



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

NOTE D'INCIDENCE A DESTINATION DE LA DEAL

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



B	Compléments sur l'ACB suite aux remarques DEAL	17/12/2018	EMi	Che	Che
A	Version initiale	6/12/2018	EMi	Che	Che
INDICE	OBJET DE LA MODIFICATION	DATE	VISA EMETTEUR	VISA RELECTURE	VISA APPROBATION

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

Note d'incidence à destination de la DEAL
RAPPORT

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIF	2
1.1. CONTEXTE DU PROJET	2
1.2. LOCALISATION DES SECTEURS	3
1.3. ETUDES	3
1.4. OBJET DE LA PRESENTE NOTE	3
2. RAPPEL DU PROJET	5
2.1. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS	5
2.2. LIMITE DES TRAVAUX PROPOSES	6
2.3. ENTRETIEN	6
2.4. PERIODE DE RETOUR DE DIMENSIONNEMENT	6
3. INCIDENCE GEOMORPHOLOGIQUE	7
4. ANALYSE COUTS/BENEFICES	9
4.1. COUTS	9
4.2. BENEFICES	10
4.3. SYNTHESE	12
5. ANALYSE MULTI-CRITERES	12

TABLEAUX

TABL. 1 - ESTIMATION DES VOLUMES MOYENS ANNUELS DE MATERIAUX MOBILISES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA GRANDE RIVIERE ST-JEAN	8
TABL. 2 - TABLEAU DES COUTS (€ HT)	9
TABL. 1 - RECAPITULATIF DES COUTS (€ HT)	9
TABL. 1 - POPULATION ET BIENS PROTEGES PAR LES AMENAGEMENTS	10
TABL. 1 - ANALYSE MULTI-CRITERES DES SOLUTIONS DE PROTECTION	12

FIGURES

FIG. 1. PLAN DE SITUATION DES PARCELLES DE PROJET	4
FIG. 2. EVOLUTION DU TRAIT DE BERGE 2001/2018 - PARCELLE BI543	11
FIG. 3. EVOLUTION DU TRAIT DE BERGE 2001/2018 - PARCELLE AN62	11
FIG. 4. EVOLUTION DU TRAIT DE BERGE 2001/2018 - PARCELLE AM577	11

PHOTOGRAPHIES

PHOTO.-1. AVENUE DE BOURBON – PHOTOS PRISES DURANT LA CRUE DE LA RAVINE SECHE (AVRIL 2018)	2
--	---

1. CONTEXTE ET OBJECTIF

1.1. CONTEXTE DU PROJET

Suite au passage de la forte tempête tropicale 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 parcelles font l'objet d'un arrêté municipal interdisant l'accès à une partie du terrain.

1.2. LOCALISATION DES SECTEURS

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

- 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.

1.3. ETUDES

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

Une mission de maîtrise d'œuvre pour la réalisation des travaux d'urgence afin de stabiliser les berges au niveau de ces parcelles est en cours : phase de conception réalisée, marchés de travaux passés.

La phase de conception s'est appuyée pour les aspects hydrologiques, hydrauliques et géomorphologiques sur l'approche globale développée dans l'étude générale de définition des aménagements et actions de réduction de la vulnérabilité sur le Territoire à Risque Inondation Saint-André / Sainte-Suzanne.

En particulier, l'analyse hydraulique est basée sur une modélisation globale des cours d'eau (couvrant le centre ville de Saint-André et la plaine de Bois Rouge) :

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

1.4. OBJET DE LA PRESENTE NOTE

En parallèle, la commune de Saint-André a sollicité les services de l'Etat pour connaître la procédure à suivre pour le volet réglementaire et la mobilisation des fonds au titre du PAPI (FEDER) pour subventionner les travaux. Il a été convenu la réalisation d'une note à destination de la DEAL portant sur :

- L'impact des aménagements sur la morphologie du cours d'eau du fait de la mise en œuvre de points durs qui peuvent générer des érosions sur les secteurs à l'aval ;
- une analyse coûts/bénéfices ;
- une analyse multi-critères afin de s'assurer de la pertinence de la solution retenue sur le long terme.

C'est l'objet du présent document.

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

Note d'incidence à destination de la DEAL

RAPPORT

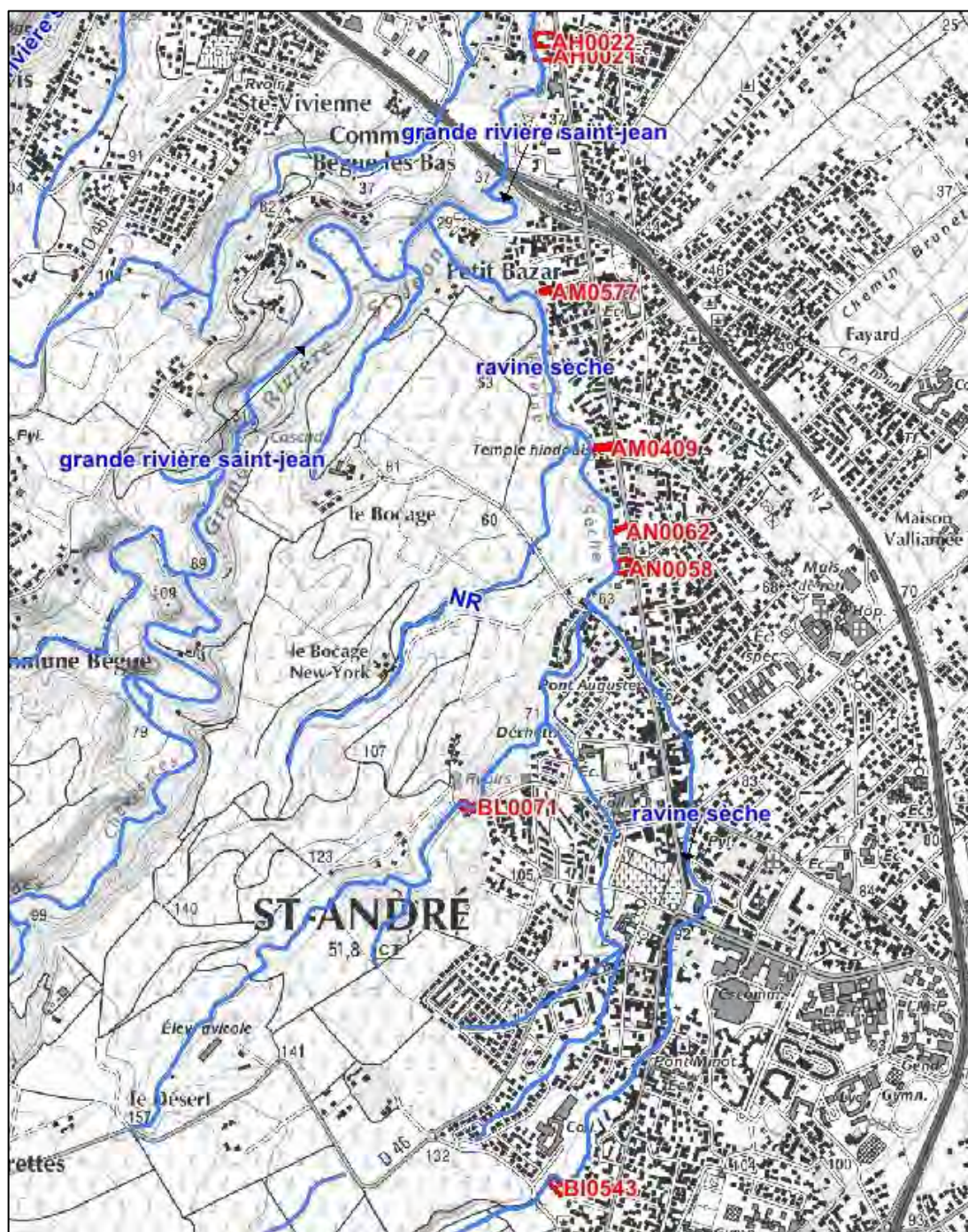


FIG. 1. Plan de situation des parcelles de projet

2. RAPPEL DU PROJET

2.1. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS

Le projet consiste en la mise en œuvre des aménagements suivants :

- Parcelle BI543
 - Linéaire de reprise 50 m ;
 - Talus à 2H/1V 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 (réalisée en mai/juin 2018) ;
 - Linéaire de reprise 30 m en rive droite (parcelle AN58) puis 40 m en rive gauche (en amont de la 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 3H/2V et 2H/1V en enrochements libres ;
 - D50 à 1 m et 0,65 m respectivement suivant le fruit.
- Parcelle AM409
 - Linéaire de reprise 90 m ;
 - Talus à 3H/2V en enrochements libres ;
 - D50 à 1 m.
- Parcelle AM577
 - Linéaire de reprise 80 m ;
 - Talus à 2H/1V en enrochements libres ;
 - D50 à 0.65 m.
- Parcelle BL71
 - Mise en place d'une descente en écailles afin de guider les eaux complétée d'une carapace en enrochements libres
 - Talus à 2H/1V en enrochements libres ;
 - D50 à 0,65 m.
- Parcelle AH21 et AH22
 - Linéaire de reprise 90 m ;
 - Talus à 3H/2V et 2H/1V en enrochements libres ;
 - D50 à 1 m et 0,65 m respectivement suivant le fruit.

2.2. 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 la 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 :

- Collecter 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 puits 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. Des dommages de type fissure au niveau des habitations pourront avoir lieu malgré la mise en place des travaux préconisés dans le présent rapport.

2.3. ENTRETIEN

Les désordres susceptibles d'affecter les ouvrages sont les suivants :

- Envahissement par la végétation (difficulté d'inspection, favorise l'arrachement en cas de crue...) ;
- Désorganisation des blocs, notamment suite à un approfondissement du lit.

Les ouvrages nécessiteront :

- Des inspections périodiques (annuelles, post-crue notamment) permettant de juger de l'état des ouvrages ;
- Des travaux d'entretien courant notamment l'élimination de la végétation.
- Eventuellement, des travaux de confortement comme : réorganisation de la protection, mise en place de blocs supplémentaires...

2.4. PERIODE DE RETOUR DE DIMENSIONNEMENT

Les ouvrages sont dimensionnés sur la base des contraintes hydrauliques en crue centennale :

- crête des ouvrages calée au-dessus des PHE Q_{100} ;
- Diamètre des blocs dimensionné pour des vitesses de 4m/s issues de la modélisation ;
- Semelle épaisse et adaptable aux évolutions géomorphologiques du lit (notamment approfondissement).

Les ouvrages, s'ils bénéficient d'inspections et travaux d'entretien décrits plus hauts, sont donc supposés résister à une crue Q_{100} .

3. INCIDENCE GEOMORPHOLOGIQUE

Il s'agit d'analyser les impacts des aménagements sur la morphologie du cours d'eau du fait de la mise en œuvre de points durs qui peuvent générer des érosions sur les secteurs à l'aval.

L'analyse de l'évolution géomorphologique induite par les aménagements porte sur les éléments suivants :

- Transport solide :

Le PGRi dresse une analyse du transport solide de la Grande Rivière Saint-Jean et de ses affluents et aboutit à une estimation des volumes de matériaux transportés par les crues. Les principales conclusions sont les suivantes :

- La Grande Rivière Saint-Jean et ses affluents transportent peu de matériaux. Les lits sont rocheux et rarement engravés, excepté sur leur cours aval dans les plaines littorales.
- Les matériaux transportés par ces cours d'eau, issus de la planèze, ont deux principales origines :
 - **L'érosion des terres agricoles** de la planèze qui produit des quantités importantes d'argiles et de limons, bruns rouges et d'éléments sablo-graveleux altérés.
 - **L'érosion des pentes d'encaissement des cours d'eau** constituées de coulées de lave, de gratons et d'altérites argileuses. L'érosion se manifeste par des mouvements de terrain qui alimentent les cours d'eau en blocs, en éléments altérés.

Actuellement, les mouvements de terrains recensés y sont rares et correspondent à des glissements de terrain de faible ampleur, à des phénomènes de reptation, à des ravinements, à la propagation de blocs sur ces pentes. Ces mouvements apparaissent souvent aux points de concentration des eaux en provenance des pentes cultivées ou urbanisées de la planèze.

Les zones de production potentielle de matériaux sur l'ensemble du bassin versant proviennent pour l'essentiel de ces pentes d'encaissement situées :

- Sur le cours amont de la ravine Sèche dans les Hauts de Mencil ;
- Sur le cours aval du Bras des Chevrettes en aval du quartier Mencil ;
- Sur la Grande Rivière Saint-Jean, vers Bras Pistolet et en aval de Mon Repos ;
- Sur la Petite Rivière Saint-Jean en aval de Notre Dame des Hauts ;
- Dans les secteurs de communes Ango et Carron, sur le bassin versant du ruisseau Emmanuel ;
- Et sur le Foutac.
- Dans le cas du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean, il est considéré en première approche un taux d'érosion de 1 mm/an pour les pentes faibles inférieures à 25 % et de 2 mm pour les zones abruptes comprenant les pentes d'encaissement et les versants plus pentus soumis au ravinement en période de fortes pluies et pouvant être le siège de mouvements de terrain. Préciserons en effet que les mouvements dans les pentes d'encaissement sont plus rares que dans les remparts de l'île.

L'estimation présentée dans le tableau en page suivante donne des volumes de l'ordre de la dizaine de milliers de m³ pour les principaux cours d'eau.

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

Note d'incidence à destination de la DEAL
RAPPORT

Tabl. 1 - Estimation des volumes moyens annuels de matériaux mobilisés sur le bassin versant de la Grande Rivière St-Jean

Bassin versant	Superficie	Surface de pente faible	Surface de pente forte	Volume planèze	Volume pente d'encaissement	Volume total
	km ²	km ²	km ²	m ³	m ³	m ³
Ravine Sèche	8	7	1	7 000	2 000	9 000
Grande Rivière St-Jean	13	12	2	12 000	4 000	16 000
Petite Rivière St-Jean	11	9,15	1,85	9 150	3 700	12 850
Ruisseau Emmanuel	5,2	4	1,2	4 000	2 400	6 400
Ruisseau le Foutac	1,7	1,5	0,2	1 500	400	1 900

Bien que théorique, cette estimation montre que les quantités provenant de l'érosion des sols des planèzes sont trois fois plus élevées que les quantités provenant des pentes d'encaissement des cours d'eau.

Les observations de terrain des zones de sédimentation confirment que les sédiments fins provenant des sols d'altération de la planèze sont prépondérants. Ces éléments terrigènes se sont déposés dans la plaine lacustre de Bois Rouge. La puissance des dépôts de sables et de limons argileux, bruns noirs, dépasse 50 m vers l'usine de Bois Rouge.

A ces apports de matériaux terrigènes issus de la planèze, s'ajoutent ceux provenant de l'érosion des alluvions grossières du cône de la Rivière du Mât, par la ravine Sèche et la Grande Rivière Saint-Jean sur son cours aval (concernant les secteurs confortés). **Les volumes remobilisés restent faibles et cantonnés aux tronçons érodés.**

Ainsi, le projet de confortement ne semble pas de nature à modifier significativement les volumes de matériaux transportés dans les écoulements en crue.

- Evolution du linéaire de berge confortée :

Les protections concernent un linéaire total de 340 m sur 4.8 km de cours d'eau (depuis les 2 parcelles les plus en amont BI0543 et BL0071 jusqu'à la parcelle la plus en aval AH0022), soit 9.6 km de berges (RG + RD). L'aménagement porte donc sur 3.5% de ce linéaire de cours d'eau.

Les berges confortées sont déjà fortement anthropisées, notamment en rive droite. Il est ainsi considéré que 150 m de berge sont artificialisées. La part de berges naturelles passe de 6.1 km (état initial) à 5.9 km (état projet) environ sur le tronçon de 9.6 km de berge, soit de 63 à 61 %.

Cette évolution du linéaire de berge confortée est donc relativement faible à l'échelle du cours d'eau, il est très peu probable qu'elle ait une incidence sur la géomorphologie de la Rivière.

- Nature et dimensionnement des protections :

Les protections envisagées sont constituées d'enrochements libres. Elles présentent donc l'avantage d'être « rugueuses » et de s'adapter aux évolutions morphologiques de la Rivière. Les protections de type rugueuses ont tendance à réduire les vitesses de l'écoulement au droit des ouvrages et sont donc protectrices pour la géomorphologie. Leur capacité d'adaptation au terrain (la protection suit les mouvements des alluvions) permet d'éviter les sous cavement et autres phénomène d'affouillement et d'érosion, notamment en pied et en aval des ouvrages.

Par ailleurs, les linéaires de protection ne se limitent pas aux zones érodées. Les protections ont été prolongées en amont et en aval sur les zones pouvant être dégradées par les crues à venir.

Le type de protection choisi et leur extension minimise les incidences géomorphologiques locales.

En conclusion, l'incidence sur la géomorphologie est jugée faible au regard des éléments exposés. Elle n'est pas de nature à amplifier le potentiel érosif des cours d'eau concernés.

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

Note d'incidence à destination de la DEAL
RAPPORT

4. ANALYSE COUTS/BENEFICES

4.1. COUTS

Les coûts de chaque ouvrage de protection sont détaillés dans le tableau suivant. Il s'agit des montants de marché.

Tabl. 2 - Tableau des couts (€ HT)

Parcelle	Lot	Cout de la protection (€ HT)
BI543	Lot 1	98 161
BL71	Lot 2	29 449
AN58	Lot 3	349 010
AN62		
AM409	Lot 4	309 239
AM577	Lot 5	145 803
AH22	Lot 6	166 386
AH21		
Total		1 098 048

Les couts d'inspection et d'entretien courant sont également détaillés, ils sont estimés, en moyenne, à 5 000€ /an, soit 50 000 € sur 10 ans et 250 000€ sur 50 ans.

Tabl. 1 - Récapitulatif des couts (€ HT)

Cout au bout de :	1 an	10 ans	50 ans
Réalisation des ouvrages	1 098 048		
Prévision inspection et entretien	5 000	50 000	250 000
Total	1 103 048	1 148 048	1 348 048

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

Note d'incidence à destination de la DEAL
RAPPORT

4.2. BENEFICES

Les enjeux protégés par les aménagements, ainsi que les montants de rachat des bâtiments associés (sur la base des montants du PGRI : 160 000 € HT a minima par bâtiment), sont présentés ci-dessous :

Tabl. 1 - Population et biens protégés par les aménagements

Parcelle	Population protégée (estimation)	Biens immobiliers protégés	Autre	Cout de l'acquisition préventive
BI543	6 personnes	2 habitations		320 000 € HT
BL71	3 personnes	1 habitation	Axe de circulation majeur à proximité immédiate	160 000 € HT
AN58	6 personnes	2 habitations	Axe de circulation majeur à proximité (40 m en retrait de la berge)	320 000 € HT
AN62	9 personnes	3 habitations	Axe de circulation majeur à proximité (35 m en retrait de la berge)	480 000 € HT
AM409	9 personnes	3 habitations	Axe de circulation majeur à proximité	480 000 € HT
AM577	9 personnes	3 habitations		480 000 € HT
AH22	20 personnes en activité	5 bâtiments	Bâtiments à vocation d'activité économique + Axe de circulation majeur à proximité	800 000 € HT
AH21				
Total	62 personnes	14 habitations et 5 bâtiments d'activité	Voiries	3.4 M € HT

Il est difficile de définir l'ampleur de la zone impactée par les érosions de berge pour chaque type de crue. Néanmoins, en cas de non réalisation des ouvrages, ces 19 bâtiments, qui se situent à proximité immédiate du haut de berge (moins de 5 m), sont susceptibles d'être mis en péril pour un nouvel épisode de type FAKIR (période de retour 30 à 50 ans).

Les berges étant relativement raides au droit des secteurs concernés par les protections, un recul des berges de plusieurs mètres ne peut être écarté. Un tel recul a déjà été observé sur ce cours d'eau pour des événements similaires. Les figures suivantes comparent notamment les berges entre 2001 et 2018, des reculs jusqu'à 10 m sont observés. Ils peuvent néanmoins être survenus en plusieurs crues :

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

Note d'incidence à destination de la DEAL
RAPPORT

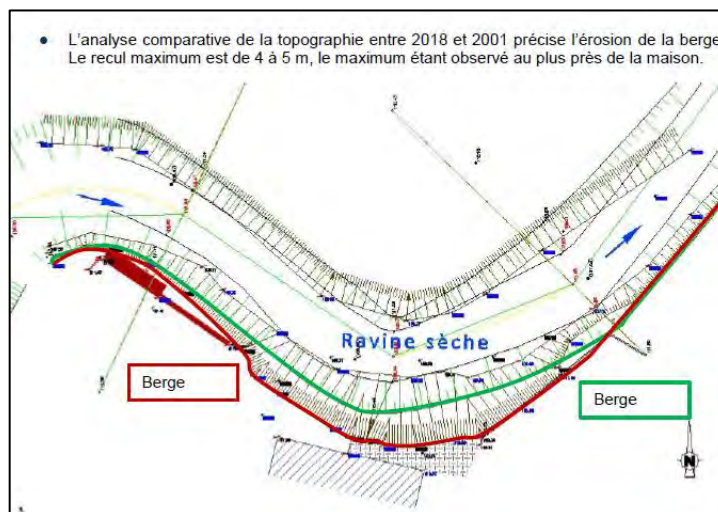


Fig. 2. Evolution du trait de berge 2001/2018 - Parcelle BI543

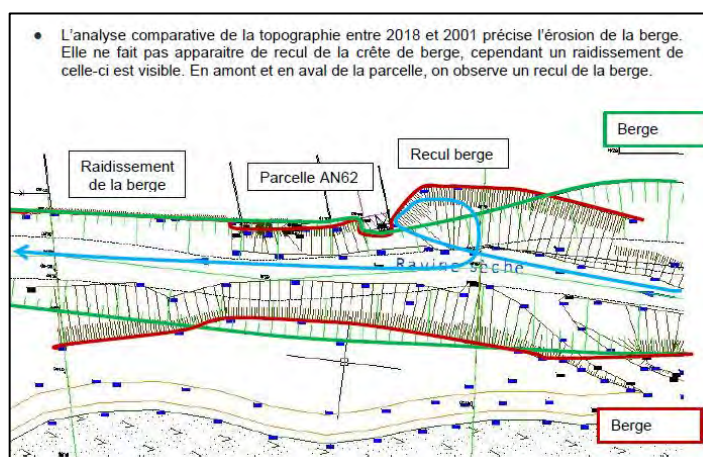


Fig. 3. Evolution du trait de berge 2001/2018 - Parcelle AN62

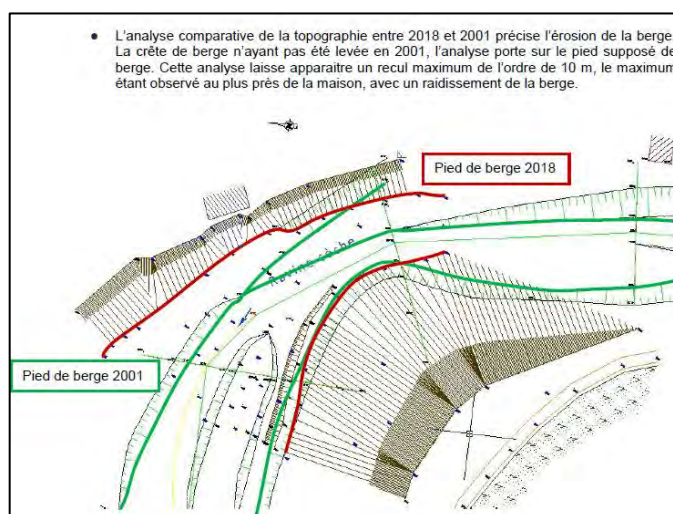


Fig. 4. Evolution du trait de berge 2001/2018 - Parcelle AM577

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

Note d'incidence à destination de la DEAL
RAPPORT

4.3. SYNTHESE

La réalisation des travaux pour un montant total de 1.1 M d'euros permettra de protéger 62 personnes, 14 habitations et 5 bâtiments d'activité. Elle assure également la protection de 2 axes de circulation majeure.

En intégrant l'inspection et le confortement des ouvrages sur 50 ans, le montant global est de 1.35 M €.

La solution d'acquisition des bâtiments est estimée à environ 3,4 M d'euros.

5. ANALYSE MULTI-CRITERES

Il s'agit de proposer une analyse multi-critères comparant les différentes solutions étudiées afin de s'assurer de la pertinence de la solution retenue sur le long terme.

Tabl. 1 - Analyse multi-critères des solutions de protection

Types de solution envisagée	Contraintes techniques	Cout	Impact environnemental	Bilan
Perré en enrochements libres	Approvisionnement des blocs : accès difficile Fondations superficielles possibles +	+	Les berges conservent un aspect naturel Bonne intégration paysagère +	+
Perré en enrochements liés	Approvisionnement des blocs et de la pompe à béton : accès difficile Ouvrage « lisse » tend à augmenter les sous cavement => fondations profondes nécessaires ++	++	Mauvaise intégration paysagère Artificialisation des berges +++	++/+++
Mur en maçonnerie de moellons	Approvisionnement des blocs : accès difficile Ouvrage vertical ++	++	Intégration paysagère moyenne Artificialisation des berges ++	++
Accropodes	Moyens lourds pour l'approvisionnement et la pose des accropodes +++	+++	Mauvaise intégration paysagère Artificialisation des berges réduction de la section hydraulique +++	+++
Gabions	Mauvaise résistance aux vitesses Assise stable nécessaire ce qui n'est pas forcément le cas (approfondissement du lit) ++	++	Les berges conservent un aspect naturel Bonne intégration paysagère +	+/++

+ = impact faible / ++ = impact moyen / +++ = impact fort

La solution retenue (perré en enrochement libre) constitue la solution la plus avantageuse sur les plans technique, environnemental et financier.