

# **ETUDE HYDRAULIQUE POUR LA CONSTRUCTION D'UNE PASSERELLE PIETONNE AU PASSAGE DU BRAS BEMALE**



## **ETUDE HYDRAULIQUE**

N° d'Affaire : RE22-016

Version **1.0**

Octobre 2022

## SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage : Office National des Forêts  
Boulevard de la Providence

97400 SAINT DENIS  
02 62 30 84 10

Affaire : Etude hydraulique pour la construction d'une passerelle piétonne au passage du Bras Bémale

RE22-016  
Louise Roch Koch  
ETUDE HYDRAULIQUE

Emetteur : HYDRETUDES - Océan Indien  
45 rue Luc Lorion  
97410 SAINT PIERRE  
02.62.96.82.45  
contact.reunion@hydretudes.com



Document : Rapport  
Octobre 2022

Indice	Date	Mise à jour	Rédigé par	Vérifié par
1	25/10/2022		LD	LRK
2				
3				
4				
5				

## SOMMAIRE

1. RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ETUDE .....	5
2. OBJET DU RAPPORT .....	5
3. PERIMETRE DE L'ETUDE .....	6
4. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE .....	7
4.1. Analyse du milieu physique .....	7
4.2. Analyse des écoulements .....	10
5. SITUATION DU PROJET AU REGARD DU PPRN .....	12
6. ANALYSE HYDROLOGIQUE .....	13
6.1. Régime hydrologique .....	13
6.2. Cartographie du bassin versant .....	13
6.3. Caractéristiques du bassin versant projet .....	15
6.4. Détermination des débits de projet .....	15
6.4.1. Détermination des temps de concentration .....	15
6.4.2. Choix des périodes de retour .....	15
6.4.3. Détermination de la pluie de projet .....	15
6.4.3.1. Méthode employée .....	15
6.4.3.2. Détermination des coefficients de ruissellement .....	17
6.4.3.3. Résultats en termes de débits de projet .....	17
7. AMENAGEMENT DU PROJET .....	19
8. PROCEDURE REGLEMENTAIRE .....	22



## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude.....	5
Figure 2 : Cartographie du périmètre de la zone d'étude.....	6
Figure 3 : Vue sur la rive droite du Bras Bémale.....	7
Figure 4 : Vue sur la rive gauche du Bras Bémale.....	8
Figure 5 : Morphologie de la vallée du Bras Bémale.....	8
Figure 6 : Cartographie du réseau hydrographique du bassin versant du Bras Bémale.....	9
Figure 7 : Illustration du projet de franchissement du Bras Bémale.....	10
Figure 8 : Illustration de l'orientation des écoulements hydrauliques du bassin versant du Bras Bémale.....	11
Figure 9 : Cartographie du bassin versant.....	14
Figure 10 : Zonage pluviométrique simplifié (Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion, DEAL, 2012).....	16
Figure 11 : Localisation des profils en travers PT1 et PT.....	19
Figure 12 : Section et hauteur d'eau au droit de PT 1.....	20
Figure 13 : Section et hauteur d'eau au droit de PT 2.....	21
Figure 14 : Localisation des profils en travers.....	23





## CONTEXTE ET OBJECTIFS

### 1. RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ÉTUDE

L'Office National des Forêts souhaite réaliser une passerelle piétonne permettant de relier le sentier de randonnée traversant le Bras Bémale au niveau du Sentier Scout.

Ce projet se situe dans le Sud-Est du cirque de Mafate sur la commune de la Possession, sur le réseau hydrographique du bras Bémale, à environ 1400 m du parking du Sentier Scout. La zone d'étude se trouve à 1450 m d'altitude.



Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

### 2. OBJET DU RAPPORT

L'objectif est de fournir une analyse hydrologique et hydraulique des écoulements au droit de la zone d'implantation projetée au regard des débits théoriques estimés à l'état initial.

Cette étude définit en particulier :

- Le débit de la crue centennale au droit du futur ouvrage,
- La hauteur d'eau de la crue centennale au droit du futur ouvrage.



## ETAT DES LIEUX

### 3. PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE

La zone d'étude se situe au niveau de la ravine du Bras Bémale, sur le sentier Scout qui relie la route du col des bœufs à Salazie à Ilets à Malheurs dans le cirque de Mafate.

Le projet comprend la création d'une passerelle permettant la liaison des deux tronçons du sentier.

La cartographie ci-dessous représente la zone d'implantation de l'ouvrage ainsi que la totalité du bassin versant drainé.



Figure 2 : Cartographie du périmètre de la zone d'étude



## 4. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE

### 4.1. ANALYSE DU MILIEU PHYSIQUE

La zone d'implantation de la passerelle se situe au niveau de la ravine du Bras Bémale. Le lit est composé de blocs hétérogènes centimétriques à métriques reposant sur le substratum.

Ce type de matériaux est cependant difficilement érodable. Aucune instabilité des berges n'a été mise en évidence lors des investigations de terrains, la pérennité de l'ouvrage ne sera donc pas remise en cause.

Le fond du lit est essentiellement composé d'affleurements rocheux mais également de matériaux plus grossiers issus du charriage de la ravine en période de crue.

Le passage actuel se fait pas un radier constitué de blocs provenant du Bras Bémale.

En rive droite des **gabions** ont été entreposés pour l'aménagement du sentier.



Figure 3 : Vue sur la rive droite du Bras Bémale





*Figure 4 : Vue sur la rive gauche du Bras Bémale*

Le lit de la rivière est considéré comme imperméable par la présence de roche mère, il n'y a donc peu d'infiltration d'eau. Le bassin versant amont du Bras Bémale est marqué par un relief important et des versants très végétalisés. Le bassin versant se trouve dans une zone complètement naturelle du cirque de Mafate.



*Figure 5 : Morphologie de la vallée du Bras Bémale*

Le bassin versant de la zone d'étude et le réseau hydrographique sont illustrés sur la carte-page suivante.



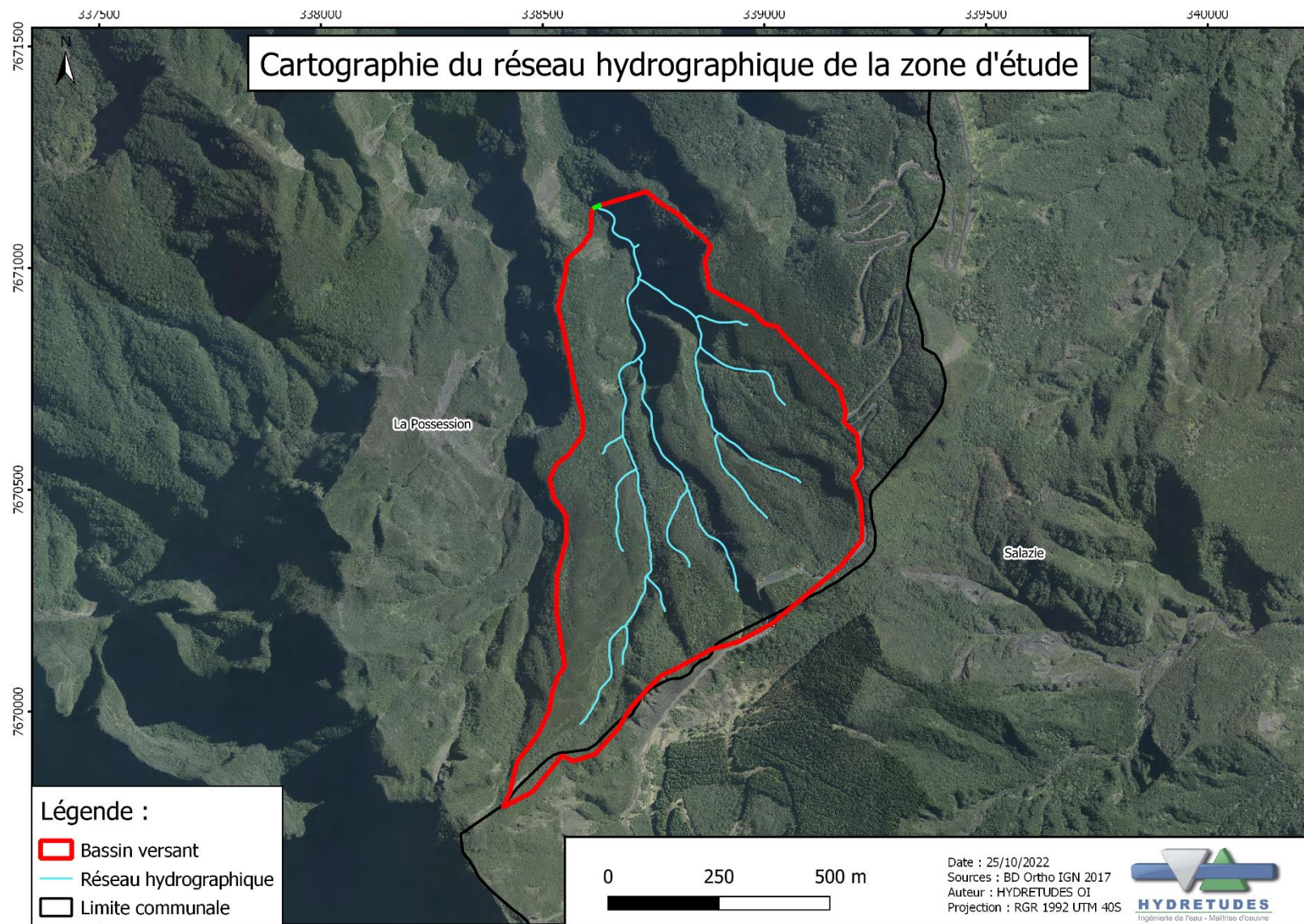


Figure 6 : Cartographie du réseau hydrographique du bassin versant du Bras Bémale



## 4.2. ANALYSE DES ECOULEMENTS

Les travaux prévus dans le cadre du projet de construction de la passerelle piétonne sont essentiellement des travaux relatifs aux ouvrages d'art. Les incidences sur l'environnement resteront minimales, l'ouvrage se trouvant au-dessus du lit de la rivière, ancré sur les rives gauche et droite du cours d'eau.

Ainsi ce projet s'adapte aux irrégularités du site et respecte le pendage naturel du terrain. Les écoulements sur la zone d'étude ne seront que peu impactés par les travaux et la nature des sols restera inchangée. Aucune imperméabilisation du terrain n'est prévue, à l'exception des zones de fixation de la passerelle.

La photographie ci-dessous illustre la zone d'implantation du projet.



Figure 7 : Illustration du projet de franchissement du Bras Bémale

Au droit de l'ouvrage il n'existe actuellement aucun espace aménagé par l'homme, outre le sentier de randonnée. Au regard de la configuration du site à l'état projet aucun aménagement de gestion des eaux de ruissellements n'est à prévoir.

La carte-page suivante illustre l'orientation des écoulements qui se fait du Sud vers le Nord.



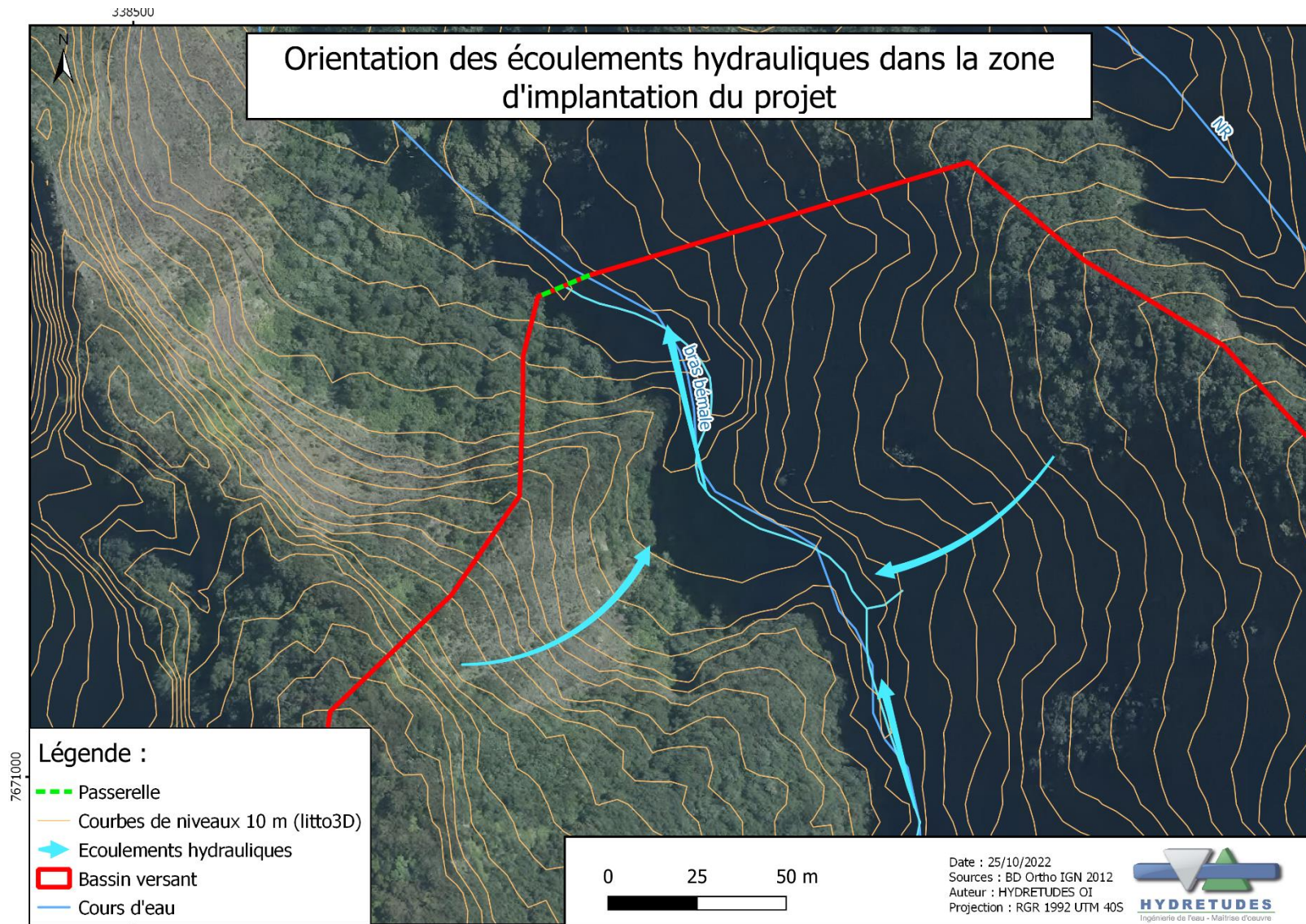


Figure 8 : Illustration de l'orientation des écoulements hydrauliques du bassin versant du Bras Bémale

## 5. SITUATION DU PROJET AU REGARD DU PPRN

L'île de la Réunion est soumise à différents risques naturels prévisibles, par son climat tropical humide et sa constitution volcanique. En effet, cyclones, pluies, crues, inondations, éboulements, glissements de terrain, coulées de lave sont des phénomènes naturels inhérents au département.

L'intensité des précipitations exceptionnelles, un relief tourmenté, la fragilité des sols propice à l'érosion, aggravent considérablement les risques qui peuvent avoir des conséquences graves en termes humains (évacuation, blessés, morts, etc.), matériels (bâtiments détruits, alimentation en eau potable interrompue, etc.) et financiers.

A la Réunion, toutes les communes sont concernées par des phénomènes de crues torrentielles liées fréquemment aux perturbations cycloniques, mais aussi par des mouvements de terrains de grande ampleur (Salazie) ou localisés (érosion, glissements). Les éruptions volcaniques sont des phénomènes pour lesquels aucune localisation géographique précise n'est possible. A cet égard, le risque volcanique n'est pas traité en prévention mais seulement en surveillance, alerte (observatoire) et interventions de secours si nécessaire. Le risque lié aux vents cycloniques est traité dans le cadre des normes de construction.

La prévention des risques s'intéresse donc principalement, à la Réunion, aux inondations et mouvements de terrain.

### **Situation vis-à-vis du risque inondation :**

Il n'existe à ce jour aucun PPR inondation dans le cirque de Mafate (en amont de Deux-Bras).

### **Situation vis-à-vis du risque mouvement de terrain :**

A ce jour, seuls les îlets du cirque de Mafate sont concernés par le zonage d'aléas mouvement de terrain.

**Le projet tel qu'il a été envisagé n'aggrave pas la situation vis-à-vis des risques mouvement de terrain par rapport à l'état initial.**



## 6. ANALYSE HYDROLOGIQUE

### 6.1. REGIME HYDROLOGIQUE

Le régime hydrologique de la Réunion se caractérise par son importante variabilité. L'alimentation des cours d'eau se fait essentiellement par le ruissellement, qui durant la saison des pluies devient considérable en raison de l'intensité des précipitations et de la pente du relief. Sur le secteur environnant au projet, la grande majorité des ravines sont à sec la plupart du temps. Elles peuvent cependant atteindre des débits de l'ordre de la centaine de mètres cubes par seconde en crue centennale.

### 6.2. CARTOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT

Le bassin versant pluvial en jeu est représenté ci-dessous :

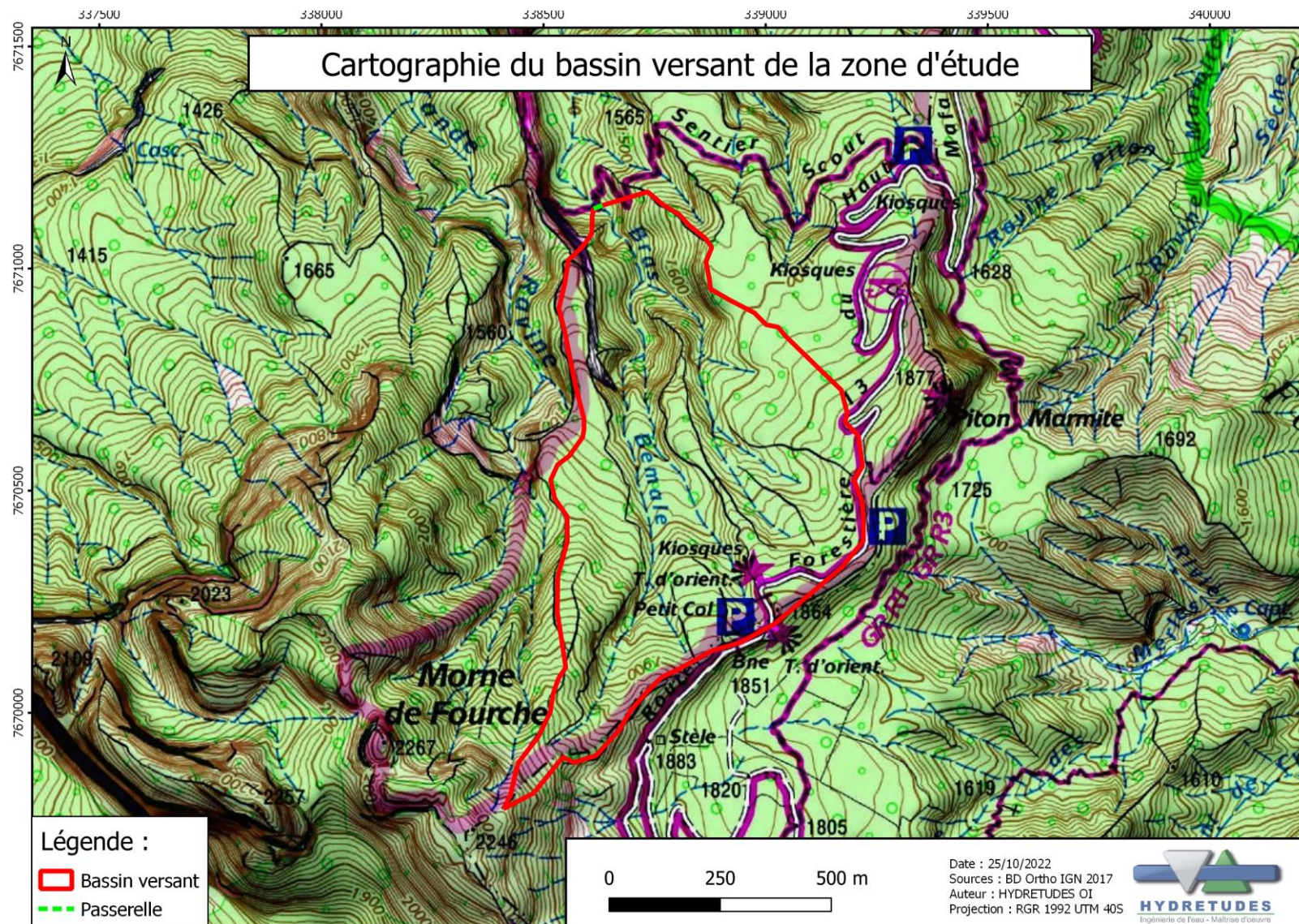


Figure 9 : Cartographie du bassin versant

Octobre 2022

RE22-016/ETUDE HYDRAULIQUE/Version 1.0





### 6.3. CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT PROJET

Les caractéristiques des bassins versants sont les suivantes :

Bassin Versant	Surface (km <sup>2</sup> )	Surface (ha)	Longueur du BV (m)	Alt max (m)	Alt min (m)	Pente moyenne (%)	Alt moyenne pondérée (m)	Allongement	Périmètre (km)
BV 1	0,58	57,73	1570,00	2160,00	1455,00	44,90	1807,50	2,07	3,66

Tableau 1 : Caractéristiques du bassin versant

### 6.4. DETERMINATION DES DEBITS DE PROJET

La méthode utilisée dans la détermination des débits de projet est celle du « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » de 2012, ouvrage faisant actuellement office de référence pour les projets de gestion des eaux pluviales à la Réunion.

#### 6.4.1. Détermination des 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 concentration ont pu être calculés à partir des caractéristiques morphologiques des bassins versants présentées dans le ci-dessus.

Les formules préconisées dans le Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion (DEAL, 2012) ont été utilisées. La moyenne des formules de PASSINI, RICHARDS, et des Rectangles Equivalents a été calculée et utilisée pour les calculs de débits.

Bassin Versant	Tc (min)
BV 1	8,49

Tableau 2 : temps de concentration par bassin versant

#### 6.4.2. Choix des périodes de retour

L'étude de la période de retour **T = 100 ans** est nécessaire **pour la gestion hydraulique du projet d'aménagement (période de retour, PPRI).**

#### 6.4.3. Détermination de la pluie de projet

##### 6.4.3.1. Méthode employée

Les pluies qui génèrent les plus forts débits sur ce type de bassin versant (bassin versant pluvial de pentes modérées à fortes) sont de courtes durées (inférieures à 1 h) et de fortes intensités. La méthode du « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » (2012) de la DEAL a été utilisée dans la présente étude pour déterminer les pluies de projet.

Il s'agit dans un premier temps de déterminer les coefficients de Montana, selon un zonage pluviométrique simplifié :

Commune	Zonage pluviométrique (altitude en m)					
	0 100	100 250	250 500	500 1000	1000 1600	1600 3071
Sainte-Marie	1	2	2	3	4	4
Saint-Denis	1	2	2	3	4	4
Le Port	1	1				
La Possession Bas	1	1	1	2	2	
La Possession Mafate				3	3	3
Saint-Paul	1	1	1	2	2	3
Trois Bassins	1	1	1	2	2	3
Saint-Leu	1	1	1	2	2	3
Les Avirons	1	1	1	2	2	3
L'Etang-Salé	1	1	1	2	2	3
Claos			3	3	3	3
Saint-Louis	1	1	1	2	2	3
L'Entre-Deux		1	1	2	3	4
Saint-Pierre	1	1	1	2	3	4
Le Tampon			1	2	3	4
Petite-Ile	1	1	2	2	3	4
Saint-Joseph	2	2	3	3	4	5
Saint-Philippe	3	3	4	4	5	5
Sainte-Rose	3	3	4	4	5	5
Saint-Benoît (Sud RN 3)	3	3	3		4	5
La Plaine des Palmistes				4	4	5
Saint-Benoît (Nord RN 3)	3	3	3	4	5	5
Bras-Panon	2	3	3	4	5	5
Salazie			5	5	5	5
Saint-André	2	3	3	3		
Sainte-Suzanne (Est Riv)	2	3	3	3	4	
Sainte-Suzanne (Ouest Riv)	2	2	3	3	4	

Figure 10 : Zonage pluviométrique simplifié (Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion, DEAL, 2012)

D'après ce zonage, les bassins versants de l'étude se situent en zone 3 (La Possession Mafate – altitude entre 1000 et 3701 m). Coefficients de Montana utilisés.

Zone	Coefficient A	Coefficient B
1	60	+ 0,33
2	72	+ 0,33
3	85	+ 0,33
4	100	+ 0,33
5	130	+ 0,33

Tableau 3 : Coefficients de Montana en fonction de la zone pluviométrique simplifiée (Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion, DEAL, 2012)

Afin de déterminer la pluie centennale (période de retour 100 ans) sur la période du temps de retour à partir de la pluie décennale horaire, une loi de Gumbel est utilisée :

$$i(d, 100) = i(1h, 10ans) * (0.186x(\ln(100) + 0.572)) * d^{-0.33}$$

Avec :

$d$  : durée de la pluie, égale au temps de concentration

$i(1h, 10ans)$  : pluie décennale horaire, égale au coefficient A de Montana



#### 6.4.3.2. Détermination des coefficients de ruissellement

Le tableau ci-dessous détaille les valeurs des coefficients de ruissellement unitaires (pour une période de retour de 10 ans) en fonction de la classe de perméabilité des sols et du type d'occupation du sol.

Coefficient de ruissellement unitaire	
Terrain urbanisé	1
Terrain mixte	0,6
Terrain semi-perméable	0,5
Terrain peu perméable	0,7

Tableau 4 : Coefficients de ruissellement unitaires

Le coefficient de ruissellement du bassin versant se calcule par combinaison des coefficients de ruissellement unitaires présentés ci-avant, rapportés au pourcentage d'occupation du sol.

Tout le bassin versant est considéré comme semi-perméable ( $C = 0,5$ )

Ainsi, les coefficients de ruissellement déterminés pour chaque bassin versant sont les suivants :

Bassin Versant	C2 à C50 i	C2 à C50 p	C100 i	C100 p
BV 1	0,50	0,50	0,90	0,90

Tableau 5 : Coefficients de ruissellement du bassin versant

Avec :

C100 i = coefficient de ruissellement à l'état initial pour une pluie d'intensité centennale.

C100 p = coefficient de ruissellement à l'état projet pour une pluie d'intensité centennale.

#### 6.4.3.3. Résultats en termes de débits de projet

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

$$Q_T = \frac{C_T \times I \times S}{6}$$

Avec :

$Q(T)$  : débit de pointe de période de retour  $T$  de l'hydrogramme en  $m^3/s$ ,

$C(T)$  : coefficient de ruissellement pour la pluie de période de retour  $T$ ,

$S$  : surface du bassin versant en  $ha$ ,

$I$  : intensité de l'averse en  $mm/mn$  issue des coefficients de Montana.

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

Bassin Versant	Q2 i (m³/s)	Q5 i (m³/s)	Q10 i (m³/s)	Q20 i (m³/s)	Q30 i (m³/s)	Q50 i (m³/s)	Q100 i (m³/s)
BV 1	9,11	11,32	13,00	14,67	15,65	16,88	33,41

Tableau 6 : Débits de projet (période de retour 2, 5, 10, 20, 30 ans)

Avec :

Q100 i = Débit de pointe pour une pluie d'intensité vicennale avec le terrain à l'état initial,

Q100 p = Débit de pointe pour une pluie d'intensité vicennale avec le terrain à l'état projet,

Delta Q : Q100p – Q100i (incidence de l'imperméabilisation des sols sur le débit de pointe.

**Le débit centennial retenu est de 33,41 m³/s.**



## 7. AMÉNAGEMENT DU PROJET

2 profils en travers ont été déterminés à partir du levé topographique réalisé (PT1 et PT2). Ils sont espacés de 5 m. La localisation des profils en travers est illustrée ci-dessous.

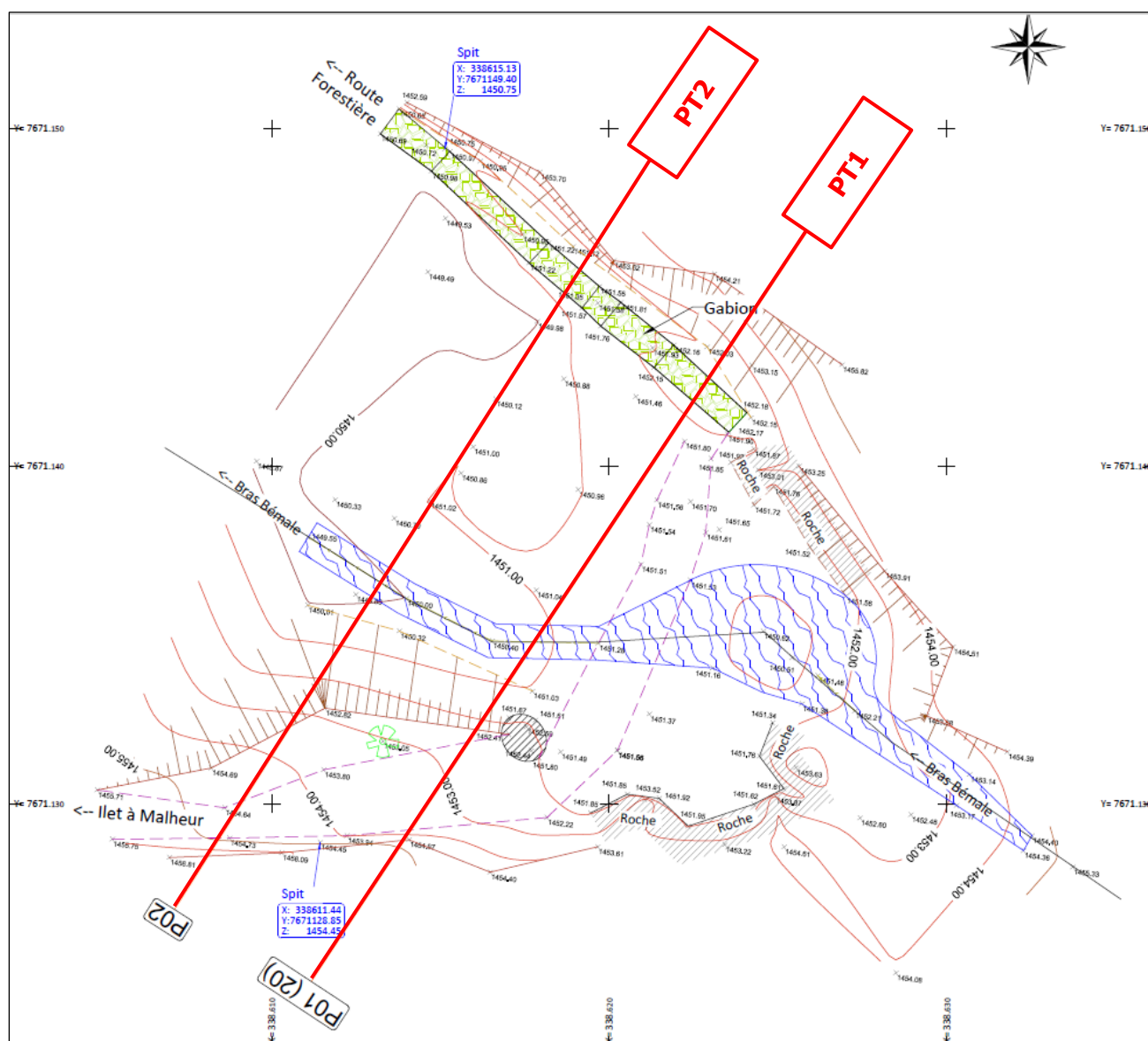


Figure 11 : Localisation des profils en travers PT1 et PT2

Pour chacun des profils, la hauteur d'eau équivalente au débit Q100 (33,41 m³/s) a été calculée par la formule de Manning-Strickler (voir ci-dessous).

$$Q = K \times S \times R^{2/3} \times i^{1/2}$$

Avec :

$K$  : coefficient de Strickler (sans unité, paramètre dépendant de la rugosité du matériau de l'ouvrage) ;

$S$  : Surface mouillée ( $m^2$ ) ;

$R$  : rayon hydraulique ( $m$ ) ;

$I$  : pente de l'ouvrage ( $m/m$ ).

L'écoulement normal et l'écoulement critique (prise en compte de la composante hydrodynamique de l'eau) ont été calculés.

Le coefficient de Manning-Strickler a été choisi selon le « Guide des modalités sur la gestion des eaux pluviales de la Réunion (2012) ». Il est défini à  $20 m^{1/3}/s$  (berges totalement dégradées/torrent transportant de gros blocs).

La pente est déterminée grâce au levé topographique, elle est de l'ordre de 20 % au droit de la zone d'étude.

Les résultats sont les suivants :

⇒ **PT 1**

Écoulement normal :

Cote normale (NGF)	1451,78
Hauteur normale (m)	1,02
Débit total ( $m^3/s$ )	33,41
Vitesse moyenne (m/s)	5,899
Froude	2,52

Écoulement critique :

Cote critique (NGF)	1 452,29
Hauteur critique (m)	1,53
Débit total ( $m^3/s$ )	33,41
Vitesse moyenne (m/s)	2,93
Froude	1,00

Tableau 7 : Débits, hauteurs et cotes des écoulements normaux et critiques

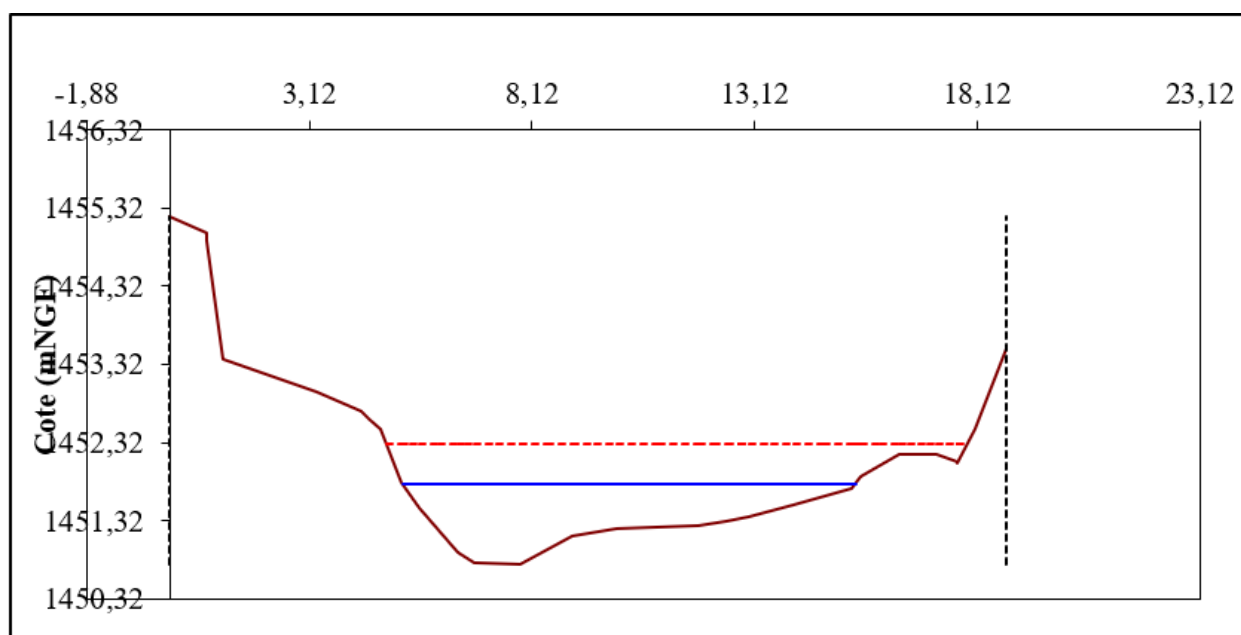


Figure 12 : Section et hauteur d'eau au droit de PT 1



⇒ **PT 2**

## Ecoulement normal :

Cote normale (NGF)	1450,94
Hauteur normale (m)	1,05
Débit total (m <sup>3</sup> /s)	33,41
Vitesse moyenne (m/s)	5,915
Froude	2,44

## Ecoulement critique :

Cote critique (NGF)	1 451,42
Hauteur critique (m)	1,53
Débit total (m <sup>3</sup> /s)	33,41
Vitesse moyenne (m/s)	2,90
Froude	1,00

Tableau 8 : Débits, hauteurs et cotes des écoulements normaux et critiques

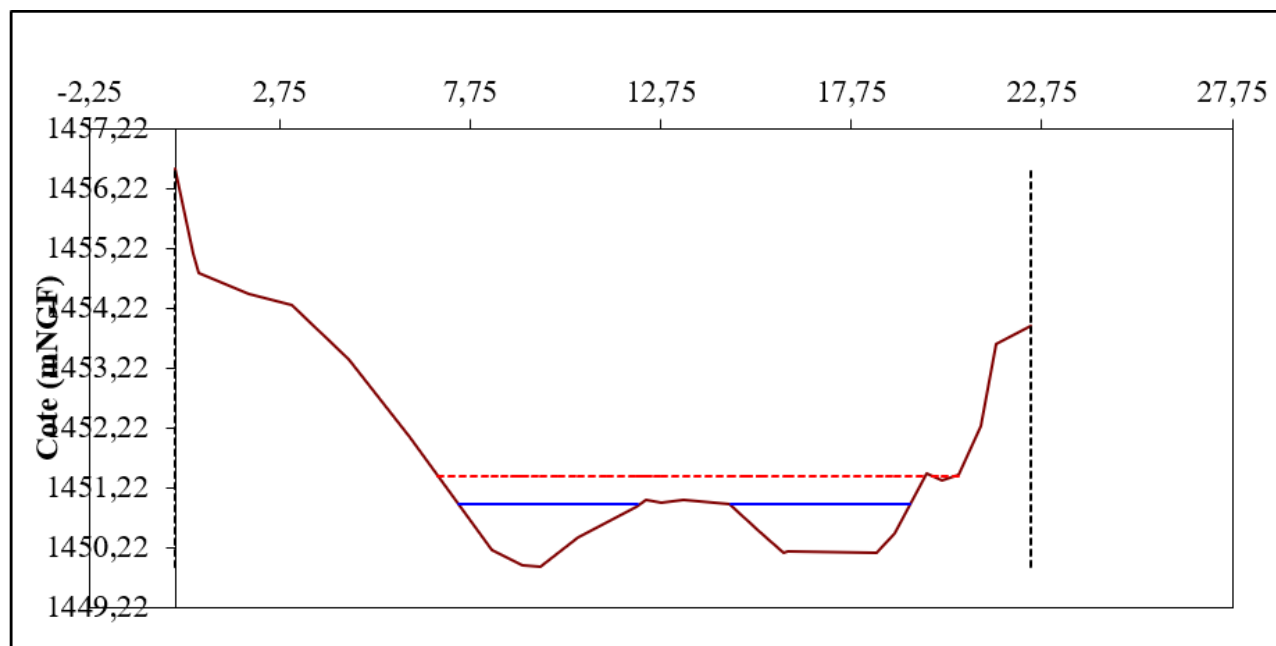


Figure 13 : Section et hauteur d'eau au droit de PT 2

Ces résultats sont issus de formules empiriques. De par les importantes variations du profil en long de la rivière ainsi que les variations des vitesses d'écoulement (passage d'un régime fluvial à un régime torrentiel), des ressauts hydrauliques peuvent apparaître localement, augmentant de manière significative la lame d'eau en un point donné.

## 8. PROCEDURE REGLEMENTAIRE

### **Type de procédure « Loi sur l'eau » :**

Chaque aménagement doit être analysé au regard de la réglementation en vigueur et la procédure auquel il est soumis doit être renseignée.

Régime de déclaration et d'autorisation : Article 10 de la Loi sur l'eau.

Les articles L 214-1, L 214-2, L 214-3, L 214-4, L 214-5 et L 214-6 du code de l'environnement, concernent la protection de la ressource et de l'environnement.

La nomenclature stipule à travers son article 10, que des installations, ouvrages, travaux et activités, sont soumis à autorisation ou à simple déclaration, suivant les dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques.

Les installations, ouvrages, travaux et activités concernés sont définis dans une nomenclature établie par décret en Conseil d'Etat après avis du Comité National de l'eau.

**Ce projet n'est concerné par aucune des rubriques de la loi sur l'eau, de ce fait il n'y est pas soumis.**



ANNEXE : VUE EN PLAN DU PROJET

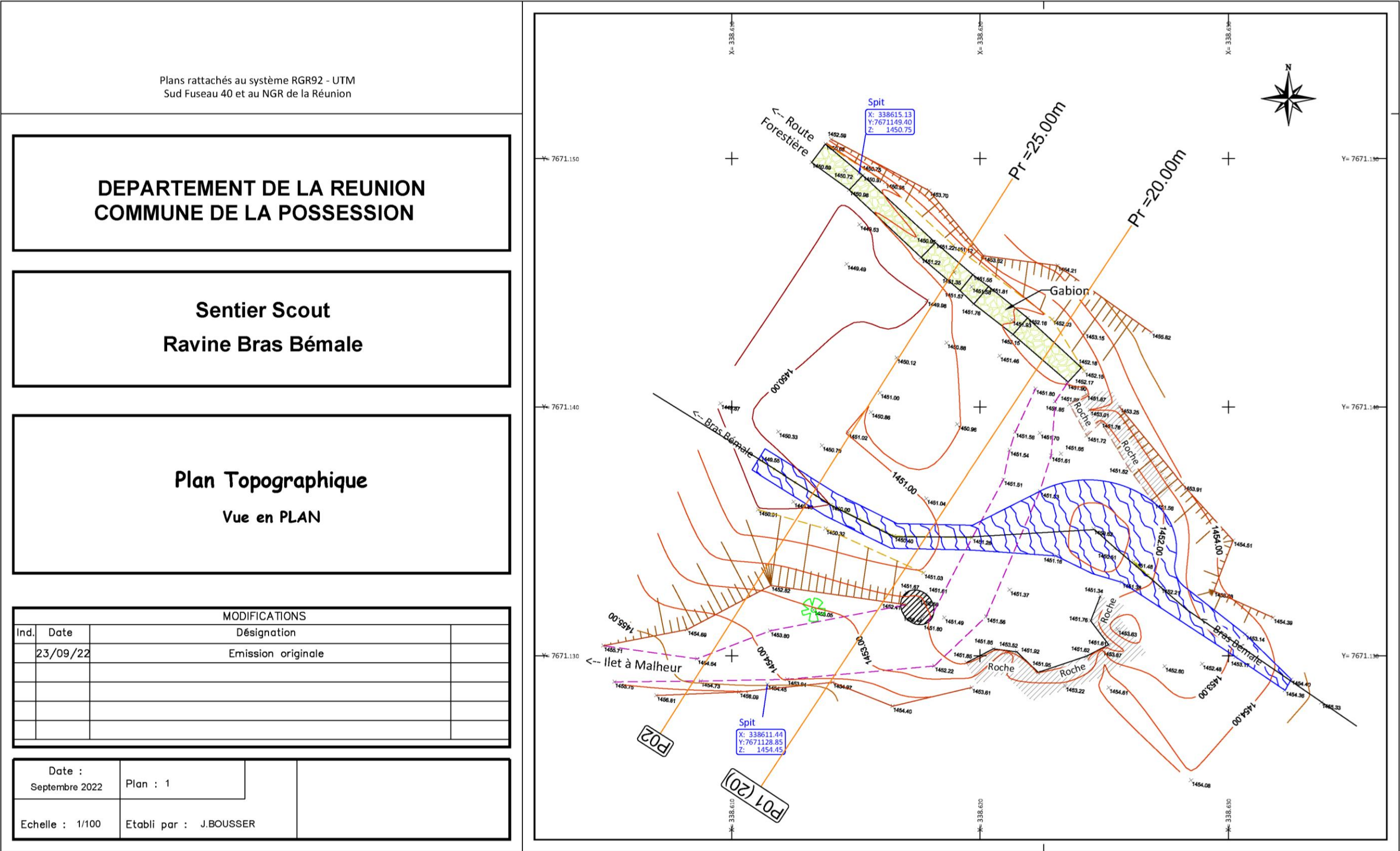


Figure 14 : Localisation des profils en travers





**Siège social – Centre technique principal**

815, route de Champ Farçon

74 370 ARGONAY

Tél : 04.50.27.17.26

Fax : 04.50.27.25.64

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

**Agence Alpes du Nord**

Alpespaces

50, Voie Albert Einstein

73 118 FRANCIN

Tél : 04.79.96.14.57

Fax : 04.70.33.01.63

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

**Agence Alpes du Sud**

Bât 2 – Résidence du Forest d'entraîs

25, rue du Forest d'entraîs

05 000 GAP

Tél : 04.92.21.97.26

Fax : 04.92.21.87.83

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

**Agence Dauphiné-Provence**

9, rue Praneuf

26 100 ROMANS SUR ISERE

Tél : 04.75.45.30.57

Fax : 04.75.45.30.57

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

**Agence Grand Sud-Pyrénées**

Immeuble Sud América

20, bd. de Thibaud

31 100 TOULOUSE

Tél : 05.62.14.07.43

Fax : 05.62.14.08.95

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

**Agence Océan Indien**

45, rue Luc LORION

97 410 SAINT PIERRE

Tél : 02.62.96.82.45

Fax : 02.62.32.69.05

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