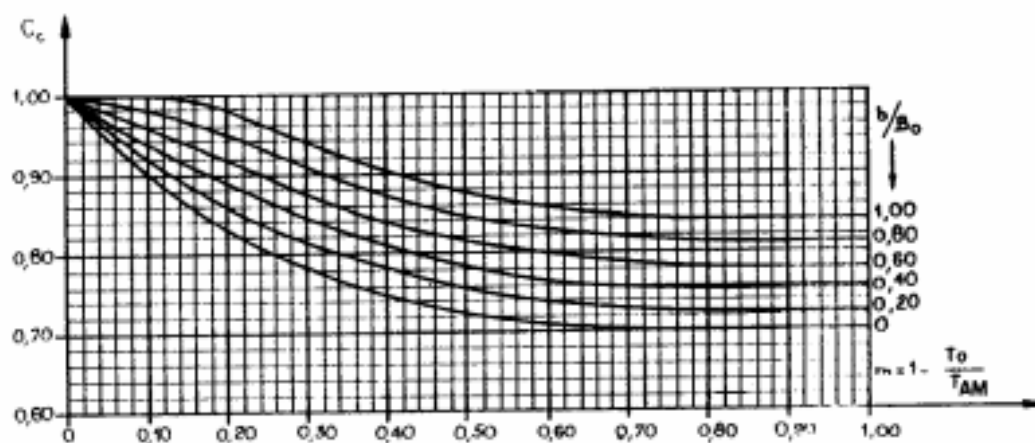
Avec,

$$x_a < x_b \text{ et } y_a < y_b$$

Cote sup	Cote inf	Débit sup	Débit inf	Débit à évacuer	PHE
1262,26	1262,13	430,06	417,83	427,30	1262,20

ANNEXE 7: Les abaques utilisés

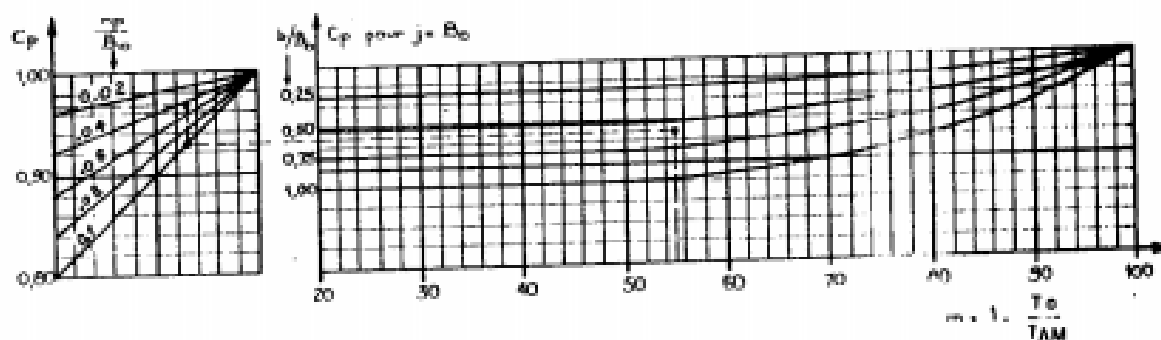
Abaque 1 : « Influence de la contraction »



N.B. : C_c englobe C_E (coefficient d'entrée)

Fig. 52a. Influence de la contraction.

Abaque 2 : « Influence de la présence des piles »



(Exemple : pour $m = 0,55$; $\frac{b}{B_0} = 0,60$; $\frac{T}{B_0} = 0,50 \rightarrow C_p = 0,85$)

Fig. 53a. Influence de la présence des piles rondes.

Abaque 3 : « Influence du nombre de Froude »

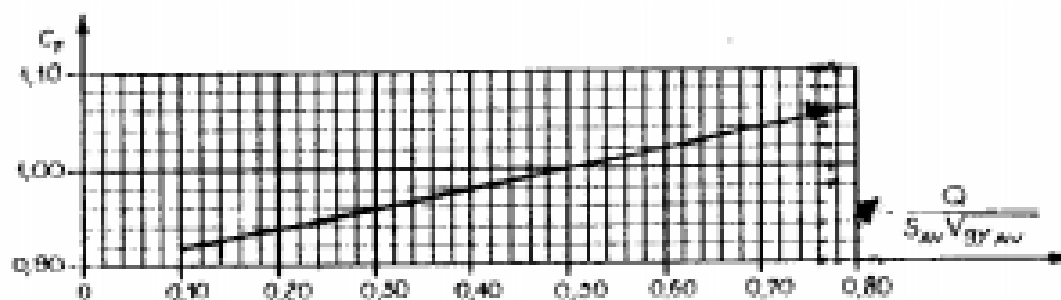


Fig. 54a. Influence du nombre de FROUDE.

Abaque 4 : « Influence de la profondeur relative de l'eau »

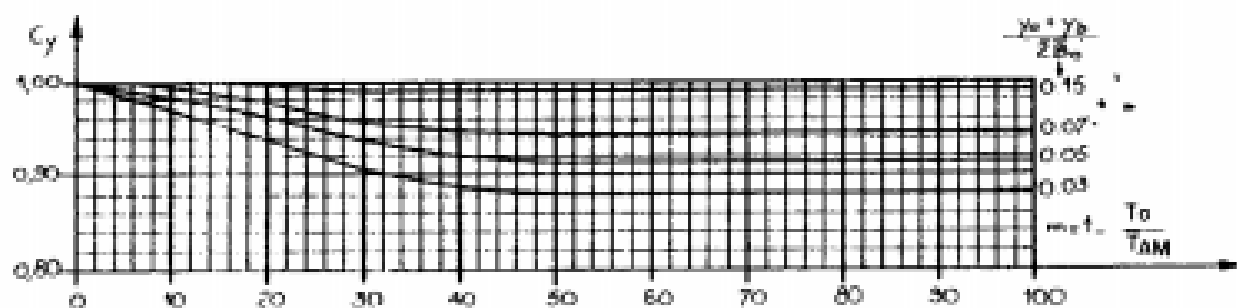
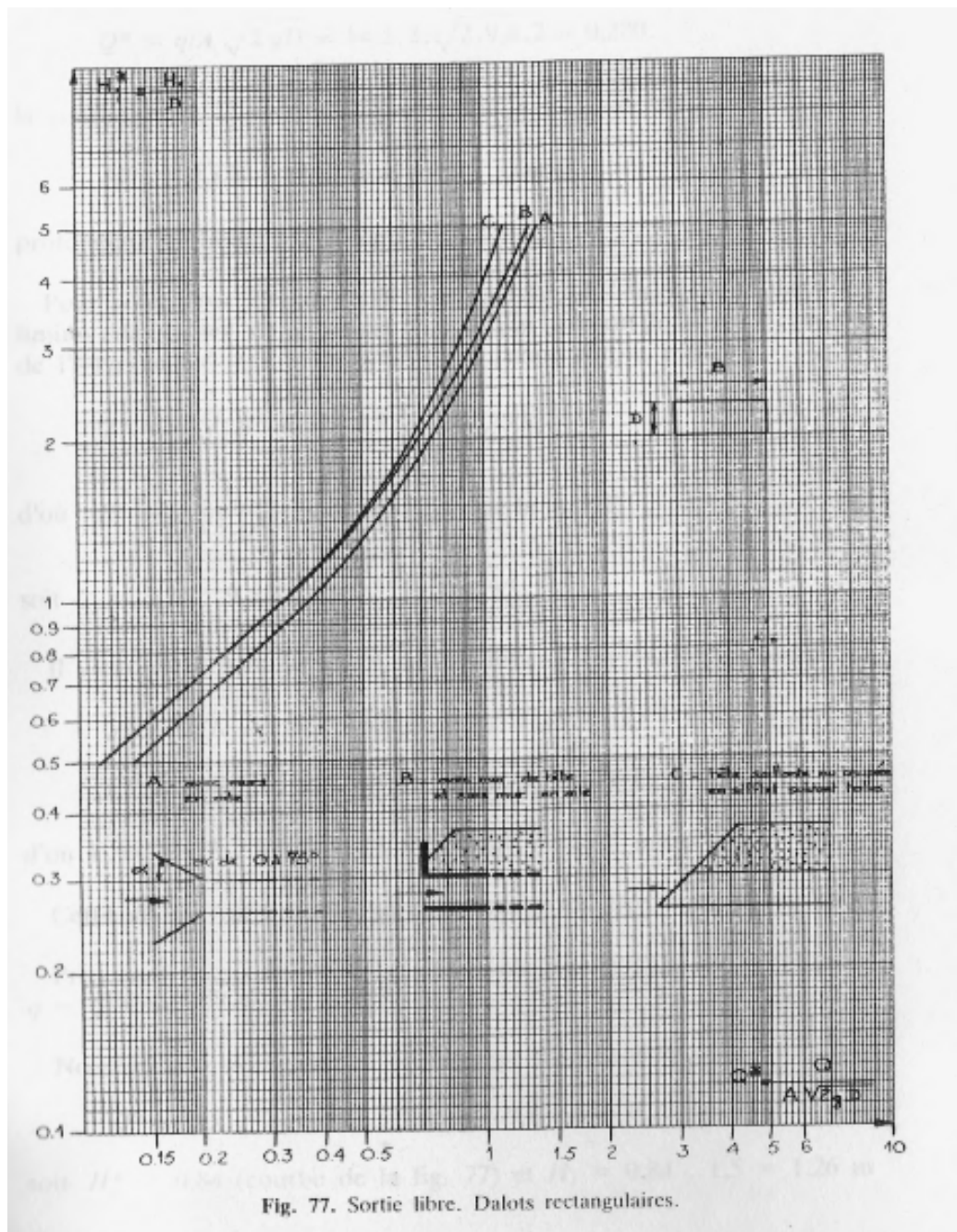


Fig. 54c. Influence de la profondeur relative d'eau (talus à 1/2).

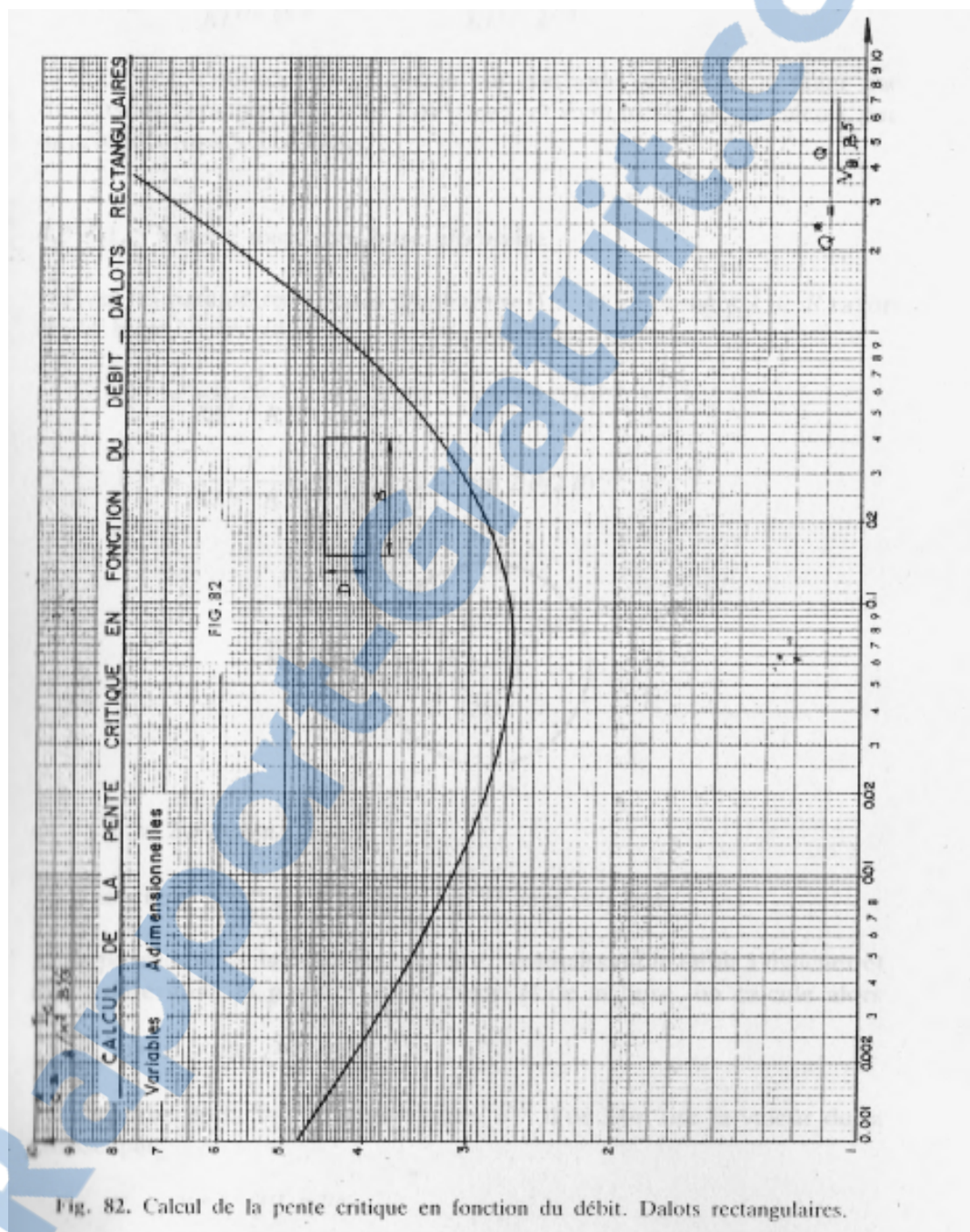
Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle autoroute VRSN

Calcul des dalots

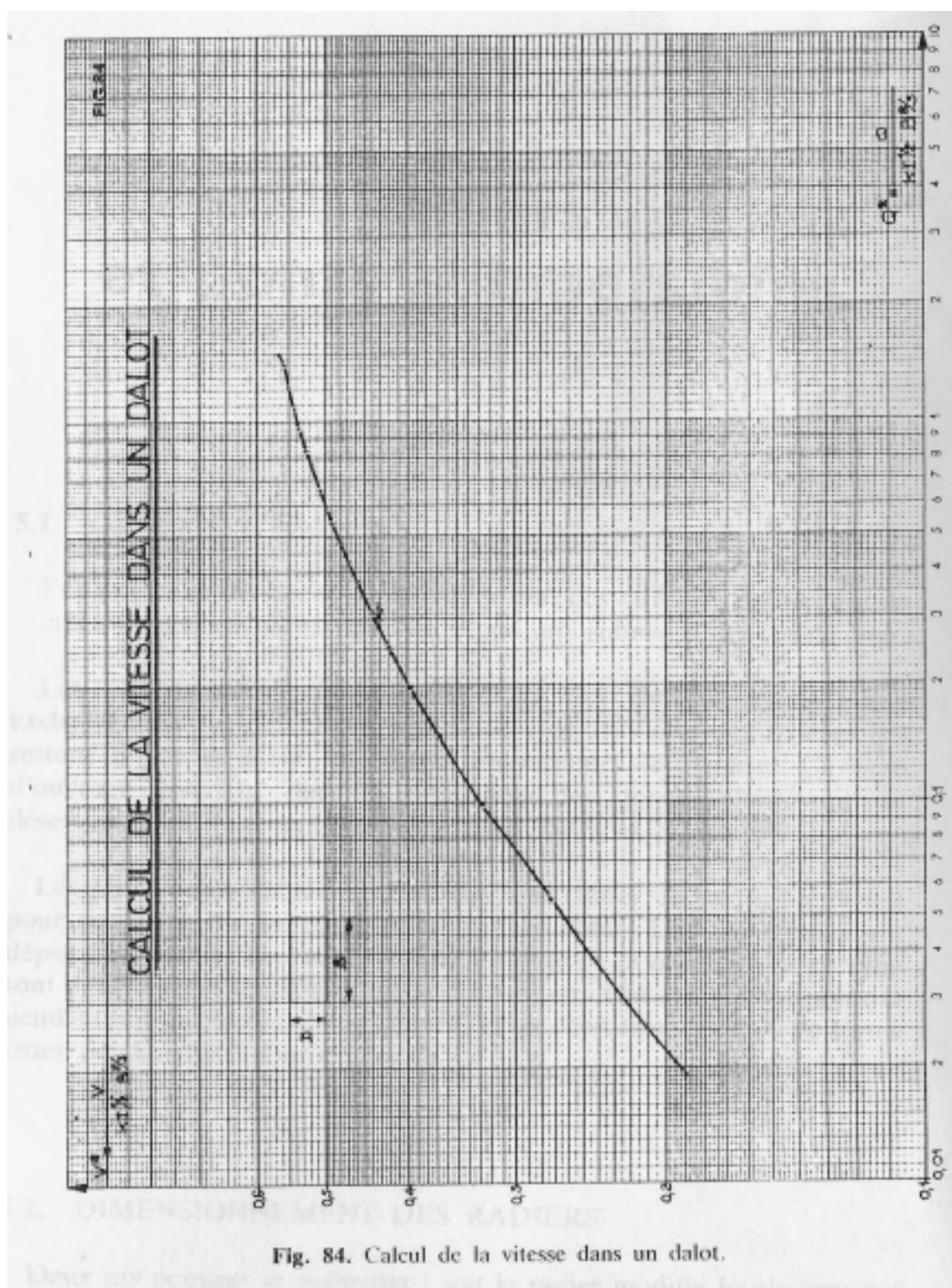
Abaque 5 : « Calcul de la hauteur d'eau »



Abaque 6 : « Calcul de la pente critique en fonction du débit »



Abaque 7: « Calcul de la vitesse dans un dalot »



*Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN*

ANNEXE 8: Sous Détail des Prix Unitaire

Composante des prix				Dépenses directes				TOTAL [AR]
Désignation		U	Qté	PU [AR]	Matériel	Main d'œuvre	Matériaux	
MATERIELS	Lot d'outillage	Fft	1	60 000,00	120 000,00	-	-	120 000,00
MAIN D'ŒUVRE	Chef de chantier	H	1	12 500,00	-	50 000,00	-	162 000,00
	Chef d'équipe	H	1	10 000,00		40 000,00		
	Ouvrier spécialisé	H	2	3 000,00		24 000,00		
	Manœuvres	H	3	2 000,00		48 000,00		
MATERIAUX	Acier	Kg	1	4 200,00	-	-	420 000,00	427 000,00
	Fil de ligature	Kg	1	3 500,00			7 000,00	
Total Déboursés			709 000,00					
$PU = K * \frac{D}{R}$			9 926,00					
Prix appliqué PU =			10 000,00					

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Composante des prix				Dépenses directes				TOTAL [AR]
Désignation		U	Qté	PU [AR]	Matériel	Main d'œuvre	Matériaux	
MATERIELS	Lot d'outillage	Fft	1	50 000,00	50 000,00			265 000,00
	Pervibrateur	U	2	55 000,00	55 000,00			
	Bétonnière	U	1	160 000,00	160 000,00			
MAIN D'ŒUVRE	Conducteur des travaux	H	1	15 000,00		15 000,00		271 500,00
	Chef de chantier	H	1	12 500,00		12 500,00		
	Chef d'équipe	H	1	10 000,00		40 000,00		
	Ouvrier spécialisé	H	4	3 000,00		96 000,00		
	Manœuvres	H	8	2 000,00		128 000,00		
MATERIAUX	Ciment	Kg	400	700,00			2 800 000,00	3 220 000,00
	Sable	m³	0,4	25 000,00			100 000,00	
	Gravillon	m³	0,8	40 000,00			320 000,00	
Total Déboursés			3 756 500,00					
$PU = K * \frac{D}{R}$			525 910,00					
Prix appliqué : PU =			525 950,00					

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Composante des prix				Dépenses directes				TOTAL [AR]
Désignation		U	Qté	PU [AR]	Matériel	Main d'œuvre	Matériaux	
MATERIELS	Lot d'outillage	Fft	1	50 000,00	50 000,00			265 000,00
	Pervibrateur	U	2	55 000,00	55 000,00	-	-	
	Bétonnière	U	1	160 000,00	160 000,00			
MAIN D'ŒUVRE	Conducteur des travaux	H	1	15 000,00		15 000,00		271 500,00
	Chef de chantier	H	1	12 500,00		12 500,00		
	Chef d'équipe	H	1	10 000,00	-	40 000,00	-	
	Ouvrier spécialisé	H	4	3 000,00		96 000,00		
	Manœuvres	H	8	2 000,00		128 000,00		
MATERIAUX	Ciment	Kg	350	700,00			2 450 000,00	2 875 000,00
	Sable	m³	0,4	25 000,00	-	-	100 000,00	
	Gravillon	m³	0,8	40 000,00			320 000,00	
Total Déboursés			3 411 500,00					
$PU = K * \frac{D}{R}$			477 610,00					
Prix appliqué : PU =			477 650,00					

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Composante des prix				Dépenses directes				TOTAL [AR]
Désignation		U	Qté	PU [AR]	Matériel	Main d'œuvre	Matériaux	
MATERIELS	Outillage	Fft	1	5 000,00	5 000,00	-	-	5 000,00
MAIN D'ŒUVRE	Chef de chantier	H	1	12 500,00	-	12 500,00	-	67 500,00
	Chef d'équipe	H	1	10 000,00		20 000,00		
	Ouvrier spécialisé	H	1	3 000,00		15 000,00		
	Manœuvres	H	2	2 000,00		20 000,00		
MATERIAUX	Planche	U	1	4 000,00	-	-	4 000,00	10 500,00
	Pointe	Kg	1	4 500,00			4 500,00	
	Bois rond	Pièces	1	2 000,00			2 000,00	
Total Déboursés			83 000,00					
$PU = K * \frac{D}{R}$			38 733,33					
Prix appliqué PU =			38 750,00					

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Composante des prix				Dépenses directes				TOTAL [AR]
Désignation		U	Qté	PU [AR]	Matériel	Main d'œuvre	Matériaux	
MATERIELS	Camion	H	1	50 000,00	50 000,00			100 000,00
	Tractopelle	H	1	50 000,00	50 000,00	-	-	
MAIN D'ŒUVRE	Chef de chantier	H	1	12 500,00	-	12 500,00	-	34 500,00
	Chef d'équipe	H	1	10 000,00		10 000,00		
	Ouvrier spécialisé	H	2	3 000,00		6 000,00		
	Manœuvres	H	3	2 000,00		6 000,00		
Total Déboursés			134 500,00					
$PU = K * \frac{D}{R}$			37 660,00					
Prix appliqué PU =			37 700,00					

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Composante des prix				Dépenses directes				TOTAL [AR]
Désignation		U	Qté	PU [AR]	Matériel	Main d'œuvre	Matériaux	
MATERIELS	Camion	H	1	50 000,00	50 000,00			100 000,00
	Compacteur	H	1	50 000,00	50 000,00	-	-	
MAIN D'ŒUVRE	Chef de chantier	H	1	12 500,00	-	12 500,00	-	34 500,00
	Chef d'équipe	H	1	10 000,00		10 000,00		
	Ouvrier spécialisé	H	2	3 000,00		6 000,00		
	Manœuvres	H	3	2 000,00		6 000,00		
Total Déboursés			134 500,00					
$PU = K * \frac{D}{R}$			37 660,00					
Prix appliqué PU =			37 700,00					

***Etude des ouvrages hydrauliques dans la construction de la nouvelle
autoroute VRSN***

Composante des prix				Dépenses directes				TOTAL [AR]
Désignation		U	Qté	PU [AR]	Matériel	Main d'œuvre	Matériaux	
MATERIELS	Camion	H	1	50 000,00	50 000,00			95 000,00
	Machine outils	H	1	20 000,00	40 000,00	-	-	
	Petit outillage	H	1	5 000,00	5 000,00			
MAIN D'ŒUVRE	Chef de chantier	H	1	12 500,00	-	12 500,00	-	42 500,00
	Chef d'équipe	H	1	10 000,00		20 000,00		
	Ouvrier spécialisé	H	1	3 000,00		6 000,00		
	Manœuvres	H	1	2 000,00		4 000,00		
Total Déboursés			137 500,00					
$PU = K * \frac{D}{R}$			38 500,00					
Prix appliqué PU =			38 500,00					

TABLE DES MATIERES

DECLARATION SUR L'HONNEUR	I
TENY FISAORANA	II
SOMMAIRE	III
LISTE DES TABLEAUX.....	VI
LISTE DES FIGURES.....	VII
LISTE DES ABAQUES.....	VIII
LISTE DE ABREVIATION	IX
LISTE DES UNITES	X
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE PROJET	2
I-1. Problématique	2
I-2. Objectif de l'étude	2
I-3. Situation géographique de la zone d'étude :	3
I-3-1. Relief et Hydrographie de la zone d'étude	3
I-3-2. Géologie :	5
I-4. Climatologie de la zone	6
I-4-1. Température	6
I-4-2. Pluviométrie	6
I-4-3. Humidité relative.....	7
I-4-4. Insolation	7
CHAPITRE II : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE	8
II-1. Etude hydrologique	8
II-1-1. Analyse statistique des données pluviométriques.....	8

II-1-2. Détermination des caractéristiques physiques du bassin versant.....	9
II-1-3. Détermination de la crue de projet.....	12
II-2. Etude hydraulique	12
II-2-1. Dimensionnement hydraulique des dalots	14
II-2-2. Principe de dimensionnement hydraulique des ponts.....	18
CHAPITRE III : ETUDES STRUCTURALE DES OUVRAGES	28
III-1. Dimensionnement des dalots	28
III-1-1. Logiciel utilisé et principe de fonctionnement	28
III-1-2. Hypothèses et Données de base.....	28
III-1-3. Etape de fonctionnement du logiciel	29
III-1-4. Récapitulatif des quantités des matériaux dans la réalisation des dalots :.....	33
III-2. Dimensionnement des buses	34
III-2-1. Hypothèses et données de base.....	34
III-2-2. Récapitulatif des quantités des matériaux dans la réalisation des buses	37
III-3. Dimensionnement des ponts	37
III-3-1. Hypothèses et Données de base.....	37
III-3-2. Logiciels utilisés et principes de fonctionnement.....	47
III-3-3. Récapitulatif des quantités des matériaux dans la réalisation des ponts.....	48
CHAPITRE IV : ETUDE DU COMPORTEMENT DE L'EAU EN AMONT DE LA ROUTE EN CAS DE CRUE DE 100 ANS	51
IV-1. Laminage de crue.....	51
IV-1-1. Définition.....	51
IV-1-2. Principe des méthodes de calcul du laminage de crue	52
IV-1-3. Application de la méthode de résolution	53
CHAPITRE V : EVALUATION ECONOMIQUE DU PROJET	63
V-1. Principe de sous-détail de prix	63
V-2. Détermination du coefficient de déboursés K.....	63
V-3. DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF	64

Conclusion partielle :	68
CHAPITRE VI : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET.....	69
VI-1. Procédures pour l'établissement d'une étude d'impact environnemental et social	69
VI-2. Charte de l'Environnement.....	70
VI-3. Décret MECIE	70
VI-4. Impact Environnementaux.....	71
VI-5. Mode de détermination et évaluation des impacts.....	71
VI-5-1. Evaluation de l'importance des impacts.....	72
VI-5-2. Critères d'appréciation des impacts	72
VI-5-3. Evaluation des impacts	74
CONCLUSION	83
BIBLIOGRAPHIE	84
WEBOGRAPHIE.....	84
ANNEXES	85
TABLE DES MATIERES	qq

Nom : RAKOTOVAO

Prénoms : Iangotiana Judith

Adresse : Lot III H 66 Ouest Ambohijanahary

Courriel électronique : ihantanarktv@outlook.com

Rapporteur : Mr RAKOTO DAVID Rambinintsoa



TITRE DU MEMOIRE

**« ETUDE HYDROLOGIQUE, CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT
DES OUVRAGES HYDRAULIQUES DANS LA CONSTRUCTION DE
LA NOUVELLE AUTOROUTE « VOIE RAPIDE SUD-NORD »,
PARTANT D'IVATO VERS ANTSAHABONA. »**

RESUME

Ce présent mémoire a particulièrement pour objectif l'étude des ouvrages de franchissement de la Voie « Antsahabona-Ivato » située dans le district d'Ambohidratrimo, dans la région Analamanga pour remédier les embouteillages monstres qui sont de réels handicaps.

Afin d'éviter l'inondation de la route, pour assurer la sécurité des usagers et un bon drainage des eaux pluviales. Plusieurs volets des études ont été abordés à savoir la reconnaissance de la zone d'étude, la détermination de la crue de projet et le choix des types d'ouvrage à travers une étude hydrologique et hydraulique, le dimensionnement structural des ouvrages afin de s'assurer qu'ils répondent aux normes de la conception des ouvrages hydrauliques.

Mot clé : *Climat, Bassin Versant, Hydrologie, Laminage de crue, Ouvrages de franchissement.*

ABSTRACT

This document is particularly aimed at the study crossing structure of the « Antsahabona-Ivato » in the district of Ambohidratrimo, in the region Analamanga to remedy the monstrous traffics jams.

In order to avoid the flooding of the road to ensure the safety of users and good drainage. Several aspect of the studies were addressed namely the recognition of the study area, the determination of the project flood and the selection of the types of work through a hydrological and hydraulic study, the structural sizing of the structures in order to ensure that it meets the standards of the design of hydraulic structures.

Keywords : *Climate, Watershed, Hydrology, means of flood control, crossing structures.*