



Aix en Provence
LA VILLE

Réaménagement de la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve à Aix-en-Provence

Etude hydraulique

Etude réalisée par :

MEDIAE

ZAC de la Petite Camargue

352 Chemin des Oliviers

34400 LUNEL

Tél. : 04.67.99.53.24 - Fax : 04.67.85.58.91



MEDiterrannée, Infrastructure, Aménagement, et Eau

Elaboration : Mai 2012

SOMMAIRE

1. OBJET	4
2. ANALYSE DE L'ÉTAT INITIAL	5
2.1..... CONTEXTE PHYSIQUE	5
2.1.1. Situation géographique et topographique	5
2.2..... EAUX SUPERFICIELLES	5
2.2.1. Hydrographie générale	5
2.2.2. Zones inondables	6
2.2.2.1. PPRi	6
1.1.1.1. Atlas des Zones Inondables (AZI)	6
2.1.1.1. Autres zones inondables	7
3. ANALYSE HYDROLOGIQUE	9
3.1..... RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE	9
3.1.1. BV1 : Bassin versant de la Torse	9
3.1.2. BV2 à BV5	9
3.2..... ESTIMATION DES DÉBITS DE POINTE	10
3.2.1. Données pluviométriques	10
3.2.2. Estimation des débits de pointe	10
3.2.2.1. Méthodologie	10
3.2.2.2. Résultats	11
3.2.3. Débits de la Torse	11
3.3..... RÉTABLISSEMENT DES ÉCOULEMENTS	12
3.3.1. Situation actuelle	12
3.3.2. Situation projetée	15
3.3.2.1. Principes de dimensionnement	15
3.3.2.2. Fossés	15
3.3.2.3. Ouvrages	15
3.3.2.4. Remblais en zones inondables	15
4. ASSAINISSEMENT DE LA CHAUSSEE	15
5. INCIDENCES DU PROJET	16
6. MODÉLISATION DE LA TORSE	17
6.1..... CARACTÉRISTIQUES DU BASSIN VERSANT	17
6.2..... ANALYSE HYDROLOGIQUE : ESTIMATION DES DÉBITS DE CRUE DE LA TORSE	17
6.2.1. Données hydrométriques	17
6.2.2. Débits pris en compte	17
6.3..... PRÉSENTATION DU MODÈLE	18
6.3.1. Périmètre d'étude	18
6.3.2. Modèle	18
6.3.3. Topographie	18
6.3.4. Coefficients de Strickler	18
6.3.5. Perte de charge	19
6.3.6. Colmatage des ouvrages	19
6.3.7. Régime d'écoulement	20
6.3.8. Conditions Aval et Amont	20
1.1..... CALAGE DU MODÈLE	21

1.1.1. Calage du modèle	21
1.1.2. Tests de sensibilité des paramètres	21
1.1.2.1. Coefficients de Strickler	21
1.1.2.1.1. Pertes de charge	22
1.1.2.1.2. Conditions Amont et Aval	22
1.1.2.1.1. Régime d'écoulement	23
1.1.2.1.2. Conclusions	23
1.2.....ETAT INITIAL DU MODÈLE	24
1.2.1. Enjeux	24
1.2.1.1. Enjeux propres à la cartographie issue de l'étude de 1997	24
1.1.1.1. Enjeux propres à l'Etat Initial du modèle	24
1.2.....INCIDENCE DU PROJET D'AMÉNAGEMENT	25
1.2.1. Résultats	26
1.2.1.1. Crue décennale	26
1.2.1.2. Crue centennale	26
1.2.1.3. Crue exceptionnelle	27
1.1.1.1. Crue « Limite »	28
1.2.....SYNTHÈSE GÉNÉRALE	29

LISTE DES PIÈCES :

- **Figure 1 : Plan de situation**
- **Figure 2 : Vue en plan du projet**
- **Figure 3 : Carte des contraintes**
- **Figure 4a : Carte des bassins versants interceptés par le projet**
- **Figure 4b : Carte du bassin versant de la Torse**
- **Figure 5 : Carte des zones inondables**
- **Figure 6 : Vue en plan du fonctionnement hydraulique projeté**
- **Figure 7 : Carte d'implantation des profils en travers**
- **Figure 8 : Carte des zones inondables modélisées**

1. OBJET

La commune d'Aix-en-Provence envisage le réaménagement de la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve entre l'avenue Fontenaille et la rue du Docteur Aurientis.

Une voie existe actuellement sur ce secteur mais sans aucun aménagement sécuritaire ou durable.

Le projet intègre :

- une chaussée de 6,00 m de largeur ;
- une bande cyclable bi-directionnelle de 1,50 m en bord de chaussée ;
- un trottoir de largeur minimale de 2,00 m.

La zone d'étude se situe à proximité de la rivière La Torse dont elle longe les berges localement. Au droit de cette particularité, des aménagements spécifiques devront être réalisés.

Dans le cadre de cet aménagement, la présente note vise à définir les contraintes hydrauliques du site et l'impact du projet sur celles-ci.

2. ANALYSE DE L'ETAT INITIAL

2.1. CONTEXTE PHYSIQUE

2.1.1. Situation géographique et topographique

Le projet consiste en un réaménagement de la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve situé à l'Est du centre ancien d'Aix-en-Provence.

Le tracé d'étude longe la rivière La Torse sur sa rive droite entre l'Avenue Fontenaille et l'Avenue du Docteur Aurientis.

Il s'inscrit dans une zone collinaire au relief marqué par le lit accidenté de La Torse. L'altitude du Terrain Naturel varie entre 202 et 215 m NGF le long de l'Avenue.

Le secteur se situe dans un contexte urbain marqué la présence de nombreux immeubles dont la polyclinique du Parc Rambot placée à l'Ouest immédiat. On note également la présence d'une végétation dense et anarchique le long du lit mineur de la Torse.



Prise de vue des terrains empruntés par le projet

Un plan de situation est annexé en **Figure 1**.

2.2. EAUX SUPERFICIELLES

2.2.1. Hydrographie générale

Le projet s'inscrit dans le bassin versant de La Torse (BV1) et plus globalement dans celui de l'Arc, rivière s'écoulant plus au Sud.

Le tracé d'étude longe la Torse sur environ 200 m avant de progressivement s'en éloigner.

La rue Saint-Thomas-de-Villeneuve intercepte également quatre petits bassins versants (BV2 à BV5) s'étendant à l'Ouest de la voie.

L'implantation du tracé d'étude, du bassin versant de la Torse ainsi que des bassins versants interceptés est schématisée sur le plan de situation et la Carte du bassin versant de la Torse ainsi que celles des bassins versants secondaires en **Figures 1, 4a et 4b**.

2.2.2.Zones inondables

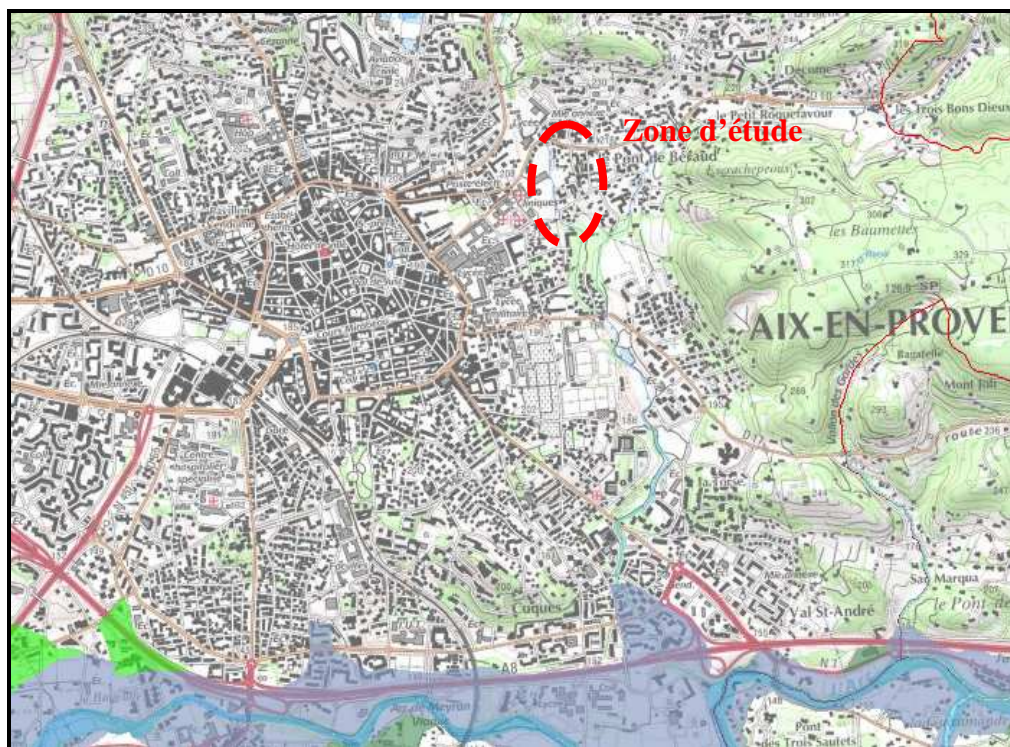
2.2.2.1. PPRi

La commune d'Aix-en-Provence ne fait actuellement l'objet d'aucun PPRi approuvé sur son territoire communal.

On note qu'un PPRi « Bassin versant de l'Arc » a été prescrit le 22 Décembre 1993.

1.1.1.1. Atlas des Zones Inondables (AZI)

La rivière Arc ainsi que la partie aval de La Torse font l'objet d'un Atlas des Zones Inondables de la DREAL Provence Alpes Côte d'Azur (**référence 1**). Ces zones inondables ont été établies par approche hydrogéomorphologique dans le cadre de l'étude menée par IPSEAU en Novembre 2004.



Cartographie de l'Atlas des Zones Inondables sur Aix-en-Provence (source : DREAL PACA)

2.

On souligne que la zone d'étude n'est pas concernée par ces zones inondables.

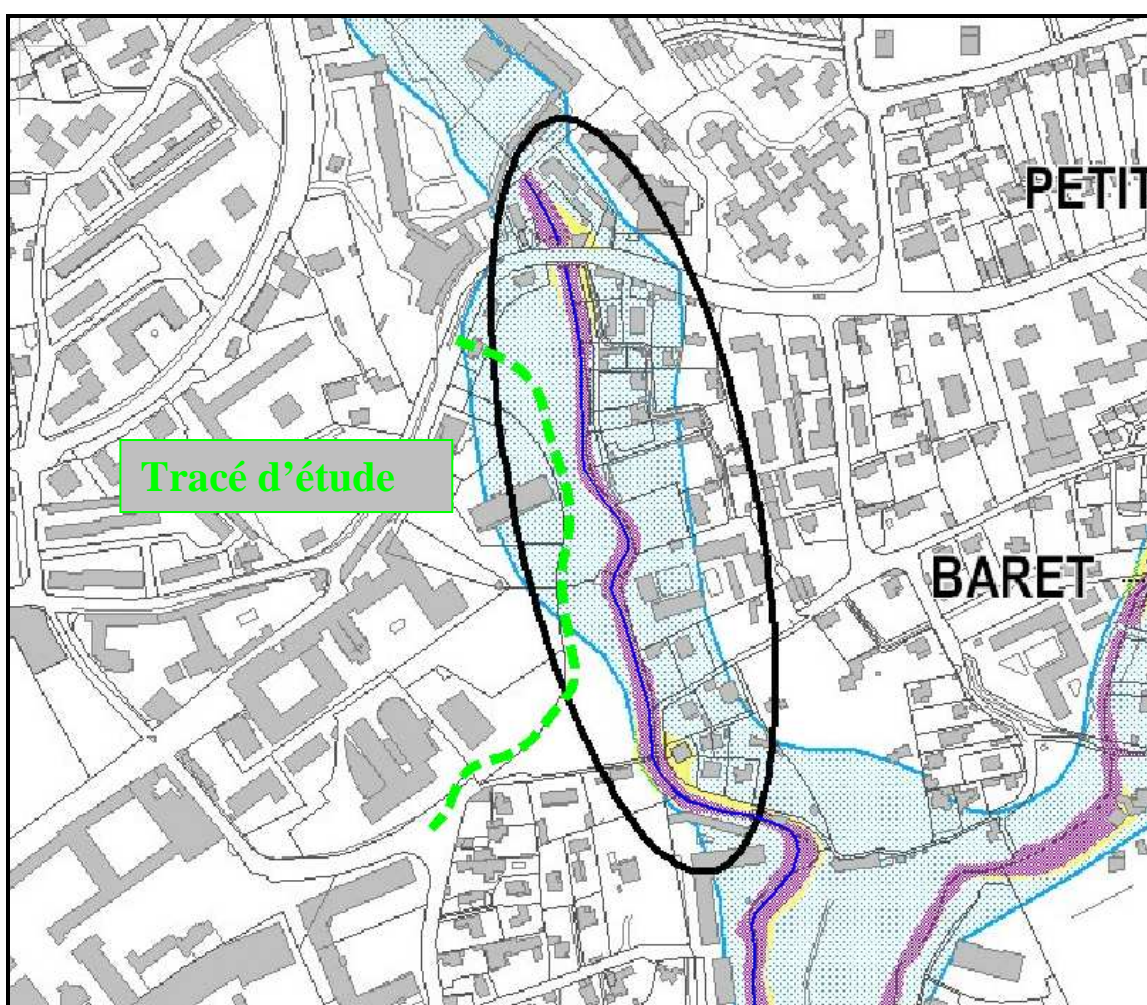
2.1.1.1. Autres zones inondables

Après consultation des services de la DDTM des Bouches-du-Rhône, il s'avère qu'une étude a été réalisée par le bureau d'études GINGER sur la commune d'Aix-en-Provence (référence 4).

Cette étude visait à :

- recueillir l'ensemble des données existantes sur cette commune ;
- analyser la pertinence des informations fournies ;
- formuler un document de synthèse et une cartographie des zones inondables disponibles.

Dans le cadre de la présente opération, la DDTM des Bouches-du-Rhône a transmis la cartographie ci-dessous.



Cartographie de synthèse des zones inondables (source : DDTM 13)

Sur la base de cette cartographie, les prescriptions suivantes ont été émises par les services de la DDTM 13 :

- en zone rouge (rose sur le plan) et jaune correspondant à un aléa fort ou modéré, toute nouvelle construction est interdite (dont les nouvelles voiries) ;

- en zone bleue (zone hydrogéomorphologique), la réalisation de nouveau bâtiment doit se faire sur la base d'un plancher placé à +0,50 m par rapport au Terrain Naturel. En ce qui concerne des voiries, ce point doit être affiné par la DDTM 13 mais une analyse des remblais/déblais et de l'impact du projet sur la zone inondable sera probablement nécessaire.

Cette cartographie est issue d'une étude portant sur le bassin versant de la Torse et intitulée « *Etude hydraulique détaillée des aléas inondation des ruisseaux de la Torse, des Pinchinats et du Barret* » (**référence 2**).

Ce document a été réalisé par le BET HORIZONS pour le SABA (Syndicat intercommunal d'Aménagement du Bassin versant de l'Arc) et la Ville d'Aix-en-Provence.

Dans le cas de la présente opération, il est important de bien définir la présence ou non du projet dans la zone rouge ou jaune d'aléa fort ou modéré.

Suivant la cartographie fournie, le projet se situe uniquement en zone bleue. On note que le tracé passe à proximité de la zone rouge sur sa partie médiane mais sans l'intercepter.

La cartographie des zones inondables propres aux données fournies par la DDTM 13 est présenté en **Figure 5**.

3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le projet longe le ruisseau de La Torse sur un linéaire d'environ 200 m et intercepte quatre petits bassins versants situés plus à l'Ouest.

Le bassin versant de la Torse ainsi que des bassins versants secondaires interceptés sont représentés sur les **Figures 3a et 3b**.

3.1.1.BV1 : Bassin versant de la Torse

Le bassin versant de la Torse représente une surface de 12,15 km² (BV1a) au droit de l'Avenue Fontenaille, en Amont immédiat du projet et 22,96 km² (BV1) au droit de sa confluence avec la Rivière Arc en aval de l'Autoroute A8.

Le Ruisseau du Prignon, également appelé Valat du Barret, représente le principal affluent de la Torse sur sa rive gauche et conflue avec celle-ci en aval du projet.

L'altitude du bassin versant varie de 146 m NGF au niveau de l'Arc et 436 m NGF sur l'Amont au niveau de la commune de Saint-Marc-Jaumegarde plus au Nord-Est.

Le couvert végétal de ce bassin versant est très hétérogène et se compose :

- D'espaces boisés sur une grande moitié Est notamment le long de la RD10 ;
- De zones urbanisées à très urbanisées sur le Nord, l'Ouest et la pointe Sud du bassin versant.

La délimitation du BV1 est présentée sur la **Figure 4a**.

Ce bassin versant intègre l'ensemble des bassins secondaires (BV2 à BV5) détaillés ci-dessous.

3.1.2. BV2 à BV5

Le tracé de la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve intercepte quatre bassins versants s'étendant plus à l'Ouest.

La superficie de ces différents bassins versants est la suivante :

- BV2 : 1,0 ha ;
- BV3 : 0,3 ha ;
- BV4 : 0,8 ha ;
- BV5 : 1,0 ha .

Ces bassins versants concernent uniquement des zones urbanisées correspondant à polyclinique du Parc Rambot ou aux résidences du Domaine de Fontenaille.

Le découpage de ces bassins versants est décrit sur la Carte des bassins versants en **Figure 4b**.

3.2. ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE

3.2.1. Données pluviométriques

Afin de pouvoir estimer les débits de pointe des écoulements interceptés par le projet, il est nécessaire de disposer de relevés pluviométriques à pas de temps réduits, sur une durée d'observations suffisamment longue.

La station météorologique la plus proche et disposant de données à pas de temps réduits sur une **période suffisamment longue** (afin de pouvoir estimer la période de retour des évènements pluvieux) est celle de Salon de Provence.

Le secteur d'étude est situé à un peu plus de 25 km de Salon de Provence. La pluviométrie a sur ce secteur est relativement proche de celle de Salon de Provence. Il n'apparaît donc pas erroné d'utiliser les données de Salon de Provence sur le secteur d'Aix en Provence.

Les ajustements des données pluviométriques à pas de temps réduits peuvent être utilisées sous la forme de la loi de Montana. Elle permet d'estimer l'intensité des pluies de projet en fonction de la durée de la pluie par la formule suivante :

$I = a t^{-b}$, avec I en mm/min et t en min (durée de pluie).

Les ajustements du type Loi du Montana (**$I = a.t^{-b}$**) relatifs aux données de Salon de Provence pour la période : 1968 / 1995 sont :

Salon de Provence	6 min < T < 30 min		30 min < T < 2 h	
	a	b	a	b
Période de retour				
10 ans	5,4	0,44	9,6	0,61
25 ans	6,1	0,43	10,1	0,59
50 ans	6,8	0,42	11,1	0,57

3.2.2. Estimation des débits de pointe

3.2.2.1. Méthodologie

Pour les bassins versants en zones urbanisées, les débits de crue (Q10, Q25, Q50) **sont estimés par la méthode de Caquot adaptée aux secteurs urbains**. Cette méthode est

également intitulée **méthode superficielle** dans le cadre de l'instruction technique de 1977 (**référence 3**).

La méthode superficielle s'exprime par $Q(m^3/s) = k * I^V * C^U * A^W * m$

- Avec :
- Q : Débit en m³/s ;
 - C : Coefficient de Ruissellement ;
 - I : pente moyenne du bassin versant en m/m ;
 - A : Surface du bassin en ha.

On définit par m, l'allongement du bassin, m est un coefficient exprimant l'influence de l'allongement sur le débit.

K, V, U et W sont des coefficients dépendant de la Région et de la période de retour T. Ils sont calculés directement à partir des données pluviométriques locales (coefficients de Montana détaillés au paragraphe suivant).

Le détail des calculs figure en **annexe 1**.

Concernant le BV1, les débits de crue sont estimés à partir des conclusions de l'étude SIEE (**référence 2**) comme mentionné au chapitre 3.2.3. *Débits de la Torse*.

3.2.2.2. Résultats

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats :

BV	Surface	QI ₁₀	QI ₃₀	QI ₁₀₀
2	85,3 ha	6,0 m ³ /s	12,0 m ³ /s	18,8 m ³ /s
3	868,0 ha	27,9 m ³ /s	58,7 m ³ /s	102,8 m ³ /s
4	1,2 ha	0,2 m ³ /s	0,3 m ³ /s	0,5 m ³ /s
5	6,8 ha	0,9 m ³ /s	1,6 m ³ /s	2,3 m ³ /s

3.2.3. Débits de la Torse

En Décembre 1997, le bassin versant de la Torse a fait l'objet d'une étude hydraulique intitulée « *Etude hydraulique détaillée des aléas inondation des ruisseaux de la Torse, des Pinchinats et du Barret* » et réalisée par le BET HORIZONS pour le SABA (Syndicat intercommunal d'Aménagement du Bassin versant de l'Arc) et la Ville d'Aix-en-Provence (**référence 3**).

Ce document et ses conclusions ont été validés dans le cadre de l'analyse réalisée par SIEE (référence 4) pour la DDTM (ex-DDE) des Bouches-du-Rhône et propre à la mise en cohérences des études d'inondabilité sur la ville d'Aix-en-Provence.

Cette étude souligne, pour la Torse, les valeurs suivantes :

	Superficie BV	Q10	Q10 spécifique	Q100	Q100 spécifique
<i>La Torse</i>	22 km ²	30 m ³ /s	≈ 1,5 m ³ /s/km ²	76 m ³ /s	≈ 3,5 m ³ /s/km ²

Concernant la superficie du bassin versant, celle-ci reste similaire avec la surface mentionnée précédemment dans le rapport (22,96 km²).

On note que le débit spécifique décennal retenu dans l'étude est de 1,5 m³/s/km² alors que celui-ci semble être de 1,4 m³/s/km². Sécuritairement, les débits retenus dans la présence étude se baseront sur les valeurs les plus fortes.

Ainsi, à partir des débits spécifiques de l'étude de Décembre 1997, les débits de crue de la Torse peuvent être estimés :

	Superficie BV	Q10	Q10 spécifique	Q100	Q100 spécifique
<i>La Torse Amont (BV1a)</i>	12,15 km ²	18,2 m ³ /s	≈ 1,5 m ³ /s/km ²	42,5 m ³ /s	≈ 3,5 m ³ /s/km ²
<i>La Torse (BV1)</i>	22,96 km ²	34,4 m ³ /s	≈ 1,5 m ³ /s/km ²	80,4 m ³ /s	≈ 3,5 m ³ /s/km ²

Ainsi, les débits de la Torse au droit du projet (BV1a) sont de l'ordre de 18,2 et 42,5 m³/s pour les crues décennale et centennale.

Pour les crues exceptionnelles, celles-ci seront estimées selon la formule des experts mise en évidence dans l'étude TGV (référence 5):

$$Q_{\text{excep}} = 1,8 \times Q_{100}$$

Soit, pour les BV1a et BV1, des débits exceptionnels respectifs de **76,5 et 144,7 m³/s**.

3.3. RETABLISSEMENT DES ECOULEMENTS

3.3.1. Situation actuelle

Actuellement, les eaux des bassins versants BV2, BV3 et BV4 sont rétablies via divers petits ouvrages enterrés se composant de buses Ø300 à Ø600.

◆ BV2

Sur le BV2, les eaux sont principalement drainées via un réseau de buses Ø500 traversant le Domaine de Fontenaille puis passant sous la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve.

Désignation
Emplacement : Rue St Thomas de Villeneuve
BV concerné : BV2
Caractéristiques
Type : Buse
Diamètre: Ø500
Pente estimée : ≈2,0%
Observations
Qcapable estimé
≈ 0,5 m ³ /s
Période de retour d'insuffisance
≈ 50 ans

Cependant, l'observation de l'ouvrage de sortie de ce réseau souligne un colmatage total de la section hydraulique.

A l'état actuel, la capacité hydraulique du réseau est donc nulle.

On note que la rue est également bordé par un réseau pluvial Ø600 placé côté Est au niveau du parking du lycée ainsi qu'un fossé enherbé. Ces ouvrages ne récupèrent que les eaux de voirie.

◆ BV3

Ce sous-bassin versant s'étendant également sur le Domaine de Fontenaille intègre un réseau de buses Ø300 sur sa partie basse permettant le renvoi des eaux sous la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve vers la Torse.


Désignation
Emplacement : Rue St Thomas de Villeneuve
BV concerné : BV2
Caractéristiques
Type : Buse
Diamètre: Ø300
Pente estimée : ≈1,4%
Observations
Qcapable estimé
≈ 0,1 m ³ /s
Période de retour d'insuffisance
≈ 10 ans



On souligne que le fossé enherbé du BV2 se prolonge sur le BV3 et assure la récupération des eaux de la chaussée. Celui-ci se raccorde vers l'exutoire de la buse Ø300.

◆ **BV4**

Actuellement, les eaux du BV4 sont interceptées par le fossé longeant à l'Ouest la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve. Ce fossé est également présent sur les BV2 et BV3 détaillés précédemment.

Désignation	
Emplacement : Rue St Thomas de Villeneuve	
BV concerné : BV4	
Caractéristiques	
Type : Fossé enherbé	
Largeur : 1,30 m au miroir	
Hauteur : 0,40 m	
Pente estimée : 0,5% mini	
Observations	
Qcapable estimé	
≈ 0,2 m ³ /s	
Période de retour d'insuffisance	
≈ 5 à 10 ans	

Les eaux de ce fossé sont renvoyées vers La Torse par l'intermédiaire d'une buse Ø300.

Désignation
Emplacement : Rue St Thomas de Villeneuve
BV concerné : BV4
Caractéristiques
Type : Buse
Diamètre: Ø300
Pente estimée : ≈4,0%
Observations
Qcapable estimé
≈ 0,4 m ³ /s
Période de retour d'insuffisance
≈ 25 ans

◆ **BV5**

Actuellement, la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve est dépourvu de tout ouvrage assurant le recueil des eaux du BV5.

Le fonctionnement hydraulique de ces bassins versants est détaillé sur la **Figure 4b**.

3.3.2.Situation projetée

3.3.2.1.Principes de dimensionnement

A DEFINIR

3.3.2.2.Fossés

3.3.2.3.Ouvrages

3.3.2.4.Remblais en zones inondables

4. ASSAINISSEMENT DE LA CHAUSSEE

5. INCIDENCES DU PROJET

L'avenue Saint-Thomas-de-Villeneuve se caractérise actuellement pour un trafic dense entre l'Avenue Fontenaille et l'avenue du Docteur Aurientis en grande partie due à la présence de la Polyclinique Parc Rambot et du lycée P. Cezanne respectivement au Sud et au Nord.

Cette voie présente des caractéristiques géométriques insuffisantes notamment vis-à-vis du trafic cyclable et piétonnier, de la proximité du ruisseau de la Torse ainsi que de diverses habitations.

Le projet prévoit la reprise de la chaussée existante suivant :

- une chaussée de 6,00 m de largeur ;
- une bande cyclable bi-directionnelle de 1,50 m en bord de chaussée ;
- un trottoir de largeur minimale de 2,00 m.

Ces aménagements permettront de sécuriser la circulation de l'ensemble des usagers sur cette voie et d'ainsi réduire le risque accidentogène. Des murs et merlons acoustiques sont également prévus afin de réduire les nuisances sonores sur les bâtiments environnants.

Du fait des contraintes d'emprise liées au lit du ruisseau de la Torse, le projet intègre la mise en place d'un mur de soutènement au droit du ravin du ruisseau sur un linéaire de 25 ml.

D'une manière générale, le projet de réaménagement de la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve représenté une réelle amélioration vis-à-vis de l'état existant.

Cette opération offrira, entre autres, une sécurisation de la circulation pour les piétons et les cyclistes notamment à proximité de la polyclinique et du lycée.

6. MODELISATION DE LA TORSE

6.1. CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT

Le ruisseau de la Torse est un cours d'eau dont le bassin versant s'étend en rive gauche de la rivière l'Arc sur une superficie d'environ 23 km². Cette superficie est 12,2 km² au droit de la zone d'étude.

Ce cours d'eau prend naissance au Nord-Est du centre urbain d'Aix-en-Provence dans la vallée des Pinchinats.

Le bassin versant de la Torse intègre un affluent principal en rive gauche, le Ruisseau du Prignon (également appelé Valat du Barret) longeant la RD10 jusqu'à la commune de Saint-Marc-Jaumegarde.

Dans sa traversée du centre urbain d'Aix-en-Provence, la Torse présente un lit particulièrement encaissé et accidenté notamment au droit de la zone d'étude avec des dénivelés de plus de 6 mètres entre le lit mineur et le niveau des terrains environnants notamment l'avenue Saint-Thomas-de-Villeneuve.

Les délimitations du bassin versant sont représentées sur la **Figure 4a** du Dossier de figures annexées.

6.2. ANALYSE HYDROLOGIQUE : ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE DE LA TORSE

6.2.1. Données hydrométriques

La Torse ne fait l'objet d'aucun suivi hydrométrique de la part des différents réseaux de mesures gérés par la DREAL PACA ou par les services de la DDTM.

6.2.2. Débits pris en compte

Les débits retenus au droit du projet correspondent à ceux mentionnés au chapitre 3.2.3. Débits de la Torse soit :

- Crue décennale : **18,2 m³/s** ;
- Crue centennale : **42,5 m³/s** ;
- Crue exceptionnelle : **76,5 m³/s**.

6.3. PRESENTATION DU MODELE

Le principe pour caler le modèle consiste à ajuster les différents paramètres du modèle afin de pouvoir retrouver les lignes d'eau du PPRi, les cotes de référence ou dans le cas présent, retranscrire le plus correctement possible la topographie du site, le couvert végétal et les singularités du tronçon modélisé.

6.3.1.Périmètre d'étude

La zone modélisée concerne le Ruisseau de la Torse depuis le lycée P. Cézanne en amont de l'Avenue Fontenaille jusqu'à l'aval de la passerelle de la Traverse du Lavoir de Grand-mère, soit un linéaire de l'ordre de 500 ml.

6.3.2.Modèle

Les lignes d'eau sont calculées à l'aide d'un modèle uni-dimensionnel en régime permanent d'écoulements graduellement variés : HEC-RAS, adapté aux écoulements du lit de la Torse.

6.3.3.Topographie

L'étude hydraulique réalisée en Décembre 1997 *par le BET HORIZONS* se base sur 29 profils en travers dont les données sont actuellement indisponibles et donc inutilisables dans le cadre de la présente étude.

Deux campagnes topographiques ont été menées en Juillet et Août 2011 (Cabinet géomètre BILICKI DHOMBRES OSMO) permettant de lever 15 profils en travers.

L'implantation de ces profils a été effectuée en tenant compte des singularités du site, du projet (mur de soutènement) et des ouvrages hydrauliques présents.

Le positionnement des différents profils de la présente étude est représenté sur la **Figure 7. Implantation des profils en travers.**

6.3.4.Coefficients de Strickler

Les coefficients de Strickler traduisent la rugosité du lit du cours d'eau.

L'objectif est de retranscrire le plus finement possible les caractéristiques de rugosité du site tout en restant dans l'ordre de grandeur des cotes de crue du PPRi.

Pour le lit mineur, les coefficients intégrés au modèle varient de $k = 8$ à 50 suivant des secteurs fortement végétalisés ($k = 8$) et des zones bétonnées ($k = 50$).

Dans le lit mineur, on souligne le bétonnage du ruisseau au droit du pont de l'Avenue Fontenaille (Profil P13). On note que le cours d'eau est également bordé, sur certains secteurs, par des murs en béton ou en pierres maçonnées (P2 à P6).



Vue du lit mineur bétonné et des murs le bordant localement

Pour le lit majeur, les valeurs prises en compte sont très hétérogènes suivant les tronçons. En effet, certains secteurs intègrent une forte végétation ($k = 8$), des jardins ($k = 20$) ou des parkings et des voiries ainsi que des murs en béton ($k = 35$ à 50).

Globalement, le lit majeur proche du cours d'eau se compose principalement d'une forte végétation.

Les infrastructures de type bâtiment ou voirie se concentrent sur les parties hautes des berges.

6.3.5. Perte de charge

Le modèle utilisé est un modèle d'écoulements graduellement variés. Il calcule ainsi les pertes de charges entre profils liés aux phénomènes de contraction et d'expansion entre profils.

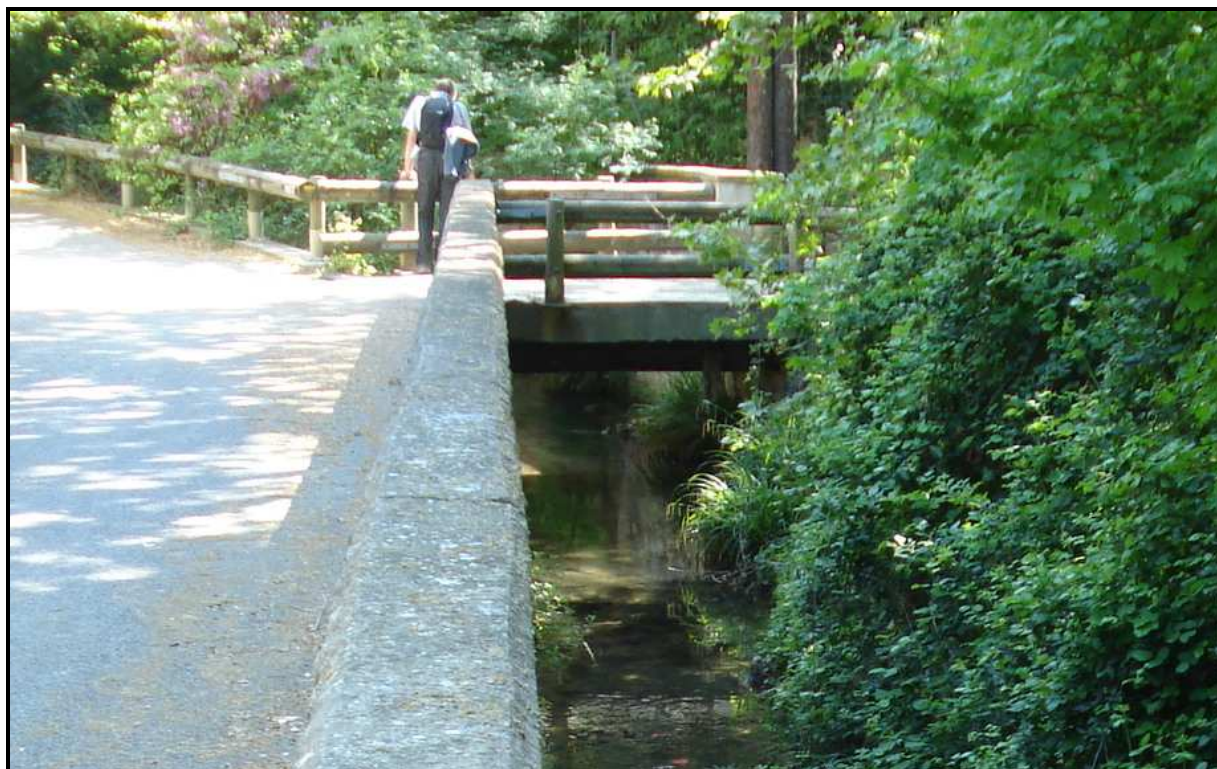
Les valeurs retenues sont respectivement de 0,1 et de 0,3 pour les coefficients de contraction et d'expansion.

6.3.6. Colmatage des ouvrages

Le linéaire initial intègre la modélisation de l'ouvrage de l'Avenue Fontenaille ainsi que de la passerelle de la Traverse du Lavoir de Grand-mère. Concernant le pont de l'Avenue Fontenaille, celui-ci présente de très larges dimensions et n'intègre pas de piles dans le lit du cours d'eau. La modélisation de cet ouvrage ne tiendra pas compte d'un possible colmatage.

En revanche, pour la passerelle, celle-ci apparaît comme submersible et la présence de garde-corps en amont et aval laisse supposer un possible colmatage.

LE modèle intègrera donc un colmatage complet des garde-corps du fait de la faible largeur de l'ouvrage et du caractère submersible de celui-ci.



Vue de la passerelle de la Traverse du lavoir de Grand-mère

6.3.7.Régime d'écoulement

L'analyse topographique du lit mineur du ruisseau de la Torse souligne des pentes relativement hétérogènes et localement fortes.

En effet, celle-ci varie de 1,1% à 4,8% suivant les tronçons modélisés. On note qu'un secteur présente même une légère contre-pente.

Cette forte variation de pentes met en évidence une probable variation du régime d'écoulement du ruisseau. Il apparaît logique de ne pas imposer de régime d'écoulement (torrentiel ou fluvial) au modèle.

Ainsi, le modèle sera basé sur l'utilisation d'un régime d'écoulement mixte.

Une analyse sera faite sur l'importance du régime d'écoulement pris en compte vis-à-vis du calage du modèle.

6.3.8.Conditions Aval et Amont

Afin de tenir compte de la variation du régime d'écoulement décrite ci-dessus, le modèle intègrera des conditions Amont et Aval.

Sur la partie Amont, **la condition hydraulique sera prise comme étant la hauteur d'eau critique.**

Sur la partie aval, afin de tenir compte des pentes plus faibles sur ce secteur, **la condition Aval sera considérée comme la hauteur d'eau normale.**

Une analyse sera faite sur l'importance des conditions Amont et Aval pris en compte vis-à-vis du calage du modèle.

1.1. CALAGE DU MODELE

Le calage consiste à déterminer les paramètres du modèle afin de constituer la ligne d'eau servant de base de référence pour la suite de l'étude. **Du fait de l'absence de niveaux d'eau connu ou de repère de crue de référence, le calage du modèle pourra ultérieurement être considéré comme l'Etat Initial de l'étude.**

1.1.1. Calage du modèle

LE modèle a été calé entre le lycée P. Cézanne (P14) et l'aval de la passerelle de la Traverse du Lavoir de Grand-mère (P1).

Après analyse des données disponibles propres à l'étude hydraulique réalisée en Décembre 1997 *par le BET HORIZONS (référence 2)*, les niveaux d'eau résultant de l'étude n'ont pas pu être récupérés. Seule une cartographie avec l'emprise des zones inondables apparaît disponible et a été transmise par la DDTM 13.

Du fait de l'absence de niveau d'eau relevé sur le secteur d'étude, il n'apparaît pas possible de recalcr le modèle sur des hauteurs d'eau fixées en différents points.

Le modèle sera donc calé sur la plus fine retranscription de la topographie, du couvert végétal ainsi que de toutes les singularités relevées sur le linéaire modélisé.

1.1.2. Tests de sensibilité des paramètres

L'ensemble des tests de sensibilité est effectué sur la base d'une crue centennale de la Torse.

1.1.2.1. Coefficients de Strickler

Il est possible de souligner la sensibilité du modèle par rapport aux coefficients de Strickler utilisés.

En considérant, les valeurs extrêmes des coefficients de rugosité, la ligne d'eau peut varier de façon très conséquente :

◆ Lit mineur

- $k = 50$: la ligne d'eau s'abaisse selon les profils de 0 m à plus de 1,75 m ;
- $k = 8$: la ligne d'eau remonte selon les profils de 0 m à 1,25 m.

◆ Lit majeur

- $k = 50$: la ligne d'eau varie de +0,18 m à - 0,71 m ;
- $k = 8$: la ligne d'eau varie de +0,44 m à - 0,55 m ;

Les variations indiquées ci-dessus soulignent la forte sensibilité du modèle aux coefficients de rugosité.

1.1.1.1. Pertes de charge

Concernant ce coefficient, la sensibilité du modèle apparaît comme relativement modéré. En effet, en retenant des coefficients de contraction et d'expansion maximaux de 0,6 et 0,8, la rehausse de la ligne d'eau n'excède pas +0,46 m sur certains tronçons.

1.1.1.2. Conditions Amont et Aval

Du fait de l'alternance entre les régimes d'écoulement fluvial et torrentiel, le modèle intègre des conditions à l'Amont et à l'Aval. Ces conditions peuvent être considérées comme étant égale à la hauteur d'eau normale, la hauteur d'eau critique ou encore un niveau d'eau imposé.

Du fait de l'absence d'information concernant les niveaux d'eau du ruisseau de la Torse, les conditions Amont et Aval seront imposées comme équivalente aux hauteurs d'eau normales et/ou critiques.

Il est donc possible de souligner l'influence du choix de ces conditions sur le modèle.

Différentes simulations ont été testées :

- Hauteur d'eau critique à l'Amont et l'Aval ;
- Hauteur d'eau normale à l'Amont et l'Aval ;
- Hauteur d'eau Normal à l'Amont et critique à l'Aval ;
- Hauteur d'eau Normal à l'Aval et critique à l'Amont.

Suivant les conditions prise en compte, seule l'extrémité Aval du modèle apparaît sensible avec des variations de la ligne d'eau de +0,12 à -1,06 m en cas de condition Aval équivalente à la hauteur critique.

Concernant la partie Amont du modèle, celle-ci ne présente aucune modification avec le changement de condition Amont.

Ainsi, le modèle sera calé avec :

- Une condition Aval prise comme la hauteur d'eau normale ;

- Une condition Amont avec une hauteur d'eau critique tenant ainsi compte des fortes pentes.

1.1.1.1. Régime d'écoulement

En tenant compte des différentes remarques formulées sur le régime d'écoulement du Ruisseau de la Torse (cf. chapitre 6.3.7. Régime d'écoulement), il est possible de mettre en évidence l'influence des régimes d'écoulement sur le modèle.

Ces régimes d'écoulement ont été modélisés en intégrant au modèle une hauteur d'eau critique comme Condition Amont et une hauteur d'eau normale comme Condition Aval. Une analyse du choix de ces conditions a été effectué dans un chapitre précédent.

En imposant un régime fluvial, le niveau d'eau est localement rehaussé de 0,13 m au maximum par rapport à un régime mixte.

Pour un régime torrentiel, l'impact sur les résultats est largement plus important. En effet, l'abaissement de la ligne d'est est plus généralisé et atteint des valeurs de -1,98 m par rapport à un régime d'écoulement mixte.

D'une manière générale, le modèle apparaît plus sensible à la généralisation d'un régime d'écoulement torrentiel plutôt que fluvial. Cependant, dans chacun des deux cas le modèle présente une variation plus ou moins importante de la ligne d'eau. Ce point confirme bien l'alternance entre les deux régimes d'écoulement selon les profils du modèle.

Le choix de l'utilisation d'un régime d'écoulement mixte est donc justifié.

1.1.1.2. Conclusions

Les différents tests réalisés ci-avant montrent que le modèle est relativement sensible aux variations des différents paramètres le composant avec des variations de plus de 1 m certains d'entre eux.

Malgré la grande sensibilité du modèle, il convient de rappeler que celui-ci ne peut être recalé sur aucun niveau d'eau connu (PPRi, cote de référence, ...) du fait de l'absence de données et de la perte d'autres informations. Ainsi, le modèle mis en place se doit d'être le plus « réaliste » possible vis-à-vis de la topographie du site, de son couvert végétal ainsi que de ses diverses singularités tels que les ponts et murs.

On rappelle que ces modélisations sont uniquement destinées à mesurer l'incidence du projet de réaménagement de l'Avenue Saint-Thomas-de-Villeneuve sur une ligne d'eau initiale en calculant donc une différence relative.

1.2. ETAT INITIAL DU MODELE

Du fait de l'absence de données existantes vis-à-vis des niveaux de crues projetés ou réellement atteints par le Ruisseau de la Torse, le calage initial du modèle sur la situation topographique et géographique du site sera considéré comme l'Etat initial du modèle.

Cet Etat initial servira de base de comparaison aux résultats des modélisations de la situation projetée intégrant le projet de réaménagement de l'Avenue Saint-Thomas-de-Villeneuve.

1.2.1. Enjeux

1.2.1.1. Enjeux propres à la cartographie issue de l'étude de 1997

Vis-à-vis de l'étendue des zones inondables hydrogéomorphologiques (zones en bleu) mises en évidence dans les études précédentes sur le Ruisseau de la Torse, les principaux enjeux se situent en rive gauche le long de la Torse.

Sur ce secteur, on note la présence de nombreuses habitations et immeubles placés en zones inondables le long de la Traverse du Lavoir de Grand-mère, de l'Impasse du Pont de Béraud jusqu'au Lycée P. Cézanne lui-même en partie positionné en zone inondable.

Sur la rive droite, une grande partie de la résidence Domaine de Fontenaille et de la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve sont placées en zones inondables hydrogéomorphologiques.

Concernant les zones inondables modélisées en rouge (aléa fort) et en jaune (aléa modéré) sur la cartographie issues de l'étude de 1997, on signale que :

- **Aléa Fort** : seuls quelques jardins et voiries (Traverse du Lavoir de Grand-mère) ;
- **Aléa modéré** : l'immeuble du 12 Traverse du Lavoir de Grand-mère (parcelles 122, 124 et 125) ainsi que l'habitation placée en Amont immédiat du pont de l'Avenue Fontenaille en rive gauche.

1.1.1.1. Enjeux propres à l'Etat Initial du modèle

La prise en compte de l'Etat Initial du modèle de la présente étude souligne la présence d'enjeux notamment sur la partie aval du tronçon modélisé en rive gauche.

Le secteur concerne la Traverse du Lavoir de Grand-mère et les quelques habitations voisines placées en bordure de la Torse :

- Sur la partie basse de la Traverse du Lavoir de Grand-mère entre les profils P2 et P3, de 0 à 0,20 m de hauteur d'eau pour une crue décennale et entre 0,60 et 0,95 m pour une crue centennale ;
- Sur l'immeuble des parcelles 122, 124 et 125 (Profil P2) la partie basse est inondée en cas de crue de centennale avec 0,42 m d'eau en entrée des garages ;
- La partie basse du jardin de la parcelle 0027 (Profils P4 et P5) est inondée par quelques dizaines de centimètres d'eau.

Les autres habitations placées plus en Amont en rive gauche (Impasse du Pont de Béraud), en rive droite (Domaine de Fontenaille et rue St Thomas de Villeneuve) et le lycée apparaissent hors d'atteinte des Plus Hautes Eaux du ruisseau avec des dénivelés dépassant 5 mètres.

Concernant l'habitation placée en Amont immédiat du pont de l'Avenue Fontenaille en rive gauche de la Torse (Profil P14), le bâtiment n'apparaît pas en zones inondables pour les occurrences décennale et centennale.

On note que la partie basse de la maison se situe sur une banquette dont l'altitude est supérieure à 204 m NGF. La cote centennale en Amont du pont a été modélisée à 203,17 m NGF.

Cette habitation sera malgré tout considérée comme un enjeu fort du fait de sa proximité avec le ruisseau.

1.2. INCIDENCE DU PROJET D'AMENAGEMENT

Les simulations présentent l'incidence du projet vis-à-vis de l'état initial pour chacune des conditions aval imposée.

Le projet prévoit le recalibrage de la voie Saint-Thomas-de-Villeneuve avec :

- une chaussée de 6,00 m de largeur ;
- une bande cyclable bi-directionnelle de 1,50 m en bord de chaussée sur les extrémités Nord et Sud du projet;
- un trottoir de largeur de 2,00 m.

Le ravin du Ruisseau de la Torse présente un léger coude en rive droite avec une surlargeur au droit de la résidence Domaine de Fontenaille.

Cette singularité nécessite, vis-à-vis du projet, la mise en place d'un mur de soutènement sur la partie haute du ravin sur un linéaire de l'ordre de 25 ml.

L'opération intègre également la mise en place de :

- deux murs et d'un merlon acoustiques de 2 m de hauteur sur des linéaires de 115 ml, 75 ml et 85 ml ;
- D'un muret de 1,00 m de hauteur sur 100 ml.

Sur les 275 ml de structures acoustiques prévues dans le projet, 219 ml sont placés en zones inondables hydrogéomorphologiques.

On souligne également que le projet maintient le profil en long actuel en zones inondables hydrogéomorphologiques afin d'éviter tout remblai sur ce secteur.

Les principaux enjeux se situent en aval du projet sur les profil P2 à P5.

En Amont, seule une habitation placée sur le Profil P14 en rive gauche du ruisseau présente un réel enjeu.

La présente modélisation visera donc à identifier l'impact du projet sur les zones inondables du ruisseau de la Torse et tout particulièrement au niveau de ces enjeux.

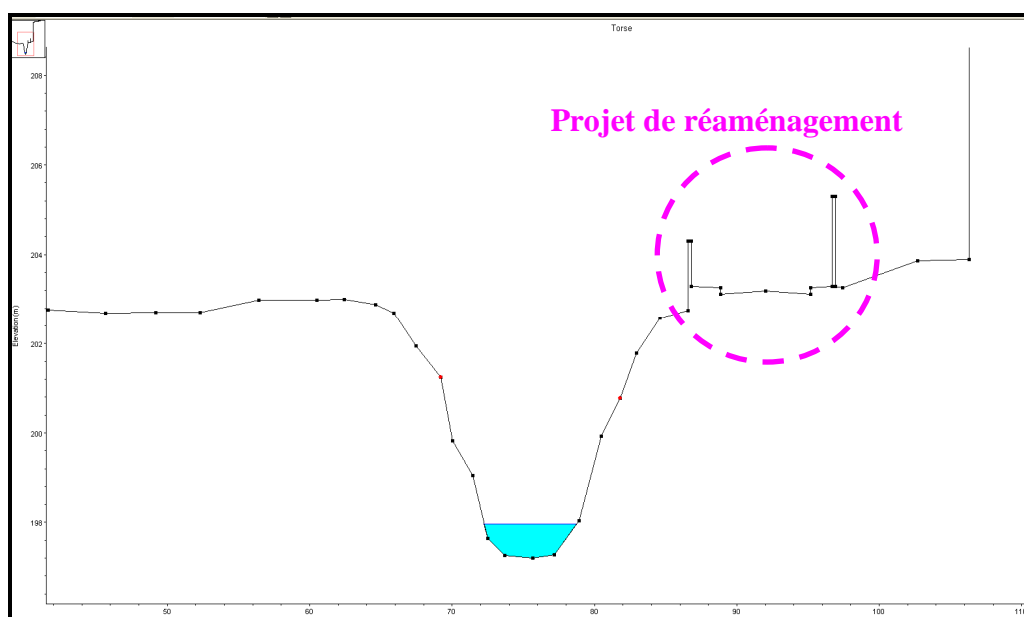
L'ensemble des résultats issus des modélisations figure en **annexe 2**.

1.2.1.Résultats

Les résultats de la modélisation des crues décennales et centennales, selon chacune des conditions aval imposées, sont représentés en **Annexe 2**.

1.2.1.1.Crue décennale

Les résultats issus des modélisations ne soulignent **aucun impact sur la ligne d'eau décennale du Ruisseau de la Torse sur l'ensemble du linéaire modélisé**.



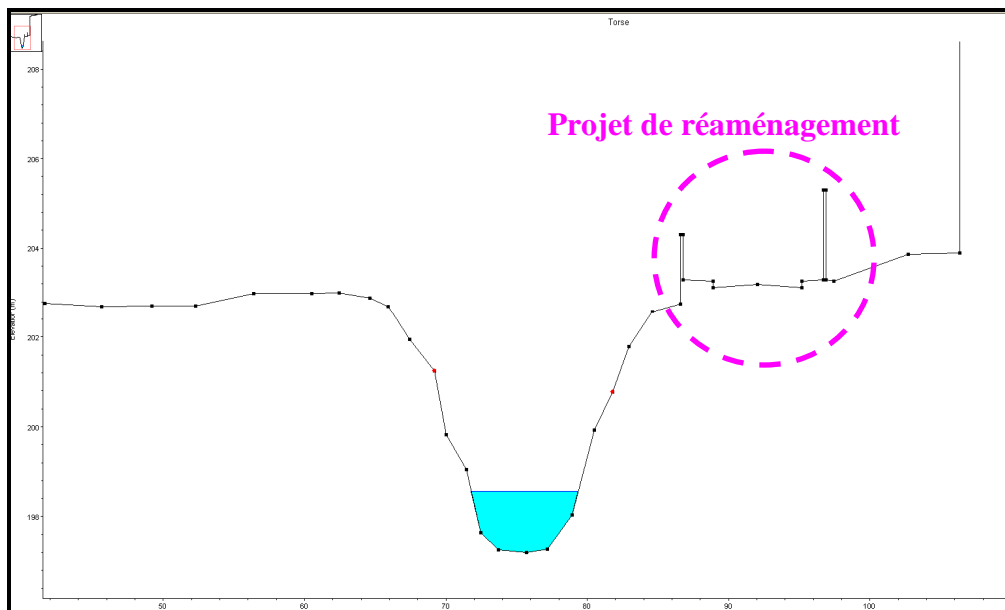
Vue de la crue décennale au droit du Profil P10

L'ensemble des résultats est détaillé en **Annexe 5**.

1.2.1.2.Crue centennale

Les résultats issus de la modélisation d'une crue centennale sur le ruisseau de la Torse ne présentent **aucun impact sur les hauteurs d'eau dans le ruisseau et l'étendue des zones inondables sur tout le linéaire étudié entre les profils P1 à P15**.

L'ensemble des résultats des modélisations est présenté en **Annexe 2**.

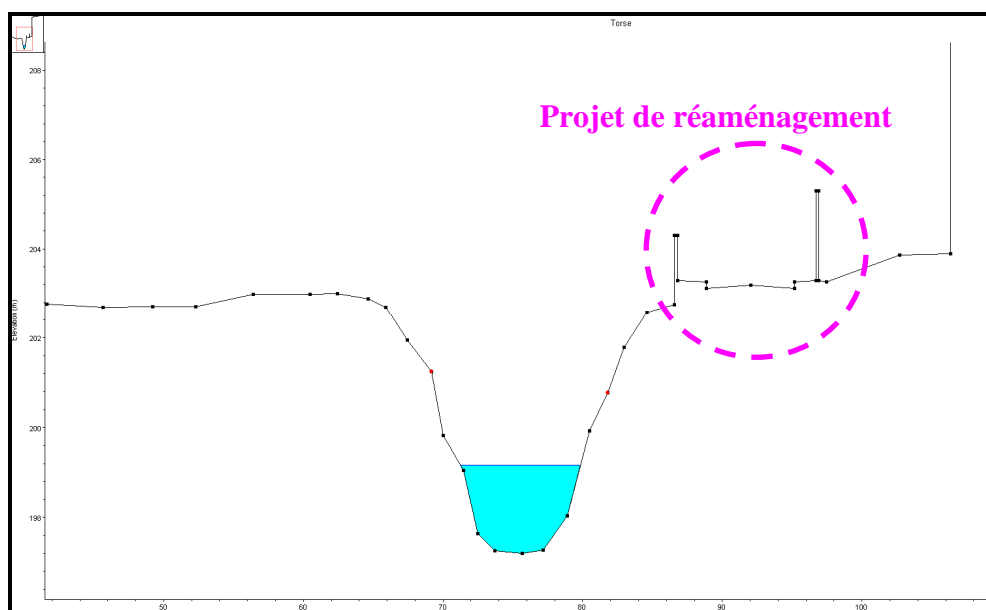


Vue de la crue centennale au droit du Profil P10

1.2.1.3. Crue exceptionnelle

Concernant les crues exceptionnelles, le débit est estimé, selon la formule des experts mise en évidence dans l'étude TGV (référence 5), à **1,8 fois le débit centennial** ; soit dans le cas présent entre **76,5 m³/s**.

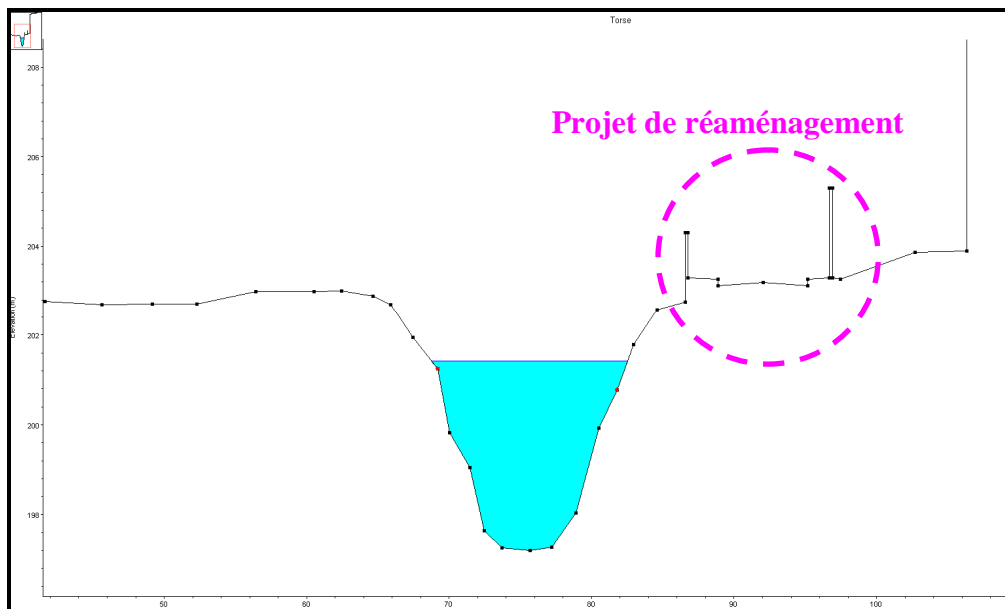
Dans le cas où le ruisseau de la Torse subirait une crue exceptionnelle, le projet d'aménagement n'aurait **aucun impact sur les niveaux d'eau du ruisseau sur l'ensemble du linéaire notamment au droit des zones à enjeu.**



Vue de la crue exceptionnelle au droit du profil P10

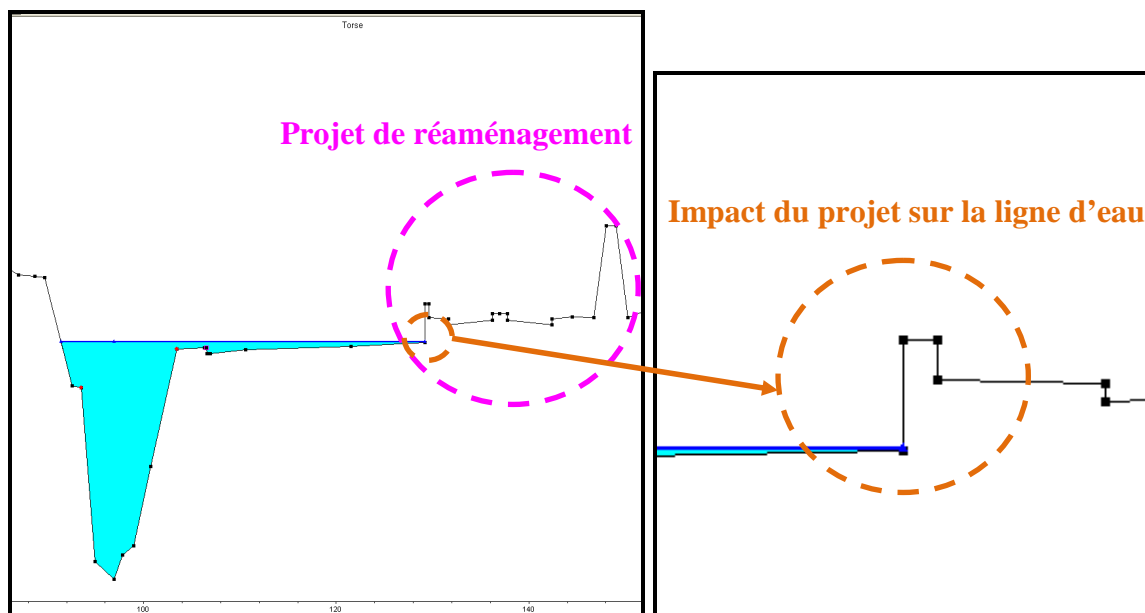
1.1.1.1. Crue « Limite »

Sur la base de l'aménagement projeté, il est nécessaire de « monter » le débit de crue du Ruisseau de la Torse à **156 m³/s** afin de mettre en évidence les premiers impacts du projet sur la ligne d'eau du cours d'eau.



Vue de la crue « Limite » au droit du Profil P10

L'analyse des profils en travers démontre que l'impact se situe au droit du Profil P12 où la ligne d'eau atteint le muret projeté.



Vue de la crue « Limite » au droit du Profil P12

On note que ce débit est supérieur à deux fois le débit exceptionnel et plus de 3,5 fois le débit centennal.

Sachant que le débit exceptionnel est souvent de l'ordre de plusieurs milliers d'année, il apparaît donc extrêmement délicat de définir la période de retour d'un tel débit.

1.2. SYNTHÈSE GÉNÉRALE

D'une manière générale, le projet de réaménagement de la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve n'a aucun impact sur le ruisseau de la Torse notamment sur ses lignes d'eau décennale, centennale et exceptionnelle.

L'augmentation du niveau d'eau du ruisseau est observable pour des débits « extrêmes » dont les valeurs sont supérieures à deux fois le débit exceptionnel.

Cette caractéristique s'explique par le fait que le lit (mineur et majeur) de la Torse présente globalement un ravin particulièrement fort dont le dénivelé avec les berges dépasse 5 mètres. Seule l'extrémité aval du tronçon étudié décrit un lit majeur s'étendant en rive gauche sur la voie de la Traverse du Lavoir de Grand-mère et des zones habitées.

Or, les aménagements de la rue Saint-Thomas-de-Villeneuve se situent sur la banquette surplombant en rive droite le ruisseau.

De plus, l'artificialisation localisée du lit du cours d'eau avec du béton et des enrochements liés ainsi que les fortes pentes engendrent une diminution des hauteurs d'eau et une accélération des écoulements.

A la vue de ces différentes informations, on peut indiquer que le projet ne présente aucun impact sur les écoulements du Ruisseau de la Torse.

La mise en place de murs et merlons acoustiques ainsi que de muret apparaît cohérente avec les niveaux de crue affichés pour l'occurrence centennale et exceptionnelle.

Ces données restent en adéquation avec l'étendue des zones inondables issues de l'étude de 1997 où l'ensemble du projet est placé hors zones inondables.

DOCUMENTS CONSULTÉS

- Référence 1 :** « Cartographie hydrogéomorphologique des zones inondables en région Provence - Alpes – Côte d'Azur » - IPSEAU pour la DIREN Provence – Alpes – Côte d'Azur (Novembre 2004)
- Référence 2 :** « Etude hydraulique détaillée des aléas inondation des ruisseaux de la Torse, des Pinchinats et du Barret » - BET HORIZONS pour le SABA (Syndicat intercommunal d'Aménagement du Bassin versant de l'Arc) et la Ville d'Aix-en-Provence (Décembre 1997)
- Référence 3 :** Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations - 1977
- Référence 4 :** « Synthèse et mise en cohérence des études d'inondabilité sur la commune d'Aix-en-Provence » - SIEE pour la DDE des Bouches-du-Rhône (Décembre 2005)
- Référence 5 :** Rapport d'expertise du «Projet de ligne à grande vitesse TGV Méditerranée» intitulé « Méthodologie et principes de calcul pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement des petits bassins versants » (Décembre 1993)

ANNEXES

**ANNEXE 1 :
ESTIMATIONS DES DEBITS DES
ECOULEMENTS EXTERIEURS INTECEPTES**

**ANNEXE 2 :
RESULTATS DE LA MODELISATION
HYDRAULIQUE DE LA TORSE**