



## ZAC du Viaduc

Note de présentation du projet  
d'aménagement hydraulique

---

# TABLE DES MATIÈRES

---

<b>1</b>	Contexte .....	2
<b>2</b>	Etude de l'aléa actuel .....	4
2.1	Description du secteur d'étude .....	4
2.2	Fonctionnement hydraulique du secteur.....	5
2.2.1	Bassin versant.....	5
2.2.2	Ouvrage A .....	6
2.2.3	Ouvrage B .....	7
2.2.4	Ouvrage C .....	8
2.3	Hydrologie .....	9
2.4	Modélisation 2D .....	10
2.5	Modification de l'aléa HGM .....	12
<b>3</b>	Aménagements prévus dans le cadre de la ZAC du viaduc.....	14
<b>4</b>	Annexes .....	16
4.1	Annexe 1 – méthode de caractérisation des bassins versants.....	16
4.2	Annexe -2 : Pluies théoriques.....	23
4.2.1	Analyse des pluies statistiques .....	23
4.2.2	Construction des pluies de projet statistiques.....	26
4.2.3	Analyse de la pluie historique de septembre 1993 .....	29
4.3	Annexe 2 – dimensionnement des canalisations .....	1

# 1

## CONTEXTE

L'opération « Plan Campus » menée par l'Etat prévoit, sur le quartier Montaiguet de la commune d'Aix-en-Provence, l'extension d'un quartier étudiant avec notamment, la création de lieux d'enseignement mais aussi d'hébergements pour les étudiants.

La Commune en Provence a souhaité profiter de ce projet pour mener une réflexion plus globale sur l'aménagement de la ZAC du Viaduc située sur la rive gauche de l'Arc. Au stade de l'avancée du projet, le périmètre définitif de la ZAC reste à définir au sein d'un périmètre de réflexion délimité par :

- Au nord, l'autoroute A8,
- A l'ouest par le Chemin de la Guiramande et le Chemin du Viaduc
- Au sud et à l'est par la voie ferrée reliant entre autres Aix-en-Provence à Marseille.
- Le secteur d'étude est présenté sur la figure page suivante.

Des études antérieures ont montré que ce secteur est potentiellement exposé à un aléa inondation.

Une étude hydraulique a été réalisée en 2011 par IPSEAU afin de définir le principe d'assainissement des eaux pluviales pour l'opération Plan Campus en situation aménagée.

L'objet de la présente note est de présenter les aménagements envisagés afin d'améliorer la gestion des eaux pluviales et de limiter le risque d'inondation par ruissellement en cas d'événement pluvieux exceptionnel.



Figure 1 : Localisation de la ZAC du Viaduc

# 2

## ETUDE DE L'ALÉA ACTUEL

### 2.1 DESCRIPTION DU SECTEUR D'ÉTUDE

Le projet de la ZAC du Viaduc couvre une superficie de 24 ha. Il s'inscrit dans un bassin versant global d'une superficie de 65 ha sans écoulement pérenne. L'exutoire de ce bassin versant se situe sur la rive gauche de l'Arc.

La ZAC du Viaduc est située en bordure de l'Arc. Sur ce secteur, deux types d'aléas ont été déterminés dans le cadre d'études antérieures :

- Aléa inondation fort et moyen par débordement de l'Arc au nord de la zone.
- Aléa hydrogéomorphologique traversant le secteur d'étude du sud vers le nord.

Ces différents éléments sont présentés sur la carte page suivante.

Sur le secteur d'étude, on note une urbanisation constituée d'habitations, de bâtiments d'entreprise et de parkings. Les terrains non construits sont constitués de friches, de cultures et d'espaces boisés.

A l'amont du secteur d'étude, au sud de la voie ferrée, les terrains sont quasi intégralement recouverts de garrigue. On note simplement la présence de deux habitations à l'amont immédiat de la voie ferrée.

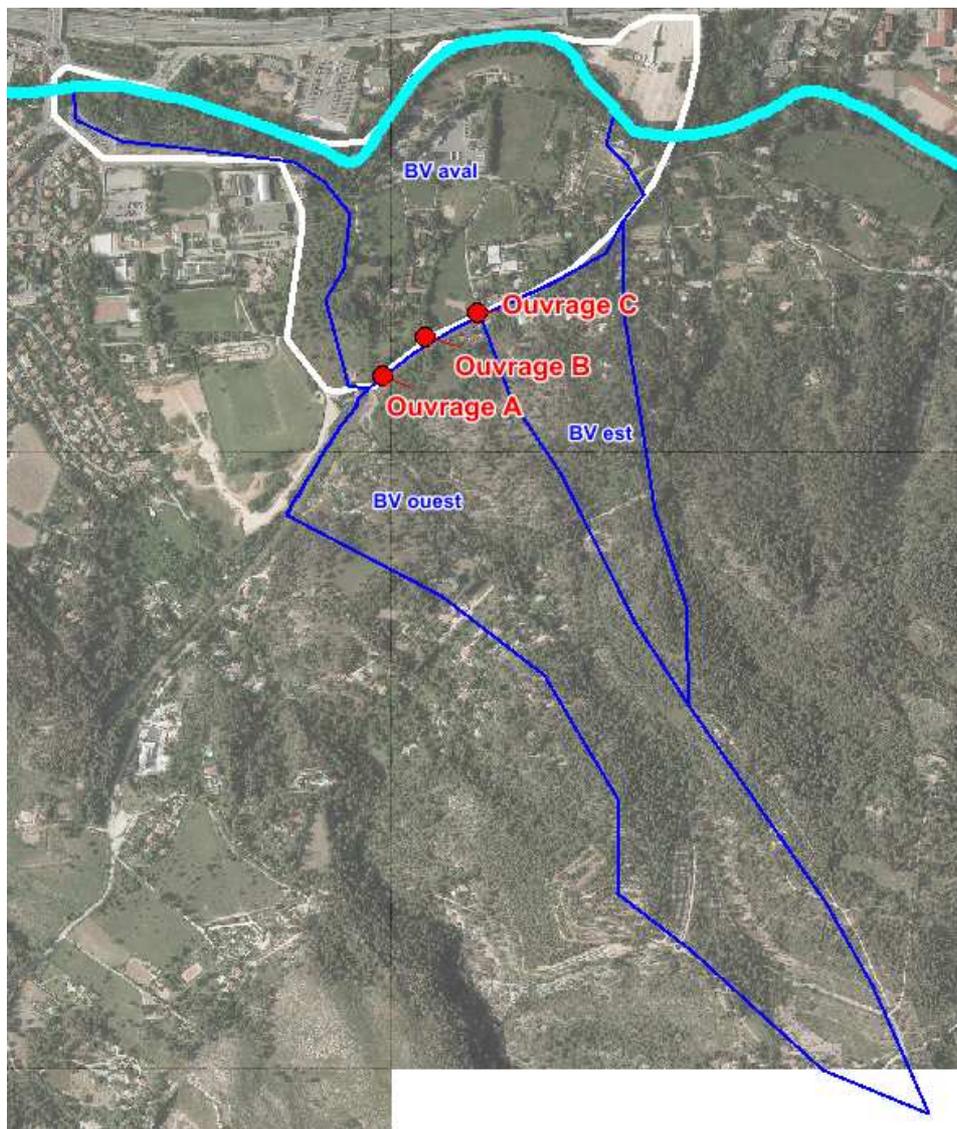
## 2.2 FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU SECTEUR

### 2.2.1 Bassin versant

Le fonctionnement du bassin versant est fortement influencé par la traversée en remblai (entre 0,2 m et 3 m) de la voie ferrée. Trois ouvrages sont aménagés sous cette voie.

La superficie du bassin versant à l'amont de la voie est de 40 ha. Ce bassin versant se décompose en deux sous bassins versants :

- bassin versant ouest d'une superficie de 32 ha. Ce bassin versant est repris à l'aval par les ouvrages A et B (cf infra).
- bassin versant est d'une superficie de 9 ha. Ce bassin versant est repris à l'aval par l'ouvrage C (cf infra).



A l'aval de la voie ferrée, on note sur le secteur l'absence de fossés ou de réseau pluvial susceptible d'influencer notablement les ruissellements pour un événement exceptionnel. Le bassin versant entre la voie ferrée et l'Arc est d'une superficie de 20 ha.

### 2.2.2 Ouvrage A

Les caractéristiques de cet ouvrage sont les suivantes :



Hauteur sous  
voute : 1,8 m

Hauteur au pied  
de la voute :  
0,75m

Largeur au sol :  
5,85m

Vue de l'ouvrage depuis l'aval



Vue aérienne de l'ouvrage depuis l'amont

On peut noter que cet ouvrage est un ouvrage de franchissement piéton et qu'il est légèrement décalé par rapport à l'axe du talweg. En conséquence, pour de petites pluies, l'ouvrage ne reprend pas les ruissellements du bassin versant amont qui suivent la voie ferrée. En revanche pour des pluies plus importantes, cet ouvrage peut fonctionner comme un ouvrage hydraulique.

### 2.2.3 Ouvrage B

Cet ouvrage se situe dans l'axe naturel du talweg

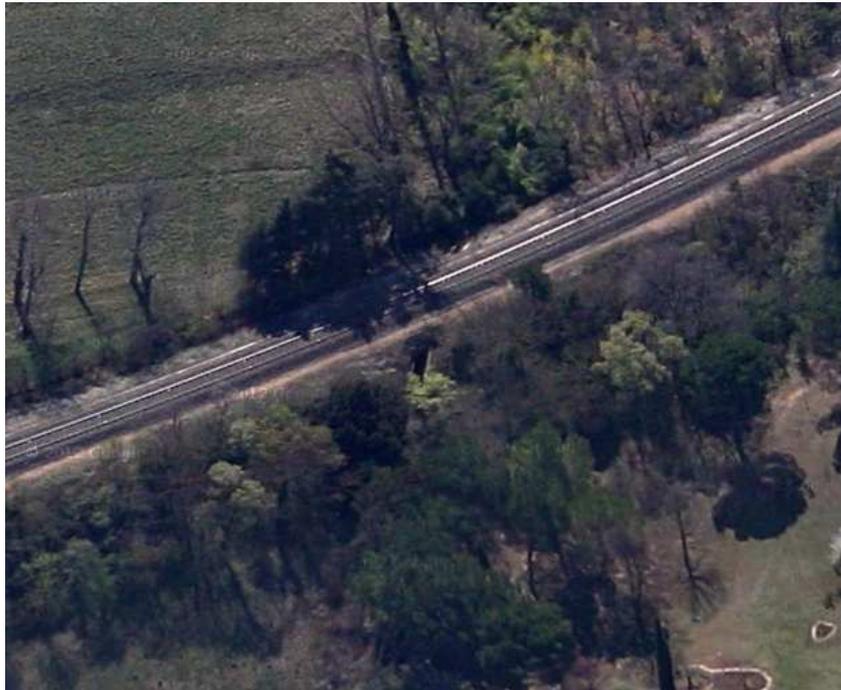
Les caractéristiques de cet ouvrage sont les suivantes :



Hauteur sous route : 2 m

Largeur au sol : 1 m

Vue de l'ouvrage depuis l'aval



Vue aérienne de l'ouvrage depuis l'aval

## 2.2.4 Ouvrage C

Les caractéristiques de cet ouvrage sont les suivantes :



Hauteur sous route : 4 m

Largeur au sol : 3 m

Vue de l'ouvrage depuis l'aval



Vue aérienne de l'ouvrage depuis l'amont

## 2.3 HYDROLOGIE

Le tableau suivant présente les débits calculés pour une pluie 100 ans type 1993.

Les débits pour un événement exceptionnel de période de retour 1000 ans ont été extrapolés de ces résultats par l'application d'un coefficient de 1,8.

Bassin versant	Bassin versant ouest	Bassin versant est
Surface (ha)	32	9
Longueur (m)	1480	620
Pente moyenne (%)	9.8	16.9
Coefficient de ruissellement	22	15
Tps de concentration (min)	14	6
Débit Q100 (m <sup>3</sup> /s)	6.6	2.7
Débit Q100 (m <sup>3</sup> /s)	11.9	4.9

Figure 2 : hydrologie

## 2.4 MODÉLISATION 2D

La modélisation hydraulique a été réalisée à l'aide de TELEMAC 2D.

**TELEMAC-2D** résout, par une méthode d'éléments finis sur des maillages non structurés constitués d'éléments triangulaires, les équations de Barré de Saint-Venant à deux dimensions horizontales d'espace. Ces équations expriment en tout point du domaine de calcul la conservation de la masse (équation de continuité) et la conservation de la quantité de mouvement dans les deux directions d'espace horizontales (équations dynamiques).

L'aléa a été déterminé par un croisement hauteur/vitesse pour une pluie type 1993 qui est la pluie de référence sur Aix-en-Provence. La grille utilisée pour le croisement est la suivante :

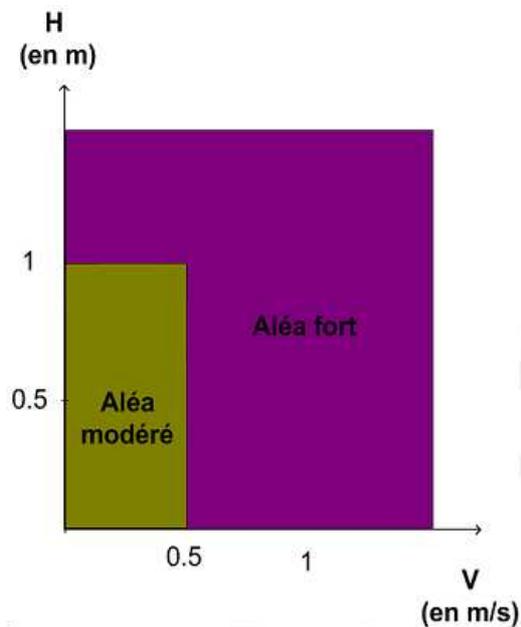


Figure 3 : Grille d'aléa

Les résultats sont présentés sur la figure ci-dessous :

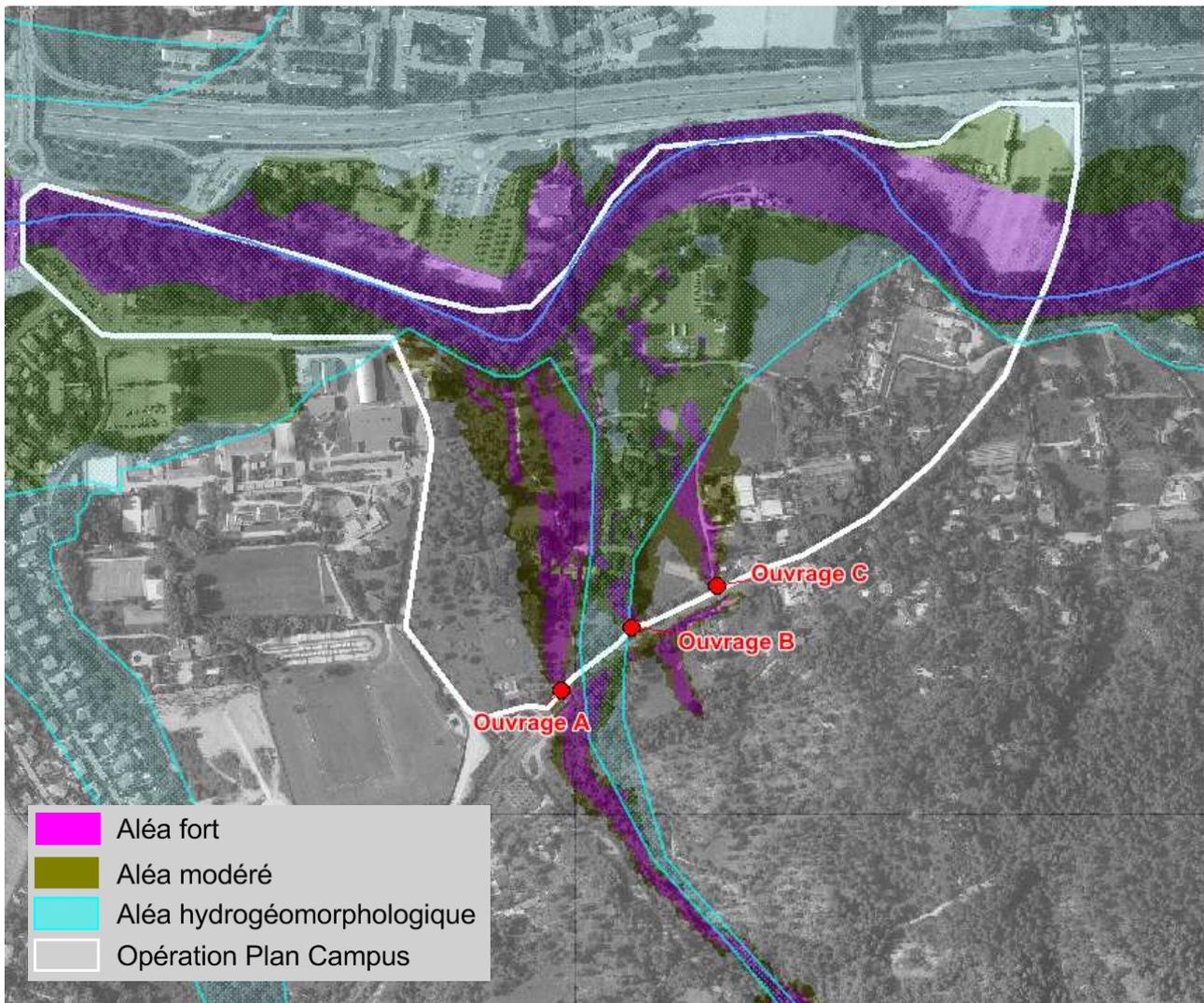


Figure 4 : Aléa sur le secteur d'étude en situation actuelle

Les résultats de la modélisation :

- Montrent que l'ouvrage A reprend pas qu'une petite partie des ruissellements du bassin versant amont ( $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$  passent dans l'ouvrage A). L'autre partie du débit des ruissellements suit le remblai de la voie ferrée et traverse cette voie au niveau des ouvrages B ( $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et C ( $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ).
- Laissent apparaître un décalage important entre l'aléa déterminé par modélisation 2D et l'aléa HGM. La modélisation laisse apparaître deux trois axes de ruissellements principaux dont le principal (à l'ouest) est en dehors de l'aléa HGM.

## 2.5 MODIFICATION DE L'ALÉA HGM

Partant du constat que l'aléa HGM défini précédemment sur le secteur d'étude n'est pas en cohérence avec l'aléa inondation modélisé pour une pluie centennale, il est proposé de redéfinir l'aléa HGM par la fusion de l'HGM existant et de l'aléa résultant de la modélisation d'une crue exceptionnelle de période de retour 1000 ans.

Le débit retenu pour la crue exceptionnelle est le débit millénal, correspondant à 1,8 fois le débit de la pluie de référence.

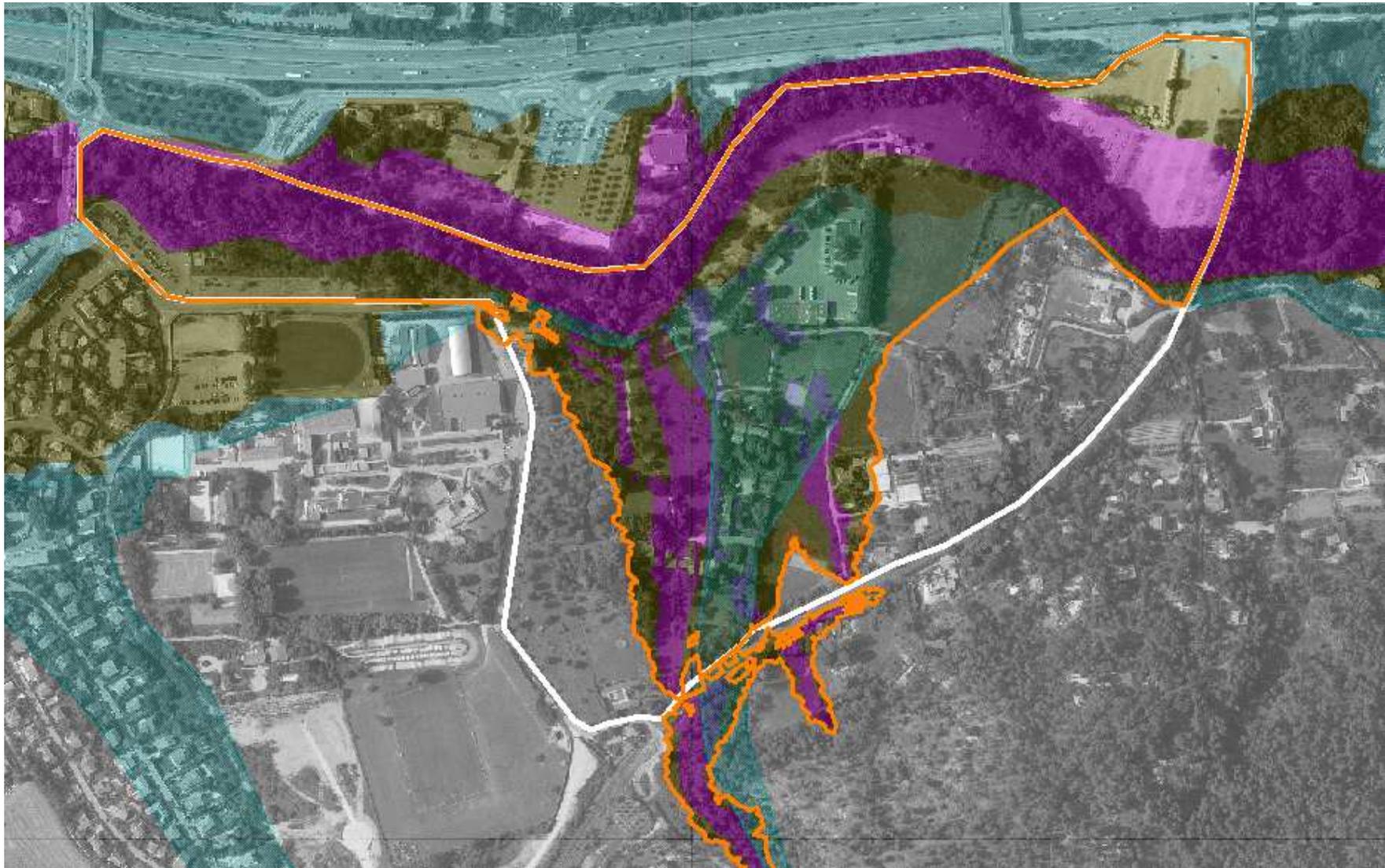


Figure 5 : Aléa résiduel

# 3

## AMÉNAGEMENTS PRÉVUS DANS LE CADRE DE LA ZAC DU VIADUC

Étant donné l'aléa caractérisé précédemment, des aménagements destinés à gérer le risque inondation sur le secteur ont été proposés.

Le schéma d'aménagement retenu, validé dans son principe par la DDTM, est :

- de capter les eaux de ruissellement à l'aval de la voie ferrée par des canalisations et des fossés dimensionnés pour la pluie de référence.
- de gérer de manière distincte les eaux de ruissellements du bassin versant intercepté par le projet (au niveau des ouvrages A, B et C) et des eaux pluviales de la ZAC.

Le système d'assainissement proposé se compose des éléments suivants :

- Modelé de terrain à l'aval des ouvrages A et B, destinés à canaliser les ruissellements vers un ouvrage d'entonnement,
- Aval des ouvrages A et B : ouvrages d'entonnement de 2x3 m (largeur x longueur).
- Aval de l'ouvrage C : cet ouvrage étant un ouvrage de passage routier, il n'est pas possible d'aménager un ouvrage d'entonnement à son aval direct. En conséquence, il est proposé de réaliser, pour la récupération des ruissellements, un profilage de chaussée et un fossé de collecte de 2m de large en parallèle sur une longueur de 50 m.
- canalisations Ø1200 sur 280m jusqu'à la jonction avec la canalisation en provenance de l'ouvrage B,
- canalisation Ø1400 jusqu'au l'Arc,
- Ouvrage de rejet à l'Arc.

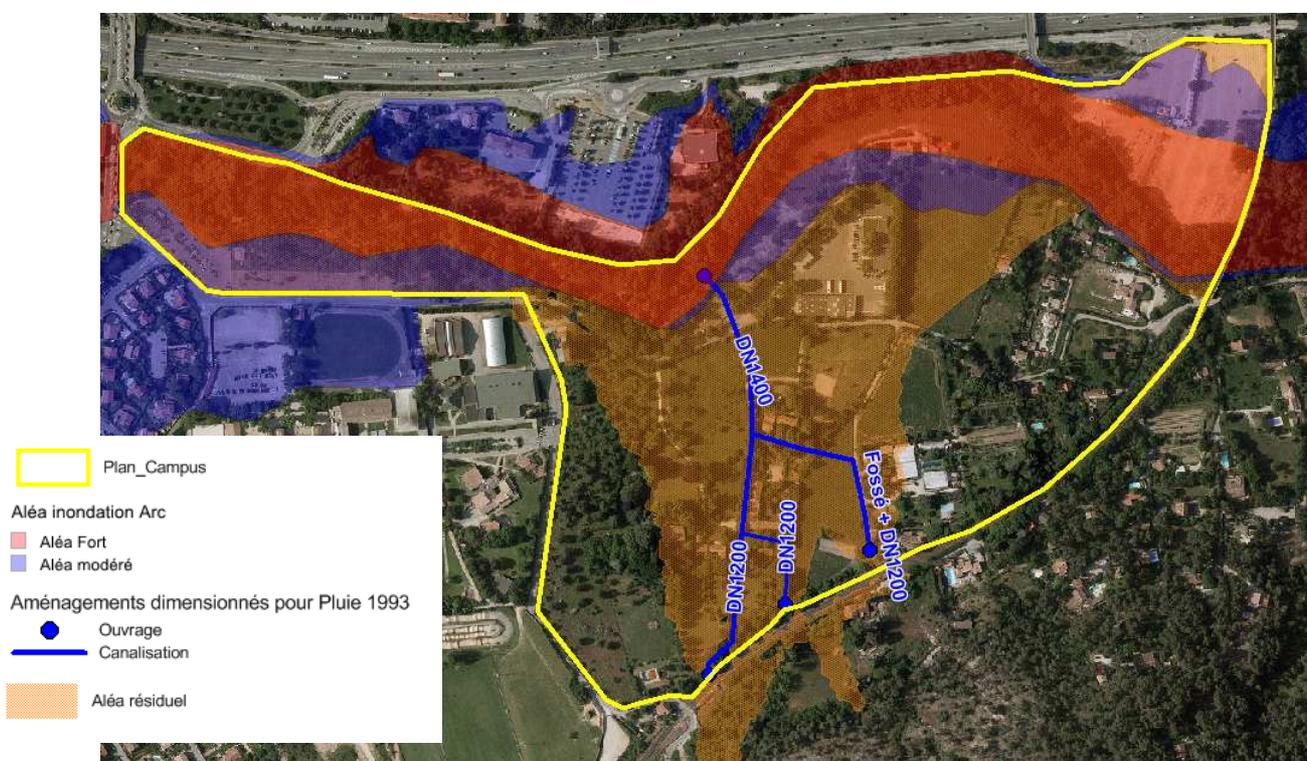
Ce principe a été retenu en raison de la présence au niveau du talweg de la bastide et du Parc de la Pauliane intégrant des espaces boisés remarquables.

La canalisation Ø1200 a été dimensionnée de manière à pouvoir évacuer le débit généré par une pluie de période de retour centennale. En l'état actuel, vu la configuration topographique à l'amont immédiat de l'ouvrage A, seuls 3,2 m<sup>3</sup>/s traversent l'ouvrage de rétablissement. Une partie non négligeable du débit (3,4 m<sup>3</sup>/s) est détournée par la voie ferrée vers l'ouvrage B. Il est préconisé, de façon préventive, de dimensionner la canalisation à l'aval de l'ouvrage A de manière à pouvoir évacuer l'ensemble de ces débits. En effet dans le cas d'un remodelage des terrains en amont de la voie ferrée, l'ensemble de ces débits (6,6 m<sup>3</sup>/s) sont susceptibles d'être canalisés vers l'ouvrage A.

La canalisation Ø1400 a été dimensionnée de manière à pouvoir évacuer les débits de l'ensemble du bassin versant amont soit 8,5 m<sup>3</sup>/s.

Le dimensionnement de ces canalisations est présenté en annexe 2.

Le fil d'eau du rejet au niveau de l'Arc sera situé environ 5 m au dessus de la cote normale du cours d'eau. En conséquence, l'ouvrage de rejet au niveau de l'Arc sera réalisé en enrochements de manière à limiter l'érosion des berges.



**Figure 6 : Aménagements proposés**

Ces aménagements permettent de supprimer les aléas fort et modéré sur le secteur d'étude.

Un aléa résiduel, défini par la fusion de l'aléa hydrogéomorphologique et de l'aléa d'une crue de période de retour 1000 ans, subsiste sur le secteur.

# 4

## ANNEXES

### 4.1 ANNEXE 1 – MÉTHODE DE CARACTÉRISATION DES BASSINS VERSANTS

L'ensemble des bassins versants et sous bassins versants pris en compte dans l'analyse présente les caractéristiques suivantes :

- ✓ Superficie ;
- ✓ Longueur du cheminement hydraulique ;
- ✓ Pente moyenne d'écoulement ;
- ✓ Temps de concentration et de réponse ;
- ✓ Coefficients de ruissellement.

#### 4.1.1.1 Détermination des bassins versants et des axes d'écoulement naturels

La détermination des bassins versants naturels et leurs axes d'écoulements ont été déterminés à partir des courbes de niveau 5 mètres, avec l'utilisation du logiciel de SIG ArcView. Le travail s'est effectué en 4 principales phases :

- ✓ Le calcul de la direction des écoulements ;
- ✓ Le calcul de l'accumulation des écoulements ;
- ✓ Le calcul des bassins versants ruraux ;
- ✓ La détermination des bassins versants urbains, à partir des plans de réseaux et des visites sur site.

#### 4.1.1.2 Superficie, chemin hydraulique et pente moyenne d'écoulement

- ✓ Superficie : il s'agit de la portion du plan délimitée par la ligne de crête, contour du bassin versant.
- ✓ Chemin hydraulique le plus long : il s'agit de la longueur du plus long parcours hydraulique, reliant le point le plus éloigné du bassin versant à l'exutoire.
- ✓ Pente moyenne d'écoulement : la détermination de la pente moyenne intègre le temps d'écoulement le long du cheminement hydrauliquement le plus éloigné de l'exutoire.

#### 4.1.1.3 Estimation des temps caractéristiques

##### 4.1.1.3.1 Temps de concentration

Le temps de concentration correspond à la durée que met la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin versant pour parvenir à l'exutoire où l'on cherche à calculer le débit. La connaissance de ce temps de concentration est nécessaire à l'estimation des débits de pointe par les méthodes déterministes, du type méthode rationnelle et leurs déclinaisons régionales.

Les temps de concentration aux différents points de calcul ont été estimés à partir des caractéristiques des bassins versants et des méthodes suivantes :

- Pour les bassins versants ruraux : moyenne des formules suivantes :

<i>Méthode</i>	<i>Formule</i>	<i>Données d'entrée</i>
Kirpich	$T_c = \frac{0,0195}{60} L^{0,77} P^{-0,385}$	Tc temps de concentration en heures L longueur du plus long cheminement hydraulique en m P pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m
Passini	$T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{P}}$	Tc temps de concentration en heures A surface du bassin versant en km <sup>2</sup> L longueur du plus long cheminement hydraulique en km P pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m
Ventura	$T_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{P}}$	Tc temps de concentration en heures A surface du bassin versant en km <sup>2</sup> P pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m

Figure 7 : Formules d'estimation du temps de concentration pour les bassins versants ruraux

- Pour les bassins versants urbains : formule de Chocat

Méthode	Formule	Données d'entrée
Chocat	$T_c = \frac{0,3175}{60} \cdot A^{-0,0076} \cdot C^{-0,512} \cdot S^{-0,401} \cdot L^{0,608}$	<p>Tc temps de concentration en heures</p> <p>A surface du bassin versant en ha</p> <p>C coefficient d'imperméabilisation (0 à 1)</p> <p>S pente moyenne du bassin versant en %</p> <p>L longueur du plus long cheminement hydraulique en m</p>

**Figure 8 : Formules d'estimation du temps de concentration pour les bassins versants urbains**

#### 4.1.1.3.2 Temps de réponse

Le temps de réponse à la pluie d'un bassin versant, utilisé pour la mise en œuvre des modèles pluie-débit, a été estimé par les formules suivantes :

- Pour les bassins versants ruraux : le temps de réponse est considéré égal à la moyenne des temps de concentration calculés par les formules de Kirpich, Passini et Ventura (présenté ci-dessus au chapitre **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).
- Pour les bassins versants urbains : le temps de réponse est déterminé par la formule Chocat, présenté ci-dessous.

CHOC AT	<p><u>Si A ≤ 6ha</u></p> $T_c = 0,8 \cdot \frac{0,3175}{60} \cdot A^{-0,0076} \cdot C^{-0,512} \cdot S^{-0,401} \cdot L^{0,608}$	<p>T : temps de réponse en heures</p> <p>A surface du bassin versant en ha</p> <p>C coefficient d'imperméabilisation (0 à 1)</p> <p>S pente moyenne du bassin versant en %</p> <p>L longueur du plus long cheminement hydraulique en m</p>
	<p><u>Si 6ha &lt; A &lt; 250 ha</u></p> $T_c = 0,7 \cdot A^{0,09} \cdot \frac{0,3175}{60} \cdot A^{-0,0076} \cdot C^{-0,512} \cdot S^{-0,401} \cdot L^{0,608}$	
	<p><u>Si A ≥ 250 ha</u></p> $T_c = \frac{0,3175}{60} \cdot A^{-0,0076} \cdot C^{-0,512} \cdot S^{-0,401} \cdot L^{0,608}$	

**Figure 9 : Formules d'estimation du temps de réponse (lagtime) pour les bassins versants urbains**

#### 4.1.1.4 Coefficients de ruissellements

##### 4.1.1.4.1 Bassin versant de type urbain

Le calcul du coefficient de ruissellement fait à partir d'une moyenne pondérée des coefficients de ruissellement de leurs surfaces imperméabilisées ou non imperméabilisées :

- Voiries et bâtis (surfaces imperméabilisées) : coefficient de ruissellement de 0,9 quelque soit l'occurrence de la pluie ;
- Surfaces vertes (surfaces non-imperméabilisées) : coefficient de ruissellement de 0,4 pour les pluies de période de retour inférieure ou égale à 10 ans et de 0,6 pour celles supérieures à 10 ans.

Les surfaces imperméabilisées et non-imperméabilisées des différents bassins versants (ainsi que leur couverture végétale) sont définies par analyse des données issues des données BD TOPO 2008 de l'IGN.

L'évolution de l'urbanisation depuis 2008 a été prise en compte une fois les coefficients déterminés par cette méthode, en étant attentif à la cohérence entre ces coefficients et l'orthophoto 2010.

##### 4.1.1.4.2 Bassin versant de type rural

###### a- Occurrence inférieure ou égale à 10 ans

Le calcul du coefficient de ruissellement d'occurrence inférieure à 10 ans se fait en appliquant la **moyenne pondérée des coefficients de ruissellement selon l'occupation du sol**.

La couverture végétale des bassins versant sont définies par analyse des données issues des photos satellite Corine Land Cover 2006.

On distingue les grandes classes d'occupation des sols suivantes :

- Secteurs urbains denses :
  - Les zones d'habitat dense (imperméabilisation moyenne) ;
  - Les zones commerciales, parkings et centre ville (imperméabilisation forte).
- Secteurs périurbains : zones d'habitats diffus (faible imperméabilisation) ;
- Secteurs cultivés, classés par grands types de cultures (fonctions de cycles de mise en culture) ;
- Secteurs naturels, classés par grands types.

Il est à noter que pour l'ensemble des catégories d'occupation le coefficient minimal appliqué est de 25%.

Les coefficients de ruissellement associés à chaque classe d'occupation du sol selon la nomenclature Corine Land Cover sont les suivants :

Code Corine Land Cover	Classe d'occupation du sol	Coefficient de ruissellement associé
111	Tissu urbain continu	90%
121	Zones industrielles ou commerciales	70%
112	Tissu urbain discontinu	45%
142	Equipements sportifs et de loisirs	30%
113	Bâti diffus	30%
112/121/122/142	Territoire artificialise	30%
122/141/212/221/242/ 312/313/323/324/332	Secteurs cultivés et naturels	25%

**Figure 10 : Nomenclature d'occupation du sol Corine Land Cover et coefficients de ruissellement associés**

#### **b- Occurrence supérieure à 10 ans**

Le calcul du coefficient de ruissellement pour une occurrence de 30 à 100 ans se fait en appliquant **la formulation dite « des Experts »**.

Cette formule, adaptée au contexte méditerranéen, évalue l'aptitude au ruissellement des bassins versants en fonction de la capacité de rétention initiale des sols **P<sub>0</sub>**, elle-même conditionnée par la nature du substrat et l'occupation des sols. Elle permet par ailleurs de faire **varier le coefficient de ruissellement en fonction de la période de retour de la pluie**.

L'expression utilisée pour l'estimation du coefficient de ruissellement est la suivante :

$$C = 0,8 (1 - P_0/PJ100)$$

Avec :

**PJ100** : pluie journalière centennale (mm)

**P<sub>0</sub>** : capacité de rétention initiale du sol.

P<sub>0</sub> est tabulé et varie entre 0 et 90 selon les sols, la morphologie et la couverture végétale, selon la nomenclature suivante :

Couverture végétale	Morphologie	Pente %	Terrain sable grossier	Terrain limoneux	Terrain argileux compact
Bois	presque plat	0-5	90	65	50
	ondulé	5-10	75	55	35
	montagneux	10-30	60	45	25
Pâturage	presque plat	0-5	85	60	50
	ondulé	5-10	80	50	30
	montagneux	10-30	70	40	25
Culture	presque plat	0-5	65	35	25
	ondulé	5-10	50	25	10
	montagneux	10-30	35	10	0

**Figure 11 : Valeurs de la rétention initiale P0 en fonction de l'occupation et de la nature du sol**

♦ Analyse de l'occupation des sols

Les surfaces imperméabilisées et non-imperméabilisées des différents bassins versants (ainsi que leur couverture végétale) sont définies par analyse des données issues des photos satellite Corine Land Cover 2006. Le calcul du coefficient d'imperméabilisation se fait en appliquant la **moyenne pondérée des coefficients d'imperméabilisation selon l'occupation du sol**.

**Tableau** Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.-1 : **Nomenclature d'occupation du sol Corine Land Cover et coefficients d'imperméabilisation associés**

<b>Code Corine Land Cover</b>	<b>Classe d'occupation du sol</b>	<b>Coefficient d'imperméabilisation associé</b>
111	Tissu urbain continu	80%
112	Tissu urbain discontinu	40%
113	Bâti diffus	20%
121	Zones industrielles ou commerciales	70%
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	0%
212	Périmètres irrigués en permanence	0%
221	Vignobles	0%
242	Systèmes cultureux et parcellaires complexes	0%
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	0%
312	Forêts de conifères	0%
313	Forêts mélangées	0%
323	Végétation sclérophylle (maquis et garrigue)	0%
324	Forêt et végétation arbustive en mutation	0%

#### ◆ Nature du substrat géologique

La caractérisation du sol, nécessaire à l'application de la méthode des experts, est déterminée par l'analyse de la nature du substrat. Celle-ci influe en effet sur la perméabilité et la capacité de rétention initiale des sols. Ce paramètre a été appréhendé par l'analyse de la carte géologique élaborée (source BRGM).

#### ◆ Estimation de la capacité de rétention initiale P0

Le croisement des paramètres d'occupation du sol et de nature du substrat permet de déterminer la capacité de rétention initiale  $P_0$  de chaque sous bassin versant. Pour mémoire, la grille suivante a été utilisée :

**Tableau Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.-2 : Valeurs de référence Méthode des experts**

	<b>Perméable en grand</b>	<b>Peu Perméable</b>
<b>Zones boisées (relief ondulé)</b>	<b>75 mm</b>	<b>55 mm</b>
<b>Terres agricoles (zones planes)</b>	<b>65 mm</b>	<b>35 mm</b>

#### ◆ Détermination de PJ10 et PJ100

Ces valeurs, nécessaires à l'utilisation de la méthode des experts, sont issues des données statistiques calculées à Aix-en-Provence, par la méthode GEV.

**Figure 12 : Pluies journalières maximales utilisées dans la méthode des experts**

Pluies journalières maximales estimées à Aix en Provence	
Pj10ans	109 mm
Pj100ans	181 mm

## 4.2 ANNEXE -2 : PLUIES THÉORIQUES

Les calculs hydrologiques ont pour but la définition des débits de pointe de chaque bassin et sous-bassin versant pour différentes pluies de projet. Dans le cadre du schéma directeur, il sera utilisé des pluies de temps de retour de :

- ✓ 5 ans ;
- ✓ 10 ans ;
- ✓ 30 ans ;
- ✓ 50 ans ;
- ✓ 100 ans ;

Ainsi que la pluie historique de septembre 1993.

### 4.2.1 Analyse des pluies statistiques

Nous disposons pour l'élaboration des pluies de projet des données pluviométriques suivantes :

- ✓ Traitements statistiques effectués par Météo France sur la chronique d'Aix-en-Provence (période 1979-2009), par deux méthodes : **méthode du renouvellement et méthode GEV** ;
- ✓ Données pluviométriques régionalisées par le CEMAGREF d'Aix-en-Provence (**Méthode SHYREG**).

Cette étude, a été réalisée en 2005 suite aux événements de 1993 et 1994. A partir de la méthode de régionalisation SHYREG du générateur de hyétogramme SHYPRE développé, il est possible d'obtenir des chroniques de pluies horaire pour toute maille de 1 Km<sup>2</sup>, sur les régions Languedoc Roussillon et PACA.

Pour les périodes de retour 10 ans et 100 ans, les cumuls maximaux obtenus selon les différentes méthodes sont comparés pour chaque pas de temps en page suivante. Ils sont également comparés avec la pluie historique de septembre 1993 (analysée plus en détail ultérieurement).

10 ans					22 au 24 septembre 1993	
h	min	AIX GEV	AIX RENOUV	AIX SHYREG	Aix les Milles 09/93	Aix Galice 09/93
0.1	6	13.9	13.6		12.4	12.8
0.25	15	26.1	24.9			
0.5	30	37.6	36.4		53	70.7
1	60	50.2	49.5	50.7	100.8	129.9
2	120	62	59.6	56.8		
3	180	66.7	62.8	62.8	169.4	206.8
6	360	82.5	76.7	75.7	178.2	218.2
12	720	94.7	89.1	89.6		
24	1440	108.8	103.5	101.8	189	222
48	2880	122.6	114.8	144.3	232.7	255
96	5760	140.4	133.1			

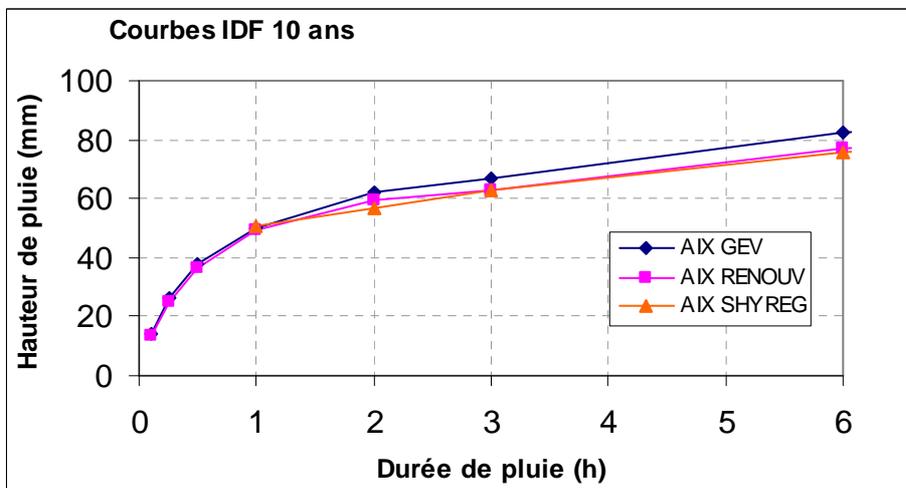
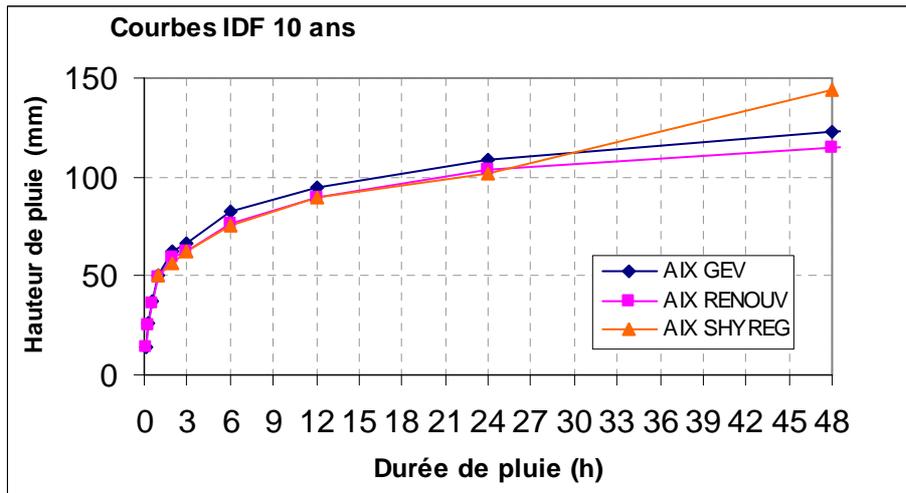


Figure 13 : Comparaison des cumuls pluviométriques estimés à Aix en Provence pour T=10 ans par différentes méthodes

Pour la période de retour 10 ans et les durées inférieures à 24h, les cumuls maximaux calculés par les différentes méthodes sont assez proches. Les valeurs calculées par la méthode GEV sont légèrement plus élevées que les autres.

100 ans		AIX GEV	AIX RENOUV	AIX SHYREG	Aix les Milles 09/93	Aix Galice 09/93	<i>i max(mm/h)</i>
h	min						
0.1	6	22.4	22.8		12.4	12.8	128
0.25	15	46.3	41.4				
0.5	30	71.7	69.3		53	70.7	141
1	60	124.9	118.2	79.1	100.8	129.9	130
2	120	175.8	156.4	86.8			
3	180	179.9	155.3	95.9	169.4	206.8	69
6	360	169.9	177.7	123.2	178.2	218.2	36
12	720	179.9	185.7	154			
24	1440	205.6	183.6	175.7	189	222	9
48	2880	205.8	212.8	193.2	232.7	255	5
96	5760	248	234.8				

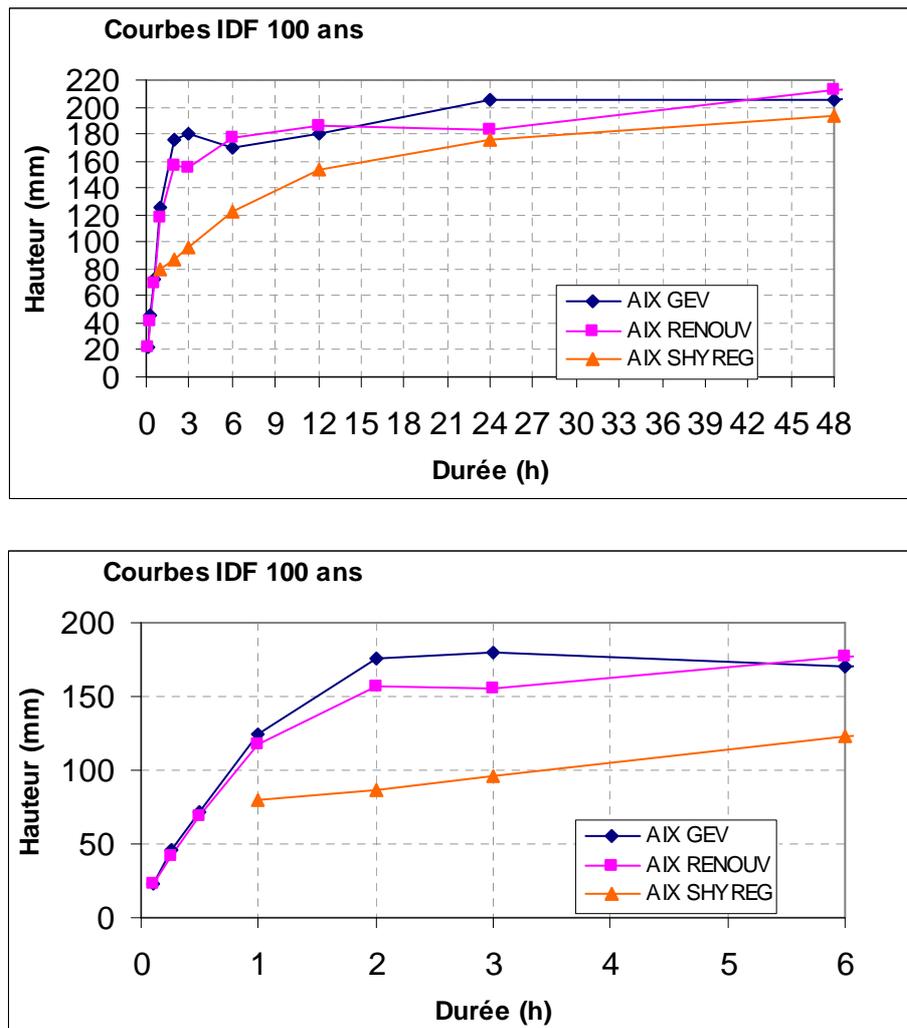


Figure 14 : Comparaison des cumuls pluviométriques estimés à Aix en Provence pour T=100 ans par différentes méthodes

Concernant la période de retour 100 ans, les différentes méthodes donnent des résultats assez éloignés :

- ✓ Les cumuls calculés par la méthode SHYREG sont très largement inférieurs aux cumuls estimés par les autres méthodes ;
- ✓ Les cumuls calculés par les méthodes du renouvellement et GEV sont du même ordre de grandeur, avec des valeurs légèrement plus élevées pour la méthode GEV ;
- ✓ On note que ces deux méthodes donnent des cumuls très élevés pour les pluies de faible durée (3h et 6h) ; ce qui peut être expliqué par l'influence de la pluie de septembre 1993, ayant présenté des cumuls record (de période de retour estimée par certaines études à environ 200 ans) pour les durées 3h et 6h.

Du fait de valeurs SHYREG qui nous paraissent sous-estimées pour les faibles durées de pluie, et dans un souci de cohérence avec les cumuls historiques observés en septembre 1993, nous avons décidé de retenir pour la suite de l'analyse hydrologique les estimations statistiques obtenues par la méthode GEV.

## 4.2.2 Construction des pluies de projet statistiques

### 4.2.2.1 Calcul des coefficients de Montana

Le calcul des coefficients de Montana a été réalisé à partir des cumuls statistiques Météo France (courbes IDF) estimés par la méthode GEV à la station d'Aix-en-Provence, sur la période 1979-2009, pour différentes occurrences de retour et durées de pluies.

A noter que l'ajustement statistique a été réévalué pour les occurrences 30 à 100 ans.

Les résultats sont les suivants :

Figure 15 : Estimation des coefficients de Montana à la station d'Aix en Provence

		2 ans		5 ans		10 ans	
tc en heures		GEV AIX		GEV AIX		GEV AIX	
de	à	a	b	a	b	a	b
0.1 H	1.0 H	32.32	0.58	40.61	0.47	53.09	0.44
1.0 H	96.0 H	28.67	0.72	38.17	0.73	51.47	0.76

		30 ans		50 ans		100 ans	
tc en heures		GEV AIX		GEV AIX		GEV AIX	
de	à	a	b	a	b	a	b
0.1 H	2.0 H	73.66	0.42	89.38	0.37	116.22	0.31
2.0 H	96.0 H	89.77	0.84	111.00	0.87	154.56	0.91

### 4.2.2.2 Construction des pluies de projet

Les pluies de projet statistiques ont été construites sur le modèle du double-triangle. Les durées intenses et totales ont été choisies proches des temps de concentration des sous-bassins versants.

Figure 16 : Durée intense et durée totale des pluies de projet

Type de bassin versant	Rural	Urbain
Durée de la période intense	30 min	15 min
Durée totale de la	4 h	4 h

pluie		
-------	--	--

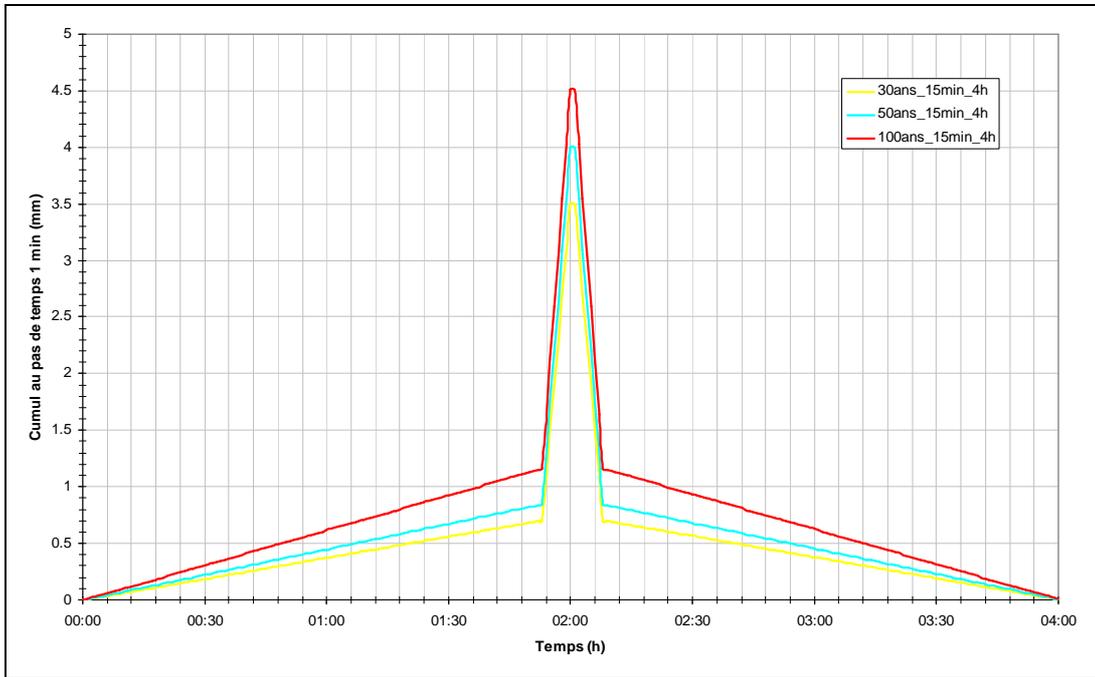


Figure 17 : Pluies de projet statistiques occurrences 100, 50, 30 ans, durées 15min-4h

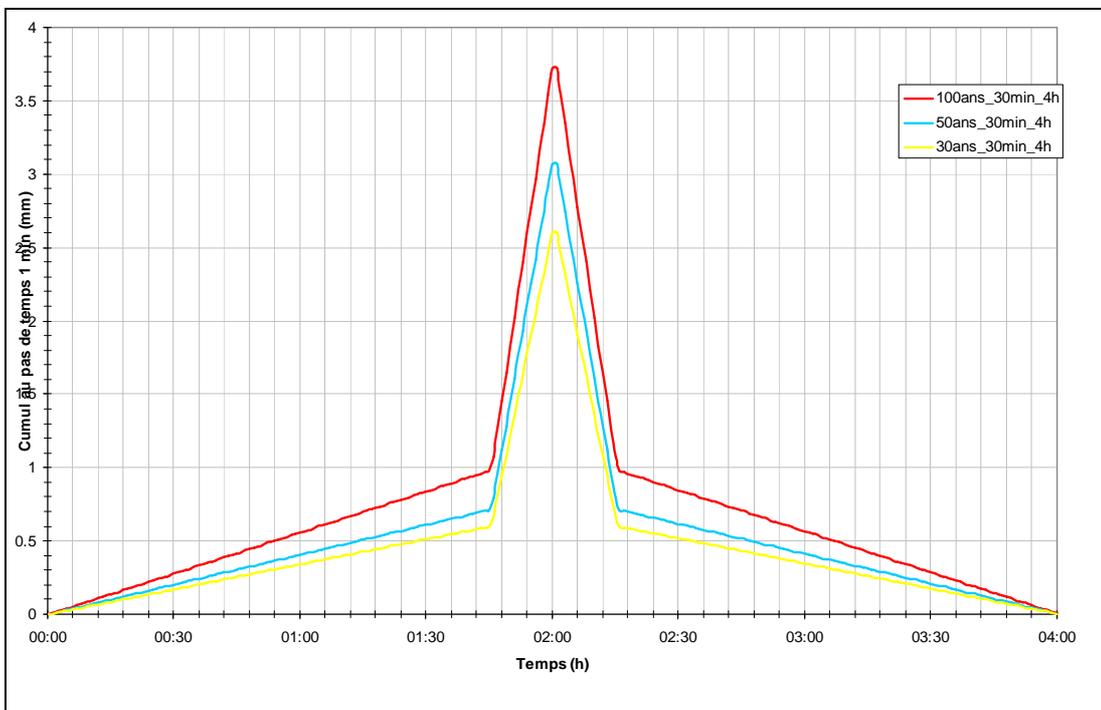


Figure 18 : Pluies de projet statistiques occurrences 100, 50, 30 ans, durées 30 min-4h

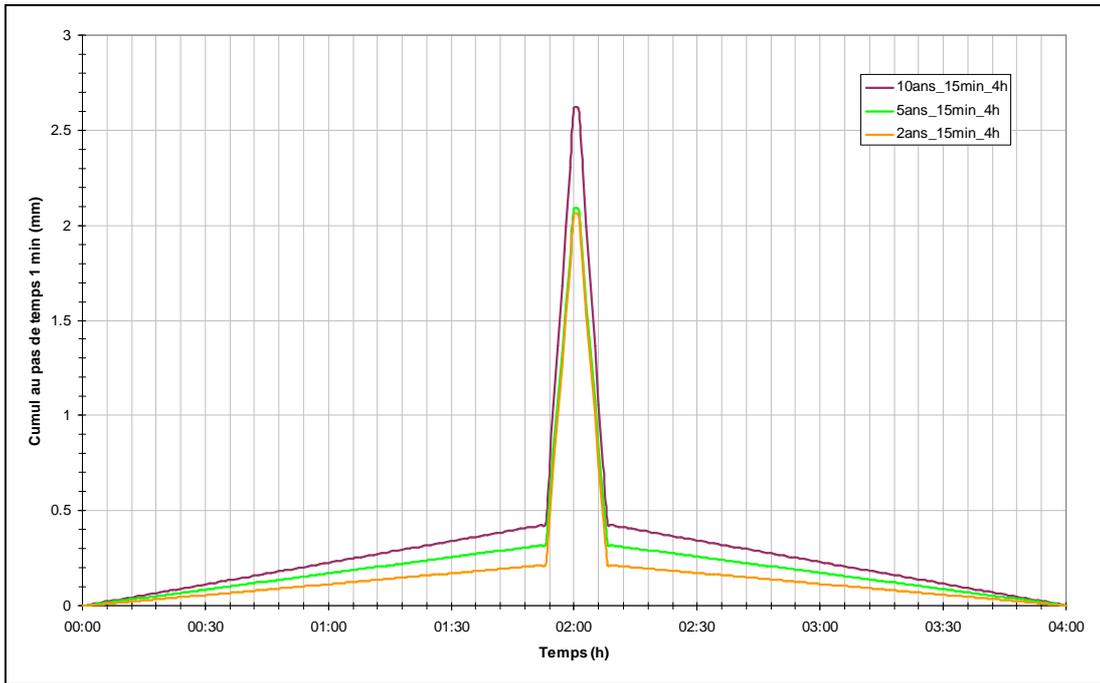


Figure 19 : Pluies de projet statistiques occurrences 10, 5, 2 ans, durées 15 min-4h

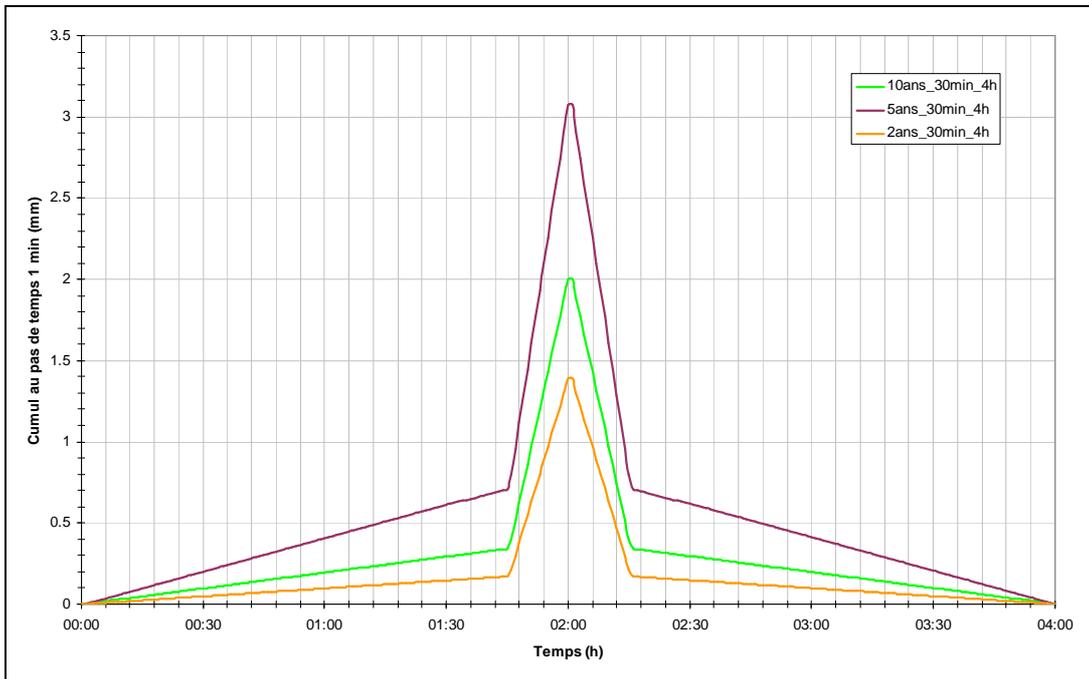


Figure 20 : Pluies de projet statistiques occurrences 10, 5, 2 ans, durées 30 min-4h

### 4.2.3 Analyse de la pluie historique de septembre 1993

La commune d'Aix-en-Provence a connu un événement pluvieux exceptionnel les 22, 23 et 24 septembre 1993. Un cumul total supérieur à 250 mm a été enregistré à la station d'Aix-Galice (station où les cumuls maximaux ont été atteints).

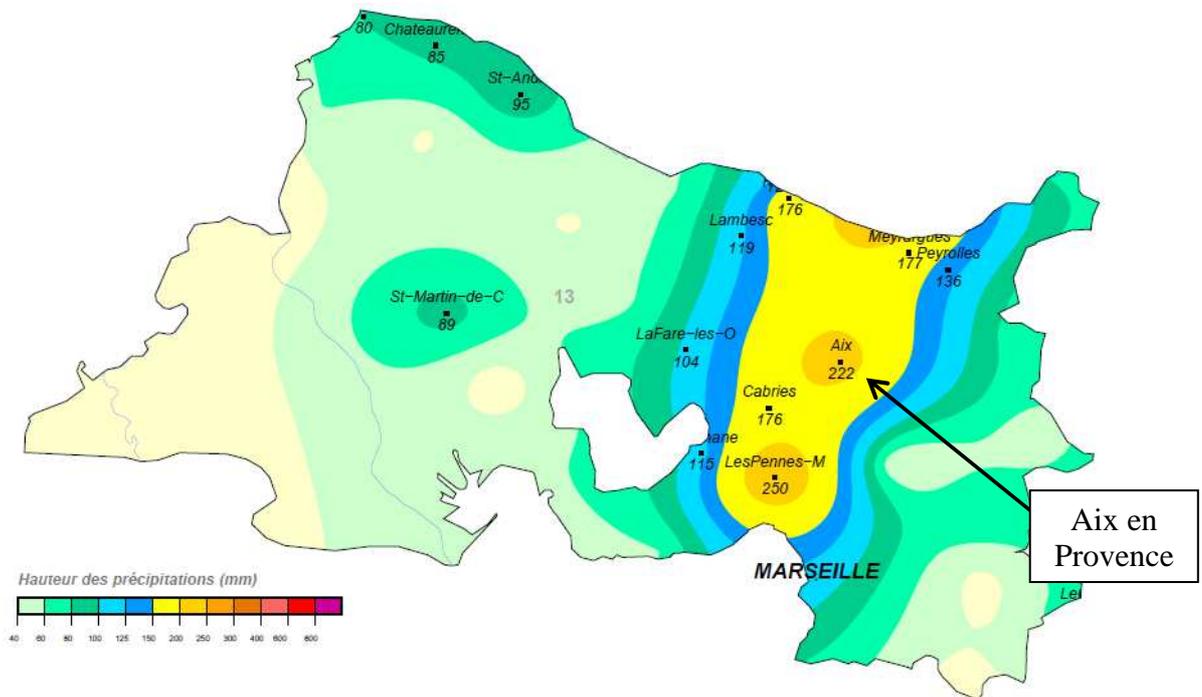


Figure 21 : Cartographie de la répartition de la pluie des 22 et 23 septembre 1993 – Source : Météofrance

Selon Météofrance, les cumuls maximaux enregistrés à Aix Galice sont les suivants :

Figure 22 : Cumuls maximaux enregistrés à Aix Galice lors de l'événement des 22 à 24 septembre 1994 et comparaison avec les cumuls centennaux

Durée	P septembre 1993 (mm)	P100 ans GEV (mm)
6 min	12.8	22.4
30 min	70.7	71.7
1h	129.9	124.9
3h	206.6	179.9
6h	218.2	169.9
24h	222	205.6

Les cumuls tombés en septembre 1993 à Aix Galice sont supérieurs aux statistiques centennales, pour toutes les durées considérées à l'exception des durées les plus courtes (inférieures à 30 min). **Ces cumuls exceptionnels confèrent à l'événement de septembre 1993 une période de retour supérieure à 100 ans.**

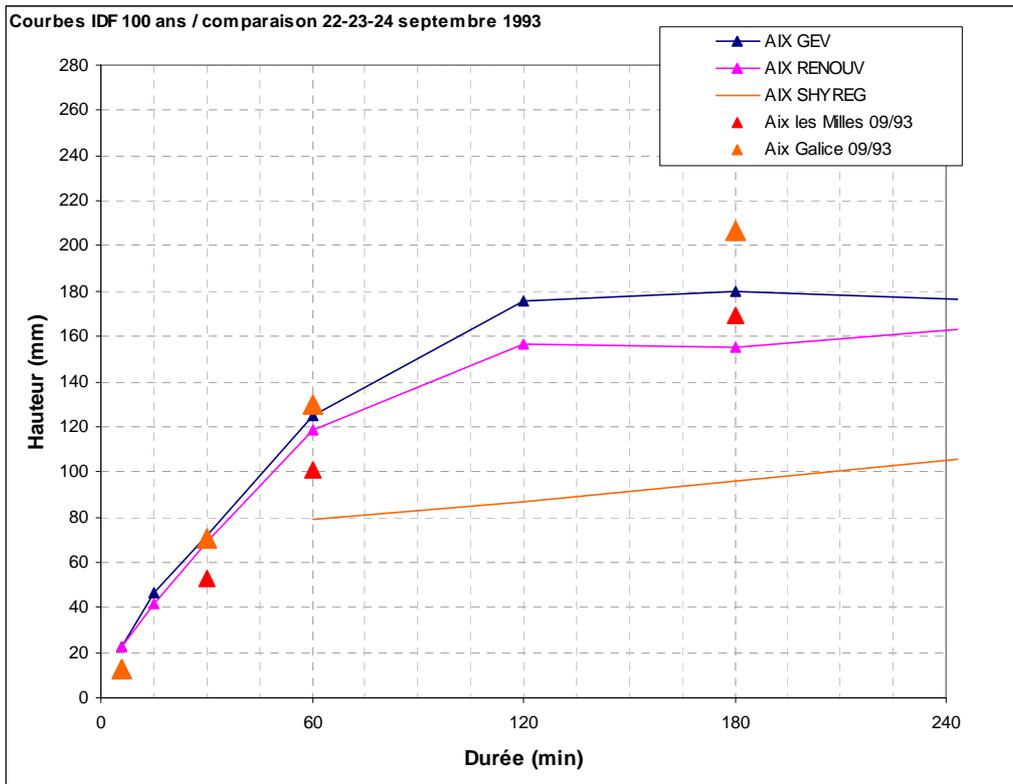
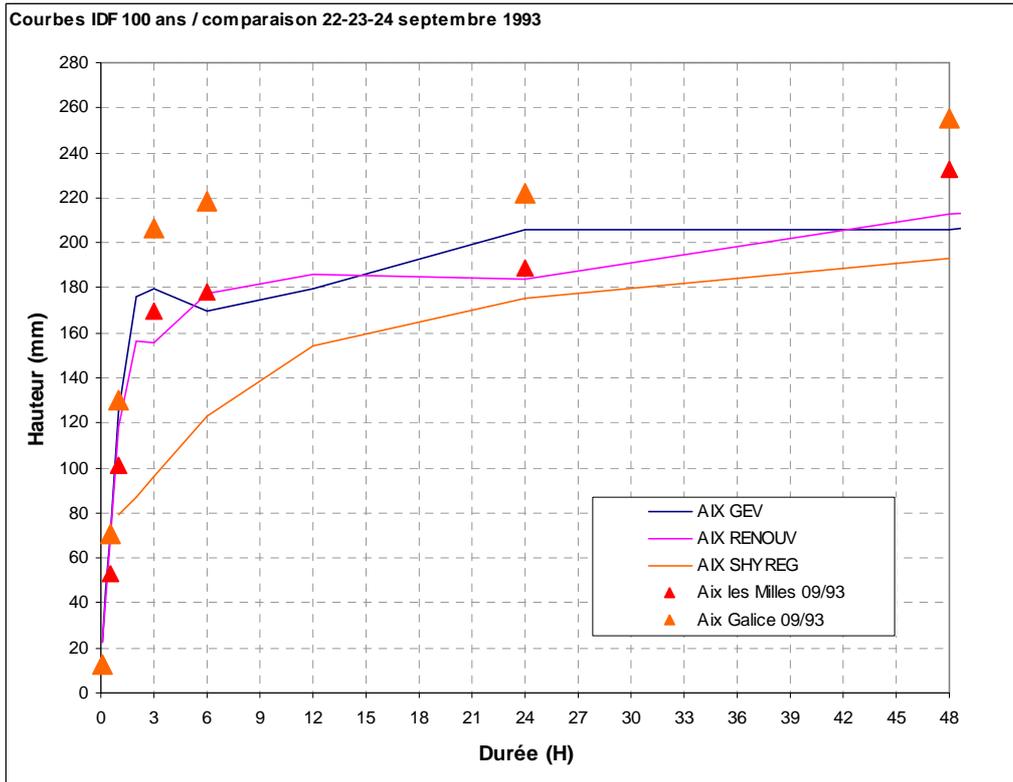


Figure 23 : Comparaison des cumuls de la pluie du 22-23 septembre 1993 et des cumuls statistiques 100 ans

La figure ci-dessous reconstitue, au pas de temps 6 minutes, la pluie du 22 au 23 septembre 1993.

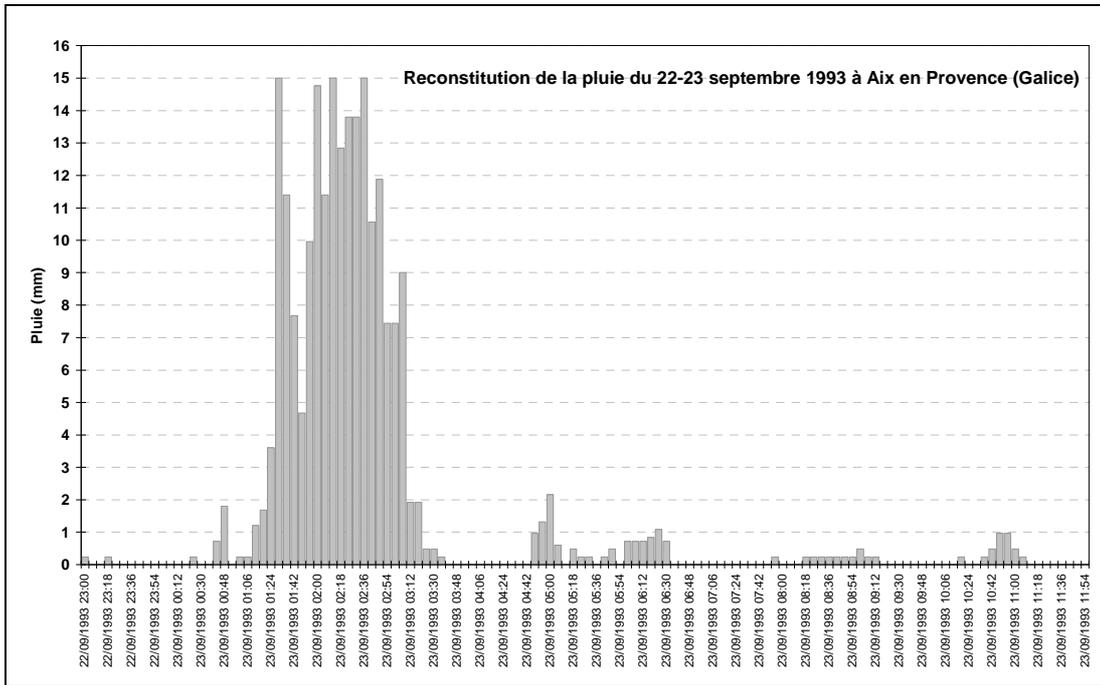


Figure 24 : Reconstitution de la pluie des 22 à 24 septembre à Aix Galice (source : étude DARGAON 1998 et Météo France)

Les graphique et tableaux suivants comparent au pas de temps 6 min la pluie de septembre 1993 et les pluies de projet 100 ans que nous avons retenues dans le cadre de cette étude.

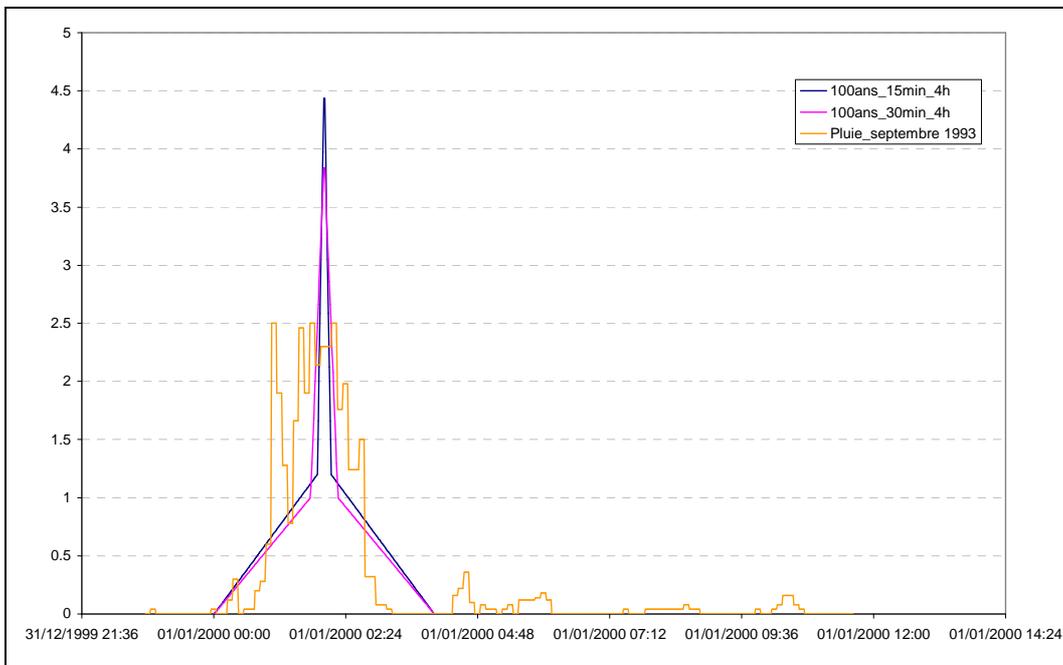


Figure 25 : Comparaison de la pluie de des 22 à 24 septembre à Aix Galice avec les pluies de projet centennales

Figure 26 : Comparaison de la pluie de des 22 à 24 septembre à Aix Galice avec les pluies de projet centennales

Pluie	septembre 1993	100 ans gev 4h_15min	100 ans gev 4h_30min
max15min	38	45	50
max30min	71	64	76
max4h	208	179	179
total	225	179	179

La comparaison montre que les pluies de projet 100 ans retenues sont plus pénalisantes que la pluie réelle de septembre 1993 **pour les très faibles durées** ( $\leq 30$  min), qui correspondent aux temps de concentration des bassins versants de la zone d'étude. Il est donc possible que les débits de pointe générés par nos pluies de projet puissent être supérieurs aux débits générés par la pluie de septembre 1993.

## 4.3 ANNEXE 2 – DIMENSIONNEMENT DES CANALISATIONS

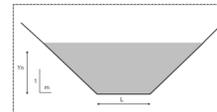
### Canalisations circulaires

S	Section mouillée maxi	$S = 3.14 * D^2 / 4$
Rh	Rayon hydraulique maxi	$Rh = D/4$
Q	Débit capable	$Q = S * K * Rh^{2/3} * I^{1/2}$

Aménagement	Description	Q100 m3/s	Q1000 m3/s	Qcapable m3/s	Nombre U	Pente m/m	K -	Ø m	S m²	Rh m
A	Canalisation à l'aval de l'ouvrage A	3.20	4.00	7.098	1	0.040	70	1.2	1.13	0.3
B	Canalisation à l'aval de l'ouvrage B	2.80	7.10	7.098	1	0.040	70	1.2	1.13	0.3
C	Canalisation à l'aval de l'ouvrage C	2.50	4.55	7.936	1	0.050	70	1.2	1.13	0.3
A+ B	Canalisation commune	6.00	11.10	7.098	1	0.040	70	1.2	1.13	0.3
A+ B + C	Canalisation commune	8.50	15.65	10.705	1	0.040	70	1.4	1.539	0.35
				0.000					0	0
				0.000					0	0

### Fossés trapézoïdaux

S	Section mouillée maxi	$S = L * Yn + m * Yn^2$
P	Périmètre mouillé	$P = L + 2 * (Yn^2 + m^2 * Yn^2)^{0.5}$
Q	Débit capable	$Q = K * Rh^{2/3} * I^{1/2}$



Aménagement	Description	Qcapable m3/s	Pente m/m	K -	L m	m m	Yn m	S m²	P m	Rh m
Aval ouvrage C	Fossé de 2m de large au total	5.39	0.040	30	1	0.5	1	1.5	3.23607	0.46353
								0	0	
								0	0	
								0	0	
								0	0	
								0	0	
								0	0	
								0	0	