

LA LONDE  
Les Maures



Janvier 2016  
Ind B



Étude hydraulique et de  
définition d'une stratégie de  
prévention et de protection  
contre les inondations des  
zones à enjeux de la commune

## Rapport d'étude des possibilités d'aménagements

En cours de validation par les Services de l'État



Direction Délégée Méditerranée – Outre Mer  
Agence d'Aix-en-Provence  
30 Avenue Henri Malacrida  
13 100 Aix-en-Provence



SAFEGE, CONCEPTEUR DE SOLUTIONS D'AMENAGEMENT DURABLE



# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

Étude de réduction des inondations - Phase 3

Vérification des documents

IMP411



Numéro du projet :

Intitulé du projet :

Intitulé du document :

Version	Rédacteur NOM / Prénom	Vérificateur NOM / Prénom	Date d'envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES Documents de référence / Description des modifications essentielles
<b>A</b>	MONTARROS Florent	ROPERT Matthieu		Version initiale
<b>B</b>	ROPERT Matthieu	ROPERT Matthieu		Corrections commune



# 1 INTRODUCTION

Au cours de l'année 2014, La Londe les Maures a été gravement touchée par les inondations en janvier et en novembre. Deux crues ont été particulièrement importantes puisqu'elles ont dépassé les niveaux définis dans le PPRi de la commune.

La présente étude fait suite à ces événements. Elle se décompose suivant ces étapes :

- Visite de terrain, rencontre avec les riverains ;
- Synthèse des données disponibles ;
- Reprise des études hydrologiques et hydrauliques antérieures ;
- **Proposition de scénarios d'aménagements ;**
- **Analyses Coûts-Bénéfices et Multi-Critères des aménagements retenus.**

Le présent document porte sur les possibilités d'aménagements de réduction des inondations, la définition du schéma d'aménagement retenu et son analyse Coûts-Bénéfices et Multi-Critères.

Diverses solutions ont été analysées pour être écartées ou retenues. Le détail de cette analyse est détaillé en Annexe 1. Il s'adresse en premier lieu au lecteur souhaitant comprendre les raisons des choix effectués. Le chapitre suivant explique les principes retenus pour ces analyses.

Ensuite sont présentés le schéma d'aménagements retenus sur l'ensemble de la commune. Le lecteur souhaitant connaître directement la conclusion de cette réflexion doit se référer au présent document.

# 2 FORMAT DES DOCUMENTS SUR LES AMÉNAGEMENTS

Afin de faciliter la lecture du travail effectué, chaque « possibilité d'aménagements » fait l'objet d'un document propre (fait l'objet d'une analyse annexée à ce rapport).

Un document aménagement décrit un principe d'aménagement global pouvant s'appliquer partout (rétention des eaux, ralentissement dynamique des crues) ou

bien les possibilités sur un secteur géographique ayant un fonctionnement indépendant des autres secteurs géographiques.

Dans chaque document, les points suivants sont décrits :

1. Enjeux : les enjeux impactés par les inondations que l'on va tâcher de protéger<sup>1</sup> ;
2. Phénomènes hydrauliques : descriptif des particularités hydrauliques du secteur ;
3. Principes d'aménagements : réflexion sur les possibilités existantes, sans parler encore de dimensionnement. Certaines possibilités y sont d'ores et déjà écartées.
4. Aménagement conseillé : liste des aménagements recommandés, avec leurs dimensions et leurs effets.
5. Analyses Coûts-Bénéfices et Multi-Critères : quantification des effets des aménagements conseillés afin d'aider à la décision. La méthodologie de ces analyses est décrite ci-après.
6. Conclusion.

Seul l'aménagement des berges du secteur « Fromentin » a été traité différemment. En effet, le caractère « urgent » pour le traitement des dégâts de ce secteur a nécessité des investigations plus poussées.

Les aménagements testés sont les suivants :

- Amenagements\_n°1 : Barrages
- Amenagements\_n°2 : Ralentissement dynamique des crues
- Amenagements\_n°3 : Secteur confluence
- Amenagements\_n°4 : Secteur pont Ducournau
- Amenagements\_n°5 : Secteur\_Pansard RD98 à cave coopérative
- Amenagements\_n°6 : Notre-Dame des Maures
- Amenagements\_n°7 : Aménagement secteur Fromentin et Pabourette
- Amenagements\_n°8 : Aménagement route de Valcros

<sup>1</sup> Ce point n'est pas spécifié pour les principes d'aménagements généraux impactant tous les enjeux

### 3 SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT RETENU

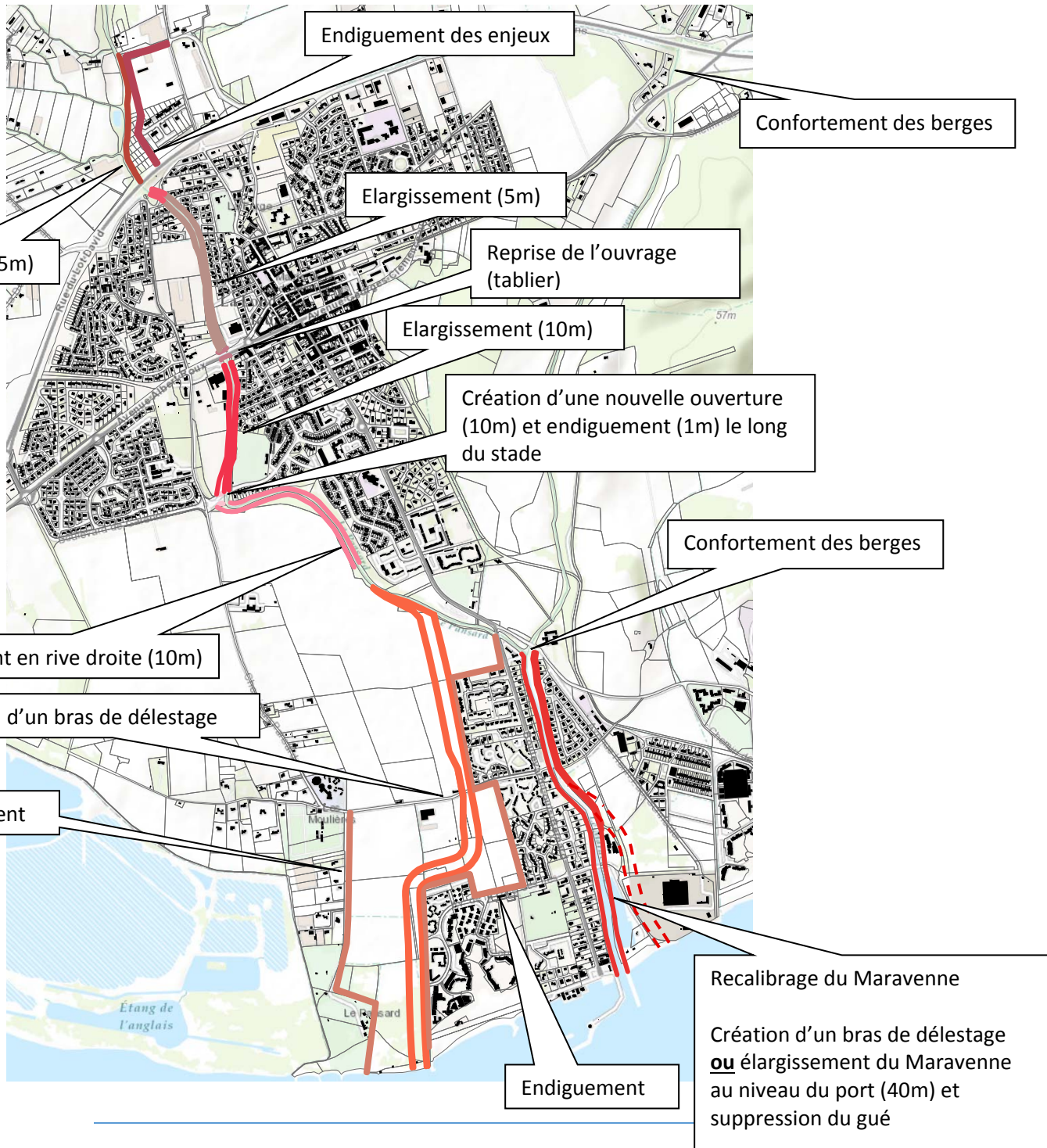
À l'issue de l'analyse des différents aménagements testés, le scénario retenu comprend les aménagements suivants :

- Aménagement du Maravenne au droit du port. Sur ce secteur, 2 variantes ont été définies :
  - Recalibrage du Maravenne sur une largeur de 40m et suppression du gué du port ;
  - Ou création d'un canal de dérivation de 40m de large ;
- Aménagement du Maravenne entre la confluence et la STEP en déplaçant le chemin existant en rive gauche pour augmenter la débitance du tronçon ;
- Reprise des berges du Maravenne et du Pansard (déjà réalisée) au droit de la confluence ;
- Reprise des berges du Maravenne au droit du secteur « Fromentin » et installation d'un piège à embâcle sur l'affluent secteur Pabourette ;
- Création d'un chenal de délestage (entre 40 et 60m) du Pansard dans la plaine du Bastidon avec exutoire en mer ;
- Recalibrage du Pansard :
  - Entre le pont Ducournau et le chenal de délestage du Pansard (10m en rive droite – côté plaine du Bastidon) ;
  - Entre la cave coopérative et le pont Ducournau (10m) ;
  - Entre la RD98 et la cave coopérative (5m) ;
  - En amont de la RD98 (secteur Bas Jasson) (5m) ;
- Reprise d'ouvrages de traversée :
  - Pont de la cave coopérative : remplacement des arches par un tablier ;
  - Pont Ducournau : ajout d'une ouverture de 10m en rive droite ;
- Création d'endiguement des enjeux existants :
  - Le long du chenal de délestage du Pansard (1m) ;
  - En amont de la RD98 (secteur Bas Jasson) (de 0.5 à 2m) ;
  - Le long du canal de dérivation du port pour le raccordement avec la digue existante à l'amont (1m) ;
- Doublement du canal des Bormettes.

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Étude de réduction des inondations - Phase 3

L'ensemble des aménagements retenus a fait l'objet de simulations hydrauliques pour les crues 10, 100 ans et pour la crue de janvier 2014. Ces cartographies sont présentées en annexe.



Secteur Aval





### *Secteur Notre Dame des Maures*

Le montant des aménagements proposé est estimé dans le tableau suivant :

		Cout
Digue		
<b>digue RD 98</b>	2 m de hauteur	550 000 €
<b>digue chenal bastidon</b>	< 1 m de haut	1 300 000 €
<b>digue chenal port</b>	< 1 m de haut	275 000 €

<b>Déblai / recalibrage</b>		
<b>Déblai chenal Bastidon</b>		4 284 000 €
<b>Déblai chenal port</b>		1 512 000 €
<b>Recalibrage</b>	Aval confluence	1 395 000 €
	Ducournau	465 000 €
	Cave coopérative	1 162 500 €
	RD 98	697 500 €
	Maravenne	1 395 000 €
	ND des Maures	270 000 €
<b>Pont cave coopérative</b>		
	Gros œuvre	1 260 000 €
	Destruction + évacuation	
	Chantier mise hors d'eau	
	Bajoyers/soutènement	
<b>Pont Ducournau</b>		
	Gros œuvre	630 000 €
	Canal amenée	
	Canal retour	
	Protection pile centrale amont aval	
<b>Secteur Fromentin</b>		
	F&P Enrochements de berges + filtre minéral + géotextile	250 000€
	Semelles	
	Protection fossé	
	Reprise talus	
	Aménagement haut de berge	
	Remise en état réseaux	
	Abattage	
	Déviation provisoire	
	Accès rivière	

Le montant total des aménagements est estimé à 15.5 M€.

## 4 ANALYSES COÛTS-BÉNÉFICES

### 4.1 PRINCIPE DE L'ANALYSE

L'analyse économique des projets de protection contre les crues est aujourd'hui une exigence de plus en plus forte des partenaires financiers de ces projets.

La première vocation de l'analyse économique est de permettre aux financeurs d'apprécier les **coûts et les bénéfices collectifs attendus des projets**. Elle permet d'apprécier si les bénéfices attendus d'un projet sont supérieurs ou non à ses coûts, et donc si le projet est économiquement opportun du point de vue de la collectivité. On notera qu'en matière d'inondation, les bénéfices représentent essentiellement les dommages évités.

L'analyse économique se définit ainsi sur la base de deux composantes complémentaires :

- ✓ **L'estimation des dommages et du risque en situation existante (sans le projet)**. Elle nécessite notamment un recensement des enjeux aussi précis que possible.
- ✓ **L'estimation des dommages et du risque en situation projetée (après réalisation de l'aménagement)**. Cette deuxième phase a pour objet d'évaluer l'intérêt à mettre en œuvre un aménagement visant à réduire le risque identifié.

La comparaison des coûts induits lors de ces deux situations permet d'estimer le gain attendu par le projet pour la collectivité. Celui-ci pourra être positif ou négatif.



Figure 1 : Principe de l'analyse coûts-bénéfices

## 4.2 MÉTHODOLOGIE DE L'ANALYSE COÛTS-BÉNÉFICES

### 4.2.1 CHOIX DE LA MÉTHODE

La méthode retenue dans la présente étude pour mesurer les bénéfices d'un projet est celle « *des dommages évités* ». Elle est particulièrement bien adaptée pour s'appliquer aux mesures structurelles, pour lesquelles la modélisation hydraulique permet relativement aisément de quantifier les paramètres hydrauliques (et leur variation en fonction des aménagements envisagés) qui influent sur l'ampleur des dommages.

Les mesures dites « *structurelles* » sont celles qui agissent sur l'aléa : endiguement, recalibrage, rectification, ouvrages de rétention...

### 4.2.2 ÉTAPES CLÉS DE MISE EN ŒUVRE D'UNE ANALYSE ÉCONOMIQUE

L'analyse économique d'une problématique liée au risque d'inondation se décompose en quelques grandes étapes :

1. Cartographier les enveloppes de crues à l'état initial et après réalisation du projet.
2. Identifier des enjeux dans l'enveloppe de crue et définir pour chaque enjeu recensé des matrices d'endommagement, à savoir les coûts associés aux paramètres de la zone d'aléa dans laquelle se trouve l'enjeu (ex : coûts dépendant de la hauteur, de la vitesse, de la durée de submersion).
3. Estimer les coûts en situation actuelle et en situation projetée afin de définir les dommages évités annuellement, autrement dit le bénéfice lié au projet.
4. Déterminer les coûts de construction et d'entretien des aménagements ainsi que leur durée de vie.
5. Calculer la Valeur Actualisée Nette des aménagements. La VAN est un indicateur synthétique fournissant une aide à la décision de réaliser ou non un projet visant à la réduction du risque inondation.

#### 4.2.2.1 Calcul des dommages

Les méthodes standards permettent de calculer les dommages potentiels provoqués par une inondation pour les enjeux « **habitat** », « **entreprises** » « **équipements publics** » et « **agriculture** ». Pour ces trois types d'enjeux, nous avons utilisé des fonctions de dommages.

Les fonctions de dommages utilisées dans cette étude décrivent le lien entre l'intensité de l'inondation et les dommages qu'elle occasionne. L'intensité de l'inondation est décrite par la hauteur d'eau au droit de l'enjeu considéré (la maison, l'entreprise, la parcelle agricole, etc.) : c'est le paramètre hydraulique essentiel pour calculer la plupart des dommages et, dans tous les cas, le plus facilement connu, auquel s'ajoutent la vitesse du courant, la durée de submersion, etc.

Les dommages sont exprimés en euros, soit pour une surface donnée (m<sup>2</sup>, hectare, etc.), soit pour un enjeu « type » (un pavillon, une boulangerie, etc.). Globalement, plus les paramètres hydrauliques sont élevés, plus le montant des dommages est important.

Les grilles de dommage utilisées sont celles définies dans la méthodologie AMC produite par les services de l'État en juillet 2014 (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Analyse-multicriteres-des-projets.html>)

### 4.2.2.2 Détermination des coûts liés au projet

Plusieurs types de coûts sont à prendre en compte :

- ✓ **Coûts de construction de l'aménagement** ;
- ✓ **Coûts liés aux études préalables**, à la maîtrise d'œuvre, aux dossiers réglementaires, aux négociations foncières, etc. ;
- ✓ **Coûts de fonctionnement** (maintenance, entretien, gestion).

### 4.2.2.3 Détermination des bénéfices liés au projet ou dommages évités

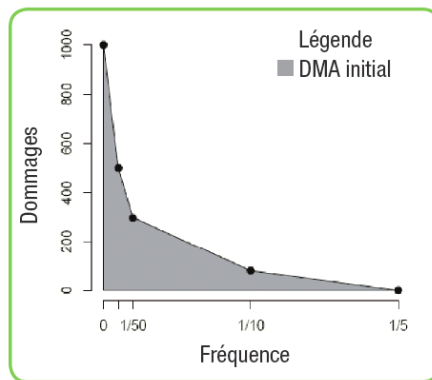
En matière d'ACB « Inondations », **les bénéfices du projet correspondent aux dommages évités par le projet.**

Il s'agit donc d'évaluer les dommages potentiels en l'état actuel (sans projet) et en l'état futur (une fois le projet réalisé).

Ces dommages doivent être calculés pour les crues caractéristiques disponibles : au moins trois. En effet, **le calcul du coût moyen annuel des dommages nécessite de construire la courbe des dommages en fonction de la fréquence des crues.** Cette construction se fait par interpolation entre les valeurs disponibles des montants de dommages associés à ces crues. Plus grand est le nombre de valeurs disponibles, meilleure est l'interpolation.

Pour une crue donnée, le calcul des dommages est réalisé par croisement de l'aléa hydraulique (surface inondée, hauteurs de submersion...) avec la carte d'occupation des sols (les enjeux) et l'intégration des fonctions de dommages relatives à ces différents enjeux.

Les dommages totaux pour chaque crue caractéristique permettent de construire une relation de dommages (montant) en fonction de la fréquence des crues, qui génère un **dommage moyen annualisé** (DMA ou coût moyen annuel).



**Figure 2 : Courbe du Dommage Moyen Annualisé – DMA**  
(source : Guide méthodologique ACB – DREAL Rhône –Alpes)

Autrement dit, il s'agit de la somme des dommages associés aux différentes fréquences des crues considérées. Ceci permet de probabiliser le dommage en le ramenant à une année moyenne.

La formule utilisée est la suivante :

$$DMA = \sum^{a,b,c...} \frac{(D_a + D_b) * (F_b - F_a)}{2}$$

Avec  $D_a$  : Dommage totaux calculés pour une crue de fréquence  $F_a$

$D_b$  : Dommage totaux calculés pour une crue de fréquence  $F_b$

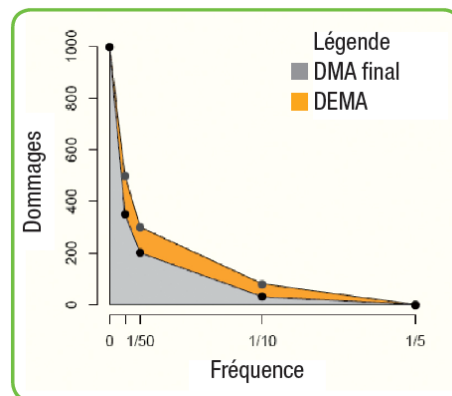
$F_a$  : Fréquence d'apparition d'une crue a

$F_b$  : Fréquence d'apparition d'une crue b

$a < b$

Deux points sont particulièrement importants pour la construction de cette relation (courbe) dommages potentiels / fréquence des crues :

- ✓ Le point correspondant aux dommages pour une crue de période théoriquement infinie (fréquence annuelle de dépassement proche de zéro). Par convention, on pose que le montant de ces dommages est égal à 1,5 fois les dommages de la crue centennale ;
- ✓ Le point correspondant à la période de retour de la crue à partir de laquelle on observe les premiers dommages.



Ce **dommage moyen annualisé** est calculé pour le scénario sans aménagement (état actuel) et pour le scénario avec aménagement (état futur). C'est la comparaison entre les deux qui donne le gain en dommages évités à attendre du projet (dommage évité moyen annualisé - DEMA).

Ce gain sera décomposé par enjeu (habitat, entreprises, équipement public, agriculture, etc.).

Cette décomposition du dommage évité moyen annualisé permet de mieux expliciter qui sont les « gagnants » et les éventuels « perdants » du projet d'aménagement, d'un point de vue sectoriel et d'un point de vue géographique.

#### 4.2.2.4 Calcul de la valeur actuelle nette (VAN)

La valeur actuelle nette (VAN) constitue l'indicateur final et synthétique de l'ACB, qui permet de juger de la pertinence du projet étudié. Elle correspond à la somme de tous les coûts et bénéfices actualisés du projet (qui ont pu être pris en compte), somme qui reflète sa pertinence.

La formule utilisée est la suivante :

$$VAN = \sum_0^N \frac{1}{(1+t_i)^i} (B_i - C_i)$$

Avec N : Horizon temporel retenu

B<sub>i</sub> : Bénéfice escompté l'année i (DEMA)

C<sub>i</sub> : Coût du projet escompté l'année i

T<sub>i</sub> : Taux d'actualisation (année i)

Si la VAN est négative, les coûts sont, sur la période considérée, supérieurs aux bénéfiques. La règle consiste donc à regarder comme économiquement pertinent du point de vue de la collectivité tout projet présentant une VAN positive et à classer différents projets ou scénarios d'aménagement en fonction de leur VAN.

### 4.2.2.4.1 Taux d'actualisation

Le Commissariat Général au Plan définit l'actualisation comme « une opération mathématique qui permet de comparer des valeurs économiques qui s'échelonnent dans le temps : il s'agit de ramener la valeur future d'un bien, d'une dépense à une valeur actuelle... Le taux d'actualisation est un taux de substitution entre le futur et le présent ; il traduit la valeur du temps pour une entreprise ou une collectivité : c'est en quelque sorte le prix du temps ».

Autrement dit, c'est prendre en compte qu'1 € demain n'a pas la même valeur qu'1 € aujourd'hui, l'actualisation permettant de tenir compte de cette différence et de ramener les flux économiques à une même date. C'est convertir des coûts et des bénéfiques futurs en une valeur actuelle.

Le Commissariat Général au Plan recommande que le taux d'actualisation public soit unique et s'applique de manière uniforme à tous les projets d'investissement publics considérés et à tous les secteurs d'activité. Il estime que le taux d'actualisation est un taux d'actualisation réel qui doit être utilisé dans des calculs effectués en monnaie constante (hors inflation). **Le taux de base est de 4%. Il est constant sur les trente premières années et décroissant avec le temps pour les évaluations qui portent sur des périodes supérieures à trente ans. La décroissance du taux d'actualisation est limitée par un plancher fixé à 2%.**

Le calcul du taux d'actualisation s'appuie sur les formules suivantes :

$$a_t = 0,04 \quad \text{si } t \leq 30$$

$$a_t = \sqrt[t]{1,04^{30} \cdot 1,02^{t-30}} - 1 \quad \text{si } t > 30$$

### 4.2.2.4.2 Horizon temporel à retenir

L'horizon temporel correspond à la période au cours de laquelle les coûts et les bénéfiques seront comptabilisés. Il ne se réfère pas forcément à la durée de vie des ouvrages. **Nous retiendrons un horizon temporel de 50 ans pour les aménagements.**

L'ACB étant réalisée avec l'hypothèse que l'occupation du sol de l'aire d'étude n'évolue pas, nous retiendrons un horizon temporel réaliste, c'est-à-dire au cours duquel on peut faire l'hypothèse – discutable – que les modifications de l'occupation



du sol sont peu significatives. Au-delà de cinquante ans, cette hypothèse n'a plus guère de sens.

### 4.3 CALCUL DES DOMMAGES

L'application de la méthodologie ACB pour les aménagements et le coût des dommages associés pour chacun des enjeux sont synthétisés dans le tableau suivant :

		Q10	Q20	Q30	Q50	Q100
HABITAT	<b>Initial</b>	<b>5 601 043 €</b>	<b>8 258 685 €</b>	<b>10 130 564 €</b>	<b>11 319 416 €</b>	<b>12 772 543 €</b>
	100% Habitat	2 218 869 €	3 232 308 €	3 887 067 €	4 328 238 €	5 143 200 €
	0% Souterrain	35 383 €	49 368 €	55 999 €	60 175 €	67 368 €
	100% Mobilier	3 382 174 €	5 026 377 €	6 243 497 €	6 991 178 €	7 629 343 €
	<b>Sc1</b>	<b>68 766 €</b>	<b>110 263 €</b>	<b>249 510 €</b>	<b>467 955 €</b>	<b>827 073 €</b>
	100% Habitat	26 422 €	44 794 €	100 584 €	189 315 €	330 829 €
	0% Souterrain	438 €	522 €	1 303 €	2 723 €	8 271 €
	100% Mobilier	42 344 €	65 469 €	148 926 €	278 641 €	487 973 €
		<b>-99%</b>	<b>-99%</b>	<b>-98%</b>	<b>-96%</b>	<b>-94%</b>
	ECONOMIQUE	<b>Initial</b>	<b>2 416 714 €</b>	<b>2 652 784 €</b>	<b>2 853 706 €</b>	<b>3 842 169 €</b>
Casino		150,286 €	150,286 €	150,286 €	150,286 €	150,286 €
Autres		808,448 €	808,448 €	1,098,388 €	2,094,831 €	3,724,523 €
<b>Sc1</b>		<b>0 €</b>	<b>1 511 268 €</b>	<b>2 003 436 €</b>	<b>2 148 504 €</b>	<b>2 468 966 €</b>
Casino		0 €	150,286 €	150,286 €	150,286 €	150,286 €
Autres		0 €	0 €	493,898 €	637,238 €	957,698 €
		<b>-100%</b>	<b>-43%</b>	<b>-30%</b>	<b>-44%</b>	<b>-55%</b>
AGRICOLE	<b>Initial</b>	<b>1 656 985 €</b>	<b>2 317 333 €</b>	<b>2 804 832 €</b>	<b>3 335 189 €</b>	<b>3 619 532 €</b>
	Vigne	1 505 948 €	2 116 773 €	2 562 139 €	3 020 261 €	3 292 920 €
	Maraicher	151 037 €	200 558 €	242 693 €	314 928 €	326 612 €
	<b>Sc1</b>	<b>757 638 €</b>	<b>1 083 468 €</b>	<b>1 293 694 €</b>	<b>1 341 696 €</b>	<b>1 773 029 €</b>
	Vigne	731 365 €	1 048 100 €	1 254 194 €	1 294 327 €	1 644 440 €
	Maraicher	26 273 €	35 368 €	39 500 €	47 369 €	128 589 €
		<b>-54%</b>	<b>-53%</b>	<b>-54%</b>	<b>-60%</b>	<b>-51%</b>
PUBLIC	<b>Initial</b>	<b>0 €</b>	<b>0 €</b>	<b>0 €</b>	<b>0 €</b>	<b>11 809 €</b>
		0 €	0 €	0 €	0 €	11 809 €
	<b>Sc1</b>	<b>0 €</b>	<b>0 €</b>	<b>0 €</b>	<b>0 €</b>	<b>11 809 €</b>
		0 €	0 €	0 €	0 €	11 809 €
		<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>

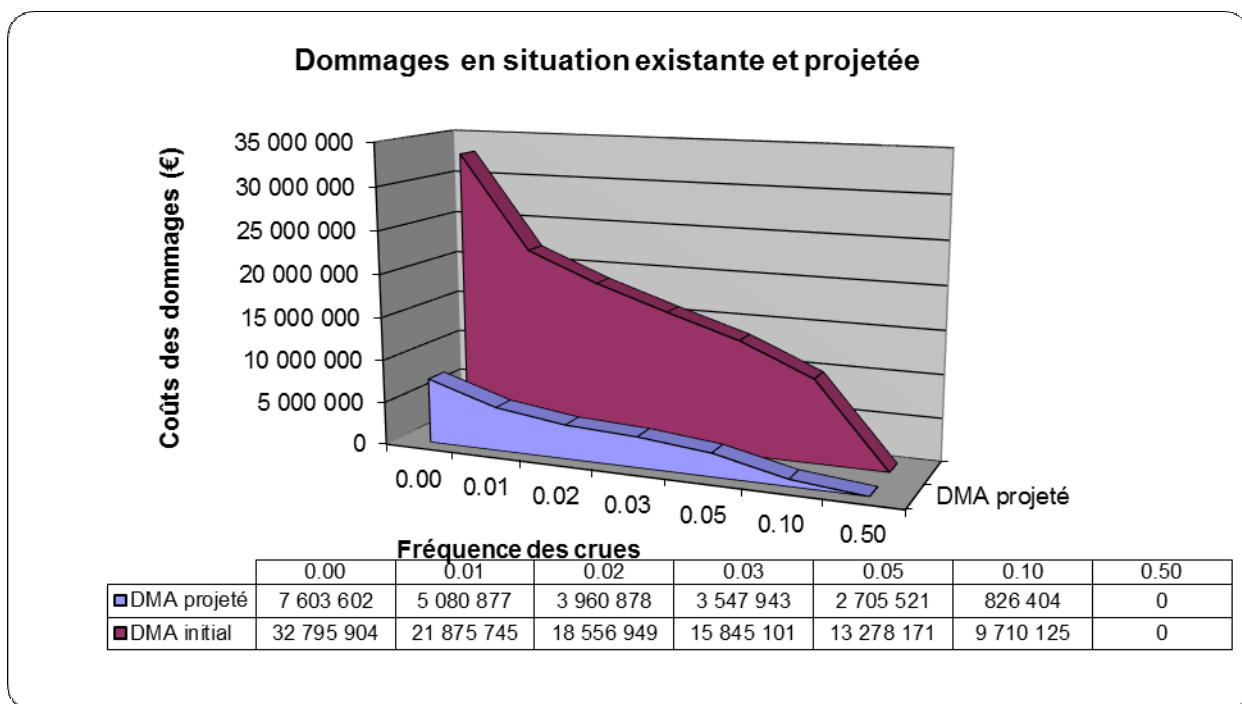
Figure 3 : Résultats des coûts d'endommagement

On note que :

- Les enjeux habitat sont les enjeux les plus générateurs de dommages.

- Le scénario d'aménagement permet une réduction quasi-totale des dommages pour les crues de 10 ans. Pour les crues plus importantes, les aménagements sont moins performants mais gardent une efficacité importante (-50% sur les enjeux économiques et agricoles) notamment sur les enjeux habitat (-90%).

### 4.4 ÉTAT PROJETÉ



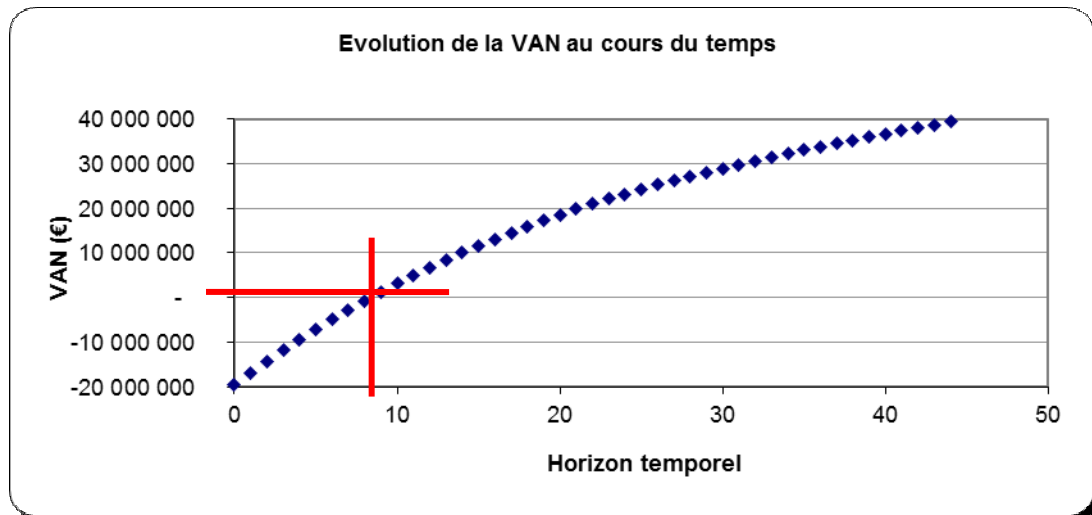
Coûts du projet		19 558 000€
Études	7%	1 078 000
Travaux		15 400 000
Divers et imprévus	20%	3 080 000

<b>Valeur Actualisée Nette</b>	<b>43 072 200</b>	<b>€</b>
--------------------------------	-------------------	----------

Dommages moyens évités	2 999 914	€/an
Coûts totaux initiaux de l'investissement	19 558 000	€
Coûts d'entretien	1% du coût initial	195 600 €/an
Horizon temporel	50	ans

Figure 4 : Résultat de l'analyse ACB de l'aménagement

Compte tenu du montant des aménagements (et en prenant en compte des « divers et imprévus » encore très important à ce stade de l'étude) la rentabilité des aménagements est obtenue pour une durée comprise de 9 ans.



## 4.5 SYNTHÈSE

Au stade de cette étude, et malgré des aménagements coûteux, ceux-ci permettent d'obtenir une rentabilité rapide pour la collectivité vis-à-vis des dommages générés par les inondations du Maravenne et du Pansard.

## 5 ANALYSES MULTI-CRITÈRES

### 5.1 PRINCIPE DE L'ANALYSE

L'objectif de l'analyse multicritères est de compléter l'analyse ACB par des critères « non monétaires ». Chacun des 11 critères de la méthode AMC a été repris et adapté à la zone d'étude.

### 5.2 RÉSULTAT DE L'ANALYSE

#### 5.2.1 P1 : NOMBRE DE PERSONNES HABITANT EN ZI

Données sources :

- Enveloppe d'inondation
- ISEE Carreau 200x200

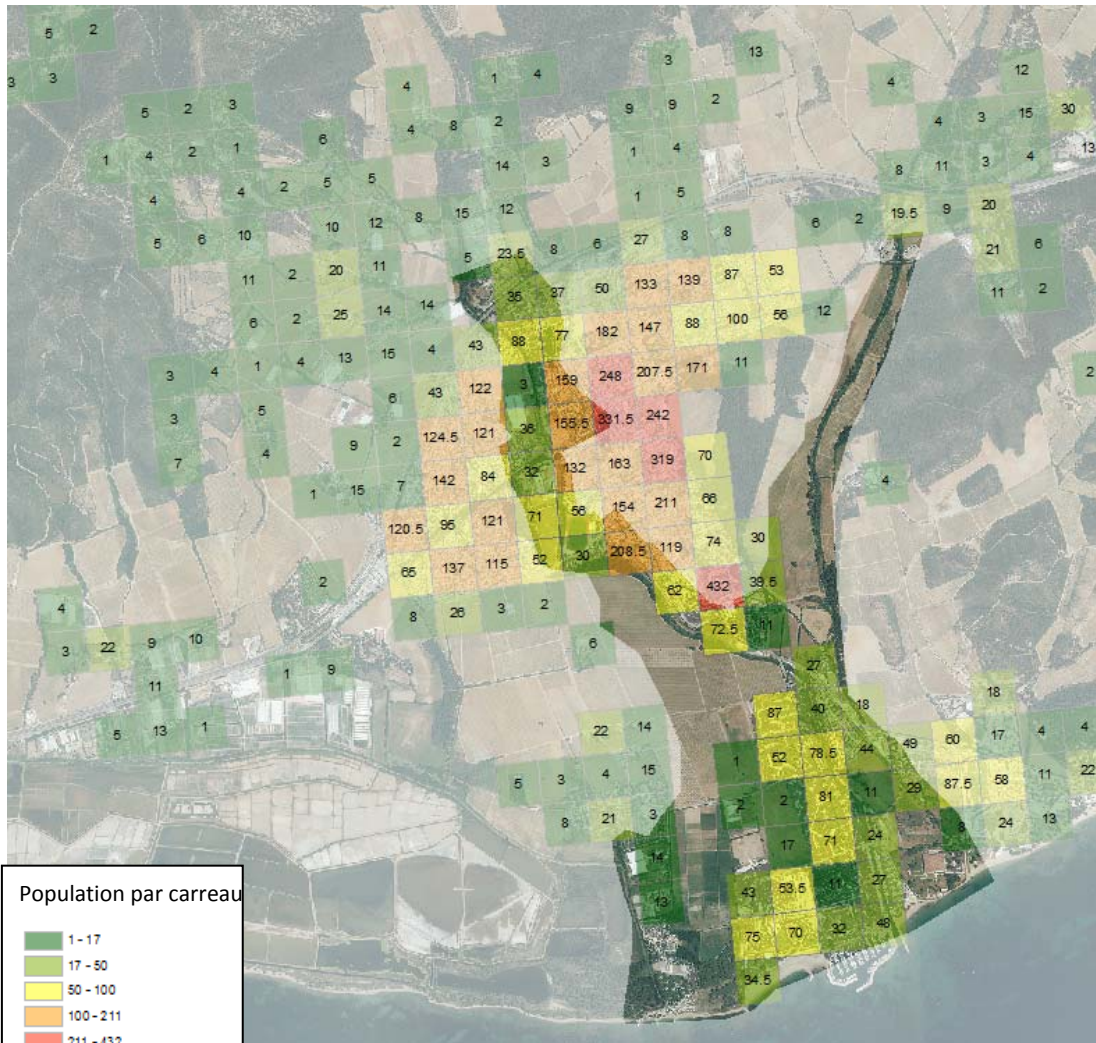
Résultat :

Initial – Q100 : 2019 habitants impactés

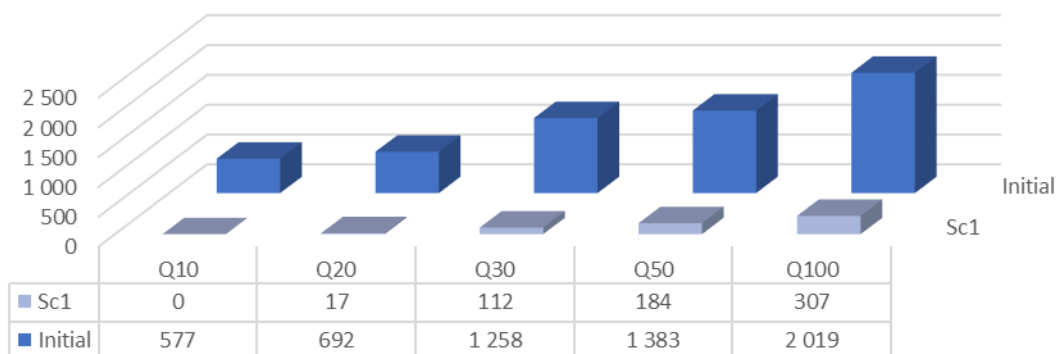
Initial – Q10 : 577 habitants impactés

# ÉTUDE HYDRAULIQUE LA LONDE LES MAURES

## Étude de réduction des inondations - Phase 3



P1: Nombre de personnes habitants en ZI



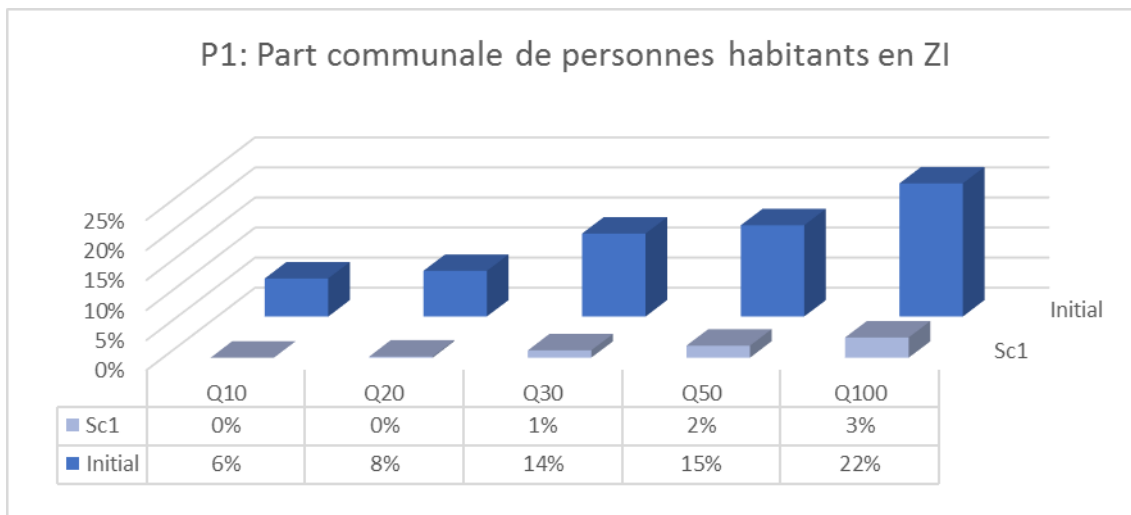


Figure 5 : Indicateur P1 de l'analyse AMC

### 5.2.2P2 : NOMBRE DE PERSONNES HABITANT DANS DES LOGEMENTS DE PLAIN-PIED EN ZI

Données sources :

- Enveloppe d'inondation
- ISEE Carreau 200x200
- BATI\_INDIFFERENCIE (BDTopo)
- SURFACE\_ACTIVITE (BDTopo)

*Exclusion des bâtis contenus dans une surface active.*

*Exclusion des bâtiments non « plain-pied » dont la hauteur est supérieure à 5m*

**Résultat :**

**Initial – Q100 : 398 habitants impactés**

**Initial – Q10 : 245 habitants impactés**

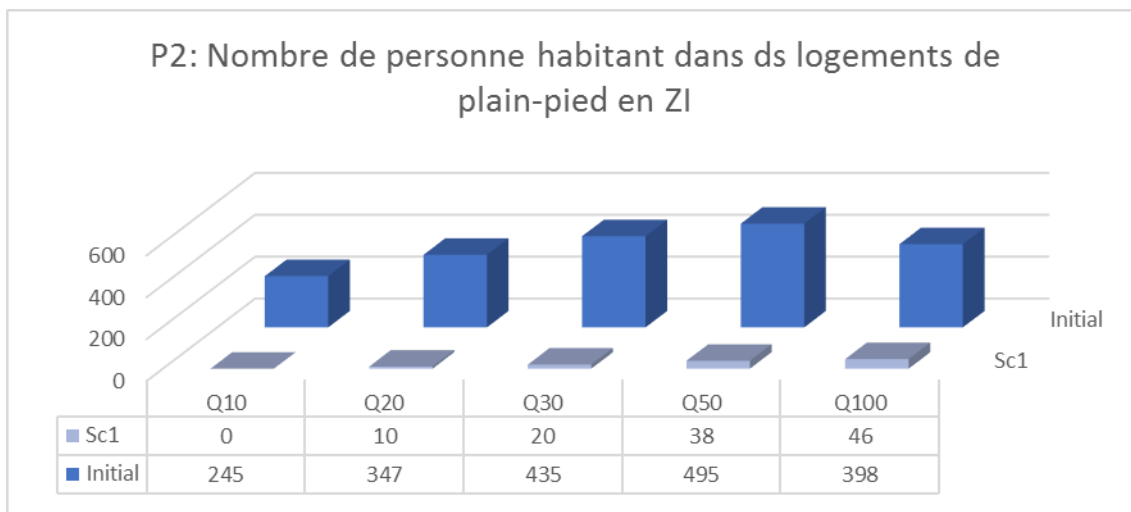
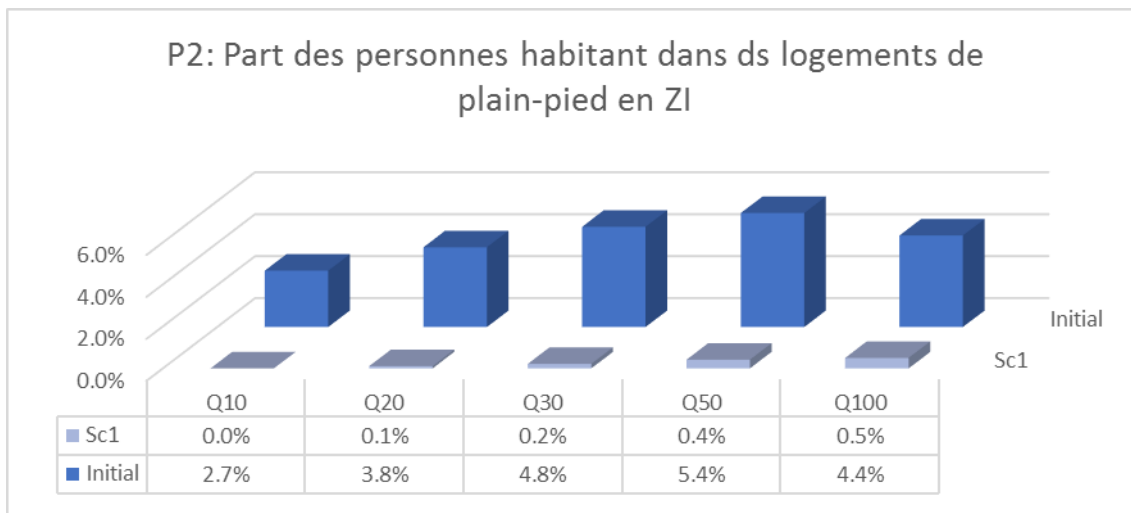


Figure 6 : Indicateur P2 de l'analyse AMC

### 5.2.3P3 : CAPACITÉS D'ACCUEIL DES ÉTABLISSEMENTS SENSIBLES EN ZI

Données sources :

- PAI\_CULTURE\_LOISIRS (Campings)
- PAI\_SCIENCE\_ENSEIGNEMENT (Enseignement primaire, Enseignement secondaire)
- PAI\_ADMINISTRATIF\_MILITAIRE (Établissement pénitentiaire)
- PAI\_SANTE (\*)

Résultat :

**Initial – Q100 : 1 établissement concerné. Il s'agit de l'école Antoine Bussonne. Elle accueille 176 élèves et un effectif compris entre 20 et 49 salariés.**

### 5.2.4P4 : PART DE BÂTIMENTS PARTICIPANT DIRECTEMENT À LA GESTION DE CRISE SITUÉS EN ZI

Données sources :

- BATI\_REMARQUABLE
- PAI\_ADMINISTRATIF\_MILITAIRE

**Résultat :**

**Initial – Q100 : 0 établissement concerné**

### 5.2.5P5 : LINÉAIRE DE RÉSEAUX DE TRANSPORT EN ZI.

Données sources :

- ROUTE (BDTopo)
- TRONCON\_VOIE\_FERREE (BDTopo)

**Résultat :**

**Initial – Q100 :**

- Piste cyclable : 10 ml
- Départemental : 3 240 ml
- Route à 1 chaussée : 18 230 ml
- Route empierrée : 1 013 ml
- Chemin : 3 713 ml
- Sentier : 6 752 ml.

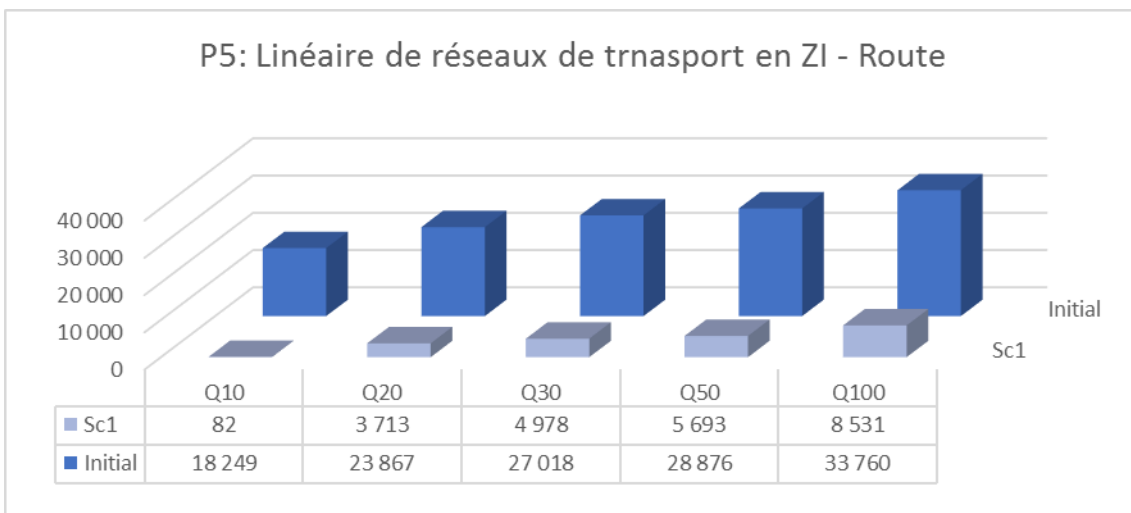


Figure 7 : Indicateur P5 de l'analyse AMC



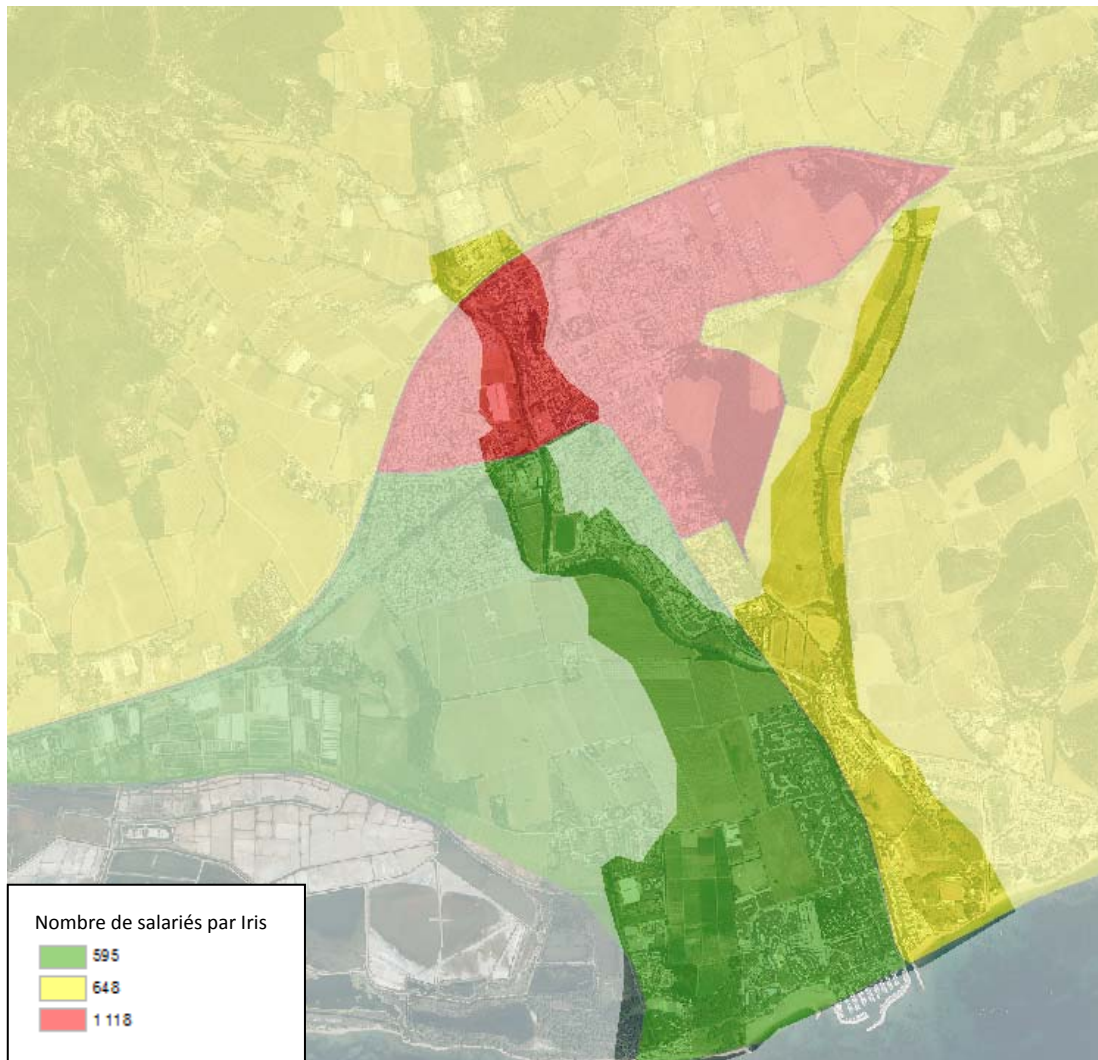
### 5.2.6P6 : PART D'ENTREPRISES AIDANT À LA RECONSTRUCTION APRÈS UNE INONDATION DANS LES COMMUNES EXPOSÉES

Résultat : 0 site identifié dans la zone d'étude

### 5.2.7P7 : NOMBRE D'EMPLOIS EN ZI

Données sources :

- Base de données IRIS
- INSEE - [Données localisées sur l'emploi au lieu de travail \(2009\)](http://www.insee.fr/fr/ppp/bases-de-donnees/donnees-detaillees/duicq/uu.asp?reg=93&uu=00757) : <http://www.insee.fr/fr/ppp/bases-de-donnees/donnees-detaillees/duicq/uu.asp?reg=93&uu=00757>



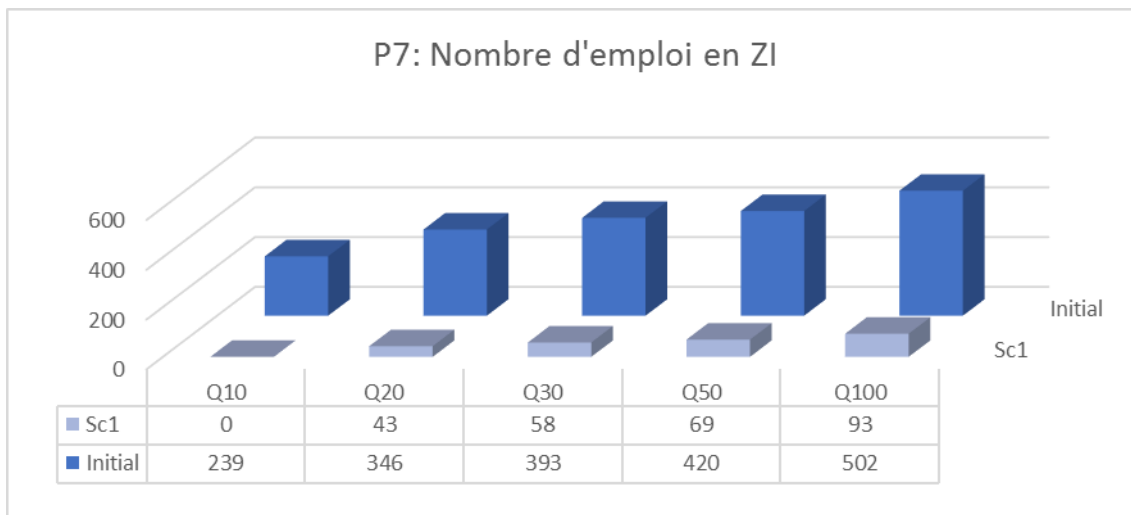


Figure 8 : Indicateur P7 de l'analyse AMC

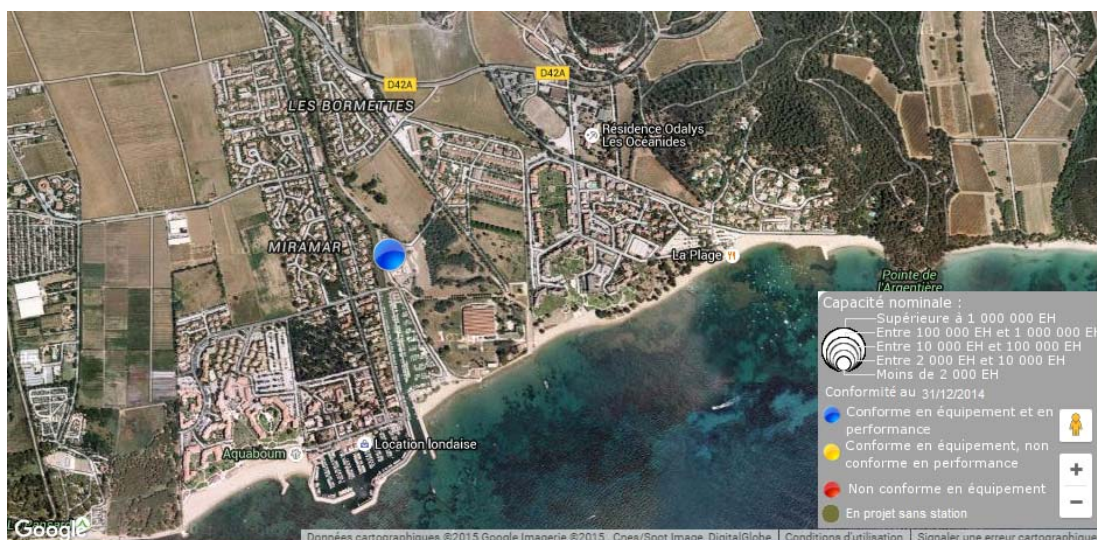
### 5.2.8P8 : STATIONS DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES EN ZI : CHARGE JOURNALIÈRE ENTRANTE EN MOYENNE ANNUELLE

Données sources :

- <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>

Résultat : 1 site concerné

La station d'épuration des Bormettes, qui possède une capacité nominale de 36 000 EH est située actuellement en zone inondable pour des occurrences supérieures à 30 ans. En l'état projet, la STEP n'est plus inondable pour une occurrence centennale



### 5.2.9P9 : DÉCHETS : CAPACITÉS DE TRAITEMENT ET DE STOCKAGE EN ZI

Données sources :

- Source principale : <http://www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>
- Déchetteries : <http://www.sinoe.org/index.php>

**Résultat : 0 bâtiment ou site concerné**

### 5.2.10 P10 : NOMBRE DE SITES DANGEREUX EN ZI

Données sources :

- PAI\_INDUSTRIEL\_COMMERCIAL (Usine)
- Base ASN (Centrales nucléaires) : Liste des INB
- <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/rechercheICForm.php>

**Résultat : 0 bâtiment ou site concerné**

### 5.2.11 P11 : NOMBRE DE BÂTIMENTS PATRIMONIAUX ET DE SITES REMARQUABLES EN ZI

Données sources :

- PLU : Prescriptions
- PAI\_CULTURE\_LOISIRS
- PAI\_RELIGIEUX
- <http://www.culture.gouv.fr/documentation/museo/museo-carto.htm>

**Résultat : 0 bâtiment ou site concerné**

### 5.3 SYNTHÈSE

	Q10	Q20	Q30	Q50	Q100	
<b>P1: Nombre de personnes habitant en ZI</b>	<b>Initial</b>	<b>577</b>	<b>692</b>	<b>1 258</b>	<b>1 383</b>	<b>2 019</b>
		577	692.140643	1257.9868	1383.23	2018.668193
	<b>Sc1</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>112</b>	<b>184</b>	<b>307</b>
	0.037	17.34	111.86	183.545526	307	
	<b>-100%</b>	<b>-97%</b>	<b>-91%</b>	<b>-87%</b>	<b>-85%</b>	
<b>P2: Part des personnes habitant dans ds logements de plain-pied en ZI</b>	<b>Initial</b>	<b>2.6851%</b>	<b>3.8013%</b>	<b>4.7763%</b>	<b>5.4315%</b>	<b>4.3614%</b>
		2.6851	3.801322	4.776303	5.4315	4.361406
	<b>Sc1</b>	<b>0.0000%</b>	<b>0.1075%</b>	<b>0.2141%</b>	<b>0.4142%</b>	<b>0.5002%</b>
	0.003	9.8	19.52	37.758739	45.6	
	<b>-100%</b>	<b>-97%</b>	<b>-96%</b>	<b>-92%</b>	<b>-89%</b>	
<b>P5: Linéaire de réseaux de transport en ZI - Route</b>	<b>Initial</b>	<b>18 249</b>	<b>23 867</b>	<b>27 018</b>	<b>28 876</b>	<b>33 760</b>
	ml	18249.86358	23866.68	27018.33603	28876.01	33760
	<b>Sc1</b>	<b>82</b>	<b>3 713</b>	<b>4 978</b>	<b>5 693</b>	<b>8 531</b>
ml	82.3137	3713.4	4978.45	5693.465778	8531.423373	
	<b>-100%</b>	<b>-84%</b>	<b>-82%</b>	<b>-80%</b>	<b>-75%</b>	
<b>P7: Nombre d'emploi en ZI</b>	<b>Initial</b>	<b>239</b>	<b>346</b>	<b>393</b>	<b>420</b>	<b>502</b>
		239.5	346.07	393.04	420.454	502.623877
	<b>Sc1</b>	<b>0</b>	<b>43</b>	<b>58</b>	<b>69</b>	<b>93</b>
	0.472	42.83	57.918	69.3	109.67648	
	<b>-100%</b>	<b>-88%</b>	<b>-85%</b>	<b>-84%</b>	<b>-81%</b>	

Figure 9 : Synthèse de l'analyse AMC

Les aménagements proposés permettent un gain important sur l'ensemble de ces critères et pour des occurrences allant jusqu'à la centennale.

# AMÉNAGEMENTS\_N°1 : BARRAGES



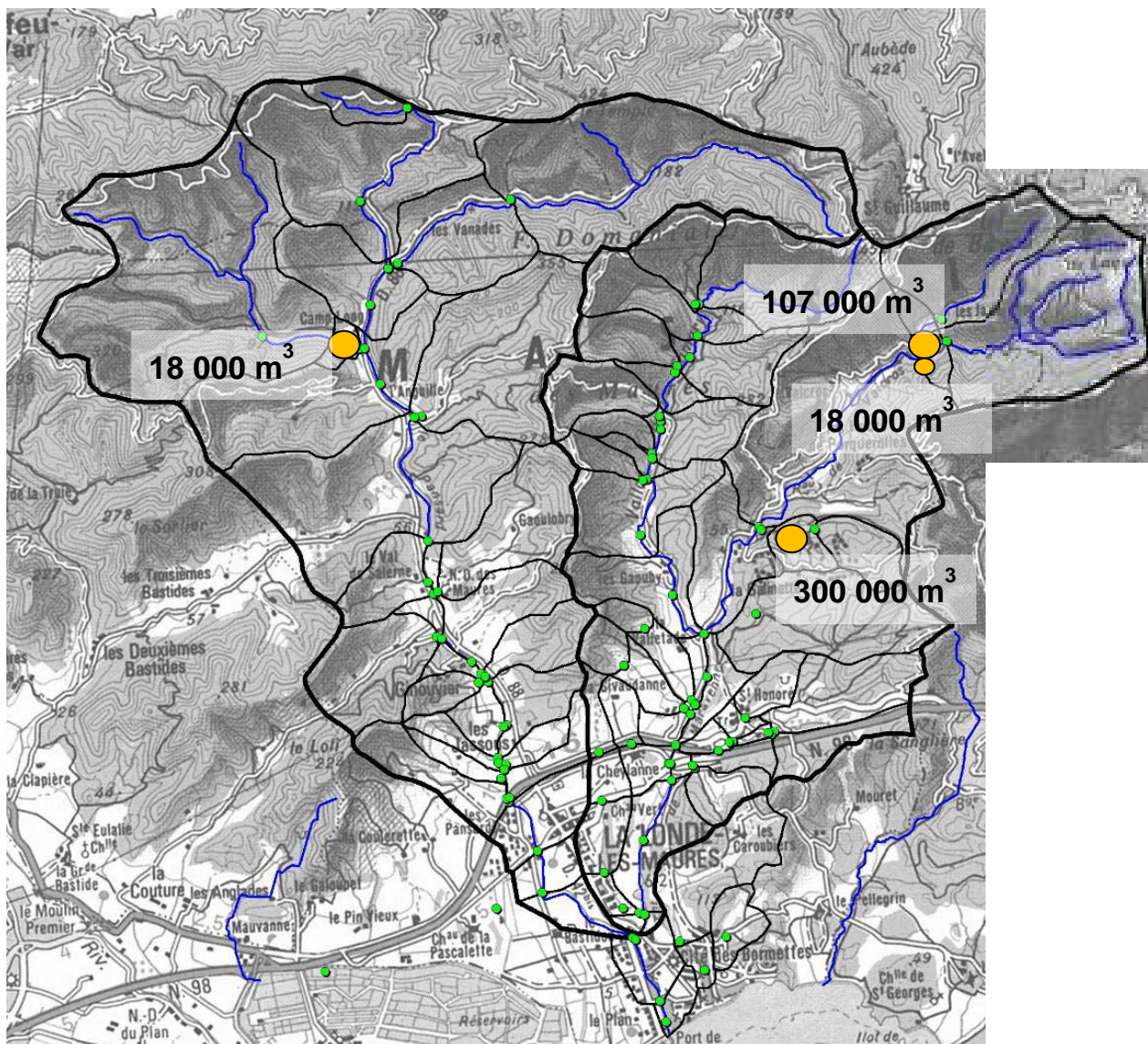
## Aménagements N°1 :

### Barrages écrêteurs de crue

#### 1 PRINCIPES

Le principe des aménagements décrits dans cette fiche est de retenir les eaux en amont des zones à enjeux en les stockant dans des barrages.

Actuellement, 4 barrages sont exploités pour des usages privés (voir leur localisation ci-dessous).



La topographie du Massif des Maures permet de créer d'importantes retenues d'eau en y installant des barrages. L'objectif de cette fiche est d'analyser l'intérêt de tels ouvrages pour réduire les inondations.

## 2 POSSIBILITÉS DE CRÉATION DE BARRAGES

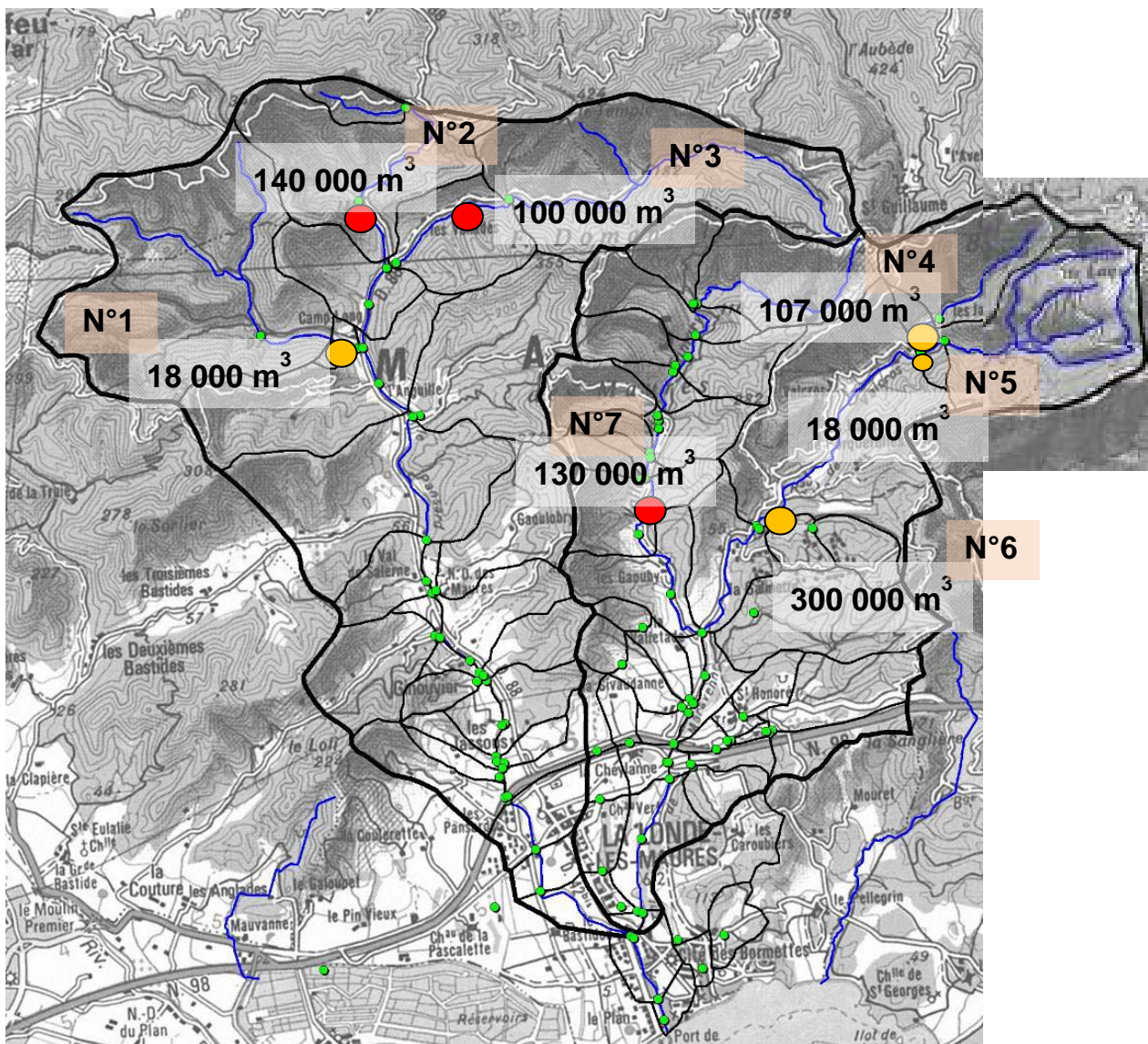
Suite à l'analyse de la topographie des bassins versants du Maravenne et du Pansard, 3 sites ont été identifiés pour y construire de nouveaux barrages. Ces sites ont été choisis pour :

- ne pas impacter d'enjeux lors de leur mise en eau en cas de crue ;
- EXPLOITER le relief afin de maximiser les volumes retenus en minimisant les coûts de construction du barrage lui-même.

L'inconvénient de ce choix est de placer les retenues haut dans le bassin versant. Les barrages n'interceptent donc qu'une surface relativement modeste des bassins versants du Maravenne et du Pansard. Les volumes indiqués sur la carte suivante correspondent aux **volumes des barrages existants (jaune)** et au volume que l'on peut obtenir en créant de **nouveaux barrages de 10 m de hauteur (rouge)**.



Aménagement N°1 : Aménagement de barrages écrêteurs de crues



### 3 EFFETS DE CES OUVRAGES

Les effets de ces différents ouvrages sont décrits dans le tableau suivant. Le numéro fait référence au point localisé sur la carte page précédente. Les débits entrants et sortants correspondent aux débits en entrée et en sortie de l'ouvrage en question pour la **crue de janvier 2014**. La part de réduction du débit au droit de la RD 98 précise en quelle proportion le débit de pointe total du Maravenne ou du Pansard est réduit par l'aménagement. L'effet des aménagements est montré en ce point car c'est en aval de la RD 98 que se situent la majorité des enjeux.

N° Barrage	Débit entrant en m <sup>3</sup> /s	Débit sortant en m <sup>3</sup> /s	Part de réduction du débit au droit de la RD 98	Commentaire
1	41	41	0	Volume très faible
2	4.6	0	1 %	BV intercepté faible
3	37	19	10 %	
4	29	23	2 %	BV intercepté faible
5 <sup>1</sup>	70	65	2 %	Volume très faible
6	13	0	3 %	BV intercepté faible
7	89	72	8 %	

Des tests ont été réalisés en exploitant l'ensemble des sites identifiés. On note que :

- Les sites de rétention sont plus volumineux sur le bassin du Maravenne que sur le bassin du Pansard ;
- Au niveau de la confluence Maravenne / Pansard, le débit de pointe du Maravenne est retardé par rapport à l'état actuel ;
- Le décalage du débit de pointe du Maravenne devient plus en « phase » avec le débit de pointe du Pansard. La concomitance des deux cours d'eau est plus marquée et génère un débit de pointe en aval de la confluence plus

<sup>1</sup> Intègre également l'effet du barrage n°4 situé au sein du bassin versant du barrage n°5

important (malgré la diminution des débits des deux cours d'eau). Les inondations en aval de la confluence sont alors plus importantes.

## 4 CONCLUSION

Parmi les rétentions étudiées, les seules à avoir un impact significatif pour la crue de janvier 2014 sont la création de rétention sur les vallons des Vanades (n°3) et du Tamary (n°7). L'effet de ces barrages serait plus marqué en cas de crue moins importante. La création de rétention plus grande encore permettrait de diminuer davantage les débits en aval.

Néanmoins, en regard des coûts associés à de tels ouvrages (de l'ordre de 1 à plusieurs millions d'euros), la réduction des débits qui en résulte est bien faible et risque d'augmenter les débordements en aval de la confluence Maravenne / Pansard. De plus, ces aménagements deviennent peu utiles en cas de dépassement de leur objectif de rétention, voire dangereux pour les événements extrêmement rares (rupture).

**En raison de ces différents inconvénients, nous suggérons de ne pas réaliser de barrage d'écrêtement des crues.**

L'emploi des barrages actuels pour écrêter les crues serait un plus, à condition que ces barrages respectent les critères de sécurité relatifs aux barrages (sans investissements forts).



# AMÉNAGEMENTS\_N°2 : RALENTISSEMENT DYNAMIQUE DES CRUES



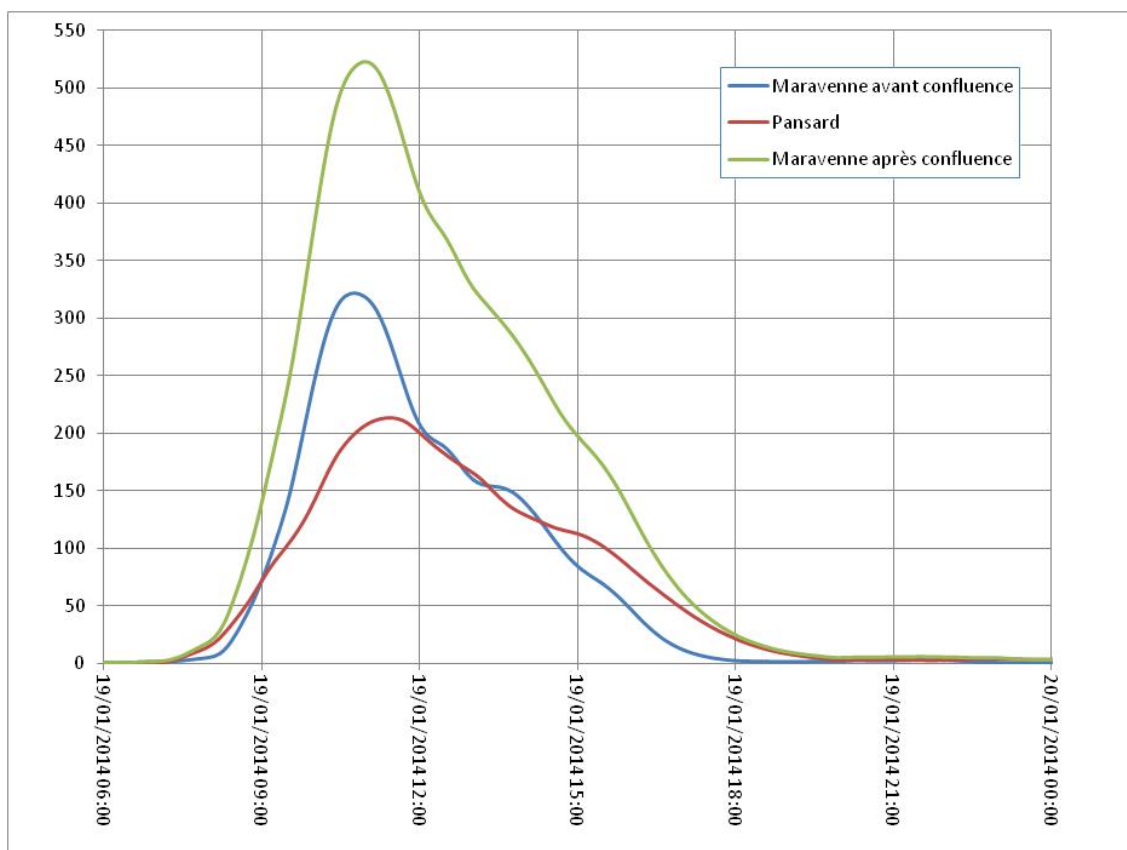
## Aménagements n° 2 :

# Ralentissement dynamique en lit majeur

## 1 PRINCIPES

Le principe des aménagements décrits dans cette fiche est de ralentir les eaux avant leur arrivée dans les zones à enjeux. Cela peut avoir deux intérêts : une atténuation de la pointe de crue, ou la désynchronisation de pic de crue d'affluents afin de réduire le maximum de la somme des deux cours d'eau.

Dans le cas de La Londe les Maures, la configuration des bassins versants fait que le pic de pointe du Maravenne précède celui du Pansard.



### Hydrogrammes à la confluence Maravenne-Pansard pour la crue de janvier 2014

Ralentir la propagation du Maravenne pourrait donc augmenter les débits en aval de la confluence. Le ralentissement des crues ne peut donc être utile que sur le Pansard.

Malheureusement, la configuration du Pansard n'est pas propice au ralentissement dynamique des crues, les contraintes en lit majeur ne le permettant pas.

## 2 CONCLUSION

Le ralentissement dynamique des crues n'est pas envisageable en lit majeur.





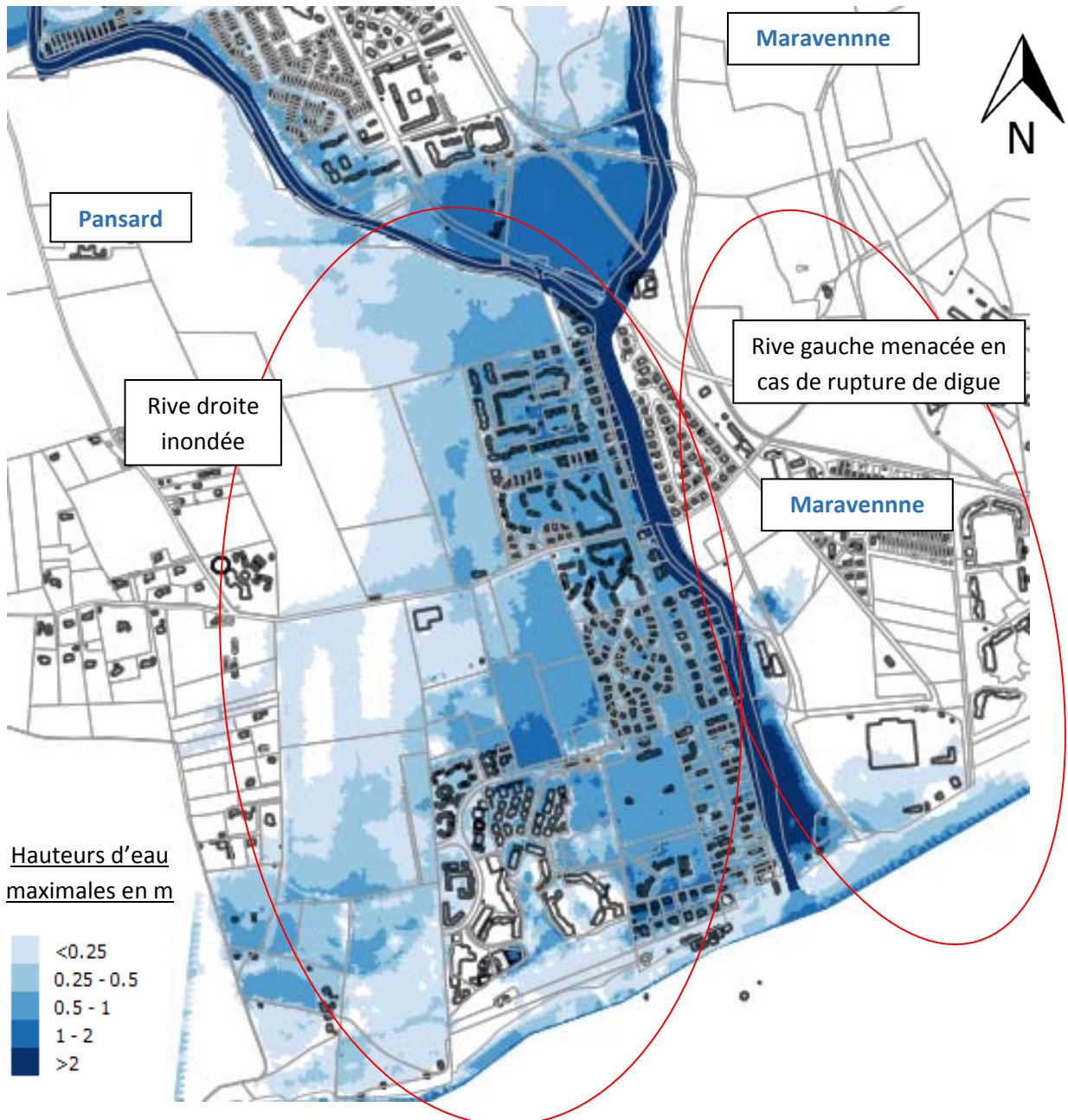
# AMÉNAGEMENTS\_N° 3 : SECTEUR CONFLUENCE



## Aménagements n°3 :

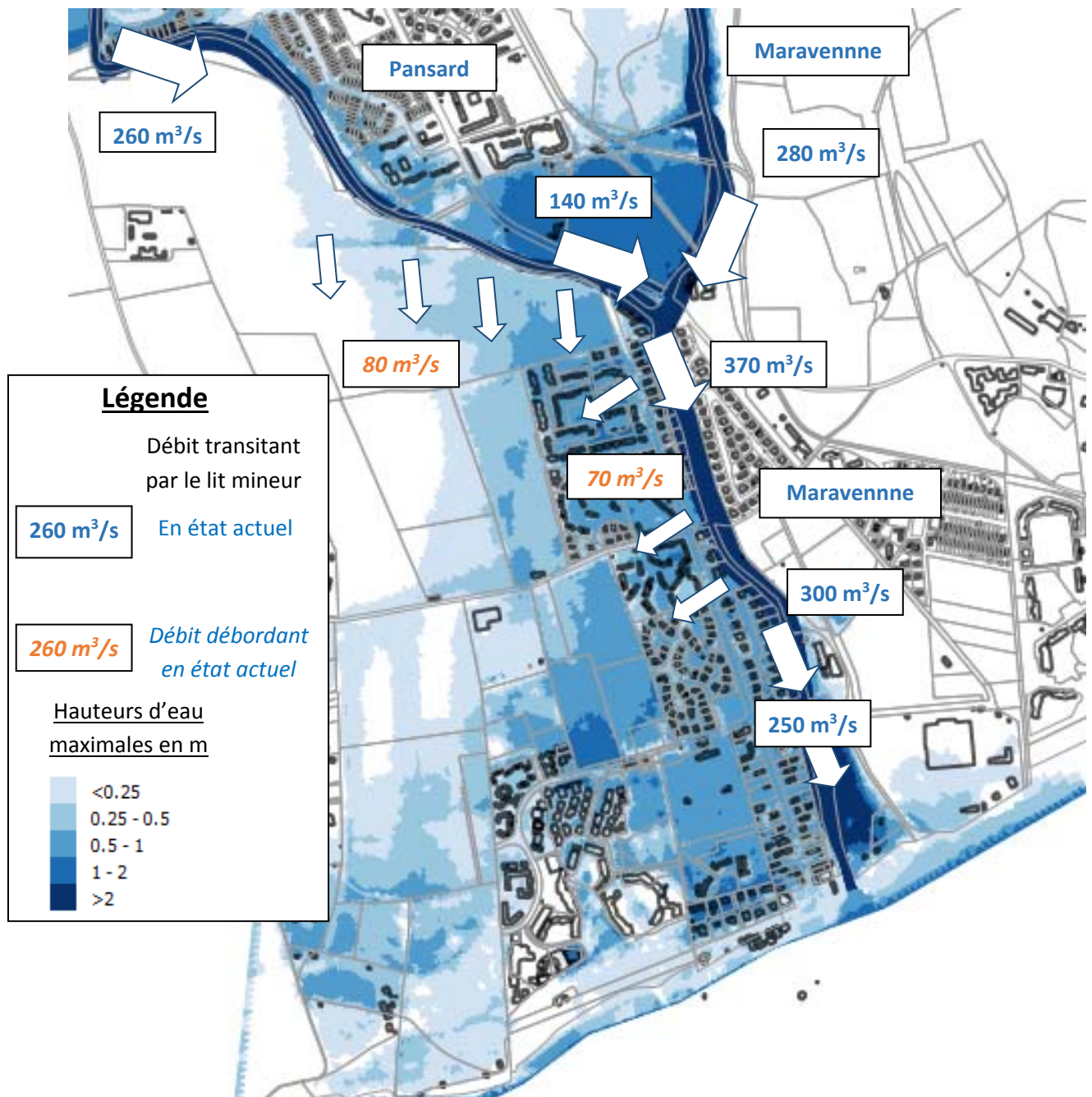
# Confluence Maravenne-Pansard

## 1 ENJEUX



Hauteurs d'eau maximales dans le secteur de la confluence du Maravenne et du Pansard pour la crue de janvier 2014

## 2 PHÉNOMÈNES HYDRAULIQUES



La capacité réduite en aval de la confluence contraint fortement les écoulements en amont et entraîne des débordements massifs en rive droite du Maravenne, la rive gauche du Maravenne étant endiguée. En cas de rupture de cette digue, les débordements s'équilibreraient mieux entre les deux rives.

### Aménagements N°3 : Confluence du Maravenne et du Pansard

En amont de la confluence, le Maravenne déborde en rive droite. La topographie fait que ces eaux retournent à la confluence.

En ce qui concerne le Pansard, lorsque le Maravenne est trop plein pour que ses eaux y transitent, il déborde en rive droite, inondant la plaine et les habitations en aval. Le Pansard est endigué en rive droite, mais la fragilité de ces digues explique qu'elles aient rompu lors de toutes les crues de 2014.

À noter également qu'à la confluence les écoulements très turbulents causent des érosions marquées des berges, nécessitant un traitement pour se prémunir d'un glissement du talus.

## 3 PRINCIPES D'AMÉNAGEMENTS

La capacité du pont-cadre d'accès au port et du lit mineur en aval de la confluence étant limitée et inférieure aux capacités en amont de la confluence, il a été étudié en premier lieu comment améliorer le transit des eaux en aval de la confluence.

L'intérêt de ce type de modification est de soulager le Pansard comme le Maravenne quelle que soit la spatialisation des pluies.

### 3.1 AMÉNAGEMENTS AUTOUR DU PORT

Au niveau du port, les contraintes suivantes existent :

- pont-cadre s'obstruant dès des crues fréquentes ;
- section aval limitante ;
- activité portuaire à maintenir ;
- espace non bâti côté rive gauche à l'exception de la station d'épuration traitant les eaux usées de toute la commune.

Dans un premier temps, reprendre le pont cadre s'obstruant permet une diminution significative des niveaux d'eau en amont.

Augmenter davantage la débitance du lit mineur peut se faire en :

- agrandissant le chenal existant du bord, notamment au niveau de l'ouvrage de franchissement piéton en aval. Un tel aménagement nécessiterait de revoir l'organisation du port ;
- créant un chenal supplémentaire en rive gauche du Maravenne actuel. Un tel aménagement permettrait de maintenir l'activité portuaire actuelle mais implique des acquisitions foncières et d'adapter l'exploitation de la STEP. À

noter également qu'il est possible de maintenir le pont-cadre du port en l'état en créant un chenal capable de faire transiter les débits voulus.

## 3.2 AMÉNAGEMENTS DE LA CONFLUENCE AU PORT

Du port à la confluence, on peut distinguer deux tronçons :

- un tronçon aval, non bâti en rive gauche (où une grande marge de manœuvre existe en termes d'aménagements) ;
- un tronçon amont, où les possibilités d'aménagements sont contraintes par les bâtiments présents sur les rives.

À noter que la rive gauche est endiguée sur ces deux tronçons.

Les possibilités d'aménagements du Maravenne sont les suivantes :

1. en termes d'élargissement de la section du lit, une promenade piétonne existe côté rive gauche. Cette promenade peut être supprimée pour élargir le lit et augmenter sa capacité. Cet élargissement doit conserver un talus suffisant des berges pour garantir la stabilité de la digue rive gauche.
2. en termes d'approfondissement du lit, un envasement fort est constaté sur ce secteur. Curer le lit permet d'augmenter sa section et donc les débits y transitant. Ce type de travaux est à reprendre régulièrement.
3. il n'est pas possible de protéger la rive droite par un dispositif de type digues ou murs : les dimensions d'ouvrages à réaliser seraient trop conséquentes, et empièteraient sur des parcelles privées<sup>1</sup>. De plus, de tels ouvrages empêcheraient le retour des eaux vers le Maravenne, ce qui aggrave les inondations.

Les aménagements 1 et 2 ont été dimensionnés de façon à maximiser la capacité, c'est-à-dire à exploiter au maximum la largeur du lit, et en réalisant un curage permettant de maintenir une pente constante jusqu'à la mer.

Ainsi, il serait inutile d'aménager le secteur en aval pour faire passer plus de débit que sur ces tronçons.

Ces aménagements permettent de diminuer les inondations, mais ils ne suffisent pas à eux seuls pour protéger contre un événement tel que la crue de janvier 2014.

---

<sup>1</sup> Ce type d'ouvrage n'a de sens que s'il est réalisé en continu le long du lit mineur. Au vu du nombre de propriétaires concernés, les discussions à engager pour ce type d'aménagements s'avèreraient longues.

### **3.3 IMPOSSIBILITÉ D'AUGMENTER LA CAPACITÉ EN AMONT DE LA CONFLUENCE**

Les aménagements en aval de la confluence permettent d'augmenter significativement la capacité du Maravenne, cependant, même après travaux, la capacité du Maravenne à l'aval de la confluence reste inférieure à la somme des capacités du Maravenne et du Pansard en amont de la confluence (ouvrage compris). Ainsi, augmenter la capacité du Maravenne et du Pansard en amont de la confluence ne réduit pas les inondations lorsque les deux cours d'eau sont en crue, comme cela s'est produit lors des crues de janvier et novembre 2014.

Nous n'avons donc pas analysé la possibilité d'augmenter la capacité du Maravenne ou du Pansard en amont de la confluence.

De tels aménagements permettraient de diminuer les inondations lorsque les débits sur le Maravenne et le Pansard sont très différents du fait d'une répartition non homogène des pluies.

### **3.4 POSSIBILITÉS DE DÉLESTAGE DES EAUX**

S'il n'est pas possible d'évacuer les eaux en aval, puisqu'il n'est pas pertinent de stocker les eaux en amont, la seule autre possibilité pour limiter les inondations est de faire transiter les eaux par un autre chemin. En pratique, l'eau emprunte elle-même un autre chemin lorsqu'elle déborde. Le principe des aménagements considérés ici est de maîtriser ces débordements pour qu'ils causent le moins de dommages possibles.

Sur le Maravenne en amont de la confluence, les débordements impactent moins d'enjeux que ceux du Maravenne. Par ailleurs, créer un cheminement jusqu'à la mer n'est possible qu'en rive gauche du Maravenne, où l'urbanisation et la topographie ne sont pas propices à un tel aménagement. La possibilité de créer un délestage du Maravenne en amont de la confluence n'a donc pas été étudiée davantage.

Sur le Pansard, les eaux débordent dans la plaine du Bastidon et se propagent jusqu'à la mer en inondant les vignes et les zones bâties. Il a été analysé la possibilité de chenaliser ces eaux afin de diminuer les surfaces inondées.

Le tracé et les dimensions figurent au paragraphe suivant.



## 4 AMÉNAGEMENT CONSEILLÉ

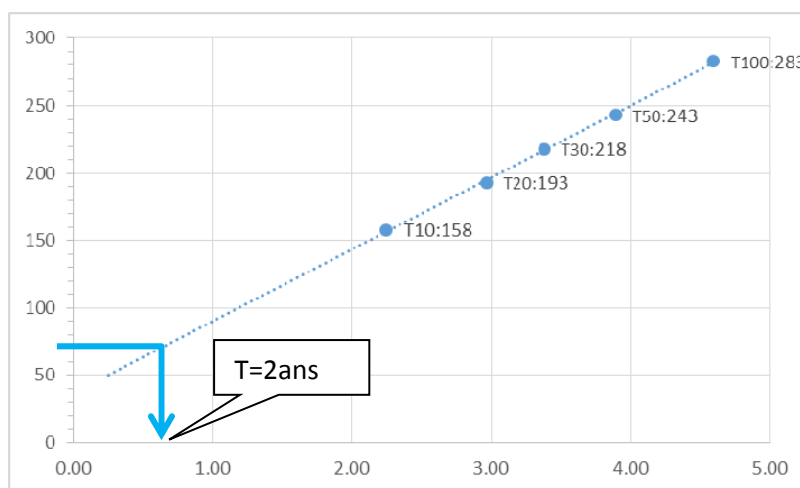
Les dimensions des différents aménagements figurent sur les schémas suivants.

Les dimensions proposées permettent de protéger les enjeux des inondations pour une crue de type janvier 2014.

La logique qui a conditionné le dimensionnement est la suivante :

- Agrandissement du Maravenne afin d'exploiter l'espace disponible au maximum entre la confluence Maravenne-Pansard et le tronçon non urbanisé en rive gauche ;
- Aménagement du secteur du port de façon à faire transiter le débit capable sur le tronçon amont aménagé (mise en cohérence de la capacité du Maravenne en aval de la confluence) ;
- Afin de gérer l'excédent de débit arrivant par le Pansard, dimensionnement d'un chenal de délestage dans la plaine du Bastidon. Il s'agit d'un chenal complémentaire qui n'entre en fonctionnement que pour un débit dans le Pansard supérieur à 70m<sup>3</sup>/s. L'occurrence d'un tel débit est estimée à l'aide des débits estimés dans l'analyse hydrologique et d'un ajustement de Gumbel.

	Pansard
Janvier 2014	213
Nov 2014	129
T = 10 ans	158
T = 20 ans	193
T = 30 ans	218
T = 50 ans	243
T = 100 ans	283

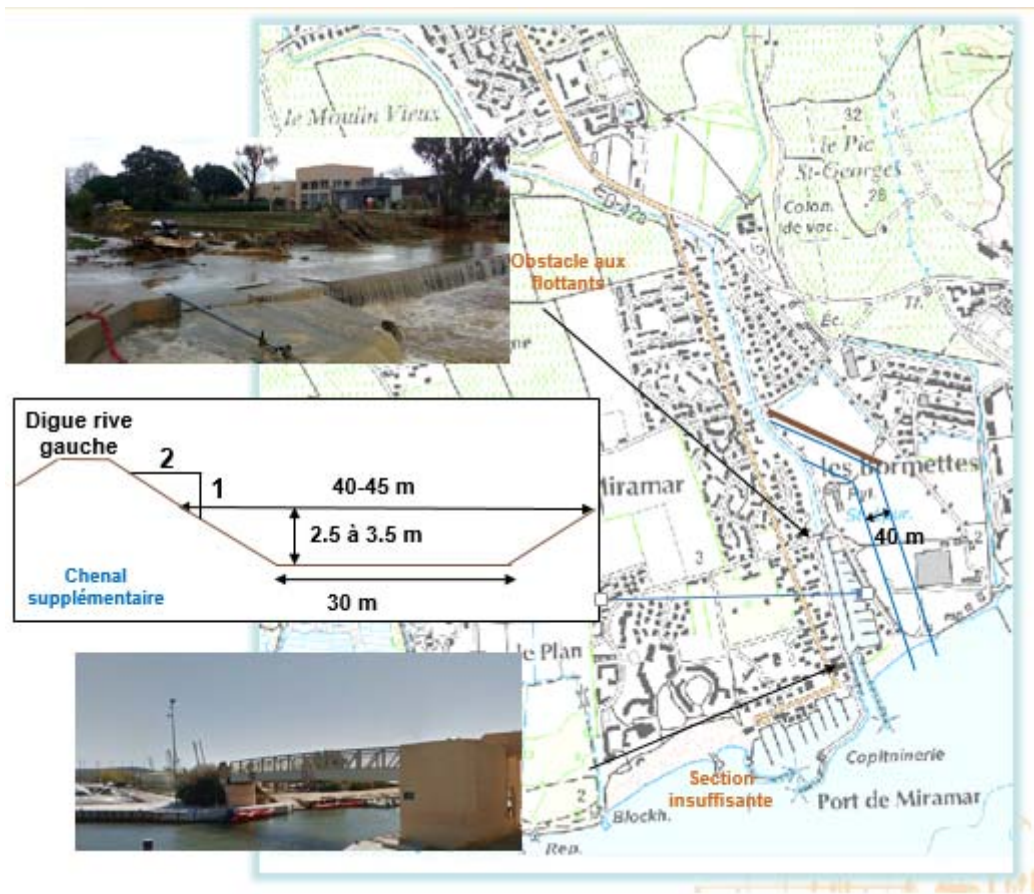


- o Il faut prévoir une mise en fonctionnement régulière du canal de délestage du Bastidon (de l'ordre de 1 fois par an)

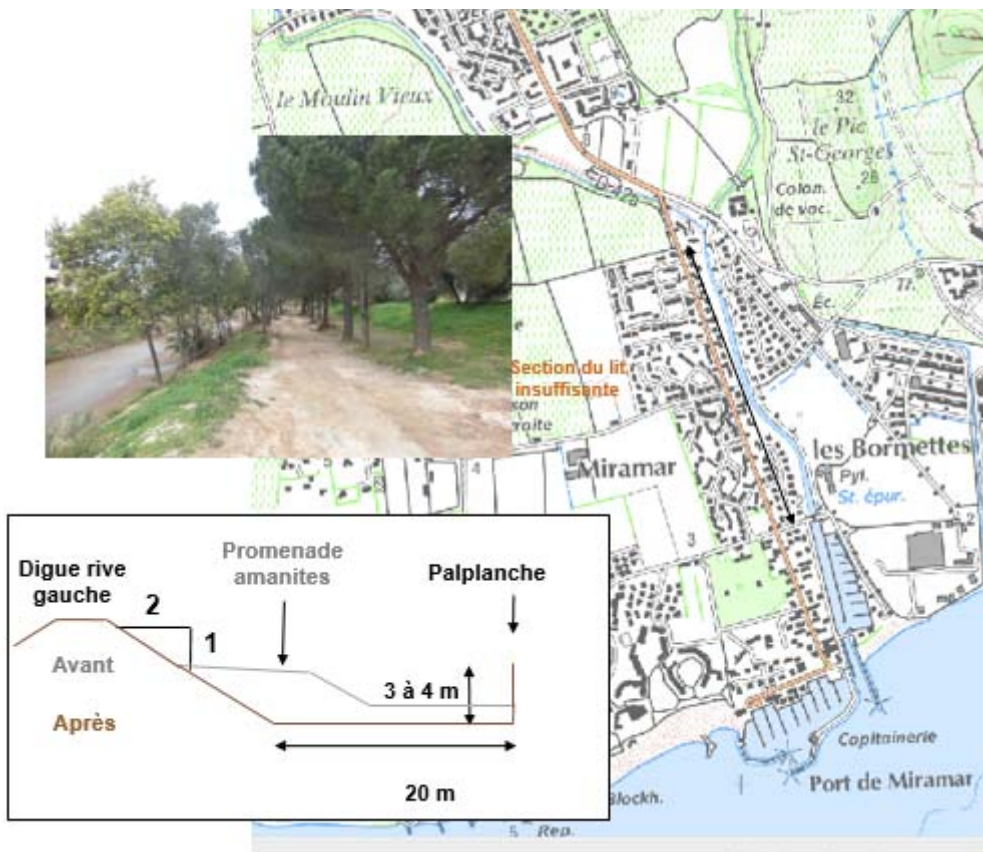
Les dimensions et tracés plus précis des aménagements figurent page suivante.

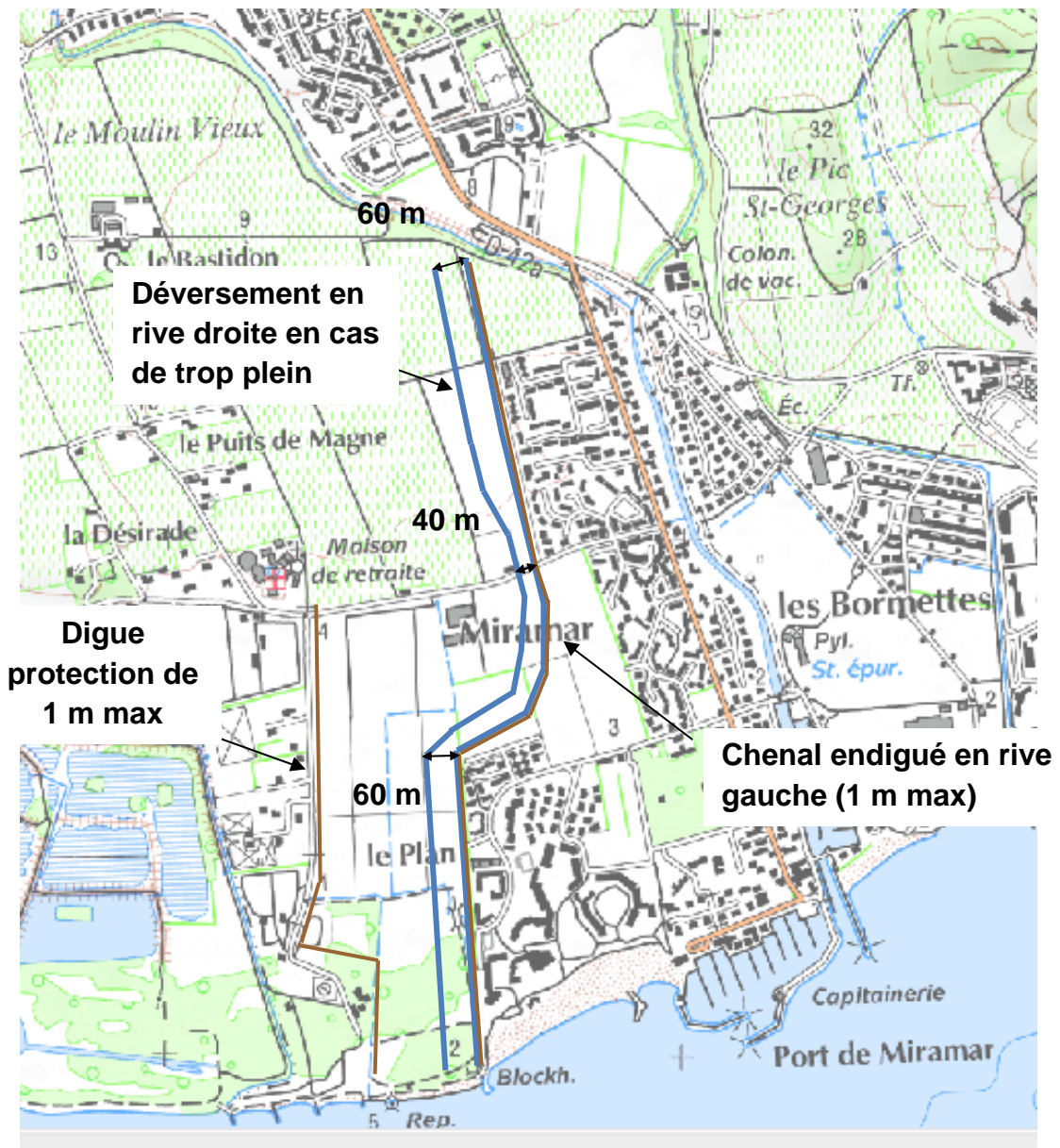


Aménagements N°3 : Confluence du Maravenne et du Pansard



Aménagements N°3 : Confluence du Maravenne et du Pansard

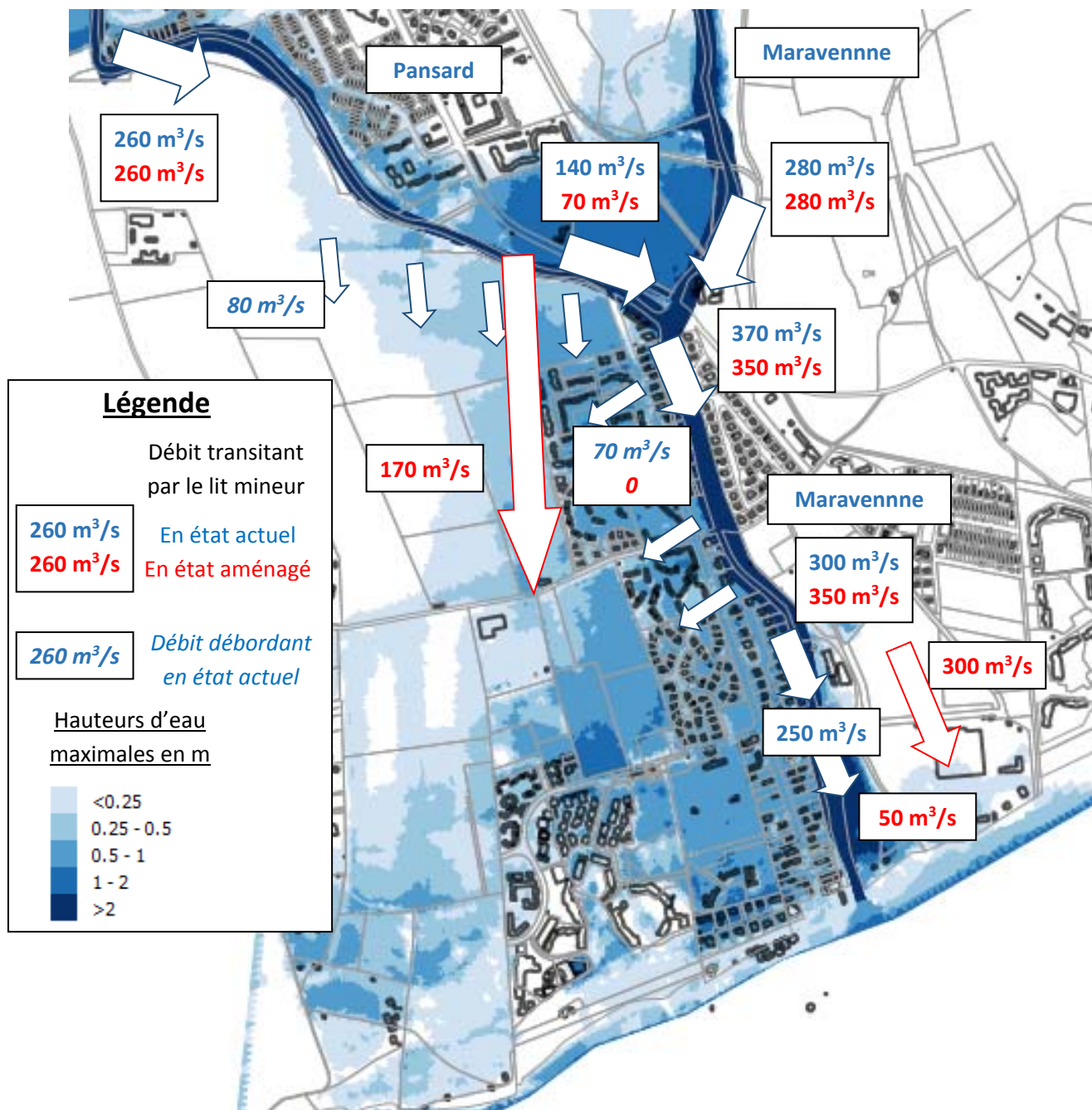




Aménagements N°3 : Confluence du Maravenne et du Pansard

Le plan suivant indique la répartition des débits de crues avant et après aménagement sur le secteur *pour une crue de type janvier 2014*. Attention à garder à l'esprit les points suivants pour l'interprétation de ces chiffres :

1. La valeur débit transitant en lit mineur correspond au débit transitant au niveau du lit mineur pour cette crue. En situation actuelle il ne s'agit pas du *débit capable avant débordement* mais bien du débit ayant transité avec les niveaux d'eau ayant causé des débordements. Par contre, en état aménagé, il s'agit bien du débit capable avant débordement. C'est pour cette raison que les valeurs affichées en aval de la confluence diffèrent peu entre les états actuel et aménagés : c'est parce que les aménagements ont pour but de maîtriser les débits. Pour la crue de janvier 2014, les aménagements en aval de la confluence permettent de diminuer les niveaux d'eau pour faire transiter un même débit.
2. Les valeurs affichées correspondent aux débits de pointe. La pointe de crue sur le Maravenne précède la pointe de crue sur le Pansard : voilà pourquoi le débit de pointe en aval de la confluence ne correspond pas à la somme des débits de pointe en amont.



## 5 CONCLUSION

Les aménagements préconisés permettent d'assurer la protection des secteurs à enjeux pour une crue de type janvier 2014. En revanche, ces aménagements doivent être réalisés dans leur ensemble (Dérivation du port, recalibrage et délestage du Pansard) afin d'être efficaces.



# AMÉNAGEMENTS\_N° 4 : SECTEUR PONT DUCOURNAU



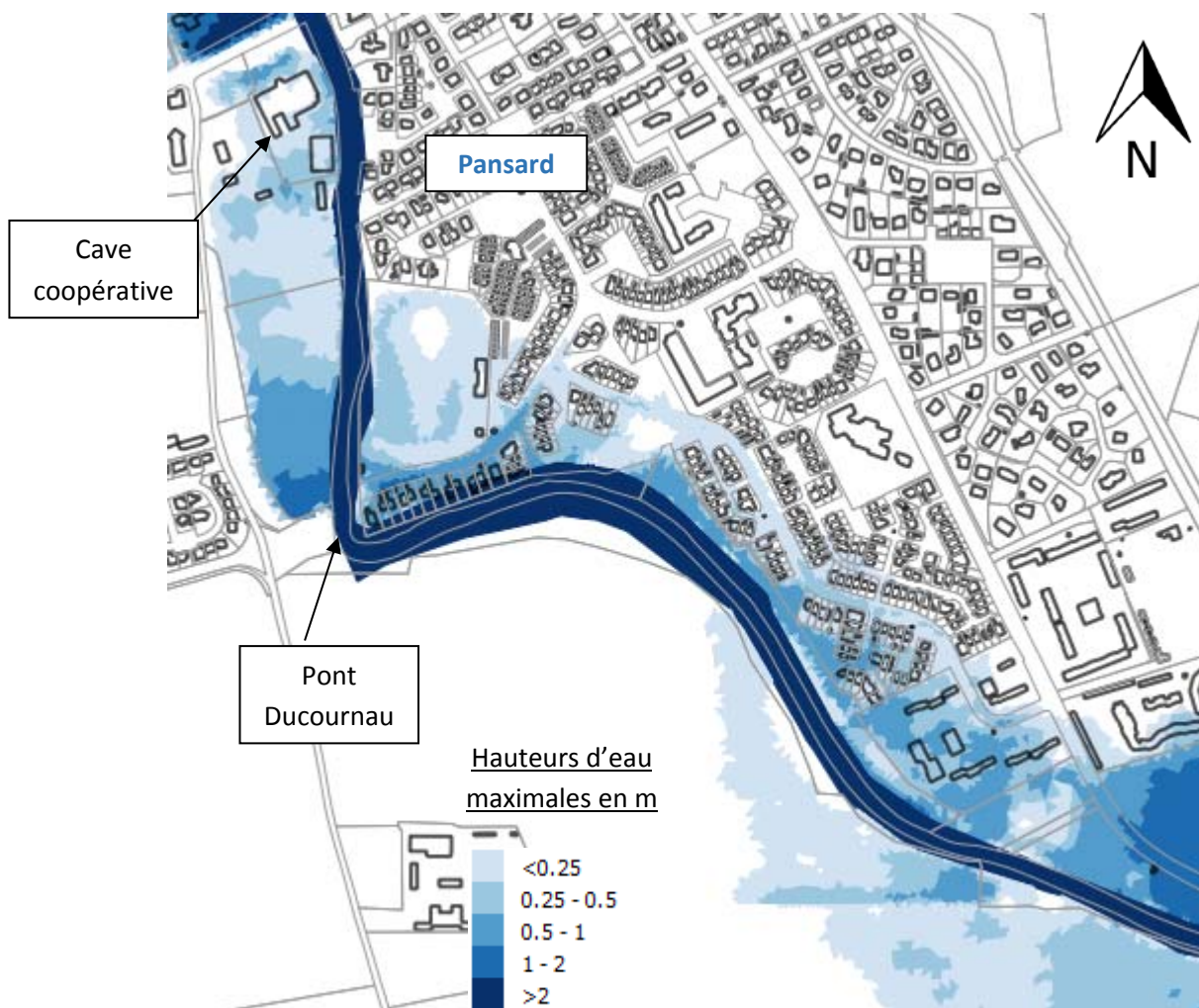


## Aménagements n° 4 :

### Secteur « Pont Ducournau »

#### 1 ENJEUX

Les enjeux sur le secteur sont les habitations en rive gauche et les bâtiments de la cave coopérative en rive droite.

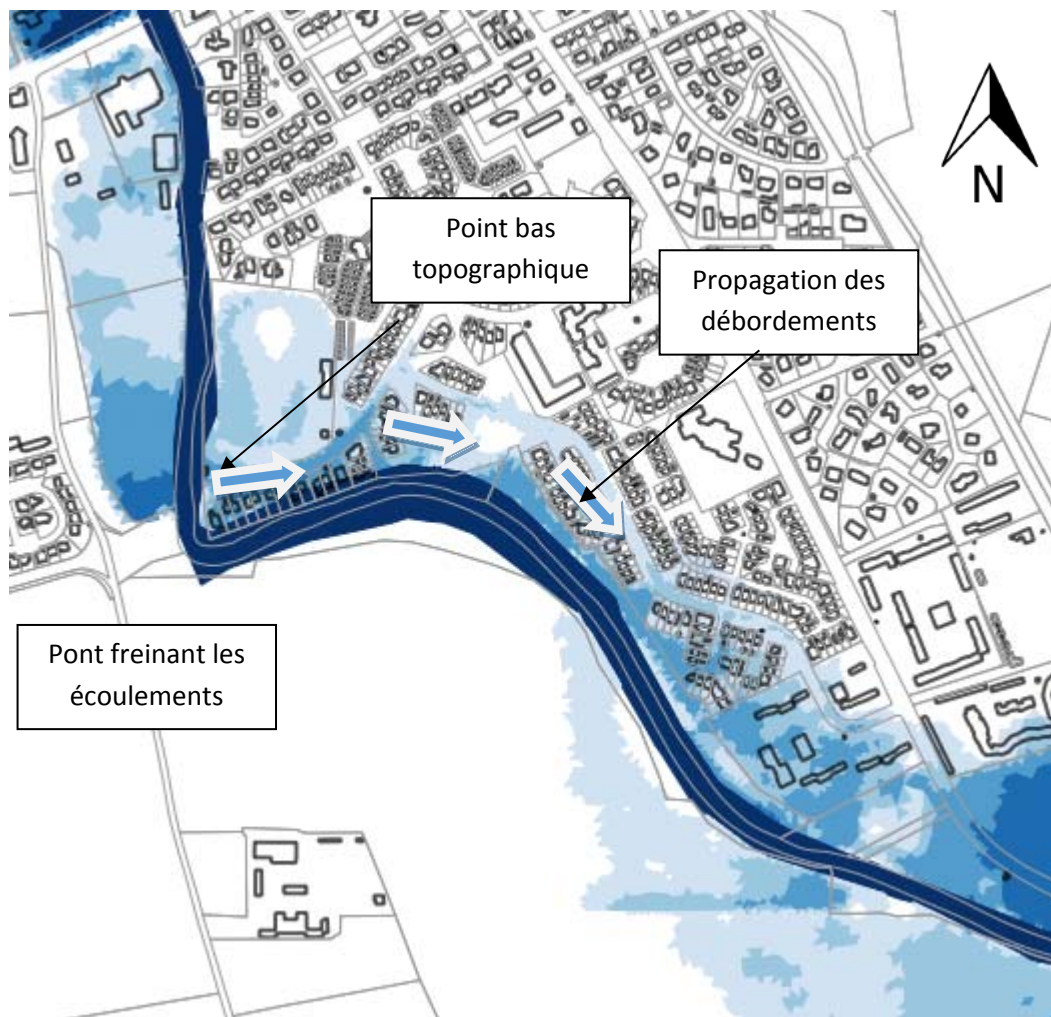


Hauteurs d'eau maximales dans le secteur du pont Ducournau pour la crue de janvier 2014

## 2 PHÉNOMÈNES HYDRAULIQUES

Les inondations en rive gauche sont dues à des débordements en amont du pont Ducournau qui se propagent ensuite en aval. Ces débordements sont favorisés par le pont lui-même, la présence d'un point bas topographique côté rive gauche, ainsi que par la section du lit lui-même.

En aval, les débordements rive droite proviennent du fait de la capacité limitée du lit mineur.



### 3 PRINCIPES D'AMÉNAGEMENTS

Le point bas topographique côté rive gauche augmente nettement les débordements qui débutent avant l'atteinte du tablier du pont juste en aval. Son traitement par la mise en place d'une digue permettrait que les débordements commencent avec la mise en charge du pont (ou juste avant).

Néanmoins, la section du pont en question n'est pas capable de recevoir l'intégralité du débit arrivant. Pour empêcher totalement les débordements, il est nécessaire d'augmenter la capacité du pont Ducournau en agrandissant la section d'écoulement.

Afin de baisser la ligne d'eau jusqu'aux enjeux les plus en amont, un recalibrage du lit est nécessaire.

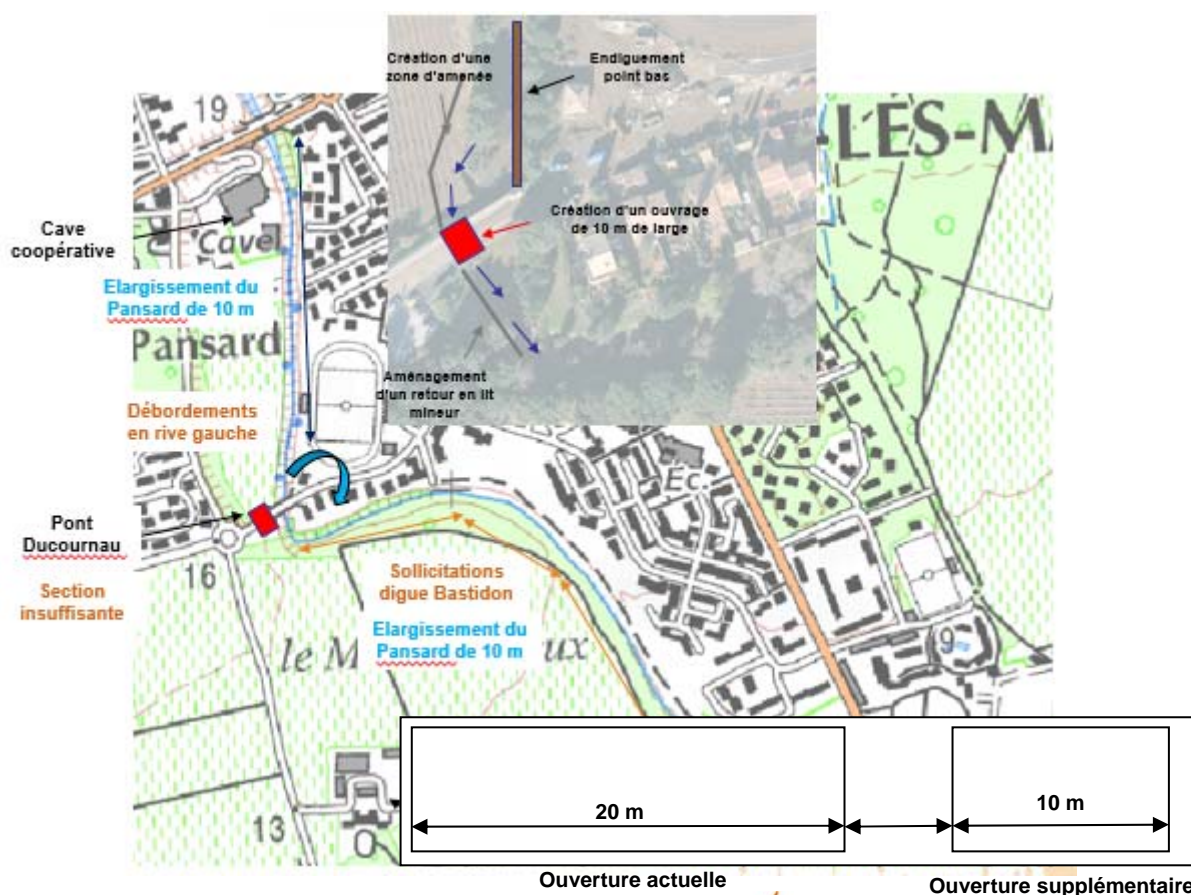
Puisque ces aménagements augmentent le débit en aval, un recalibrage est également nécessaire en aval pour empêcher les débordements en rive droite du Pansard.

## 4 AMENAGEMENT CONSEILLÉ

L'aménagement le plus coûteux consiste à augmenter la capacité du pont Ducournau à proprement parler. Plutôt que de reconstruire un ouvrage de plus grande portée en élargissant le lit, il paraît moins onéreux (si les coûts d'acquisitions foncières le permettent) de créer une ouverture supplémentaire en rive droite, et d'aménagement l'alimentation et le retour en lit mineur de cette ouverture supplémentaire.

La création de la digue en rive gauche au niveau du point bas permettra d'exploiter toute la section du pont avant qu'il y ait débordement. Créer une ouverture suffisante pour baisser le niveau en dessous de ce point bas serait bien plus coûteux que de mettre en place cet endiguement.

Enfin, pour mettre la totalité des enjeux hors d'eau sur le secteur pour la crue de janvier 2014, un élargissement de 10 m du Pansard est à prévoir en amont jusqu'au pont de la cave coopérative et en aval jusqu'au droit du chenal de délestage (cf fiche aménagements n°3). À noter que côté aval, il est plus prudent d'élargir le lit afin de baisser les niveaux d'eau plutôt que de solliciter les digues existantes en très mauvais état.



## 5 CONCLUSION

Pour la protection des enjeux de ce secteur vis-à-vis du risque de débordement du Pansard pour une crue type janvier 2014, la reprise du pont Ducournau et le recalibrage du Pansard sont indispensables.





AMÉNAGEMENTS\_N°5 :  
SECTEUR\_PANSARD  
RD98 À CAVE  
COOPÉRATIVE





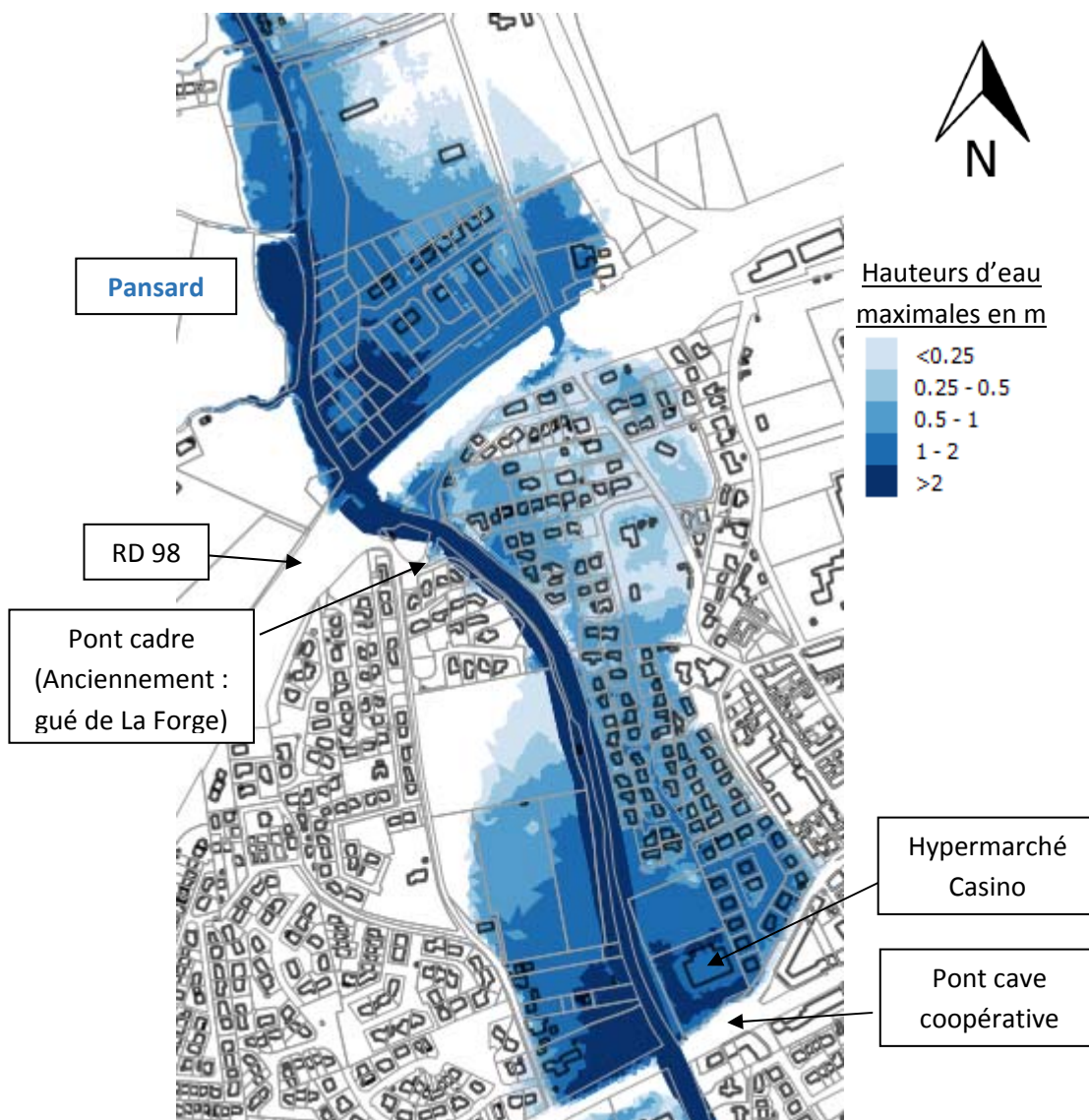


## Aménagements n°5 :

### Pansard, RD 98 à cave coopérative

#### 1 ENJEUX

Les enjeux sur le secteur sont essentiellement des habitations dont la majorité se situe en rive gauche. À noter la présence d'un hypermarché Casino en rive gauche.



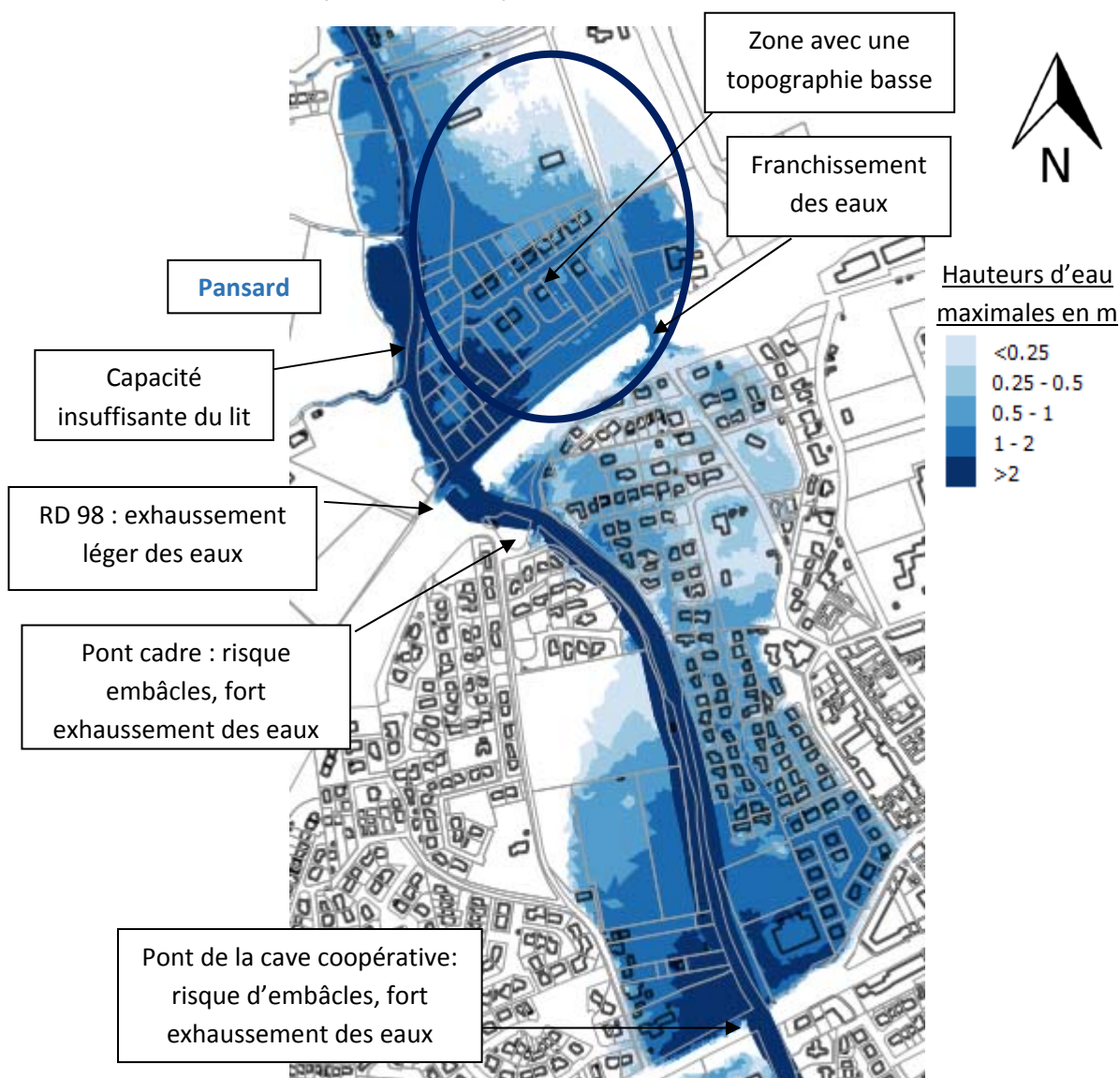
Hauteurs d'eau maximales dans le secteur RD 98 – Pont cave coopérative, pour la crue de janvier 2014

## 2 PHÉNOMÈNES HYDRAULIQUES

Les principaux freins aux écoulements sont constitués par les ouvrages de franchissement du Pansard.

En amont de la RD98, la rive gauche particulièrement basse se remplit. Les eaux franchissent la RD 98 par la route et inondent le quartier en aval.

En aval de l'ancien gué de La Forge, le Pansard est endigué côté rive gauche. Néanmoins, cet endiguement est contourné par l'amont et par l'aval (l'endiguement ne se prolongeant pas jusqu'au pont à proprement parler). Cette digue ne joue donc pas un rôle hydraulique majeur.



### 3 PRINCIPES D'AMÉNAGEMENTS

Il convient en premier lieu de traiter les **ouvrages**.

L'ouvrage le plus limitant et le moins coûteux à remplacer est le pont cadre en aval de la RD 98, anciennement appelé « gué de La Forge ». Rétablir un véritable gué au fil de l'eau permettrait d'éviter la formation d'embâcle et ainsi une forte obstruction du lit mineur. Malheureusement, un tel aménagement implique une fermeture plus fréquente de la route et donc un engorgement du trafic routier sur les autres routes de la commune.

L'ouvrage de la RD 98 a un impact non négligeable sur la ligne d'eau, du fait de ses piles et du rétrécissement de section qu'il implique. Néanmoins, la reprise de ce pont constituerait des travaux énormes relativement à la baisse des niveaux d'eau subséquente. Une telle possibilité d'aménagement n'a pas été étudiée davantage.

Le pont influence les écoulements sur un linéaire significatif en amont. De plus, il s'est déjà obstrué en partie lors de la crue de 1968, ce qui avait un impact fort sur les inondations. Reprendre complètement l'ouvrage en reconstruisant à la place un franchissement avec une seule travée permettrait de supprimer le risque de formation d'embâcles et d'augmenter fortement la capacité de l'ouvrage, ce qui réduit sensiblement les inondations en amont du pont.

En ce qui concerne la **capacité du lit**, les contraintes entre l'ancien gué de La Forge et le pont de la cave coopérative font qu'elle ne peut être augmentée que légèrement. Un tel aménagement apporte néanmoins un gain intéressant vis-à-vis du peu d'investissements qu'il implique comparativement à la reprise des ouvrages.

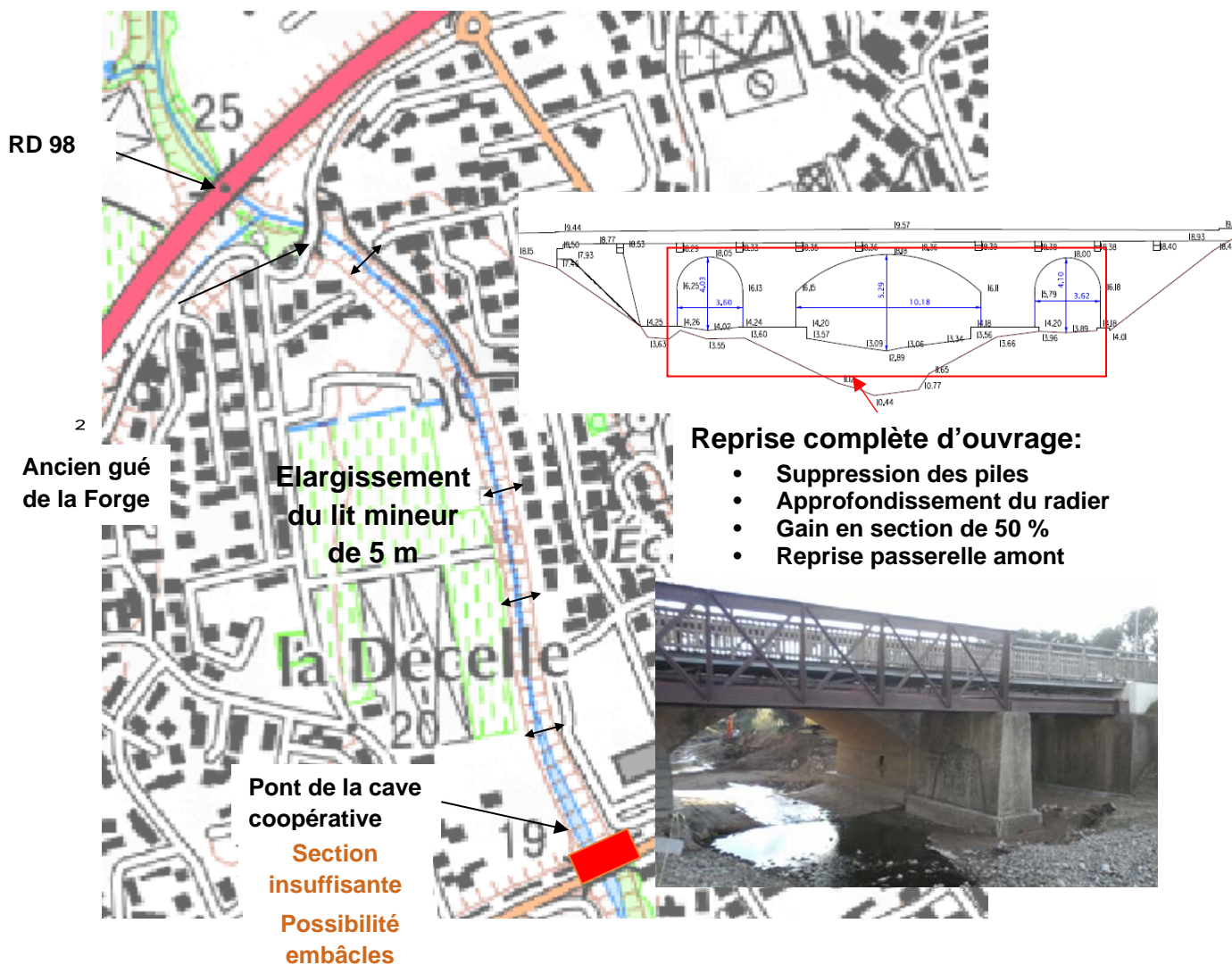
En amont de la RD 98, élargir le lit est également possible et utile en rive gauche. Néanmoins, l'influence de l'ouvrage aval fait qu'au-delà d'une certaine largeur il n'est plus utile d'augmenter encore la capacité du lit.

Par ailleurs, l'altimétrie de la rive gauche en amont de la RD 98 fait qu'il n'est pas envisageable d'empêcher l'inondation de ce secteur sans aménagements de protection. Les inondations ne peuvent y être supprimées qu'en construisant des digues en rive gauche du Pansard en amont de la RD 98. Le ruissellement pluvial étant très marqué de ce côté, l'aménagement de telles digues ne sauraient être fait qu'en intégrant la gestion des eaux pluviales au travers de ces digues.

## 4 AMÉNAGEMENT CONSEILLÉ

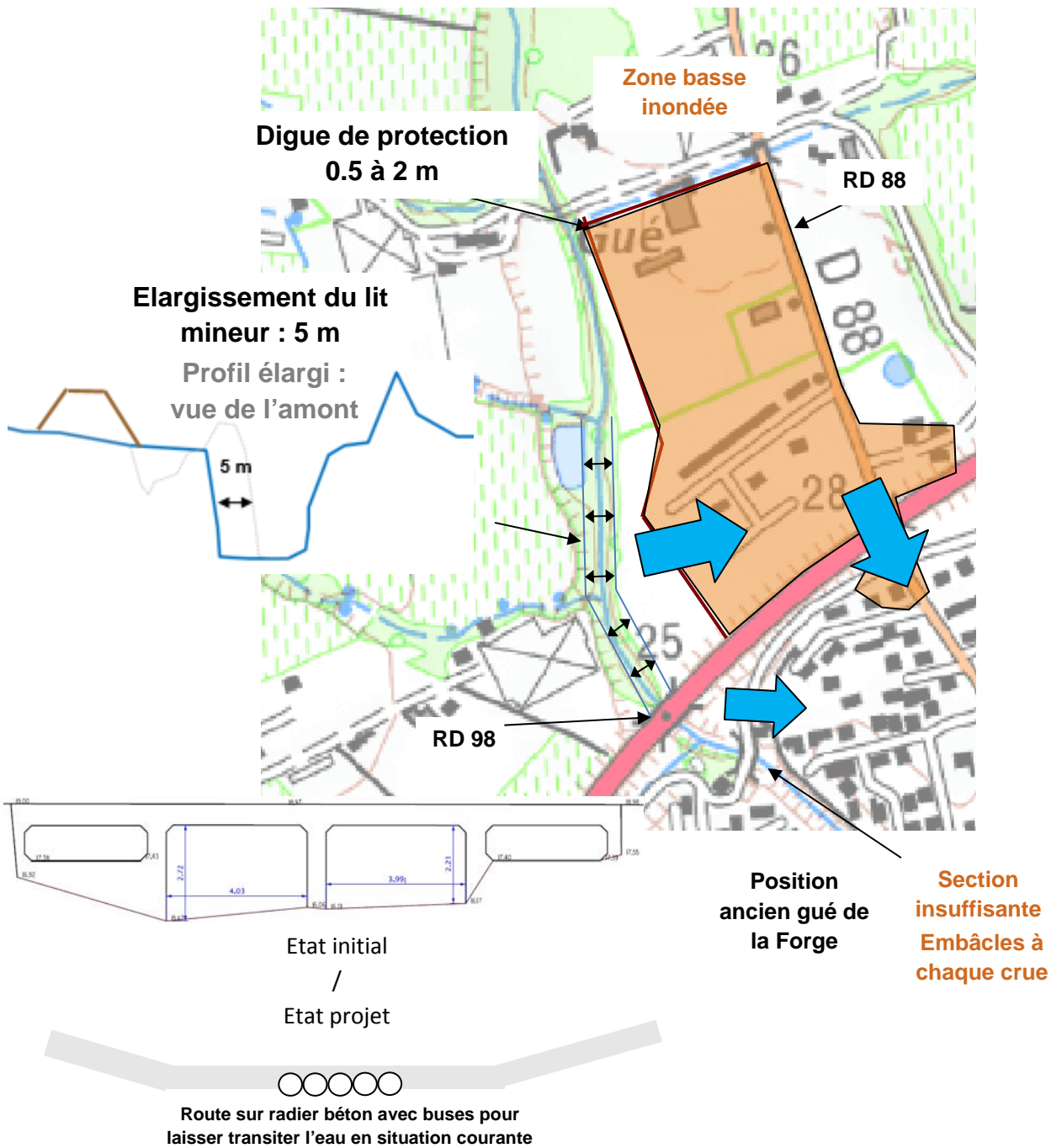
Pour se protéger d'une crue similaire à janvier 2014, l'ensemble des principes d'aménagements proposés devraient être suivis. Les fortes contraintes sur le secteur ne permettent pas une grande flexibilité quant aux possibilités envisageables.

En ce qui concerne le pont de la cave coopérative, le lit mineur chute de 2 mètres au droit du pont. Sa reprise complète peut s'accompagner d'une baisse du radier actuel du pont, afin d'augmenter fortement la section du pont sans élargissement. Une reprise du fond du lit mineur devra être effectuée en amont comme en aval pour redonner au lit une pente homogène et atténuer la chute au droit du pont.



Aménagements N°5 : Pansard : de la RD 98 à la cave coopérative

Au vu du bassin versant en amont des digues, une étude de ruissellement pluvial locale spécifique est nécessaire pour dimensionner correctement des exutoires au système d'endiguement. Ces aménagements pourront consister aussi bien en l'installation de clapets anti-retour dans le corps de digue qu'en reprise du réseau pluvial plus en amont pour limiter la quantité d'eau à évacuer.



Aménagements N°5 : Pansard : de la RD 98 à la cave coopérative

Pour information, en termes d'occurrence sur les débordements, l'effet du remplacement du pont cadre par un gué est le suivant :

	Occurrence d'inondation des maisons	Occurrence des débordements sur la RD88
Situation actuelle avec embâcles	2 ans	5 ans
Situation actuelle sans embâcles	2 ans	10 ans
Situation « retour au gué »	2 ans	10 ans

Pour rappel, un embâcle s'est formé sur cet ouvrage pour toutes les crues survenues en 2014.

Pour information, en termes d'occurrence sur les débordements, l'effet du recalibrage en amont de la RD 98 est le suivant :

	Occurrence d'inondation des maisons	Occurrence des débordements sur la RD88
Situation actuelle avec embâcles	2 ans	5 ans
Situation « recalibrage » avec embâcles	2 ans	5 ans
Situation « recalibrage » et « retour au gué »	<b>5 ans</b>	<b>20 ans</b>

Ces chiffres mettent en évidence les risques élevés auxquels sont soumis les enjeux en absence de protection rapprochée. Toutefois, le recalibrage et le retour au gué sont des aménagements peu onéreux apportant un bénéfice sensible.



## 5 CONCLUSION

Pour assurer la protection de ce secteur vis-à-vis du risque de débordement du Pansard pour un événement type janvier 2014, la reprise du pont de la cave coopérative, le recalibrage du Pansard, la destruction du gué de la Forge et l'endiguement des enjeux en amont de la RD98 sont indispensables.





# AMÉNAGEMENTS\_N°6 : NOTRE-DAME DES MAURES



## Aménagements n°6 :

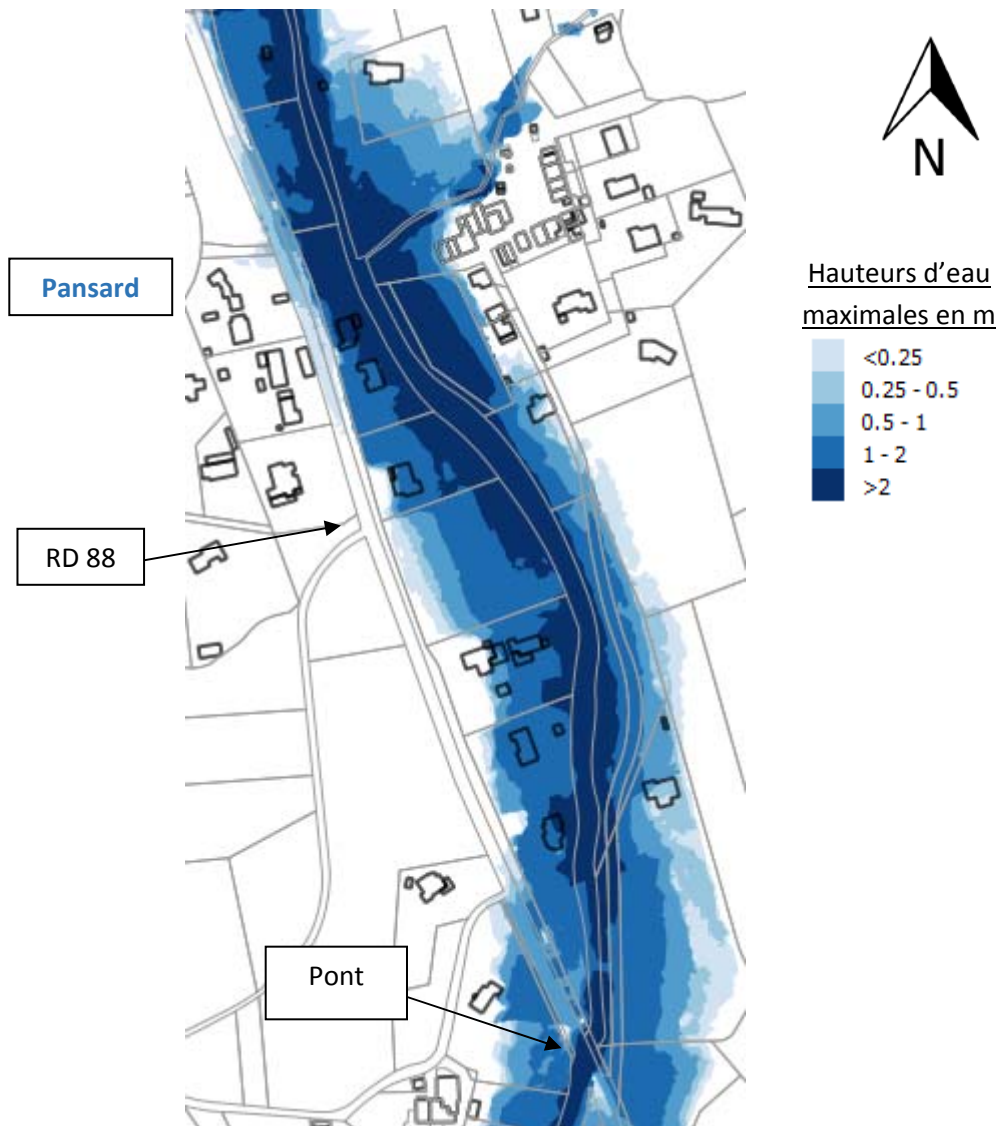
# Notre-Dame des Maures

## 1 ENJEUX

De nombreux bâtiments ont été détruits par les eaux en 2014 et ont été évacués depuis. Ils ne constituent donc plus un enjeu.

Par contre, quelques habitations sont encore inondées, ainsi que la route en rive gauche du Pansard et la RD 88.





**Hauturs d'eau maximales dans le secteur RD 98 – Pont cave coopérative, pour la crue de janvier 2014**

## 2 PHÉNOMÈNES HYDRAULIQUES

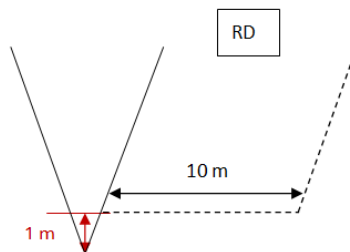
La faible capacité du Pansard provient de la présence d'arbres très proches du lit mineur -favorisant la présence d'embâcles, ainsi que de celle de maisons et de murs à proximité immédiate du lit du Pansard– responsable de phénomènes d'obstruction entraînant un exhaussement de la ligne d'eau.

L'ouvrage de franchissement de la RD 88 présente une faible capacité. Son orientation en biais par rapport au lit du Pansard contribue à l'exhaussement de la ligne d'eau.

## 3 AMÉNAGEMENT CONSEILLÉ

L'action la plus simple à entreprendre consiste à déboiser les berges du Pansard afin de favoriser l'écoulement des eaux et limiter la formation d'embâcles. Les souches devront également être enlevées.

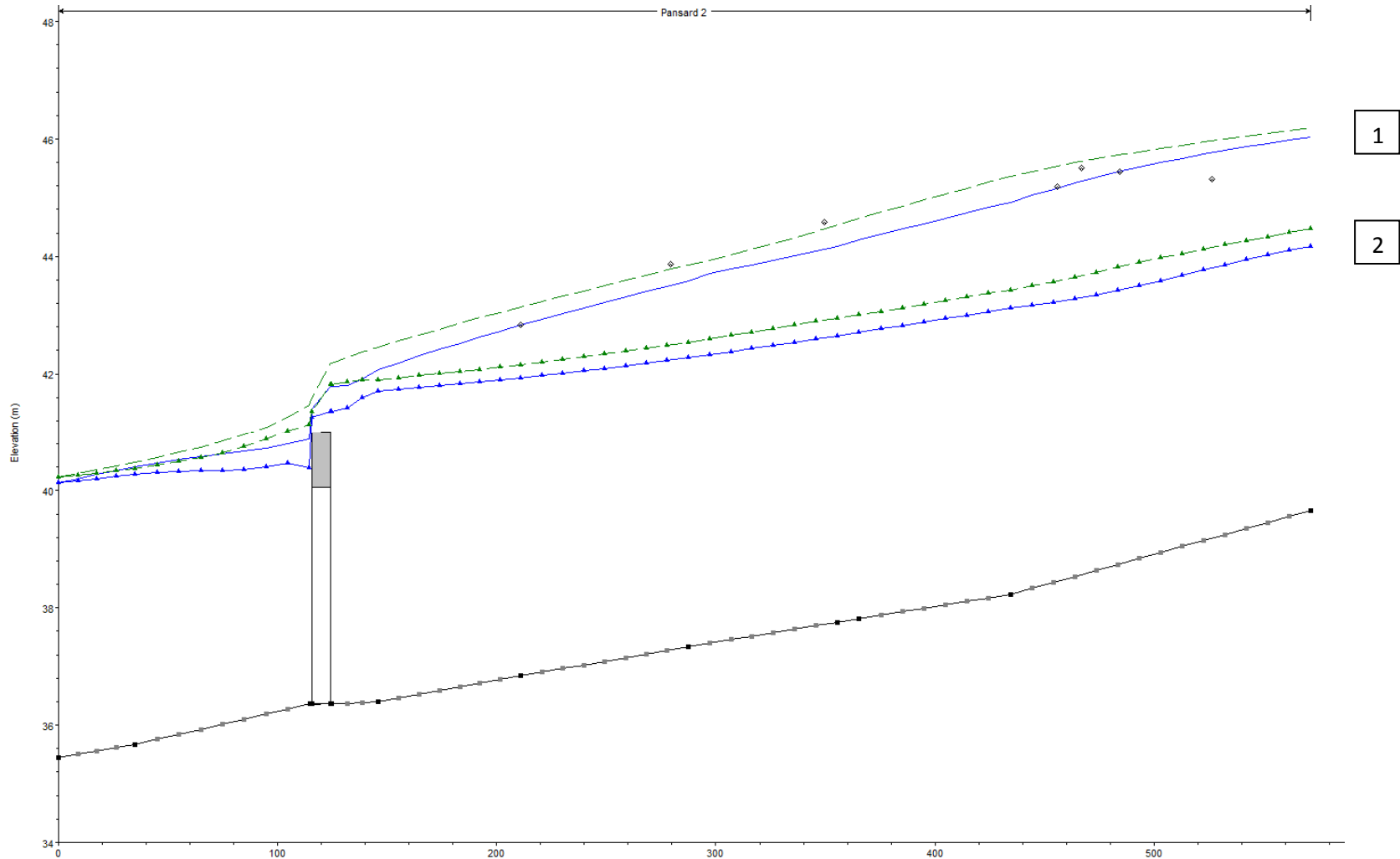
En complément, la création d'une risberme en rive droite du Pansard (là où les maisons ont été évacuées) d'au moins 10 m de largeur permettrait de réduire très fortement les inondations.



### Création d'une risberme et élargissement de 10 m en Rive Droite du Pansard

L'impact des aménagements (déboisement + création d'une risberme) est visible page suivante.

Aménagements N°6 : Notre Dame les Maures



Lignes d'eau et de charge en situation actuelle (1) et aménagée – Crue de janvier 2014 - déboisement et création d'une risberme

Ces aménagements réduisent de plus de 1.5 m les niveaux d'eau pour la crue de janvier 2014.

À noter que la RD 88 reste inondable. Il n'est pas pertinent de reprendre cet ouvrage seulement pour mettre hors d'eau la RD 88.

## 4 CONCLUSION

Pour assurer la protection des biens du secteur, il est préconisé d'exploiter les terrains rachetés par l'État en rive droite (destruction programmée des habitations les plus exposées aux inondations du Pansard) en les sur-inondant (zone d'expansion des crues). Cette aménagement permet également de baisser les lignes d'eau de ce secteur et de protéger les habitations rive gauche pour un événement type janvier 2014.







# AMÉNAGEMENTS\_N°7 : AMÉNAGEMENT SECTEUR FROMENTIN ET PABOURETTE





## Aménagements n°7 :

# Secteurs Fromentin et Pabourette

## 1 PRÉAMBULE

La présente étude hydraulique vise à définir les aménagements d'urgence et à moyen terme permettant la protection des biens en rive droite du Maravenne, rue de la Cheylane, entre les ponts de la RD559A en aval et le nouveau et l'ancien pont de la RD98 en amont – nommé secteur Fromentin.

Le secteur de Pabourette, affluent du Maravenne alimentant ce secteur, est aussi intégré.

## 2 SECTEUR FROMENTIN

### 2.1 DÉSORDRES CONSTATÉS

Les désordres sur le bâti sont liés à un recul de la berge rive gauche et concernent aussi une dégradation de l'ouvrage de rejet pluvial longeant la RD98 dans le Maravenne



Figure 1 : Principaux désordres constatés

D'autre part, la visite sur site a permis de constater quelques désordres secondaires, plus liés à un entretien des protections existantes ou présentant un risque aux conséquences locales.

De l'amont à l'aval, nous pouvons citer :

- Le pont de l'ancienne RD68. La protection de la pile est altérée, sans que la sécurité de l'ouvrage soit menacée à court terme.

Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette



- Le chemin passant sous la petite arche rive droite est coupé.



**Figure 2 : Désordres autour la pile de l'ancien pont**

- D'autres désordres mineurs sont constatés au droit de la pile rive droite du pont amont et entre l'ancien et le nouveau pont en amont. Il s'agit de ravinement d'eaux pluviales.

## 2.2 HISTORIQUE ET INTERPRÉTATION DE L'ÉVOLUTION DES TALUS SECTEUR FORMENTIN

### 2.2.1 APPROCHE MESO ÉCHELLE

#### 2.2.1.1 Analyse du risque de divagation

Historiquement, le lit du Maravenne semble avoir peu évolué en près de 2 siècles, les 2 ouvrages de franchissement ayant été implantés sur un bief peu divaguant.

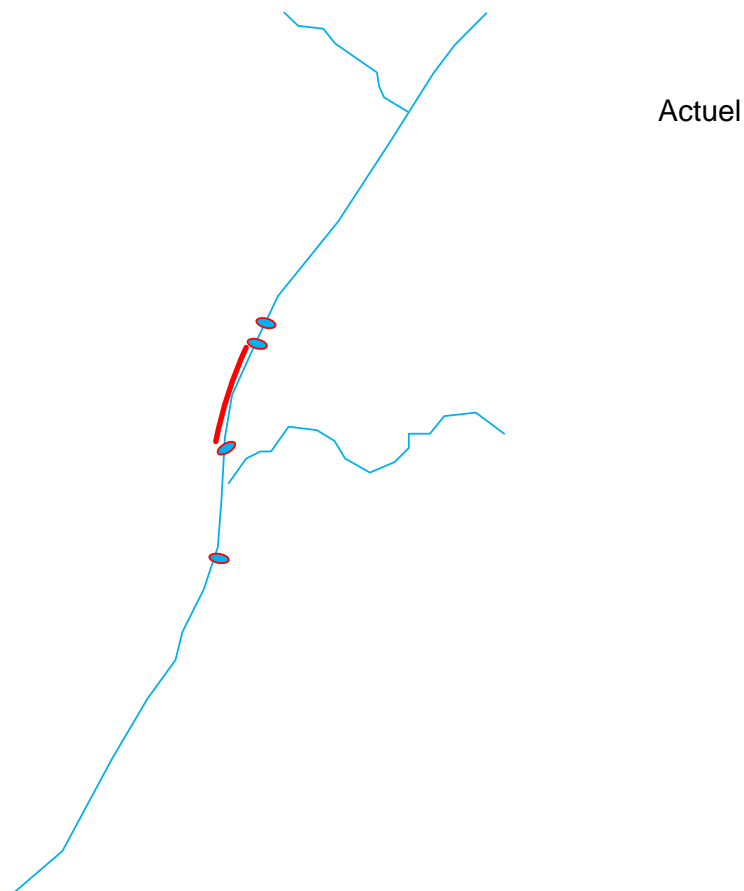
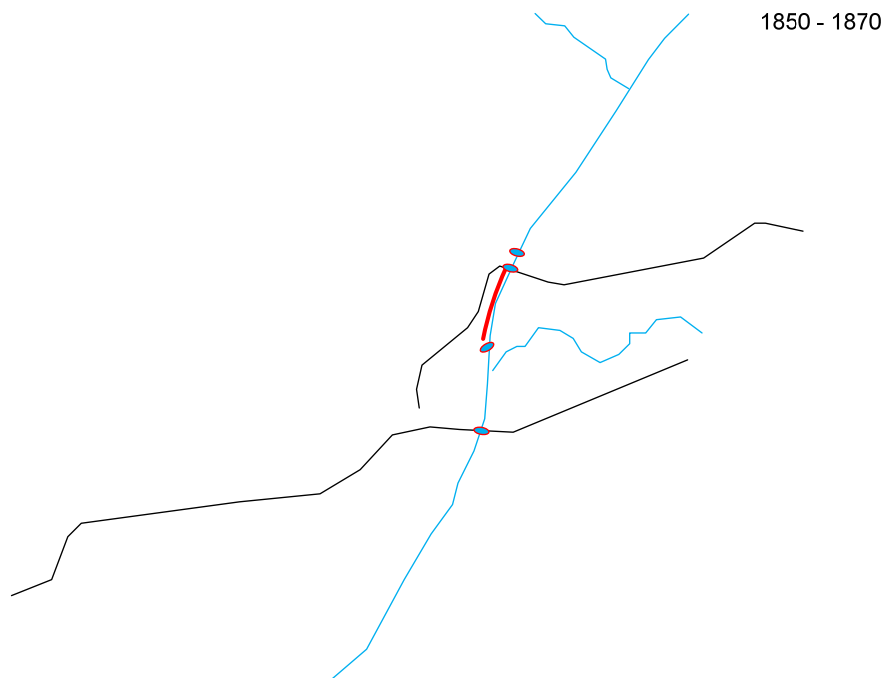


Figure 3 : Ouvrages actuels (cercles rouges) et zone d'enjeux actuelle (trait rouge) sur photo aérienne actuelle sur laquelle est reporté (aux incertitudes de report près) le réseau hydrographique de 1950.



**Figure 4 : Ouvrages actuels (cercles rouges) et zone d'enjeux actuelle (trait rouge) sur photo aérienne de 1950 sur laquelle est reporté le réseau hydrographique de 1950.**



**Figure 5 : Ouvrages actuels (cercles rouges) et zone d'enjeux actuelle (trait rouge) sur photo carte d'état-major (aux erreurs de report près) sur laquelle est reporté le réseau hydrographique et viaire de 1950.**



Fz



**Figure 6 : Extrait de la carte géologique montrant que la zone d'enjeux est localisée dans des alluvions quaternaires - holocène (Fz) et faciès caractéristique des terrasses (rive gauche) au droit du projet**

La divagation du lit mineur à l'échelle géologique paraît aussi peu marquée. L'analyse historique ne montre pas de tendance du Maravenne au méandrage. La présence d'alluvions quaternaires constitue un indice d'une zone inondable (au sens d'une approche hydrogéomorphologique, c'est-à-dire à une échelle de temps géologique) intégrant la zone d'enjeux.

### **2.2.1.2 Évolution du profil en long et équilibre sédimentaire**

La visite sur site sur le bief entre les 2 ponts par temps sec (lit asséché) nous a permis de constater que les sédiments du lit sont libres (absence d'armure), d'une granulométrie étendue.

Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette



**Figure 7 : Le Maravenne vu de l'aval (1<sup>ère</sup> photo) et de l'amont (2<sup>de</sup> photo) par temps sec**

Une rupture de pente matérialisée par un affleurement rocheux en rive gauche apparaît au milieu du bief.



**Figure 8 : Le Maravenne vu de l'amont par temps sec au droit de la rupture de pente et affleurement rocheux en rive gauche**

Le lit est alors tenu par une armure assez lâche dans une granulométrie toujours étendue.

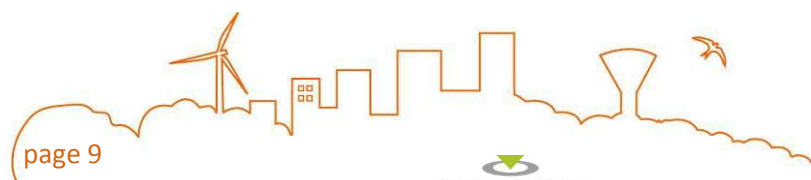


Une terrasse alluviale s'élevant environ 1m au-dessus du radier pince la section. Cette terrasse permet de « tenir » la berge rive droite, qui à cet endroit n'est pas directement menacée.



**Figure 9 : Terrasse alluviale en rive droite et berge « tenue »**

En amont du pont de la RD559A, des blocs de carrière (a priori provenant de la protection de berge rive gauche) s'étendent sur la largeur du lit, constituant une armure significative et bloquant toute évolution verticale du lit.





**Figure 10 : Vue vers l'aval du pont RD559A**

En rive gauche, sur le linéaire du bief, la berge est protégée simplement autour (sur quelques mètres en amont et en aval et au droit) des culées et piles. Entre les 2 ponts, la berge est naturelle et constituée d'un matériel sablonneux cohésif. Elle présente un profil érodé, notamment au droit des désordres rive gauche, avec des arbres menaçant de tomber. En aval de la rupture de pente, un affleurement rocheux supporte la berge rive droite.

À noter que ce faciès (« falaise » argileuse) peut présenter un habitat favorable à la nidification d'espèces cavernicoles (martin pêcheur).





Figure 11 : Parcours d'amont en aval de la berge rive droite entre les 2 ponts

En conclusion :

- Le Maravenne paraît en équilibre sédimentaire avec une respiration du lit de faible amplitude et une épaisseur de sédiment mobilisable (au sens où la capacité porteuse du terrain est potentiellement altérée) en crue de l'ordre de 2m et en l'absence de pavage (estimation selon la formule de Ramette), vraisemblablement moins de par la présence d'affleurements rocheux et de blocs.
- Le Maravenne ne paraît pas tendre naturellement vers le développement d'un méandre entre les 2 ponts. La divagation latérale semble donc limitée, le Maravenne tend à conserver un tracé relativement rectiligne.
- Les berges rive droite et gauche sont érodables en l'absence de protection car constituées de matériel sablo-argileux (voire une niche sableuse en rive gauche). Les 2 berges ont été érodées lors des crues de 2014. La berge rive gauche est partiellement (sur la moitié aval du tronçon) tenue par un affleurement rocheux. Une terrasse alluviale permet de tenir un linéaire de berge rive droite (20-30m).

En termes de protection de berge, il ressort de cette analyse hydromorphologique que le lit doit rester le plus libre possible en termes de capacité d'érosion et de divagation (même si celle-ci est limitée, elle reste effective). Si la berge rive droite est sécurisée, alors le lit et la berge rive gauche doivent pouvoir s'éroder afin de maintenir la transparence du transport solide et pour ne pas concentrer les flux (et les sollicitations), ni augmenter les vitesses d'écoulement, les profondeurs d'affouillement, y compris au droit des piles et culées, et pour conserver une dynamique alluviale naturelle.

### 2.2.2 APPROCHE LOCALE

Dans ce qui suit, les numéros encadrés [X] font références aux photographies visibles aux pages suivantes.

L'habitation de la famille Fromentin, située en rive droite du Maravenne [1 ;2], est dangereusement menacée par l'érosion des berges qui la supporte.

Un fossé d'eau pluviale longe la propriété sur sa limite nord [3]. Les talus du terrain se sont également effondrés et ont réduit la taille du terrain de ladite propriété.

Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette

Lors de la crue de janvier 2014, l'érosion a été significative et a commencé à sous-caver un cabanon présent sur la propriété.



La veine d'écoulement en sortie de fossé tend à perturber les flux dans le Maravenne et à favoriser l'érosion de sa berge rive droite



Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette

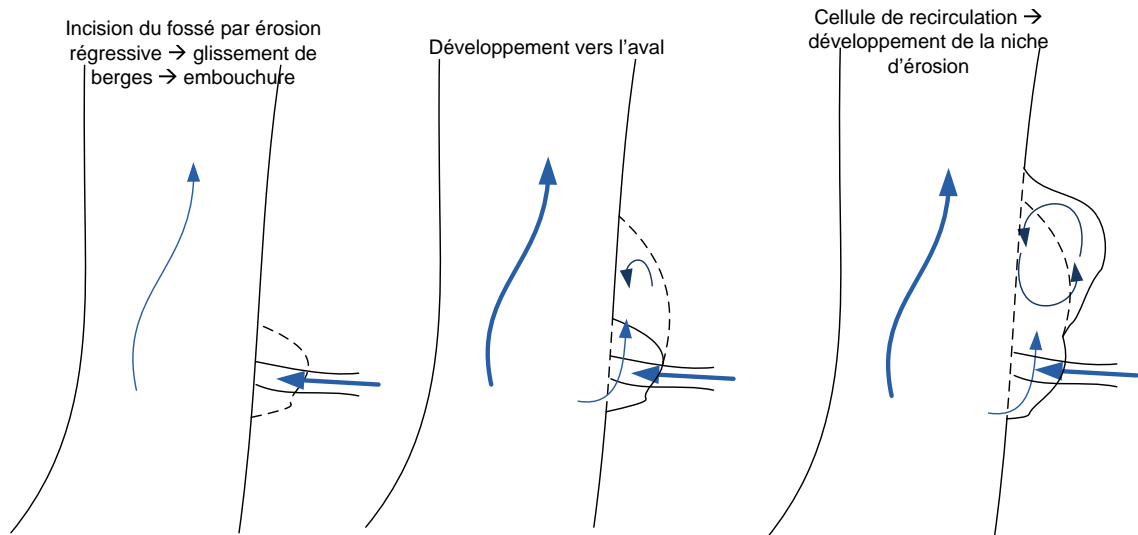


Au vu de la configuration du site, l'érosion est favorisée par différents facteurs cumulatifs (et non s'opposant) :

- Le fossé pluvial est creusé dans le terrain en place, végétalisé mais non « armé » par des apports solides. La pente du fossé pluvial étant suffisamment forte et le terrain relativement meuble, le lit du fossé s'incise par érosion régressive (de l'aval vers l'amont), même avec un débit modeste dans le fossé. L'incision par l'aval déstabilise les berges rives gauche et droite du fossé à l'embouchure du Maravenne.
- Au niveau de la confluence du fossé et du Maravenne, deux phénomènes peuvent se produire selon l'intensité des crues du Maravenne (niveau dans le cours d'eau au droit de la confluence).
  - o Si le Maravenne est bas (il ne contrôle pas les écoulements du fossé), les flux d'écoulement en sortie du fossé ont tendance à éroder la rive droite du Maravenne.
  - o Si le Maravenne est haut, le flux conjugué du Maravenne et du fossé dans l'embouchure alimente une cellule de recirculation.
- Les talus en présence sont très raides, en limite de stabilité qui diminue avec la saturation des sols. Ainsi, une érosion même légère des pieds de talus les déstabilise et entraîne un glissement de ceux-ci (glissement par sapement en pied). Des pans entiers de talus peuvent glisser brutalement dans le lit du fossé ou du Maravenne. La saturation des talus en eau (due à leur immersion dans le Maravenne et aux précipitations) contribue au processus de glissement. Le terrain montre la présence de réseaux hydriques et de gaines ; une fuite dans l'un de ces réseaux peut aussi générer des poches de sols saturés qui, mise à nu par un recul de berge peuvent augmenter significativement la niche de glissement.

Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette

Suite à la crue de janvier 2014, l'action conjuguée du fossé et du Maravenne a généré un élargissement ponctuel dans le lit du Maravenne au coin du cabanon [4]. Cet élargissement favorisait le développement d'une zone de recirculation en son pied, et ainsi d'érosion. Lors de la crue des 25, 26 et 27 novembre 2014, l'érosion se poursuit entraînant l'effondrement du cabanon. La chute du cabanon dans le Maravenne a entraîné une grande quantité de terre, recréant ainsi la même configuration que précédemment, à savoir l'existence d'un angle en rive droite du Maravenne.



L'érosion s'est donc poursuivie en rive droite du Maravenne, et menace maintenant les fondations du bâtiment en dur de la propriété (voir ci-dessous).





Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette

La dynamique alluviale du Maravenne et du fossé pluvial engagée conduira naturellement et sans intervention, au gré des crues successives, à un possible méandrage de la rivière.

L'origine du processus local d'érosion est donc dû à la fois à l'incision du lit du fossé et au développement de son embouchure. Ensuite le Maravenne attaque la berge fragilisée au gré des crues.

## 2.3 SOLUTIONS ENVISAGÉES

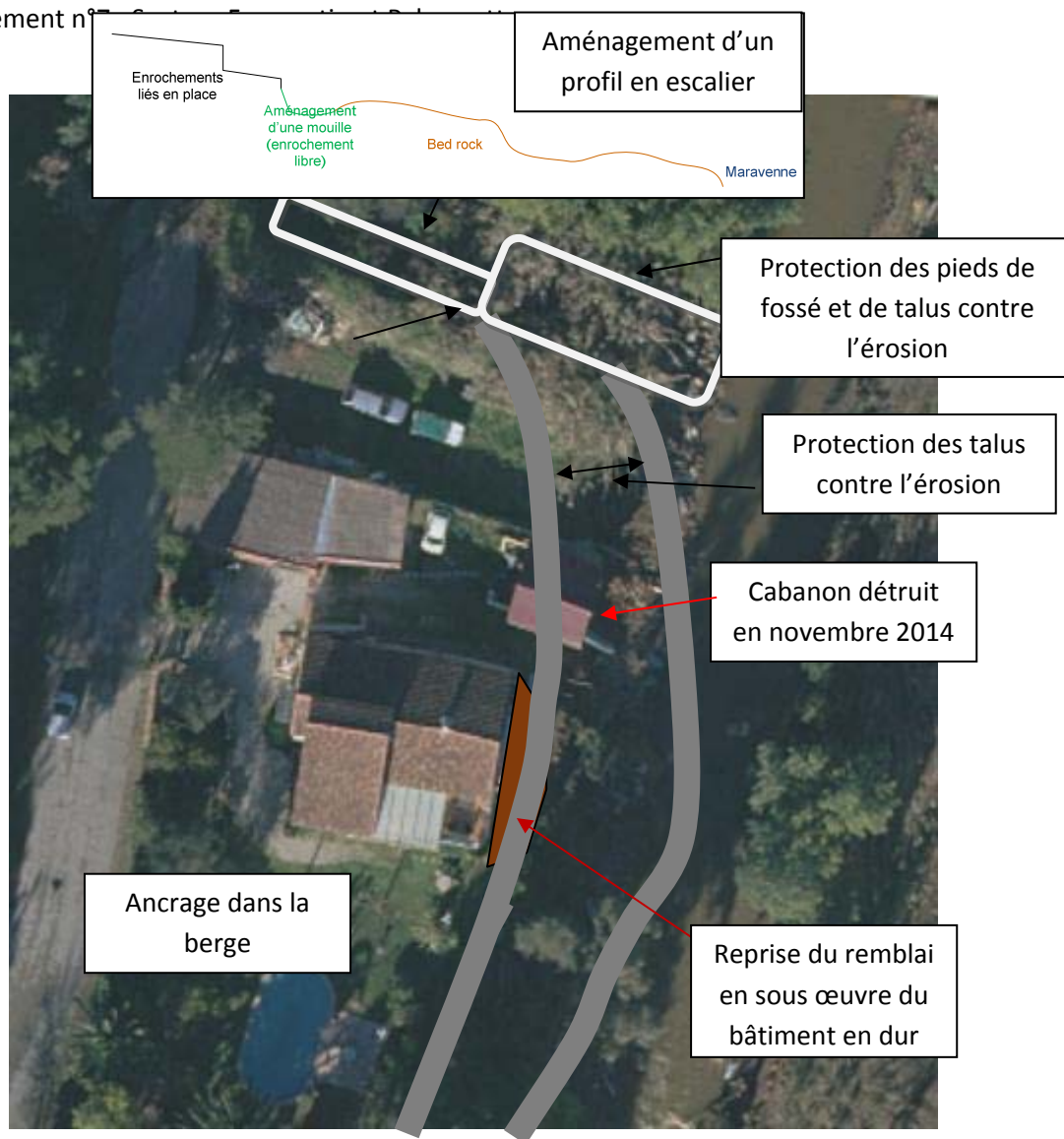
### 2.3.1 PRINCIPES DE PROTECTION DU BIEN PRIVÉ

Pour préserver le bâtiment en dur, il convient (voir le schéma ci-après) :

- de conforter ses fondations en rétablissant un talus en terre stable (impliquant une reprise en sous œuvre du terrain porteur) ;
- d'empêcher l'érosion de ce talus en pied. À noter que l'érosion doit être stoppée de la berge rive droite du Maravenne jusqu'au fossé pluvial inclus, sinon les protections mises en places pourraient être contournées par l'érosion au niveau des zones laissées meubles. Le profil du fossé pluvial à proprement parler doit être aménagé en escalier pour garantir la stabilité de son profil en long, briser les vitesses d'écoulements et réduire la taille des protections à mettre en œuvre. Le pied du fossé pluvial avant la confluence avec le Maravenne doit également être aménagé pour éviter le sapement des autres protections mises en œuvre.

**On note que le terrain "libre" au droit de la maison Fromentin (entre la maison et la berge), ne pourra pas excéder 1 mètre de large.**

Aménagement n°

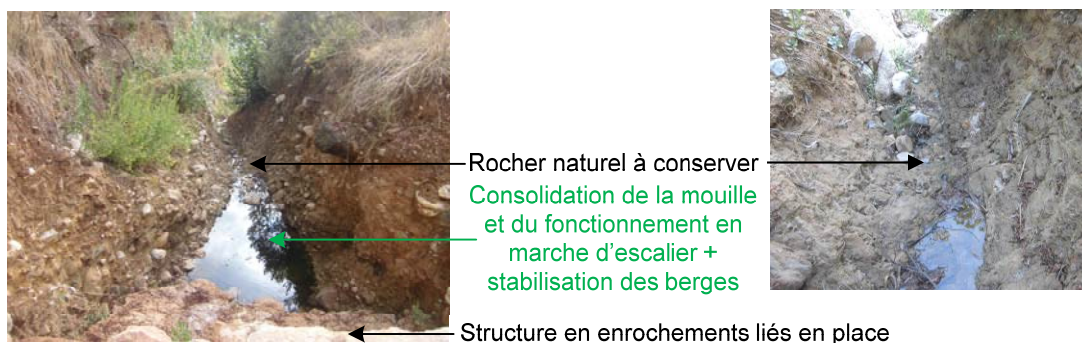


**Figure 12 : Photo aérienne prise après la crue de janvier 2014 (l'érosion a nettement progressé depuis)**

Le fossé pourra s'orienter plus favorablement dans le Maravenne afin de limiter l'ampleur d'une cellule de recirculation et les écoulements dans le fossé.

Il conviendra de s'appuyer sur le « bedrock » en place afin d'ancrer la structure actuelle en enrochements liaisonnés.

Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette



Les berges seront couchées pour tenir les sollicitations du rejet en marches d'escalier.

### 2.3.2 DIMENSIONNEMENT

Que ce soit pour les crues de novembre 2014, de janvier 2014, voire pour une crue centennale, les vitesses moyennes dans le Maravenne au droit de la propriété sont de l'ordre de 4 m/s. Cette vitesse varie peu selon les crues car le niveau d'eau est fortement influencé par la contraction au droit du pont au niveau de l'entreprise Sottal.

Concernant les vitesses au pied du fossé pluvial, il est difficile de les déterminer sans étudier dans le détail le réseau drainé par ce fossé. Néanmoins, au vu des érosions en tête de fossé (alors que les conditions d'écoulement doivent être proche d'un régime critique), il a été évalué, sur la base d'une section de fossé avec érosion (et écoulements) de 1.5 m de large et de 0.5 m de hauteur mouillée, un débit pour les phénomènes historiques de l'ordre de 1.5 m<sup>3</sup>/s. Pour ce débit, les vitesses en pied du fossé actuel peuvent atteindre 6 m/s, ce qui explique l'intensité des érosions constatées.

La mise en place d'un profil en long en escalier permet de maîtriser ces vitesses à 4 m/s et à les rendre homogènes avec les vitesses dans le Maravenne.

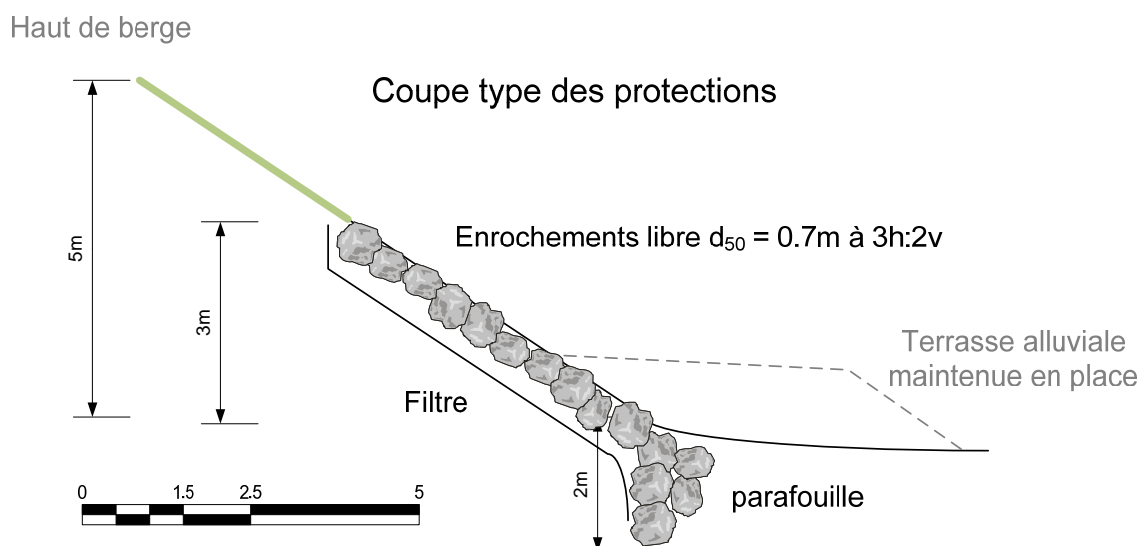
Des vitesses de cet ordre correspondent aux limites hautes auxquelles résistent des protections de type gabions ou matelas Reno. Par ailleurs, la mise en place d'enrochements présente les avantages suivants par rapport à la mise en place de gabions ou d'enrochements liaisonnés :

- en cas d'incision du lit, une protection en enrochements libre résiste mieux (autoréparation) ;
- si nécessaire, la réparation d'un dispositif en enrochements libre (recharge) est bien plus simple que celle de gabions.

De plus, la connexion du fossé en escalier au Maravenne s'appuiera sur le rocher naturel en place qui offre naturellement un profil en escalier.

## Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette

Afin de stabiliser les talus et de limiter la dimension de ces enrochements, **une reprise des pentes des talus est nécessaire, avec pour objectif une pente de talus de 3H pour 2V** (pas de modification significative du fruit naturel en place). Dans ces conditions, **les enrochements à mettre en place doivent avoir un  $d_{50}$  supérieur à 0.7 m**. Sur les talus, ces enrochements doivent être imbriqués les uns dans les autres. Les enrochements doivent impérativement être posés sur un filtre minéral (complété au besoin par une membrane anti poinçonnement / anti contaminant), sans quoi le terrain meuble continuera une érosion par migration des fines (pouvant conduire à un glissement des protections). Au fond du fossé pluvial, les enrochements peuvent être posés librement sur un lit de grave ; ils favoriseront ainsi le ralentissement des eaux dans le fossé. Une protection des pieds de berges n'est pas nécessaire sur toute la hauteur des berges ; protéger 3 m en pied de berge suffit. Par contre, il est indispensable de prévoir sur le Maravenne une semelle de 2 m de profondeur en pied de berge afin que les enrochements mis en place ne soient pas sapés par l'incision du lit.



**Figure 13 : Schéma de principe des protections de berge avec ou sans terrasse alluviale**

La protection des berges en rive droite n'est pas nécessaire jusqu'en tête de talus. Les hauteurs d'eau correspondant à de fortes sollicitations hydrauliques se limitent à 3m par rapport au lit actuel. Au-delà de cette hauteur, les déversements en rive gauche limitent l'augmentation des sollicitations en rive gauche.

La tranche haute du talus rive droite (au-dessus de la ligne d'enrochement) sera végétalisée pour éviter la propagation de la canne de Provence tout en résistant aux sollicitations (ravinement et écoulements).

Les protections de berge en limite aval se poursuivent jusqu'à se connecter à la protection en enrochement libre du pont aval. Elles doivent s'ancre dans le terrain en place pour assurer une continuité de la berge (liaison point dur – berge meuble).

Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette

Les protections de berge en place partiellement altérées sont remplacées par les protections projetées afin de garantir la continuité. Le dénivelé vertical est rattrapé (berge à 3 :2) par un recul du haut de berge. Par contre, la terrasse alluviale est maintenue en l'état, la ligne de protection suit le profil de berge.



Figure 14 : Protection en place (altérée) sur la terrasse alluviale

### Schéma d'implantation des aménagements

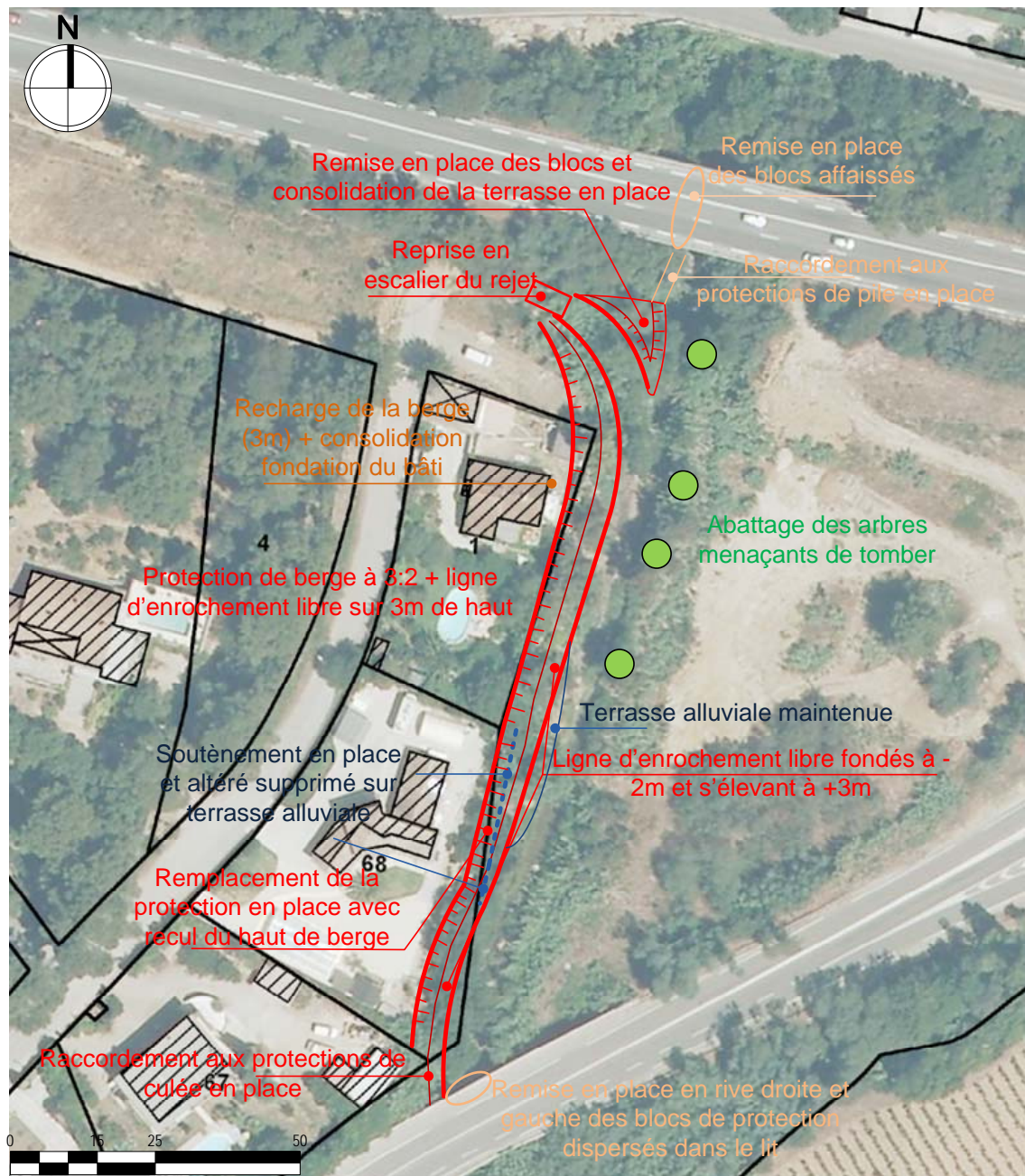


Figure 15 : Schéma d'implantation des mesures (en rouge : les mesures nécessaires à la rive droite; en orange, les mesures liées à l'entretien des ponts)

**Important :** L'état du bâtiment en dur a pu être dégradé par la mise à nu de ses fondations. La reprise du talus contre ce bâtiment peut aussi dégrader l'état du bâtiment (vibration ; apparition de fissures). Une analyse complémentaire du bâtiment est indispensable pour s'assurer de le préserver dans un état satisfaisant lors de la réalisation des travaux.

### 2.3.3 ESTIMATION SOMMAIRE DU CHIFFRAGE DES TRAVAUX

	unité	Prix unitaire	Quantité	montant
F&P Enrochements de berges + filtre minéral + géotextile	m <sup>2</sup>	130 €	510	66'300 €
Semelles	m3	110 €	280	30'800 €
Protection fossé	m <sup>2</sup>	110 €	160	17'600 €
Reprise talus	m3	20 €	880	17'600 €
Aménagement haut de berge	m2	60 €	280	16'800 €
Remise en état réseaux	ft	5'000 €	1	5'000 €
Abattage	u	800 €	4	3'200 €
Déviations provisoires	ml	150 €	70	10'500 €
Accès rivière	ml	250 €	20	5'000 €
<b>Total</b>				<b>172'800 €</b>
Amenée repli	5%			8'640 €
Aléa + divers	40%			69'120 €
Total avec Aléas				242'000 €
TVA	20%			48'400 €
<b>total TTC</b>				<b>290'400 €</b>

Non comptabilisé

Réparation des protections des ponts amont et aval	m3	25 €	60	1'500 €
--	----	------	----	---------

Attention : les aléas et divers doivent être précisés avec des éléments complémentaires :

- **Reprise en sous-œuvre du bâtiment** : étude structurelle du bâtiment et géotechnique En cas de problématiques liées à la tenue du bâtiment aux travaux (compactage ; dégâts déjà constatés) les aléas et surcoûts engendrés pourront changer grandement.
- Travaux en eau, déviation provisoire (big bags).
- Accès chantier, base vie et zone de stockage temporaire entre la maison et le fossé pluvial. Une vérification foncière est requise.
- Remise en état des réseaux (il est supposé quelques réseaux pluviaux et AEP). Vérification de présence de réseau et fosse septique / épandage.
- Foncier et autorisations.
- Il est supposé que
  - la zone d'emprunt des apports de terre est à proximité immédiate et sans frais significatifs,
  - la zone d'emprunt des blocs de carrière (enrochements) se situe dans un rayon de proche (20km).
- Travaux d'embellissement (plantation, clôture...).

### 2.3.4 RÉGLEMENTATION DES TRAVAUX

Les travaux en question doivent faire l'objet d'un dossier loi sur l'eau d'autorisation traitant les rubriques suivantes :

- 3.1.1.0 : remblai dans le lit mineur d'un cours d'eau constituant un obstacle aux écoulements (dossier d'autorisation demandé) ;
- 3.1.2.0 : modification du profil en travers ;
- 3.1.4.0 : protection de berges par des techniques autres que végétales sur une longueur comprise supérieure à 20 m mais inférieure à 200 m (dossier de déclaration demandé). Attention, le linéaire de berge approche 140ml.

Il conviendra donc d'étudier l'incidence hydraulique de la réduction de section au droit de l'habitation de Mr et Mme Fromentin et de compenser cette incidence s'il y en a une.

L'application de la rubrique 3.2.2.0 (remblai en lit majeur) faisant l'objet de mesures compensatoires doit être discutée avec les services instructeurs.

Ces aménagements revêtant un caractère urgent, une procédure adaptée peut être appliquée en accord avec les services instructeurs.



### 3 RISQUE D'ÉROSION LIÉ À LA CONFLUENCE DU COURS D'EAU DU SECTEUR PABOURETTE

Le secteur de Pabourette est situé à proximité du secteur Fromentin. Ce secteur draine un affluent rive gauche du Maravenne. Ce chapitre a pour objectif de vérifier la compatibilité des aménagements envisagés sur le secteur « Fromentin » vis-à-vis de l'exutoire de ce cours d'eau.

L'analyse porte ainsi sur la définition du fonctionnement du cours d'eau et les dysfonctionnements constatés suite aux crues de 2014.

#### 3.1 LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

Sur le secteur Pabourette, l'affluent du Maravenne a un fonctionnement particulier. En effet on note la présence d'une défluence en amont de la RD98.

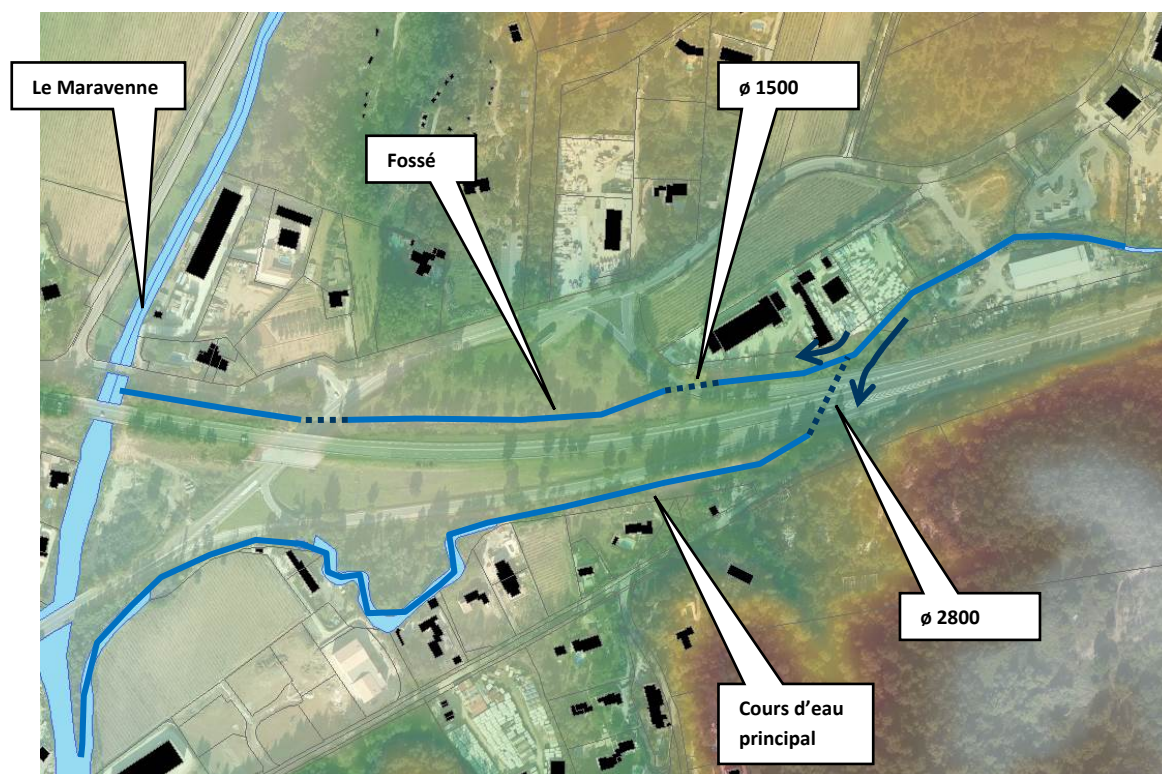


Figure 16 : Réseau hydrographique du secteur Pabourette

Les caractéristiques des ouvrages de franchissement de la RD98 (et de sa bretelle) sont les suivants :

- Franchissement RD98

Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette

- Conduite Acier en tôle ondulée (ARMCO),
- Diamètre 2800mm,
- Pente : entre 0.5 et 1% (estimé à partir du LIDAR à préciser).
- Franchissement bretelle
  - Conduite béton,
  - Diamètre 1500mm,
  - Pente 0.9% (topo CG).

### 3.2 CONSTAT SUITE AUX CRUES DE 2014

En 2014, le secteur de Pabourette a été fortement inondé. On note que les conduites de franchissement, et notamment la buse ARMCO  $\varnothing 2800$ , ont été bouchées pendant la crue (bateau bloqué en amont).

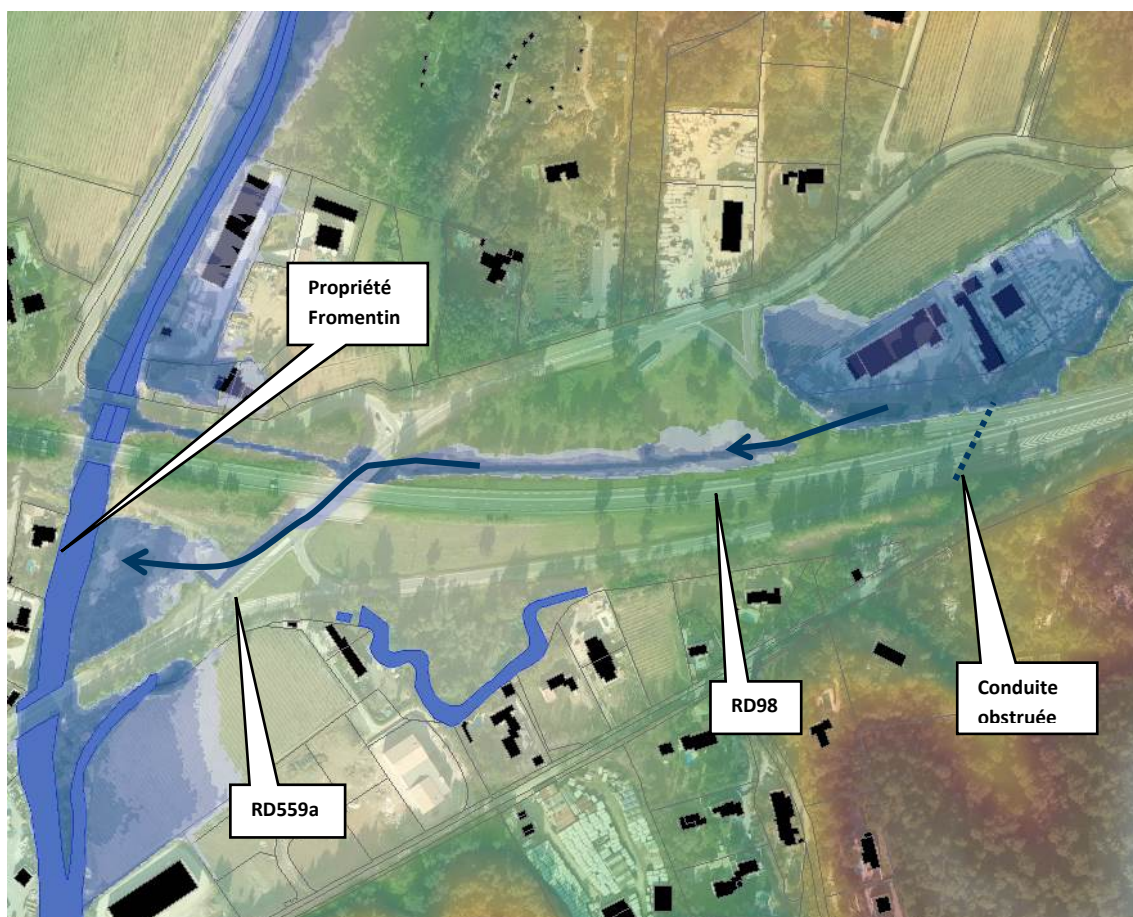


Figure 17 : Fonctionnement lors de la crue de 2014

Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette

L'obstruction de la conduite ARMCO a bloqué les écoulements au nord de la RD98. Au niveau du passage routier de la RD559a sous la RD98, les eaux ont principalement suivi la RD559a. L'exutoire du cours d'eau dans le Maravenne s'est donc positionné au droit de la propriété Fromentin après diffusion dans la Zone d'Expansion des Crues.

**Ce point de rejet n'est pas favorable vis-à-vis de l'érosion des berges constatée sur ce secteur.**

**L'axe d'écoulement emprunté n'est pas dimensionné pour supporter les sollicitations hydrauliques associées au plein débit des crues**

### 3.3 DONNÉES HYDROLOGIQUES

Au droit de la RD98, le bassin versant intercepté est de l'ordre de 250ha.

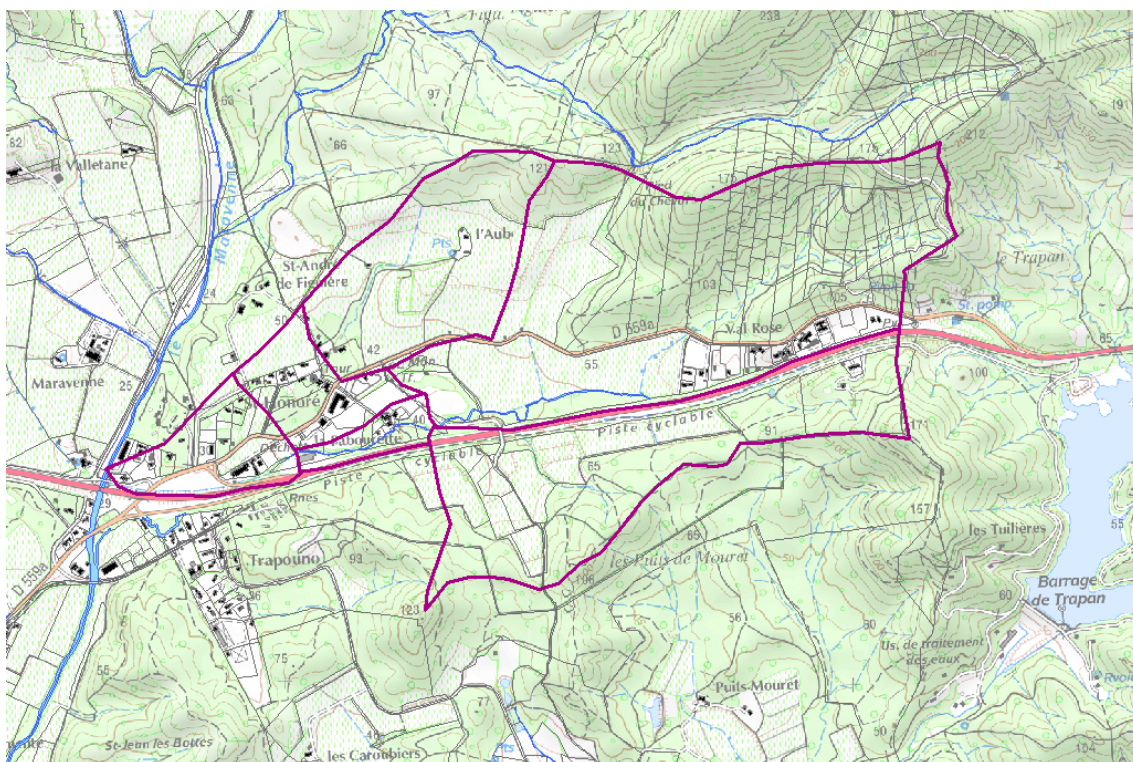


Figure 18 : Bassin versant du secteur Pabourette

Les débits générés pour différentes occurrences sont synthétisés dans le tableau suivant :

	Janvier 2014	Nov 2014	P2	P5	P10	P20	P30	P50	P100
<b>Débit de crue (m3/s)</b>	27	30	10	15	19	23	27	30	35

### 3.4 CAPACITÉ DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Les capacités des ouvrages de franchissement de la RD98 sont estimées à l'aide de la formule de Manning Strickler et en supposant une section critique à l'entonnement :

- Conduite  $\varnothing 2800$  :
  - $Q_c = 22 - 30 \text{ m}^3/\text{s}$
- Conduite  $\varnothing 1500$  :
  - $Q_c = 4-5 \text{ m}^3/\text{s}$

Les conduites permettent le transit de débits importants (janvier 2014). L'embâcle des ouvrages est donc la raison principale :

- des inondations importantes de 2014 en amont de la bretelle de la RD98 ;
- du report de l'exutoire du cours d'eau de Pabourette dans le Maravenne au droit de la propriété Fromentin.

Le déroulement de la crue de 2014, où la quasi-totalité des débits est dirigée vers l'ouest (au nord de la RD98) est lié à un dysfonctionnement du réseau hydrographique.

En fonctionnement normal, les eaux traversent la RD98 et longent la RD559a par le sud.

### 3.5 AMÉNAGEMENT CG83 EN COURS

Le CG est en train de réaménager l'accès au niveau de la bretelle (remplacé par un rond-point).

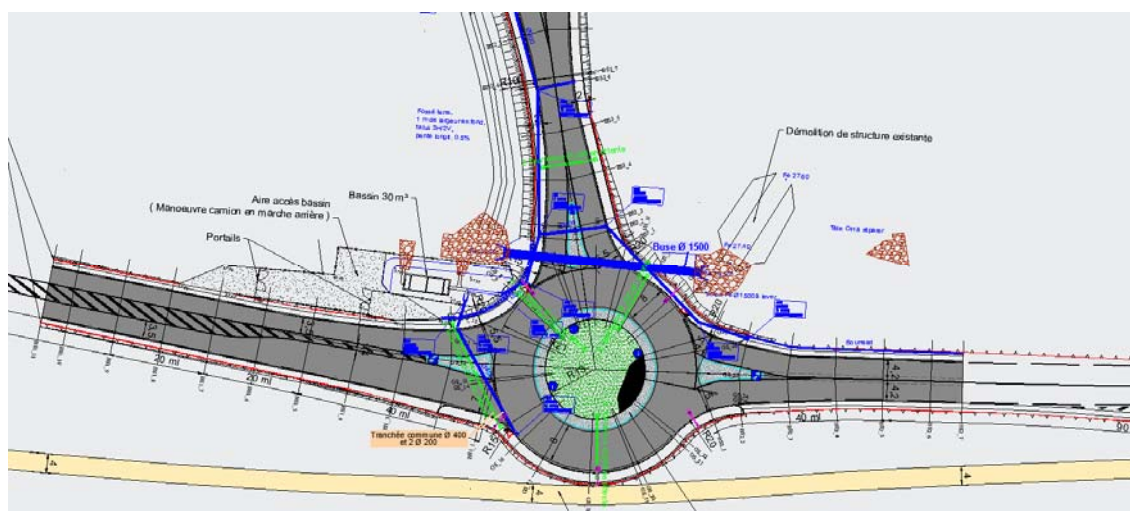


Figure 19 : Projet CG de réaménagement de l'accès

Aménagement n°7 : Secteur Fromentin et Pabourette

On note que l'ouvrage de franchissement de la bretelle (ARMCO  $\varnothing$ 1500) est remplacé par une buse  $\varnothing$ 1500.

La capacité de l'ouvrage de franchissement est donc conservée (à condition que la pente d'écoulement soit maintenue) pour un fonctionnement normal de la conduite ARMCO  $\varnothing$ 2800. Le fonctionnement sans défaillance est donc conservé, similaire à l'état actuel.

En cas de défaillance de la conduite ARMCO, la nouvelle conduite  $\varnothing$ 1500 aurait un fonctionnement équivalent à l'ouvrage existant. En revanche, la bretelle joue actuellement le rôle de seuil en cas de niveau d'eau important en amont. Il est donc nécessaire que le profil fini de la voirie projetée soit à un niveau équivalent au niveau de la bretelle actuelle pour garantir une surverse équivalente.

**À retenir : les éléments suivants restent à vérifier pour garantir la « non aggravation » du projet du CG :**

- **Pente de la conduite  $\varnothing$ 1500 équivalente à la conduite actuelle ;**
- **Profil de la voirie nord du rond-point à une altimétrie équivalente à celle de la bretelle actuelle pour garantir une surverse similaire à l'état actuel et ne pas augmenter les débits déversés vers l'est (en direction du secteur Fromentin).**

## 3.6 AMÉNAGEMENTS À PRÉVOIR

### 3.6.1 PIÈGE ANTI EMBÂCLE

L'expérience des crues de 2014, nous indique que le dysfonctionnement de la conduite ARMCO  $\varnothing$ 2800 a un impact prépondérant sur le fonctionnement hydraulique du secteur, notamment sur le point de rejet du cours d'eau du secteur Pabourette dans le Maravenne qui se trouve alors face à la propriété Fromentin et aux berges à conforter. Il est donc essentiel de s'assurer de la « non obstruction » de la conduite.

Ainsi, il est préconisé d'installer un piège à embâcle en amont de la conduite ARMCO. Cette mesure est d'autant plus nécessaire que l'activité économique en amont immédiat de la buse est génératrice d'embâcles.

**Le montant d'un tel ouvrage est estimé à 20 000 € HT.**

Il est soumis à la loi sur l'eau (R214-1 du Code de l'environnement) au titre de la rubrique 3.1.1.0. *Installations, ouvrages, remblais et épis, dans le lit mineur d'un cours d'eau, constituant un obstacle à l'écoulement des crues (A).*



Figure 20 : Exemple de piège à embâcle

Ce type d'ouvrage en poutres verticales est préférable à une grille en appui sur la route au vu de la nature des embâcles (massifs) en jeu.

### 3.6.2 CANALISATION DES EAUX

Afin de s'assurer une meilleure capacité du réseau hydrographique du secteur, la dilatation des fossés paraît nécessaire. Dans le tableau suivant sont proposés différentes dimensions de fossé (trapézoïdal en terre). La pente minimale à respecter pour la mise en œuvre de ces ouvrages est de 1%. Les dimensions et la capacité sont données dans le tableau suivant :

« largeur en gueule » x « largeurs en fond » x « hauteur »

<b>Fossé trapézoïdal en terre</b>	3x1x1 <sup>v</sup>	3.5x1.5x1 <sup>v</sup>	4x2x1 <sup>v</sup>	4.5x2.5x1 <sup>v</sup>	5.5x2.5x1.5	6x3x1.5
<b>Débit capable</b>	3.2	4.3	5.4	6.6	13.8	16
<b>Occurrence de protection</b>	<T2	<T2	<T2	<T2	Entre 2 et 5 ans	5 ans

Les dimensions actuelles du cours d'eau ne sont pas connues exactement. Elles sont estimées à 3m de large (soit un débit capable de l'ordre de 3m<sup>3</sup>/s). Le doublement du fossé (largeur de 6m) permet de porter la capacité de celui-ci à 16m<sup>3</sup>/s (soit 5 fois supérieur à l'état actuel). La réalisation de ce recalibrage (doublement de la largeur) permet de limiter fortement la fréquence des débordements du cours d'eau.

# AMÉNAGEMENTS\_N°8 : AMÉNAGEMENT ROUTE DE VALCROS



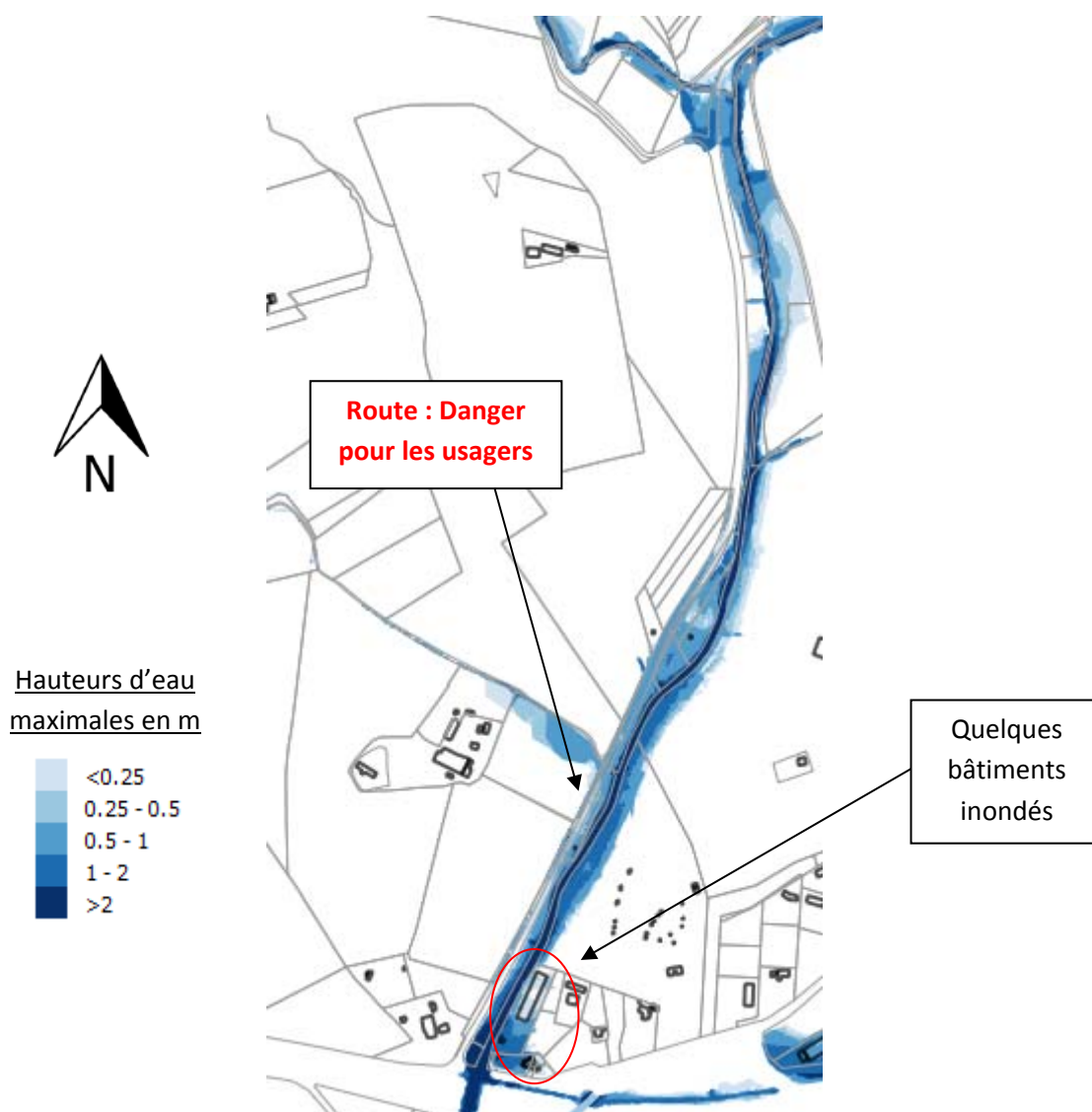




# Aménagements n°8 :

## Route de Valcros

### 1 ENJEUX

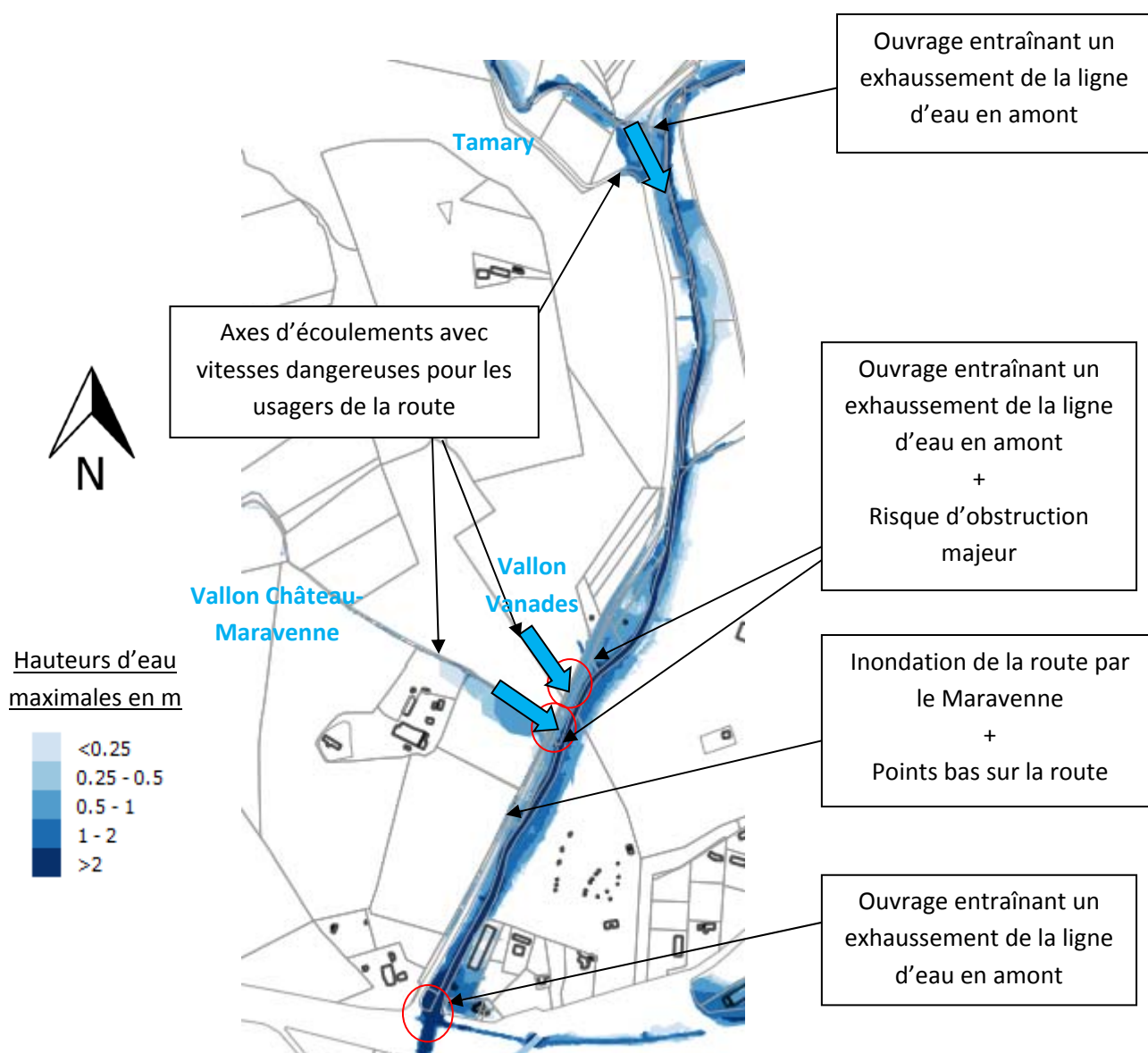


Route de Valcros : Hauteurs d'eau pour la crue du 19 janvier 2014

L'enjeu majeur sur ce secteur est de garantir la sécurité des personnes. En effet, cette route a été le lieu d'accidents mortels en janvier et en novembre 2014. Il convient de sécuriser le trafic routier sur le secteur.

## 2 PHÉNOMÈNES HYDRAULIQUES

Note : Les noms de « Vallon des Vanades » et « Vallon Château –Maravenne » sont des noms fixés pour faciliter la lecture du document. Ils ne correspondent pas à une appellation reconnue pour ces cours d'eau qui ne sont pas nommés sur les cartes publiques.



## 3 PRINCIPES D'AMÉNAGEMENTS

L'enjeu principal sur le secteur est d'éviter que des usagers de la route soient bloqués ou emportés par les eaux. Trois axes de réflexion ont donc été explorés sur le secteur :

1. La maîtrise du Maravenne et des *hauteurs d'eau* sur la route afin d'empêcher l'immobilisation des véhicules ;
2. La maîtrise des *vitesses d'écoulements* sur la route susceptibles de déporter des véhicules, ce qui revient à maîtriser les débordements des affluents rive droite du Maravenne ;
3. La maîtrise du trafic routier en lui-même.

### 3.1 INONDABILITÉ DE LA ROUTE PAR LE MARAVENNE

Le Maravenne inonde la route dès une crue décennale. 3 facteurs favorisent ces débordements :

1. Les deux ponts en aval qui génèrent un exhaussement de la ligne d'eau ;

L'effet des ouvrages aval sur la ligne d'eau reste modéré. Surtout, il n'impacte pas la ligne d'eau à la confluence du Maravenne avec ses affluents rive droite. Ainsi, la reprise de ces ouvrages n'aiderait que peu à solutionner les problèmes sur le secteur pour un coût élevé.

2. La section intrinsèque du Maravenne ;

Il est possible de décaisser la bande de terre en rive droite du Maravenne pour augmenter significativement sa section et ainsi baisser les niveaux d'eau en amont. Cette possibilité-là existe sur l'intégralité du secteur. La baisse des niveaux d'eau engendrée diminuerait l'engorgement des affluents par l'aval et faciliterait leur évacuation. Il s'agit d'un aménagement de réalisation facile apportant une amélioration importante de la situation.

3. La topographie de la route qui descend plus bas localement.

La route peut être surélevée pour limiter sa submersion par le Maravenne. Elle constituerait alors un obstacle plus important à l'écoulement des affluents en rive droite du Maravenne. Un tel aménagement doit donc s'accompagner de modifications sur les affluents en rive droite du Maravenne.

## 3.2 MAÎTRISE DES AFFLUENTS

### 3.2.1 VALLONS DES VANADES ET DU CHÂTEAU-MARAVENNE

La dangerosité de ces vallons provient de la topographie pentue de leurs lits mineur et majeur. Les vitesses élevées de ces vallons charrient une grande quantité de boue et sont capables de déporter les véhicules des usagers de la route lorsque celle-ci est submergée.

Ce phénomène est aggravé par la configuration des ouvrages de franchissement de la route. En effet, sont ceux-ci sont :

- de dimensions insuffisantes ;
- non orientés dans l'axe des écoulements. Les écoulements butent de part et d'autre des ouvrages, ce qui implique une forte perte d'énergie, une baisse des débits et des vitesses dans les ouvrages et donc une submersion plus fréquente de la route ;
- sujets à s'obstruer du fait des éléments susmentionnés. En effet, le ralentissement marqué des vitesses favorisent les dépôts de matériaux à l'entrée des ouvrages, les rendant inutiles.

Lorsqu'en plus le Maravenne est en crue, il submerge l'aval des ouvrages de franchissement (voir la route) ce qui aggrave encore ces phénomènes.

Il conviendrait donc, pour maîtriser ces affluents, de reprendre entièrement les ouvrages de franchissement sous la route, soit : mettre en place pour chacun des deux vallons un ouvrage plus grand orienté dans l'axe des écoulements.

Installer plusieurs petites buses plutôt qu'une grande présente deux inconvénients : les eaux sont bien plus ralenties à l'entrée des buses, le risque d'obstruction et l'entretien subséquent sont bien plus importants.

Au vu de l'orientation oblique du vallon des Vanades par rapport à la route, il est nécessaire de mieux orienter les écoulements perpendiculairement à la route en retravaillant le lit du vallon en amont de son ouvrage de franchissement.

Remarque : La topographie des bassins versants des vallons n'est pas propice à la création de rétentions d'un volume suffisant pour avoir un effet significatif pour des crues similaires à celles de 2014.

### **3.2.2 VALLONS DU TAMARY**

L'ouvrage de franchissement du vallon du Tamary est peu sujet aux embâcles.

Deux solutions sont envisageables pour maîtriser les écoulements :

- remplacer le pont existant sur la route par un pont de portée plus importante, plus recalibrer le lit pour éviter tout débordement en amont de ce nouvel ouvrage ;
- créer un bras supplémentaire en rive droite du bras existant (là où le Tamary a débordé en 2014) plus un nouvel ouvrage de franchissement sur la route.

La deuxième solution est plus économique à réaliser hors coûts fonciers, mais nécessite un entretien plus conséquent en cas d'années sèches successives (car alors le bras inactif du vallon se végétalisera et deviendra bien moins efficace).

## **3.3 MAÎTRISE DU TRAFIC ROUTIER**

S'il est possible d'aménager le Maravanne et/ou ses affluents pour réduire le risque d'accident sur la route, il pourra toujours survenir une crue plus forte que la crue de dimensionnement de ces aménagements. Il est même probable que la réalisation de ces aménagements instille un sentiment illusoire de sécurité qui conduirait les usagers de la route à l'emprunter malgré un danger bien réel.

Ainsi, le plus sûr pour sécuriser la route consiste à stopper le trafic en cas de crue significative. Des dispositifs automatiques peuvent être mis en place (barrières). La défaillance de ces dispositifs doit également être prévenue pour les évènements les plus graves par une intervention humaine sans prise de risque.

## 4 AMÉNAGEMENT CONSEILLÉ

Au vu des risques pour les personnes, quels que soient les aménagements réalisés, **il est indispensable de mettre en place un dispositif de fermeture de la route de Valcros lors des crues.**

En sus de ce dispositif, malgré l'absence de fort enjeu pour les biens, les aménagements que nous préconisons pour mettre hors d'eau la route sont, par ordre de priorité décroissante :

1. Création d'une risberme sur le Maravenne d'au moins 15 m de long, de la confluence avec le Tamary jusqu'au pont en aval ;
2. Reprise des ouvrages de franchissement des vallons des Vanades et du Château-Maravenne.

Les débits à gérer sont les suivants :

	Débit de pointe janvier (m <sup>3</sup> /s)	Débit de pointe novembre (m <sup>3</sup> /s)
Vallon des Vanades	6.5	7.4
Vallon Château-Maravenne	8	8.8

Sur les deux vallons, la mise en place de buse de 2.5 m de diamètre avec une pente d'au moins 3 % est nécessaire pour gérer ces débits.

Ces ouvrages seront noyés par le Maravenne en crue, mais leur grand dimensionnement permet l'évacuation du débit amont malgré cette contrainte aval.

3. Reprise de l'ouvrage de franchissement du vallon du Tamary plus élargissement de la section amont.

Les débits à gérer sont de :

- 100 m<sup>3</sup>/s pour la crue de janvier 2014 ;
- 125 m<sup>3</sup>/s pour la crue de novembre 2014.

La portée du pont à prévoir pour empêcher les débordements jusqu'à une crue de type novembre 2014 est de 25 m.

## 5 CONCLUSION

Au vu de l'absence d'enjeux matériels et des coûts importants investir pour réaliser les ouvrages, nous conseillons de mettre en place un dispositif de fermeture de la route en crue pour protéger les personnes, mais de ne pas reprendre les ouvrages de franchissement des trois vallons.

La création d'une risberme sur le Maravenne, bien qu'elle ne solutionne pas les problèmes, apporte une diminution non négligeable des inondations pour un coût modique.