



COMMUNE URBAINE D'ANTANANARIVO
Institut des Métiers de la Ville



Programme d'amélioration de l'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans le bassin versant du canal de la vallée de l'Est de la CUA

MISE EN PLACE D'UN SCHEMA DIRECTEUR DE DRAINAGE A L'ECHELLE DU
BASSIN VERSANT DU CANAL DE LA VALLEE DE L'EST

RAPPORT FINAL

ARTELIA MADAGASCAR

5, Lalana Rabary Mpitandrina (tohiny)
Ankadivato

101 Antananarivo - Madagascar

Tel. : +261 20 22 225 57

Fax : +261 20 22 225 65



ARTELIA MADAGASCAR – Référence : 1504					
Version	Document	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par	Date
1	Rapport	J . Rabemanantsoa, B. Rakotoaribeby, S. Lala Rakotoson		S. Lala Rakotoson	12/08/16

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	4
1.1.	RAPPEL DE L'OBJET DE L'ETUDE	4
1.2.	LA ZONE D'ETUDE	4
1.2.1.	Le bassin versant drainé par le canal de la vallée de l'Est	4
1.2.2.	Principaux traits hydrologiques du bassin	5
1.3.	ORGANISATION DU RAPPORT	6
2.	DONNEES DE BASE	9
2.1.	DONNEES CLIMATOLOGIQUES	9
2.1.1.	Les normales mensuelles	9
2.1.2.	Pluies de courtes durées	10
2.1.3.	Evénements majeurs récents	10
2.1.4.	Pluie de référence	11
2.2.	DONNEES TOPOGRAPHIQUES	12
2.2.1.	Données topographiques secondaires	12
2.2.2.	Données topographiques acquises dans le cadre de l'étude	12
2.3.	DONNEES SUR LES OUVRAGES	13
2.4.	BASE DE DONNEES CARTOGRAPHIQUES	13
3.	PRINCIPAUX ELEMENTS DE DIAGNOSTIC	15
3.1.	PRINCIPAUX POINTS CRITIQUES CONSTATES A L'ECHELLE DU BASSIN	15
3.1.1.	Premier niveau : Système primaire de drainage	15
3.1.2.	Deuxième niveau : Raccordement au système primaire de drainage	15
3.1.3.	Troisième niveau : Versants	16
3.2.	SYSTEME PRIMAIRE DE DRAINAGE	16
3.2.1.	Encombrement généralisé des canaux	26
3.2.2.	Dégradation du rôle tampon des zones de culture	26
3.2.3.	Dysfonctionnement d'ouvrages	26
4.	MODELISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT DU CANAL DE LA VALLEE DE L'EST	29
4.1.	OBJECTIFS DE LA MODELISATION	29
4.2.	PRINCIPES ET DONNEES DE BASE DE LA MODELISATION	29
4.3.	PRINCIPAUX RESULTATS	32
4.3.1.	Conditions d'écoulement	32
5.	SCHEMAS COHERENTS D'AMENAGEMENT PROPOSES	40
5.1.	SCHEMA D'AMENAGEMENTS DE BASE	40
5.1.1.	Travaux de curage et de regabaritage	40
5.1.2.	Interventions sur les ouvrages existants	41
5.1.3.	Mise en place de pièges à déchets flottants	42
5.1.4.	Impacts hydrauliques des interventions proposées	42
5.2.	VARIANTE HAUTE	46
5.3.	EVALUATION FINANCIERE DES SCHEMAS PROPOSES	47
6.	MESURES D'ACCOMPAGEMENT	48

FIGURES ET TABLEAUX

FIG. 1.	LE BASSIN VERSANT DE LA VALLEE DE L'EST ET SON SYSTEME PRIMAIRE DE DRAINAGE	7
FIG. 2.	SYSTEME PRIMAIRE DE DRAINAGE ETUDIE	8
FIG. 3.	DONNEES CLIMATIQUES NORMALES A ANTANANARIVO	9
FIG. 4.	EVALUATION DES PRECIPITATIONS DE 2007 ET 2015 SUR ANTANANARIVO	11
FIG. 5.	PLUIE SYNTHETIQUE DECENNALE DE 1 H AVEC UN PAS DE TEMPS DE 15 MIN	11
FIG. 6.	PROFIL EN LONG DU CANAL PRINCIPAL	13
FIG. 7.	CAPTURE D'ECRAN DE LA BASE CARTOGRAPHIQUE GOOGLE EARTH (PROFIL EN TRAVERS N°43)	14
FIG. 8.	ENTONNEMENT NON OPTIMAL DES EAUX – CAS DU DALOT DE LA ROUTE HOMI (HIBISCUS)	27
FIG. 9.	DALOT FPVM AU NIVEAU DE LA RN2 TRAVERSE PAR UNE CONDUITE MAITRESSE D'AEP	27
FIG. 10.	SEUIL EN BETON EN AMONT DU PASSAGE SOUS RN2 A BESARETY	28
FIG. 11.	MODELE EPA SWMM DU BASSIN DE LA VALLEE DE L'EST	30
FIG. 12.	LIGNE D'EAU MAXIMALE SUR LE TRONÇON TSIADANA (SHOPRITE) – ROUTE DE BETONGOLO	33
FIG. 13.	LIGNE D'EAU MAXIMALE SUR LE TRONÇON ROUTE DE BETONGOLO – ROUTE DE MAHAVOKY / BRANCHE PRINCIPALE	34
FIG. 14.	LIGNE D'EAU MAXIMALE SUR LE TRONÇON ROUTE MAHAVOKY ET LE PONT AMBODIVONA	35
FIG. 15.	LIGNE D'EAU MAXIMALE EN AVAL DU PONT AMBODIVONA	36
FIG. 16.	LIGNE D'EAU MAXIMALE DE LA BRANCHE LA ROTONDE	37
FIG. 17.	LIGNE D'EAU MAXIMALE DE LA BRANCHE INSTITUT PASTEUR (VALLON D'AVARADOHA)	38
FIG. 18.	EVOLUTION DE LA PROFONDEUR D'EAU DE SUBERSION DU CARREFOUR RN2 – ROUTE DE MAHAVOKY A BESARETY	39
FIG. 19.	AMELIORATION DE L'ENTONNEMENT DU DALOT PM 3299.7 DE MAHAVOKY	41
FIG. 20.	PIEGE A DECHETS FLOTTANTS	42
FIG. 21.	LIGNE D'EAU MAXIMALE SUR LE TRONÇON ROUTE DE BETONGOLO – ROUTE DE MAHAVOKY / BRANCHE PRINCIPALE APRES AMENAGEMENTS	43
FIG. 22.	LIGNE D'EAU MAXIMALE SUR LE TRONÇON ROUTE DE MAHAVOKY – PONT AMBODIVONA APRES AMENAGEMENTS	44
FIG. 23.	LIGNE D'EAU MAXIMALE SUR LA BRANCHE INSTITUT PASTEUR APRES AMENAGEMENTS	45
FIG. 24.	BERGE RIVE DROITE DU TRONÇON EN AMONT D'AMBODIVONA A SECURISER CONTRE LA PRESSION DES CONSTRUCTIONS	46
FIG. 25.	REVETEMENT DESTABILISE DU TRONÇON EN AMONT DE LA ROUTE DE BETONGOLO A REFECTIONNER	46
TABL. 1 -	DISTRIBUTION DES PRECIPITATIONS DES PRINCIPAUX MOIS DE LA SAISON PLUVIEUSE A ANTANANARIVO	10
TABL. 2 -	PLUIES FREQUENTIELLES DE COURTES DUREES - ANTANANARIVO	10
TABL. 3 -	CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES DU MODELE	31
TABL. 4 -	CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS DU MODELE	32
TABL. 5 -	EVALUATION DES TRAVAUX DE CURAGE NECESSAIRES SUR LE SYSTEME PRIMAIRE DE DRAINAGE	41
TABL. 6 -	RECAPITULATION DE L'EVALUATION DES COUTS DES SCHEMAS D'AMENAGEMENT ETUDIES	47

ANNEXES

ANNEXE 1	DONNEES SUR LES SOUS-BASSINS VERSANTS CONSIDERES
ANNEXE 2	PROFILS EN TRAVERS DES CANAUX PRIMAIRES
ANNEXE 3	PROFILS EN LONG DES CANAUX PRIMAIRES
ANNEXE 4	DONNEES SUR LES PRINCIPAUX OUVRAGES EXISTANTS
ANNEXE 5	SCHEMA COHERENT D'AMENAGEMENT - VARIANTE BASSE
ANNEXE 6	SCHEMA COHERENT D'AMENAGEMENTS - VARIANTE HAUTE
ANNEXE 7	INTERVENTIONS SUR LES OUVRAGES EXISTANTS
ANNEXE 8	NOUVEAUX OUVRAGES
ANNEXE 9	EVALUATION FINANCIERE DES SCHEMAS D'AMENAGEMENT

1. INTRODUCTION

1.1. RAPPEL DE L'OBJET DE L'ETUDE

Dans le cadre du Programme d'amélioration de l'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans le bassin versant du canal de la vallée de l'Est de la Commune Urbaine d'Antananarivo – Programme Masay 6, financé par la Région Île de France et d'Agence Eau Seine Normandie, et exécuté par l'Institut des Métiers de la Ville (IMV) et l'ONG EAST, ARTELIA Madagascar a été choisie par le Maître d'ouvrage pour réaliser l'étude de mise en place d'un schéma directeur de drainage à l'échelle du bassin versant du canal de la Vallée de l'Est, suivant le Contrat N° 01-2015/CUA-IMV.

L'étude est destinée à établir un état des lieux complet du système primaire de drainage au niveau du bassin, et à constituer un outil de gestion du drainage et de programmation des investissements à travers des solutions réalistes aux problèmes récurrents d'inondation.

L'étude comprend :

- La détermination et la hiérarchisation des différents enjeux, et la priorisation des zones d'investigation détaillée (système primaire) ;
- L'établissement d'un bilan général de l'assainissement pluvial au niveau du bassin, et l'identification des principaux enjeux et dysfonctionnements au niveau du système primaire ;
- La définition d'un sous-ensemble cohérent de mesures / aménagements qui constituera la base du plan de drainage ;
- L'élaboration du schéma directeur de drainage sur la base du plan recommandé.

La Commune Urbaine d'Antananarivo, à travers l'Institut des Métiers de la Ville, est le Maître d'ouvrage du projet.

1.2. LA ZONE D'ETUDE

1.2.1. Le bassin versant drainé par le canal de la vallée de l'Est

Le bassin de la vallée de l'Est est le plus grand bassin versant urbanisé de la Commune Urbaine d'Antananarivo. Il s'étend sur une superficie de 650 hectares en amont du marais Masay (Cf. Figure 1).

Le bassin remonte vers Faliarivo dans sa partie Sud où la ligne de partage des eaux traverse une partie de l'Université d'Antananarivo à Ankatso en passant par Ambohidempona.

Dans sa partie Est, d'Ambohidempona à Manjakaray le bassin est délimitée par la rue Farafaty reliant Mausolée à Ampandrianomby, d'Ampasapito, de Soavimbahoaka, Anjanahary.

Dans sa partie Ouest, le bassin est délimité par la rue Joël Rakotomalala (à Faravohitra), la rue Freddy Rajaofera (à Antaninandro) joignant la rue Lénine Vladimir (à Antanimena) et rejoint son exutoire à l'entrée du marais Masay du côté d'Andravoahangy et Ankorondrano (Bassin Sud).

Le bassin de la vallée de l'Est est entouré à l'Est par celui de la vallée Nanisana-Masay ou 3ème Vallée, au Sud par le bassin du lac Mandroseza, au Nord par le bassin versant Plaine Nord, et à l'Ouest par le bassin du centre-ville ou bassin versant Analakely-Indépendance et le bassin versant du lac Anosy.

Géographiquement, le bassin de la vallée de l'Est se trouve entre les latitudes Sud 18°55'18.3" et 18°53'11.50" et les longitudes Est 47°31'18.05" et 47°33'08.07".

Sur le plan administratif, le bassin de la vallée de l'Est se répartit sur 4 arrondissements :

- Le 1er avec un seul fokontany concerné ;
- Le 2ème avec 9 fokontany ;
- Le 3ème avec la quasi-totalité de l'arrondissement (32 fokontany) ;
- Le 5ème avec 7 fokontany.

La population totale actuelle du bassin est estimée à 250 000 habitants.

Le développement de l'urbanisation et l'imperméabilisation croissante des sols au niveau du bassin ont fait des eaux pluviales une véritable menace pour ses habitants, mais aussi pour ses infrastructures routières.

L'évacuation des eaux pluviales générée au niveau du bassin est assurée par un système convergent vers le marais Masay et hiérarchisé à 3 niveaux :

- Tertiaire au niveau des bâtiments ou pâtés de maison ;
- Secondaire au niveau des quartiers ;
- Primaire pour les principaux collecteurs qui recueillent les écoulements à l'échelle du bassin.

L'étude s'intéresse au système primaire de drainage qui est constitué principalement de canaux à surface ouvert suivant les principaux thalwegs du bassin, d'un linéaire total de 7.25 km (Cf. Figure 2).

1.2.2. Principaux traits hydrologiques du bassin

Du point de vue hydrologique, le bassin d'intérêt présente les traits remarquables suivants :

- Situation sous un climat tropical humide caractérisé par de fortes intensités pluvieuses. Généralement, il pleut intensément dès qu'il pleut, notamment lors des pluies d'orages de la première moitié de la saison pluvieuse (Octobre à Décembre) ;
- La pente et la forme compacte des sous-bassins de tête favorisent la concentration des eaux pluviales au niveau des bas-fonds ;
- Cette réactivité naturelle du bassin aux événements pluvieux est exacerbée par l'urbanisation, et notamment par l'augmentation du taux d'imperméabilisation des sols qui en résulte. Ce taux est actuellement de l'ordre de 50% et les impacts négatifs associés sur les conditions des canaux sont déjà bien visibles : intensification des écoulements, érosion des berges, incision des fonds de canaux, perte de biodiversité ;
- Ecoulements principaux suivant la vallée et les vallons associés qui participent aussi au stockage temporaires des eaux, avec une forte influence du réseau de voirie sur les conditions d'écoulement ;

- Existence d'une contrainte aval forte pour les écoulements dans la partie aval du système primaire de drainage, constituée par les niveaux d'eau du marais Masay et du canal Andriantany.

1.3. ORGANISATION DU RAPPORT

Le présent rapport a pour premier objet de présenter les principaux résultats de la mission correspondant aux outils développés pour supporter la planification du drainage primaire du bassin d'intérêt. Ces outils sont constitués de :

- Des bases de données cartographiques (ArcGIS et Google Earth) intégrant l'ensemble des données physiques sur le système primaire de drainage étudié ;
- Un modèle hydrologique et hydraulique du bassin d'intérêt développé pour affiner la connaissance du fonctionnement hydraulique du système de drainage existant et évaluer l'efficacité des aménagements ou interventions proposés ;
- Des schémas cohérents d'aménagement / intervention déclinés en variantes basse et haute.

Le deuxième chapitre du rapport présente les données de base utilisées, incluant les données climatologiques, les données topographiques et les données sur les ouvrages qui affectent les conditions d'écoulement. L'insuffisance des connaissances sur le patrimoine ayant longtemps été un frein pour une gestion coordonnée du système d'assainissement de la ville, un effort particulier a été fourni dans le cadre de la mission pour capitaliser les données et connaissances acquises, notamment à travers le développement de bases cartographiques dédiées, incluant une base sous Google Earth qui facilite le partage des données et l'intégration de nouvelles informations.

Le troisième chapitre présente les principaux éléments de diagnostic du système primaire de drainage existant. Ce diagnostic est complété par les éléments hydrauliques fournis au quatrième chapitre, qui présente le modèle hydrologique et hydraulique du bassin du canal de la vallée de l'Est, développé dans le cadre de la mission.

Le cinquième et dernier chapitre présente les schémas d'aménagement et d'intervention proposés pour améliorer les conditions d'écoulement au niveau du système primaire de drainage et résoudre les problèmes récurrents d'inondation. L'évaluation financière de ces schémas au stade d'avant-projet sommaire y est également présentée.

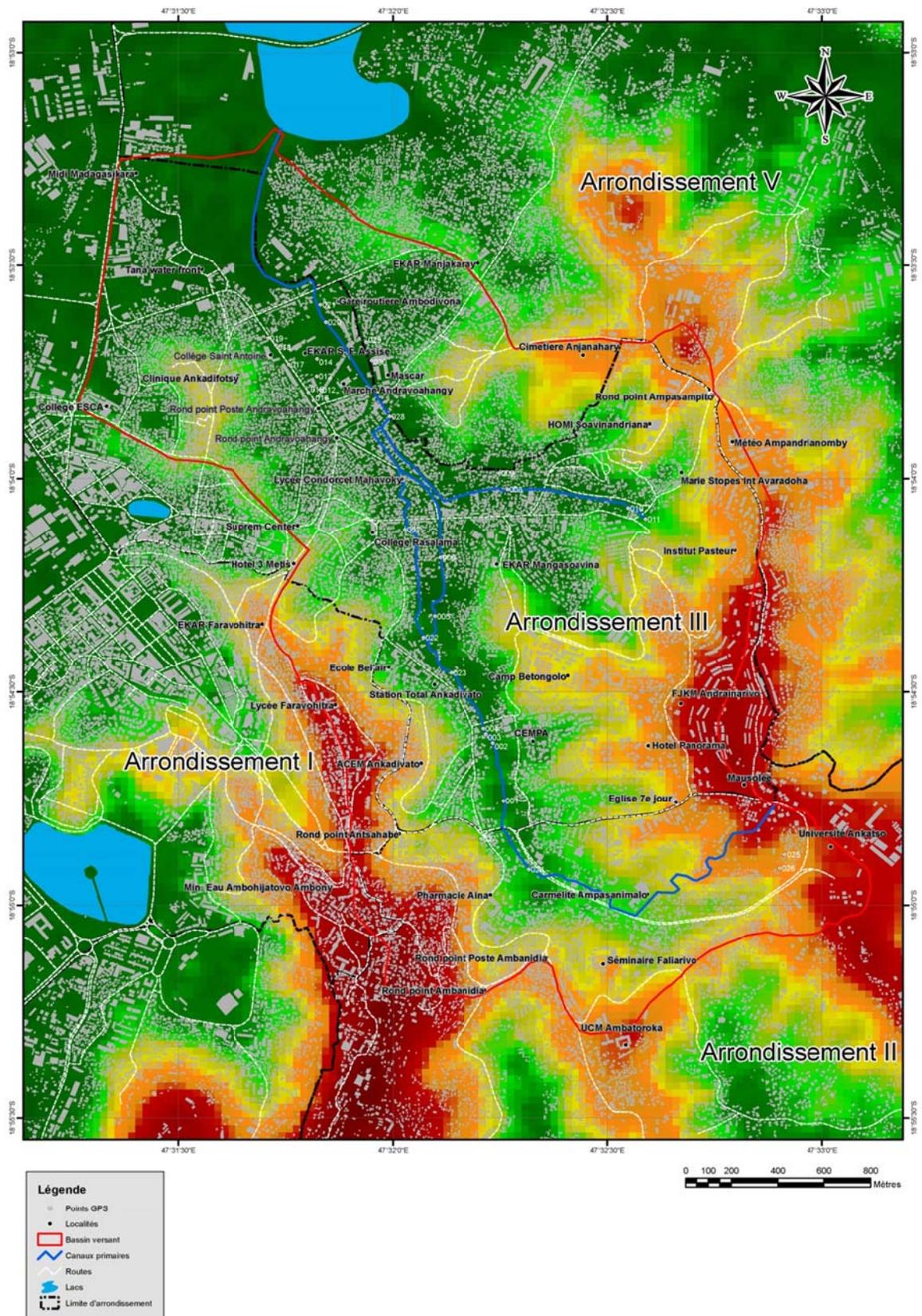


Fig. 1. Le bassin versant de la vallée de l'Est et son système primaire de drainage

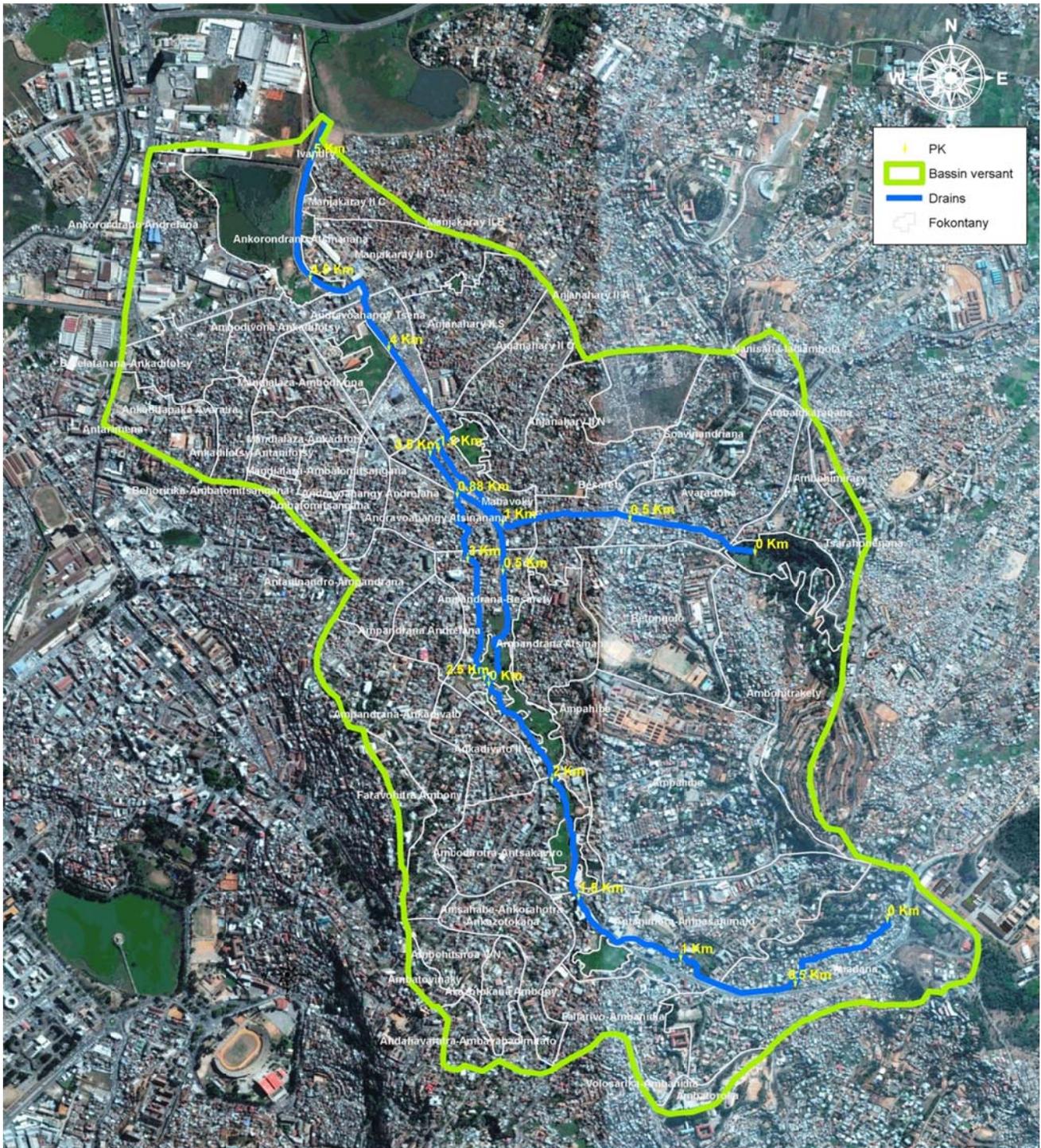


Fig. 2. Système primaire de drainage étudié

2. DONNEES DE BASE

2.1. DONNEES CLIMATOLOGIQUES

Antananarivo appartient au régime tropical humide des Hautes Terres caractérisé par une saisonnalité bien marquée des précipitations et des températures. La moyenne interannuelle des précipitations est de l'ordre 1300 mm et celle des températures est de 17.3°. On dénombre, en moyenne, 153 jours de pluie dans l'année.

2.1.1. Les normales mensuelles

Les moyennes mensuelles des précipitations et des températures sont présentées sur la Figure 1, qui indique une concentration des pluies entre les mois d'Octobre et d'Avril, période coïncidant avec la saison chaude. Le maximum de précipitation se rencontre en Janvier. Les températures moyennes varient relativement peu (entre 14°C et 21°C), à la différence des précipitations.

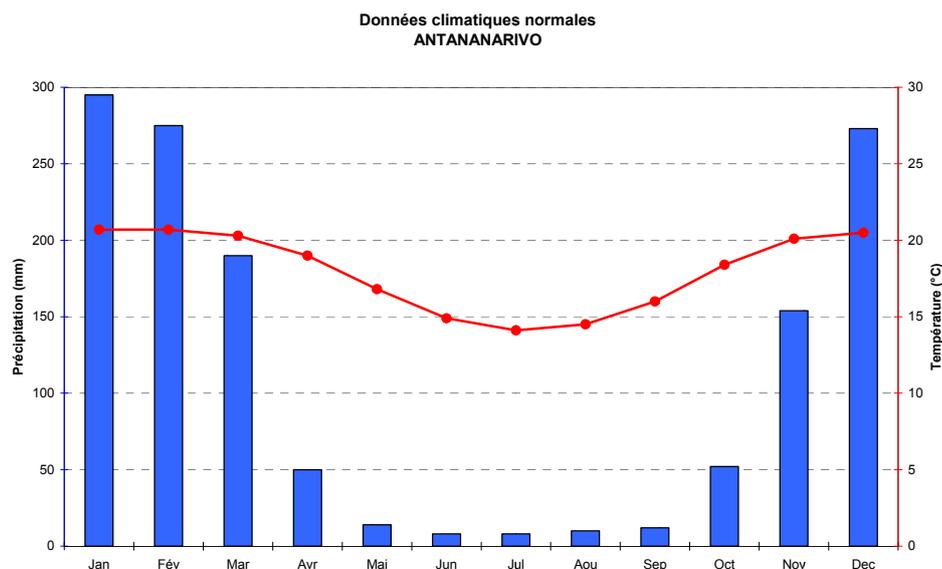


Fig. 3. Données climatiques normales à Antananarivo

Les précipitations d'Octobre à Décembre sont le plus souvent liées à des pluies convectives. Ce sont généralement des pluies intenses mais de courte durée (inférieures à 3 h) et à couverture spatiale restreinte.

Pour la période de Janvier à Avril, les précipitations sont davantage structurées par les 3 causes majeures suivantes :

- Passage d'un cyclone ;
- Présence de la Zone de Convergence Inter Tropicale (ZCIT) sur les océans équatoriaux ;
- Présence de la Zone de Convergence Sub-Indienne (ZCSI), qui est une bande de précipitation orientée Nord-Ouest – Sud-Est.

Les précipitations associées à ces phénomènes ont généralement une large envergure spatiale et sont caractérisées par de longues séquences pluvieuses (succession de jours de pluie).

Le tableau suivant présente des valeurs caractéristiques des précipitations pour les principaux mois de la saison pluvieuse.

Tabl. 1 - Distribution des précipitations des principaux mois de la saison pluvieuse à Antananarivo

Mois	Janvier			Février			Mars		
	T (ans)	P (mm)		T (ans)	P (mm)		T (ans)	P (mm)	
T (ans)	2	10	30	2	10	30	2	10	30
P (mm)	300	425	505	205	405	560	180	360	505

T – Période de retour ; P – Précipitation mensuelle

2.1.2. Pluies de courtes durées

Les données sur les pluies de courtes durées sont particulièrement importantes pour l'étude en raison de la faible étendue du bassin d'intérêt. Ces données figurent parmi les principales données d'entrée pour l'évaluation des débits pluviaux des différents sous-bassins.

En l'absence de données d'enregistrement continu des pluies sur Antananarivo au cours des 5 dernières années, il n'a pas été possible d'actualiser l'étude statistique des intensités pluvieuses dans le cadre de l'étude. Les données de référence exploitées sont celles obtenues par l'ORSTOM.

Tabl. 2 - Pluies fréquentielles de courtes durées - Antananarivo

Durée (min)	Période de retour (an)			
	2	5	10	25
15	25	31	36	42
30	33	41	47	56
45	39	49	56	66
60	44	55	63	74

Source : ORSTOM, 1970

2.1.3. Evénements majeurs récents

D'après les informations recueillies lors de l'enquête menée dans le cadre de l'étude, les inondations les plus importantes observées dans la zone d'étude ces 10 dernières années ont été observées lors des saisons pluvieuses de 2007 et 2015.

Les fortes précipitations observées en 2007 résultaient en partie de la présence de ZCSI, tandis que les précipitations de 2015 étaient associées à une présence prolongée de ZCIT.

Une évaluation de l'importance relative de ces événements est faite sur la figure suivante. On note que les 2 événements sont globalement proches : pour des durées inférieures à 3 jours, les précipitations cumulées correspondent à des événements décennaux. Les cumuls de précipitation entre 7 et 30 jours correspondent à des événements exceptionnels de période de retour se situant entre 10 et 25 ans.

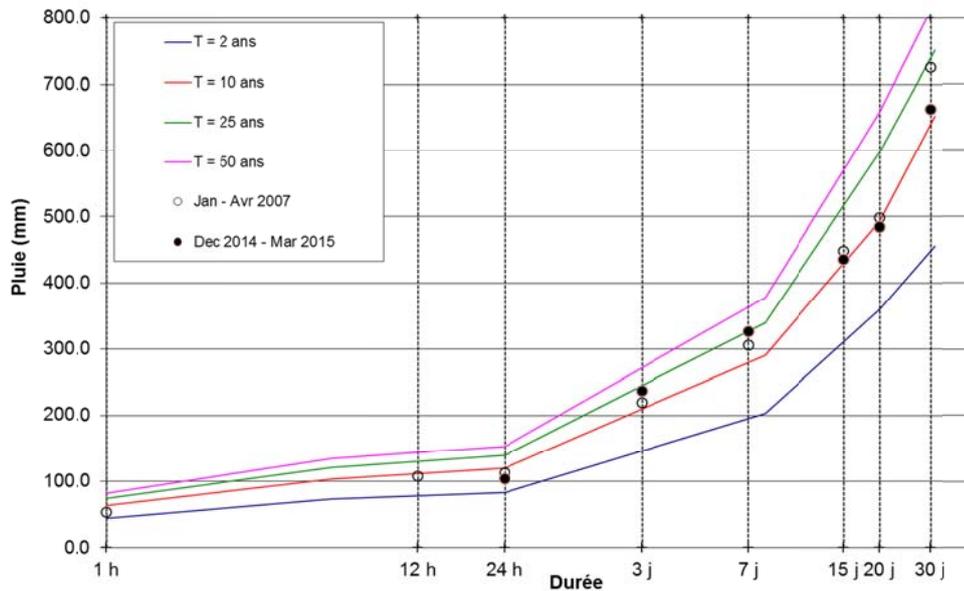


Fig. 4. Evaluation des précipitations de 2007 et 2015 sur Antananarivo

Pour le système primaire de drainage d'intérêt, ces événements ont conduit à des niveaux aval (Canal Andriantany et marais Masay) exceptionnellement élevés et à une saturation des zones de stockage intermédiaire des eaux.

2.1.4. Pluie de référence

Pour l'analyse du fonctionnement hydraulique du système de drainage primaire et la recherche de solutions aux inondations récurrentes, la pluie de référence considérée est la pluie synthétique décennale d'une heure, construite à partir des données sur les pluies fréquentielles de courtes durées d'Antananarivo selon la méthode des blocs alternés (Cf. Tableau 2). Cette méthode permet de générer une pluie d'allure réaliste, comportant des phases de montée et de diminution progressives, avec une légère dissymétrie (augmentation de l'intensité plus rapide que la diminution), comme illustré sur la figure suivante.

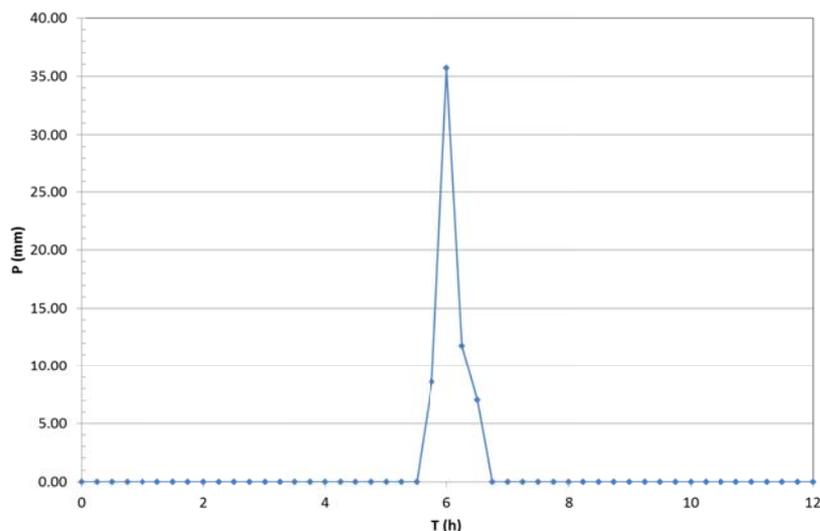


Fig. 5. Pluie synthétique décennale de 1 h avec un pas de temps de 15 min

2.2. DONNEES TOPOGRAPHIQUES

On distingue les données topographiques secondaires et les données issues des investigations menées dans le cadre de cette étude.

2.2.1. Données topographiques secondaires

Les sources de données exploitées sont :

- La base cartographique 1/10 000 de FTM sur Antananarivo, notamment les points cotés et les réseaux routiers ;
- La grille de modèle numérique de terrain SRTM 90m (Version 4 distribuée par CGIAR - <http://srtm.csi.cgiar.org>).

Ces données ont été exploitées pour guider le découpage du bassin versant d'intérêt en sous-bassins et pour la caractérisation de ces derniers (Cf. **Annexe 1** – Données sur les sous-bassins versants considérés).

A noter que d'autres grilles de MNT existent avec une résolution spatiale plus fine comme les SRTM 30m ou ASTER GDEM 30m mais n'ont pas été retenus en raison de leur qualité. En effet, ils n'ont pas fait l'objet de traitements de correction et présentent de nombreux artefacts.

2.2.2. Données topographiques acquises dans le cadre de l'étude

Pour les besoins de l'étude, les investigations suivantes ont été menées sur le système primaire de drainage :

- Levé de 326 profils en travers de Tsiadana au marais Masay (5 114 m) ;
- Levé de 50 profils en travers de la branche Partiteur – Mahavoky (« Canal Foloalindahy ») (755 m) ;
- Levé de 112 profils en travers de la branche Institut Pasteur- Mahavoky (1 381 m).

Ces levés concernent un linéaire total de 7.25 km de canal avec en moyenne 1 profil en travers tous les 60 à 70 m.

Sont présentés en annexes :

- Les profils en travers des différentes branches levées (**Annexe 2**) ;
- Les plans des profils en long (**Annexe 3**).

Il est à noter que les coordonnées spatiales des levés topographiques seront rattachées au système géographique tandis que les cotes sont rattachées au système NGM.

A noter que les cotes des Plus Hautes Eaux ont également été relevées et sont présentées sur les profils en long.

La figure suivante illustre le profil en long général du canal principal depuis Tsiadana jusqu'à son débouché au niveau du marais Masay. La concavité du profil est caractéristique d'un ajustement général du profil par rapport au niveau de contrôle aval du marais Masay.

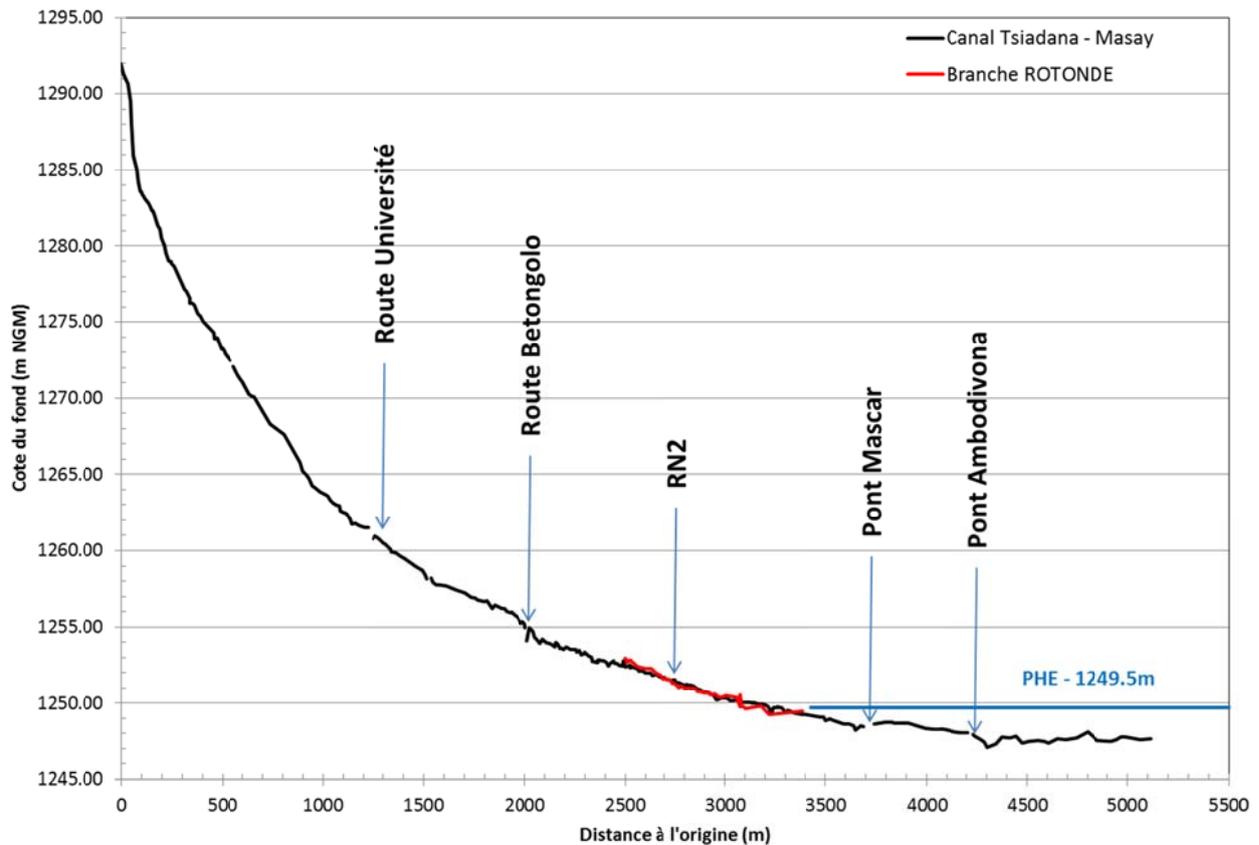


Fig. 6. Profil en long du canal principal

2.3. DONNEES SUR LES OUVRAGES

Le nombre important d'ouvrages recensés au niveau du système primaire de drainage, s'élevant à 158, illustre les contraintes posées par les voies d'accès ou de circulation diverses.

Parmi ces ouvrages, 14 ouvrages en dur, qui ont une influence significative sur le fonctionnement hydraulique du système de drainage, ont fait l'objet d'investigations détaillées. Les principales caractéristiques dimensionnelles de ces ouvrages sont présentées en [Annexe 4](#).

2.4. BASE DE DONNEES CARTOGRAPHIQUES

Les données géospatiales collectées dans le cadre de l'étude ont été consolidées dans deux bases cartographiques sous ArcGIS et sous Google Earth pour une meilleure capitalisation des connaissances acquises sur le système primaire de drainage.

A noter que Google Earth, qui est gratuit, dispose d'outils intuitifs et faciles d'utilisation permettant d'accéder facilement aux données et de les enrichir, quel que soit l'environnement de travail. Cet aspect est particulièrement important en raison de la diversité des acteurs intervenant dans le domaine de l'assainissement sur la CUA, et particulièrement sur le bassin d'intérêt.

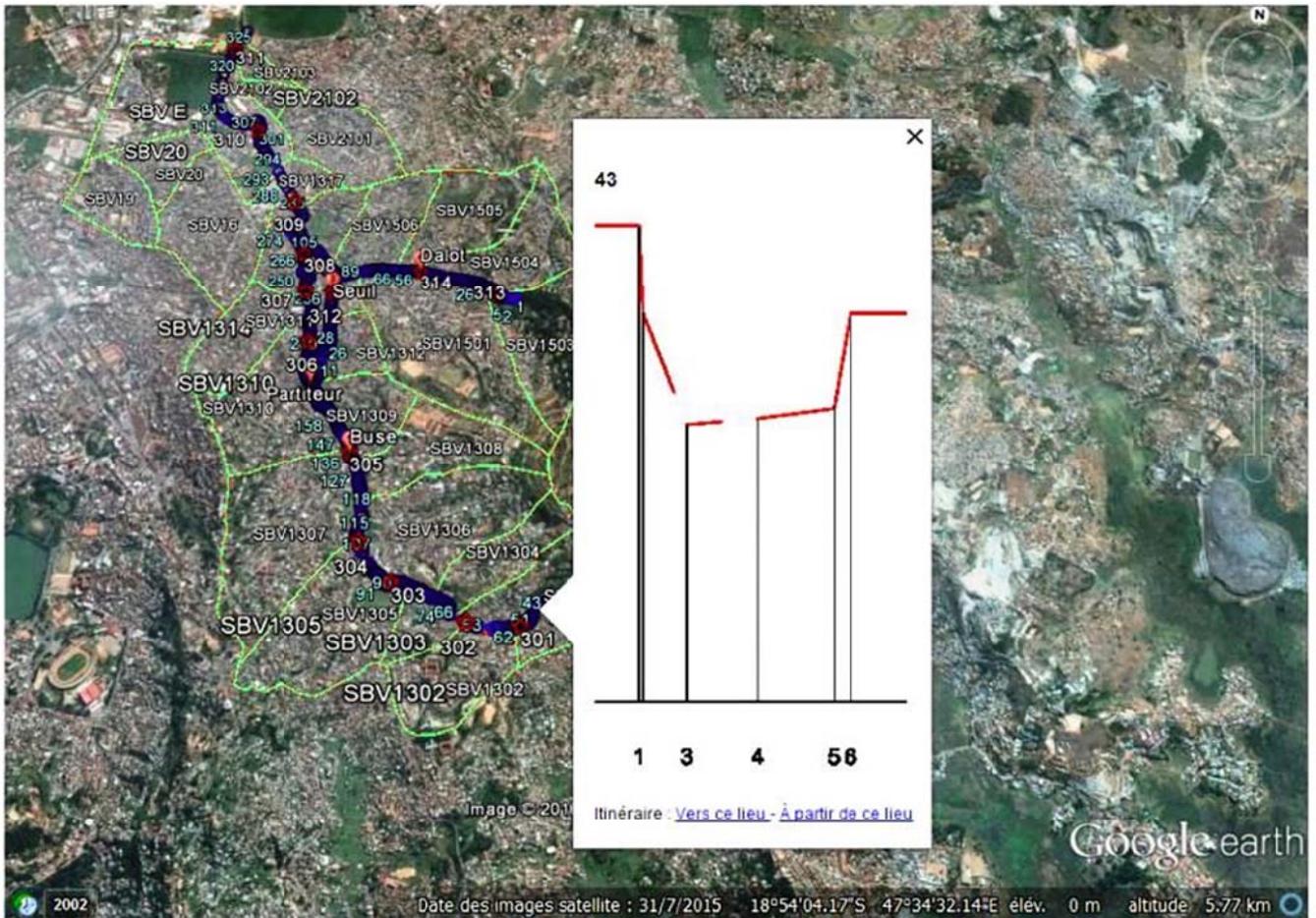


Fig. 7. Capture d'écran de la base cartographique Google Earth (Profil en travers N°43)

3. PRINCIPAUX ELEMENTS DE DIAGNOSTIC

3.1. PRINCIPAUX POINTS CRITIQUES CONSTATES A L'ECHELLE DU BASSIN

Un aperçu des points critiques constatés à l'échelle du bassin est fait ci-après.

3.1.1. Premier niveau : Système primaire de drainage

- Influence du marais Masay : En périodes de hautes eaux, le niveau d'eau dans le Marais Masay influence les conditions d'écoulement du drain principal jusqu'au niveau de Mahavoky lors d'événements exceptionnels. Cette partie aval du canal (~ 2 km) est donc directement affectée par l'insuffisance des travaux de maintenance de ce marais (curage, nettoyage et enlèvement des jacinthes d'eau).
- Franchissement de la route Mascar-Andravoahangy : Un curage complet de cet ouvrage n'a pu être réalisé depuis la mise en service (~ Année 2000). Dans les parties amont et aval visitables de l'ouvrage, on observe une épaisseur de dépôt de ~ 40 cm.
- Tronçon ovoïde Mahavoky : Curage réalisé en début de saison pluvieuse uniquement.
- Seuil en amont de la RN2 à Besarety : Cause d'inondation consécutif à un rehaussement du niveau d'eau amont en crues.
- Route de Betongolo : Déversement récurrent des eaux par-dessus la chaussée. L'ouvrage joue toutefois un rôle positif de ralentissement des flux.
- Affouillement de pied dans la partie revêtue entre la route de l'Université et la route de Betongolo.
- Ecoulements particulièrement sensibles aux singularités causées par les constructions bordant ou empiétant dans le canal principal, en raison de la pente et du niveau de vitesse élevés. Attaque directe par les courants du remblai de la route de l'Université en amont des 2 traversées de la route d'Université.
- Franchissement de la route de l'HOMI : Perte de charge importante causée par l'ouvrage.
- Nécessité de préserver les stockages temporaires des eaux au niveau des zones de culture pour laminar ou écrêter les écoulements.
- Empiètement de construction en dur sur l'emprise des canaux principaux (Voir Bâtiment à étages en construction à Tsiadana).

3.1.2. Deuxième niveau : Raccordement au système primaire de drainage

La densification des constructions le long des routes a conduit à une réduction des points d'entrée des eaux au niveau du système primaire de drainage :

- Effet positif : contribution au ralentissement des flux, ainsi qu'à leur laminage ;
- Effets négatifs :
 - Erosion hydrique des sols nus ;

- Dégâts sur les infrastructures (routes) dues à des submersions fréquentes ou à la concentration des flux ;
- Sous-exploitation des capacités de laminage au niveau des zones de culture.

3.1.3. Troisième niveau : Versants

D'une manière générale, on note :

- La vétusté des réseaux de drainage existant, qui sont généralement dans un état de dégradation avancé (ex. Fokontany d'Ambohitrakely, Antsakaviro) ;
- La quasi-absence de gestion des eaux pluviales qui suivent les cheminements préférentiels « naturels ». Il s'agit d'une organisation par défaut des flux pluviaux suivant le réseau des voiries et chemins piétonniers (exemple : escaliers, etc.). La concentration des flux pluviaux généralement chargés affecte particulièrement ces derniers.

3.2. SYSTEME PRIMAIRE DE DRAINAGE

Les canaux primaires de drainage correspondent pour l'essentiel à d'anciens cours d'eau réhabilités pour les besoins de l'agriculture (irrigation et drainage) et reconvertis en drains primaires de drainage avec l'urbanisation. Cette reconversion s'est toutefois réalisée en l'absence d'une vision d'ensemble du fonctionnement hydraulique à l'échelle du bassin mais pour répondre à différents besoins liés à l'urbanisation (protection localisée des habitations contre les inondations, amélioration et sécurisation de la circulation des personnes, etc.). Du point de vue hydraulique, les dysfonctionnements sont nombreux et concernent presque tous les tronçons du système primaire.

Il s'agit :

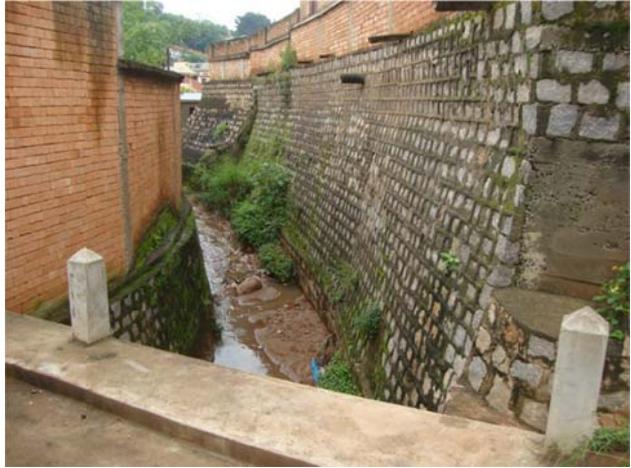
- De changements brusques (irrégularités) des sections d'écoulement ;
- De constructions bordant les canaux, limitant les possibilités d'augmentation des capacités d'écoulement et entravant les travaux d'entretien (ex. curage) ;
- De constructions dans l'emprise des canaux ;
- Des dépôts solides réduisant sensiblement les sections d'écoulement ;
- Du développement non contrôlé des végétations dans les canaux ;
- Des problèmes d'accès au niveau des tronçons couverts ;
- De dégradation des dispositifs de protection mis en place (revêtements) ;
- Du colmatage des ouvrages ;
- Des interférences avec les réseaux d'adduction d'eau potable (branchements Eau JIRAMA).

Les éléments de dysfonctionnement et anomalies constatés sont illustrés sur les photos suivantes.

1) Hétérogénéité des sections



2) Constructions



3) Constructions sur canaux



4) Dépôts solides



5) Développement non contrôlé de la végétation



6) Problèmes d'accès (Couverture)



7) Dégradation des revêtements



8) Colmatage des ouvrages



9) Interférence avec autres réseaux (AEP JIRAMA)



3.2.1. Encombrement généralisé des canaux

Les canaux primaires sont actuellement dans un état d'encombrement généralisé, avec des capacités d'écoulement significativement réduites. Les profils en long des canaux indiquent une épaisseur importante de dépôt, notamment dans la partie aval du drain principal (0.5 à 1 m de dépôt). D'après les riverains, cette situation s'est particulièrement manifestée au cours des 2 – 3 dernières années. Les débordements et inondations récurrents, après chaque épisode pluvieux assez conséquent, en sont les conséquences directes.

Les derniers travaux de curage d'envergure réalisés se sont avérés peu efficaces car les moyens mis en œuvre n'ont pas permis un curage en profondeur des ouvrages. Les curages ont été en effet réalisés selon l'approche HIMO avec une main d'œuvre majoritairement féminine et sans mobilisation d'équipements spécifiques pour ce type de travaux.

A noter également l'absence d'équipement adéquat au niveau du SAMVA, limitant grandement l'efficacité de ses interventions.

A titre illustratif, le curage du tronçon ovoïde au niveau de l'Hôtel Grégoire ne peut actuellement se faire qu'avant la saison pluvieuse alors que des dépôts se forment à chaque épisode pluvieux. Un curage complet du pont Mascar n'a pu être réalisé depuis sa mise en service (il y a environ 15 ans), en raison de la longueur importante de cet ouvrage.

La situation actuelle résulte aussi directement de la défaillance de la gestion des déchets solides dans les zones / quartiers traversés par les canaux et de l'absence de contrôle du stockage des matériaux de construction (notamment le sable) et des produits de démolition.

3.2.2. Dégradation du rôle tampon des zones de culture

Les zones de culture jouent un rôle important pour le laminage et le ralentissement des flux pluviaux. Les points suivants sont à signaler :

- Réduction des zones d'épandage des eaux sous la pression des constructions, qui augmentent aussi le nombre de population exposée aux inondations ;
- La protection des cressonnières par rehaussement local des berges des canaux principaux tend également à limiter l'épandage des eaux et dégrade davantage les conditions d'écoulement en aval ;
- Mandrakaray / Andravoahangy : projet important de remblaiement au niveau de la zone de cressonnière risquant de détériorer davantage les conditions de drainage déjà critiques de cette zone.

3.2.3. Dysfonctionnement d'ouvrages

A. Entonnement des eaux à l'entrée des ouvrages

L'entonnement des eaux est non optimal du point de vue hydraulique à l'entrée de la majorité des principaux ouvrages hydrauliques. Les conséquences hydrauliques sont amplifiées par la charge élevée des eaux résultant de la gestion insuffisante des déchets domestiques et des problèmes d'érosion des sols, qui sont exacerbés par la concentration des flux pluviaux.



Fig. 8. Entonnement non optimal des eaux – Cas du dalot de la route HOMI (Hibiscus)

Cet aspect est particulièrement critique dans la zone d'Andravoahangy avec le développement de petits commerces informels de produits agricoles sur les trottoirs.

B. Réduction des sections d'écoulement

La plupart des routes qui traversent les canaux primaires supportent aussi des conduites maîtresses d'adduction d'eau potable. Dans certains cas, ces dernières réduisent significativement les sections d'écoulement des dalots sous les routes concernées. Le cas du dalot du FPVM au niveau de la RN2 est particulièrement critique.



Fig. 9. Dalot FPVM au niveau de la RN2 traversé par une conduite maîtresse d'AEP

C. Seuil de Besarety

Un seuil en béton de 88 cm de hauteur a été construit dans le canal principal pour arrêter les matériaux solides charriés par les écoulements et éviter ainsi le colmatage du dalot sous la RN2. Ce seuil conduit toutefois à un rehaussement important des niveaux de crue en amont, qui est à l'origine des inondations récurrentes, presque à chaque épisode pluvieux, des constructions riveraines au canal. Comme le fond du lit tend rapidement à s'aligner au niveau de la crête du seuil

en amont, un rehaussement généralisé du canal est observé en amont jusqu'au niveau de la zone de diffuence (Ampandrana).



Fig. 10. Seuil en béton en amont du passage sous RN2 à Besarety

4. MODELISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT DU CANAL DE LA VALLEE DE L'EST

4.1. OBJECTIFS DE LA MODELISATION

Le fonctionnement hydraulique du système primaire de drainage du bassin de la vallée de l'Est est difficilement appréhendable par les approches classiques d'analyse des débits pluviaux en raison des facteurs de complexités suivantes :

- Existence de plusieurs singularités hydrauliques (ex. ouvrages de franchissement) ;
- Effets de laminage et de ralentissement des écoulements sur les zones de culture ;
- Existence d'une influence aval forte sur les écoulements dans la partie aval du système de drainage (marais Masay et Canal Andriantany).

L'objectif premier de la modélisation est de disposer d'un outil permettant d'appréhender le fonctionnement global du système primaire de drainage, pour d'une part améliorer la connaissance du fonctionnement actuel du système, et d'autre part, définir de façon cohérente les interventions permettant d'améliorer les conditions d'écoulement.

4.2. PRINCIPES ET DONNEES DE BASE DE LA MODELISATION

La modélisation a été conduite à l'aide du système Storm Water Management Model, Version 5, développé par l'US Environmental Protection Agency. Ce système intègre la production de ruissellement (modèle de réservoir non linéaire) et son transfert dynamique (canaux à surface libre ou conduites en charge, singularités hydrauliques). Il s'avère particulièrement adapté à l'hydrologie urbaine dans la mesure où il prend directement en compte les paramètres d'imperméabilisation des sols.

Les données de base utilisées pour l'établissement et l'exploitation du modèle sont :

- Les données topographiques présentées au § 2.2 ;
- Les caractéristiques géométriques des principaux ouvrages de transfert existants (Cf. § 2.3) ;
- Les informations qualitatives recueillies auprès des riverains sur le fonctionnement hydraulique des canaux primaires, et sur les conditions d'inondation des fonds de vallée.

La modélisation est pilotée par la pluie de référence présentée au § 2.1.4, qui est une pluie synthétique décennale de 1h. Cette pluie est construite de telle sorte que les cumuls pluviométriques sur toute durée inférieure à 1 h aient la même période de retour de 10 ans. Il convient de souligner le caractère conservatif de cette pluie qui a été considérée en l'absence de données d'observation sur les pluies de courtes durées.

La modélisation conduite se base sur la représentation du bassin d'intérêt présentée sur la figure suivante.

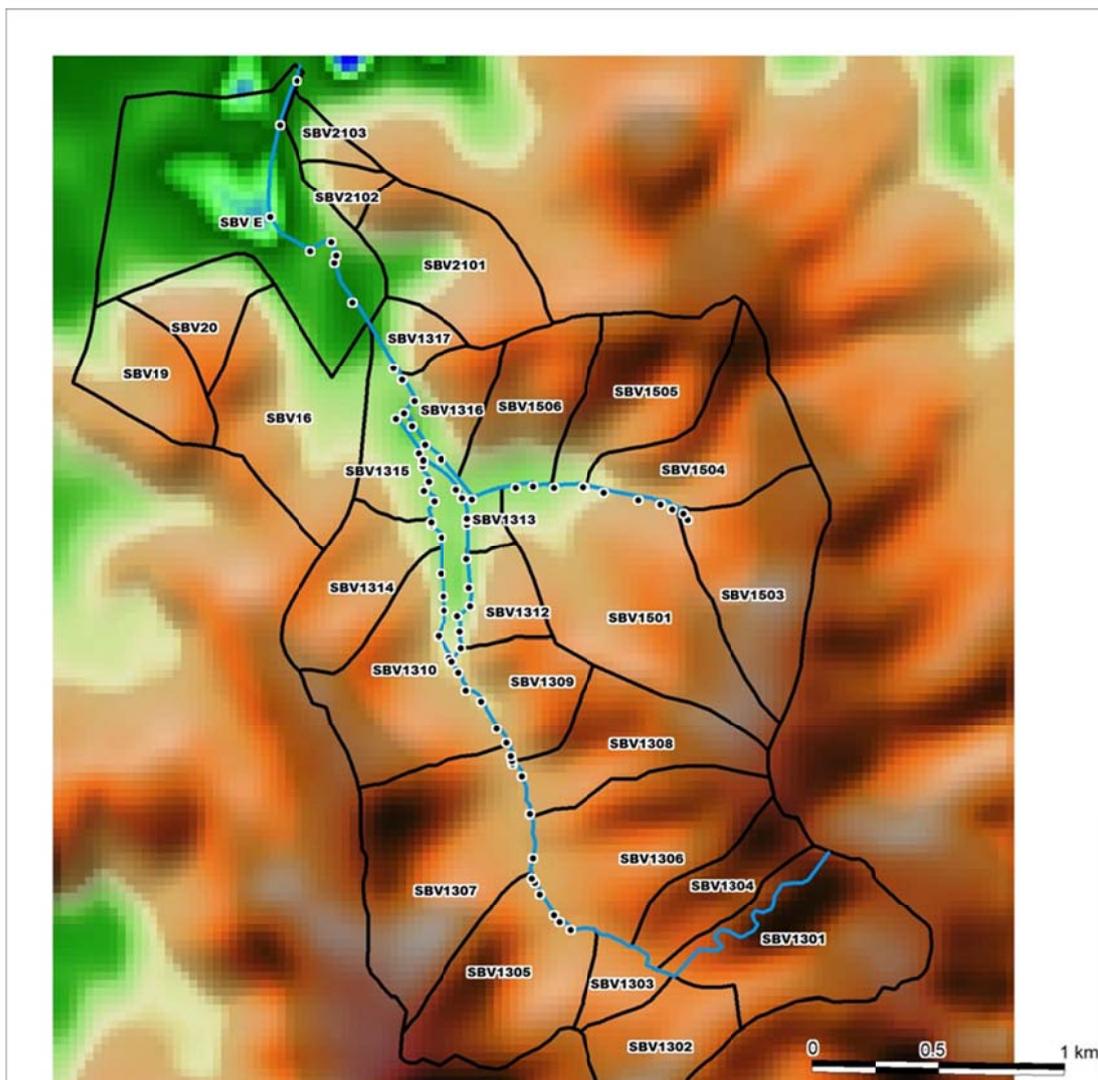


Fig. 11. Modèle EPA SWMM du bassin de la vallée de l'Est

La représentation adoptée est composée de :

- 26 sous-bassins hydrologiques ;
- 88 nœuds de calcul ;
- 91 liaisons fluviales ;
- 31 zones de stockage ;
- 8 ouvrages de franchissement.

A noter qu'afin de reproduire le plus fidèlement possible les conditions d'écoulement à la traversée de la RN2, les possibilités d'écoulement par-dessus la RN2 et la route de Mahavoky sont également représentées dans le modèle.

Les données relatives aux sous-bassins et les différents ouvrages de franchissement représentés dans le modèle sont présentées sur les tableaux suivants.

Tabl. 3 - Caractéristiques des ouvrages du modèle

A - BRANCHE PRINCIPALE		
PM	1525.86	
Franchissement-1/2 buse Armco sous route de l'Université Ankatso		
Zbase (m)	1258.17	Absence de dépôt
Hauteur max (m)	2.55	
Largeur max (m)	3.76	
Longueur (m)	8	
Représentation SWMM	Élément ARCH, n = 0.02	
PM	2007.51	
Passage busé d'Ambodiroatra - Route de Betongolo		
Zbase (m)	1255.07	Nœud amont (137)
Zfond1 (m)	1255.19	Offset 0.12
D1 (m)	1	
Zfond2 (m)	1255.39	Offset 0.32
D2 (m)	0.8	
Longueur (m)	-	
ZDeversement (m)	1257.43	Offset 2.36
Longueur Deversement (m)	20	
Représentation SWMM	Éléments Orifice	
PM	3029.955	
Dalot sous route RN2 / FPVM		
Zbase actuelle	1250.16	Nœud amont (240)
Zbase ouvrage	1 249.29	
Zsous dalle	1 251.13	
Largeur	1.95	
Hauteur actuelle	0.97	
Hauteur ouvrage	1.84	
Représentation SWMM	Rect_Closed	
Cote déversement	1 251.33	
Décalage déversement actuel	1.17	
Décalage déversement Ouvrage	2.04	
Longueur Deversement (m)	20.00	
Représentation SWMM	Transverse Weir	
PM	3299.71	
Dalot à 3 pertuis sous route à Mahavoky (à coté Lycée Condorcet)		
	Dalot triple	
Zbase actuelle	1249.5	
Zbase ouvrage	1 248.86	
Zsous dalle	1 250.44	
Largeur moyenne	1.5	
Hauteur actuelle	0.94	
Hauteur ouvrage	1.58	
Représentation SWMM	Rect_Closed	
Cote déversement	1 251.03	
Décalage déversement actuel	1.53	
Décalage déversement Ouvrage	2.17	
Longueur Deversement (m)	30.00	
Représentation SWMM	Transverse Weir	
PM	3713.285	
Pont Mascar vers Anjanahary/Ambodivona		
	Dalot double	
Zbase actuelle	1248.47	Nœud amont (286)
Zbase ouvrage	1 248.11	
Zsous dalle	1 250.03	
Largeur moyenne	3.44	
Hauteur actuelle	1.56	
Hauteur ouvrage	1.92	
Représentation SWMM	Rect_Closed	
Cote déversement	1 250.63	
Décalage déversement actuel	2.16	
Décalage déversement Ouvrage	2.52	
Longueur Deversement (m)	30.00	
Représentation SWMM	Transverse Weir	
PM	4218.515	
Pont Ambodivona vers Manjakaray		
	Dalot double	
Zbase actuelle	1248.05	Nœud amont (301)
Zbase ouvrage	1 247.46	
Zsous dalle	1 249.91	
Largeur moyenne	4.2	
Hauteur actuelle	1.86	
Hauteur ouvrage	2.45	
Représentation SWMM	Rect_Closed	
Cote déversement	1250.31	
Décalage déversement actuel	2.26	
Décalage déversement Ouvrage	2.85	
Longueur Deversement (m)	30.00	
Représentation SWMM	Transverse Weir	
B - BRANCHE ROTONDE		
PM	581.82	
Dalot double pertuis/ La Rotonde et seuil amont		
	Dalot double	
Zbase actuelle	1249.8	Nœud amont (46)
Zbase ouvrage	1 248.64	
Zsous dalle	1 250.41	
Largeur moyenne	1	
Hauteur actuelle	0.61	
Hauteur ouvrage	1.77	
Représentation SWMM	Rect_Closed	
Cote déversement	1 251.11	
Décalage déversement actuel	1.31	
Décalage déversement Ouvrage	2.47	
Longueur Deversement (m)	30	
Représentation SWMM	Transverse Weir	
C - BRANCHE INSTITUT PASTEUR		
PM	538.912	
Dalot sous route vers HOMI (Ecole Hibiscus)		
	Dalot double	
Zbase actuelle	1251.96	Nœud amont (P57)
Zbase ouvrage	1 251.27	
Zsous dalle	1 252.74	
Largeur moyenne	1	
Hauteur actuelle	0.78	
Hauteur ouvrage	1.47	
Représentation SWMM	Rect_Closed	
Cote déversement	1 253.34	
Décalage déversement actuel	1.38	
Décalage déversement Ouvrage	2.07	
Longueur Deversement (m)	15	
Représentation SWMM	Transverse Weir	

Tabl. 4 - Caractéristiques des sous-bassins du modèle

Id. Sous bassin	Superficie (ha)	Pente	Largeur sous-bassin (m)	Taux d' Imperméabilisation (%)	Point d'entrée Système primaire de drainage
SBV1301	38.2	11.5%	309	50%	93
SBV1302	18.1	9.2%	213	50%	C1 - 98
SBV1303	7.0	6.2%	132	50%	C1 - 98
SBV1304	15.3	12.0%	196	50%	93
SBV1305	31.4	16.7%	280	50%	C1 - 98
SBV1306	36.4	11.1%	302	50%	C2 - 115
SBV1307	43.9	15.7%	331	50%	C3 - 130
SBV1308	25.1	10.9%	250	50%	C4 - 135
SBV1309	15.5	8.9%	197	50%	C5 - 160
SBV1310	32.2	13.0%	284	50%	C6 - 170
SBV1312	9.3	8.3%	153	50%	C8 - ROT25
SBV1313	4.5	2.4%	105	50%	ROT45
SBV1314	20.5	7.6%	226	50%	236
SBV1315	11.8	2.8%	171	50%	277
SBV1316	10.8	7.5%	164	50%	281
SBV1317	6.1	7.2%	124	50%	287
SBV1501	50.6	9.0%	355	50%	P76
SBV1503	30.3	12.8%	275	50%	P12
SBV1504	26.5	10.5%	258	50%	P42
SBV1505	26.7	9.9%	258	50%	P67
SBV1506	21.4	7.0%	231	50%	P85
SBV16	35.9	5.3%	300	50%	C9 - 295
SBV20	12.9	7.5%	180	50%	314
SBV2101	27.2	6.0%	261	50%	295
SBV2102	4.7	5.5%	108	50%	322
SBV2103	4.6	4.6%	107	50%	322

4.3. PRINCIPAUX RESULTATS

La modélisation du système primaire de drainage dans sa configuration actuelle a permis de mettre en évidence :

- Les effets négatifs du colmatage des ouvrages et de l'encombrement des canaux ;
- L'effet positif du laminage des flux par l'ouvrage busé de la route de Betongolo (Ambodiroatra) ;
- L'effet positif de l'épandage des eaux dans le bassin Tana Water Front qui limite le niveau maximal dans la partie aval du système de drainage.

4.3.1. Conditions d'écoulement

Les figures suivantes présentent les lignes d'eau maximales atteintes dans les différents tronçons du système de drainage.

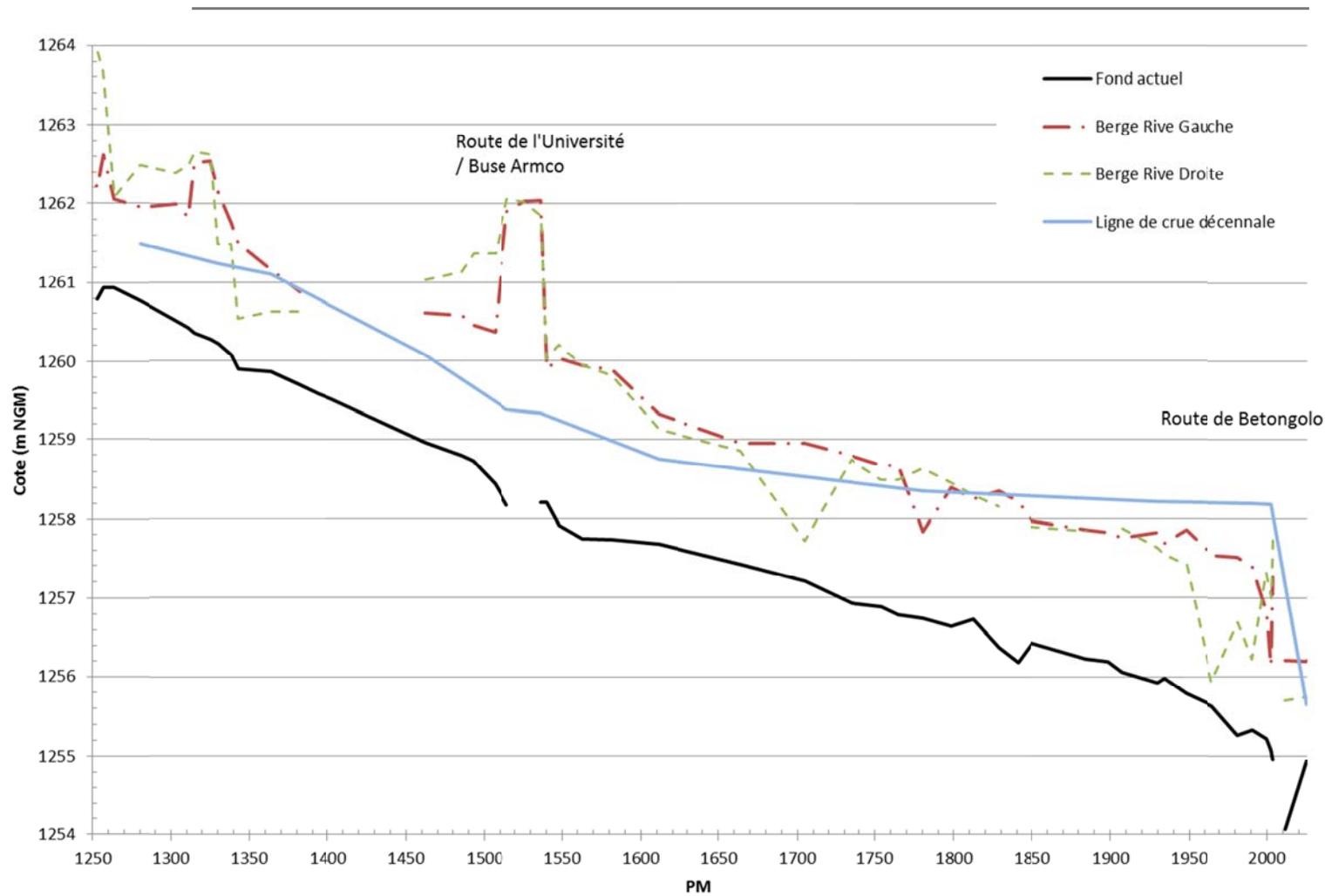


Fig. 12. Ligne d'eau maximale sur le tronçon Tsiadana (Shoprite) - Route de Betongolo

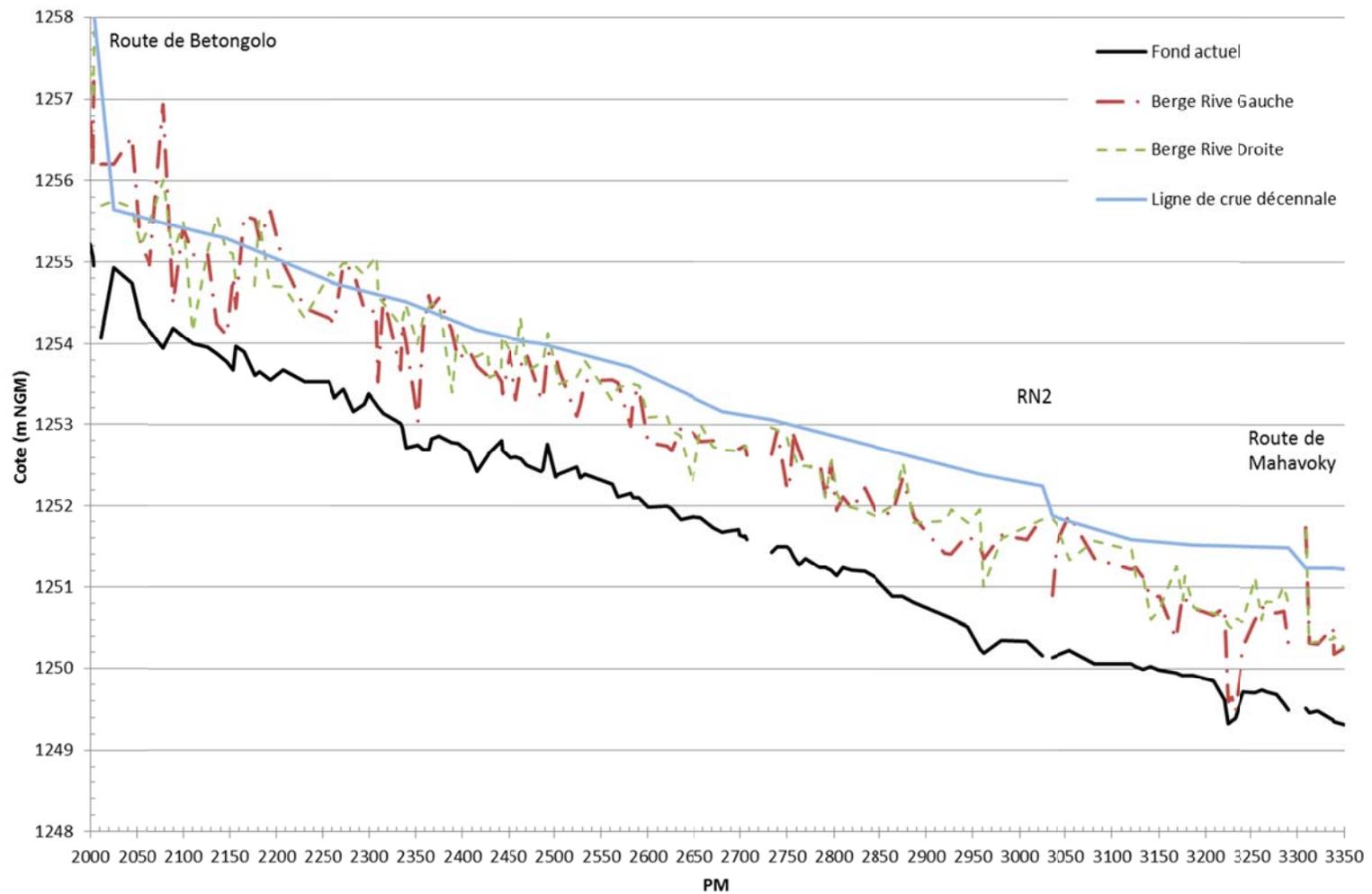


Fig. 13. Ligne d'eau maximale sur le tronçon Route de Betongolo - Route de Mahavoky / Branche principale

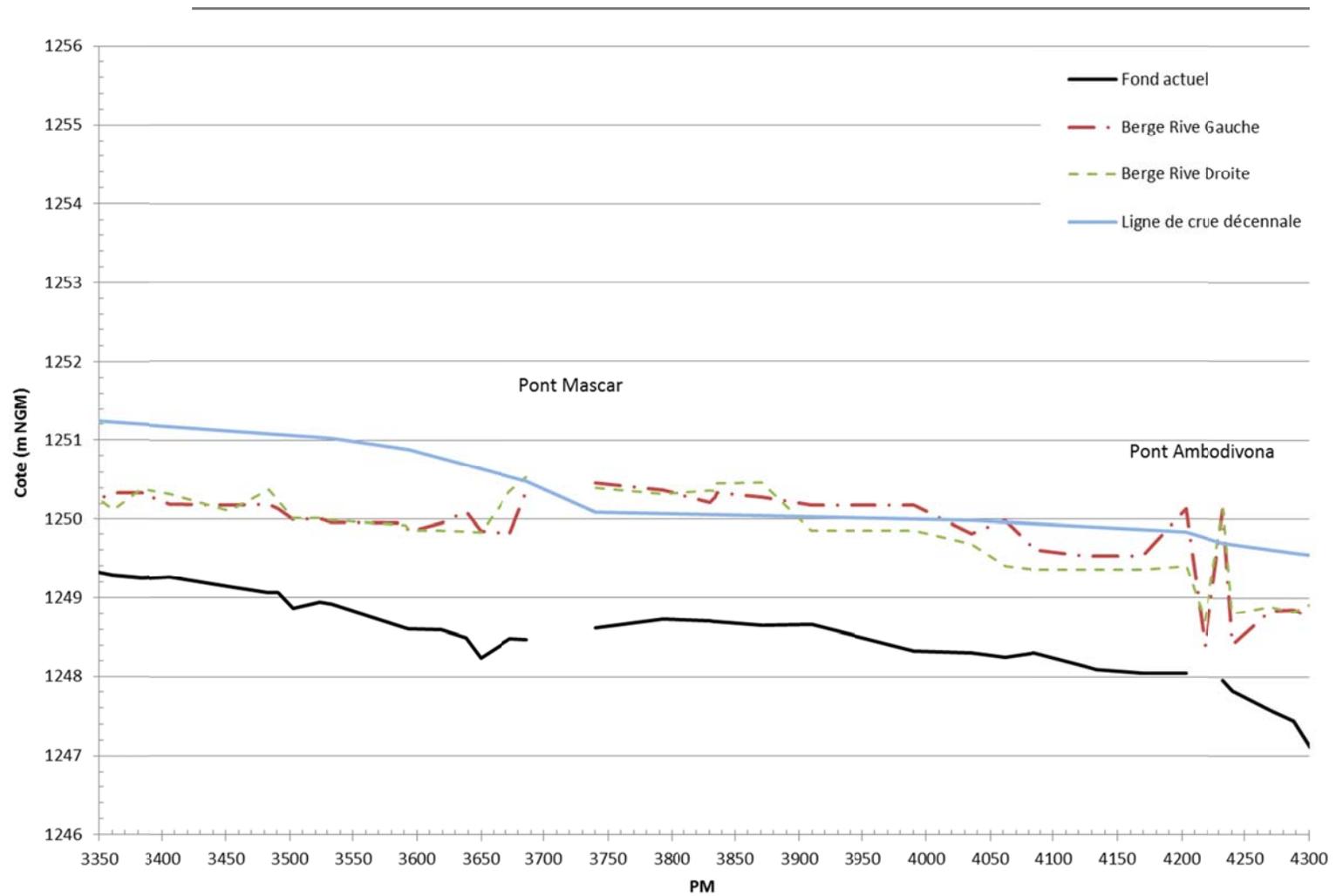


Fig. 14. Ligne d'eau maximale sur le tronçon Route Mahavoky et le Pont Ambodivona

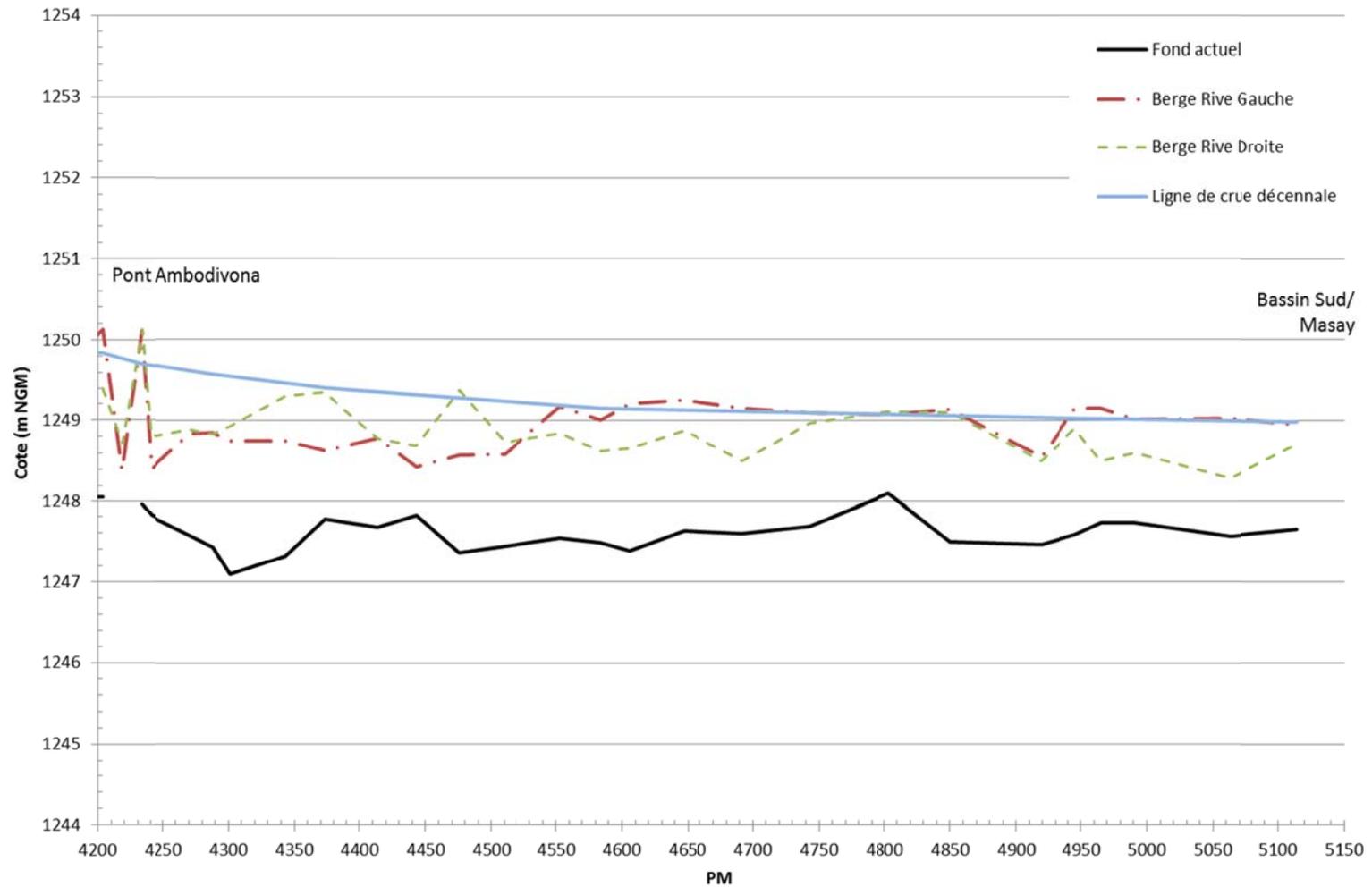


Fig. 15. Ligne d'eau maximale en aval du Pont Ambodivona

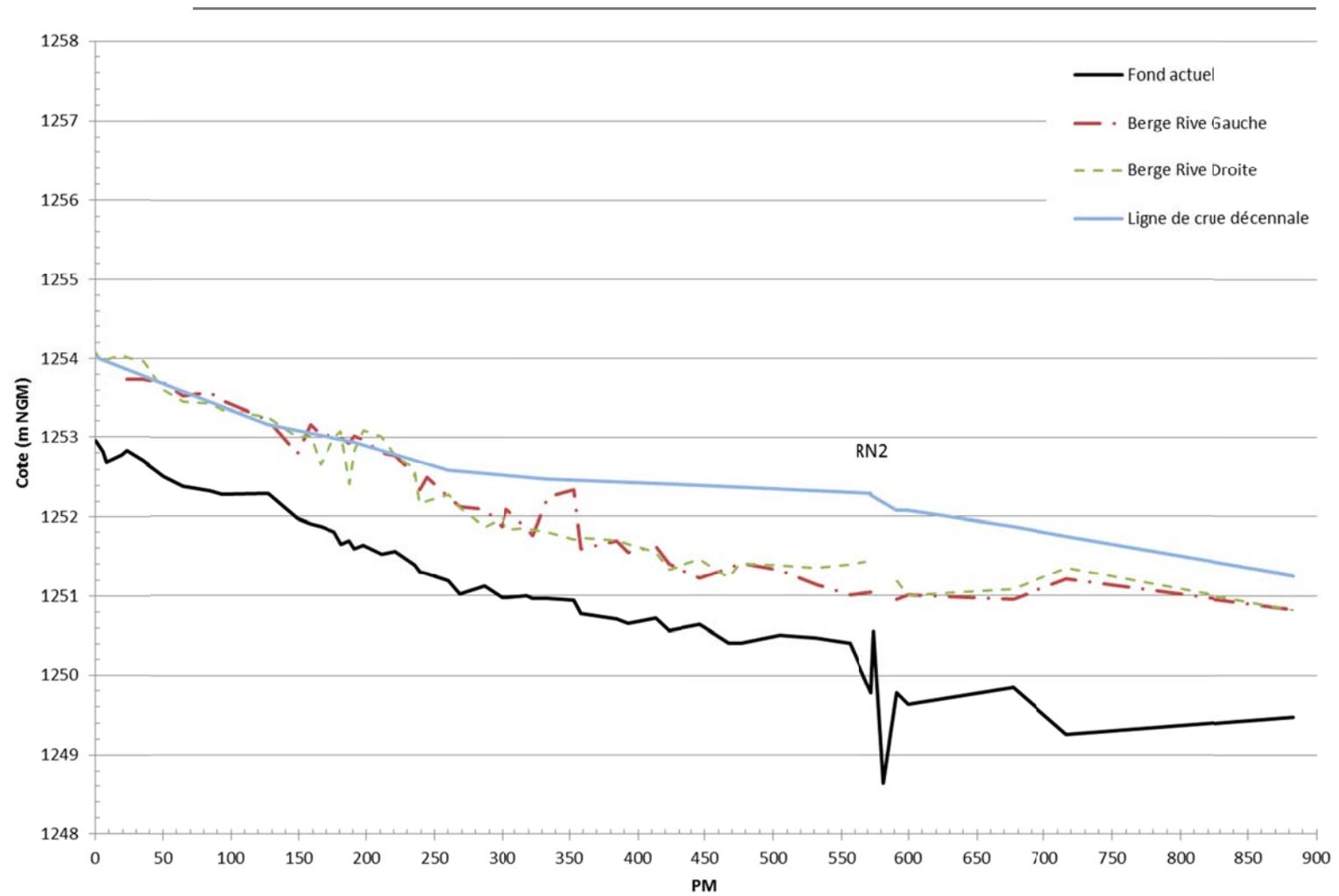


Fig. 16. Ligne d'eau maximale de la Branche La Rotonde

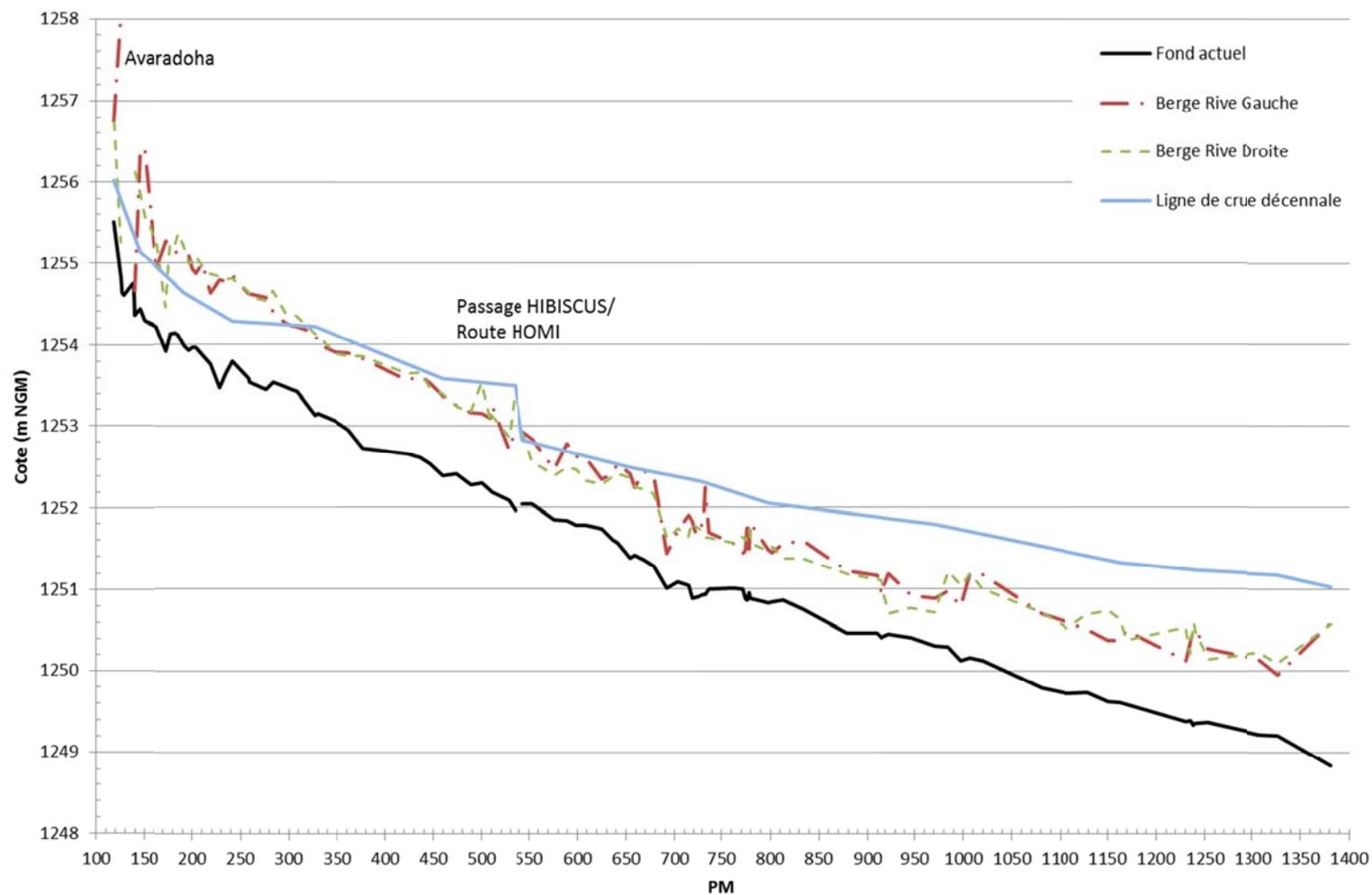


Fig. 17. Ligne d'eau maximale de la Branche Institut Pasteur (Vallon d'Avaradoha)

Le modèle établi reproduit assez bien l'ensemble des zones d'inondation de la vallée :

- Tronçon en amont de la route de Betongolo ;
- Tronçon intermédiaire entre la route de Betongolo et la RN2
- Submersion et écoulement généralisé de la RN2 entre les 2 branches (FPVM et La Rotonde) et suivant la route de Mahavoky
- Tronçon en amont du Pont Mascar.

Les conditions d'inondation au niveau du carrefour RN2 – Route de Mahavoky à Besarety sont particulièrement critiques en raison :

- Du retour vers la branche La Rotonde des eaux de déversement par-dessous le dalot FPVM, en suivant la RN2 ;
- Du débordement excessif des eaux de la branche Institut Pasteur en direction de la route de Mahavoky ;
- Du faible débit transitant par le tronçon ovoïde de Mahavoky (~ 3 m³/s).

La figure suivante présente l'évolution des hauteurs de submersion au niveau de ce carrefour, la profondeur maximale atteinte étant de 1.2 m.

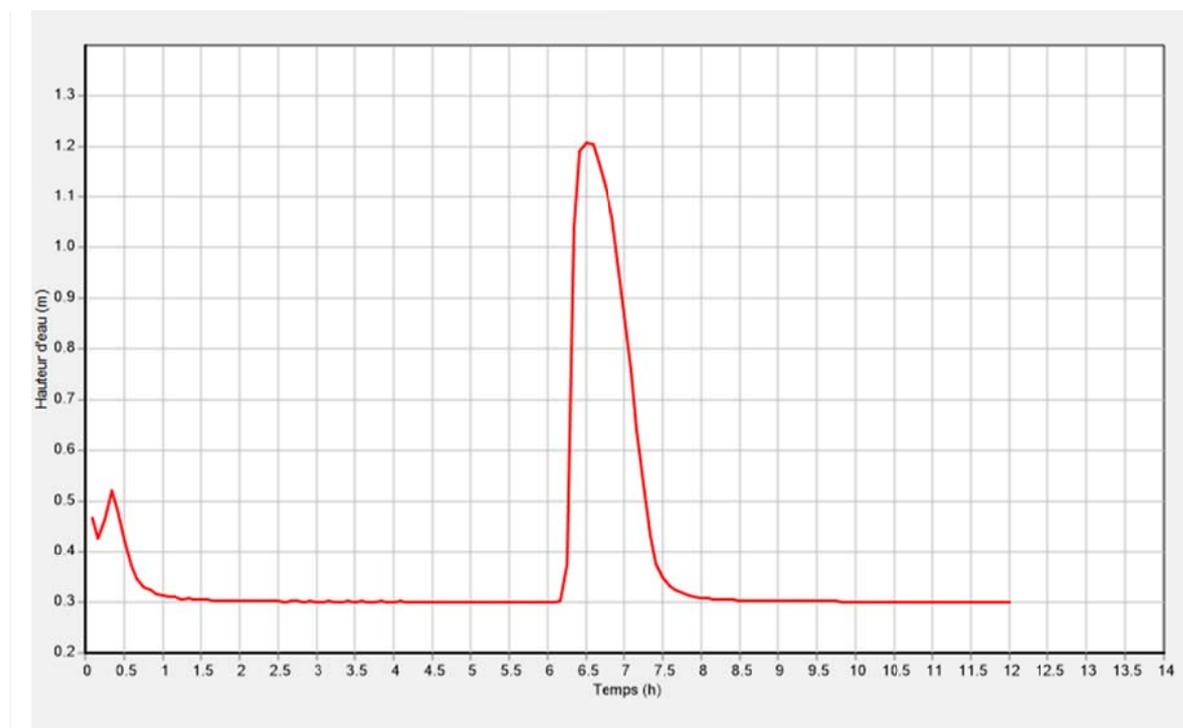


Fig. 18. Evolution de la profondeur d'eau de submersion du carrefour RN2 – Route de Mahavoky à Besarety

5. SCHEMAS COHERENTS D'AMENAGEMENT PROPOSES

Deux schémas d'aménagement sont proposés pour améliorer sensiblement les conditions d'écoulement dans les canaux primaires de drainage et résoudre les problèmes récurrents d'inondation. Il s'agit d'un schéma d'aménagements de base (ou Variante basse) et d'une Variante haute qui complète le schéma de base par des travaux de réfection de plus grande envergure et des interventions visant à sécuriser l'emprise des canaux primaires.

Ces schémas sont basés sur des aménagements et interventions réalistes par rapport aux ressources limitées des institutions impliquées dans la gestion du drainage primaire du bassin. Cela est particulièrement important compte tenu du caractère prioritaire des interventions retenues. Cela a aussi amené à écarter les options plus radicales de rénovation qui pourraient se justifier techniquement par le besoin d'une bonne cohérence d'ensemble. Une approche graduelle d'amélioration qui valorise l'existant a ainsi été retenue.

5.1. SCHEMA D'AMENAGEMENTS DE BASE

Le schéma de base est constitué d'interventions prioritaires visant à corriger les principaux dysfonctionnements constatés. Il s'agit de :

- Curage généralisé des drains primaires ;
- Regabaritage de canaux ;
- Regabaritage avec soutènement en maçonnerie des berges ;
- Suppression du seuil de Besarety ;
- Mise en place d'ouvrages pièges à déchets flottants (« pièges à dépôt ») ;
- Amélioration de l'entonnement d'ouvrages hydrauliques ;
- Protection de berges à l'entrée d'ouvrages.

Les informations relatives aux interventions constituant le schéma de base sont détaillées en [Annexe 5](#).

5.1.1. Travaux de curage et de regabaritage

Des travaux de curage en profondeur s'avèrent nécessaires pour retrouver les capacités nominales d'écoulement des canaux primaires. Les données de référence pour les travaux de curage sont fournies sur les profils en travers de l'Annexe 5. A noter que les fonds de référence considérés tiennent compte des niveaux de base des ouvrages (fonds en dur).

Comme indiqué sur le tableau récapitulatif suivant, le volume total à curer est évalué à 15 300 m³. Compte tenu de l'importance du volume à curer et de la complexité des interventions au niveau de certains ouvrages comme le passage sous la RN2 à Besarety, le tronçon ovoïde de Mahavoky et le pont Mascar, les travaux de curage devront être réalisés avec les moyens appropriés.

Tabl. 5 - Evaluation des travaux de curage nécessaires sur le système primaire de drainage

Canal	Linéaire total (m)	Volume à curer (m3)
Drain principal (Tsiadana-Masay)	5 114	15 421.8
Branche Ronde	883	693.6
Branche Institut Pasteur	1 381	1 170.0
Total	7 379	17 285.4

5.1.2. Interventions sur les ouvrages existants

Les plans détaillant les interventions proposées sont présentés en **Annexe 7**.

Il s'agit de :

- Mise en place de dispositifs de protection de berges en enrochements au niveau du dalot du PM 1140 à Tsiadana (en amont de SHOPRITE) et en amont de la buse Armco du PM 1526 ;
- La démolition du seuil de Besarety (Cf. § 3.2.3 – Point C) ;
- L'amélioration de l'entonnement d'ouvrages, notamment par l'amélioration des profilés des pieddroits. Cette amélioration est illustrée sur la figure suivante.

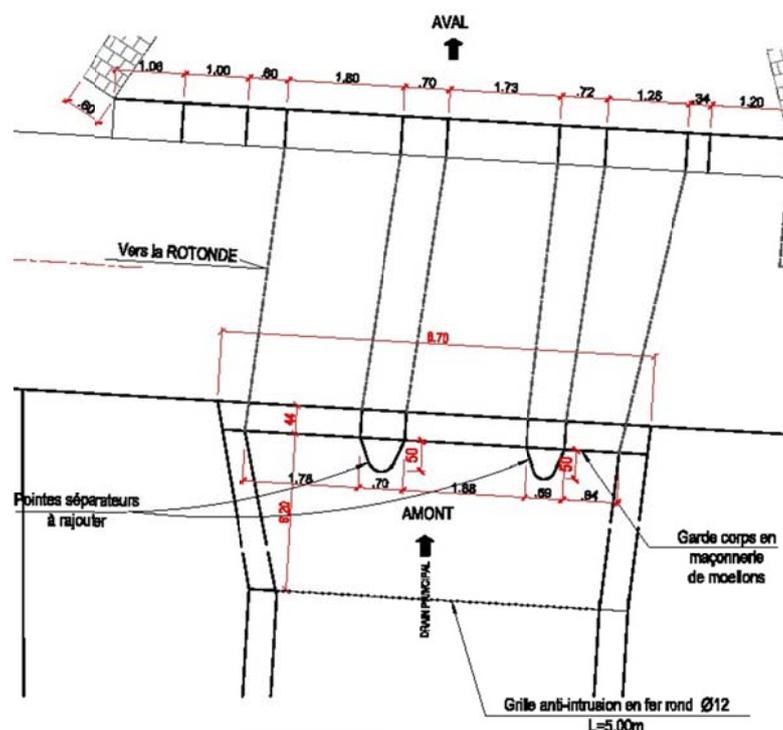


Fig. 19. Amélioration de l'entonnement du dalot PM 3299.7 de Mahavoky

5.1.3. Mise en place de pièges à déchets flottants

Après la suppression du seuil de Besarety en amont de la RN2, sur la branche La Rotonde, la mise en place de dispositifs de piégeage des déchets flottants s'avère nécessaire afin de réduire le risque de colmatage du dalot de la RN2 et du tronçon ovoïde de Mahavoky. Deux ouvrages de conception identique sont prévus à cet effet d'être implantés aux PM 84 et PM 318 de la branche La Rotonde (Cf. [Annexe 8](#)). Les sites d'implantation optimaux sont indiqués sur les cartes de localisation des annexes 5 et 6 et devront être confirmés avant les travaux.

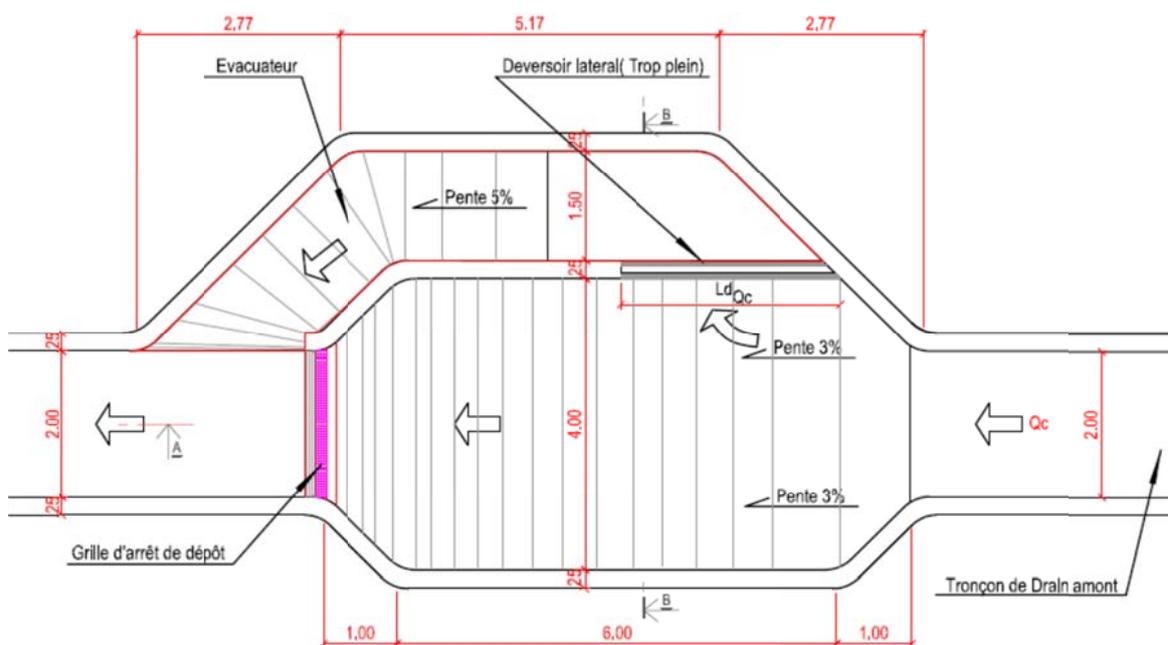


Fig. 20. Piège à déchets flottants

Les dispositifs sont conçus pour agir sur les petites crues qui, de par leur fréquence, sont plus déterminantes pour le transport des déchets flottants.

A noter que ces dispositifs seront implantés dans des zones qui sont totalement submergées en périodes de fortes crues.

5.1.4. Impacts hydrauliques des interventions proposées

L'amélioration des sections d'écoulement obtenue avec les travaux de curage et de regabaritage des canaux primaires conduit à un abaissement général des niveaux maxima atteints pour l'événement pluvieux de référence considéré (Pluie synthétique décennale de 1 h).

Les figures suivantes illustrent les améliorations obtenues dans les différents tronçons du système primaire.

Il convient de noter que pour l'événement considéré, des submersions temporaires subsistent au niveau de la route de Betongolo (dalot d'Ambodiroatra) et à la traversée de la RN2 (Mahavoky – Besarety). Les hauteurs et durées de submersion sont toutefois sensiblement réduites à des niveaux acceptables.

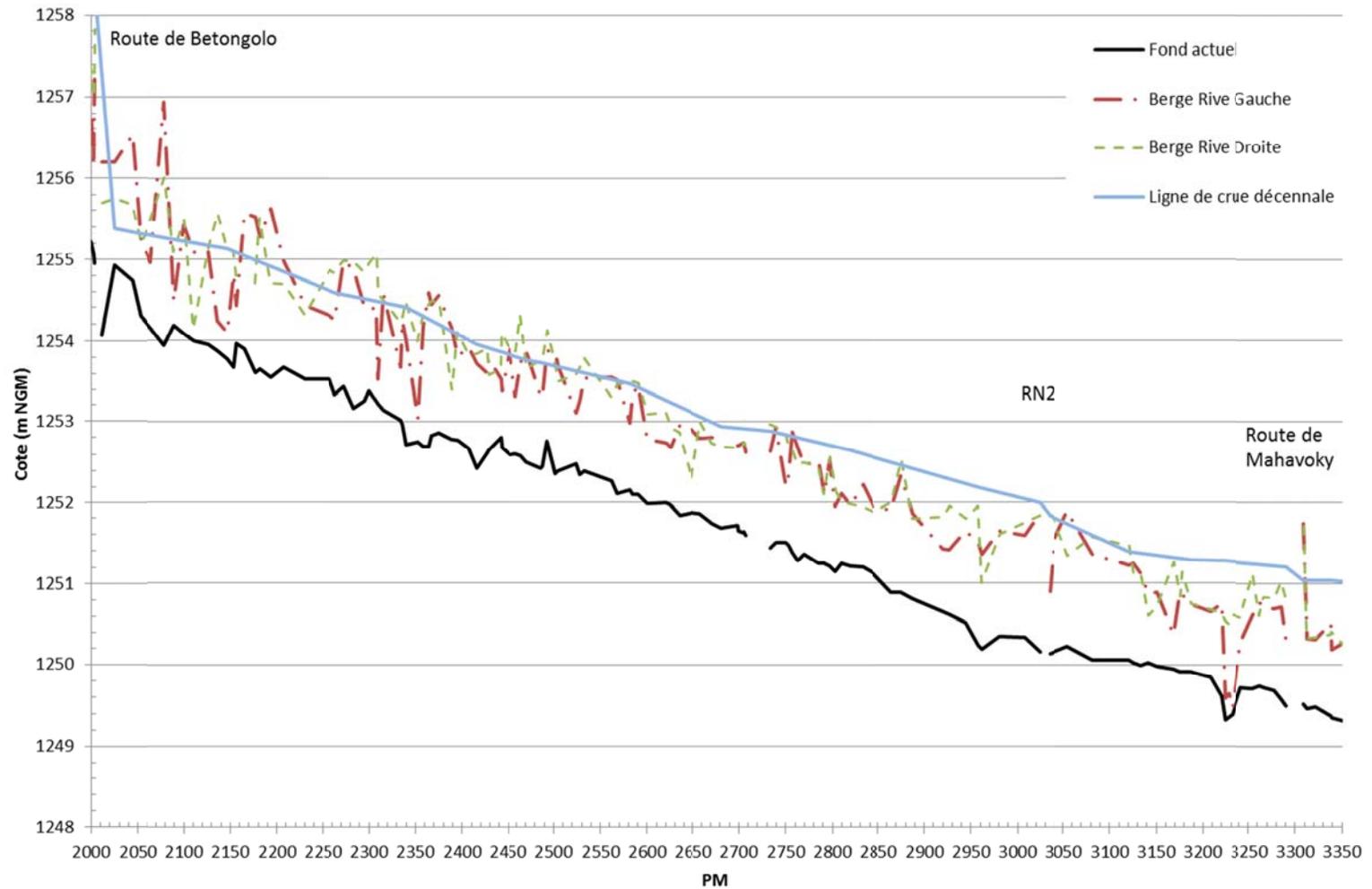


Fig. 21. Ligne d'eau maximale sur le tronçon Route de Betongolo - Route de Mahavoky / Branche Principale après aménagements

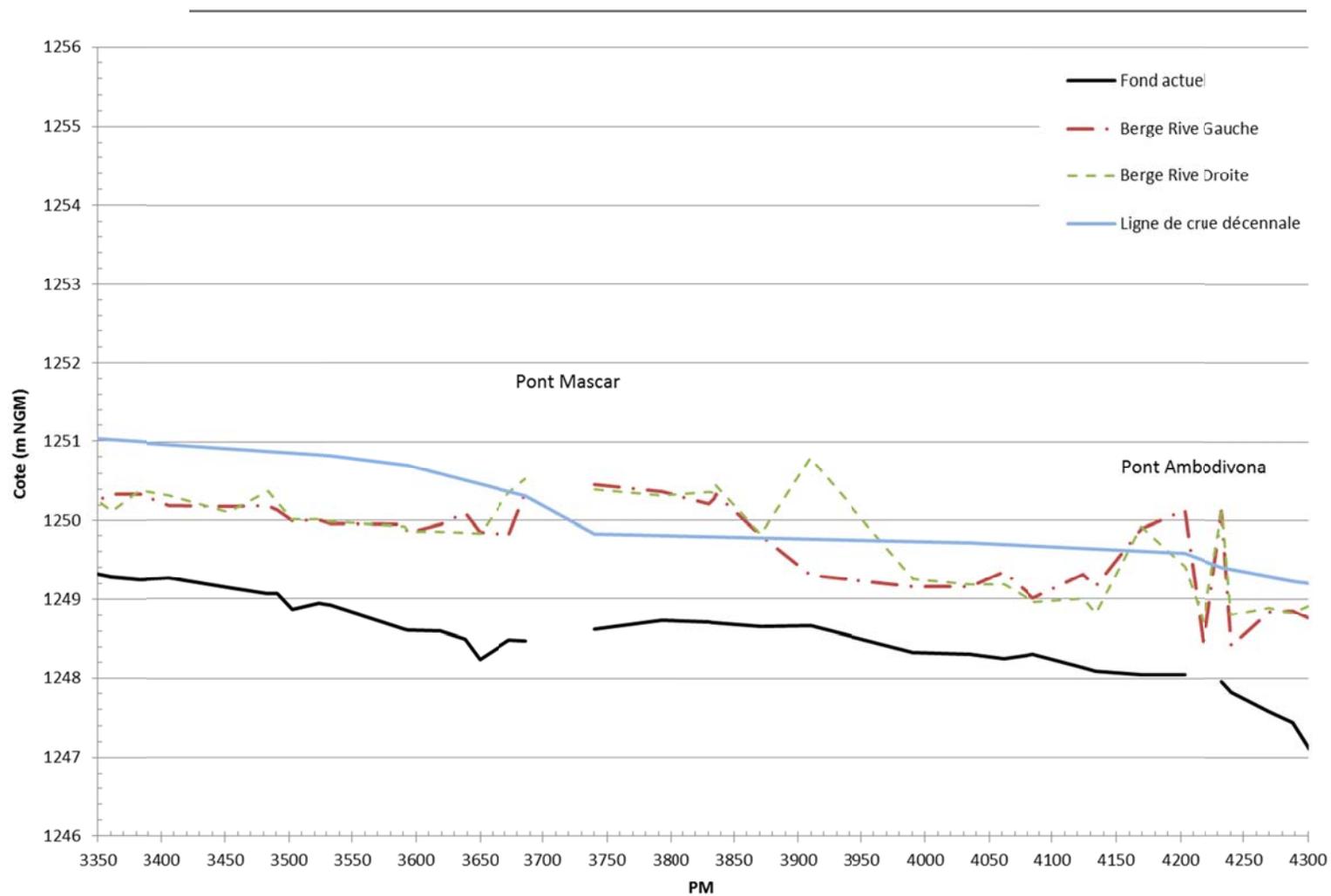


Fig. 22. Ligne d'eau maximale sur le tronçon Route de Mahavoky - Pont Ambodivona après aménagements

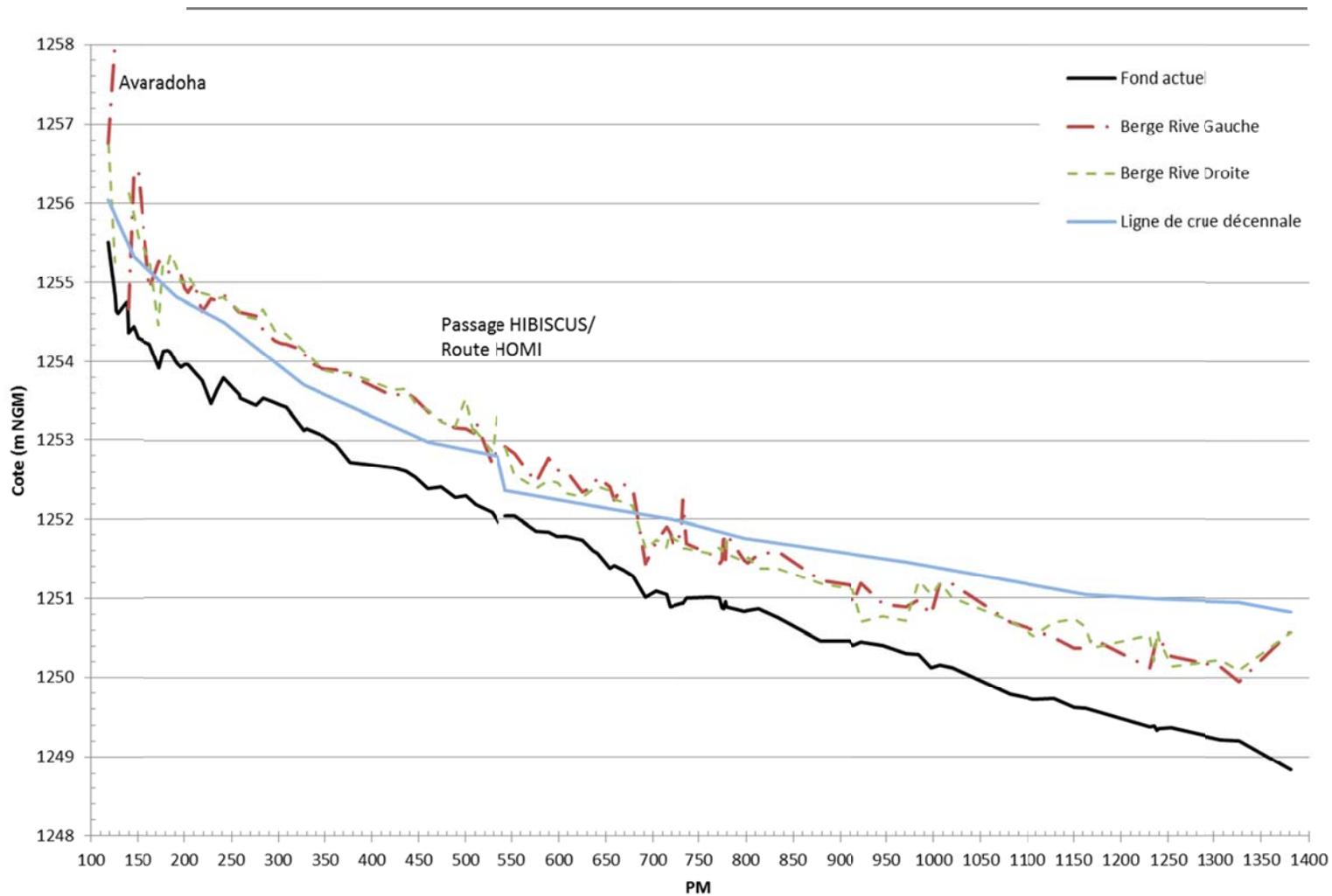


Fig. 23. Ligne d'eau maximale sur la Branche Institut Pasteur après aménagements

5.2. VARIANTE HAUTE

Le deuxième schéma d'aménagements étudié dit « Variante haute » est construit à partir du schéma de base, avec comme principal objectif une meilleure sécurisation des infrastructures en place.

Les informations relatives à cette variante d'aménagements sont précisées en **Annexe 6**.

Les interventions complémentaires correspondent principalement à :

- Des dispositifs supplémentaires de soutènement des berges pour matérialiser l'emprise des canaux (ex. zone d'Andravoahangy – Ambodivona) ;
- La réfection intégrale des revêtements au niveau du tronçon intermédiaire entre la route de l'université et la route de Betongolo.



Fig. 24. Berge rive droite du tronçon en amont d'Ambodivona à sécuriser contre la pression des constructions



Fig. 25. Revêtement déstabilisé du tronçon en amont de la route de Betongolo à réfectionner

5.3. EVALUATION FINANCIERE DES SCHEMAS PROPOSES

Sur la base de prix unitaires de travaux similaires en vigueur au cours du premier semestre 2016, une évaluation au stade de faisabilité des coûts des deux schémas proposés est présentée en Annexe 9.

Cette évaluation est synthétisée sur le tableau ci-après.

Tabl. 6 - Récapitulation de l'évaluation des coûts des schémas d'aménagement étudiés

A - SCHEMA DE BASE - VARIANTE BASSE

Désignation	Curage - Regabaritage - Revêtement	Ouvrages	Total général (MGA)
SERIE 000 : FRAIS GENERAUX	-	-	-
SERIE 100 : TERRASSEMENT	101 578 000	1 345 000	102 923 000
SERIE 200 : GENIE CIVIL	310 505 590	82 747 880	393 253 470
SERIE 300 : FOURNITURES METALLIQUES	-	487 500	487 500
TOTAL HORS TAXES & HORS FRAIS GENERAUX			496 663 970

B - VARIANTE HAUTE

Désignation	Curage - Regabaritage - Revêtement	Ouvrages	Total général (MGA)
SERIE 000 : FRAIS GENERAUX	0	0	
SERIE 100 : TERRASSEMENT	135 683 000	1 343 900	137 026 900
SERIE 200 : GENIE CIVIL	1 059 545 300	82 747 880	1 142 293 180
SERIE 300 : FOURNITURES METALLIQUES	0	487 500	487 500
TOTAL HORS TAXES & HORS FRAIS GENERAUX			1 279 807 580

Les coûts totaux (hors taxes et hors frais généraux) s'élèvent respectivement à 0,5 et 1,3 milliards Ariary pour les variantes basse et haute.

6. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT

En complément de la mise en œuvre des interventions prioritaires des schémas d'aménagements étudiés, des actions devront être entamées relatives aux aspects suivants :

- Sécurisation et mobilisation de zones de stockage intermédiaires : la sécurisation de ces zones vis-à-vis de la pression des constructions est particulièrement importante pour garantir un fonctionnement gravitaire, compte tenu des possibilités très limitées d'augmentation des sections d'écoulement.
- Gestion des raccordements au système primaire de drainage : La densification des constructions le long des routes qui bordent le thalweg drainé par le canal de la vallée de l'Est entrave l'évacuation directe des eaux vers le canal primaire. Les accumulations d'eau qui en résultent, bien que temporaires, sont préjudiciables pour les structures de chaussée et les habitats inondées en raison de leur fréquence notamment.
- Standardisation de la conception des ouvrages : à terme, cette standardisation est nécessaire pour optimiser le fonctionnement hydraulique du système (suppression des singularités hydrauliques).
- Sécurisation de l'emprise des canaux : Les interventions des schémas d'aménagement contribuent déjà à cette sécurisation qui devra toutefois être généralisé sur l'ensemble du système primaire, compte tenu de l'évolution rapide des constructions.
- Gestion des déchets dans les quartiers traversés par les canaux : une piste consiste à renforcer et généraliser les systèmes RF2 déjà actifs dans la zone d'intérêt. Des actions périodiques de sensibilisation des riverains s'avèrent également nécessaires.