

### 5.1.3. SUR LE MILIEU NATUREL

L'intervention des engins entraîne la mise en suspension de particules solides. Ce phénomène implique une dégradation de la qualité des eaux en cas d'écoulement. Un nettoyage complet des abords des zones de ruissellements privilégiés sera opéré après travaux.

De plus, le stockage des engins et des matériaux se fera en dehors de toute zone inondable pour la sécurité des biens et se situera le plus loin possible de ceux-ci pour éviter tout risque de pollution. Les engins devront répondre à toutes les normes en vigueur en matière d'émission de gaz et devront être parfaitement entretenus afin de parer à toute fuite d'huile ou d'hydrocarbure. Ils devront également être équipés de kits antipollution.

Concernant la faune et la flore, l'étude d'impact du dossier de création de la ZAC Doujani synthétise les incidences du projet et mesures compensatoires à mettre en œuvre.

Enfin, au niveau des rejets dans le milieu naturel et afin de prévenir les pollutions chroniques et accidentelles de l'eau par les diverses opérations de chantier, les mesures suivantes devront être respectées sur l'ensemble du chantier pour la gestion de la présence et de l'utilisation de produits polluants :

- Confinement de la pollution en cas d'accident: moyen de récupération et de traitement des eaux de ruissellement par décantation et filtration à travers un système de gestion des eaux pluviales,
- Stationnements, entretiens et ravitaillements des engins de chantiers sur des plateformes étanches aménagées sur des zones planes,
- Mise en place sur le site de moyens de stockage et d'élimination des produits polluants,
- Clôture et signalisation des chemins en l'état d'être empruntés sans difficulté par des engins légers, afin d'informer les passants des risques encourus en cas de dépôt sauvage sur le site,
- Remise en état des lieux de collecte des pollutions éventuelles et évacuation en décharges conformément à la réglementation en fin de chantier.

**Toutes les mesures indispensables pour prévenir les risques de pollutions accidentelles (écoulement, fuite) par les hydrocarbures et les huiles des engins de chantier et les véhicules de transport devront être prises : révisions préalables, lavage, nettoyage des engins.**

### 5.1.4. SUR LA POPULATION

Les incidences sur la population sont causées principalement par les problèmes de circulation routière et de nuisance sonore pendant la phase des travaux.

La circulation risque d'être perturbée par les allées et venues des camions chargés de fournir le chantier en matériaux et/ou d'évacuer les matériaux issus des déblais.

La circulation sera traitée (entreprise et contrôle CSPS) par mise en place de panneaux avertisseurs, de déviation et de sécurisation des zones à aménager en phase travaux.

Les nuisances sonores seront également réduites par utilisation d'outillage et d'engins respectant les normes en vigueur en matière de bruit.

### **5.1.5. PRECONISATIONS APPLICABLES EN PHASE DE TRAVAUX**

Un terrassement sera effectué en phase chantier.

Les principes de gestion des déblais suivants devront être respectés lors des travaux :

- Les déblais issus du chantier sont autant que possible réutilisés (piste, plate-forme...) sur site,
- Les matériaux issus des démolitions sont triés, pesés, valorisés (sur places si possible, ou évacués vers les centres agréés selon leur nature. Les déchets issus de la démolition devraient être essentiellement constitués de béton. Les filières de valorisation locale sont préférentiellement recherchées,
- Le stockage provisoire doit être réalisé en dehors des zones d'interdiction du plan de prévention des risques en cours de validité,
- L'évacuation à l'extérieur du chantier est réalisée suivant la filière d'élimination adaptée retranscrite dans le SOGED ou SOSED. Les sites de dépôts doivent être agréés par le Maître d'œuvre et conformes à la réglementation. Les dépôts en bordure des cours d'eau, ravines, en zone inondable, en zone humide ou en périmètre de protection de captage sont exclus,
- Un cahier de suivi des déblais est mis à la disposition des services de l'État et les bons d'évacuation ainsi que les bons de mise en décharge associés,
- Une surveillance est effectuée par le maître d'œuvre pendant les travaux, afin d'éviter que le projet ne soit l'occasion de travaux annexes d'emprunt ou de mises en dépôt de matériaux, préjudiciables au libre écoulement des eaux ou aux milieux aquatiques.

## 5.2. INCIDENCES EN PHASE D'EXPLOITATION

Sont traités dans ce chapitre uniquement les thèmes pour lesquels le projet d'aménagement est susceptible d'avoir une incidence. Le lecteur pourra considérer que les thématiques non abordées ne subissent aucun impact.

L'incidence du projet sur les écoulements ainsi que sur l'imperméabilisation des sols, objet du présent dossier est traitée.

En effet, le projet de ZAC sur Doujani modifie l'occupation du sol et donc les conditions d'écoulements ainsi que la capacité d'infiltration de ce dernier. La conséquence directe de cet aménagement est l'augmentation des débits ruisselés par augmentation des coefficients d'imperméabilisation du sol en place.

## 5.3. INCIDENCES SUR LES EAUX PLUVIALES

Les éléments présentés ci-dessous sont extraits du rapport d'étude hydraulique de janvier 2023 réalisé par le bureau d'étude GROUPEHUIT présent en annexe 6.1 de la présente étude.

### 5.3.1. OBJECTIF DE PROTECTION

Le projet consiste en l'aménagement d'une ZAC ce qui induit la prise en compte d'une période de retour **T = 20 ans pour la gestion des eaux pluviales du projet de ZAC** par application de la norme EN NF 752, pour une occupation future du sol de type Zones résidentielles/Zones urbaines, et d'après le guide de gestion durable des eaux pluviales de Mayotte, DEAL, 2014).

La norme EN NF 752 de Novembre 1996 est relative aux réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments. Cette norme rappelle certains principes de base pour le dimensionnement hydraulique des réseaux et fixe la période de retour de la pluie à prendre en compte dans le calcul du dimensionnement des ouvrages d'eaux pluviales, en fonction des enjeux à protéger.

Lieu d'installation	Fréquence de calcul des inondations	
	Période de retour (1 sur «n» années)	Probabilité de dépassement pour 1 année quelconque
Zones rurales	1 sur 10	10 %
Zones résidentielles	1 sur 20	5 %
Centres ville/zones industrielles/zones commerciales	1 sur 30	3 %
Métro/passages souterrains	1 sur 50	2 %

Figure 58 : Périodes de retour réglementaires (Extrait de la Norme NF EN 752-2)

Il sera également nécessaire de mettre en place **des intercepteurs ainsi que des ouvrages hydrauliques permettant d'assurer la transparence hydraulique**. Ce type d'ouvrage se doit d'être dimensionné pour une **période de retour de 100 ans**.

### 5.3.2. PRINCIPE DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

Le projet d'aménagement de la ZAC de Doujani nécessite une réflexion sur les modes de gestion des eaux pluviales. En effet, la gestion des ruissellements amont mais également de ceux induits sur l'emprise de la ZAC est à prévoir.

Il s'agit dès lors de concevoir un ensemble d'ouvrages permettant de se prémunir contre le risque de ruissellement urbain (aléa naturel) mais également de traiter l'impact de l'imperméabilisation sur les débits pluviaux induits.

Le principe de non-aggravation du risque entre l'état projet et l'état initial pour l'ensemble des pluies de retour inférieures à la pluie vicennale sera appliqué.

Il a été considéré que les bassins de rétention permettront de réguler non seulement les survolumes de ruissellement qui sont induits par la voirie mais également ceux induits par l'aménagement des parcelles.

Le principe retenu est donc le suivant :

- Interception des ruissellements amont via des ouvrages (nommés intercepteurs). Ces ouvrages sont positionnés en amont du projet, au sein des coteaux, et se rejettent, à la faveur de la pente naturelle ou remaniée, vers les axes d'écoulements principaux,
- Drainage des intercepteurs ou directement des parcelles aménagées au moyen d'un réseau de drainage des eaux pluviales, réalisé sous forme de descente d'eau le long des escaliers,
- Gestion des ruissellements propres aux voiries créées via des ouvrages enterrés type buse, accolées aux voiries créées et qui se rejettent dans les bassins de rétention projetés,
- Compensation des volumes d'eau induits par l'imperméabilisation via des bassins de rétention positionnés au droit des points bas le long de la route projetée,
- Franchissement des axes principaux d'écoulements par les voiries via des ouvrages hydrauliques (de type buses ou cadres).

Le principe d'aménagement final retenu est mis en évidence dans la carte ci-après.

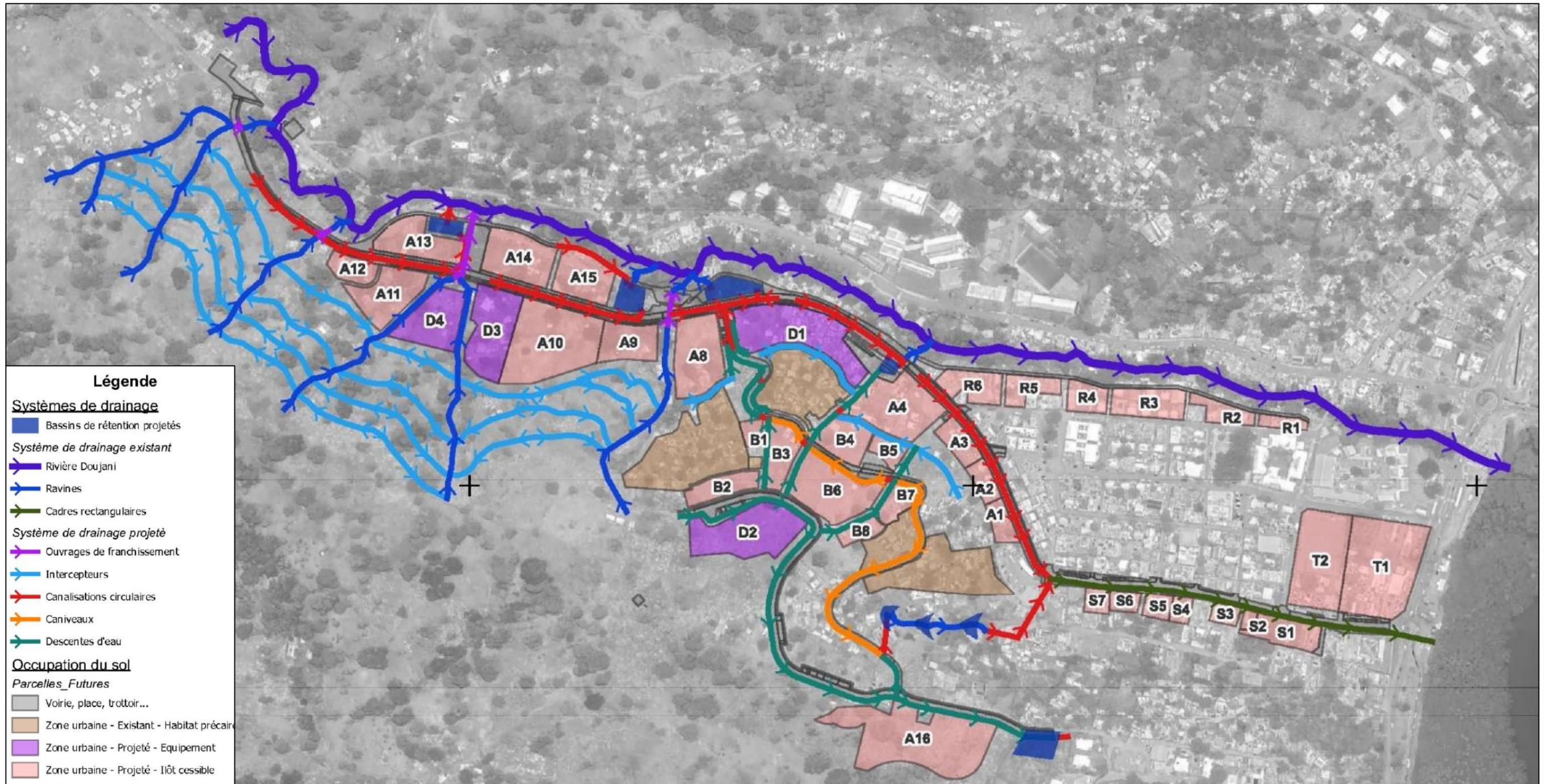


Figure 59 : Cartographie des différents aménagements de gestion des eaux pluviales

### **5.3.3. METHODE DE DIMENSIONNEMENT DES INFRASTRUCTURES DE DRAINAGE DES EAUX PLUVIALES**

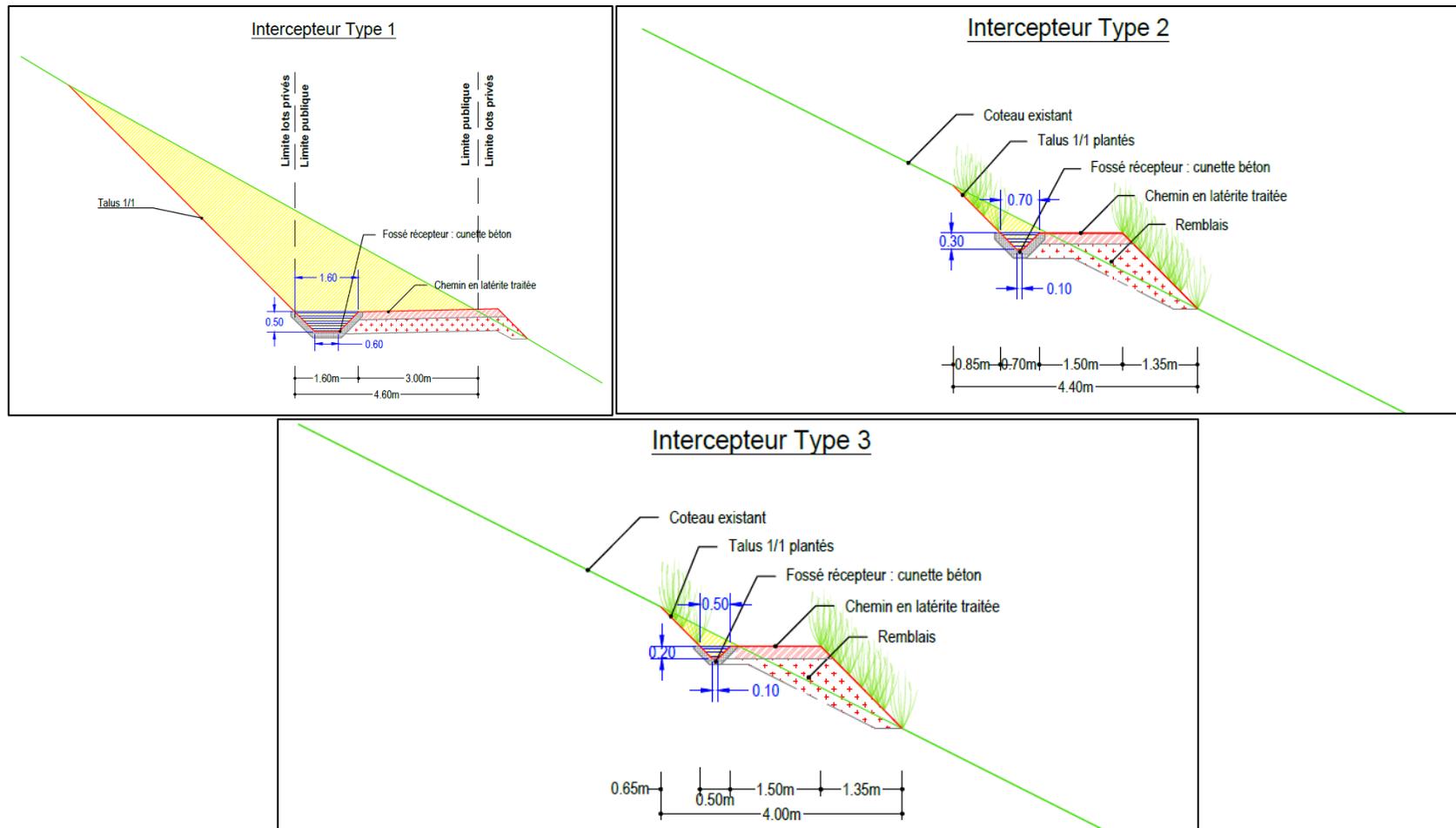
Les différentes infrastructures de drainage des eaux pluviales ont été dimensionnées au moyen d'une modélisation hydrologique et hydraulique de la manière suivante, conformément aux objectifs de protection fixés précédemment :

- Les intercepteurs et les descentes d'eau ont été dimensionnées afin d'assurer la collecte des eaux de ruissellement d'un événement pluvieux de période de retour 20 ans sans débordement,
- Les ouvrages de rétention ont été dimensionnés de telle manière à assurer le stockage d'un événement pluvieux de période de retour 20 ans en respectant un débit de fuite égal au débit de pointe de période de retour 2 ans en l'état actuel (avant aménagement de la ZAC). Ce débit de fuite a été estimé au travers de l'application de la méthode de Caquot. L'usage de cette méthode se justifie par le fait qu'elle est tout à fait adaptée pour ce type de projet qui concerne une surface totale d'ampleur limitée (moins de 40 hectares, ou comme indiqué dans le Mémento de l'ASTEE quelques dizaines d'hectares),
- Le réseau de drainage de la voirie a été dimensionné afin d'assurer la collecte des eaux de ruissellement d'un événement pluvieux de période de retour 20 ans dans le cas où ce réseau n'est pas connecté à un bassin de rétention et d'un événement pluvieux de période de retour centennale dans le cas contraire,
- Les ouvrages de franchissement des ravines existantes ont été dimensionnés afin d'assurer l'écoulement des eaux de ruissellement d'un événement pluvieux de période de retour 100 ans sans aucune montée en charge (ouvrage transparent).

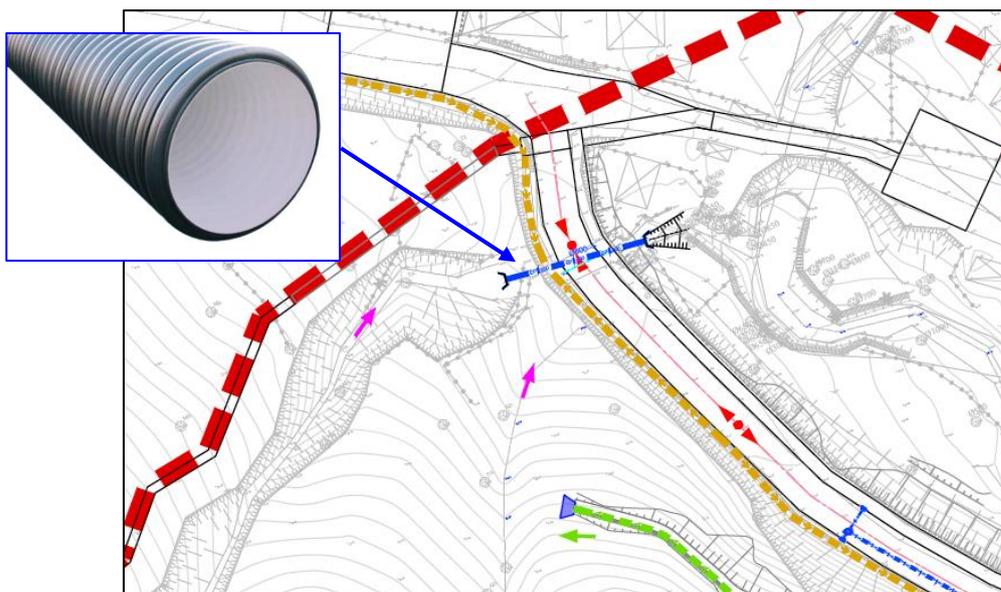
### 5.3.3.1. Présentation des infrastructures de drainage

Les ouvrages hydrauliques à dimensionner sont :

- **Intercepteurs urbains et agricoles :** les ouvrages mis en œuvre au sein des coteaux correspondent à des cunettes béton de dimensions variables (intercepteur n°1 à n°3). Ci-dessous les trois types d'ouvrage mis en œuvre,



- **Ouvrages hydrauliques de franchissement** : buse (PVC) de section circulaire.

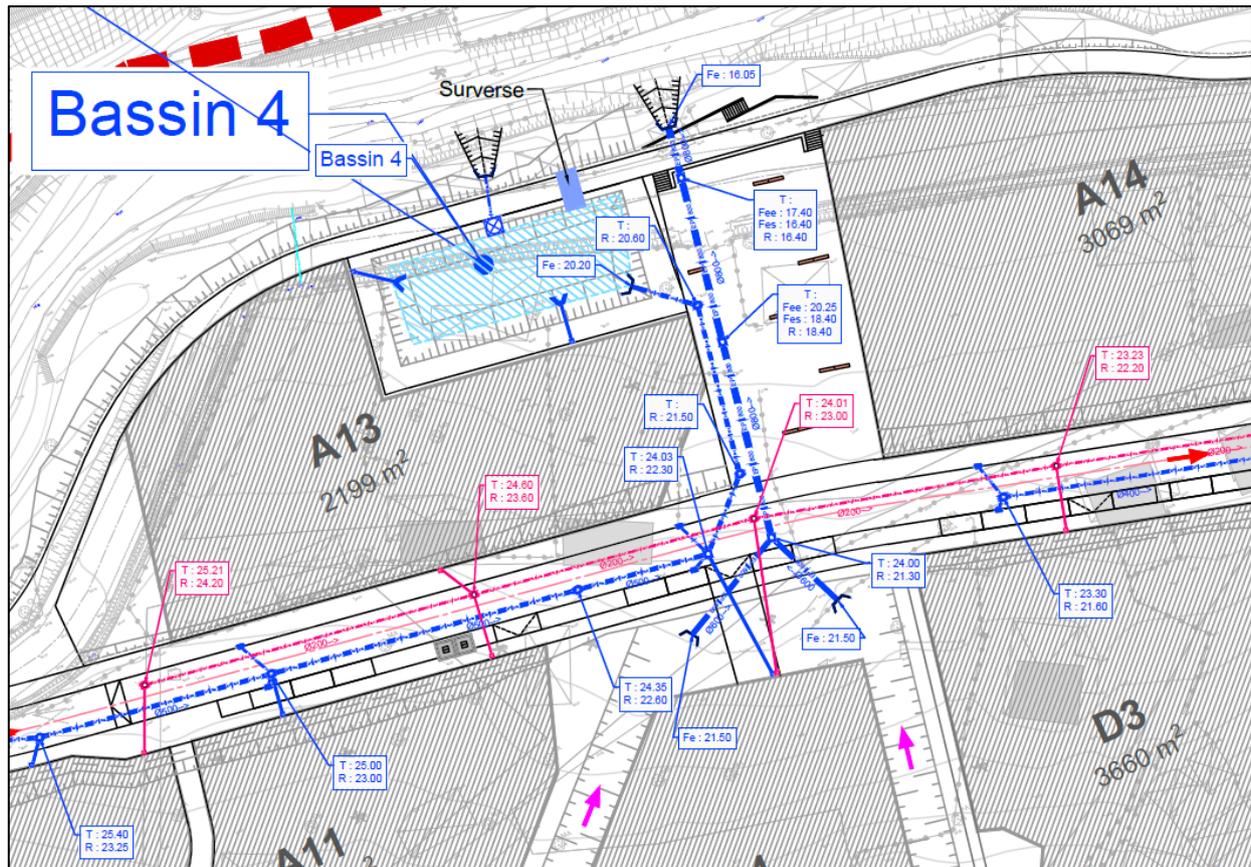


- **Ouvrages hydrauliques de gestion des eaux pluviales des voiries** :

EP Ø 200	EP Ø 200	EP Ø 200	EP Ø 200	EP Ø 200	Réseau d'eaux pluviales Ø200
EP Ø 250	EP Ø 250	EP Ø 250	EP Ø 250	EP Ø 250	Réseau d'eaux pluviales Ø250 à créer
EP Ø 300	EP Ø 300	EP Ø 300	EP Ø 300	EP Ø 300	Réseau d'eaux pluviales Ø300
EP Ø 400	EP Ø 400	EP Ø 400	EP Ø 400	EP Ø 400	Réseau d'eaux pluviales Ø400
EP Ø 500	EP Ø 500	EP Ø 500	EP Ø 500	EP Ø 500	Réseau d'eaux pluviales Ø500
EP Ø 600	EP Ø 600	EP Ø 600	EP Ø 600	EP Ø 600	Réseau d'eaux pluviales Ø600
EP Ø 800	EP Ø 800	EP Ø 800	EP Ø 800	EP Ø 800	Réseau d'eaux pluviales Ø800
[Thick blue line]					Branchement d'eaux pluviales
[Thick blue line]					Dalot intercepteur
[Blue line with triangles]					Intercepteur
[Purple line with 'C']					Caniveau béton
[Green line with arrows]					Descente d'eau tuilée
[Black dashed line]					Enrochement brise énergie 150/200 libre
[Yellow line with arrows]					Fossé existant à curer

Pour l'intégralité des ouvrages hydrauliques de franchissement et de gestion des eaux pluviales, un entretien de ces derniers sera nécessaire afin de garantir leur efficacité (capacité hydraulique maximale). Sur ce type d'ouvrage enterré ou couvert, un entretien par hydrocurage devra être réalisé sur la totalité du linéaire mis en œuvre définie par la maîtrise d'œuvre lors de la conception des aménagements.

- **Bassins de rétention :** ouvrages permettant de compenser l'impact de l'imperméabilisation des voiries sur les débits rejetés. Il s'agira de bassins de rétention à ciel ouvert.



### 5.3.3.2. Justification de la mise en œuvre d'une modélisation pour le dimensionnement des infrastructures de drainage

Afin de réaliser l'ensemble des dimensionnements, le bureau d'études de maîtrise d'œuvre a mis en œuvre un modèle hydrologique et hydraulique sous PC-SWMM.



L'intérêt d'une telle modélisation réside dans le fait qu'elle permet d'appréhender de manière fine la dynamique des ruissellements et des écoulements au droit de la zone d'étude et de dimensionner plus finement les différentes infrastructures de drainage.

## 5.3.4. MODELISATION DES RESEAUX D'EAUX PLUVIALES

### 5.3.4.1. Modèle hydrologique

La première étape de construction du modèle a consisté à construire le modèle hydrologique.

Pour ce faire, les étapes suivantes ont été mises en œuvre :

- Import des pluies de projet de périodes de retour 20 et 100 ans,
- Import des sous-bassins versants et de leurs caractéristiques,
- Définition de la méthode de transformation pluie-débit (méthode du réservoir linéaire de Desbordes),
- Définition des paramètres de simulation hydrologique.

**Les détails de la méthodologie appliquée et des calculs se trouvent en annexe 6.1 du présent document (cf. rapport d'étude hydraulique – janvier 2023) réalisé par le bureau d'étude GROUPEHUIT.**

Les cartographies ci-après mettent en évidence les grands bassins versants ainsi découpés et caractérisés mais également les sous-bassins versants ainsi que leur coefficient de ruissellement associés (cartographie détaillée présente en annexe 6.2 du document).

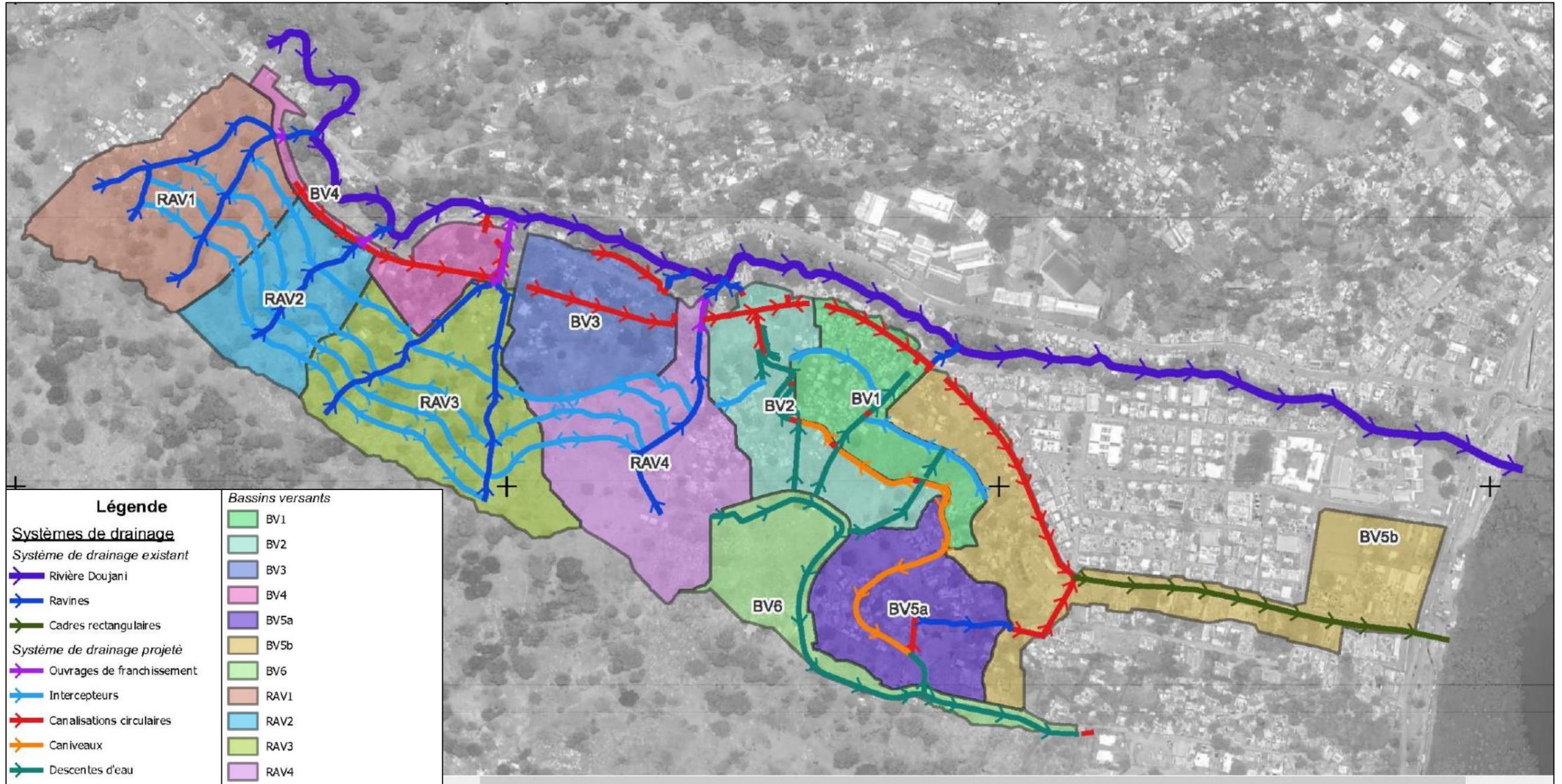
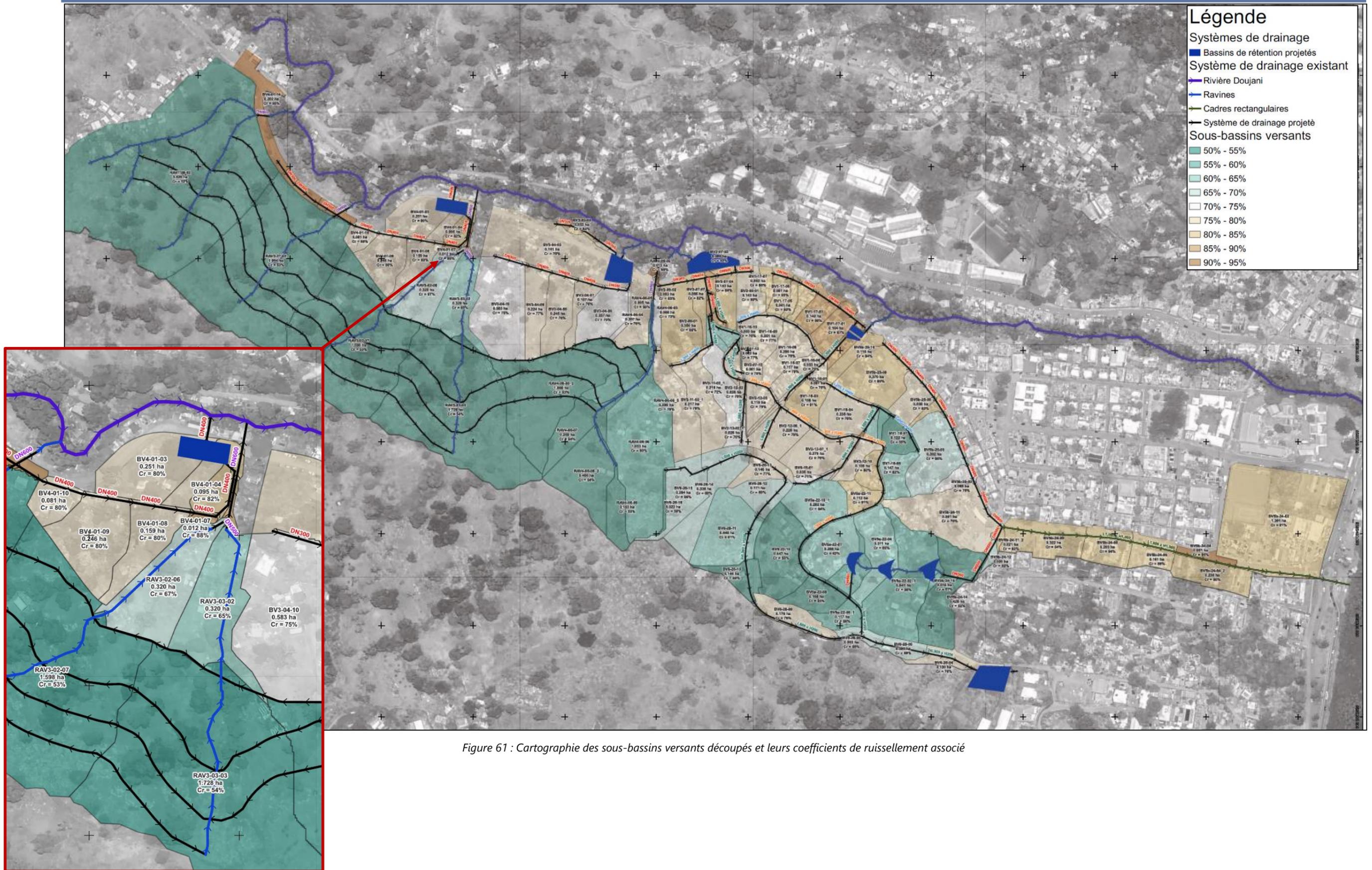


Figure 60 : Cartographie des principaux bassins versants associés aux ouvrages de franchissement et de rétention



### 5.3.4.2. Modèle hydraulique

La construction du modèle hydraulique a ensuite été réalisée en suivant les étapes suivantes :

- Import du tracé des ouvrages existants et projetés et saisie des formes et dimensions des infrastructures du réseau :
  - Profils trapézoïdaux pour les intercepteurs avec des pentes de talus de 1/1, une profondeur maximale de 0.4 m et une pente du profil en long de 2%,
  - Cadres ouverts pour les descentes d'eau le long des escaliers et des voiries à forte pente, d'une largeur de 0.5 m et d'une hauteur de 0.25 m,
  - Conduites circulaires ou cadres rectangulaires (caniveaux) pour le drainage de la voirie or zones à fortes pentes et les alimentations et vidanges de bassins, avec un diamètre maximal de 800 mm,
- Saisie manuelle des débits de fuite et superficies des bassins de rétention,
- Ajustement des profils en long des infrastructures afin de s'adapter aux contraintes topographiques existantes,
- Définition des nœuds exutoires des sous-bassins versants,
- Définition des conditions aux limites aval (calcul de type hauteur normale),
- Définition des paramètres de simulation hydraulique.

La figure ci-après présente une vue du modèle ainsi construit sur la zone d'étude.

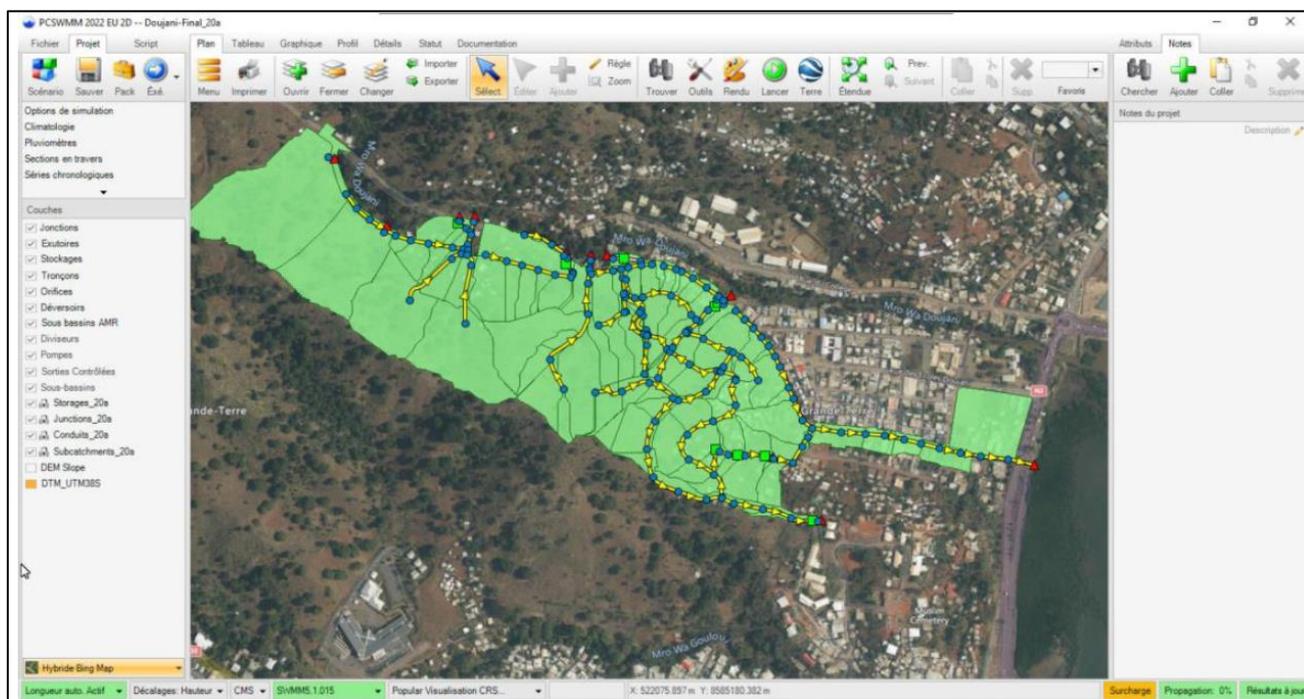


Figure 62 : Vue en plan du modèle hydrologique et hydraulique sous PCSWMM

### 5.3.4.3. Résultats des dimensionnements

Le réseau de drainage a été dimensionné en deux temps :

- Dans un premier temps, les intercepteurs, les descentes d'eau, les bassins de rétention ainsi que le réseau de drainage de la voirie ont été dimensionnés en s'appuyant sur la simulation de la pluie de projet de période de retour 20 ans,
- Dans un second temps, les ouvrages de franchissement ont été dimensionnés de telle manière à assurer l'absence de débordement sur la route pour la pluie de projet de période de retour 100 ans.

La vue en plan ci-dessous présente un extrait des différents dimensionnements ainsi réalisés. (Cartographie détaillée présente en annexe 6.3 du document).

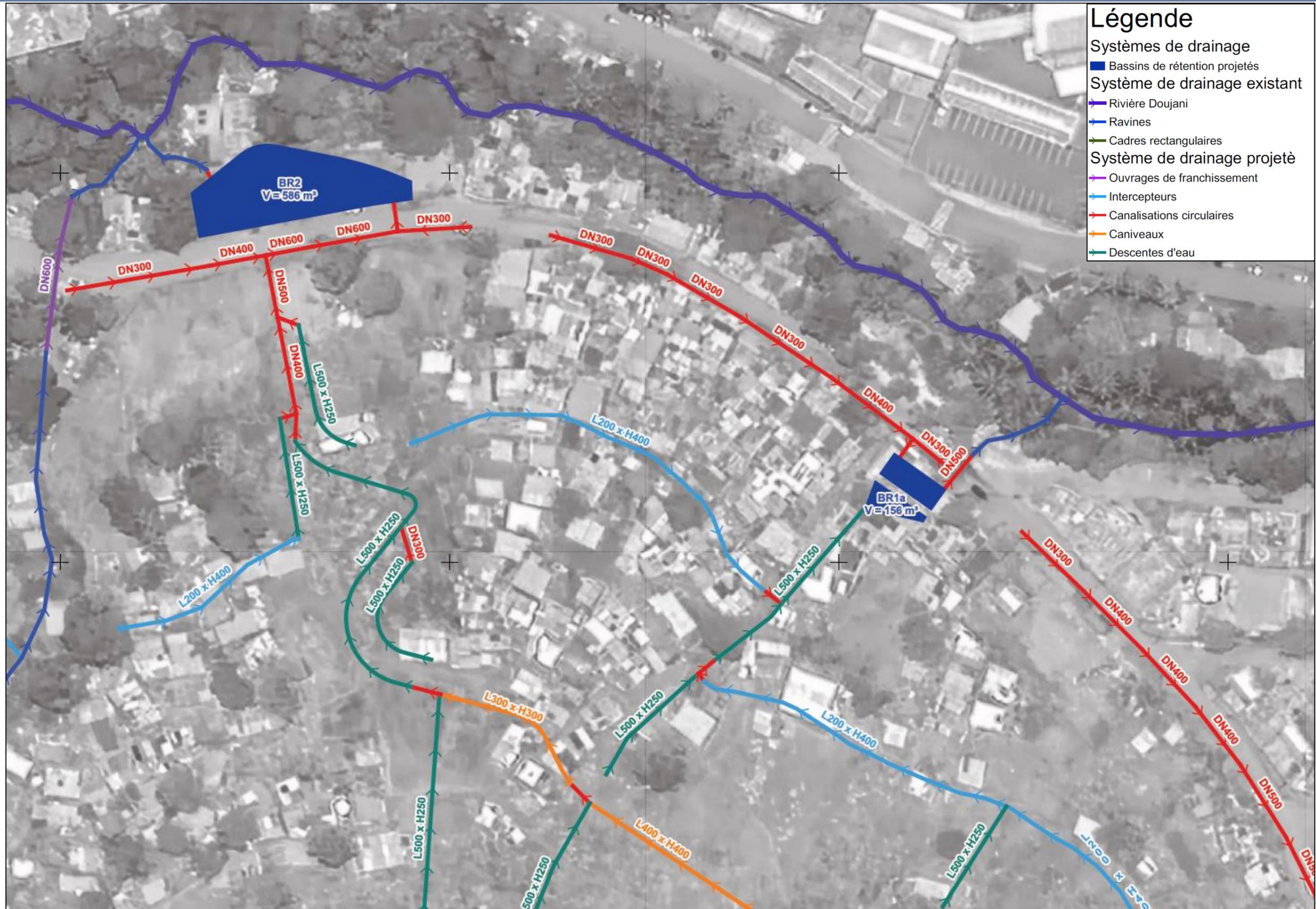


Figure 63 : Extrait de la vue en plan détaillée des différents dimensionnements

### 5.3.5. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME MODELISE

#### 5.3.5.1. Fonctionnement des bassins de rétention projetés

Les courbes de remplissage en volume des 5 bassins de rétention projetés pour les périodes de retour 20 et 100 ans sont mises en évidence dans la note hydraulique, un extrait est présenté ci-dessous.

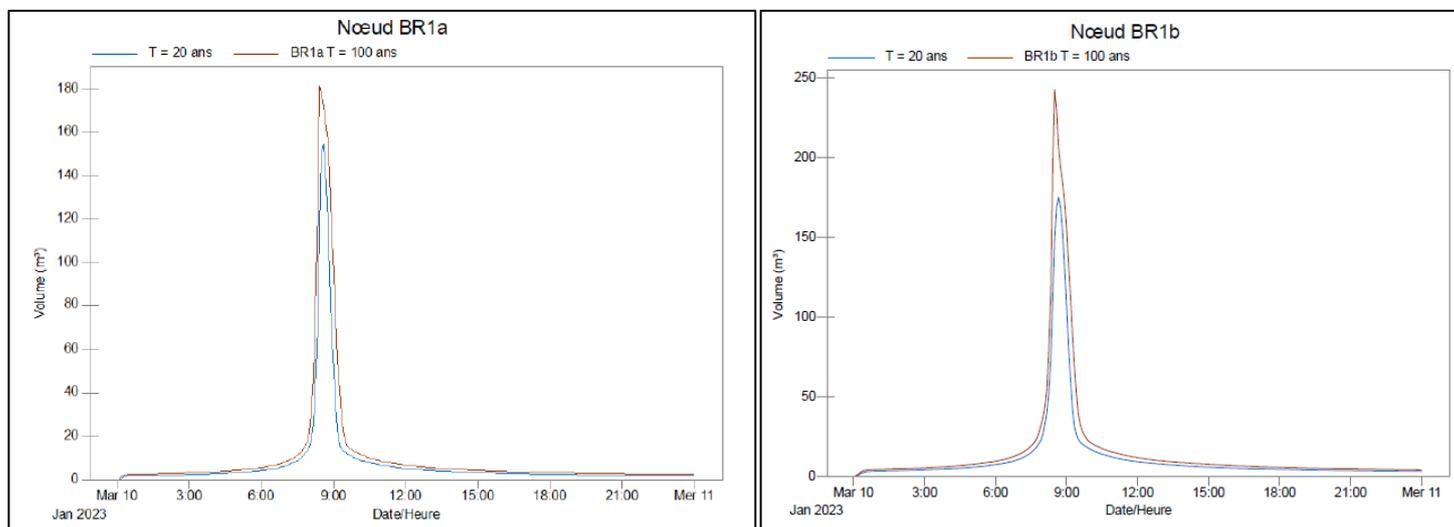


Figure 64 : Evolution du remplissage du bassin de rétention BR1 au nœud BR1a et BR1b – périodes de retour 20 et 100 ans

#### 5.3.5.2. Analyse de la capacité de l'ouvrage cadre existant rue de la Carrière

Actuellement, un ouvrage cadre en béton de dimensions 1,00m par 1,00m a déjà été mis en œuvre dans la partie Est de la rue de la Carrière. La capacité hydraulique de cet ouvrage a été évaluée et intégrée dans la modélisation hydraulique.

La figure ci-après présente le profil en long du cadre existant et la ligne d'eau maximale pour les périodes de retour 20 et 100 ans.

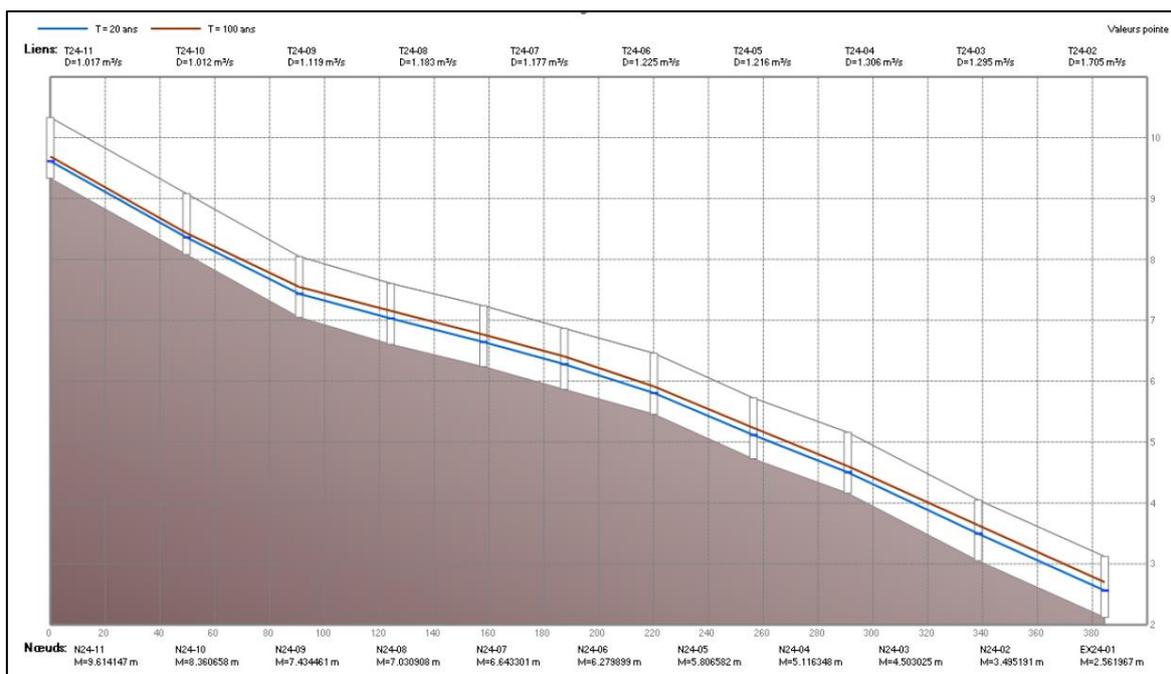


Figure 65 : Profil en long de l'ouvrage cadre existant sur la rue de la carrière

Les simulations mettent en évidence que le cadre existant est suffisamment dimensionné et ne présente aucun débordement pour les périodes de retour de 20 et 100 ans, la revanche minimale avant débordement étant de l'ordre de 50 cm pour l'événement centennal.

Les débits de pointe atteints au droit de l'exutoire de ce cadre sont respectivement de 1.7 et 2.4 m<sup>3</sup>/s pour les périodes de retour 20 et 100 ans.

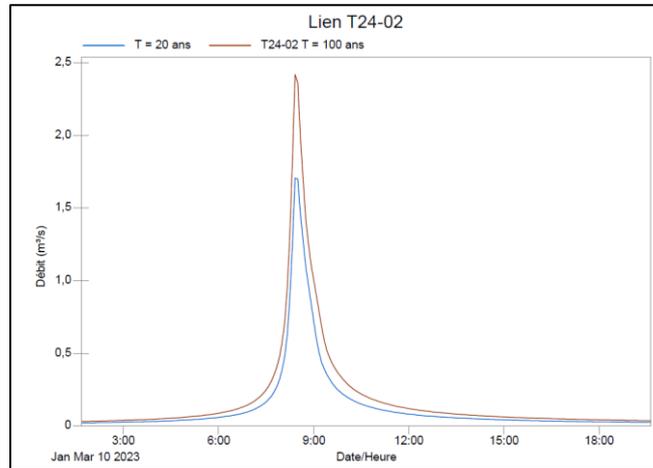


Figure 66 : hydrogrammes simulés au droit de l'exutoire de l'ouvrage cadre de la rue de la Carrière

### 5.3.5.3. Analyse des vitesses d'écoulement dans le réseau projeté

La carte ci-après présente les vitesses d'écoulement maximales simulées dans le réseau projeté pour la période de retour 20 ans.

Il apparaît que les vitesses d'écoulement sont généralement élevées, en particulier le long des escaliers projetés et de la voirie cinétique sud.

Afin de dissiper l'énergie sur ces sections, il a été proposé de mettre en œuvre des descentes d'eau utilisées généralement pour les descentes de talus dans le cadre des aménagements routiers.

Par rapport aux produits disponibles sur le marché, les plus grandes dimensions utiles sont de L0.25mxH0.50m, comme mis en évidence dans la figure ci-après (modèle DE02 de Plattard) :

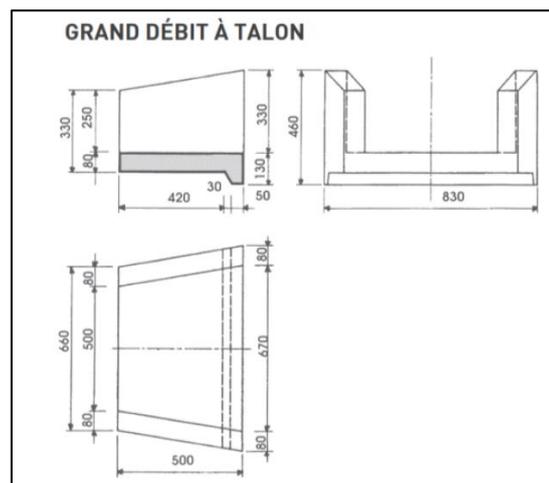


Figure 67 : hydrogrammes simulés au droit de l'exutoire de l'ouvrage cadre de la rue de la Carrière

Ce type de descentes d'eau permet de générer des turbulences qui font office de brise-charges et permettent de dissiper graduellement l'énergie cinétique accumulée et donc les vitesses d'écoulement.

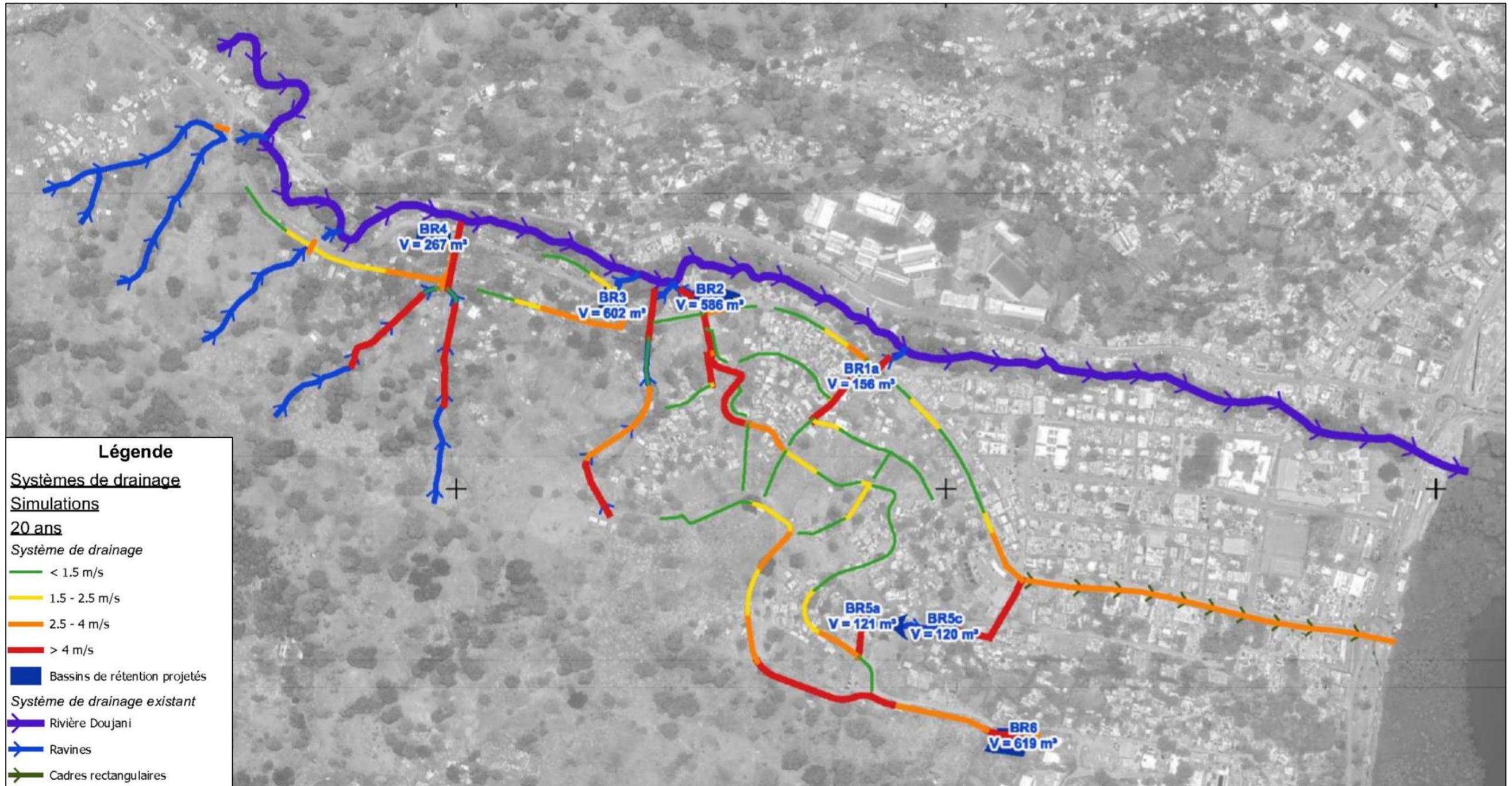


Figure 68 : Cartographie des vitesses d'écoulement maximales simulées pour la période de retour 20 ans.

#### 5.3.5.4. Mise en évidence des débordements pour la pluie de projet de période de retour 100 ans

La quasi-intégralité du système ayant été dimensionné pour la pluie de projet de période de retour 20 ans, la pluie de projet de période de retour 100 ans a été simulée afin d'analyser l'impact en termes de débordements. La vue en plan ci-après met en évidence les différents points de débordement ainsi que les volumes débordés, qui représentent un volume total de 35 m<sup>3</sup>.

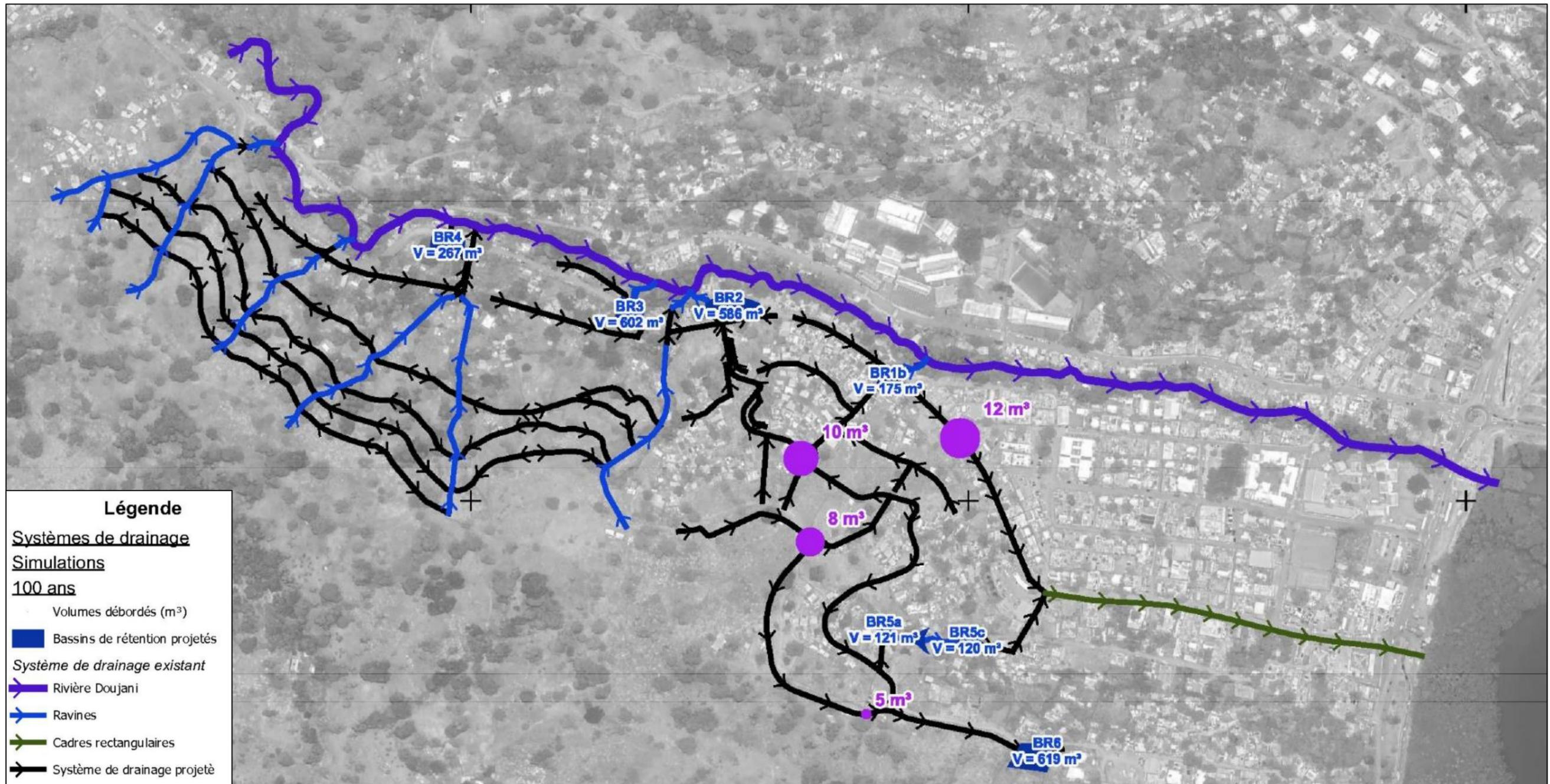


Figure 69 : Cartographie des points de débordements et volumes associés pour la crue d'occurrence centennale

## 5.4. MESURES COMPENSATOIRES POUR LES ECOULEMENTS PLUVIAUX

Pour pallier à l'effet de l'imperméabilisation, des ouvrages de rétention type bassins végétalisés seront mis en place.

Les bassins sont deux ouvrages, permettant de collecter et de réguler les eaux de pluie et de ruissellement en ralentissant leur écoulement vers un exutoire.

L'exutoire peut être le réseau d'assainissement pluvial traditionnel, le milieu hydraulique superficiel ou un système d'infiltration.

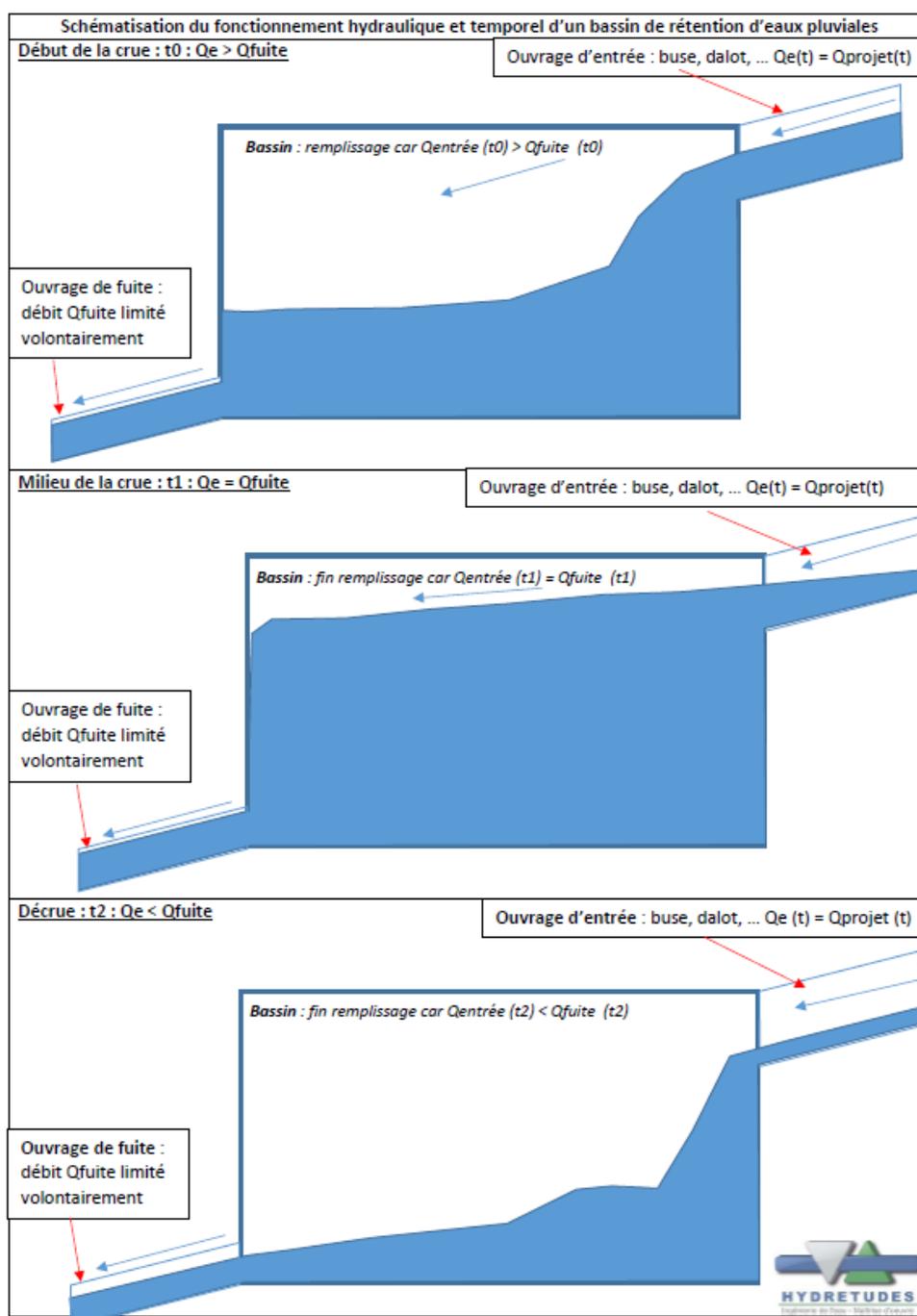


Figure 70 : Schéma fonctionnel du bassin de rétention

### 5.4.1. EVALUATION DES DEBITS DE FUITE DES BASSINS DE RETENTION

L'application de la méthode de Caquot pour le calcul des débits de pointe de période de retour 2 ans a permis de déterminer les débits de fuite à appliquer aux 5 bassins de rétentions à aménager dans le cadre de ce projet :

BV	Superficie totale (ha)	Tc retenu (minutes)	Débit de pointe de caquot avec coefficients de Montana locaux (l/s)	Débit de fuite retenu (l/s)
BV1	1.981	3.7	403.2	400
BV2	2.447	4.3	411.7	410
BV3	2.237	4.6	349.2	350
BV4	1.208	3.3	230.5	230
BV5	2.627	5.7	452.1	445
BV6	2.009	6.3	193.9	190

Figure 71 : Calcul des débits de fuite des bassins de rétention à aménager

### 5.4.2. DIMENSIONNEMENT DES BASSINS DE RETENTION

Les caractéristiques des bassins de rétention et des ouvrages connexes issues des simulations sont mises en évidence dans le tableau ci-après.

BR	Volume (m <sup>3</sup> )	Débit de fuite retenu (l/s)	Hauteur maximale (m)	Diamètre de l'orifice de régulation (mm)	Type de déversoir	Dimensions du déversoir	Débit déversé T = 100 ans (l/s)
BR1a	156.00	310.00	2.50	300	Circulaire	Ø300mm	280
BR1b	175.00	400.00	1.70	380	Circulaire	Ø300mm	290
BR2	586.00	410.00	1.30	415	Rectangulaire	L=3.0m	390
BR3	602.00	350.00	1.40	375	Rectangulaire	L=3.0m	470
BR4	267.00	230.00	1.40	300	Rectangulaire	L=2.0m	220
BR5a	121.00	300.00	1.00	385	Rectangulaire	L=2.0m	230
BR5b	95.00	355.00	1.00	420	Rectangulaire	L=2.5m	295
BR5c	120.00	445.00	1.00	475	Rectangulaire	L=3.0m	365
BR6	619.00	190.00	1.00	300	Rectangulaire	L=2.5m	335

Figure 72 : Synthèse des volumes de rétention à implanter

Dans le cadre de la modélisation hydraulique, le fonctionnement de chaque bassin de rétention projeté a été analysé. Les courbes de remplissage en volume des différents bassins de rétention ont été réalisées pour les périodes de retour 20 ans et 100 ans.

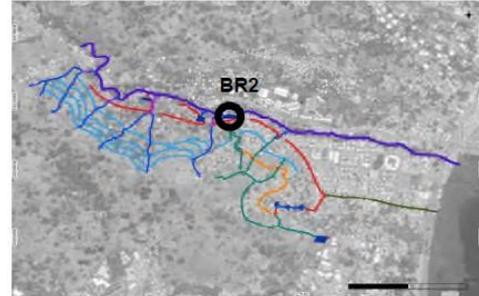
Une fiche de synthèse (annexe 6.9 du document) associée à chaque ouvrage de rétention a également été réalisée.

## FICHE SYNTHETIQUE - BASSIN DE RETENTION BR2

### Caractéristiques générales

Code : **BR2**  
X (WGS84/UTM38N) : **522 759**  
Y (WGS84/UTM38N) : **8 585 696**  
Emprise : **645 m<sup>2</sup>**  
Superficie du bassin versant contrôlé : **2.45 ha**  
Volume utile : **586 m<sup>3</sup>**

### Localisation



### Ouvrage de régulation (T = 20 ans)

Cote radier : **14.70 m**  
NPHE : **16.00 m**  
Hauteur d'eau maximale : **1.30 m**  
Diamètre de l'orifice de régulation : **Ø415mm**  
Débit de fuite (T = 2 ans, état actuel) : **410 l/s**

### Déversoir (T = 100 ans)

Type de déversoir : **Seuil**  
Longueur : **3 m**  
Lame d'eau maximale : **15 cm**  
Débit de pointe déversé  
(T = 100 ans) : **390 l/s**

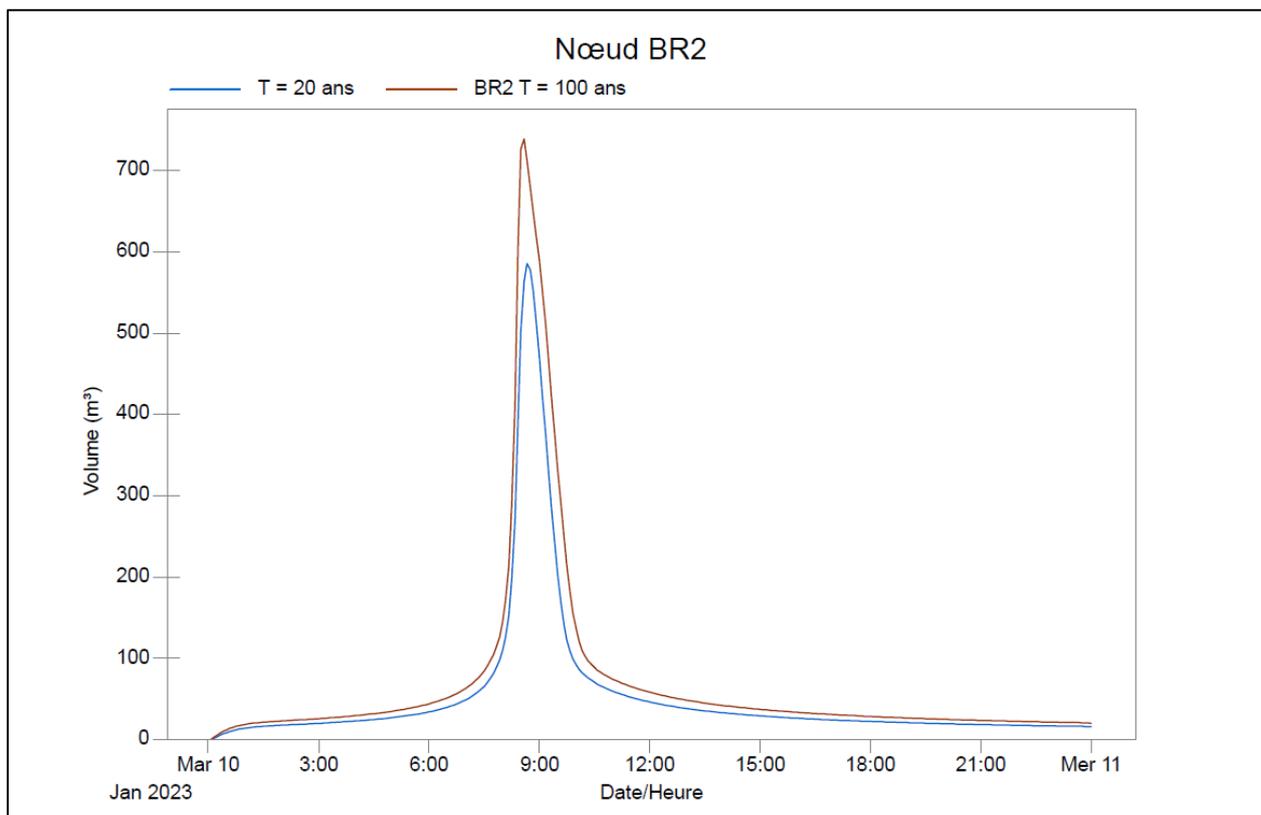


Figure 73 : Evolution du remplissage du bassin de rétention BR2 – périodes de retour 20 et 100 ans

### 5.4.3. NATURE DES AMENAGEMENTS PROPOSES

Il sera mis en œuvre **une solution de rétention**, réalisée au moyen de bassins végétalisés. Ces bassins ont pour objectif de traiter les volumes excédentaires induits par l'imperméabilisation des sols (espaces publics, îlots urbanisés et voiries).

Ces ouvrages ont été dimensionnés conformément :

- A la norme EN NF 752-2 ;
- Au Guide de gestion durable des eaux pluviales à Mayotte ;
- Au Schéma Directeur des Eaux Pluviales de la Commune de Doujani.

Les ouvrages de rétention ont été dimensionnés de telle manière à assurer le stockage d'un événement pluvieux de période de retour 20 ans en respectant un débit de fuite égal au débit de pointe de période de retour 2 ans en l'état actuel (avant aménagement de la ZAC).

Ce débit de fuite a été estimé au travers de l'application de la méthode de Caquot. L'usage de cette méthode se justifie par le fait qu'elle est tout à fait adaptée pour ce type de projet qui concerne une surface totale d'ampleur limitée (moins de 40 hectares, ou comme indiqué dans le Mémento de l'ASTEE quelques dizaines d'hectares).

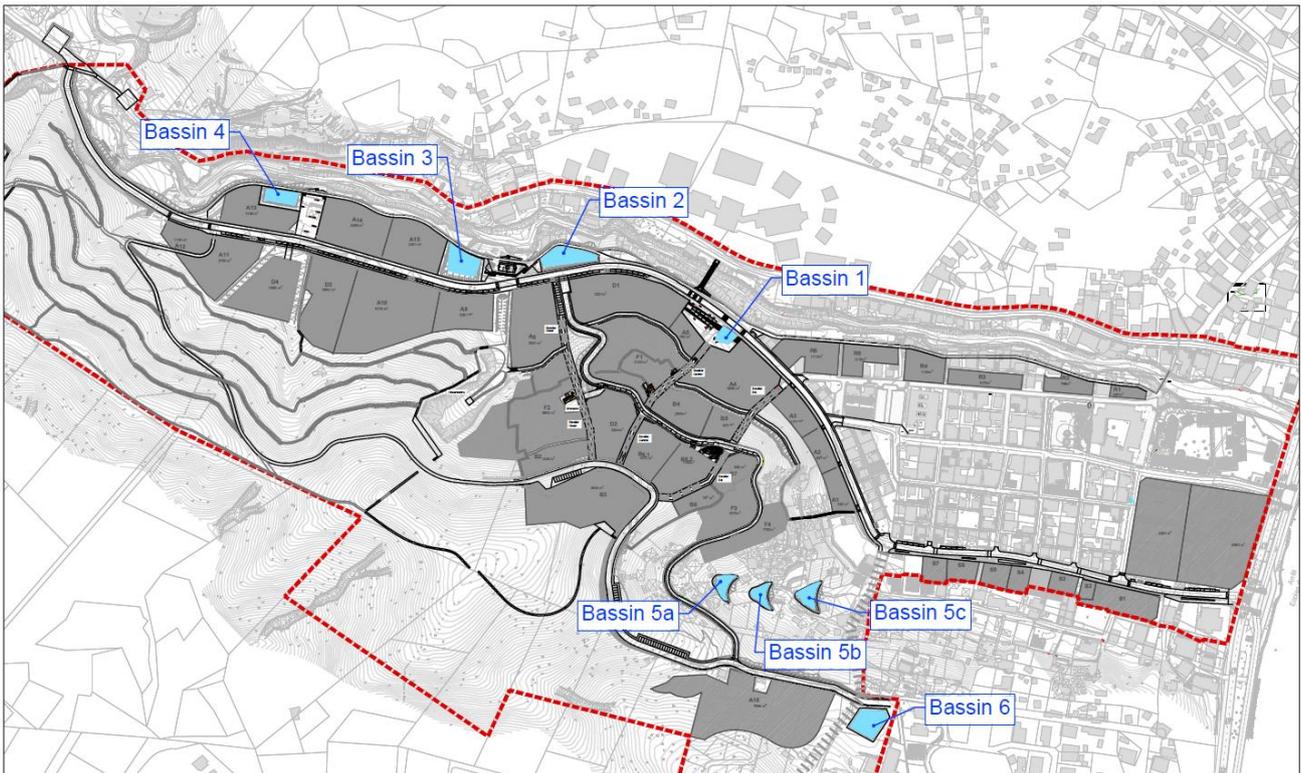


Figure 74 : Plans d'implantation des bassins de rétention sur l'emprise du projet de ZAC

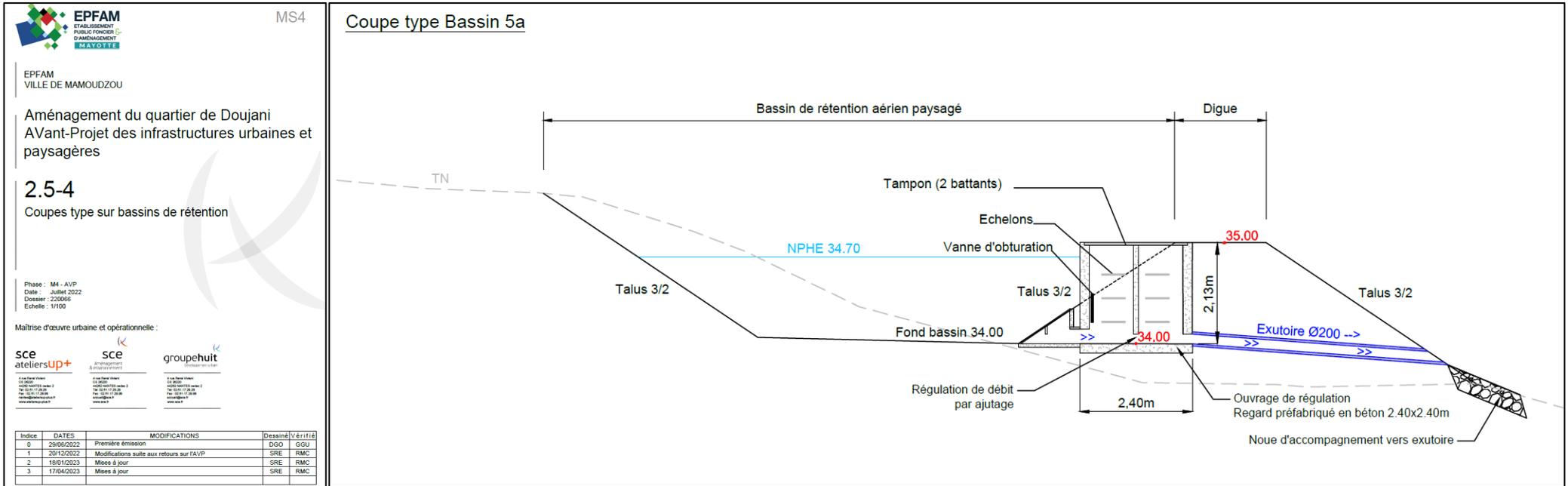


Figure 75 : Exemple de coupes type des bassins de rétention

L'ensemble des coupes type relatives aux différents bassins de rétention mis en œuvre dans le cadre du projet de ZAC se trouve en annexe 6.7 du présent document.

#### **5.4.4. PRECISIONS SUR LES BASSINS DE RETENTION**

- Les bassins de rétention doivent être dimensionnés afin d'être vidés dans les 48 heures et ne pas favoriser le développement des gîtes larvaires ;
- Des dispositifs de régulation à orifices multiples seront mis en œuvre afin de permettre la régulation des débits Q2, Q5, Q10 et Q20 avant surverse ;
- Les bassins de rétention à ciel ouvert mis en œuvre seront sécurisés par la mise en place de clôtures adaptées.

#### **5.4.5. ENTRETIEN GENERAL**

Il est impératif de procéder à des opérations régulières d'entretien pour :

- Garantir un bon écoulement des eaux,
- Maintenir les performances des ouvrages de franchissements des thalwegs et des bassins,
- Préserver le site.

Il s'agit :

- D'une surveillance périodique (plusieurs fois par an, après chaque crue importante) pour le nettoyage des thalwegs, l'enlèvement des végétaux et blocs éventuellement transportés, la détection de produits suspects, etc.
- De l'entretien de la végétation en amont des ouvrages (fauchage, élagage, abattage et dessouchage d'arbres instables).

L'implantation des ouvrages en plein cœur du projet de résidence rend visible aux yeux de tous l'état des aménagements hydrauliques. Une attention particulière devra être portée aux déchets éventuellement jetés en fond de lit. La mise en place de poubelles en haut de berges (parkings et promenade piétonne) permettra de limiter ce désagrément.

#### **5.4.6. ENTRETIEN DES OUVRAGES ET RESEAUX**

Le curage régulier de l'ensemble des fossés jusqu'à leur l'exutoire (thalweg) est indispensable à leur bon fonctionnement. En effet, les divers matériaux qui encombrent les ouvrages hydrauliques de traversée des routes limitent la capacité hydraulique de transit de ces ouvrages.

A minima, les opérations d'entretien suivantes devront être réalisées par les services de la commune à une fréquence variable selon les conditions de développement de la végétation et d'encombrement des ouvrages de collecte :

- Ouvrage d'art (hors voirie et trottoirs) :
  - Garde-corps : nettoyage, purge, entretien ponctuel,
  - Nettoyage du cours d'eau,
- Voiries :
  - Revêtement de chaussée : nettoyage, purge, entretien ponctuel, y compris signalisation temporaire,
  - Renouvellement de couche de surface,
  - Trottoirs : nettoyage, purge, entretien ponctuel, y compris signalisation temporaire,
  - Garde-corps : réparation ponctuelle,
  - Signalisation : réparation signalisation horizontale, renouvellement signalisation verticale,
  - Espaces verts : entretien, replantation ponctuelle,
  - Réseau Eaux Pluviales : nettoyage des grilles, curage.
- Bassin de rétention : curage avant la saison des pluies et après chaque événement pluvieux important.

## 5.5. INCIDENCES SUR LES ECOULEMENTS DE LA RIVIERE MRO OUA DOUJANI ET SES AFFLUENTS

### 5.5.1. CHOIX DES PERIODES DE RETOUR

L'étude de la période de retour  $T = 100$  ans est nécessaire pour l'analyse des impacts du projet sur les écoulements de la rivière Doujani (par application du PPR).

### 5.5.2. PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENTS

Le projet prévoit l'implantation d'un ouvrage de franchissement de type passerelle piétonne dans son périmètre, ainsi que la mise en œuvre de plusieurs ouvrages de transparences hydrauliques au niveau des affluents. Le principe de **non-aggravation du risque** par ces ouvrages entre l'état projet et l'état initial pour la période de retour centennale (et inférieures) sera appliqué.

**Les ouvrages permettront donc de faire passer une crue d'occurrence centennale tout en permettant la circulation des riverains et différents usagers. Il permettra le désenclavement du secteur d'étude et la sécurisation des usagers.**

### 5.5.3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

#### 5.5.3.1. Présentation des bassins versant à l'état initial

Plusieurs sous bassins versants doivent être pris en compte dans le cadre de ce projet. Il s'agit de gérer à la fois les eaux de ruissellements provenant des versants Nord et Sud sur l'emprise du projet de ZAC mais surtout les eaux provenant du bassin versant de la rivière Mro Oua Doujani.

Les différents bassins versants influant sur le secteur d'étude ont été identifiés. Ces derniers ont été cartographiés à partir des levés topographiques réalisés dans le cadre de cette étude et de la Litto 3D à 1m disponible sur l'ensemble de Mayotte.

Les caractéristiques morphométriques et géographiques de chaque bassin ont été extrapolées et utilisées pour la détermination des temps de concentration puis des débits de références :

- **Superficie du BV,**
- **Altitude amont,**
- **Altitude aval,**
- **Altitude médiane,**
- **Pente,**
- **Allongement.**

Pour chaque bassin versant, une analyse a été effectuée afin de déterminer :

- **La proportion de surface imperméabilisée,**
- **Le type d'occupation du sol,**
- **Les observations diverses.**

Les bassins versants cartographiés ont été numérisés sous la forme d'une table QGIS. Une cartographie des bassins versants est présentée ci-après.

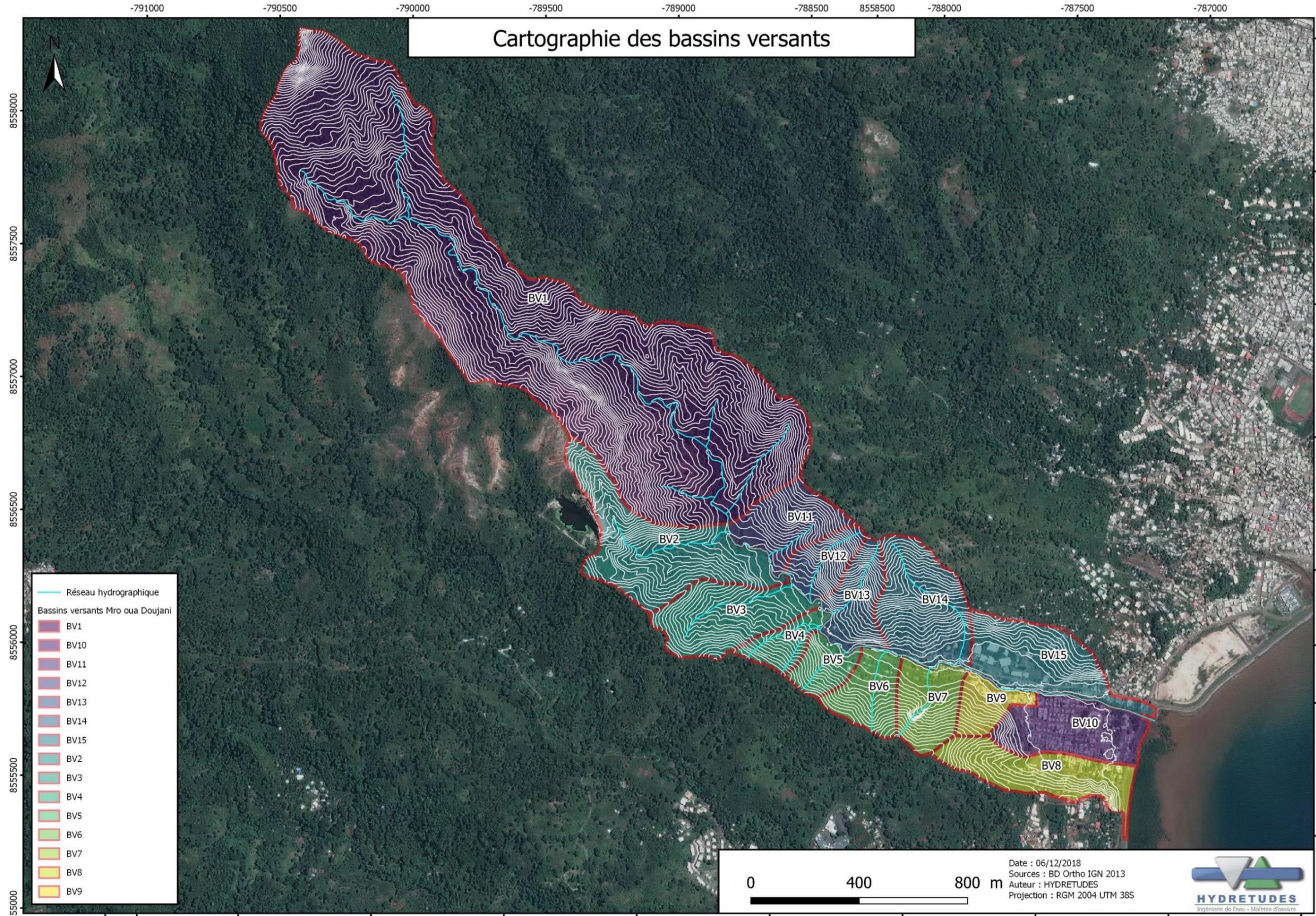


Figure 76 : Cartographie des bassins versants de la rivière Mro Oua Doujani à l'état initial

### 5.5.3.2. Caractéristiques des bassins versant à l'état initial

#### 5.5.3.2.1. *Caractéristiques hydromorphologiques*

Les caractéristiques des bassins versants de la zone d'étude sont les suivantes :

Nom	Surface (en hectare)	Alt max (en m)	Alt min (en m)	Longueur du BV (en m)	Pente moyenne (en m/m)	Perimetre (en km <sup>2</sup> )
BV1	120.34	485	45	3050	0.14	6.04
BV2	19.07	215	30	1309	0.14	2.59
BV3	11.49	125	25	730	0.14	1.56
BV4	3.83	115	25	370	0.24	0.95
BV5	3.92	100	20	316	0.25	0.84
BV6	6.17	100	15	410	0.21	1.07
BV7	7.19	100	10	520	0.17	1.11
BV8	10.81	100	0	780	0.13	1.99
BV9	4.17	85	5	410	0.20	0.95
BV10	10.86	60	0	600	0.10	1.5
BV11	8.11	160	35	570	0.22	1.34
BV12	4.78	160	30	410	0.32	0.89
BV13	6.56	160	25	710	0.19	1.22
BV14	13.14	155	10	670	0.22	1.48
BV15	12.31	65	0	880	0.07	1.83

Figure 77 : Caractéristiques des bassins versants

#### 5.5.3.2.2. *Détermination du temps de concentration*

Le temps de concentration correspond au temps que met le ruissellement d'une averse pour parvenir à l'exutoire depuis le point du bassin le plus éloigné.

Les temps de concentrations ont été déterminés à partir des caractéristiques hydromorphologiques présentées dans le tableau précédent. Comme indiqué dans le « Guide de Gestion Durables des Eaux pluviales de Mayotte », les formules de Giandotti, Passini, Dujardin, Kirpich et Ven Te Chow ont été utilisées pour estimer le temps de concentration.

Le tableau ci-dessous indique les valeurs retenues pour chacun des bassins versants.

Nom	Tc Passini (min)	Tc Giandotti (min)	Tc Kirpich Ven Te Chow (min)	Tc retenu (min)
BV1	25.29	32.05	19.80	31
BV2	10.52	20.46	10.40	19
BV3	7.46	18.38	6.72	17
BV4	3.11	10.58	3.19	11
BV5	2.92	10.62	2.78	11
BV6	4.08	13.09	3.67	13
BV7	5.08	14.65	4.73	14
BV8	7.72	18.64	7.25	17
BV9	3.70	12.01	3.76	12
BV10	8.03	21.48	6.52	18
BV11	4.84	13.38	4.63	13
BV12	3.03	9.80	3.12	11
BV13	5.21	13.49	5.80	14
BV14	6.03	15.29	5.27	14
BV15	11.05	25.33	9.84	21

Figure 78 : Temps de concentration des bassins versants de la zone d'étude

### 5.5.3.2.3. Cadre hydraulique

Compte tenu du contexte général de la zone d'étude (franchissement de rivières ou talwegs et gestion des eaux pluviales de la future ZAC), l'étude se doit d'être réalisée avec comme base le dimensionnement des ouvrages hydrauliques en Q100 et du réseau d'eaux pluviales en Q20.

En effet, la protection contre les inondations et la gestion des eaux pluviales dans la zone d'étude sont les éléments essentiels à prendre en compte dans le cadre de cette mission.

**La période de retour choisie pour la modélisation hydraulique de la rivière Doujani et ses affluents sera donc de 100 ans.**

### 5.5.3.2.4. Définition du coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est le rapport entre la hauteur d'eau ruisselée à la sortie d'une surface donnée (appelée pluie nette) et la hauteur d'eau précipitée (appelée pluie brute). Il dépend de plusieurs paramètres tels que la nature du sol, son occupation (couverture végétale, sol nu, urbanisation), la pente du terrain et l'intensité de la pluie (le ruissellement augmente avec l'intensité de la pluie).

Bien qu'il se produise une variation du taux de ruissellement au cours d'une pluie (essentiellement sur les terrains non revêtus), du fait de la saturation progressive du sous-sol qui conduit à une diminution de l'infiltration, il est généralement admis un coefficient de ruissellement constant durant l'épisode pluvieux car cette variation est aujourd'hui difficilement quantifiable.

Valeur du coefficient de ruissellement à Mayotte		
Milieu	C10	C100
Rural	0.40	0.62
Urbain	0.75	0.90

Figure 79 : Valeurs des coefficients de ruissellement

Au final, pour un projet donné, le coefficient de ruissellement est donc calculé par pondération des surfaces présentant une occupation homogène avec le coefficient associé selon la formule suivante :

$$C = \frac{\sum(C_i \times S_i)}{S}$$

Où :

- C'est le coefficient de ruissellement pondéré du projet global,
- S est la surface du projet global,
- Si est la surface de l'ensemble des terrains présentant une même occupation du sol,
- Ci est le coefficient de ruissellement à appliquer à chacune des surfaces Si définies.

Les coefficients de ruissellement du bassin versant d'étude ont été déterminés sur la base de l'analyse pédologique sur la photographie aérienne 2013 de la zone, sur le logiciel QGIS. Les valeurs des coefficients de ruissellement retenues pour le bassin versant étudié sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Nom	C 10	C 100
BV1	0.40	0.62
BV2	0.40	0.62
BV3	0.41	0.63
BV4	0.40	0.62
BV5	0.40	0.62
BV6	0.42	0.63
BV7	0.41	0.63
BV8	0.44	0.66
BV9	0.44	0.65
BV10	0.51	0.71
BV11	0.40	0.62
BV12	0.40	0.62
BV13	0.40	0.62
BV14	0.42	0.64
BV15	0.47	0.68

Figure 80 : Coefficients de ruissellement pour chaque bassin versant

#### 5.5.3.2.5. Résultats pour un débit de crue d'occurrence centennale

Enfin, les débits de projet ont été déterminés par application de la méthode rationnelle, dont la formule est la suivante :

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Avec :

- $Q$  = débit de pointe de période de retour  $T$  (en  $m^3/s$ ) ;
- $C$  = coefficient de ruissellement pour la pluie de période de retour  $T$  (sans unité) ;
- $I$  = intensité de la pluie dont la durée est égale au temps de concentration du bassin versant considéré (en  $mm/h$ ) ;
- $A$  = superficie du bassin (en  $ha$ ).

Les résultats pour chaque bassin versant sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Débits de références					
Nom	Q2 (m <sup>3</sup> /s)	Q10 (m <sup>3</sup> /s)	Q20 (m <sup>3</sup> /s)	Q30 (m <sup>3</sup> /s)	Q100 (m <sup>3</sup> /s)
BV1	7.59	19.05	28.48	34.94	39.86
BV2	1.54	3.86	5.76	7.05	8.05
BV3	1.00	2.50	3.71	4.54	5.18
BV4	0.41	1.03	1.54	1.88	2.15
BV5	0.42	1.06	1.58	1.93	2.20
BV6	0.63	1.58	2.33	2.84	3.23
BV7	0.70	1.75	2.58	3.15	3.59
BV8	1.05	2.58	3.73	4.49	5.12
BV9	0.48	1.18	1.71	2.06	2.35
BV10	1.19	2.90	4.02	4.72	5.39
BV11	0.77	1.93	2.89	3.55	4.05
BV12	0.52	1.29	1.93	2.37	2.70
BV13	0.63	1.59	2.37	2.90	3.31
BV14	1.24	3.09	4.55	5.53	6.31
BV15	1.16	2.85	4.04	4.82	5.49

Figure 81 : Débits de projet (période de retour 2, 10, 20, 30 et 100 ans)

## 5.5.4. MODELISATION HYDRAULIQUE 2D

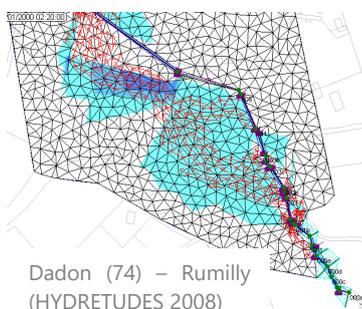
### 5.5.4.1. Présentation du logiciel

#### 5.5.4.1.1. *Module 2D*

InfoWorks 2D est un module intégré au sein du logiciel InfoWorks ICM pour la modélisation des cours d'eau.

#### 5.5.4.1.2. *Intérêt*

L'Analyse de l'extension des zones inondables potentielles et la définition des caractéristiques hydrauliques comme la profondeur et la vitesse des écoulements est un problème complexe, en particulier dans les zones urbaines et /ou endiguées où les infrastructures peuvent réduire les inondations dans certaines zones, tout en les augmentant dans d'autres.



Les simulations en 1D peuvent très bien fournir des informations concernant les débits et les profondeurs d'écoulement sur les plaines d'inondation. C'est une méthode rapide et efficace pour déterminer l'extension maximale du champ d'expansion des crues, mais elle se fonde sur des hypothèses relatives sur le sens des écoulements. Les simulations 1D sont également limitées lorsque des informations détaillées sur les vitesses de ces écoulements sont nécessaires dans des configurations particulières, fortement influencés par les obstructions causées par les infrastructures telles que les routes et les bâtiments.

Dans ce cadre, les simulations en 2D sont mieux adaptées à la modélisation des écoulements pour des géométries complexes telles que les zones urbaines, des digues, des intersections de routes et autres infrastructures de transport et les terrains où les directions des écoulements sont difficiles à prévoir. Les modélisations en 2D nécessitent des données topographiques nombreuses et sont coûteuses en temps de calcul.

La modélisation des événements complexes avec précision et efficacité exige un modèle à la fois 1D et 2D. Le logiciel Infoworks ICM combine à la fois un moteur 1D et 2D. Le modèle combine des éléments unidimensionnels et bidimensionnels.

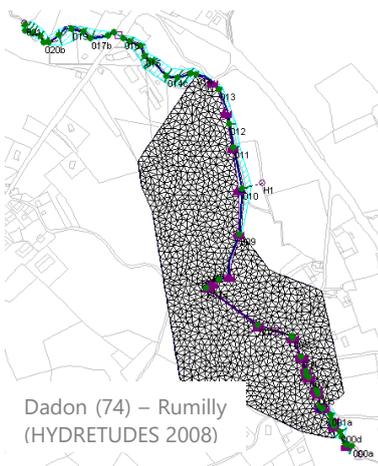
L'utilisation de la simulation 1D permet d'identifier les zones où les inondations se produisent. Une fois que les zones d'intérêt, touchées par les débordements sont identifiées, il est possible de construire le modèle 2D et en utilisant le calcul combinant le 1D et 2D, de déterminer la direction et les hauteurs des écoulements sur le lit majeur.

### 5.5.4.1.3. Moteur hydraulique 2D

Infoworks 2D utilise des algorithmes performants basés sur une méthode type volumes finis pour résoudre l'équation complète de St-Venant utilisant le solveur de Riemann particulièrement adapté aux régimes hydrauliques rapidement variés tels que ceux à travers les rues escarpées, les carrefours et ceux qui sont associés aux submersions de digues.

Les moteurs 1D et 2D tournent en même temps permettant l'échange d'eau entre les modèles à chaque pas de temps. Les échanges se font au niveau des déversements (spills).

### 5.5.4.1.4. Maillage 2D



L'espace est discrétisé sous forme d'un maillage non structuré. Le module 2D d'InfoWorks est basé sur un maillage de surface, donnant un maximum de flexibilité pour le modéleur et en veillant à ce que le système soit inspiré de la topographie du site d'étude de façon aussi précise que possible.

Cette souplesse dans le maillage augmente le nombre de types d'écoulement que l'on peut modéliser.

Un certain nombre de types de maillage peuvent être utilisés et combinés dans un modèle :

Maillage triangulaire non structuré qui est la meilleure solution pour l'analyse des écoulements complexes ;

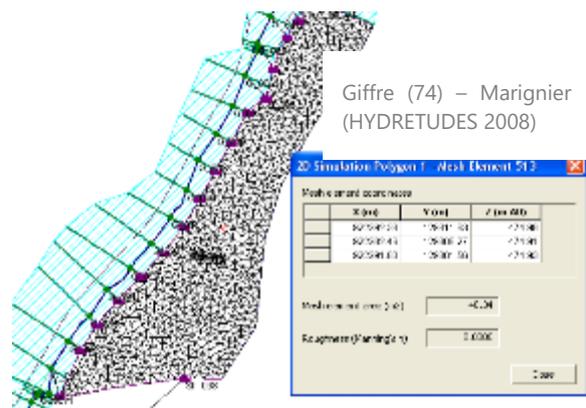


Maillage dans les zones présentant un intérêt particulier ; maillage quadrangulaire non structuré qui est apte à modéliser les écoulements canalisés ;



Maillage rectangulaire en vue de simplifier les modes d'écoulement.

Les spécifications de la maille peuvent varier selon les secteurs du modèle, permettant une excellente résolution autour des zones d'intérêt tout en utilisant une résolution plus faible pour les régions moins importantes. Le générateur de maillage peut également inclure des vides (bâtiments), des murs, préciser la rugosité des zones individuelles. Ce point est crucial pour simuler avec précision les circulations d'eau autour des bâtiments, sur les routes et dans les zones de terrain ouvert, comme les champs.



Les données nécessaires pour générer le modèle de maillage peuvent être importées à partir des couches de fond, de modèle numérique ou des caractéristiques d'un réseau 1D.

#### 5.5.4.2. Scénarios

Afin d'analyser le dimensionnement et les incidences des intercepteurs et ouvrages de franchissement pour une crue centennale puis de vérifier le principe de non aggravation du risque inondation, plusieurs modélisations hydrauliques 2D ont été réalisées :

- **Scénario 1** : Modélisation de la crue centennale à l'état initial,
- **Scénario 2** : Modélisation de la crue centennale à l'état projet, avec :
  - Intégration des intercepteurs au niveau des coteaux,
  - Intégration des ouvrages hydrauliques de franchissements de la rivière Doujani et de ses affluents,
  - Intégration des bâtiments de la ZAC,
  - Intégration du projet de voirie,
  - Intégration des travaux de renaturation de la rivière Doujani.

### 5.5.4.3. Construction du Modèle Numérique de Terrain

#### 5.5.4.3.1. *Introduction*

La modélisation 2D des écoulements d'une crue de projet nécessite la construction d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) précis, reflétant la réalité du site le plus fidèlement possible (remblais, ouvrages, points bas, etc.).

C'est pourquoi, la construction de ce modèle a été le fruit d'une analyse topographique complexe détaillée ci-après.

#### 5.5.4.3.2. *Sources et données utilisées*

L'analyse topographique a été réalisée sur la base des levés drone et terrestre réalisés dans le cadre de cette étude ainsi que de la LITTO 3D (couches 1m) présente sur l'ensemble du territoire mahorais, réalisé par l'IGN (en 2013).

##### 5.5.4.3.2.1. *Relevés topographiques par drone et voie terrestre*

Le levé topographique réalisé par drone et voie terrestre ayant une densité de points relativement importantes, ce dernier a permis de réaliser un MNT d'une grande précision sur l'intégralité de la zone d'étude. Il prend en compte à la fois les talwegs existants de part et d'autre de la zone d'étude mais également la piste et le fossé en terre présent en rive droite de la rivière Doujani ainsi que les lignes de ruptures, avec notamment les crêtes et pieds de berges.

##### 5.5.4.3.2.2. *LITTO 3D à 1m*

Sur la partie amont de la rivière, les versants Nord et Sud ainsi qu'à l'extrémité aval de la zone d'étude jusqu'à l'embouchure avec la mer, la LITTO 3D à 1m a été intégrée au MNT de manière à compléter et étendre la zone modélisée.

La pertinence d'une modélisation hydraulique étant étroitement liée à la précision de la source topographique, les résultats des modélisations à ce stade de l'étude seront suffisamment précis pour la réalisation des modélisations état initial et état projet prévues dans le cadre de cette étude.

#### 5.5.4.3.3. *Construction des lignes caractéristiques*

Plusieurs visites de terrain ont été effectuées afin d'augmenter l'adéquation de ce MNT à la réalité. Lors de ces visites, outre les dimensions des ouvrages hydrauliques et routiers à intégrer au MNT, les lignes caractéristiques (haut de berges, bas de berges, ruptures de pentes marquées) préalablement récupérées à partir du levé topographique ou tracées à partir des courbes de niveaux 1m et des orthophotographies ont pu être vérifiées et ajustées.

#### 5.5.4.3.4. *Intégration des ouvrages hydrauliques*

Tous les ouvrages hydrauliques et routiers, présents dans le secteur d'étude et ayant une influence sur son inondabilité ont été intégrés au MNT ou au modèle mathématique 2D.

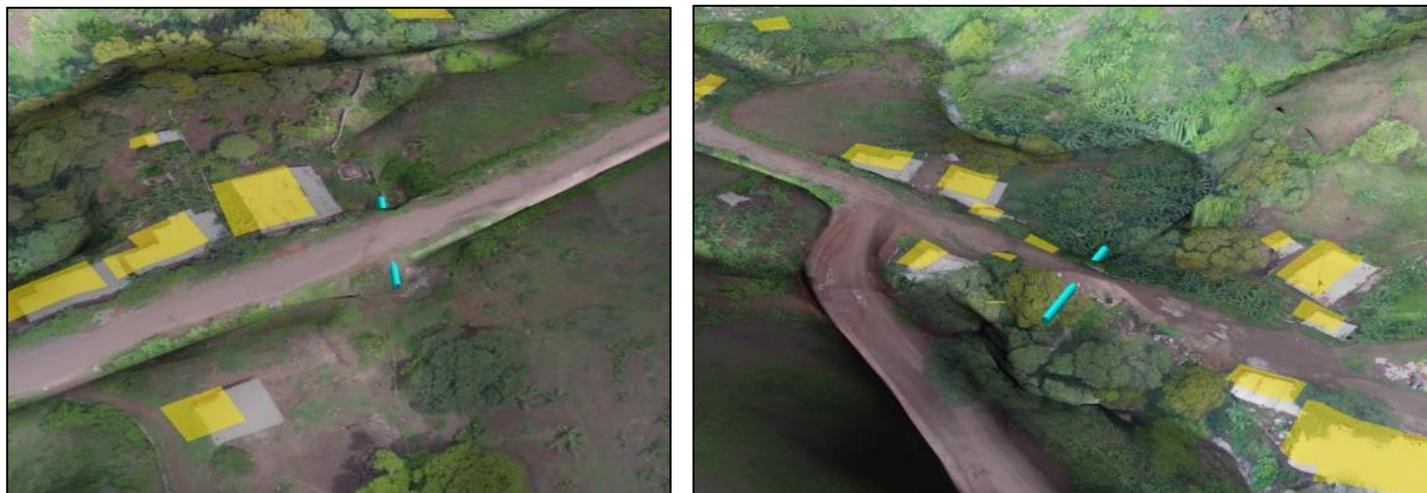


Figure 82 : Intégration des ouvrages hydrauliques au sein du MNT

#### Ouvrages intégrés manuellement au modèle :

Les ouvrages suivants ont été intégrés manuellement au modèle s'agissant d'ouvrages de type buse ne pouvant être représentés au sein du MNT :

- L'ouvrage de gestion des eaux de ruissellements permettant le franchissement de la piste située en rive droite : buse béton diamètre 1000mm ;
- L'ouvrage de franchissement de la rivière Doujani en partie dégradée : buse béton diamètre 1500mm.

#### Ouvrages intégrés au MNT :

Les ouvrages suivants ont été directement intégrés au MNT car disposant d'une capacité nettement suffisante pour ne pas se mettre en charge pendant la crue centennale :

- La passerelle piétonne située en aval de la zone d'étude,
- L'ouvrage routier de la Route Nationale.

**A l'état projet, les ouvrages de franchissements ont été intégrés directement au MNT ou manuellement au modèle.**

### *5.5.4.3.5. Intégration des réseaux de gestion des eaux pluviales*

Tous les ouvrages hydrauliques de gestion des eaux pluviales, présents sur le secteur d'étude et ayant été transmis par la maîtrise d'ouvrage, ont été intégrés au modèle mathématique 2D.

#### *5.5.4.3.5.1. Les réseaux d'écoulement des eaux*

Les réseaux d'écoulement sont constitués :

- De caniveaux couverts ou non, à grille ou non de dimensions variables ;
- Des fossés de collecte des eaux de ruissellement,
- De dalot béton,
- De cunettes ou demi-cunettes.

#### *5.5.4.3.5.2. Rugosité des réseaux d'eaux pluviales*

Le seul paramètre hydraulique de calage des conduites et des fossés est la rugosité, à travers le coefficient de Manning-Strickler. La capacité d'un tronçon hydraulique augmente linéairement avec ce coefficient, qui a été pris égal à :

- 60 dans les conduites en béton,
- 90 dans les conduites en PEHD,
- 25 à 35 dans les fossés en terre,
- 60 dans les fossés en béton,

La formule de Manning-Strickler s'écrit de la façon suivante :

$$Q = K_S \cdot S \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Avec :

- Q débit
- $K_S$  coefficient de rugosité de Manning-Strickler
- S surface hydraulique à la hauteur de débordement
- $R_H$  rayon hydraulique à la hauteur de débordement
- i pente du tronçon

### 5.5.4.3.5.3. Construction du modèle des écoulements des eaux pluviales

Le modèle d'écoulement des eaux pluviales prend en compte les zones de production des écoulements (les bassins versants), ainsi que l'ensemble des réseaux d'écoulements : conduites, regards, fossés, caniveaux.

Les calculs réalisés permettent de déterminer pour chaque tronçon les débits entrants et les débits maximum capables.

#### **Caractéristiques du réseau modélisé :**

- **Nœuds EP = 38**
- **Conduites EP = 34**

Dans la modélisation, les dimensions suivantes ont été prises comme référence pour les différents ouvrages type dalot et caniveaux existants. Les réseaux secondaires type cunettes et demi-cunettes n'ont pas été intégrés au modèle ayant peu d'impact sur la modélisation.

**Cette modélisation est réalisée en prenant l'hypothèse d'un réseau possédant sa pleine capacité hydraulique (hors colmatage, dépôt, problème de structure des ouvrages, ...). Il convient ainsi d'être extrêmement prudent lors de la lecture des résultats.**

<b>Dimensions caniveaux béton modélisés (en mm)</b>
<b>400 x 400</b>
<b>500 x 400</b>
<b>500 x 500</b>
<b>500 x 600</b>
<b>600 x 700</b>
<b>600 x 1000</b>
<b>1000 x 1000</b>
<b>1250 x 1160</b>
<b>1200 x 800</b>

Figure 83 : Dimensions des réseaux retenues dans la modélisation



Figure 84 : Architecture du réseau de gestion des eaux pluviales existants

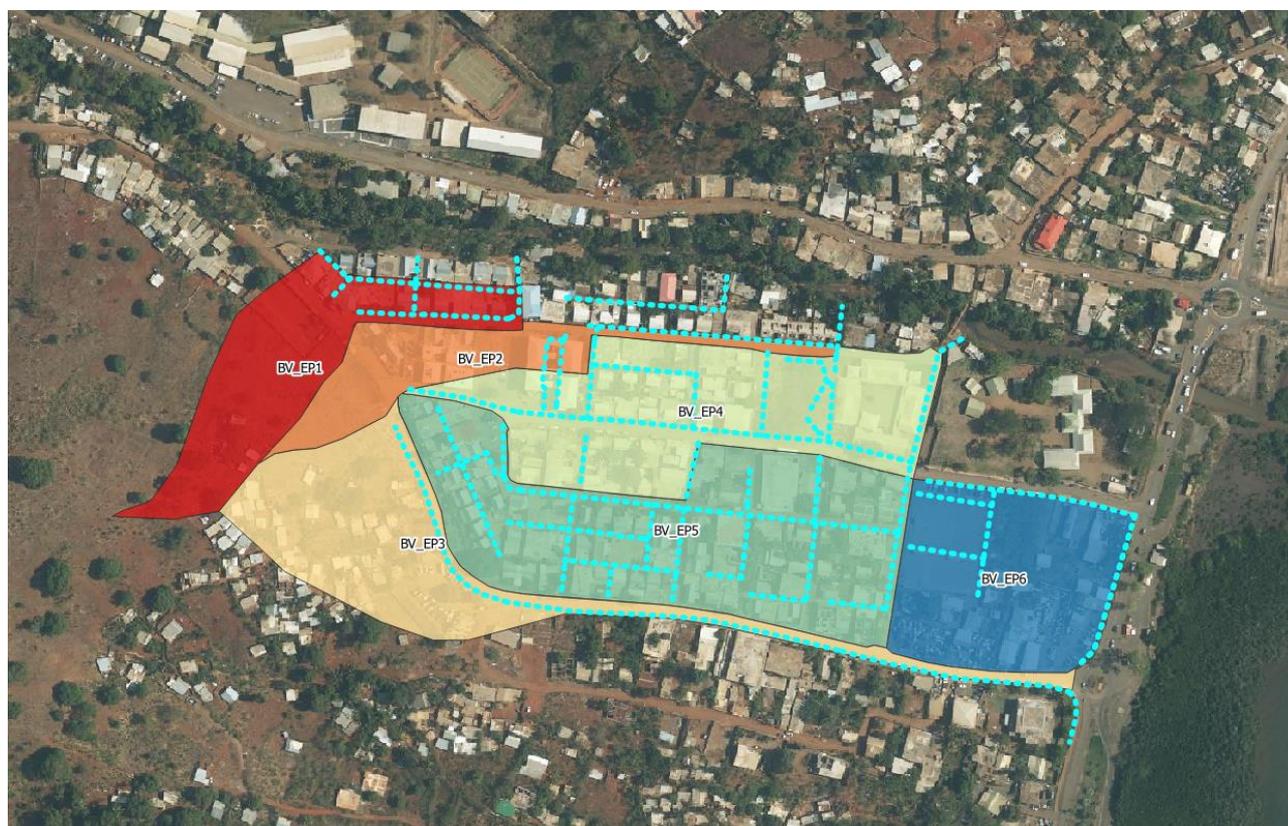


Figure 85 : Architecture du réseau de gestion des eaux pluviales dans le village de Doujani et des BV associés aux principaux exutoires pris en compte dans la modélisation

### 5.5.4.3.5.4. Présentation des résultats

Les résultats hydrauliques sont présentés sous forme de cartes du réseau avec :

- Les débits circulant dans les conduites et leur état de mise en charge ;
- Les débits circulant dans les ruisseaux ;
- Les points de débordement et les volumes débordés.

#### Lecture des profils en long - Exemple

Sur ces profils, sont représentés :

- la cote de fond de la conduite ;
- les regards ;
- le niveau d'eau, et éventuellement sa mise en charge si celle-ci est pleine ;
- la cote TN.

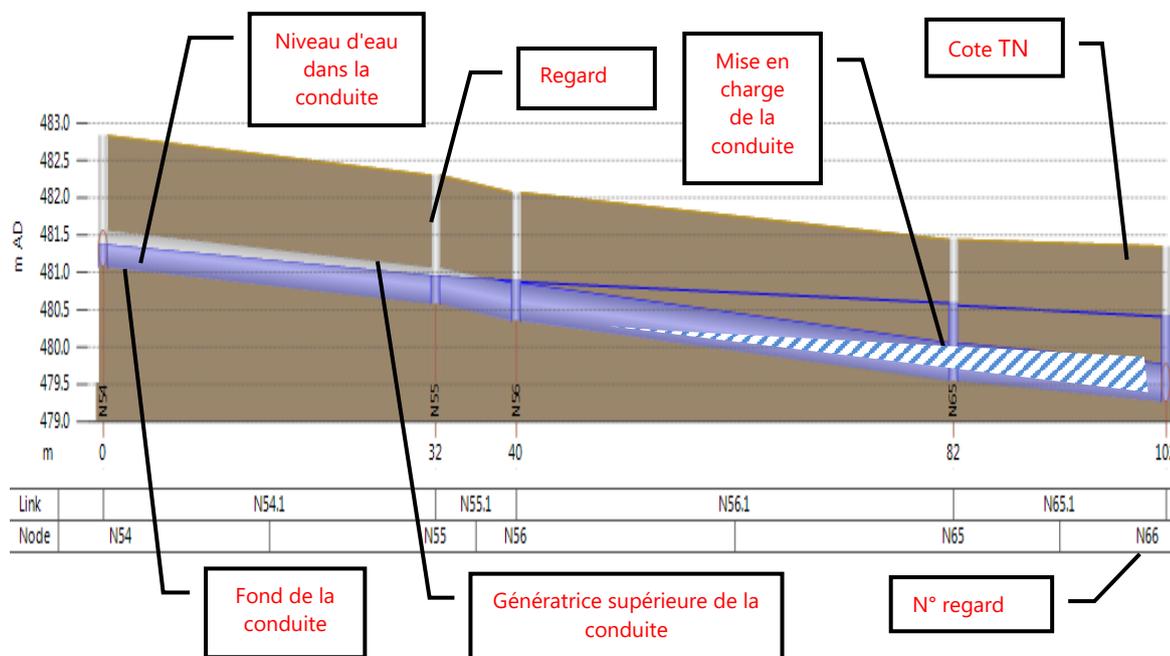


Figure 86 : Illustrations d'un profil en long de canalisation et de son interprétation

#### Comment lire le profil en long ?

Dans le cas ci-dessus, on constate que la conduite est entièrement en charge entre les regards N56 à N66. Celle-ci est donc complètement remplie d'eau et l'eau remonte dans les regards.

#### **Si l'eau continue de monter, on peut attendre :**

- Des débordements au niveau des regards lorsque l'eau atteint le terrain naturel,
- Une forte mise en charge de la conduite, avec des possibilités de dégradation et de fuites à terme.

#### 5.5.4.3.6. Résultats du Modèle Numérique de terrain

Le MNT ainsi créé est illustré ci-dessous. Ce dernier a été couplé à l'orthophotographie de la zone d'étude. Une analyse de la concordance entre les éléments de terrain localisés sur orthophotographie, le relief du MNT et les valeurs d'altitudes de ses facettes a été réalisée afin de vérifier sa précision. Le MNT final a ensuite été intégré au modèle mathématique 2D de simulation des écoulements.

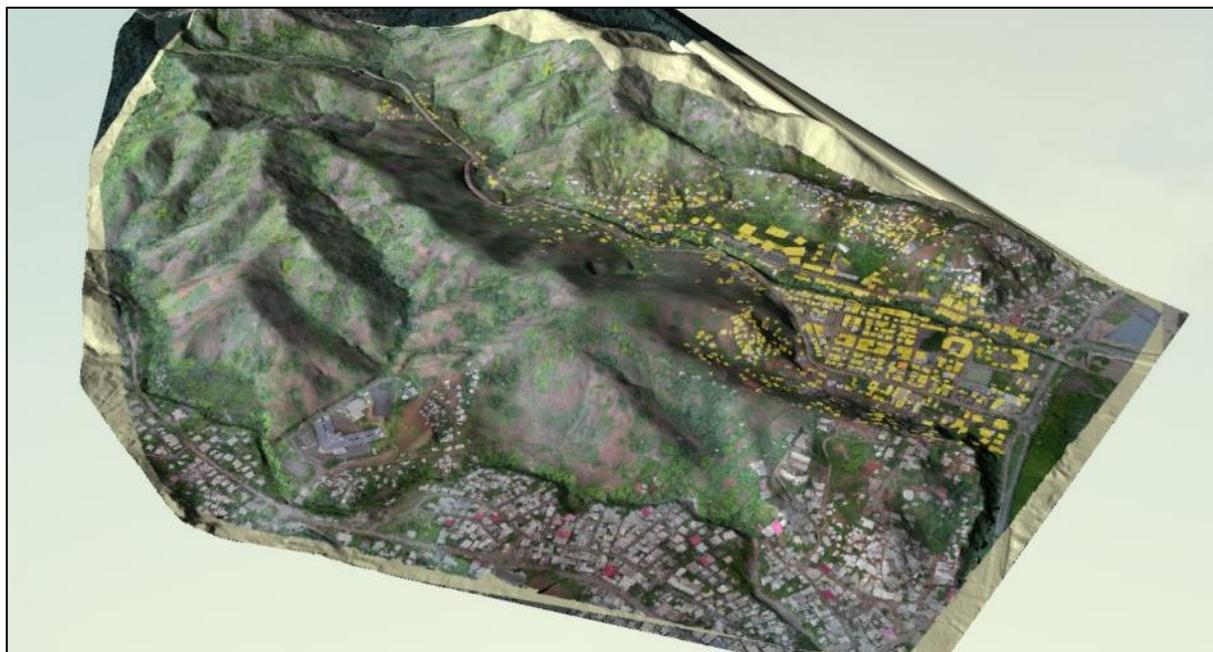


Figure 87 : Couplage MNT et orthophotographie de la zone d'étude

**A l'état projet, le MNT a été modifié pour intégrer les ouvrages de franchissements, le projet de renaturation de la rivière Doujani, le projet de passerelle ainsi que les bâtiments du projet de ZAC.**

#### 5.5.4.4. Conditions aux limites

##### 5.5.4.4.1. Débit

Les hydrogrammes des crues d'occurrences centennale de la rivière Mro Oua Doujani et ses affluents ont été intégrés comme condition limite amont des modèles 2D.

L'évènement hydrologique suivant a été retenu :

- **Crue centennale** d'un débit de **40m<sup>3</sup>/s** pour la rivière Doujani,
- **Temps de concentration de 31min** pour la rivière Doujani,
- **Hydrogramme unitaire** (de type triangulaire et de durée 3 fois le temps de concentration du bassin versant considéré (1Tc en montée, 2Tc en décrue)).

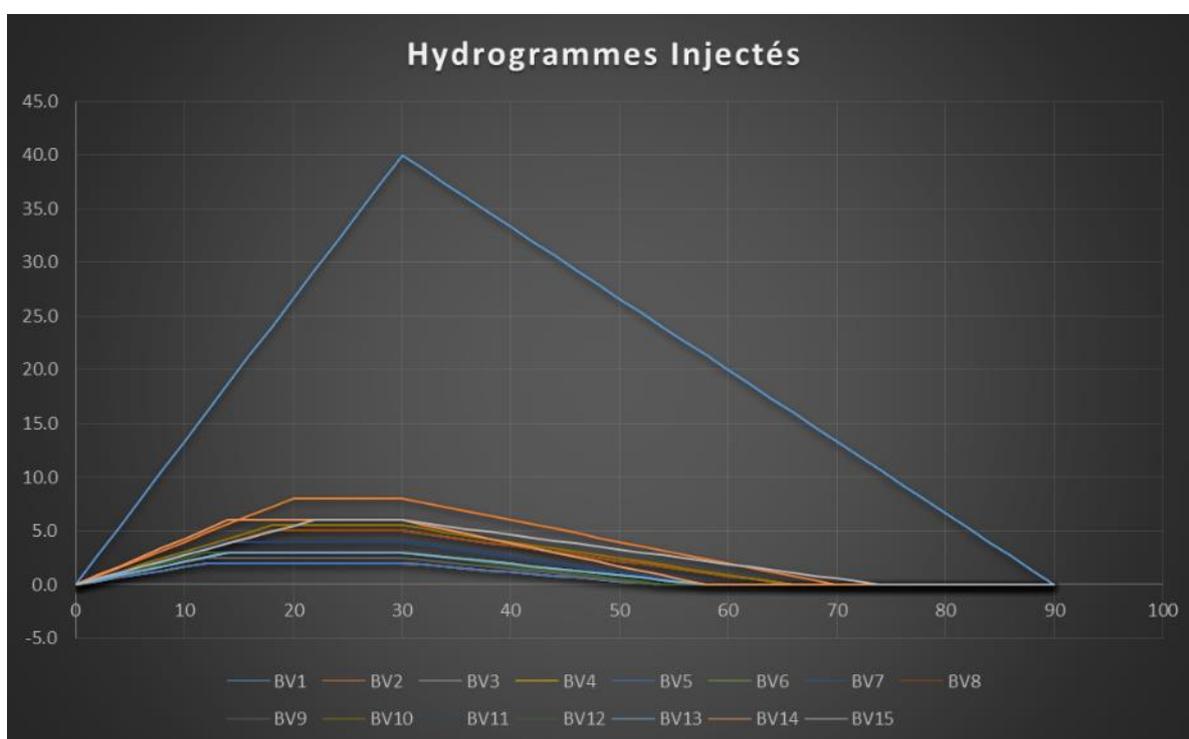


Figure 88: Hydrogrammes injectés dans le modèle

**A l'état projet, les aménagements mis en œuvre dans le cadre de la ZAC ont une incidence sur les débits en modifiant le cheminement hydraulique des eaux ainsi que la répartition de ces derniers.**

**Les intercepteurs au niveau du coteau ont une légère incidence sur les débits des différents affluents situés en rive droite en modifiant à la fois le cheminement hydraulique des eaux, les surfaces de bassins versants drainés et les temps de concentration.**

**Les débits projets au droit des ouvrages de franchissements calculés au chapitre 5.3.7.1 du présent document ont été intégrés à la modélisation du scénario 2.**

### 5.5.4.4.2. Conditions aux limites

Le secteur d'étude se situe sous la zone d'influence de la mer. Une condition aval a ainsi été appliquée aux modélisations hydrauliques des écoulements. La cote prise en compte est issue de l'étude du BRGM de 2016 relative à l'aléa submersion marine. La cote altimétrique du cyclone de référence, **égale à 3,50m NGM**, a ainsi été prise.

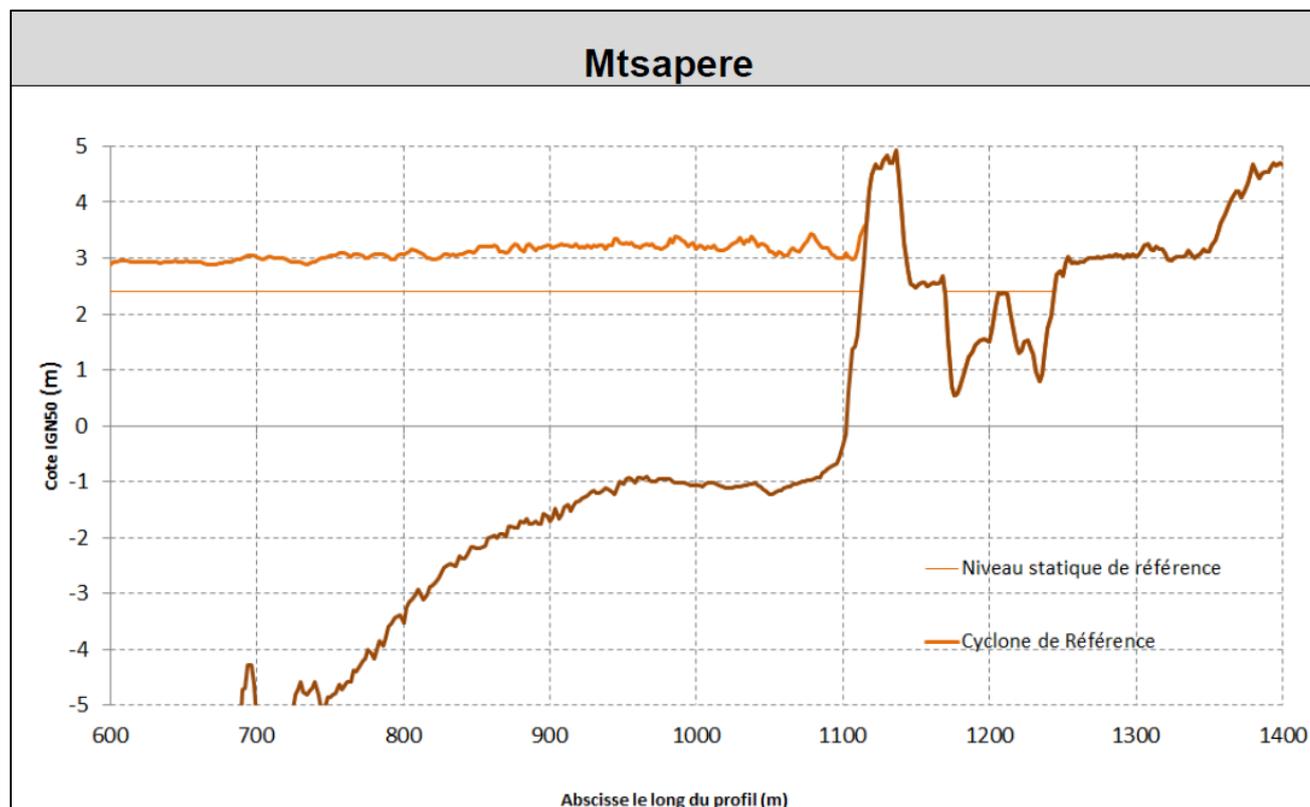


Figure 89: Cote altimétrique des eaux pour le cyclone de référence (Cycloref Phase 2 : caractérisation et cartographie de l'aléa submersion marine sur les communes littorales de Mayotte (BRGM juin 2016))

### 5.5.4.5. Paramètres de modélisation

#### 5.5.4.5.1. Coefficient de rugosité

L'homogénéité de rugosité représentative du sol en place a été prise en compte. Pour ce faire, sur la zone d'étude correspondant à la partie aval de la rivière Mro Oua Doujani, un coefficient de rugosité pour l'intégralité de la zone 2D de  $n=0,033$  a été appliqué.

L'objectif de cette modélisation étant de visualiser les écoulements au droit du projet de la future ZAC, les coefficients de rugosité ont été simplifiés et les légères variations au droit des secteurs habités, situés en dehors de la zone d'étude, n'ont pas été prises en compte.

#### *5.5.4.5.2. Intégration des bâtiments*

Les bâtiments relevés dans le cadre du levé topographique ainsi que les éléments de la BD Topo 2013 ont été intégrés puis modélisés comme éléments poreux («Porous polygon») afin de représenter leur capacité limitée à absorber une partie des volumes liquides incidents (coefficient de porosité de 10%).

Les lignes caractéristiques de contours de l'ensemble des bâtiments ont également été intégrées au maillage hydraulique 2D.

**A l'état projet, les futurs bâtiments de la ZAC ont été intégrés au modèle.**

#### *5.5.4.5.3. Calage du modèle*

Les coefficients de Manning injectés dans le modèle ont été déterminés à la suite d'observations de terrain et avec l'expérience de notre bureau d'étude dans la modélisation mathématique d'écoulements.

Les résultats du modèle (H, V) ont été analysés en recoupant les valeurs avec la topographie existante (MNT issu de la LITTO 3D, visite in situ...) afin de vérifier leur validité avant éventuelle nouvelle itération de calcul.

La visualisation dynamique des crues (outil vidéo permettant de voir évoluer les inondations générées avec le temps) ainsi que l'analyse des écoulements par les lignes de résultats sous Infoworks ICM 2D permet de vérifier la cohérence des résultats et de modifier certains paramètres du modèle dans les secteurs particuliers offrant éventuellement des incohérences constatées.

5.5.4.6. Architecture du modèle

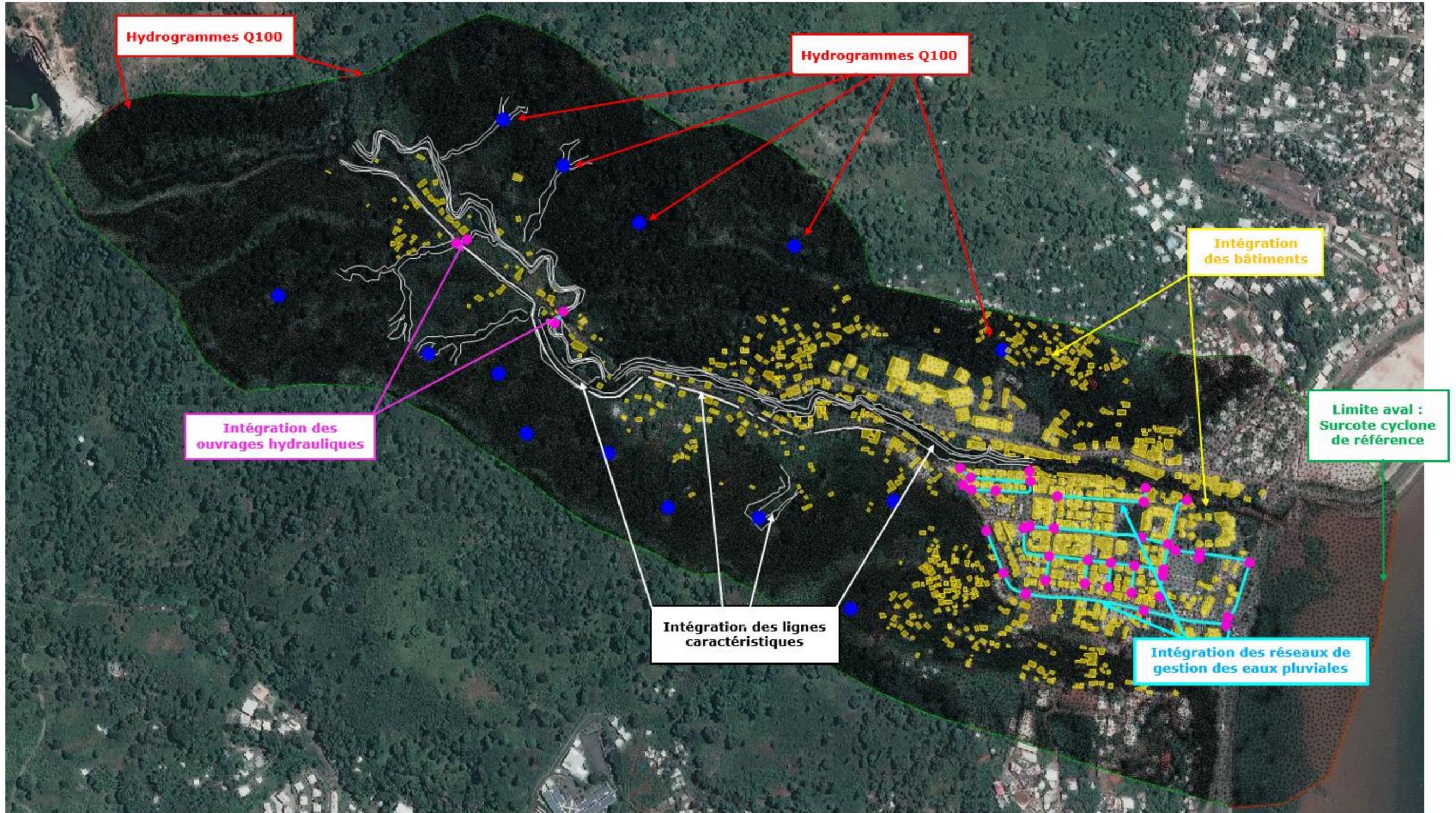


Figure 90: Architecture du modèle

#### 5.5.4.7. Résultats du scénario 1 – Etat initial

Les simulations de la crue centennale de la rivière Mro Oua Doujani et de ses affluents dans la traversée du projet de création de ZAC, ont permis de mettre en évidence les paramètres caractéristiques des écoulements induits.

La figure ci-dessous illustre l'étendue de la zone d'expansion de la crue centennale de ce système hydrographique, résultant de la modélisation mathématique 2D détaillée ci-dessus:



Figure 91 : Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale de la rivière Mro Oua Doujani et ses affluents sur la zone d'étude (Etat initial)

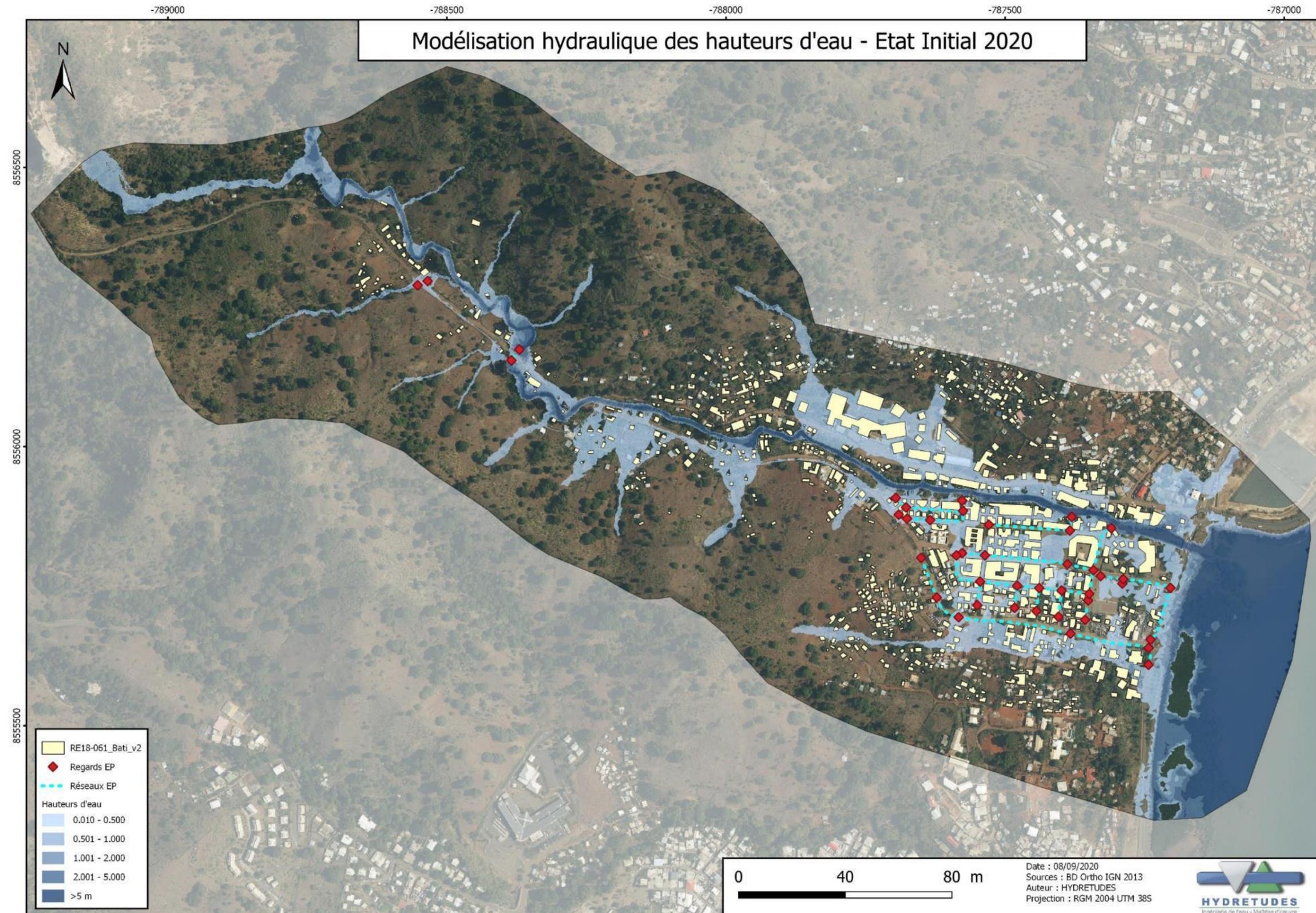


Figure 92 : cartographie des hauteurs d'eau maximales (Etat initial)

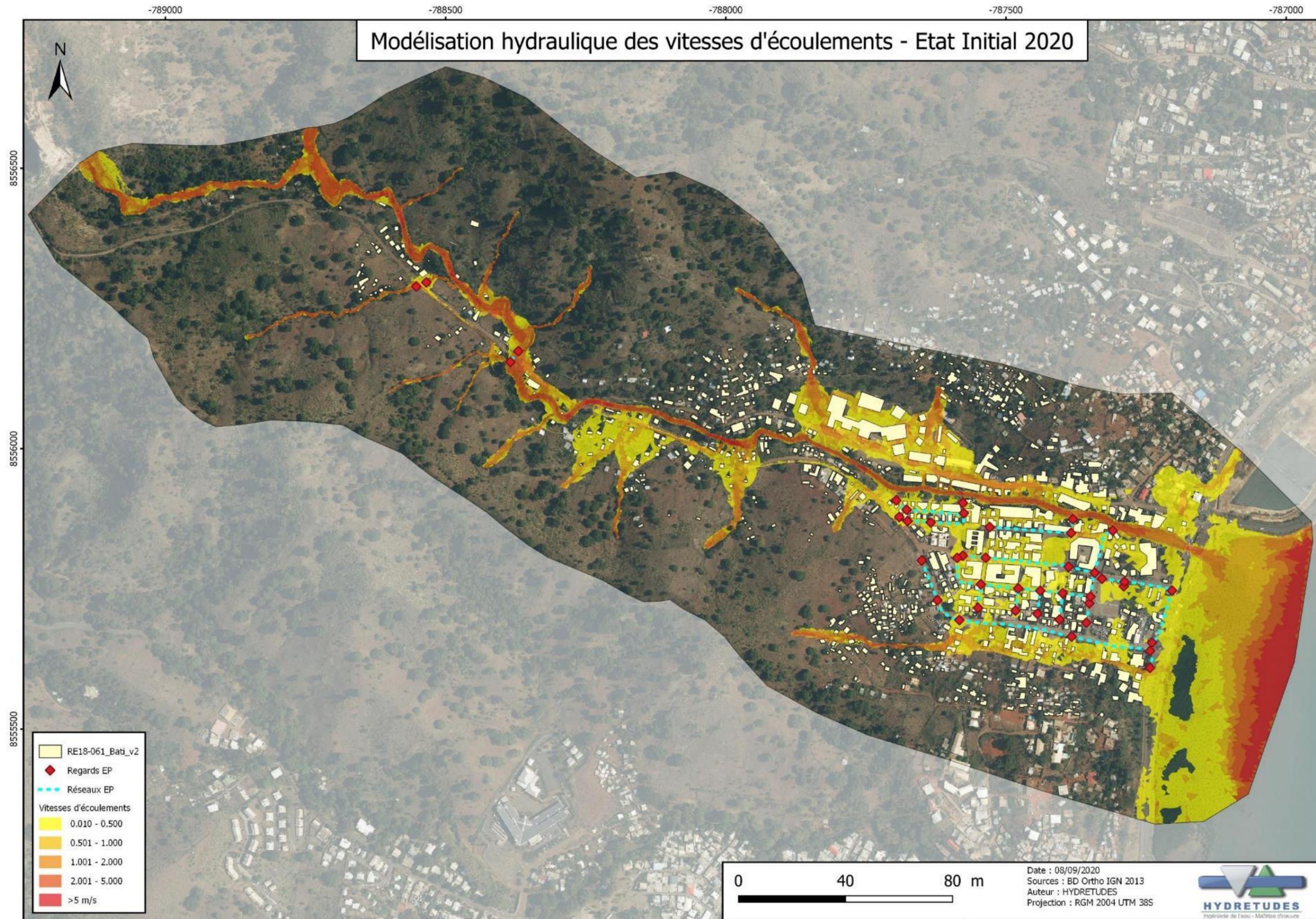


Figure 93 : cartographie des vitesses d'écoulements maximales (Etat initial)

### 5.5.4.7.1. Analyse globale des résultats

De manière générale, peu de débordements de la rivière Doujani elle-même ont été observés dans le cadre de la modélisation hydraulique 2D. Quelques zones de débordements ont été mises en évidence sur les tronçons méandriformes des parties amont et médiane du secteur d'étude. A l'extrémité aval de la zone modélisée, des débordements ont également lieu en amont du pont de la Route Nationale, en rive gauche.

Sur le secteur d'étude, les problématiques rencontrées concernent avant tout la gestion des eaux de ruissellements provenant des affluents, et en particulier des talwegs de la rive droite. Les lits de ces ravines sont peu marqués et en période de crue les écoulements diffus s'étalent sur les secteurs habités s'étant développés de part et d'autre de la piste. Le fossé en terre longeant la piste et devant drainer les eaux de ruissellements n'est pas continu et partiellement obstrué, favorisant ainsi les débordements sur la piste et les phénomènes d'érosion des talus riverains. On peut schématiquement mettre l'accent sur 6 tronçons de la zone d'étude : (cf. cartographie ci-dessous)

1. **Secteur 1** : Ouvrage busé Ø1000mm sous la piste partiellement obstruée : débordements par-dessus l'ouvrage sur la chaussée puis vers la rivière ;
2. **Secteur 2** : Ouvrage busé Ø1500mm de franchissement de la rivière obstrué et fortement dégradé :
  - Débordements de la rivière par-dessus l'ouvrage puis retour des eaux dans la rivière avec érosion régressive des talus : risque à terme de déchaussement de l'ouvrage lors des prochaines crues (comme ce fut le cas avec l'ouvrage aval) ;
  - Débordements de la rivière en rive gauche : les écoulements empruntent l'ancienne chaussée avant de retourner dans le cours d'eau au droit de l'ancien ouvrage de franchissement situé plus à l'aval ;
  - Problématiques d'érosions de berges et d'incision du lit notamment en extrados des méandres du fait des fortes contraintes hydrauliques (vitesses d'écoulements et hauteurs d'eau) : arbres déchaussés, affouillements des pieds de berges (systèmes racinaires apparents, etc.) ;
3. **Secteur 3** : Talwegs existants en rive droite peu marqués à leurs débouchés sur la piste : écoulements diffus mal interceptés inondant les habitations avant de ruisseler sur la chaussée (absence de fossé ou fossé sous dimensionné sur certains secteurs) et de retourner à la rivière avec les problématiques développées précédemment (lessivage des sols, érosion des talus, inondation des habitations existantes en bordure de cours d'eau) ;
4. **Secteur 4** : Fossé en bordure de piste régulièrement bouché ou absence de continuité avec la rivière ayant pour conséquences des débordements sur chaussée en de nombreux points puis un retour des eaux vers la rivière impliquant des phénomènes de lessivage des sols, d'érosion des talus et d'inondation des habitations existantes en bordure de cours d'eau ;
5. **Secteur 5** : Talwegs existants en rive gauche peu problématiques à l'exception de celui situé à l'extrémité aval de la zone d'étude : inondation des quartiers présents en rive gauche puis retour des eaux au sein de la rivière avec les problématiques associées ;
6. **Secteur 6** : Problématiques de gestion des eaux pluviales à l'extrémité aval rive droite : inondation de la zone urbaine par débordements des réseaux d'assainissement des EP..

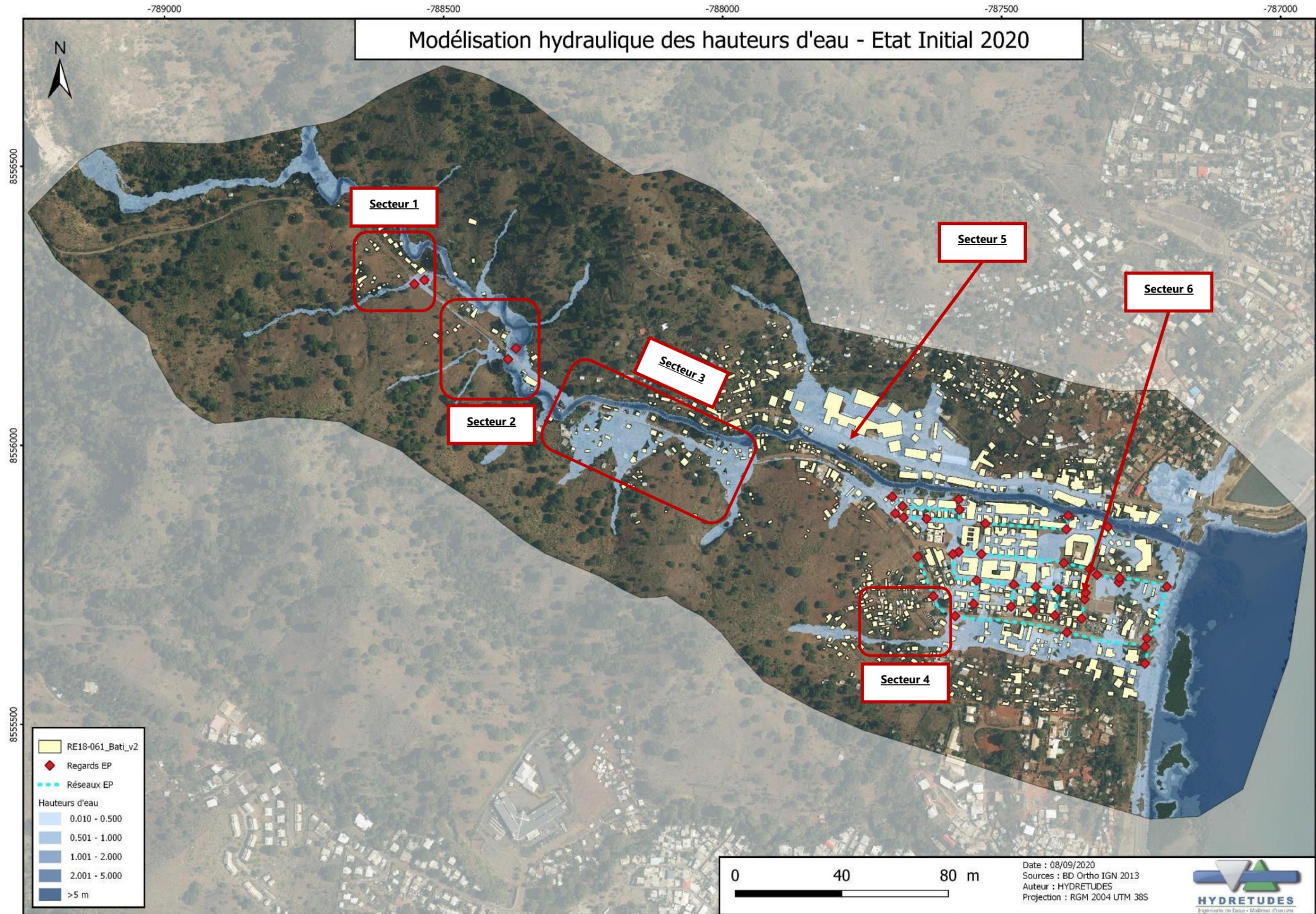


Figure 94 : Localisation des secteurs problématiques de la zone d'étude (Etat initial)

### 5.5.4.7.2. Analyse spatio-temporelle de la crue centennale

Les figures ci-dessous décrivent la cinétique de la crue centennale de la rivière Doujani et de ses affluents sur différents secteurs de la zone d'étude.

#### 5.5.4.7.2.1. Problématique de débordements de la rivière Doujani

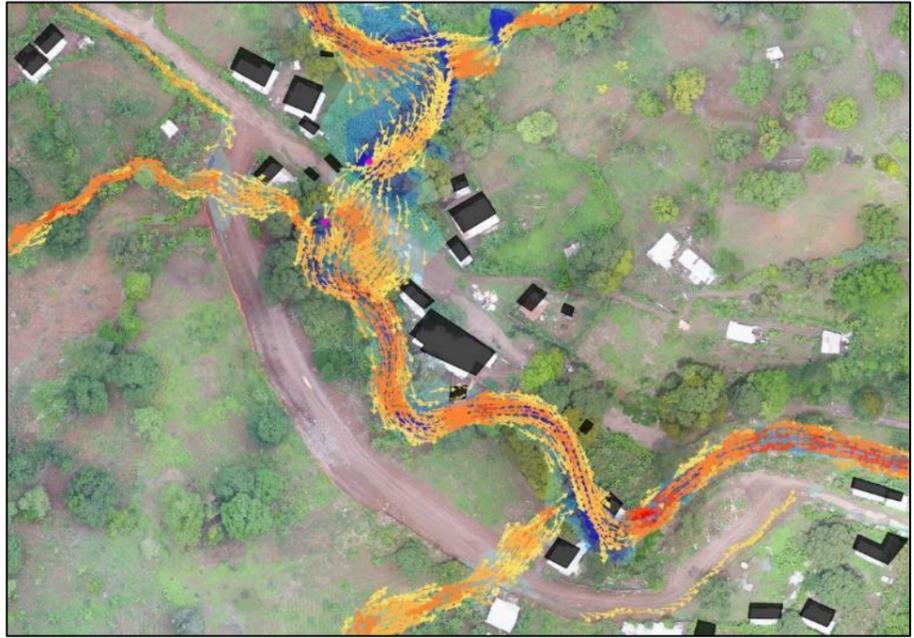
La modélisation hydraulique des écoulements met en évidence les faibles fronts de débordements provenant de la rivière. En effet, pour la crue centennale les écoulements se font en quasi-totalité au sein du lit mineur. Seules certaines zones situées en intrados de méandres se trouvent naturellement en eau, correspondant au fonctionnement naturel d'un cours d'eau.

Un secteur problématique au droit de l'ouvrage de franchissement (buse Ø1500mm) a été mis en exergue par la modélisation hydraulique. Les résultats confirment nos observations de terrains ainsi que les problématiques déjà rencontrées sur ce tronçon de cours d'eau lors de précédentes crues (déchaussement d'un ouvrage de franchissement).

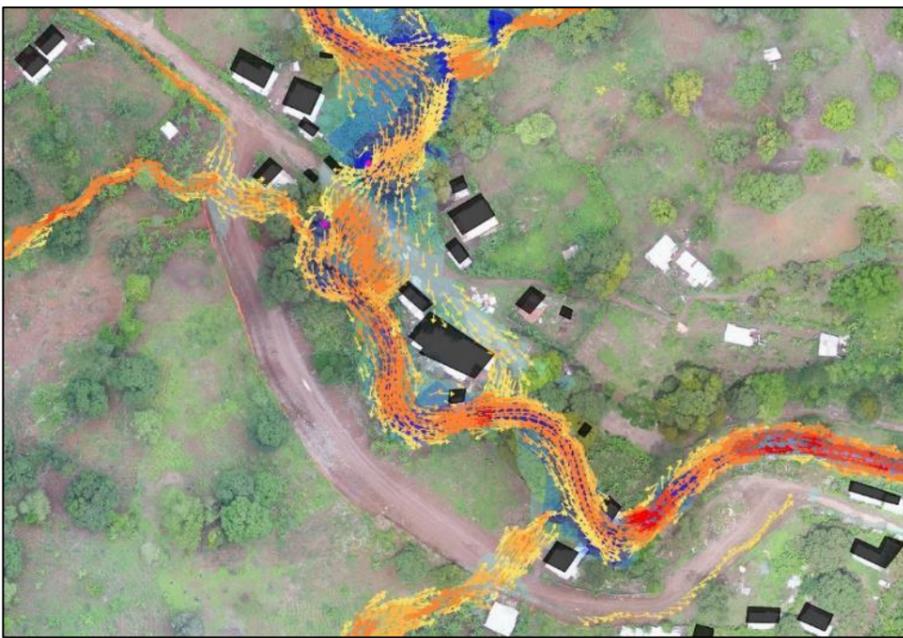
#### Analyse spatio-temporelle de la crue au droit du secteur 2



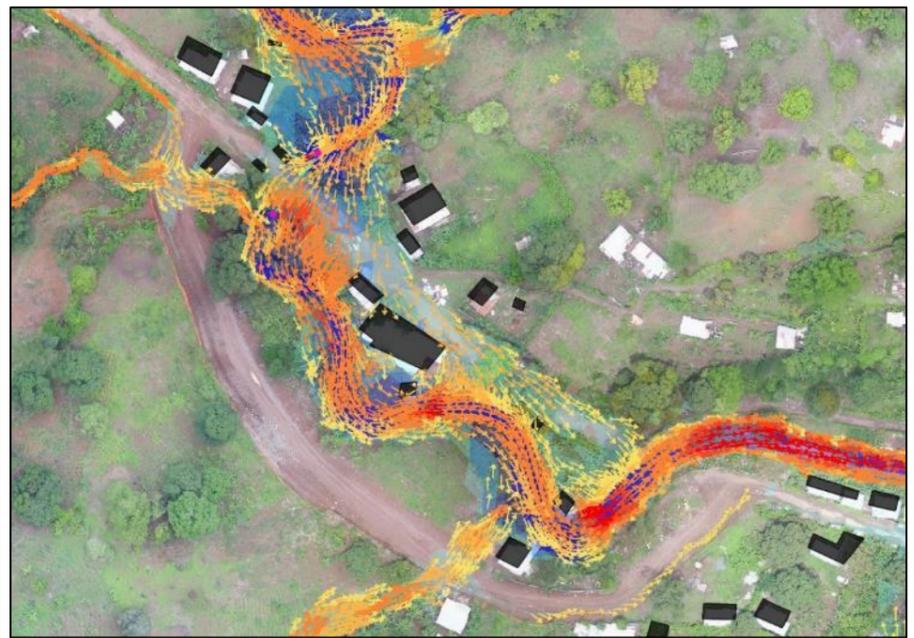
**Q = 7m<sup>3</sup>/s :** Arrivée des écoulements provenant de la rivière Doujani au droit de l'ouvrage de franchissement. Plusieurs talwegs rive droite et rive gauche alimentent la rivière par des écoulements diffus en ruisselant sur la chaussée avant de rejoindre le lit mineur plus marqué de la rivière.



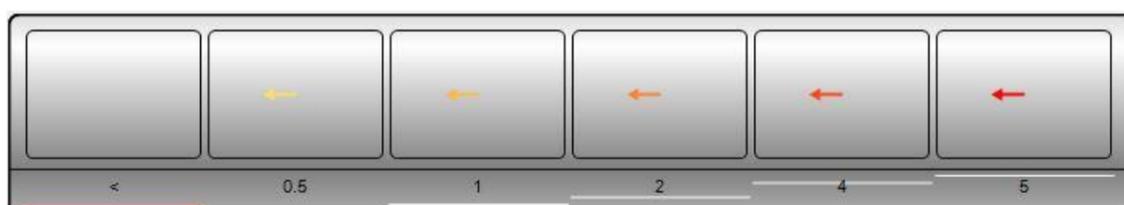
**Q = 25m<sup>3</sup>/s :** Mise en charge de l'ouvrage de franchissement puis débordement progressif des eaux par-dessus l'ancienne piste. Augmentation des vitesses d'écoulements en aval de l'ouvrage avec risque d'érosion régressive des talus et déchaussement de la buse Ø1500mm.



**Q = 39m<sup>3</sup>/s :** Débordements progressifs des eaux de la rivière en rive gauche. Les écoulements empruntent l'ancienne piste avant de retourner dans le cours d'eau. Les vitesses d'écoulements s'accroissent en aval de l'ouvrage de franchissement ainsi qu'en extrados de méandres (zones naturellement plus soumises aux contraintes d'écoulement).



**Q = 58m<sup>3</sup>/s :** Les débordements des eaux en rive gauche s'amplifient. Les écoulements empruntent l'ancienne piste avant de retourner dans le cours d'eau au droit de l'ancien ouvrage de franchissement situé plus à l'aval.



#### 5.5.4.7.2.2. Problématique de gestion des eaux de ruissellements

La modélisation hydraulique des écoulements met en évidence de nombreuses problématiques liées à la gestion des eaux de ruissellements provenant des talwegs existants en rive droite de la rivière Doujani.

Les lits de ces ravines sont généralement peu marqués à leurs débouchés sur la piste. Les conséquences sont des écoulements diffus et mal interceptés, inondant les habitations avant de ruisseler sur la chaussée (absence de fossé ou fossé sous dimensionné sur certains secteurs) puis de retourner à la rivière avec les problématiques de lessivage des sols, d'érosion de berges et d'inondation des habitations riveraines associées.

Sur la partie amont de la zone d'étude, un ouvrage de franchissement de la piste a été mis en place afin d'évacuer les eaux drainées par le fossé en terre ainsi que permettre la continuité hydraulique des eaux provenant d'un talweg. Une fois l'ouvrage de type buse ( $\text{Ø}1000\text{mm}$ ) en charge, les eaux débordent sur la piste ou s'écoulent sur la partie aval du fossé avant de rejoindre la rivière. La figure ci-dessous illustre l'orientation des écoulements (vecteurs vitesses représentés sous forme de flèche de couleur) au maximum d'intensité de la crue.

#### **Analyse des écoulements en période de crue au droit du secteur 1**

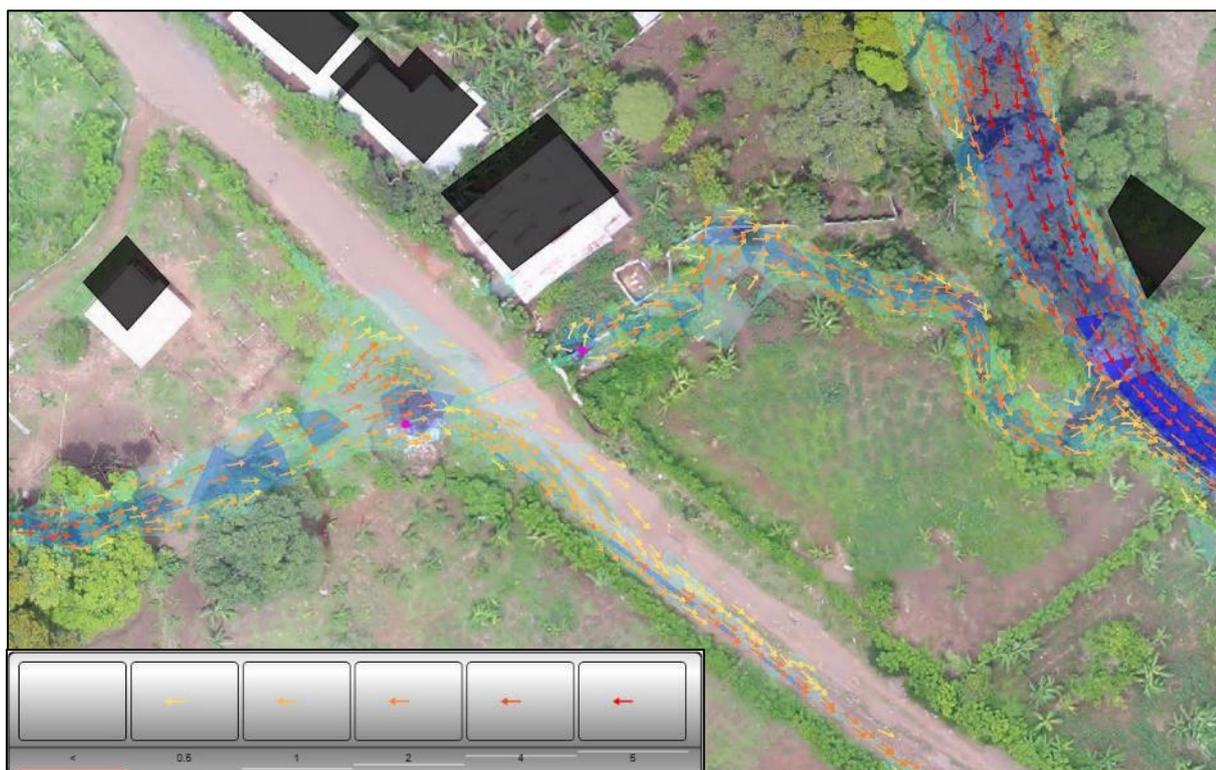


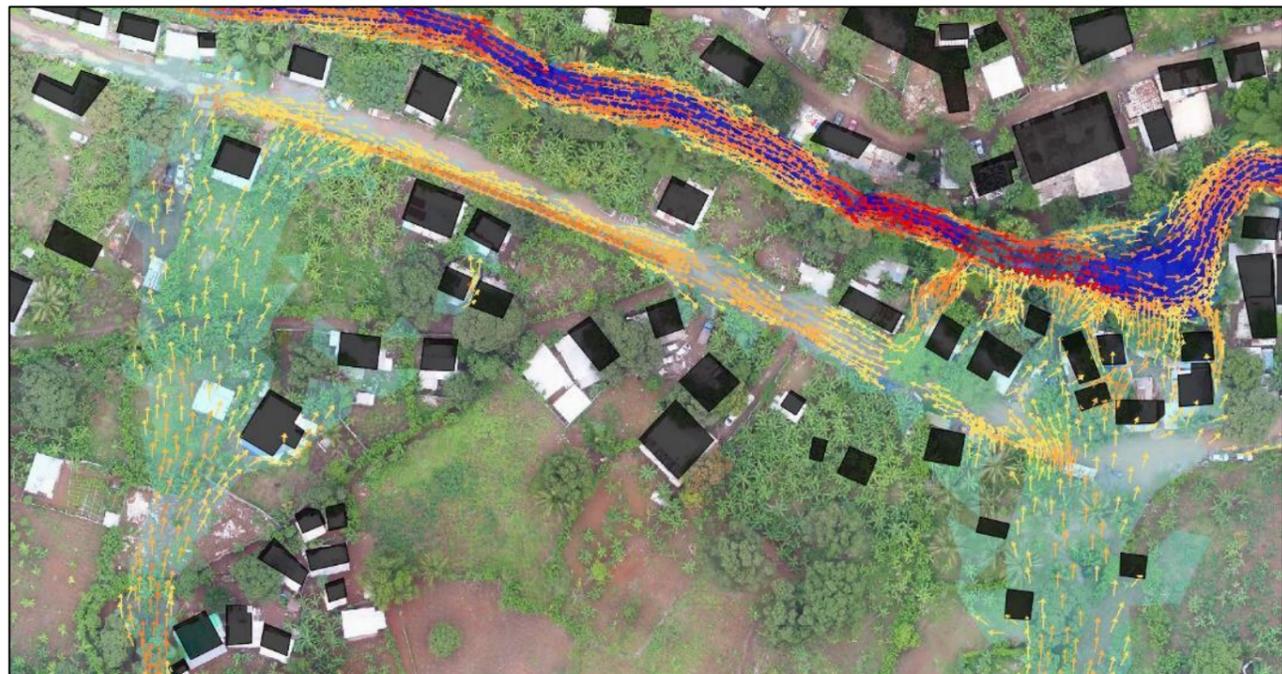
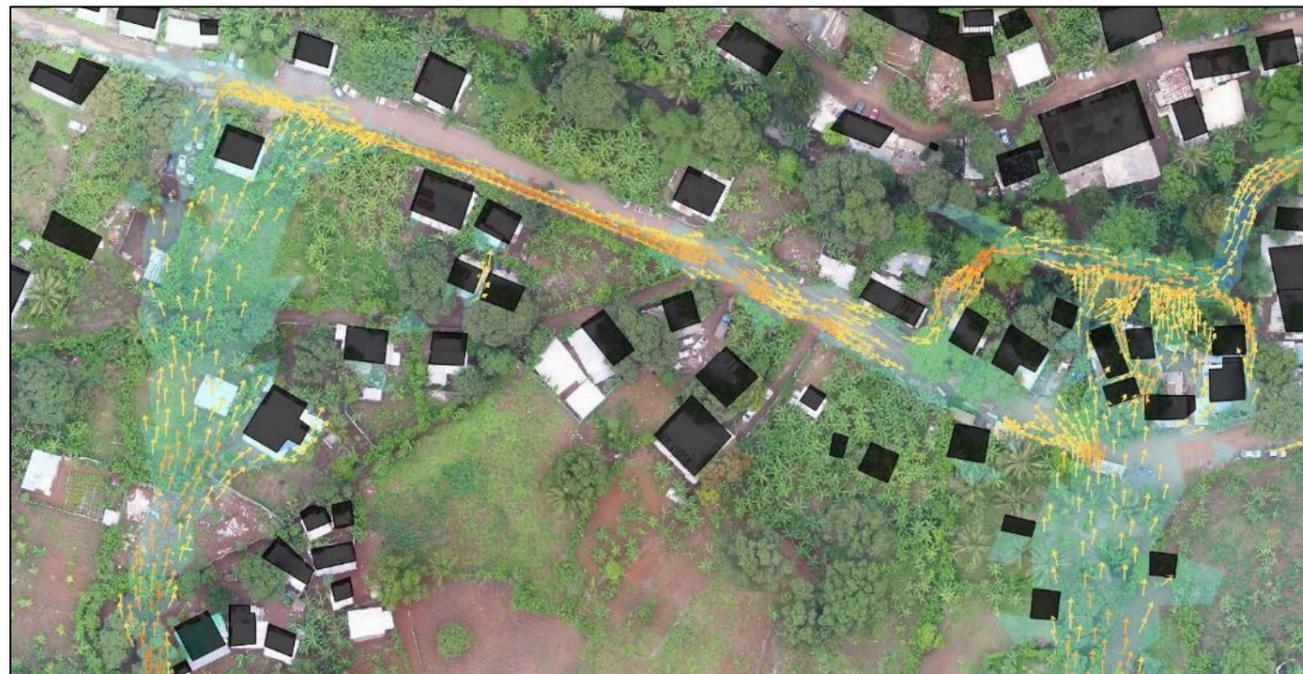
Figure 95 : Zoom sur les écoulements et leurs orientations au droit du secteur 1 (Etat initial)

**Analyse spatio-temporelle de la crue au droit du secteur 3**



**Q = 0.70 et 1.00m<sup>3</sup>/s :** Arrivée des écoulements provenant de deux talwegs rive droite au droit de la piste. Les écoulements sont diffus et la lame d'eau s'étale progressivement au travers des habitations.

**Q = 1.25 et 1.70m<sup>3</sup>/s :** Arrivée des écoulements sur la piste. Pour la ravine de gauche, la quasi-totalité des eaux s'écoule le long du fossé intercepteur. Pour la ravine de droite, la majeure partie des eaux traverse la piste puis rejoint le lit de la rivière Doujani au travers des habitations.



**Q = 2.00 et 2.75m<sup>3</sup>/s :** Les écoulements provenant de la ravine de gauche débordent du fossé et empruntent la piste avant de rejoindre la rivière. Les écoulements sont de plus en plus diffus et les vitesses s'accroissent provoquant les premiers phénomènes de lessivages des sols sur la chaussée et entre les habitations.

**Q = 2.80 et 3.90m<sup>3</sup>/s :** Au pic de crue, la piste est complètement submergée par les écoulements. Les vitesses d'écoulements sont comprises entre 2 et 4m/s provoquant des phénomènes d'érosion des talus et des berges de la rivière. Les hauteurs d'eau observées sur les secteurs habités sont en moyenne de 50cm.

### **Analyse des écoulements en période de crue au droit du secteur 4**

Le même type de phénomène est mis en évidence dans la modélisation hydraulique à l'extrémité aval de la zone d'étude. Les eaux de ruissellements provenant du talweg inondent la chaussée avant de rejoindre le cours d'eau principal.

Une partie des eaux ruissellent également au travers des rues de la zone urbaine de Doujani. Ces eaux sont pour des occurrences courantes (2 à 20-30ans) absorbées par les réseaux d'assainissements des eaux pluviales existants. Pour des pluies d'occurrences supérieures, les réseaux sont saturés puis débordent inondant progressivement les rues avant de trouver un exutoire (la rivière Doujani ou la mer dans le cas présent).

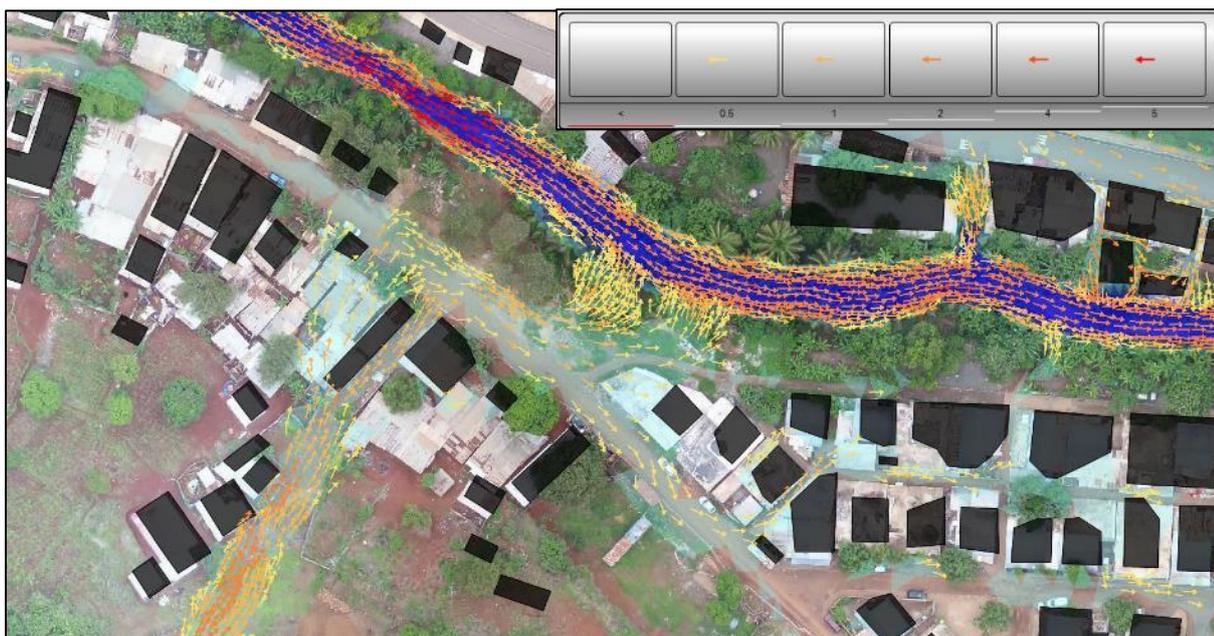


Figure 96 : Zoom sur les écoulements et leurs orientations au droit du secteur 4 (Etat initial)

Les photographies ci-dessous illustrent les problématiques d'érosion engendrées par ces phénomènes de ruissellements.



Figure 97 : Illustrations des phénomènes de lessivage des sols et d'érosion de berges induit par le ruissellement.

### 5.5.4.8. Analyse des éléments de projet pris en compte dans la modélisation

#### 5.5.4.8.1. *Ouvrage de franchissement : passerelle piétonne*

Au droit de la passerelle piétonne, la ligne d'eau de la crue d'occurrence centennale a été prise en compte afin de déterminer sa cote d'implantation :  $Q_{100} = 7,20$  m NGM. Le tirant d'air sous l'ouvrage sera de 6.00 m minimum (hauteur entre tête de talus et lit de la rivière).

La cote  $Q_{100}$  indique le niveau de références minimum à respecter afin de dimensionner l'ouvrage pour la crue de projet.

Dans le cadre des études d'Avant-projet, les points suivants ont été actés et seront intégrés comme hypothèses au modèle :

- Crue de projet : occurrence centennale ( $Q_{100}$ ),
- La passerelle est à destination des piétons et cycles. Celle-ci présentera une largeur de 4.00 m utile ;
- La portée de la passerelle est de 27 mètres avec une travée isostatique ;
- La passerelle est accessible aux PMR et a une pente limitée à 4% pour le profil en long de la passerelle ;
- Les garde-corps auront une hauteur de 1,20 mètres ;
- Le tablier sera de type platelage bois ;
- Aucune pile ne sera mise en œuvre ;
- L'espace boisé n'est pas classé mais à garder en l'état dans la mesure du possible.

Le tablier sera arrimé aux culées, latéralement, pour limiter les contraintes en période de crue. La structure ajourée du tablier permettra également d'améliorer la transparence hydraulique de l'ouvrage pour les crues supérieures à l'occurrence centennale.



Figure 98 : Vue en plan de la passerelle piétonne

Comme indiqué précédemment, le projet prévoit l'implantation d'un ouvrage de franchissement de type passerelle piétonne dans son périmètre.

Cet ouvrage ne comportant aucune pile et étant situé en dehors de la zone d'aléa inondation de la rivière Doujani, seule sa cote d'implantation sera analysée dans le cadre de la simulation d'une crue centennale à l'état projet.

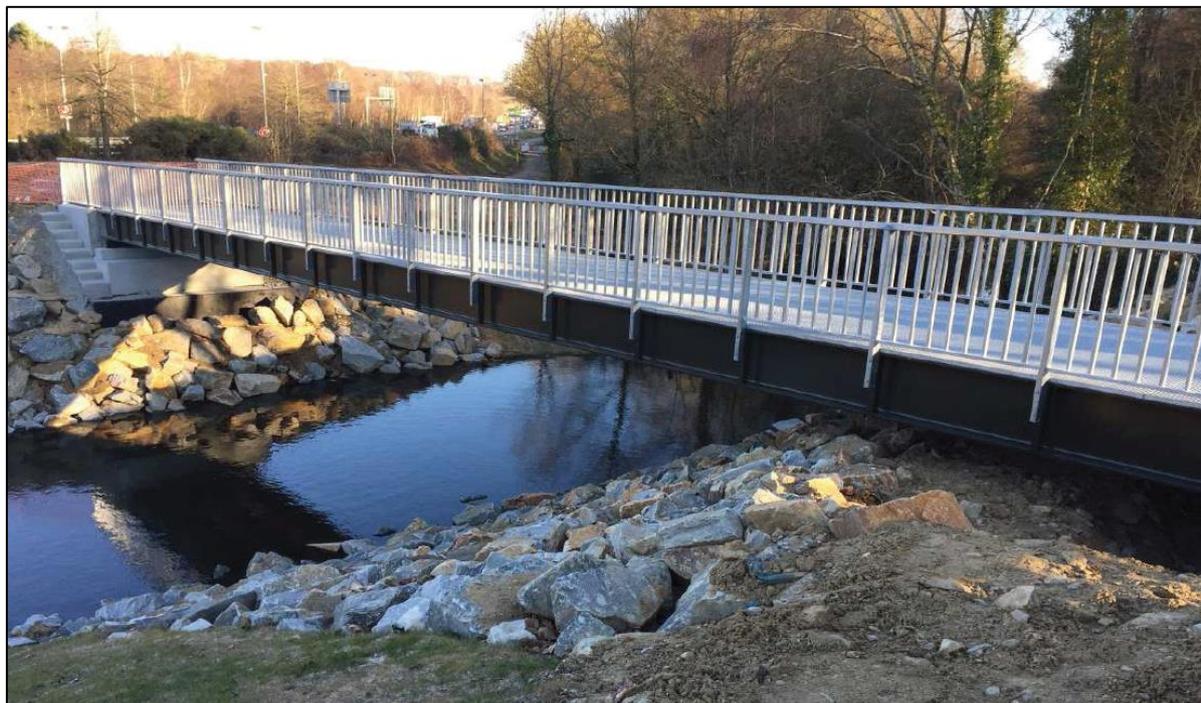


Figure 99 : Illustration de la passerelle envisagée : passerelle de type quadri-poutres



Figure 100 : Illustration des garde-corps envisagé

#### 5.5.4.8.2. *Projet de renaturation de la rivière Doujani*

Le projet de renaturation est développé autour de 3 principaux tronçons aux caractéristiques morphologiques et enjeux différents. Les grands principes d'aménagements sont présentés ci-dessous et seront développés ultérieurement dans le chapitre « modélisation hydraulique état projet » relatif aux incidences du projet sur la rivière Doujani.

**Tronçon 1 :** développement/reconstitution des boisements de berges sur une emprise de 20m de part et d'autre de l'axe de la rivière (Profil type 1 afférent).

- Démontage des protections de berges ainsi que de tous les éléments anthropiques existants, y compris évacuation des matériaux ;
- Reprofilage des berges en pente douce si nécessaire ;
- Maintien d'un lit sablonneux-vaseux dans la zone de marnage (absence de végétalisation volontaire sur cette zone) ;
- Mise en place d'un cordon boisé diversifié et stratifié par végétalisation simple des berges : bouturage, plantation d'arbustes et baliveaux puis ensemencement de l'ensemble des surfaces (espèces indigènes et adaptées).

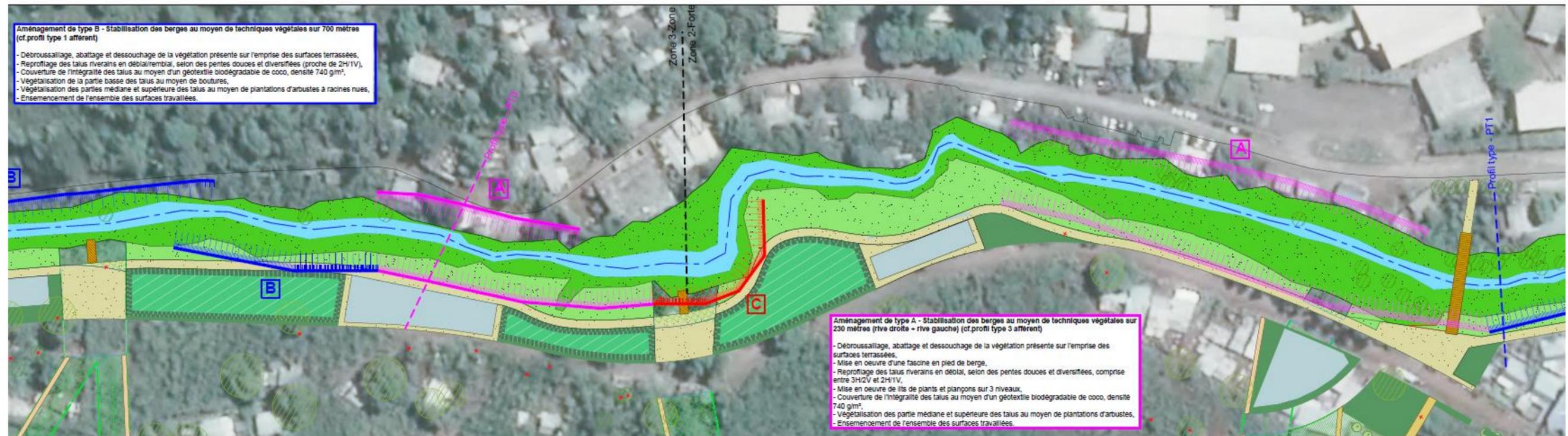
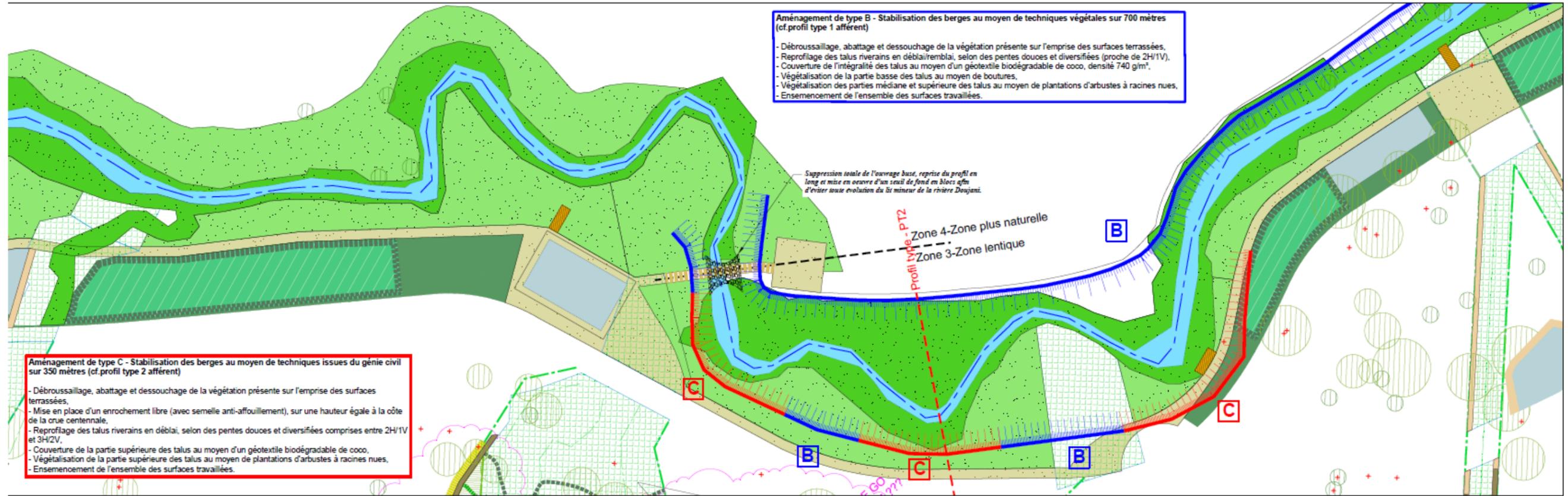
**Tronçon 2 :** reprofilage et stabilisation des berges représentant un risque d'effondrement pour les biens et les personnes au moyen de techniques végétales voire mixtes (profil type 2 afférent).

- Débroussaillage, abattage et dessouchage de la végétation présente sur l'emprise des travaux de terrassement ;
- Démontage des protections de berges instables existantes (pneus, tôles, carcasses, etc.), y compris évacuation des matériaux ;
- Terrassement des berges en déblais/remblais selon des pentes comprises entre 3H/2V et 2H/1V avec mise en place de matériaux gravelo-terreux d'apport ou issus des travaux de terrassement ;
- Mise en œuvre d'une protection de pied de berge en technique végétale (fascine) ou en génie civil (enrochement) ;
- Mise en œuvre de lit de plants et plançons renforcés au moyen de boudins de treillis de géotextiles biodégradable de coco sur la partie basse des talus ;
- Protection de l'intégralité des talus au moyen d'un géotextile biodégradable de coco ;
- Plantation de jeunes plants à racines nues d'essences indigènes et adaptée puis ensemencement de l'intégralité des surfaces travaillées.

**Tronçon 3 :** favoriser les processus géodynamiques et préserver/développer un espace de fonctionnalité (profil type 3 afférent).

- Maintien des zones d'érosion sur le tronçon homogène 3 ;
- Suppression de l'ensemble des ouvrages transversaux (seuils, ouvrages busés, etc.) et longitudinaux (protections de berges) limitant la dynamique érosive et le transport solide de la rivière ;
- Reprofilage des berges en pente douce si nécessaire, notamment les intrados de méandres ;
- Mise en place d'un cordon boisé diversifié et stratifié par végétalisation simple des berges : bouturage, plantation d'arbustes et baliveaux puis ensemencement de l'ensemble des surfaces (espèces indigènes et adaptées).
- Diversification des habitats terrestres et aquatiques : diversifier les faciès d'écoulement, création de zones humides (plantation d'hélophytes, zone d'herbier, etc.).

5.5.4.8.2.1. Sectorisation des aménagements



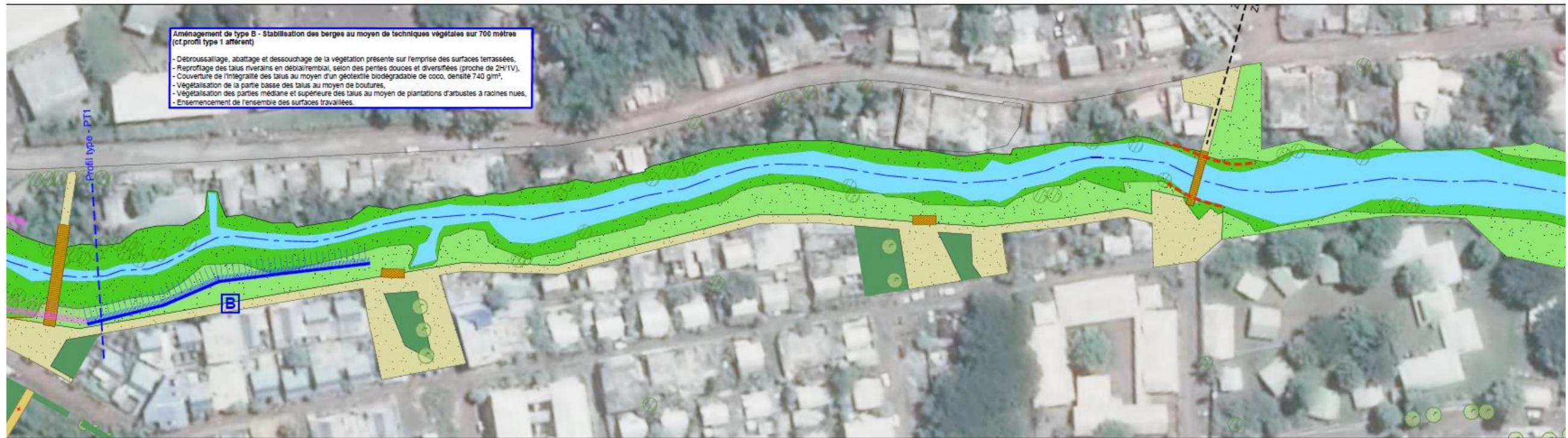


Figure 101. Vues schématiques, en coupe et en plan, d'un seuil en blocs de type rampe.

#### 5.5.4.8.2.2. Stabilisation des berges au moyen de techniques végétales

Avec pour objectif d'assurer à la fois la stabilité de la berge et protéger les habitations situées à proximité tout en tenant compte de l'ensemble des contraintes hydrauliques (capacité d'affouillement et forces tractrices) et technique de la rivière Doujani, il est proposé d'assurer le confortement de la berge droite au moyen de techniques végétales uniquement par la mise en place d'une fascine en pied de berge associée à la végétalisation de l'ensemble du talus.

Pour la confection de la fascine, il sera nécessaire d'enfoncer mécaniquement 2 rangés parallèles de pieux ( $H \geq 2\text{ m}$  ;  $\varnothing \geq 8\text{-}12\text{ cm}$ ) en quinconce. L'espacement des pieux sera de 60 cm sur la longueur et de 40 à 50 cm en largeur. Des ramilles seront disposées perpendiculairement au sens de la protection pour constituer un lit de branches « anti-affouillement ». Les branches vivantes avec ramilles seront disposées ( $L \geq 2\text{ m}$ ,  $\varnothing \geq 2\text{-}4\text{ cm}$ ) entre les pieux en intégrant dans la fascine de la terre végétale. La mise en œuvre se fera par couches successives. L'opération sera répétée autant de fois que nécessaire jusqu'à obtenir le volume de branche souhaité. L'ensemble des pieux seront ensuite attachés entre eux au moyen de fil de fer, puis battus mécaniquement de nouveau pour tendre les fils de fer et compacter au mieux la fascine.



Figure 102. Exemple de réalisation d'une fascine en cours de réalisation

Cette technique sera surmontée de lits de plants et plançons (mis en place sur trois niveaux renforcés au moyen d'un géotextile biodégradable de coco). La pente du boudin constitué sera de l'ordre de 2H1V. Les lits de plants et plançons constituent un ouvrage de protection/végétalisation de talus où des matériaux gravo-terreux sont végétalisés par la mise en place côte à côte de jeunes plants enracinés et de ramilles au sein d'une saignée accompagnés par la mise en œuvre en « boudin » de lés de géotextile intercalaires.

La partie supérieure du talus sera terrassée en déblai selon le même profil de pente que précédemment (2H/1V) puis protégée au moyen de treillis de géotextile biodégradables de coco. Les lés de géotextile biodégradables sont déroulés et placés en bandes successives parallèles au cours d'eau en débutant par le pied de berge. Le recouvrement des lés se fait de haut en bas et dans le sens du courant. Les lés sont plaqués au sol et maintenus par au moins deux agrafes par mètre carré (fers à béton recourbés, longueur totale  $\geq 40\text{ cm}$ ,  $\varnothing \geq 6\text{ mm}$ ) ou placés en boudin. Le rouleau supérieur (sommet de talus) sera plaqué au sol et maintenu par une rangée d'agrafes.

L'ensemble des surfaces travaillées fera l'objet d'un ensemencement au moyen d'un mélange. L'implantation de végétaux ligneux en partie supérieure du talus riverain s'effectuera sous la forme de jeunes plants à racines nues d'essences indigènes adaptées, en massifs et de manière disséminée, à des fins de diversification écologique et paysagère.



Figure 103. Exemple de réalisation d'une fascine, en fin de travaux photo de gauche et après une saison de végétation photo de droit

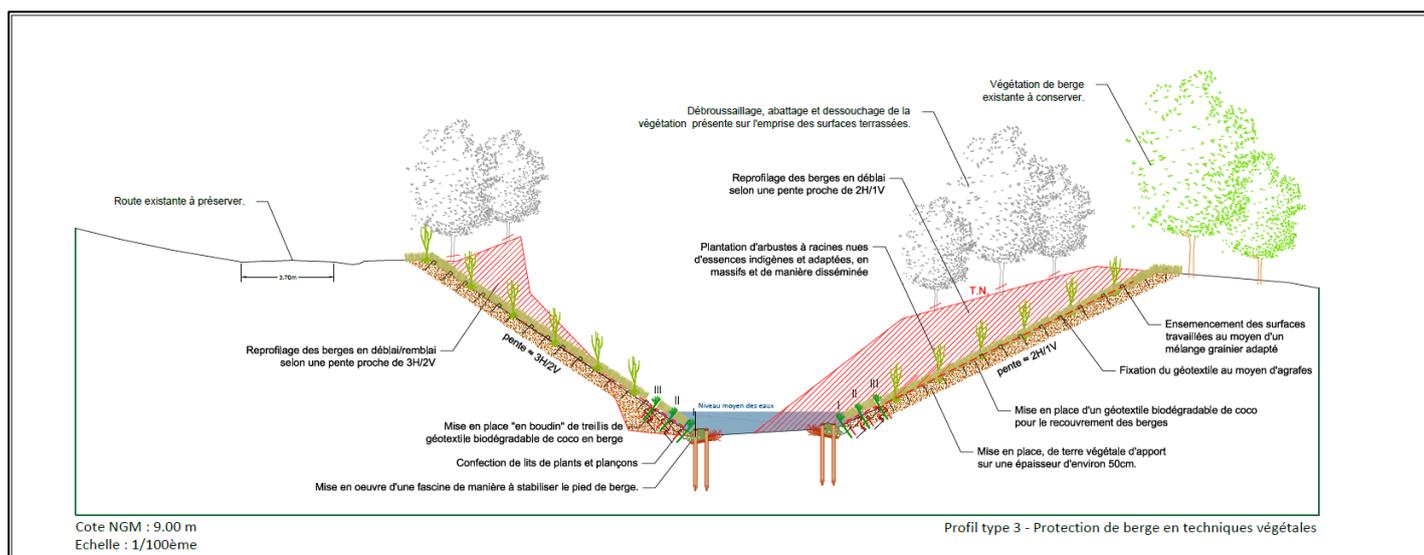


Figure 104. Profil en travers des ouvrages de protections de berges en technique végétale

### 5.5.4.8.2.3. Stabilisation des berges au moyen de techniques mixtes

L'enrochement sous-fluvial sera constitué de blocs d'enrochement (roche saine non fracturée, non gélive) qui seront finement appareillés. Les blocs présenteront une forme tétraédrique (avec des angles marqués) afin de faciliter leur imbrication. Un géotextile non-tissé synthétique sera mis en place sous l'ouvrage afin d'éviter l'enfoncement des blocs et le lessivage des particules fines du substrat de berge. La cote supérieure des enrochements est fixée au niveau de la crue centennale.

La partie supérieure du talus sera terrassée en déblai selon le même profil de pente que précédemment (3H/2V) puis protégée au moyen de treillis de géotextile biodégradables de coco. Les lés de géotextile biodégradables sont déroulés et placés en bandes successives parallèles au cours d'eau en débutant par le pied de berge. Le recouvrement des lés se fait de haut en bas et dans le sens du courant. Les lés sont plaqués au sol et maintenus par au moins deux agrafes par mètre carré (fers à béton recourbés, longueur totale  $\geq 40$  cm,  $\varnothing \geq 6$  mm) ou placés en boudin. Le rouleau supérieur (sommets de talus) sera plaqué au sol et maintenu par une rangée d'agrafes.

L'ensemble des surfaces travaillées fera l'objet d'un ensemencement au moyen d'un mélange. L'implantation de végétaux ligneux en partie supérieure du talus riverain s'effectuera sous la forme de jeunes plants à racines nues d'essences indigènes adaptées, en massifs et de manière disséminée, à des fins de diversification écologique et paysagère.



Figure 105. Exemple de chantier de restauration et stabilisation de berges au moyen de techniques mixtes : empierrement sous-fluvial et lits de plants et plançons renforcés par des boudins de géotextile. Etat de l'ouvrage en cours de chantier puis six mois après l'achèvement des travaux.

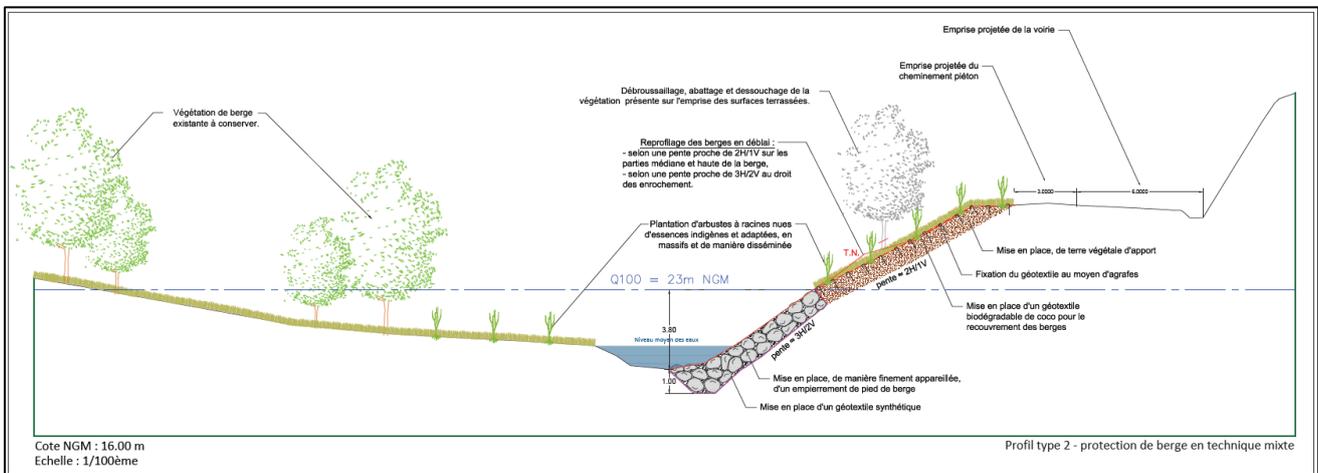


Figure 106. Profil en travers des ouvrages de protections de berges en technique mixte

#### 5.5.4.8.2.4. Végétalisation des berges

Les talus seront terrassés en déblai selon un profil de pente compris entre 3H/2V et 2H/1V puis protégée au moyen de treillis de géotextile biodégradables de coco. Les lés de géotextile biodégradables sont déroulés et placés en bandes successives parallèles au cours d'eau en débutant par le pied de berge. Le recouvrement des lés se fait de haut en bas et dans le sens du courant. Les lés sont plaqués au sol et maintenus par au moins deux agrafes par mètre carré (fers à béton recourbés, longueur totale  $\geq 40$  cm,  $\varnothing \geq 6$  mm) ou placés en boudin. Le rouleau supérieur (sommet de talus) sera plaqué au sol et maintenu par une rangée d'agrafes.

L'ensemble des surfaces travaillées fera l'objet d'un ensemencement au moyen d'un mélange. L'implantation de végétaux ligneux en partie supérieure du talus riverain s'effectuera sous la forme de jeunes plants à racines nues d'essences indigènes adaptées, en massifs et de manière disséminée, à des fins de diversification écologique et paysagère.

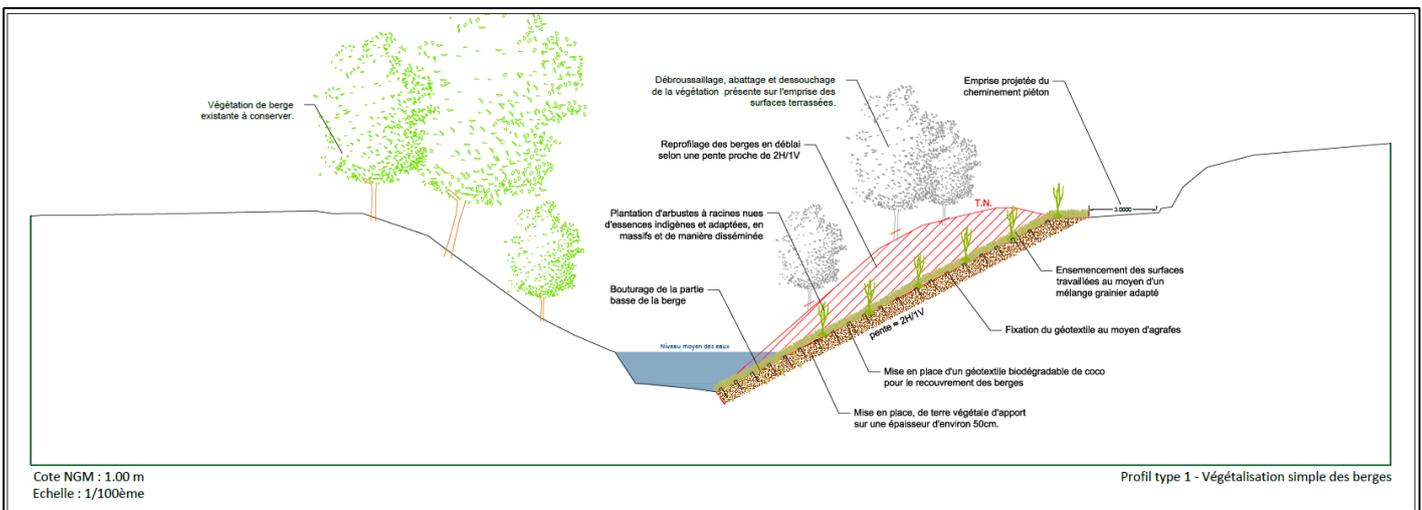


Figure 107. Profil en travers des travaux de végétalisation de berges

#### 5.5.4.8.2.5. Restauration et stabilisation du profil en long

Afin de rétablir un profil en long d'équilibre et supprimer les obstacles à la continuité écologique et sédimentaire, les ouvrages transversaux problématiques seront entièrement démontés et les matériaux obtenus, évacués dans un lieu de décharge approprié. Des seuils de type rampe ou seuil de fond ancrés (sans hauteur de chute) seront disposés afin de prévenir toute évolution du lit de la rivière Doujani sur certains tronçons.

Actuellement deux ouvrages transversaux (un seuil et un ouvrage busé) situés sur le tronçon homogène 3 nécessitent d'être démontés et évacués. En lieu et place de ces ouvrages, des seuils de type rampe en blocs seront mis en place.

Les seuils de type rampe projetés ont pour but de stabiliser le fond du lit du cours d'eau, de façon à éviter son éventuelle incision. Ils seront réalisés en blocs finement appareillés, non liaisonnés, et édifiés en forme d'accent circonflexe, avec une rampe aval de faible pente (cf. figure ci-dessous). Ils ne devront en aucun cas ressembler à des « toboggans », mais au contraire présenter une rugosité optimum permettant la dissipation de l'énergie hydraulique ainsi que la franchissabilité des ouvrages pour les peuplements piscicoles, entre autres.



Figure 108. Vues de détail de différents seuils en blocs :

- A – Détail de réalisation : mise en forme de la rampe aval d'un seuil après mise en place d'un géotextile synthétique non tissé en fond de fouille et avant édification de la rampe amont de l'ouvrage.
- B – Configuration cintrée de l'ouvrage en crête de façon à conduire les écoulements en partie centrale de l'ouvrage (mise en forme d'ailette en blocs de part et d'autre de l'ouvrage en crête).
- C – Remblaiement des interstices entre les blocs au moyen de graviers et cailloux de manière à augmenter la bonne tenue de l'édifice.
- D – Vue d'un seuil en blocs « fraîchement » achevé et de faible dénivelé (de l'ordre de 25 cm) dont la rampe aval est relativement longue (proche de 5% de pente), permettant ainsi « d'accompagner » opportunément la légère rupture du profil en long du ruisseau.

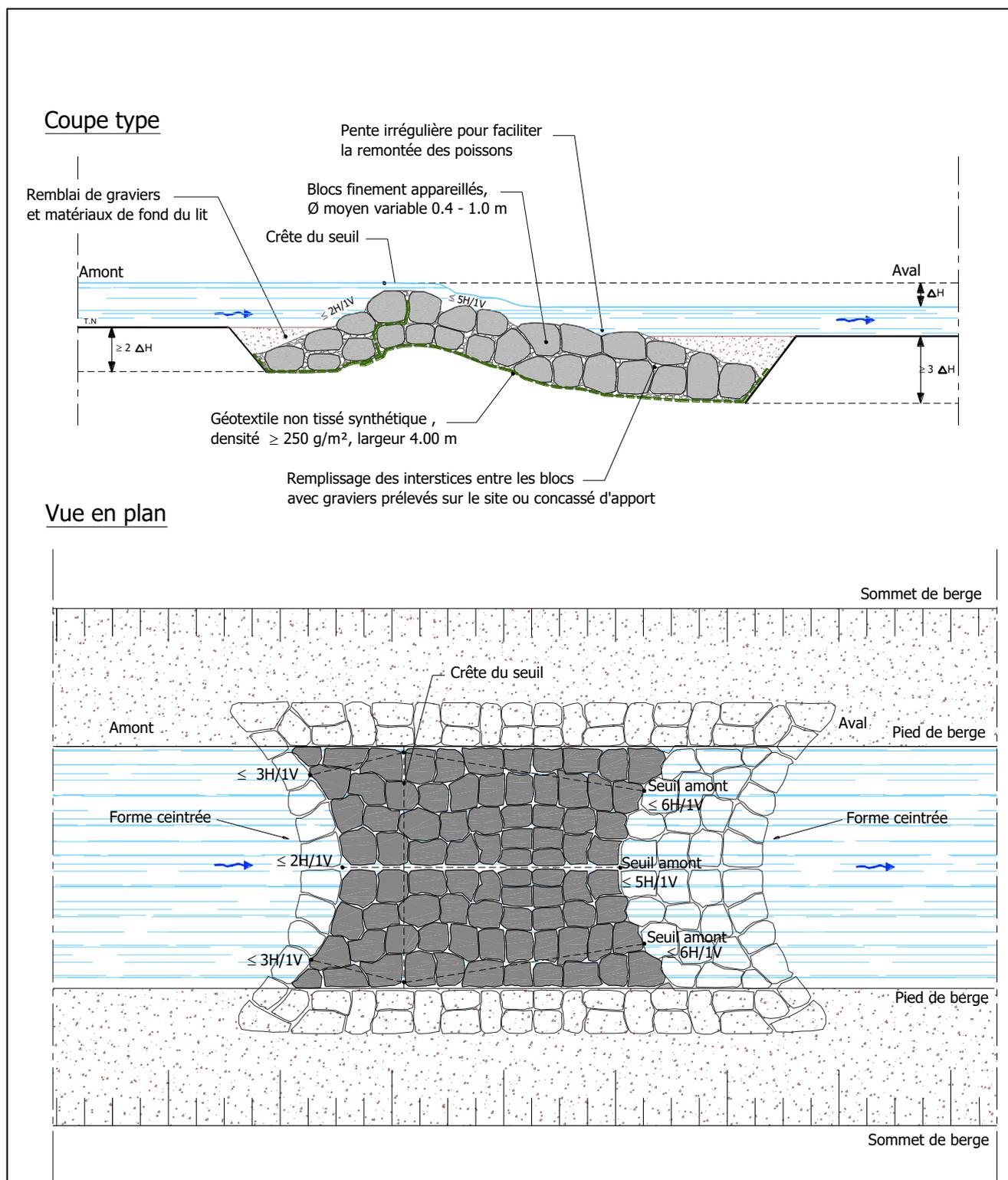


Figure 109. Vue schématique, en coupe et en plan, d'un seuil en blocs de type rampe.

Les blocs constitutifs des ouvrages pourront être issus des travaux de terrassements en déblais ou correspondre à des matériaux d'apport. L'ensemble des blocs extraits dans le cadre des travaux seront réutilisés sur site autant que possible.

### 5.5.4.8.3. *Intégration des hypothèses de déploiement des bâtiments du projet de ZAC*

La mise en œuvre de la ZAC demandera un important travail préalable de libération des emprises et notamment la démolition de nombreuses constructions d'habitat précaire et insalubre. Il s'agit principalement des abords de la rivière et de la route de la Carrière, dans le secteur d'extension ouest.

Dans le village, si un objectif est également de démolir un habitat précaire, en particulier le long de la rivière, cette démarche concerne également certains îlots où une action de renouvellement urbain aura été décidée.

Les constructions d'habitat précaire et insalubre ont été supprimées du modèle et l'ensemble des bâtiments du projet de ZAC a été intégré à l'état projet. L'analyse s'est portée sur leur implantation vis-à-vis du PPRi en vigueur ainsi que sur leurs éventuelles incidences sur les écoulements au travers de la modélisation hydraulique de la crue centennale.



Figure 110 : Intégration des bâtiments à l'état initial puis à l'état projet

#### 5.5.4.8.4. *Intégration des infrastructures de drainage des eaux pluviales*

Comme indiqué précédemment, le projet prévoit l'implantation d'un ouvrage de franchissement de type passerelle piétonne dans son périmètre.

Cet ouvrage ne comportant aucune pile et étant situé en dehors de la zone d'aléa inondation de la rivière Doujani, seule sa côte d'implantation sera analysé dans le cadre de la simulation d'une crue centennale à l'état projet.

Les culées n'ont donc pas été intégrées au modèle n'ayant aucunes incidences sur les écoulements.

En revanche les ouvrages de franchissements mis en œuvre au droit des affluents Sud de la rivière Doujani ont été intégrés manuellement au modèle ainsi que les ouvrages d'entonnement prévus par la maîtrise d'œuvre.



Figure 111 : Intégration des ouvrages hydrauliques au sein du MNT – Comparaison entre état initial et état projet

#### 5.5.4.9. Résultats du scénario 2 – Etat projet

Les simulations de la crue centennale de la rivière Mro Oua Doujani et de ses affluents dans la traversée du projet de création de ZAC, ont permis de mettre en évidence les paramètres caractéristiques des écoulements induits.

La figure ci-dessous illustre l'étendue de la zone d'expansion de la crue centennale de ce système hydrographique, résultant de la modélisation mathématique 2D détaillée ci-dessus :



Figure 112 : Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale de la rivière Mro Oua Doujani et ses affluents sur la zone d'étude (Etat projet)

##### 5.5.4.9.1. Analyse globale des résultats

A l'échelle du bassin versant, l'analyse des écoulements est identique à l'état initial. Seules les modifications apportées par la mise en œuvre des intercepteurs et ouvrages de franchissement, les travaux de terrassements au droit du cours d'eau (projet de renaturation de la rivière Doujani) ainsi que dans une moindre mesure les bâtiments implantés sur les coteaux ont une incidence sur le fonctionnement hydraulique de la zone d'étude.

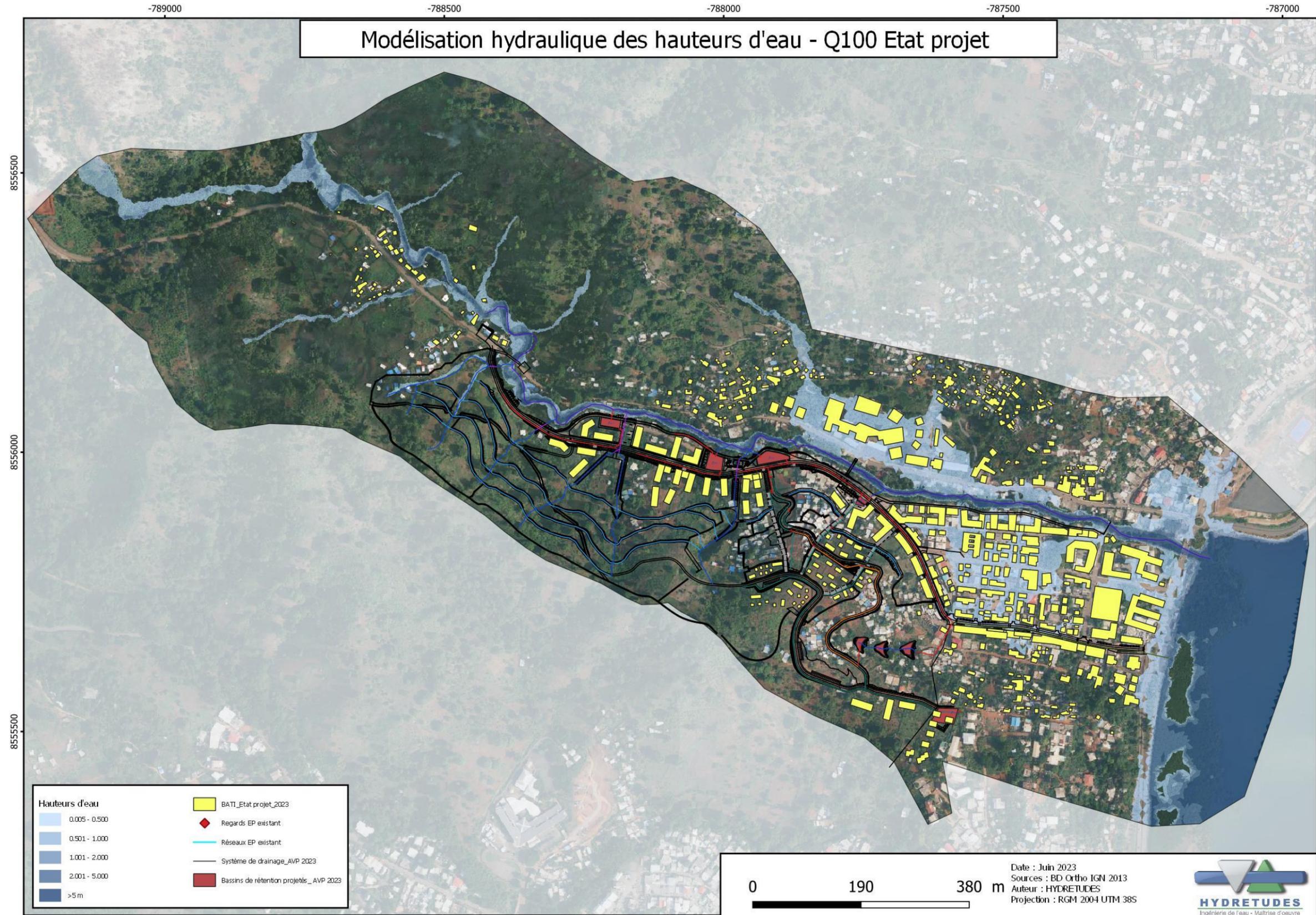


Figure 113 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales (Etat projet)

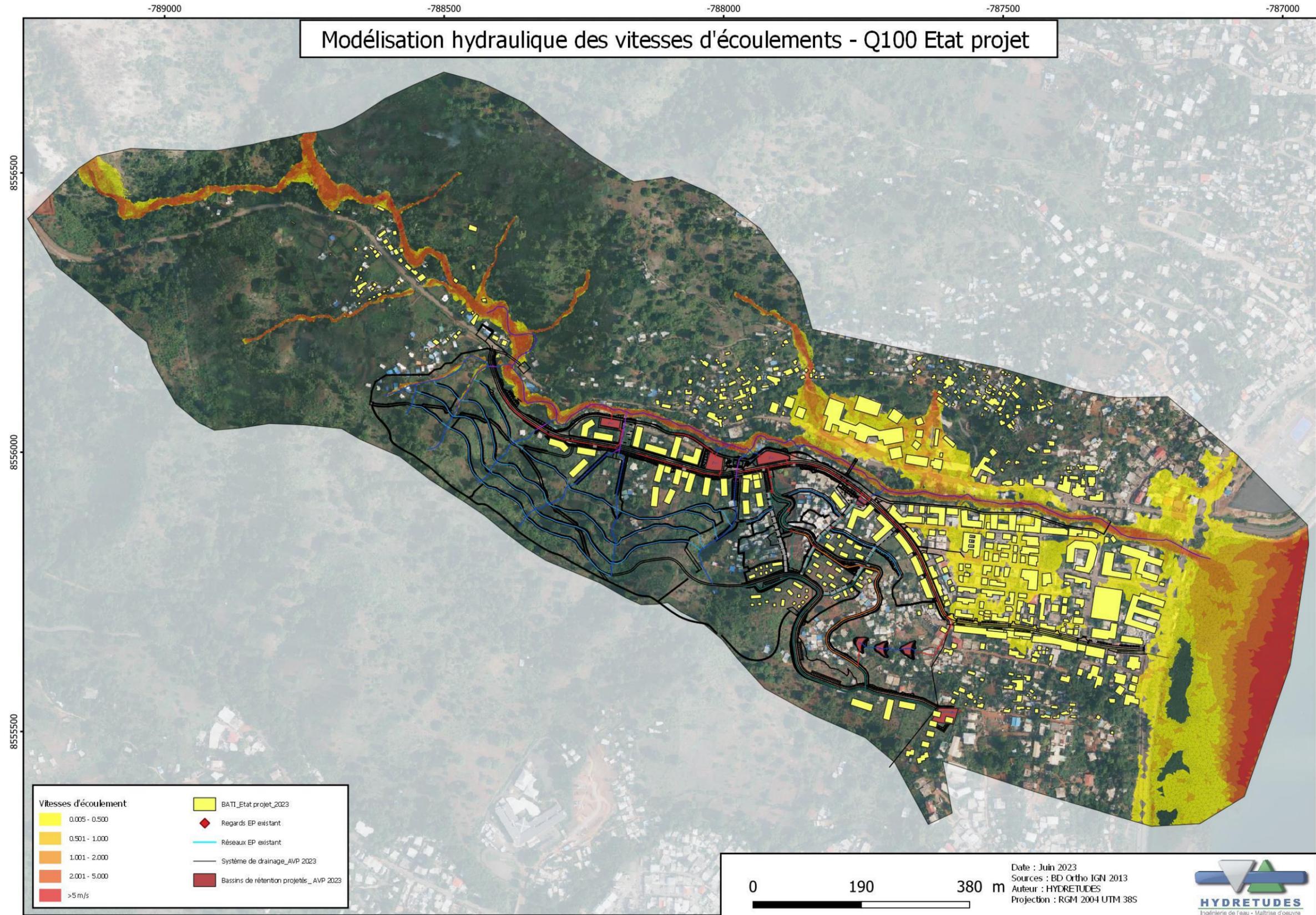


Figure 114 : Cartographie des vitesses d'écoulements maximales (Etat projet)

#### *5.5.4.9.2. Incidences des éléments de projet pris en compte dans la modélisation*

##### *5.5.4.9.2.1. Incidences de l'ouvrage de franchissement : passerelle piétonne*

Les résultats montrent tout d'abord que l'ouvrage de franchissement de type passerelle piétonne est correctement dimensionné. En effet, il permet de laisser transiter le débit de la rivière Doujani.

La modélisation n'intégrant pas d'embâcle, la revanche de sécurité est bien disponible. Même si la revanche est importante, elle peut néanmoins avoir une incidence sur la probabilité d'embâcle localisé. Il conviendra donc d'être vigilant sur l'entretien de ces ouvrages, et de garantir leur pleine capacité avant l'arrivée des écoulements.

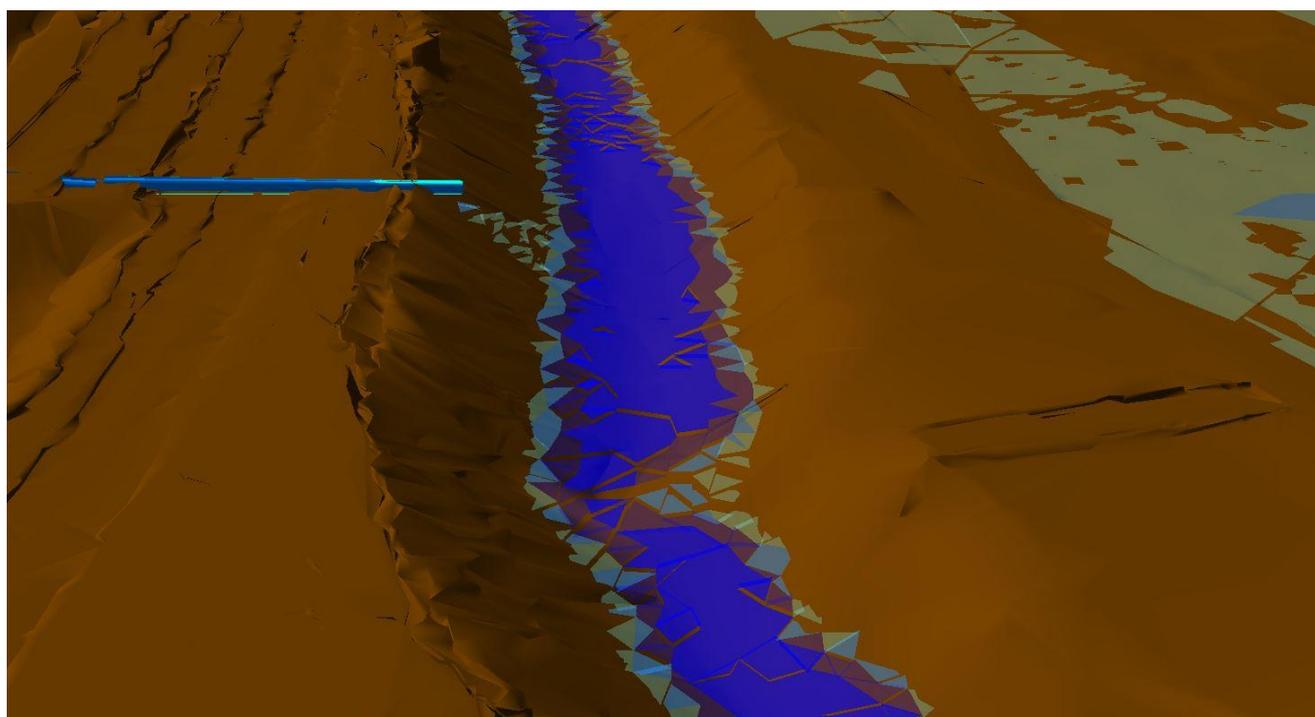


Figure 115 : Illustration 3D des hauteurs d'eau au droit de l'ouvrage

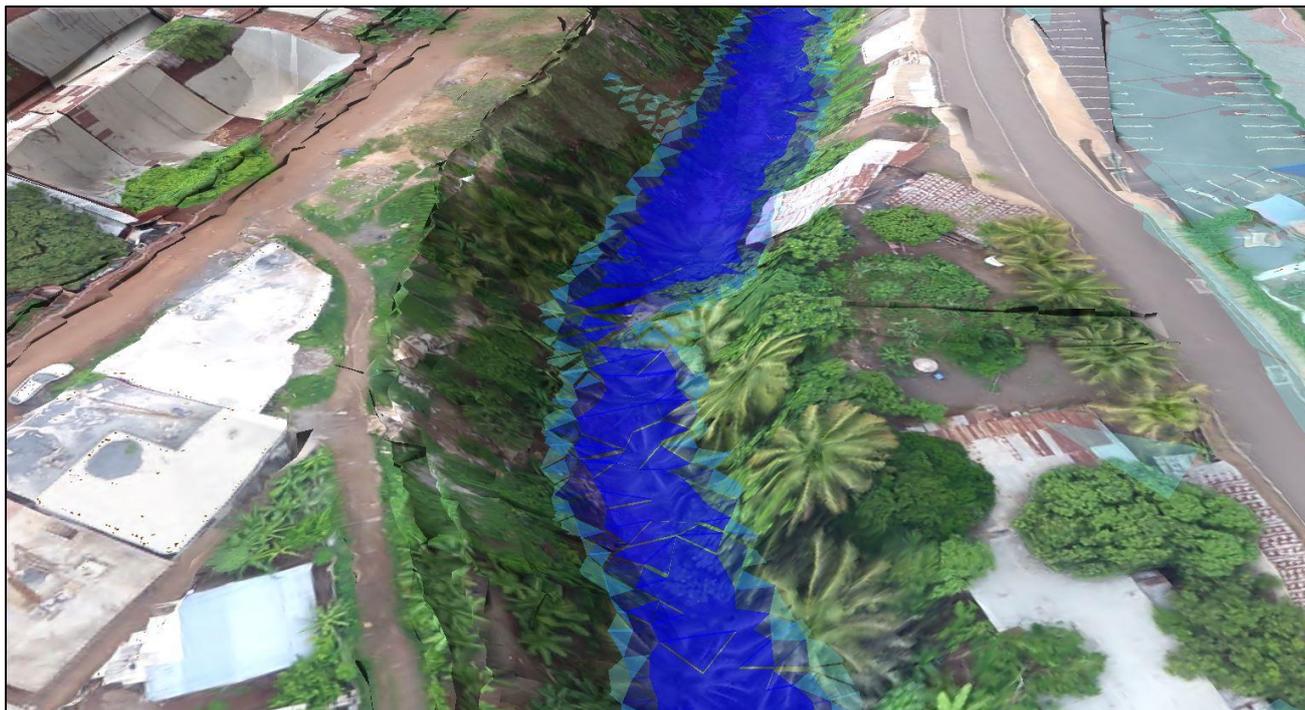


Figure 116 : Illustration 3D des hauteurs d'eau au droit de l'ouvrage avec photographie aérienne

De par la mise en œuvre des intercepteurs et ouvrages de franchissements, les arrivées d'eau provenant des affluents de la rivière Doujani à l'état initial sont totalement supprimées.

Les culées de l'ouvrages sont situées en dehors de l'aléa inondation par débordement de cours d'eau et l'aléa inondation provenant des affluents et du ruissellement urbain est quant à lui supprimé par l'opération de ZAC.

La passerelle est donc correctement dimensionnée pour le passage d'une crue d'occurrence centennale.

Les cartographies présentées ci-dessous permettent de comparer les écoulements entre l'état initial et l'état projet ainsi que les vitesses d'écoulements localement observées au droit de l'ouvrage :

- Hauteurs d'eau EI = 3,00m
- Vitesses EI = 3,00m/s
- Hauteurs d'eau EP = 2,60m
- Vitesses EP = 5,00m/s

**Comparaison des hauteurs d'eau entre l'état initial et l'état projet au droit de la future passerelle :**

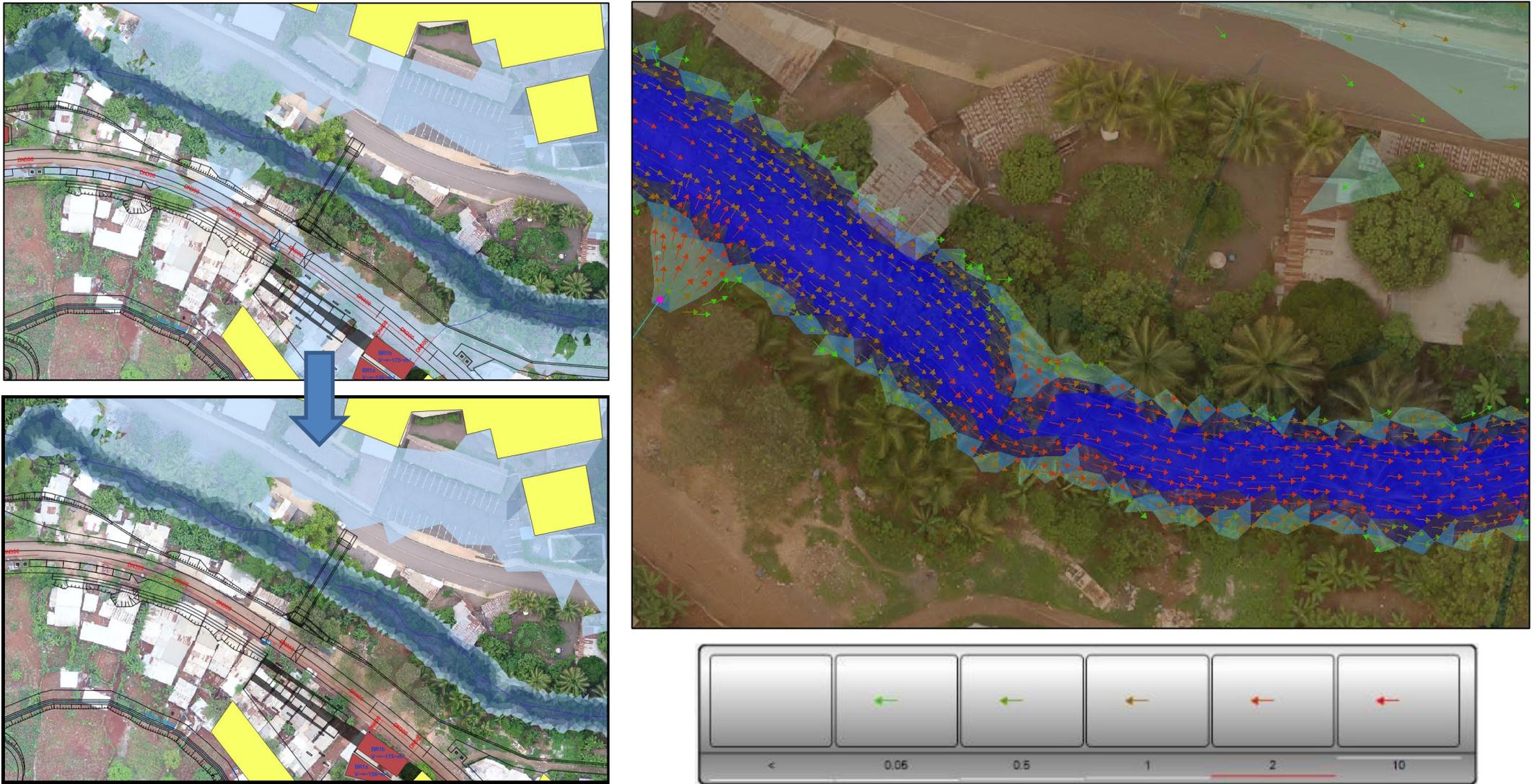


Figure 117 : Comparaison des hauteurs d'eau à l'état initial puis à l'état projet.

### 5.5.4.9.2.2. Incidences des travaux de renaturation de la rivière Doujani

#### 5.5.4.9.2.2.1. Incidences de la suppression de l'ouvrage busé et des travaux de reprofilage des berges sur le secteur amont

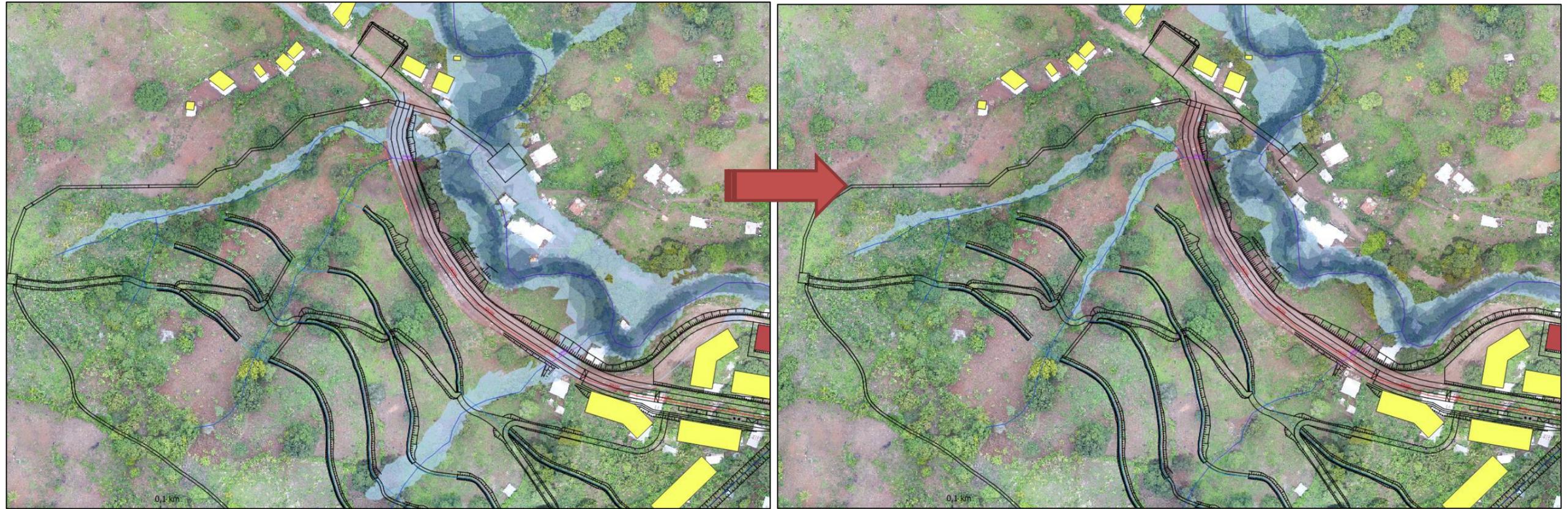


Figure 118 : Comparaison des hauteurs d'eau entre l'état initial et l'état projet au droit du secteur amont

#### Nature des aménagements :

- Suppression de l'ouvrage de franchissement de type buse diamètre 1000mm,
- Restauration et stabilisation du profil en long par la mise en œuvre de seuils de fond,
- Stabilisation des berges au moyen de techniques végétales ou mixtes,
- Travaux de reprofilage des berges en déblais selon des profils de pentes douces comprises entre 2H/1V et 3H/2V,
- Travaux de végétalisation des berges.

#### Incidences des aménagements :

- Suppression des débordements en amont rive droite de l'ancien ouvrage de franchissement de type buse diamètre 1000mm,
- Augmentation de la capacité hydraulique de la rivière Doujani,
- Aucune incidence significative sur les hauteurs d'eau suite aux travaux de stabilisation et de reprofilage des berges. L'intégralité des débordements est contenue dans le lit mineur de la rivière toutefois cette augmentation de débit est compensée par l'élargissement de la section hydraulique sur le secteur des méandres.

5.5.4.9.2.2.2. Incidences des travaux de reprofilage des berges sur le secteur médian

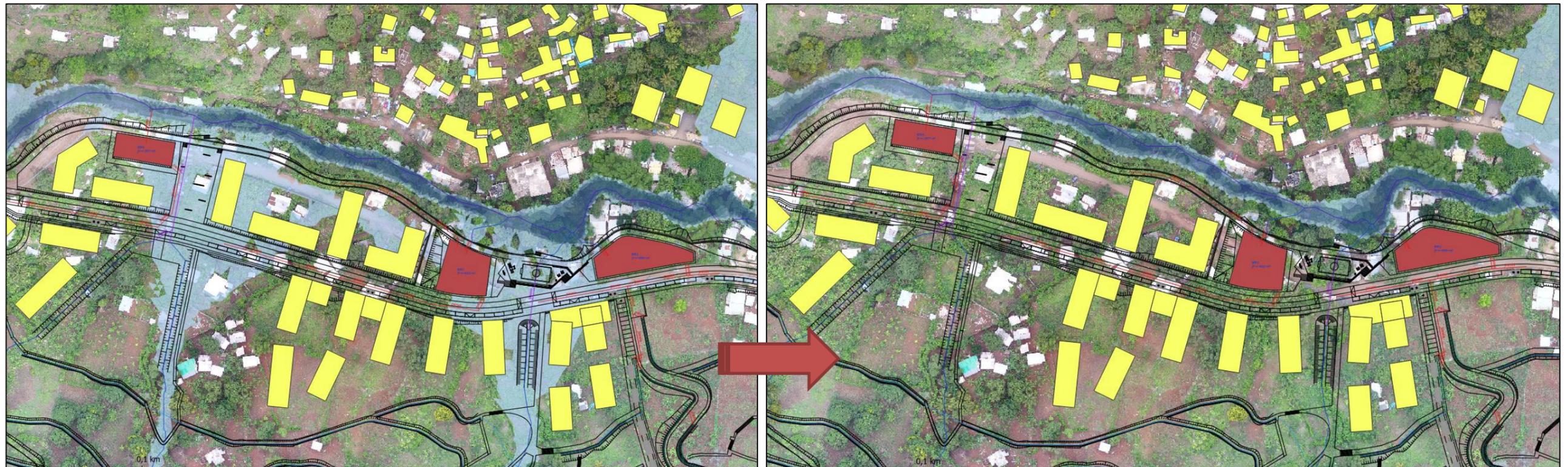


Figure 119 : Comparaison des hauteurs d'eau entre l'état initial et l'état projet au droit du secteur médian

Nature des aménagements :

- Stabilisation des berges au moyen de techniques végétales ou mixtes,
- Travaux de reprofilage des berges en déblais selon des profils de pentes douces comprises entre 2H/1V et 3H/2V,
- Travaux de végétalisation des berges.

Incidences des aménagements :

- Augmentation de la capacité hydraulique de la rivière Doujani,
- Réduction des hauteurs d'eau suite aux travaux de stabilisation et de reprofilage des berges.

5.5.4.9.2.2.3. Incidences des travaux de reprofilage des berges sur le secteur aval



Figure 120 : Comparaison des hauteurs d'eau entre l'état initial et l'état projet au droit du secteur aval

Nature des aménagements :

- Stabilisation des berges au moyen de techniques végétales ou mixtes,
- Travaux de reprofilage des berges en déblais selon des profils de pentes douces comprises entre 2H/1V et 3H/2V,
- Travaux de végétalisation des berges.

Incidences des aménagements :

- Augmentation de la capacité hydraulique de la rivière Doujani,
- Réduction des hauteurs d'eau suite aux travaux de stabilisation et de reprofilage des berges.

### 5.5.4.9.2.3. Incidences des bâtiments du projet de ZAC

La mise en œuvre de la ZAC demandera un important travail préalable de libération des emprises et notamment la démolition de nombreuses constructions d'habitat précaire et insalubre. Il s'agit principalement des abords de la rivière et de la route de la Carrière, dans le secteur d'extension ouest.

A l'état initial, certaines de ces constructions se situaient en zone inondable par débordement de la rivière Doujani ou par ruissellements provenant de ces affluents. La figure ci-dessous illustre les constructions impactées par les inondations.

A l'état projet, la -totalité du projet de ZAC prévoit l'implantation des bâtiments **en rive droite de la rivière Doujani**, sur le versant Sud de la zone d'étude. Ces bâtiments se situent en dehors des zones d'aléa inondation par débordement de cours d'eau.

Afin de canaliser les écoulements diffus provenant des affluents et du coteau ainsi que d'assurer la transparence hydraulique au droit du projet de voiries, des intercepteurs seront mis en place au sein du coteau. Les talwegs ont également été repris et des ouvrages de franchissements ont été mis en œuvre.

Ainsi comme l'illustre la cartographie ci-dessous, aucune des futures constructions n'est implantée dans une zone de ruissellements.

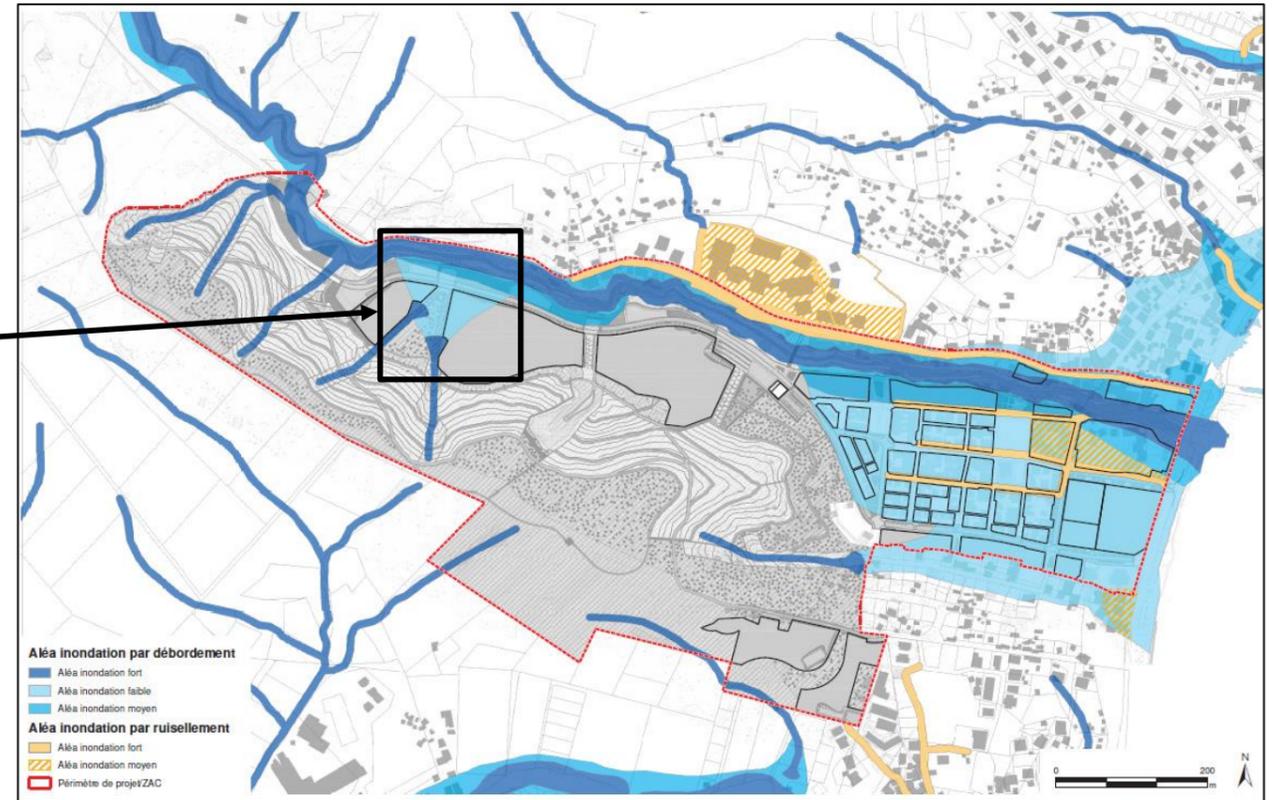


Figure 121 : Superposition de l'aléa inondation et du projet d'implantation des futurs îlots de la ZAC

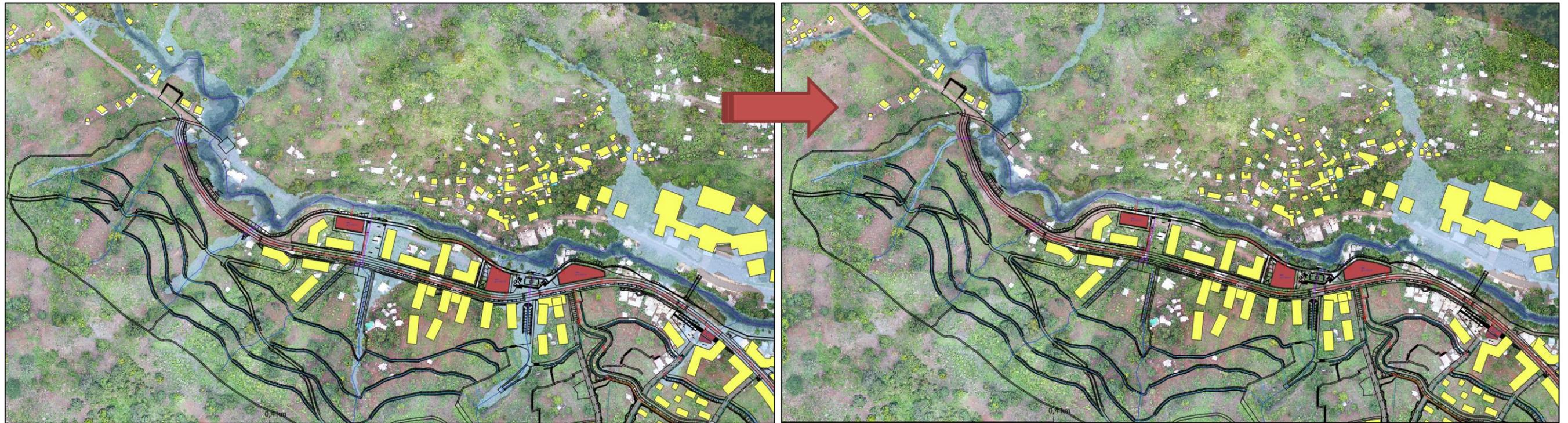


Figure 122 : Incidences des bâtiments sur les écoulements à l'état initial puis à l'état projet

5.5.4.9.2.4. Incidences des infrastructures de drainage des eaux pluviales

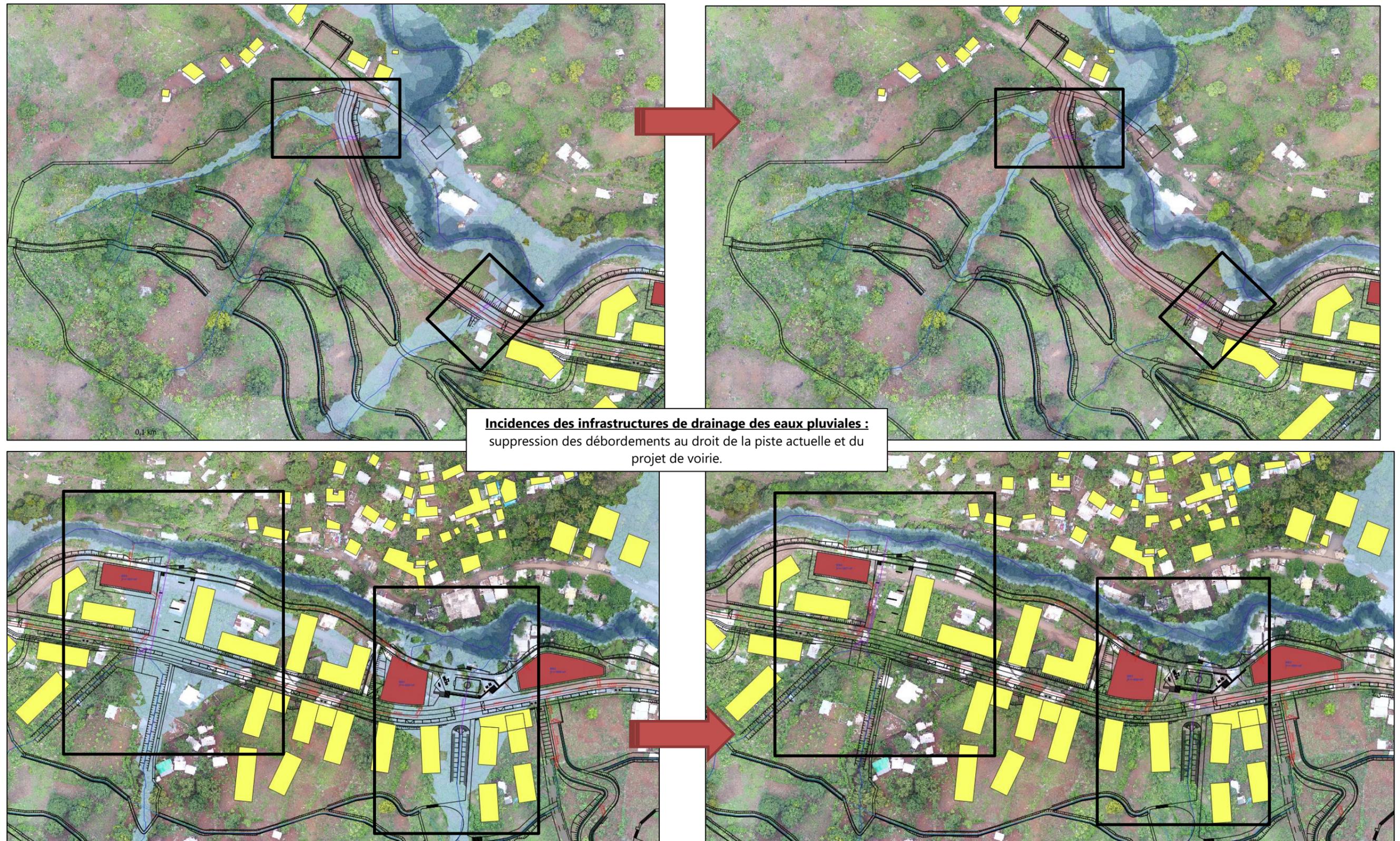


Figure 123 : Incidences des ouvrages de franchissements sur les écoulements à l'état initial puis à l'état projet

#### 5.5.4.10. Conclusion

Les 2 scénarios étudiés (état initial et état projet) mettent en évidence les points suivants :

- Aucun impact de l'ouvrage de franchissement de type passerelle sur la ligne d'eau dans le lit mineur de la rivière Doujani (franchissement dimensionné pour Q100 avec revanche suffisante) ;
- Une amélioration des conditions d'écoulements suite au projet de renaturation de la rivière Doujani : augmentation de la section hydraulique du cours d'eau et suppression de l'ouvrage busé générant des débordements ;
- Les bâtiments du projet de ZAC ne se situent pas en zones d'aléa inondation. Ces derniers n'ont aucune incidence sur les écoulements. De plus les constructions d'habitat précaire et insalubre anciennement présentes en zone inondable seront démolies et les terrains remis en état ;
- La mise en œuvre des infrastructures de drainage supprime des débordements au droit des différents affluents et talwegs situées au Sud de la zone d'étude permettant ainsi le développement de la ZAC tel qu'il a été envisagé.

## **6. ANNEXES**

- 6.1. RAPPORT D'ETUDE HYDRAULIQUE – JANVIER 2023**
- 6.2. PLAN DETAILLE DES SOUS-BASSINS VERSANTS**
- 6.3. PLAN DETAILLE DU SYSTEME DE DRAINAGE**
- 6.4. PLAN HYDRAULIQUE**
- 6.5. PLAN DES RESEAUX PROJETES D'EAUX PLUVIALES ET D'EAUX USEES\_PLANCHE 1**
- 6.6. PLAN DES RESEAUX PROJETES D'EAUX PLUVIALES ET D'EAUX USEES\_PLANCHE 2**
- 6.7. COUPES TYPE SUR BASSINS DE RETENTION**
- 6.8. PRINCIPE DE RESEAUX SUR ESCALIER**
- 6.9. FICHES SYNTHETIQUES OUVRAGES RETENTION**

# NOS DOMAINES D'ACTIVITÉS

## UNE EXPERTISE DE L'EAU COMPLETE — ET UN ACCOMPAGNEMENT SUR MESURE

### Rivières, lacs et torrents

Prévention, prévision, protection, gestion du risque inondation, Expertise post crue, gestion de crise.  
Gestion sédimentaire.  
Réalisation d'ouvrages de protection des biens et des personnes (Barrages, digues, ouvrages de franchissement).

### Environnement et écologie

Renaturation & valorisation des cours d'eau et milieux associés.  
Développement durable.  
Protection des milieux.  
Continuité écologique.

### Réseaux

Production, stockage & distribution d'eau potable.  
Assainissement & épuration des eaux usées.  
Gestion des eaux pluviales.  
Conception et gestion des aménagements  
D'irrigation et d'enneigement.

### Topographie

Topographie de rivières, de réseaux.  
Récolement.

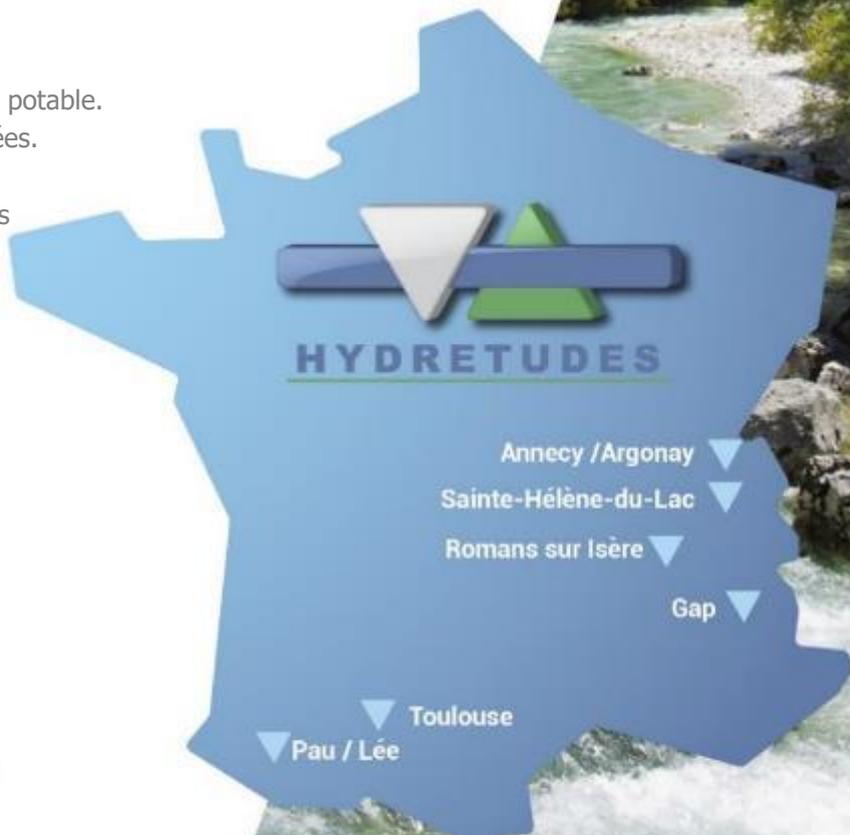
Contact :

[contact@hydretudes.com](mailto:contact@hydretudes.com)

[www.hydretudes.com](http://www.hydretudes.com)



Flânez et visitez notre site



## Annexe 5 : Etude de trafic

Réalisation : SETEC

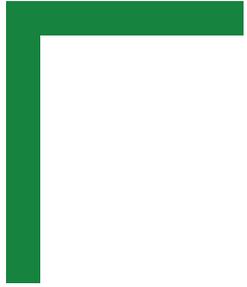




# Etude de trafic sur la ZAC de Doujani - MAJ

Version E00 – 31/05/2023

---



# Introduction

---

01.

# Contexte de l'étude

- Setec, a réalisé en novembre 2022 une étude de trafic dans le cadre de la réalisation de la ZAC Doujani
- Une nouvelle version de l'étude AVP de la ZAC Doujani a été validée et intègre 03 modifications majeures :
  - la création de la rue des Coteaux en sens unique, reliant la rue de la Carrière et la rue de la Crêtes
  - Le Raccordement de la route de la Crête sur la RN2 via le village de Passamainty
  - La Modification de la programmation de la ZAC
- Cyathea responsable des études au sein de la ZAC Doujani sollicite donc setec international pour la mise à jour de l'étude de trafic

# Contexte de l'étude



La ZAC de Doujani se situera au sud de Mamoudzou.

Le site offrira des nouveaux espaces capables d'accueillir des logements pour répondre à la croissance démographique de l'île.

Le choix du site de Doujani répond également à l'objectif de rééquilibrer le développement urbain de l'agglomération en renforçant le secteur sud.



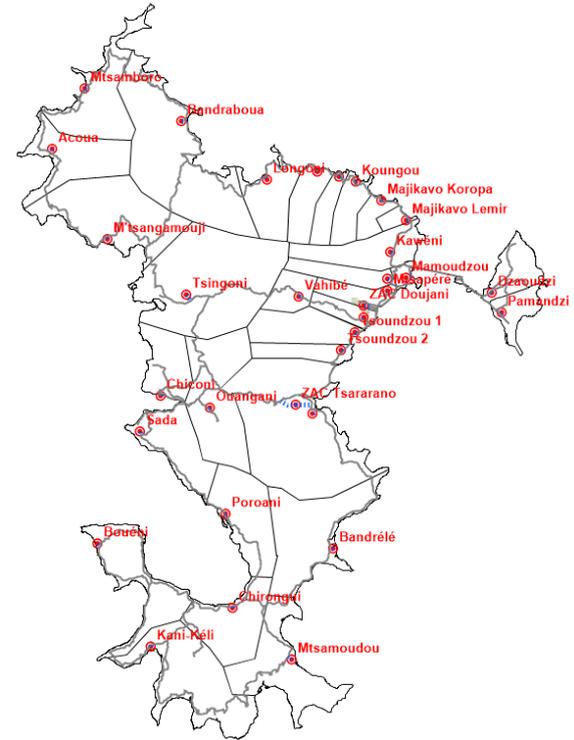
# Rappel de la méthodologie du modèle de trafic existant

---

02.

# Méthodologie du modèle de trafic

- Le modèle de trafic est un modèle à 3 étapes avec affectation statique monomodale et boucle de rétroaction pour prendre en compte la congestion
- Il repose sur un zonage de **36 zones**, dont un correspondant au village de Doujani et deux à l'extension est de la future ZAC de Doujani, pour tester l'impact sur les trafics à l'horizon 2030 (année à laquelle la ZAC est supposée entièrement réalisée).



# Méthodologie du modèle de trafic

- La première étape du modèle est l'étape de **génération** : les déplacements émis et attirés par chaque zone du modèle sont calculées à partir des variables sociodémographiques zonales suivantes :
  - Population et population active occupée,
  - Emplois au lieu de travail et emplois tertiaires au lieu de travail,
  - Population scolarisée et effectifs scolaires
- Les données socioéconomiques de 2018 (année de calage, cf. ci-après) sont extrapolées à partir des tendances calculées à partir des recensement de l'INSEE de 2012 et 2017
- Les données de l'INSEE sont disponibles à l'échelle des communes.
- Lorsqu'une commune regroupe plusieurs zones du modèle, les données de l'INSEE sont désagrégées par zone, au pro rata des surfaces habitées.

# Méthodologie du modèle de trafic

- Pour chaque zone, le **nombre d'émissions et d'attractions** par motif pour une journée entière se calcule selon les formulations suivantes :

Motif	Variable en émission	Variable en attraction
Domicile → Travail (DT)	Actifs occupés	Emplois
Domicile → Études (DET)	Population scolaire	Effectifs scolaires
Domicile → Autres Motifs (DAM)	Population	Population + 5 * Emplois tertiaires
Travail → Domicile (TD)	Emplois	Actifs occupés
Études → Domicile (ETD)	Effectifs scolaires	Population scolaire
Autres Motifs → Domicile (AMD)	Population + 5 * Emplois tertiaires	Population
Secondaires (SEC)	Population + 5 * Emplois tertiaires	Population + 5 * Emplois tertiaires

- Ces émissions/attractions sur la journée sont ensuite réparties selon les différentes périodes de la journée selon les ratios présentés ci-après.

# Méthodologie du modèle de trafic

- Le modèle compte en effet **4 périodes horaires** dès l'étape de génération :

Période	Plage horaire	Durée
Heure de Pointe du Matin (HPM)	6 <sup>h</sup> – 9 <sup>h</sup>	3h
Heure Moyenne (HM)	9 <sup>h</sup> – 15 <sup>h</sup> et 18 <sup>h</sup> – 21 <sup>h</sup>	9h
Heure de Pointe du Soir (HPS)	15 <sup>h</sup> – 18 <sup>h</sup>	3h
Heure Creuse (HC)	21 <sup>h</sup> – 6 <sup>h</sup>	9h

- Ces périodes avaient été déterminées en analysant les profils de trafic horaire de l'enquête déplacements de 2009 (menée en novembre 2009 au niveau de Kawéni et de Passamaity auprès de 3 400 véhicules particuliers, deux roues motorisés et taxis) et en se basant sur la répartition horaire utilisée dans le modèle régional multimodal de la Réunion développé par setec international.
- Les émissions-attractions sont également calculées selon 7 motifs : Domicile-Travail (DT), Domicile-Etudes (DET), Domicile-Autres motifs (DAM) et leur sens retour, et enfin motifs secondaires (SEC). Ces motifs ont des répartitions horaires propres, elles-mêmes calculées à partir de l'enquête déplacements de 2009 (+ retouches de quelques % lors de l'étape de calage) : celles-ci sont exprimées dans la table suivante :

Période Horaire \ Motif	DT	TD	DET	ETD	DAM	AMD	SEC
HPM	59%	2%	72%	0%	24%	4%	8%
HM	37%	54%	36%	56%	58%	69%	80%
HPS	5%	55%	1%	63%	22%	34%	22%
HC	15%	11%	7%	2%	7%	10%	9%

# Méthodologie du modèle de trafic

- A partir de cette étape, les motifs sont regroupés en trois grands motifs :
  - Domicile  $\Leftrightarrow$  Travail (DT + TD)
  - Domicile  $\Leftrightarrow$  Études (DE + ED)
  - Autres Motifs (DAM + AMD + SEC).
- A l'horizon de calage (2018), les émissions/attractions sont ensuite distribuées selon une formulation de type gravitaire :

Trafic entre les zones i et j,  $T_{ij} = E_i * A_j * f(C_{ij})$ , où  $f(C_{ij}) = \gamma * c_{ij}^\alpha * e^{\beta * c_{ij}}$

Avec :

  - $T_{ij}$  : flux de déplacement entre les zones i et j
  - $E_i$  : émission de la zone i
  - $A_j$  : attraction de la zone j
  - $\alpha, \beta, \gamma$  : coefficients réels
  - $C_{ij}$  : impédance du déplacement entre les zones i et j, dans notre cas, la distance interzonale
- L'étape de **distribution** permet ainsi d'obtenir des matrices Origines-Destinations (OD) de demande VP pour chaque période horaire (HPM, HM, HPS et HC) de l'horizon 2018.
- Ces matrices sont ensuite recalées par la méthode de calage automatique « Matrix Estimation » du logiciel TransCAD (cf. chapitre suivant)
- Aux horizons futurs, pour chaque période horaire (HPM, HM, HPS et HC), on déforme ensuite les matrices OD calées 2018 par **méthode FRATAR**, selon les surplus d'émissions/attractions calculés par le modèle de génération.

# Méthodologie du modèle de trafic

- Les matrices de demande sont ensuite converties en **matrices de véhicules**, aux moyens des taux d'occupations par motif présents dans le modèle (issus de l'enquête déplacements de 2009).
- Il s'agit de taux d'occupation « tous modes » prenant en compte les déplacements en taxis collectifs et en bus scolaire (sauf chauffeur) : ils sont donc plus élevés que les taux d'occupation habituels des véhicules particuliers seuls.

Motif	Taux d'occupation
DT	2,1
DET	3
AM	2,2

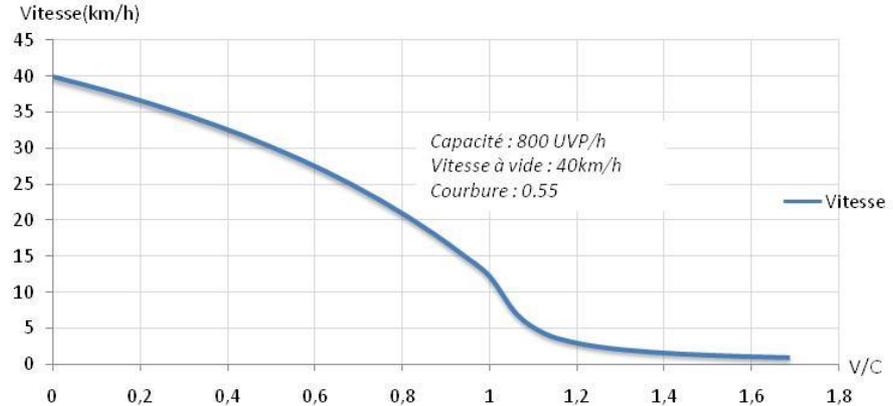
# Méthodologie du modèle de trafic

- **L'affectation** sur le réseau routier est réalisée sous TransCAD, suivant la procédure Stochastic User Equilibrium. Elle se base sur un coût généralisé :
  - $C_{gen} = C_{km} * d + VdT * Tps$
  - Avec  $C_{km}$  le coût kilométrique d'usage,  $d$  la longueur de l'arc,  $VdT$  la valeur du temps et  $Tps$  le temps de parcours en charge sur l'arc
- Le coût kilométrique comprend le coût du carburant (fonction de la consommation par kilomètre qui dépend elle-même de la vitesse, et du prix au litre) et le coût kilométrique d'entretien

# Méthodologie du modèle de trafic

- Les courbes débit-vitesse utilisées sont les formulations « Davis écrêtées » couramment employées par la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Aménagement (DRIEA) en Île-de-France :

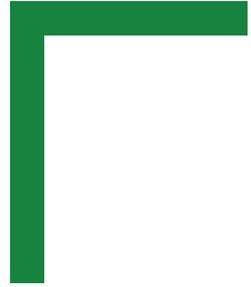
$$\begin{cases} T_{ps} = T_0 \cdot \left( \frac{1.2 - \gamma \cdot \frac{V}{C}}{1.2 - \frac{V}{C}} \right) & \text{si } \frac{V}{C} \leq 1 \\ T_{ps} = T_0 \cdot \left[ \left( \frac{1.2 - \gamma}{0.2} \right) + 60 \cdot \left( \frac{V}{C} - 1 \right) \right] = T_{ps} \left( \frac{V}{C} = 1 \right) + T_{ps\_attente} & \text{si } \frac{V}{C} > 1 \end{cases}$$



- Avec :
  - V le volume de trafic sur l'arc
  - C la capacité de l'arc
  - T0 le temps à vide sur l'arc
  - $\gamma$  le paramètre de courbure de l'arc

# Méthodologie du modèle de trafic

- Le modèle effectue deux itérations (en plus des itérations d'affectations visant à atteindre l'équilibre statique), afin de prendre en compte les **poids-lourds** :
  - A l'issue de la première itération, les flux PL sont calculés à partir des taux de PL relevés lors des comptages les plus récents que l'on applique sur les flux VP résultant de l'affectation
  - A la deuxième affectation, ces flux PL sont préchargés sur le réseau routier et sont intégrés dans les résultats finaux.



# Calage du modèle de trafic

---

03.

# Calage du modèle de trafic

- Le modèle de trafic (version 2021) a été mis à jour en prenant en compte :
  - Pour le calage routier, **des comptage automatiques réalisés sur les principales routes de l'île** (source : DEAL), notamment deux comptages sur la RN2 proches de la future ZAC (voir page suivante)
  - Pour les projections de la demande, des nouvelles hypothèses d'évolution de la population de Mayotte publiées par l'INSEE : **le nouveau modèle de croissance utilisé est le modèle OMPHALE du 15 juillet 2020, scénario « solde migratoire nul » (source : INSEE)**