

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

CONSULTING



Version : 2

Date : 5 septembre 2018

Nom Prénom : MONACO Mathieu

Visa : DECONNINCK Aurélien

**Numéro du projet : 18MAX044**

**Intitulé du projet : Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation**

**Intitulé du document : Rapport de synthèse hydraulique pédagogique**

| <b>Version</b> | <b>Rédacteur<br/>NOM / Prénom</b> | <b>Vérificateur<br/>NOM / Prénom</b> | <b>Date d'envoi<br/>JJ/MM/AA</b> | <b>COMMENTAIRES<br/>Documents de référence / Description des<br/>modifications essentielles</b> |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---|
| <b>V1</b>      | MONACO Mathieu                    | DECONNINCK Aurélien                  | 24/08/2018                       | Version initiale  |
| <b>V2</b>      | MONACO Mathieu                    | DECONNINCK Aurélien                  | 04/09/2018                       | Remarques de la DDTM13 du 31/08/2018  |
| <b>V3</b>      | MONACO Mathieu                    | DECONNINCK Aurélien                  | 05/09/2018                       | Remarques de la DDTM13 du 06/09/2018  |
|                |                                   |                                      |                                  |   |



# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



PRÉFET DES  
BOUCHES-DU-RHÔNE  
Direction départementale  
des Territoires et de la Mer

## Sommaire

|        |  |           |
|--------|--|-----------|
| 1..... | Contexte et objet de l'étude .....   | 5         |
| 2..... | Périmètre d'étude .....  | 7         |
| 3..... | Crues historiques sur le bassin de l'Arc.....  | 8         |
| 3.1    | <b>Inondations de janvier 1978.....</b>  | <b>8</b>  |
| 3.2    | <b>Inondations de septembre 1993 .....</b>   | <b>10</b> |
| 3.3    | <b>Définitions de la crue exceptionnelle et de la crue de référence.....</b>                     | <b>12</b> |
| 4..... | Résultats des modélisations hydrologiques et hydrauliques ...                                    | 13        |
| 4.1    | <b>L'Arc .....</b>   | <b>13</b> |
| 4.1.1  | Hydrologie de la crue de référence – Hypothèse retenue .....                                     | 13        |
| 4.1.2  | Modélisation hydraulique de la crue de référence .....   | 15        |
| 4.1.3  | Résultats de la modélisation de la crue de référence .....                                       | 18        |
| 4.2    | <b>Affluents amont de la Torse : Ruisseau des Corneilles et du Ruisseau des Pinchinats .....</b> | <b>22</b> |
| 4.2.1  | Analyse hydrologique .....   | 23        |
| 4.2.2  | Modélisation hydraulique.....  | 23        |
| 4.2.3  | Résultats de la modélisation 1D/2D de la crue de référence .....                                 | 25        |
| 4.3    | <b>La Torse et le ruisseau des Barets .....</b>  | <b>28</b> |
| 4.3.1  | Analyse hydrologique .....   | 29        |
| 4.3.2  | Modélisation hydraulique.....  | 32        |
| 4.4    | <b>La Luynes .....</b>   | <b>34</b> |
| 4.4.1  | Hydrologie : modélisation pluie-débit .....  | 35        |
| 4.4.2  | Modélisation hydraulique de la Luynes .....  | 37        |
| 4.4.3  | Cartographie des caractéristiques d'écoulement .....   | 38        |
| 4.5    | <b>Le Grand Vallat et la Jouïne.....</b>   | <b>40</b> |
| 4.5.1  | Hydrologie : modélisation pluie-débit .....  | 40        |
| 4.5.2  | Modélisation des écoulements .....   | 46        |
| 4.5.3  | Résultats de la modélisation 2D .....  | 46        |
| 4.6    | <b>La Petite Jouïne, les Milles ZI et la Duranne ZAC.....</b>                                    | <b>48</b> |
| 4.6.1  | Description des secteurs considérés.....   | 48        |
| 4.6.2  | Analyse hydrologique .....   | 49        |
| 4.6.3  | Modélisation hydraulique.....  | 50        |
| 4.6.4  | Résultats de la modélisation 1D/2D de la crue de référence .....                                 | 53        |

18MAX044-v1



# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



PRÉFET DES  
BOUCHES-DU-RHÔNE  
Direction départementale  
des Territoires et de la Mer

---

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>4.7</b> | <b>Le Malvallat, le Vallat des Marseillais et le Grand Torrent .....</b>         | <b>55</b> |
| 4.7.1      | Méthode d'identification des zones inondables.....                               | 55        |
| 4.7.2      | Transposition de la méthode hydrogéomorphologique vers la cartographie des aléas |           |
|            | 55   |           |
| 5.....     | Conclusion .....   | 57        |
| 6.....     | Annexe .....   | 58        |

## Tables des illustrations

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Cours d'eau concernés par l'élaboration du PPRi d'Aix-en-Provence   | 7  |
| Figure 2 : Précipitations quotidiennes sur les Bouches-du-Rhône en janvier 1978 (source : Météo France)  | 10 |
| Figure 3 : Inondation de l'Avenue de l'Europe en 1993 (source : vidéo du 20h de France 2 du 13 septembre 1993)   | 11 |
| Figure 4 : Lame d'eau précipitée du 14 juin au 16 juin 2010 (source : Etude de mise en cohérence des études hydrologiques et hydrauliques sur le bassin versant de l'Arc, GINGER-SABA, 2010)   | 13 |
| Figure 5 : Episode du 15 juin 2010 : scénario retenu par tronçon (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)  | 14 |
| Figure 6 : Transformation du MNT en maillage (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)  | 16 |
| Figure 7 : Zoom du maillage 2D (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)  | 17 |
| Figure 8 : Hauteurs d'eau de référence (Le Tholonet – Val de l'Arc – Pont de l'Arc) - (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)   | 18 |
| Figure 9 : Hauteurs d'eau de référence (Pont de l'Arc, Beauvalle, La Parade, La Pioline) - (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)  | 19 |
| Figure 10 : Hauteurs d'eau de référence (La Pioline, Les Milles, Saint-Pons) - (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)  | 20 |
| Figure 11 : Hauteurs d'eau de référence (entre la ZEC des Milles et Roquefavour) - (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)  | 21 |
| Figure 12 : Périmètre d'étude et limite du modèle 2D (source : SDEP, SAFEGE – Aix-en-Provence, 2011)   | 22 |
| Figure 13 : Pluie du 22-23 septembre 1993 à Aix en Provence au pas de temps 6 min (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)  | 23 |
| Figure 14 : Vue 3D de la zone d'étude après traitement du LIDAR – Exemple de la zone San   | 24 |
| Figure 15 : Maillage du modèle 2D – Exemple de la zone San Peyre (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)   | 25 |
| Figure 16 : Extrait du diagnostic hydraulique des réseaux pour la crue de référence (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)  | 26 |
| Figure 17 : Extrait du diagnostic hydraulique des réseaux pour la crue de référence – modèle de surface (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)  | 27 |
| Figure 18 : Emprise d'étude (source : Etude hydraulique, SAFEGE-HORIZON – Aix-en-Provence, 1997)   | 28 |
| Figure 19 : Découpage des sous-bassins versants (source : Etude hydraulique, SAFEGE-HORIZON – Aix-en-Provence, 1997)   | 30 |
| Figure 20 : Localisation des débits calculés pour chaque tronçon (source : Etude hydraulique, SAFEGE-HORIZON – Aix-en-Provence, 1997)  | 31 |
| Figure 21 : Extrait de la carte des hauteurs d'eau pour la crue de référence (source : Etude hydraulique, SAFEGE-HORIZON – Aix-en-Provence, 1997)  | 32 |
| Figure 22 : Emprise d'étude (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)   | 34 |
| Figure 23 : Pluies de projet utilisées dans le modèle « Pluie-Débit » (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)   | 35 |
| Figure 24 : Reconstitution de la pluie du 22 au 23 septembre 1993 à Aix Galice (source : étude DARGAON 1998 et Météo France) - (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)  | 36 |
| Figure 25 : Les grandes étapes de mise en œuvre du modèle mathématique (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)  | 38 |
| Figure 26 : Conditions de franchissement de l'autoroute par la Luynes suite à un épisode pluvieux de type 1993 (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)  | 39 |
| Figure 27 : Modèle Pluie-Débit HEC-HMS (source : étude pour la réduction de l'aléa inondation au droit des lieux habités en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau sur le bassin versant de la Jouïne et du Grand Vallat, INGEROP – SABA, 2013) | 40 |
| Figure 28 : Pluies de projet d'occurrence 2, 5, 10 et 50 ans (source : INGEROP – SABA, 2013)   | 42 |
| Figure 29 : Pluie de septembre 1993 (source : INGEROP – SABA, 2013)  | 42 |
| Figure 30 : Hydrogrammes de crue de la Petite Jouïne au niveau de la RD9 d'après SAFEGE (source : INGEROP – SABA, 2013)  | 43 |
| Figure 31 : Débit de pointe retenus sur l'ensemble du réseau hydrographique (source : INGEROP – SABA, 2013)  | 45 |
| Figure 32 : Hauteurs maximales pour l'événement type 1993 (source : INGEROP – SABA, 2013)  | 47 |
| Figure 33 : Structure du réseau d'évacuation des eaux pluviales sur la zone « ZI les Milles – la Duranne » (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)   | 49 |

# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



PRÉFET DES  
BOUCHES-DU-RHÔNE  
Direction départementale  
des Territoires et de la Mer

|   |    |
|---|----|
| Figure 34 : Pluie du 22-23 septembre 1993 à Aix en Provence au pas de temps 6 min (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011) .....   | 50 |
| Figure 35 : Vue 3D de la zone d'étude après traitement du LIDAR – Exemple de la zone San.....   | 51 |
| Figure 36 : Maillage du modèle 2D – Exemple de la zone Duranne (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011) .....                      | 52 |
| Figure 37 : Extrait du diagnostic hydraulique des réseaux pour la crue de référence (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011) ..... | 53 |
| Figure 38 : Inondation de surface 2D – ZI Les Milles (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011).....                                 | 54 |
| Figure 39 : Schéma d'une plaine alluviale type © Masson Garry Ballais modifié par SIEE .....  | 55 |

## Table des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Débits de référence retenus pour le TRI de l'Arc (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016) .....  | 15 |
| Tableau 2 : Période de retour de l'événement de 1993 (source : SAFEGE-HORIZON – Aix-en-Provence, 1997) .....   | 29 |
| Tableau 3 : Débits de pointe de chaque tronçon (source : SAFEGE-HORIZON – Aix-en-Provence, 1997) .....   | 31 |
| Tableau 4 : Caractéristiques des pluies de projet (Dint = 1h, Dtot = 7h) à la station d'Aix-en-Provence (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012).....              | 35 |
| Tableau 5 : Résultats comparés des modélisations Pluie-débit pour un événement d'occurrence 100 ans et de type 1993 (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012) ..... | 36 |
| Tableau 6 : Quantiles de pluie en mm pour la station météorologique d'Aix-Les-Milles. (source : INGEROP – SABA, 2013) .....  | 41 |
| Tableau 7 : Débits de pointe des sous BV (source : INGEROP – SABA, 2013).....  | 44 |

# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

## 1 CONTEXTE ET OBJET DE L'ETUDE

SUEZ Consulting a accompagné la commune d'Aix-en-Provence tout au long du processus de mise à jour de la cartographie des zones inondables dans le cadre de l'élaboration de leur PLU au travers du Schéma Directeur des Eaux Pluviales.

Ainsi, la ville a missionné SUEZ Consulting pour réaliser une mise à jour des études d'aléa sur le territoire communal, à savoir :

- Intégration du PAC de l'Arc de 2016 ;
- Précision des modélisations des aléas (Pôle d'Activités d'Aix-en-Provence) par rapport à une topographie plus précise ;
- Prise en compte de la grille d'aléa issue de la DDTM13 ;
- Gestion des confluences.

Dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'inondation de la commune d'Aix-en-Provence portée par la préfecture des Bouches-du-Rhône, la DDTM 13 a repris cette cartographie des aléas produite par le bureau d'études afin d'en intégrer une partie dans ce document opposable.

Lors de la réalisation du Schéma Directeur des Eaux Pluviales, la commune d'Aix-en-Provence a souhaité que l'aléa inondation soit précisé par modélisation sur les secteurs actuellement urbanisés ou à urbaniser, en complément de l'étude principale réalisée en 2005 par SIEE (synthèse des données et modélisations disponibles notamment sur la Torse et l'Arc et en la définition de l'enveloppe hydrogéomorphologique sur l'ensemble du territoire).

Le résultat de ces modélisations a permis de compléter l'étude SIEE de 2005 afin d'établir une nouvelle carte de l'aléa inondation sur le territoire de la commune.

Les secteurs étudiés et mis à jour dans le cadre de cette reprise par SUEZ Consulting (ex SAFEGE), sont :

- **L'Arc** : Etude SAFEGE datant de 2016, ayant fait l'objet d'un Porter à Connaissance en date du 25 août 2016 ;
- **La Luynes** : Etude SCE datant de 2012 ;
- **La Torse et ses affluents** : Etude SABA datant de 1996 / 1997 et Etude d'aménagement du Ruisseau des Corneilles / Ruisseau des Pinchinats datant de 2013 ;
- **Le Grand Vallat et la Petite Jouine** : Etude INGEROP datant de 2017, ayant fait l'objet d'un Porter à Connaissance en date du 25 septembre 2017 ;
- **Le ruisseau Robert (Pôle d'activités d'Aix-en-Provence)** : Etude SAFEGE datant de 2016.

**Dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'inondation de la commune d'Aix-en-Provence, la DDTM 13 doit intégrer des cartes de hauteurs et de vitesses pour l'événement de référence ainsi qu'une carte des Plus Hautes Eaux (PHE).**

## **Rapport de synthèse hydraulique pédagogique**

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

**Ce rapport présente de manière pédagogique et non détaillée les paramètres techniques qui ont permis la réalisation des cartes (hauteurs Qref, Vitesses Qref et PHE) qui font l'objet de cette étude.**

# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

## 2 PERIMETRE D'ETUDE

La zone géographique concernée est la commune d'Aix-en-Provence. Les cours d'eau concernés par cette mission sont :

- L'Arc ;
- La Torse ;
- Le Grand Vallat, la Petite Jouïne et le ruisseau Robert ;
- La Luynes ;
- Le Malvallat et le ruisseau des Marseillais ;
- Le Grand Torrent.

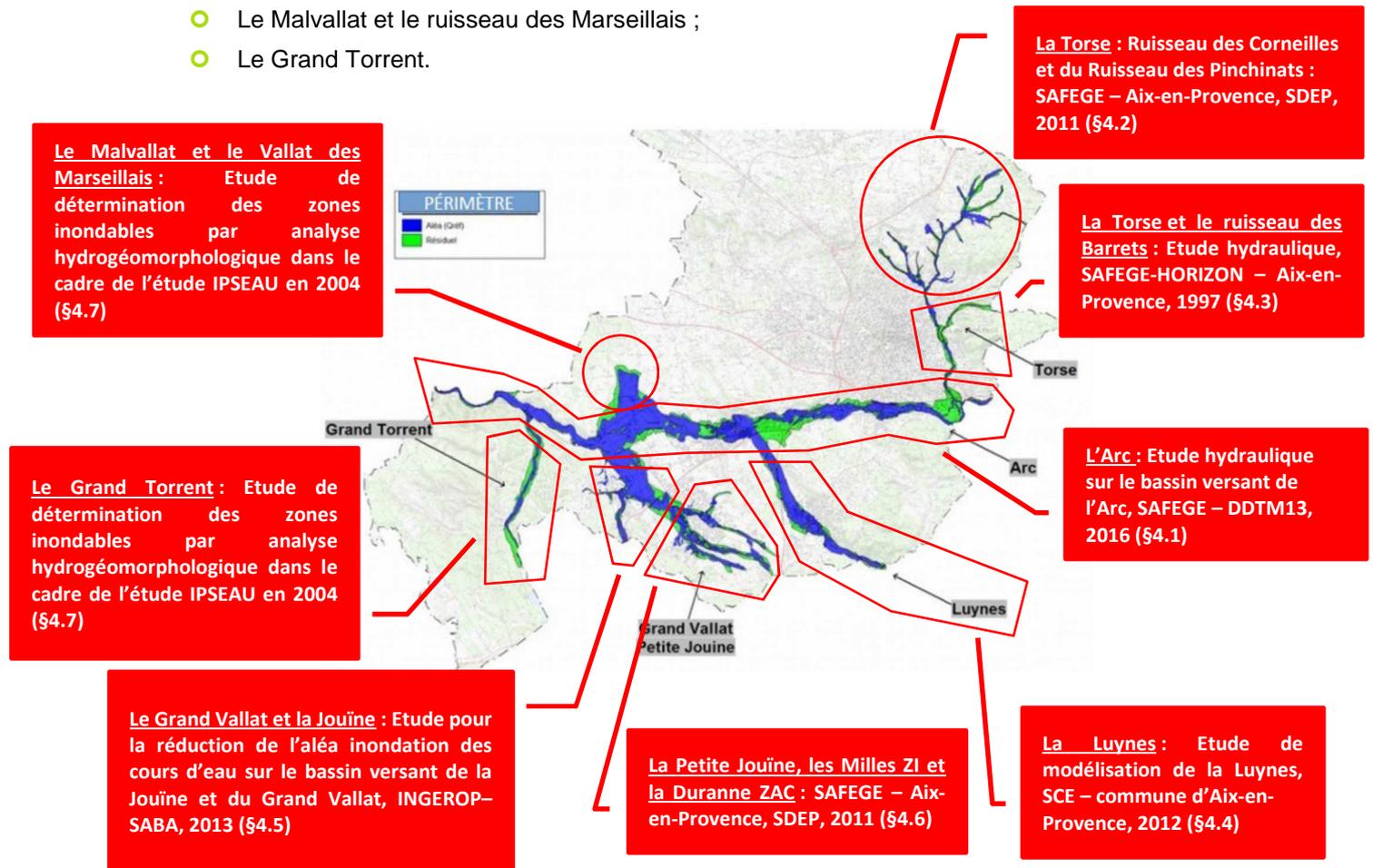


Figure 1 : Cours d'eau concernés par l'élaboration du PPRi d'Aix-en-Provence

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

### 3 CRUES HISTORIQUES SUR LE BASSIN DE L'ARC

D'après l'étude de mise en cohérence des études hydrologiques et hydrauliques sur le bassin versant de l'Arc (GINGER – SABA, 2010), « il n'existe pas une crue qui soit la crue la plus forte, les crues historiques importantes connues ayant affecté de manière plus ou moins forte les différentes parties du bassin versant. On retiendra comme crue majeure récente sur le bassin versant de l'Arc les crues d'octobre 1972, octobre 1973, janvier 1978, septembre 1993, décembre 2003 et décembre 2008 :

- Sur l'extrémité amont du bassin (Pourrières), la plus forte crue récente observée est celle d'octobre 1972 ;
- Sur les secteurs de Pont de Bayeux (amont du bassin) et Pont Saint Estève (aval du bassin), la plus forte crue récente observée est celle de janvier 1978 ;
- Sur la partie centrale du bassin (Roquefavour à Aix-en-Provence), c'est l'événement pluviométrique localisé de septembre 1993 qui a entraîné les débits de crue les plus importants. »



#### Ce qu'il faut retenir...

**Sur la commune d'Aix-en-Provence, les crues ayant provoqué les inondations les plus marquantes ont été celles de janvier 1978 et de septembre 1993.**

#### 3.1 Inondations de janvier 1978

L'étude de mise en cohérence des études hydrologiques et hydrauliques sur le bassin versant de l'Arc (GINGER – SABA, 2010) a permis d'établir le déroulement des inondations par l'intermédiaire de recherches aux archives départementales et d'enquêtes en commune :

- « La crue de 1978 a été impressionnante sur la commune d'Aix-en-Provence, l'Arc inondant une grande partie de son lit majeur dans lequel se sont implantés nombre d'enjeux. A noter cependant que le barrage de Bimont aurait amoindri le pic de crue en retenant 2.5 millions de m<sup>3</sup>. Il a atteint la moitié de la cote maximum.
- Aux Trois Sautets, le camping Arc en ciel au bord de l'Arc a beaucoup souffert : arbres arrachés, passerelle béton emportée, installations électriques et distribution d'eau détruites, chauffage solaire emporté, emplacement des campeurs disparus, apport de centaines de mètres cubes de terre, végétaux arrachés et matériaux divers emportés par les eaux en amont. A l'Arc de Meyran, une passerelle a été emportée, des maisons inondées par 1 m 30 d'eau, des clôtures et portails arrachés, des arbres déracinés, de nombreux biens matériels endommagés.
- Au Pont de l'Arc, l'eau est montée le 17 janvier à la hauteur des fenêtres des immeubles, obligeant à procéder à l'évacuation des résidents. Ce même jour, une cuve de gaz a été emportée et butait contre les piles du pont. Dans ce secteur, les eaux ont laissé derrière elles plus de 20 cm de boue dans les bâtiments.
- A l'aval d'Aix-en-Provence, l'Arc a considérablement érodé ses berges, élargit son lit mineur et inondé son lit majeur, notamment en amont du pont de la Pioline.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

- La plaine des Milles a été particulièrement touchée, les témoignages évoquent « le spectacle de la désolation : des voitures abandonnées au travers des routes... l'eau arrivait jusqu'au-dessus des roues, parfois jusqu'au toit ... ». Au quartier de la Badesse, il y a eu 80 cm d'eau dans les maisons. Au quartier de l'Olympe, les maisons ont été noyées par 1m50 d'eau en moyenne, avec une fourchette s'établissant entre 90 cm à 2.10 m, et une brèche a dû être ouverte après la crue dans la digue pour accélérer le ressuyage. Dans certaines zones formant des dépressions l'eau et la boue ont stagné jusqu'en février. Localement certaines maisons ont été submergées par 2.10 m d'eau.
- De multiples quartiers ont donc été fortement sinistrés à Aix-en-Provence : Campagne les Charmettes au Pont de l'Arc, clos des Platanes à la Beauvalle, rue du Pont aux Milles, quartier Mondan aux Milles, route de la Tuillière quartier Poucelles aux Milles (1 m d'eau), école primaire Pont de l'Arc, rue Albert Decanis aux Milles, Campagne Jacob aux Milles (40 cm dans l'habitation, 80 dans le garage), domaine de l'Olympe, chemin de la Cible, les Louves, ...
- A Saint Pons, le 16 janvier au soir (18 h), la RD 9 était recouverte par 15 cm sur 10 m de long. La circulation a dû être interrompue peu après. Au pic de crue, les eaux se sont largement étalées entre les bâtiments du domaine et ont détruit par érosion de la rive la traîlle de jaugeage.
- De Saint Pons à l'amont de Roquefavour, les eaux se sont largement étalées, notamment à l'amont du seuil de prise du Moulin de Roquefavour. A Roquefavour, l'eau est arrivée à un mètre au-dessus du niveau de la dernière crue. A l'hôtel Arquier, il y a eu 1 m 20 d'eau au-dessus du plancher du premier étage. Les quartiers du Paradou, de la Source, Petit Roquefavour, chemin de la Repentance ont été très touchés.
- Les pompiers ont évacué une centaine de personnes en danger.
- Sur la Luynes, affluent de l'Arc, le quartier de Saint Antoine de Padoue route des Milles est cité comme sinistré. De même des maisons situées le long de la RD 7 ont été prises dans les flots d'eau d'une hauteur de 0.60 m, occasionnant de nombreux dégâts.

Les données pluviométriques montrent un épisode de précipitations fortes et durables qui touche la Provence entre le 11 et le 17 janvier 1978. Ce sont les 16 et en matinée du 17 janvier, sur des sols gorgés d'eau, par les 5 jours de pluies depuis le 11, que les plus fortes précipitations se produisent : jusqu'à 167 mm à Trets dans la haute vallée de l'Arc et 180 mm à Roquefort-la-Bédoule.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



### Précipitations quotidiennes relevées sur les Bouches du Rhône et le Var entre le 11 et le 17 janvier 1978 et cumuls supérieurs à 150 mm

| Sur les Bouches-du-Rhône : | ALT. | 11-janv | 12-janv | 13-janv | 14-janv | 15-janv | 16-janv | 17-janv | Cumul en 7 jours | 19-janv | 20-janv |
|----------------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------|---------|---------|
| AIX EN PROVENCE            | 173m | 6.8     | 12.6    | 3.6     | 18.1    | 24.7    | 93.3    | 25.9    | 185.0            | 11.1    | 2.4     |
| AUBAGNE                    | 131m | 13.7    | 10.4    | 4.5     | 21.7    | 37.2    | 138.0   | 31.1    | 256.6            | 15.1    | 1.2     |
| CABRIES                    | 163m | 5.0     | 15.0    | 4.5     | 17.0    | 23.2    | 75.4    | 12.5    | 152.6            | 12.7    | 1.5     |
| CASSIS                     | 67m  | 7.9     | 9.1     | 14.7    | 14.5    | 41.6    | 91.8    | 23.6    | 203.2            | 19.1    | 4.6     |
| CUGES-LES-PINS             | 180m | 18.2    | 10.2    | 15.5    | 17.5    | 33.7    | 150.2   | 19.5    | 264.8            | 11.7    | 0.0     |
| GARDANNE                   | 283m | 18.0    | 8.5     | 12.2    | 33.1    | 45.0    | 136.0   | 24.0    | 276.8            | 12.0    | 5.0     |
| GEMENOS                    | 130m | 16.0    | 10.0    | 8.3     | 21.7    | 38.5    | 167.7   | 35.0    | 297.2            | 15.7    | 2.2     |
| MARSEILLE-ST BARNABE       | 137m | 5.5     | 6.7     | 2.5     | 15.8    | 39.0    | 110.0   | 20.0    | 199.5            | 16.0    | 3.2     |
| MEYRARGUES                 | 210m | 10.0    | 14.0    | 3.0     | 22.7    | 27.3    | 72.0    | 14.0    | 163.0            | 13.0    | 1.0     |
| ROQUEFORT-LA-BEDOULE       | 354m | 15.0    | 7.0     | 13.0    | 12.0    | 36.0    | 180.0   | 33.0    | 296.0            | 20.0    | 4.0     |
| ROQUEVAIRE                 | 175m | 13.7    | 11.2    | 7.4     | 22.0    | 31.4    | 154.0   | 21.2    | 260.9            | 16.7    | 3.8     |
| ROUSSET                    | 235m | 9.7     | 12.9    | 7.0     | 43.4    | 18.0    | 80.1    | 27.5    | 198.6            | 9.1     | 5.2     |
| TRETS                      | 249m | 16.2    | 17.7    | 15.7    | 46.0    | 30.0    | 165.0   | 26.4    | 317.0            | 11.0    | 2.0     |

Figure 2 : Précipitations quotidiennes sur les Bouches-du-Rhône en janvier 1978 (source : Météo France)

## 3.2 Inondations de septembre 1993

Cet événement a également été étudié dans le cadre de l'étude de mise en cohérence des études hydrologiques et hydrauliques sur le bassin versant de l'Arc (GINGER – SABA, 2010) permettant d'établir le déroulement suivant :

- L'épisode pluvieux et ses conséquences catastrophiques ont été centrés sur les communes d'Aix-en-Provence et Egulles : c'est tout le réseau hydrographique secondaire qui s'est mis en charge et a débordé, alimenté par des ruissellements exceptionnels en termes d'intensité et d'impact. L'Arc a été alimenté dans un deuxième temps (le 23, soit 12 h après) par ses affluents en crue et a donc peu débordé. Ainsi il n'y a pas eu d'inondation aux Milles, qui est l'un des premiers secteurs à enjeux touchés lors des crues du fleuve. Le 23 à 1h30, la pointe de crue de l'Arc a atteint 4m85 à Saint-Pons. Les lits mineurs et moyens de l'Arc ont donc contenu et évacué ses apports latéraux, supportant ainsi tout le débit et les vitesses : d'énormes dégâts à la ripisylve et aux berges ont été occasionnés.
- Le 22 septembre, la Torse connaît une crue importante. Dans le secteur des Pinchinats, la Torse est montée de près de 4 m dans une habitation, a pulvérisé le pont menant à ce quartier, et a mis à jour une ancienne galerie gallo-romaine. Il y a eu de très fortes érosions des berges au droit de la copropriété l'Oliveraie, cours Gambetta. Le Garage Renault en contrebas de l'A51 a vu ses sous-sols inondés et 70 véhicules complètement détruits.
- Une grande partie de la ville a vu se produire des ruissellements ravageurs, détériorant voiries, bâtiments, et réseaux sur leur passage. Les locaux du concessionnaire Renault boulevard de la République ont été inondés par 30 à 40 cm d'eau. Les magasins des commerçants de la rue d'Italie ont été pratiquement tous inondés avec plus de 50 cm d'eau et de nombreux dégâts.
- A Luynes, la Luynes a envahi le quartier de Saint-André, de nombreux logements en rez-de-chaussée ont été détruits.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

- Plus à l'ouest, le Malvallat a débordé sur le pont de la RD64, malgré une capacité suffisante, car il était bouché à moitié par les alluvions. Les flots ont débordé par la rive droite principalement et inondé les maisons riveraines. Des débordements ont également été observés en rive droite en aval du pont de la Couronnade, mais les dégâts ont été bien moindres.
- Listing des dégâts recensés par la commune :
  - Bâtiments communaux : 3 millions de francs :
    - ▷ 50 bâtiments sinistrés dont 30 endommagés et 20 inondés ;
    - ▷ Bâtiments les plus touchés : Ecole Jules Issac, école Daudet maternelle, école Giono, crèche les Pâquerettes.
  - Parcs et jardins : 2 millions de francs.
  - Cours d'eau et ouvrages : 12.5 millions de francs :
    - ▷ Restauration des cours d'eau : la Torse, le Baret, le ruisseau des Pinchinats, la Touloubre, la Sione, la Jouine, le Verladet, le Malvallat ;
    - ▷ Restauration des bassins de rétention : la Robole, Jas de Bouffan, les Palombes (Puyricard).
  - Réseaux : 2.5 millions de francs :
    - ▷ Réseaux d'eaux pluviales touchés ;
    - ▷ Réseaux d'eaux usées les plus touchés : Palombes, Brédasque, Lavoir de Grand-Mère ;
    - ▷ Réseaux d'eau potable les plus touchés : ZAC de Brédasque, Lavoir de Grand-Mère, Pont de Béraud, rue des Bœufs.
  - Voirie : 14.5 millions de francs.
  - Terrains de sports : 4 millions de francs. Les plus touchés : stade G. Carcassonne, stade des Milles, stade du Val Saint-André, Stade Jas de Bouffan.



Figure 3 : Inondation de l'Avenue de l'Europe en 1993 (source : vidéo du 20h de France 2 du 13 septembre 1993)

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

L'intensité pluviométrique est remarquable sur les Bouches-du-Rhône, où la station d'Aix-en-Provence releva 222 mm (source : <http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Pluies-diluviennes-sur-l-arc-mediterraneen-et-la-Corse.html>) dont :

- 130 mm en 1h ;
- 71 mm en 1/2h.

### 3.3 Définitions de la crue exceptionnelle et de la crue de référence

Une **crue exceptionnelle** ( $Q_{exp}$ ) est liée à un événement hydrologique (météorologique) d'une forte intensité dont la période de retour est supérieure à 100 ans. Dans le cadre du PPRi d'Aix-en-Provence, le débit de la crue exceptionnelle est égal à 2 fois au débit de la crue centennale ( $Q_{100}$ ). Si une crue exceptionnelle touche un territoire ou des phénomènes hydrologiques générant cette crue exceptionnelle sont susceptibles de concerner le bassin versant, cette dernière est parfois retenue comme crue de référence dans le cadre des PPRi.

La **crue de référence** ( $Q_{ref}$ ) correspond à une période de retour choisie pour se prémunir d'un phénomène. Elle varie en fonction des objectifs. En termes d'aménagement, la circulaire du 24 janvier 1994 précise que l'événement de référence à retenir pour le zonage est, conventionnellement, « la plus forte crue connue et, dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de fréquence centennale, cette dernière ».

Un glossaire est disponible en annexe expliquant tous les termes techniques présentés dans ce rapport.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

# 4 RESULTATS DES MODELISATIONS HYDROLOGIQUES ET HYDRAULIQUES

## 4.1 L'Arc

Dans le cadre de la directive européenne sur la gestion du risque inondation d'octobre 2007, le bassin de l'Arc a été identifié comme l'un des territoires à risque important d'inondation (TRI) de la région méditerranéenne. Cette étude de 2016 du risque inondation a conduit à la modélisation de l'Arc et a permis d'établir une cartographie détaillée des zones inondables pour plusieurs occurrences dont la crue dite « moyenne » dans le cadre de la Directive Inondation, qui correspond à l'évènement de référence (période de retour 100 ans ou crue historique documentée si elle lui est supérieure) ayant fait l'objet d'un Porter à Connaissance en date du 25 août 2016.

### 4.1.1 Hydrologie de la crue de référence – Hypothèse retenue

L'analyse hydrologique de l'étude de 2016 s'appuie sur une modélisation pluie-débit détaillée, avec réaction du bassin versant de l'Arc à une pluie du type de celle qui s'est abattue en juin 2010 sur le Var. Effectivement, d'après Météo France, cet évènement d'une intensité remarquable aurait pu se produire n'importe où autour de la Méditerranée et « il est donc possible d'imaginer un tel évènement sur le bassin de l'Arc, soit seulement 60 km à l'Ouest de l'épicentre de la pluie du 15 juin 2010 » (extrait du SAGE de l'Arc). Les résultats ayant montré que les débits résultants étaient très proches des débits centennaux affichés dans le SAGE de l'Arc, il a été décidé de les retenir pour définir l'évènement de référence.

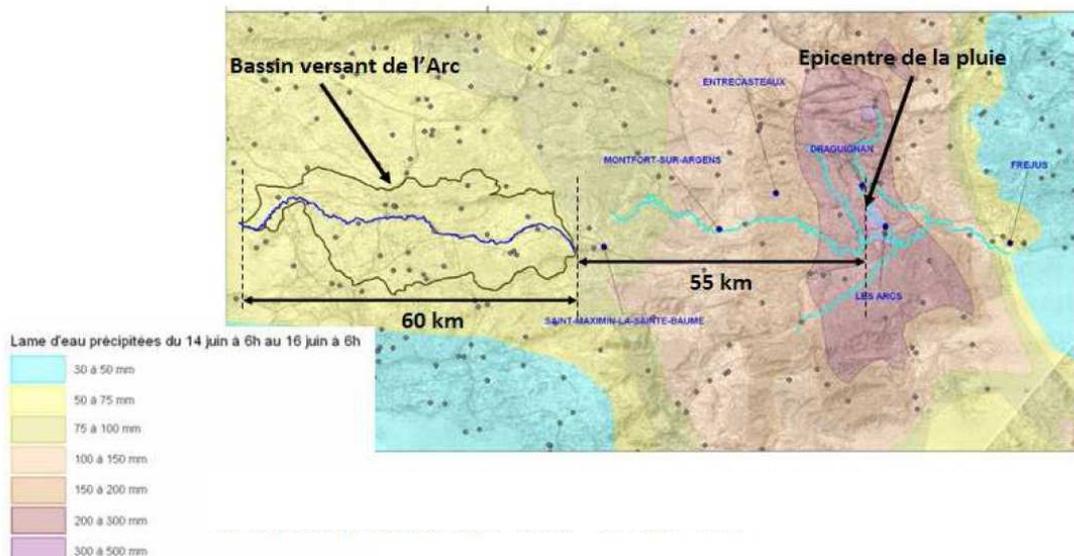


Figure 4 : Lamé d'eau précipitée du 14 juin au 16 juin 2010 (source : Etude de mise en cohérence des études hydrologiques et hydrauliques sur le bassin versant de l'Arc, GINGER-SABA, 2010)

La crue de référence correspond au maximum des scénarii 1, 2 et 4 de l'application de l'évènement du Var du 15 juin 2010 sur le bassin versant de l'Arc. La localisation, par tronçon, du scénario retenu est présentée sur la figure suivante.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

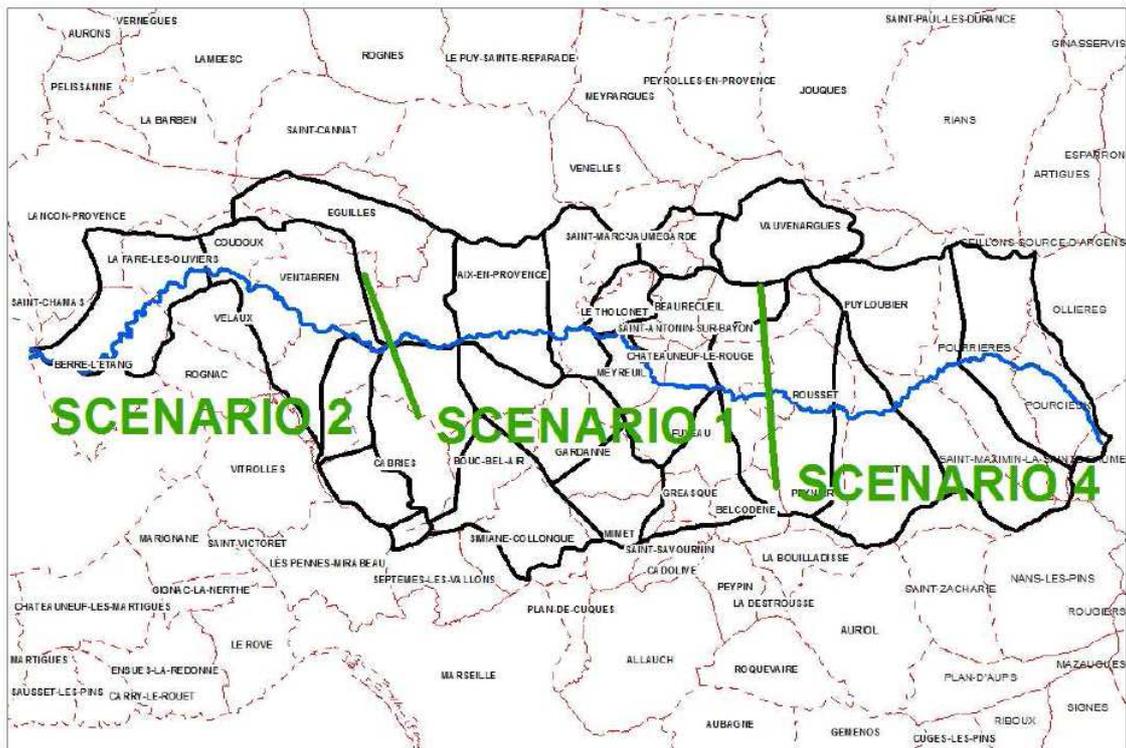


Figure 5 : Episode du 15 juin 2010 : scénario retenu par tronçon (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)

Pour le scénario 1, l'épicentre de la pluie est localisé à l'amont du bassin versant. Quant au scénario 2, l'épicentre de la pluie est situé sur la partie centrale du bassin versant. Le scénario 4 correspond à un épisode de juin 2010 dont l'épicentre des pluies est localisé sur l'extrême partie amont du bassin versant.

Les débits de références, correspondant au maximum des scénarii 1, 2 et 4 sont récapitulés dans le tableau suivant.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

**Tableau 1 : Débits de référence retenus pour le TRI de l'Arc (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)**

| Localisation du point de calcul  | Superficie<br>km <sup>2</sup> | Q2010<br>SC1<br>m <sup>3</sup> /s | Q2010<br>SC2<br>m <sup>3</sup> /s | Q2010<br>SC4<br>m <sup>3</sup> /s | Debit de<br>référence<br>retenu<br>m <sup>3</sup> /s |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| <b>L'Arc à Pourrières</b>  | 53                            | 38.5                              | 2.7                               | 120                               | 120  |
| L'Arc au niveau du franchissement de la D12                                | 135.1                         | 150                               | 2.7                               | 206                               | 206  |
| L'Arc à Trets, en aval de la confluence avec le Grenouillet                | 186.3                         | 236                               | 16                                | 290                               | 290  |
| <b>L'Arc à Rousset, en amont de la confluence avec le vallon de Favary</b> | 219                           | 355                               | 50                                | 336                               | 355  |
| L'Arc en aval de la confluence avec le Grand Vallat de Fuveau              | 274.4                         | 420                               | 100                               | 355                               | 420  |
| <b>L'Arc au pont de Bayeux</b>   | 320                           | 480                               | 165                               |                                   | 480  |
| L'Arc au Tholonet en aval de la confluence avec la Cause                   | 379                           | 530                               | 190                               |                                   | 530  |
| L'Arc en aval de la confluence avec la Torse                               | 401                           | 540                               | 225                               |                                   | 540  |
| L'Arc à la Pioline, en aval de la confluence avec la Luynes                | 494.9                         | 595                               | 475                               |                                   | 595  |
| L'Arc à la jonction Saint Pons   | 620                           | 635                               | 685                               |                                   | 685  |
| <b>L'Arc à l'aqueduc de Roquefavour</b>                                    | 652.2                         | 655                               | 760                               |                                   | 760  |

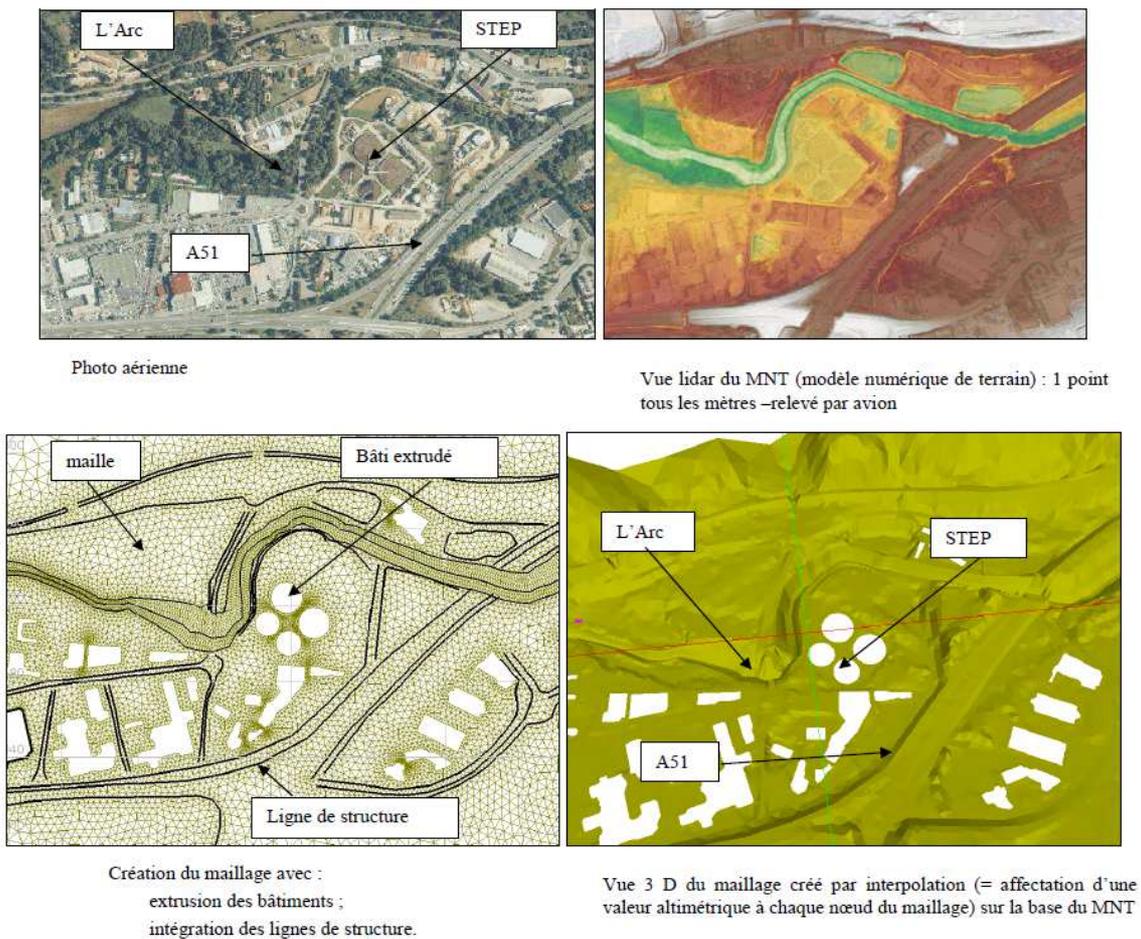
### 4.1.2 Modélisation hydraulique de la crue de référence

La modélisation hydraulique de l'Arc a été réalisée sur un modèle 2D. Ce modèle bidimensionnel repose sur une topographie de type LIDAR avec la transformation du Modèle Numérique de Terrain (MNT) en maillage.

Le LIDAR utilisé pour la création du maillage possède 1 point topographique altimétrique au m<sup>2</sup>.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



**Figure 6 : Transformation du MNT en maillage (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)**

Le maillage d'un modèle hydraulique est la discrétisation spatiale du territoire étudié en un ensemble de triangles contigus appelés maille.

Les maillages ont été construits sur la base suivante :

- Les lignes de structure en lit mineur et majeur (remblai routier, digue, ...) ont été intégrés ;
- Le maillage est densifié dans les zones à enjeu ;
- Une partie du bâti est extrudé (il n'y a pas de maillage, l'eau ne peut donc pas passer) ;
- En lit mineur, la topographie terrestre est utilisée pour l'interpolation du maillage ;
- En lit moyen et majeur, la topographie lidar est utilisée pour l'interpolation du maillage.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

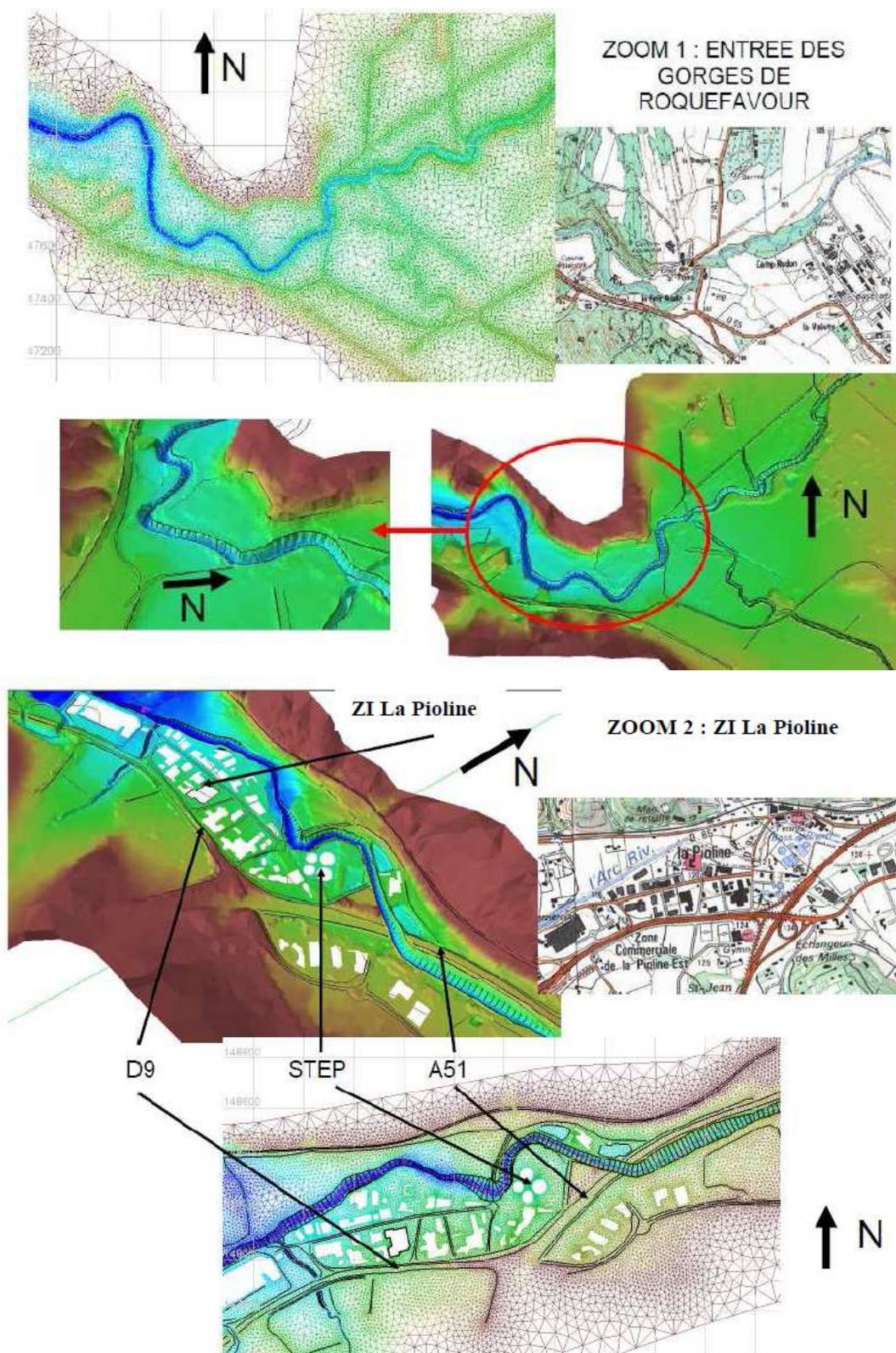


Figure 7 : Zoom du maillage 2D (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



### Ce qu'il faut retenir...

*Le modèle hydraulique couvrant le territoire de la commune d'Aix-en-Provence s'étend des gorges de Langesse aux gorges de Roquefavour.*

*Pour la crue de référence, les hydrogrammes injectés en entrée du modèle sont issus des modélisations pluie-débit du scénario de l'évènement du Var du 15 juin 2010 sur le bassin versant de l'Arc.*

### 4.1.3 Résultats de la modélisation de la crue de référence

Les résultats présentés ci-dessous et les cartographies qui en ont découlé concernent uniquement les débordements du cours d'eau de l'Arc. En effet, les affluents, bien que pris en compte pour déterminer les apports hydrologiques, n'ont pas fait l'objet de modélisation hydraulique comme sur l'Arc.

Les cartes de hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement de la crue de référence (correspondant à l'application sur le bassin versant de l'Arc de l'épisode pluviométrique qui s'est abattu sur le Var le 15 juin 2010) sont présentées dans les figures suivantes.

La crue de référence est largement débordante sur tout le linéaire de l'Arc. Les quartiers et zone commerciale du Tholonet en bordure de l'Arc, le secteur du Pont des Trois Sautets, le secteur de l'Arc de Meyran et du Pont de l'Arc sont concernés.

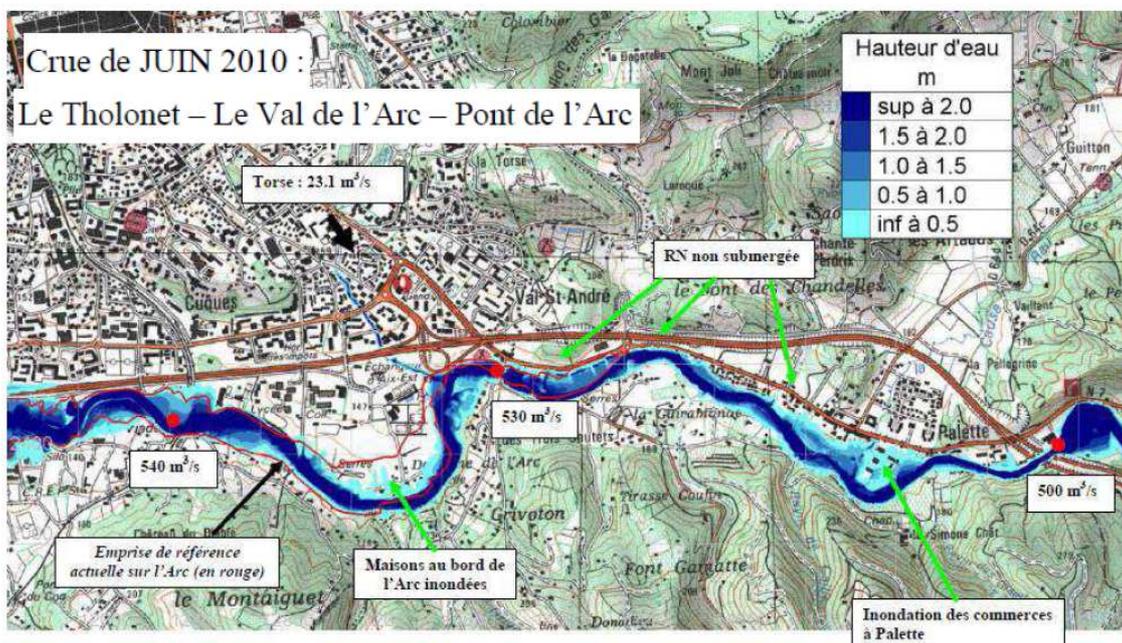


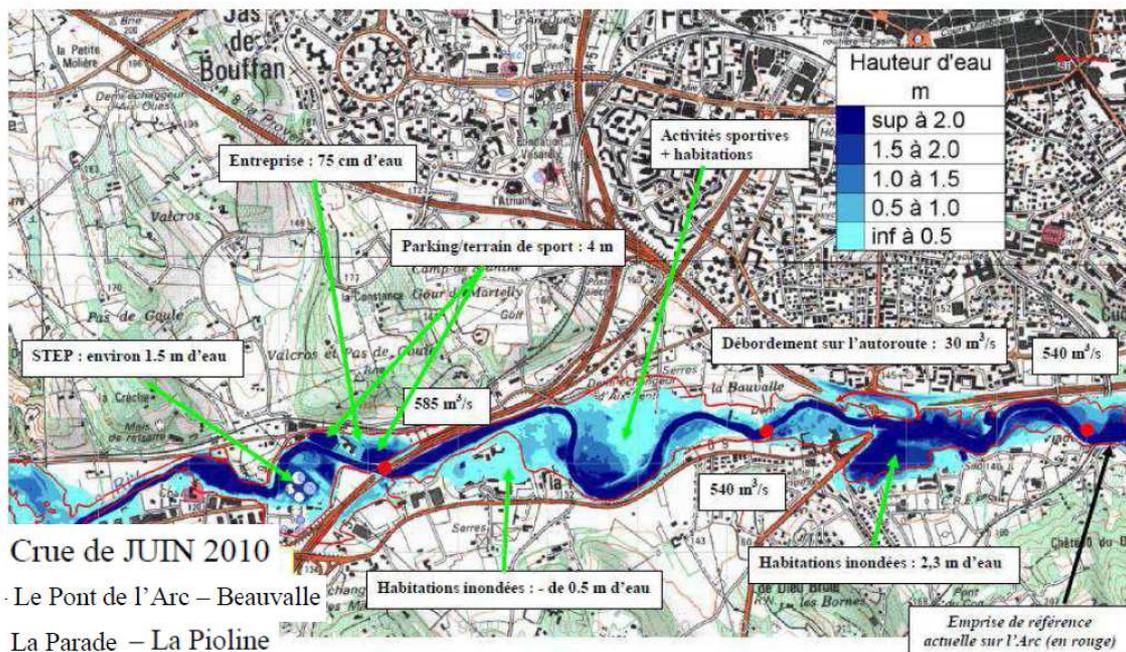
Figure 8 : Hauteurs d'eau de référence (Le Tholonet – Val de l'Arc – Pont de l'Arc) - (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

Au niveau de la sortie d'autoroute « Pont de l'Arc », des débordements se produisent en rive gauche et rejoignent l'autoroute A8, les écoulements s'écoulent sur quelques centaines de mètres et rejoignent l'Arc à l'aval du pont.

A l'aval, les quartiers Beauvalle et La Parade sont également fortement impactés par la crue de référence. Il est de même pour la station d'épuration et les activités en rive droite de l'Arc immédiatement après le franchissement de l'A51.

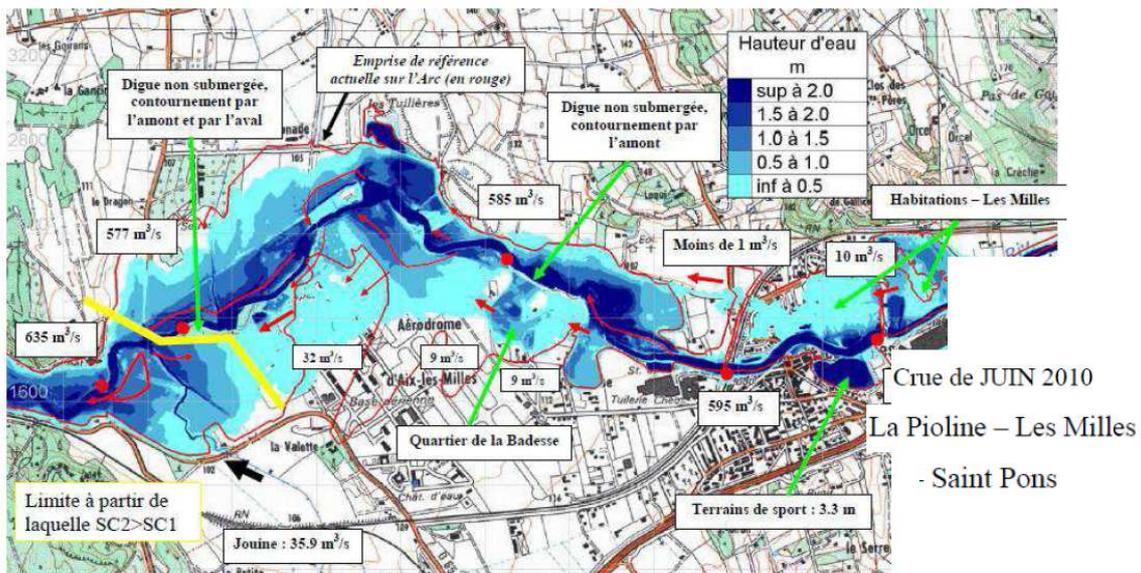


**Figure 9 : Hauteurs d'eau de référence (Pont de l'Arc, Beauvalle, La Parade, La Pioline) - (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)**

La rive droite des Milles et les habitats pavillonnaires qui s'y trouvent sont également inondés. Les terrains de sport en rive gauche de l'Arc aux Milles sont inondés par plus de 3 m d'eau. A l'arrivée sur la zone d'expansion de crues (ZEC) de la plaine des Milles, des débordements importants se produisent. La digue de la Badesse n'est pas submergée mais elle est contournée par l'amont. Les quartiers du même nom sont ainsi inondés. La seconde digue, située en rive gauche, à proximité de Saint-Pons, est contournée par l'amont et par l'aval : l'écoulement atteint le nord de l'aérodrome.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



A la sortie de la ZEC, la crue est largement débordante en lit majeur. Les parcelles qui s'y trouvent sont inondées par des hauteurs d'eau qui varient entre 1.5 et 3 m. Des axes d'écoulement secondaire se créent en lit majeur. En amont de Roquefavour, plusieurs habitations sont inondées. A l'hôtel Arquier, la cote d'eau est environ 1.20 m plus haut qu'en 1978.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

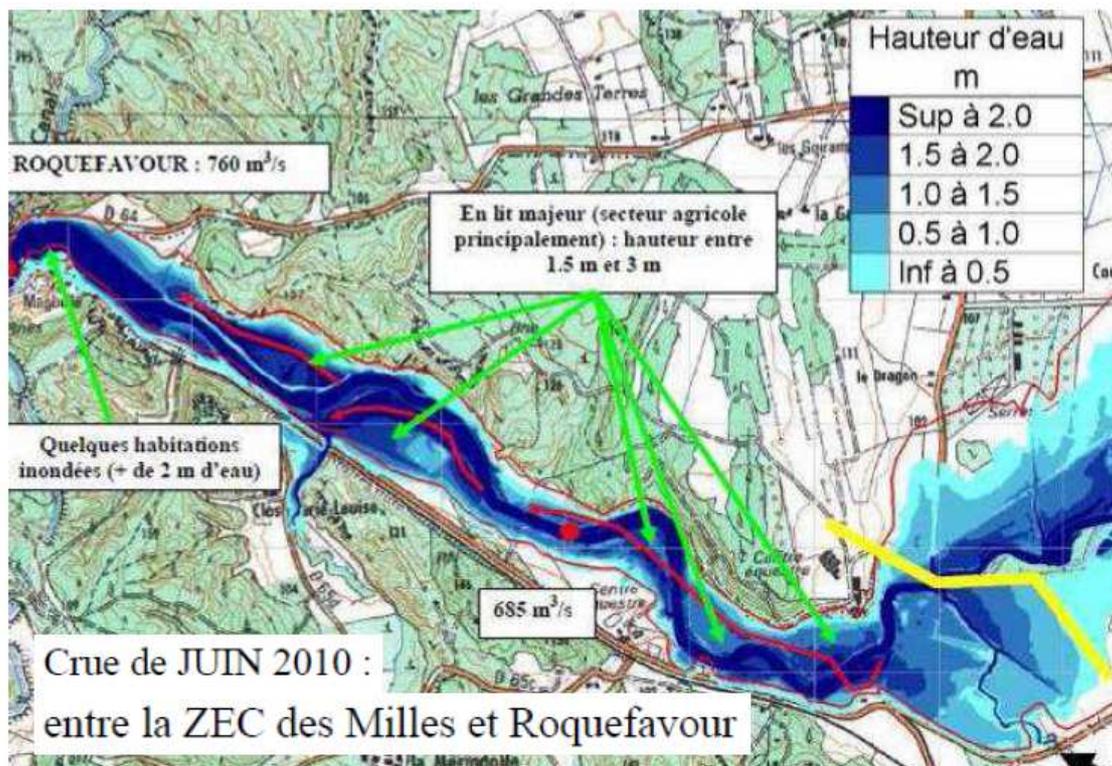


Figure 11 : Hauteurs d'eau de référence (entre la ZEC des Milles et Roquefavour) - (source : Etude hydraulique sur le bassin versant de l'Arc, SAFEGE – DDTM13, 2016)

### Ce qu'il faut retenir...

**Bureau d'étude :** SAFEGE

**Année :** 2016

**Maître d'ouvrage :** DDTM13

**Type de modélisation :** 2D (débordement fluvial)

**Crue de référence :** type juin 2010 du Var appliqué sur le bassin versant de l'Arc

**Crues modélisées dans le cadre de l'étude :** Q10 (décennale), Q30 (trentennale), Q2010 (crue de référence) et Qexcept (crue exceptionnelle).

**Données topographiques utilisées :** LIDAR et profils en travers topo-bathymétriques du cours d'eau.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

### 4.2 Affluents amont de la Torse : Ruisseau des Corneilles et du Ruisseau des Pinchinats

Dans le cadre du Schéma Directeur des Eaux Pluviales de 2011, la Ville d'Aix en Provence a confié à SAFEGE la réalisation d'une étude hydraulique sur les secteurs du Ruisseau des Corneilles et du Ruisseau des Pinchinats qui sont des zones soumises à des aléas ruissellements forts en cas de pluies importantes.

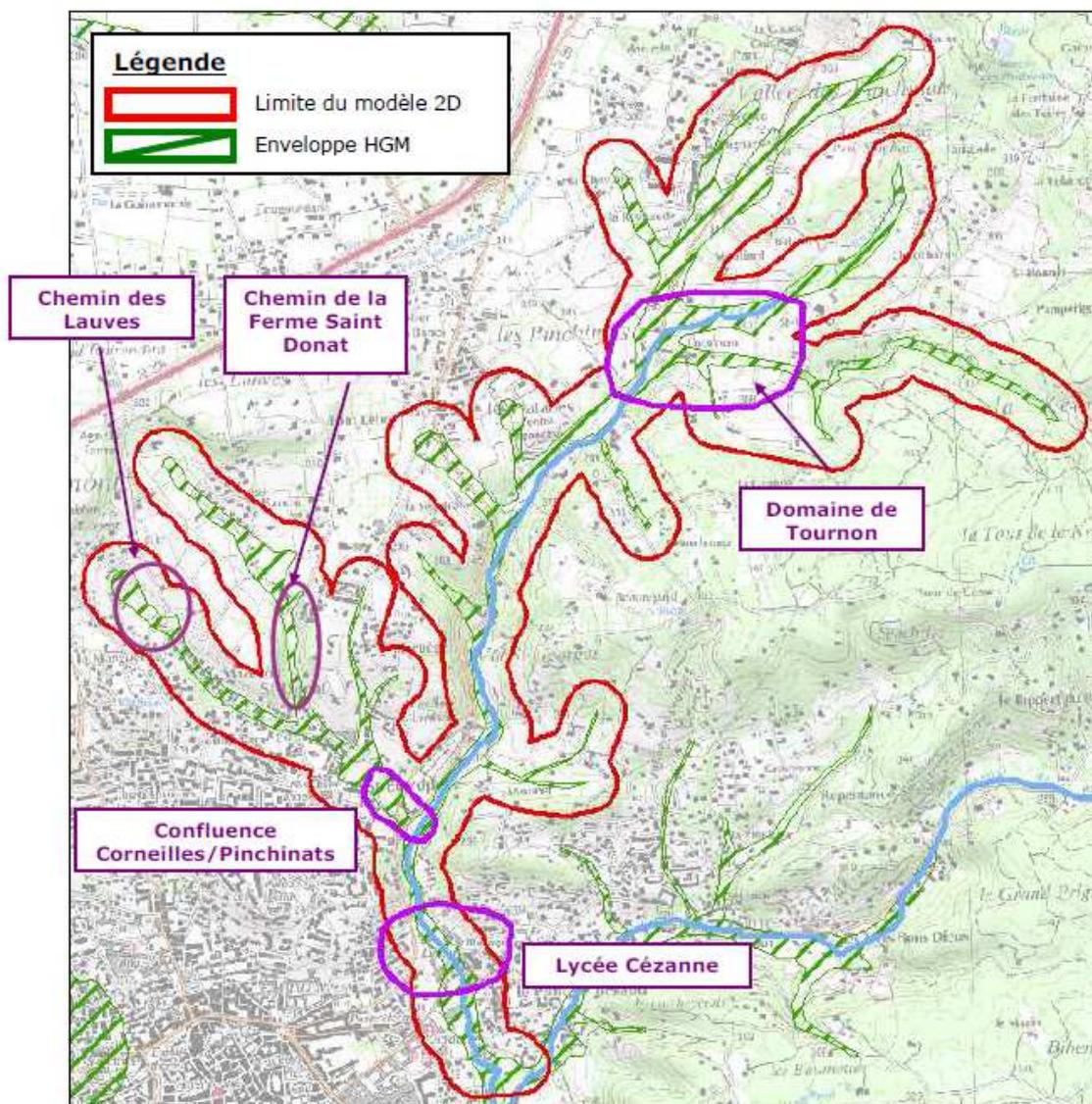


Figure 12 : Périmètre d'étude et limite du modèle 2D (source : SDEP, SAFEGE – Aix-en-Provence, 2011)

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

### 4.2.1 Analyse hydrologique

Pour ce secteur, l'événement du 22-23 septembre 1993 a été retenu comme pluie historique de référence pour la caractérisation de l'aléa.

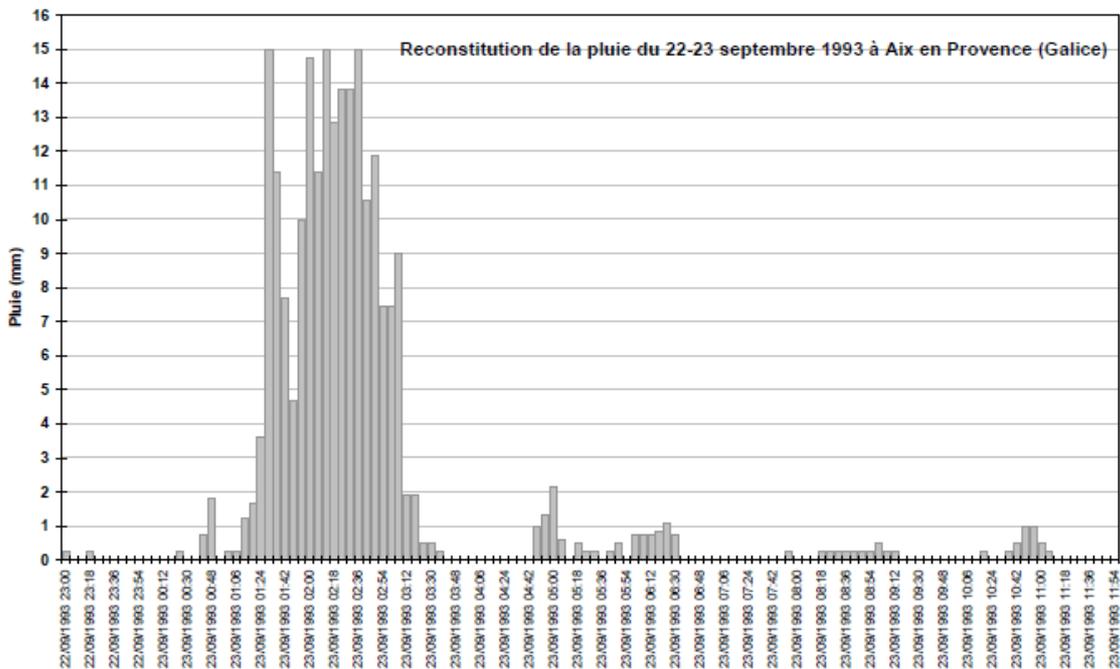


Figure 13 : Pluie du 22-23 septembre 1993 à Aix en Provence au pas de temps 6 min (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)

### 4.2.2 Modélisation hydraulique

Deux méthodes ont été utilisées pour caractériser l'aléa sur Aix en Provence :

- S'il n'y a pas de réseaux enterrés ou si leur modélisation n'a pas d'intérêt dans la caractérisation de l'aléa, la zone d'étude est modélisée avec TELEMAC 2D ;
- Si la prise en compte des réseaux souterrains se révèle pertinente, la zone d'étude est modélisée sur le logiciel MIKE FLOOD.

L'ensemble de la zone d'étude est représentée en 2D à partir du modèle numérique de terrain créé sur la base des semis de points levés fournis par la Ville d'Aix en Provence (LIDAR - 2009) et les levés terrestres réalisés par BILICKI ou HYDROTOPO (Modélisation 2D de la ZI les Milles).

L'image suivante présente un exemple de traitement de la donnée LIDAR réalisé en vue 3D (le relief est exagéré afin d'être plus visible).

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

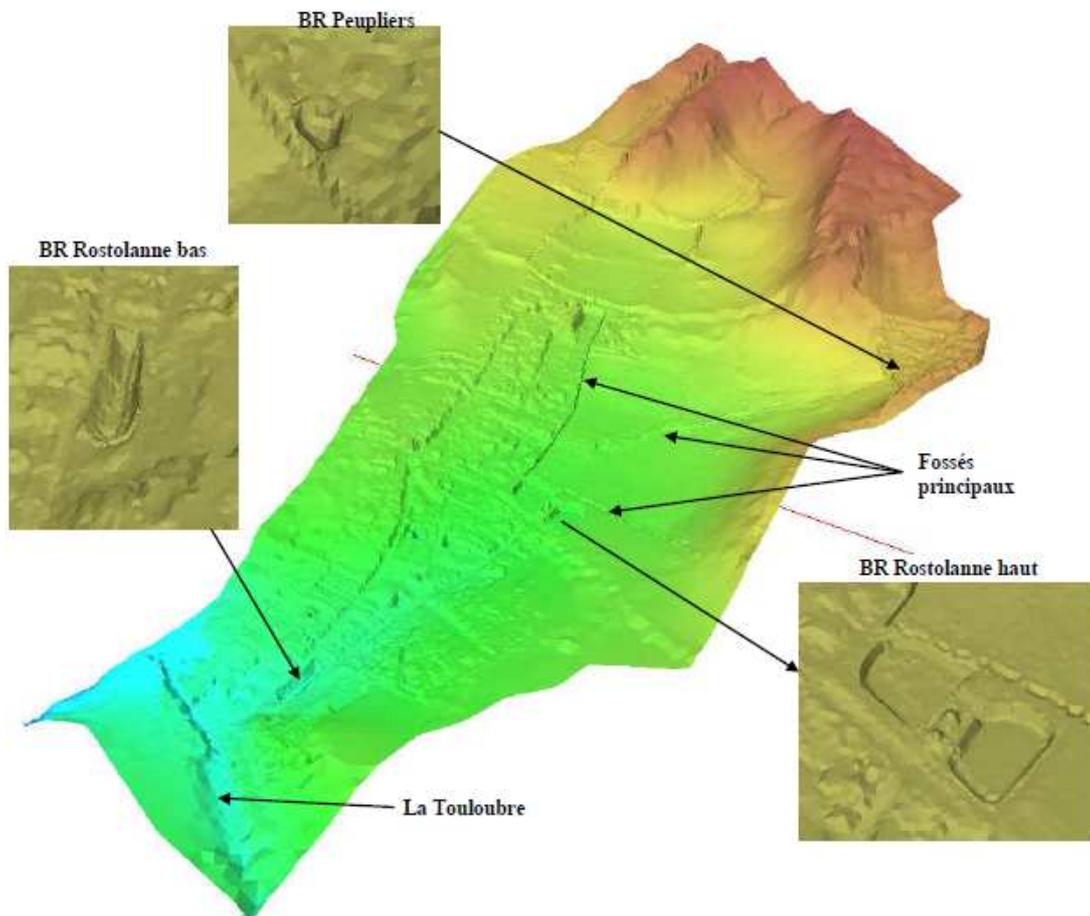


Figure 14 : Vue 3D de la zone d'étude après traitement du LIDAR – Exemple de la zone San Peyre (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)

Sur la base du LIDAR précédemment traité, un modèle numérique de terrain composé de mailles triangulaires a été réalisé. La taille des mailles est modulée selon la fonction hydraulique des éléments qu'elles décrivent. La figure suivante présente un exemple de maillage du modèle.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

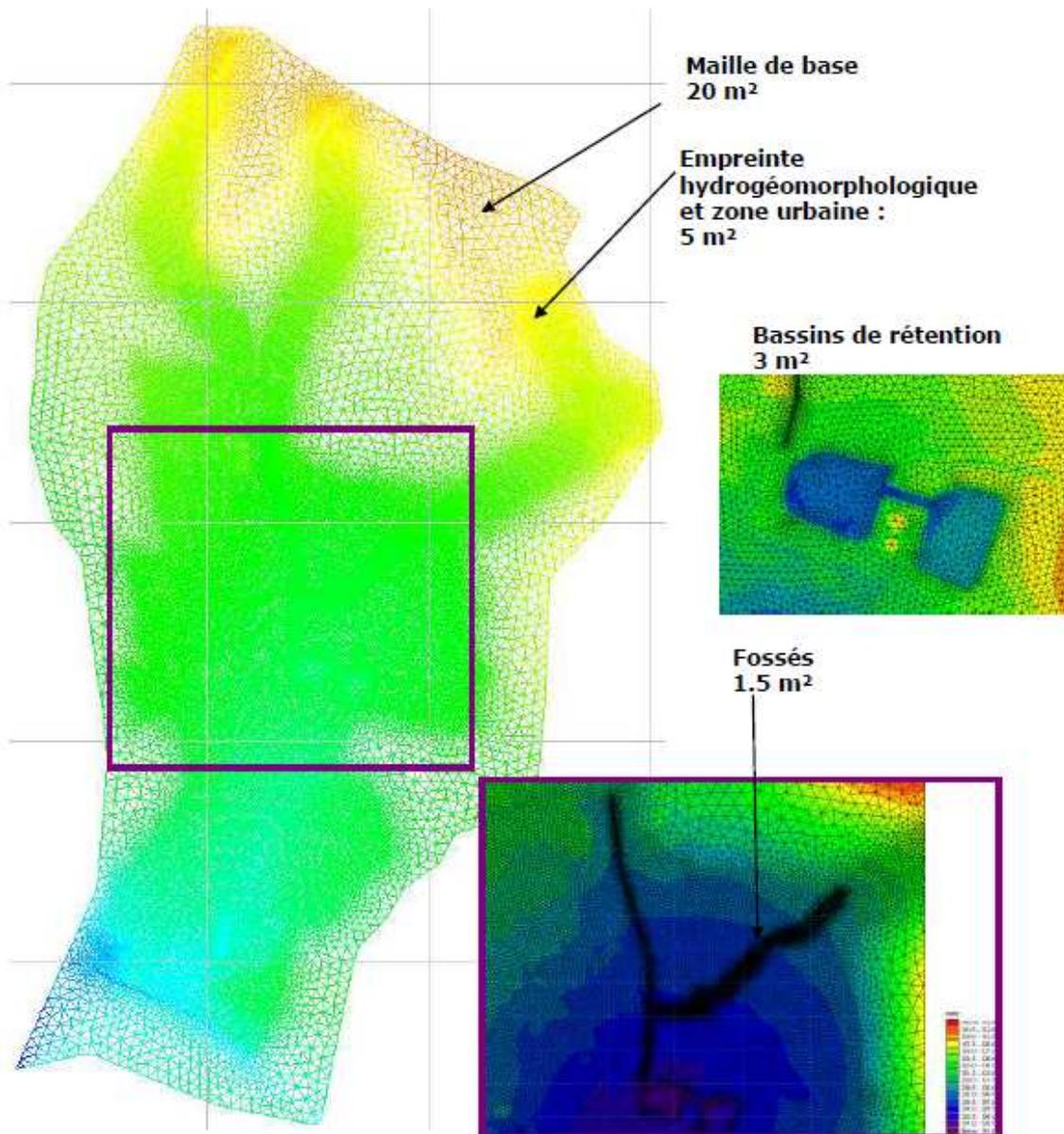


Figure 15 : Maillage du modèle 2D – Exemple de la zone San Peyre (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)

### 4.2.3 Résultats de la modélisation 1D/2D de la crue de référence

Pour un événement type 1993, le réseau pluvial est saturé. Des débordements généralisés se produisent sur les voiries et les parcelles avoisinante.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

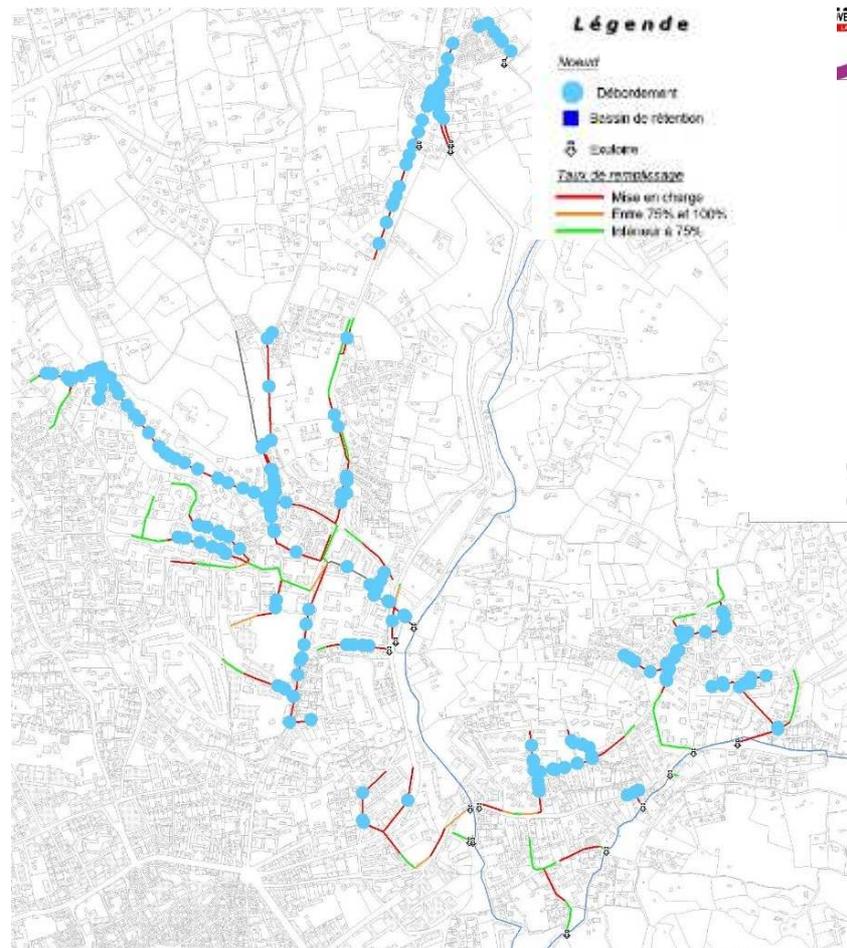


Figure 16 : Extrait du diagnostic hydraulique des réseaux pour la crue de référence (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)

Des inondations importantes sont à noter autour de l'avenue Jules Isaac et du Lycée Paul Cézanne.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



Figure 17 : Extrait du diagnostic hydraulique des réseaux pour la crue de référence – modèle de surface (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)

### Ce qu'il faut retenir...

**Bureau d'étude :** SAFEGE

**Année :** 2011

**Maître d'ouvrage :** Ville d'Aix-en-Provence

**Type de modélisation :** 1D (réseau pluvial) et 2D (débordement fluvial)

**Crue de référence :** Septembre 1993

**Crues modélisées dans le cadre de l'étude :** Q10 (décennale) et 1993

**Données topographiques utilisées :** LIDAR, relevés topographiques des cotes du réseau pluvial et profils en travers topo-bathymétriques du cours d'eau.



## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

### 4.3.1 Analyse hydrologique

#### 4.3.1.1 Evaluation du débit d'occurrence centennale

L'extrapolation du débit décennal à une occurrence centennale a été réalisée par l'application de la méthode du Gradex. Cette méthode considère qu'à partir de l'occurrence décennale, la distribution des débits à un comportement asymptotiquement comparable à celle des pluies.

La formule de base de cette méthode s'écrit :

$$Q_T = Q_{10} + Gp \times \ln[T / 10]$$

Son application sur la Torse donne le résultat suivant :  $Q_{100} = 87.9 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Si on applique la méthode SOCOSE en considérant les pluies d'occurrence centennale, l'estimation des débits est comparable :  $Q_{100} = 88.4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.3.1.2 Simulation « pluie-débit » du ruissellement

L'événement de septembre 1993 par son caractère exceptionnel est l'événement de référence sur le bassin versant de la Torse. En effet, la majorité de la hauteur totale de pluie est tombée en 2 heures avec 168 mm.

**Tableau 2 : Période de retour de l'événement de 1993 (source : SAFEGE-HORIZON – Aix-en-Provence, 1997)**

| Durée de pluie considérée au sein de l'orage de 1993 |         |          |          |          |          |          |          |          |
|--|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|  | 1 h     | 2 h      | 3 h      | 4 h      | 6 h      | 12 h     | 24 h     | 48 h     |
| Hauteur de pluie                                     | 87.4 mm | 168.0 mm | 171.8 mm | 174.8 mm | 181.8 mm | 189.6 mm | 210.2 mm | 221.8 mm |
| Occurrence estimée                                   | 270 ans | 4000 ans | 870 ans  | 240 ans  | 100 ans  | 50 ans   | 60 ans   | 50 ans   |

Le bassin versant général a été décomposé en un ensemble de sous-bassins versants. Ainsi, 29 sous-bassins versants ont été identifiés avec des superficies comprises entre 50 et 635 hectares.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

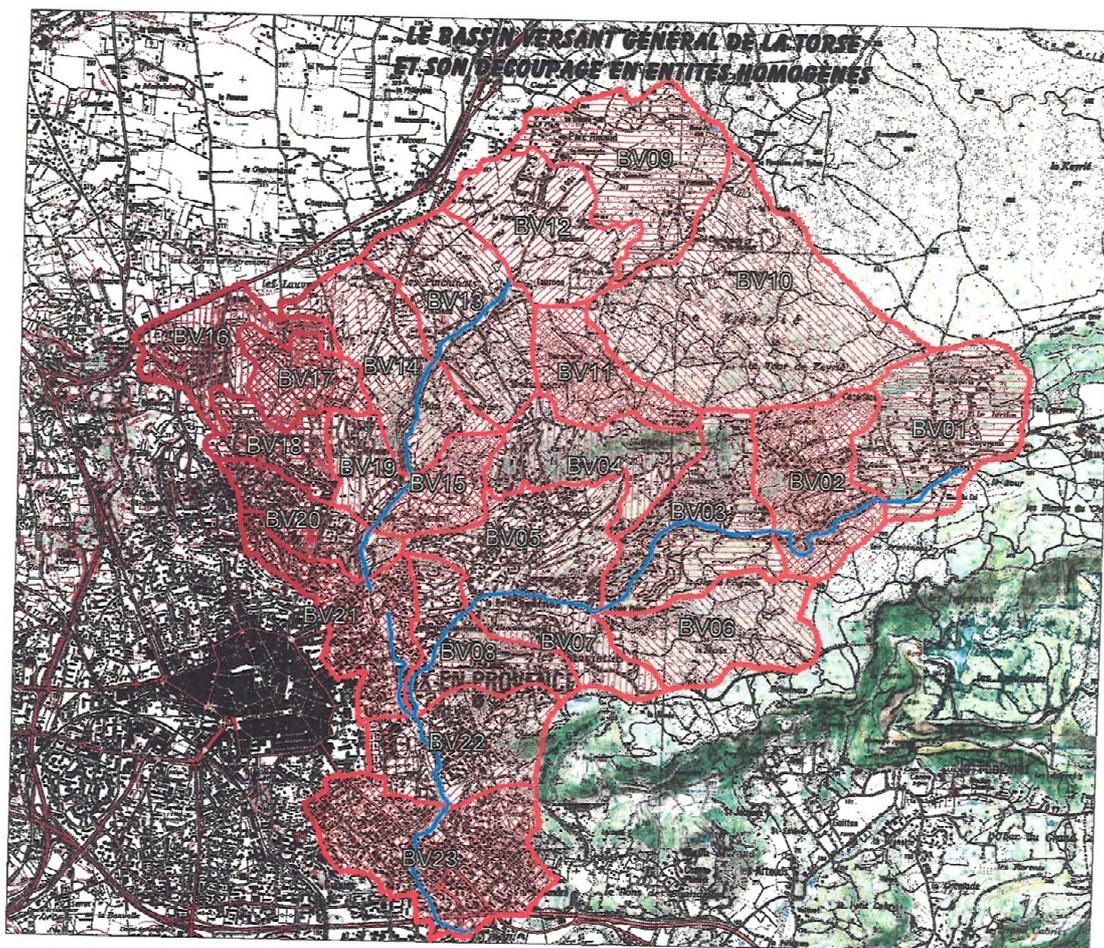


Figure 19 : Découpage des sous-bassins versants (source : Etude hydraulique, SAFEGE-HORIZON – Aix-en-Provence, 1997)

Les débits maximum unitaires instantanés sont contrastés selon les bassins versants. Les fortes valeurs obtenues pour le ruisseau du Barret s'expliquent par la nature des sols qu'elle draine et par le faible linéaire de la rivière même.

La structure du réseau hydrographique et le linéaire de la rivière ont une influence directe sur le coefficient de pointe. Il est plus faible pour le ruisseau des Pinchinats car celui-ci présente le réseau hydrographique le plus développé des trois bassins versants et certains ouvrages induisent un laminage important (Les Corneilles, Lycée Cézanne, ...).

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

**Tableau 3 : Débits de pointe de chaque tronçon (source : SAFEGE-HORIZON – Aix-en-Provence, 1997)**

|                |                     | Q10                    | Q100                   |
|----------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Les Pinchinats | Tronçon P84 à P80   | 7.5 m <sup>3</sup> /s  | 15.5 m <sup>3</sup> /s |
|                | Tronçon P79 à P49   | 12.5 m <sup>3</sup> /s | 31.1 m <sup>3</sup> /s |
|                | Tronçon P47 à P44   | 14.3 m <sup>3</sup> /s | 34.8 m <sup>3</sup> /s |
|                | Tronçon P44 à P30   | 15.6 m <sup>3</sup> /s | 39.1 m <sup>3</sup> /s |
| Le Barret      | Tronçon P120 à P108 | 5.8 m <sup>3</sup> /s  | 11.7 m <sup>3</sup> /s |
|                | Tronçon P107 à P97  | 11.7 m <sup>3</sup> /s | 29.1 m <sup>3</sup> /s |
|                | Tronçon P97 à P85   | 14.5 m <sup>3</sup> /s | 35.5 m <sup>3</sup> /s |
| La Torse       | Tronçon P29 à P23   | 30.3 m <sup>3</sup> /s | 73.5 m <sup>3</sup> /s |
|                | Tronçon P22 à P6    | 30.6 m <sup>3</sup> /s | 76.5 m <sup>3</sup> /s |
|                | Tronçon P6 à P1     | 30.3 m <sup>3</sup> /s | 75.8 m <sup>3</sup> /s |



**Figure 20 : Localisation des débits calculés pour chaque tronçon (source : Etude hydraulique, SAFEGE-HORIZON – Aix-en-Provence, 1997)**

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

### 4.3.2 Modélisation hydraulique

La modélisation hydraulique a été réalisée sur le logiciel HEC-RAS avec des calculs hydrauliques 1D en régime permanent à partir de profils en travers topo-bathymétriques des cours d'eau et des ouvrages hydrauliques.

L'exploitation du modèle hydrologique « pluie-débit » a permis de constituer les hydrogrammes de ruissellement générés par les 29 sous-bassins versants, pour la pluie d'occurrence 100 ans liée à l'événement de 1993.

Pour le ruisseau Barret, des débordements se produisent en amont sur la D10. Ensuite, l'encaissement du ruisseau limite les débordements avec des inondations ponctuelles dans le lit majeur. La confluence entre le ruisseau des Pinchinats et le ruisseau du Barret occasionne d'importants débordements dans le Parc de la Torse. A l'aval de l'ouvrage du cours Gambetta, des débordements se produisent dans les résidences traversées par le cours d'eau de la Torse.

D'une manière générale, les vitesses d'écoulement dans les ruisseaux étudiés sont importantes et présentent donc un risque élevé pour les riverains et les habitations concernées.

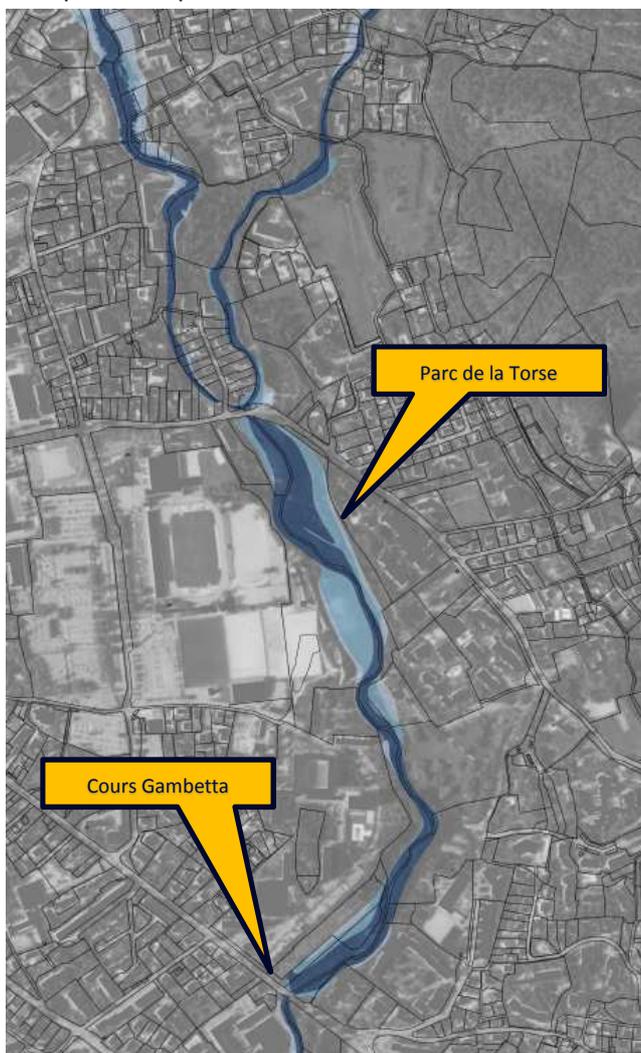


Figure 21 : Extrait de la carte des hauteurs d'eau pour la crue de référence (source : Etude hydraulique, SAFEGE-HORIZON – Aix-en-Provence, 1997)

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



### Ce qu'il faut retenir...

**Bureau d'étude :** SAFEGE-HORIZON

**Année :** 1997

**Maître d'ouvrage :** Ville d'Aix-en-Provence

**Type de modélisation :** 1D (débordement fluvial)

**Crue de référence :** Septembre 1993

**Crues modélisées dans le cadre de l'étude :** 1993

**Données topographiques utilisées :** Profils en travers topo-bathymétriques du cours d'eau.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

### 4.4 La Luynes

En 2012, le bureau d'études SCE a mené pour la commune d'Aix-en-Provence une étude pour caractériser l'aléa inondation affecté à la Luynes. Dans ce cadre, l'étude hydraulique s'est appuyée sur :

- Une analyse hydrologique nouvelle permettant d'établir une estimation des débits de référence notamment le débit d'occurrence 100 ans mais également le débit généré par un événement comparable à celui apparu en 1993 ;
- Le développement d'un modèle mathématique d'écoulement 2D.

Le périmètre de l'étude concerne l'emprise du lit majeur de la Luynes sur le territoire d'Aix en Provence, à savoir de la limite communale jusqu'au débouché de la Luynes dans l'Arc au niveau de la Pioline.

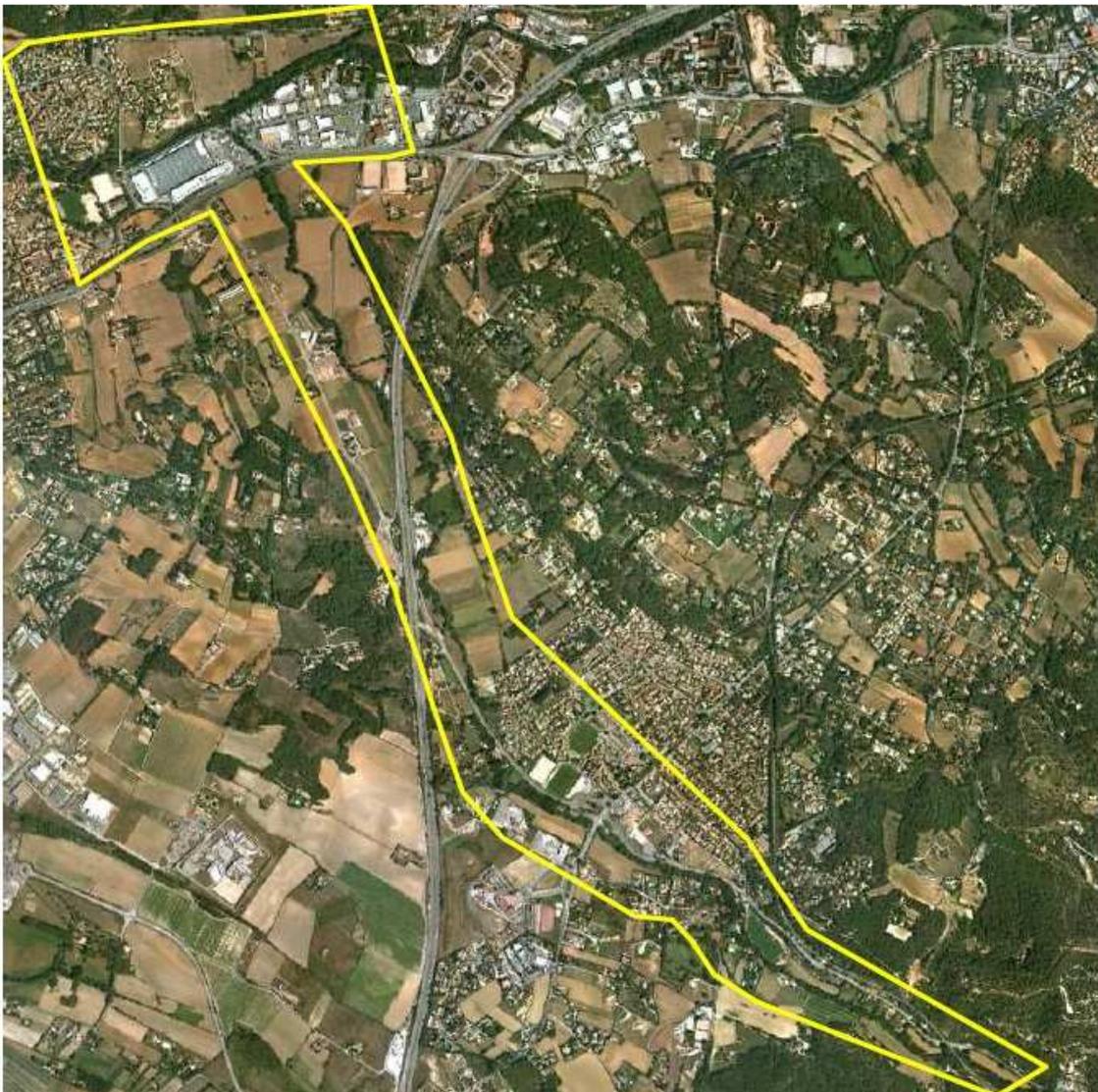


Figure 22 : Emprise d'étude (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

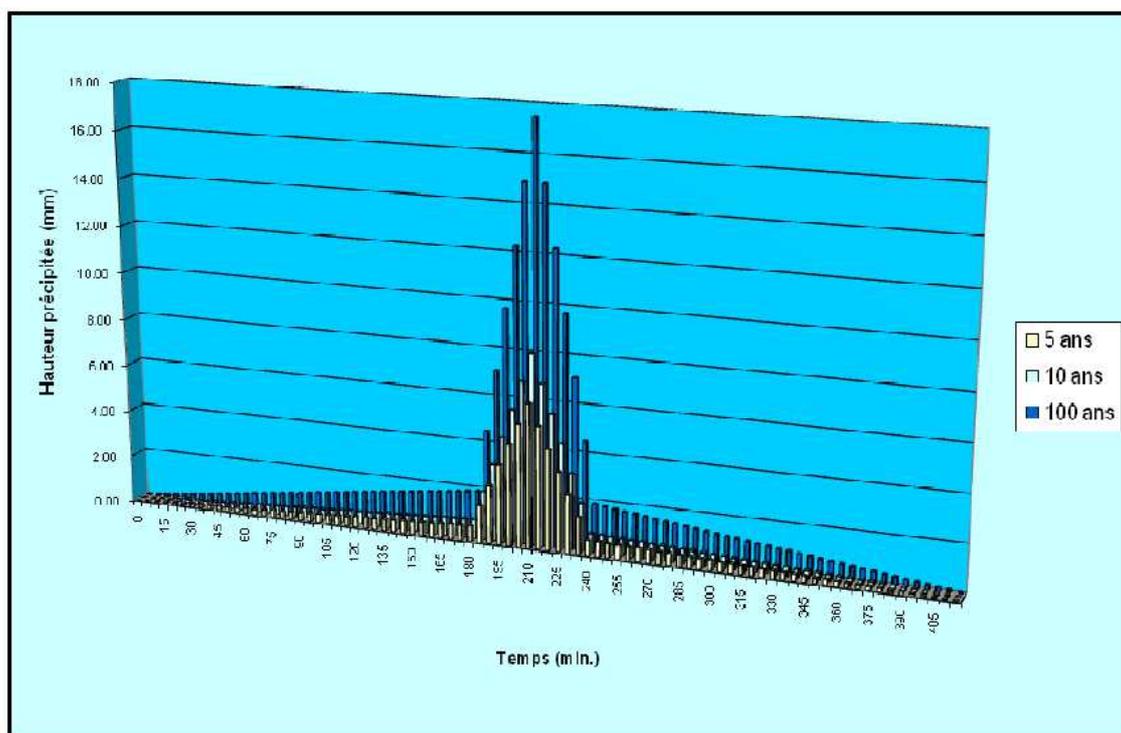
Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

### 4.4.1 Hydrologie : modélisation pluie-débit

L'étude hydraulique permettant d'actualiser l'aléa inondation de la Luynes a été réalisée en retenant les hauteurs de pluie caractéristiques de la station météorologique d'Aix-en-Provence, fixées dans le schéma directeur des eaux pluviales de la ville d'Aix-en-Provence réalisé par SAFEGE (2011), pour les durées représentatives de la taille du bassin versant à savoir : 1h pour la période intense et 7 heures pour la durée totale.

**Tableau 4 : Caractéristiques des pluies de projet (Dint = 1h, Dtot = 7h) à la station d'Aix-en-Provence (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)**

| Période de retour | Durée intense | Hauteur intense | Durée totale | Hauteur totale |
|-------------------|---------------|-----------------|--------------|----------------|
| 5 ans             | 60 min        | 40,6 mm         | 420 min      | 64,6 mm        |
| 10 ans            | 60 min        | 53,1 mm         | 420 min      | 82,1 mm        |
| 100 ans           | 60 min        | 116,2 mm        | 420 min      | 184,1 mm       |



**Figure 23 : Pluies de projet utilisées dans le modèle « Pluie-Débit » (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)**

Par rapport aux inondations de septembre 1993, la DDTM13 a souhaité modéliser les conséquences de ce scénario hydrologique.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

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.

La figure suivante issue du Schéma Directeur Pluvial de SAFEGE reconstituée, au pas de temps 6 minutes, la pluie du 22 au 23 septembre 1993.

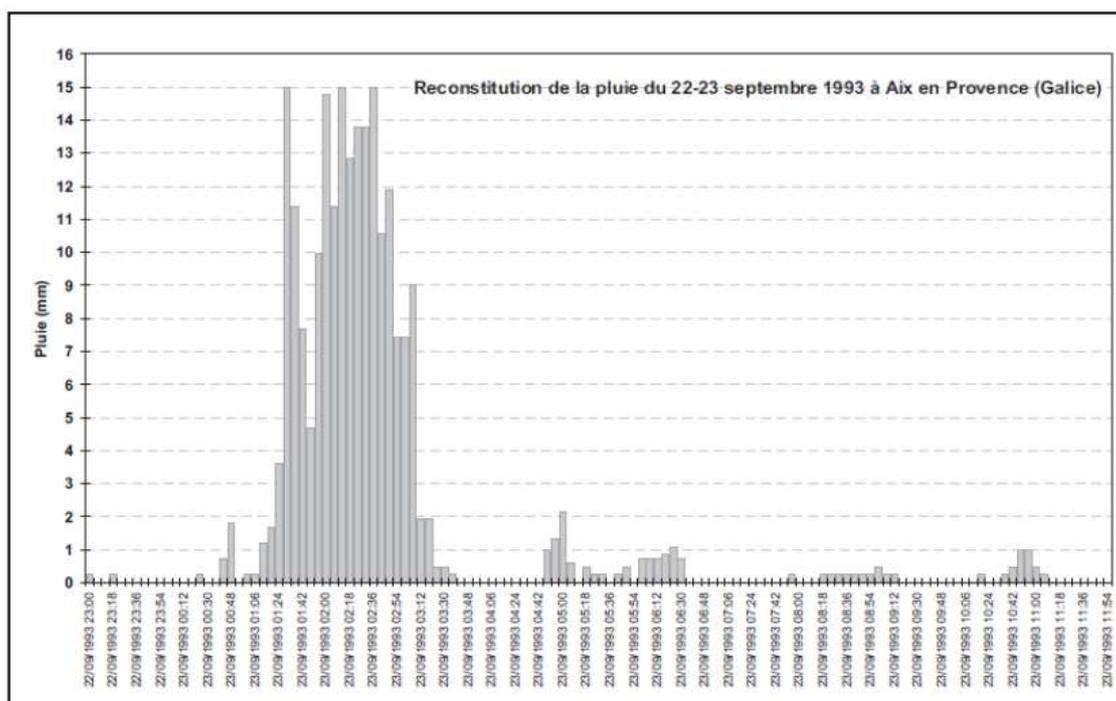


Figure 24 : Reconstitution de la pluie du 22 au 23 septembre 1993 à Aix Galice (source : étude DARGAON 1998 et Météo France) - (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)

Tableau 5 : Résultats comparés des modélisations Pluie-débit pour un événement d'occurrence 100 ans et de type 1993 (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)

| Point de référence                           | Résultat du modèle Pluie-débit |               |
|--|--------------------------------|---------------|
|  | T = 100 ans                    | Evt type 1993 |
| <i>Luyes à l'amont du territoire d'étude</i> | 178                            | 269           |
| <i>Luyes à l'aval commune de Luynes</i>      | 180                            | 279           |
| <i>Luyes à la Pioline</i>                    | 177                            | 271           |

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

Ces résultats démontrent que l'événement « synthétique » de 1993 aura des conséquences en termes d'aléa inondation supérieures à l'événement centennal. C'est pour cela que cet événement a été retenu pour actualiser l'aléa inondation sur le cours aval de la Luynes.

### 4.4.2 Modélisation hydraulique de la Luynes

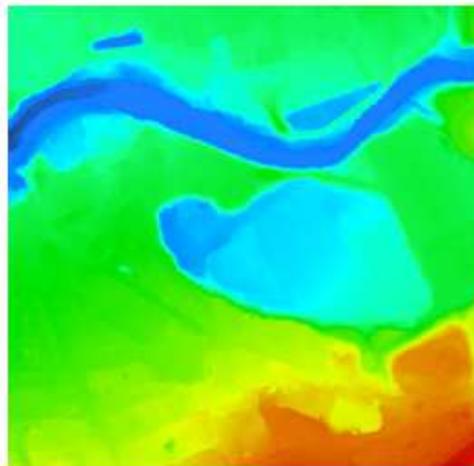
L'étude hydraulique a été conduite à l'aide du logiciel de modélisation mathématique d'écoulement XP-SWMM/TUFLOW permettant simultanément :

- De modéliser la propagation des crues au sein du réseau hydrographique de propagation des crues de la Luynes,
- De représenter les conditions de submersion et de ressuyage au moyen d'un modèle 2D au droit de la zone d'étude.

Les grandes étapes de mise en œuvre du modèle mathématique sont présentées sur les quatre figures suivantes.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



Analyse du MNT dans le progiciel XP-SWMM



Analyse des conditions d'écoulement à partir des photos aériennes



Définition du maillage de calcul (taille des mailles minimales 5 m), de l'aire d'étude en 2D et caractérisation du lit mineur (1D)



Prise en compte des bâtiments pour calculs hydrauliques de propagation. Définition des coefficients de rugosité.

Figure 25 : Les grandes étapes de mise en œuvre du modèle mathématique (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)

### 4.4.3 Cartographie des caractéristiques d'écoulement

Les résultats obtenus avec le modèle ont permis d'établir les zones inondables pour un événement hydrologique comparable à 1993 supérieur à l'événement d'occurrence 100 ans.

Pour chaque nœud de calcul, on obtient les hauteurs de submersion et les vitesses d'écoulement. A noter que pour l'occurrence 1993, l'autoroute fait barrage aux écoulements. L'ouvrage de franchissement est insuffisant puisque que seulement 69 m<sup>3</sup>/s transitent par ce dernier. 122 m<sup>3</sup>/s passent par-dessus l'autoroute et 88 m<sup>3</sup>/s transitent au Nord par le chemin de la Commanderie – Saint Jean de Malte.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

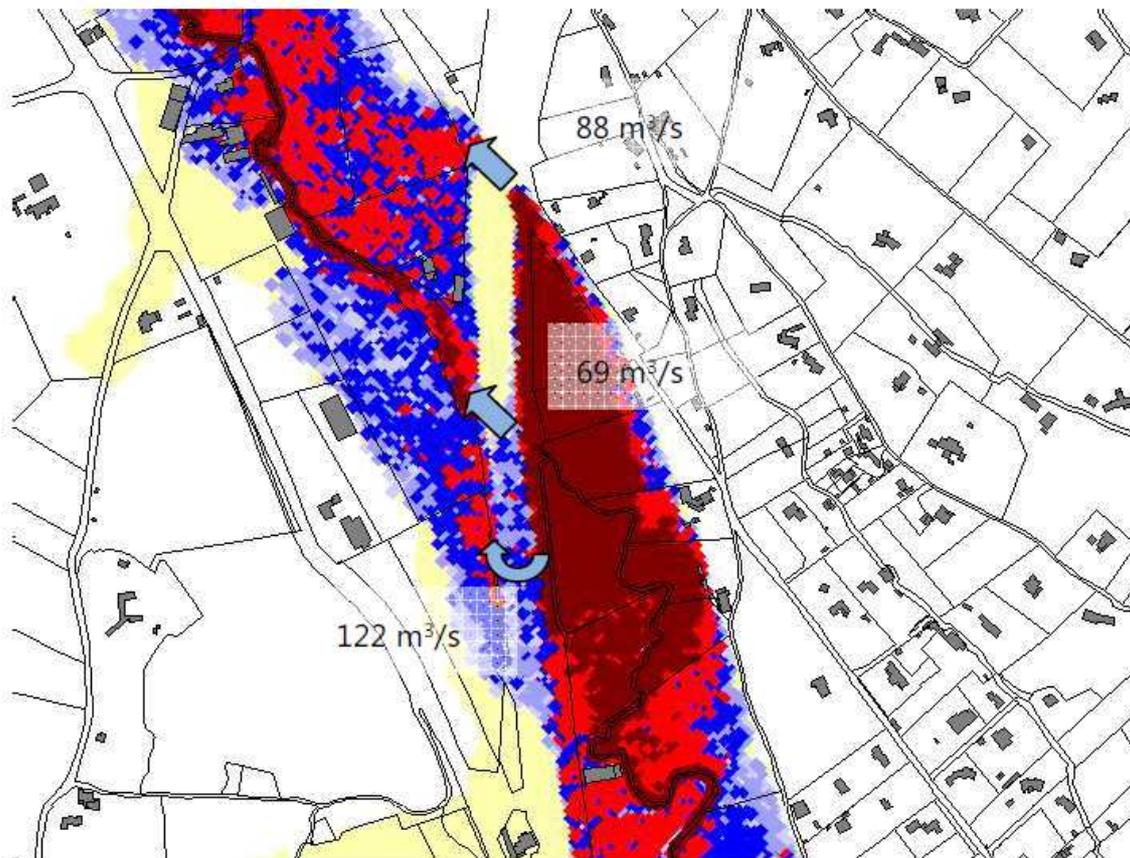


Figure 26 : Conditions de franchissement de l'autoroute par la Luynes suite à un épisode pluvieux de type 1993 (source : Etude de modélisation de la Luynes, SCE – commune d'Aix-en-Provence, 2012)

### Ce qu'il faut retenir...

**Bureau d'étude :** SCE

**Année :** 2012

**Maître d'ouvrage :** Ville d'Aix-en-Provence

**Type de modélisation :** 2D (débordement fluvial)

**Crue de référence :** Septembre 1993

**Crues modélisées dans le cadre de l'étude :** Q10 (décennale) et 1993

**Données topographiques utilisées :** LIDAR et profils en travers topo-bathymétriques du cours d'eau.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

### 4.5 Le Grand Vallat et la Jouïne

Le bureau d'études INGEROP a réalisé en 2013 pour le compte du SABA une étude pour la réduction de l'aléa inondation au droit des lieux habités en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau sur le bassin versant de la Jouïne et du Grand Vallat.

Cette étude a fait l'objet d'un Porter à Connaissance de l'aléa inondation pour les cours d'eau de la Jouïne et du Grand Vallat pour les services de l'Etat en 2017.

#### 4.5.1 Hydrologie : modélisation pluie-débit

La détermination hydrologique de l'événement de référence repose sur un modèle pluie-débit.

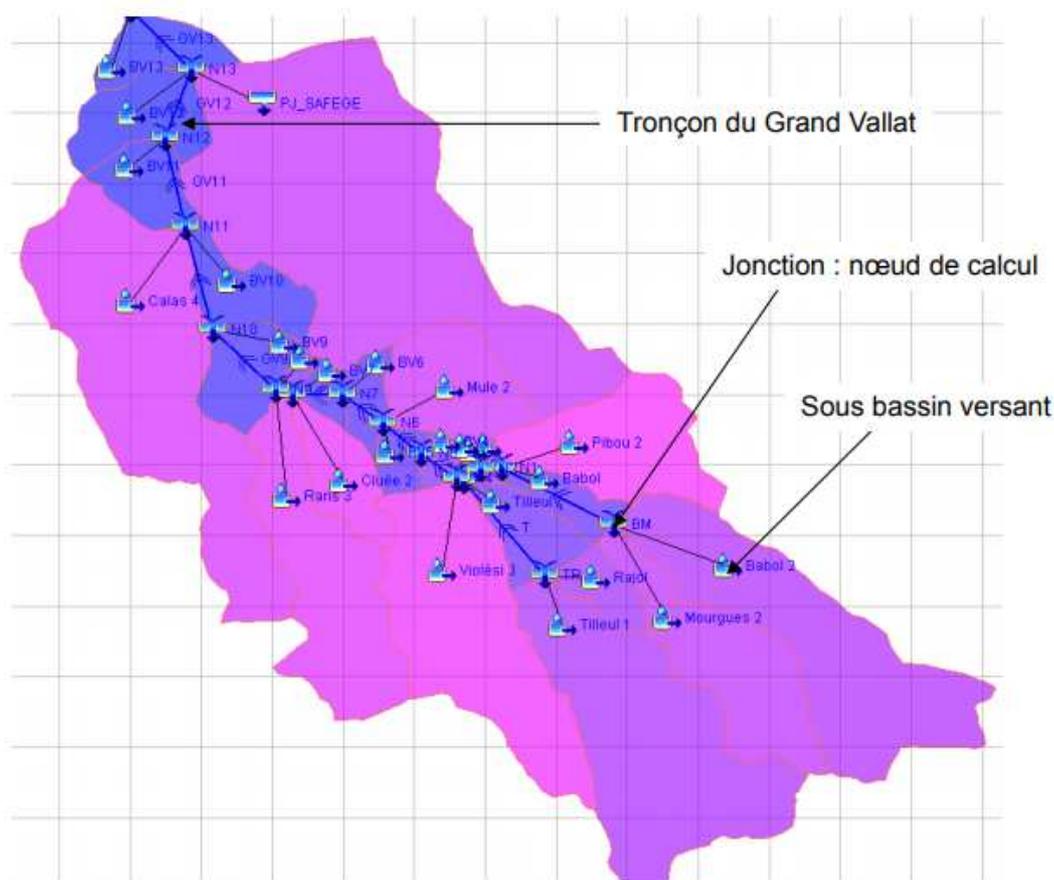


Figure 27 : Modèle Pluie-Débit HEC-HMS (source : étude pour la réduction de l'aléa inondation au droit des lieux habités en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau sur le bassin versant de la Jouïne et du Grand Vallat, INGEROP- SABA, 2013)

Dans le modèle pluie-débit, le Grand Vallat est représenté par une quinzaine de tronçons, chacun défini par un temps de transfert et un coefficient d'amortissement des hydrogrammes de crue (cf. Figure : Modèle Pluie-Débit). Ces paramètres ont été calés pour que les débits obtenus en chaque nœud de calcul du Grand Vallat correspondent aux débits obtenus par la modélisation hydraulique bidimensionnelle d'un événement pluvieux décennal.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

Les pluies de projet, renseignées en entrée du modèle pluie-débit, ont été définies par utilisation de la station pluviométrique d'Aix-les-Milles. Ce sont des pluies double-triangle dont la période intense est égale au temps de concentration du bassin versant du Grand Vallat et dont la période totale est égale à trois fois ce temps de concentration. Le temps de concentration du Grand Vallat a été pris égal à 700 min (soit environ 11h).

**Tableau 6 : Quantiles de pluie en mm pour la station météorologique d'Aix-Les-Milles. (source : INGEROP – SABA, 2013)**

| <Durée        | Période de retour |        |        |        |        |               |               |
|---------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|---------------|---------------|
|               | 2 ans             | 5 ans  | 10 ans | 20 ans | 30 ans | 50 ans        | 100 ans       |
| <b>6 min</b>  | 10.81*            | 11.47  | 12.55  | 13.42  | 13.91  | 14.38         | <b>14.91</b>  |
| <b>15 min</b> | 18.35*            | 20.98  | 24.22  | 27.35  | 29.27  | 31.56         | <b>34.64</b>  |
| <b>30 min</b> | 27.39*            | 33.12  | 39.80  | 46.86  | 51.39  | 57.21         | <b>65.54</b>  |
| <b>1 h</b>    | 40.86*            | 52.30  | 65.43  | 80.30  | 90.23  | 103.69        | <b>124.02</b> |
| <b>2 h</b>    | 45.22*            | 59.75  | 75.91  | 95.37  | 108.33 | 126.49        | <b>155.54</b> |
| <b>3 h</b>    | 49.86*            | 65.27  | 82.38  | 102.84 | 116.34 | 135.13        | <b>164.96</b> |
| <b>6 h</b>    | 58.93*            | 75.92  | 94.77  | 117.00 | 131.44 | 151.29        | <b>182.40</b> |
| <b>12 h</b>   | 69.65*            | 88.30  | 109.01 | 133.10 | 148.49 | 169.39        | <b>201.68</b> |
| <b>24 h</b>   | 82.31*            | 102.70 | 125.39 | 151.41 | 167.76 | <b>189.65</b> | <b>223.01</b> |

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

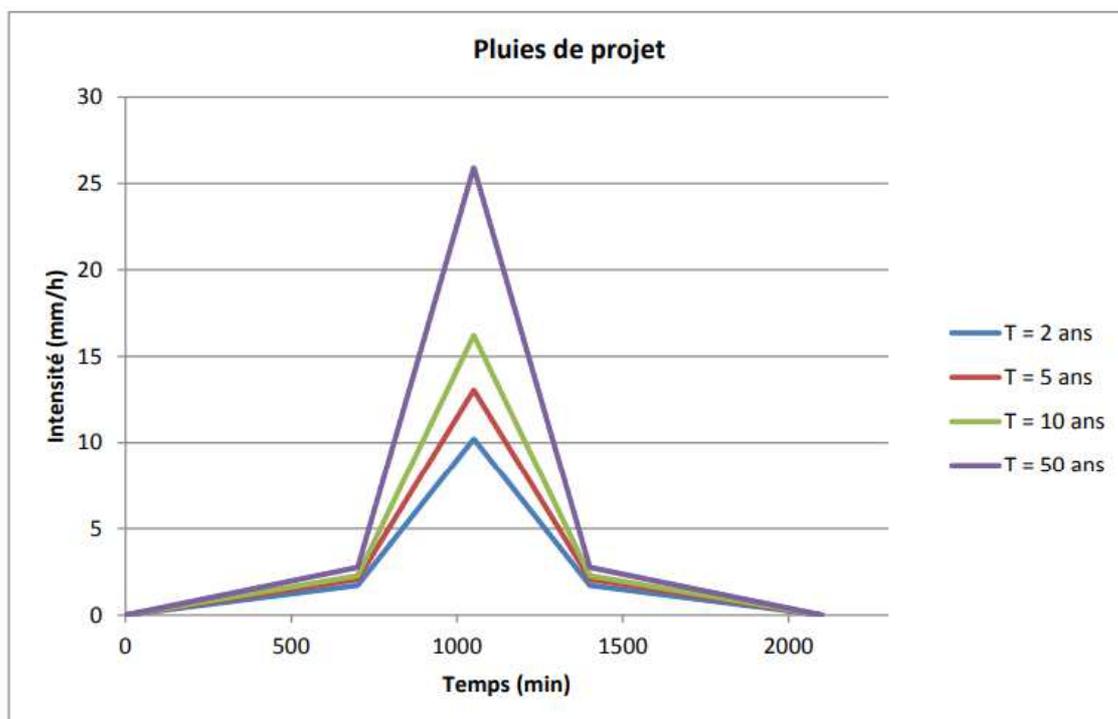


Figure 28 : Pluies de projet d'occurrence 2, 5, 10 et 50 ans (source : INGEROP – SABA, 2013)

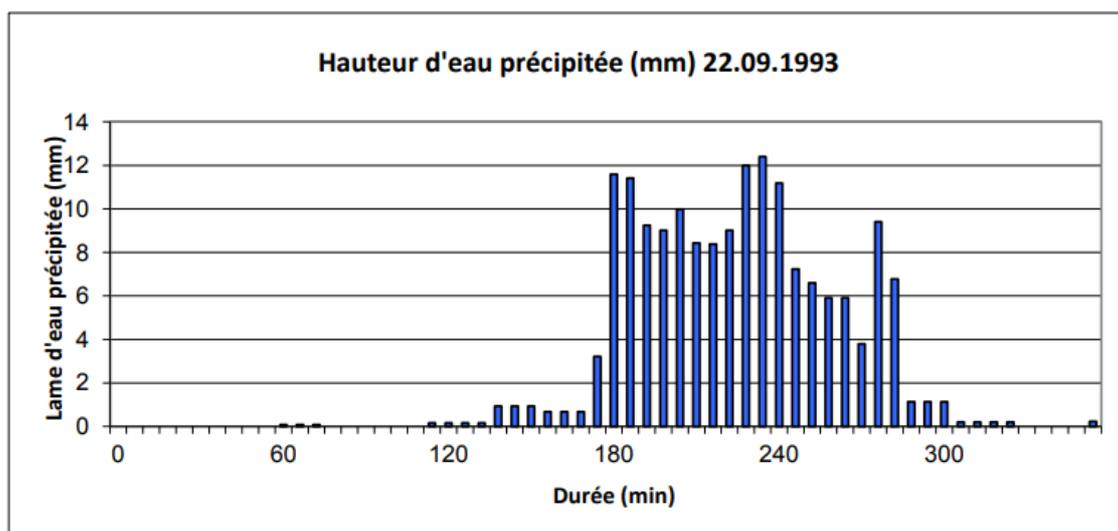


Figure 29 : Pluie de septembre 1993 (source : INGEROP – SABA, 2013)

Concernant la Petite Jouïne, elle a été renseignée dans le modèle pluie-débit directement par les hydrogrammes de crue fournis par le bureau SAFEGE et obtenus au niveau de la RD9 grâce à une modélisation hydraulique (modèle réalisé par SAFEGE dans le cadre du schéma d'aménagement d'Aix-en-Provence). Ils sont illustrés dans la figure ci-dessous.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

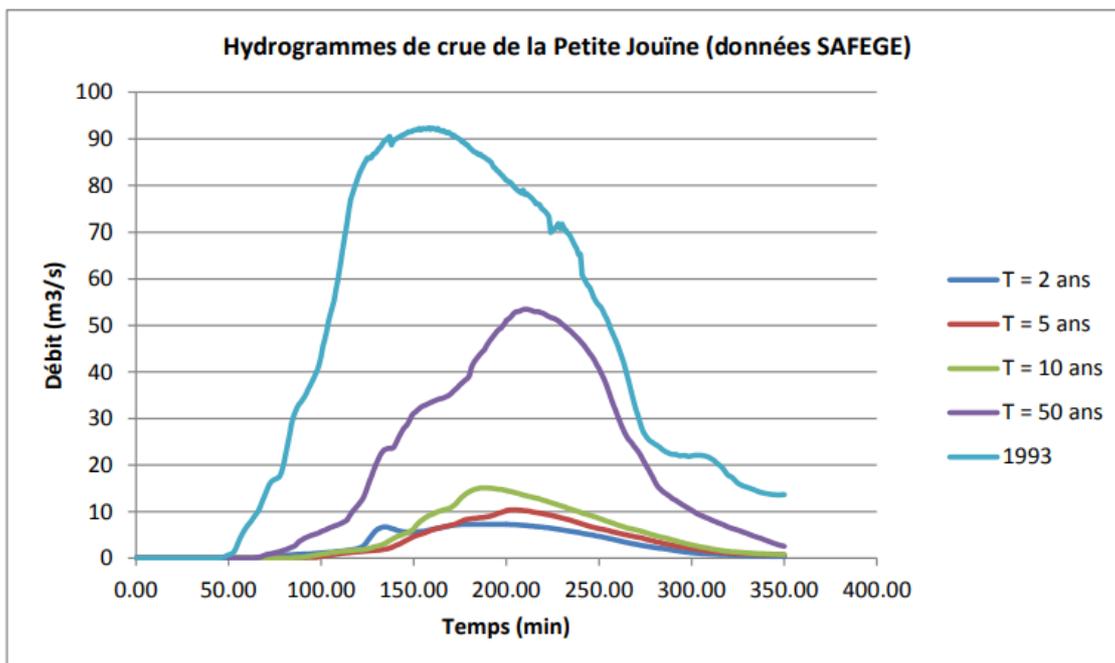


Figure 30 : Hydrogrammes de crue de la Petite Jouïne au niveau de la RD9 d'après SAFEGE (source : INGEROP – SABA, 2013)

Le modèle hydrologique étant ainsi calé sur le modèle hydraulique, les hydrogrammes de crue sont obtenus en réponse aux pluies de projet présentées ci-dessus.

Le tableau suivant présente les débits de pointe obtenus aux exutoires de chaque sous bassin. La figure qui suit présente les débits obtenus en plusieurs nœuds du réseau hydrographique. Sur cette figure sont renseignés les débits d'occurrence 2, 5, 10, 20, 30, 50 et 100 ans de chaque sous bassin versant et en plusieurs nœuds du Grand Vallat, qui seront utiles par la suite pour associer aux débits de premiers débordements une période de retour. Le débit pour une pluie type 1993 est également indiqué aux exutoires.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

**Tableau 7 : Débits de pointe des sous BV (source : INGEROP – SABA, 2013)**

| Sous bassin versant           | Superficie<br>(km <sup>2</sup> ) | Pic Q2<br>(m <sup>3</sup> /s) | Pic Q5<br>(m <sup>3</sup> /s) | Pic Q10<br>(m <sup>3</sup> /s) | Pic Q50<br>(m <sup>3</sup> /s) | Pic Q93<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Pibou 2</b>                | 3.52                             | 2.5                           | 4.3                           | 6.5                            | 14.3                           | 46.2                           |
| <b>Babol 2</b>                | 7.19                             | 2.7                           | 5.5                           | 9.0                            | 22.4                           | 61.2                           |
| <b>Mourgues 2</b>             | 3.82                             | 1.7                           | 3.3                           | 5.3                            | 12.8                           | 38.9                           |
| <b>Tilleul 1</b>              | 7.99                             | 2.5                           | 5.4                           | 9.1                            | 23.7                           | 73.1                           |
| <b>Rajol</b>                  | 0.88                             | 0.8                           | 1.3                           | 1.9                            | 4.1                            | 16.2                           |
| <b>Violési 3</b>              | 6.64                             | 2.5                           | 5.0                           | 8.2                            | 20.1                           | 45.0                           |
| <b>Cluée 2</b>                | 1.49                             | 0.9                           | 1.5                           | 2.4                            | 5.5                            | 15.8                           |
| <b>Rans 3</b>                 | 4.93                             | 3.3                           | 5.8                           | 8.7                            | 18.9                           | 45.5                           |
| <b>Calas 4</b>                | 9.55                             | 4.3                           | 8.2                           | 13.0                           | 30.5                           | 61.5                           |
| <b>Mule 2</b>                 | 2.58                             | 2.4                           | 3.9                           | 5.7                            | 11.6                           | 33.6                           |
| <b>Petite Jouïne (SAFEGE)</b> | 14.72                            | 7.3                           | 10.4                          | 15.1                           | 53.5                           | 92.3                           |

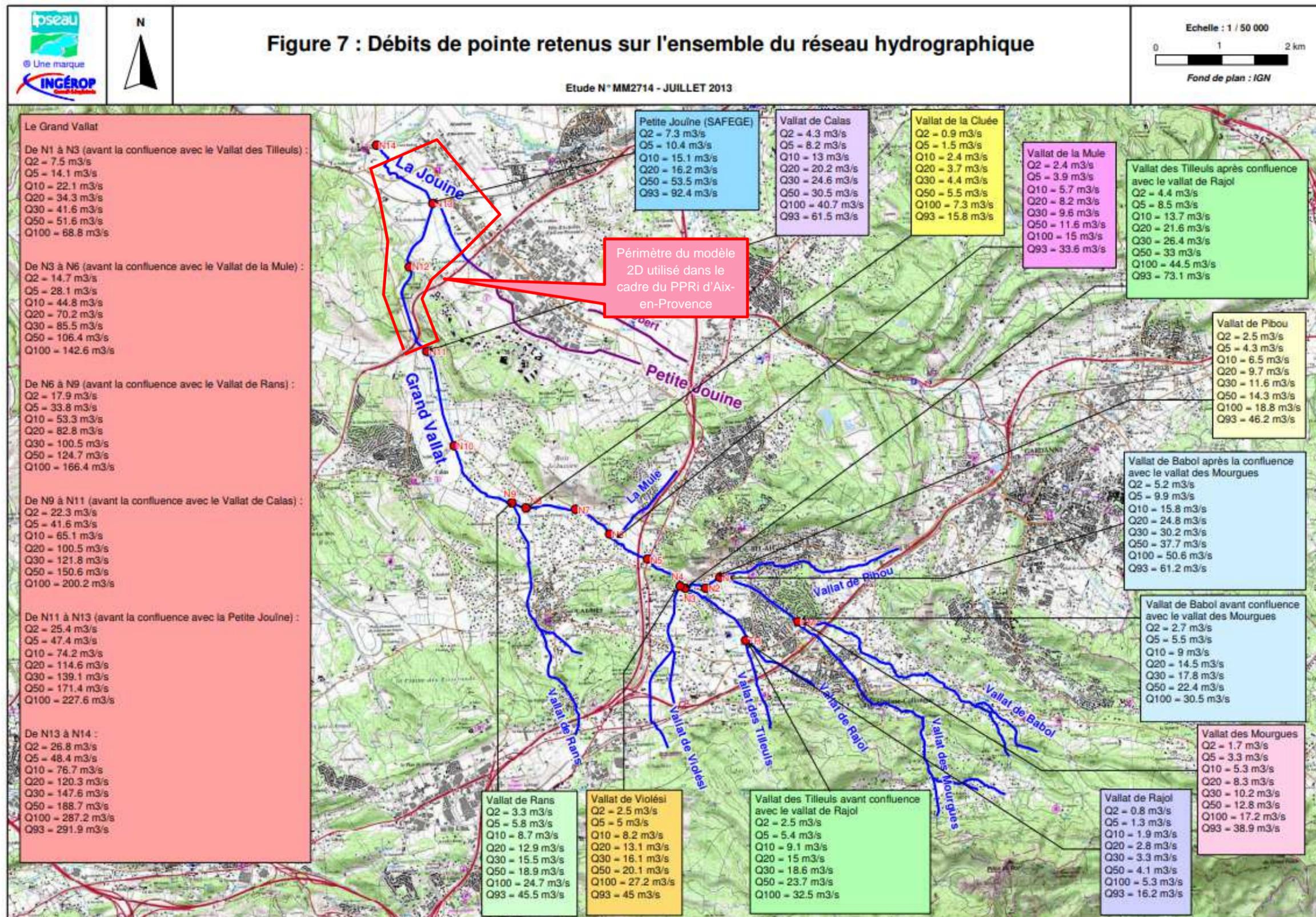


Figure 31 : Débit de pointe retenus sur l'ensemble du réseau hydrographique (source : INGEROP – SABA, 2013)

# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



## 4.5.2 Modélisation des écoulements

MIKE FLOOD est le logiciel utilisé pour la modélisation des écoulements. Il est développé par la société DHI (Danish Hydraulic Institute).

MIKE FLOOD permet le couplage d'une modélisation unidimensionnelle du lit mineur du cours d'eau (représenté par des profils en travers grâce au logiciel MIKE 11) avec une modélisation bidimensionnelle du lit majeur (représenté sous forme de MNT grâce au logiciel MIKE 21). Les logiciels MIKE 11 et MIKE 21 résolvent les équations de Barré Saint-Venant à une et deux dimensions.

Le modèle unidimensionnel représente le lit mineur par son profil en long et par des profils en travers, et prend en considération l'ensemble des ouvrages hydrauliques. Il permet de connaître à chaque instant de la simulation la ligne d'eau et le débit dans les cours d'eau.

Le modèle bidimensionnel se compose d'un découpage fin du secteur d'étude, à l'aide d'un maillage rectangulaire généré à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) issu de relevés topographiques LIDAR, permettant de connaître à chaque instant de la simulation les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement en chaque maille du modèle.

Les résultats sont fournis sous forme de cartographies :

- Des hauteurs d'eau maximales,
- Des vitesses maximales d'écoulement.

## 4.5.3 Résultats de la modélisation 2D

La figure ci-après présente les hauteurs maximales obtenues pour un tel évènement.

Pour un tel évènement, comparable à une période de retour de l'ordre de 100 ans, l'ensemble des cours d'eau montre des débordements généralisés.

Les principaux secteurs à enjeux sont les mêmes que pour les évènements plus fréquents, sur Aix-en-Provence, dans la partie basse du quartier de la Duranne, quelques habitations et des commerces sont exposés au risque d'inondation.

Les zones de stockage sont localisées en amont des remblais d'infrastructures qui barrent perpendiculairement le lit majeur du cours d'eau, générant des hauteurs importantes :

- En amont de Lagremeuse : hauteur maximale de 4.6 m ;
- En amont de la voie ferrée à l'aval d'Aix-La-Durance : hauteur maximale de 3.2 m.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

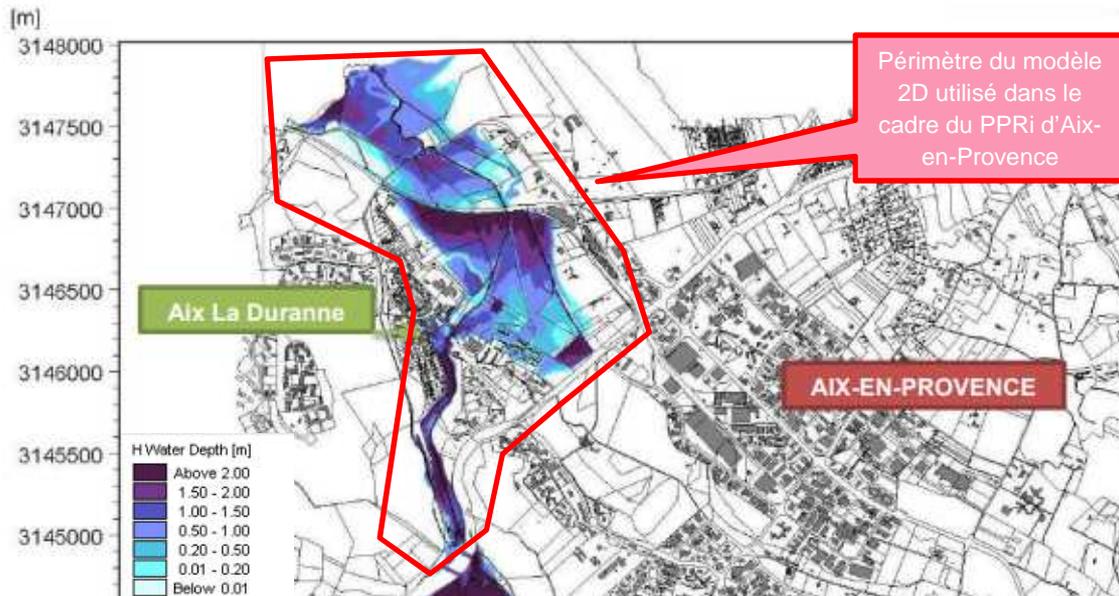


Figure 32 : Hauteurs maximales pour l'événement type 1993 (source : INGEROP – SABA, 2013)

### Ce qu'il faut retenir...

**Bureau d'étude :** INGEROP

**Année :** 2013

**Maître d'ouvrage :** SABA

**Type de modélisation :** 2D (débordement fluvial)

**Crue de référence :** Septembre 1993

**Crues modélisées dans le cadre de l'étude :** Q2 (biennale), Q5 (quinquennale), Q10 (décennale), Q50 (cinquantennale) et 1993

**Données topographiques utilisées :** LIDAR et profils en travers topo-bathymétriques du cours d'eau.

### 4.6 La Petite Jouïne, les Milles ZI et la Duranne ZAC

Dans le cadre de la réalisation du Schéma Directeur des Eaux Pluviales en 2011, la commune a souhaité que l'aléa inondation soit précisé par modélisation sur les secteurs actuellement urbanisés ou à urbaniser. Les secteurs de la zone industrielle des Milles, la Petite Jouïne et la zone d'activités de la Duranne ont été modélisés dans le cadre de cette étude de 2011.

Ainsi, sur ces zones, la modélisation hydraulique du fonctionnement des réseaux a été couplée avec l'étude du ruissellement de surface, permettant la réalisation d'un modèle 2D et d'obtenir des cartes d'aléa par débordement ou ruissellement.

#### 4.6.1 Description des secteurs considérés

Le réseau d'évacuation des eaux pluviales de la zone d'étude se décompose en 10 principaux secteurs correspondant aux 10 exutoires retenus :

- 2 se jetant dans le Grand Vallat, d'Ouest en Est :
  - Fresnel ;
  - Newton.
- 8 dans la Petite Jouïne, affluent du Grand Vallat :
  - Foucault ;
  - Guimarand ;
  - RD9 ;
  - STEP ;
  - Lavoisier ;
  - Lauzière ;
  - Perrin ;
  - Golf.
- 3 bassins versants se jettent directement dans la Petite Jouïne sans transiter via des réseaux d'eaux pluviales. Ils sont regroupés dans un bassin versant « Jouïne ». Ne disposant pas de réseau, ces bassins versants ne sont pris en compte que dans l'étude du ruissellement de surface en amont de la RD9.

# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

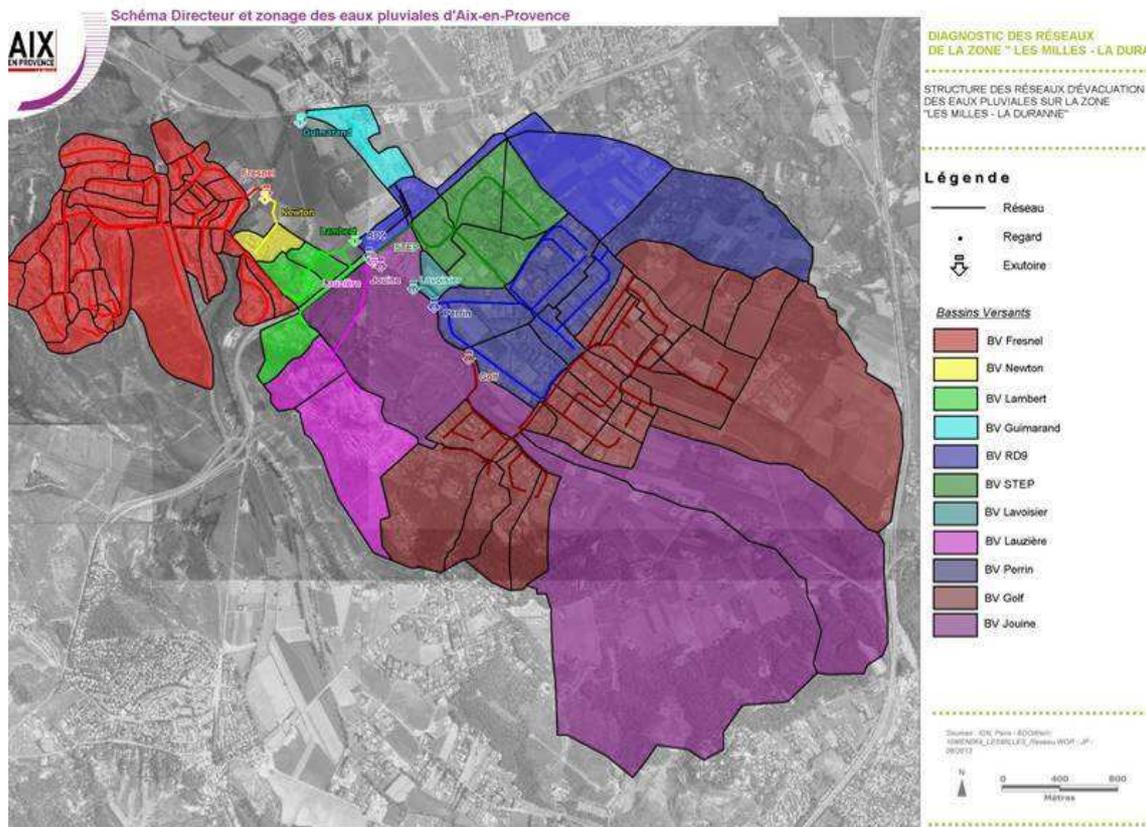


Figure 33 : Structure du réseau d'évacuation des eaux pluviales sur la zone « ZI les Milles – la Duranne » (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)

## 4.6.2 Analyse hydrologique

La pluie du 22-23 septembre 1993 a été retenue comme pluie historique de référence pour la caractérisation de l'aléa.

# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

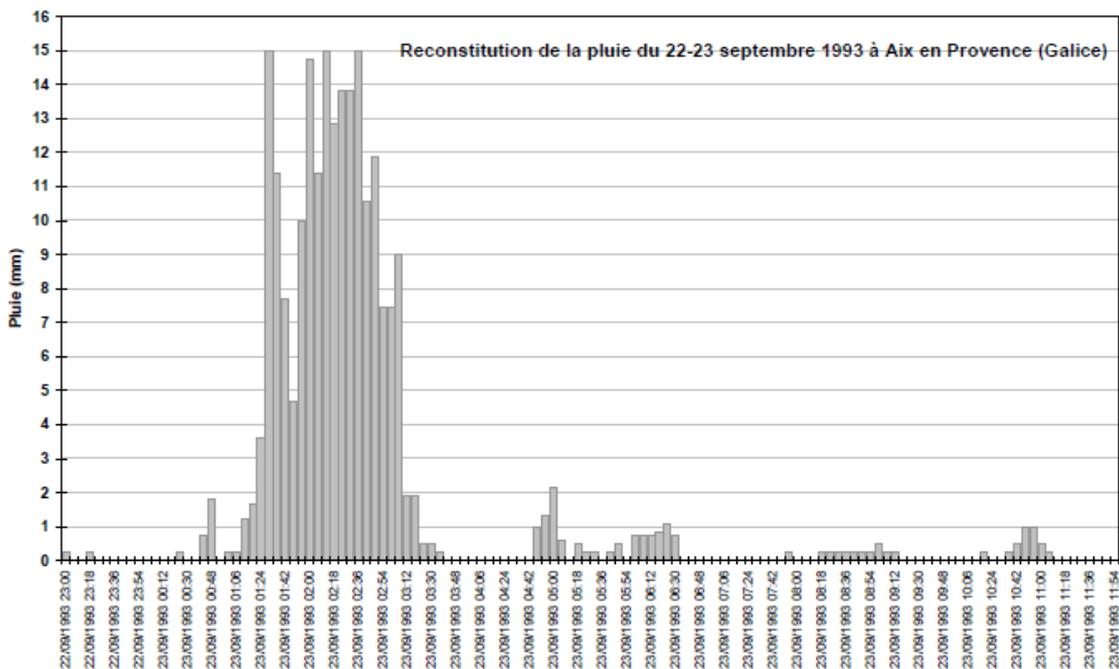


Figure 34 : Pluie du 22-23 septembre 1993 à Aix en Provence au pas de temps 6 min (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)

La transformation des pluies de projet en débit de pointe a été réalisée pour chaque bassin versant par la méthode de transformation pluie-débit.

## 4.6.3 Modélisation hydraulique

Deux méthodes ont été utilisées pour caractériser l'aléa sur Aix en Provence :

- S'il n'y a pas de réseaux enterrés ou si leur modélisation n'a pas d'intérêt dans la caractérisation de l'aléa, la zone d'étude est modélisée avec TELEMAT 2D ;
- Si la prise en compte des réseaux souterrains se révèle pertinente, la zone d'étude est modélisée sur le logiciel MIKE FLOOD.

L'ensemble de la zone d'étude est représentée en 2D à partir du modèle numérique de terrain créé sur la base des semis de points levés fournis par la Ville d'Aix en Provence (LIDAR - 2009) et les levés terrestres réalisés par BILICKI ou HYDROTOPO (Modélisation 2D de la ZI les Milles).

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

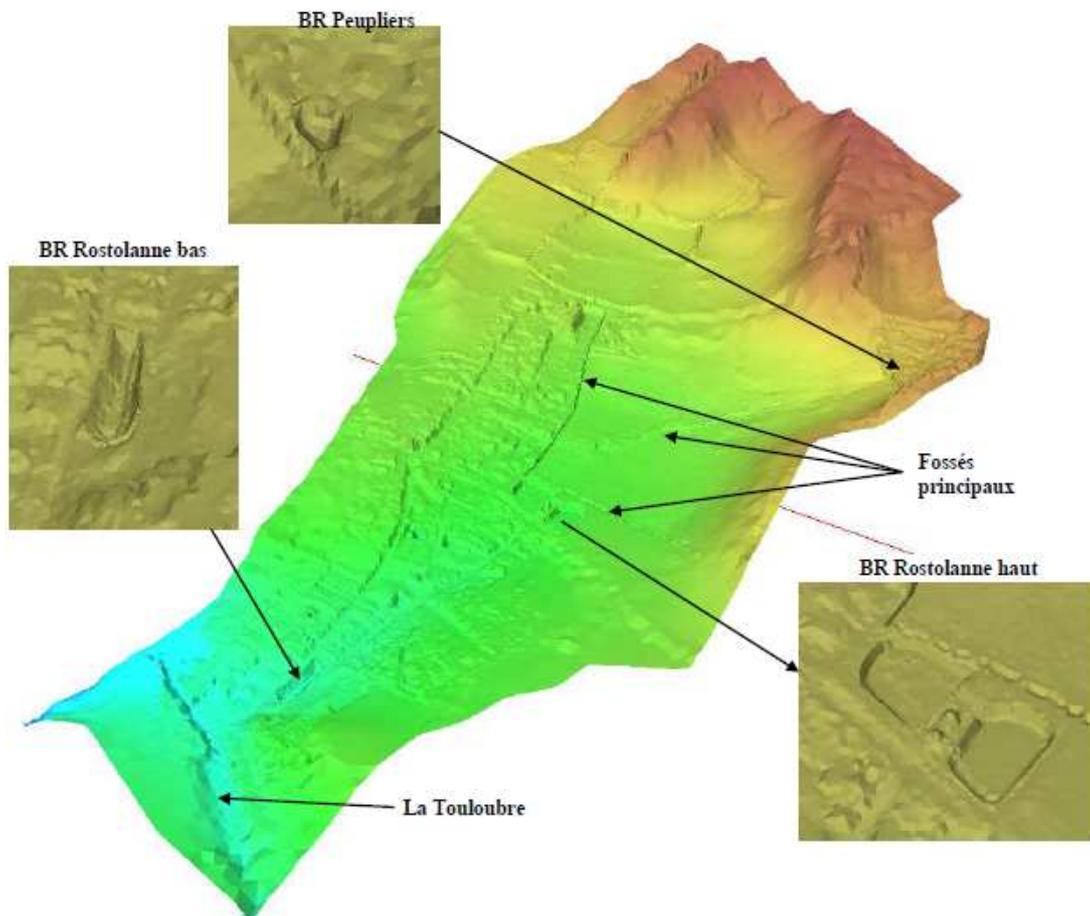


Figure 35 : Vue 3D de la zone d'étude après traitement du LIDAR – Exemple de la zone San Peyre (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)

Sur la base du LIDAR précédemment traité, un modèle numérique de terrain composé de mailles triangulaires a été réalisé. La taille des mailles est modulée selon la fonction hydraulique des éléments qu'elles décrivent. La figure suivante présente un exemple de maillage du modèle.

# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

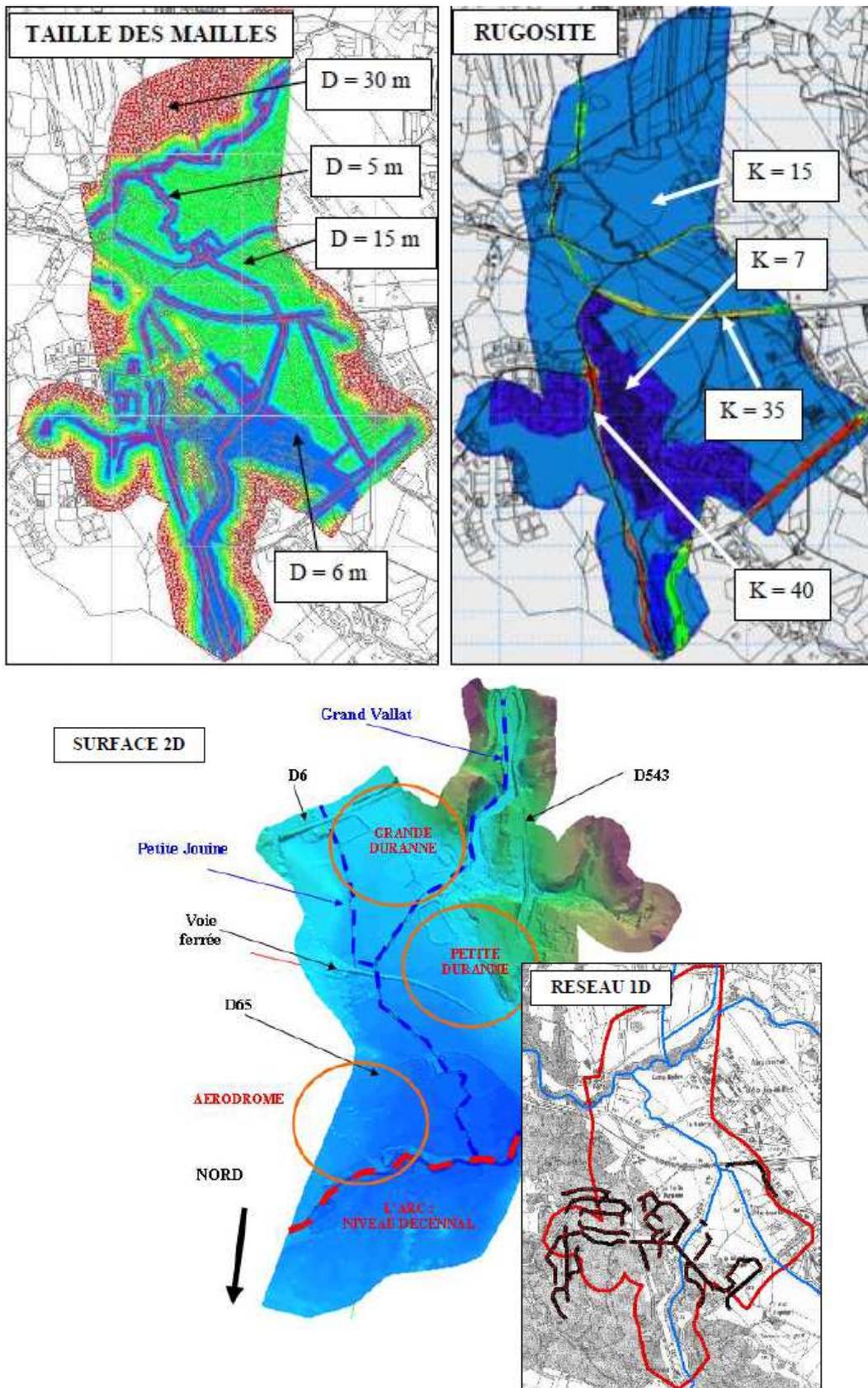


Figure 36 : Maillage du modèle 2D – Exemple de la zone Duranne (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)

# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

## 4.6.4 Résultats de la modélisation 1D/2D de la crue de référence

Pour la crue de référence « type 1993 », les débordements sont généralisés pour le réseau pluvial de la ZI des Milles et sur le quartier de la Duranne.

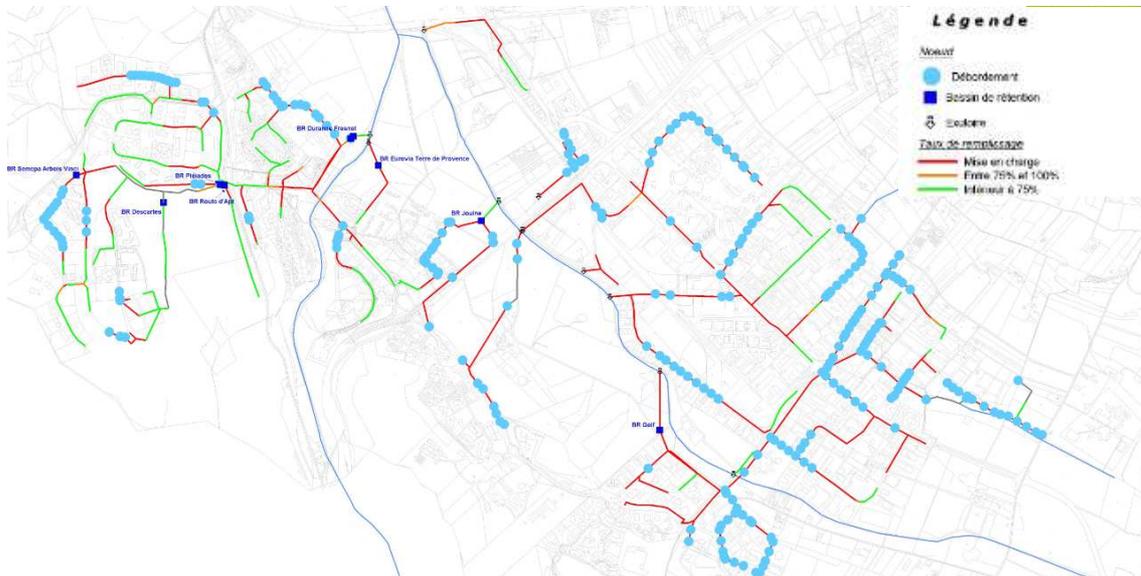


Figure 37 : Extrait du diagnostic hydraulique des réseaux pour la crue de référence (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)

Les inondations se produisent principalement sur les voiries et les parcelles avoisinantes. Le ruisseau de la Petite Jouine connaît également des débordements notamment en amont de la RD9 où la formation d'un vaste plan d'eau dans le lit majeur est lié à la charge hydraulique générée par l'association du remblai barrant les écoulements et l'ouvrage hydraulique dont la capacité est limitante.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation

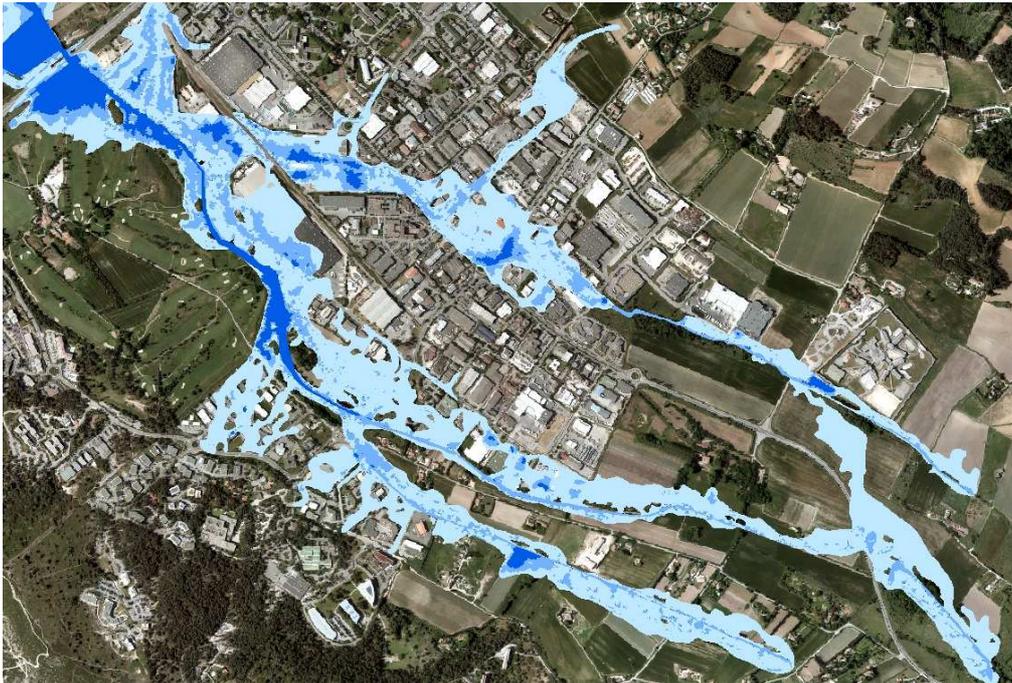


Figure 38 : Inondation de surface 2D – ZI Les Milles (source : SAFEGE – Aix-en-Provence, SDEP, 2011)



### Ce qu'il faut retenir...

**Bureau d'étude :** SAFEGE

**Année :** 2011

**Maître d'ouvrage :** Ville d'Aix-en-Provence

**Type de modélisation :** 1D (réseau pluvial) et 2D (débordement fluvial)

**Crue de référence :** Septembre 1993

**Crues modélisées dans le cadre de l'étude :** Q10 (décennale) et 1993

**Données topographiques utilisées :** LIDAR, relevés topographiques des cotes du réseau pluvial et profils en travers topo-bathymétriques du cours d'eau.

## 4.7 Le Malvallat, le Vallat des Marseillais et le Grand Torrent

### 4.7.1 Méthode d'identification des zones inondables

Ces vallons ont fait l'objet d'études de détermination des zones inondables par analyse hydrogéomorphologique dans le cadre de l'étude IPSEAU en 2004, repris dans l'étude SIEE de 2005.

La méthode hydrogéomorphologique permet d'identifier le fonctionnement naturel de la dynamique des cours d'eau (érosion, transport, sédimentation) au cours de l'histoire. Elle consiste à étudier finement la morphologie des plaines alluviales et à retrouver sur le terrain les limites physiques façonnées par les crues passées.

La cartographie produite par l'analyse hydrogéomorphologique permet de disposer **d'une vision globale et homogène des champs d'inondation** sur l'ensemble des secteurs traités **en pointant à un premier niveau les zones les plus vulnérables** au regard du bâti et des équipements existants.

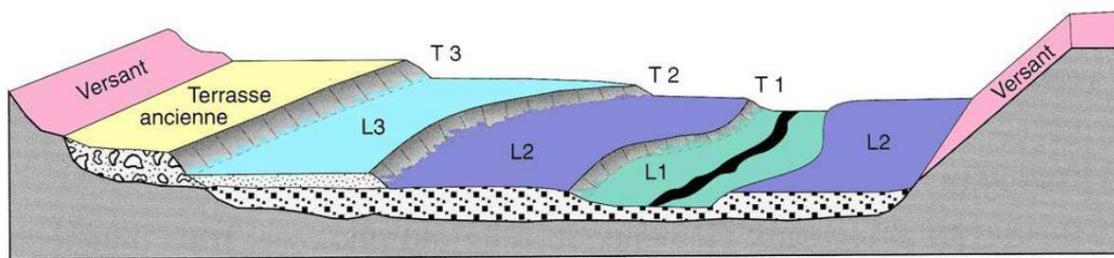


Figure 39 : Schéma d'une plaine alluviale type © Masson Garry Ballais modifié par SIEE

### 4.7.2 Transposition de la méthode hydrogéomorphologique vers la cartographie des aléas

#### 4.7.2.1 Le Malvallat et le Vallat des Marseillais (secteur de la Courounade)

Le Malvallat est la réunion de plusieurs petits ruisseaux (ruisseaux des Granettes, des Figons, du Valadet, du Château de Galice) qui drainent des bassins versants peu imperméabilisés mais dont l'urbanisation croît régulièrement, notamment sur la commune d'Eguilles. Le Malvallat rejoint l'Arc en rive droite face à l'aérodrome des Milles.

Le Vallat des Marseillais draine une grande partie des rejets pluviaux d'Eguilles et rejoint l'Arc quelques centaines de mètres à l'aval du Malvallat.

L'emprise cartographiée par la méthode hydrogéomorphologique correspond à la zone inondée lors de la crue de septembre 1993. Le secteur de la Courounade n'a pas jamais fait l'objet d'une modélisation hydraulique et par conséquent les cotes PHE n'ont jamais été déterminées. Ce secteur correspond donc à une zone hydrogéomorphologique non modélisée.

## Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



PRÉFET DES  
BOUCHES-DU-RHÔNE  
Direction départementale  
des Territoires et de la Mer

La zone inondable hydrogéomorphologique des deux cours d'eau se rejoint à l'aval de la RD 64. Dans ce secteur, la plaine s'est considérablement élargie avec une zone inondable importante en largeur. Dans le lit majeur, les hauteurs d'eau ne dépassent pas les 0.5 m sauf à proximité du lit mineur du cours d'eau où les hauteurs peuvent varier entre 0.5 et 1 m.

Les vitesses d'écoulement dans la plaine d'inondation varient entre 0.5 et 1 m/s en l'absence d'obstacles à l'écoulement. Dans le lit mineur, les vitesses sont supérieures à 1 m/s.

### 4.7.2.2 Le Grand Torrent

Dans la partie médiane du bassin (de la Garde à cheval au hameau de la Mérindole) des débordements se produisent pour la crue de type centennale (ou au moins égale à la crue de septembre 1993).

En amont immédiat du hameau de la Mérindole, les débordements sont limités en rive gauche par la proximité des dépôts de versant. Ils inondent quelques vignes (moins de 40 m pour une crue de type 1993) et le chemin d'exploitation longeant le cours d'eau peut être coupé en plusieurs points dès la crue décennale (réduction de la capacité des lits mineur et moyen). Les débordements du grand Torrent n'affectent que des terrains sans enjeux particuliers (friches, paddocks, prairies du domaine du Conseil Général).

La crue de septembre 1993 a par ailleurs montré les capacités érosives des courants débordants. Les écoulements de crue se concentrent en arrivant sur le hameau de la Mérindole. Ici, les débordements sont limités et les vitesses d'écoulement peuvent être élevées.

Les habitations du hameau de la Mérindole canalisent de façon générale les écoulements en crue du Grand Torrent. L'étalement des eaux n'excède pas une cinquantaine de mètres sur chacune des berges. Par ailleurs, aucune des habitations du hameau ne se situe dans la zone d'écoulement des eaux de vitesse supérieure à 1 m/s et de hauteur supérieure à 1 m.

Vers l'aval du hameau de la Mérindole, la configuration de la vallée se modifie sensiblement : la capacité du lit mineur est plus faible, la limite des lits moyen et majeur ordinaire et/ou exceptionnel est plus nettement marquée (talus). Les zones inondables s'étalent plus largement et affectent essentiellement la rive gauche (actuel champ de blé). Ils sont latéralement limités par la RD 65d ou les dépôts de versant. Le versant calcaire limite l'extension des débordements en rive droite.

En résumé, en dehors du hameau de la Mérindole, les inondations du Grand Torrent sont d'extension limitée. Aucune infrastructure ou habitation n'est menacée directement par les crues les plus fortes (excepté le pont reliant la vallée au Petit Arbois).

## 5 CONCLUSION

Dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation de la commune d'Aix-en-Provence, la DDTM13 a finalisé les aléas d'inondation pour l'Arc et ses affluents pour la crue de référence à partir de l'étude SUEZ Consulting de mise en cohérence des aléas à l'échelle de la commune d'Aix-en-Provence de 2016.

Les cours d'eau concernés par cette étude sont :

- L'Arc ;
- La Torse ;
- Le Grand Vallat, la Petite Jouïne et le ruisseau Robert ;
- La Luynes ;
- Le Malvallat et le ruisseau des Marseillais
- Le Grand Torrent.

Les cartographies des hauteurs d'eau, des vitesses d'écoulement et des aléas d'inondation pour la crue de référence reposent sur de nombreuses études hydrauliques et sur des phénomènes hydrologiques majeurs qui ont touchés la région ces dernières décennies.

Concernant la définition de la crue de référence, différents scénarii hydrologiques ont été choisis en fonction des phénomènes historiques qui ont affecté le bassin versant ou des bassins versants limitrophes :

- Pour l'Arc, la crue de référence est déterminée à partir des caractéristiques hydrologiques (pluies) de la catastrophe de juin 2010 qui a touché le bassin versant voisin de l'Argens.
- Pour la Torse, le Grand Vallat, la Petite Jouïne, le ruisseau Robert, la Luynes, le Malvallat, le ruisseau des Marseillais et le Grand Torrent, la crue de référence est déterminée à partir des caractéristiques hydrologiques (pluies) de l'événement de septembre 1993 qui a touché la partie Ouest du territoire de la commune d'Aix-en-Provence.

Les débits calculés selon ces différents scénarii hydrologiques à partir de modèles hydrologiques ont été injectés dans des modélisations hydrauliques reproduisant la propagation de la crue, les niveaux d'eau et les zones inondées pour l'événement de référence retenu pour chaque cours d'eau.

# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



PRÉFET DES  
BOUCHES-DU-RHÔNE  
Direction départementale  
des Territoires et de la Mer

## 6 ANNEXE

Annexe 1 : Glossaire

# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



PRÉFET DES  
BOUCHES-DU-RHÔNE  
Direction départementale  
des Territoires et de la Mer

## *Annexe 1 : Glossaire*

# Rapport de synthèse hydraulique pédagogique

Compléments à la modélisation concernant la mise à jour des aléas sur la commune d'Aix-en-Provence dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques d'Inondation



PRÉFET DES  
BOUCHES-DU-RHÔNE  
Direction départementale  
des Territoires et de la Mer

**Bassin versant :** Espace géographique alimentant un cours d'eau et drainé par lui et ses affluents. L'ensemble des eaux qui tombent dans cet espace convergent vers un même point de sortie appelé exutoire : cours d'eau, lac, mer, océan, etc.

**Débit :** En hydrologie, le débit d'un cours d'eau est le volume d'eau liquide traversant une section transversale de l'écoulement, par unité de temps. L'unité de mesure dérivée du Système international d'unités d'un débit volumique est le mètre cube par seconde (m<sup>3</sup>/s).

**Hydraulique fluviale :** Domaine qui traite essentiellement de l'écoulement à surface libre de l'eau dans les cours d'eau naturels ou artificiels (exemple : canaux). Les notions d'hydraulique fluviale sont nécessaires pour la conception, l'aménagement et la construction d'ouvrages hydrauliques tels les digues, les seuils et les déversoirs.

**Hydrologie :** Science de la terre qui s'intéresse à la branche terrestre du cycle de l'eau, c'est-à-dire aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol. L'hydrologie de surface étudie le ruissellement, les écoulements et le stockage des eaux sur la terre.

**LIDAR :** La télédétection par laser ou lidar, acronyme de l'expression en langue anglaise « light detection and ranging » ou « laser detection and ranging » (soit en français « détection et estimation de la distance par la lumière » ou « par laser »), est une technique de mesure topographique (mesure altimétrique) à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur.

**MNT :** Un modèle numérique de terrain (MNT ; en anglais, digital elevation model ou DEM) est une représentation de la topographie (altimétrie et/ou bathymétrie) d'une zone terrestre sous une forme adaptée à son utilisation par un ordinateur numérique (ordinateur).

**Modélisation hydraulique fluviale :** Outil numérique mathématique permettant de reproduire et de représenter les conditions d'écoulements en surface libre d'un cours d'eau et les débordements associés à une crue.

**PHE :** Désigne les Plus Hautes Eaux (PHE) connues pour une crue exceptionnelle souvent matérialisées par des repères de crues physiques.

**PLU :** Un plan local d'urbanisme (PLU) est un document fixant les normes de planification de l'urbanisme pour une commune ou un groupement de communes. Le PLU établit ainsi les principales règles applicables à l'utilisation du sol sur un territoire déterminé. Il est élaboré par la commune ou l'EPCI (en cas de groupement de communes). Après son élaboration, le PLU peut éventuellement être révisé ou modifié. Suite à une loi de décembre 2000, le PLU a succédé à l'ancien plan d'occupation des sols (POS).

**Profils en travers topo-bathymétriques :** Méthode de relevé topographique consistant à représenter le relief se situant au fond du cours d'eau jusqu'aux berges afin de représenter la section d'écoulement (gabarit) du cours d'eau.

**SAGE :** Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) est un document de planification élaboré de manière collective, pour un périmètre hydrographique cohérent. Il fixe des objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur, de protection quantitative et qualitative de la ressource en eau.

**TN :** Terrain naturel (TN) désigne l'altitude naturel hors aménagement d'un site ou d'un territoire.