



# **Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

ETUDE HYDRAULIQUE

RAPPORT

Ville & Transport  
**Branche Réunion Océan Indien**  
121 boulevard Jean Jaurès  
CS 31005  
97404 SAINT-DENIS CEDEX  
Tel. : 02 62 90 96 00  
Fax : 02 62 90 96 01

The logo for ARTELIA features a stylized, curved line above the company name. The line is black with a green accent at the end. The name 'ARTELIA' is written in a bold, black, sans-serif font.

A	Version initiale	08/2018	LDd	Che	Che
<i>INDICE</i>	<i>OBJET DE LA MODIFICATION</i>	<i>DATE</i>	<i>VISA EMETTEUR</i>	<i>VISA DIRECTEUR BRANCHE</i>	<i>VISA DIRECTEUR QUALITE</i>

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

## SOMMAIRE

<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIF</b>	<b>4</b>
<b>2. DONNEES DISPONIBLES</b>	<b>6</b>
<b>3. ANALYSE DE L'EPISODE FAKIR</b>	<b>7</b>
3.1. ANALYSE HYDROLOGIQUE	7
3.2. ANALYSE POST CRUE - DYNAMIQUE DE CRUE	8
3.2.1. Ravine Sèche	8
3.2.1.1. PARCELLE BI 543	9
3.2.1.2. PARCELLE AN 58	12
3.2.1.3. PARCELLE AN 62	15
3.2.1.4. PARCELLE AM 409	18
3.2.1.5. PARCELLE AM 577	20
3.2.2. Affluent de la Ravine Sèche	23
3.2.2.1. PARCELLE BL 71	23
3.2.3. La Grande Rivière Saint Jean	25
3.2.3.1. PARCELLE AH21 ET AH22	25
3.3. CONCLUSION	28
<b>4. MODELISATION HYDRAULIQUE</b>	<b>29</b>
4.1. GENERALITES	29
4.1.1. Le modèle numérique utilisé	29
4.1.2. Délimitation des bassins versants	29
4.1.3. Caractéristiques des bassins versants	31
4.1.3.1. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES	31
4.1.3.2. DEBITS UTILISES POUR LA MODELISATION	31
4.2. ANALYSE DES RESULTATS POUR L'ETAT INITIAL	35
4.2.1. Ravine Sèche	35
4.2.1.1. PARCELLE BI543	35
4.2.2. Fonctionnement en crue centennale	36
4.2.2.1. PARCELLE AN58	36
4.2.3. Fonctionnement en crue centennale	37
4.2.3.1. PARCELLE AN62	38
4.2.4. Fonctionnement en crue centennale	39
4.2.4.1. PARCELLE AM409	41
4.2.5. Fonctionnement en crue centennale	42
4.2.5.1. PARCELLE AM577	43
4.2.6. Fonctionnement en crue centennale	43
4.2.7. Grande Rivière Saint Jean	44
4.2.7.1. PARCELLE AH21 ET AH22	44
4.2.8. Fonctionnement en crue centennale	45
4.3. PROPOSITION D'AMENAGEMENTS	47
4.3.1. Reconstruction et stabilisation de la berge	47
4.3.1.1. QUALITE DES MATERIAUX	47
4.3.1.2. DIMENSIONNEMENT DE LA CARAPACE	47
4.3.1.3. FUSEAU GRANULOMETRIQUE	49
4.3.1.4. GEOTEXTILE SOUS ENROCHEMENTS	51
4.3.2. Aménagements projetées	52
4.4. ANALYSE DE L'INCIDENCE HYDRAULIQUE DES AMENAGEMENTS PROJETES	53
4.5. LIMITE DES TRAVAUX PROPOSES	53
4.6. ESTIMATIF DES COUTS	54

<b>Annexe 1 - Vue en plan et coupe type des aménagements projetés</b>	<b>55</b>
---	-----------

## Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Etude hydraulique

RAPPORT

### TABLEAUX

TABL. 1 -	DONNEES DISPONIBLES	6
TABL. 2 -	ANALYSE FREQUENTIELLE DES PLUIES DE FAKIR	7
TABL. 3 -	CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS	31
TABL. 4 -	RAPPEL DES DEBITS DE POINTE (M <sup>3</sup> /S) ADOPTES POUR LA MODELISATION – BV DE LA GRANDE RIVIERE SAINT JEAN	32
TABL. 5 -	ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE (M <sup>3</sup> /S) ADOPTES POUR LES AUTRES PERIODES DE RETOUR DE LA GRANDE RIVIERE SAINT JEAN AU NIVEAU DE LA ZONE DE PROJET	32
TABL. 6 -	RAPPEL DES DEBITS DE POINTE (M <sup>3</sup> /S) ADOPTES POUR LA MODELISATION – BV DE LA PLAINE DE BOIS ROUGE	33
TABL. 7 -	DIMENSIONNEMENT DES ENROCHEMENTS	47
TABL. 8 -	CRITERE ET BLOCOMETRIE DE LA PROTECTION A METTRE EN ŒUVRE (BERGE A 2/1)	50
TABL. 9 -	POIDS DES ENROCHEMENTS DE LA PROTECTION A METTRE EN ŒUVRE (BERGE A 2/1)	50
TABL. 10 -	POIDS DES ENROCHEMENTS DE LA PROTECTION A METTRE EN ŒUVRE (BERGE A 3/2)	51
TABL. 11 -	TABLEAU ESTIMATIF DES COUTS	54

### FIGURES

FIG. 1.	PLAN DE SITUATION DES PARCELLES DE PROJET	5
FIG. 2.	EVOLUTION DE LA RAVINE SECHE ENTRE 1950 ET 2012	8
FIG. 3.	TOPOGRAPHIE DU SITE ET PRINCIPE DE DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS	9
FIG. 4.	EVOLUTION DE LA TOPOGRAPHIE DU SITE	11
FIG. 5.	EVOLUTION DE LA TOPOGRAPHIE DU LIT MINEUR	11
FIG. 6.	TOPOGRAPHIE DU SITE ET PRINCIPE DE DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS	12
FIG. 7.	EVOLUTION DE LA TOPOGRAPHIE DU SITE	13
FIG. 8.	EVOLUTION DE LA TOPOGRAPHIE DU LIT MINEUR	14
FIG. 9.	COMPARAISON PHOTO AERIENNE 1997 - 2012	14
FIG. 10.	EVOLUTION DE LA TOPOGRAPHIE DU LIT MINEUR	15
FIG. 11.	PARCELLE AN62 – EXTENSION DE BATIMENT	16
FIG. 12.	EVOLUTION DE LA TOPOGRAPHIE DU SITE	17
FIG. 13.	EVOLUTION DE LA TOPOGRAPHIE DU LIT MINEUR	17
FIG. 14.	EVOLUTION DE LA TOPOGRAPHIE DU SITE	19
FIG. 15.	EVOLUTION DE LA TOPOGRAPHIE DU LIT MINEUR	20
FIG. 16.	TOPOGRAPHIE DU SITE ET PRINCIPE DE DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS	21
FIG. 17.	EVOLUTION DE LA TOPOGRAPHIE DU SITE	22
FIG. 18.	EVOLUTION DE LA TOPOGRAPHIE DU LIT MINEUR	23
FIG. 19.	TOPOGRAPHIE DU SITE ET PRINCIPE DE DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS	24
FIG. 20.	PRINCIPE DE DYNAMIQUE DES ECOULEMENTS	25
FIG. 21.	DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN	30
FIG. 22.	HYDROGRAMMES DE CRUES DES PRINCIPAUX THALWEGS	34
FIG. 23.	CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE CRUE ET VITESSE D'ECOULEMENT POUR UNE CRUE TYPE FAKIR (EN MNGR ET M/S)	35
FIG. 24.	CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE CRUE ET DE LA VITESSE D'ECOULEMENT POUR UNE CRUE TYPE FAKIR (EN MNGR ET M/S)	37
FIG. 25.	CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE CRUE ET DE LA VITESSE D'ECOULEMENT POUR UNE CRUE CENTENNALE (EN MNGR ET M/S)	38
FIG. 26.	CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE CRUE DES HAUTEURS D'EAU ET DE LA VITESSE D'ECOULEMENT POUR UNE CRUE TYPE FAKIR (EN MNGR ET M/S)	39
FIG. 27.	CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE CRUE, DES HAUTEURS D'EAU ET DE LA VITESSE D'ECOULEMENT POUR UNE CRUE CENTENNALE (EN MNGR ET M/S)	40
FIG. 28.	CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE CRUE DES HAUTEURS D'EAU ET DE LA VITESSE D'ECOULEMENT POUR UNE CRUE TYPE FAKIR (EN MNGR ET M/S)	41
FIG. 29.	CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE CRUE, DES HAUTEURS D'EAU ET DE LA VITESSE D'ECOULEMENT POUR UNE CRUE CENTENNALE (EN MNGR ET M/S)	42
FIG. 30.	CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE CRUE DES HAUTEURS D'EAU ET DE LA VITESSE D'ECOULEMENT POUR UNE CRUE TYPE FAKIR (EN MNGR ET M/S)	43
FIG. 31.	CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE CRUE, DES HAUTEURS D'EAU ET DE LA VITESSE D'ECOULEMENT POUR UNE CRUE CENTENNALE (EN MNGR ET M/S)	44
FIG. 32.	CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE CRUE ET VITESSE D'ECOULEMENT POUR UNE CRUE TYPE FAKIR (EN MNGR ET M/S)	45

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

FIG. 33.	CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE CRUE ET VITESSE D'ECOULEMENT POUR UNE CRUE TYPE FAKIR (EN MNGR ET M/S)	46
FIG. 34.	DIMENSIONNEMENT ET DESCRIPTIF DE LA SEMELLE EN BUTEE	48
FIG. 35.	DIMENSIONNEMENT ET DESCRIPTIF DE LA SEMELLE EN BUTEE	49
FIG. 36.	EXEMPLE DE FUSEAU GRANULOMETRIQUE	50
FIG. 37.	CRITERE ET BLOCOMETRIE DE LA PROTECTION A METTRE EN ŒUVRE (BERGE A 3/2)	51

## PHOTOGRAPHIES

PHOTO.-1.	AVENUE DE BOURBON – PHOTOS PRISES DURANT LA CRUE DE LA RAVINE SECHE (AVRIL 2018)	4
PHOTO.-2.	EROSION DE BERGE – PARCELLE BI543	10
PHOTO.-3.	MUR AFFAISSE ET TOPOGRAPHIE DU SITE	10
PHOTO.-4.	EROSION DE BERGE – PARCELLE AN58	13
PHOTO.-5.	COMPARAISON PHOTO AERIENNE 1997 - 2012	16
PHOTO.-6.	COMPARAISON PHOTO AERIENNE 1997 - 2008	19
PHOTO.-7.	EROSION DE BERGE – PARCELLE AM577 ET AMONT	21
PHOTO.-8.	EROSION DE BERGE – PARCELLE AM577 ET AVAL	22
PHOTO.-9.	OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT ET ZONE DESTABILISEE EN RIVE DROITE	24
PHOTO.-10.	EROSION DE BERGE – PARCELLE AH21 ET 22	26

## Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Etude hydraulique  
RAPPORT

### 1. CONTEXTE ET OBJECTIF

Suite au passage de la Forte Tempête Tropical Fakir en Avril 2018, des débordements ont été observés au niveau de la Ravine Sèche et de la Grande Rivière Saint Jean vers des secteurs urbanisés. Ces débordements ont causé d'importants dégâts sur le territoire de la commune de Saint André (Centre-ville, plaine de Bois Rouge...). Cet événement peut être considéré à ce jour comme une référence.



**Photo.-1. Avenue de Bourbon – Photos prises durant la crue de la Ravine Sèche (avril 2018)**

Outre les débordements constatés, de nombreuses zones d'érosion ont été observées en de nombreux secteurs de la Ravine Sèche et de la Grande Rivière St Jean. Un certain nombre de ces zones d'érosion se situe au niveau de secteurs urbanisés et nécessitent une intervention urgente afin de protéger les biens existants.

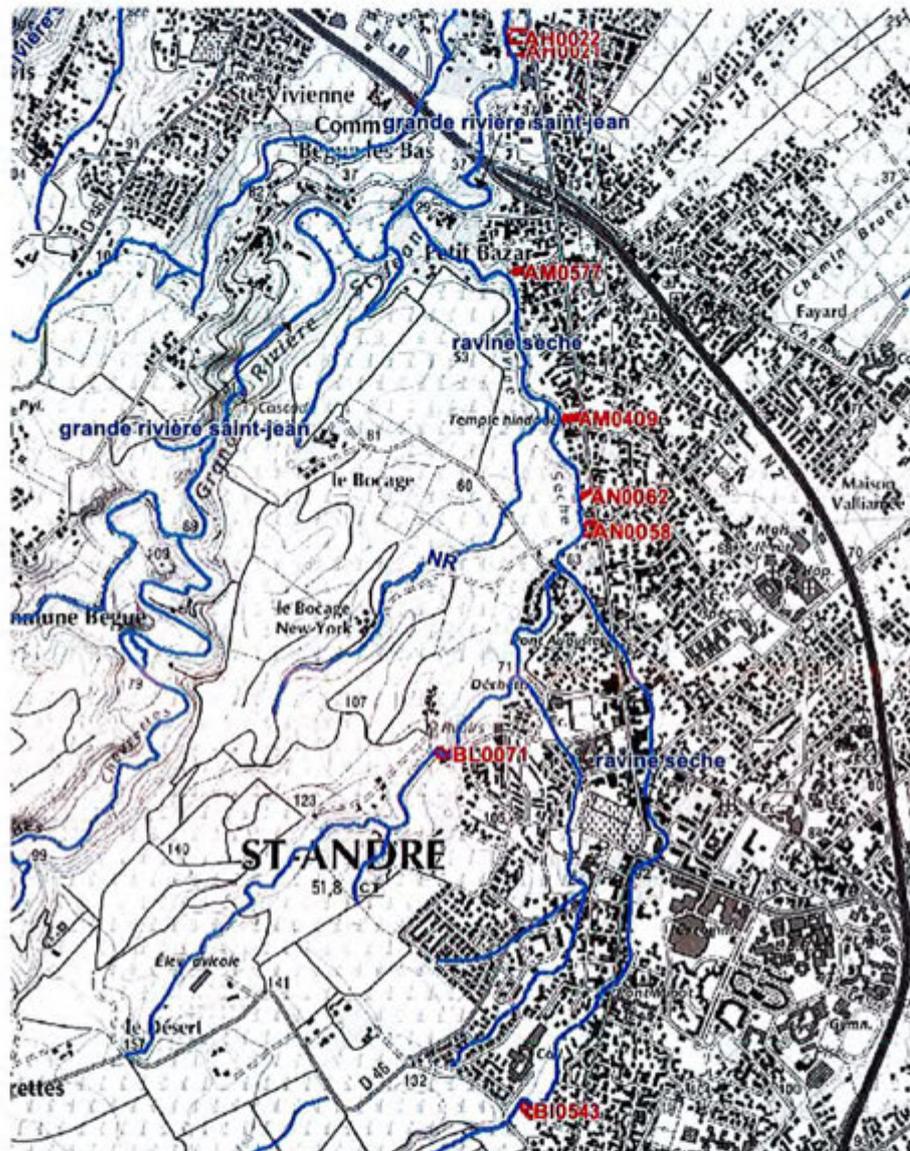
Suite à une reconnaissance du lit mineur de ces ravines avec le BRGM, la commune de St André a identifié 8 secteurs devant être confortés de toute urgence car le risque d'éboulement de parcelles habitées lors des prochaines crues n'est pas à exclure.

Ces zones à consolider sont les suivantes (cf. Fig. 1) :

- Ravine Sèche :
  - Parcelle BI 543 ;
  - Parcelle AN 58 ;
  - Parcelle AN 62 ;
  - Parcelle AM 409 ;
  - Parcelle AM 577 ;
- Grande Rivière Saint Jean :
  - Parcelle AH 21 ;
  - Parcelle AH 22 ;
- Bras secondaire de la Ravine Sèche : Parcelle BL 71.

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique  
RAPPORT



**Fig. 1. Plan de situation des parcelles de projet**

Ces parcelles font l'objet d'un arrêté municipal interdisant l'accès à une partie du terrain.

Un rapport présentant les désordres a été réalisé par le BRGM.

La commune souhaite donc que des travaux d'urgence soient réalisés dans le lit de la Ravine Sèche et la Grande Rivière Saint Jean afin de stabiliser les berges au niveau de ces parcelles.

Les objectifs du présent rapport correspondent sont :

- L'analyse du fonctionnement hydraulique du secteur et de la gestion des eaux de débordement à proximité et au droit de la zone de projet ;
- La définition des contraintes imposées par la réglementation en vigueur ;
- L'implantation et prédimensionnement au stade avant-projet des ouvrages de protection à mettre en œuvre.

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

## 2. DONNEES DISPONIBLES

Le tableau ci-dessous recense les principales données disponibles ayant servi à la réalisation de la présente étude.

**Tabl. 1 - Données disponibles**

REF.	INTITULE	AUTEURS	MAITRE D'OUVRAGE	DATE
<b>Etudes antérieures</b>				
/1/	Plan de prévention du risque inondation (PPRi) de la commune de Saint André	ARTELIA	DEAL – SPRINR	Décembre 2013
/2/	Etude Générale (PGRI) du bassin de la Grande Rivière Saint-Jean : <ul style="list-style-type: none"> <li>● Phase 1 : Evaluation préliminaire des risques inondation</li> <li>● Phase 2 et 3 : fonctionnement hydro-géomorphologique des cours d'eau et caractérisation des zones à enjeux et de leur fonctionnement</li> <li>● Phase 4 : Elaboration d'une stratégie de gestion du risque inondation</li> </ul>	ARTELIA	DEAL	Déc-09 Déc-11 Mars-12
<b>Topographie</b>				
/3/	Topographie du site post Fakir	GEO-AUSTRAL	Commune de Saint André	01/08/2018
/4/	LITTO3D (topographie précise de l'ensemble de l'île avec une densité de 1 m depuis la mer jusqu'à 4 km à l'intérieur des terres, puis 5 m au-delà) ;	IGN	DEAL	2012/2016

## Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Etude hydraulique

RAPPORT

### 3. ANALYSE DE L'EPISODE FAKIR

#### 3.1. ANALYSE HYDROLOGIQUE

La dépression tropicale FAKIR a touché les cotes réunionnaises entre le 23 et le 25 avril 2018.

Cet épisode de très forte intensité a marqué les esprits de par sa violence et les dégâts occasionnés (aussi bien lié au vent qu'aux précipitations).

L'analyse des données météo France pour cet événement nous apporte les informations suivantes (source météo France – site internet) :

- *L'essentiel des pluies tombe en moins de 12 heures. Les premières pluies ont débuté le 23 avril vers 22h. Elles se sont renforcées progressivement jusqu'à prendre un caractère exceptionnel le 24 avril, d'abord sur le Sud et le Sud-Ouest entre 6h et 8h du matin, **puis sur l'Est entre 8h et 10h**. Ainsi sur l'ensemble de l'épisode pluvieux (2 jours), il est ainsi tombé 313 mm à Saint Benoit et 262 mm au colosse (Saint André) ;*
- *Ces valeurs ne sont pas exceptionnelles pour une tempête tropicale passant à proximité de La Réunion. Par contre, c'est sur des pas de temps plus courts que ces pluies sont véritablement remarquables. Pour la plupart des communes de Sainte-Marie à Saint-Leu, en passant par l'est, au niveau du littoral ou à mi-hauteur, on relève des intensités pluvieuses exceptionnelles pour des durées entre 1 heure et 6 heures ;*
- *Il est ainsi tombé 186 mm en trois heures à Saint Benoit et 151 mm en trois heures au colosse (Saint André) et 96 mm en une heure à Bagatelle (Ste Marie) ;*

Sur la base de ces données, et à partir de l'analyse pluviométrique réalisée dans le cadre du GEP par la DEAL et Météo France, il est possible d'estimer la période de retour de cet événement.

**Tabl. 2 - Analyse fréquentielle des pluies de FAKIR**

Poste pluviométrique	Pluie mesurée (mm)	Durée de la pluie prise en compte	Zonage pluviométrique et intensité de pluie associé (mm/h 10 ans)	Pluie théorique estimée pour une période de retour donnée et une durée de pluie					
				5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Colosse	151	3 h	2 / 72	150	170	181	195	215	150
		2 h	2 / 72	115	129	138	149	164	115
St Benoit	186	3 h	3 / 85	178	200	214	231	254	178
		2 h	3 / 85	135	153	163	176	193	135
Bagatelle	96	1 h	2 / 72	72	81	87	94	103	72

A la lecture de ces résultats, on peut estimer **la période de retour de FAKIR** en terme de pluviométrie **à environ 30 ans**. Ce qui en fait l'un des événements les plus marquants de ces dernières années. A noter que le dernier événement climatique équivalent (en termes de distribution spatiale et d'intensité pluviométrique), a été Clotilda en 1987.

### 3.2. ANALYSE POST CRUE - DYNAMIQUE DE CRUE

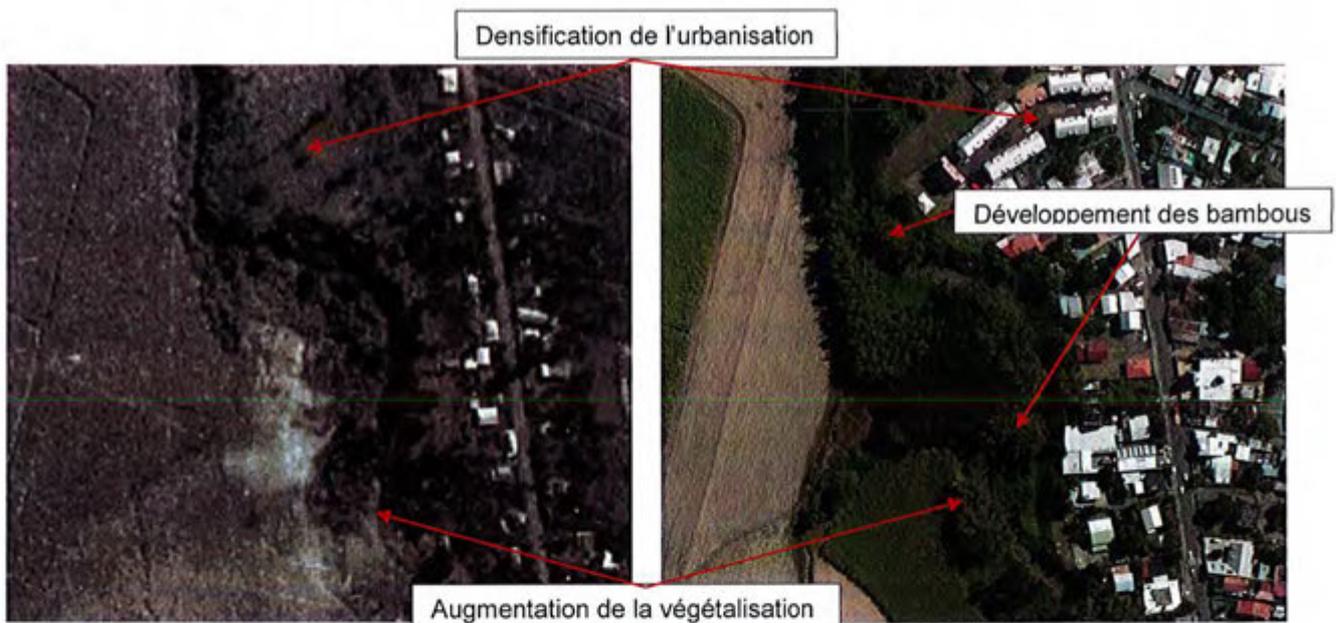
Cette analyse est menée à partir de la reconnaissance du site effectuée en juin 2018 et des levés topographiques réalisés suite à cette visite. Une comparaison de la topographie de 2018 et de celle utilisée dans le cadre du PGRI de la Grande Rivière St Jean (Oct 2001) nous a permis de préciser l'évolution des berges sur cette période.

#### 3.2.1. Ravine Sèche

Préalablement à l'analyse spécifique pour chaque parcelle, il convient de préciser quelques points applicables sur l'ensemble du linéaire de la Ravine dans sa traversée de la commune.

Depuis de nombreuses années, la Ravine subit une pression anthropique soit directe (construction dans l'emprise du lit mineur par exemple) soit indirecte par une augmentation des rejets liée à une augmentation de l'imperméabilisation de son bassin versant.

L'analyse des photos aérienne depuis 1950 montre aussi une évolution de la flore rivulaire avec notamment une densification de celle-ci dans de nombreux secteurs. Celle-ci est souvent lié à un développement de bambous massifs qui participent à la réduction du lit mineur et à la déstabilisation globale des berges.



**Fig. 2. Evolution de la Ravine Sèche entre 1950 et 2012**

Les dégâts observés lors de Fakir ne sont donc pas uniquement liés à l'évènement pluvieux mais aussi à une évolution de la ravine depuis des années, au rapprochement global des zones urbaines et à un manque d'entretien de celle-ci notamment vis-à-vis des espèces envahissantes et déstabilisatrices telles que les bambous.

Dans de nombreux secteurs, des rejets « sauvages » d'eaux pluviales ou d'eaux usées ont été observés. Bien que souvent de faible ampleur, ces rejets participent à un sapage permanent des berges qui favorise leur effondrement en crue.

Les travaux préconisés dans le cadre de cette étude sont des travaux d'urgence liés à la mise en péril de logements et seront donc limités dans leur emprise à la parcelle, éventuellement

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

complétés de parcelles limitrophes. Une lecture plus globale de la Ravine doit être réalisée afin de définir l'ensemble des travaux de protection et d'entretien de la Ravine. Certains de ces points seront notamment abordés dans le cadre du TRI en cours de réalisation.

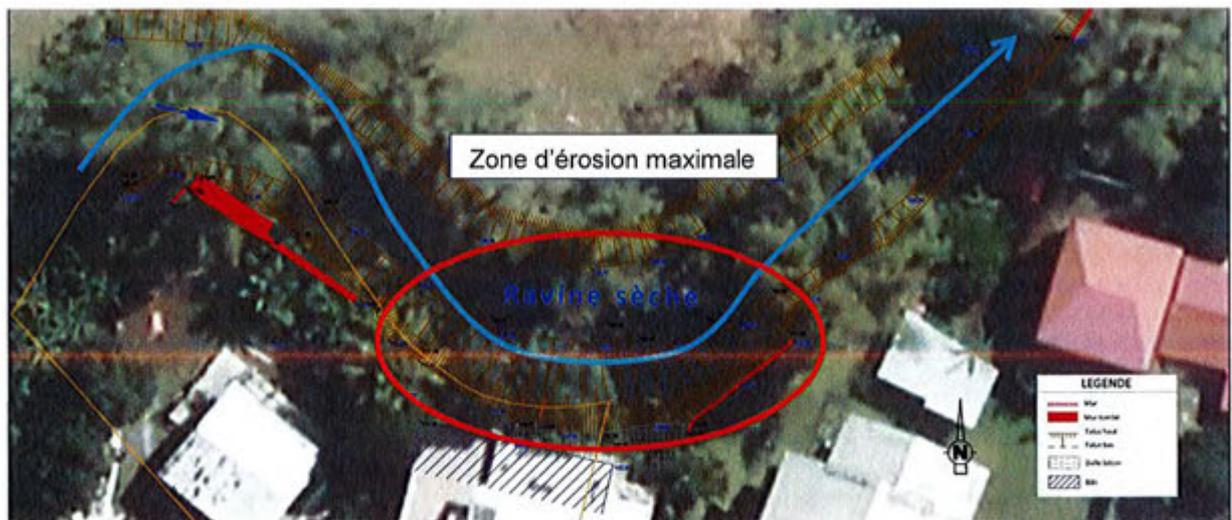
### 3.2.1.1. PARCELLE BI 543

La parcelle de projet se situe environs 90 m en aval du franchissement du chemin Morin.



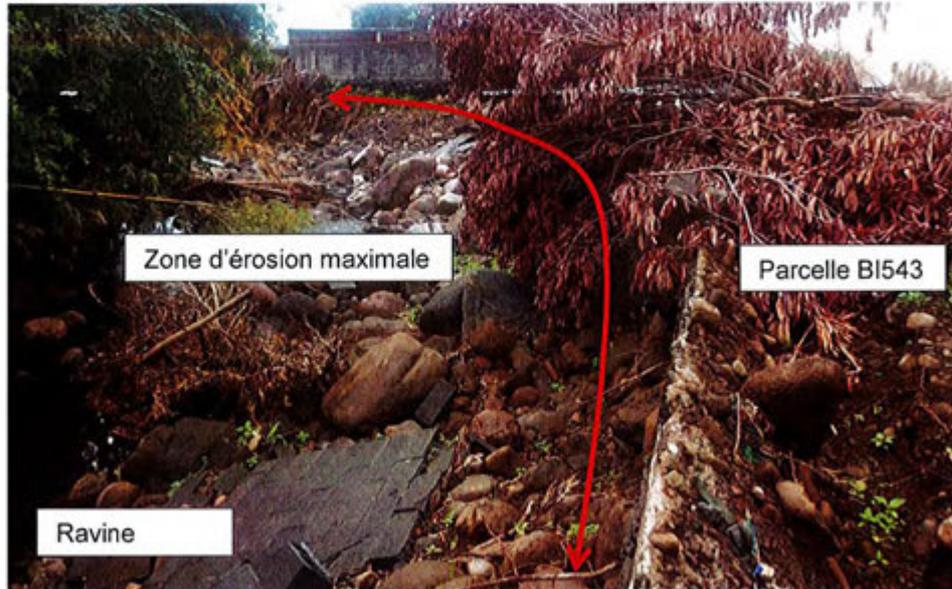
Sur la base des laisses de crues visibles et des données topographiques, une analyse de la dynamique en crue a été menée. Les principales conclusions sont reportées ci-dessous :

- En amont et au droit de la parcelle, la Ravine présente un double coude, le flux « ricoche » d'une berge à l'autre entraînant une survitesse à l'extrados du virage. Cette survitesse induit une augmentation des risques d'érosion des sols. Cette zone de survitesse correspond à la zone d'érosion maximale observée post crue.



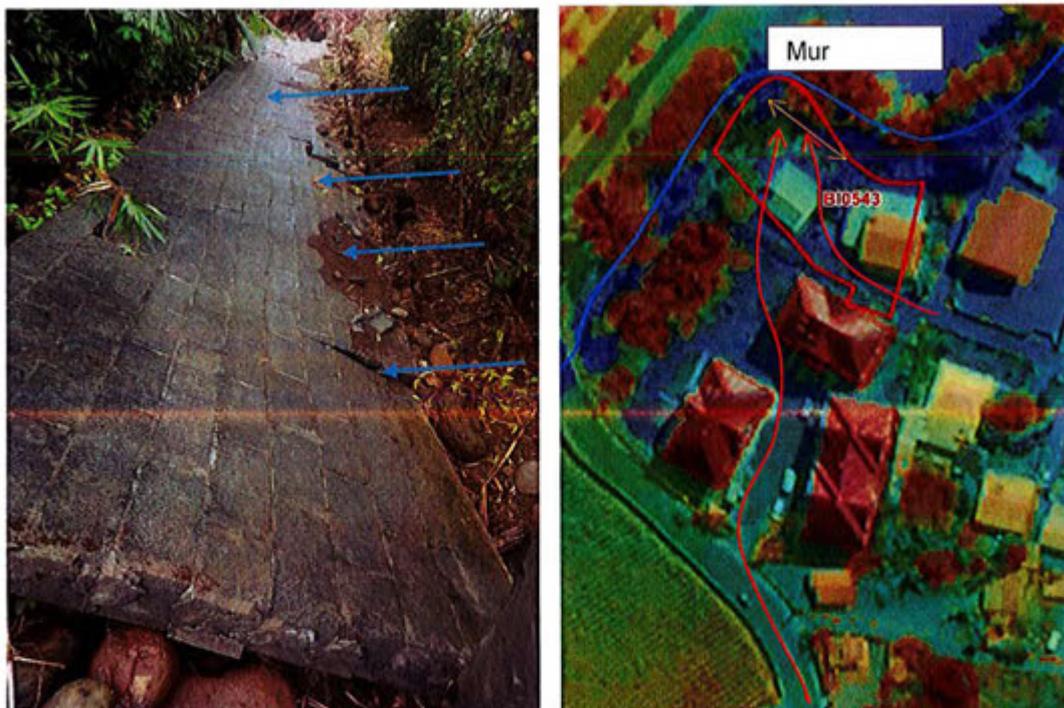
**Fig. 3. Topographie du site et principe de dynamique des écoulements**

- Ce point est confirmé in situ.



**Photo.-2. Erosion de berge - parcelle BI543**

- En amont de cette zone, le mur d'enceinte est également effondré. Celui-ci c'est affaissé sous le poids de l'eau accumulée en amont, à priori sans liens directs avec la Ravine Sèche. L'analyse de la topographie (issue des relevés topographique menés dans le cadre du TRI) confirme cette hypothèse.



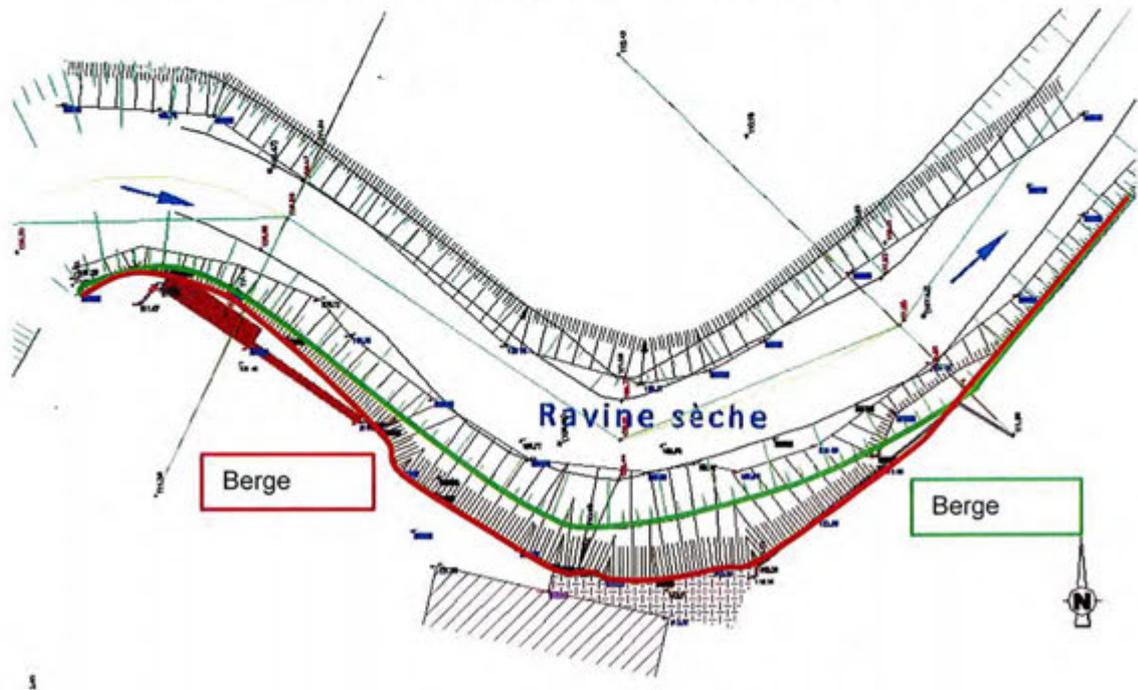
**Photo.-3. Mur affaissé et topographie du site**

## Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Etude hydraulique

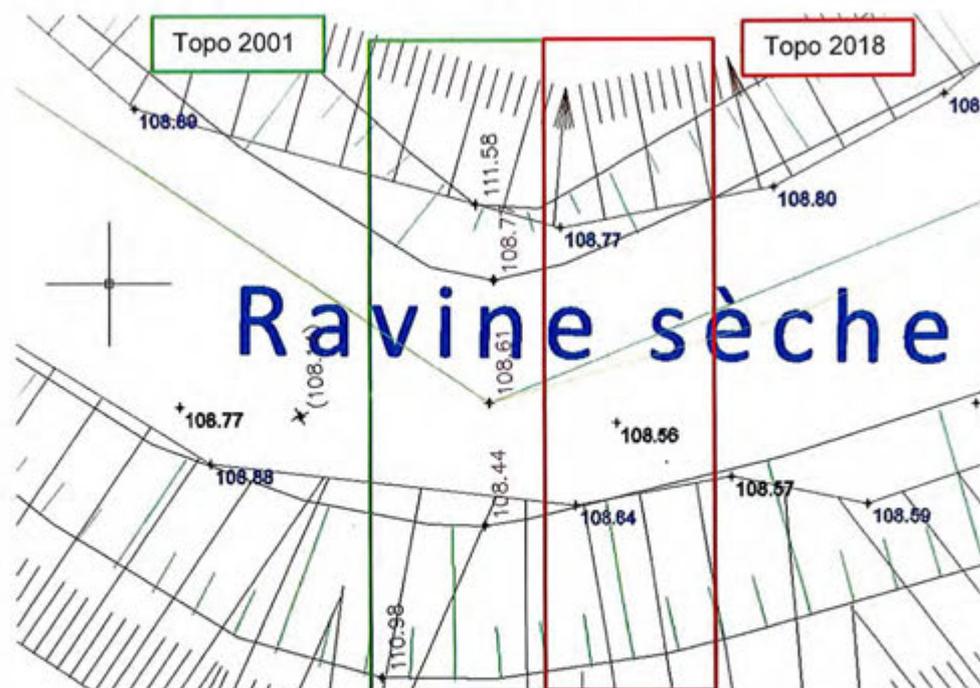
RAPPORT

- L'analyse comparative de la topographie entre 2018 et 2001 précise l'érosion de la berge. Le recul maximum est de 4 à 5 m, le maximum étant observé au plus près de la maison.



**Fig. 4. Evolution de la topographie du site**

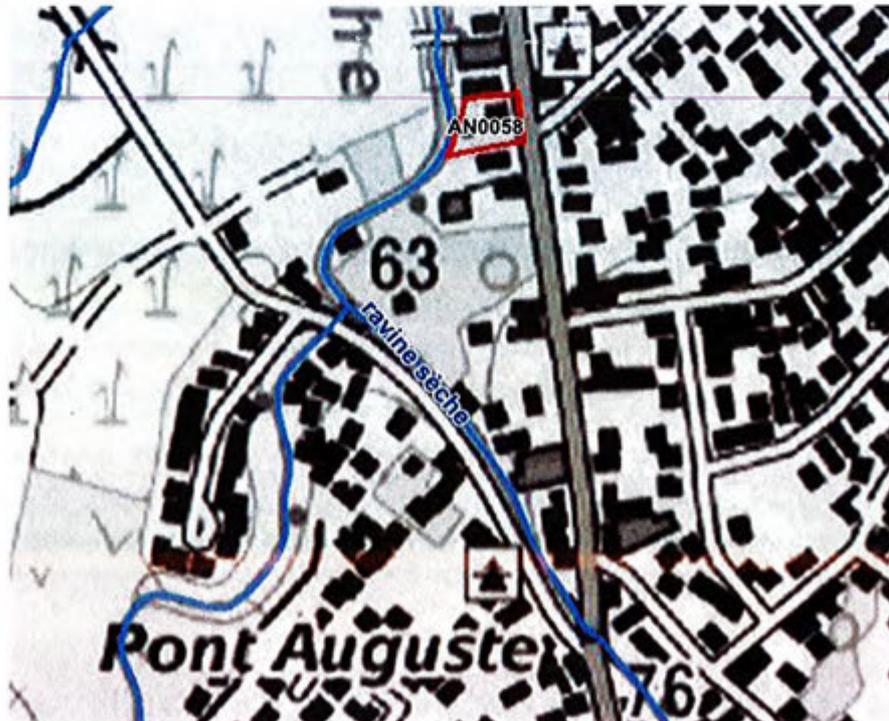
- Aucun approfondissement du lit mineur n'est observé.



**Fig. 5. Evolution de la topographie du lit mineur**

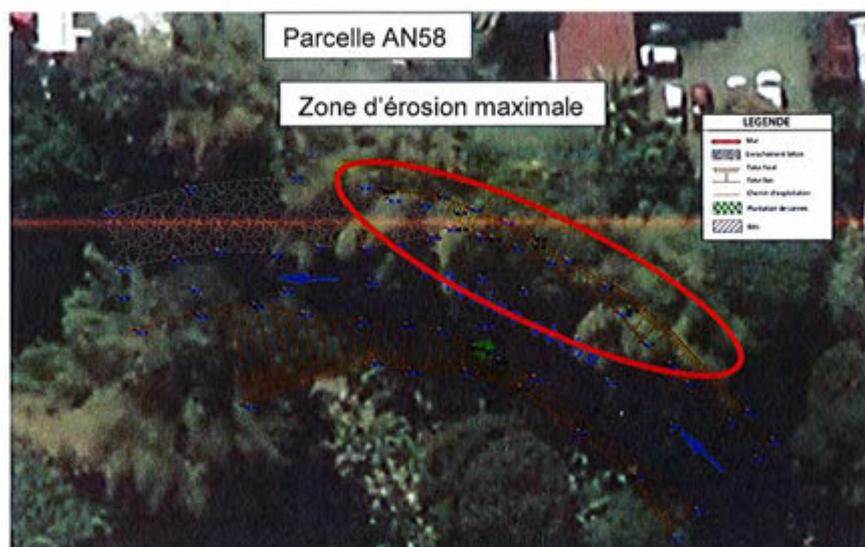
## 3.2.1.2. PARCELLE AN 58

La parcelle de projet se situe environ 400 m en aval du franchissement du Pont Auguste.



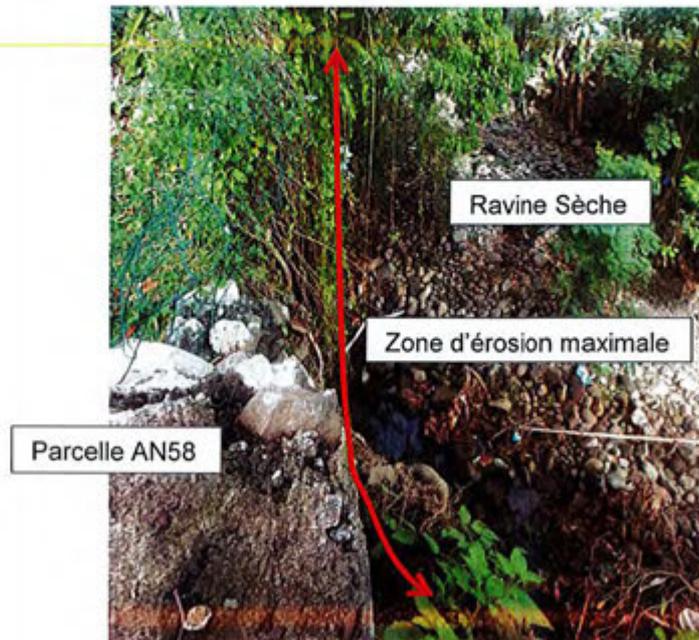
Sur la base des laisses de crues visibles et des données topographiques, une analyse de la dynamique en crue a été menée. Les principales conclusions sont reportées ci-dessous :

- Au droit de la parcelle, la Ravine présente un coude. La parcelle est positionnée à l'extrados de ce coude, le flux longe la berge entraînant une survitesse dans ce secteur. Cette survitesse induit une augmentation des risques d'érosion des sols. Cette zone de survitesse correspond à la zone d'érosion maximale observée post crue.



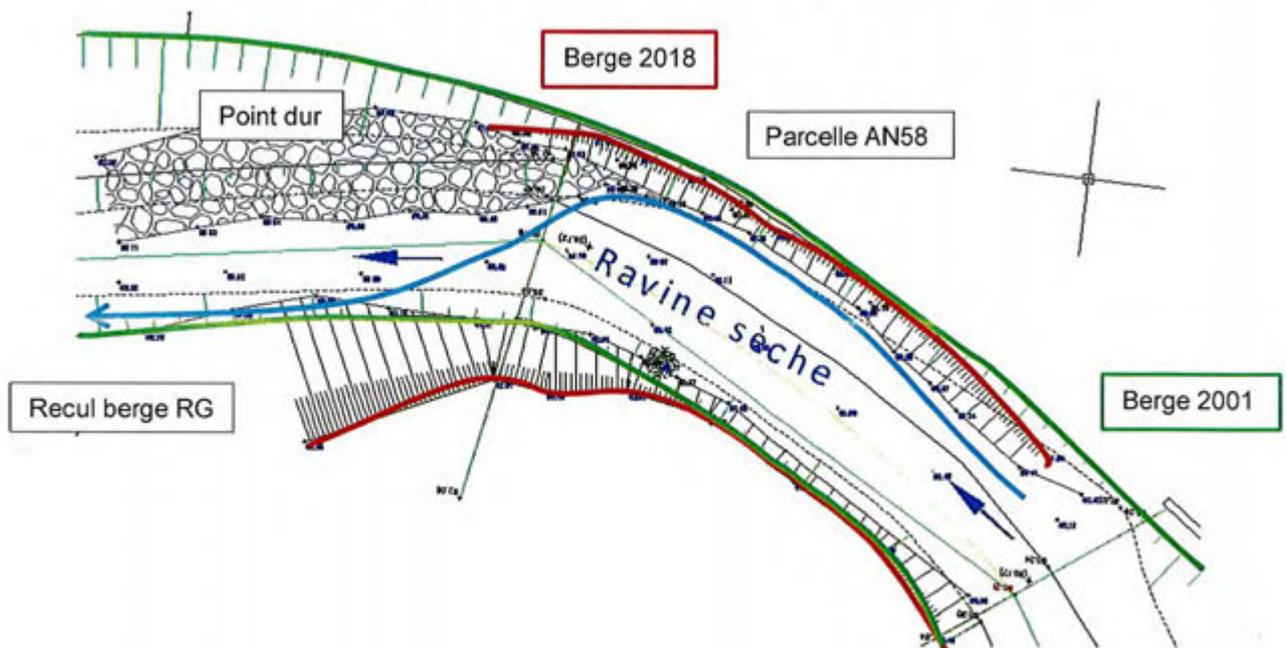
**Fig. 6. Topographie du site et principe de dynamique des écoulements**

- Ce point est confirmé in situ.



**Photo.-4. Erosion de berge - parcelle AN58**

- L'analyse comparative de la topographie entre 2018 et 2001 précise l'érosion de la berge. Elle ne fait pas apparaître de recul de la berge. Par contre un raidissement de celle-ci est visible. Il est important de noter que la topographie de 2001 manque de précision au droit de la zone de projet ce qui apporte une incertitude sur l'importance du recul de la berge.
- Par contre un recul important de la berge rive gauche est observé en aval du site.



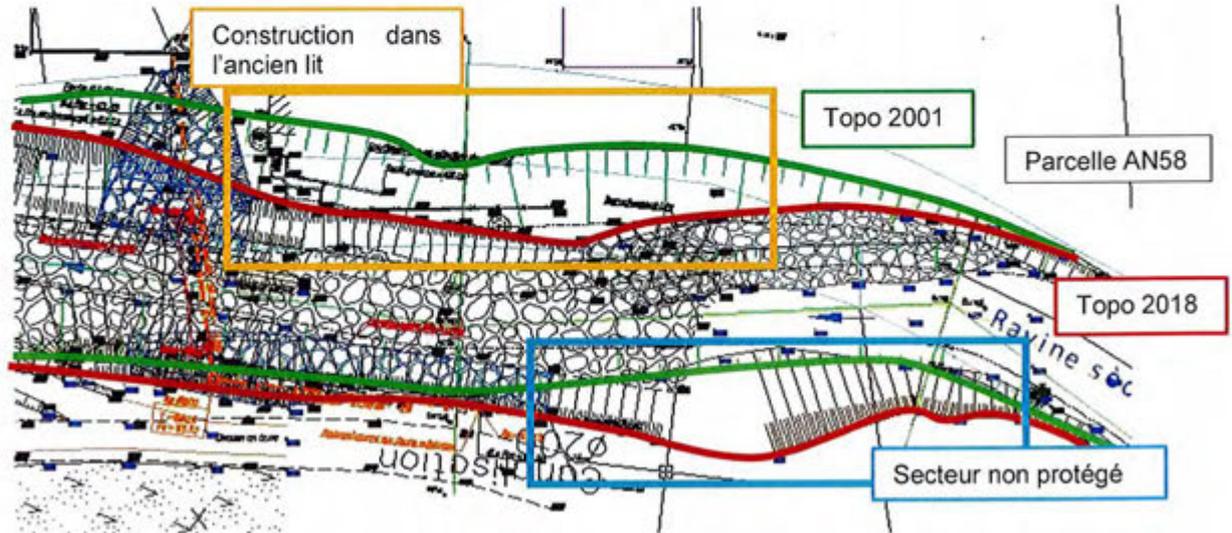
**Fig. 7. Evolution de la topographie du site**

## Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

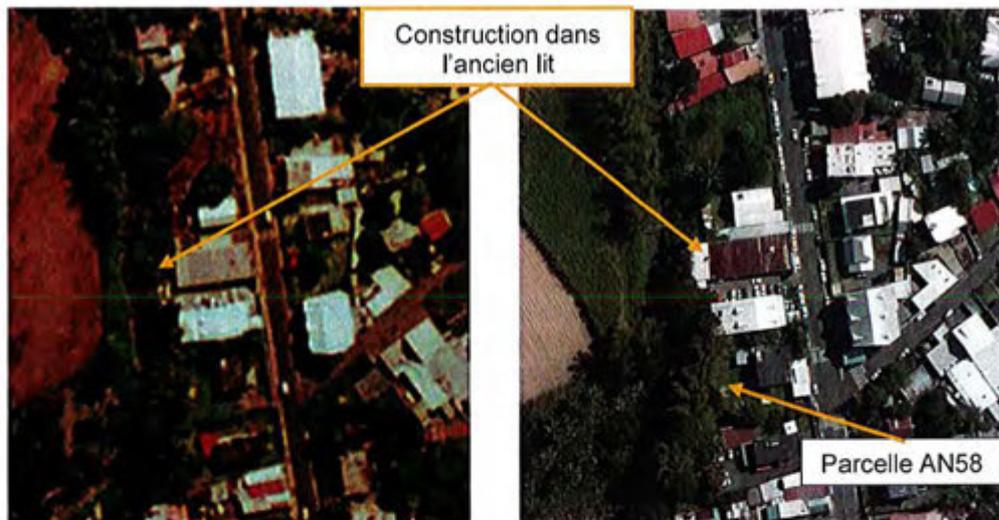
Etude hydraulique

RAPPORT

- Sur ce secteur, la rivière est contrainte par les enrochements liés posés en rive droite. Ces enrochements ont été mise en place pour protéger des extensions de bâtiments qui ont fortement empiétés dans le lit de la Ravine.



**Fig. 8. Evolution de la topographie du lit mineur**



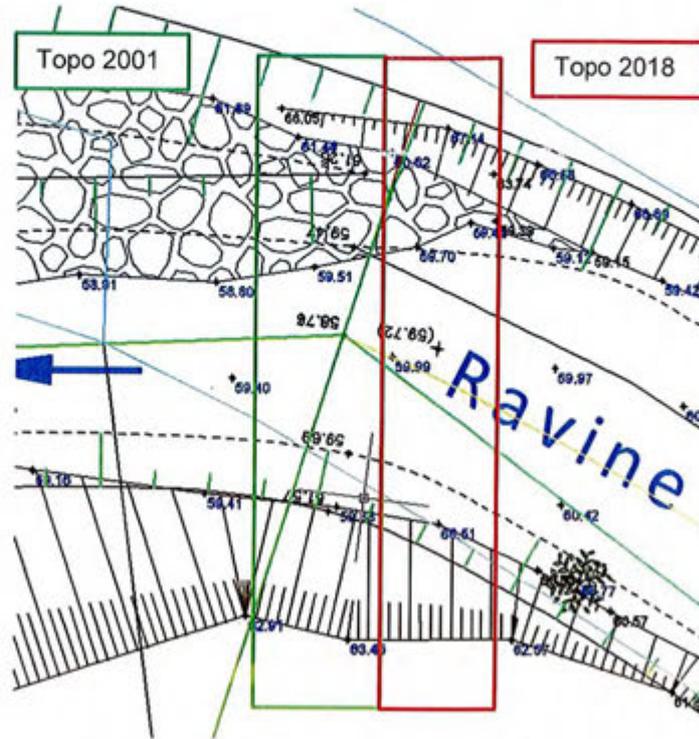
**Fig. 9. Comparaison photo aérienne 1997 - 2012**

- Ce décalage de la berge rive droite, et les protections mises en œuvre, sont en partie responsable des désordres observés en rive gauche (effondrement de la canalisation d'eau usée). Les protections actuellement mise en œuvre (travaux GTOI de reprise de la canalisation EU) ne remontent pas assez en amont et l'évolution de la berge à ce niveau risque de continuer.
- Aucun approfondissement du lit mineur n'est observé.

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT



**Fig. 10.** Evolution de la topographie du lit mineur

3.2.1.3. PARCELLE AN 62

La parcelle de projet se situe environ 550 m en aval du franchissement du Pont Auguste.



## Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Etude hydraulique  
RAPPORT

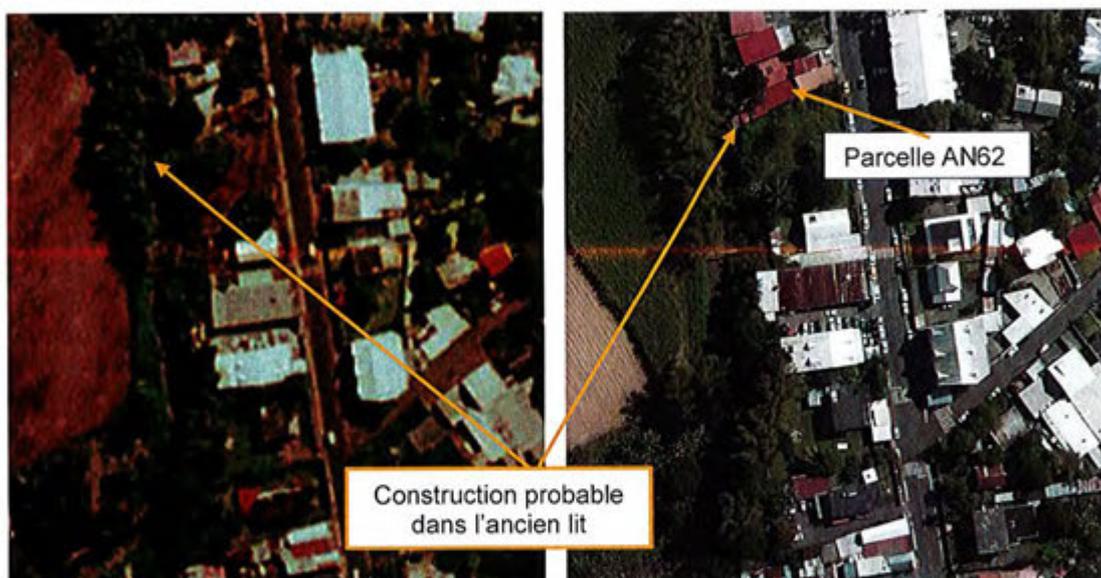
Sur la base des laisses de crues visibles et des données topographiques, une analyse de la dynamique en crue a été menée. Les principales conclusions sont reportées ci-dessous :

- La parcelle se situe en aval d'une zone fortement perturbée (cf. chapitre précédent). La zone d'érosion visible en amont de la parcelle découle de ces perturbations et se trouve accentuer par les extensions de logements, de la parcelle étudiée, très présent dans le lit mineur.



**Fig. 11. Parcelle AN62 – Extension de bâtiment**

- Dans le cas présent, l'extension est liée à la présence d'une fosse septique qu'il sera délicat à supprimer ou déplacer.
- Comme pour la parcelle précédente, l'analyse des photos aérienne laisse supposer des constructions dans le lit mineur, au droit et en aval de la parcelle de projet. La forte végétation ne permet pas d'être affirmatif sur ce sujet.



**Photo.-5. Comparaison photo aérienne 1997 - 2012**



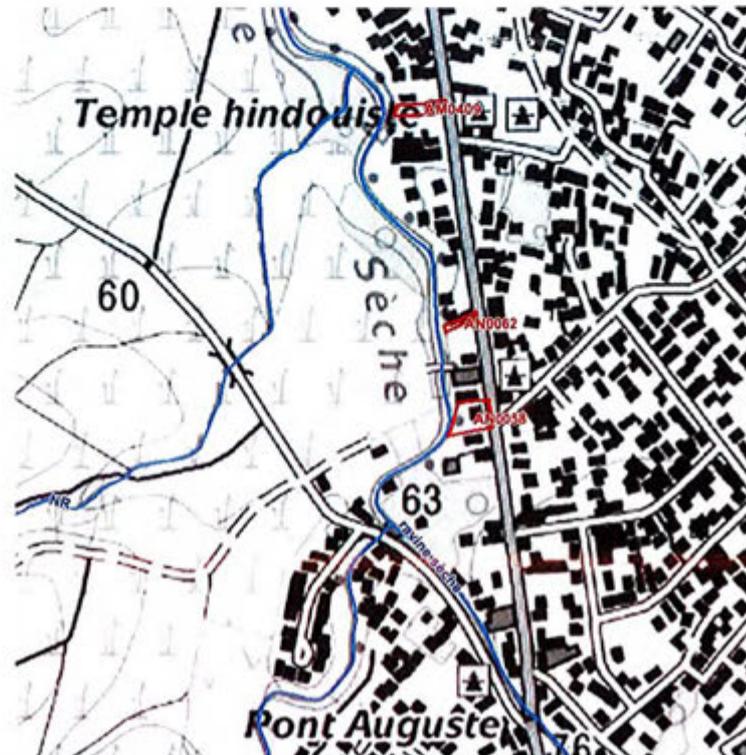
## Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Etude hydraulique

RAPPORT

### 3.2.1.4. PARCELLE AM 409

La parcelle de projet se situe environ 800 m en aval du franchissement du Pont Auguste.



Sur la base des laisses de crues visibles et des données topographiques, une analyse de la dynamique en crue a été menée. Les principales conclusions sont reportées ci-dessous :

- Au droit de la parcelle, la Ravine présente un coude entraînant une survitesse à l'extrados du virage. Cette survitesse induit une augmentation des risques d'érosion des sols. Cette zone de survitesse correspond à la zone d'érosion maximale observée post crue.



## Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Etude hydraulique

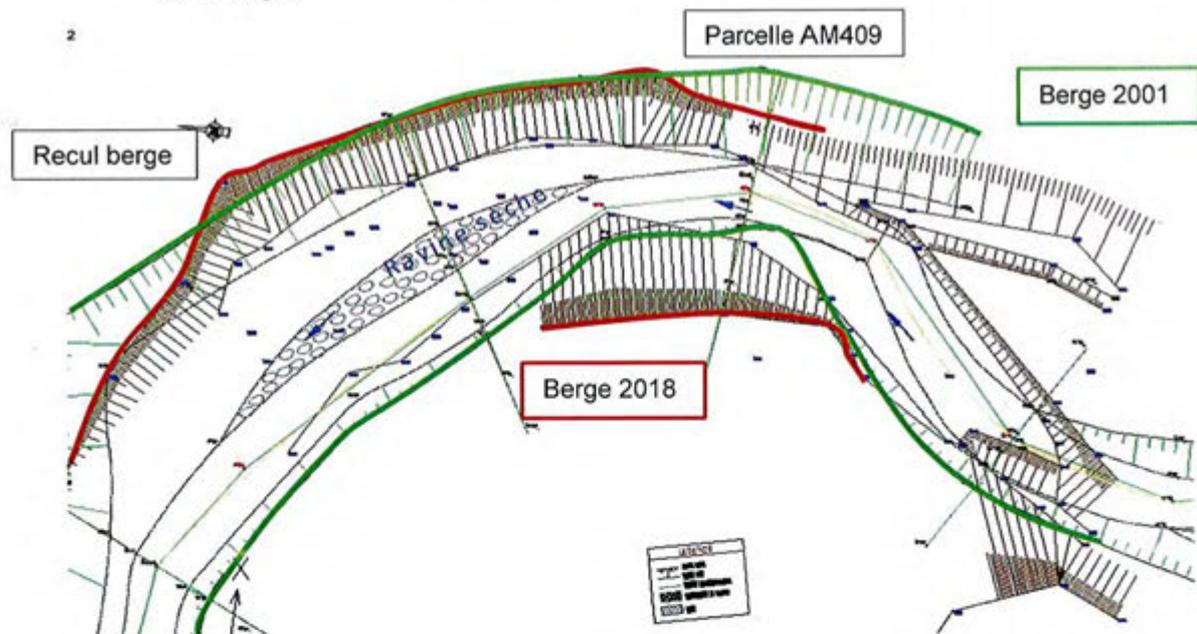
RAPPORT

- Sur la zone de projet, l'analyse des photos aériennes ne montre pas d'évolution de l'emprise dans le lit mineur au droit de la parcelle étudiée. Par contre, en aval du site il semble que des remblais récents ont réduit la section du lit mineur accentuant progressivement le coude présent en amont.



**Photo.-6. Comparaison photo aérienne 1997 - 2008**

- L'analyse comparative de la topographie entre 2018 et 2001 ne permet pas de préciser le recul de la berge au droit de la parcelle étudiée. En aval de la parcelle, on observe un recul de la berge.



**Fig. 14. Evolution de la topographie du site**

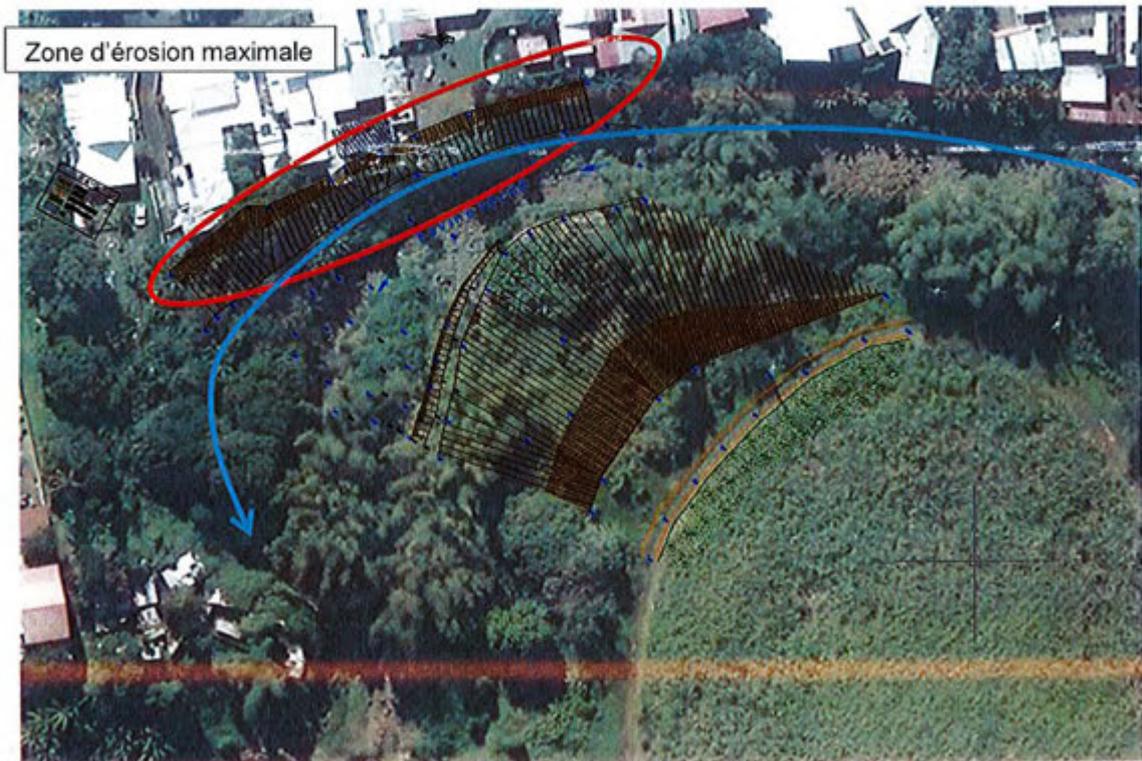
- Aucun approfondissement du lit mineur n'est observé.



**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT



**Fig. 16.** Topographie du site et principe de dynamique des écoulements

- Ce point est confirmé in situ.



**Photo.-7.** Erosion de berge – parcelle AM577 et amont

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

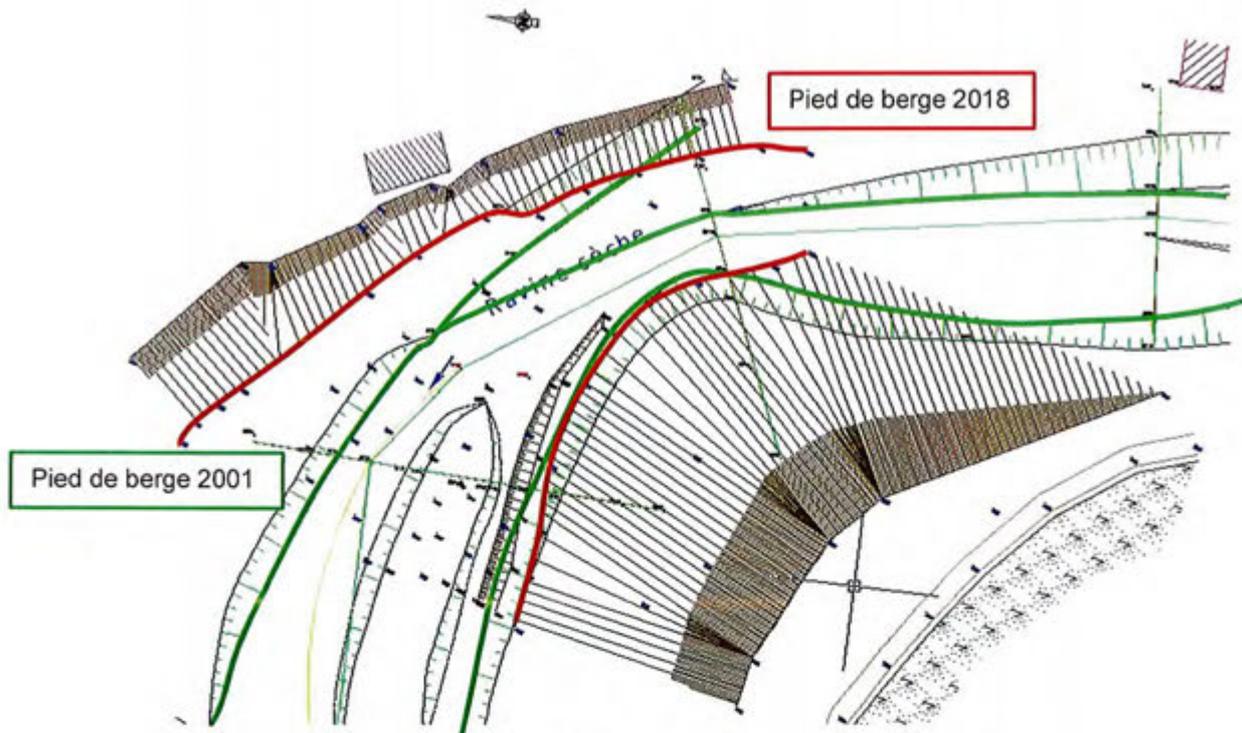
Etude hydraulique

RAPPORT



**Photo.-8. Erosion de berge – parcelle AM577 et aval**

- L'analyse comparative de la topographie entre 2018 et 2001 précise l'érosion de la berge. La crête de berge n'ayant pas été levée en 2001, l'analyse porte sur le pied supposé de berge. Cette analyse laisse apparaître un recul maximum de l'ordre de 10 m, le maximum étant observé au plus près de la maison, avec un raidissement de la berge.



**Fig. 17. Evolution de la topographie du site**

- Aucun approfondissement du lit mineur n'est observé.



**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

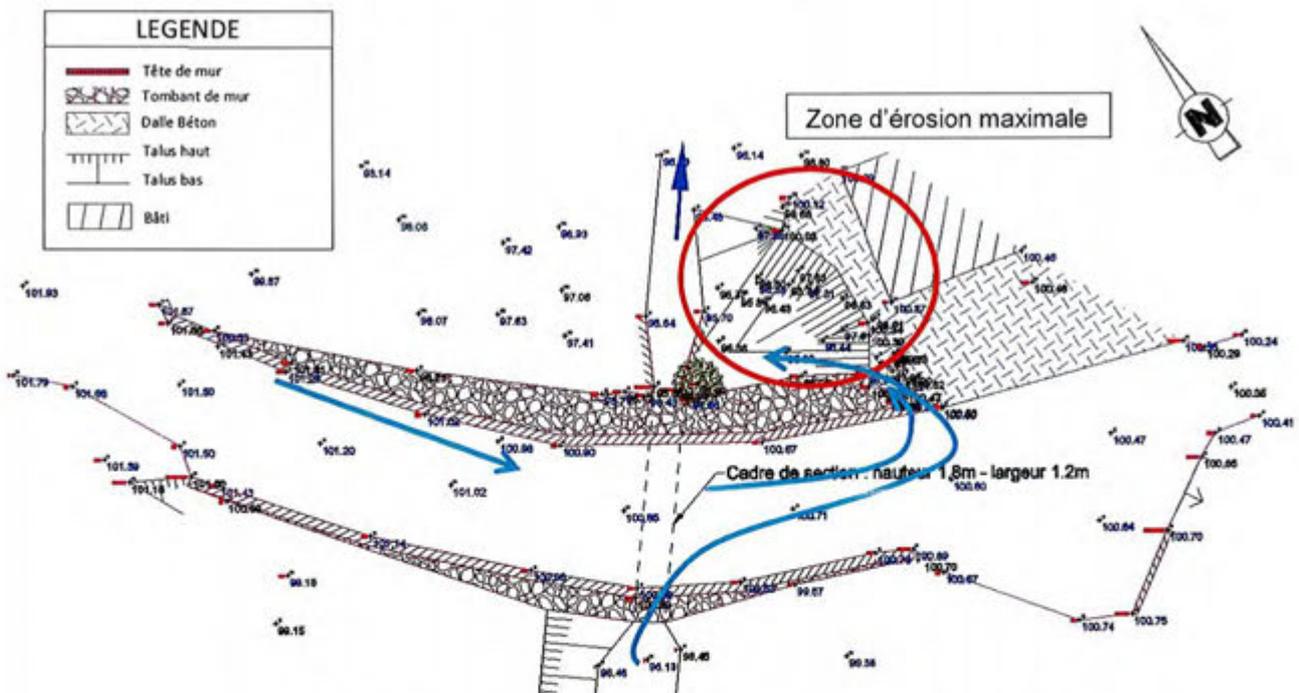
Sur la base des laisses de crues visibles et des données topographiques, une analyse de la dynamique en crue a été menée. Les principales conclusions sont reportées ci-dessous :

- La zone déstabilisée est située en aval du franchissement du chemin. La berge s'est effondrée en rive droite de la ravine.



**Photo.-9. Ouvrage de franchissement et zone déstabilisée en rive droite**

- L'analyse in-situ montre que l'effondrement de la berge est dû aux retours d'eau de ruissellement de la route vers la Ravine et principalement concentrés à ce niveau sur une berge sans protection spécifique.

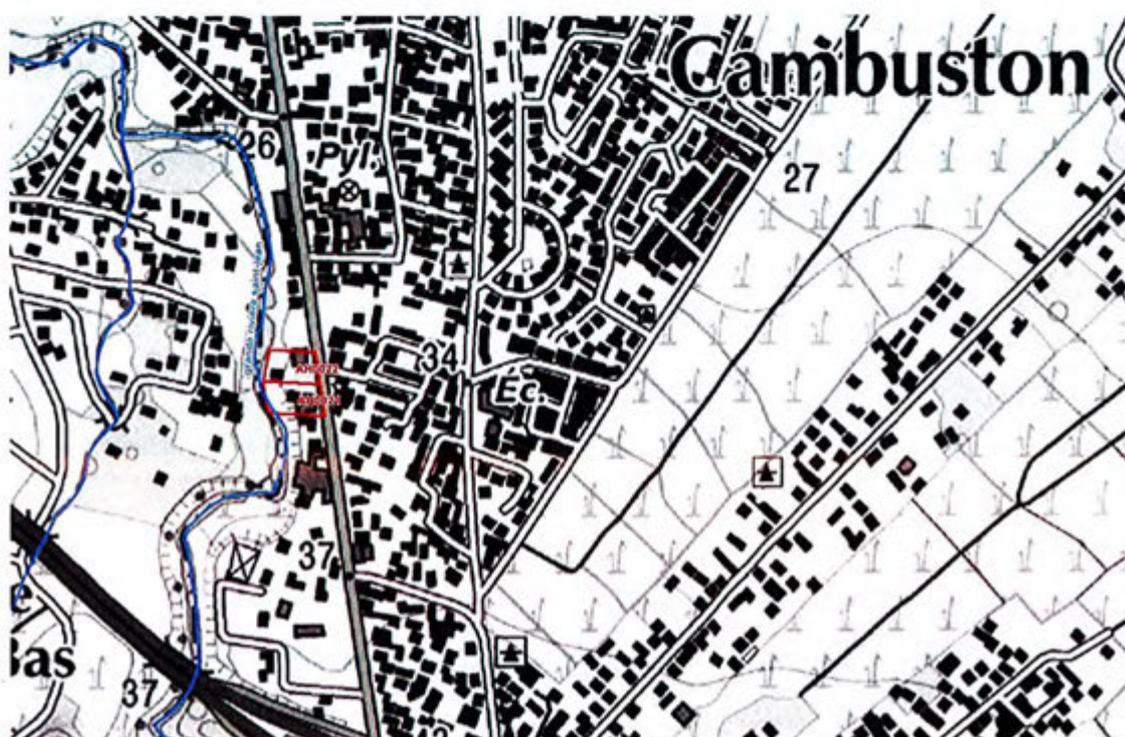


**Fig. 19. Topographie du site et principe de dynamique des écoulements**

### 3.2.3. La Grande Rivière Saint Jean

#### 3.2.3.1. PARCELLE AH21 ET AH22

La parcelle de projet se situe au niveau de Cambuston environ 450 m en aval du franchissement de la RN 2.



Sur la base des laisses de crues visibles et des données topographiques, une analyse de la dynamique en crue a été menée. Les principales conclusions sont reportées ci-dessous :

- Au droit du site, la Ravine présente un coude entraînant une survitesse à l'extrados du virage. Cette survitesse induit une augmentation des risques d'érosion des sols. Cette zone de survitesse correspond à la zone d'érosion maximale observée post crue.

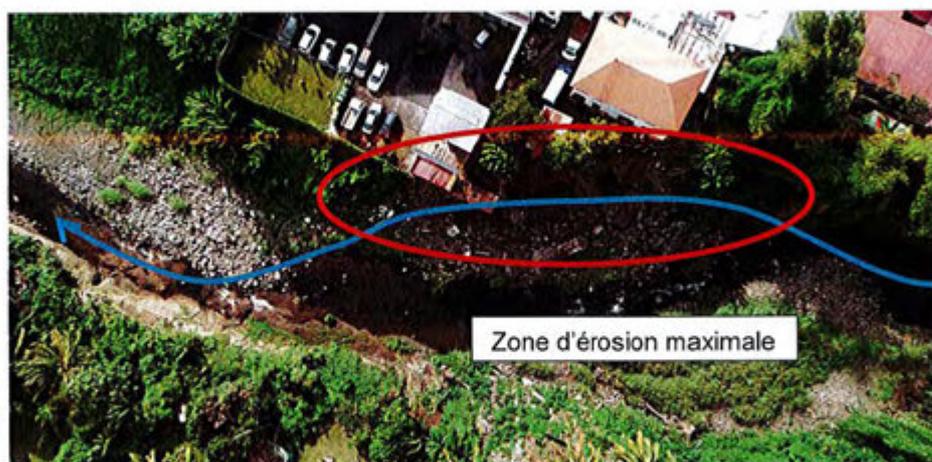


Fig. 20. Principe de dynamique des écoulements

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

- Ce point est confirmé in situ. La zone érodée semble constituée de remblais (plus sensible à l'érosion).



**Photo.-10. Erosion de berge – parcelle AH21 et 22**



## Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Etude hydraulique  
RAPPORT

- 2 |
- L'analyse comparative des photos aérienne de 1961 / 1997 et 2013 montre l'évolution des constructions. Dans un premier temps en terrasse supérieure de la rivière (notamment pour la parcelle AH21 – photo 1997) puis dans un second temps jusqu'en limite du lit courant de la ravine (essentiellement sur la parcelle AH22 – photo 2013).



- 2 |
- Cette avancée constitue un point dur qui amplifie les phénomènes d'érosion en crue et est en grande partie responsable des désordres observés.

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

- 
- On peut aussi noter la présence d'un seuil (prise d'eau) en aval de la zone d'étude, très visible en 1961, il apparaît dégradé sur la photo de 1997 et a complètement disparu en 2013. Ce seuil participait à la stabilisation du lit mineur de la ravine.

### 3.3. CONCLUSION

L'analyse post crue nous apporte les conclusions suivantes :

- L'épisode pluvieux est important : période de retour estimée de l'ordre de 30 ans ;
- L'anthropisation des berges et des bassins versant amont, en augmentant le flux drainé, en limitant les débordements et en concentrant les flux dans le lit mineur, a accentuée les désordres observés ;
- Un recul important ou un raidissement des berges a été observé ;
- Les berges ne sont pas stabilisées, un recul rapide de celle-ci est à envisager ;
- Il ne semble pas que le lit mineur des ravines se soit approfondi en crue ;

---

## 4. MODELISATION HYDRAULIQUE

### 4.1. GENERALITES

#### 4.1.1. Le modèle numérique utilisé

Sur la zone de projet, ARTELIA réalise actuellement une étude générale de définition des aménagements et actions de réduction de la vulnérabilité sur le Territoire à Risque Inondation Saint-André / Sainte-Suzanne.

Dans le cadre de cette étude une analyse hydrologique et hydraulique est en cours de réalisation.

Nous reprendrons ici, données de débit issue les analyses hydrologique menées dans le cadre du TRI ainsi que les modélisations réalisées pour les besoins de l'étude.

La représentation des écoulements sur les secteurs modélisés comporte deux types de schématisation :

- L'écoulement unidimensionnel (1D) dans le lit mineur des cours d'eau (HEC-RAS) ;
- L'écoulement bidimensionnel (2D) dans le lit majeur inondable (TELEMAC).

#### 4.1.2. Délimitation des bassins versants

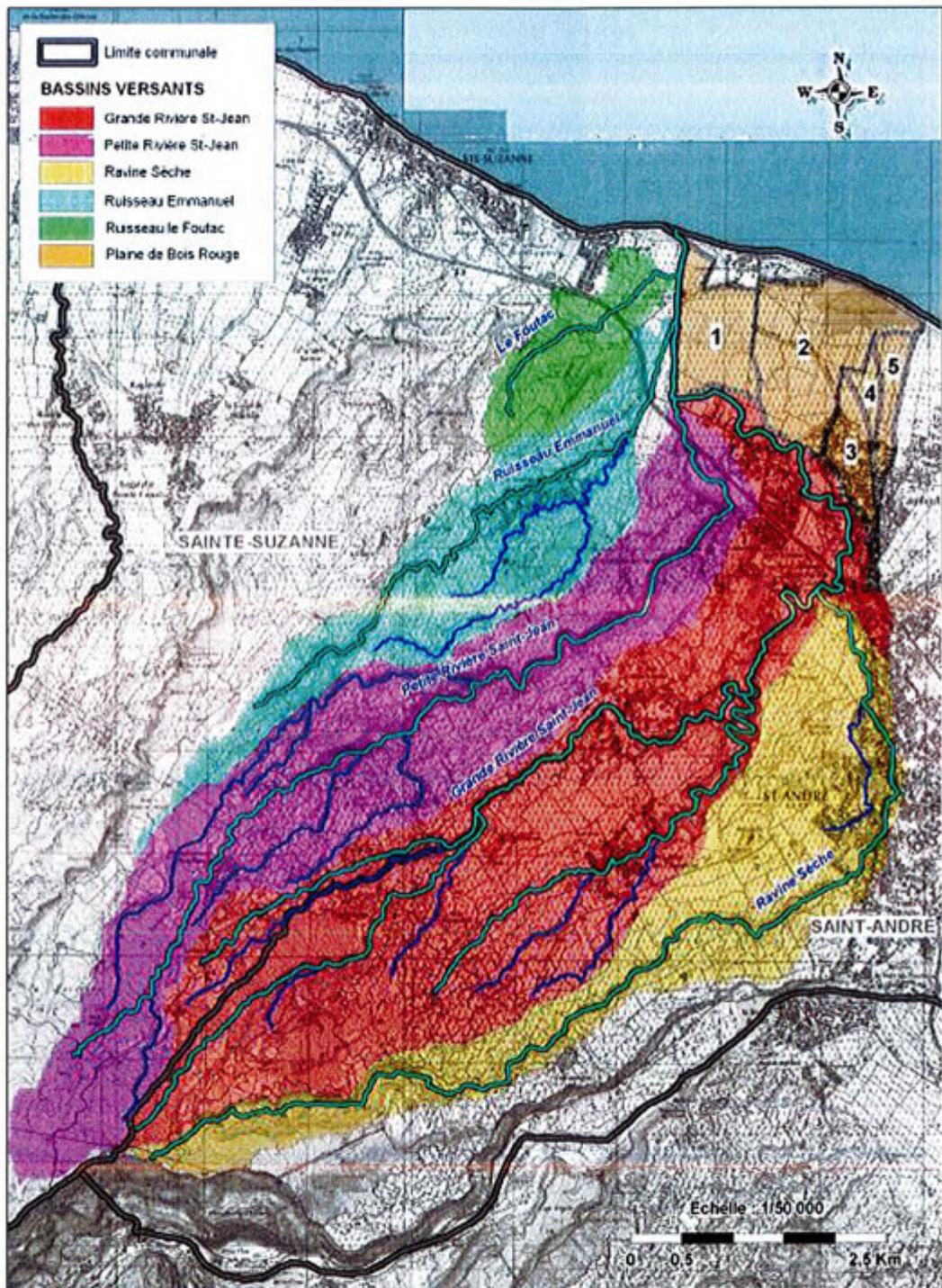
La reconnaissance de terrain et l'analyse de la topographie du secteur (LITTO3D de l'IGN) ont permis de délimiter les différents bassins versants de la Grande Rivière Saint-Jean.

La figure suivante illustre ces bassins versants.

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT



**Fig. 21. Délimitation des bassins versants de la Grande Rivière St-Jean**

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

### 4.1.3. Caractéristiques des bassins versants

#### 4.1.3.1. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

Les informations fournies dans le tableau suivant sont issues de l'analyse des cartes et orthographies de l'IGN complétée par une reconnaissance in situ.

**Tabl. 3 - Caractéristiques des bassins versants**

Nom du BV	S totale (km <sup>2</sup> )	Longueur (km)	Périmètre (km)	Altitude min (m NGR)	Altitude max (m NGR)	Pente globale (%)
Ravine sèche*	8,0	12,2	24,4	29	882	7,0
Gde R St Jean (Aval confluence Ravine Sèche)	21,3	10,7	27,5	29	913	8,3
Gde R St Jean (Pont RN 2002)	23,0	12,5	30,2	16	913	7,2
Gde R St Jean (Amont confluence Pte R St Jean)	23,9	14,6	34,3	4	913	6,2
Pte R St Jean*	11,0	12,8	31,5	4	1011	7,9
Gde R St Jean (Aval confluence Pte R St Jean)	34,9	14,6	35,6	4	1011	6,9
Ruisseau Emmanuel*	5,2	8,5	22,0	2	581	6,8
Gde Rivière St Jean (Aval conf Ruisseau Emmanuel)	40,3	15,4	36,7	2	1011	6,6
Ruisseau Foutac*	1,7	3,0	8,7	1	151	5,0
Gde Rivière St Jean (Aval Plaine Bois Rouge - exutoire)	43,0	15,9	44,0	1	1011	6,4

\* : en amont immédiat de la confluence avec la Grande Rivière Saint-Jean

#### 4.1.3.2. DEBITS UTILISES POUR LA MODELISATION

Les introductions de débit concernent les bassins versants suivants :

- La Grande Rivière St-Jean en aval immédiat de sa confluence avec la ravine Sèche ;
- La Petite Rivière St-Jean ;
- Le ruisseau Emmanuel ;
- Le ruisseau du Foutac ;
- La Rivière Ste-Suzanne en aval de la cascade Niagara ;

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

- La zone de Cambuston / Bois Rouge située en rive droite de la Grande Rivière St-Jean et qui alimente et draine la plaine de Bois Rouge.

Ces débits sont introduits sous forme d'hydrogrammes (courbe d'évolution du débit en fonction du temps) pour la crue d'occurrence centennale.

Dans le cadre du PGRI de la Grande Rivière Saint Jean, une modélisation mathématique des pluies a été réalisée à l'aide du logiciel HEC-HMS (développé par l'US Army Corp). Cette modélisation avait pour objectif de modéliser la transformation pluie/débit.

Une pluie centennale a ainsi été simulée sur l'ensemble des bassins versants de la Grande Rivière Saint Jean afin d'obtenir la crue correspondant à cet événement.

L'occurrence d'une crue issue d'une pluie centennale homogène à l'échelle d'un bassin versant produit une crue de période de retour supérieure à la pluie de référence ayant servi de base. Ainsi, les débits qui en découlent sont supérieurs à l'occurrence centennale (calculé par la méthode rationnelle par exemple). Les hypothèses sont donc sécuritaires.

**Tabl. 4 - Rappel des débits de pointe (m<sup>3</sup>/s) adoptés pour la modélisation - BV de la Grande Rivière Saint Jean**

Point de calcul	Q100 (m <sup>3</sup> /s) Valeurs retenue pour la modélisation
Ravine Sèche	187
Petite Riv. St Jean	319
Grande Riv. St Jean en amont de la confluence avec la Petite Riv. St Jean	589
Ruisseau Emmanuel	129
Ruisseau Foutac	30

Afin d'estimer les fréquences de débordement ou de fonctionnement des futurs ouvrages pour des crues inférieures à la crue décennale, nous avons utilisé des ratios issus de la littérature.

Ces ratios ont pour objectif de définir une approche des débits pour des périodes de retour faible afin d'estimer la fréquence d'un événement donnée. Seule une étude hydrologique complète permettrait de donner des valeurs plus précises.

**Tabl. 5 - Estimation des débits de pointe (m<sup>3</sup>/s) adoptés pour les autres périodes de retour de la Grande Rivière Saint Jean au niveau de la zone de projet**

Point de calcul	Source ou ratio par rapport à Q <sub>10ans</sub>	Débit (m <sup>3</sup> /s)
Q <sub>100ans</sub>	PGRI	589
Q <sub>10ans</sub>	PGRI	277
Q <sub>5ans</sub>	0,8	220

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

Q <sub>3ans</sub>	0,67	185
Q <sub>2ans</sub>	0,59	160
Q <sub>1an</sub>	0,46	125
Q <sub>6mois</sub>	0,33	95
Q <sub>3mois</sub>	0,25	70

Les débits des petits bassins versants de la plaine de Bois Rouge ont, quant à eux, été déterminés à l'aide de la méthode rationnelle.

**Tabl. 6 - Rappel des débits de pointe (m<sup>3</sup>/s) adoptés pour la modélisation – BV de la Plaine de Bois Rouge**

BV de Cambuston / Bois Rouge	
Sous BV	Crue centennale (m <sup>3</sup> /s)
1	19,5
2	36
3	11
4	3,5
5	7,1

Rappelons que les hydrogrammes introduits sont issus d'une modélisation pluie / débit à l'échelle du bassin versant, par simulation mettant en œuvre des hyétogrammes monofréquence (période de retour constante tout au long de l'épisode pluvieux).

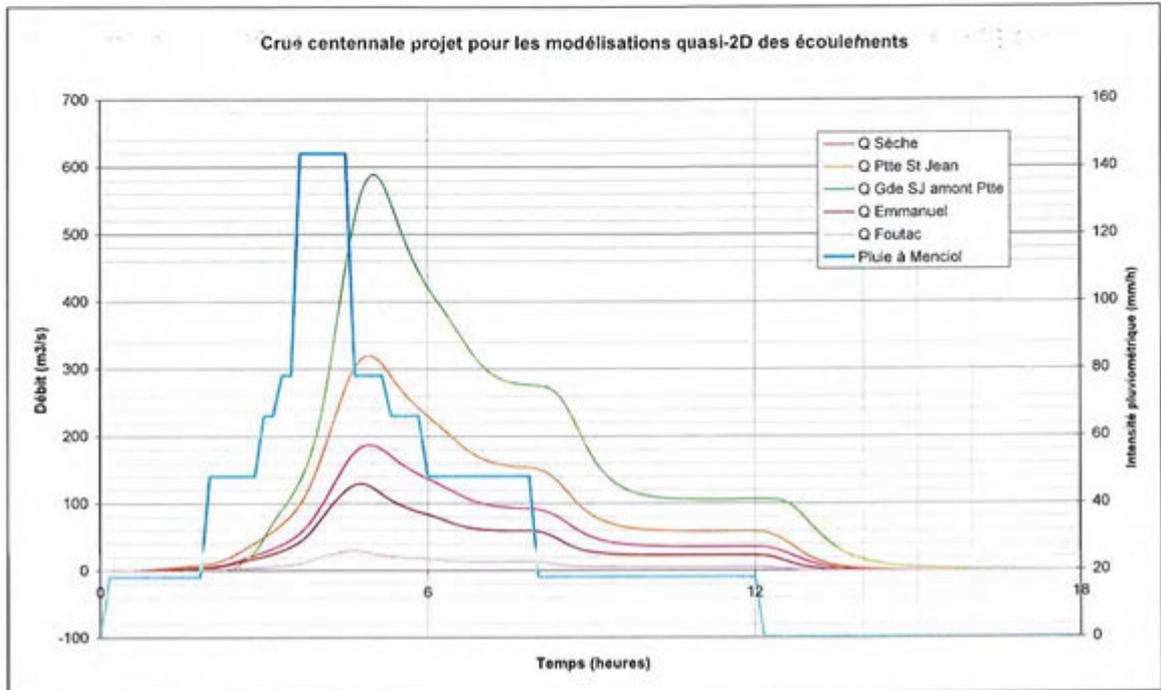
**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

Les hydrogrammes ainsi obtenus sont représentés sur la figure ci-dessous.

**Fig. 22. Hydrogrammes de crues des principaux thalwegs**



## 4.2. ANALYSE DES RESULTATS POUR L'ETAT INITIAL

L'analyse hydrologique de l'évènement FAKIR a montré que celui-ci avait une période de retour d'environ 30 ans.

Deux évènements de crue ont été simulés :

- Une période de retour FAKIR (tricennale) permettant d'apprécier les conditions d'écoulement ayant entraînés les dommages observés ;
- Une période de retour centennale qui servira de base au dimensionnement des ouvrages de protection à mettre en œuvre.

### 4.2.1. Ravine Sèche

#### 4.2.1.1. PARCELLE BI543

##### 4.2.1.1.1. Fonctionnement en crue FAKIR

Cette simulation correspond à un état de référence au maximum estimé de la crue type FAKIR aussi bien au droit du site que sur l'ensemble de la zone de modélisation. Les niveaux de crue et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportées sur la figure suivante (cf. Fig. 23).

Les hauteurs d'eau maximales sont estimées entre 2,5 m en amont et 2 m en aval.



**Fig. 23. Cartographie des niveaux de crue et vitesse d'écoulement pour une crue type Fakir (en mNGR et m/s)**

#### 4.2.2. Fonctionnement en crue centennale

Les niveaux d'eau et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportés sur la figure suivantes (cf. Fig. 24).

Les hauteurs d'eau maximales sont estimées entre 3,8 m en amont et 3 m en aval.



L'analyse de la cartographie des vitesses confirme l'augmentation des vitesses à l'extrados ainsi que les vitesses au droit de la zone de projet.

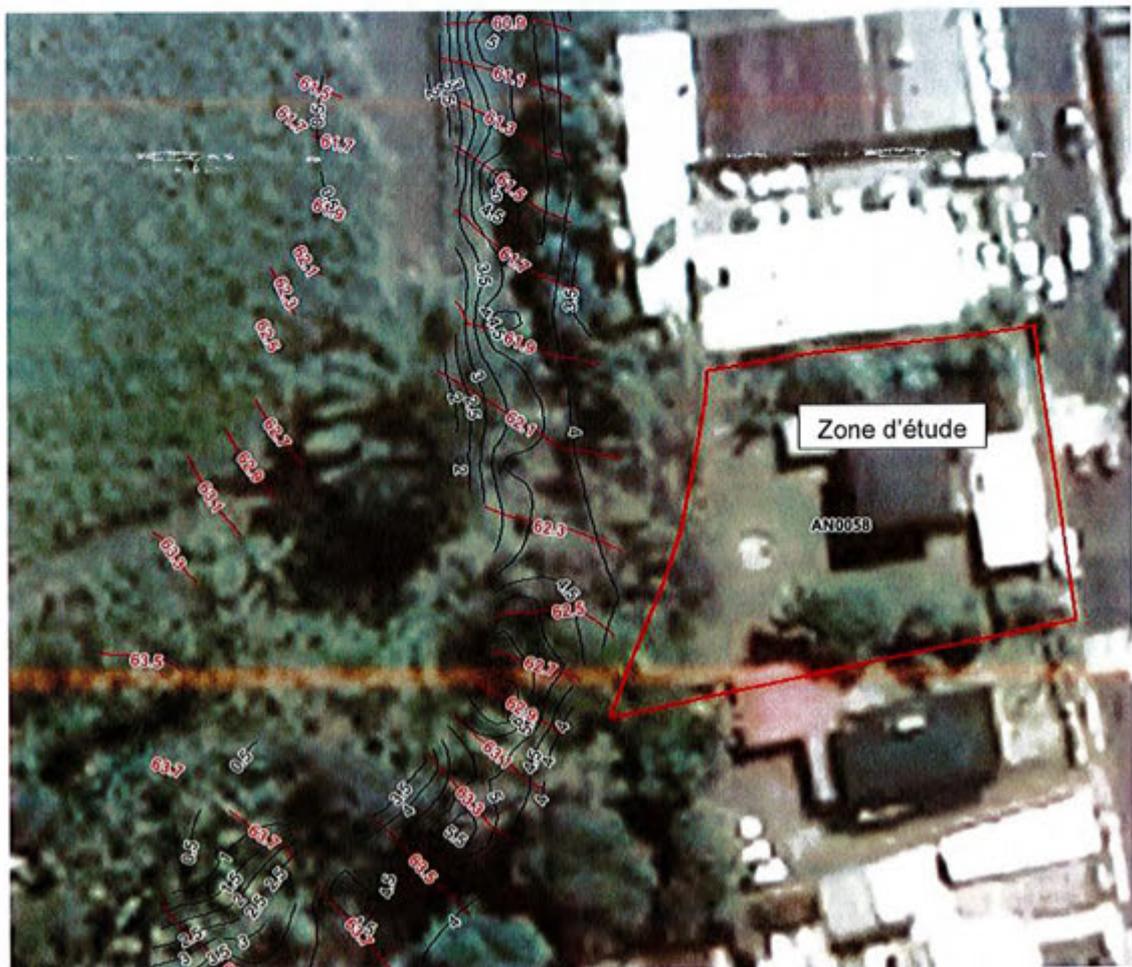
Le zoom, au niveau de la zone de projet, indique des vitesses de l'ordre de 3,5 à 4 m/s.

##### 4.2.2.1. PARCELLE AN58

###### 4.2.2.1.1. Fonctionnement en crue FAKIR

Cette simulation correspond à un état de référence au maximum estimé de la crue type FAKIR aussi bien au droit du site que sur l'ensemble de la zone de modélisation.

Les niveaux d'eau et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportées sur la figure suivante (cf. Fig. 24).



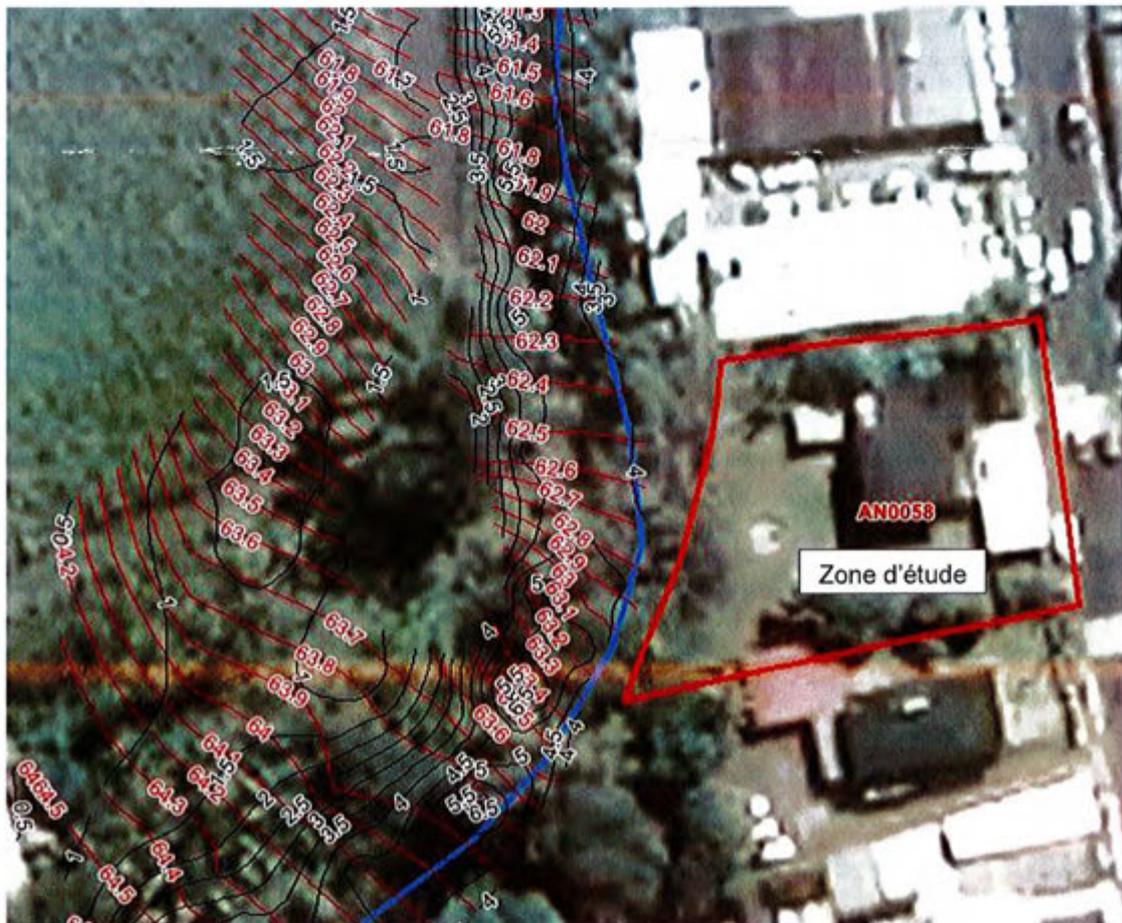
**Fig. 24. Cartographie des niveaux de crue et de la vitesse d'écoulement pour une crue type Fakir (en mNGR et m/s)**

L'analyse de la cartographie des vitesses confirme l'augmentation des vitesses à l'extrados ainsi que les vitesses au droit de la zone de projet. Le zoom, au niveau de la zone de projet, indique des vitesses de l'ordre de 3,5 à 4 m/s.

#### 4.2.3. Fonctionnement en crue centennale

Cette simulation correspond à un état de référence au maximum estimé de la crue centennale aussi bien au droit du site que sur l'ensemble de la zone de modélisation.

Les niveaux d'eau et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportées sur la figures suivantes (cf. Fig. 25).



**Fig. 25. Cartographie des niveaux de crue et de la vitesse d'écoulement pour une crue centennale (en mNGR et m/s)**

L'analyse de la cartographie des vitesses confirme l'augmentation des vitesses à l'extrados ainsi que les vitesses au droit de la zone de projet. Le zoom, au niveau de la zone de projet, indique des vitesses de l'ordre de 4 m/s.

#### 4.2.3.1. PARCELLE AN62

##### 4.2.3.1.1. Fonctionnement en crue FAKIR

Cette simulation correspond à un état de référence au maximum estimé de la crue type FAKIR aussi bien au droit du site que sur l'ensemble de la zone de modélisation.

Les niveaux d'eau et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportés sur la figure suivante (cf. Fig. 26).



**Fig. 26. Cartographie des niveaux de crue des hauteurs d'eau et de la vitesse d'écoulement pour une crue type Fakir (en mNGR et m/s)**

L'analyse de la cartographie des vitesses confirme l'augmentation des vitesses à l'extrados ainsi que les vitesses au droit de la zone de projet. Le zoom, au niveau de la zone de projet, indique des vitesses de l'ordre de 3 à 3,5 m/s.

#### 4.2.4. Fonctionnement en crue centennale

Cette simulation correspond à un état de référence au maximum estimé de la crue centennale aussi bien au droit du site que sur l'ensemble de la zone de modélisation.

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

Les niveaux d'eau et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportées sur la figures suivantes (cf. Fig. 27).



**Fig. 27. Cartographie des niveaux de crue, des hauteurs d'eau et de la vitesse d'écoulement pour une crue centennale (en mNGR et m/s)**

L'analyse de la cartographie des vitesses confirme l'augmentation des vitesses à l'extrados ainsi que les vitesses au droit de la zone de projet. Le zoom, au niveau de la zone de projet, indique des vitesses de l'ordre de 4 m/s.

## Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Etude hydraulique

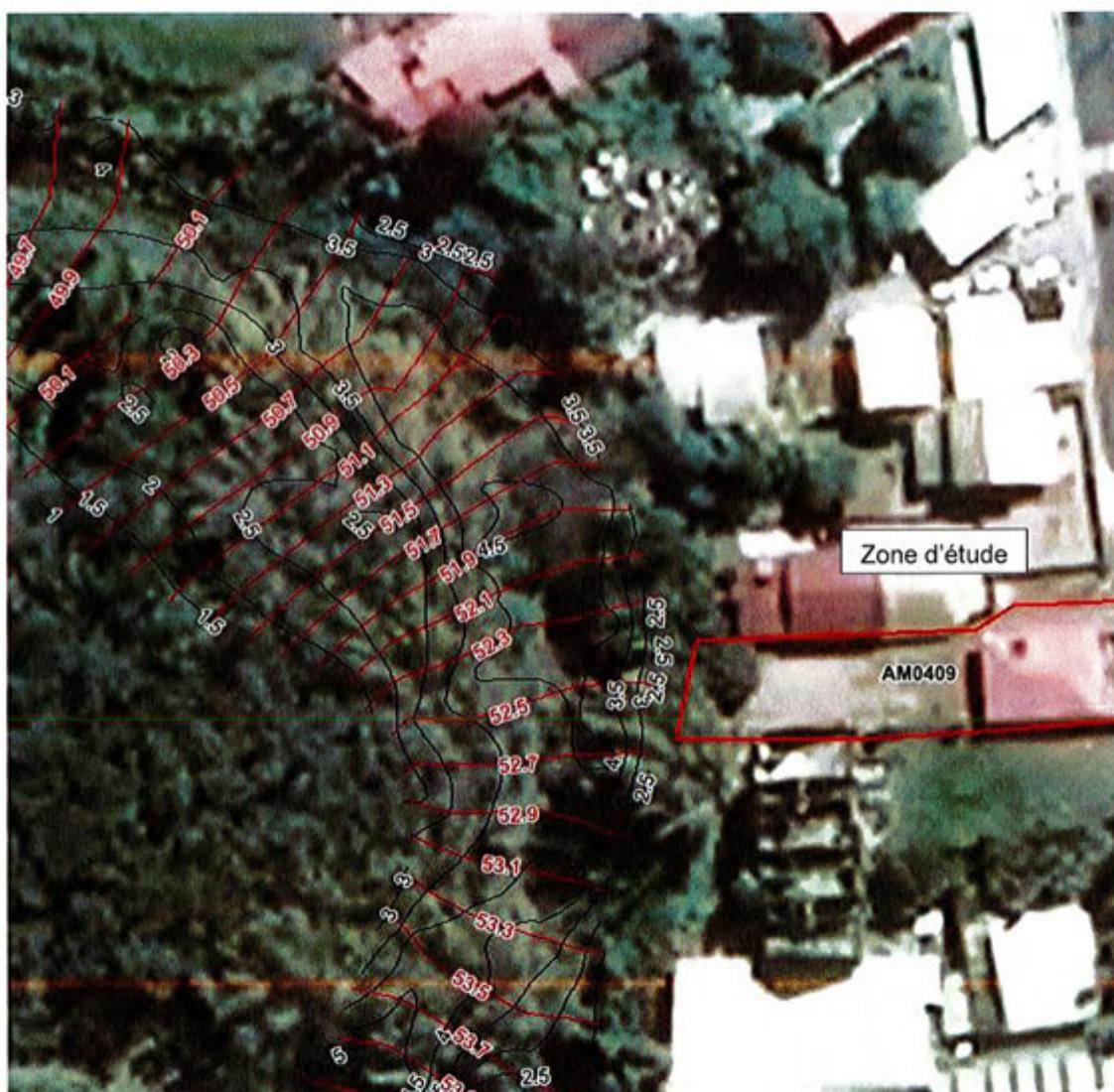
RAPPORT

### 4.2.4.1. PARCELLE AM409

#### 4.2.4.1.1. Fonctionnement en crue FAKIR

Cette simulation correspond à un état de référence au maximum estimé de la crue type FAKIR aussi bien au droit du site que sur l'ensemble de la zone de modélisation.

Les niveaux d'eau et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportés sur la figure suivante (cf. Fig. 26).



**Fig. 28. Cartographie des niveaux de crue des hauteurs d'eau et de la vitesse d'écoulement pour une crue type Fakir (en mNGR et m/s)**

L'analyse de la cartographie des vitesses confirme l'augmentation des vitesses à l'extrados ainsi que les vitesses au droit de la zone de projet. Le zoom, au niveau de la zone de projet, indique des vitesses de l'ordre de 3 à 3,5 m/s.

#### 4.2.5. Fonctionnement en crue centennale

Cette simulation correspond à un état de référence au maximum estimé de la crue centennale aussi bien au droit du site que sur l'ensemble de la zone de modélisation.

Les niveaux d'eau et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportées sur la figures suivantes (cf. Fig. 27).



**Fig. 29. Cartographie des niveaux de crue, des hauteurs d'eau et de la vitesse d'écoulement pour une crue centennale (en mNGR et m/s)**

L'analyse de la cartographie des vitesses confirme l'augmentation des vitesses à l'extrados ainsi que les vitesses au droit de la zone de projet. Le zoom, au niveau de la zone de projet, indique des vitesses de l'ordre de 3 à 3,5 m/s.

#### 4.2.5.1. PARCELLE AM577

##### 4.2.5.1.1. Fonctionnement en crue FAKIR

Cette simulation correspond à un état de référence au maximum estimé de la crue type FAKIR aussi bien au droit du site que sur l'ensemble de la zone de modélisation.

Les niveaux d'eau et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportés sur la figure suivante (cf. Fig. 26).



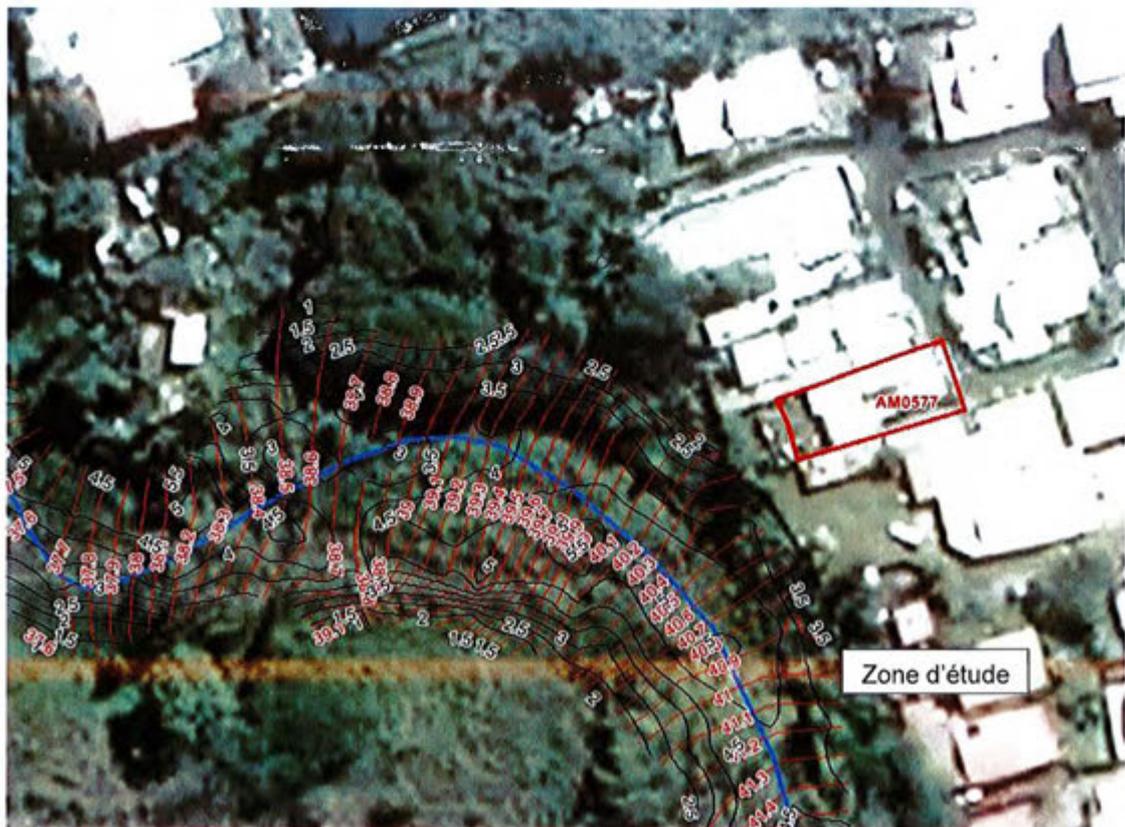
**Fig. 30. Cartographie des niveaux de crue des hauteurs d'eau et de la vitesse d'écoulement pour une crue type Fakir (en mNGR et m/s)**

L'analyse de la cartographie des vitesses confirme l'augmentation des vitesses à l'extrados ainsi que les vitesses au droit de la zone de projet. Le zoom, au niveau de la zone de projet, indique des vitesses de l'ordre de 3 à 3,5 m/s.

#### 4.2.6. Fonctionnement en crue centennale

Cette simulation correspond à un état de référence au maximum estimé de la crue centennale aussi bien au droit du site que sur l'ensemble de la zone de modélisation.

Les niveaux d'eau et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportées sur la figures suivantes (cf. Fig. 27).



**Fig. 31. Cartographie des niveaux de crue, des hauteurs d'eau et de la vitesse d'écoulement pour une crue centennale (en mNGR et m/s)**

L'analyse de la cartographie des vitesses confirme l'augmentation des vitesses à l'extrados ainsi que les vitesses au droit de la zone de projet. Le zoom, au niveau de la zone de projet, indique des vitesses de l'ordre de 3 à 3,5 m/s.

#### 4.2.7. Grande Rivière Saint Jean

##### 4.2.7.1. PARCELLE AH21 ET AH22

###### 4.2.7.1.1. Fonctionnement en crue FAKIR

Cette simulation correspond à un état de référence au maximum estimé de la crue type FAKIR aussi bien au droit du site que sur l'ensemble de la zone de modélisation. Les hauteurs d'eau et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportées sur la figure suivante (cf. Fig. 23).

L'analyse de la cartographie des vitesses confirme l'augmentation des vitesses à l'extrados ainsi que les vitesses au droit de la zone de projet.

Le zoom, au niveau de la zone de projet, indique des vitesses de l'ordre de 3 à 3,5 m/s.



**Fig. 32. Cartographie des niveaux de crue et vitesse d'écoulement pour une crue type Fakir (en mNGR et m/s)**

#### 4.2.8. Fonctionnement en crue centennale

Les niveaux d'eau et les vitesses maximales atteintes pour cette crue sont reportés sur la figure suivantes (cf. *Erreur ! Source du renvoi introuvable.*).



**Fig. 33. Cartographie des niveaux de crue et vitesse d'écoulement pour une crue type Fakir (en mNGR et m/s)**

L'analyse de la cartographie des vitesses confirme l'augmentation des vitesses à l'extrados ainsi que les vitesses au droit de la zone de projet.

Le zoom, au niveau de la zone de projet, indique des vitesses de l'ordre de 3 à 4 m/s.

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique  
RAPPORT

### 4.3. PROPOSITION D'AMENAGEMENTS

Les modélisations 1D et 2D réalisées dans le cadre du TRI et actualisées dans le cadre de cette étude avec notamment la prise en compte d'un événement type FAKIR, nous apportent les informations suivantes :

- Vitesse dans le lit mineur forte (4 à 5 m/s) décroissant sur les berges (3 à 4 m/s) et compatible avec les désordres observés ;
- Vitesse compatible avec la mise en place d'enrochement libre avec des talus compris en 2H/1V et 3H/2V ;
- Principe : carapace en enrochement libre posé sur géotextile ;

#### 4.3.1. Reconstruction et stabilisation de la berge

##### 4.3.1.1. QUALITE DES MATERIAUX

Les matériaux utilisés devront être de **roche saine non fracturée** (norme CNF B10513).

D'une manière générale, les enrochements devront être les plus anguleux possible (forme parallélépipédique) afin d'assurer un appareillage correct.

Leur résistance mécanique doit permettre d'éviter la fragmentation lors du transport, de la mise en place et des déplacements sous l'effet des courants. Les blocs seront propres, sans inclusion de terre ou de matières organiques.

Le poids spécifique des blocs sera supérieur à 2,5 t/m<sup>3</sup>.

Leur résistance à l'abrasion devra correspondre à un coefficient de "Los Angeles" (norme NF P 18 573) inférieur à 30 %.

Les caractéristiques suivantes devront être respectées :

- Indice de continuité IC > 70,
- Degré de fissuration D.F. ≤ 20,
- Deval humide D.u. ≥ 5,
- Porosité n < 2%.

##### 4.3.1.2. DIMENSIONNEMENT DE LA CARAPACE

Le diamètre moyen requis pour les enrochements libres est donné par la formule d'Isbash d'entraînement des matériaux.

Sur l'ensemble de la zone de projet, nous considérerons une vitesse moyenne de l'ordre de 4m/s et deux fruit de berges potentiel soit du 2/1, soit du 3/2.

En fonction de ces caractéristiques deux caractéristiques d'enrochements sont proposés.

**Tabl. 7 - Dimensionnement des enrochements**

FORMULE	EQUATION	Résultat
---------	----------	----------

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

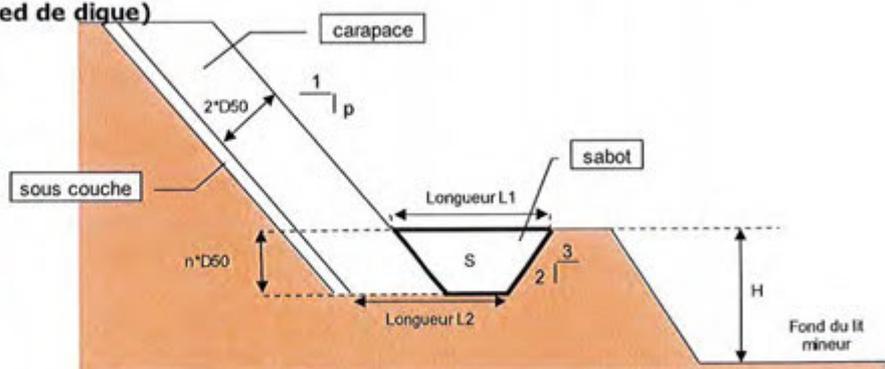
FORMULE	EQUATION	Résultat
Isbash	$d_{50} = \frac{V^2}{m^2 2g \frac{\gamma_r - \gamma}{\gamma}}$ <p>Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• V la vitesse de l'écoulement en pied d'ouvrage prise égale à 4 m/s ;</li> <li>• Pente de berge : 2H/1V</li> <li>• m un coefficient pris égal à 1,2 ;</li> <li>• <math>\gamma_r</math> et <math>\gamma</math> les masses volumiques de la roche et de l'eau valant respectivement 2,5 t/m<sup>3</sup> et 1 t/m<sup>3</sup>.</li> </ul>	<u>D<sub>50</sub>=0,65 m</u>
Isbash	$d_{50} = \frac{V^2}{m^2 2g \frac{\gamma_r - \gamma}{\gamma}}$ <p>Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• V la vitesse de l'écoulement en pied d'ouvrage prise égale à 4 m/s ;</li> <li>• Pente de berge : 3H/2V</li> <li>• m un coefficient pris égal à 1,2 ;</li> <li>• <math>\gamma_r</math> et <math>\gamma</math> les masses volumiques de la roche et de l'eau valant respectivement 2,5 t/m<sup>3</sup> et 1 t/m<sup>3</sup>.</li> </ul>	<u>D<sub>50</sub>=0,95 m</u>

Pour un fruit de berge à 2/1, la carapace sera constituée d'enrochements libre sur une épaisseur de 1,30 m. Elle sera prolongée en pied par une semelle décrite ci-dessous.

**Dimensionnement du sabot (pied de digue)**

**Configuration 1**

Hauteur H	0.50 m
D50moyen	0.66 m
Epaisseur (n*D50)	2 x D50
Surface S du sabot	0.51 m <sup>2</sup>
Longueur L1	2.70 m
Longueur L2	1.00 m



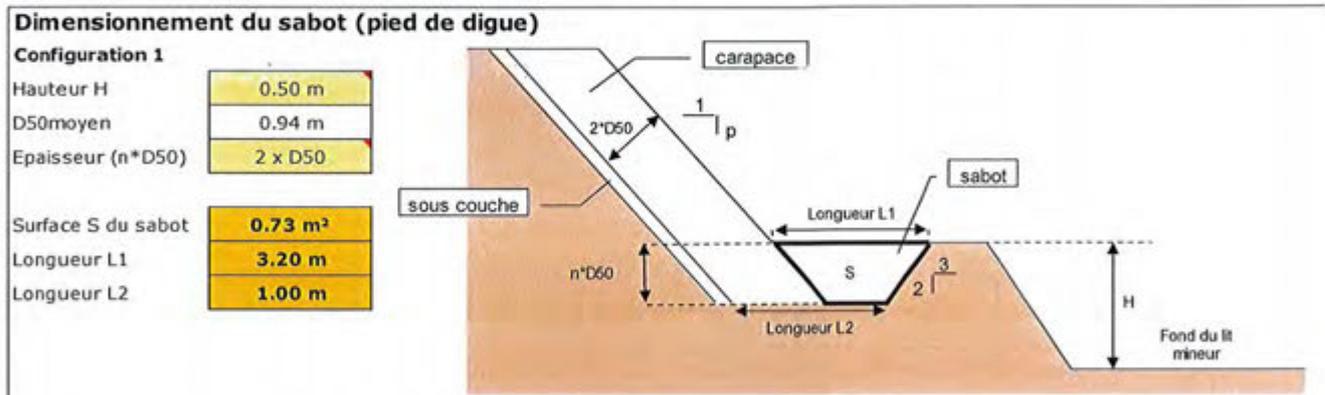
**Fig. 34. Dimensionnement et descriptif de la semelle en butée**

## Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Etude hydraulique

RAPPORT

Pour un fruit de berge à 3/2, la carapace sera constituée d'enrochements libre sur une épaisseur de 1,90 m. Elle sera prolongée en pied par une semelle décrite ci-dessous.



**Fig. 35. Dimensionnement et descriptif de la semelle en butée**

### 4.3.1.3. FUSEAU GRANULOMETRIQUE

La granulométrie est définie à partir de deux critères :

#### 1. Poids minimal et maximal

Aucun bloc ne devra être inférieur au poids minimal et un maximum de 5% des blocs devra être supérieur au poids maximal. Le poids minimal est fixé à  $P_{10}/2$  et le poids maximal à  $1,5 \cdot P_{90}$ .

En principe, une tolérance de 10% en poids est acceptable.

#### 2. Poids moyen

Le respect du poids moyen est une contrainte essentielle, tant en ce qui concerne l'approvisionnement que la pose : le poids moyen est défini en classant, par poids croissants, les blocs de l'échantillon ; il correspond au poids du bloc de la moitié de l'échantillonnage pesé.

Ce poids doit être égal ou supérieur au poids moyen contractuel.

La composition demandée est définie par une répartition linéaire entre les trois valeurs ci-dessus qui seront appelées  $P_{10}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{90}$ , soit :

- 10 % des blocs ont un poids  $< P_{10}$ ,
- 50 % des blocs ont un poids  $< P_{50}$ ,
- 90 % des blocs ont un poids  $< P_{90}$ .

Les fuseaux granulométriques des blocs devront respecter les préconisations suivantes :

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

**Tabl. 8 - Critère et blocométrie de la protection à mettre en œuvre (berge à 2/1)**

**Choix de la blocométrie de la Carapace**

Choix du rapport D85/D15	1.43	Valeurs seuil de blocométrie (CERTU)		
Choix du fuseau D50max/D50min	1.07	D10 mini	D50	Dmax
<b>Diamètre moyen D50</b> des blocs	<b>0.66 m</b>	0.46 m	0.66 m	1.32 m
<b>Volume moyen</b> des blocs	<b>0.15 m<sup>3</sup></b>			
<b>Poids moyen</b> des blocs	<b>373 kg</b>			
<b>Epaisseur</b> de la couche préconisée	<b>1.32 m</b>			

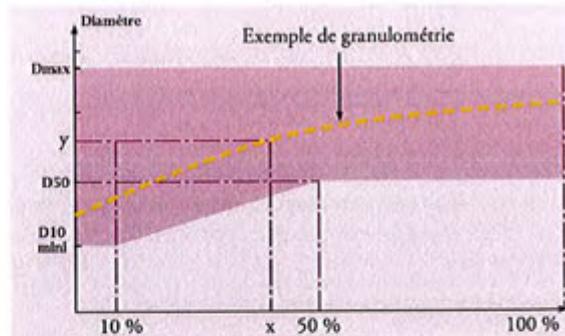
	Diamètres conseillées de blocométrie				
	D10	D15	D50	D85	D90
Min	0.51 m	0.53 m	0.64 m	0.76 m	0.80 m
Moyen	0.52 m	0.55 m	0.66 m	0.79 m	0.83 m
Max	0.54 m	0.57 m	0.68 m	0.81 m	0.86 m

**Tabl. 9 - Poids des enrochements de la protection à mettre en œuvre (berge à 2/1)**

	Poids conseillés de blocométrie				
	P10	P15	P50	P85	P90
Min	170 kg	200 kg	340 kg	580 kg	670 kg
Moyen	190 kg	220 kg	370 kg	640 kg	740 kg
Max	210 kg	240 kg	410 kg	710 kg	820 kg

Minimal (pas plus de 10 %)	50 % égal ou supérieur à	Maximal
1/3 P	P = Poids matériau	8 P

P = poids de la sphère de diamètre  
= celui calculé pour l'enrochement



**Fig. 36. Exemple de fuseau granulométrique**

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique  
RAPPORT

**Fig. 37. Critère et blocométrie de la protection à mettre en œuvre (berge à 3/2)**

<b>Choix de la blocométrie de la Carapace</b>				
Choix du rapport D85/D15	1.43	Valeurs seuil de blocométrie (CERTU)		
Choix du fuseau D50max/D50min	1.07	D10 mini	D50	Dmax
<b>Diamètre moyen D50 des blocs</b>	<b>0.94 m</b>	0.65 m	0.94 m	1.87 m
<b>Volume moyen des blocs</b>	<b>0.43 m<sup>3</sup></b>			
<b>Poids moyen des blocs</b>	<b>1072 kg</b>			
<b>Epaisseur de la couche préconisée</b>	<b>1.87 m</b>			

	Diamètres conseillées de blocométrie				
	D10	D15	D50	D85	D90
Min	0.72 m	0.76 m	0.90 m	1.08 m	1.14 m
Moyen	0.74 m	0.78 m	0.94 m	1.12 m	1.18 m
Max	0.77 m	0.81 m	0.97 m	1.16 m	1.22 m

**Tabl. 10 - Poids des enrochements de la protection à mettre en œuvre (berge à 3/2)**

	Poids conseillés de blocométrie				
	P10	P15	P50	P85	P90
Min	490 kg	570 kg	970 kg	1660 kg	1930 kg
Moyen	540 kg	630 kg	1070 kg	1830 kg	2140 kg
Max	600 kg	690 kg	1190 kg	2030 kg	2370 kg

#### 4.3.1.4. GEOTEXTILE SOUS ENROCHEMENTS

Le géotextile mis en œuvre devra être certifié ASQUAL ou équivalent. Il a pour objectif d'éviter le départ de particules fines au travers des protections en enrochements libres susceptible de conduire à leur déstabilisation. Le filtre synthétique sera en géotextile non tissé aiguilleté de filaments continus à base de polypropylène. Ses caractéristiques respecteront les valeurs suivantes :

- Masse surfacique (NF EN 9864)  $\geq 500 \text{ g/m}^2$  ;
- Epaisseur sous 2 KPa (NF EN 9863-1)  $\geq 3,00 \text{ mm}$  ;
- Résistance à la traction (NF EN ISO 10319) :
  - Sens production  $\geq 25 \text{ KN/m}$  ;
  - Sens transversal  $\geq 25 \text{ KN/m}$  ;
- Allongement à l'effort maximum (NF EN ISO 10319) :
  - Sens production  $\geq 70 \%$  ;
  - Sens transversal  $\geq 70 \%$ .
- Résistance au poinçonnement pyramidal (NF G 38-019)  $\geq 1,5 \text{ KN}$  ;
- Résistance à la perforation dynamique (NF EN ISO 13433), diamètre du trou  $\leq 8 \text{ mm}$  ;
- Ouverture de filtration (NF EN ISO 12956)  $\leq 70 \text{ microns}$  ;
- Perméabilité (NF EN ISO 11058)  $\leq 0.025 \text{ m/s}$ .

### 4.3.2. Aménagements projetés

Les vues en plan et les coupes types des aménagements sont jointes en annexe du présent dossier.

Les principales caractéristiques pour chaque zone de travaux sont reprises ci-dessous

- Parcelle BI543
  - Linéaire de reprise 50 m ;
  - Talus à 2/1 en enrochements libres ;
  - D50 à 0,65 m.
- Parcelle AN58 et AN62
  - Mise en place de protection en rive droite et en rive gauche afin de prolonger la protection de la canalisation d'eau usées actuellement en cours de réalisation ;
  - Linéaire de reprise 30 m en rive droite (parcelle AN58) puis 40 m en rive gauche (protection canalisation d'eaux usées) puis 35 m en rive droite (parcelle AN62) complété de 22 m de gabion au droit de la parcelle AN62 et suivante ;
  - Talus à 2/1 en enrochements libres ;
  - D50 à 0,65 m.
- Parcelle AM409
  - Linéaire de reprise 90 m ;
  - Talus à 3/2 en enrochements libres ;
  - D50 à 1 m.
- Parcelle AM577
  - Linéaire de reprise 80 m ;
  - Talus à 2/1 en enrochements libres ;
  - D50 à 0,65 m.
- Parcelle BL71
  - Mise en place d'une descente en écaille afin de guider les eaux complété d'une carapace en enrochements libres
  - Talus à 2/1 en enrochements libres ;
  - D50 à 0,65 m.
- Parcelle AH21 et AH22
  - Linéaire de reprise 90 m ;
  - Talus à 2/1 en enrochements libres ;
  - D50 à 0,65 m.

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

#### **4.4. ANALYSE DE L'INCIDENCE HYDRAULIQUE DES AMENAGEMENTS PROJETES**

Les travaux tel que proposés consistent en :

- La mise en place d'une nouvelle berge en enrochements libre en lieux et place de l'ancienne berge et donc dans l'emprise initiale de la parcelle sans empiètement dans le lit mineur initial de la Grande Rivière Saint Jean ;
- Aucun remblais ou mur n'est envisagé.

Les travaux n'empiètent donc pas dans le lit mineur de la Ravine et ne réduisent pas capacité d'écoulement de celle-ci ni sa dynamique.

**Le projet est donc sans incidence sur la dynamique des écoulements de la Ravine Sèche ou de la Grande Rivière Saint Jean et n'apportent pas de modification des niveaux de crues.**

#### **4.5. LIMITE DES TRAVAUX PROPOSES**

Les travaux proposés ont pour objectif de bloquer les zones d'érosion au pied des berges actuelles jusqu'à une hauteur d'eau inondée par le crue centennale. Ainsi, pour certains secteurs, la hauteur non protégée entre le haut de la protection et la crête de la berge peut atteindre 5 m, avec des pentes de talus très raide.

Ainsi, afin de limiter les érosions, des travaux complémentaires non prévus devront être réalisés par les particuliers afin de limiter tout affaissement du talus non protégé. Ces travaux consistent à :

- Collecteur les eaux de ruissellement en crête des talus et de les évacuer en dehors de zones non protégées ;
- Proscrire les zones d'infiltration dans le sol. Ainsi, les zones d'épandage en aval des fosses septiques et les puisards d'infiltration d'eaux pluviales dans le sol devront être déplacés.

Enfin, les désordres occasionnés lors de l'épisode Fakir ont déstabilisé les berges et modifier l'état du sol. Ainsi, les tassements différentiels qui pourront être observés dans les prochains mois/année ne pourront pas être résorbés avec les travaux préconisés. Ainsi, des dommages de type fissure au niveau des habitations pourront avoir lieu malgré la mise en place des travaux préconisés dans le présent rapport.

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

RAPPORT

#### 4.6. ESTIMATIF DES COUTS

Un estimatif par parcelle protégée est présenté ci-dessous. Certaines protections doivent être réalisées ensemble (cf. plan des aménagements).

**Tabl. 11 - Tableau estimatif des coûts**

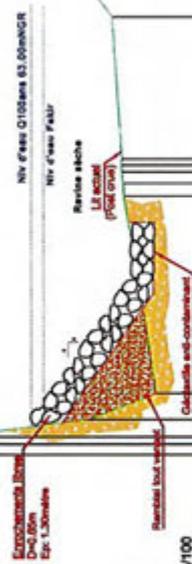
Parcelle	Enrochements	Géotextile	Remblais	Terrassement	Gabions	Ecaille	Installation chantier, frais d'étude...	Total y.c 20% divers et imprévus
	100 €/m <sup>3</sup>	10 €/ml	25 €/ml	13 €/ml	200 €/m <sup>3</sup>	150 €/ml	15%	
BI543	80 000 €	7 500 €	1 250 €	10 400 €	0 €	0 €	14 872.50 €	136 827 €
AN58	98 000 €	9 100 €	19 250 €	98 000 €	0 €	0 €	33 652.50 €	309 603 €
AN62	49 000 €	4 550 €	1 750 €	49 000 €	84 000 €	0 €	28 245.00 €	159 054 €
AM409	180 000 €	10 800 €	11 250 €	180 000 €	0 €	0 €	57 307.50 €	527 229 €
AM577	120 000 €	10 400 €	8 000 €	120 000 €	0 €	0 €	38 760.00 €	356 592 €
BL71	4 500 €	525 €	750 €	4 500 €	0 €	1 050 €	1 698.75 €	15 629 €
AH22	70 000 €	7 000 €	2 500 €	70 000 €	0 €	0 €	22 425.00 €	206 310 €
AH21	60 000 €	6 000 €	2 500 €	60 000 €	0 €	0 €	19 275.00 €	177 330 €
<b>Total</b>	<b>661 500 €</b>	<b>55 875 €</b>	<b>47 250 €</b>	<b>591 900 €</b>	<b>84 000 €</b>	<b>1 050 €</b>	<b>216 236 €</b>	<b>1 888 574 €</b>

## **ANNEXE 1 - VUE EN PLAN ET COUPE TYPE DES AMENAGEMENTS PROJETES**





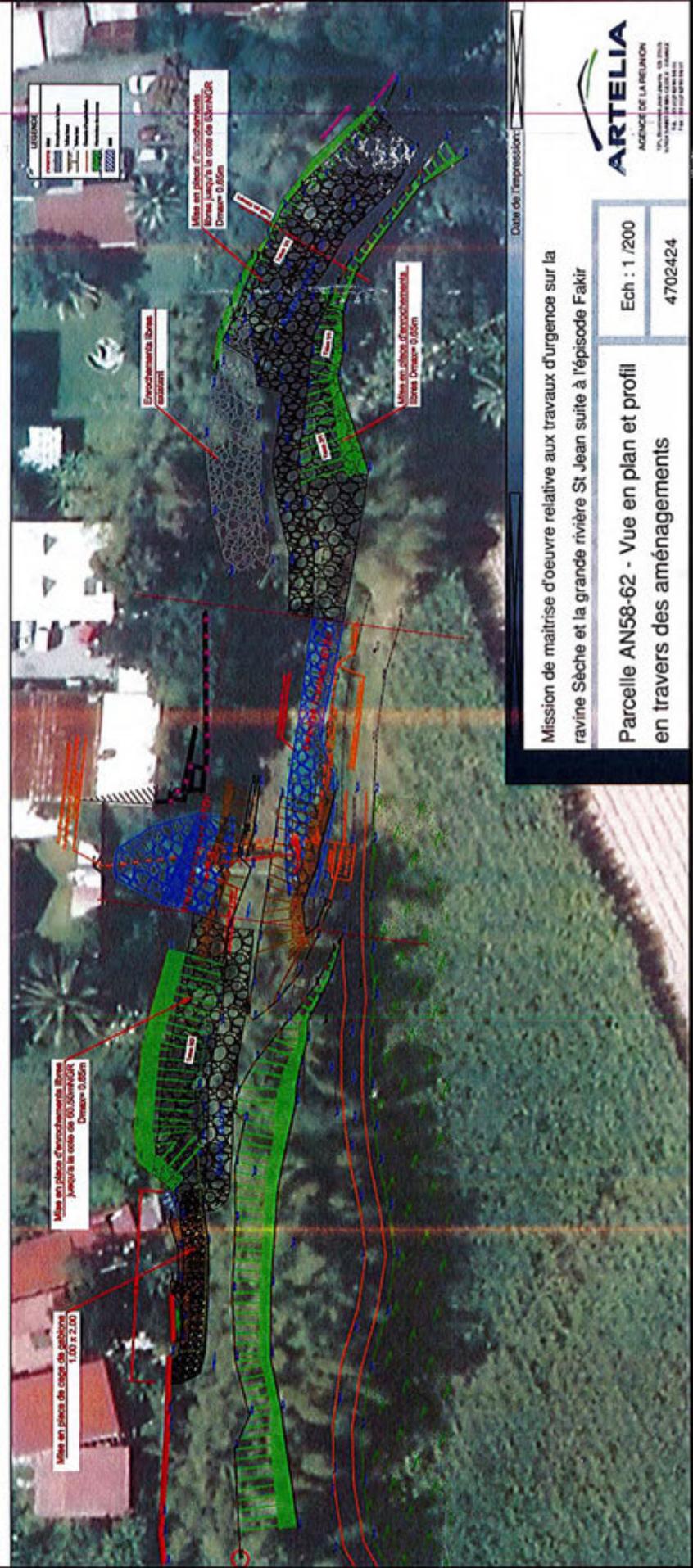




Echelle en X : 1/100  
Echelle en Y : 1/100

PC : 06.00 m

Numéros des points TN	1	5	6	11	12	16
Altitudes TN Post-Crise	0.00	07.17	06.91	00.90	01.78	02.51
Distances cumulées						



Date de l'impression:

Mission de maîtrise d'oeuvre relative aux travaux d'urgence sur la ravine Sèche et la grande rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Parcelle AN58-62 - Vue en plan et profil en travers des aménagements

Ech : 1 / 200

4702424



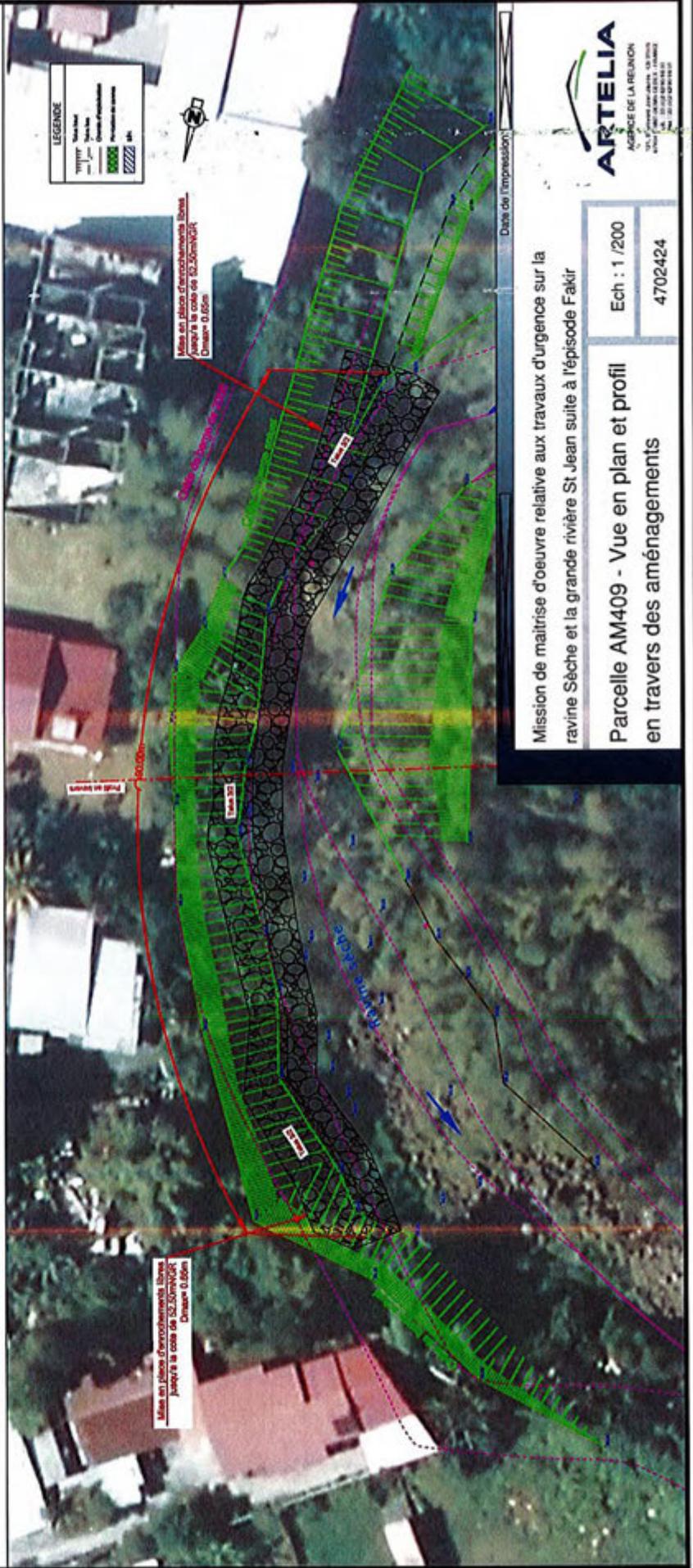
Echelle en X : 1/100

Echelle en Y : 1/100



PC : 48.00 m

Numéros des points TN	1	2	3	4	7	8	9
Altitudes TN Post-Crue	9.278	14.234	18.344	20.627	23.841	25.672	28.280
Distances cumulées	57.30	52.51	50.41	50.83	51.02	51.13	51.21

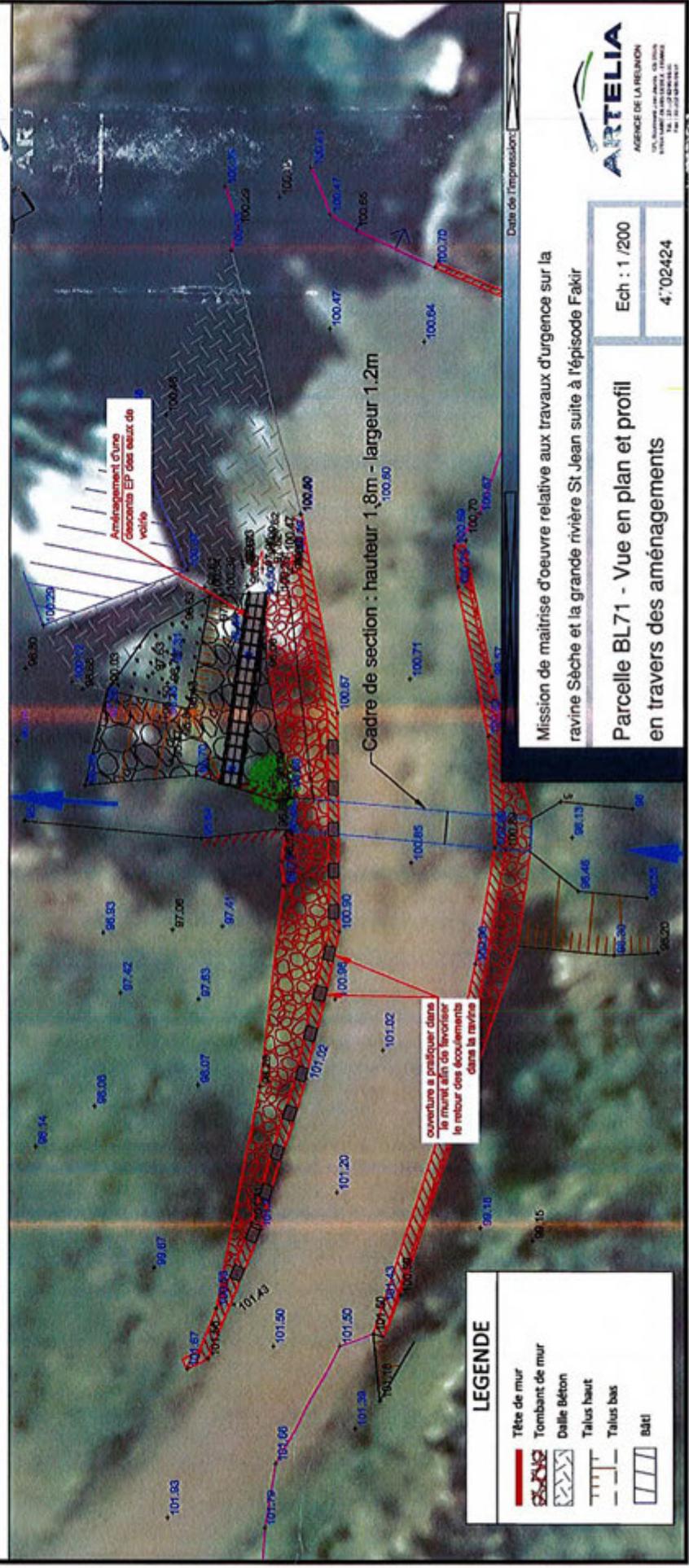
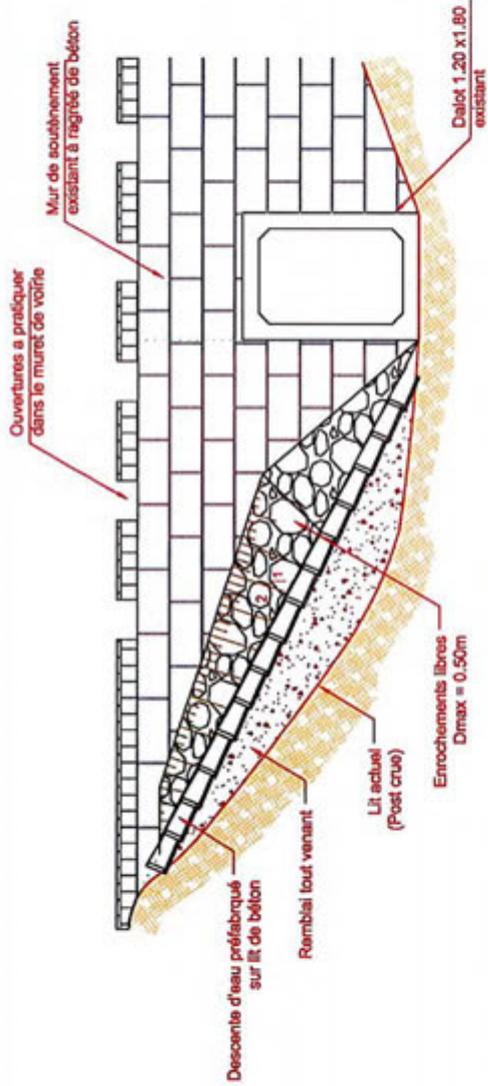


Mission de maîtrise d'oeuvre relative aux travaux d'urgence sur la ravine Sèche et la grande rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Parcelle AM409 - Vue en plan et profil en travers des aménagements

Ech : 1 / 200  
4702424





**LEGENDE**

	Tête de mur
	Tombant de mur
	Dalle Béton
	Talus haut
	Talus bas
	Bati

Mission de maîtrise d'oeuvre relative aux travaux d'urgence sur la ravine Sèche et la grande rivière St Jean suite à l'épisode Fakir

Parcelle BL71 - Vue en plan et profil en travers des aménagements

Ech : 1 / 200

4°02424



Date de l'impression:

**Mission de maîtrise d'œuvre relative aux travaux d'urgence sur la Ravine Sèche et la Grande Rivière St Jean suite à l'épisode Fakir**

Etude hydraulique

**RAPPORT**

---