

ÉTUDES ROUTIÈRES, ROUTE NATIONALE NO.1, TRONÇON ENNERY / PLAISANCE

Avant-projet final
Texte principal et annexes

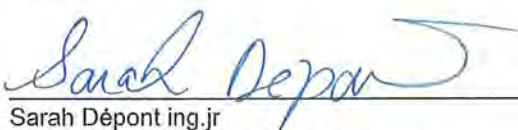
Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications



16 | 09 | 2013

CONTRAT > ORIGINAL > TEXTE PRINCIPAL
Rev. 01 > Ref. Interne 612566 > Volume 1/1

Préparé par :



Sarah Dépont ing.jr
SNC-LAVALIN, Projets internationaux
Division Transport, Infrastructures et Bâtiment

Vérifié par:



Carl Abdallah, ing.
Directeur de projet
SNC-LAVALIN,
Division Transport

Bernard Chancy, ing.
Directeur Général
Société d'Expertise et D'ingénierie LGL S.A.

Signé le 16 septembre 2013

Responsables de discipline :

Ahmed Bouayad, Ing., Spécialiste en hydrologie et hydraulique

Camil Canura, Ing., Spécialiste en structure

André Contant, Ing., Spécialiste en matériaux

Yves Descoteaux, Ing., Spécialiste en géotechnique

Evelio Ferreira, Ing., Spécialiste en géologie et géotechnique

César Moreno, Ing., Spécialiste en circulation, études de transport et sécurité routière

Hélène Dubé, Spécialiste en environnement

Christian Laliberté, Spécialiste en environnement

Carl Abdallah, Ing., Spécialiste en géométrie routière et estimation des coûts de construction

Claude Surprenant, Tech., Responsable des relevés topographiques

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1-1
1.1. Contexte.....	1-1
2. DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PROJET	2-1
2.1. Généralités.....	2-1
2.2. Description générale du tracé existant de la route	2-2
2.2.1. Tracé et courbes horizontales.....	2-2
2.2.2. Relief du terrain	2-4
2.2.3. Sécurité routière	2-5
2.2.4. Structures et ouvrages de protection des talus	2-6
2.2.5. Hydrographie.....	2-9
2.3. Étude d'une variante de tracé.....	2-10
3. NORMES ET CRITÈRES DE CONCEPTION DE LA GÉOMÉTRIE ROUTIÈRE.....	3-1
3.1. Généralités.....	3-1
3.2. Tracé en plan	3-1
3.2.1. Classification de la route.....	3-1
3.2.2. Nombre de voies et accotement	3-1
3.2.3. Vitesse de référence.....	3-1
3.2.4. Dévers et coefficient de frottement latéral.....	3-2
3.2.5. Rayon de courbure horizontale.....	3-2
3.2.6. Distance de visibilité minimale à l'arrêt	3-3
3.3. Profil en long	3-3
3.3.1. Pente longitudinale	3-3
3.3.2. Courbe verticale	3-4
3.4. Profil transversal.....	3-4
3.4.1. Plate-forme de roulement	3-4
3.4.2. Emprise	3-5
3.4.3. Classe de trafic.....	3-5
4. CONCEPTION DÉTAILLÉE DE LA ROUTE.....	4-1
4.1. Analyse du tracé.....	4-1
4.1.1. Topographie	4-1
4.1.2. Tracé et géométrie	4-3
4.2. Profil en long	4-6
4.3. Section transversale.....	4-7
4.3.1. Description	4-7
4.3.2. Dimensions principales.....	4-7
4.4. Intersections.....	4-7
4.5. Sécurité routière.....	4-8
5. ÉTUDE D'ASSAINISSEMENT ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE DRAINAGE	5-1
5.1. Introduction	5-1
5.2. Étude hydrologique	5-1
5.2.1. Description sommaire de la zone d'étude	5-1
5.2.2. Données de base	5-4

5.2.3.	Analyse statistique des données pluviométriques	5-5
5.2.4.	Détermination des courbes IDF	5-6
5.3.	Étude hydraulique et dimensionnement des ouvrages.....	5-9
5.3.1.	Ouvrages courants	5-11
5.3.2.	Dimensionnement des ouvrages courants	5-18
5.3.3.	Dimensionnement des ouvrages non courants	5-19
5.4.	Étude hydraulique de la rivière grande	5-19
5.4.1.	Introduction.....	5-19
5.4.2.	Climatologie.....	5-19
5.4.3.	Estimation des crues par simulation pluie-écoulement	5-22
5.4.4.	Estimation des niveaux d'eau au droit du pont.....	5-38
5.4.5.	Conclusion.....	5-45
6.	ÉTUDES GÉOTECHNIQUES ET GÉOLOGIQUES	6-1
6.1.	Sommaire des travaux de reconnaissance	6-1
6.2.	Géologie et géomorphologie.....	6-2
6.2.1.	Géologie.....	6-2
6.2.2.	Géomorphologie	6-2
6.3.	Sources d'emprunts en matériaux de viabilité.....	6-3
6.3.1.	Généralités	6-3
6.3.2.	Description des sources d'emprunt potentielles	6-3
6.3.3.	Essais en laboratoire sur les matériaux des sources d'emprunt.....	6-7
6.3.4.	Résultats des essais en laboratoire et discussion.....	6-8
6.4.	Investigations pour le dimensionnement de la chaussée et des talus	6-11
6.4.1.	État de dégradation de la route existante	6-11
6.4.2.	Mesures de déflexion au LWD.....	6-15
6.4.3.	Puits d'exploration	6-20
6.4.4.	Cartographie géologique	6-21
6.5.	Dimensionnement de la chaussée.....	6-29
6.6.	Inclinaison et stabilité des pentes	6-33
6.6.1.	Talus amont.....	6-33
6.6.2.	Talus aval.....	6-34
7.	ÉTUDE DE CIRCULATION	7-1
7.1.	Description et méthodologie	7-1
7.2.	Description du projet du point de vue de la circulation	7-2
7.3.	Analyse socio-économique.....	7-4
7.3.1.	Population	7-4
7.3.2.	Emploi	7-5
7.3.3.	PIB	7-5
7.4.	Caractérisation de la situation réelle.....	7-7
7.4.1.	Travail de terrain.....	7-7
7.4.2.	Offre	7-16
7.4.3.	___ Demande	7-18
7.4.4.	Modélisation des intersections.....	7-20
7.5.	Caractérisation de la situation future	7-24
7.5.1.	Définition des scénarios.....	7-24
7.5.2.	Modèle de croissance.....	7-25

7.5.3. Induction.....	7-26
7.5.4. Circulation générée et attirée par de nouveaux développements et le tourisme	7-28
7.5.5. Résultats de la modélisation.....	7-31
7.6. Étude de capacité et niveaux de service du tracé de la rn1	7-40
8. ENVIRONNEMENT ET SOCIAL.....	8-1
8.1. Activités réalisées et à venir	8-1
8.2. Mise en contexte	8-2
8.3. Sommaire des enjeux environnementaux et sociaux	8-3
9. CALCUL DES QUANTITÉS DES TRAVAUX ET ESTIMATION PRÉLIMINAIRE.....	9-1
10. EN CONCLUSION.....	10-1
11. DOCUMENTATION CONSULTÉE	11-1

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5-1 : Relevé mensuel et annuel des chutes de pluies en mm – Station de Gonaïves	5-2
Tableau 5-2 : Valeurs des précipitations journalières estimées pour la station de Plaisance.....	5-5
Tableau 5-3 : Données des principaux bassins versants	5-14
Tableau 5-4 : Coefficient de ruissellement Cp.....	5-17
Tableau 5-5 : Stations pluviométriques retenues, types de données et période d'observation	5-21
Tableau 5-6 : Caractéristiques des sous-bassins de la rivière Grande	5-24
Tableau 5-7 : Stations Ennery et Marmelade. Fréquence de la pluie maximale journalière.....	5-25
Tableau 5-8 : Pondération de chaque station.....	5-31
Tableau 5-9 : Débits estimés avec HEC-HMS.....	5-38
Tableau 5-10 : Coefficients de rugosité de Manning utilisés.....	5-40
Tableau 5-11 : Paramètres au droit du pont.....	5-40
Tableau 6-1 : Programme d'essais en laboratoire pour matériaux de viabilité.....	6-8
Tableau 6-2 : Résultats des essais en laboratoire sur matériaux de viabilité.....	6-10
Tableau 6-3 : Utilisations possibles des matériaux d'emprunt	6-11
Tableau 6-4 : État de la chaussée existante	6-14
Tableau 6-5 : Sectionnement de la RN-1 – Résultats LWD.....	6-19
Tableau 6-6 : Formation rocheuse par Pk.....	6-21
Tableau 6-7 : Sommaire des mesures et observations sur les coupes de roc.....	6-28
Tableau 6-8 : Paramètres de conception	6-30
Tableau 6-9 : Structures de chaussée requises	6-31
Tableau 6-10 : Hypothèse de calcul de déformation	6-32
Tableau 6-11 : Résultats selon la croissance de trafic	6-32
Tableau 6-12 : Structures de chaussée requises	6-33
Tableau 7-1 : Classification des véhicules	7-7
Tableau 7-2 : DJM par catégorie et tronçon comptabilisé	7-15
Tableau 7-3 : Facteurs d'ajustement des débits véhiculaire	7-19
Tableau 7-4 : DJM de la RN1 par tronçon, sens et catégorie de véhicule (2013).....	7-19
Tableau 7-5 : DJM de la RN1 pour le tronçon Ennery-Plaisance, année 2013.....	7-20
Tableau 7-6 : Pronostic de circulation. Croissances en % (PIB).....	7-25
Tableau 7-7 : Coût généralisé (\$/km) par scénario	7-27
Tableau 7-8 : Induction par scénario.....	7-27
Tableau 7-9 : DJM généré par le Parc Industriel sur la RN-1	7-29
Tableau 7-10 : DJM généré par le tourisme	7-30
Tableau 7-11 : DJM généré par scénario	7-31
Tableau 7-12 : DJM généré par Route alternative/RN-1 (scénarios 2 et 3).....	7-32
Tableau 7-13 : Niveaux de service sur la RN-1 en fonction des scénarios	7-41
Tableau 9-1 : Quantités et estimation préliminaire	9-2

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Image de la portion à l'étude de la route (RN-1).....	1-2
Figure 2-1 : Section de route avec courbes multiples – versant sud de la morne de Puilboreau – Pk 3+075	2-1
Figure 2-2 : Section de route en lacet – versant nord de la morne de Puilboreau – Pk 10+100.....	2-2
Figure 2-3 : Un camion au ralenti dans l'une des nombreuses courbes serrées de la RN-1 à l'étude	2-4
Figure 2-4 : Profil longitudinal de la route RN-1 – Tronçon Ennery - Plaisance	2-5
Figure 2-5 : Croquis de la section type du pont existant – Pk 18+350	2-7
Figure 2-6 : Culée Sud du pont au Pk 18+350	2-7

Figure 2-7 : Poutres en acier recouvertes d'un coulis de protection	2-8
Figure 2-8 : Pont de la Grande Rivière – Pk 22+050	2-8
Figure 2-9 : Localisation de la variante	2-10
Figure 2-10 : Versant du morne Puilboreau ciblé pour la variante avec tunnel	2-12
Figure 3-1 : Détail des courbes verticales	3-4
Figure 5-1 : Localisation du bassin versant sud – Pk 0+000 à Pk 9+450	5-9
Figure 5-2 : Photo d'une buse existante complètement obstruée	5-10
Figure 5-3 : Localisation du bassin versant Nord – Pk 9+450 au Pk 23+735	5-11
Figure 5-4 : Configuration type d'un bassin versant	5-13
Figure 5-5 : Départements et relief de la République d'Haïti	5-20
Figure 5-6 : Emplacement des stations pluviométriques	5-21
Figure 5-7 Bassin versant et sous-bassins de la rivière Grande	5-23
Figure 5-8 : Station Plaisance. Fréquence des précipitations journalières. Ajustement log-Pearson-3 ..	5-26
Figure 5-9 Station Ennery. Fréquence des précipitations journalières. Ajustement log-Pearson-3	5-27
Figure 5-10 Station Marmelade. Fréquence des précipitations journalières. Ajustement log-Pearson-3 ..	5-28
Figure 5-11 Station Plaisance. Courbes IDF	5-29
Figure 5-12 Station Ennery. Courbes IDF	5-30
Figure 5-13 Station Marmelade. Courbes IDF	5-30
Figure 5-14 : Hydrogramme résultant pour le sous-bassin BV1 – T = 20 ans	5-32
Figure 5-15 Hydrogramme résultant pour le sous-bassin BV2 – T = 20 ans	5-33
Figure 5-16 Hydrogramme résultant au pont – T = 20 ans	5-34
Figure 5-17 Hydrogramme résultant pour le sous-bassin BV1 – T = 100 ans	5-35
Figure 5-18 Hydrogramme résultant pour le sous-bassin BV2 – T = 100 ans	5-36
Figure 5-19 Hydrogramme résultant au pont – T = 100 ans	5-37
Figure 5-20 : Pont à l'étude sur la route RN-1	5-38
Figure 5-21 Localisation des sections utilisées pour le modèle HEC-RAS	5-39
Figure 5-22 Profil longitudinal de la rivière Grande – Crue de 20 ans	5-41
Figure 5-23 Zoom au niveau du pont – Crue de 20 ans	5-42
Figure 5-24 Profil longitudinal de la rivière Grande – Crue de 100 ans	5-43
Figure 5-25 Zoom au niveau du pont – Crue de 100 ans	5-44
Figure 6-1 : Carte géologique de la partie nord d'Haïti	6-2
Figure 6-2 : Modules résilients mesurés avec la LWD – Ensemble des résultats	6-17
Figure 6-3 : Modules résilients mesurés avec la LWD – Résultats traités	6-19
Figure 6-4 : Protection contre l'érosion du talus « côté rivière » de la route RN-1	6-35
Figure 6-5 : Mur de soutènement en maçonnerie de pierre	6-35
Figure 6-6 : Remblai compacté protégé par un parement mince en maçonnerie de pierre	6-36
Figure 7-1 : Méthodologie utilisée pour les études de circulation	7-1
Figure 7-2 : Tracé de tronçon de la RN-1 à l'étude	7-2
Figure 7-3 : Schéma des tronçons de route et des intersections	7-3
Figure 7-4 : Localisation des nœuds de comptage	7-8
Figure 7-5 : Distribution de la circulation / catégorie et tronçon de route	7-14
Figure 7-6 : Résumé des DJM obtenus / catégorie et tronçon circulation	7-14
Figure 7-7 : Localisation des ports et aéroports du pays	7-17
Figure 7-8 : Réseau routier haïtien	7-18
Figure 7-9 : Intersection 0 : RN1-R-306 – 2013	7-21
Figure 7-10 : Intersection 1 RN1-Route Marmelade – 2013	7-22

Figure 7-11 : Intersection 2 : RN1-Plaisance (R-116) - 2013.....	7-23
Figure 7-12 : Localisation de la variante au tracé actuel de la RN-1.....	7-24
Figure 7-13 : Photo du Parc Industriel de Caracol.....	7-28
Figure 7-14 : Répartition RN1/RN6	7-29
Figure 7-15 : Zones touristiques prioritaires	7-30
Figure 7-16 : Intersection 0 : RN1-R-306 – Horizon 2020	7-34
Figure 7-17 : Intersection 0 : RN1-R-306 – Horizon 2025	7-35
Figure 7-18 : Intersection 1 : RN1-Route Marmelade – Horizon 2020	7-36
Figure 7-19 : Intersection 1 : RN1-Route Marmelade – Horizon 2025	7-37
Figure 7-20 : Intersection 2 : RN1-Plaisance (R-116) – Horizon 2020.....	7-38
Figure 7-21 : Intersection 2 : RN1-Plaisance (R-116) – Horizon 2025.....	7-39

LISTE DES PHOTOS

Photo 6-1 : Exploitation en rivière des alluvions de la rivière Limbé	6-4
Photo 6-2 : Production de granulats concassés	6-4
Photo 6-3 : Rivière Ennery près de la localité d'Ennery.....	6-5
Photo 6-4 : Carrière artisanale au sud-ouest de la localité d'Ennery avec en avant plan la rivière Ennery	6-6
Photo 6-5 : Déblais de route dans le calcaire marneux lités, blanchâtre-jaunâtre.....	6-6
Photo 6-6 : Formation de calcaire karstique.....	6-7
Photo 6-7 : Faïençage à mailles fines ou peau de crocodile combiné à de la pelade.....	6-12
Photo 6-8 : Faïençage à mailles fines ou peau de crocodile	6-12
Photo 6-9 : Faïençage à mailles fines ou peau de crocodile combiné au désenrobage de l'enrobé ..	6-13
Photo 6-10 et Photo 6-11 : Équipement pour les essais de déflexion LWD.....	6-16
Photo 6-12 et Photo 6-13 : Essais LWD rejetées	6-18
Photo 6-14 et Photo 6-15 : Route RN-1 sans accotement.....	6-18
Photo 6-16 : PK 2+100 Calcaire lité au pendage favorable	6-22
Photo 6-17 : Exemple type de pendage défavorable.....	6-22
Photo 6-18 : Pk 2+200 Coupe à flanc de montagne dans le calcaire marneux lité	6-23
Photo 6-19 : Coupe de calcaire lité le long de la route – pendage subhorizontal favorable	6-23
Photo 6-20 : Calcaire karstique en aiguilles	6-24
Photo 6-21 : Pk 10+100 Calcaire karstique oxydé, grisâtre, avec une structure à blocs.....	6-25
Photo 6-22 : Pk 13+500 Calcaire karstique altéré et oxydé en surface, grisâtre à brunâtre	6-25
Photo 6-23 : Vue rapprochée du calcaire diaclasé	6-26
Photo 6-24 : Pk 16+800 Andésites avec pyroclastes	6-27
Photo 6-25 : Pyroclastes au sein de l'andésite.....	6-27

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

Dans le cadre de son programme de réhabilitation des infrastructures routières et d'intégration du territoire, le Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC) souhaite réaliser les études pour la réfection des routes primaires dans le département de l'Artibonite. En particulier, l'objet de la présente étude consiste à restaurer le tronçon de la Route Nationale No.1 (RN-1) reliant les villes d'Ennery et de Plaisance.

À travers le don 2863/GR-HA administré par la Banque Interaméricaine de Développement (BID) et par le Gouvernement haïtien (GoH), le MTPTC, par le biais de l'Unité Centrale d'Exécution (UCE), a confié au Groupement SNC-Lavalin International inc. / LGL S.A. la mission d'effectuer les études nécessaires à la réalisation du présent mandat.

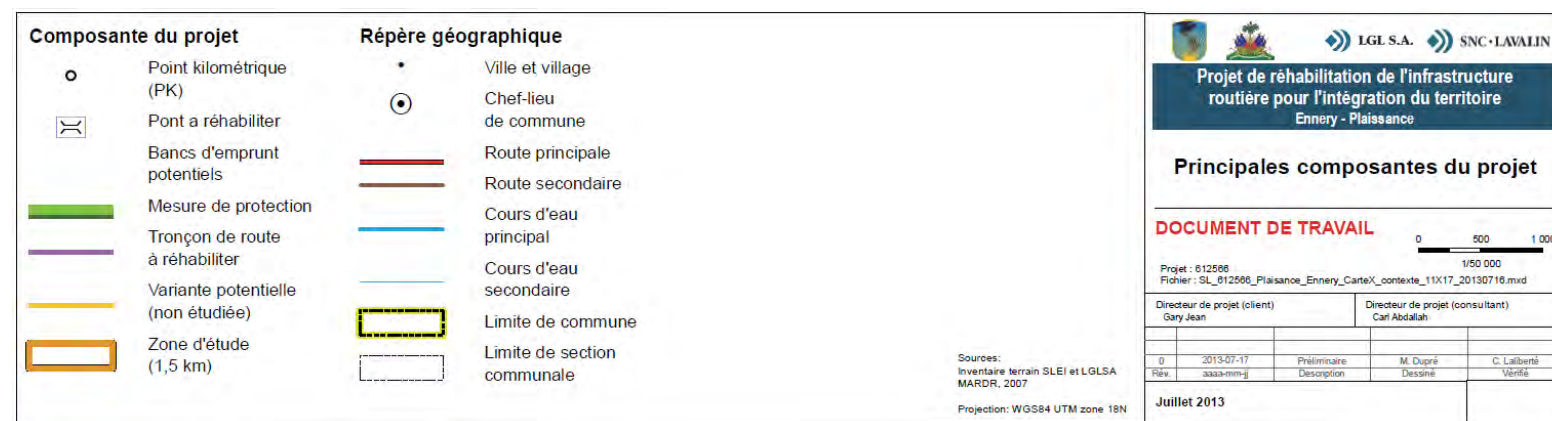
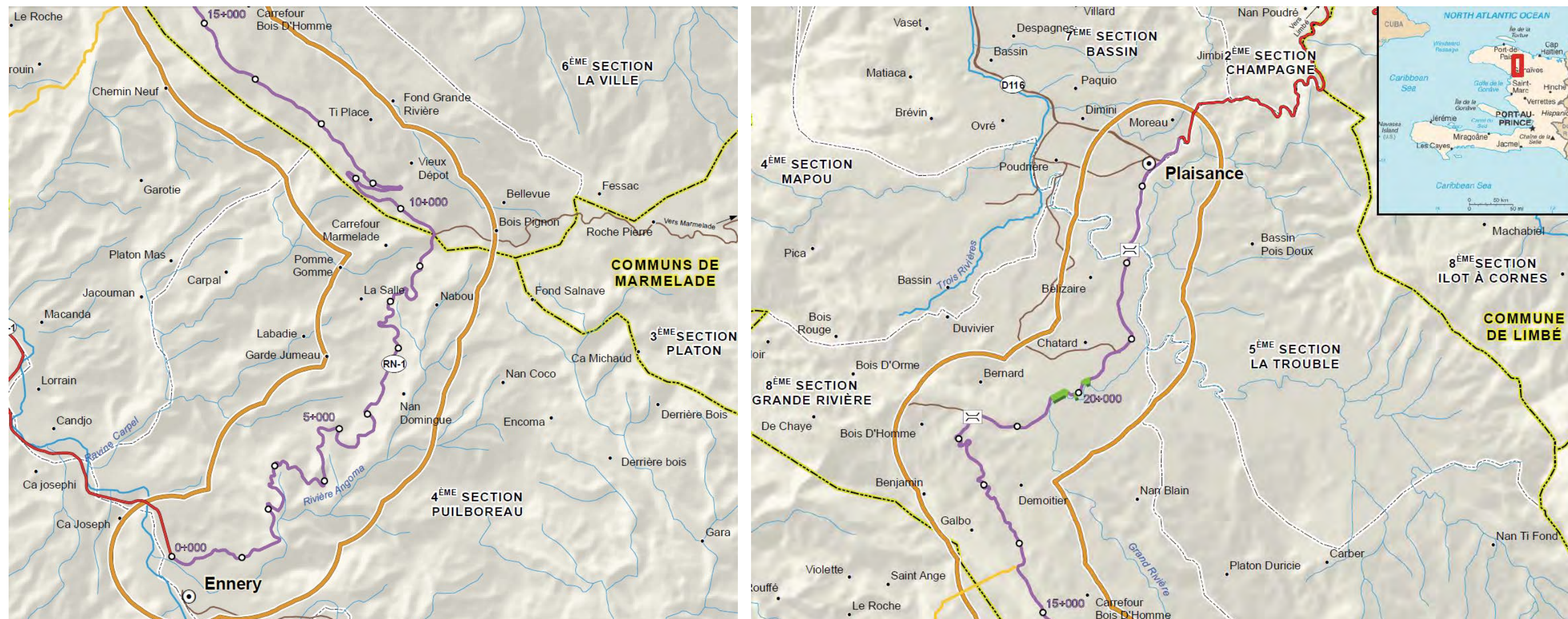
Le mandat consiste en la réalisation des prestations nécessaires aux fins d'études d'avant-projet (préliminaire et finale) et à l'élaboration du projet d'exécution de la route RN-1 reliant les villes d'Ennery et de Plaisance.

La réhabilitation de ce tronçon de la route RN-1 permettra de faciliter les déplacements entre les trois principales villes d'Haïti ; soit la capitale, Port-au-Prince ; la ville de Gonaïves, située sur la côte ouest; et la ville principale du nord du pays, Cap-Haïtien, où d'importants projets de développement générateurs d'emplois sont présentement en phase de travaux.

La réhabilitation de ce lien routier qui unit le sud au nord permettra, entre autres, d'améliorer la qualité de vie des populations locales, de faciliter le transport des marchandises produites dans la région, de favoriser le développement touristique du secteur, de générer et d'encourager l'activité économique dans la région de l'Artibonite, de diminuer les temps de transit et d'améliorer de façon significative la sécurité pour tous les usagers de ce lien routier.

Ce rapport clôt l'étape 1B du présent mandat, soit la présentation de l'étude d'avant-projet final tel que défini aux termes de référence. L'objectif de ce rapport est de présenter l'état actuel des divers éléments qui composent ce tronçon de la route RN-1 ainsi que d'exposer les premiers résultats des campagnes de reconnaissance et les différentes études spécifiques couvrant les divers champs d'investigations prévus dans le mandat.

Figure 1-1 : Image de la portion à l'étude de la route (RN-1)



2. DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PROJET

2.1. GÉNÉRALITÉS

En 2012, le groupement SNC-Lavalin / LGL S.A. a réalisé les études routières de la RN-1 pour le tronçon Gonaïves / Ennery. L'étude en cours correspond au tronçon suivant (nord) de la RN-1 entre Ennery et Plaisance. Le tronçon débute donc à l'intersection de la RN-1 avec la route d'accès à la municipalité d'Ennery (Pk 0+000) et se termine à la sortie nord de la Municipalité de Plaisance pour un linéaire total de 23,91 km –voir figure 1-1—. Il est à noter que le contexte, l'environnement et les contraintes rencontrés sur le linéaire de la route sont amplement différents par rapport aux études précédentes.

Alors que le tracé de la RN-1 entre la ville de Gonaïves et Ennery présente un dénivelé relativement faible longeant principalement la rivière d'Ennery, le tronçon Ennery / Plaisance, quant à lui, possède une dénivellation importante avec un tracé composé de multiples courbes à faible rayon et une emprise routière dangereusement étroite. Le début du tracé entreprend l'ascension du versant sud de la morne de Puilboreau sur 9,4 km pour un dénivelé total de plus de 600 m. Par la suite, le tracé entame la descente du versant nord de la morne de Puilboreau sur une distance de 9 km, caractérisée par un dénivelé total de 525 m. Ce tronçon de route est aussi composé de multiples courbes à faible rayon. Entre les Pk 10+000 et 12+000, la route effectue deux virages à 180 degrés. Ces lacets permettent d'adoucir la pente longitudinale de la route et s'adaptent bien au relief. Par contre, ce tracé sinueux augmente le linéaire total de la route et engendre des courbes très serrées –voir figure 2-2—.

Figure 2-1 : Section de route avec courbes multiples – versant sud de la morne de Puilboreau – Pk 3+075

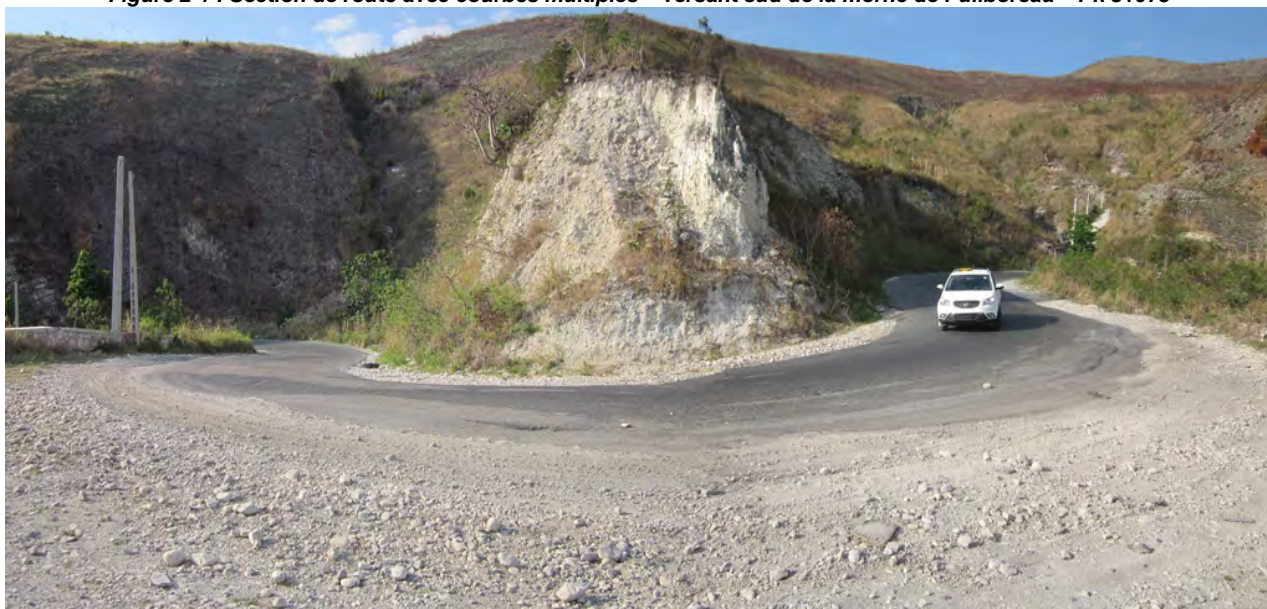


Figure 2-2 : Section de route en lacet – versant nord de la morne de Puilboreau – Pk 10+100



Le dernier tronçon de la route sillonne la vallée de la rivière de Trois-Rivières, avant d'atteindre la municipalité de Plaisance. Cette section de route est relativement plane, mais elle comporte plusieurs courbes ayant une zone en bordure de rivière où des ouvrages de protection seront à prévoir.

Au cours des différentes visites réalisées par les équipes techniques du Groupement, une multitude de données et de mesures ont été prises afin de permettre aux spécialistes de présenter des scénarios d'optimisation pour la reconstruction de la route à l'étude. Les équipes ont ensuite analysé leurs données de terrain et leurs résultats et recommandations sont présentés dans ce rapport.

2.2. DESCRIPTION GÉNÉRALE DU TRACÉ EXISTANT DE LA ROUTE

Le tracé à l'étude débute à l'intersection de la RN-1 avec la route d'accès à la municipalité d'Ennery et se termine à la sortie nord de la ville de Plaisance, pour un linéaire total de 23,91 km. Afin de réduire de façon considérable les impacts négatifs de la construction d'un nouveau lien routier sur le milieu naturel, et dans le but de limiter les coûts de construction, d'acquisition des emprises et d'expropriations, l'utilisation de la route existante a été fortement priorisée. Il fut cependant nécessaire d'améliorer certaines courbes et pentes existantes. Le tracé actuel sera ainsi réutilisé lorsque praticable.

2.2.1. Tracé et courbes horizontales

Afin de mettre en évidence la complexité de la section de la RN-1 à l'étude, une caractérisation du tracé de la route existante a été établie. Ainsi, à l'aide d'un relevé topographique de détails, et à la suite de visites sur le terrain, les divers éléments qui composent le tracé de la route ont été comptabilisés -chaînages, longueurs/rayon de courbe, accotements, etc. —. Les largeurs des voies et d'accotements

ont aussi été relevées, de même que la longueur des glissières, gabions et murs de soutènement, le cas échéant. Le tableau complet est présenté à l'Annexe B du présent rapport.

Comme mentionné auparavant, le tronçon à l'étude a été divisé en trois sections distinctes; soit du Pk 0+000 au Pk 9+450 (Morne de Puilboreau), du Pk 9+450 au Pk 18+355 et du Pk 18+355 au Pk 23+735. Le tableau récapitulatif suivant est un résumé du nombre de courbes par section de route, présenté en fonction de leur rayon et de la vitesse de base souhaitable en conception.

Tableau 2-1 : Caractérisation des courbes de la route existante

	Rayon	Vitesse de conception	Nombre de courbes	Tracé
Tronçon 1 0+000 à 9+450	R < 20m	V < 30km/h	20	Sinueux en montagne
	20m < R < 55m	30km/h < V < 40km/h	54	
	55m < R < 90m	40km/h < V < 50km/h	29	
	R > 90m	V > 50 km/h	23	
	<i>Total</i>		126	
Tronçon 2 9+450 à 18+355	R < 20m	V < 30km/h	8	Sinueux en montagne
	20m < R < 55m	30km/h < V < 40km/h	35	
	55m < R < 90m	40km/h < V < 50km/h	31	
	R > 90m	V > 50 km/h	48	
	<i>Total</i>		122	
Tronçon 3 18+355 à 23+735	R < 20m	V < 30km/h	1	Sinueux en vallée
	20m < R < 55m	30km/h < V < 40km/h	4	
	55m < R < 90m	40km/h < V < 50km/h	16	
	R > 90m	V > 50 km/h	27	
	<i>Total</i>		48	

Ce tableau nous permet de constater que la majorité des courbes du tronçon 1 de la RN-1 à l'étude sont assez serrées; 74 des 126 courbes requérant une vitesse de base de moins de 40 km/h. Ces courbes sont réparties aléatoirement sur les 9,45 premiers km. Ce tronçon possède en moyenne une courbe à tous les 75 m, ce qui provoque une traverse inconfortable et hasardeuse pour les usagers.

Le tronçon 2, avec ses 122 courbes réparties sur 9 km –1 courbe tous les 74 mètres—, présente un scénario similaire au tronçon 1. Il y a donc 43 des 122 courbes qui possèdent une vitesse de base souhaitable de moins de 40 km/h. Les courbes les plus serrées –huit— se retrouvent sur deux zones : le secteur de l'épingle et les derniers kilomètres du tronçon. Cette section de la RN-1 présente une traverse aussi inconfortable et hasardeuse que la première. Cependant, certaines zones sont caractérisées par des plateaux d'alignement vertical qui permettent une conduite un peu plus douce.

Finalement, la section 3, qui sillonne la vallée de la Grande rivière, possède 48 courbes, dont 5 avec une vitesse de base souhaitable de moins de 40 km/h, réparties sur les 5,5 derniers kilomètres du projet – une courbe à tous les 112 mètres—.

Sur l'ensemble de la portion de la RN-1 à l'étude, le nombre total de courbes s'élève à 296, dont 112 d'entre elles sont considérées étroites pour une route dite Nationale. Les courbes sont très hétérogènes en ce qui concerne les rayons tout le long du tracé. Dans plusieurs cas, la largeur des accotements n'est pas suffisante. Il est donc impératif, dans le cadre de la présente étude, d'éliminer ou d'agrandir les rayons de certaines courbes pour assurer la sécurité des usagers de la route. Ceci permettra aussi de réduire les temps de transport en améliorant la facilité des mouvements au travers du trajet.

Figure 2-3 : Un camion au ralenti dans l'une des nombreuses courbes serrées de la RN-1 à l'étude



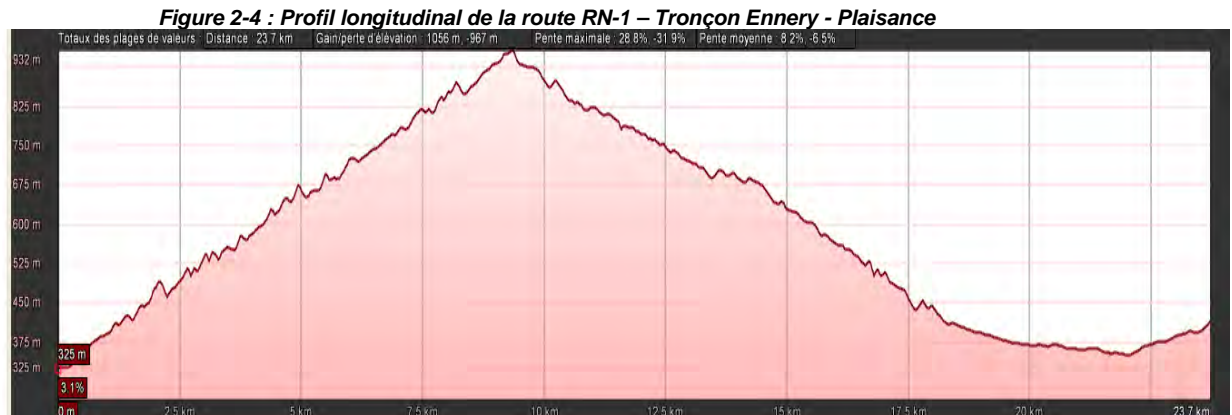
2.2.2. Relief du terrain

La topographie qui caractérise les 9,4 premiers kilomètres du tracé correspond à une longue ascension très régulière à flanc de montagne –pente de 6,4 % en moyenne—, dont le dénivelé total dépasse les 600 m. Cette longue ascension se termine au point culminant de la morne de Puilboreau à 930 m d'altitude. La route amorce ensuite une descente de 9 km sur le versant nord de cette petite chaîne de montagnes –pente de 5,8 % en moyenne—. Ces 18 premiers kilomètres sont très accidentés.

En plus du dénivelé important, le tracé est composé d'un nombre élevé de courbes successives à faibles rayons. La plate-forme de la route a été construite en flanc de montagne et les pentes transversales au tracé sont relativement abruptes. Dans certains secteurs, des éboulements de pierres provenant des mornes en amont et des affaissements en aval affectent négativement la plateforme de la route. Cette situation représente donc un danger pour tous les usagers de la route.

Sur le dernier tronçon, la route conserve un relief relativement plat et sillonne la vallée souvent au bas ou sur le flanc des mornes. En général, il n'y a pas de problème majeur au niveau du profil en long et

des courbes verticales de la route existante. Les courbes seront revues et normalisées non seulement sur cette section du tracé, mais aussi sur la totalité du projet.



2.2.3. Sécurité routière

Le tronçon de la RN-1 à l'étude présente des déficiences majeures en ce qui concerne la sécurité routière. Cependant, aucun historique d'accidents n'est disponible. Normalement, ce type d'historique permet d'identifier rapidement les nœuds problématiques sur un tronçon routier donné, ces derniers pouvant ensuite faire l'objet d'une analyse et de travaux de correction.

En termes de sécurité routière, les enjeux suivants ont été observés :

1. Enjeux existants de la route RN-1 entre Ennery et Plaisance :

- a. Trajet sinueux en zone montagneuse : Le trajet comporte de nombreuses courbes à faible rayon dont la visibilité est obstruée en périphérie par des talus montagneux. Ceci engendre un danger potentiel de sortie de route ou de collision.
- b. Largeur de chaussée transversale variable : Tout au long du trajet, la chaussée présente parfois des variations de largeur qui ne sont pas suffisantes selon les normes en vigueur de l'AASHTO. Néanmoins les largeurs insuffisantes, de telles variations sur un aussi long trajet provoquent un inconfort et une instabilité de conduite pour les usagers. Ceci se traduit parfois en réduction et accélération de vitesse inconstante qui pourraient provoquer un incident.
- c. Profil vertical montagneux : Les pentes verticales abruptes affectent la visibilité des usagers et sont, par conséquent, un danger potentiel dû à la présence de véhicules lourds ou en mauvais état. Leur accélération soudaine ou décélération progressive pourrait affecter la circulation régulière.
- d. Insuffisance ou absence d'accotement : Les accotements sur une telle route sont nécessaires pour permettre l'arrêt de véhicules en mode d'urgence ou pour allouer une certaine distance de sécurité pour les piétons. Ceci permet donc de conserver la circulation dans les deux directions en

cas d'entrave par un véhicule en panne. L'absence d'un accotement adéquat pourrait donc affecter le trafic directionnel et provoquer des collisions.

e. Insuffisance ou absence d'abords de routes de sécurité : Selon l'état du terrain adjacent ou la présence d'obstruction, des glissières de sécurité sont parfois requises. L'absence d'abords de sécurité pourrait engendrer une sortie de route où l'utilisateur ne pourrait pas regagner son trajet. L'utilisateur est aussi à risque d'entrer en collision avec des obstacles en périphérie.

f. Talus rocheux abrupt avec risque d'éboulement : La présence de ces talus est un danger direct pour tous les usagers de la route.

g. Dévers et transition de dévers en courbe absent ou insuffisant : La transition transversale des dévers est nécessaire pour assurer le confort des usagers au travers des courbes horizontales en conservant une vitesse constante. L'absence de dévers peut parfois provoquer une sortie de route sur les trajets à haute vitesse ou lorsque la chaussée est glissante.

h. Absence de marquage et signalisation : Il est nécessaire d'informer les usagers des caractéristiques inhérentes de la chaussée en amont de leurs occurrences. L'absence de marquage et signalisation ne permet donc pas aux usagers d'anticiper les changements nécessaires à leur mode de conduite.

i. Absence de sortie de route ou de zone d'attente pour véhicules lourds : Tout comme les accotements, ces zones sont nécessaires pour empêcher l'entrave des voies et permettre un espace de secours.

Compte tenu de ces enjeux, des travaux correctifs sont suggérés et présentés dans la section 4.4 de ce rapport.

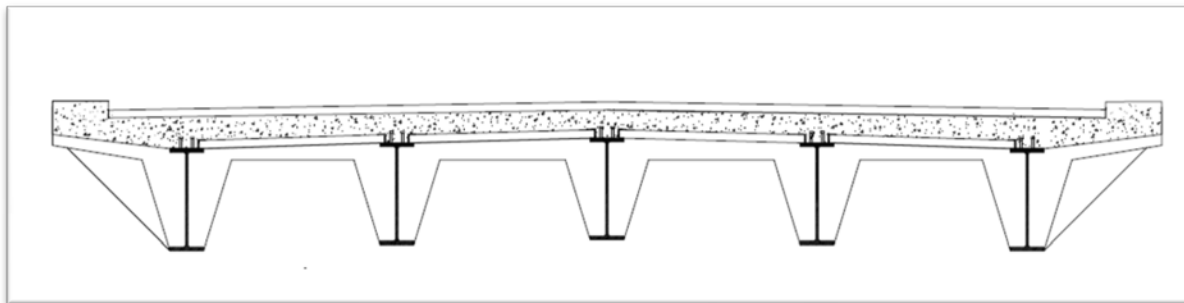
2.2.4. Structures et ouvrages de protection des talus

Seulement deux structures –ponts— se retrouvent sur la portion à l'étude de la RN-1 ; soit le pont à proximité de la petite communauté de Bois d'Ormes, au Pk 18+350, et le pont de la Grande Rivière, au Pk 22+050. Les deux ponts ont fait l'objet d'une inspection visuelle par un spécialiste en structure du Groupement. Les observations et les recommandations à la suite de cette visite sont décrites aux paragraphes suivants.

2.2.4.1. Pont près de la communauté de Bois d'Ormes (Pk 18+350)

Le pont est situé à l'intérieur d'une courbe relativement serrée et étroite suivant la fin de la longue descente de la morne de Puilboreau. Il est composé d'une structure métallique avec un tablier et des culées en béton armé. Les poutres métalliques, de 12 m de portée, sont des profilés en acier recouvert d'un coulis de béton. Ce coulis semble avoir été ajouté au cours de travaux de réhabilitation afin de protéger l'acier contre la corrosion.

Figure 2-5 : Croquis de la section type du pont existant – Pk 18+350



Malheureusement, le MTPTC ne dispose ni des plans ni des spécifications ou dates des travaux de construction et de réhabilitation. Il est donc impossible de connaître le type de fondation mise en place, ou de savoir si des pieux ont été employés à l'époque. Il est aussi impossible d'identifier les normes sismiques et critères de conception qui ont été utilisés dans la conception de ce pont.

Le pont présente un état de détérioration relativement avancé :

- Le coulis qui recouvre les poutres en acier se désagrège petit à petit ;
- La culée sud est fissurée sur toute sa hauteur ;
- Il y a de l'affouillement au niveau des fondations du pont.

En ce qui concerne le tablier et la surface de roulement, des réparations seront nécessaires au niveau du tablier et un resurfacement complet est à prévoir. Cependant, il est important de considérer que le pont est relativement étroit –2 voies de 3 m avec des accotements de 0,5 m sans trottoir et garde-corps— avant de prévoir des réparations au détriment d'une reconstruction complète.

Figure 2-6 : Culée Sud du pont au Pk 18+350



Figure 2-7 : Poutres en acier recouvertes d'un coulis de protection



Les études hydrauliques ont aussi validé les besoins en capacité hydraulique de l'ouvrage. Sachant que le bassin versant n'est pas particulièrement grand, le pont pourra vraisemblablement être remplacé par une série de dalots.

Les travaux se résumeront donc ainsi :

- Démolition de la structure en conservant les murs d'aires;
- Reconstruction du pont avec dalots incluant extension pour trottoir et main courante;
- Installation de mains courantes métalliques encastrées au béton;
- Installation de regards au bas du profil pour drainage pluvial.
-

2.2.4.2. Pont de la Grande Rivière (Pk 22+050)

Le pont actuel de la Grande Rivière a été construit entièrement en béton armé –culées, pilier central, poutres et tablier—. Il est composé de deux sections de 16 m avec un pilier central construit dans le lit de la rivière. Visuellement, le pont est relativement en bon état. On peut observer que des travaux de réhabilitation ont déjà été réalisés par le passé, puisque les fissures, surtout au niveau des poutres, ont été colmatées à l'aide d'un matériau à base d'époxy.

Figure 2-8 : Pont de la Grande Rivière – Pk 22+050



Tout comme la structure du pont précédant, il semble qu'aucun document de référence, plans, spécifications ou tel que construits soit disponible. Il est impossible encore une fois de connaître le type de fondation, la norme sismique et les critères de conception qui ont été utilisés dans la conception de ce pont. Des études hydrologique et hydraulique ont validé la capacité hydraulique actuelle du pont. Suite aux commentaires et recommandations du MTPTC, des travaux de réhabilitation seront proposés. L'installation d'un pont piétonnier métallique sur la structure adjacent au pont sera aussi prévue. Il est à noter que les résultats de l'étude Hydrologique ont été considérés mais qu'une réhabilitation a été favorisé due au bon état de la structure actuelle. Les deux ponts ne seront donc pas rehaussés.

Les travaux se résumeront donc ainsi :

Pont de la Grande Rivière :

- Démolition de la main courante et démolition du béton recouvrant les services d'eau;
- Protection des services et ajout de collet métallique;
- Scarification de la chaussée par planage;
- Resurfaçage bitumineux;
- Installation de nouvelles main courante sur les deux côté avec boulons ancrés;
- Ajout de regards pluviaux en bas de profil;
- Nettoyage à pression du béton et réparation des fissures par époxy ou mortier selon le cas.

Pont piétonnier de la Grande Rivière :

- Démolition du tablier corrodé en tôle et des profilés métalliques;
- Nettoyage à pression du béton et réparation des fissures par époxy ou mortier selon le cas;
- Installation d'un tablier métallique sur 2m de largeur avec mains courantes boulonnées et ancrées;
- Aménagement des accès piétonnier en gravier.

2.2.4.3. Protection aval des talus

La protection aval des talus est présentement assurée par l'installation de micro-barrages aux endroits critiques ainsi que la végétation. Aux croisements de la route avec des ravines, les talus sont protégés par l'installation de décharge et descente d'eau construite en béton. Les travaux devront donc reprendre c'est installations lorsque perturbées.

2.2.5. Hydrographie

Le tronçon à l'étude de la RN-1 est caractérisé par trois secteurs distincts au point de vue de l'hydrographie.

Le premier secteur est compris entre les Pk 0+000 et Pk 9+400, soit entre le point de départ du projet, à l'intersection d'Ennery avec la RN-1, et l'intersection avec la route de Marmelade au point culminant de la morne de Puilboreau. L'hydrographie de la zone est caractérisée par des eaux qui coulent des Mornes Terre Grainnin et Couleuvre à l'ouest vers la RN-1. Dans la dernière portion de ce secteur, les eaux coulent de la Morne Terre Rouge à l'est vers la RN-1 et les ravines situées à l'ouest.

Dans la deuxième section du tracé, Pk 9+400 à 18+350, l'eau provient exclusivement du Morne de Puilboreau, situé au sud-ouest de la route RN-1. La route descend graduellement du morne sur son flanc nord-est et croise à 90 degrés tous les petits cours d'eau et ravines. Ceux-ci s'écoulent donc naturellement vers la vallée de la Grande Rivière.

La troisième et dernière section de la route à l'étude est située dans la vallée de la Grande Rivière où l'écoulement se fait naturellement du nord-ouest vers le sud-est en direction du lit de la rivière qui traverse le secteur. À l'approche du pont de la Grande Rivière, qui s'écoule de l'est vers l'ouest, l'écoulement naturel est parallèle à la RN-1. Il n'y a donc pas d'ouvrage courant sur cette portion vu la proximité de la Grande Rivière.

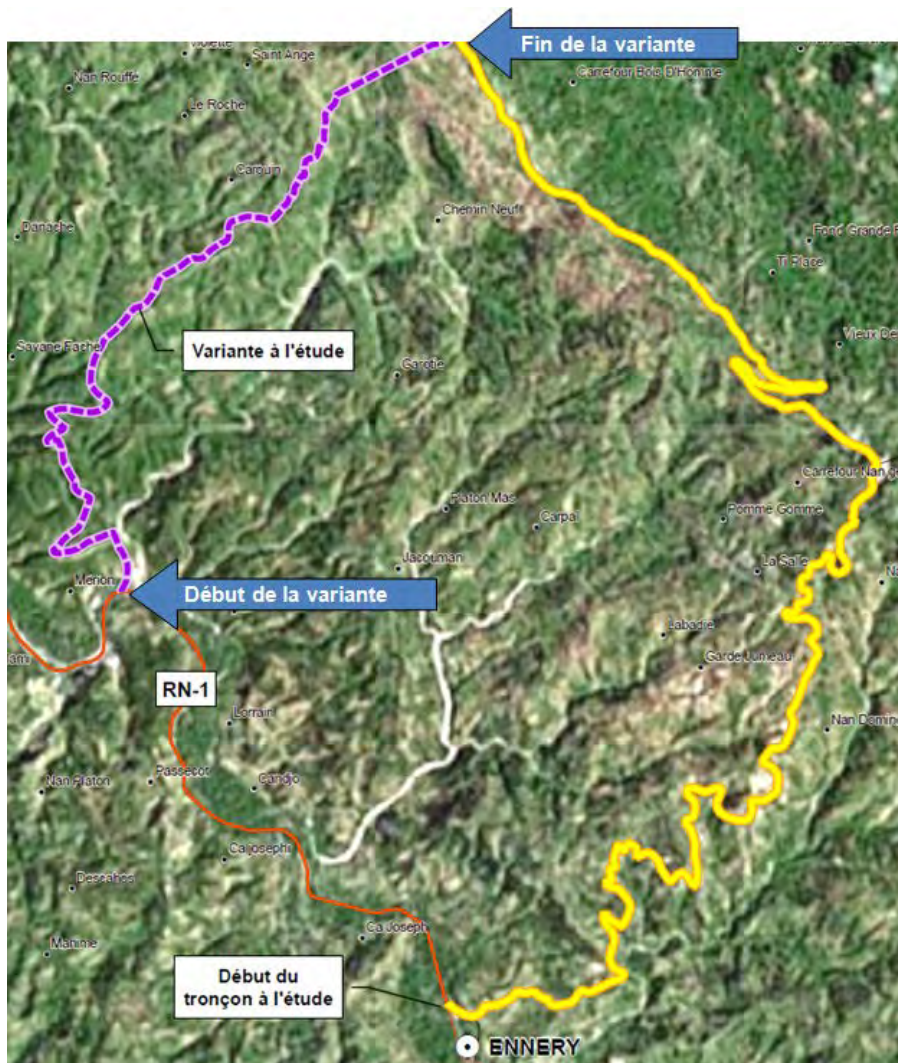
Une étude de drainage a été réalisée afin de revoir les ouvrages existants et valider leur dimensionnement et localisation. Cette étude permet donc de confirmer les ouvrages courants et les ouvrages de protection qui feront partie du projet de reconstruction. .

2.3. ÉTUDE D'UNE VARIANTE DE TRACÉ

Dans le cadre du mandat et tel que spécifié aux termes de référence, les spécialistes du Groupement SNC-Lavalin / LGL S.A. ont identifié une variante au tracé actuel qui permettrait de réduire de façon considérable la longueur, le nombre de courbes et le dénivelé de la portion de la RN-1 à l'étude. Cette variante a fait l'objet d'une étude de description et d'une évaluation préliminaire dans le cadre de ce mandat. Par contre, vu l'importance et la complexité des travaux à réaliser pour valider la faisabilité de cette variante, des études plus spécifiques seront requises. Celles-ci permettront de dériver des recommandations pertinentes sur cette option du tracé. Il faut cependant considérer que peu importe la variante, le tracé actuel doit être obligatoirement réhabilité et reconstruit afin de conserver l'accès vers le centre du pays à partir de l'intersection de Marmelade. Cette route relie la côte ouest au centre du pays et permet aux petits producteurs de cette région d'atteindre facilement des villes importantes pour vendre leurs produits. Un plan de localisation du tracé actuel et de la variante ainsi que l'atlas du tracé actuel sont présentés à l'Annexe A du présent rapport.

Principalement, le début de la variante est situé à une distance de 21,5 km de la ville de Gonaïves et à une distance de 6,8 km du début de la portion de la RN-1 à l'étude. La connexion à la RN-1 se fait au chaînage 15+675 ; soit à 7,6 km de Plaisance (voir la figure suivante).

Figure 2-9 : Localisation de la variante



L'atlas de cette variante est présenté à l'Annexe C du présent rapport.

Le tracé préliminaire de cette variante possède un linéaire total de 7,3 km versus les quelque 22,8 km si l'on utilise le parcours actuel de la RN-1. Cette variante est très intéressante comme alternative de tracé et devrait être envisagée dans le futur par les autorités haïtiennes, car elle réduira de façon substantielle le temps de transit entre le nord, l'ouest et le sud du pays.

Les principaux avantages de cette alternative sont :

- Diminution du linéaire de la RN-1 ;
- Évite une portion de la RN-1 problématique, car elle possède plus de 15 km de route de montagne, plus de 240 courbes et un dénivelé de 600 m ;
- Route avec peu de courbes et de dénivelés dont la conception est plus standard sans dérogation à la norme de conception routière ;

- Sécurité accrue pour tous les usagers de la route ;
- Réduction du coût de transports pour les marchands ;
- Réduction de l'émission de polluants par les véhicules ;
- Route alternative dans le cas d'une fermeture de la RN-1 actuelle.

Les principaux désavantages sont :

- La variante nécessite la construction d'un pont sur la rivière Ennery ;
- La variante nécessite la construction d'un tunnel de 800 m ;
- Une phase d'analyse et d'investigations géotechniques poussées est nécessaire afin de valider la faisabilité du projet (pont et tunnel);
- Une phase de conception détaillée est à prévoir. Comme cela prendra au minimum un an, la variante ne peut pas être construite dans l'immédiat ;
- Acquisition d'emprise à prévoir ;
- Comme il s'agit d'un nouveau corridor, les impacts sur l'environnement sont plus importants.

Figure 2-10 : Versant du morne Puilboreau ciblé pour la variante avec tunnel



3. NORMES ET CRITÈRES DE CONCEPTION DE LA GÉOMÉTRIE ROUTIÈRE

3.1. GÉNÉRALITÉS

Les critères de conception utilisés pour réaliser la géométrie routière du tracé proposé sont basés principalement sur les principes énoncés dans le document « *A Policy on Geometric Design of Roads and Streets* » de l'AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) et la norme de conception routière tome I, du Ministère des Transports du Québec.

Par contre, étant donné le relief accidenté et le très grand nombre de courbes existantes sur le tronçon à l'étude, certains éléments ont été adaptés afin de minimiser les changements à apporter au tracé existant. Ceci permet donc de réduire l'ampleur des travaux à réaliser sans compromettre la sécurité des usagers de la route.

3.2. TRACÉ EN PLAN

3.2.1. Classification de la route

Le tronçon de la route RN-1 qui relie les municipalités d'Ennery et de Plaisance fait partie du réseau routier national haïtien. Il est codifié et numéroté comme étant la Route Nationale No 1 (RN-1).

Cette route constitue actuellement le seul lien carrossable reliant la capitale, Port-au-Prince, aux villes de la côte ouest et du nord du pays. Les premiers 132 km de la RN-1 entre la sortie nord de Port-au-Prince et la ville de Gonaïves ont été réhabilités durant les dernières années et présentent une surface de roulement qui est actuellement en très bon état. La deuxième section de la RN-1 (99 km), entre la Ville de Gonaïves et la ville de Cap-Haïtien, est quant à elle, en très mauvais état, particulièrement la section Gonaïves – Ennery, où des travaux de reconstruction sont bientôt prévus.

3.2.2. Nombre de voies et accotement

En fonction des conditions actuelles de la région et en faisant des hypothèses de projection de circulation à moyen terme, il est justifiable de prévoir qu'une seule voie de circulation par direction. Comme le recommande la norme de conception routière, la route sera constituée d'une chaussée de 7 m de large avec des accotements de chaque côté de 2,5 m lorsque possible.

3.2.3. Vitesse de référence

La vitesse de base (vitesse de conception) proposée et recommandée dans la norme est définie en fonction de la classification fonctionnelle de la route, du milieu dans lequel elle transige et en fonction des données sur la circulation. Dans le cas de la route Ennery - Plaisance, les vitesses (conception et affichée) sont définies par les contraintes de terrain. Ceci est dû au fait que la route traverse les mornes de Grainnin, Couleuvre et Terre Rouge, et longe les mornes de Puilboreau et de Laroche. Cette portion de la route RN-1 possède un dénivelé important en plus des nombreuses courbes dont certaines sont très restreintes. Normalement, pour une route nationale en Haïti, une vitesse affichée de 80 km/h en milieu rural est recommandée. En raison du relief qui limite les possibilités au niveau du tracé, et afin de maintenir des coûts de construction acceptables, une vitesse de conception adaptée devra être employée pour les conditions de la route à l'étude.

Milieu urbain (Plaisance)

(Vitesse affichée (50 km/h) = Vitesse de base (60 km/h) – 10 km/h)

Milieu rural

(Vitesse affichée (50 km/h) = Vitesse de base (60 km/h) – 10 km/h)

Milieu rural (zone avec restriction)

(Vitesse affichée (20 km/h) = Vitesse de base (30 km/h) – 10 km/h)

3.2.4. Dévers et coefficient de frottement latéral

Le rayon de courbure minimum est basé sur un taux de dévers maximum à utiliser. Il est déterminé en tenant compte de l'adhérence des pneus sur la chaussée. Il est donc pertinent de prendre en considération le coefficient de frottement latéral qui varie en fonction de la vitesse de base.

Milieu urbain et rural

Vitesse de base : 60 km/h

Taux de dévers maximum proposé : 0.08 (8%)

Coefficient de frottement : 0.18

Milieu urbain (zone avec restriction)

Vitesse de base : 30 km/h

Taux de dévers maximum proposé : 0.08 (8%)

Coefficient de frottement : 0.31

3.2.5. Rayon de courbure horizontale

Le rayon minimum de courbe en plan est calculé à partir de la vitesse de base et des valeurs maximales de dévers et de friction latérale.

Le rayon de courbure minimum est tiré de la formule suivante :

$$R = V^2 / 127 (e + f) \quad \text{où} \quad \begin{array}{l} R = \text{rayon de courbure (m)} \\ V = \text{vitesse de base (km/h)} \\ e = \text{dévers (m/m)} \\ f = \text{coefficient de frottement} \end{array}$$

D'après les valeurs maximales de dévers et de friction latérale proposées dans les paragraphes précédents, les rayons de courbures minimales à utiliser sont :

Milieu urbain et rural (Vitesse de base : 60 km/h)

Rayon minimal (R_m) = 130 mètres

Rayon minimal sans devers (R_{sd}) = 1500 mètres et plus

Milieu rural, secteur problématique (Vitesse de base : 30 km/h)

Rayon minimal (R_m) = 20 mètres

3.2.6. Distance de visibilité minimale à l'arrêt

La distance de visibilité d'arrêt est la distance nécessaire au conducteur d'un véhicule roulant à une vitesse donnée pour arrêter son véhicule après avoir aperçu un objet sur la chaussée. Elle comprend la distance parcourue pendant les temps de perception et de réaction ainsi que la distance de freinage.

La norme exige des distances de visibilité qui tiennent compte des conditions défavorables fréquentes, comme l'état mouillé de la chaussée.

La distance de visibilité d'arrêt aux fins de conception (sans l'effet de la déclivité) est :

Milieu urbain et rural

Pour une vitesse de base de 60 km/h :

Réaction de freinage : 2.5 secondes = distance de 41.7 m

Coefficient de frottement longitudinal : 0.34 = distance de 41.6 m

Distance minimale de visibilité d'arrêt (calculé) = distance de 83.5 m

Distance minimale de visibilité d'arrêt (conception) = **distance de 85m**

Milieu rural (zone avec restriction)

Pour une vitesse de base de 30 km/h :

Réaction de freinage : 2.5 secondes = distance de 20.83 m

Coefficient de frottement longitudinal : 0.41 = distance de 8.64 m

Distance minimale de visibilité d'arrêt (calculé) = distance de 29.47 m

Distance minimale de visibilité d'arrêt (conception) = **distance de 30 m**

3.3. PROFIL EN LONG

3.3.1. Pente longitudinale

Les pourcentages de pentes longitudinales proposées dans le présent projet sont définis en fonction de la classification de la route comme le spécifie la norme de conception routière:

Pente minimale souhaitable: 0.5%

Pente minimale : 0.1 %

Pente maximale souhaitable : 4%

Pente maximale : 7%

La pente ascendante actuelle sur la portion de route, Ennery – Puilboreau, varie entre 6% et 11%. Au moment de la conception, une attention particulière a été portée aux sections problématiques afin de respecter les recommandations en matière de conception routière, lorsque possible.

3.3.2. Courbe verticale

Les paramètres des courbes verticales à utiliser doivent respecter les valeurs limites suivantes. Ils sont déterminés en fonction de la vitesse de base proposée.

Milieu urbain et rural (Vitesse de base : 60 km/h)

Courbes saillantes (convexes) : K (minimal) : 13

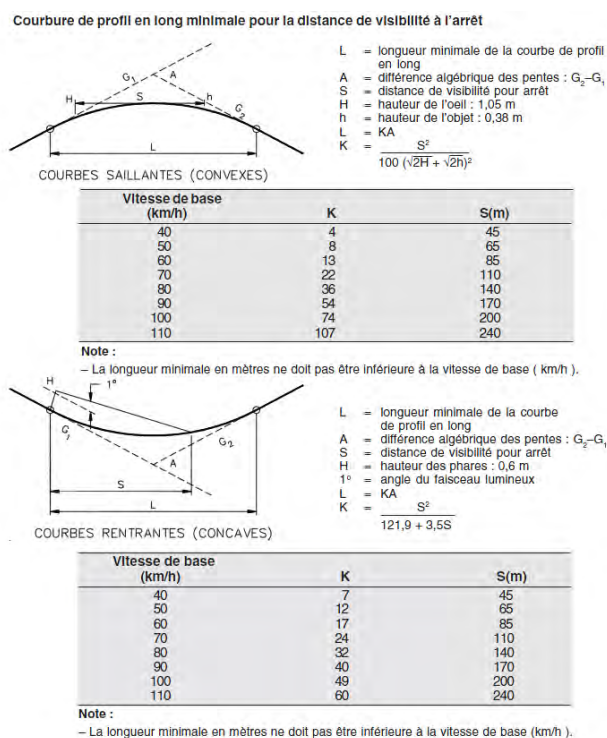
Courbes rentrantes (concaves) : K (minimal) : 17

Milieu rural (zone avec restriction) (Vitesse de base : 30 km/h)

Courbes saillantes (convexes) : K (minimal) : 2

Courbes rentrantes (concaves) : K (minimal) : 4

Figure 3-1 : Détail des courbes verticales
 (Référence: Norme de conception routière Tome I du Ministère des Transports du Québec)



3.4. PROFIL TRANSVERSAL

3.4.1. Plate-forme de roulement

Les dimensions proposées de la plate-forme de roulement correspondent à une version ajustée d'une section type pour une route de classification Route Nationale. La section type pour le secteur montagneux est adaptée à plusieurs endroits afin de réduire les besoins en emprise. Ces ajustements vont permettre de diminuer les volumes d'excavation de masse en amont et la construction de murs d'étalement de la plate-forme. Ainsi, il sera possible de maintenir les coûts de construction du projet à un niveau raisonnable.

Section type (standard)

Voie de circulation : 1 voie par direction de 3.5 m
 Accotement : 2 accotements de 2.0 m (1 mètre pavé)
 Zone urbaine, ajout de trottoir : 1.5 m
 Zone rurale, arrondie : 0.3 m

Section type adaptée (zone en montagne)

Voie de circulation : 1 voie par direction de 3.5 m
 Accotement : 2 accotements de 1.0 à 1.5 m
 Arrondi : 0.3 m

Section type urbaine

Voie de circulation : 1 voie par direction de 3.5 m
 Accotement : 2 accotements de 1.0 à 1.5 m
 Caniveau en bordure : 0.6 m
 Trottoir : 1.5 m

Les plans détaillés des sections types sont présentés dans le cahier de dessins de l'Annexe E du présent rapport. Ces sections types sont conformes aux normes de conception routière établies pour la réalisation de cette étude.

3.4.2. Emprise

Étant donné que le tracé emprunte en presque totalité le linéaire de la route existante, les acquisitions de terrains nécessaires à la construction de la route à l'étude vont se limiter à :

- l'achat de terrains pour l'élargissement de l'emprise existante ;
- l'achat de terrains aux approches de certains ouvrages de drainage;
- l'achat de terrains pour la normalisation de certaines courbes ;
- l'achat de terrain pour la construction de certains exutoires afin d'évacuer l'eau vers des ravines et fossés existants.

L'emprise nécessaire pour l'ensemble du projet est illustrée dans le cahier de dessin de l'Annexe E.

3.4.3. Classe de trafic

Le volume de trafic est défini par le Débit Journalier Moyen (DJM) pour une durée de vie de conception de la route de l'ordre de 15 ans. Le DJM (projection 15 ans) qui représente un volume de circulation entre 6 000 et 12 000 véhicules par jour (classe de trafic T5) a été utilisé dans les calculs de dimensionnement de la structure du corps de chaussée de la route. Le détail sur la réalisation des études de circulation est présenté au chapitre 7 du présent rapport.

4. CONCEPTION DÉTAILLÉE DE LA ROUTE

Cette section présente les éléments qui font partie de la conception détaillée de la route. Il sera nécessaire de prendre en considération l'impact social et environnemental du projet pour raffiner le produit final. Une version optimisée sera donc émise avec les documents du projet d'exécution.

4.1. ANALYSE DU TRACÉ

4.1.1. Topographie

Le long de la RN-1, aucun repère géodésique existant n'a pu être retrouvé. Nous avons donc construit et géoréférencer une polygonale de base. Les sommets de cette dernière ont été implantés de manière à assurer leur accessibilité à proximité du tracé. Ceci permet donc de faciliter leur utilisation comme points de contrôle lors de l'exécution des travaux. Ces bornes sont constituées d'un bloc de béton de 40 cm de profondeur coulé sur place autour d'un fer de 60 cm de long laissant apparaître 2 cm sur la face supérieure. Afin d'assurer la précision des repères, la densification a été faite par localisation d'une paire de bornes par kilomètre. Cette opération a été complétée à l'aide d'une station GPS de haute précision. Les coordonnées planimétriques des stations sont rattachées au système (UTM/WGS84) et les niveaux sont géodésiques en mètre avec référence au modèle géoïde CARIB97. Les coordonnées de la polygonale de base sont présentées au tableau suivant.

Tableau 4-1 : Liste des points d'arpentage de la polygonale de base implantée dans le cadre du présent projet

STATION	COORDONNÉES		
	EST	NORD	ÉLÉVATION (Z)
STA-100	764 472,05	2 156 731,03	382,90
STA-101	764 716,51	2 156 883,03	402,91
STA-102	764 983,34	2 157 380,07	465,28
STA-103	765 046,88	2 157 527,91	473,60
STA-104	765 094,40	2 157 893,49	537,07
STA-105	765 338,92	2 157 710,08	560,64
STA-106	765 512,10	2 158 082,75	601,24
STA-107	765 724,85	2 158 209,93	655,59
STA-108	766 182,25	2 158 696,43	717,62
STA-109	766 101,07	2 158 697,35	715,27
STA-110	766 393,07	2 159 506,64	772,81
STA-111	766 448,64	2 159 533,62	775,97
STA-112	766 404,19	2 160 020,98	834,40
STA-113	766 554,80	2 160 087,72	851,84
STA-114	766 820,42	2 160 776,63	935,90
STA-115	766 034,61	2 161 297,26	851,19
STA-116	765 894,14	2 161 528,57	818,07
STA-117	766 127,17	2 161 445,68	764,39
STA-118	765 584,81	2 162 072,86	712,74
STA-119	765 481,04	2 162 182,12	703,29
STA-120	764 469,15	2 162 810,19	667,91
STA-121	764 238,24	2 163 065,62	647,63

STATION	COORDONNÉES		
	EST	NORD	ÉLÉVATION (Z)
STA-122	763 748,08	2 163 961,92	588,50
STA-123	763 828,89	2 163 994,08	582,57
STA-124	763 454,03	2 164 799,60	521,22
STA-125	763 381,57	2 164 932,65	505,29
STA-126	763 110,95	2 165 504,48	439,59
STA-127	763 038,52	2 165 586,59	417,49
STA-128	763 969,58	2 165 745,36	373,13
STA-129	764 086,24	2 165 826,71	373,41
STA-129-2	766 951,22	2 160 816,30	922,25
STA-130	766 849,81	2 160 724,34	915,70
STA-131	764 381,10	2 166 087,00	364,09
STA-132	764 806,23	2 166 483,33	360,80
STA-133	764 860,04	2 166 564,45	360,91
STA-134	765 011,79	2 167 044,31	352,98
STA-135	764 996,75	2 167 167,84	357,47
STA-136	765 119,16	2 167 747,10	344,97
STA-137	765 217,78	2 168 350,83	369,64
STA-180	764 184,16	2 166 064,19	367,40
STA-181	765 715,30	2 169 100,56	398,36
STA-182	765 820,33	2 169 177,15	413,52
STA-64	762 237,37	2 158 099,70	284,44
STA-65	762 995,17	2 157 496,01	303,92
STA-66	762 978,75	2 157 538,79	292,17
STA-68-A	763 647,70	2 156 796,38	306,89
STA-69	763 675,01	2 156 783,13	307,05
STA-200	765 518,43	2 158 193,24	612,63
STA-201	765 551,55	2 158 388,40	630,71
STA-202	766 145,12	2 158 380,49	689,73
STA-203	766 351,30	2 159 175,36	749,09
STA-204	766 318,40	2 159 772,30	811,50
STA-205	766 628,41	2 160 243,03	883,84
STA-206	766 913,00	2 160 787,84	919,39
STA-207	766 508,38	2 161 106,13	885,52
STA-208	765 534,88	2 157 688,08	576,02
STA-209	764 934,67	2 157 935,51	515,36
STA-210	764 913,00	2 157 242,35	437,16
STA-211	764 083,38	2 156 818,65	347,37
STA-212	763 852,67	2 156 715,78	322,66
STA-213	766 293,64	2 161 339,30	796,74
STA-214	766 030,19	2 161 548,33	755,50
STA-215	765 091,06	2 162 457,66	681,35
STA-216	764 021,67	2 163 490,13	621,22
STA-217	763 656,91	2 164 490,38	547,29
STA-218	763 187,96	2 165 293,85	463,66

STATION	COORDONNÉES		
	EST	NORD	ÉLÉVATION (Z)
STA-219	763 550,24	2 165 680,14	387,71
STA-220	765 136,49	2 167 837,36	343,69
STA-220-2	765 733,90	2 169 217,84	404,77
STA-221	765 270,10	2 168 463,32	373,18
STA-222	765 330,36	2 168 789,80	384,53
STA-223	765 420,31	2 168 874,68	388,68
STA-224	765 513,47	2 168 937,97	390,52
STA-225	765 567,75	2 169 016,04	391,06

Un levé de détails complet a aussi été réalisé tout le long du projet sur une bande moyenne de 30 m de large. De plus, aux endroits où la rivière se trouve aux abords de la route, une bande plus large a été relevée afin d'obtenir la topographie de cette dernière. En plus des détails physiques, ce levé tient compte des éléments naturels (rivières, ravines, descentes d'eau, talweg, fossés existants, bâtiments, arbres, etc.) pour permettre une bonne appréciation des conditions de drainage de la route. Les profils de points cotés ont été levés environ à tous les 20 m et à tous les points de changement de pente.

Le reste de la topographie, sur une bande plus large (minimum 200 m), a été obtenue à partir de l'acquisition de photos satellites en stéréo. Suite à un post-traitement, ceux-ci permettent de restituer les courbes de niveau à une précision de plus ou moins 50 cm. Cette topographie est utilisée essentiellement pour le dimensionnement des ouvrages de drainage et dans le cas où un changement d'alignement ou une correction de courbes du tracé existant s'avère nécessaire.

4.1.2. Tracé et géométrie

Tel que mentionné précédemment, l'utilisation des routes et des emprises existantes a été priorisée dans la mesure du possible. Ceci permet donc de réduire de façon considérable les impacts négatifs de la construction d'un nouveau lien routier sur le milieu naturel et diminue de façon significative les coûts de construction, d'acquisition et d'expropriation. Ainsi, un pourcentage important du linéaire du tracé recommandé dans exploite l'emprise de la route existante.

Le tracé se définit comme suit :

- Tronçon 1 - Pk 0+000 au Pk 9+220 (Tronçon en montagne):
Le tronçon débute à l'intersection de la RN-1 avec la route d'accès à la municipalité d'Ennery et se termine suivant l'intersection de la route de Marmelade à Puilbureau.

Description :

Section entièrement en zone montagneuse. L'emprise est étroite et la plate-forme de la route existante est très serrée. Il y a un très grand nombre de courbes successives, certaines ayant des rayons serrés. Donc, l'achat d'emprise sera nécessaire pour l'élargissement de la plate-forme et pour la normalisation des courbes. Trois intersections sont visiblement présentes sur ce tronçon et devront être réaménagées en fonctions de leurs besoins. Une attention particulière sera apportée à l'intersection de Marmelade où se rassemblent plusieurs commerçants.

Travaux :

- Élargissement de la plate-forme (prioriser vers l'amont);
- Surface de roulement à reconstruire ; le corps de chaussée existant est cependant solide et stable;
- Les ouvrages de drainage sont tous à remplacer dû à un diamètre insuffisant pour permettre l'entretien;
- Construction et installation de structure de sécurité aux abords de la chaussée (glissière, murs, stabilisation);

Réaménagement des intersections et ajouts de signalisation verticale et horizontale.

Alignement proposé :

Le tableau 4-2 présente les principales caractéristiques de l'alignement proposé. On y remarque donc une diminution considérable de 25% des courbes restreinte par rapport au tracé existant. Les courbes de moins de 20 mètres de rayon ont toutes été éliminées.

- Tronçon 2 - Pk 9+220 au Pk 18+160 (Tronçon en montagne):
Le tronçon débute à la suite de l'intersection de la route de Marmelade à Puilboreau et se termine à la fin de la descente du morne soit légèrement après le pont de Bois d'Ormes.

Description :

Section entièrement en zone montagneuse. L'emprise est étroite et la plate-forme de la route existante est très serrée. Il y a un très grand nombre de courbes successives, certaines ayant des rayons serrés. Donc, l'achat d'emprise sera nécessaire pour l'élargissement de la plate-forme et pour la normalisation des courbes. Aucune intersection n'est visiblement présente sur ce tronçon.

Travaux :

- Élargissement de la plate-forme (prioriser vers l'amont);
- Des murs de soutènement en aval devront être construits;
- Surface de roulement à reconstruire ; le corps de chaussée existant est cependant solide et stable;
- Les ouvrages de drainage sont tous à remplacer dû à un diamètre insuffisant pour permettre l'entretien. Cependant, certains dalots peuvent être conservés et prolongés;
- Construction et installation de structure de sécurité aux abords de la chaussée (glissière, murs, stabilisation);
- Le pont de Bois d'Ormes devra être reconstruit dû aux modifications des courbes pour respecter les normes en vigueur ;
- L'ajout de signalisation verticale et horizontale sera nécessaire.

Alignement proposé :

Le tableau 4-2 présente les principales caractéristiques de l'alignement proposé. On y remarque donc une diminution considérable de 39% des courbes restreinte par rapport au tracé existant. Les courbes de moins de 20 m de rayon ont toutes été éliminées.

- Tronçon 3 - Pk 18+160 au Pk 23+587 (Tronçon de la vallée de la Grande Rivière)
Le tronçon débute à la fin de la descente du morne de Puilboreau, soit un peu après le pont de Bois d'Ormes et se termine à la sortie nord de la petite municipalité de Plaisance.

Description :

Le tracé est existant et l'emprise est étroite. Un certain nombre de courbes seront à normaliser ainsi que la largeur des voies de circulation. L'achat d'emprise sera donc nécessaire.

Travaux :

- Surface de roulement à reconstruire ; le corps de chaussée existant est cependant solide et stable;
- Des travaux de protection de talus sont à prévoir pour la section de route en bordure de rivière;
- Un certain nombre de buses existantes vont pouvoir être conservées et prolongées. Un drainage souterrain sera élaboré durant la traverse de la ville de Plaisance;
- Le pont de la Grande Rivière devra seulement être réhabilité légèrement et un pont piétonnier sera installé;
- Des trottoirs en bordure de chaussée seront installés lors de la traverse de la ville de Plaisance;
- Réaménagement de l'intersection avec la Route 116;
L'ajout de signalisation verticale et horizontale sera nécessaire.

Alignement proposé :

Le tableau 4-2 présente les principales caractéristiques de l'alignement proposé. On y remarque donc une diminution légère de 7% des courbes restreinte par rapport au tracé existant. Les courbes de moins de 20 m de rayon ont toutes été éliminées.

Tableau 4-2 : Caractérisation des courbes de la route proposée

	Rayon	Vitesse de conception	Nombre de courbes	Tracé
Tronçon 1 0+000 à 9+220	R < 20m	V < 30km/h	0	Sinueux en montagne
	20m < R < 55m	30km/h < V < 40km/h	53	
	55m < R < 90m	40km/h < V < 50km/h	24	
	R > 90m	V > 50 km/h	18	
	<i>Total</i>		95	
Tronçon 2 9+220 à 18+160	R < 20m	V < 30km/h	0	Sinueux en montagne
	20m < R < 55m	30km/h < V < 40km/h	30	
	55m < R < 90m	40km/h < V < 50km/h	13	
	R > 90m	V > 50 km/h	37	
	<i>Total</i>		80	
Tronçon 3 18+160 à 23+587	R < 20m	V < 30km/h	0	Sinueux en vallée
	20m < R < 55m	30km/h < V < 40km/h	5	
	55m < R < 90m	40km/h < V < 50km/h	10	
	R > 90m	V > 50 km/h	28	
	<i>Total</i>		43	

Le tracé proposé réduit donc le nombre de courbes total de plus de 25%. L'atlas schématique du tracé préliminaire est présenté à l'Annexe A et les plans de l'étude se retrouvent à l'Annexe E.

La géométrie de la RN-1 est conçue à l'aide des normes et critères de conception présentés en détail au chapitre 3 du présent rapport. Le tracé a été normalisé, optimisé et adapté en tenant compte des contraintes réelles du terrain rencontré, basé sur la topographie relevée précédemment par les équipes de SNC-Lavalin et LGL S.A. Des modifications supplémentaires et l'ajout de détails pour construction seront présentés dans un prochain livrable.

4.2. PROFIL EN LONG

Le profil longitudinal a un impact important sur les travaux de terrassement. L'optimisation du profil longitudinal permet de maximiser l'utilisation des matériaux en réutilisant les déblais vers les zones en remblais, ce qui permet de diminuer de façon importante le coût des travaux. Par contre, dans le cas du présent projet, le profil longitudinal ne varie pas de façon significative. En effet, le profil actuel est très régulier dans les deux premières portions du projet, soit l'ascension et la descente du morne de Puilboreau, avec des pentes plus ou moins constantes. Une attention particulière a cependant été portée au pourcentage de pente afin de maintenir les recommandations de la norme dans la mesure du possible.

Les caractéristiques et particularités du profil en long sont présentées dans le tableau suivant en considération des trois tronçons discutés dans la section précédente. Le profil en long est illustré sur

les plans présentés dans l'Annexe E. Des modifications supplémentaires et l'ajout de détails pour construction seront présentés dans un prochain livrable.

Tableau 4-3 : Caractérisation du profil longitudinal de la route proposée

	Type de courbe	Constante de Changement de Pente requise K	Nombre de courbes	Vitesse de base sécuritaire (km/h)
Tronçon 1 0+000 à 9+220	Saillantes	≥13	25	40-60
	Rentrantes	≥17	24	40-60
	<i>Total</i>		49	
Tronçon 2 9+220 à 18+160	Saillantes	≥13	27	40-60
	Rentrantes	≥17	24	40-60
	<i>Total</i>		51	
Tronçon 3 18+160 à 23+587	Saillantes	≥13	18	40-60
	Rentrantes	≥17	21	40-60
	<i>Total</i>		39	

Selon les informations du tableau précédant et les plans présentés à l'Annexe E, la constante de changement de pente respecte les critères de conceptions décrits au chapitre 3 dans la mesure du possible.

4.3. SECTION TRANSVERSALE

4.3.1. Description

Encore une fois, les normes et critères de conception décrits au chapitre 3 du présent rapport ont été utilisés afin de concevoir les sections transversales types présentées à l'Annexe E.

4.3.2. Dimensions principales

Comme il a été défini auparavant, la route sera constituée d'une chaussée de 7 m de large avec des accotements de chaque côté de 2 mètres et des pentes de talus côté aval de 1H:1V et du côté amont 1H : 3V. Des fossés longitudinaux assureront l'évacuation des eaux vers les principaux ouvrages de drainage transversaux, les ravines et les rivières du secteur. En zone montagneuse critique, la route sera constituée d'une voie de circulation par direction de 3,5 m de large avec des accotements de chaque côté de 1 m de large. Des caniveaux en béton sont prévus du côté amont de la route afin d'assurer que les eaux de surface en provenance des mornes soient redirigées efficacement vers les différents ouvrages transversaux du tracé.

4.4. INTERSECTIONS


La conception détaillée des trois principales intersections du tracé, soit l'intersection de la RN-1 avec la route vers Ennery, Marmelade et avec la Route 116 à Plaisance, fera partie du projet d'exécution. Vu les volumes de circulation relativement faibles, les intersections seront gérées par des « Arrêts ».


Particulièrement, il est planifié d'inclure les items suivant dans la conception finale de l'intersection avec la route Marmelade :


- Réduction de la vitesse avec signalisation de 50km/h et ajout des dos d'âne;
- Des trottoirs de 1,5 m dans les deux directions;
- La reconstruction de l'îlot central;
- Des accotements de 1,5 m;
- Des voies de circulation légèrement réduites;
- Deux baies de stationnement en bord de chaussée en amont de la zone commerciale;
- Un système de drainage intégré aux abords de chaussées.


4.5. SÉCURITÉ ROUTIÈRE


Au niveau de la sécurité routière, plusieurs lacunes ont été observées sur la route existante tel que mentionné précédemment. La liste suivante détaille ces dernières ainsi que les moyens qui seront mis en place afin d'y remédier.


 Tracé sinueux en montagnes, avec une quantité importante de courbes à faibles rayons. Les talus montagneux réduisent la visibilité, et donc, par le fait même, la sécurité des usagers.


 Le tracé sera optimisé selon les normes de l'AASHTO dans le but d'augmenter les rayons des courbes horizontales et la visibilité. Dans les endroits où les courbes ne peuvent pas être améliorées, la vitesse affichée sera réduite à 20 km/h. La distance minimale de visibilité d'arrêt sera de 30m.


 Largeur de chaussée variable et insuffisante selon les normes. Des voies trop étroites peuvent causer un face à face entre deux véhicules lors des courbes serrées, en plus d'être une source d'inconfort pour le conducteur.


 Les sections types seront standardisées en fonction du milieu (rural ou urbain), avec une largeur de voie constante de 3,5m. Pour les courbes horizontales à faible rayon, la chaussée aura une surlargeur pour permettre aux véhicules de ne pas empiéter sur la voie à sens inverse.


 Pentes verticales abruptes tout au long du tracé. Ceci constitue un danger spécialement pour les véhicules lourds, qui peuvent avoir de la difficulté à monter une pente, ou qui peuvent atteindre une vitesse trop élevée lors des descentes en cas de mauvais entretien ou mauvaise condition des freins. Une pente trop élevée cause aussi une mauvaise visibilité.


 Les pentes verticales seront optimisées selon les normes de l'AASHTO. La pente maximale visée est de 7%.


 Accotements inexistantes ou souvent trop étroits. D'une part, ceci constitue un danger pour les piétons, qui doivent marcher sur les voies. D'autre part, il n'y a aucun espace dédié aux arrêts d'urgence. Un véhicule en panne fera donc entrave à la circulation et pourrait être la source d'une collision en cas de mauvaise visibilité.


 Les sections types seront standardisées avec un accotement minimal de 1 m pour les endroits où une section plus étroite est nécessaire. Pour les autres cas, un accotement de 2 m sera utilisé en zone rurale et de 1,5 m en zone urbaine. La présence d'accotement permettra de conserver les voies libres en cas d'arrêt d'urgence.


 Aucun dispositif de retenue aux abords de route. Ceci pose un danger aux utilisateurs en cas de sortie de route, puisque les talus sont abrupts. Un dispositif de retenue empêche aussi les collisions avec les obstacles situés sur le bord de la chaussée.


 Des glissières de sécurité seront prévues aux endroits où le talus est trop abrupt ou au-devant des obstacles.


 Présence de talus abrupts avec risque d'éboulement. Ceci pose évidemment un danger à tous les utilisateurs de la route.


 Les talus seront stabilisés avec des ancrages ou au moyen de végétation. Les éléments instables seront enlevés au chantier.


 Aucun dévers ou transition de dévers entre les courbes. Ceci cause un inconfort lors de la conduite et permet à l'eau de stagner sur la chaussée. Aussi, en cas de vitesse élevée sur de faibles rayons, l'absence de dévers peut mener à une sortie de route, spécialement si la chaussée est mouillée.

 Un bombement normal (en couronne) sera utilisé sur les segments droits afin de permettre une meilleure évacuation des eaux de pluie. Dans les courbes horizontales, le dévers ira jusqu'à un maximum de 8%. Des transitions de dévers seront aussi prévues entre les courbes.

 Aucun marquage ni signalisation. Le conducteur n'est pas averti des dangers potentiels et des caractéristiques de la route (notamment piétons et courbes verticales ou horizontales prononcées) en amont de leur occurrence, l'empêchant de prévoir les changements nécessaires à son mode de conduite.

 Le marquage de la route ainsi que des panneaux de signalisation dans les zones à haut débit piétonnier et dans les courbes restreintes (annonçant entre autres la vitesse permise, les courbes, les traverses piétonnes ainsi que les dos d'âne) seront prévus.

 Absence de zone d'attente ou de voies additionnelles pour les véhicules lourds. Ces dernières sont nécessaires afin d'empêcher les camions d'entraver la circulation lors des montées et descentes.

 Aux endroits requis, ces zones spéciales seront envisagées.
Ces modifications corrigeront la majorité des lacunes soulevées, améliorant ainsi de façon significative la sécurité pour tous les usagers de la route.

5. ÉTUDE D'ASSAINISSEMENT ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE DRAINAGE

5.1. INTRODUCTION

Les études hydrologiques et hydrauliques ont comme principal objectif de valider le dimensionnement des ouvrages hydrauliques courant (OC) et non courant (pont). Le présent document explicite la méthodologie utilisée pour la détermination des éléments de crues véhiculées par les bassins versants. L'établissement de ces crues présumées va permettre de dimensionner et/ou valider l'ouverture de tous les passages hydrauliques, qu'ils s'agissent de buses, de dalots ou de ponts.

5.2. ÉTUDE HYDROLOGIQUE

5.2.1. Description sommaire de la zone d'étude

La météorologie dans les régions de l'Artibonite, Gonaïves et Cap-Haïtien est nettement différente de celle de Port-au-Prince, notamment en ce qui concerne la pluviométrie. Les caractéristiques météorologiques les plus importantes des stations –trois— situées dans la région de la route à l'étude (Gonaïves, Ennery et Plaisance) sont présentées dans les tableaux et graphiques suivants. On y retrouve des informations importantes sur la température, la pluviométrie moyenne mensuelle et totale ainsi qu'une estimation de l'évapotranspiration et le bilan hydrique.

Tableau 5-1 : Relevé mensuel et annuel des chutes de pluies en mm – Station de Gonaïves

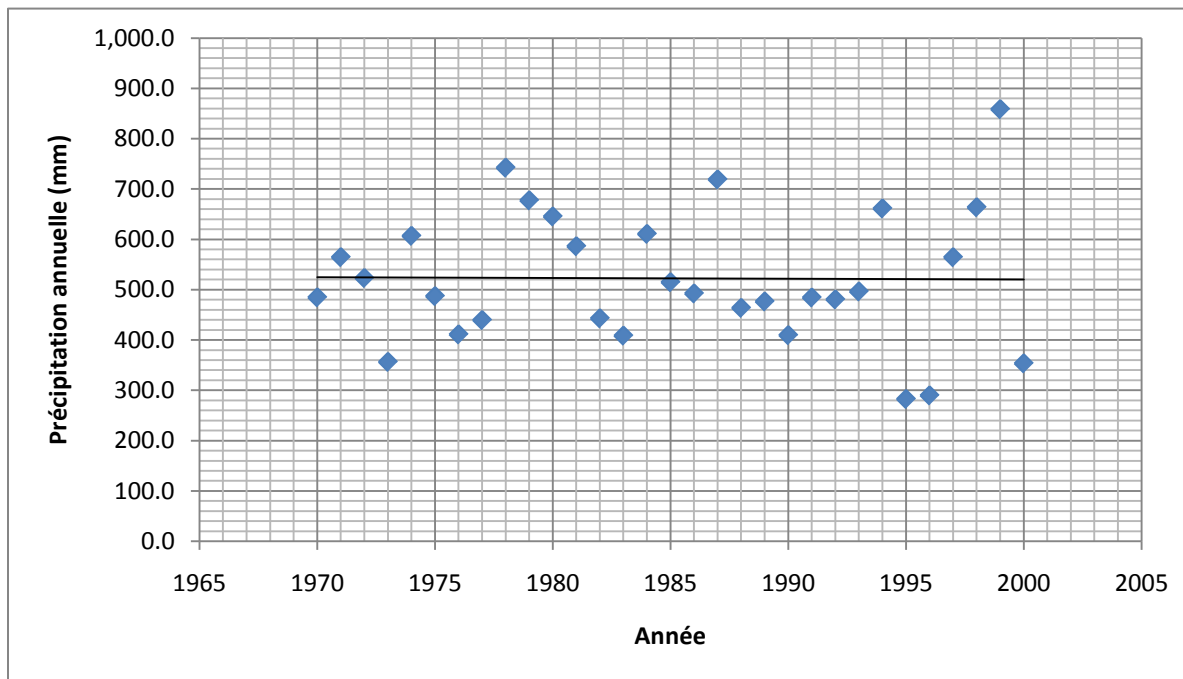
Année	Total	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1970	484,5	19,7	5,0	5,5	0,0	6,5	62,3	26,5	150,4	140,8	67,8	0,0	0,0
1971	564,4	12,4	1,6	17,5	33,2	12,3	116,7	90,6	182,5	20,2	52,8	24,6	0,0
1972	522,9	12,0	11,9	0,0	7,1	28,6	54,3	130,4	95,7	96,2	61,5	0,0	25,2
1973	356,1	0,2	18,6	3,6	0,0	73,5	17,3	65,2	96,0	56,2	25,5	0,0	0,0
1974	606,7	0,0	21,3	20,1	15,6	81,0	173,0	45,3	64,5	46,0	104,6	20,3	15,0
1975	486,9	0,0	14,5	0,0	0,0	0,0	93,0	55,3	54,3	172,7	85,9	8,5	2,7
1976	410,8	0,0	1,0	2,0	39,5	30,7	67,1	116,5	73,5	39,5	31,5	0,0	9,5
1977	439,3	3,5	1,0	0,0	5,5	158,3	69,2	24,5	47,8	30,8	89,9	2,8	6,0
1978	742,3	59,5	63,2	18,5	47,5	138,2	18,4	41,5	152,0	100,0	76,5	27,0	0,0
1979	677,3	2,0	0,0	18,2	41,0	94,5	75,8	63,3	50,5	199,6	103,9	28,5	0,0
1980	645,3	0,0	0,0	4,0	26,0	108,0	125,5	64,8	58,5	59,0	128,5	4,0	67,0
1981	586,1	29,0	17,5	44,5	1,2	202,5	169,5	24,0	25,4	23,8	33,5	10,5	4,7
1982	442,8	0,0	8,7	4,3	18,2	77,0	41,0	73,3	83,8	108,5	23,5	1,5	3,0
1983	408,3	1,5	12,5	44,0	17,5	5,0	98,2	99,0	61,8	29,1	30,0	4,5	5,2
1984	610,6	60,9	21,5	33,5	39,6	23,3	134,0	43,2	38,2	151,8	20,4	37,5	6,7
1985	514,6	0,5	8,7	0,3	62,0	44,0	77,0	64,6	78,8	20,7	74,6	83,4	0,0
1986	492,2	14,6	3,5	60,5	36,6	110,2	74,9	65,1	78,2	33,4	15,2	0,0	0,0
1987	718,9	19,8	52,5	65,9	56,7	11,4	149,2	43,5	56,6	171,6	53,2	2,5	36,0
1988	463,5	10,0	1,0	1,2	0,2	91,3	91,0	86,9	119,6	19,1	10,6	23,0	9,6
1989	476,2	0,1	86,3	11,6	17,5	16,0	54,0	114,6	60,1	38,0	33,7	37,9	6,4
1990	409,3	0,0	3,5	25,1	6,9	2,8	88,1	106,7	70,8	18,6	54,3	32,3	0,2
1991	484,1	0,0	13,7	30,6	81,6	128,3	51,3	58,8	64,1	37,0	11,2	6,0	1,5
1992	480,3	26,5	29,0	8,5	74,3	44,5	59,3	137,0	35,1	50,3	0,0	3,7	12,1
1993	496,1	90,9	0,0	14,0	58,3	147,3	47,4	7,1	56,3	0,0	52,8	7,0	15,0
1994	661,2	15,5	40,2	14,0	105,4	95,0	43,5	45,7	93,7	95,1	31,8	54,1	27,2
1995	282,3	3,0	25,0	18,6	20,5	116,5	90,4	0,0	0,0	0,0	2,7	5,6	0,0
1996	289,5	14,0	5,1	75,8	13,5	35,3	34,1	0,0	0,0	31,2	57,0	23,5	0,0
1997	564,3	17,5	0,0	2,5	15,0	38,3	59,8	31,0	184,0	14,0	110,0	7,2	85,0
1998	663,6	13,5	132,0	58,1	54,0	29,0	68,0	105,1	43,9	139,2	18,5	2,3	0,0
1999	858,6	8,7	0,0	48,2	31,7	49,3	194,8	87,3	131,7	131,4	148,2	27,3	0,0
2000	353,2	0,1	0,0	29,2	4,5	35,9	38,2	65,9	39,0	102,7	32,7	0,0	5,0
2001*		5,4	0,0	10,6	6,6	102,6	11,6	47,1					
Average	522,3	14,0	19,3	21,9	30,0	65,6	81,8	64,0	75,7	70,2	53,0	15,7	11,1

Source: MARNDR /CPSECE/ DEAP / Service de Statistiques Agricoles

* Après le mois de juillet 2001, cette station pluviométrique n'a pas été suivie pour le compte du MARNDR

Moy 70-04	522,3	14,0	19,3	21,9	30,0	65,6	81,8	64,0	75,7	70,2	53,0	15,7	11,1
Min 70-04	282,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Max 70-04	858,6	90,9	132,0	75,8	105,4	202,5	194,8	137,0	184,0	199,6	148,2	83,4	85,0

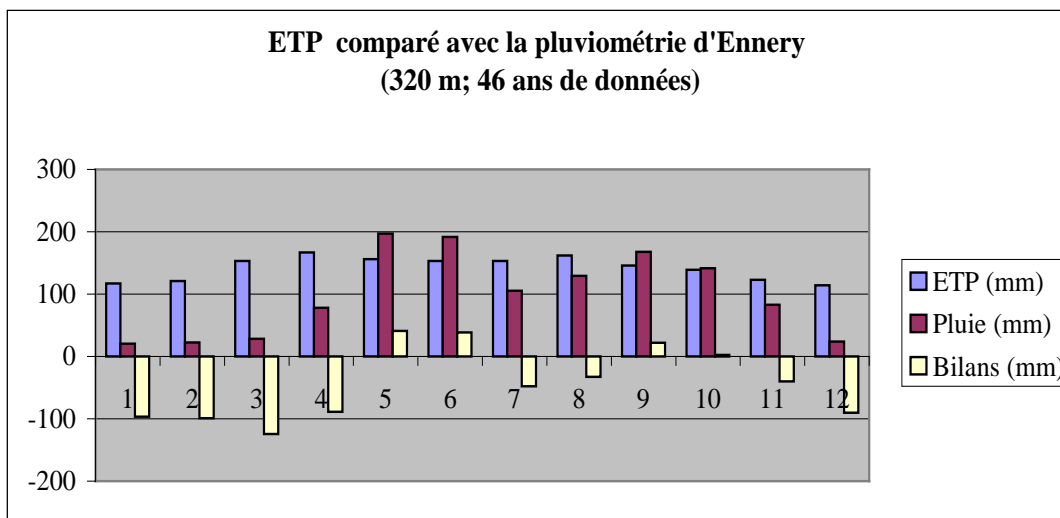
Graphique 5-1 : Précipitation annuelle de la station de Gonaïves



Graphique 5-2 : Résumé des caractéristiques météorologiques de la station d'Ennery

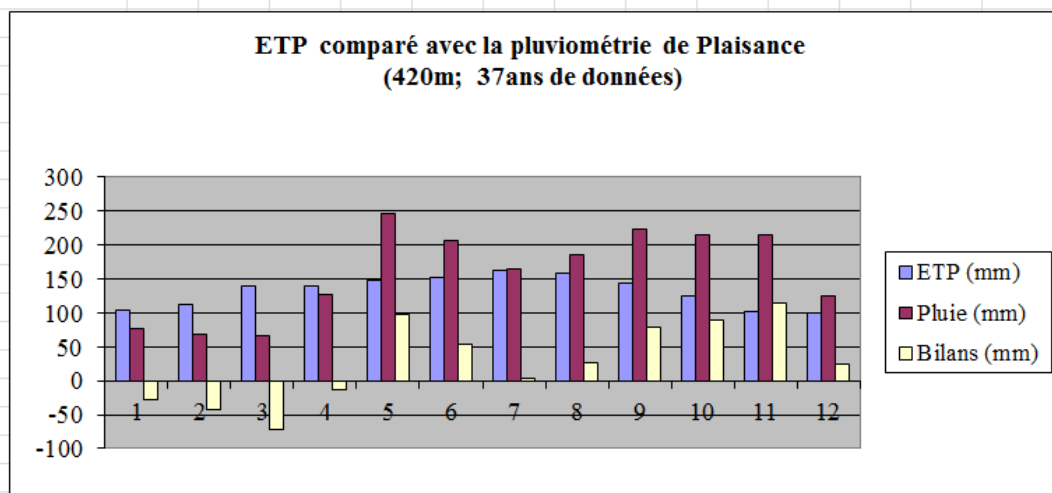
	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy/Tot
Temp (°C)	23.4	23.8	24.5	25.2	26.7	26.7	26.9	27.1	26.8	26.4	25.2	24	25.6
ETP (mm)	117	121	153	167	156	153	153	162	146	139	123	114	1704
Pluie (mm)	20.3	22.2	28.4	78.1	196.9	191.7	105.3	129.1	168	141.4	82.8	24	1188.2
Bilans (mm)	-96.7	-98.8	-124.6	-88.9	40.9	38.7	-47.7	-32.9	22	2.4	-40.2	-90	-515.8
Surplus (mm)					40.9	38.7			22	2.4			104

**ETP comparé avec la pluviométrie d'Ennery
(320 m; 46 ans de données)**



Graphique 5-3 : Résumé des caractéristiques météorologiques de la station de Plaisance
Tableau : Résumé des caractéristiques météorologiques de la station de Plaisance

	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy/Tot
Temp (°C)	21.6	22	22.7	23.3	24	24.9	25	25.2	25	24.5	23.3	22.2	23.6
ETP (mm)	104	112	139	140	149	153	162	159	143	125	102	100	1588
Pluie (mm)	76	69	67	127	246	207	165	185	223	215	216	125	1921
Bilans (mm)	-28	-43	-72	-13	97	54	3	26	80	90	114	25	333
Surplus (mm)					97	54	3	26	80	90	114	25	489



On constate que pour les stations de Gonaïves et Ennery, les mois de mai à octobre sont généralement favorables à la pluie, tandis que pour la station de Plaisance, la saison de pluie se prolonge jusqu'en novembre. Les pointes de précipitation sont généralement observées en juin et juillet pour la station de Gonaïves et en mai pour les stations d'Ennery et de Plaisance. Les mois de décembre à mars sont les mois les plus secs de l'année pour les stations de Gonaïves et Ennery, tandis que le mois de mars est celui où les précipitations sont les moins importantes pour la station de Plaisance.

Dans le Graphique 5-1, on constate que des records de précipitation et de sécheresse sont plus fréquents à partir de l'année 1994. Ces changements sont à prendre en considération dans les études de dimensionnement des ouvrages de drainage, car ces phénomènes d'extrême sécheresse et de tempêtes tropicales vont exiger la présence d'ouvrages de drainage capables de résister à des écoulements beaucoup plus importants qu'auparavant. Les ouvrages devront être plus grands et plus résistants, l'amont et l'aval devront être bien protégés, et les ouvrages devront être faciles d'accès, afin d'en faciliter le nettoyage et l'entretien.

En comparant les trois stations situées dans la région à l'étude, on peut constater que plus on se dirige vers le nord du pays, plus les pluies sont abondantes et distribuées sur toute l'année.

5.2.2. Données de base

À partir des données pluviométriques obtenues du Registre des données de pluviométrie du SNRE - Service National de Ressources en Eau - Haïti, Chemonics, les spécialistes en la matière de SNC-

Lavalin / LGL S.A. ont, par des méthodes statistiques, évalué l'intensité des précipitations en fonction de la durée et de la fréquence des intempéries qui frappent la région d'Ennery et de Plaisance.

5.2.3. Analyse statistique des données pluviométriques

Pour déterminer les courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF), une analyse statistique des données de précipitations journalières maximales annuelles a tout d'abord été effectuée. Les précipitations journalières pour différentes périodes de retour ont été déterminées pour les deux stations qui touchent directement le projet de la RN-1; soit les stations d'Ennery et de Plaisance, situées en début et fin du tronçon respectivement. La courbe IDF de la station d'Ennery était déjà connue et avait été élaborée par les Spécialistes du Groupement dans le cadre du mandat précédant, soit pour l'étude routière de la RN-1, tronçon Gonaïves – Ennery.

Les ajustements statistiques ont été effectués pour les quatre lois de distribution suivantes:

- Valeurs extrêmes généralisées – GEV ;
- Lognormale III ;
- Gumbel ;
- Lg Paerson de type III ;

La distribution GEV a été retenue comme étant la plus représentative des échantillons de données analysées et a été utilisée pour estimer les valeurs des précipitations journalières pour des périodes de retour allant de 2 à 100 ans.

Le Tableau 5-2 ci-dessous présente les précipitations journalières estimées en fonction des différentes périodes de retour en utilisant la loi de distribution retenue. Un facteur de correction de 1,13 a été utilisé pour convertir les précipitations journalières en précipitations d'une durée de 24 heures.

Tableau 5-2 : Valeurs des précipitations journalières estimées pour la station de Plaisance

Fréquence	Précipitation (24 heures) (mm)
1:100-ans	304,3
1:50-ans	258,3
1:20-ans	205,9
1:10-ans	171,6
1:5-ans	140,6
1:2-ans	102,5

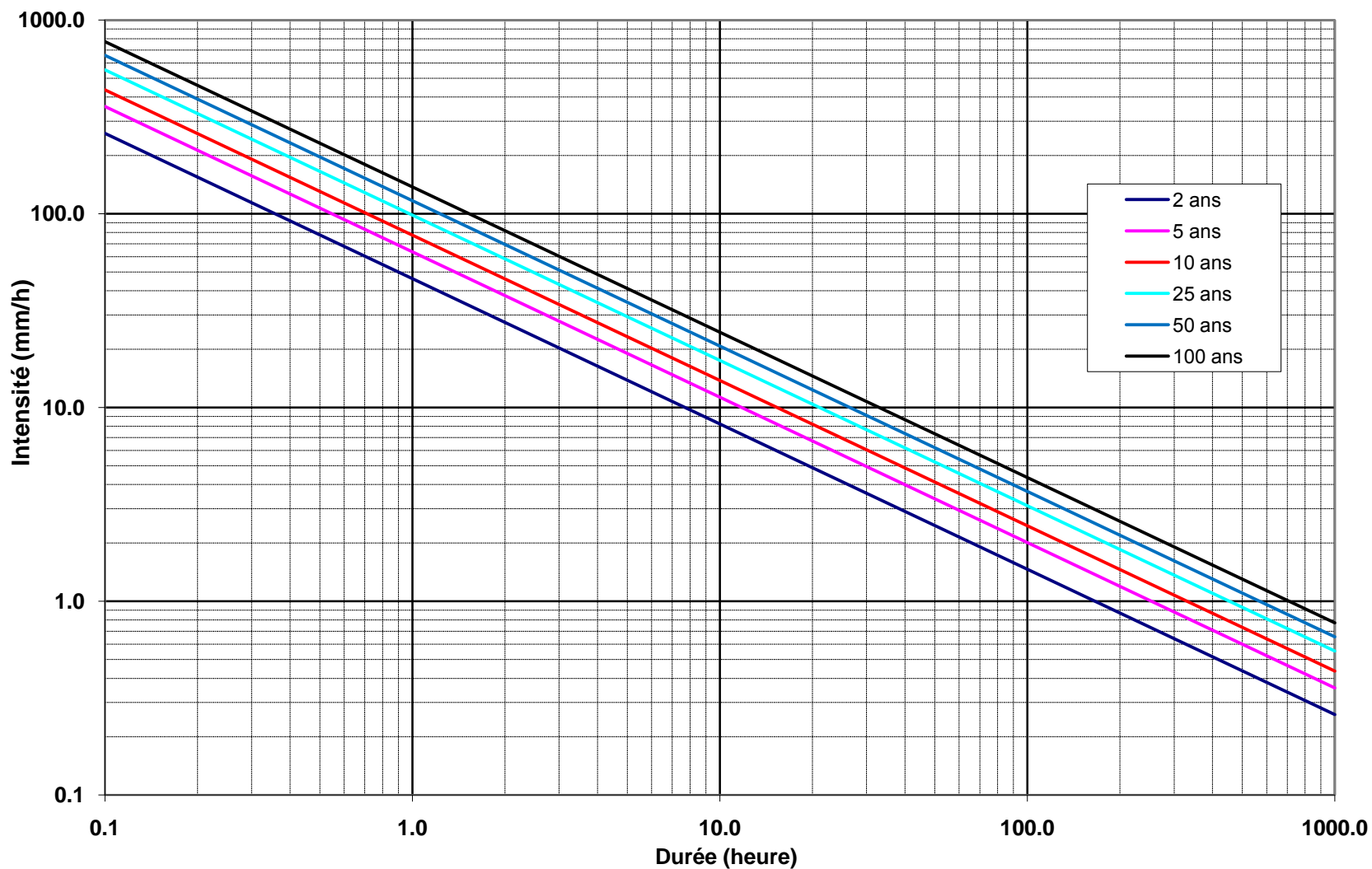
Le dimensionnement des ouvrages de drainage est fait à partir des intensités de précipitation pour différentes fréquences et différentes durées en tenant compte des caractéristiques des bassins versants. À cet effet, il est nécessaire de déterminer les relations Intensité-Durée-Fréquence (IDF).

5.2.4. Détermination des courbes IDF

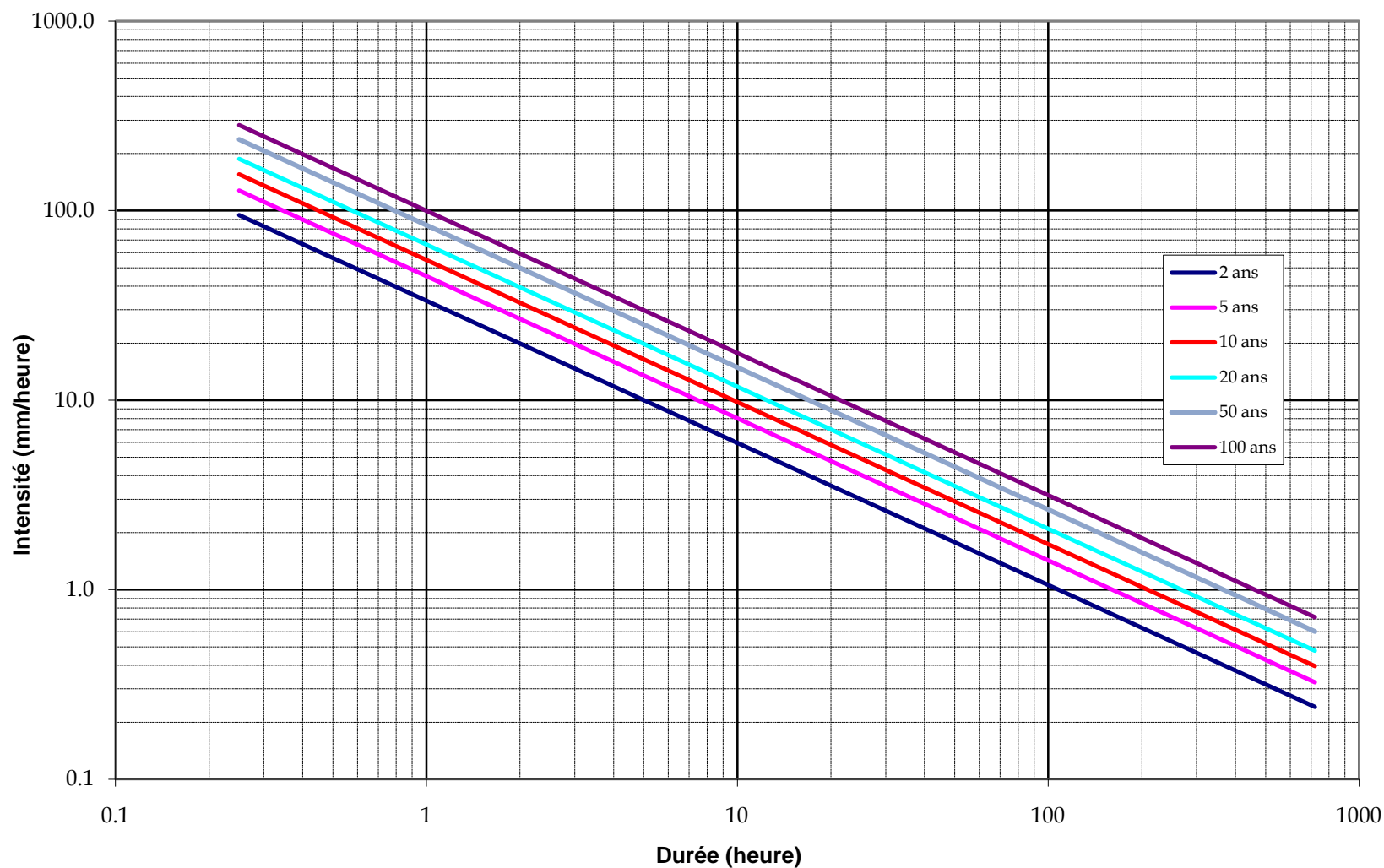
Étant donné qu'il n'y a pas de données de précipitation pour des durées inférieures à 24 heures, les méthodes proposées par Bell (1969) et Huff (1967) ont été utilisées.

Les méthodes sont basées sur une représentation probabiliste des intensités des orages permettant de déterminer la distribution temporelle pour l'orage considéré. Les graphiques ci-dessous montrent les courbes IDF ainsi calculées utilisant une échelle logarithmique. Les graphiques de distribution pour l'échantillon des précipitations journalières maximales annuelles ainsi que les courbes IDF, échelle logarithmique, pour les deux stations retenues (Ennery et Plaisance), sont présentés à l'Annexe F du présent rapport.

Graphique 5-4 : Courbes sur l'intensité, la durée et la fréquence (IDF) - Station pluviométrique de Plaisance



Graphique 5-5 : Courbes sur l'intensité, la durée et la fréquence (IDF) - Station pluviométrique d'Ennery



La détermination de l'intensité de précipitation va maintenant permettre de calculer les débits de pointe pour chacun des bassins versants identifiés. Elle doit correspondre à une durée égale au temps de concentration du bassin versant à l'étude et peut être directement lue à partir des abaques IDF.

5.3. ÉTUDE HYDRAULIQUE ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

Le tronçon de la RN-1 à l'étude est divisé en deux zones bien différentes au point de vue de l'hydrologie.

La première zone correspond en partie au versant sud du Morne de Puilboreau, qui s'étend jusqu'à la vallée de la Rivière d'Ennery. La RN-1, qui tourne vers le nord – est à l'intersection de la route d'accès à Ennery (Pk 0+000), traverse ce secteur à flanc de montagne. Cette section de tracé de la RN-1 est, dans son ensemble, parallèle aux lignes d'écoulement du bassin versant. Ceci signifie qu'aucune ravine ou rivière d'importance ne croise cette portion de route à l'étude (voir figure 5-1). Ce secteur sera donc composé essentiellement d'ouvrages courants (OC) intermédiaires de petite taille, soit de buses de 1,0 à 1,5 m de diamètre ou de petits dalots. La hauteur ou le rayon de ces ouvrages courants est conçu afin d'y faciliter l'accès pour des raisons d'entretien et de nettoyage plutôt que pour des raisons de débit de pointe. Ce bassin versant est relativement peu boisé, dû essentiellement à la déforestation massive en Haïti et aux animaux d'élevage, ce qui favorise l'érosion des mornes durant les pluies tropicales et les ouragans. Lors des missions de reconnaissance sur le terrain, il a été observé que plusieurs ouvrages de drainage sont complètement obstrués et il est maintenant impossible de les nettoyer dû à leur petit diamètre. Ces ouvrages devront donc être remplacés.

Figure 5-1 : Localisation du bassin versant sud – Pk 0+000 à Pk 9+450

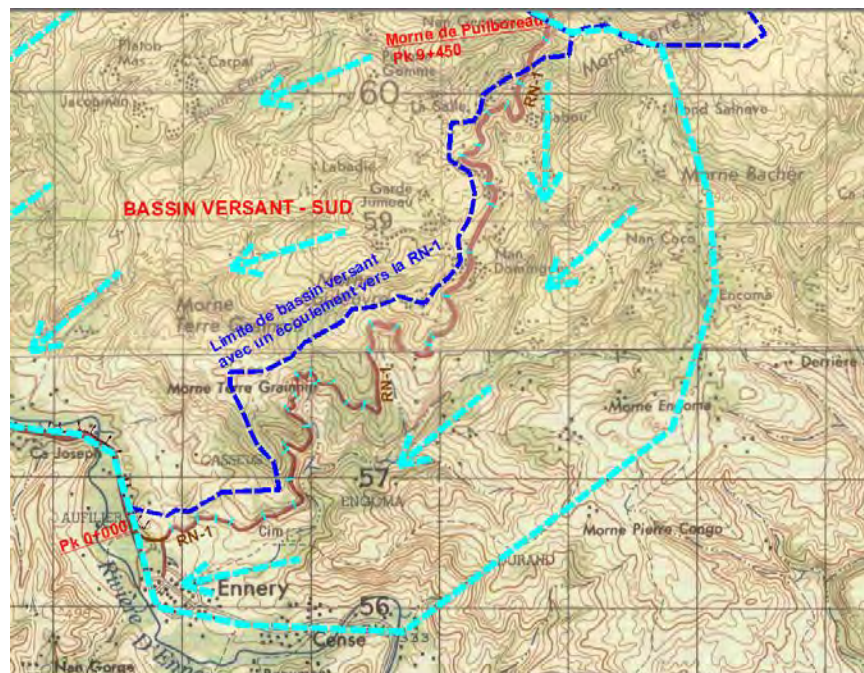
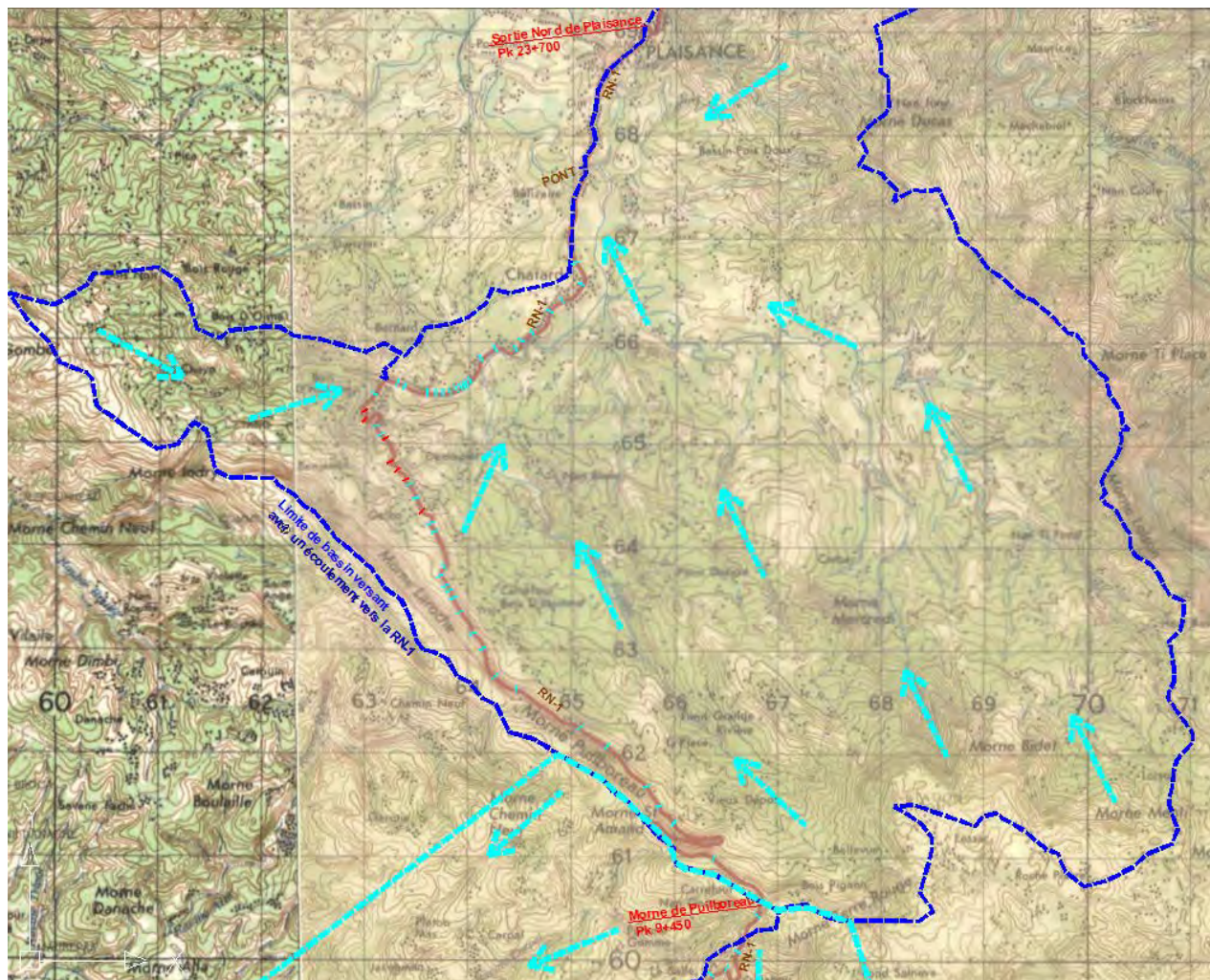


Figure 5-2 : Photo d'une buse existante complètement obstruée



La deuxième zone traversée par la portion de RN-1 à l'étude est comprise entre la morne de Puilboreau au sud et la vallée du cours d'eau des trois rivières, qui coule vers le nord-ouest du pays. Ce secteur reçoit beaucoup plus de millimètres de pluie par année que le bassin Sud de Puilboreau-Ennery, tel qu'observé dans l'analyse des stations météorologiques d'Ennery et de Plaisance. Il est caractérisé par la présence d'un bon couvert forestier et de nombreuses zones d'agriculture. La plupart des ouvrages courants existants sur ce secteur de la RN-1 sont de petite taille, étant donné que la route descend de la Morne de Puilboreau en parallèle et à proximité de la ligne de limite du bassin versant située à la crête de cette petite chaîne de montagnes (voir figure 5-3). Ainsi, certains ouvrages pourront être conservés tandis que d'autres seront à remplacer afin d'en faciliter l'entretien.

Figure 5-3 : Localisation du bassin versant Nord – Pk 9+450 au Pk 23+735



Les courbes IDF de la station d'Ennery seront utilisées pour le dimensionnement des ouvrages courants entre les chaînages 0+000 à 9+450, tandis que celles de la station de Plaisance vont permettre de faire le dimensionnement des ouvrages du versant nord entre les Pk 9+450 et 23+735.

5.3.1. Ouvrages courants

La majorité des ouvrages courants (OC) sur le tronçon de route Ennery-Plaisance devront être remplacés pour des raisons d'entretien plutôt que pour des raisons de capacité hydraulique. En effet, l'ensemble du tracé existant est orienté dans le même sens que la ligne de crête (ligne de partage des eaux), en plus de conserver une distance relativement faible par rapport à cette dernière. Cela a comme impact que les surfaces de terrain drainées par les ouvrages courants qui traversent la RN-1 sont, pour la plupart, de petite taille. Ils sont souvent obstrués ou complètement bouchés, dû au manque d'entretien et à leur petite taille. Les buses ou dalots avec des hauteurs ou des diamètres inférieurs à 1 m sont pratiquement impossibles à nettoyer et à entretenir. Pour ces raisons, il est recommandé d'installer des buses avec des diamètres supérieurs à 1 m et même 1,5 m de préférence,

si la hauteur de remblai de la route le permet, afin d'en faciliter l'accès pour les travaux de curage manuel et d'entretien.

5.3.1.1. *Utilisation de la Méthode Rationnelle pour les bassins versants de moins de 25 km²*

La Méthode Rationnelle est une méthode utilisée fréquemment pour l'estimation des débits de crue. Elle est surtout utilisée pour des petits bassins versants de moins de 25 km².

La formule de base pour cette méthode a pour expression :

$$Q = 0.278 * A * I * C_p$$

avec : Q : Débit de crue de fréquence déterminée en m³ par seconde ;
 0.278 : Coefficient empirique déterminé par le choix des unités ;
 A : Surface du bassin versant en km² ;
 I : Intensité de la pluie en mm par heure ;
 C_p : Coefficient de ruissellement moyen de la zone drainée.

L'intensité de la pluie, comme il a été signalé auparavant, est déterminée en fonction du temps de concentration du bassin versant à l'étude, mais aussi en fonction de la fréquence, ou période de retour.

Pour le projet de la route Ennery - Plaisance, les fréquences ou périodes de retour utilisées, comme il est spécifié aux termes de référence, varient en fonction du type d'ouvrage à dimensionner:

- pour la vérification et le dimensionnement des ouvrages hydrauliques et le contrôle des régimes d'écoulement – la période de retour est de 20 ans ;
- pour les canaux longitudinaux tributaires d'un impluvium dont la surface est inférieure à 20 ha - la période de retour est de 10 ans. Cependant, une période de retour de 5 ans peut être acceptée selon les commentaires du MTPTC sur le rapport précédant;
- pour les petits ouvrages dont le débordement provoquerait peu de dégâts à la route et à son environnement - la période de retour est de 5 ans.

Délimitation des bassins versants (A)

La détermination de la superficie du bassin versant drainée par un cours d'eau à un site particulier est une opération préliminaire essentielle à toute étude pour établir les dimensions minimales d'une structure au point de vue hydraulique.

Le bassin versant représente le territoire géographique qui alimente le cours d'eau au droit de l'ouvrage projeté. Il est limité par la ligne de partage des eaux, et permet d'avoir sur le champ une idée de l'envergure du projet et de déterminer la méthode de calcul à utiliser pour dimensionner l'ouvrage.

Figure 5-4 : Configuration type d'un bassin versant



Le tableau 5-3 présente les données importantes à considérer dans les calculs de dimensionnement des principaux bassins versants de ce projet.

Tableau 5-3 : Données des principaux bassins versants

						Dimension de l'ouvrage de drainage existant			Commentaires (La décision finale sera prise suite à l'étude de dimensionnement)
Nom cours d'eau	Superficie (km²)	Longueur du cours d'eau (m)	Élévation sortie Bassin (m)	Élévation Tête de bassin (m)	Pente du bassin (%)	Nbr. de cellules	Largeur (m)	Hauteur (m)	
Bassin versant No.1	0,022	223	335	365	13,45%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.2	0,019	245	357	381	9,80%	1	---	0,60	Complètement bouché, nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.2a	0,022	235	369	420	21,70%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.3	0,05	290	375	430	18,97%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.4	0,045	255	397,5	460	24,51%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.5	0,012	156	417	460	27,56%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.5a	Int.	---	----	---	---	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à éliminer
Bassin versant No.6	0,02	181	431,5	520	48,90%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.7	0,025	259	447	540	35,91%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.8	0,12	711	455	606	21,24%	1	---	0,60	TTOG, Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.9	0,015	257	475	545	27,24%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.10	0,08	529	490	606	21,93%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.11	0,039	309	502,6	585	26,67%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.12	0,023	260	517,7	610	35,50%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.13	0,085	470	528	690	34,47%	1	---	0,60	TTOG, bon état mais nettoyage difficile, diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.14	0,027	408	532	660	31,37%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.15	0,043	365	542	650	29,59%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.16	0,019	358	558	640	22,91%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.17	0,053	611	567	670	16,86%	1	---	0,60	Complètement bouché, nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.18	0,027	300	608,5	690	27,17%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.19	0,048	315	625	720	30,16%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.20	0,076	270	642	743	37,41%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.21	0,058	261	679	743	24,52%	1	---	0,90	TTOG, bon état mais nettoyage difficile, diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.22	0,026	368	705	730	6,79%	1	---	0,60	Complètement bouché, nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.23	0,031	391	734,6	770	9,05%	1	---	0,60	Complètement bouché, nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.24	0,023	192	756,5	785	14,84%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.25	0,023	368	771	805	9,24%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.26	0,03	274	801	874	26,64%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.27	0,025	281	813	874	21,71%	1	---	0,60	Complètement bouché, nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.28	0,026	267	836	905	25,84%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.29	0,024	199	847	905	29,15%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.30	0,005	81	885	902	20,99%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.31	0,039	238	908,6	970	25,80%	1	---	0,60	Complètement bouché, nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer, Exutoire à reconstruire
CHANGEMENT DE VERSANT									

Nom cours d'eau	Superficie (km ²)	Longueur du cours d'eau (m)	Élévation sortie Bassin (m)	Élévation Tête de bassin (m)	Pente du bassin (%)	Dimension de l'ouvrage de drainage existant			Commentaires (La décision finale sera prise suite à l'étude de dimensionnement)
						Nbr. de cellules	Largeur (m)	Hauteur (m)	
Bassin versant No.32	0,054	535	879	945	12,34%	---	---	---	Aucun existant trouvé ?
Bassin versant No.33	0,021	569	761,5	780	3,25%	1	---	0,30	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.34	0,032	227	747,3	830	36,43%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.35	0,041	222	731,5	840	48,87%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.36	0,118	452	698	883	40,93%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.37	0,131	527	679	880	38,14%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.38	0,196	844	669,5	821	17,95%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.39	0,06	246	658	740	33,33%	1	---	0,30	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.40	0,099	757	642	800	20,87%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.41	0,071	567	630	851	38,98%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.42	0,08	574	616	851	40,94%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.43	0,08	552	609	851	43,84%	1	---	?	Pas visible, à remplacer
Bassin versant No.44	0,041	461	603,5	825	48,05%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.45	0,022	528	594,5	830	44,60%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.46	0,061	462	590	841	54,33%	1	1,00	1,00	Dalot, en mauvais état à remplacer
Bassin versant No.47	0,063	612	583	860	45,26%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.48	0,032	438	568	620	11,87%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.49	0,037	516	550	680	25,19%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.50	0,23	815	541	885	42,21%	1	3,00	1,00	Dalot, en bon état, à conserver et à prolonger
Bassin versant No.51	0,02	279	529	585	20,07%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.52	0,013	394	517	585	17,39%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.53	0,27	938	513,5	865	37,47%	1	2,00	1,00	Dalot, en bonne état, à conserver et à prolonger
Bassin versant No.54	0,019	313	501,5	605	33,0671%	1	1,00	1,00	Dalot, en mauvais état à remplacer
Bassin versant No.55	0,25	931	490,6	894	43,33%	1	2,00	1,00	Dalot, en bon état, à conserver et à prolonger
Bassin versant No.56	0,12	743	463,8	660	26,41%	1	2,00	1,00	Dalot, en bon état, à conserver et à prolonger
Bassin versant No.57	0,012	187	462	520	31,02%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.58	0,007	132	459	505	34,85%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.59	0,15	1055	430,5	894	43,93%	1	3,00	1,00	Dalot en mauvais état, fissures et affouillement important à la sortie, à remplacer
Bassin versant No.60	0,2	1135	422	860	38,59%	1	3,00	1,00	Dalot complètement bouché, à conserver ou à remplacer selon géométrie
Bassin versant No.61	0,027	336	415	500	25,30%	1	---	0,30	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.62	3.78	4073	388	965	14,17%	1	12,00	3,50	Pont - Réhabilitation à prévoir, protection des fondations et des rives amont - aval à prévoir
Bassin versant No.63	0,036	264	390	485	35,98%	1	---	0,60	Nettoyage difficile, Diamètre trop petit, à remplacer
Bassin versant No.64	0,015	153	392	441	32,03%	1	---	0,90	Complètement bouché, nettoyer et conserver
Bassin versant No.65	0,03	400	378,7	485	26,58%	1	---	0,90	Nettoyer et conserver
Bassin versant No.66	0,039	496	376	485	21,98%	1	---	0,90	Bon état, à conserver
Bassin versant No.67	0,005	111	376,4	390	12,25%	1	---	0,90	Bon état, à conserver

						Dimension de l'ouvrage de drainage existant			Commentaires (La décision finale sera prise suite à l'étude de dimensionnement)
Nom cours d'eau	Superficie (km ²)	Longueur du cours d'eau (m)	Élévation sortie Bassin (m)	Élévation Tête de bassin (m)	Pente du bassin (%)	Nbr. de cellules	Largeur (m)	Hauteur (m)	
Bassin versant No.68	0,034	452	374,7	430	12,23%	2	---	0,20	Diamètre trop petit, à remplacer et diminuer le nombre de buse
Bassin versant No.69	0,006	191	372,8	400	14,24%	1	---	0,20	Diamètre trop petit, à remplacer et diminuer le nombre de buse
Bassin versant No.70	0,013	359	372,2	420	13,31%	1	---	0,40	Diamètre trop petit, à remplacer et diminuer le nombre de buse
Bassin versant No.71	0,008	360	371,5	420	13,47%	1	---	0,20	Diamètre trop petit, à remplacer et diminuer le nombre de buse
Bassin versant No.72	0,005	368	371	420	13,32%	1	---	0,20	Diamètre trop petit, à remplacer et diminuer le nombre de buse
Bassin versant No.73	0,029	386	370,3	420	12,88%	1	---	0,90	Bon état, à conserver
Bassin versant No.74	0,12	750	365,8	485	15,89%	1	---	0,90	Bon état, à conserver
Bassin versant No.75	0,1	825	364,7	440	9,13%	1	---	0,90	Bon état, à conserver
Bassin versant No.76	0,063	714	362,8	400	5,21%	1	---	0,90	Bon état, à nettoyer et à conserver
Bassin versant No.77	0,029	517	361,7	390	5,47%	1	---	0,90	Bon état, à conserver
Bassin versant No.78	0,14	577	360,8	390	5,06%	1	2,00	2,50	Bon état, à conserver
Bassin versant No.79	0,05	389	359	380	5,40%	1	---	0,90	Bon état, à conserver
Bassin versant No.80	0,065	524	359	380	4,01%	1	---	0,90	Bon état, à conserver
Bassin versant No.81	0,025	235	351	355	1,70%	1	---	?	?
Bassin versant No.82	0,018	272	350,8	355	1,54%	1	---	?	?
Bassin versant No.83	51,33	11236	340	1055	6,36%	?	?	?	Pont en bon état, protection des rives amont - aval

L'inventaire avec photos des ouvrages de drainage courants est présenté à l'Annexe G.

Coefficient de ruissellement (Cp)

Le coefficient de ruissellement (Cp) représente le rapport du débit de pointe sur l'alimentation en pluie, soit (Q/IA). Il est habituellement choisi en fonction du type et de l'utilisation des sols ainsi que de la topographie du territoire. Les tableaux suivants nous donnent les valeurs du coefficient de ruissellement en fonction du type de végétation, de la pente S_b du bassin versant et de la classification hydrologique des sols.

Tableau 5-4 : Coefficient de ruissellement Cp

Végétation	Pente S _b (%)	Classification hydrologique des sols				
		AB	B	BC	C	CD
		2	3	4	5	6
CULTURE						
Plat	0	0.3	0.36	0.41	0.47	0.51
Vallonné	3	0.34	0.43	0.51	0.59	0.67
Montagneux	8.01	0.43	0.51	0.61	0.67	0.73
PÂTURAGE						
Plat	0	0.12	0.17	0.25	0.34	0.43
Vallonné	3	0.17	0.25	0.33	0.43	0.51
Montagneux	8.01	0.22	0.39	0.47	0.56	0.64
BOISÉ						
Plat	0	0.09	0.15	0.21	0.29	0.37
Vallonné	3	0.12	0.19	0.26	0.34	0.43
Montagneux	8.01	0.18	0.26	0.34	0.43	0.51

Les tableaux de la classification hydrologique des sols sont présentés à l'Annexe H.

Pente moyenne d'un bassin versant (S_b)

L'estimation de ce paramètre n'est requise que pour sélectionner le coefficient de ruissellement de pointe. Cette pente est soit inférieure à 3%, comprise entre 3% et 8 % ou supérieure à 8%.

Intensité de précipitation (I)

L'intensité de la précipitation varie en fonction de la durée, de la fréquence des intempéries et de la position géographique du bassin versant.

Elle peut être directement lue des courbes IDF (intensité-durée-fréquence) établies et déjà présentées à la section 5.2.4, du présent rapport, en fonction du temps de concentration (T_c) calculé.

Temps de concentration (T_c)

La durée de la pluie utilisée pour faire le calcul de débit de crue correspond à ce que l'on appelle le temps de concentration (T_c). Le temps de concentration du bassin versant est défini comme le temps nécessaire que prendra l'eau de ruissellement pour parcourir la distance entre le point le plus éloigné du bassin versant jusqu'à l'endroit où l'on veut connaître le débit de crue. Pour des petits bassins

versants de moins de 25 km², ce temps est également considéré comme le temps nécessaire pour arriver au moment du passage de crue maximale.

On retrouve dans la documentation plusieurs formules utilisées pour calculer le temps de concentration. Pour la présente étude, nous avons employé les deux équations du service de l'hydraulique du Ministère des Transports du Québec soit :

1. Dans le cas où le coefficient de ruissellement est inférieur à 0,4, le temps de concentration est donné par l'équation suivante :

$$T_c = \frac{3.26 * (1.1 - C_p) * L_c}{S_c^{0.33}}$$

avec : T_c : temps de concentration (min) ;
 C_p : coefficient de ruissellement ;
 L_c : longueur du cours d'eau (m) ;
 S_c : pente 85-10 du cours d'eau (%).

Cette équation est fortement recommandée et utilisée par plusieurs organismes œuvrant dans le domaine routier en Amérique.

2. Dans le cas où le coefficient de ruissellement est supérieur à 0,40, le temps de concentration se calcule à l'aide de l'équation suivante (Bransby – Williams) :

$$T_c = 0.057 * L_c^{0.2} * A_b$$

avec : T_c : temps de concentration (min) ;
 L_c : longueur du cours d'eau (m) ;
 S_c : pente 85-10 du cours d'eau (%) ;
 A_b : superficie du bassin versant (ha).

Pente moyenne 85-10 du cours d'eau (S_c)

La longueur de la pente du cours d'eau (L_c) se mesure à partir de l'exutoire en suivant le tracé du cours principal prolongé jusqu'à la ligne de crête, soit jusqu'à la limite du bassin versant. La pente moyenne du cours d'eau 85-10 (S_c), représente la pente calculée à partir des élévations du cours d'eau situé respectivement à 10% de la longueur du cours d'eau (L_c), en amont de l'exutoire, et à 15% de (L_c) en aval de la limite extrême du bassin versant. On élimine ainsi les extrêmes et l'on obtient une pente moyenne plus représentative du relief réel.

Le dimensionnement des ouvrages de drainage est présentement en cours, les résultats seront présentés au rapport d'avant-projet final.

5.3.2. Dimensionnement des ouvrages courants

Tous les ouvrages de drainage courants seront dimensionnés à l'aide de la méthode rationnelle. Les résultats de cette étude feront partie du projet d'exécution.

5.3.3. Dimensionnement des ouvrages non courants

Sur ce tronçon de route à l'étude, un seul cas correspond à un ouvrage non courant, soit le pont du cours d'eau de la rivière Grande, qui croise la RN-1 au chaînage 22+050. Cette rivière possédant un bassin versant de 51,55 km² au point de passage à la RN-1, les spécialistes du groupement ont dû utiliser une autre méthode de calcul afin d'évaluer les volumes, les débits et les niveaux d'eau en temps de cru afin de valider la dimension actuelle du pont de cette rivière et proposer des ouvrages de protection supplémentaires.

5.4. ÉTUDE HYDRAULIQUE DE LA RIVIÈRE GRANDE

5.4.1. Introduction

La République d'Haïti est divisée en dix départements subdivisés en arrondissements et communes : l'Artibonite, le Centre, la Grand'Anse, Nippes, le Nord, le Nord-Est, le Nord-Ouest, l'Ouest, le Sud et le Sud-Est. Notre zone d'étude se situe près de la ville de Plaisance dans le département du Nord (voir figure 5-5).

Cette section traite des données, méthodes et calculs d'hydrologie et d'hydraulique utilisés pour la réalisation des travaux concernant le pont passant au-dessus de la rivière Grande.

5.4.2. Climatologie

La République d'Haïti possède un climat tropical, chaud et humide l'été, mais qui peut varier énormément d'une zone à une autre en fonction de son exposition. La température moyenne de Port-au-Prince (situé au niveau de la mer) est de 27°C. À Kenscoff, située à 1 432 m d'altitude, la température moyenne est de 16°C, ce qui montre les variations qu'il peut y avoir. On enregistre souvent des températures allant de 22°C en hiver à 35°C en été. Avec une hygrométrie moyenne de 60 %, la température peut descendre jusqu'à 10°C en montagne.

Le climat général est une succession alternée de deux saisons pluvieuses (avril-mai et août-octobre) et de deux saisons sèches (juin-juillet et novembre-mars). Certaines régions font cependant exception en présentant un climat de deux saisons. Une saison pluvieuse qui va d'avril à octobre et une saison sèche qui va de novembre à mars.

L'orientation générale du relief haïtien par rapport à la direction des vents dominants (alizés, nordés, vent d'est) fait que certaines régions sont beaucoup plus favorisées que d'autres en matière de précipitations. Ainsi, on distingue :

- Les régions à précipitations inférieures à 1 000 mm par an comme : la partie orientale de la plaine du nord, la grande diagonale aride qui embrasse toute la presqu'île du nord ouest, qui traverse le centre par la basse plaine de l'Artibonite et se termine au Cul-de-sac, l'île de la Gonave, Belle anse et la bande côtière de Côtes de fer. Comme le montre la Figure 5-5, notre zone d'étude se trouve dans ces régions.
- Les régions à précipitations supérieures à 1 400 mm par an comme : la partie occidentale de la plaine du nord, les montagnes et le plateau du centre, les sommets du massif de la Selle et la partie ouest de la presqu'île du sud (voir figure 5-5).

Figure 5-5 : Départements et relief de la République d'Haïti



5.4.2.1. Données pluviométriques

Les données de pluie ont été obtenues du Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR). Les données obtenues sont des données journalières; elles proviennent de 156 stations réparties sur tout le territoire.

Parmi les stations pluviométriques qui intéressent particulièrement notre zone d'étude, trois ont été retenues pour les besoins de modélisation : les stations de Plaisance, d'Ennery et de Marmelade (voir figure 5-6 et tableau 5-5).

Figure 5-6 : Emplacement des stations pluviométriques

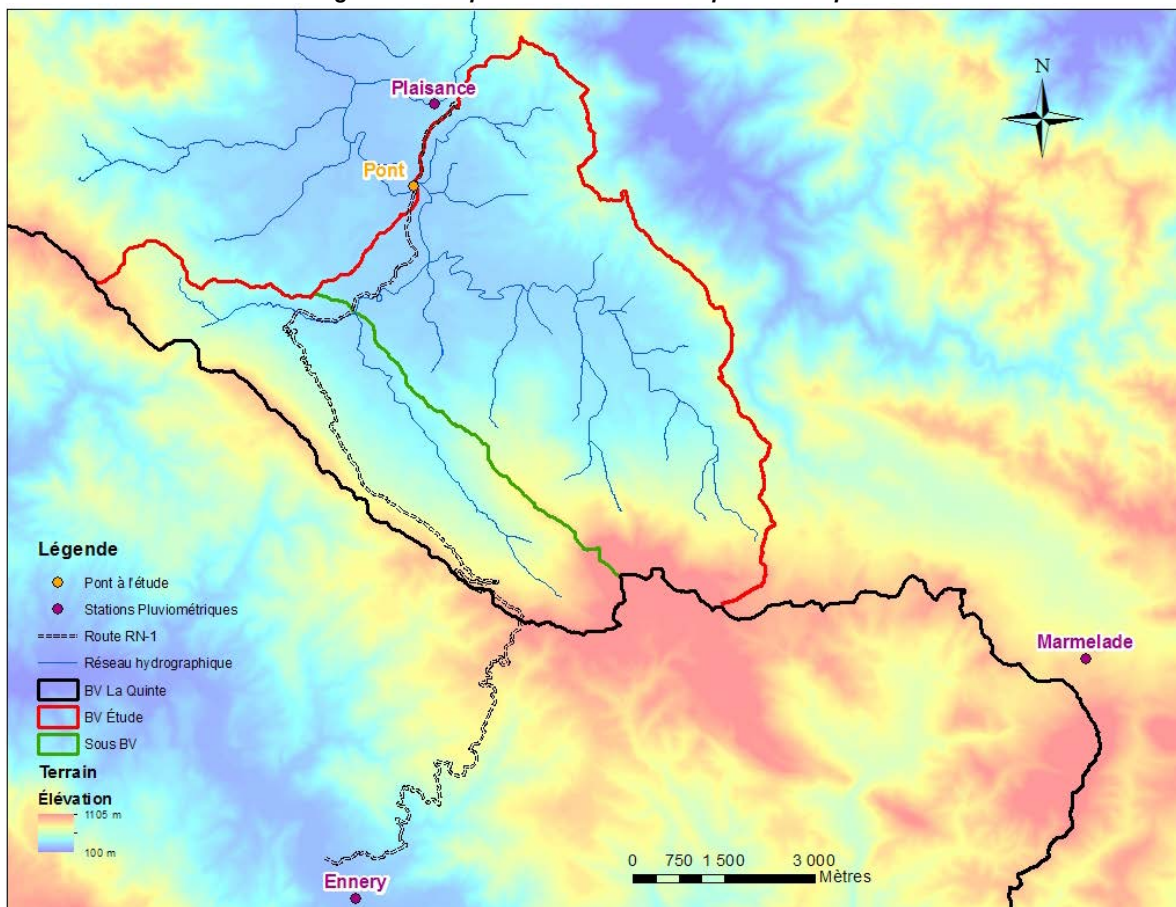


Tableau 5-5 : Stations pluviométriques retenues, types de données et période d'observation

Station	Type de données	Période d'observation	Remarque
Plaisance	journalière	1923-1997	Années manquantes: 1924, 1926 à 1930, 1933 à 1938, 1953 à 1964, 1968 à 1974
Ennery	journalière	1923-1988	Années manquantes: 1924, 1926 à 1930, 1932 à 1938, 1963, 1968 à 1976
Marmelade	journalière	1923-1968	Années manquantes: 1924, 1926 à 1930, 1933 à 1938, 1941, 1959, 1963

5.4.2.2. Données hydrométriques.

De façon générale, il existe très peu de relevés de débits de rivière en Haïti. Plus particulièrement, les données de crue sont pratiquement inexistantes. La plupart des campagnes de mesures s'étant axées sur l'alimentation en eau pour les besoins domestiques ou pour l'agriculture, les observations se sont limitées aux basses eaux. Par conséquent, vu l'urgence des travaux et aménagements requérant

l'estimation de crues, les hydrologues jusqu'ici n'ont eu d'autre choix que de recourir aux calculs théoriques pour dériver les valeurs de crue à partir de précipitations.

Les études précédentes, effectuées dans la région des Gonaïves, ont démontré que malgré les averses tropicales assez bien réparties, il existait un écart disproportionné entre les débits mesurés hors crue et les débits de crue, attribuable sans doute à la nature karstique du sous-sol. Cette situation rend ainsi difficile l'estimation du coefficient d'écoulement utilisé pour la méthode dite rationnelle. Selon cette méthode, l'estimation des pointes de crue à l'exutoire d'un bassin versant consiste à relier linéairement le débit maximal à l'intensité d'une pluie de durée et de fréquence appropriées. Outre la difficulté d'estimer un coefficient d'écoulement pour un sous-sol karstique, la méthode rationnelle ne s'applique normalement qu'aux petits bassins versants de l'ordre d'une cinquantaine d'hectares.

Dans la présente étude, afin de mieux tenir compte des processus hydrologiques impliqués dans la genèse des crues, et pour une approche plus appropriée au bassin versant de la rivière Grande au droit du pont (environ 52 km²), une modélisation pluie-écoulement a été effectuée en subdivisant le bassin versant de l'étude en deux sous-bassins et en décomposant les averses sélectionnées dans le temps de façon à mieux simuler la réponse des sous-bassins suivant les paramètres hydrologiques propres à leurs tailles respectives. Le modèle HEC-HMS, développé par l'US Army Corps of Engineers (USACE) a été utilisé pour simuler l'écoulement.

5.4.3. Estimation des crues par simulation pluie-écoulement

Le modèle HEC-HMS peut être appliqué à un bassin versant à différents niveaux de complexité, mais toujours suivant quatre composantes principales qui déterminent sa configuration et son exécution :

1. Le module de bassin. Cette composante représente l'aspect physique du bassin versant qui déterminera le cheminement de l'eau de pluie lors d'une averse, via les transformations qui s'opèrent, pour aboutir à l'écoulement. Pour les crues, les paramètres entrant en jeu sont :
 - la configuration géométrique du bassin et de ses sous-bassins;
 - le réseau hydrographique (jonctions et biefs);
 - les temps de réponse des sous-bassins;
 - les indices de perte, en particulier l'infiltration;
 - la restitution du débit de base.
2. Le module météorologique. Cette composante traite de la nature de l'averse génératrice de crue, définie par la répartition de son intensité dans l'espace et dans le temps, applicable aux sous-bassins.
3. Les paramètres de contrôle d'exécution. Ce module spécifie la période de simulation. Les données requises comprennent les dates et heures de début et de fin, ainsi que le pas de temps de calcul.
4. Les données d'entrée. Dans notre cas, ceci se rapporte essentiellement aux séries chronologiques de précipitations, soit la représentation des hyétogrammes de pluie donnant lieu à la crue.

Ces composantes, établies pour l'estimation des crues de la rivière Grande, sont traitées aux sections qui suivent.

5.4.3.1. Configuration du bassin versant de la rivière Ennery

La délimitation du bassin versant de la rivière Grande au droit du pont a été réalisée au moyen de cartes topographiques numérisées SRTM. La figure 5-7 montre le bassin versant de la Grande ainsi que les deux sous-bassins (BV1 et BV2) délimités pour les besoins de la simulation.

HEC-HMS génère un hydrogramme de crue pour chaque sous-bassin. Ces crues sont ensuite propagées vers l'aval suivant le bief défini et ajoutant, au passage, les crues de l'autre sous-bassin à son exutoire.

La crue provenant du sous-bassin BV1 se propage le long du bief-1 pour se joindre à l'exutoire final à la crue du sous-bassin BV2, donnant lieu à la crue sortant de l'ensemble du bassin de la Grande au droit du pont.

Les paramètres hydrologiques, requis pour définir le module de bassin de la Grande au modèle HEC-HMS, sont résumés au tableau 5-6.

**Figure 5-7 Bassin versant et sous-bassins de la rivière Grande.
Réseau schématique pour simulation HEC-HMS**



Tableau 5-6 : Caractéristiques des sous-bassins de la rivière Grande

Sous-bassin				Bief	
Identification	Superficie (km ²)	Temps de Concentration (min)	Taux d'infiltration (mm/h)	Identification	Transit (min)
BV1	16.8	79	5	----	----
BV2	35.0	157	5	<i>Bief 1</i>	20
TOTAL	51.8				

5.4.3.2. L'événement météorologique considéré

L'averse génératrice de crue a été calculée en considérant les courbes d'intensité-durée-fréquence (IDF) propre aux stations de Plaisance, Ennery et Marmelade. L'intervalle de temps le plus court disponible pour les données de précipitation étant de 24 heures, tandis que les temps de concentration des sous-bassins impliqués sont de l'ordre de une à trois heures, les courbes IDF ont été développées selon les étapes suivantes :

- Analyse de fréquence des pluies de 24 heures pour des périodes de récurrences allant jusqu'à 100 ans.
- Pour une récurrence donnée, estimation des averses de plus courtes durées par extrapolation.
- Traçage des courbes IDF pour différentes récurrences.

Pour l'analyse de fréquence des pluies de 24 heures, cinq ajustements théoriques ont été considérés :

1. L'ajustement normal;
2. L'ajustement Gumbel;
3. L'ajustement log-normal;
4. L'ajustement log-normal à 3 paramètres;
5. L'ajustement log-Pearson 3.

Les tests d'hypothèse habituels montrent qu'aucun des ajustements considérés ne pouvait être rejeté au niveau de confiance de 95%. Le choix de l'ajustement à retenir s'est donc fait sur la base des moindres carrés sur l'écart des observations (position de Hazen) par rapport à la courbe théorique. Au moyen de ce critère, le choix s'est porté sur l'ajustement log-Pearson 3. Les figures 5-8 à 5-10 montrent la répartition des points d'observations, la courbe théorique ainsi que les intervalles de confiance pour les pluies journalières de Plaisance, Ennery et Marmelade respectivement.

Les valeurs numériques des précipitations journalières, pour des fréquences spécifiques, sont présentées au tableau 5-7.

Tableau 5-7 : Stations Ennery et Marmelade. Fréquence de la pluie maximale journalière

Récurrence (années)	Précipitation (mm)		
	Station Plaisance	Station Ennery	Station Marmelade
2	102	66	77
5	141	88	99
10	172	108	112
20	206	130	124
50	258	164	138
100	304	195	148

Figure 5-8 : Station Plaisance. Fréquence des précipitations journalières. Ajustement log-Pearson-3

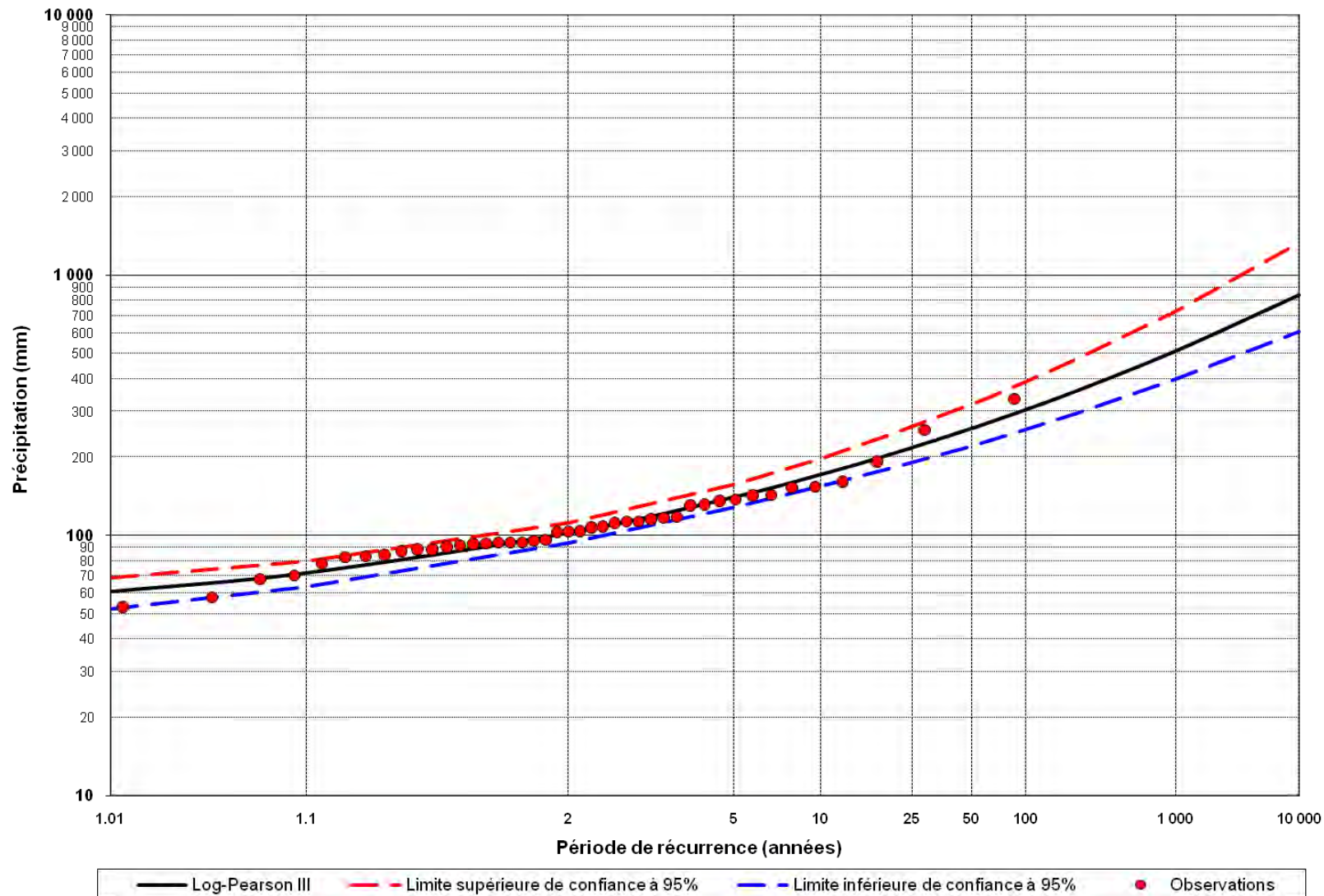


Figure 5-9 Station Ennery. Fréquence des précipitations journalières. Ajustement log-Pearson-3

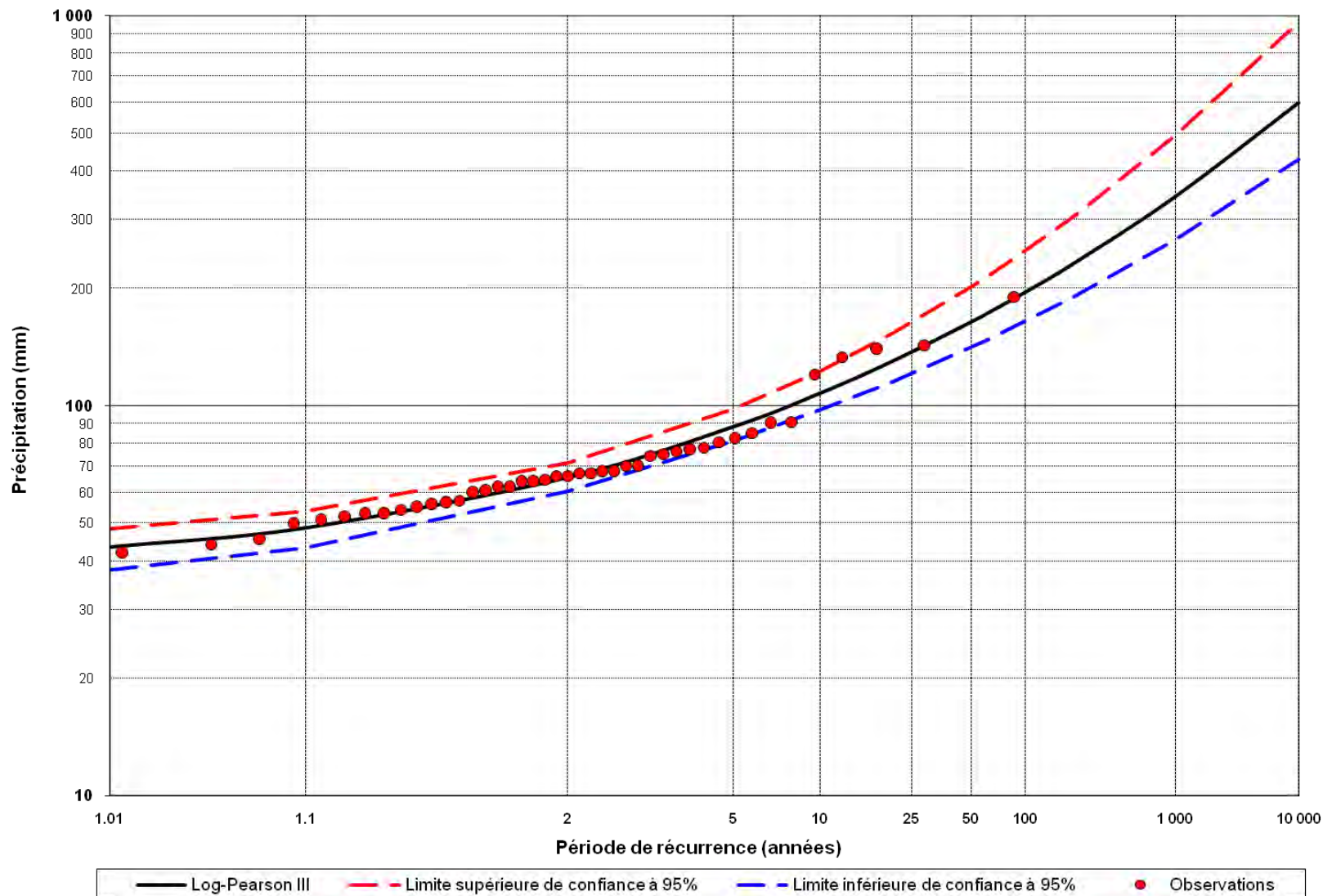
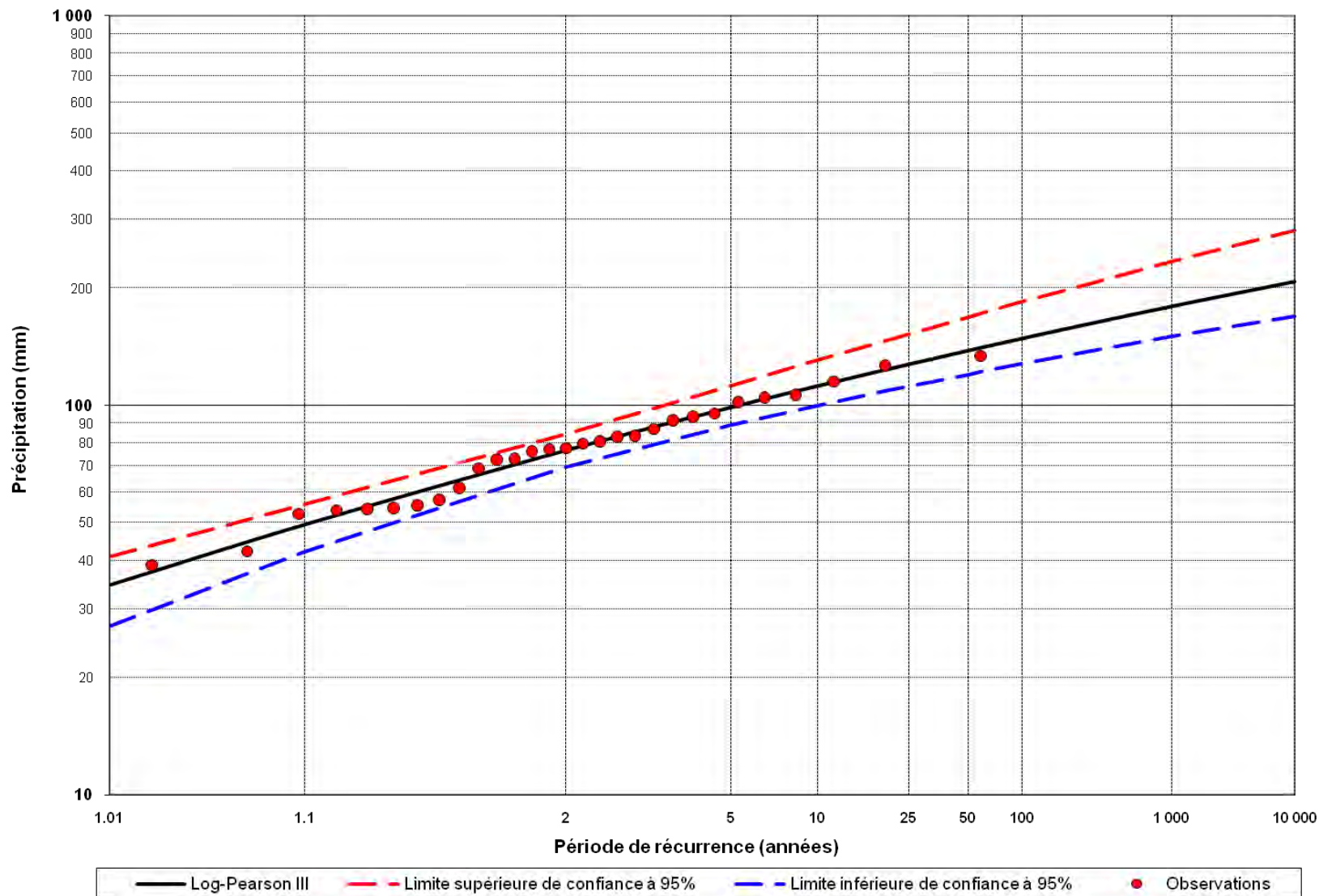


Figure 5-10 Station Marmelade. Fréquence des précipitations journalières. Ajustement log-Pearson-3.



L'intervalle de temps le plus court disponible pour les données de précipitation étant de 24 heures, les méthodes proposées par Bell (1969) et Huff (1967) ont été utilisées pour estimer des averses de plus courtes durées par extrapolation.

Les méthodes sont basées sur une représentation probabiliste des intensités des averses permettant de déterminer la distribution temporelle pour l'averse considérée. Les figures 5-11 à 5-13 ci-dessous montrent les courbes IDF ainsi calculées pour les stations de Plaisance, Ennery et Marmelade.

Figure 5-11 Station Plaisance. Courbes IDF.

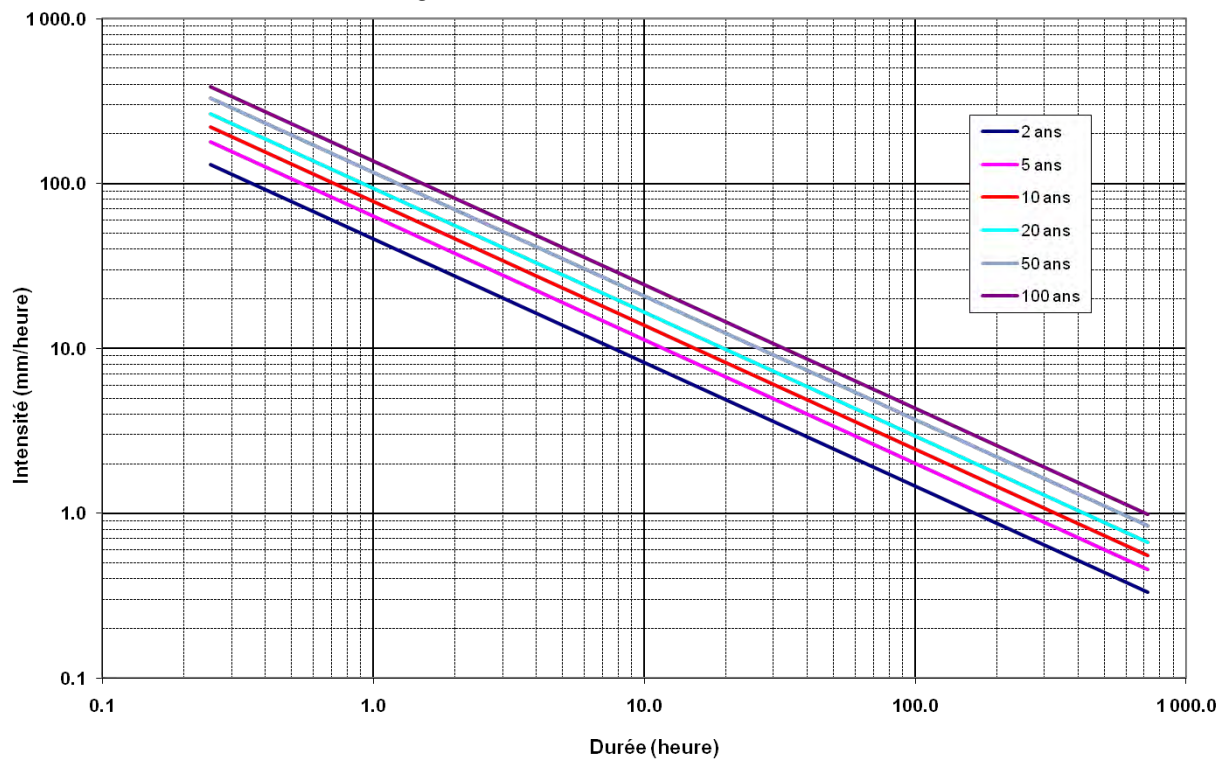


Figure 5-12 Station Ennery. Courbes IDF.

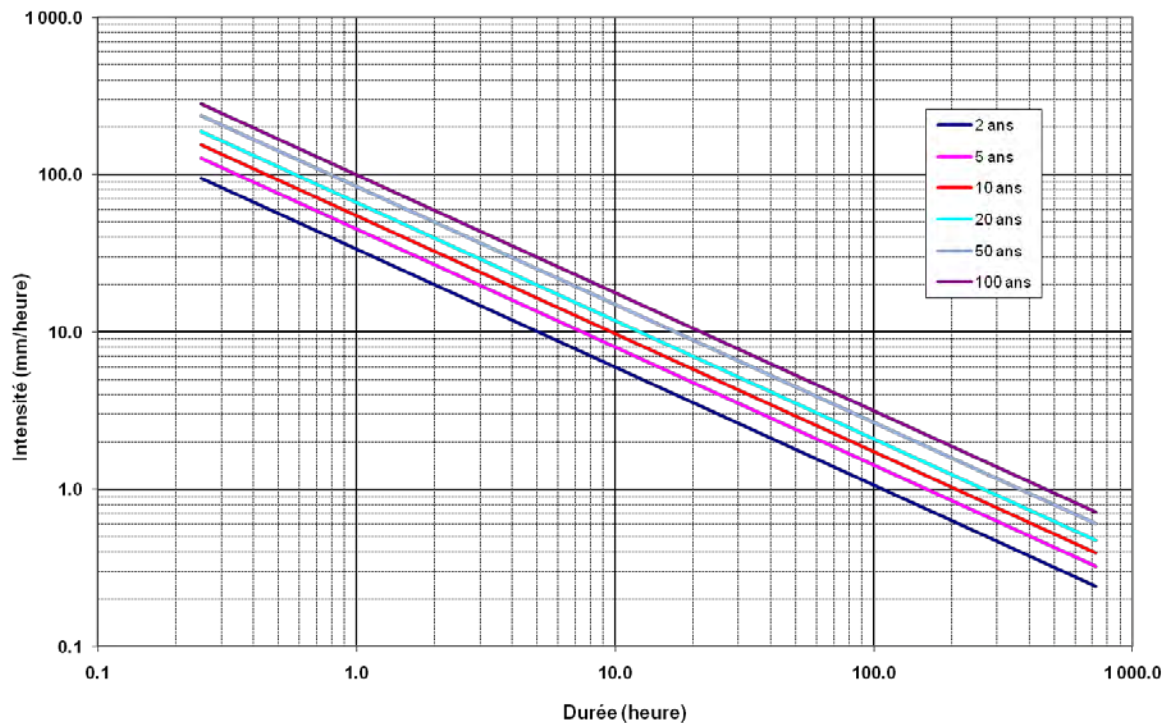
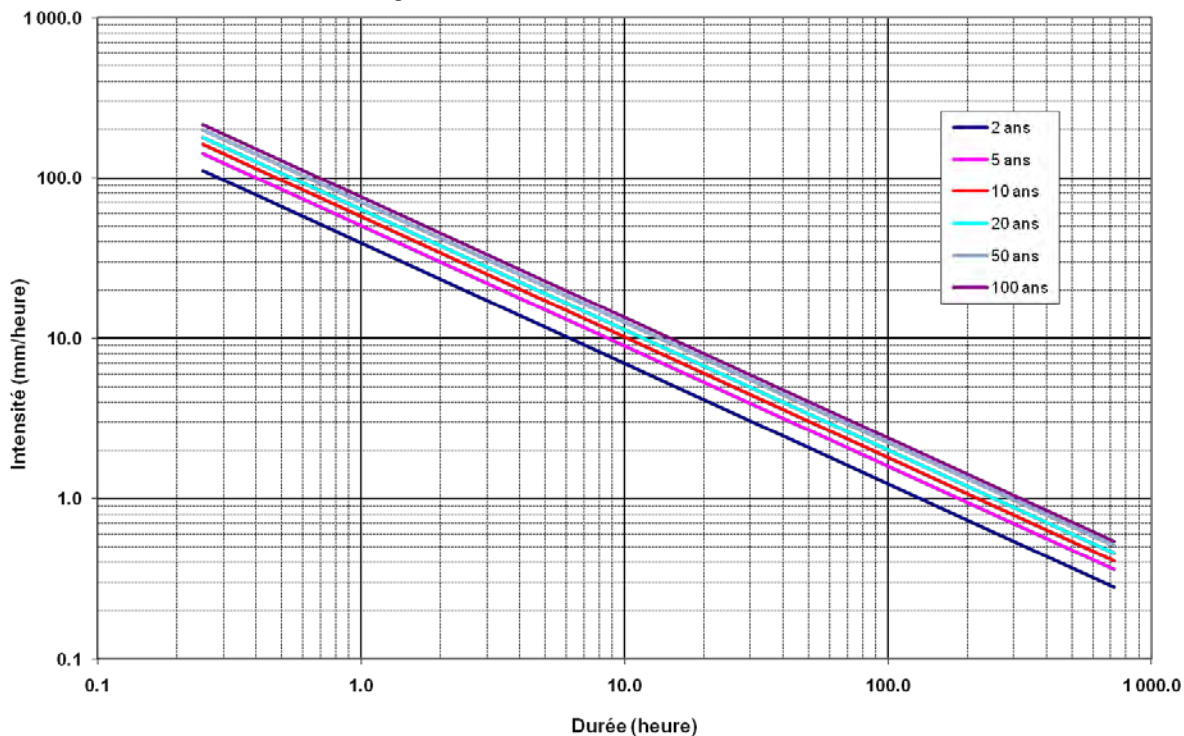


Figure 5-13 Station Marmelade. Courbes IDF



5.4.3.3. Hyétogramme de chaque sous-bassin

Afin de prendre en compte la distribution temporelle des précipitations, la méthode dite des « blocs alternés » a été utilisée. Cette méthode permet de développer le hyétogramme de conception à partir des courbes IDF.

La méthode a été développée pour une averse de 12 heures divisée en 24 blocs de 30 minutes. De par la localisation des trois stations pluviométriques utilisées (voir figure 5-6), un coefficient de pondération a été attribué à chaque station pour établir les hyétogrammes des deux sous-bassins BV1 et BV2. Ils sont donnés au tableau ci-dessous. Ce choix assure aussi la saturation du sol avant que ne se produise la partie de l'averse propre au temps de concentration du sous-bassin versant

Tableau 5-8 : Pondération de chaque station

Sous-bassin	Précipitation (mm)		
	Station Plaisance	Station Ennery	Station Marmelade
BV1	70%	30%	-
BV2	84%	2%	14%

5.4.3.4. Hydrogrammes obtenus avec HEC-HMS

Les hydrogrammes résultant de la simulation pluie-écoulement, pour chacun des deux sous-bassins et pour le bassin total, sont présentés ci-dessous pour les périodes de récurrence (T) de 20 ans et 100 ans.

Figure 5-14 : Hydrogramme résultant pour le sous-bassin BV1 – T = 20 ans

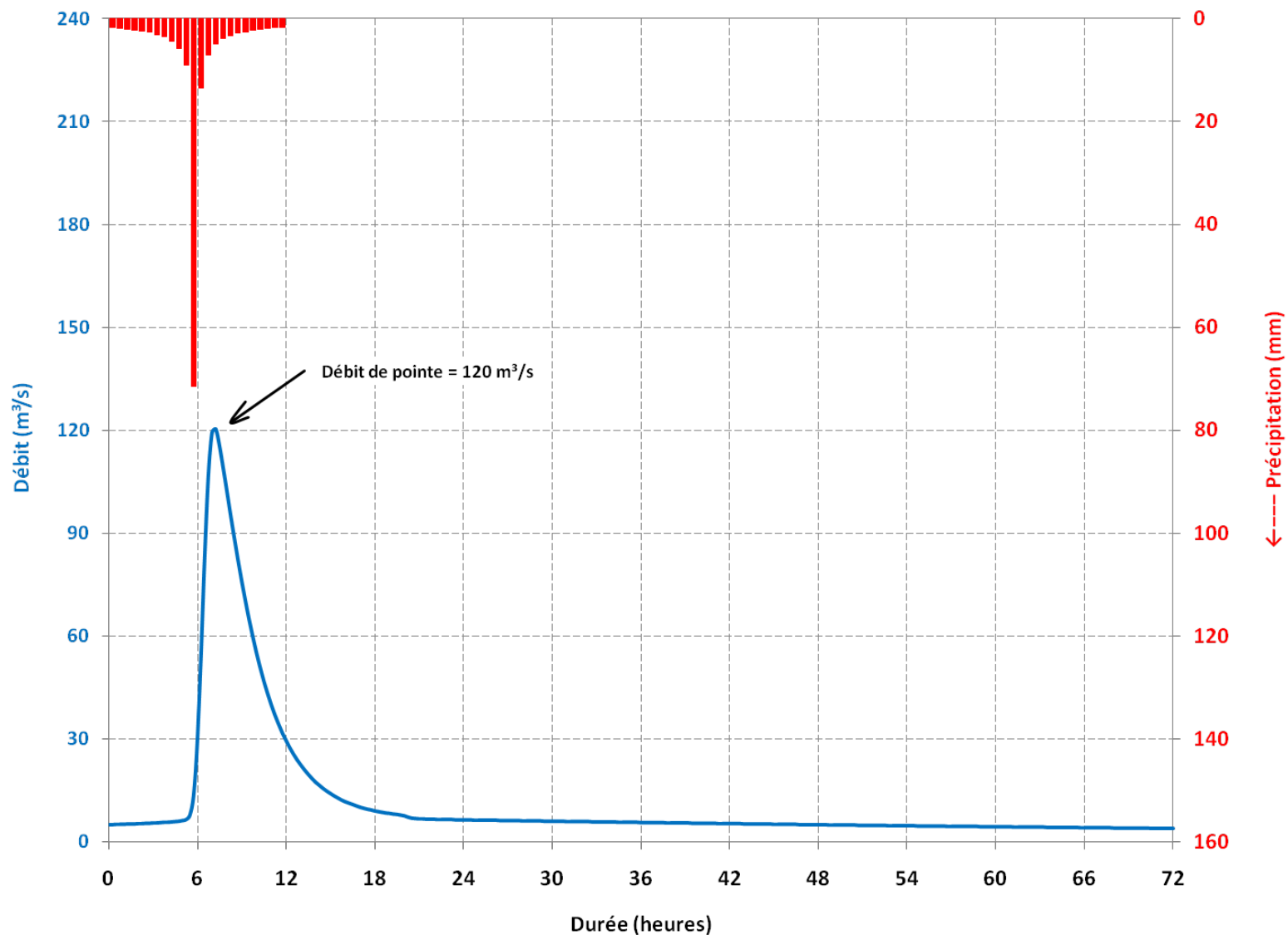


Figure 5-15 Hydrogramme résultant pour le sous-bassin BV2 – T = 20 ans

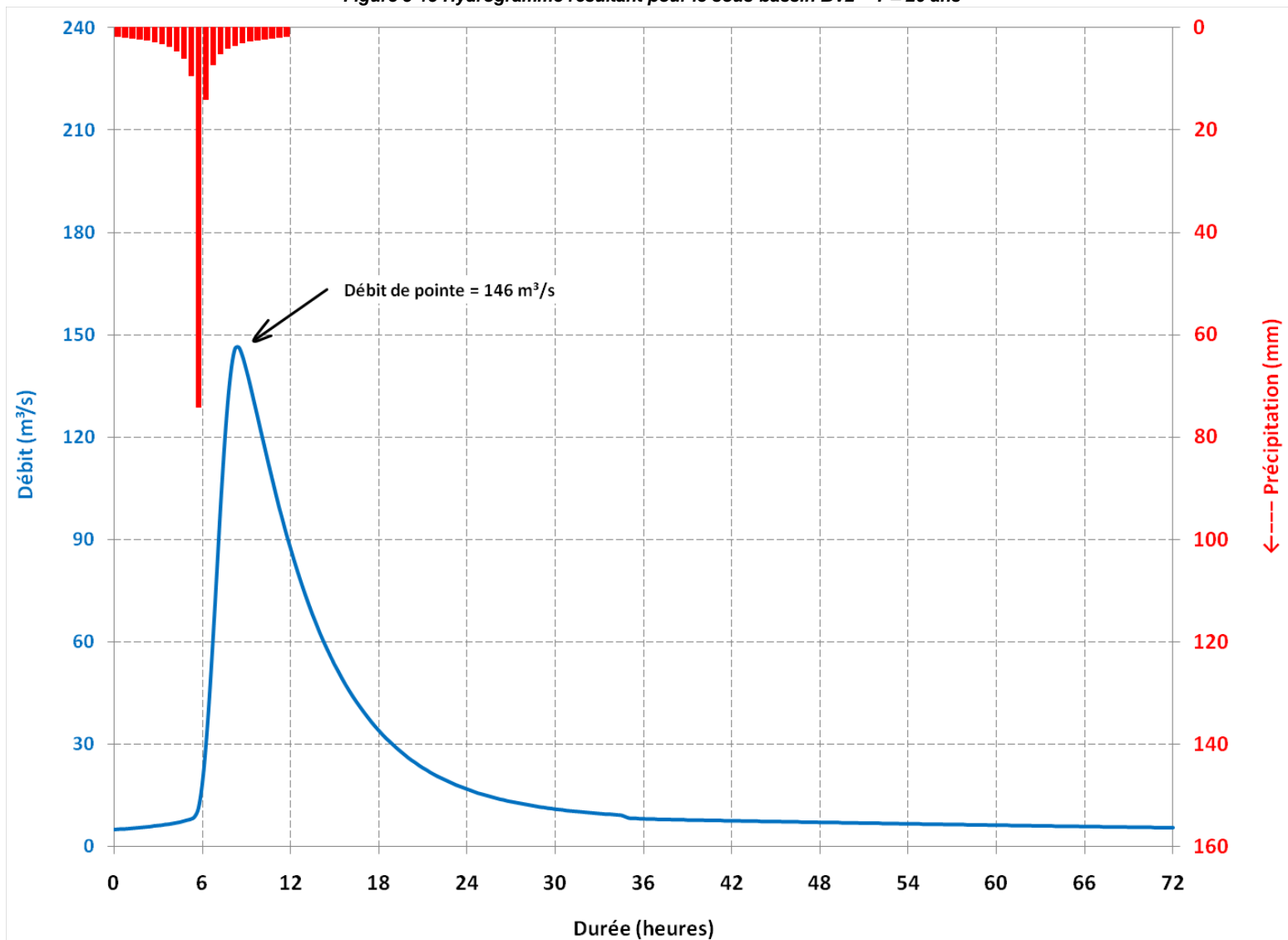


Figure 5-16 Hydrogramme résultant au pont – T = 20 ans

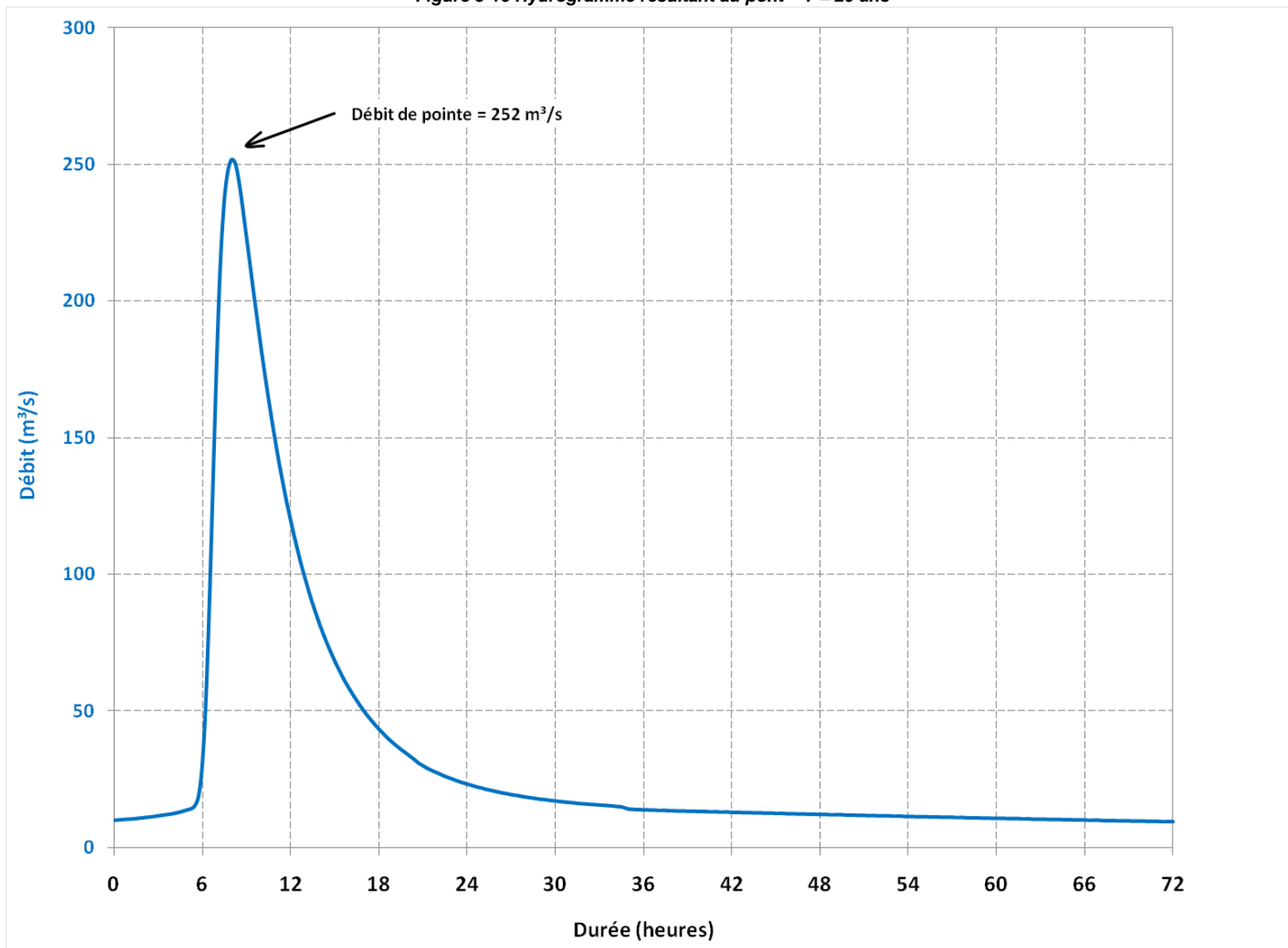


Figure 5-17 Hydrogramme résultant pour le sous-bassin BV1 – T = 100 ans

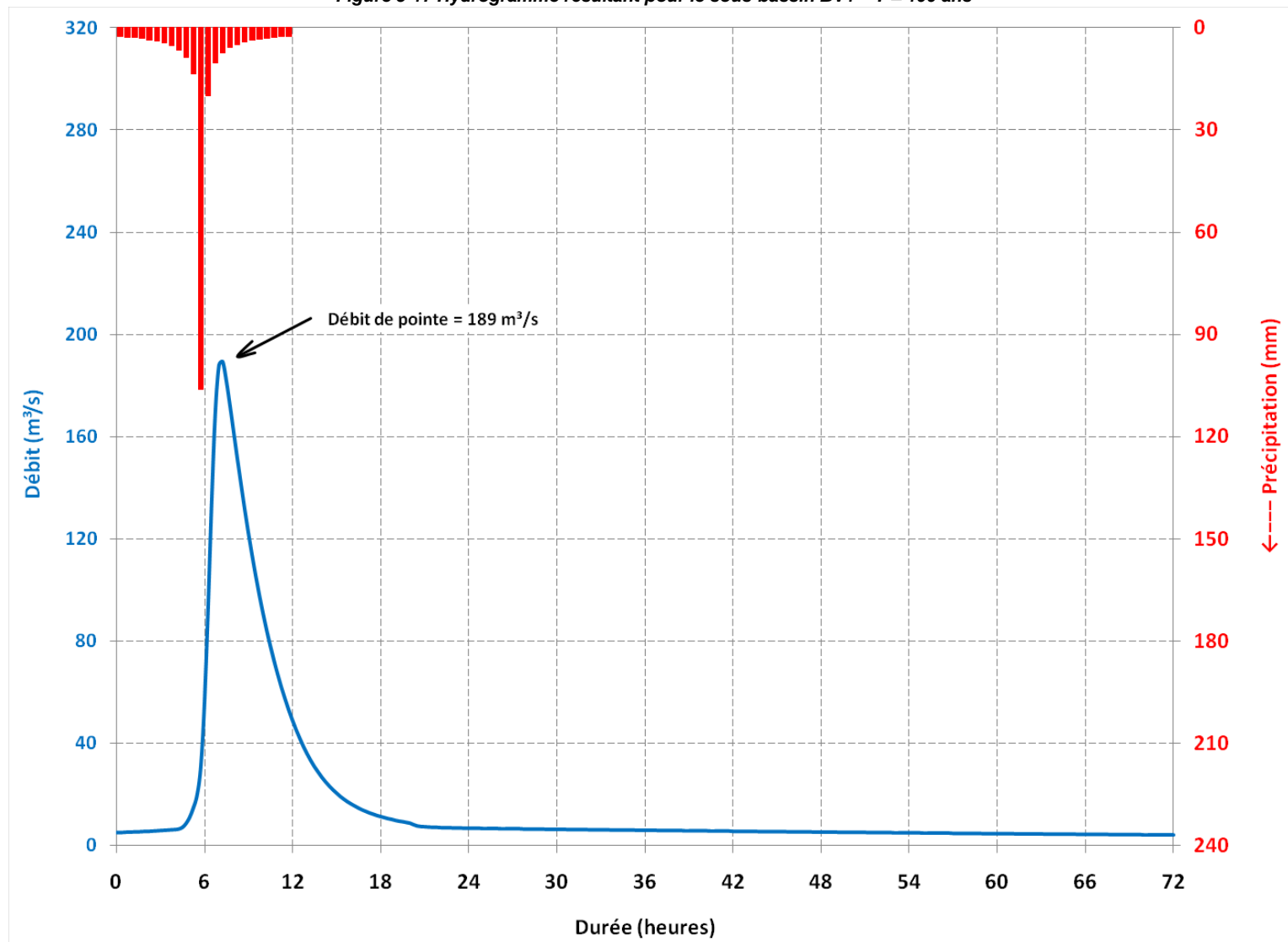


Figure 5-18 Hydrogramme résultant pour le sous-bassin BV2 – T = 100 ans

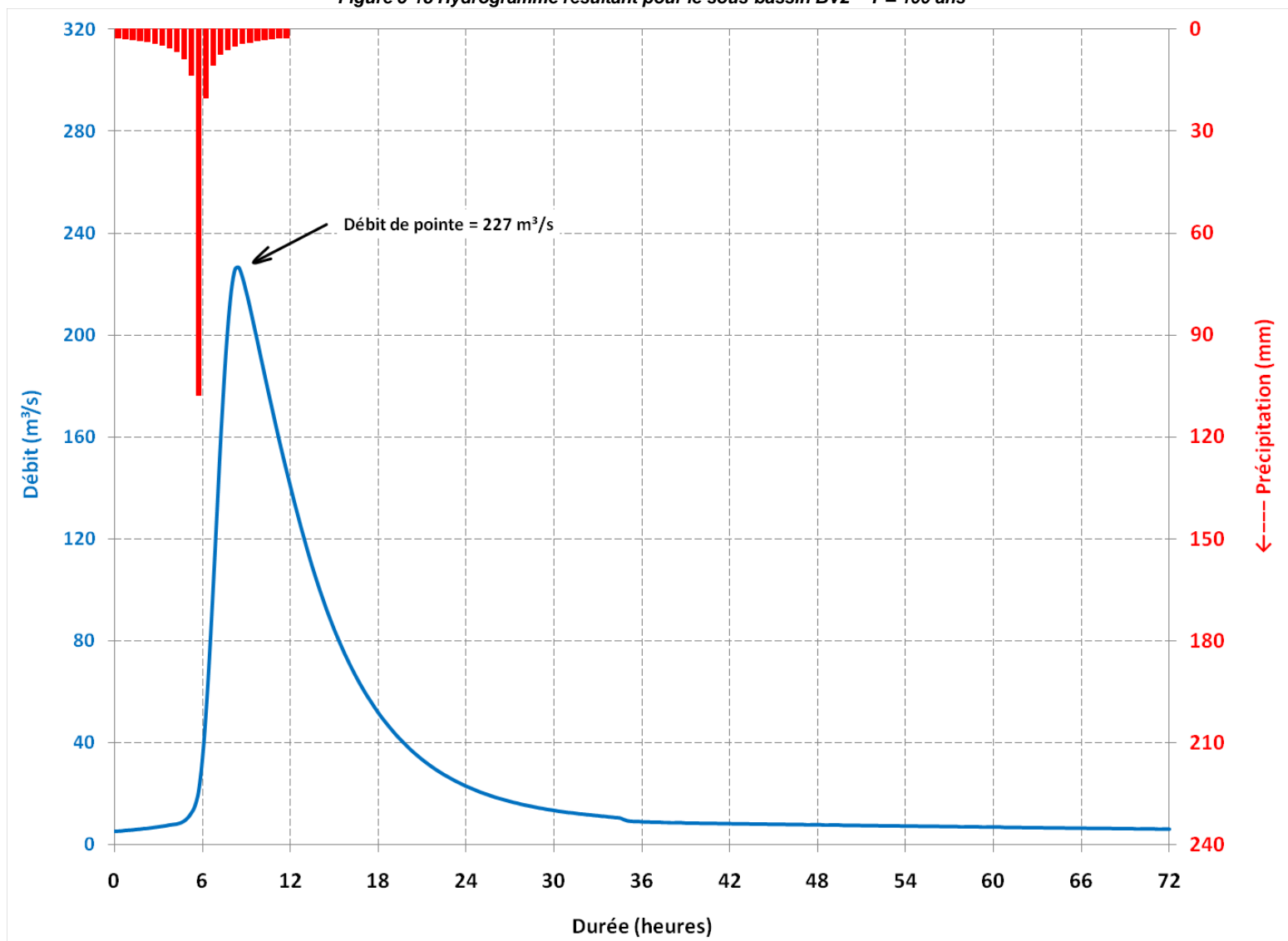
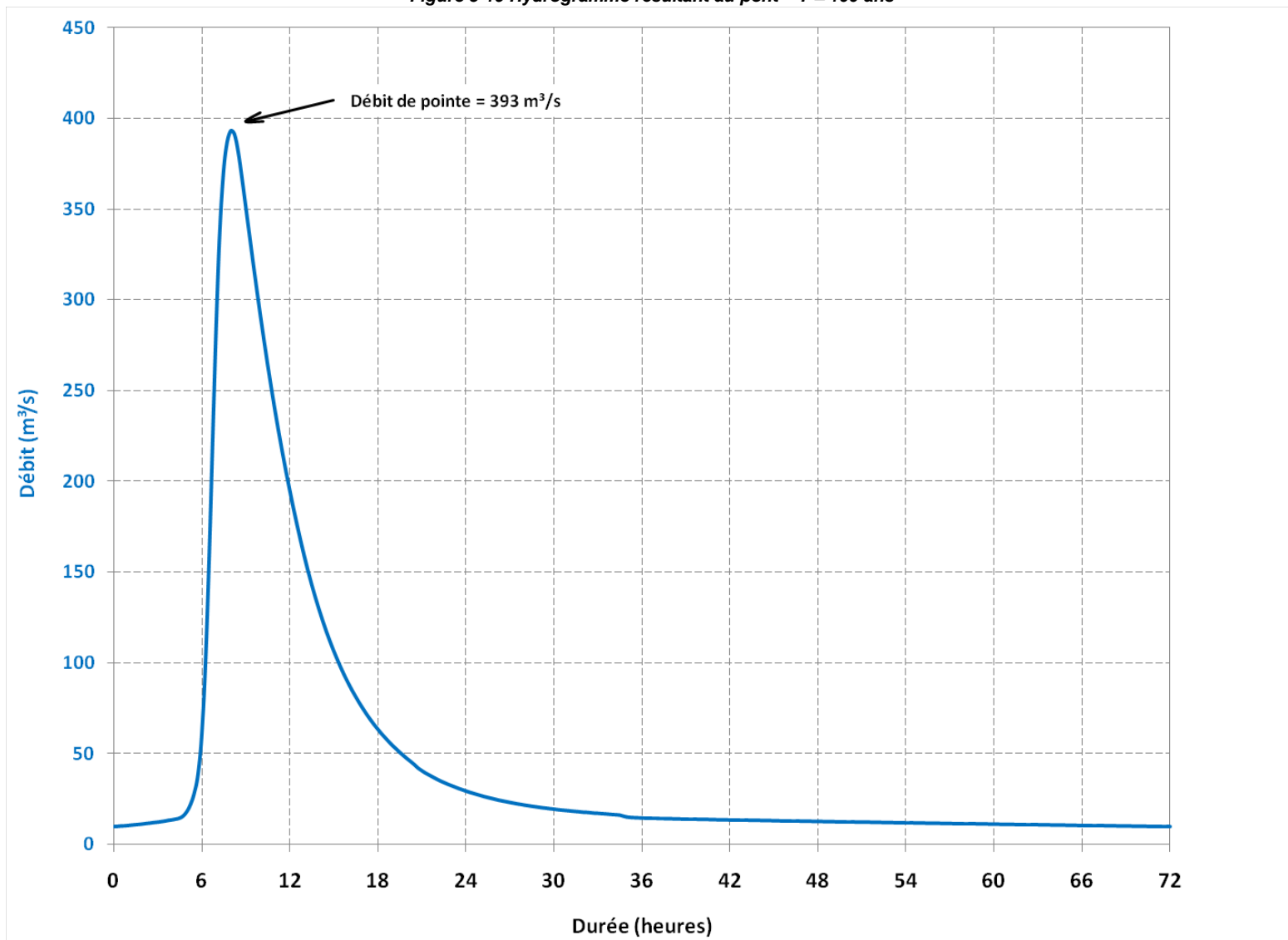


Figure 5-19 Hydrogramme résultant au pont – T = 100 ans



Les débits estimés à partir de la simulation pluie-écoulement, pour chaque élément hydrologique du modèle, sont présentés dans le tableau 5-9.

Tableau 5-9 : Débits estimés avec HEC-HMS

Élément hydrologique	Débit de pointe (m³/s) T = 20 ans	Débit de pointe (m³/s) T = 100 ans
BV1	120.3	189.3
BV2	146.3	226.5
Exutoire (Pont Plaisance)	251.7	393.1

5.4.4. Estimation des niveaux d'eau au droit du pont

Le modèle HEC-RAS, développé par l'US Army Corps of Engineers (USACE) a été utilisé pour simuler le comportement hydraulique de la rivière Grande suite à l'événement hydrométéorologique considéré dans la section 5.4.3.

Le pont à l'étude est montré à la figure 5-20. On voit sur celle-ci qu'une petite traverse (ancien pont) se trouve juste en amont de celui-ci. Elle a été prise en compte dans le développement du modèle hydraulique de cette étude, mais les résultats présentés par la suite ne concernent que le pont principal sur la route RN-1.

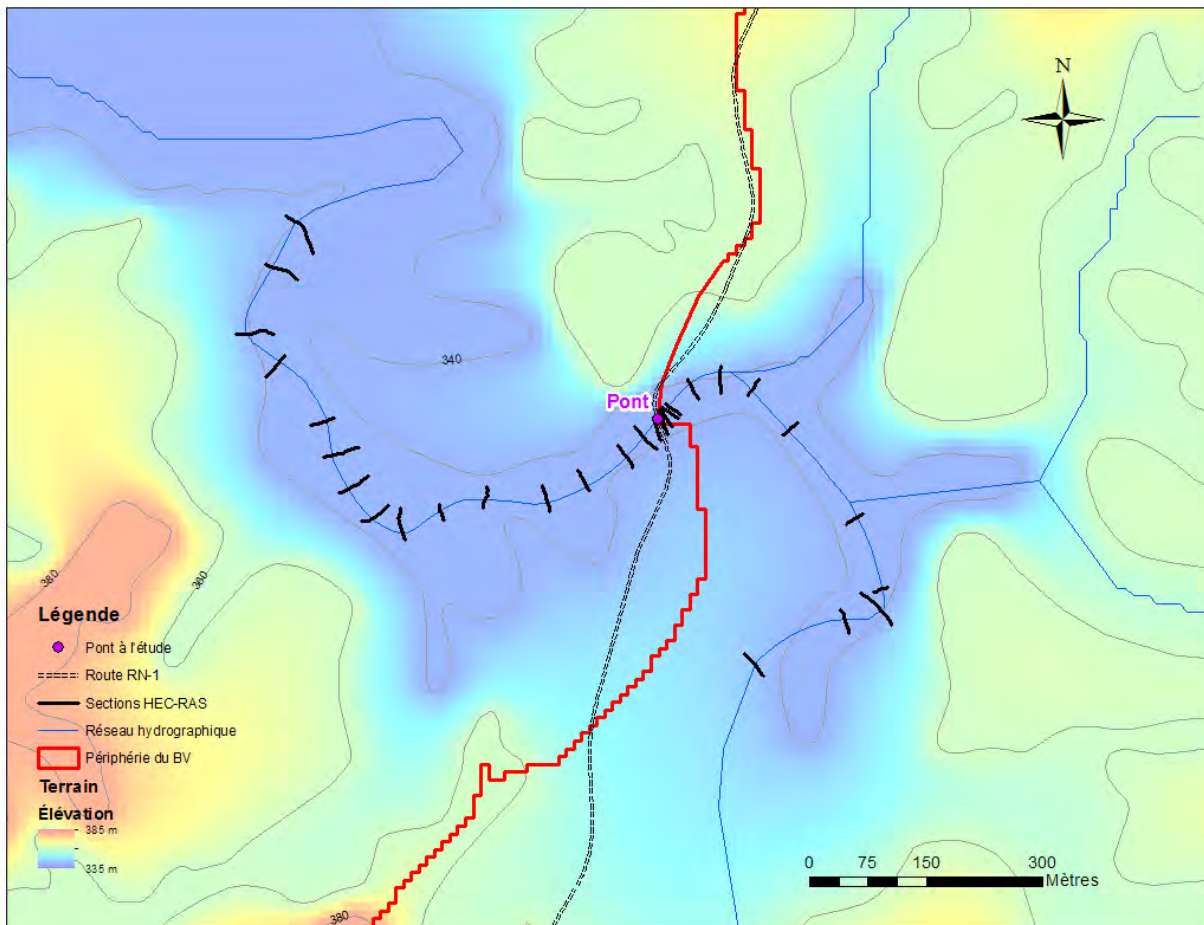
Figure 5-20 : Pont à l'étude sur la route RN-1



Le tablier du pont actuel se trouve à l'élévation 343,5 m et le soffite est à 342,2 m.

Les sections utilisées pour le modèle hydraulique proviennent de relevés topographiques réalisés dans la zone d'étude. Le tronçon arpenté s'étend sur environ 1 600 m, 700 m en amont du pont et jusqu'à 900 m en aval. Ces sections sont représentées sur la figure 5-21. Au total, 29 sections ont été définies le long de la rivière, 25 provenant des relevés et 4 pour le pont et la traverse (une à l'amont et à l'aval de chaque ouvrage pour les besoins de la modélisation).

Figure 5-21 Localisation des sections utilisées pour le modèle HEC-RAS



Comme le montre la figure 5-21, les relevés topographiques ne couvrent pas une zone assez large au niveau de la plaine d'inondation. Par conséquent, les sections arpentées ont été complétées à l'aide du modèle numérique de terrain utilisé pour la délimitation des bassins versants ainsi que de cartes topographiques au 25 000^e.

En plus de la définition des sections, le principal paramètre à estimer pour le modèle hydraulique est le coefficient de rugosité du lit de la rivière ainsi que celui de la plaine d'inondation. Les coefficients de Manning utilisés pour le modèle ont été estimés à partir des photographies disponibles et sont donnés dans le tableau 5-10.

Tableau 5-10 : Coefficients de rugosité de Manning utilisés

Zone de la rivière	Coefficient « n »
Lit principal	0.045
Plaine d'inondation	0.12

L'estimation faite est réaliste et délibérément conservatrice puisqu'aucune étude d'occupation du sol détaillée n'a été réalisée. .

Les paramètres hydrauliques obtenus après simulation sous HEC-RAS sont présentés dans le tableau 5-11.

Tableau 5-11 : Paramètres au droit du pont

T (années)	Débit (m ³ /s)	Niveau d'eau maximal (m)	Hauteur libre (m)	Vitesse maximale (m/s)
20	251.7	4.10	1.45	2.78
100	393.1	5.08	0.47	3.52

Les profils hydrauliques obtenus ainsi que des zooms au niveau du pont pour les deux périodes de récurrences considérées sont présentés aux figures 5-22 à 5-25.

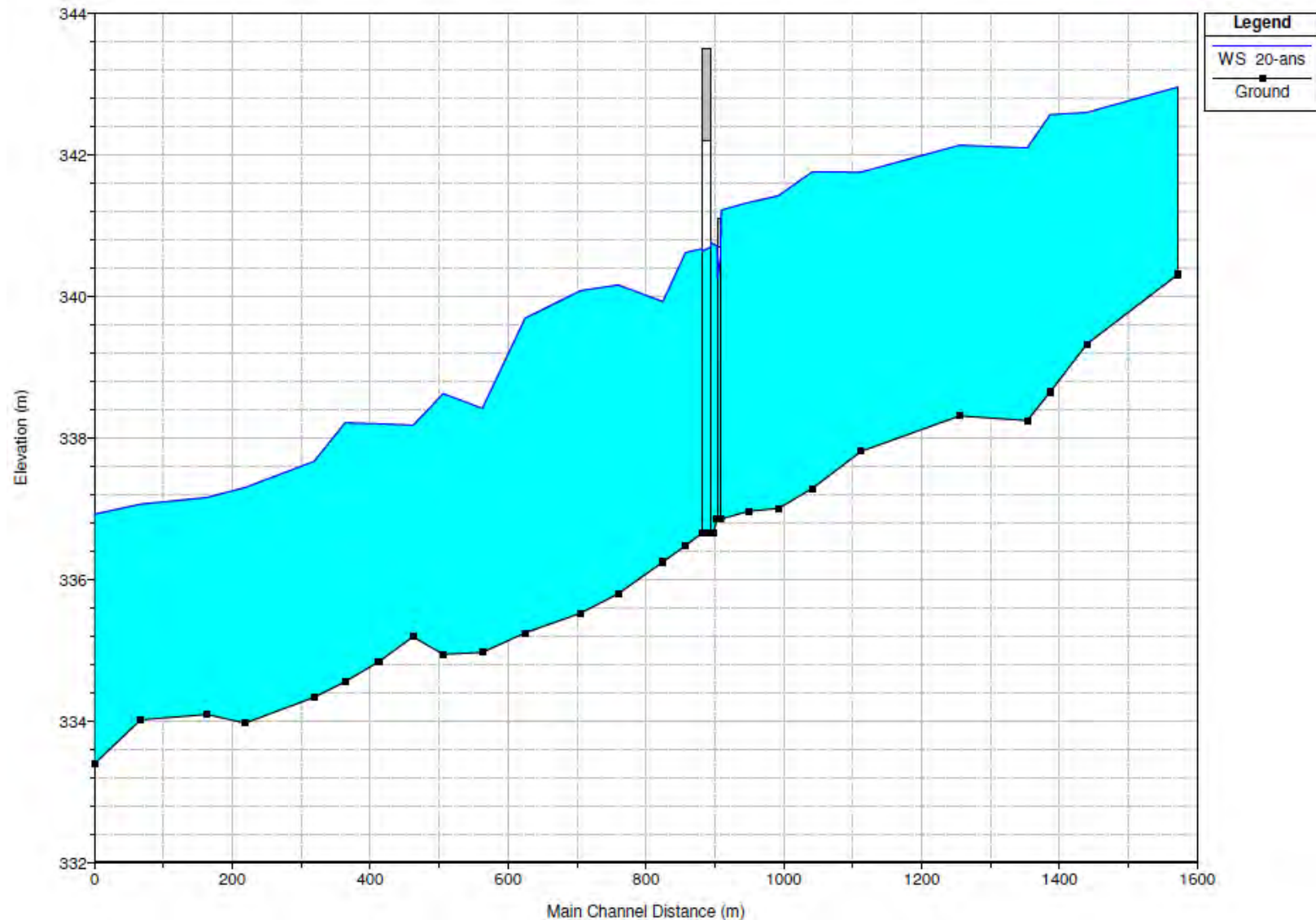


Figure 5-22 Profil longitudinal de la rivière Grande – Crue de 20 ans

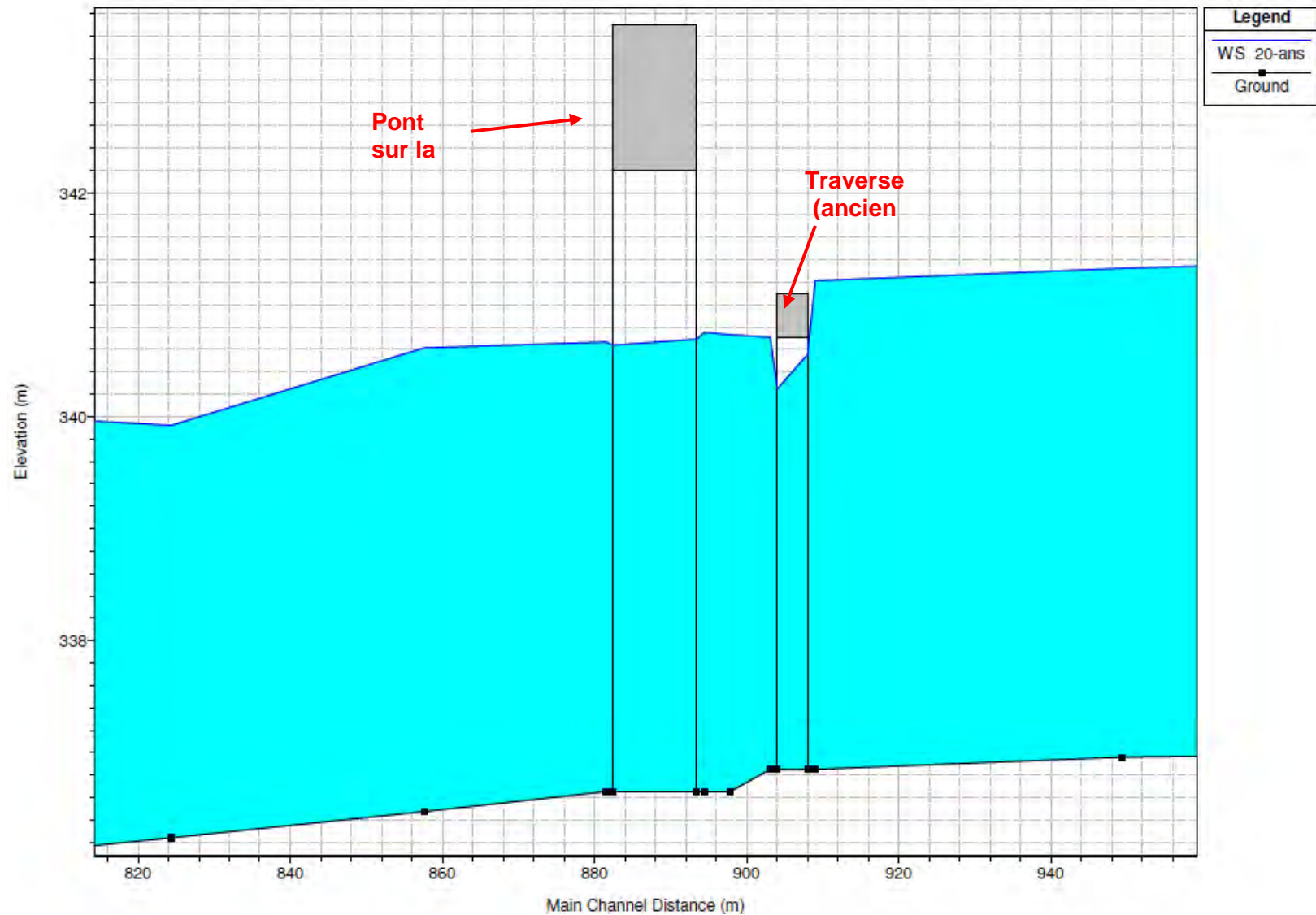


Figure 5-23 Zoom au niveau du pont – Crue de 20 ans

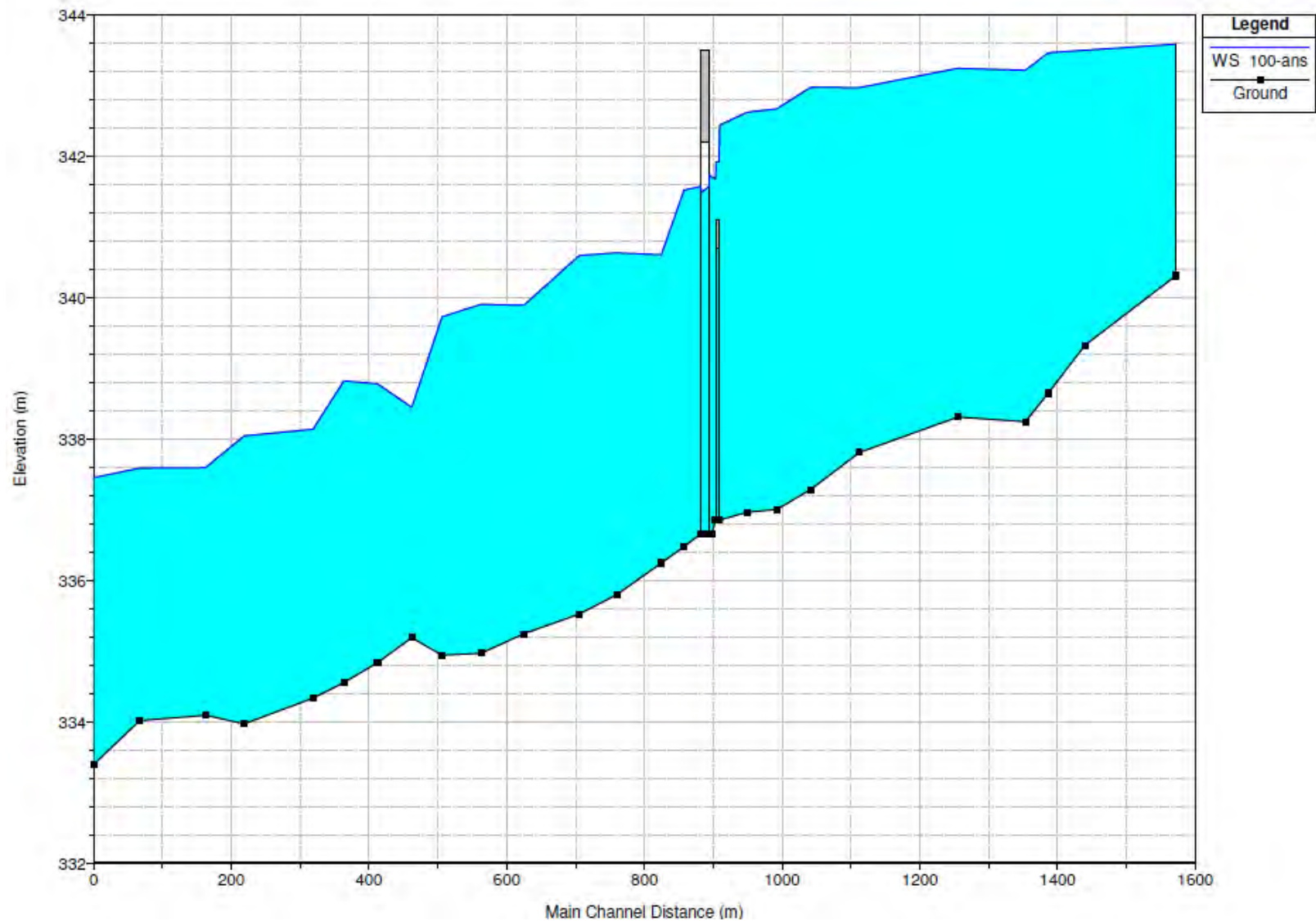


Figure 5-24 Profil longitudinal de la rivière Grande – Crue de 100 ans

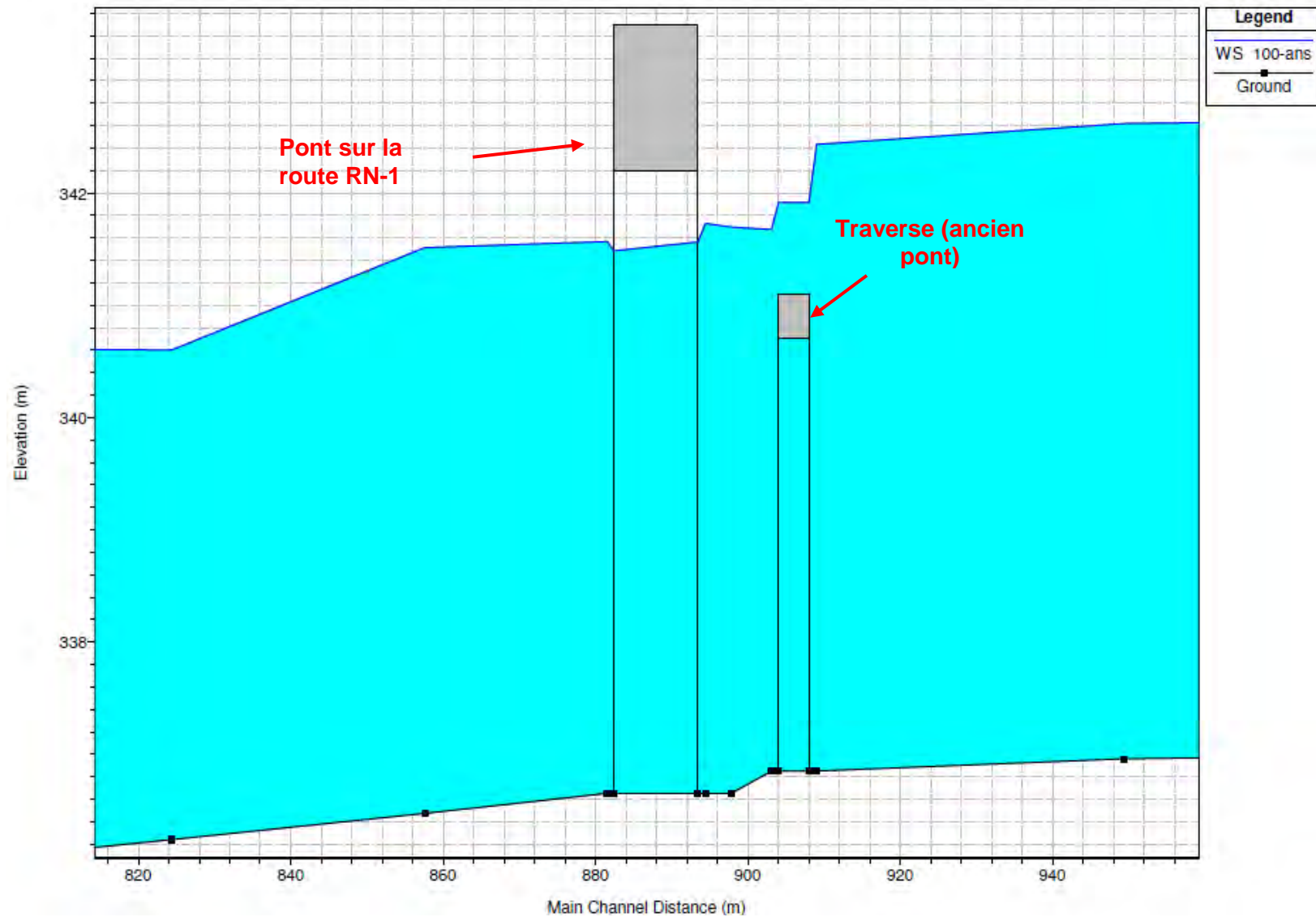


Figure 5-25 Zoom au niveau du pont – Crue de 100 ans

5.4.5. Conclusion

Les crues vicennale et centennale ont été évaluées à l'aide d'un modèle pluie-écoulement. Elles sont de 252 et 393 m³/s respectivement.

Pour la crue centennale, la hauteur libre sous le pont obtenue est de 0,47 m. Le dégagement doit respecter les critères de conception en vigueur en Haïti. Il est à noter aussi que pour la crue centennale, l'écoulement sous le pont ne se fait pas en charge, mais est bien à surface libre.

6. ÉTUDES GÉOTECHNIQUES ET GÉOLOGIQUES

6.1. SOMMAIRE DES TRAVAUX DE RECONNAISSANCE

Dans le cadre de la réhabilitation du tronçon de route Ennery - Plaisance, le Groupement a organisé, dès le début du mandat, une mission de reconnaissance par une délégation d'experts en génie routier et géotechnique. La délégation à laquelle s'est joint l'Ingénieur Harry Clinton, expert local en géotechnique, était constituée d'un ingénieur routier, d'un ingénieur géotechnicien et d'un géologue spécialiste en tunnel. Monsieur Clinton, qui agissait comme consultant pour le projet, possède de vastes connaissances de l'ensemble du territoire haïtien, en géotechnique et en conception routière.

Les principaux objectifs de cette mission de reconnaissance, qui s'est tenue du 19 au 22 mars 2013, étaient :

- 1- Répertorier de façon préliminaire les sources d'emprunts en matériaux de viabilité et élaborer un programme de reconnaissance en chantier et en laboratoire ;
- 2- Fixer le positionnement du linéaire routier par rapport à l'existant (possibilité de considérer une variante de tunnel) ;
- 3- Apprécier la configuration morphologique du milieu ainsi que les formations géologiques au droit du tracé routier, dans ses environs immédiats, ainsi qu'à l'emplacement d'une variante de tunnel ;
- 4- Analyser sur le terrain la faisabilité de variantes au tracé ;
- 5- Diagnostiquer visuellement l'état de dégradation et de déformation de la chaussée existante ;
- 6- Analyser les problèmes de drainage et leurs impacts sur la chaussée et la pérennité de la route ;
- 7- Analyser le problème d'érosion des berges le long de la route dans le secteur Plaisance et élaborer des méthodes de protection desdites berges, le cas échéant ;
- 8- Déterminer la nature des formations rocheuses présentes sur le talus aval de la route et évaluer sommairement la stabilité et la géométrie des talus existants ;
- 9- Définir le programme d'investigation en vue de la conception de la nouvelle chaussée.

Suite à cette mission de reconnaissance et à l'élaboration d'un programme de reconnaissance pour les sources potentielles d'emprunt granulaire et pour la conception de chaussée, des travaux de terrain ont été effectués à partir du mardi 16 avril 2013. Ces travaux ont consisté en :

- Reconnaissance sommaire des sources d'emprunt potentielles (bancs d'emprunt exploités commercialement et formations rocheuses qui feront l'objet d'excavations importantes le long du nouveau tracé) ;
- Échantillonnage de ces sources d'emprunt potentielles et essais en laboratoire ;
- Cartographie géologique de l'ensemble des talus amont existants excavés dans la roche avec détermination de la nature pétrographique et mesures structurales (inclinaison et direction du pendage) ;
- Mesures de l'inclinaison des coupes rocheuses existantes et évaluation du comportement passé de ces talus ;
- Réalisation d'essais in situ à l'aide d'un déflectomètre portatif à masse tombante (Light Weight Deflectometer ou LWD) pour la conception de chaussée ;
- Réalisation de puits d'exploration manuels à la limite du revêtement de la route existante ;

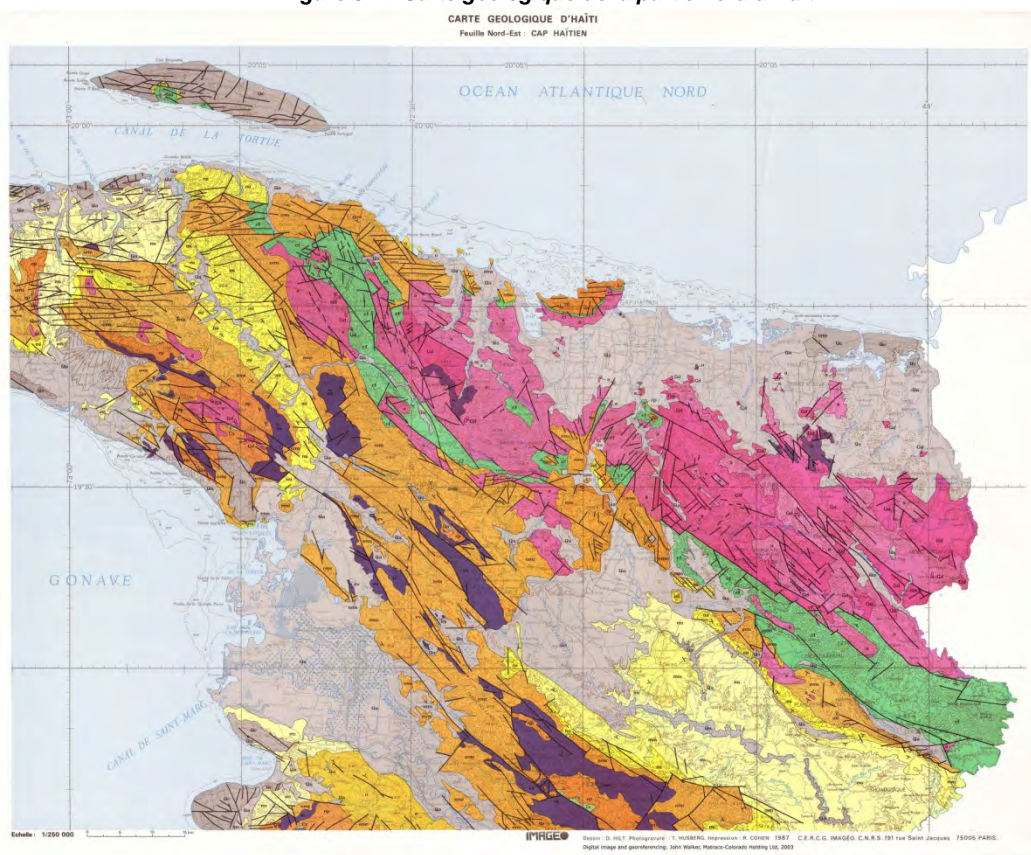
- Réalisation d'essais en laboratoire sur les spécimens de sol provenant des puits d'exploration manuels.

6.2. GÉOLOGIE ET GÉOMORPHOLOGIE

6.2.1. Géologie

Le site de la route Ennery-Plaisance est situé sur des unités géologiques datant principalement de l'Éocène moyen et supérieur. Les formations rencontrées sont principalement carbonatées. Les faciès rencontrés sont des calcaires lités en bancs souvent épais de déposition de plate-forme. Autour de la ville de Plaisance, il y a présence d'andésites de textures microlithiques porphyriques datant du crétacé et d'ardoise.

Figure 6-1 : Carte géologique de la partie nord d'Haïti



6.2.2. Géomorphologie

Le tracé débute au carrefour de la RN-1 dans le village d'Ennery. Jusqu'au PK 9+000, la route est en ascension sur le flanc sud et aride d'une chaîne de montagnes, en longeant un ravin sinueux et profond. La route culmine au carrefour Puilboreau (Marmelade). Par la suite, la route longe en descendant le flanc nord de la chaîne de montagnes, beaucoup plus arrosé que le versant sud. Des coupes importantes et des talus importants sont visibles respectivement à gauche et à droite de la route, et ce jusqu'au PK 18+400. Entre le PK 18+400 et le PK 24+000, soit la fin du tracé, la route se situe dans une plaine d'alluvions sans reliefs importants (vallée de la municipalité Plaisance). La

formation de la vallée de Plaisance résulte de l'érosion de roches plus tendres comme les andésites très altérées et les ardoises identifiées.

Le flanc nord de la chaîne de montagnes est caractérisé par un milieu de vie beaucoup moins aride et une oxydation-altération plus intense des formations rocheuses, et ce vraisemblablement à cause des vents dominants du nord et aux précipitations plus importantes lors de la rencontre entre les nuages et la montagne.

6.3. SOURCES D'EMPRUNTS EN MATÉRIAUX DE VIABILITÉ

6.3.1. Généralités

Il est d'usage en Haïti d'exploiter les alluvions de rivière pour les matériaux d'emprunt constituant la couche de forme (tout-venant de rivière), pour les matériaux d'emprunt constituant les couches de fondation et les couches de base (matériaux écrêtés ou tamisés) ou encore pour la confection des agrégats pour le béton de ciment et le béton bitumineux (matériaux concassés). Les matériaux de fondation sont souvent préparés par écrêtage manuel alors que les matériaux de la couche de base en graveleux naturel sont tamisés. Dans certaines applications, on peut exiger le recours à un graveleux concassé.

On utilise également des matériaux de carrière pour la couche de forme (tout-venant de carrière).

Dans le cadre du présent projet, les possibilités d'exploitation des sources d'emprunt en matériaux de viabilité ont été inventoriées le long du linéaire routier. De plus, dans le cadre du projet précédent Gonaïves – Ennery, les alluvions de la rivière Ennery ont été échantillonnées à plusieurs endroits pour être soumis à des essais physiques en laboratoire afin de déterminer leurs caractéristiques intrinsèques. Finalement, les formations rocheuses les plus importantes du tronçon à l'étude, qui feront l'objet de coupes importantes, ont été échantillonnées aux fins d'essais en laboratoire. Les sources d'emprunt potentielles répertoriées sont les suivantes :

- Exploitation commerciale de la rivière La Branle (usine de Gonaïves) ;
- Exploitation commerciale de la rivière Limbé ;
- Dépôts alluvionnaires de la rivière Ennery ;
- Carrière artisanale au sud du village d'Ennery ;
- Zones de déblai dans les formations de calcaire marneux litées,, jaunâtres--blanchâtres et relativement peu altérées (PK 0+000 à PK 8+800) ;
- Zones de déblai dans les formations de calcaire karstique oxydées, brunâtres-grisâtres (PK 8+800 à PK 16+000).

Cette compilation n'est pas exhaustive et n'a pour objectif que de donner un portrait sommaire aux entrepreneurs appelés à soumissionner pour la réalisation du projet. Ces derniers devront effectuer leurs propres recherches et analyses en laboratoire et le cas échéant obtenir les permis d'exploitation requis.

6.3.2. Description des sources d'emprunt potentielles

Exploitation commerciale de la rivière La Branle

À environ 7 km du carrefour Joffre (sortie nord de la ville de Gonaïves), sur la Route Nationale No.5 qui mène à Port-de-Paix, un entrepreneur exploite le banc d'emprunt de la rivière La Branle. À

proximité de la zone d'exploitation, un tributaire qui traverse une formation de roche magmatique de type basalte sur une distance d'environ 4 km, se jette dans la rivière La Branle.

Exploitation commerciale de la rivière Limbé

Ce banc d'emprunt est situé sur la route Route Nationale No.1 qui mène à la ville de Cap-Haïtien, soit à environ 16 km de la municipalité de Plaisance et à 5 km avant Limbé. Un entrepreneur exploite déjà ce banc d'emprunt, il est installé entre la RN-1 et le lit de la rivière Limbé. En amont de cette zone d'exploitation, la rivière traverse une formation de roche magmatique de type basalte.

Photo 6-1 : Exploitation en rivière des alluvions de la rivière Limbé



Photo 6-2 : Production de granulats concassés



Dépôts alluvionnaires de la rivière Ennery

Le long de l'axe du tracé de la RN-1 entre Gonaïves et Ennery, coule la rivière Ennery. De par la sinuosité de son lit, cette dernière est constituée d'importantes terrasses alluviales. De par la qualité et l'homogénéité de ce matériau, cette rivière constitue vraisemblablement un emprunt en matériau plus viable. Ce dernier, sans élaboration en centrale, peut être utilisé en remblai de masse pour la couche de forme et suite à un écrêtage manuel et/ou un tamisage mécanique, en couches de fondation et de base. Toutefois, des essais physiques réalisés lors d'un mandat précédent ont permis d'établir que ces matériaux ne sont pas adéquats pour la confection d'agrégats à béton de ciment ou béton bitumineux.

Les photos suivantes prises à proximité du village d'Ennery illustrent cet emprunt.

Photo 6-3 : Rivière Ennery près de la localité d'Ennery



Carrière de la localité d'Ennery

À environ 1 km au sud-ouest du cœur de la ville d'Ennery et limitrophe à la rivière Ennery coulant à proximité de cette localité, une carrière artisanale semble avoir été exploitée dans une formation marno-calcaire stratifiée, en bancs décimétriques. On y accéderait par un chemin de terre après avoir traversé la rivière à gué. Cette carrière n'a pas été visitée dans le cadre du présent mandat et par conséquent la nature et la qualité des matériaux tout comme la qualité du chemin d'accès n'ont pas été reconnues.

Les photographies suivantes illustrent la zone d'exploitation à flanc de montagne.

Photo 6-4 : Carrière artisanale au sud-ouest de la localité d'Ennery avec en avant plan la rivière Ennery



Déblais de route dans le calcaire marneux, blanchâtre-jaunâtre

Dans le cadre de la réfection de la RN-1 entre Ennery et Plaisance, des déblais majeurs du talus amont de la route existante seront requis pour améliorer le tracé de la route. Entre les PK 0+000 et 8+800, les matériaux rocheux qui seront excavés sont constitués de calcaire marneux lités, blanchâtre-jaunâtre. Les alluvions de la rivière Ennery proviennent de la météoration de ces formations rocheuses. Ces matériaux pourront être excavés mécaniquement et servir pour la couche de forme. La photo qui suit illustre une falaise coupée dans cette formation rocheuse.

Photo 6-5 : Déblais de route dans le calcaire marneux lités, blanchâtre-jaunâtre



Déblais de route dans le calcaire karstique oxydé, grisâtre-brunâtre

Dans le cadre de la réfection de la RN-1 entre Ennery et Plaisance, des déblais majeurs du talus amont de la route existante pourraient être requis pour améliorer le tracé de la route entre les PK 9+400 et 10+175. Les matériaux rocheux à cet endroit sont constitués de calcaire avec une structure à blocs de couleur grisâtre-brunâtre. Ces matériaux devront possiblement être excavés avec l'usage d'explosifs ou avec beaucoup plus d'énergie mécanique que les calcaires marneux lités. Ces matériaux pourront servir pour la couche de forme. La photo qui suit illustre une falaise coupée dans cette formation rocheuse.

Photo 6-6 : Formation de calcaire karstique



6.3.3. Essais en laboratoire sur les matériaux des sources d'emprunt

Dans le cadre de la présente étude, des échantillons représentatifs des exploitations commerciales de La Branle et Limbé, ainsi que des formations rocheuses majeures présentes le long du tronçon à l'étude (calcaire marneux jaunâtre et calcaire karstique oxydé) ont été prélevés aux fins d'essais en laboratoire. Dans le cas de la rivière La Branle, l'échantillon a été prélevé à l'usine de l'exploitant située au sud de Gonaïves. Aucun spécimen provenant de la carrière artisanale d'Ennery n'a été prélevé. Finalement, les alluvions de la rivière Ennery ont fait l'objet d'une caractérisation de leurs caractéristiques intrinsèques lors de l'étude du tronçon Gonaïves-Ennery en 2012.

Le tableau 6-1 ci-après résume les essais en laboratoire effectués sur des échantillons représentatifs de chacune des sources potentielles identifiées ci-haut. Les résultats des essais en laboratoire effectués par le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) et par Groupe Qualitas inc. sont présentés et discutés à la section 6.3.4.



Tableau 6-1 : Programme d'essais en laboratoire pour matériaux de viabilité

Provenance de l'échantillon	Essais en laboratoire			
	Los-Angeles	Micro-Deval	Examen pétrographique avec lames minces	Réaction alcalis-granulats
Rivière La Branle	x	X	x	X
Rivière Limbé	x	X	x	X
Calcaire marneux jaunâtre	x	X	x	X
Calcaire karstique oxydé	x	X	x	X
Rivière Ennery	x	X	x	X

6.3.4. Résultats des essais en laboratoire et discussion

Le rapport de SNC-Lavalin portant sur l'examen pétrographique et les essais de réactivité alcalis-granulats et le rapport de LNBTP sont présentés à l'Annexe M. Un résumé du contenu de ces rapports est présenté dans les lignes ci-dessous.

6.3.4.1. Examen pétrographique et réactivité alcalis-granulats

Rivière La Branle

L'examen macroscopique de l'échantillon provenant de la rivière La Branle indique qu'il est composé d'un mélange hétérogène des roches sédimentaires et volcaniques. Les granulats sont tantôt arrondis et sous arrondis, tantôt de forme cubique et rectangulaire, alors que leur couleur varie de rouge à brun, vert, gris et blanc, tout dépendant de leur nature pétrographique. Le degré d'oxydation peut être qualifié de faible à moyen. La dureté des fragments de roches ignées volcaniques examinées est évaluée à 6,5 sur l'échelle de Moh's (voir critères d'évaluation de la dureté selon l'échelle de Moh's en annexe du rapport de Groupe Qualitas inc. présenté à l'Annexe M du présent rapport).

De façon à évaluer le potentiel de réaction des agrégats aux alcalis présents dans le ciment Portland, un essai de réactivité alcalis-granulats, selon la norme CSA A23.2-25A, a été effectué sur l'échantillon. Les résultats indiquent que l'expansion mesurée sur les barres de mortier au bout de 16 jours excède de beaucoup (0,718%) la limite maximale d'expansion de 0,15% spécifiée à la norme. Par conséquent, il n'est pas recommandé d'utiliser les alluvions de la rivière La Branle pour la confection d'agrégats à béton de ciment.

Rivière Limbé

L'examen macroscopique de l'échantillon provenant de la rivière Limbé indique qu'il est constitué d'une roche magmatique effusive de type basalte mélangée à quelques roches de type dolérite de couleur blanche à vert pâle et à des roches volcano-sédimentaires de couleur verte, grise ou rouge. Le degré d'oxydation peut être qualifié de faible à moyen. La dureté des fragments de roches ignées volcaniques examinées est évaluée à 6,5 sur l'échelle de Moh's.

Les résultats d'un essai de réactivité alcalis-granulats, selon la norme CSA A23.2-25A, indiquent que l'expansion mesurée sur les barres de mortier au bout de 16 jours excède de beaucoup (0,279%) la limite maximale d'expansion de 0,15% spécifiée à la norme. Par conséquent, il n'est pas recommandé d'utiliser les alluvions de la rivière Limbé pour la confection d'agrégats à béton de ciment.

Calcaire marneux jaunâtre

L'examen macroscopique de l'échantillon provenant des parois rocheuses situées entre le PK 0+000 (Ennery) et le PK 9+000 (Marmelade) est composé de calcaire dur, de couleur blanc-beige avec des nuances roses. Le roc est très peu altéré, et on note la présence de nombreuses veinules remplies de quartz. Il est à noter que sur plusieurs fragments examinés le calcaire apparaît partiellement silicifié. La dureté des roches calcaires examinées a été évaluée à 3,5-4 sur l'échelle de Moh's. Environ 5 % des fragments de roc étudiés sont de la nature pétrographique d'un calcaire crayeux, très friable. Sa dureté a été évaluée à 2 sur l'échelle de Moh's. Le degré d'oxydation peut être qualifié de faible à moyen.

Les résultats d'un essai de réactivité alcalis-granulats, selon la norme CSA A23.2-25A, indiquent que l'expansion mesurée sur les barres de mortier au bout de 16 jours est élevée (0,121%) et s'approche de la limite maximale d'expansion de 0,15% spécifiée à la norme. Des essais additionnels sont recommandés avant d'utiliser le calcaire marneux jaunâtre pour la confection d'agrégats à béton de ciment.

Calcaire karstique oxydé

L'analyse macroscopique indique que l'échantillon provient des parois rocheuses situées entre le PK 9+000 et le PK 18+400 se compose de calcaire à grains fins, de couleur blanche et très fossilifère. Il est à noter que sur l'ensemble de l'échantillon les granulats apparaissent très oxydés en surface, ce qui laisse l'impression qu'ils sont de couleur brune. Plusieurs fissures traversent d'une façon chaotique les granulats et dans le plan de la fissuration nous avons remarqué la présence de la même oxydation. Le degré d'oxydation peut être qualifié de moyen à élevé. La dureté des roches examinées est évaluée à 3,5 sur l'échelle de Moh's. Le roc réagit avec une forte effervescence en contact avec l'acide chlorhydrique. L'effervescence à l'acide chlorhydrique et la coloration uniforme rouge violacé à la solution de Dickson, qui est une méthode simple et rapide permettant de différencier qualitativement la calcite et la dolomite, indique la présence plus ou moins exclusive du calcaire.

Les résultats d'un essai de réactivité alcalis-granulats, selon la norme CSA A23.2-25A, indiquent que l'expansion mesurée sur les barres de mortier au bout de 16 jours est inférieure (0,013%) à la limite maximale d'expansion de 0,15% spécifiée à la norme. Par conséquent, si les caractéristiques intrinsèques du calcaire karstique oxydé rencontrent les exigences, il pourra être utilisé pour la confection d'agrégats à béton de ciment. D'autres essais d'expansion devront être effectués lors des excavations de masse dans le calcaire karstique pour s'assurer de l'uniformité des résultats.

Rivière Ennery (résultats de l'étude de 2012)

Les alluvions de la rivière Ennery sont composés de calcaire à grains fins, très fossilifères et dont la couleur varie de blanc-jaunâtre à blanc-rosâtre. Une légère oxydation de surface a été observée sur plusieurs cailloux. Cette légère oxydation a également été observée, lors de l'examen microscopique, à l'intérieur des cailloux et le long de microfissures.

De façon à évaluer le potentiel de réaction des agrégats aux alcalis présents dans le ciment Portland, un essai de réactivité alcalis-granulats, selon la norme CSA A23.2-25A, a été effectué sur l'échantillon. Les résultats indiquent que l'expansion mesurée sur les barres de mortier au bout de 17 jours excède la limite maximale d'expansion de 0,15% spécifiée à la norme. Par conséquent, il n'est pas recommandé d'utiliser les alluvions de la rivière Ennery pour la confection d'agrégats à béton de ciment.

6.3.4.2. Essais physiques

De façon à déterminer s'ils conviennent pour des usages routiers, les différents échantillons prélevés aux exploitations commerciales de La Branle et Limbé, ainsi que sur des formations rocheuses majeures présentes le long du tronçon à l'étude (calcaire marneux jaunâtre et calcaire karstique oxydé) ont été soumis à des essais d'abrasion Micro-Deval et de ténacité Los Angeles. Le tableau 6-2 ci-après présente les résultats des différents essais. Le rapport détaillé de LNBTP est présenté à l'Annexe M.

Tableau 6-2 : Résultats des essais en laboratoire sur matériaux de viabilité

Provenance de l'échantillon	Los-Angeles	Micro-Deval
	(%)	(%)
Rivière La Branle	22	17
Rivière Limbé	18	26
Calcaire marneux jaunâtre	8	22
Calcaire karstique oxydé	10	22
Rivière Ennery (5 échantillons)	15 à 19	21 à 34

Le tableau 6-3 résume les possibilités d'utilisation des matériaux testés en corps de chaussée et comme granulats pour des enrobés bitumineux et du béton de ciment.



Tableau 6-3 : Utilisations possibles des matériaux d'emprunt

Provenance de l'échantillon	Utilisation				
	Enrobés bitumineux (note 1)	Couche de base	Couche de fondation	Couche de forme	Béton de ciment
Rivière La Branle	OK	OK	OK	OK	Non
Rivière Limbé	Marginal MD=26 (>25)	Marginal MD=26 (>25)	OK	OK	Non
Calcaire marneux jaunâtre	OK (note 3)	OK (note 3)	OK (note 3)	OK	Non
Calcaire karstique oxydé	OK	OK	OK	OK	Oui (note 2)
Rivière Ennery	Non	Non	Oui	Oui	Non

Note 1 : selon la norme NF P 98-130

Note 2 : sauf pour des chaussées et du béton haute performance

Note 3 : une attention particulière doit être portée au contenu en calcaire crayeux qui peut affecter le résultat des essais LA et MD

6.4. INVESTIGATIONS POUR LE DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSÉE ET DES TALUS

Dans le cadre de la réhabilitation du tronçon de route Ennery-Plaisance, les investigations pour le dimensionnement de la chaussée et des talus comprenaient :

- Une évaluation de l'état de dégradation de la route existante ;
- Une évaluation de la déformation de la chaussée à un intervalle d'environ 100 à 125 mètres à l'aide d'un déflectomètre portatif à masse tombante (LWD) ;
- La réalisation de puits d'exploration manuels à des intervalles d'environ 500 m ;
- Une cartographie géologique et structurale des formations rocheuses présente le long du tracé.

Les résultats de ces différents modes d'investigation sont présentés aux sections suivantes.

6.4.1. État de dégradation de la route existante

Dans le but de compléter les informations obtenues des essais LWD (mesures de module) et des puits manuels (stratigraphie, structure de chaussée) en vue du futur design de chaussée, un relevé sommaire de l'état de dégradation de la chaussée existante a été effectué le 17 avril 2013 par un ingénieur géotechnicien.

Les principaux défauts observés sur la chaussée existante sont présentés sur les photos 6-7 à 6-9 ci-après. Les photos sont suivies d'un texte explicatif et de la cause probable de la dégradation.

Photo 6-7 : Faïençage à mailles fines ou peau de crocodile combiné à de la pelade



Photo 6-8 : Faïençage à mailles fines ou peau de crocodile



Photo 6-9 : Faïençage à mailles fines ou peau de crocodile combiné au désenrobage de l'enrobé



6.4.1.1. *Faïençage à mailles fines :*

Rupture du revêtement sur des superficies plus ou moins étendues, formant un patron de fissuration à mailles polygonales dont la dimension moyenne est de l'ordre de 300 mm ou moins. Elle comprend un minimum de trois cases dans toutes les directions. On distingue les fissures alligator des fissures linéaires ramifiées en mailles. La fissure alligator n'est pas une fissure longitudinale ou transversale ramifiée et ne comporte pas de fissure maîtresse.

Causes probables

- Fatigue (ex. : épaisseur de revêtement insuffisante);
- Vieillissement de la chaussée (oxydation et fragilisation du bitume dans l'enrobé);
- Capacité portante insuffisante (sous-dimensionnement, matériaux déficients ou
- problème de drainage)

6.4.1.2. *Pelade :*

Décollement par plaques de l'enrobé de la couche de surface avec dénivellation aux abords. Contrairement au nid-de-poule où la fondation est exposée, dans le cas d'une pelade la couche sous-jacente du revêtement demeure visible.

Causes probables

- Mauvaise adhérence de la couche de surface (ex. : manque de liant d'accrochage, incompatibilité chimique, saleté entre les couches);
- Épaisseur insuffisante de la couche de surface;
- Sollicitations élevées par le trafic.

6.4.1.3. Désenrobage et arrachement :

Érosion du mastic (liant et sable) et perte des gros granulats en surface produisant une détérioration progressive du revêtement. Ce phénomène se produit généralement sur une grande étendue et fréquemment dans les pistes de roues.

Causes probables:

- Formulation ou fabrication déficiente de l'enrobé (sous-dosage du bitume, mauvais enrobage, bitume contaminé);
- Usure par le trafic intense;
- Utilisation d'agrégats hydrophiles ou réactifs au bitume;
- Compactage insuffisant ou ségrégation de l'enrobé;
- Surchauffe ou vieillissement de l'enrobé (oxydation et fragilisation);
- Sollicitations accrues en zones de virage et freinage (milieu urbain ou montagneux).

De façon à illustrer visuellement l'état général de la chaussée, un relevé photographique a été fait de façon systématique avec prises de photos à tous les 1 km. Le lecteur est prié de se référer à l'annexe M du présent document pour apprécier l'état actuel de la chaussée.

Le relevé sommaire effectué indique que près de 22 % du tronçon à l'étude (5,2 km/24,0 km) a fait l'objet de travaux récents de resurfacement. Plus précisément, 54 % des travaux de resurfacement ont été effectués dans la plaine de la région de Plaisance, soit entre les P.K. 18+400 et 24+000. Sur ce tronçon de 5,6 km, près de 50 % du linéaire a fait l'objet de resurfacement récemment.

En supposant que les travaux de resurfacement ont été faits dans les zones les plus dégradées, on peut conclure que le tronçon de la plaine de Plaisance, construit sur des sols alluvionnaires fins, a subi plus de déformations et de dégradations que les sections montagneuses construites sur le roc ou du tout-venant de déblais.

Le tableau ci-après résume grossièrement l'état de la chaussée existante.

Tableau 6-4 : État de la chaussée existante

P.K.		DESCRIPTION DE L'ÉTAT DE LA CHAUSSEE
De	À	
0+000	0+350	86 % fraîchement revêtu. Bon état.
0+350	1+150	Tronçon très abîmé. Abondance de pelades, carrelage, faible confort de roulement
1+150	9+075	Vieux revêtement avec peu de réparations locales – quelques trous isolés. Bonne qualité de roulement
9+075	18+400	Vieux revêtement, abondance de réparations locales. Nouveau revêtement sur 23 %. Qualité de roulement acceptable.
18+400	24+000	Plaine de plaisance. 50 % fraîchement revêtu. Vieux revêtement, beaucoup de réparations locales, carrelage, granulat déchaussé. Qualité de roulement acceptable.

6.4.2. Mesures de déflexion au LWD

6.4.2.1. Méthodologie

Dans le cadre de l'avant-projet et de l'évaluation de la situation existante, l'expertise géotechnique et géologique comprenait une évaluation de la déformation de la chaussée. Celle-ci, rapprochée aux résultats des investigations géotechniques, devait permettre de déterminer les caractéristiques mécaniques de la chaussée et de dimensionner les renforcements structuraux requis.

Tel que proposé, l'évaluation mécanique de la chaussée a été effectuée à l'aide d'un déflectomètre portatif à masse tombante (LWD). L'essai au LWD consiste à appliquer une charge dynamique au moyen d'une masse larguée d'une certaine hauteur sur une plaque de chargement en contact avec la chaussée et à mesurer la déflexion de surface résultante à l'aide d'un géophone.

L'utilisation du LWD permet de réduire considérablement le temps de réalisation des essais par rapport à l'utilisation de la poutre Benkelman en plus de ne plus avoir recours à un camion normalisé pour l'application de la charge pour la mesure de déflexion. Le LWD est muni d'une cellule de chargement pour calculer l'effort appliqué et d'un géophone pour calculer la déflexion maximale générée par cet effort.

L'appareil utilisé dans le cadre du relevé satisfait les spécifications de la norme ASTM E2583-07 (Reapproved 2011) Standard Test Method for Measuring Deflections with a Light Weight Deflectometer (LWD).

Les mesures de déflexion avec le LWD permettent de qualifier le module de la chaussée. Selon l'équation de Boussinesq, pour un milieu homogène isotrope élastique, le module résilient (réversible), la contrainte appliquée par l'intermédiaire d'une plaque souple et à la déformation sont reliés par l'équation suivante.

$$E_0 = \left[\frac{2(1 - \mu^2) pa}{d_0} \right]$$

Le module résilient de la chaussée étant connu, il est alors possible d'estimer la déformation théorique de la chaussée sous n'importe quelle intensité de charge, incluant l'essieu normalisé de 13 tonnes, et de déterminer les épaisseurs de renforcement requises en fonction du trafic anticipé.

Un essai de déflexion a été effectué à environ tous les 100 m entre Ennery (0+000) et Plaisance (23+990). Tel que montré aux photographies de la figure suivante, les essais ont été effectués dans l'accotement, en bordure du revêtement bitumineux. Lorsque possible, les essais ont alterné entre l'accotement droit et l'accotement gauche. Le côté droit de la chaussée est situé à droite dans le sens croissant du P.K. (Plaisance vers Ennery). L'Annexe I présente les photographies de tous les sites où des essais à la LWD ont été réalisés.



Photo 6-10 et Photo 6-11 : Équipement pour les essais de déflexion LWD



Pour assurer un bon contact de la plaque de chargement avec la surface, une mince couche de sable a été étendue sur la surface lorsque celle-ci était inégale ou que des pierres étaient saillantes. Tel que mentionné plus loin, des racines et de la végétation étaient présentes en bordure du revêtement à certains endroits. Lorsque possible, les végétaux, les racines et les sols organiques ont été enlevés avant la pose du lit de sable.

Au droit de chacun des points d'essais, 9 chutes de la masse de 10 kg ont été effectuées. Les 3 premières, d'une hauteur de 400 mm, servaient à bien caler la plaque de chargement et n'ont pas été enregistrées. Par la suite, 3 chutes d'une hauteur de 205 mm et 3 chutes d'une hauteur de 625 mm ont été effectuées. Les chutes de plus faible hauteur ont généré une contrainte d'environ 35 kPa à la surface de la fondation granulaire. Les chutes de 625 mm ont quant à elles causé une contrainte d'environ 100 kPa.

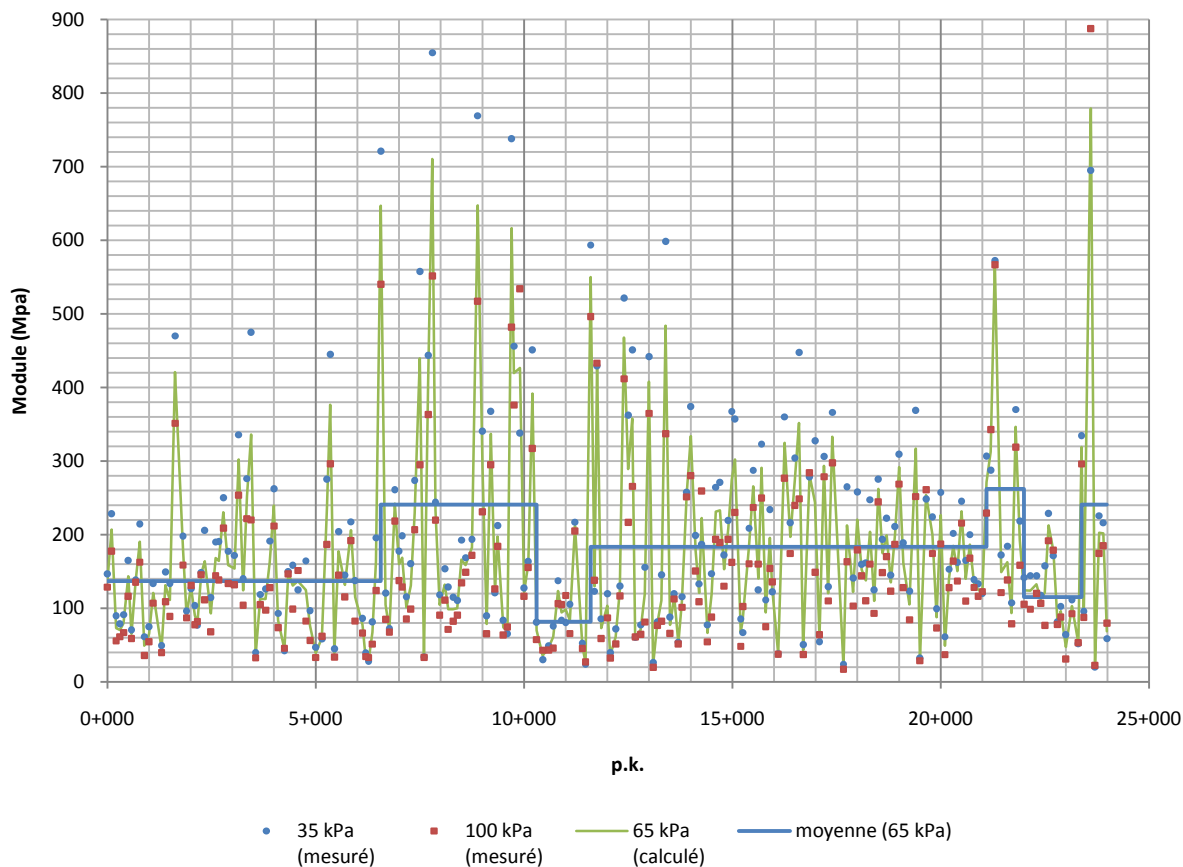
Ces niveaux de contrainte ont été retenus en considérant qu'un essieu normalisé de 13 tonnes génère des contraintes de 60 à 70 kPa à une profondeur de 400 mm sous la surface (100 mm de revêtement et 300 mm de matériaux granulaires). D'ailleurs, aux fins du dimensionnement de la chaussée, un module résilient a été interpolé à partir des modules mesurés. Ce module, associé à une contrainte de 65 kPa, sera utilisé pour le dimensionnement.

6.4.2.2. Résultats des essais LWD

Les 222 modules résilients mesurés avec le LWD en bordure du revêtement bitumineux sont assez variables tout au long du tracé. Ils varient de 21 à 779 MPa. Le module moyen calculé pour une contrainte de chargement de 65 kPa est de 176 MPa.

La figure suivante présente un graphique des modules résilients mesurés et calculés pour une contrainte de chargement de 65 kPa, le long du tracé de la RN-1. Les résultats détaillés des essais LWD sont disponibles à l'Annexe J.

Figure 6-2 : Modules résilients mesurés avec la LWD – Ensemble des résultats



En observant les photos prises à proximité de ces essais, il a été noté que malgré l'enlèvement de la couche superficielle, certaines mesures ont fort probablement été effectuées en dehors de la plateforme de chaussée, au droit de l'accotement recouvert de végétaux. Tel que montré sur les photographies 6-14 et 6-15, la RN-1 ne possède pas d'accotement granulaire à plusieurs endroits le long de son tracé. Suite à l'analyse des images, 47 des 222 essais effectués ont été jugés peu représentatifs de la structure de chaussée présente sous la couche d'enrobé bitumineux. La plupart des points d'essais exclus présentaient des modules faibles ou très faibles. Ils sont principalement localisés entre les points kilométriques 3+500 et 6+300 et entre 10+300 et 12+200.

Photo 6-12 et Photo 6-13 : Essais LWD rejetées

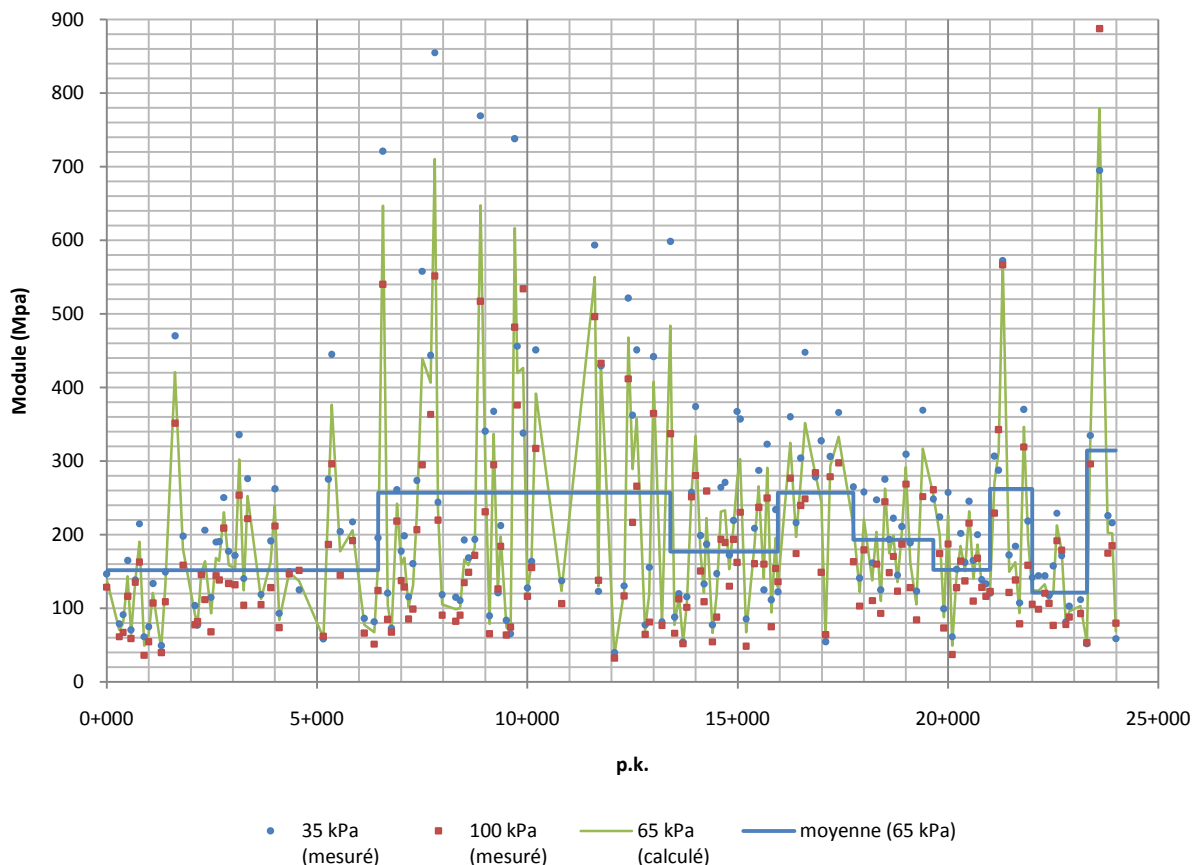


Photo 6-14 et Photo 6-15 : Route RN-1 sans accotement



Une seconde compilation a été effectuée avec les résultats jugés plus représentatifs. Cette compilation est présentée à la figure 6-3. Le module résilient moyen pour une contrainte de chargement de 65 kPa est augmenté à 201 MPa. Le secteur le plus faible, entre 10+200 et 11+600, a pratiquement été totalement exclu puisque le couvert végétal y est pratiquement collé au revêtement bitumineux.

Figure 6-3 : Modules résilients mesurés avec la LWD – Résultats traités



En fonction de ces résultats moyens, la plate-forme serait classée PF3 ($120 \text{ MPa} < M_r < 200 \text{ MPa}$) ou PF4 ($M_r > 200 \text{ MPa}$), selon les secteurs. Seulement 4 des 175 essais restants présentent un module inférieur à 50 MPa, soit la limite inférieure pour une plate-forme PF2.

À partir des résultats obtenus, il est possible de subdiviser la RN-1 en 9 sous-sections ayant un comportement mécanique comparable. Le tableau suivant présente les limites de ces sous-sections de même que le module moyen calculé pour chacun d'eux.

Tableau 6-5 : Sectionnement de la RN-1 – Résultats LWD

P.k.		Longueur (m)	Module résilient moyen (MPa)	Plateforme
De	À			
0+000	6+450	6 450	152	PF3
6+450	13+400	6 950	257	PF4
13+400	15+957	2 557	177	PF3
15+957	17+750	1 793	257	PF4
17+750	19+650	1 900	193	PF3
19+650	21+000	1 350	152	PF3
21+000	22+000	1 000	262	PF4
22+000	23+300	1 300	121	PF3
23+300	23+990	690	314	PF4

Ce sectionnement, de même que les modules de résiliences moyens, ont été utilisés pour le dimensionnement de la nouvelle chaussée présentement en cours de préparation. Les résultats et recommandations seront présentés au rapport d'avant-projet final.

6.4.3. Puits d'exploration

Pour compléter les données obtenues sur l'ensemble du tronçon de la RN-1 à l'étude à partir des essais LWD, des puits d'exploration ont été excavés manuellement approximativement à des intervalles de 500 m.

Les puits d'exploration ont été creusés manuellement en bordure du revêtement bitumineux pour observer, décrire et échantillonner les couches présentes constituant le corps de chaussée et les sols de plate-forme. Les puits d'exploration ont atteint des profondeurs variant généralement entre 800 mm et 1 000 mm. Certains échantillons représentatifs de la couche de forme ou de la plate-forme, prélevés entre 0,3 et 0,6 m ont été soumis à des essais géotechniques en laboratoire pour connaître leurs caractéristiques de portance (CBR et proctor). Les résultats de ces essais effectués par le LNBTP n'étaient pas disponibles au moment de l'émission de ce rapport.

Les résultats des puits sont présentés dans le journal de sondage placé à l'Annexe M du rapport. En plus de la stratigraphie reconnue à l'emplacement des puits d'exploration, on indique dans le journal de sondage le résultat des essais LWD effectués à l'emplacement d'un puits.

En résumé, la chaussée existante sur le tronçon compris entre Ennery et Plaisance est composée d'un revêtement en enrobés bitumineux dont l'épaisseur est généralement comprise entre 50 et 100 mm. La couche de roulement surmonte une couche de fondation granulaire en grave non traitée dont l'épaisseur varie généralement entre 100 et 200 mm. À partir du PK 11+850, on observe occasionnellement des épaisseurs de la couche de fondation granulaire supérieure à 200 mm, soit jusqu'à 300 mm et parfois plus. Cette grave concassée est de calibre variable, soit 0-31,5 mm, 0-40 mm ou 0-56 mm. En montagne, soit des PK approximatifs 0+000 à 17+000, on observe sous la fondation en grave concassée une couche de tout-venant de déblais ou tout-venant de carrière composée de fragments plus ou moins grossiers de calcaire avec une matrice un peu plus fine. Ce matériau constitue une excellente plate-forme. Au-delà du PK 17+000 approximativement, soit au début de la vallée de Plaisance, la couche de tout-venant n'est pas présente systématiquement. On retrouve plutôt le terrain naturel ou une couche de forme constituée de sols silteux et argileux.

6.4.4. Cartographie géologique

Une cartographie géologique de l'ensemble du tronçon Ennery-Plaisance de la RN-1 a été effectuée entre le 17 et le 20 avril 2013. La reconnaissance sur le terrain a été effectuée à l'aide de photographies aériennes et le repérage s'est fait à l'aide de repères correspondants aux points kilométriques et marqués à la peinture sur la chaussée par une équipe d'arpentage de LGL S.A. Le tracé a été marché dans son intégralité afin d'observer les affleurements rocheux le long de la route, de prendre des mesures de direction et de pendage du litage sur les formations rocheuses et d'évaluer sommairement l'inclinaison des coupes de roc existantes en bordure du chemin.

Pour la présentation des résultats de la cartographie, le tracé a été divisé en tronçons selon les formations rocheuses observées. Les mesures structurales prises le long de la route sont présentées au tableau 6-7 à la fin de cette section.

6.4.4.1. Pétrographie

En résumé, le tronçon de route à l'étude traverse les formations rocheuses suivantes :

Tableau 6-6 : Formation rocheuse par Pk

Unité pétrographique	Pk approximatifs	
	Début	Fin
Calcaire marneux au litage subhorizontal, jaunâtre-blanchâtre (versant sud)	0+000	8+800
Calcaire karstique – structure en aiguilles	8+800	9+400
Calcaire karstique - structure à blocaux – grisâtre (versant nord)	9+400	10+175
Calcaire karstique - structure à blocaux – brunâtre (versant nord)	10+175	16+000
Aucun affleurement rocheux visible	16+000	16+800
Andésite avec pyroclastes, massive et altérée (vallée de Plaisance)	16+800	18+150
Ardoise au litage subvertical (vallée de Plaisance)	18+150	18+250
Rares affleurements rocheux d'andésite massive altérée (vallée de Plaisance)	18+250	24+000

Les principales formations rocheuses sont décrites ci-après.

Calcaire marneux lité jaunâtre (PK 0+000 à PK 8+800)

Cette section de la route sillonne sur le flanc sud et aride d'une chaîne de montagnes. Elle est bordée en grande partie par des coupes rocheuses dans les formations de calcaire marneux lité. Ces coupes rocheuses sont toutes situées du côté gauche de la route selon les PK ascendants. Il s'agit de calcaire massif micritique en bancs dont l'épaisseur varie entre 1 et 100 cm. Les lits sont par endroits très bien définis et très plissés par les efforts tectoniques. Le calcaire est d'apparence dure, mais peut être crayeux et friable en surface par endroit. La hauteur des coupes de roc varie entre 5 et 15 m et l'inclinaison des coupes varie entre 50° et la verticale. Des mesures de direction et de pendage des plans de litage ont été prises régulièrement le long du tracé.

Les photos 6-16 à 6-19 illustrent les formations de calcaire marneux lité jaunâtres. Sur la photo 6.16, le litage est favorable étant subhorizontal alors que sur la photo 6.17, on observe plutôt un litage défavorable en pente vers la route.

Photo 6-16 : PK 2+100 Calcaire lité au pendage favorable

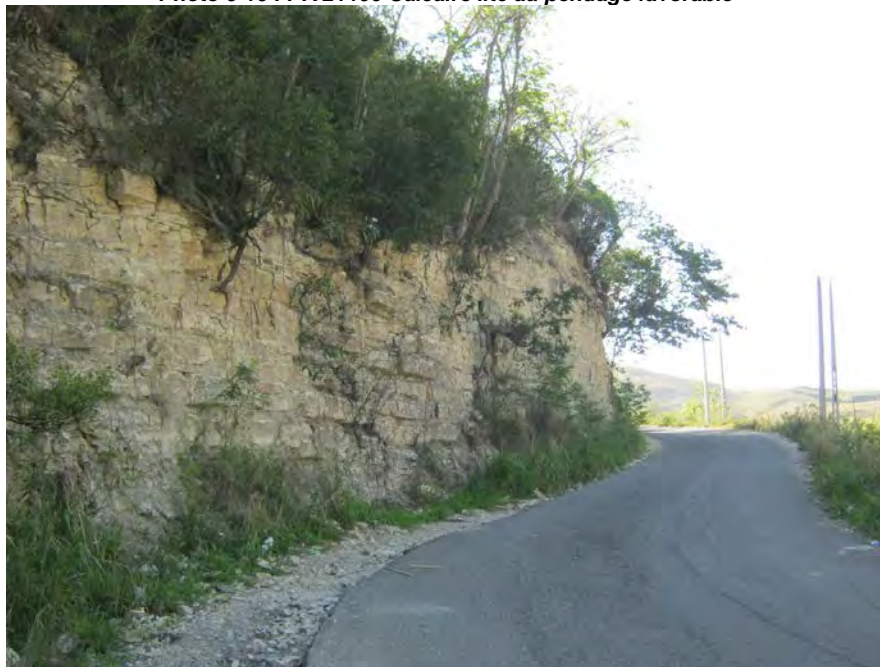


Photo 6-17 : Exemple type de pendage défavorable



Photo 6-18 : Pk 2+200 Coupe à flanc de montagne dans le calcaire marneux lité



Photo 6-19 : Coupe de calcaire lité le long de la route – pendage subhorizontal favorable



Calcaire karstique – structure en aiguilles (PK 8+800 à PK 9+00)

Pratiquement au point culminant de la route, cette section se situe dans une formation de calcaire karstique dur, massive et sans litage apparent. La dissolution karstique a créé une structure en aiguilles et un terrain très déchiqueté.



Photo 6-20 : Calcaire karstique en aiguilles

Calcaire karstique oxydé – structure à blocs (PK 9+000 à PK 18+400)

Dans la section descendante de la route, les coupes rocheuses sont formées de calcaire karstique lité, oxydé et fragmenté. La plupart des coupes se situent du côté gauche de la route selon les PK ascendants. Les coupes visibles montrent un calcaire très diaclasé lui donnant un aspect de briques empilées ou d'une structure à blocs (photo 6-21). Les joints et diaclases sont très altérés et oxydés, d'où l'aspect souvent terreux brunâtre-grisâtre (photo 6-22). Par contre, les fragments de calcaire sont durs et massifs. Les photographies 6-21 à 6-23 illustrent bien cette formation rocheuse.

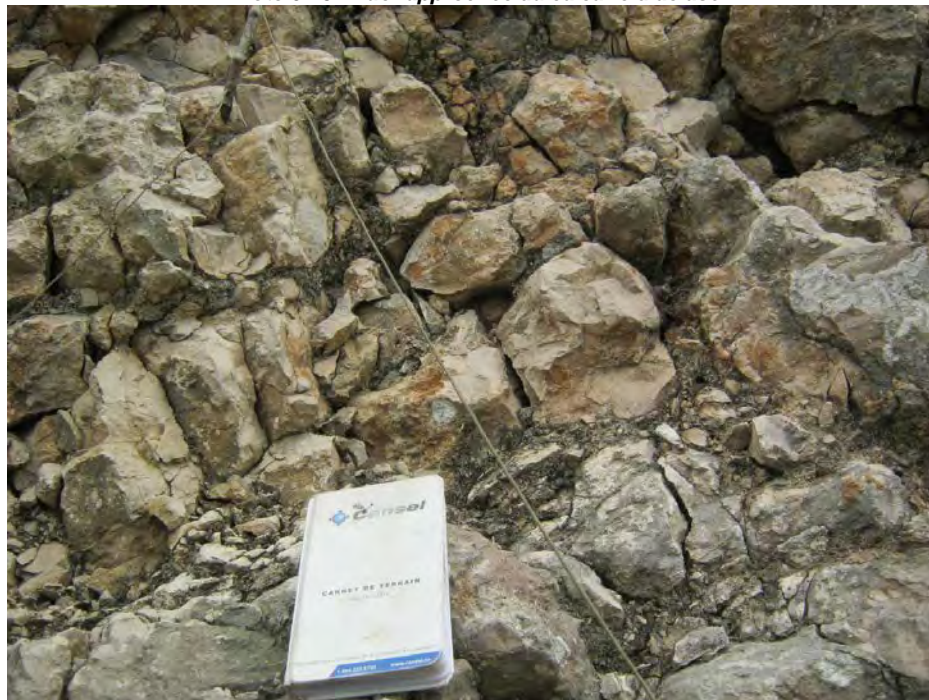
Photo 6-21 : Pk 10+100 Calcaire karstique oxydé, grisâtre, avec une structure à blocs



Photo 6-22 : Pk 13+500 Calcaire karstique altéré et oxidé en surface, grisâtre à brunâtre



Photo 6-23 : Vue rapprochée du calcaire diaclasé



Vallée de Plaisance (PK 18+400 à PK 24+000)

La partie finale de la route se trouve dans une vallée alluvionnaire sans relief majeur et ne comporte que très peu d'affleurements rocheux. On y trouve par endroits des affleurements arrondis de roches volcaniques constituées d'andésite avec des pyroclastes très altérées (photos 6-24 et 6-25). Leur état d'altération de surface rend leur identification difficile. L'andésite est constituée d'une matrice fine terreuse et friable autour de quelques pyroclastes anguleux plus durs. Ces affleurements peu nombreux sont peu importants en hauteur et ont une pente relativement faible.

On a également identifié très localement sur quelques mètres une formation d'ardoise.

Le relief de la vallée de Plaisance est vraisemblablement le résultat de l'érosion de ces roches plutôt tendres.

Photo 6-24 : Pk 16+800 Andésites avec pyroclastes



Photo 6-25 : Pyroclastes au sein de l'andésite



6.4.4.2. Mesures sur les coupes de roc

Lors de la cartographie géologique, en plus de l'identification pétrographique des formations rocheuses, des mesures structurales du litage ont été prises et la hauteur et l'inclinaison des coupes de roc ont été estimées approximativement. Les résultats sont consignés dans le tableau qui suit. Le tracé de la route n'étant pas connu au moment des travaux de cartographie géologique, des mesures ont été prises un peu partout de façon aléatoire le long de la route existante.

Tableau 6-7 : Sommaire des mesures et observations sur les coupes de roc

PK	Formation rocheuse	Lieu des mesures	Profil de la coupe	Litage (note 1)	État du massif
PK 0+000 à PK 8+800	Calcaire marneux, lité, jaunâtre	PK 0+500	Hauteur 8m Pente 50°	240/60	Lité, mal défini
		PK 1+200	Hauteur 5m Pente 65°	Pendage favorable	Mal défini, sous végétation
		PK 1+400	Hauteur 3m Pente 75°	140/10	Lité
		PK 1+625	Hauteur 8m Pente 75°	300/25	Lité
		PK 1+900	Hauteur 10m Pente 75°	320/50	Lité
		PK 2+100	Hauteur 10m Pente 75°-90°	340/20	Lité
		PK 2+300	Hauteur 8m Pente 70°	280/20	Mal défini, crayeux, poudreux
		PK 2+525	Hauteur 10m Pente 75 °	320/20	Lité, friable
		PK 2+600	Hauteur 10m Pente 70°	340/20	Lité
		PK 2+750	Hauteur 8 m Pente 70°	170/20	Lité. friable
		PK 3+000	Hauteur 10m Pente 70°	140/20	Calcaire lité
		PK 3+400	Hauteur 8m Pente 70°	150/25	Calcaire lité friable
		PK 3+650	Hauteur 5m Pente 75°	150/30	Calcaire lité friable
		PK 3+900	Hauteur 4m Pente 60°	340/20	Lité, friable
		PK 4+000 à PK 4+900	Hauteur 4 à 10m Pente 70°		Lité, poudreux, crayeux
		PK 5+150	Hauteur 5m Pente 70°	190/35	Lité
		PK 5+350	Hauteur 6m Pente 45-90°	145/25	Lité friable
		PK 5+500 à PK 7+500	Hauteur 2 m		Mal défini
		PK 7+500	Hauteur 6m Pente 90°	310/10	Calcaire lité
		PK 8+175	Hauteur 8m Pente 70°	140/35	Lité, friable

		PK 8+600	Hauteur 4m Pente 70°	130/30	Lité, friable
PK 8+800 à PK 9+000	Calcaire karstique – structure en aiguilles		Variable		Massif
PK 9+000 à PK 16+000	Calcaire lité oxydé – structure à blocaux	PK 9+650	Hauteur 15m Pente 65°		Lité, friable
		PK 9+800	Hauteur 15 m Pente 60°		Lité, friable
		PK 10+100	Hauteur 2 m	325/55	Lité, friable
		PK 10+300	Hauteur 10m Pente 75°		Lité, friable
		PK 10+600	Hauteur 5m Pente 65°		Lité, friable, brun
		PK 11+000	Hauteur 5m Pente 60°		Lité, friable, brun
		PK 11+600	Hauteur 5m Pente 60°		Lité, friable, brun
		PK 13+000	Hauteur 5m Pente 75°		Lité, friable, brun
		PK 14+100	Hauteur 10m Pente 65°		Lité, friable, brun
		PK 14+400	Hauteur 20m+ Pente 75°		Lité, friable, brun
PK 16+000 à PK 16+800	Aucun affleurement				
PK 16+800 à PK 17+000	Andésite avec pyroclastes	PK 16+800	Hauteur 10m Pente 50°		Massif arrondi, terreux en surface
PK 17+000 à PK 17+750	Aucun affleurement				
PK 18+150	Ardoise	PK 18+150	Hauteur 5m Pente 90°	Pendage subvertical	Structure schisteuse, très friable et altérée
PK 18+550	Andésite avec pyroclastes	PK 18+550	Hauteur 5m Pente 45°		Massif arrondi, terreux en surface
PK 18+550 à PK 23+500	Aucun affleurement				
PK 23+500 à PK 24+000	Roche volcanique mal définie	PK 19+400 et PK 23+800	Hauteur 2m Pente 45°		Rouge terreux

Note 1 : le premier chiffre correspond à la direction du plan de litage et le second au pendage du plan de litage

6.5. DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

Les essais mécaniques présentés précédemment, combinés à l'étude de circulation, permettent de dimensionner la chaussée à réhabiliter. Les essais mécaniques ont permis de former 8 sous-sections avec un comportement comparable. L'étude de circulation indique que le débit journalier moyen (DJM) sera de 7 574 véhicules par jour en 2030. En considérant que 10% de ces véhicules sont des

poids lourds et que la chaussée comportera une voie dans chaque direction, 380 poids lourds par jour ont été considérés pour le dimensionnement de la nouvelle chaussée.

Ainsi, une nouvelle chaussée a été dimensionnée pour 8 segments ayant des caractéristiques comparables. Le tableau 6-8 présente les paramètres de conception retenus pour chacun des segments.

Tableau 6-8 : Paramètres de conception

Segment	p.k.		Module résilient (MPa)	DJM (2 directions)	Camions	
	De	À			%	Nb
1	0+000	6+450	120 (PF3)	7 574	10,0	380
2	6+450	13+400	200 (PF4)	7 574	10,0	380
3	13+400	15+957	120 (PF3)	7 574	10,0	380
4	15+957	17+750	200 (PF4)	7 574	10,0	380
5	17+750	21+000	120 (PF3)	7 574	10,0	380
6	21+000	22+000	200 (PF4)	7 574	10,0	380
7	22+000	23+300	120 (PF3)	7 574	10,0	380
8	23+300	23+990	200 (PF4)	7 574	10,0	380

En considérant que chaque camion aura un coefficient d'agressivité moyen de 1 par rapport à l'essieu de référence, les segments supporteront entre 2,08 millions de passages de l'essieu de référence pendant les 15 prochaines années. Puisque le trafic projeté en 2030 a été utilisé, aucun facteur de croissance n'a été retenu.

$$NE = 365 \times MJA \times C \times CAM$$

où :

NE : nombre équivalent d'essieux de référence de 13 tonnes

MJA : moyenne journalière annuelle de poids lourds pour la voie la plus achalandée

C : facteur de cumul pour la période de calcul : 15

CAM : coefficient d'agressivité moyen des poids lourds : 1,0

Après avoir enlevé le revêtement bitumineux existant, reprofilé et compacté la surface granulaire, les structures mentionnées au tableau 6-9 devront être mises en place. Il est à noter que la pulvérisation du revêtement existant et l'homogénéisation des matériaux produits avec une partie de la fondation existante pourraient être envisagées en remplacement de l'enlèvement du revêtement si les équipements appropriés sont disponibles. Le décohesionnement du revêtement devra être effectué un recycleur de chaussée comme la série RM de Caterpillar, la série WR de Wirtgen ou toute machinerie jugée équivalente.

La conception des structures de chaussée a été effectuée selon les directives du Guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussée du LCPC/SETRA et les calculs des déformations ont été effectués avec le logiciel WinJulea du US Corps of Engineers. Compte tenu de condition de sol similaire à certains endroits sur le tracé, une même structure de chaussée est adaptée à plus d'un segment.

Tableau 6-9 : Structures de chaussée requises

Segment	NE	Module résilient	Épaisseur (mm)		
			GNT (0/20 mm concassée)	GB (classe 3, 0/14 mm)	BBSG (0/10 mm)
1	2,1 millions	120 (PF3)	200	140	70
2	2,1 millions	200 (PF4)	200	120	70
3	2,1 millions	120 (PF3)	200	140	70
4	2,1 millions	200 (PF4)	200	120	70
5	2,1 millions	120 (PF3)	200	140	70
6	2,1 millions	200 (PF4)	200	120	70
7	2,1 millions	120 (PF3)	200	140	70
8	2,1 millions	200 (PF4)	200	120	70

Le tableau 6-9 présente les épaisseurs minimales de grave non traité (GNT), de grave bitume (GB) et de béton bitumineux (BB) requis pour limiter les déformations verticales à la surface de chaussée actuelle et les déformations horizontales à la base des couches liées en deçà des valeurs admissibles. Ces dernières sont proportionnelles au nombre équivalent d'essieux attendu. Compte tenu de sa capacité structurale, le sol support, soit la chaussée existante à laquelle on aura retiré le revêtement bitumineux, n'est pas déterminant. Les déformations à la base de la couche de grave bitume contrôlent le dimensionnement de la chaussée.

Les déformations maximales admissibles ont été calculées à partir des hypothèses suivantes en considérant que des matériaux de qualité seront utilisés lors des travaux et que les couches supérieures, soit le grave bitume et le béton bitumineux, seront bien collées.

Tableau 6-10 : Hypothèse de calcul de déformation

Matériaux	Module (10°C, 10Hz)	ϵ_6 (10°C, 25 Hz)	Module (25°C, 10 Hz)	b	SN	Coefficient de calage (k_c)
BBSG ⁽¹⁾	7 200 MPa	100x10 ⁻⁶	2 500 MPa	-0,2	0,25	1,1
GB (cl. 3) ⁽²⁾	12 300 MPa	90x10 ⁻⁶	4 500 MPa	-0,2	0,30	1,3

Note : (1) selon NF P 98-130 : Couches de roulement et couches de liaison : Bétons bitumineux semi-grenus (BBSG)

(2) selon NF P 98-138 : Couches d'assises : Graves-bitume (GB)

Pour ces matériaux, la déformation horizontale à la base du grave bitume doit être inférieure à 133 $\mu\text{m/m}$.

Si nous considérons un facteur de croissance de la circulation pour dimensionner la chaussée, il est possible d'optimiser légèrement l'épaisseur des couches de matériaux d'infrastructure. Nous avons refait les calculs en considérant non pas le débit de 2030 mais plutôt les débits annuels prévus entre 2013 et 2030, soit sur une période de 18 ans. Selon cette approche, le segment Ennery-Plaisance de la route RN-1 sera sollicité par 1 560 000 essieux équivalents. La réduction du trafic de conception permet de réduire l'épaisseur de grave bitume (GB) proposée initialement.

Tableau 6-11 : Résultats selon la croissance de trafic

Année		DJM	% VL	% Dir	% Voie	C.A.	Jour	NE
1	2013	1419	10%	50%	100%	1,0	365	25 897
2	2014	1485	10%	50%	100%	1,0	365	27 101
3	2015	2791	10%	50%	100%	1,0	365	50 936
4	2016	2903	10%	50%	100%	1,0	365	52 980
5	2017	3015	10%	50%	100%	1,0	365	55 024
6	2018	3131	10%	50%	100%	1,0	365	57 141
7	2019	3251	10%	50%	100%	1,0	365	59 331
8	2020	4608	10%	50%	100%	1,0	365	84 096
9	2021	4753	10%	50%	100%	1,0	365	86 742
10	2022	4903	10%	50%	100%	1,0	365	89 480
11	2023	5057	10%	50%	100%	1,0	365	92 290
12	2024	5217	10%	50%	100%	1,0	365	95 210
13	2025	6643	10%	50%	100%	1,0	365	121 235
14	2026	6829	10%	50%	100%	1,0	365	124 629
15	2027	7020	10%	50%	100%	1,0	365	128 115
16	2028	7216	10%	50%	100%	1,0	365	131 692
17	2029	7418	10%	50%	100%	1,0	365	135 379
18	2030	7574	10%	50%	100%	1,0	365	138 226
							total	1 555 502

Les essais mécaniques (LWD) effectués en bordure de la chaussée existante ont permis d'estimer que la grave non traitée (GNT), la grave bitume (GB) et le béton bitumineux semi-grenu (BBSG) seront mis en place sur une plateforme classifiée PF3 (120 MPa) ou PF4 (200 MPa).

Le tableau suivant présente les épaisseurs minimales de GNT, de GB et de BBSG requises pour limiter les déformations verticales à la surface de la chaussée actuelle et les déformations horizontales à la base des nouvelles couches liées en deçà de valeurs admissibles. Ces dernières sont proportionnelles au nombre d'essieux équivalents attendu. Les déformations à la base de la couche de grave bitume contrôlent le dimensionnement de la chaussée.

Tableau 6-12 : Structures de chaussée requises

NE	Module résilient / plate- forme	Épaisseur (mm)		
		GNT (0/20 mm concassée)	GB (classe 3, 0/14 mm)	BBSG (0/10 mm)
1,56 millions	120 MPa / PF3	200	130	70
1,56 millions	200 MPa / PF4	200	110	70

La conception des structures de chaussée a été effectuée selon les directives du Guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussée du LCPC/SETRA et les calculs des déformations ont été effectués avec le logiciel WinJulea du US Corps of Engineers.

Les déformations maximales admissibles ont été calculées en considérant que des matériaux de qualité seront utilisés lors des travaux et que les couches supérieures, soit la GB et le BBSG, seront bien collées.

6.6. INCLINAISON ET STABILITÉ DES PENTES

6.6.1. Talus amont

La cartographie géologique a permis de déterminer la nature pétrographique et les caractéristiques structurales (litage : pendage et direction, familles de diaclases, etc.) des différentes formations rocheuses. De plus, une attention particulière a été portée à l'état et à l'inclinaison des pentes des talus existants du côté amont de la route.

À la lumière des observations faites lors du relevé de cartographie géologique, la grande majorité des coupes de roc seront pratiquées dans des formations de roches sédimentaires plissées, avec un pendage du litage compris généralement entre 10 et 35 degrés pour les calcaires marneux jaunâtres du sud et un pendage plus important dans les calcaires karstiques oxydés. De plus, les mesures de l'inclinaison des coupes rocheuses existantes indiquent des pentes généralement comprises entre 50 et 75 degrés (environ 1V :1H à 3V :1H). Rarement, les pentes observées sont plus abruptes que 75 degrés.

Compte tenu de la présence de roches sédimentaires litées sur la totalité des sections où des coupes de roc seront requises, lesdites coupes dans les formations calcaires devront être profilées avec des pentes de 3V:1H. Dans le cas des calcaires marneux lités jaunâtres, soit entre les PK 0+000 et 8+800, si la direction du pendage du litage est favorable en regard de l'orientation des fronts de

coupes et si son inclinaison est inférieur à environ 25 degrés par rapport à l'horizontal, on pourrait envisager de profiler les coupes de roc à 5V :1H. Le cas échéant, des travaux d'entretien plus fréquents pour nettoyer les éboulis seront requis. Des mesures structurales sur le terrain à l'endroit précis des coupes, par un géologue expérimenté, permettront éventuellement de confirmer le choix d'une inclinaison de 5V :1H.

Si des sols meubles sont présents au sommet de la coupe, on devra prévoir un palier horizontal d'au moins 1 m au sommet et les sols non consolidés devront être profilés avec une inclinaison de 2V :3H.

6.6.2. Talus aval

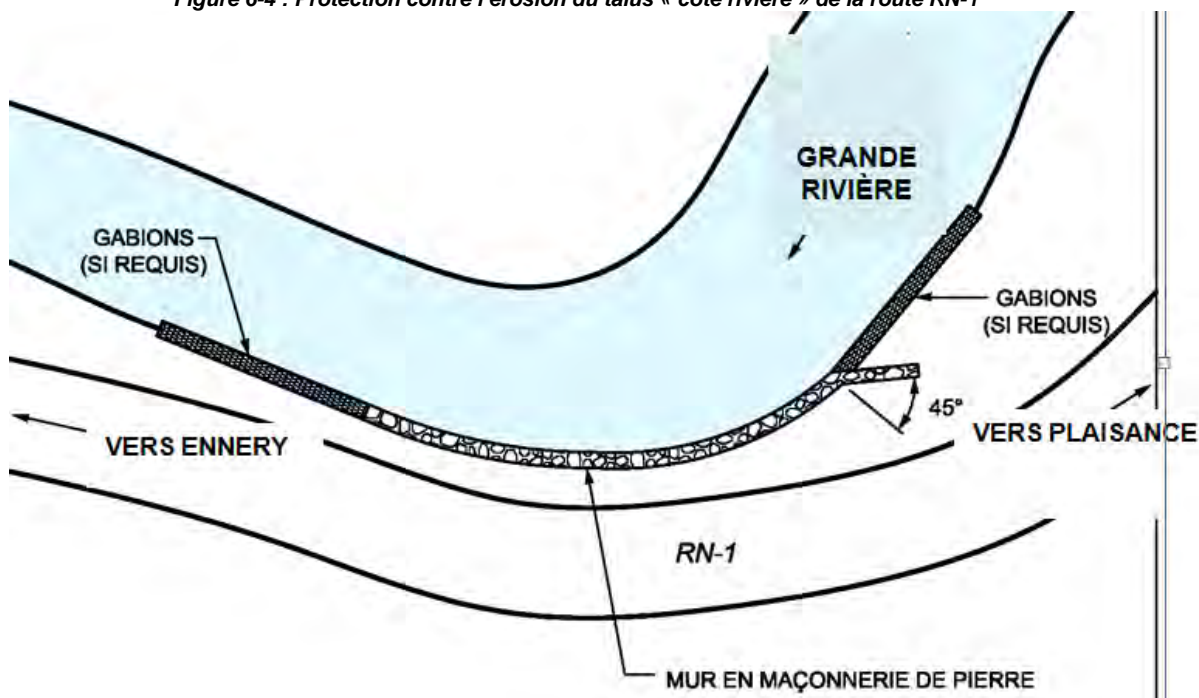
L'élargissement de la plate-forme de la route pourrait dans certains cas se faire du côté aval de la route pour éviter des coupes majeures. Compte tenu de la profondeur des ravins du côté aval, des murs de soutènement devront être conçus et aménagés pour assurer la retenue des remblais de la chaussée élargie. Des études particulières seront alors requises pour déterminer le niveau des couches de bonne portance.

Lors de la reconstruction du tronçon en bordure de la Grande Rivière dans le secteur de la vallée de Plaisance, une attention particulière devra être portée aux éléments suivants :

- le niveau des hautes eaux;
- le dimensionnement des caniveaux pour éviter tout débordement des cours d'eau tributaires de la Grande Rivière sur la RN-1, ce qui pourrait affecter les murs;
- un encastrement suffisant de la base des murs comme protection contre l'affouillement;
- une protection des talus par la construction de murs de soutènement sub-verticaux (maçonnerie en pierre ou gabion) ou d'un parement mince en maçonnerie de pierre sur un talus en emprunt compacté, profilé à 2H : 1V;
- un bon système de drainage entre la bordure de la route et le sommet du mur pour éviter l'érosion derrière le mur à cause des eaux de ruissellement.

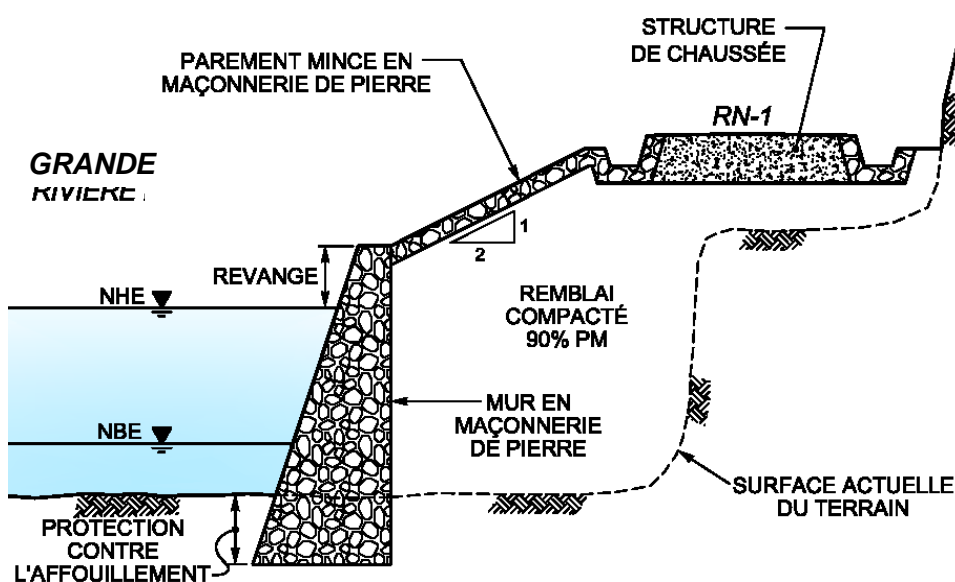
Aux endroits où les crues de la rivière seraient susceptibles d'éroder les talus de la route, des ouvrages de protection devront être mis en place. Ces ouvrages de protection devront être prolongés partiellement à l'intérieur des terres, tel qu'illustré sur le schéma de la figure suivante. La mise en place de murs de gabions dans la portion rectiligne de la rivière sera effectuée au besoin.

Figure 6-4 : Protection contre l'érosion du talus « côté rivière » de la route RN-1



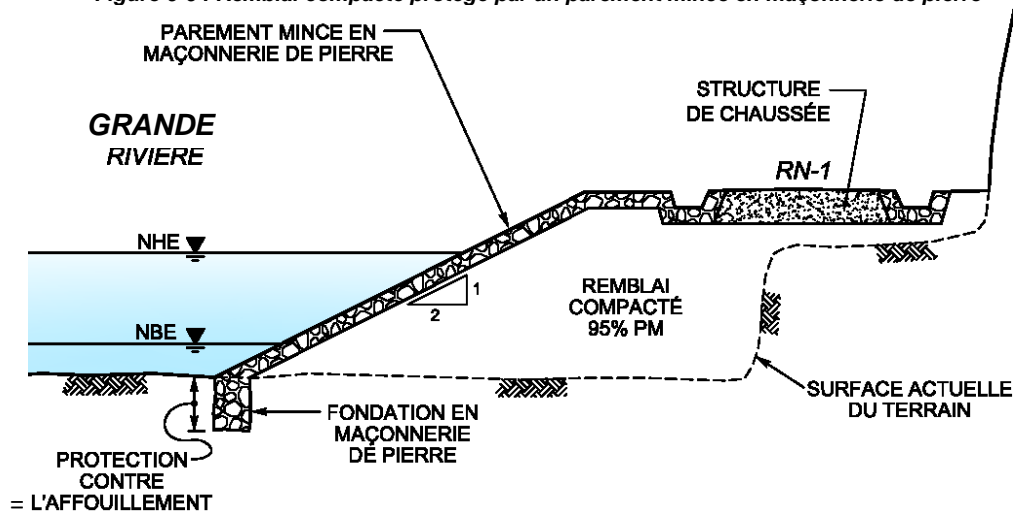
Si l'espace disponible entre la limite de la route et la rivière est limité, on pourra retenir comme protection de talus un mur de maçonnerie de pierre sur toute la hauteur de la dénivellation ou encore jusqu'à une hauteur à définir au-dessus du niveau des hautes eaux. La figure suivante illustre schématiquement une telle option.

Figure 6-5 : Mur de soutènement en maçonnerie de pierre



Au contraire, si l'espace disponible est suffisant, on pourra construire un remblai en emprunt granulaire compacté (95% Proctor modifié) profilé avec une pente maximale de 2 horizontal sur 1 vertical. Le talus ainsi profilé devra être protégé avec un parement mince en maçonnerie de pierre. Le parement devra être prolongé jusqu'au caniveau aval pour éviter toute infiltration d'eau de ruissellement derrière le parement mince. La figure suivante illustre schématiquement une telle option.

Figure 6-6 : Remblai compacté protégé par un parement mince en maçonnerie de pierre



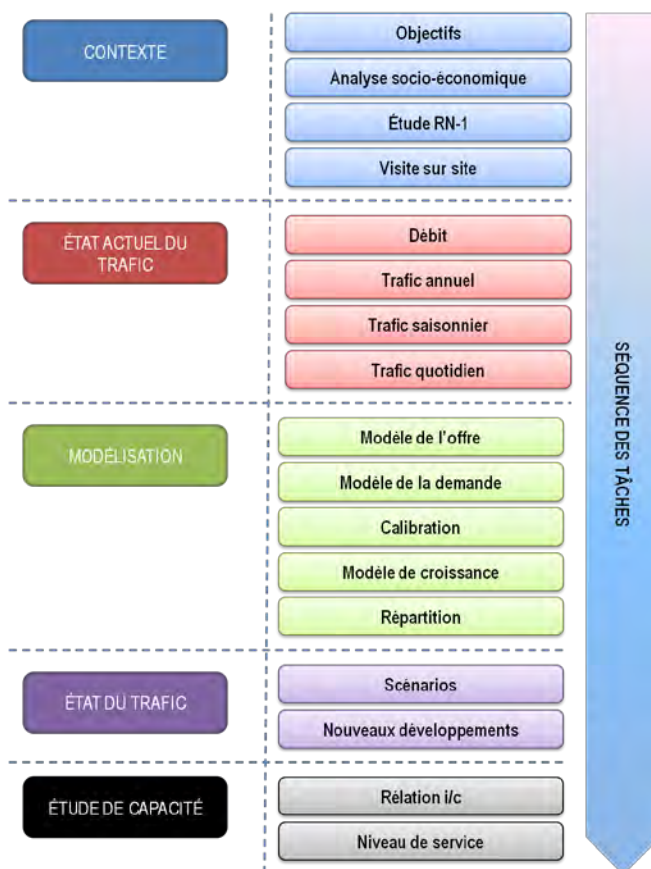
7. ÉTUDE DE CIRCULATION

7.1. DESCRIPTION ET MÉTHODOLOGIE

La présente étude de circulation est constituée de l'ensemble de toutes les études nécessaires à la caractérisation du trafic actuel du tronçon routier. Les calculs de la circulation future, selon les différents scénarios du réseau et horizons temporels exposés, seront employés lors de la conception de la route. Cette étude rassemble les hypothèses, les données du travail sur le terrain et la modélisation nécessaires pour définir en détail la circulation et sa composition. Le projet de construction détermine la circulation de la RN-1 entre Ennery et Plaisance, en prenant en compte sa composition par type de véhicule, sa distribution au cours du temps et sa distribution tout au long des différents tronçons homogènes où se divise la route.

Il est important de déterminer la circulation, puisque celle-ci permet de calculer le revêtement, les coûts et les bénéfices associés au projet, à la section transversale de la route, etc. En outre, le projet sur la circulation est l'«output» nécessaire pour le calcul technique de la route ainsi que l'élément permettant la justification d'un investissement, et ce, basé sur les bénéfices sociaux que sa mise en service induit. La méthodologie employée pour la réalisation du projet de circulation est résumée à la figure 7-1.

Figure 7-1 : Méthodologie utilisée pour les études de circulation

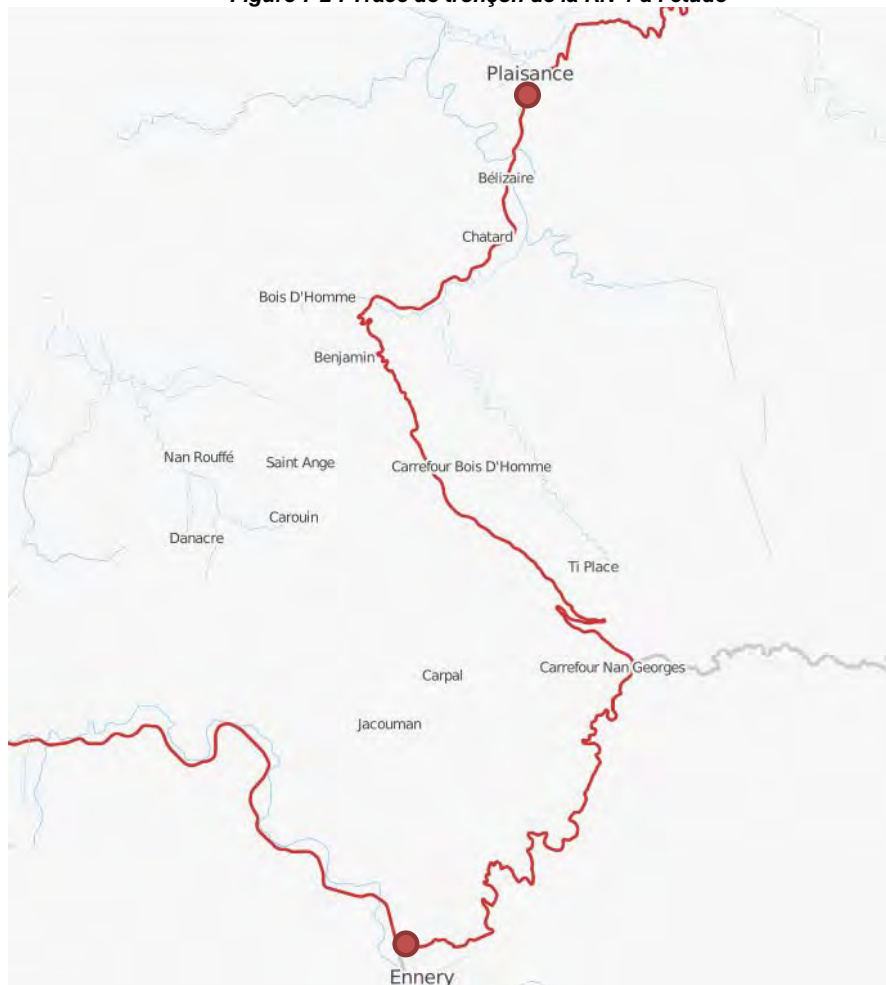


7.2. DESCRIPTION DU PROJET DU POINT DE VUE DE LA CIRCULATION

La RN-1 entre Ennery et Plaisance est une route en zone montagneuse au tracé très sinueux et dont la section transversale varie aux alentours de 7 m de largeur. En général, la vitesse de circulation est inférieure à 50 km/h, mais sur certains tronçons et courbes, elle est inférieure à 30 km/h.

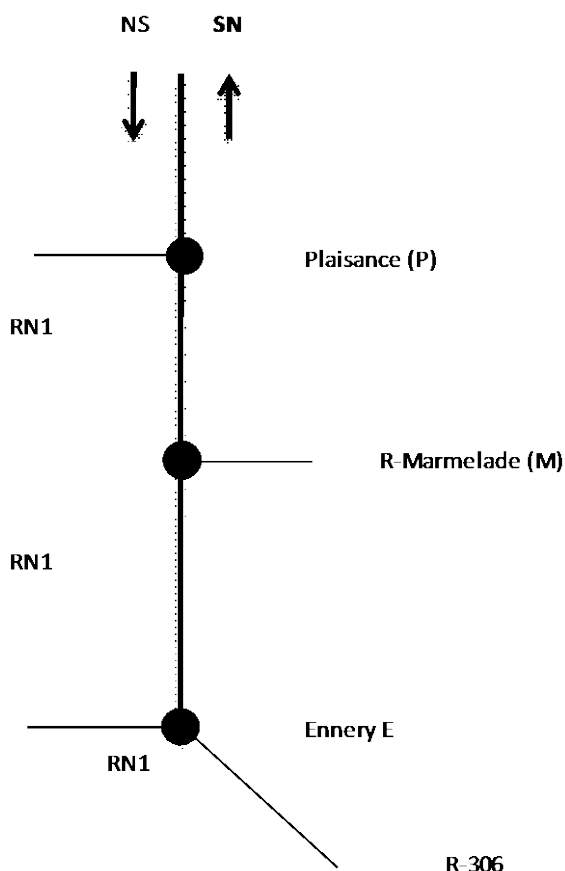
Par conséquent, ce projet de réhabilitation propose l'élargissement de la section transversale, le renfort du revêtement et l'amélioration du tracé – en ce qui concerne l'augmentation de la vitesse –, et ce, en augmentant les rayons, en corrigeant les pertes de tracé, en réduisant les pentes, etc. Tout ceci en prenant en compte qu'il s'agit d'une route de montagne.

Figure 7-2 : Tracé de tronçon de la RN-1 à l'étude



Du point de vue de la circulation, deux tronçons homogènes ont été considérés. Ces derniers sont divisés par l'intersection d'accès à la municipalité de Marmelade. Pour les calculs, trois intersections ont été prises en compte, comme le montre la figure suivante.

Figure 7-3 : Schéma des tronçons de route et des intersections



Fin du tronçon.
Intersection de Plaisance vers la R-116



Intersection avec la route d'accès à Marmelade



Début du tronçon.
Intersection d'Ennery vers la R-306

Actuellement, la circulation sur le tronçon de la RN-1 à l'étude se caractérise de la façon suivante:

- Une circulation (génération/attraction) importante aux deux pôles du tronçon à l'étude, c'est-à-dire à Ennery et à Plaisance.
- Une circulation de parcours qui se dirige à des points intermédiaires du tronçon à l'étude incluant Ennery et/ou Plaisance. Cette circulation est généralement composée de véhicule de transport public (tap-tap) ou de motocyclettes.
- Une circulation en transit qui parcourt le tronçon Ennery – Plaisance depuis des origines jusqu'à des destinations externes à ce tronçon. Une grande proportion de cette circulation est composée de trafic lourd.

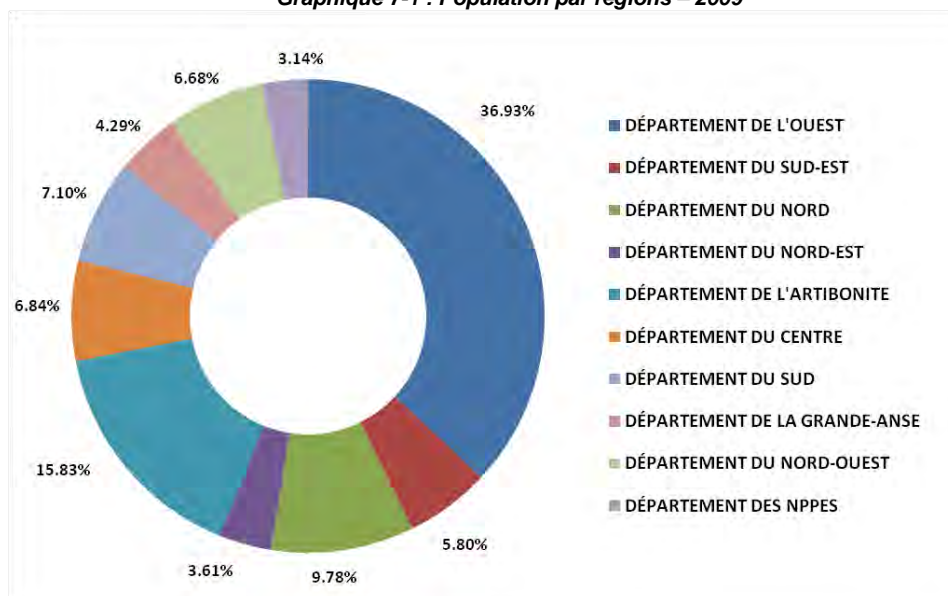
Dans les paragraphes suivants, les variables explicatives de la circulation entre Ennery et Plaisance sont analysées.

7.3. ANALYSE SOCIO-ÉCONOMIQUE

7.3.1. Population

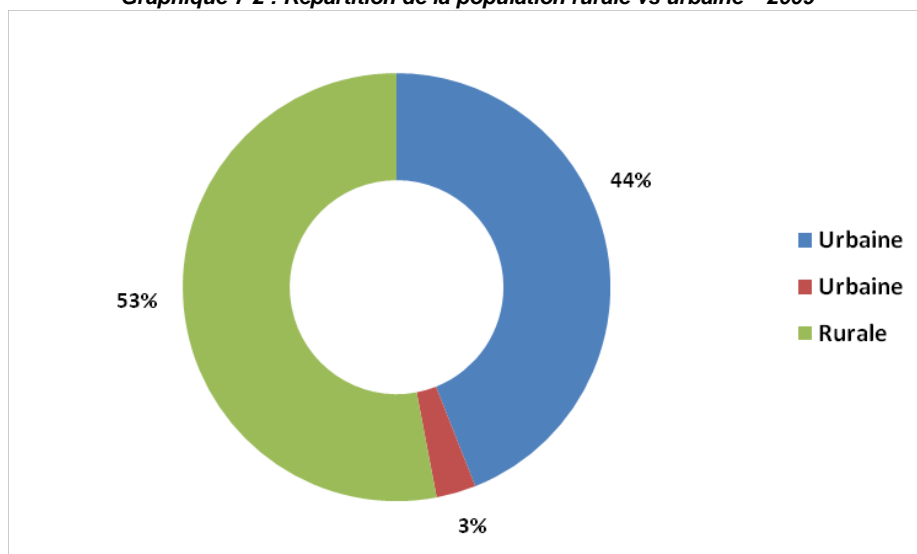
Selon les données de l'Institut de Statistiques et d'Information d'Haïti pour l'année 2009, la République d'Haïti compte approximativement 10 millions d'habitants. De ces 10 millions, plus de 3 millions vivent dans la zone métropolitaine de Port-au-Prince. Cette région est suivie en ordre d'importance par la région de l'Artibonite et du Nord avec approximativement 1.5 million et 970,000 habitants, respectivement.

Graphique 7-1 : Population par régions – 2009



Comme indiqué par le graphique suivant, en ce qui concerne la répartition de la population, il existe une légère prédominance aux zones rurales comparées aux zones urbaines.

Graphique 7-2 : Répartition de la population rurale vs urbaine – 2009



En général, les régions de l'Artibonite et du Nord présentent d'importantes déficiences en matière de routes primaires et secondaires, d'énergie, d'eau, d'égouts et de services d'élimination des déchets solides.

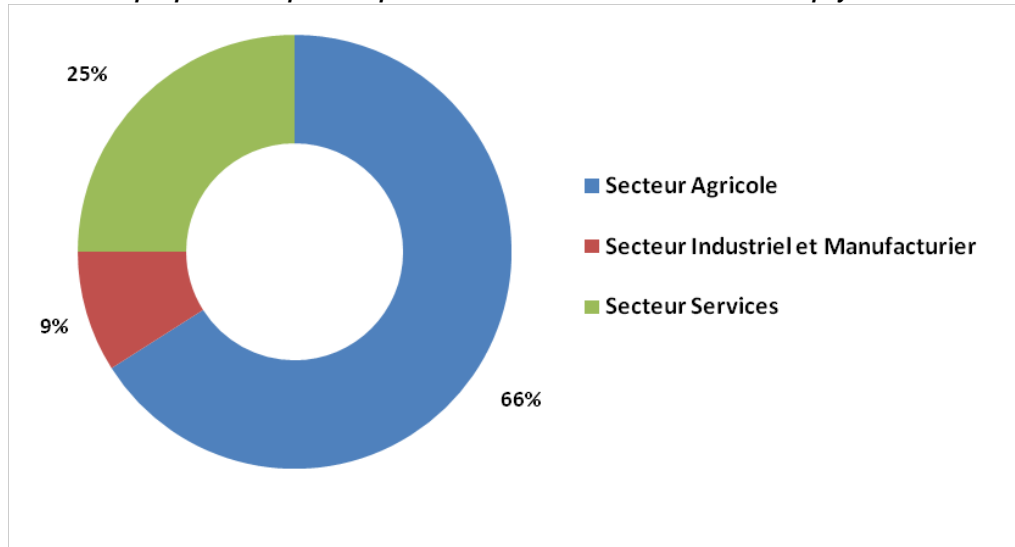
Cependant, dans la prochaine décennie, on prévoit pour ces régions une importante augmentation de la population à la suite d'un flux d'immigrants attirés par les nouveaux investissements tout au long des routes nationales No.6 et No.1 de ces zones. Ces investissements résultent de la loi HOPE II (Haïtien Hemispheric Opportunity Through Partnership Encouragement), à travers laquelle un crédit sur le tarif douanier est offert par l'État américain sur certaines catégories de produits du textile et sur des articles et vêtements fabriqués en Haïti. À la suite du tremblement de terre en janvier 2010, la nécessité de construire un parc industriel et un centre manufacturier de concurrence mondiale dans le couloir nord d'Haïti, soit le parc industriel de Caracol, a été établie.

7.3.2. Emploi

En Haïti, le chômage affecte 40% de la population. De plus, 55 % de la population vit avec moins de 1\$ US par jour et 71% avec moins de 2\$ US par jour. En 2001, le PIB par personne s'élevait à 1 200\$ US alors que le PIB du pays voisin, la République Dominicaine, était estimé à 9 300\$ US.

La main-d'œuvre active se calcule à 4100 000 personnes, dont 66% travaillent dans le secteur agricole, 9% dans le secteur industriel et manufacturier et 25% dans les services.

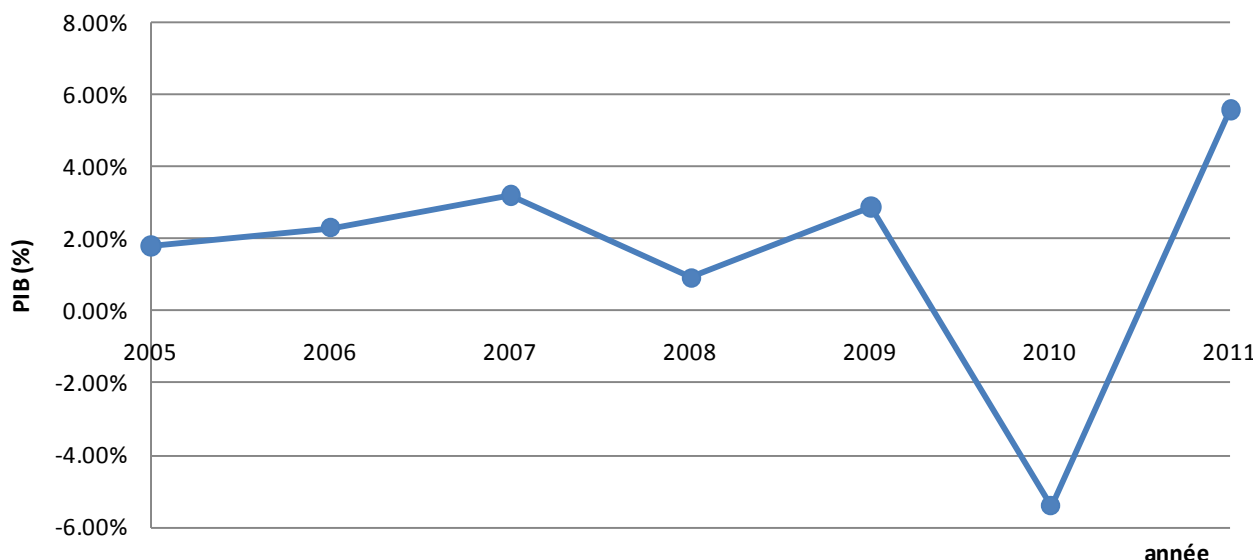
Graphique 7-3 : Répartition par secteurs de la main-d'œuvre active du pays



7.3.3. PIB

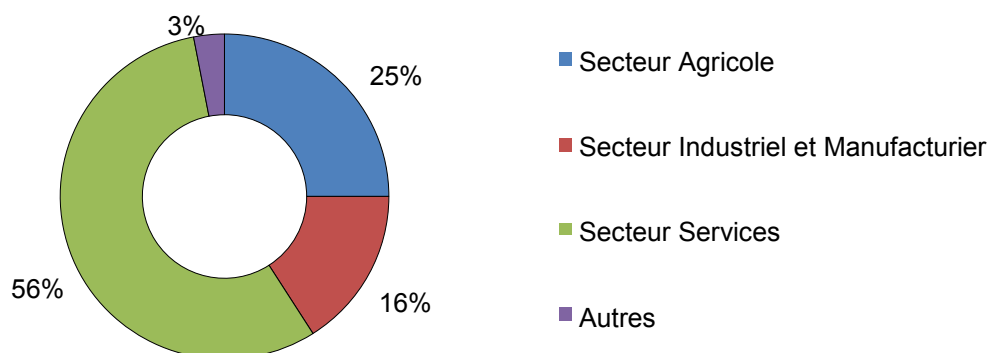
À la suite d'un grave impact provoqué par le tremblement de terre de janvier 2010, le pays montre un processus de stabilisation qui se manifeste par une récupération économique significative. Ainsi, en 2011, le niveau de croissance du Produit Intérieur Brut (PIB) a été de 5,6%. Il est prévu que cette tendance se consolide à court terme, avec des prédictions du PIB de 4,5% pour 2012 et 7,2% pour 2013.

Graphique 7-4 : Évolution du PIB



La répartition par secteurs du PIB, selon les données de 2010, est illustrée au graphique suivant : L'agriculture représente 25% du PIB, les secteurs industriels et manufacturiers 16% et le secteur des services 56%.

Graphique 7-5 : Répartition par secteurs du PIB



D'autre part, Haïti souffre de profonds déséquilibres économiques régionaux. La zone métropolitaine de Port-au-Prince génère plus de 66% du PIB du pays. Environ 80% des activités industrielles, commerciales et financières d'Haïti, ainsi que 88,5% du secteur financier (épargne et prêts) y sont concentrés.









Concernant les exportations et importations, Haïti exporte principalement des vêtements, du café en grain, de la mangue et du cacao. Ces produits sont exportés aux États-Unis (72,9%), à la République Dominicaine (8,8%) et au Canada (3,3%). Cependant, le pays se voit dans l'obligation d'importer la plus grande partie des matières premières ; tissus, ciment, pièces de montage, pétrole, etc.

7.4. CARACTÉRISATION DE LA SITUATION RÉELLE

7.4.1. Travail de terrain

Le travail de terrain, dont l'objectif était d'obtenir les volumes et catégories de circulation actuelle sur la Route Nationale No.1 pour le tronçon Ennery et Plaisance, a été fait selon la classification des véhicules suivante.

Tableau 7-1 : Classification des véhicules

VÉHICULES PARTICULIERS (Catégorie 1)	Voitures, camionnettes, SUV, etc.			
CAMIONS (Catégorie 2)	Camions et semi-remorques			
TRANSPORT PUBLIC (Catégorie 3)	Autobus et TAP TAP			
MOTOS (Catégorie 4)	Motocyclettes et cyclomoteurs			

Les fonctions de cette campagne et l'information obtenue sont les suivantes:

7.4.1.1. Visite sur le terrain

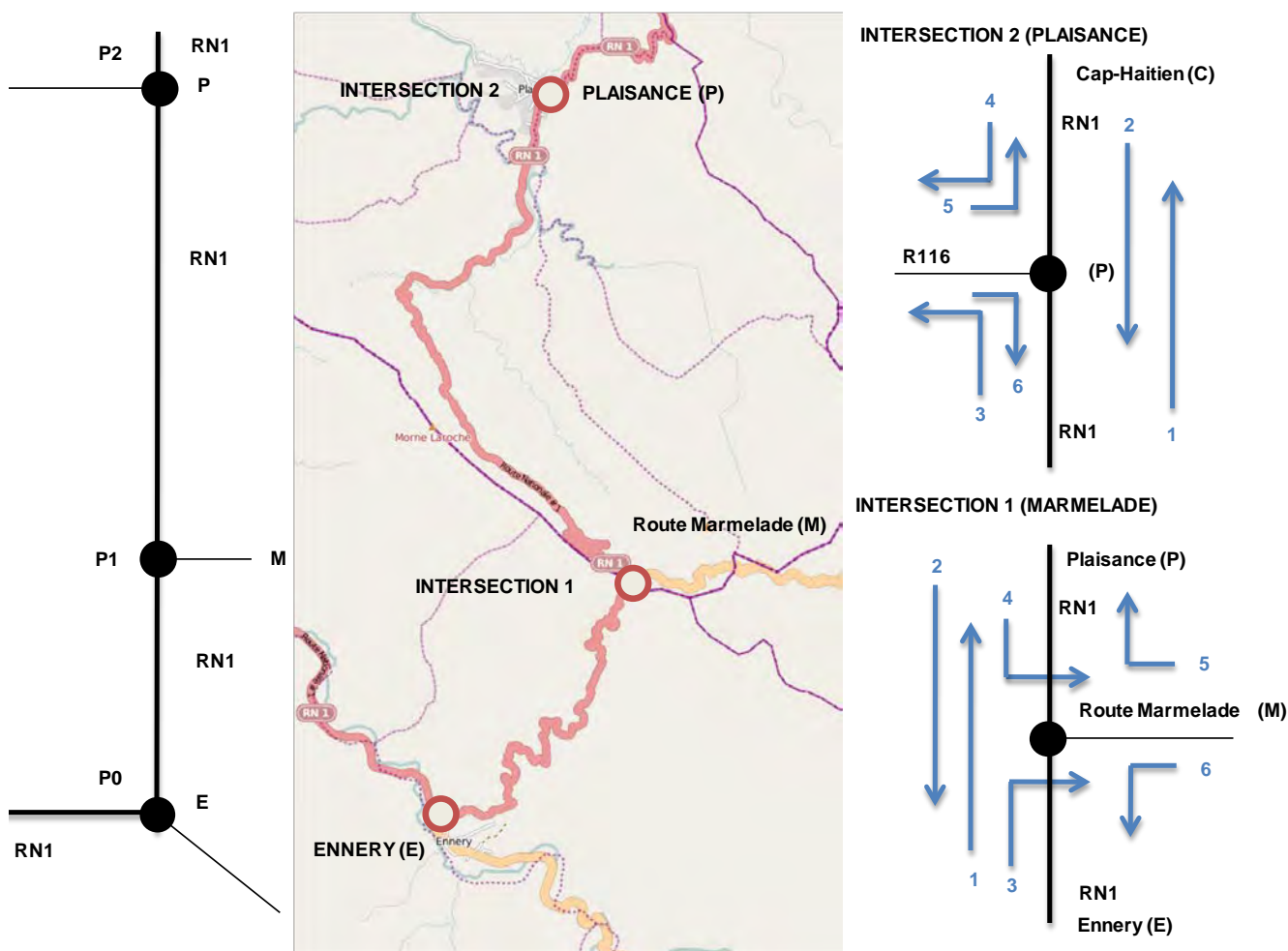
Une visite complète du tronçon de route à l'étude a été réalisée le 21 mars 2013 dernier. Cette visite a permis d'obtenir la vitesse réelle de circulation sur la RN-1, en plus de fournir une idée générale du cadre de l'étude.

7.4.1.2. Comptages

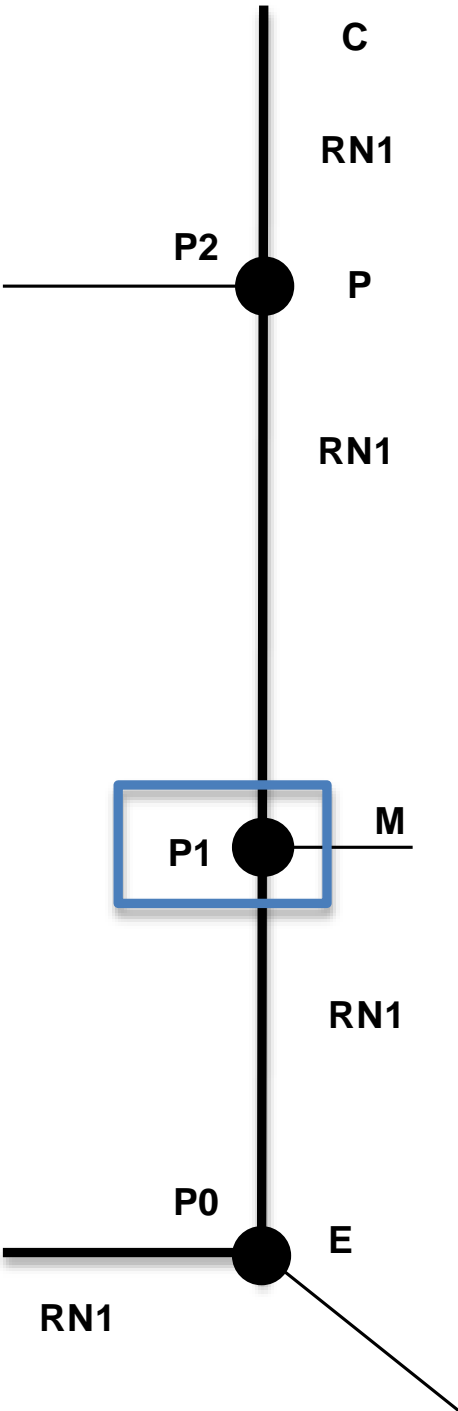
Les informations fournies par les comptages sont l'intensité de la circulation, la distribution horaire, la composition de la circulation, les périodes d'heures de pointe, les heures creuses, etc. Ces comptages ont été effectués sur une période de 11 heures, de 7 heures du matin jusqu'à 5 heures de l'après-midi, de manière séparée par intervalles de 15 minutes et classés selon quatre catégories de véhicules (voir le tableau 7-1).

Les comptages se sont déroulés sur 3 jours, soit deux jours ouvrables et une journée de fin de semaine. Les journées choisies furent le jeudi 21 mars, le vendredi 22 mars et le samedi 23 mars. Comme illustrés par le plan de localisation suivant, ces comptages ont été réalisés à trois nœuds, les trois coïncidant avec les principales intersections que la RN-1 présente entre Ennery et Plaisance.

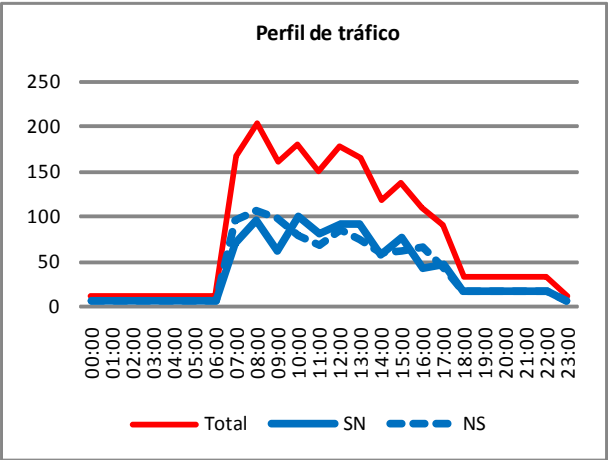
Figure 7-4 : Localisation des nœuds de comptage



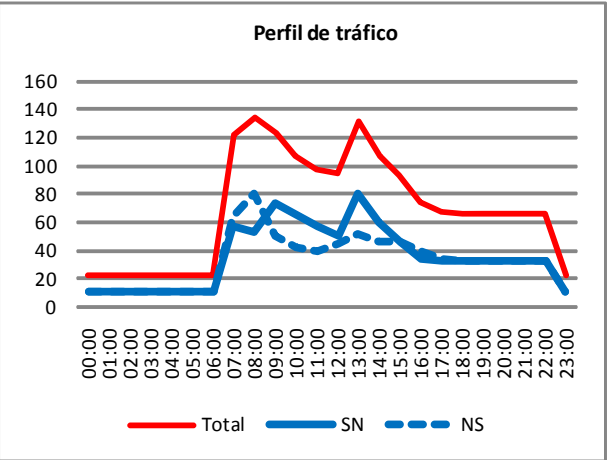
Un résumé des comptages réalisés est présenté aux figures suivantes.



P 1		Intersection 1 RN1 + Route Marmelade		
Description		DJM RN1 E-M		
Mouvements		SN+NS		
Période	Desde	07:00	Date	00:00
	Hasta	17:00	Jour	Jueves
		SN	NS	Total
AM		246	246	492
PM		177	189	366
Reste		398	406	804
Tot 11 h		821	841	1662
Reste 16 h		82	84	166
IM Laborable		948	971	1920
AM		8,6%	8,4%	8,5%
PM		6,2%	6,5%	6,4%
Reste 10 h		4,2%	4,2%	4,2%
Reste 16 h		1,1%	1,1%	1,1%
IMD		948	971	1920



P 1		Intersection 1 RN1 + Route Marmelade		
Description		DJM RN1 E-M		
Mouvements		SN+NS		
Période	Desde	07:00	Date	00:00
	Hasta	17:00	Jor	Vendredi
		SN	NS	Total
AM		196	132	328
PM		141	134	275
Reste		274	276	550
Tot 10 h		611	542	1153
Reste hasta 16 h		61	54	115
IM Laborable		706	626	1332
AM		9,3%	7,0%	8,2%
PM		6,7%	7,1%	6,9%
Reste 10 h		3,9%	4,4%	4,1%
Reste 16 h		1,1%	1,1%	1,1%
IMD		706	626	1332



P 1		Intersection 1 RN1 + Route Marmelade		
Description		DJM RN1 E-M		
Mouvements		SN+NS		
Période	Desde	07:00	Date	00:00
	Hasta	17:00	Jor	Samedi
		SN	NS	Total
AM		169	164	333
PM		144	176	320
Reste		254	302	556
Tot 10 h		567	642	1209
Reste hasta 16 h		57	64	121
IM Laborable		655	742	1396
AM		8,6%	7,4%	7,9%
PM		7,3%	7,9%	7,6%
Reste 10 h		3,9%	4,1%	4,0%
Reste 16 h		1,1%	1,1%	1,1%
IMD		655	742	1396

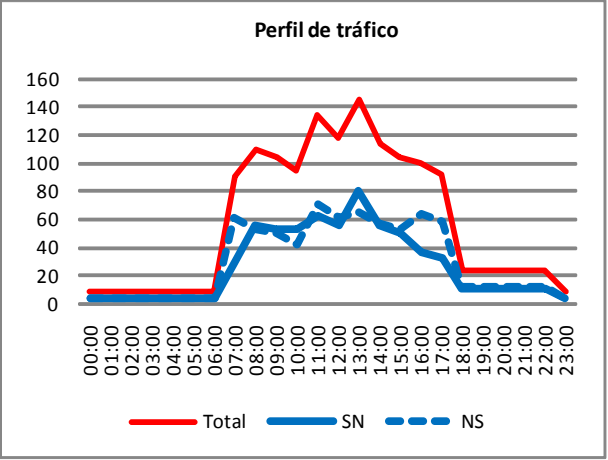
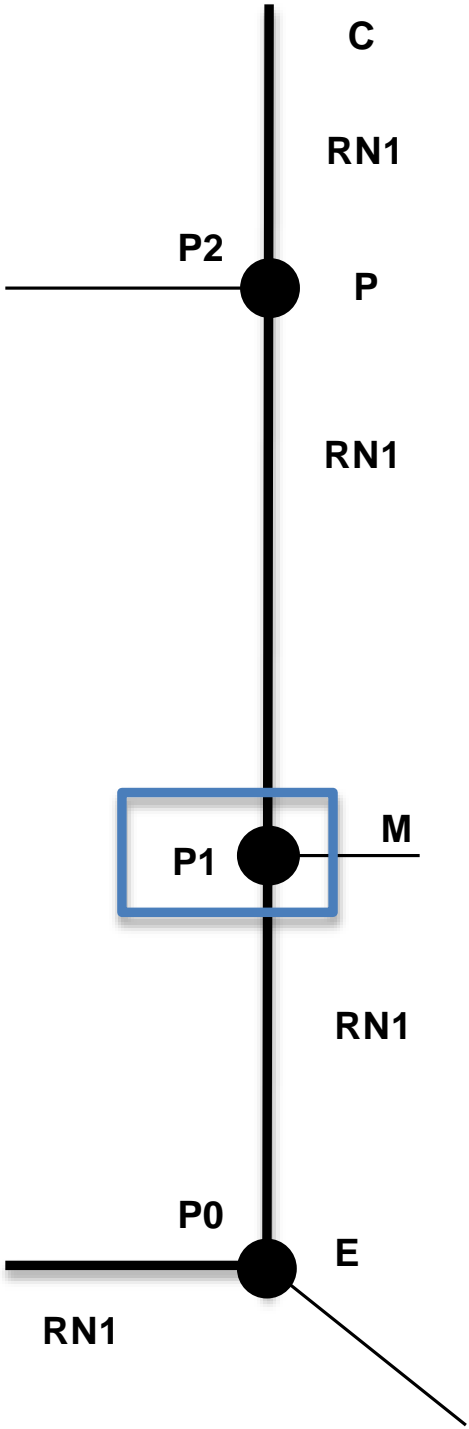


Figure 5-5 Résultat des comptages – Intersection RN-1 – Marmelade – Tronçon Ennery - Puilboreau



P 1		Route Marmelade		
Description		DJM Route Marmelade		
Mouvements		SN+NS		
Période	Desde	07:00	Date	00:00
	Hasta	17:00	Jour	Jueves

	SN	NS	Total
AM	168	191	359
PM	136	121	257
Reste	293	293	586

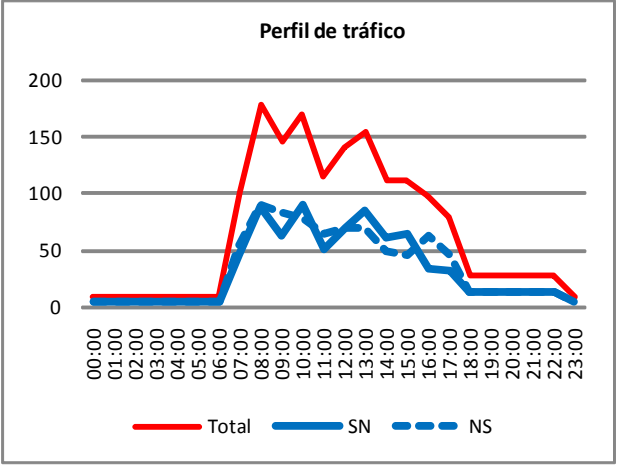
Tot 10 h	597	605	1202
----------	-----	-----	------

Reste 16 h	60	61	120
------------	----	----	-----

DJM	690	699	1388
-----	-----	-----	------

AM	8,1%	9,1%	8,6%
PM	6,6%	5,8%	6,2%
Reste 10 h	4,2%	4,2%	4,2%
Reste 16 h	1,1%	1,1%	1,1%

DJM	690	699	1388
-----	-----	-----	------



P 1		Route Marmelade		
Description		DJM Route Marmelade		
Mouvements		SN+NS		
Période	Desde	07:00	Date	00:00
	Hasta	17:00	Jour	Vendredi

	SN	NS	Total
AM	88	143	231
PM	58	121	179
Reste	176	214	390

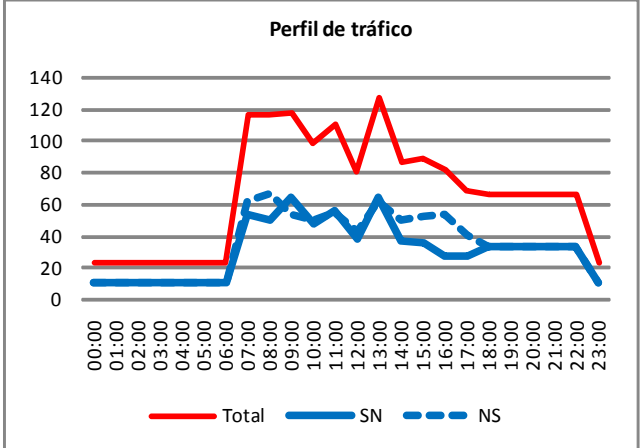
Tot 10 h	322	478	800
----------	-----	-----	-----

Reste 16 h	32	48	80
------------	----	----	----

DJM	372	552	924
-----	-----	-----	-----

AM	7,9%	8,6%	8,3%
PM	5,2%	7,3%	6,5%
Reste 10 h	4,7%	3,9%	4,2%
Reste 16 h	1,1%	1,1%	1,1%
Media diaria	5,4%	5,4%	6,0%

DJM	372	552	924
-----	-----	-----	-----



P 1		Route Marmelade		
Description		DJM Route Marmelade		
Mouvements		SN+NS		
Période	Desde	07:00	Date	00:00
	Hasta	17:00	Jour	Samedi

	SN	NS	Total
AM	97	112	209
PM	95	87	182
Reste	247	192	439

Tot 10 h	439	391	830
----------	-----	-----	-----

Reste 16 h	44	39	83
------------	----	----	----

DJM	507	452	959
-----	-----	-----	-----

AM	6,4%	8,3%	7,3%
PM	6,2%	6,4%	6,3%
Reste 10 h	4,9%	4,3%	4,6%
Reste 16 h	1,1%	1,1%	1,1%

DJM	507	452	959
-----	-----	-----	-----

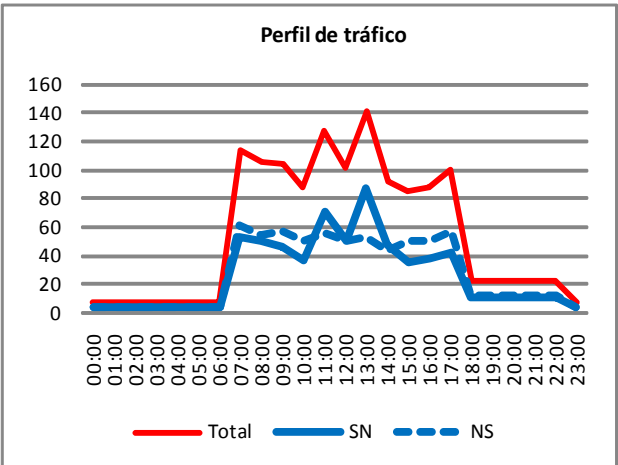
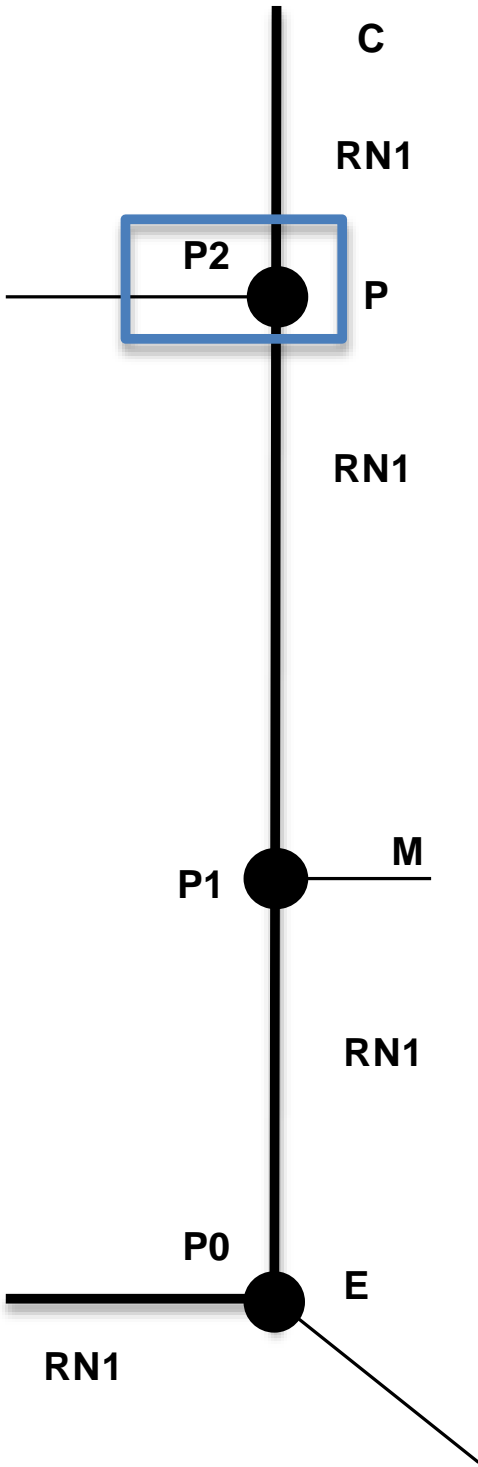


Figure 5-6 Résultat des comptages – Route de Marmelade



Intersection 2 RN1+R116				
Description		DJM RN1 M-P		
Mouvements		SN+NS		
Période	Desde	07:00	Date	00:00
	Hasta	17:00	Jour	Jeudi

	SN	NS	Total
AM	175	207	382
PM	174	175	349
Reste	265	316	581

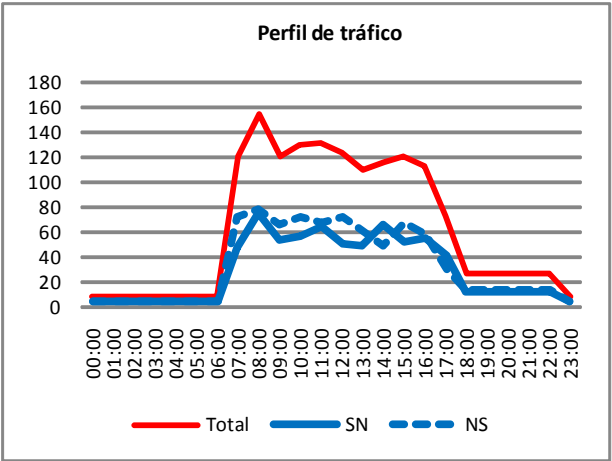
Tot 10 h	614	698	1312
----------	-----	-----	------

Reste 16 h	61	70	131
------------	----	----	-----

DJM	709	806	1515
-----	-----	-----	------

AM	8,2%	8,6%	8,4%
PM	8,2%	7,2%	7,7%
Reste 10 h	3,7%	3,9%	3,8%
Reste 16 h	1,1%	1,1%	1,1%
Media diaria	5,4%	5,4%	6,0%

DJM	709	806	1515
-----	-----	-----	------



Intersection 2 RN1+R116				
Description		DJM RN1 M-P		
Mouvements		SN+NS		
Période	Desde	07:00	Date	00:00
	Hasta	17:00	Jour	Vendredi

	SN	NS	Total
AM	171	157	328
PM	196	214	410
Reste	283	300	583

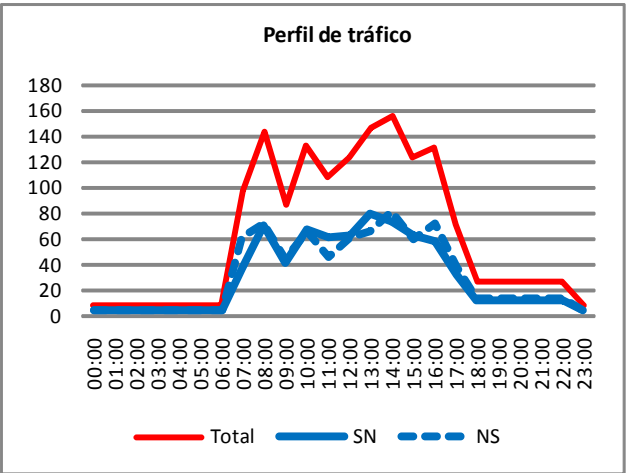
Tot 10 h	650	671	1321
----------	-----	-----	------

Reste 16 h	65	67	132
------------	----	----	-----

DJM	751	775	1526
-----	-----	-----	------

AM	7,6%	6,8%	7,2%
PM	8,7%	9,2%	9,0%
Reste 10 h	3,8%	3,9%	3,8%
Reste 16 h	1,1%	1,1%	1,1%

DJM	751	775	1526
-----	-----	-----	------



Intersection 2 RN1+R116				
Description		DJM RN1 M-P		
Mouvements		SN+NS		
Période	Desde	07:00	Date	00:00
	Hasta	17:00	Jour	Samedi

	SN	NS	Total
AM	199	206	405
PM	151	150	301
Reste	248	332	580

Tot 10 h	598	688	1286
----------	-----	-----	------

Reste 16 h	60	69	129
------------	----	----	-----

DJM	691	795	1485
-----	-----	-----	------

AM	9,6%	8,6%	9,1%
PM	7,3%	6,3%	6,8%
Reste 10 h	3,6%	4,2%	3,9%
Reste 16 h	1,1%	1,1%	1,1%

DJM	691	795	1485
-----	-----	-----	------

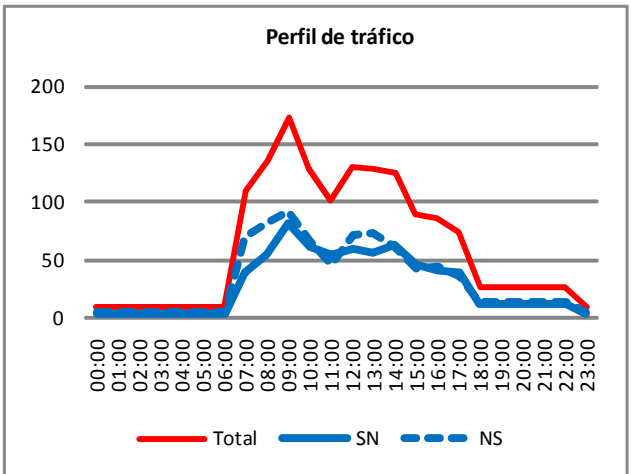
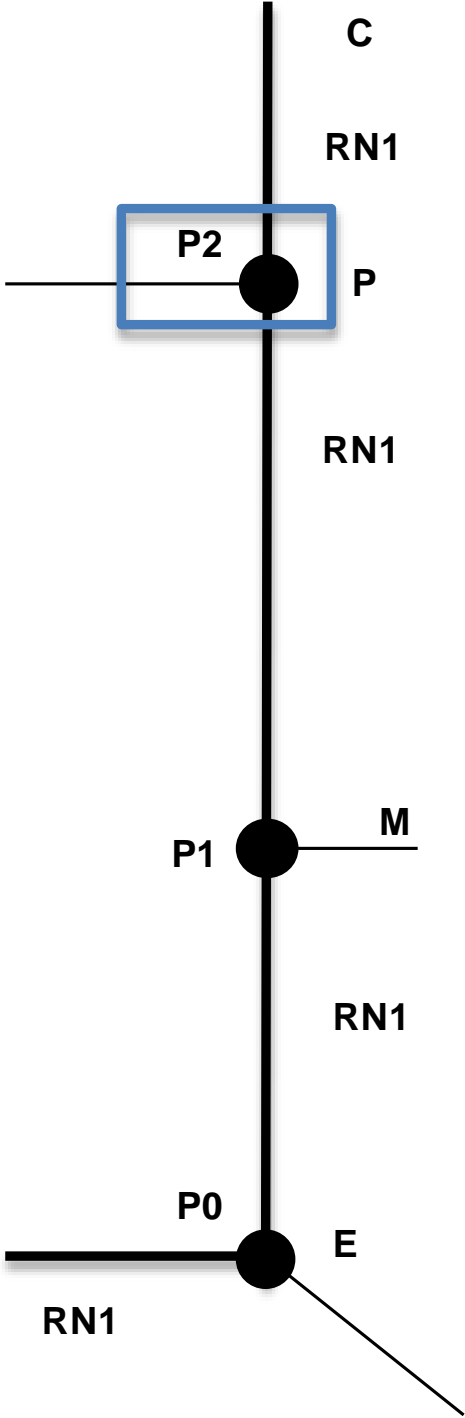


Figure 5-7 Résultat des comptages – Intersection de RN-1 – R-116 – Tronçon Puilboreau - Plaisance



P 2		Intersection 2 RN1+R116			
Description		DJM RN1 P - C			
Mouvements		SN+NS			
Période	Desde	07:00	Date	00:00	
	Hasta	17:00	Jour	Jeudi	

	SN	NS	Total
AM	164	203	367
PM	176	181	357
Reste	287	281	568

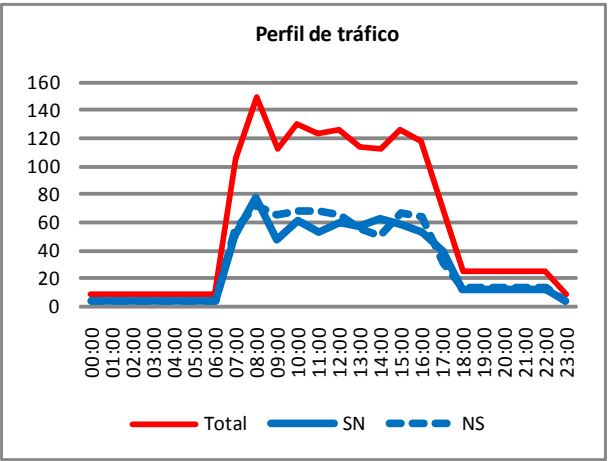
Tot 10 h	627	665	1292
----------	-----	-----	------

Reste 16 h	63	67	129
------------	----	----	-----

DJM	724	768	1492
-----	-----	-----	------

AM	7,5%	8,8%	8,2%
PM	8,1%	7,9%	8,0%
Reste 10 h	4,0%	3,7%	3,8%
Reste 16 h	1,1%	1,1%	1,1%

DJM	724	768	1492
-----	-----	-----	------



P 2		Intersection 2 RN1+R116			
Description		DJM RN1 P-C			
Mouvements		SN+NS			
Période	Desde	07:00	Date	00:00	
	Hasta	17:00	Jour	Vendredi	

	SN	NS	Total
AM	158	200	358
PM	178	210	388
Reste	292	295	587

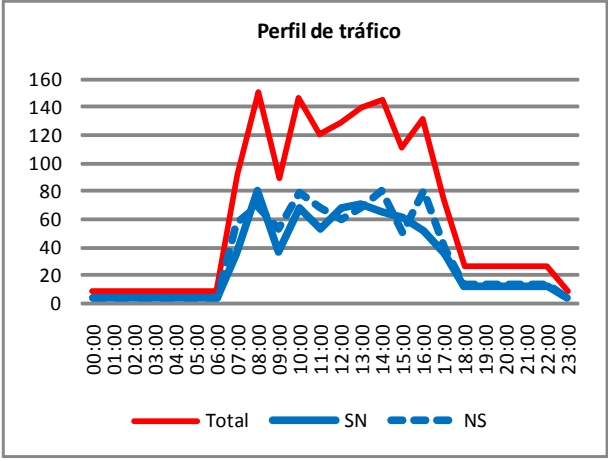
Tot 10 h	628	705	1333
----------	-----	-----	------

Reste 16 h	63	71	133
------------	----	----	-----

DJM	725	814	1540
-----	-----	-----	------

AM	7,3%	8,2%	7,8%
PM	8,2%	8,6%	8,4%
Reste 10 h	4,0%	3,6%	3,8%
Reste 16 h	1,1%	1,1%	1,1%

DJM	725	814	1540
-----	-----	-----	------



Punto 1		Intersection 2 RN1 + R116			
Descripción		DJM RN1 P-C			
Movimientos		SN+NS			
Período	Desde	07:00	Date	00:00	
	Hasta	17:00	Jour	Samedi	

AMBOS

	SN	NS	Total
AM	193	205	398
PM	146	146	292
Resto	275	286	561

Tot 10 h	614	637	1251
----------	-----	-----	------

Resto hasta 16 h	61	64	125
------------------	----	----	-----

IM Laborable	709	736	1445
--------------	-----	-----	------

% Hora media dentro del Período

AM	9,1%	9,3%	9,2%
PM	6,9%	6,6%	6,7%
Resto 10 h	3,9%	3,9%	3,9%
Resto 16 h	1,1%	1,1%	1,1%
Media diaria	5,4%	5,4%	6,0%

IMD	709	736	1445
-----	-----	-----	------

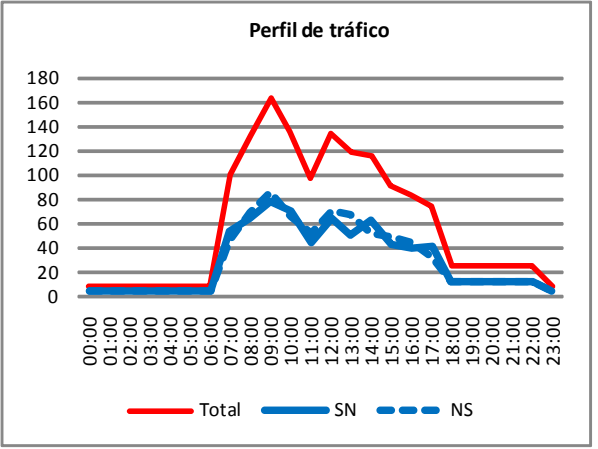
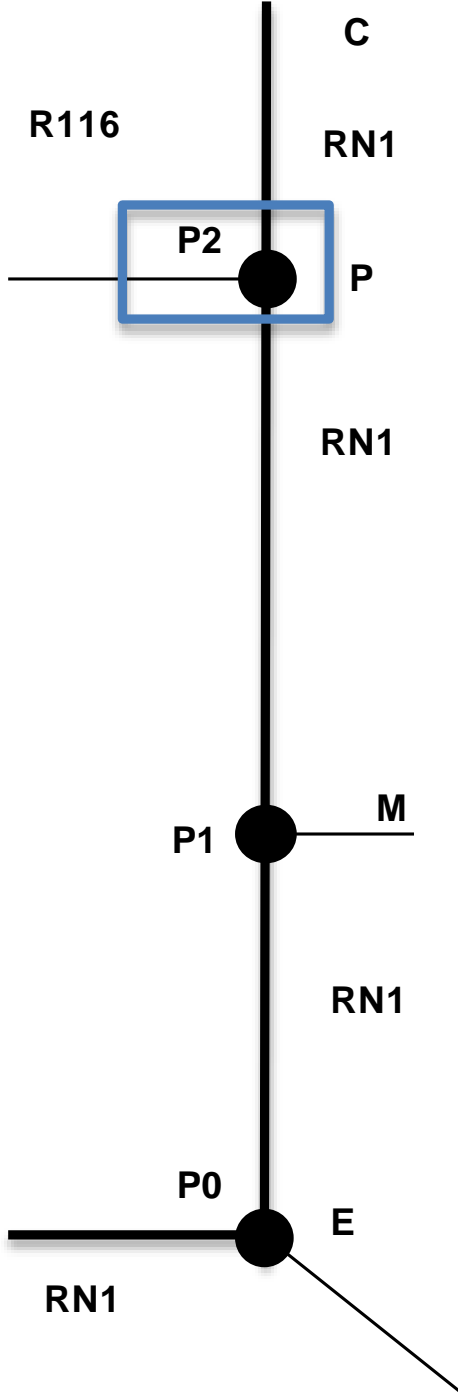


Figure 5-8 Résultat des comptages – Intersection de RN1 – R-116 - Tronçon Plaisance - Cap-Haïtien



P 2		R-116		
Descripción		DJM R116		
Movimientos		SN+NS		
Período	Desde	07:00	Fecha	00:00
	Hasta	17:00	Día	Jueves

	SN	NS	Total
AM	140	147	287
PM	119	123	242
Reste	244	185	429

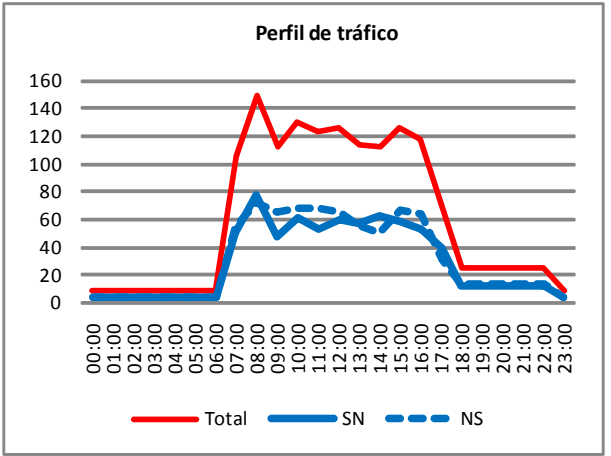
Tot 10 h	503	455	958
----------	-----	-----	-----

Reste 16 h	50	46	96
------------	----	----	----

DJM	581	526	1106
-----	-----	-----	------

AM	8,0%	9,3%	8,6%
PM	6,8%	7,8%	7,3%
Reste 10 h	4,2%	3,5%	3,9%
Reste 16 h	1,1%	1,1%	1,1%

IMD	581	526	1106
-----	-----	-----	------



P 2		R116		
Descripción		DJM R116		
Movimientos		SN+NS		
Período	Desde	07:00	Fecha	00:00
	Hasta	17:00	Día	Jueves

	SN	NS	Total
AM	83	139	222
PM	117	131	248
Reste	232	218	450

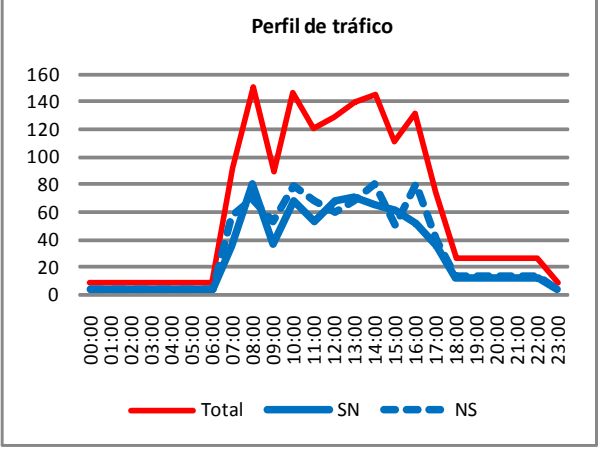
Tot 10 h	432	488	920
----------	-----	-----	-----

Reste 16 h	43	49	92
------------	----	----	----

DJM	499	564	1063
-----	-----	-----	------

AM	5,5%	8,2%	7,0%
PM	7,8%	7,7%	7,8%
Reste 10 h	4,6%	3,9%	4,2%
Reste 16 h	1,1%	1,1%	1,1%

DJM	499	564	1063
-----	-----	-----	------



P 2		Intersection 2 RN1		
Description		DJM R-116		
Mouvements		SN+NS		
Période	Desde	07:00	Date	00:00
	Hasta	17:00	Jour	Samedi

	SN	NS	Total
AM	139	144	283
PM	72	73	145
Reste	244	171	415

Tot 10 h	455	388	843
----------	-----	-----	-----

Reste 16 h	46	39	84
------------	----	----	----

DJM	526	448	974
-----	-----	-----	-----

AM	8,8%	10,7%	9,7%
PM	4,6%	5,4%	5,0%
Reste 10 h	4,6%	3,8%	4,3%
Reste 16 h	1,1%	1,1%	1,1%

DJM	526	448	974
-----	-----	-----	-----

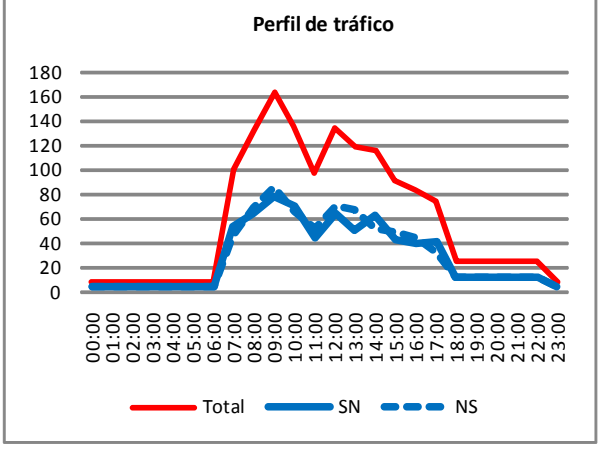
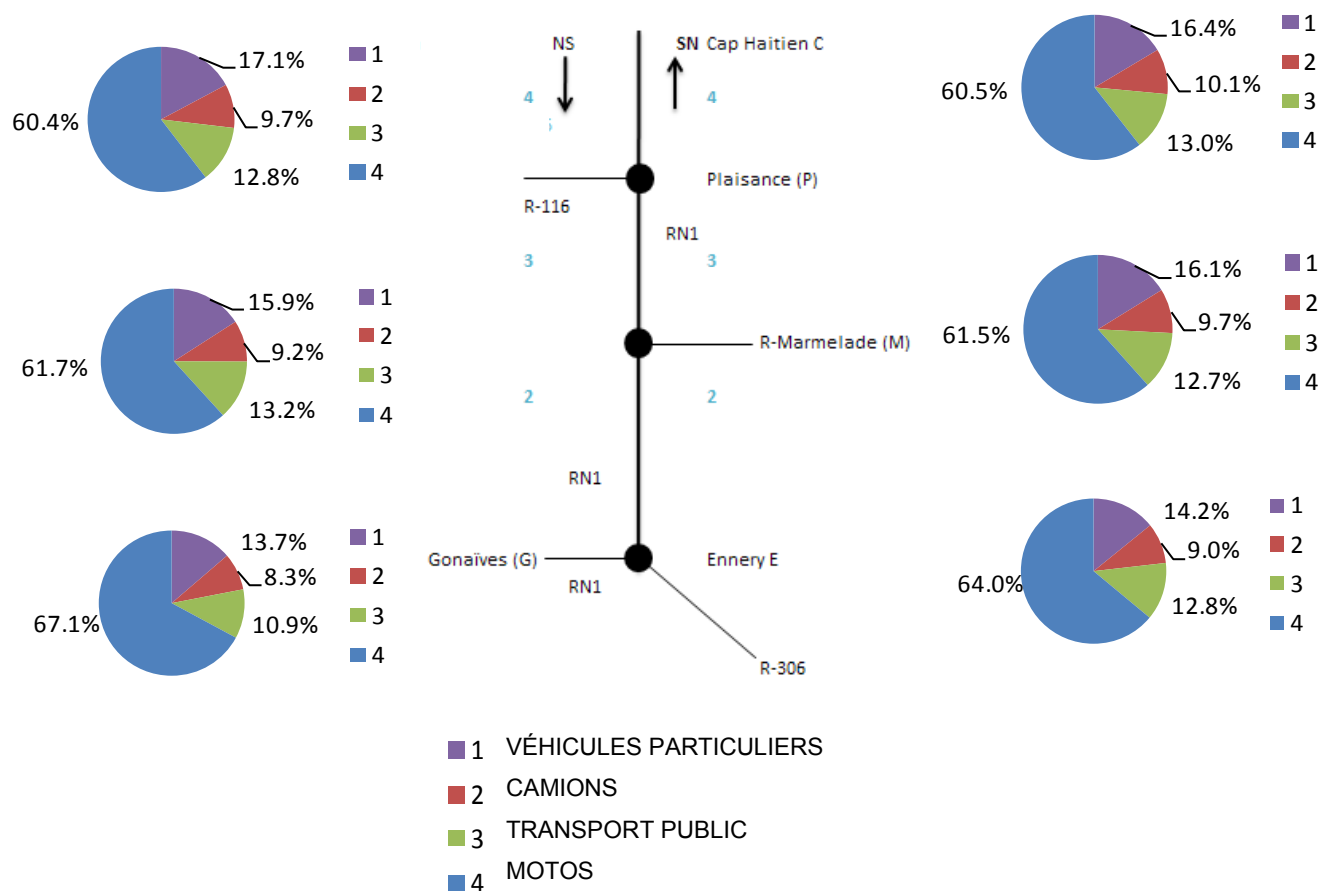


Figure 5-9 Résultat des comptages – Route – R-116

La figure suivante illustre le DJM (Débit Journalier Moyen) et sa distribution, en pourcentage, par catégorie de véhicule (voir le tableau 7-1) pour chacun des tronçons et des intersections de la portion de la RN-1 à l'étude.

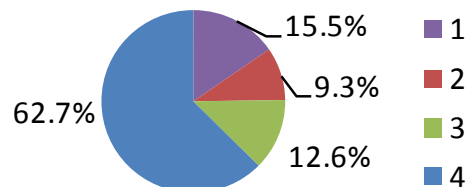
Figure 7-5 : Distribution de la circulation / catégorie et tronçon de route



Finalement, le DJM et la distribution par catégories dans la totalité du tronçon à l'étude sont présentés ici bas.

Figure 7-6 : Résumé des DJM obtenus / catégorie et tronçon circulation

Route	Catégorie	DJM	Distribution (%)
RN1	1	242	15,5%
RN1	2	145	9,3%
RN1	3	196	12,6%
RN1	4	978	62,7%
RN1	1-4	1560	100%



En conclusion, la moto est le moyen de transport de prédilection utilisé par la population. La moto est grandement utilisée comme moyen de transport public, puisque la population les utilise comme taxi. Il

en résulte que leur poids, durant un parcours de moyenne et longue distance, soit significatif sur la totalité de la circulation comptée.

Le tableau suivant présente le volume de circulation moyen journalier comptabilisé durant la période d'étude.

Tableau 7-2 : DJM par catégorie et tronçon comptabilisé

Route	Catégorie	Sens	Tronçon	ID tronçon	DJM	Distribution (%)
RN1	1	SN	EM	2	117	14,2%
RN1	2	SN	EM	2	75	9,0%
RN1	3	SN	EM	2	107	12,8%
RN1	4	SN	EM	2	531	64,0%
RN1	1	NS	ME	2	117	13,7%
RN1	2	NS	ME	2	71	8,3%
RN1	3	NS	ME	2	94	10,9%
RN1	4	NS	ME	2	575	67,1%
RN1	1-4	Deux sens	EM-ME	2	1686	-
RN1	1	SN	MP	3	114	16,1%
RN1	2	SN	MP	3	69	9,7%
RN1	3	SN	MP	3	90	12,7%
RN1	4	SN	MP	3	436	61,5%
RN1	1	NS	PM	3	127	15,9%
RN1	2	NS	PM	3	73	9,2%
RN1	3	NS	PM	3	106	13,2%
RN1	4	NS	PM	3	493	61,7%
RN1	1-4	Deux sens	MP-PM	3	1508	-
RN1	1	SN	PC	4	118	16,4%
RN1	2	SN	PC	4	73	10,1%
RN1	3	SN	PC	4	94	13,0%
RN1	4	SN	PC	4	436	60,5%
RN1	1	NS	CP	4	131	17,1%
RN1	2	NS	CP	4	75	9,7%
RN1	3	NS	CP	4	98	12,8%
RN1	4	NS	CP	4	462	60,4%
RN1	1-4	Deux sens	PC-CP	4	1487	-

En se basant sur ces données, on observe:

- RN-1: pour l'ensemble du tronçon compté (Ennery-Plaisance), la circulation va en diminuant dans le sens sud (Ennery)-Nord (Plaisance);

En général, le jeudi est le jour avec une plus grande intensité de circulation ainsi qu'avec une distribution plus uniforme. À l'heure de pointe du matin, on atteint un volume de 200 véh/h.

Le vendredi maintient des valeurs de DJM similaires à celles du jeudi. Par contre, sa distribution horaire est irrégulière puisque ce jour présente plusieurs heures de pointe au cours d'une même journée. Par exemple, le jeudi, les pointes de circulation sont enregistrées en avant-midi entre 7 heures et 9 heures, et en après-midi entre 13 heures et 14 heures. Le vendredi et le samedi, l'heure de pointe d'après-midi s'étend jusqu'à 15 heures et 16 heures, pouvant atteindre des volumes de 160 véh/h (vendredi).

Dans le cas du samedi, le DJM tombe de manière notable à partir de Plaisance, passant de 1400 véh/jour enregistrés en moyenne sur le tronçon antérieur à 970 véh/jour. De plus, ses distributions horaires diffèrent considérablement en fonction du tronçon ; celles du jeudi concentrent la circulation dans les heures centrales de la journée, alors que celles du vendredi et samedi montrent une pointe de circulation significative de 7 heures à 11 heures du matin, atteignant des valeurs de 160 véh/h.

- Sur la route Marmelade, les plus importants DJM sont les jours ouvrables, représentés par le jeudi, atteignant 1300 véh/jour, des valeurs qui tombent jusqu'à 900 véh/jour les vendredis et samedis. On apprécie également des différences dans ses distributions horaires entre le jeudi, le vendredi et le samedi. Le jeudi, une concentration plus importante de la circulation est observée de 7 heures à 13 heures avec des valeurs qui dépassent les 150 véh/h. Le vendredi présente une pointe de circulation plus concentrée aux heures de mi-journée avec un volume dépassant les 120 véh/h. Finalement, le samedi est composé d'heures de pointe de 10 heures à 14 heures et une circulation plus abondante en fin de journée.
- R-116: cette voie enregistre des valeurs de DJM aux alentours de 1000 véh/jour indépendamment du jour de la semaine, avec des distributions de circulation très similaires les jeudis et vendredis. Cette route montre une circulation plus homogène au cours de la journée avec des samedis qui concentrent la plupart des déplacements en mi-journée.

7.4.2. Offre

Afin d'avoir une idée globale, une analyse de la situation, des caractéristiques du réseau routier et des infrastructures actuelles a été réalisée.

- Transport maritime et aérien

Le réseau portuaire d'Haïti compte deux ports internationaux, soit Port-au-Prince et Cap-Haïtien. Ils sont complétés par 17 ports régionaux qui accueillent principalement les marchandises en provenance des Caraïbes.

Haïti possède deux aéroports internationaux et cinq aérodromes nationaux. Par ordre d'importance, ce sont: Toussaint Louverture, Port-au-Prince, Cap-Haïtien, Port de Paix, Jérémie, Gable, Jacmel et Les Cayes.

Figure 7-7 : Localisation des ports et aéroports du pays



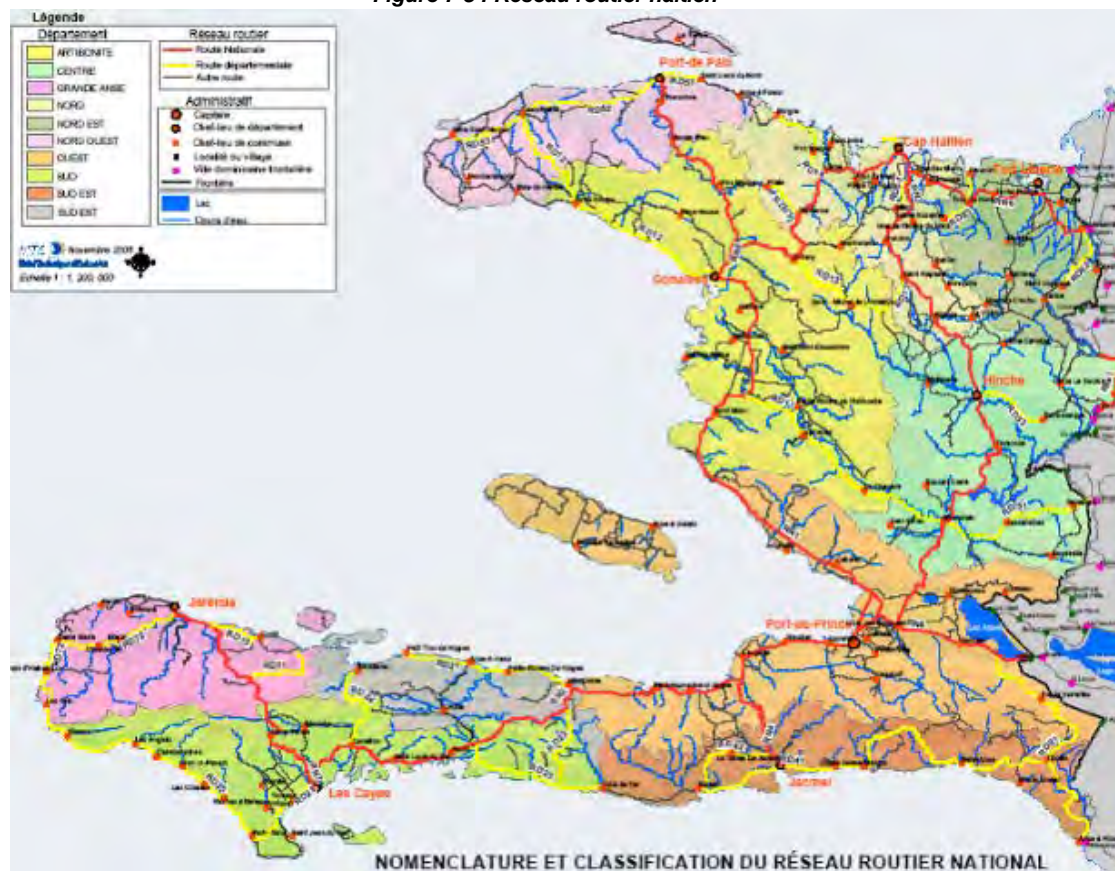
- Transport terrestre

Le réseau routier est l'unique moyen de transport par voie terrestre en Haïti. Il joue un rôle prépondérant, aussi bien pour le transport des personnes que des marchandises.

Il se structure autour d'un réseau d'une longueur approximative de 3 400 km, avec une classification structurée en: routes principales, secondaires, locales et chemins locaux.

Le Réseau National (primaire) contient entre 650 et 700 km de route. Les volumes de circulation y sont très variables en fonction des conditions de la surface de roulement de la route. Les DJM varient entre 1 000 et 4 000 véh/jour pour les routes les plus transitées. Le réseau départemental (secondaire) a une longueur d'environ 1 500 km. Il connecte les petits centres urbains au réseau routier national, le volume de circulation oscille entre 200 et 1 000 véh/jour lorsque les routes sont carrossables. Enfin, le réseau municipal (tertiaire) couvre environ 1 200 kilomètres et offre des fonctions d'intégration territoriale pour les communes et petites municipalités. Les volumes de circulation y sont généralement très faibles.

Figure 7-8 : Réseau routier haïtien



Le réseau principal des routes RN1, RN2 et RN3 se structure autour de la capitale, Port-au-Prince.

La Route Nationale No.1 est la principale voie du pays reliant la capitale, Port-au-Prince, qui se trouve au sud du pays, à la région nord, Cap-Haïtien. De plus, la RN-1 traverse la zone agricole la plus importante du pays, l'Artibonite, dont la plupart des productions locales seront acheminées aux principales villes du pays par cette dernière.

La portion de cette route qui fait l'objet de la présente étude (Ennery-Plaisance) possède actuellement une vitesse moyenne en transit de l'ordre de 23,7 km/h. Cette vitesse est obtenue en appliquant un facteur de suivi PTSF (Percent Time Spent Following), estimé à 21 % de la vitesse de référence (30 km/h). Ces résultats sont obtenus par le biais du Manuel de Capacité 2000 à travers le logiciel de simulation HCS+.

7.4.3. Demande

Le Débit Journalier Moyen Annuel (DJMA) est obtenu à partir des comptages effectués en mars en appliquant les facteurs d'ajustement suivants:

Tableau 7-3 : Facteurs d'ajustement des débits véhiculaire

Facteur d'ajustement - semaine à mois	1	
Facteur d'ajustement - mois à année	Saison sèche (décembre à avril)	1,1
	Saison humide (mai à novembre)	0,9

En appliquant les facteurs correspondants, les résultats suivants de DJM annuel sont obtenus:

Tableau 7-4 : DJM de la RN1 par tronçon, sens et catégorie de véhicule (2013)

Route	Catégorie	Sens	Tronçon	ID tronçon	DJM semaine	DJM mois	DJM année
RN1	1	SN	EM	2	117	117	107
RN1	2	SN	EM	2	75	75	68
RN1	3	SN	EM	2	107	107	97
RN1	4	SN	EM	2	531	531	483
RN1	1	NS	ME	2	117	117	107
RN1	2	NS	ME	2	71	71	64
RN1	3	NS	ME	2	94	94	85
RN1	4	NS	ME	2	575	575	522
RN1	1-4	Deux sens	EM-ME	2	1686	1686	1533
RN1	1	SN	MP	3	114	114	104
RN1	2	SN	MP	3	69	69	63
RN1	3	SN	MP	3	90	90	82
RN1	4	SN	MP	3	436	436	397
RN1	1	NS	PM	3	127	127	115
RN1	2	NS	PM	3	73	73	67
RN1	3	NS	PM	3	106	106	96
RN1	4	NS	PM	3	493	493	448
RN1	1-4	Deux sens	MP-PM	3	1505	1508	1371
RN1	1	SN	PC	4	118	118	108
RN1	2	SN	PC	4	73	73	66
RN1	T3	SN	PC	4	94	94	85
RN1	4	SN	PC	4	436	436	397
RN1	1	NS	CP	4	131	131	119
RN1	2	NS	CP	4	75	75	68
RN1	3	NS	CP	4	98	98	89
RN1	4	NS	CP	4	462	462	420

Route	Catégorie	Sens	Tronçon	ID tronçon	DJM semaine	DJM mois	DJM année
RN1	1-4	Deux sens	PC-CP	4	1487	1487	1352

Finalement, le DJM annuel utilisé pour la portion de la RN1 à l'étude est le suivant:

Tableau 7-5 : DJM de la RN1 pour le tronçon Ennery-Plaisance, année 2013

Route	Catégorie	Sens	Tronçon	ID tronçon	DJM semaine	DJM mois	DJM année
RN1	1-4	Deux sens	-	-	1560	1560	1419

7.4.4. Modélisation des intersections

En utilisant l'information sur la circulation des études antérieures et celle obtenue suite aux comptages et au travail de terrain réalisé dans le cadre de ce projet, une modélisation des intersections présentes sur le tronçon à l'étude a été réalisée à l'aide du logiciel de simulation aaSIDRA. Les résultats des simulations sont présentés aux figures suivantes.

Figure 7-9 : Intersection 0 : RN1-R-306 – 2013

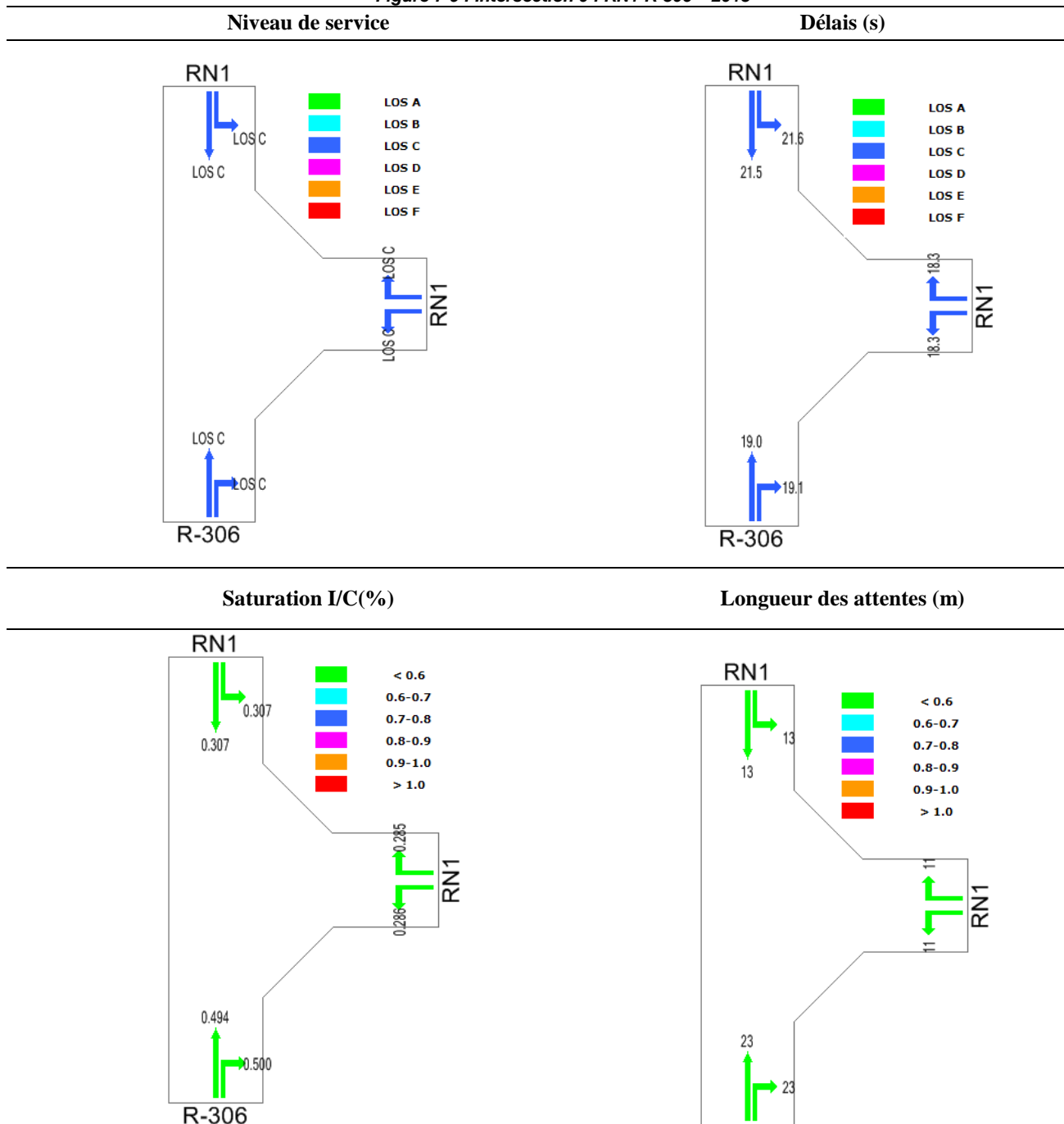


Figure 7-10 : Intersection 1 RN1-Route Marmelade – 2013

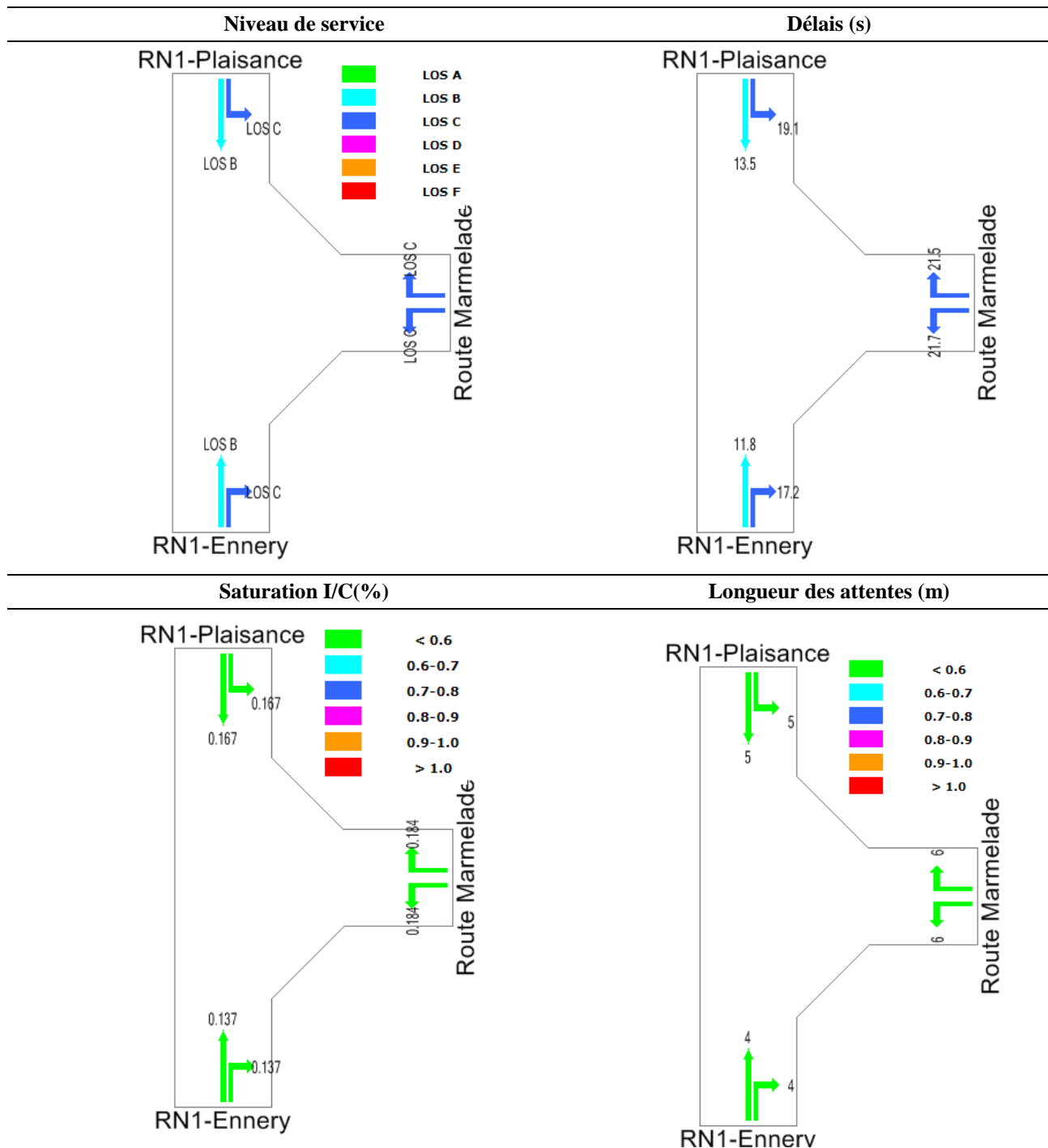
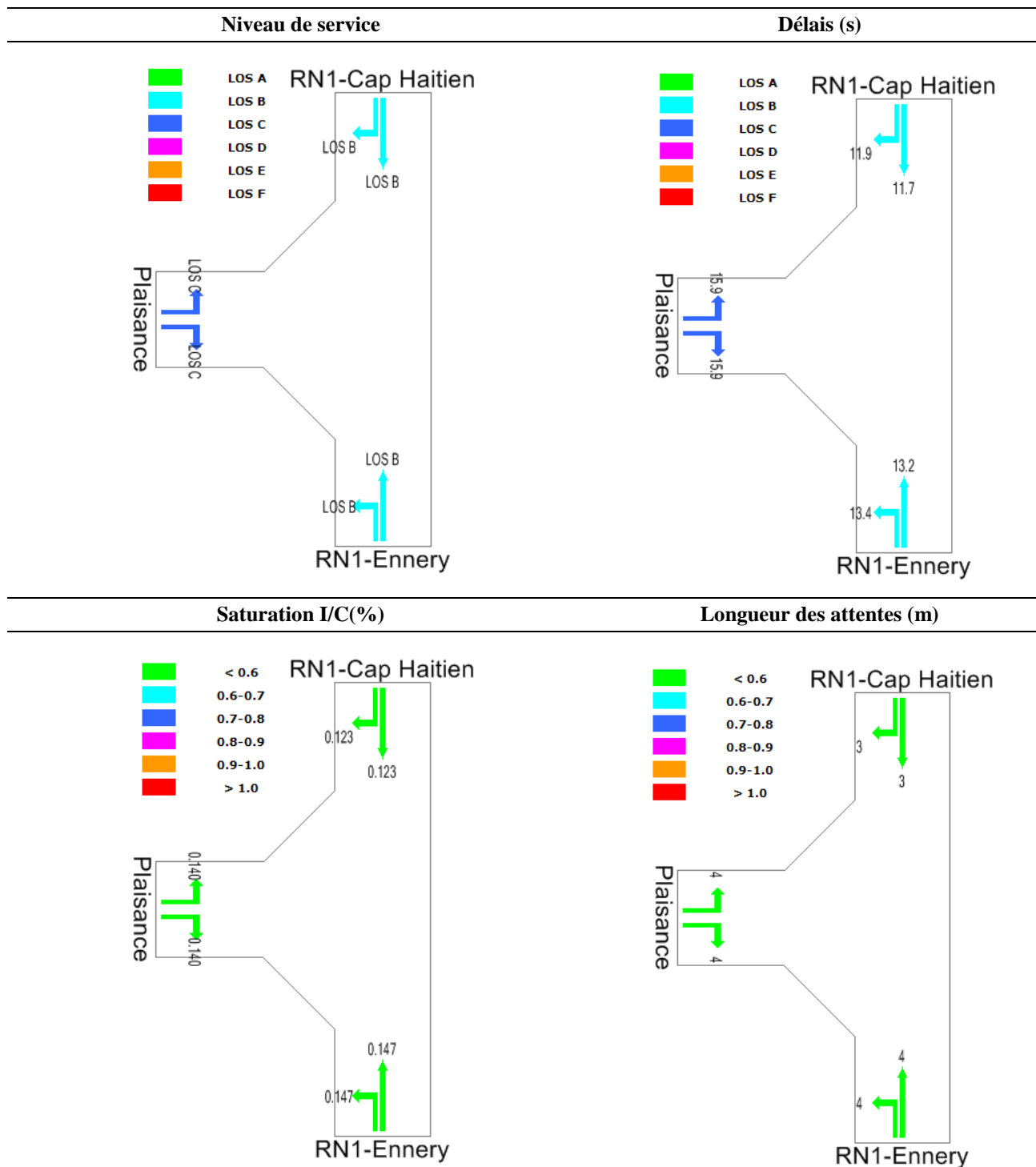


Figure 7-11 : Intersection 2 : RN1-Plaisance (R-116) - 2013



7.5. CARACTÉRISATION DE LA SITUATION FUTURE

7.5.1. Définition des scénarios

Trois scénarios ont été considérés:

- **Scénario 1:** Réhabilitation de la totalité de l'actuelle RN-1 entre Ennery et Plaisance.
- **Scénario 2:** Construction de la route alternative de 8 km qui inclut un tunnel et un pont sur la rivière Ennery, et la réhabilitation de l'actuelle RN-1 depuis l'intersection avec la route alternative jusqu'à Plaisance.
- **Scénario 3:** Construction de la route alternative et la réhabilitation de l'actuelle RN-1 entre Ennery et Plaisance.

Figure 7-12 : Localisation de la variante au tracé actuel de la RN-1



7.5.2. Modèle de croissance

Un modèle de croissance du volume de circulation sur la RN-1 a pu être estimé à partir de la formule suivante:

$$\text{Tráfico} = \alpha \cdot \prod_{k=1}^n \text{Variable}_k^{\beta, \gamma, \dots, \varphi}$$

La circulation (Tráfico) représente le débit véhiculaire qui a été défini grâce aux comptages réalisés en mars dernier et les variables correspondent aux hypothétiques variables explicatives indépendantes. Les coefficients α , β , γ ... φ sont les paramètres du modèle.

En utilisant les logarithmes népériens, la formule se transforme, faisant en sorte que les ajustements des volumes de circulation par rapport aux variables explicatives sont les coefficients β , γ ... φ .

$$\text{Ln (Tráfico)} = \beta \cdot \text{Ln(Variable}_1) + \gamma \cdot \text{Ln(Variable}_2) + \dots + \varphi \cdot \text{Ln(Variable}_n)$$

De sorte que, le concept d'ajustement (élasticidad) lie les variables explicatives à la variable expliquée, il en ressort la formule suivante:

$$\text{elasticidad } i = \frac{\Delta \text{Tráfico}}{\Delta \text{Variable } i}$$

Dans le cadre de cette étude, il a été considéré que le PIB d'Haïti correspond à la variable explicative la plus significative du comportement de la circulation. L'historique du PIB et les prévisions réalisées par le Fond Monétaire International horizon 2013 à 2016 ont été utilisées dans le modèle de projection de la circulation. À partir de 2017, une croissance du PIB basé sur des estimations propres a été utilisée, de manière à ce qu'à long terme (année 2030), on tende vers une croissance de 3 %, qui est habituel pour cet horizon temporel dans des pays en voie de développement.

D'autre part, un ajustement de 0,7 au volume de circulation a été obtenu à partir des données de PIB d'Haïti de 0,7, qui est une valeur moyenne des routes ayant des caractéristiques similaires dans un pays en voie de développement.

Tableau 7-6 : Pronostic de circulation. Croissances en % (PIB)

Année	ΔPIB (%)	ΔTraffic (%)	Année	ΔPIB (%)	ΔTraffic (%)	Année	ΔPIB (%)	ΔTraffic (%)
2013	7,22%	0,00%	2024	4,50%	3,15%	2035	3,00%	2,10%
2014	6,69%	4,69%	2025	4,00%	2,80%	2036	3,00%	2,10%
2015	6,01%	4,21%	2026	4,00%	2,80%	2037	3,00%	2,10%
2016	5,72%	4,01%	2027	4,00%	2,80%	2038	3,00%	2,10%
2017	5,50%	3,85%	2028	4,00%	2,80%	2039	3,00%	2,10%
2018	5,50%	3,85%	2029	4,00%	2,80%	2040	3,00%	2,10%
2019	5,50%	3,85%	2030	3,00%	2,10%	2041	3,00%	2,10%

Année	ΔPIB (%)	ΔTraffic (%)	Année	ΔPIB (%)	ΔTraffic (%)	Année	ΔPIB (%)	ΔTraffic (%)
2020	5,00%	3,50%	2031	3,00%	2,10%	2042	3,00%	2,10%
2021	4,50%	3,15%	2032	3,00%	2,10%	2043	3,00%	2,10%
2022	4,50%	3,15%	2033	3,00%	2,10%	2044	3,00%	2,10%
2023	4,50%	3,15%	2034	3,00%	2,10%	2045	3,00%	2,10%

7.5.3. Induction

L'induction se définit comme étant l'augmentation de la circulation qui se produit sur une route en conséquence de son amélioration générale. Normalement, la croissance par induction est complètement indépendante de la croissance de la circulation causée par des facteurs économiques comme le PIB. Cela est dû principalement à l'amélioration des conditions générales de la circulation et à l'augmentation de la capacité de la route.

Le modèle utilisé pour le calcul de l'induction est une variante de celui qui est mentionné dans le rapport SACTRA du Département de Transports du Royaume-Uni.

La formule utilisée est la suivante:

$$\Delta f = e \text{ ta } \Delta C / C0$$

Où:

Δf = circulation induite dans le couloir

e = ajustement au coût généralisé du voyage.

ta = circulation existante.

$C0$ = coût généralisé du voyage actuel

ΔC = épargne du coût généralisé par la nouvelle infrastructure.

En divisant la formule antérieure pour ta , le résultat s'obtient en % de la circulation estimée:

$$\Delta f (\%) = e \Delta C / C0$$

De la même manière, on peut estimer le coût généralisé, à travers la formule suivante:

$$C = P + VOT \times T$$

Où:

C = coût généralisé

P = péage total

VOT = valeur du temps de voyage

T = temps total de voyage

Si ce qui est prétendu est l'obtention d'un coût unitaire, cela se divise par la distance moyenne du déplacement et la formule antérieure se transforme en la formule suivante:

$$C = t + VOT / v$$

Où:

t = tarif

v = vitesse moyenne du voyage

Par conséquent, les coûts généralisés pour chacun des scénarios en étude sont les suivants:

Tableau 7-7 : Coût généralisé (\$/km) par scénario

Scénario	Route	v (km/h)	VOT	t (\$)	Coût (\$/h)
0	RN1	24	8	0	0,33
1	RN1	40	8	0	0,20
2	RN1	40	8	0	0,13
	Route alternative	60			
3	RN1	40	8	0	0,33
	Route alternative	60			

En prenant en compte l'ajustement au coût généralisé par déplacement proposé au document «Transport Elasticities-How prices and other factors affect travel behavior» (2011), qui propose comme valeur typique de e -0.5, on obtient l'induction générée pour chacun des scénarios suivants.

Tableau 7-8 : Induction par scénario

Scénario	Route	e	Co	C	ΔC	Δtf (%)
0	RN1	-0,5	0,33	0,33	0,00	0,00%
1	RN1	-0,5	0,33	0,20	-0,13	20,00%
2	Tunnel	-0,5	0,33	0,13	-0,20	30,00%
3	Tunnel	-0,5	0,33	0,13	-0,20	30,00%

On a considéré que lorsque la route alternative (variante avec tunnel) sera construite, l'effet d'induction sera produit par cette variante, sans prendre en compte si la RN-1 actuelle est réhabilitée ou pas. Par conséquent, les valeurs des scénarios 2 et 3 restent identiques.

7.5.4. Circulation générée et attirée par de nouveaux développements et le tourisme

7.5.4.1. Parc industriel de Caracol

Le parc industriel de Caracol fait intégralement partie d'un projet de développement qui inclut l'internationalisation de l'aéroport de Cap-Haïtien, la construction de centres éducatifs et de logements, et la promotion de l'agriculture et de l'énergie renouvelable.

Situé à environ 260 km de Port-au-Prince, le parc industriel de Caracol possède un potentiel d'expansion de 246 Ha. On estime que Caracol parviendra à créer environ 60 000 emplois.

La première étape de Caracol sera finalisée en 2015 et inclut sept entrepôts et un bâtiment administratif.

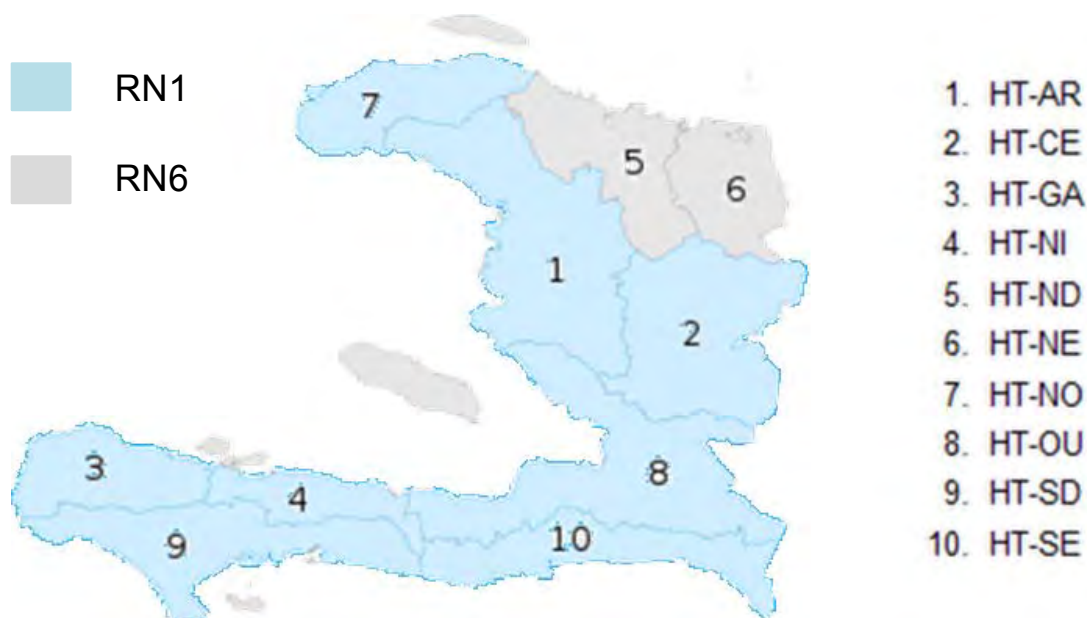
Figure 7-13 : Photo du Parc Industriel de Caracol



Pour estimer la circulation générée sur la RN-1 par ce développement industriel, les hypothèses suivantes ont été formulées :

- Ratio génération/attraction = 17,7 véh/Ha (Donnée obtenue d'études similaires réalisées en zones rurales dans des pays en voie de développement)
- N° de travailleurs en 2015 = 20 000 (Estimation de la Banque Internationale de Développement)
- N° de travailleurs en 2020 = 37 000 (Estimation de la Banque Internationale de Développement)
- Répartition de la circulation générée à Caracol entre la RN-1 et la RN-6, principales voies de sortie de la production, de 86%/14%. Cette répartition a été évaluée en fonction de la population par région desservie selon leurs futures routes de destination, comme on peut l'observer dans le graphique suivant.

Figure 7-14 : Répartition RN1/RN6



- Phases de développement : (Selon les estimations de la BID)
 - 1^{re} étape: 2015 – Niveau de développement de 33% (approximativement 20000 travailleurs)
 - 2^e étape: 2020 – Niveau de développement de 66% (approximativement 37000 travailleurs)
 - 3^e étape: 2025 – Niveau de développement de 100%

Ainsi, la circulation générée (DJM) sur la RN-1 dû aux activités générées par le parc industriel de Caracol, pour les différents horizons, est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7-9 : DJM généré par le Parc Industriel sur la RN-1

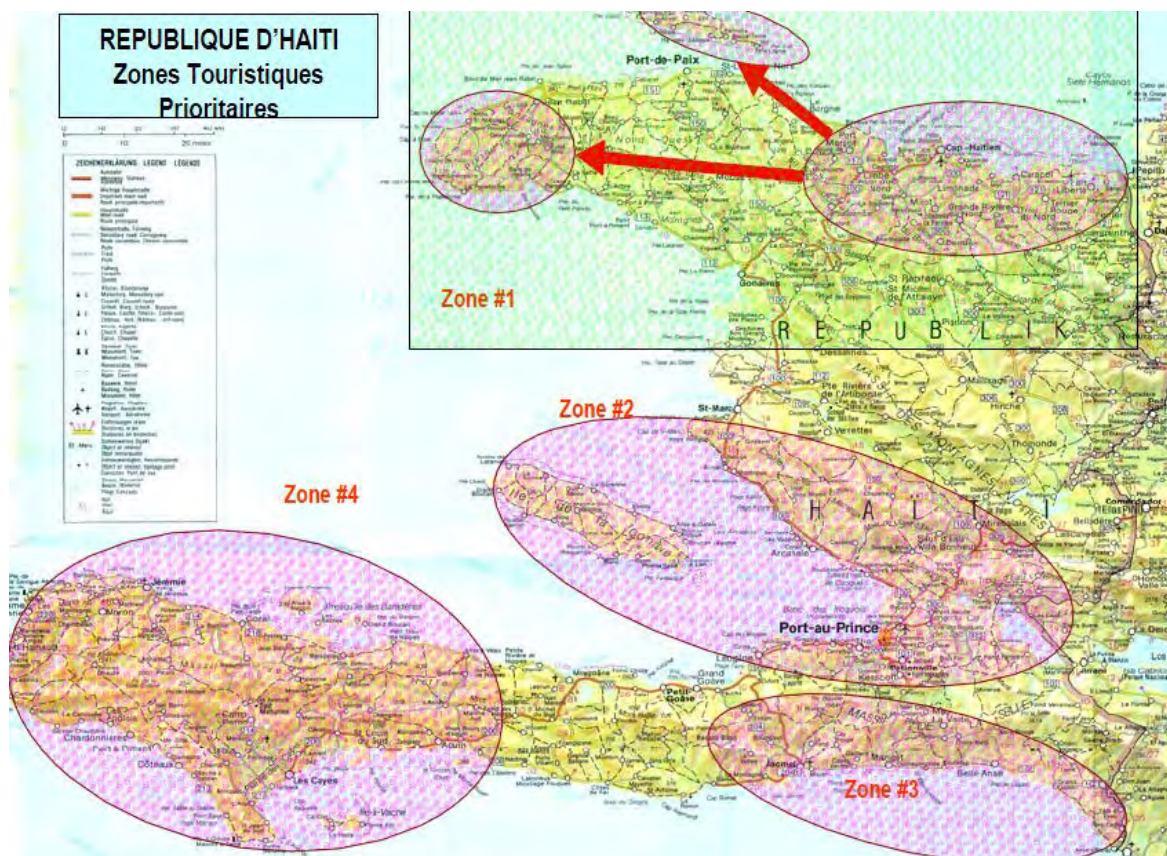
	1 ^{re} PHASE	2 ^e PHASE	3 ^e PHASE
Horizon	2015	2020	2025
DJM	1243	2485	3766

7.5.4.2.

7.5.4.3. Tourisme

Pour calculer l'effet du tourisme sur la portion de route à étude, on utilise les dernières données publiées par le Gouvernement d'Haïti concernant le nombre de chambres d'hôtel que l'on estime seront occupées pendant la saison sèche de 2013 (décembre- avril), valeur chiffrée à 3,500 chambres.

Figure 7-15 : Zones touristiques prioritaires



En prenant comme point de départ les considérations suivantes :

- Taux d'occupation: 3,7 personnes/chambre
- Pourcentage de mobilité à d'autres zones d'intérêt touristique : 100%
- Nombre de voyages quotidiens que réalise une personne : 2

De cette façon, on obtient le nombre de voyages journaliers qui seront réalisés pendant ces mois, soit 25 920 voyages. En comparaison avec le nombre total de voyages qui se réalisent pendant toute l'année, soit 280 962, cela représente approximativement 10% de cette valeur.

Tableau 7-10 : DJM généré par le tourisme

	Saison sèche	Saison humide
ΔCirculation	10% (du DJM)	0%

7.5.5. Résultats de la modélisation

7.5.5.1. RN-1

Les données obtenues et générées en rapport à la circulation sur la RN-1 dans les différents scénarios proposés sont:

- Obtention du DJM actuel de la RN-1 grâce au travail de terrain réalisé.
- Application du modèle de croissance.
- Intégration de la circulation générée par le Parc industriel de Caracol en fonction des phases de développement estimées.
- Application de l'effet d'induction généré sur l'infrastructure suite à l'amélioration de cette dernière.
- Intégration de l'effet du tourisme sur la RN-1, qui augmente le nombre de voyages enregistrés sur la route durant la saison sèche.

Tableau 7-11 : DJM généré par scénario

Année	Sans action	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
2013	1419	1419	1419	1419
2014	1485	1485	1485	1485
2015	2791	2984	3062	3062
2016	2903	3298	3455	3455
2017	3015	3425	3589	3589
2018	3131	3556	3727	3727
2019	3251	3693	3870	3870
2020	4608	5066	5249	5249
2021	4753	5225	5414	5414
2022	4903	5390	5584	5584
2023	5057	5559	5760	5760
2024	5217	5735	5942	5942
2025	6643	7175	7388	7388
2026	6829	7376	7595	7595
2027	7020	7583	7808	7808
2028	7216	7795	8026	8026
2029	7418	8013	8251	8251
2030	7574	8181	8424	8424
2031	7733	8353	8601	8601
2032	7896	8529	8782	8782
2033	8061	8708	8966	8966

2034	8231	8891	9155	9155
2035	8404	9077	9347	9347
2036	8580	9268	9543	9543
2037	8760	9463	9744	9744
2038	8944	9661	9948	9948
2039	9132	9864	10157	10157
2040	9324	10071	10370	10370
2041	9520	10283	10588	10588
2042	9720	10499	10810	10810
2043	9924	10719	11038	11038
2044	10132	10944	11269	11269
2045	10345	11174	11506	11506

Dans les scénarios où il y a deux alternatives (variante et RN-1 actuelle ou réhabilitée), il se produit un transfert de circulation de la route RN1 vers la variante tunnel, dû essentiellement à une réduction significative du linéaire de la route (8 km sur la variante versus 22 km sur le tracé actuel). Cet effet a été calculé en prenant en compte les hypothèses suivantes :

- Les déplacements de courtes distances, sectoriels au tronçon à l'étude et qui se maintiennent sur le tracé de la RN-1 actuel, correspondent à 100% des motos, 50% des voitures, 50 % du transport public et 20 % des camions du DJM obtenu sur la RN-1.
- Les déplacements de longues distances, qui sont ceux extérieurs au secteur, donc en transit sur la portion de route à l'étude, utiliseront la route alternative. Il a été estimé que cela correspond à 50 % des voitures, 50 % du transport public et 80 % des camions du DJM obtenu sur la RN-1.

Les volumes de circulation obtenus pour la route alternative et la RN- 1 sont donc:

Tableau 7-12 : DJM généré par Route alternative/RN-1 (scénarios 2 et 3)

Année	Total	Route alternative	RN-1
2013	1419	0	1419
2014	1485	0	1485
2015	3062	1839	1223
2016	3455	2184	1272
2017	3589	2268	1321
2018	3727	2355	1372
2019	3870	2446	1425
2020	5249	3774	1474
2021	5414	3893	1521
2022	5584	4016	1569

Année	Total	Route alternative	RN-1
2023	5760	4142	1618
2024	5942	4273	1669
2025	7388	5672	1716
2026	7595	5831	1764
2027	7808	5994	1813
2028	8026	6162	1864
2029	8251	6335	1916
2030	8424	6468	1957
2031	8601	6604	1998
2032	8782	6742	2040
2033	8966	6884	2082
2034	9155	7028	2126
2035	9347	7176	2171
2036	9543	7327	2216
2037	9744	7481	2263
2038	9948	7638	2310
2039	10157	7798	2359
2040	9324	7962	2408
2041	9520	8129	2459
2042	9720	8300	2511
2043	9924	8474	2563
2044	10132	8652	2617
2045	10345	8834	2672

7.5.5.2. Intersections

En appliquant le modèle de croissance et en intégrant la circulation générée sur la RN-1 par le nouveau parc industriel de Caracol et le tourisme, les intersections présentes sur le tronçon à l'étude ont été nouvellement modélisées à l'aide du logiciel aaSIDRA, horizons 2020 et 2025 en considérant les pires cas applicables à l'intersection par rapport aux scénarios proposés. Les résultats obtenus sont les suivants.

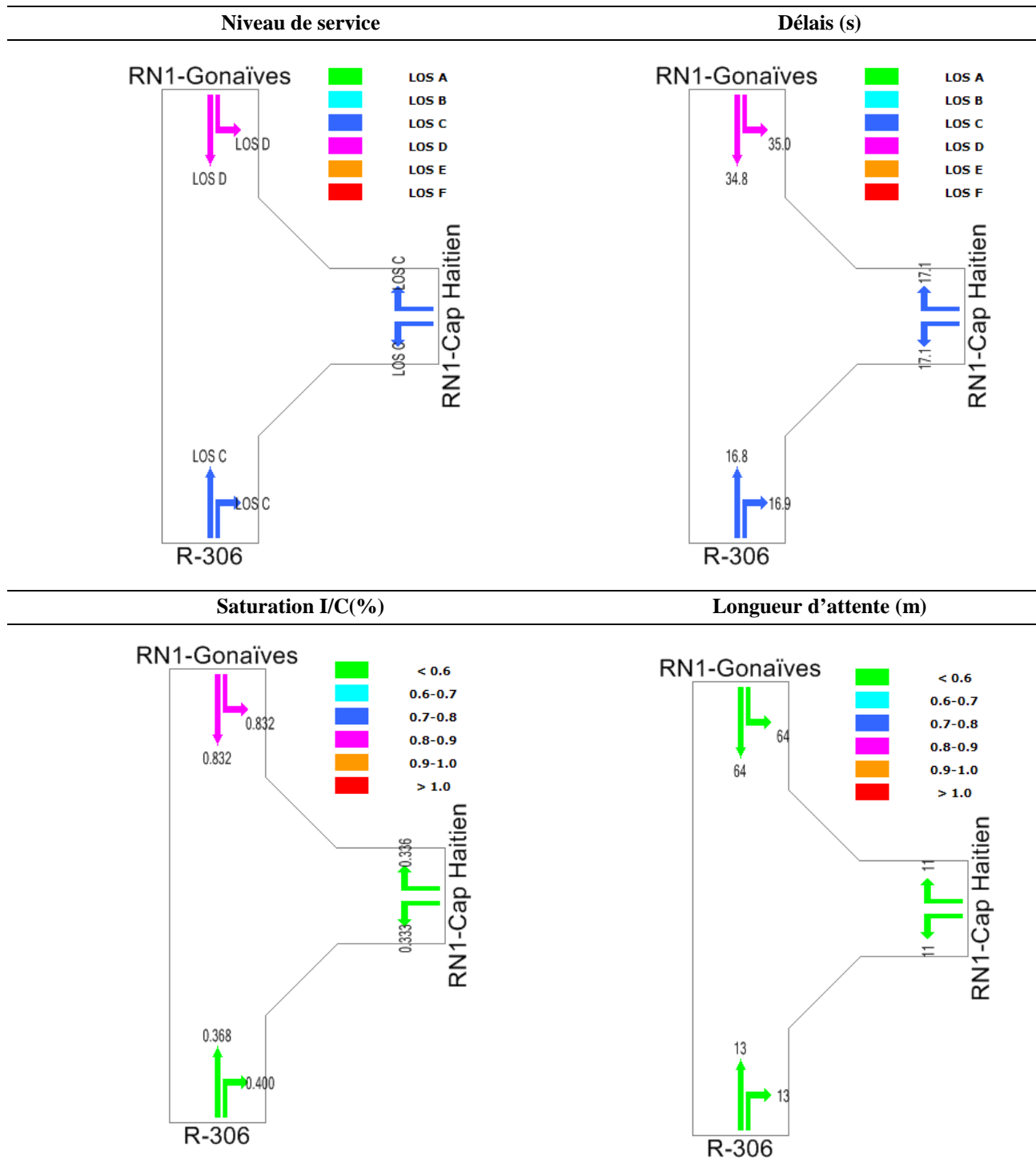


Figure 7-16 : Intersection 0 : RN1-R-306 – Horizon 2020

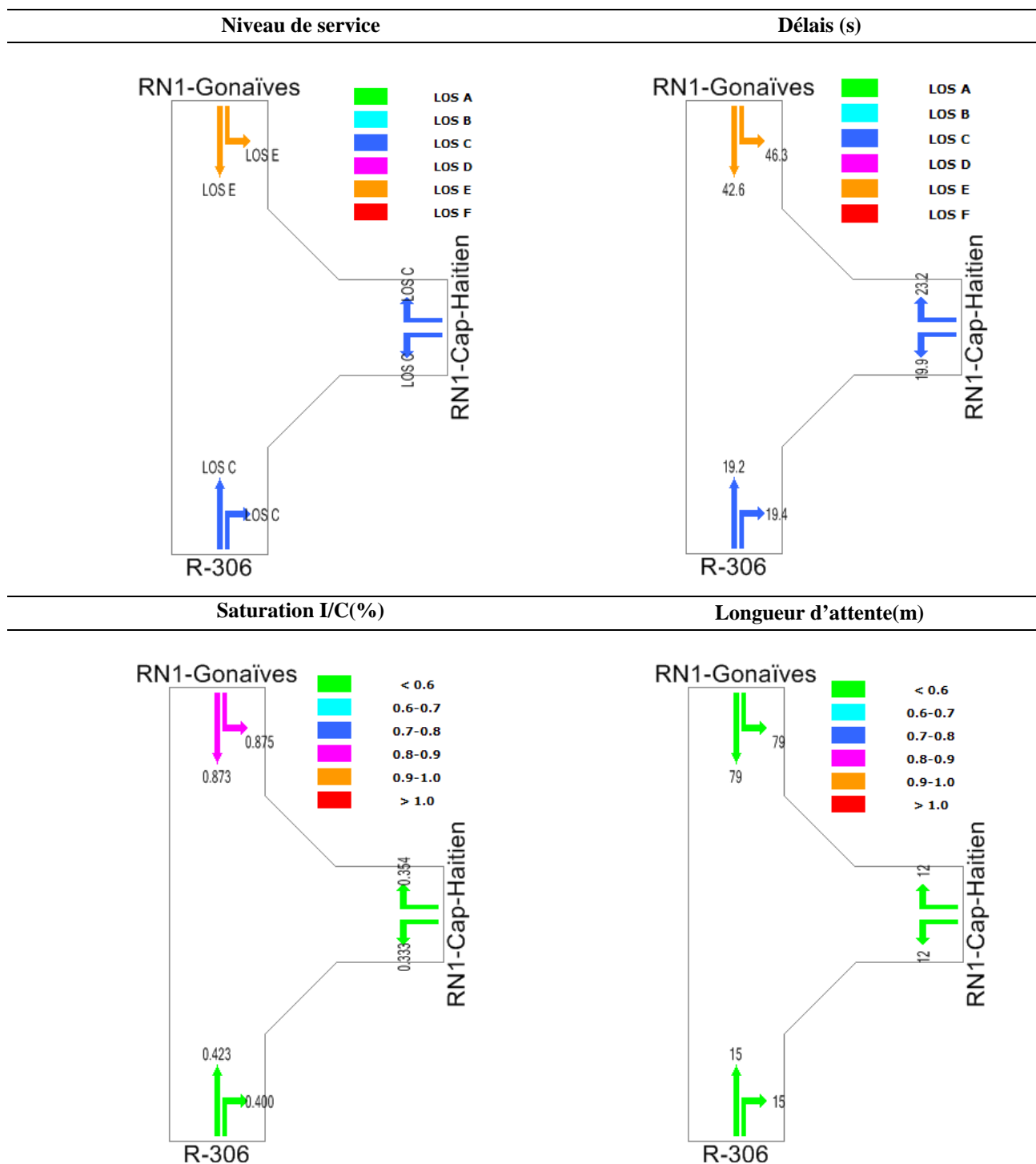


Figure 7-17 : Intersection 0 : RN1-R-306 – Horizon 2025

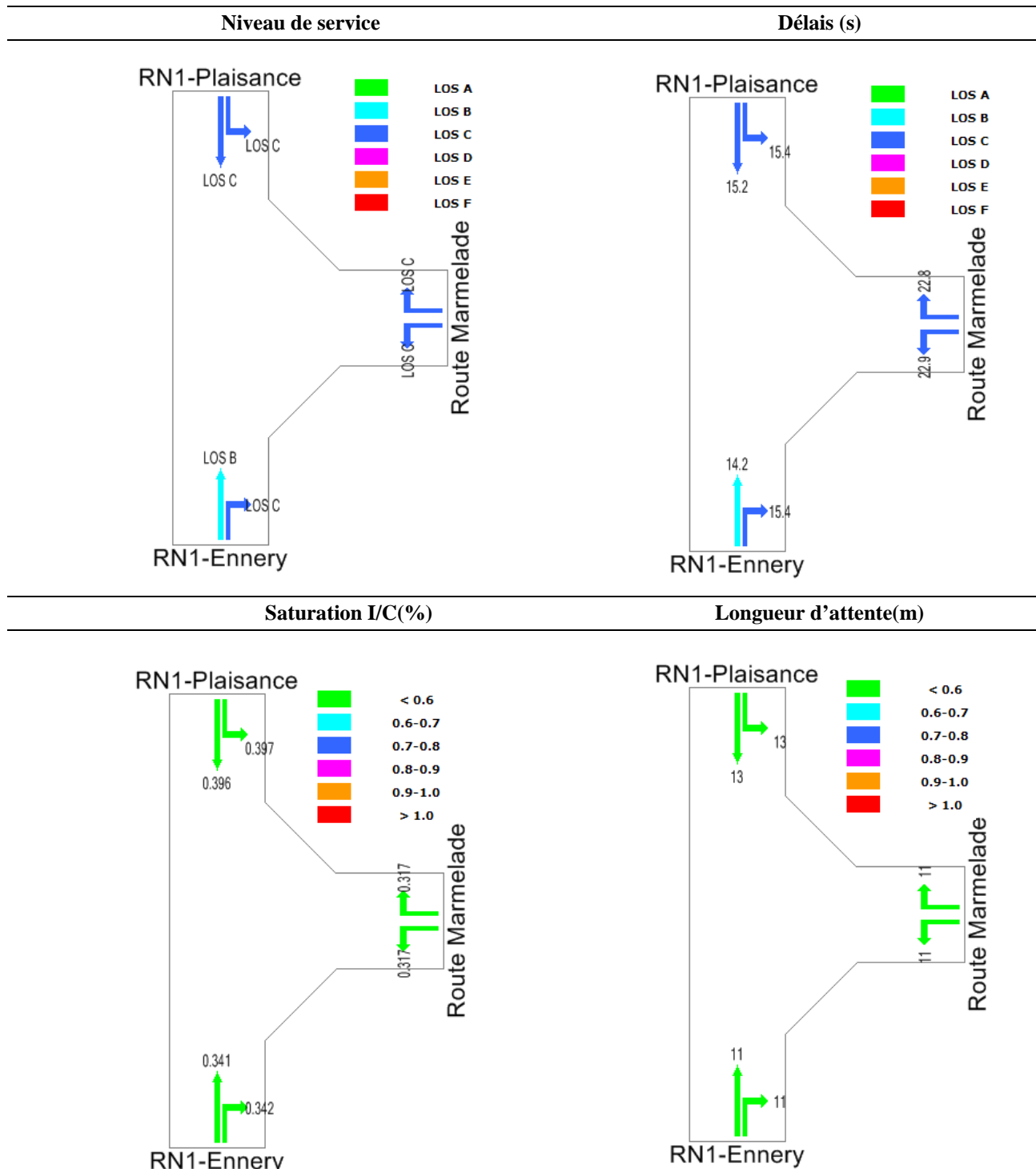


Figure 7-18 : Intersection 1 : RN1-Route Marmelade – Horizon 2020

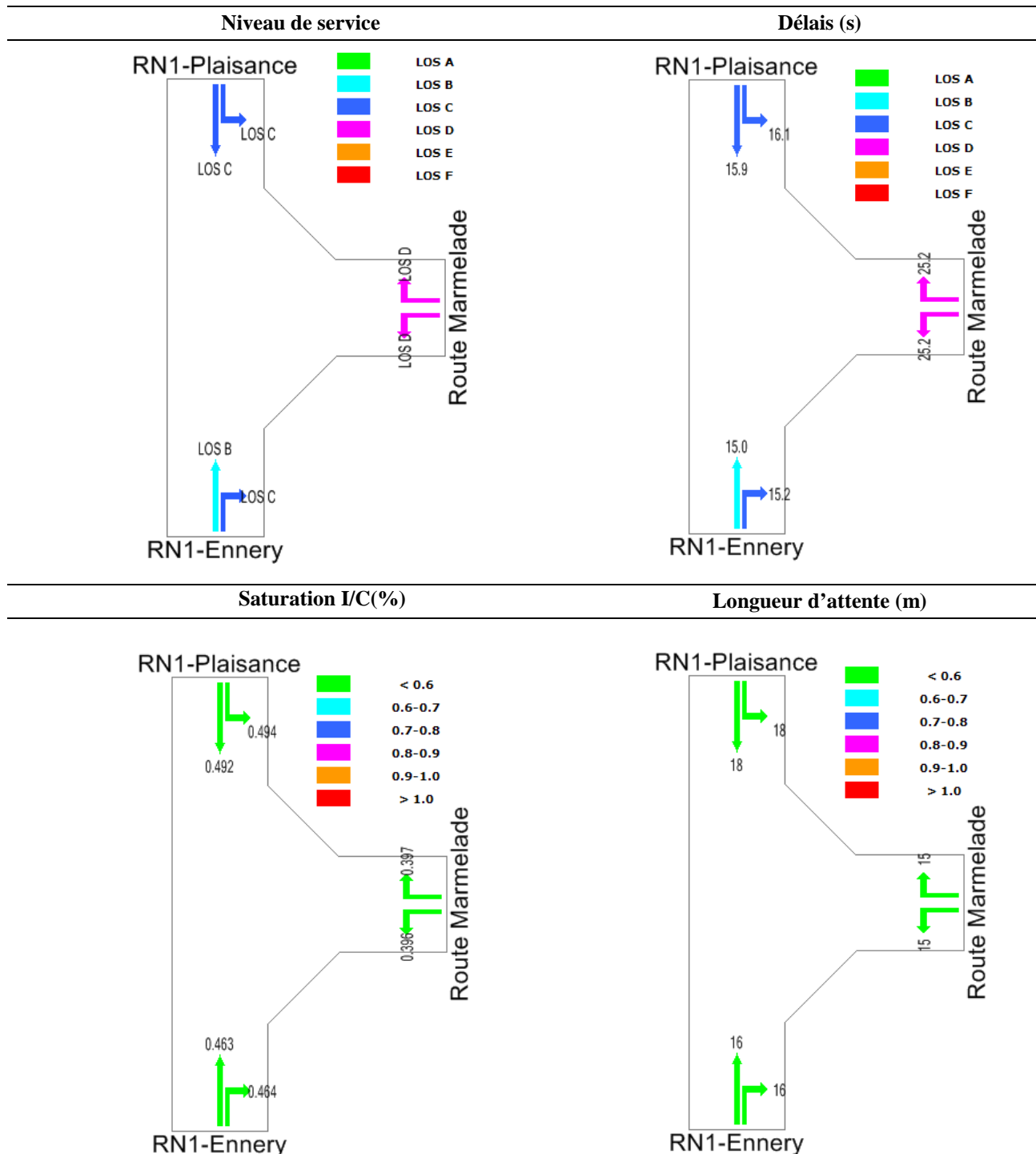


Figure 7-19 : Intersection 1 : RN1-Route Marmelade – Horizon 2025

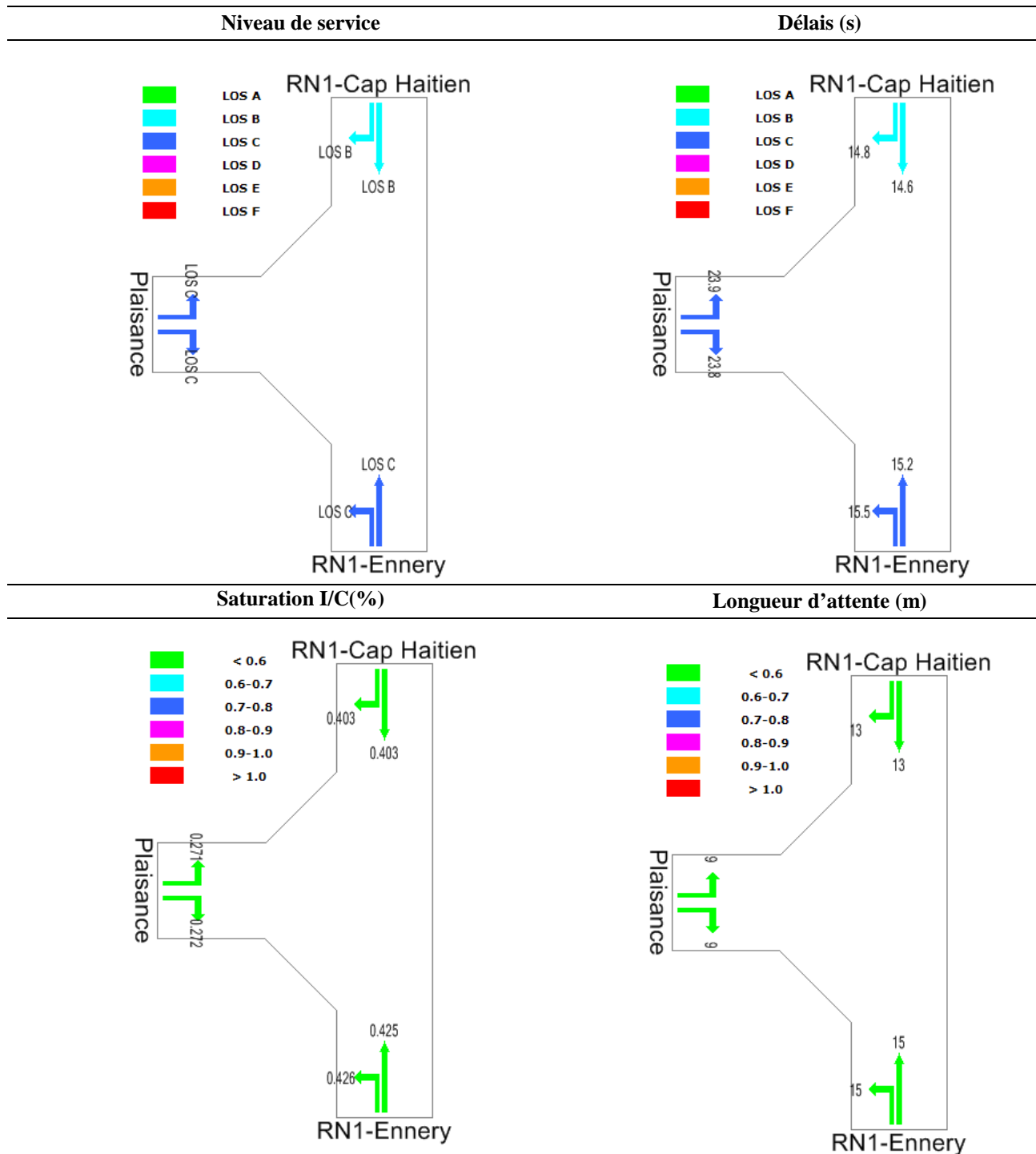


Figure 7-20 : Intersection 2 : RN1-Plaisance (R-116) – Horizon 2020

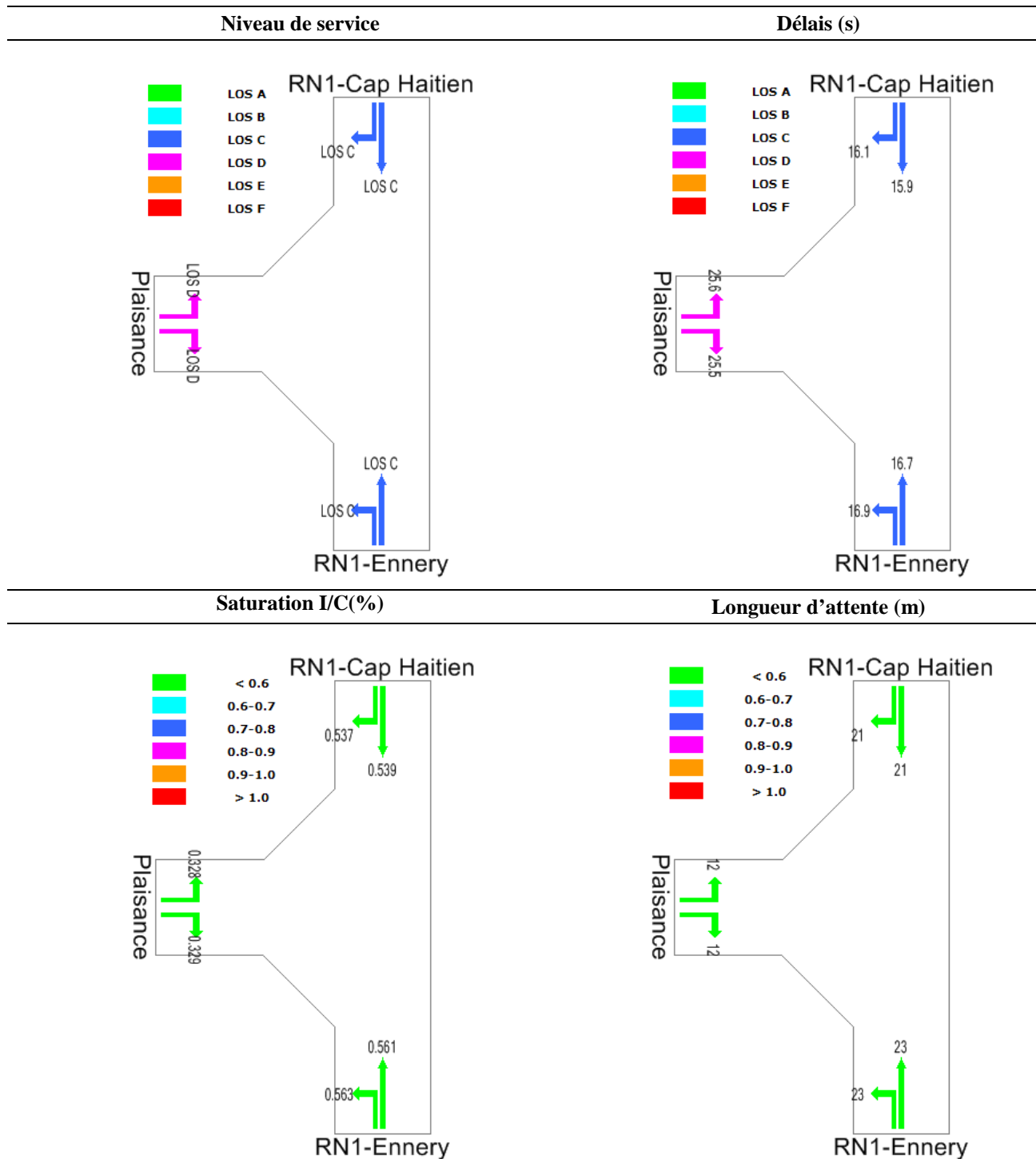


Figure 7-21 : Intersection 2 : RN1-Plaisance (R-116) – Horizon 2025

Comme on peut l'observer, l'intersection qui présente le plus de problèmes pour accueillir les nouveaux volumes de circulation générés est l'intersection de la RN-1 avec la R306 (à Ennery), atteignant pour les déplacements en provenance des Gonaïves des niveaux de service de D et E, en 2020 et 2025. Ce fait est dû au caractère plus "urbain" de cette intersection et à la proximité de la population d'Ennery ;

Pour le reste des intersections analysées, RN1- Route Marmelade et RN1-Plaisance, aucun problème de saturation n'est observé à court terme (2020), avec un niveau de service C.

7.6. ÉTUDE DE CAPACITÉ ET NIVEAUX DE SERVICE DU TRACÉ DE LA RN1

Afin de définir la capacité et les niveaux de service du tracé de la RN-1, portion Ennery - Plaisance, l'utilisation du "Manuel de Capacité de l'année 2000" à travers le logiciel: HCS+ a été nécessaire pour modéliser les différents scénarios selon les horizons définis.

Selon le "Manuel de Capacité 2000", les routes de ce type se divisent en deux classes: classe I et classe II. La première étant basée sur la vitesse tandis que la seconde sur l'accessibilité. La RN1 se trouve englobée au sein de ces 2 classes. Les variables utilisées pour la modélisation sont :

- FHP: 8,5%
- Pourcentage de poids lourds: 23%
- Largeur de voie: 3,5 m.
- Largeur des accotements: 1,5 m (pour les scénarios 2 et 3, où la RN1 est réhabilitée, pour le scénario initial un accotement de 0 m a été utilisé)
- Terrain: montagneux
- Répartition 50/50
- Vitesse moyenne sur RN-1 : 40 km/h

On obtient donc les résultats suivants:

Tableau 7-13 : Niveaux de service sur la RN-1 en fonction des scénarios

Année	DJM RN1		NIVEAU DE SERVICE sur RN1	
	Scénario 1	Scénario 2 et 3	Scénario 1	Scénario 2 et 3
2013	1419	1419	A	A
2014	1485	1485	A	A
2015	2791	1223	A	A
2016	2903	1272	A	A
2017	3015	1321	A	A
2018	3131	1372	A	A
2019	3251	1425	A	A
2020	4608	1474	A	A
2021	4753	1521	A	A
2022	4903	1569	A	A
2023	5057	1618	A	A
2024	5217	1669	A	A
2025	6643	1716	B	A
2026	6829	1764	B	A
2027	7020	1813	B	A
2028	7216	1864	B	A
2029	7418	1916	B	A
2030	7574	1957	B	A
2031	7733	1998	B	A
2032	7896	2040	B	A
2033	8061	2082	B	A
2034	8231	2126	B	A
2035	8404	2171	B	A
2036	8580	2216	B	A
2037	8760	2263	B	A
2038	8944	2310	B	A
2039	9132	2359	B	A
2040	9324	2408	B	A
2041	9520	2459	B	A
2042	9720	2511	B	A
2043	9924	2563	C	A
2044	10132	2617	C	A
2045	10345	2672	C	A

Pour le scénario 1, scénario le plus défavorable en matière de circulation, on observe que le comportement de la RN-1 est acceptable au point de vue de la capacité, étant donné qu'un niveau de service C apparaît seulement à l'horizon 2043. En 2025 se produit le saut d'un niveau de service A à B. Cette date correspond à la prévision de plein essor du Parc Industriel de Caracol.

Pour les scénarios 2 et 3, le niveau de service se maintient à A sur la RN-1, et ce pour toute la période des projections analysées dans cette étude. L'ajout d'une voie, qui permet de réduire de façon importante : le linéaire de la route, le nombre de courbes sur le tracé (augmentation la vitesse moyenne des véhicules) et le dénivelé total, va permettre de maintenir un niveau de service A.

Donc, suite aux résultats démontrés, dans le cadre du présent mandat, il est recommandé de réaliser la réhabilitation complète de la RN-1 (scénario 1) entre la municipalité d'Ennery et Plaisance tel qu'il a été défini aux termes de références du projet. Cette route, avec ou sans variante, est essentielle, car elle donne un accès direct à la population du secteur de Marmelade – Ennery vers le Nord et le sud du pays. Advenant que l'option proposée (variante du tracé) soit retenue par le client, vu l'importance des travaux à réaliser sur cette variante, des études supplémentaires seront nécessaires afin de confirmer la faisabilité du projet. Des études poussées en géologie et géotechnique incluant un nombre important de forages devront alors être réalisées, plus spécifiquement pour le tunnel de 800m.

Donc, le projet d'exécution prévu au présent mandat va se concentrer spécifiquement à définir les travaux de réhabilitation à réaliser afin d'améliorer la Route Nationale No.1 portion Ennery – Plaisance.

8. ENVIRONNEMENT ET SOCIAL

8.1. ACTIVITÉS RÉALISÉES ET À VENIR

Cette section présente les principaux résultats des études environnementales et sociales réalisées par le Groupement, les principales activités réalisées et les prochaines activités prévues pour compléter les études environnementales et sociales.

Le **rapport d'évaluation environnementale et sociale** en version final a été achevé au début septembre 2013. Ce rapport contient l'information détaillée relative au contexte environnemental et social du projet ainsi que l'évaluation des impacts environnementaux et sociaux négatifs et positifs et les mesures d'atténuation et de bonification de ces impacts. Il comprend aussi le plan de gestion environnementale et sociale (PGES) du projet. Se référer à ce rapport pour obtenir les informations détaillées sur les enjeux environnementaux et sociaux du projet.

Les principales **activités réalisées** depuis le début du mandat sont les suivantes :

1. Mission de reconnaissance du projet du 26 février au 5 mars 2013 par des spécialistes de l'équipe responsable des études environnementales et sociales du projet;
2. Collecte d'informations socio-économiques du 13 au 21 juin 2013 auprès des parties prenantes clés; enquêtes socio-économiques; rencontres avec des organisations sociales et recensement préliminaire d'infrastructures potentiellement affectées;
3. Collecte d'informations secondaires;
4. Optimisation du projet avec l'équipe d'ingénierie afin de minimiser les impacts et la réinstallation involontaire de population (en cours);
5. Identification des sources d'impacts en construction et en exploitation ;
6. Identification et évaluation des impacts environnementaux et sociaux;
7. Élaboration de mesures d'atténuation et de bonification et préparation du PGES;
8. Intégration du rapport préliminaire sur la biodiversité de la zone préparé par un consultant externe ;
9. Finalisation du rapport d'évaluation environnementale et sociale en version préliminaire (juillet 2013).
10. Réception et intégration des commentaires de l'UCE et de la BID sur le rapport d'évaluation environnementale et sociale (version préliminaire) et préparation de la version finale du rapport;
11. Poursuite de l'optimisation du projet avec l'équipe d'ingénierie afin de minimiser les impacts et la réinstallation involontaire de population;

Les principales **activités à réaliser** sont les suivantes :

12. Réalisation du recensement-inventaire des biens et des personnes affectées par le projet une fois l'emprise définitive du projet approuvé par l'UCE ;
13. Préparation du plan d'action de réinstallation (PAR) en version préliminaire en collaboration avec un consultant externe.

8.2. MISE EN CONTEXTE

La section de la route Nationale 1 à l'étude relie la ville d'Ennery à la ville de Plaisance sur une longueur de 23,7 kilomètres. La conception actuelle de la route ne permet pas d'assurer la fluidité de la circulation.

La circulation sur la RN-1 soulève également une problématique de sécurité pour les piétons et les usagers. La route est la seule voie d'accès pour les piétons entre Ennery et Plaisance. Mis à part quelques sentiers permettant d'éviter les longues montées, les piétons doivent marcher sur la chaussée. Il y a peu d'endroits sécuritaires pour marcher, la plupart des sections de la route étant enclavées entre deux pentes fortes ou des parois rocheuses.

La réhabilitation de la RN-1 s'avère essentielle afin d'assurer la sécurité des usagers, la pérennité de l'infrastructure routière et le maintien du lien routier entre les localités du nord du pays et la capitale nationale.

Deux bassins versants principaux départagent la zone à l'étude. Le Morne Puilboreau sépare les deux bassins versants qui constituent de plus la limite des départements d'Ennery et de Plaisance. Les deux bassins versants contrastent fortement de par leurs caractéristiques physiques. Le bassin versant du côté Plaisance a un climat plus humide alors qu'un climat plus sec est observé du côté d'Ennery. La vallée de Plaisance, plus humide, présente une couverture végétale herbacée et arborée plus dense, ainsi que des cultures avec arbres à fruits plus fréquentes.

La Grande Rivière est le principal cours d'eau de la zone d'étude. La rivière, qui croise la RN-1 à mi-chemin entre Chatard et Plaisance, s'écoule vers le nord selon un régime torrentiel caractérisé par un lit très large et un fort courant en saison des pluies.

La route est localisée au cœur de l'aire prioritaire de biodiversité de Plaisance et la majorité du tracé (+ de 75%) se retrouve dans cette aire. La portion sud de la zone d'étude présente un couvert forestier quasi absent. Vers le nord s'installe progressivement une couverture arborée de plus en plus dense représentée par les systèmes agroforestiers. Du point faunique et floristique, la zone d'étude présente une biodiversité intéressante, mais pas exceptionnelle.

Les 23 kilomètres de route faisant l'objet de la présente étude traversent deux communes et deux départements : la commune d'Ennery située dans le département de l'Artibonite et celle de Plaisance située dans le département du Nord. La RN-1 traverse la ville de Plaisance alors qu'elle contourne la ville d'Ennery. Les communautés de Nan Domingue (du côté Ennery) de Chatard (du côté Plaisance) sont aussi traversées par la route en plus de résidences isolées observées sur l'ensemble du parcours.

Plusieurs écoles et églises sont présentes le long de la route. De nombreux points d'eau sont aussi observés.

Une circulation piétonne relativement importante est observée à la sortie des écoles en plusieurs endroits de la route et les jours de marché.

L'agriculture est très présente et est la première activité des populations de la zone.

Le marché de carrefour Marmelade est ouvert toute la semaine, mais de façon plus importante le mardi et jeudi. Plusieurs vendeuses sont très actives au passage des véhicules pour vendre leur marchandise. La clientèle est composée majoritairement de voyageurs.

8.3. SOMMAIRE DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX

Le rapport d'évaluation environnementale et sociale du projet traite en détail des impacts environnementaux et sociaux du projet et des mesures d'atténuation et de bonification à mettre en place.

Les principaux enjeux environnementaux et sociaux anticipés tels que présentés dans ce rapport sont listés ici:

- Perte localisée de végétation terrestre et d'habitat potentiel pour la faune;
- Impact potentiel sur le KBA de Plaisance;
- Risque localisé de perturbation de l'habitat du poisson et autres habitats aquatiques (Grande Rivière);
- Perte de terrains, de terres, de cultures, de biens et de bâtiments (perte de 14 ha de terres agricoles dont 9 ha de cultures annuelles et 5 ha de culture pérenne et perte de 70 bâtiments et commerces);
- Perte potentielle d'infrastructure communautaire (perte de 7 points d'eau, 2 réservoirs, 2 lavoir, 1 église et 2 bâtiment administratifs);
- Risque pour la sécurité des usagers de la route (véhicules et piétons) lors des travaux;
- Nuisances pour les usagers et habitants de la zone lors des travaux;
- Interférences avec les activités du marché de Puilboreau lors des travaux (potentielle perte de revenus, risque pour la sécurité);
- Création d'emploi et retombées économiques lors des travaux.

Les différentes mesures d'atténuation et de bonification détaillées dans le rapport d'évaluation environnementale et sociale du projet permettront de réduire sensiblement les impacts du projet.

Le principal impact négatif du projet concerne l'impact sur la réinstallation involontaire de population.

9. CALCUL DES QUANTITÉS DES TRAVAUX ET ESTIMATION PRÉLIMINAIRE

Le décompte des quantités et l'estimation des coûts de construction pour l'ensemble de la route RN-1 tronçon Ennery-Plaisance est présenté à la page suivante à titre budgétaire, la conception étant présentement en cours et plusieurs éléments restant encore à définir et à quantifier. L'estimation sera plus précise au moment de la présentation des plans et spécifications techniques pour soumission.

L'estimation préliminaire nous donne un montant total de 38.8 millions US\$ pour la reconstruction de la route Ennery-Plaisance soit 1.6 millions US\$ le kilomètre.



Tableau 9-1 : Quantités et estimation préliminaire

BUDGET				Quantité	Prix unitaires	Coûts (US\$)
Poste	DÉSIGNATION DES TRAVAUX	Unité			Montant (\$US)	Montant (\$US)
Poste 000 - INSTALLATION DE CHANTIER						
001	Installation générale de chantier et des services généraux de l'Entreprise	Fft	1	1,550,000.00 \$	1,550,000.00 \$	
002	Installation, équipement et entretien des bureaux pour la Mission de Contrôle et du laboratoire de chantier	Fft	1	300,000.00 \$	300,000.00 \$	
	Total poste 000				1,850,000.00 \$	
Poste 100 - TRAVAUX DE PRÉPARATION DU TERRAIN						
101A	Débroussaillage et décapage du terrain naturel entre les limites d'emprise	m²	247,715	1.35 \$	334,414.58 \$	
103	Abattage d'arbres de 1,50 m et plus de circonférence	Unité	145	150.00 \$	21,750.00 \$	
105	Scarification des chaussées existantes	m²	150,630	1.35 \$	203,350.50 \$	
106	Préparation de l'assiette du remblai	m²	160,000	1.09 \$	174,400.00 \$	
108	Démolition de construction en maçonnerie ou en béton non armé	m³	14,115	34.00 \$	479,910.56 \$	
109	Démolition de construction en béton armé	m³	310	45.00 \$	13,950.00 \$	
110	Enlèvement et disposition de buses existantes en béton (diamètres variables max. 1,5 m)	ml	852	81.00 \$	69,044.40 \$	
110A	Démolition de mur de Gabion	m³	1,680	20.50 \$	34,440.00 \$	
	Total poste 100				1,331,260.04 \$	
Poste 200 - TRAVAUX DE TERRASSEMENTS						
201	Déblais ordinaire mis en dépôt	m³	161,238	5.95 \$	959,363.81 \$	
202	Déblai ordinaire réutilisé en remblai	m³	165,683	9.45 \$	1,565,705.63 \$	
203	Plus value pour déblai rocheux nécessitant l'emploi d'un ripper	m³	32,692	4.46 \$	145,888.38 \$	
206	Couche de forme	m³	8,720	7.50 \$	65,401.24 \$	
210	Réglage des pentes de talus	m²	173,971	1.40 \$	243,559.28 \$	
211	Mise en place de terre végétale	m²	176,511	3.82 \$	674,271.69 \$	
212	Engazonnement des talus et végétalisation	m²	2,540	3.95 \$	10,033.00 \$	
290	Plantation de Vétiver	Unité	264,766	0.30 \$	79,429.91 \$	
291	Plantation d'arbre H minimum 1.5 mètre	Unité	2,188	33.00 \$	72,187.50 \$	
	Total poste 200				3,815,840.44 \$	
Poste 300 - TRAVAUX DE CHAUSSÉES						
301	Couche de fondation en grave naturelle - semi concassée 0/31,5 mm (ép. 200 mm)	m³	56,618	25.16 \$	1,424,505.61 \$	
302	Couche de base en grave bitume 0/20 mm (ép. 130 mm)	m³	26,663	250.00 \$	6,665,725.00 \$	
303	Couche d'imprégnation	m²	215,354	2.63 \$	566,381.68 \$	
303A	Liant d'accrochage (0.8 à 1.2 kg/m²)	m²	430,709	1.10 \$	473,779.35 \$	
304	Couche de roulement en béton bitumineux, (ép. 70 mm)	m²	215,354	20.72 \$	4,462,140.06 \$	
	Total poste 300				13,592,531.70 \$	
Poste 400 TRAVAUX DE DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT						
401	Fossé triangulaire maçonné type II	ml	18,765	80.00 \$	1,501,200.00 \$	
402	Fossé triangulaire maçonné type III	ml	2,085	100.00 \$	208,500.00 \$	
404	Caniveau de béton de ciment (B25)	ml	7,200	40.00 \$	288,000.00 \$	
404A	Bordure de béton de ciment (B25)	ml	390	30.00 \$	11,700.00 \$	
404B	Trottoir en béton de ciment (B25) (L=1.5 mètre)	m²	10,210	50.00 \$	510,500.00 \$	
404C	Dalle de béton de ciment (B25) (ép. 150 mm avec treillis)	m²	40	70.43 \$	2,817.20 \$	

405	Buse en béton armé préfabriqué de 1.00 m de diamètre	ml	330	485.00 \$	160,050.00 \$
405A	Buse en béton armé préfabriqué de 1.50 m de diamètre	ml	690	760.00 \$	524,400.00 \$
409	Enrochement de protection (500-800 mm dia.)	m ³	22,580	28.00 \$	632,240.00 \$
410	Maçonnerie pour petits ouvrages d'assainissement et de protection en moellons (micro-barrages)	m ³	100	115.00 \$	11,500.00 \$
417	Canal en Bloc de béton de 1.5 mètres de large ($h_{\text{moy}} = 1,8$ mètre)	ml	6,810	330.00 \$	2,247,300.00 \$
418	Gabion	m ³	1,680	115.00 \$	193,200.00 \$
Total poste 400					6,291,407.20 \$
Poste 500 OUVRAGES D'ART					
501	Fouilles pour ouvrages d'art	m ³	49,330	8.75 \$	431,637.50 \$
504	Remblaiement des fouilles pour ouvrages d'art	m ³	37,480	11.75 \$	440,390.00 \$
509	Béton de propreté Bp	m ³	570	110.00 \$	62,700.00 \$
510	Béton B25 et coffrages pour dalots, murs en aile d'entrée et de sortie et petits ouvrages divers	m ³	4,410	305.00 \$	1,345,050.00 \$
510A	Béton B25 et coffrages pour murs de soutènement	m ³	9,100	300.00 \$	2,730,000.00 \$
513	Armatures pour béton armé	kg	1,304,410	2.25 \$	2,934,922.50 \$
523	Géotextile	m ²	15,180	3.65 \$	55,407.00 \$
563	Drain perforé	ml	3,440	33.00 \$	113,520.00 \$
565	Perrés maçonnés (ép. 25 cm)	m ²	2,320	31.00 \$	71,920.00 \$
573	Glissière de sécurité (Semi-rigide en acier)	ml	19,800	100.00 \$	1,980,000.00 \$
5XY	Pont d'étagement Grande Rivière (traverse piétonnière, colmatage et garde-corps)	Fft	1	480,000.00 \$	480,000.00 \$
Total poste 500					10,645,547.00 \$
Poste 600 TRAVAUX DIVERS ET SIGNALISATION					
601	Panneau triangulaire réfléchissant de présignalisation	Unité	160	241.50 \$	38,640.00 \$
602	Panneau circulaire réfléchissant de signalisation	Unité	20	241.50 \$	4,830.00 \$
603	Panneau rectangulaire d'agglomération et de direction	Unité	80	241.50 \$	19,320.00 \$
604	Panonceau rectangulaire	Unité	50	241.50 \$	12,075.00 \$
605	Panneau d'ARRÊT	Unité	30	241.50 \$	7,245.00 \$
606	Bande axiale jaune pour signalisation horizontale	ml	25,200	4.38 \$	110,376.00 \$
607	Bande de rive blanche pour signalisation horizontale	ml	49,880	5.31 \$	264,862.80 \$
609	Passage piéton - signalisation horizontale	m ²	310	13.00 \$	4,030.00 \$
610	Flèche de direction	Unité	30	50.00 \$	1,500.00 \$
612	Bande rugueuse	ml	1,410	10.00 \$	14,100.00 \$
Total poste 600					462,878.80 \$
Poste 700 SANTÉ, SÉCURITÉ ET ENVIRONNEMENT					
701	Curage des dalots (toutes dimensions)	ml	180	60.00 \$	10,800.00 \$
702	Santé, sécurité et environnement	Fft	1	245,000.00 \$	245,000.00 \$
703	Imprévus	Fft	1	600,000.00 \$	600,000.00 \$
Total poste 700					855,800.00 \$
				TOTAL	38,845,265.17 \$

NOTE: Les coûts d'expropriations et de déplacements des bâtiments, équipements ou services ne sont pas inclus

10. EN CONCLUSION

Le tracé recommandé utilisera principalement l'emprise de la route existante. Une variante potentielle au tracé actuel a été identifiée. Cette variante, qui peut réduire de façon considérable le linéaire de la RN-1, permet d'éviter un secteur extrêmement problématique du tracé actuel, soit une section de route en montagne où la géométrie, la visibilité et la sécurité routière présentent des déficiences majeures. Par contre, la variante est composée d'éléments complexes, tel que la construction d'un pont sur la rivière Ennery en plus d'un tunnel de 800 mètres. L'étude en cours se concentre principalement sur la réhabilitation du tracé actuel, étant donné que cette route donne accès à l'intérieur du pays au niveau de l'intersection de Marmelade et d'Ennery. Un tracé préliminaire, l'estimation des coûts de construction, des recommandations de construction au niveau du tunnel et l'étude sociale et économique de la variante sont inclus au mandat actuel. Une campagne de sondages sera nécessaire afin de prouver la faisabilité du tunnel et donc de la variante. Advenant que les autorités souhaitent poursuivre les démarches nécessaires, des études plus poussées seront alors requises.

La Route Nationale 1 est conçue en parfait accord avec les codes et normes de construction routière les plus utilisés en Amérique. Les critères de conception sont présentés dans ce rapport. Cette route présentera tous les aspects de sécurité routière et permettra aux usagers de la route de profiter d'un lien routier de qualité favorisant le transit et conçu dans un esprit de développement durable et de protection de l'environnement.

Vu la vulnérabilité de cette route dans certains secteurs (montagne et en rive de la Grande Rivière), une attention particulière sera portée à la protection des talus de la route. L'utilisation de murs de protection permettra de conserver l'intégrité de la route.

L'équipe poursuit présentement l'élaboration des plans d'exécution de la géométrie, du profil en long et des sections en travers sur l'ensemble du projet. Ces plans présenteront donc le résultat des optimisations offert par chaque discipline impliqué sur le projet.

L'étude environnementale et du PGES a été transmise dernièrement et les travaux pour le PAR sont maintenant en cours.

L'étude accuse un léger retard qui sera repris dans la présente étape du mandat. Celle-ci consiste en la préparation du projet d'exécution qui inclut les plans pour construction et les spécifications techniques.

L'Annexe L présente l'avancement du projet à travers l'actualisation du calendrier de travail contractuel.

11. DOCUMENTATION CONSULTÉE

1. Aléa sismique de la République d'Haïti, Préparé par : Patrick Paultre, ing., Ph. D, 2010, Sherbrooke, Canada.
2. A Policy on Geometric Design of Roads and Streets de l'AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)
3. Bell, F. C. (1969). Generalized rainfall-duration-frequency relationships. Hydr. Div., ASCE, 95 (HY1), 311-327.
4. Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux CEBTP, Ministère des relations extérieures coopération et développement, 1984.
5. Main Roads Department, Road Design Incorporating Three Fundamental Safety Parameters, Queensland, Australia, 1998
6. Manuel de conception des ponceaux, du Service de l'Hydraulique du Ministère des Transports du Québec, Québec, Canada, décembre 1993.
7. Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR), 2005. Premier rapport sur la situation des ressources zoogénétiques d'Haïti.
8. Norme de conception routière tome I, du Ministère des Transports du Québec, juin 2007.
9. Hargreaves, G. H. (1988). Extreme Rainfall for Africa and Other Developing Areas. ASCE, 324-333.
10. Huff, F. A. (1967). *Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms*, Illinois State Water Survey.
11. Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers, River Analysis System HEC-RAS. User's Manual, Version 4.0. March 2008.
12. Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers, Hydrologic Modeling System HEC-HMS. User's Manual, Version 3.5. August 2010.
13. The La Quinte Watershed and Flood information system : Status and recommendations for future operation, Victor Lee (March 2009) USAID

ANNEXE A

ATLAS DU TRACÉ PROPOSÉ

ANNEXE B

INVENTAIRE ROUTE EXISTANTE

ANNEXE C

ATLAS VARIANTE



SNC • LAVALIN

ÉTUDES DE LA ROUTE NATIONALE RN-1 ENTRE ENNERY et PLAISANCE
Avant-Projet Final



LGL S.A.

Élaboration des études d'avant-projet et du projet d'exécution pour la route RN-1 entre les villes de
Ennery et Plaisance

ANNEXE D

TUNNEL

ANNEXE D TUNNEL

Annexe 1

ANNEXE D TUNNEL

Annexe 2

ANNEXE E

PLANS PRÉLIMINAIRES

ANNEXE F

COURBES IDF

ANNEXE G

INVENTAIRE DALOTS-BUSES

ANNEXE H

CLASSIFICATION HYDROLOGIQUE

ANNEXE I

LWD PHOTOS

ANNEXE J

LWD RÉSULTATS

ANNEXE K

ENVIRONNEMENT

ANNEXE L

CALENDRIER DE TRAVAIL

ANNEXE M

RÉSULTATS GÉOTECHNIQUES

ANNEXE M

RÉSULTATS GÉOTECHNIQUES

Journal de sondages

ANNEXE M

RÉSULTATS GÉOTECHNIQUES

Rapport LNBTP

ANNEXE M

RÉSULTATS GÉOTECHNIQUES

Rapport Qualitas RAG

ANNEXE M

RÉSULTATS GÉOTECHNIQUES

Relevé topographique



455, boul René-Lévesque Ouest
Montréal, Québec, Canada H2Z 1Z3
514-393-1000 - 514-390-6528