



Direction Départementale des
Territoires et de la Mer des
Bouches-du-Rhône

Etude hydraulique sur le bassin
versant de la Cadière et du
Raumartin

**Rapport de Phase 4 : simulations
des crues de projet et
cartographie des aléas**

40145 | novembre 2018 | v2



setec
hydratec



Agence de Vitrolles
5, chemin des Gorges de Cabriès
13127 Vitrolles
T : 04 86 15 62 50
F : 04 86 15 62 48

Directeur d'affaire : OVE
Responsable d'affaire : GFL
N°affaire : 016 40145
Fichier : 40145_CADIERE PHASE 4-V2.doc

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
1	27/08/18	GFL	BLN	49 (hors annexes)	Création
2	08/11/18	GFL	BLN	60 (hors annexes)	Compléments fonctionnement hydraulique

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION.....	7
2	PARAMETRAGE DU MODELE	8
2.1	Vue d'ensemble du modèle	8
2.2	Coefficients de ruissellement	8
2.3	Conditions aux limites.....	11
2.4	Prise en compte des murs et infrastructures routières et ferroviaires en remblai	15
2.5	Prise en compte des ouvrages singuliers	15
2.5.1	Bassin de rétention.....	15
2.5.2	Ouvrages de franchissement	16
2.5.3	Ouvrages souterrains.....	16
2.5.4	Seuils et vannages	17
3	PLUIES DE PROJETS.....	18
3.1	Pluie de la crue de référence	18
3.2	Pluie de période de retour 10 ans	20
3.3	Pluies de période de retour exceptionnelle	22
4	CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES.....	23
4.1	Méthodologie	23
4.1.1	Méthodologie pour la crue de référence	23
4.1.2	Méthodologie pour la crue de période de retour 10 ans.....	23
4.1.3	Méthodologie pour la crue exceptionnelle	23
4.2	Cartographie des zones inondables.....	24
4.3	Cartographie de l'aléa de référence	24
4.4	Points particuliers	25
4.4.1	Secteur de l'aéroport.....	25
4.4.2	L'analyse des discontinuités sur les cartes de hauteur et aléa	27
4.4.3	Précision sur les hauteurs et les vitesses dans les bâtiments	30
5	APPROFONDISSEMENT DE LA CONNAISSANCE DU RISQUE INONDATION.....	31
5.1	Bilan des volumes.....	31
5.1.1	Bilan de la crue de référence	31
5.1.2	Bilan des volumes de la crue de période de retour 10 ans	33
5.2	Fonctionnement hydraulique du bassin versant (crue de référence)	35
5.2.1	Vitrolles – le Parc du Griffon	35
5.2.2	Vitrolles Le vallon de l'Infernet	36
5.2.3	Les Pennes Mirabeau le ruisseau de la Marthe	36
5.2.4	La Cadière entre l'avenue Jean Monnet et la confluence avec le Bondon	37
5.2.5	La Cadière entre la traversée de l'A7 et de la voie SNCF.....	38

5.2.6	Précision sur le fonctionnement hydraulique au droit du boulevard Paul Raphel...	38
5.2.7	La Cadière entre la voie ferrée et la D9 (Commune de Saint Victoret).....	41
5.2.8	Précision en aval Pont de la Glacière – débordement rive droite de la Cadière.....	42
5.2.9	La Cadière en aval de la D9 (Marignane) et la confluence avec le Raumartin	46
5.2.10	Le Raumartin sur les Pennes Mirabeau.....	47
5.2.11	Le Raumartin entre la traversée de l’Autoroute et de la voie SNCF	48
5.2.12	Précision sur le fonctionnement hydraulique du Raumartin dans la traversée du pont SNCF	49
5.2.13	La Raumartin entre la voie ferrée et Pas des Lanciers	60

ANNEXES

ANNEXE 1 : ATLAS CARTOGRAPHIQUE DE LA CRUE DECENNALE	61
ANNEXE 2 : ATLAS CARTOGRAPHIQUE DE LA CRUE DE REFERENCE (PLUIE D'AIX LES MILLES DU 22 SEPTEMBRE 1993)	62
ANNEXE 3 : ATLAS CARTOGRAPHIQUE DE LA CRUE EXCEPTIONNELLE	63
ANNEXE 4 : ATLAS CARTOGRAPHIQUE DE L'ALEA DE LA CRUE DE REFERENCE	64

FIGURES

Figure 1 : Vue globale du modèle du bassin versant de la Cadière et du Raumartin (Hydra).....	8
Figure 2 : coefficient de ruissellement et temps de concentration à l'état actuel	10
Figure 3 : Exutoire de la Cadière	11
Figure 4 : Impact de l'augmentation de la cote de l'étang de 0.5mNGF à 1mNGF	12
Figure 5 : Impact de l'augmentation de la condition aval de 0.5mNGF à 1.5mNGF	14
Figure 6 : Fonctionnement d'un bassin de rétention type.....	16
Figure 7 : Entrée et sortie de la partie couverte de la cadière dans Marignane.....	17
Figure 8 : la cascade sur la Cadière à Saint Victoret.....	17
Figure 9 : La pluie du 22 septembre 1993 d'Aix Les milles	18
Figure 10 : les pluies de projet double triangle de période de retour 100 ans avec différentes durées	19
Figure 11 : les pluies de projet double triangle de période de retour 10ans avec différentes durées	21
Figure 12 : Grille aléa inondation	25
Figure 13 : Comparaison de la précision des coupes sur les MNT « BV cadière » et MNT « aéroport ».....	25
Figure 14 : Localisation de la limite du MNT au droit de l'aéroport	26
Figure 15 : Schématisation du croisement des lignes d'eau calculées sur les mailles 2D avec le MNT	27
Figure 16 : Hauteur d'eau dans les mailles du modèle.....	28
Figure 17 : Hauteur d'eau après croisement avec le MNT.	28
Figure 18 : Exemple de carte des hauteurs d'eau avec phénomène de « pastillage »	29
Figure 19 : Exemple de carte d'aléa traité pour réduire le phénomène de « pastillage »	29
Figure 20 : Exemple de rendu cartographique des hauteurs d'eau avec représentation des rues pour limiter l'effet de « pastillage »	30
Figure 21 : Bilan des volumes pour la crue de référence	32
Figure 22 : Bilan des volumes pour la crue de période de retour 10 ans.....	34
Figure 23 : Fonctionnement hydraulique de la crue de référence – secteur du Griffon à Vitrolles36	
Figure 24 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de référence – A la confluence entre le vallon de l'Infernet et le ruisseau de la Marthe	37

Figure 25 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de référence – de la Cadière en amont du Lac de la Tuillière.....	37
Figure 26 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de référence sur la Cadière entre l’A7 et la voie ferrée.....	38
Figure 27 : Profils en travers du Bd Paul Raphel.....	39
Figure 28 : Profil en long du Bd Paul Raphel.....	39
Figure 29 : écoulement au doigt du Bd P Raphel	40
Figure 30 : Cote d’eau pour la crue de référence en amont et en aval de la voirie	41
Figure 31 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de référence sur la Cadière entre la voie ferrée et la D9.....	42
Figure 32 : Caractérisation des écoulements en aval du Pont de la Glacière pour la crue de référence.....	42
Figure 33 : Profil en travers en aval du Rond-point de la D20e.....	43
Figure 34 : Zoom du profil en travers de la RD20e en contre-bas du terrain naturel situé au nord.....	44
Figure 35 : Profil en travers de la RD 9 en déblai.....	44
Figure 36 : Profil en travers du terrain en rive droite de la Cadière.....	45
Figure 37 : Fonctionnement hydraulique dans le secteur amont de l’aéroport pour la crue de référence.....	46
Figure 38 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de référence sur la partie aval de la Cadière.....	47
Figure 39 : Cartographie des zones inondables de la crue de référence sur le secteur amont du Raumartin	47
Figure 40 : Cartographie des zones inondables pour la crue de référence du Raumartin en amont de l’Autoroute A7	48
Figure 41 : Zones inondables du Raumartin pour la crue de référence entre l’A7 et la voie ferrée.....	48
Figure 42 : Les débordements du Raumartin pour la crue de référence au droit de la voie ferrée.....	49
Figure 43 : Vue en plan de la modélisation du secteur Raumartin / SNCF.....	50
Figure 44 : Représentation fine de la topographie et notamment des ruptures de pentes (lignes vertes) et localisation des profils en travers de la voie SNCF.....	51
Figure 45 : Profils en travers de la voie SNCF entre le Raumartin et la Cadière (Est- ouest).....	52
Figure 46 : Répartition des débits au niveau de l’ouvrage SNCF dans la traversée du Raumartin et des débordements entre le Raumartin et la Cadière	53
Figure 47 : Répartition synthétique des débits sur une vue en plan	54
Figure 48 : Levé topographique de l’ouvrage SNCF sur le Raumartin.....	54
Figure 49 : Modélisation de l’ouvrage SNCF sur le Raumartin	55
Figure 50 : Profil en long du Raumartin pour la crue de calage de 1993.....	56
Figure 51 : Cartographies des résultats brut des 2 scénarii	58
Figure 52 : Cartographie de l’impact de la suppression des débordements sur la voie ferrée	59
Figure 53 : Les débordements du Raumartin pour la crue de référence en aval de la voie ferrée.....	60

1 INTRODUCTION

Ce rapport correspond au volet hydraulique de l'étude connaissance de l'aléa inondation sur le bassin versant de la Cadière et du Raumartin, dont les objectifs sont :

- de définir les limites de la zone inondable pour différents scénarios de crues par débordement des cours d'eau du périmètre d'étude : crue fréquente (période de retour 10 ans), de référence (100 ans) et exceptionnelle,
- de définir les cotes d'eau, les vitesses d'écoulement et les temps de submersion en tout point du périmètre d'étude pour les différents scénarios de crues,
- d'approfondir la connaissance du risque inondation en évaluant notamment les incidences à attendre de défaillances d'ouvrages.

Cette connaissance doit notamment servir à l'élaboration et à la révision des PPRi du bassin versant, à la prise en compte du risque dans les documents d'urbanisme.

L'étude hydraulique s'appuie sur la construction, le calage et l'exploitation de modèles numériques d'écoulements.

Les modèles permettent de représenter précisément les conditions d'écoulements pour différentes situations hydrologiques ; ils s'appuient sur une connaissance fine du territoire :

- un Modèle Numérique de Terrain (MNT) obtenu par méthode LIDAR, qui permet de définir de manière performante (précision altimétrique de 10 cm, précision planimétrique de 20 cm) les côtes du terrain naturel,
- des levés topographiques complémentaires au sol (profils en travers des cours d'eau, ouvrages hydrauliques, ...),
- des enquêtes de terrain, permettant d'apprécier les conditions réelles d'écoulement.

Ce volet hydraulique fait suite aux volets :

- Hydrologie, qui a permis de définir des données hydrologiques fiables et cohérentes à l'échelle des bassins versants étudiés,
- Modélisation et calage du modèle hydraulique.

Cette phase comprend donc deux étapes :

- Définition de la pluie de projet
- Cartographie de l'aléa.

2 PARAMÉTRAGE DU MODÈLE

Ce paragraphe présente les principales caractéristiques du modèle qui a permis de réaliser les cartographies des zones inondables.

2.1 VUE D'ENSEMBLE DU MODELE

Le modèle couvre un linéaire de 32 km de cours d'eau et affluents, sur 4 communes : Vitrolles, Les Pennes Mirabeau, Saint Victoret et Marignane. Les cours d'eau ont été modélisés par des biefs filaires couplés aux maillages 2D. Il est représenté sur la vue globale suivante :

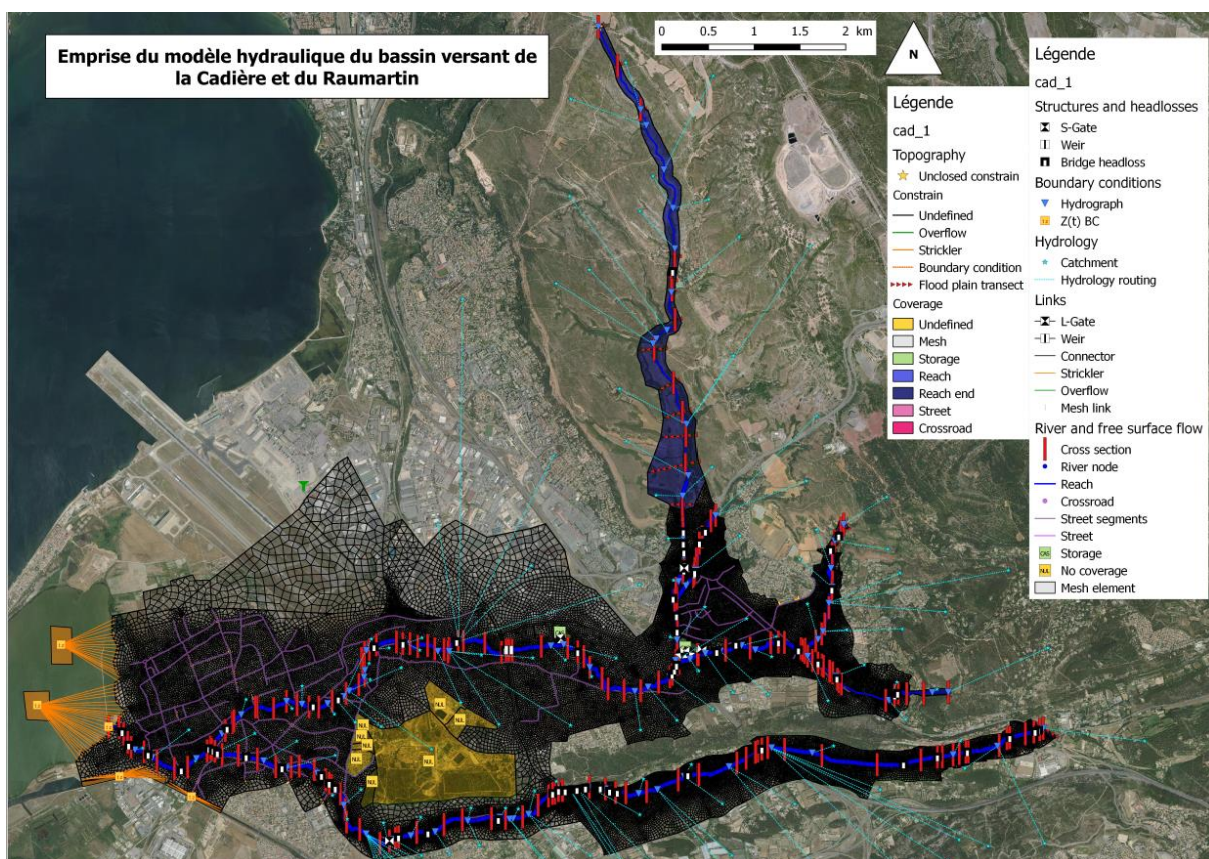


Figure 1 : Vue globale du modèle du bassin versant de la Cadière et du Raumartin (Hydra)

2.2 COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT

A la suite de l'analyse complémentaire sur le calage, qui a permis de s'assurer de la cohérence des paramètres de calage (voir note complémentaire de la phase 3), il ressort la conclusion suivante :

Les éléments d'observation fiables permettant de caler le modèle sur la crue de 1993, notamment sur l'estimation de la pluviométrie, des débits et volumes écoulés, sont peu nombreux et présentent des incertitudes fortes.

L'analyse comparative des débits spécifiques estimés sur des bassins versants similaires à celui de la Cadière (Huveaune et Arc), à partir de modèles calés sur des événements historiques, permet de dégager une fourchette probable des coefficients de ruissellement pour les bassins versants naturels comprise entre 20% et 40%.

Sans surprise, la prise en compte de coefficients de ruissellement similaires à ceux retenus pour l'élaboration du SDAEP de Vitrolles amène à des estimations de volumes ruisselés cohérents avec cette étude. Toutefois, les lignes d'eau modélisées avec ces hypothèses sont sensiblement supérieures aux observations (lit mineur et lit majeur) ; les lignes d'eau calculées en considérant un coefficient de ruissellement de 20% sont globalement plus proches des observations.

Au regard de ces éléments il a été choisi de privilégier la cohérence entre les observations (repères de crue) et les lignes d'eau calculées, un coefficient de ruissellement de 20% sur les bassins versants ruraux a été retenu.

Pour la crue de calage, les coefficients de ruissellement sur les parties urbaines correspondaient à l'urbanisation de l'époque. Ainsi pour les modélisations des différentes crues de référence, ce coefficient de ruissellement a été augmenté sur les parties urbanisées afin de le rendre cohérents avec l'urbanisation actuelle.

La carte page suivante présente les coefficients de ruissellement des bassins versants ainsi que les temps de concentration pour la crue de référence et les crues de projet.

Etude hydraulique du bassin versant de la Cadière et du Raumartin

Coefficients de ruissellement à l'état actuel et temps de concentration des sous-bassins versants

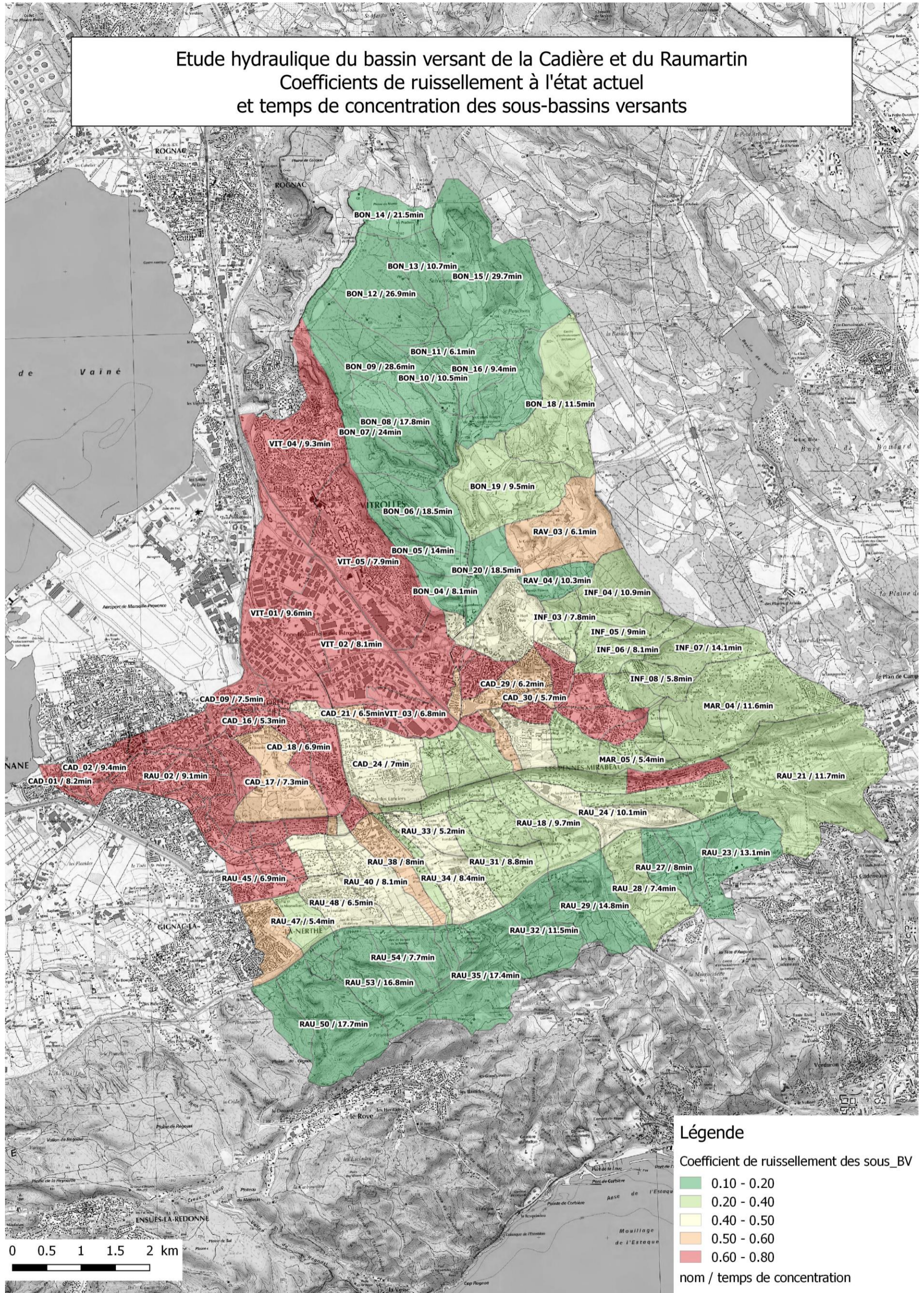


Figure 2 : coefficient de ruissellement et temps de concentration à l'état actuel

2.3 CONDITIONS AUX LIMITES

La condition limite aval correspond au niveau de l'Etang du Bolmon, exutoire de la Cadière.



Figure 3 : Exutoire de la Cadière

Il existe de nombreuses connections entre l'Etang de Berre et L'Etang de Bolmon, les niveaux d'eau doivent donc être comparables. Afin de déterminer le niveau de l'Etang de Berre nous avons recherché :

- La relation qu'il existe entre les fluctuations du niveau de l'Etang de Berre et Le niveau marin,
- Les niveaux marins au niveau des marégraphes de Fos sur Mer et de Marseille.

Le niveau marin à Marseille est relevé en continu au marégraphe (code : IF000364) situé au sud de l'exutoire et à l'extérieur des digues. Le zéro hydrographique du marégraphe est calé à la cote -0.32 mNGF.

Le niveau de plus haute mer astronomique mesuré à ce marégraphe est de 0.64 m soit un niveau de +0.32 mNGF.

L'analyse bibliographique a permis de mettre en évidence que

- La réponse de l'étang de Berre aux fluctuations de la pression atmosphérique est moins rapide que celle de la mer ouverte (effet du filtre constitué par le canal de Caronte),
- Le marnage de l'étang était inférieur à celui observé en mer ouverte (étude sur 9.5 mois en 1998),
- Le niveau marin pris dans les études antérieures sur le secteur d'étude (études hydrauliques et maritimes) est de 0.5mNGF, ce qui correspond au niveau haut observé entre janvier et octobre 2017.

Nous avons également réalisé des tests de sensibilité sur la condition aval avec les conditions aux limites aval représentant une cote d'étang à :

- 0.5mNGF,
- 1mNGF,
- 1.5mNGF.

L'impact sur la zone inondable entre une cote d'étang de 0.5mNGF et de 1mNGF est limité à des secteurs localisés en bord d'étang. On note :

- Une augmentation entre 40 cm et 90cm sur le secteur Nord de l'exutoire de la Cadière,
- Un abaissement des niveaux 11cm au maximum au Nord des terrains de sports,
- Une augmentation maximale de 20 cm au bord de la Cadière,
- Une augmentation entre 20 et 52 cm max en aval.

Les secteurs impactés sont représentés dans la figure suivante.

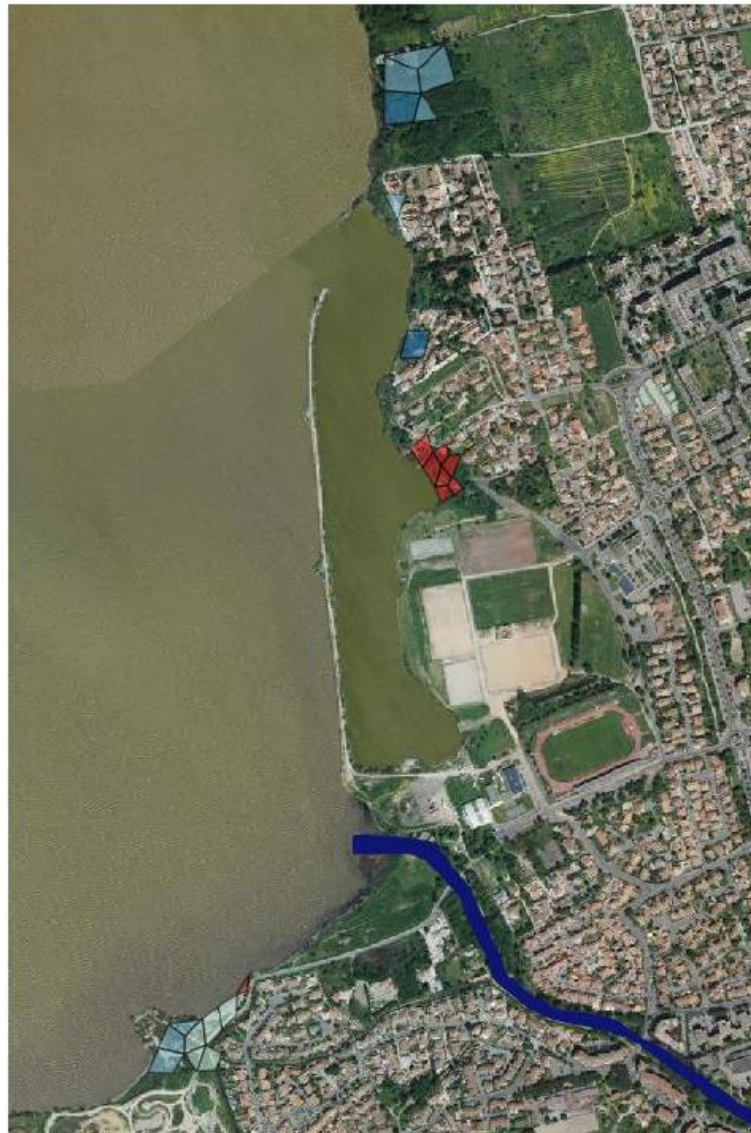
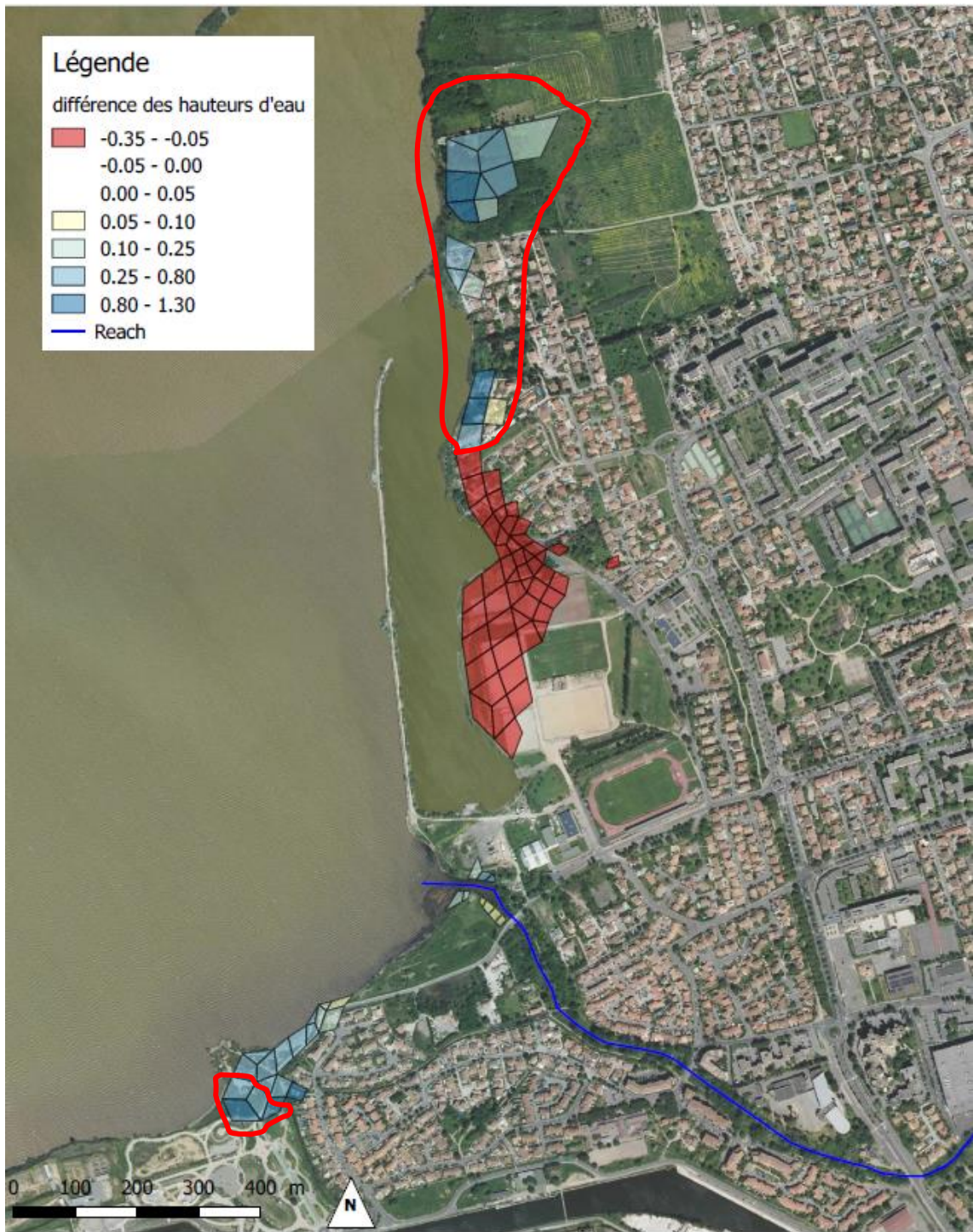


Figure 4 : Impact de l'augmentation de la cote de l'étang de 0.5mNGF à 1mNGF

L'impact, entre un étang à la cote 1.5mNGF et 0.5mNGF, sur l'emprise et les hauteurs d'eau est réduite à la frange de bord de l'étang, il comprend :

- Une augmentation localisée des hauteurs d'eau au droit de l'embouchure de la Cadière dans le Bolmon (entre 15 et 60cm) et sur la limite Sud de la zone inondable (n'excédant pas 50cm),
- Une inondation par l'étang directement qui présente un niveau haut (+1.5mNGF), l'inondation ne provient pas des débordements de la Cadière, ces zones sont entourées en rouge sur la figure suivante
- Une diminution de la hauteur d'eau d'un maximum de 10cm, au droit des terrains de sport et le chemin de Cassaire.

Les variations des hauteurs d'eau, sur les résultats bruts, entre un étang à la cote 1.5mNGF et 0.5mNGF sont représentées sur la cartographie suivante.



Etude hydraulique de la Cadière et du Raumartin

Carte de l'impact de la condition aval sur la crue de référence
(différence entre 1.5m NGF et 0.5mNGF)



Figure 5 : Impact de l'augmentation de la condition aval de 0.5mNGF à 1.5mNGF

La condition aval présente un impact localisé au droit de la ligne de cote entrainant une diminution des hauteurs d'eau sur les terrains de sports mais également une augmentation des hauteurs d'eau localisées n'excédant pas 60cm très localement pour les secteurs inondés par le cours d'eau.

Au vu du faible impact de l'évolution de la condition aval sur les débordements de la Cadière il a été fait le choix de considérer une cote altimétrique constante de 1mNGF pour la crue de référence et la crue exceptionnelle.

Ses cotes altimétriques sont cohérentes avec l'ensemble des études hydrauliques du territoire.

2.4 PRISE EN COMPTE DES MURS ET INFRASTRUCTURES ROUTIERES ET FERROVIAIRES EN REMBLAI

Comme présenté dans le rapport de phase 3, nous rappelons les principes suivants :

Dans le lit majeur, le maillage s'appuie notamment sur des limites physiques contraignant les écoulements ou lignes de contraintes (digues, remblais, ...), la taille des mailles étant définie par le modélisateur en fonction de la précision attendue et de la morphologie de la vallée.

Les singularités ponctuelles au droit des franchissements routiers ou ferrés sont schématisées par des liaisons spécifiques reliant les mailles amont et aval :

- des lois d'orifice pour les buses et les ponceaux de décharge,
- des lois de seuil pour les routes, chemins, digues, murets, ... submersibles.

Les infrastructures routières et ferroviaires en remblai sont donc prises en compte par les lignes de contraintes et singularités associées en cas d'ouvrage submersible ou d'ouvrages de décharge.

Les murs de séparation et murs de clôture sont considérés comme « transparents ».

Les **murs et murettes des cours d'eau** ne sont pas non plus pris en compte pour les simulations de l'aléa de référence, l'aléa exceptionnel et la crue décennale.

2.5 PRISE EN COMPTE DES OUVRAGES SINGULIERS

2.5.1 Bassin de rétention

Le modèle prend en compte un certain nombre de bassins de rétention lorsqu'ils sont implantés directement sur le cours d'eau de la Cadière ou de ses affluents.

Tous les ouvrages de rétention implantés sur les cours d'eau modélisés ou en aval immédiat d'un bassin versant modélisé sont modélisés.

La structure type des éléments modélisés pour représenter les bassins de rétention est la suivante :

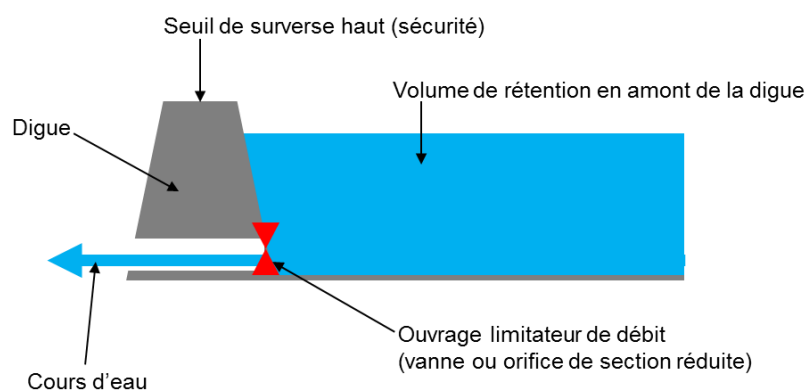


Figure 6 : Fonctionnement d'un bassin de rétention type

Les ouvrages de rétention modélisés sont :

- Le bassin du Griffon
- Le bassin à la confluence entre la Marthe et L'Infernet
- Le bassin de la Tuillère
- Le Bassin de l'Anjoly

2.5.2 Ouvrages de franchissement

Les ouvrages de franchissement sont définis par les cotes de radier et de sous-poutre et la section totale.

Les pertes de charge sont calculées par une loi de seuil tant que l'ouvrage n'est pas en charge, et par une loi d'orifice dans le cas contraire.

Lorsque l'ouvrage de franchissement est submersible, l'orifice est complété en parallèle par un élément seuil correspondant à la possibilité d'écoulement sur le tablier défini par une largeur, une cote et un coefficient de seuil.

2.5.3 Ouvrages souterrains

Les collecteurs souterrains sont modélisés par des sections paramétriques fermées ; HYDRA utilise la méthode de la fente de Preissmann pour résoudre les équations de Barré de Saint Venant.

Une perte de charge à l'entonnement est ajoutée, sous la même forme que les ouvrages de franchissement.

Les principaux secteurs ainsi modélisés sont :

- La couverture de Marignane,
- La traversée de la voie SNCF par le Raumartin
- Les parties couvertes de la Marthe

Les photographies suivantes montrent l'entrée et la sortie de l'ouvrage souterrain sur le Cadière qui traverse Marignane.

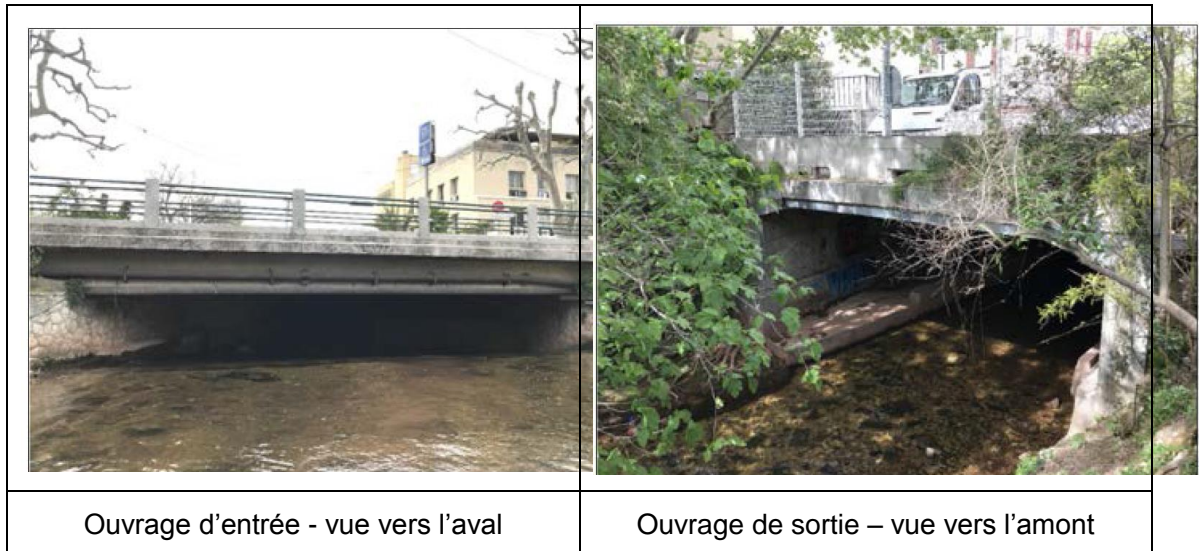


Figure 7 : Entrée et sortie de la partie couverte de la Cadière dans Marignane.

2.5.4 Seuils et vannages

Les seuils frontaux et latéraux sont modélisés par des lois de seuil.

Les vannages sont modélisés par des lois mixtes seuil (tant que l'ouvrage n'est pas en charge) / orifice.

Ces ouvrages peuvent être asservis à une cote ou un débit de consigne.

Sur la Cadière on notera notamment dans la traversée de Saint Victoret avec le seuil de la Cascade.

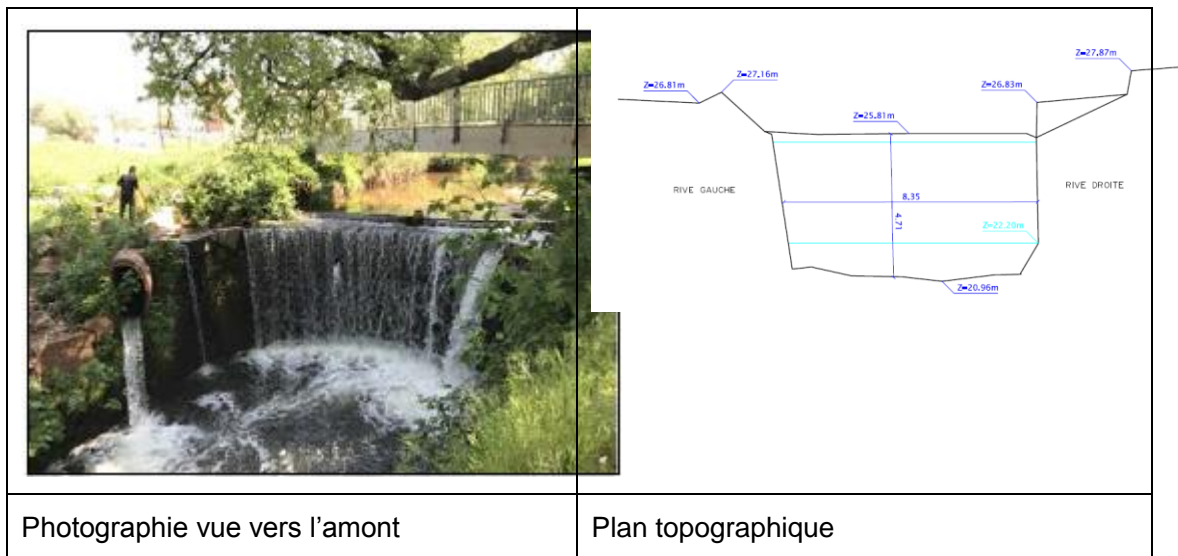


Figure 8 : la cascade sur la Cadière à Saint Victoret

3 PLUIES DE PROJETS

3.1 PLUIE DE LA CRUE DE REFERENCE

Après analyse des hyétogrammes des pluies marquantes sur le bassin versant et analyse bibliographique des études existantes (et notamment du SDAEP de Vitrolles), lors de la phase 3 (hydrologie et modélisation), une série de pluies sont modélisées afin de déterminer la pluie qui maximise les zones inondables sur le bassin versant :

- Pluie de forme double triangle et de durée et d'intensité variable, sachant que :
 - Une pluie de durée totale 2h correspond à la durée moyenne des événements orageux sur le secteur d'étude
 - Pluie avec une période intense courte (SDAEP Vitrolles) : cette pluie fait réagir les petits bassins versant urbains), ou plus longue (entre 30min et 1h) afin de faire réagir les bassins ruraux.
- Pluie enregistrée du 22 septembre 1993 à Aix les Milles.

		Période de retour (ans)		
		100		
Durée totale	Durée intense	Lame d'eau totale	Lame d'eau intense	Intensité maximale
<i>min</i>	<i>min</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/h</i>
720	240	155	107	41
360	120	122	84	65
270	30	111	76	79
270	90	111	76	79
120	40	84	58	135
90	30	76	53	163

Tableau 1 : Caractéristiques des pluies de projets centennales modélisées

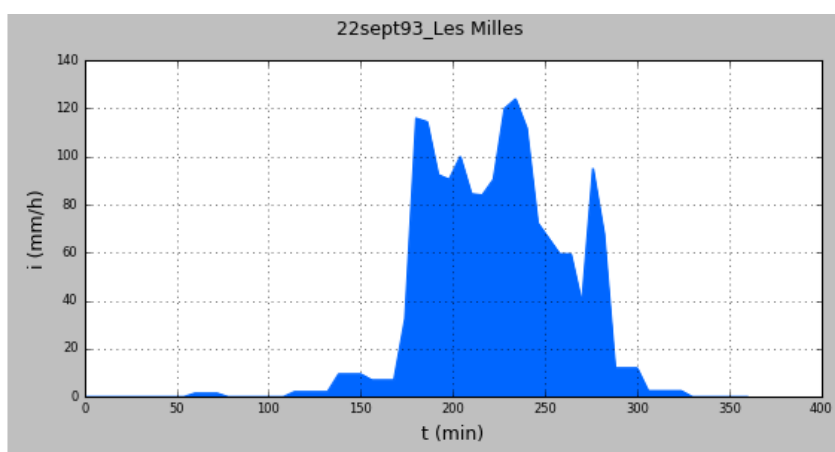


Figure 9 : La pluie du 22 septembre 1993 d'Aix Les milles

Les pluies de projet sont retenues après application de l'abattement spatial de facteur 0.8 (cf rapport de phase 3 hydrologie). Les pluies double triangle testées sont reprises sur le graphique page suivante.

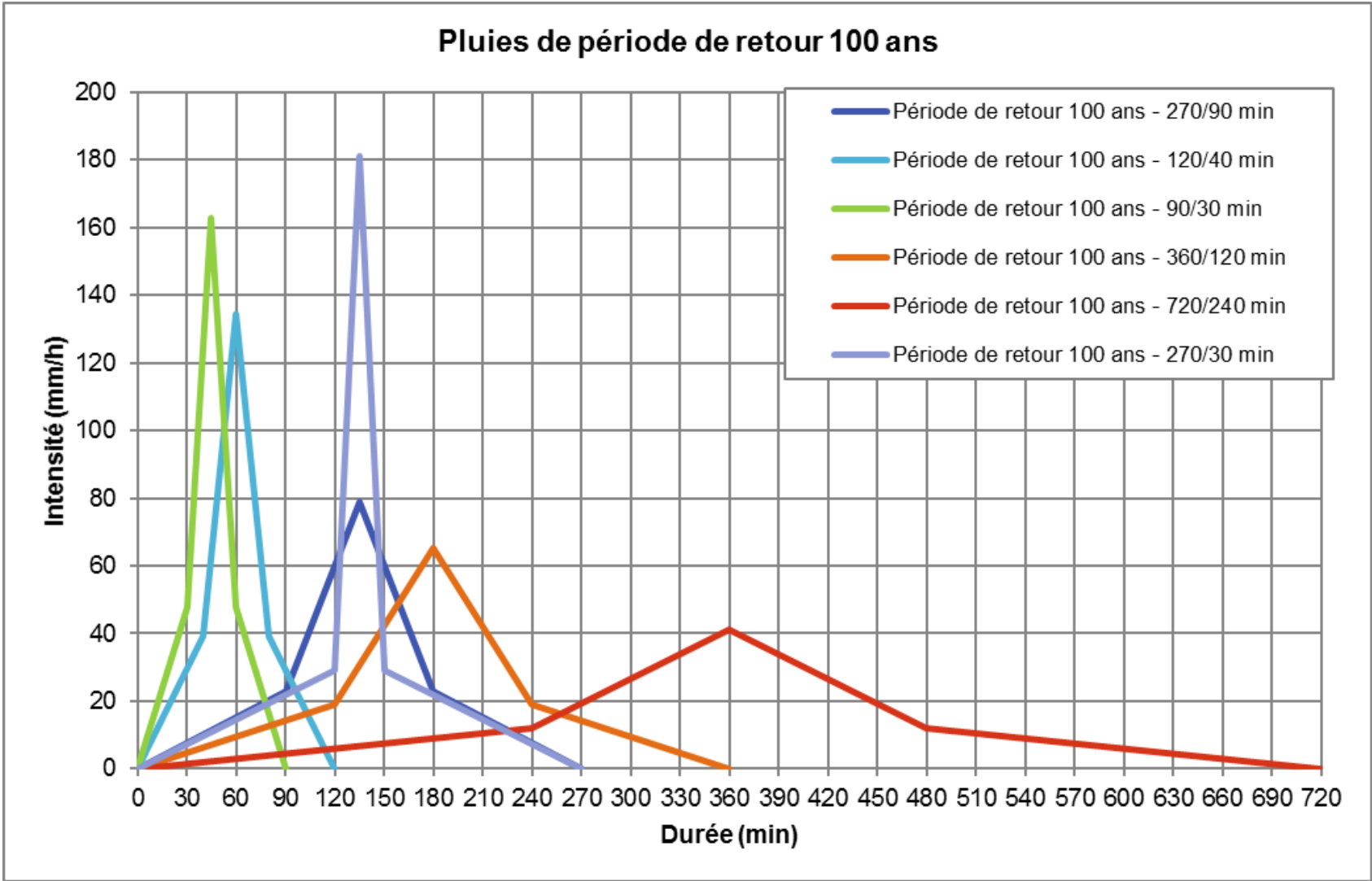


Figure 10 : les pluies de projet double triangle de période de retour 100 ans avec différentes durées

La pluie qui maximise les zones inondables est la pluie de septembre 1993, elle est donc choisie pour la crue de référence.

3.2 PLUIE DE PERIODE DE RETOUR 10 ANS

La modélisation sur l'événement fréquent a été réalisée sur la pluie de période de retour 10 ans. Au vu des premiers résultats pour la crue de référence avec les pluies de projet centennales, un test de sensibilité est également réalisé sur plusieurs durées et intensités de pluie. L'enveloppe maximale de l'ensemble des pluies testées établira la cartographie de l'aléa de l'événement fréquent.

Les simulations ont donc été effectuées sur les pluies de projets dont les caractéristiques sont reprises dans le tableau suivant :

		Période de retour (ans)		
		10		
<i>Durée totale</i>	<i>Durée intense</i>	<i>Lame d'eau totale</i>	<i>Lame d'eau intense</i>	<i>Intensité maximale</i>
<i>min</i>	<i>min</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/h</i>
360	120	61	43	34
270	90	56	39	41
120	40	43	30	72
90	30	39	28	88

Tableau 2 : Caractéristiques des pluies de projets décennales modélisées

Les pluies double triangle de période de retour 10 ans sont reprises dans le graphique page suivante.

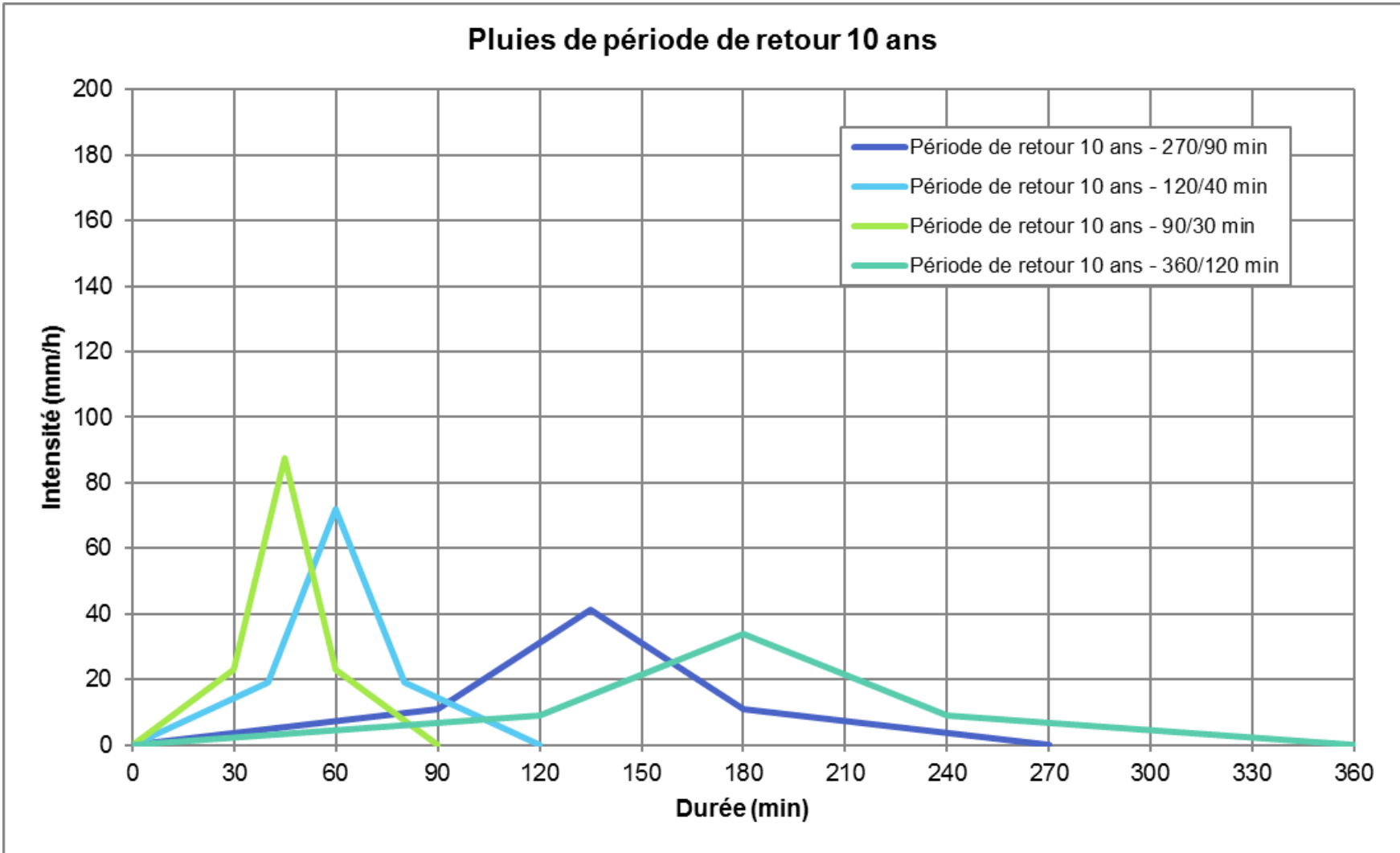


Figure 11 : les pluies de projet double triangle de période de retour 10ans avec différentes durées

3.3 PLUIES DE PERIODE DE RETOUR EXCEPTIONNELLE

Les hydrogrammes de la **crue exceptionnelle** sont définis par homothétie des hydrogrammes de la crue de référence calculés par le modèle pluie débit à l'exutoire de chacun des sous bassins versants, avec un rapport de 2 sur les débits de pointe.

4 CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES

Le modèle hydraulique fournit pour chaque scénario modélisé en chaque nœud et pour chaque pas de temps de calcul une cote d'eau et une vitesse d'écoulement. Ces éléments permettent d'extraire les valeurs maximales atteintes en chaque nœud de calcul et de définir :

- un Modèle Numérique de Ligne d'Eau (MNLE) sous forme de grille à un pas d'espace identique au MNT,
- une interpolation spatiale des vitesses sous forme de grille qui permet de produire les classes d'iso-vitesses d'écoulement.

Un croisement entre le MNLE et le MNT est ensuite réalisé pour définir une grille des hauteurs de submersion et des classes d'iso-hauteurs de submersion.

4.1 METHODOLOGIE

4.1.1 Méthodologie pour la crue de référence

La modélisation des différentes pluies (pluie réelle de 1993 ou pluies de projet) a donc été réalisé et les résultats comparés.

Ainsi, quelle que soit la pluie projet, l'emprise, les hauteurs et les vitesses maximales sont générées par la pluie réelle enregistrée aux Milles lors de l'événement de 1993.

Il a donc été retenu comme événement de référence la pluie enregistrée à Aix Les Milles lors de l'événement de 1993.

4.1.2 Méthodologie pour la crue de période de retour 10 ans

La caractérisation de l'aléa inondation a été réalisé à partir de la **méthode enveloppe**. L'aléa inondation pour une période de retour donnée est calculé en chaque point sur le maximum de quatre pluies de durée intense 120min, 90min, 40min et 30min définies pour la période de retour donnée.

L'aléa inondation pour une période de retour donnée correspondra alors à l'enveloppe maximale des hauteurs d'eau calculées pour ces différents scénarios de pluies et, avec à priori des hauteurs d'eau maximales obtenues pour les pluies de courtes durées sur les petits bassins versants urbains (aval) et pour les pluies de plus longue durée sur les grands bassins versants ruraux (amont).

4.1.3 Méthodologie pour la crue exceptionnelle

Les résultats de la crue de référence montrent que la pluie de 1993 maximise l'enveloppe, les hauteurs et les vitesses de l'inondation. Il a donc été choisi de réaliser la modélisation de la crue exceptionnelle sur la base des hydrogrammes définis à partir des hydrogrammes de la crue de référence, calculés par le modèle pluie débit, à l'exutoire de chacun des sous bassins versants, augmentés d'un rapport de 2.

4.2 CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES

La présente étude répond aux attentes de la directive inondation, précisées à l'article R566-6 du code de l'environnement.

Les cartes des surfaces inondables couvrent les zones géographiques susceptibles d'être inondées selon les scénarios suivants :

- aléa de faible probabilité ou scénarios d'événements extrêmes (crue exceptionnelle = apports hydrologiques de la crue centennale doublés),
- aléa de probabilité moyenne soit d'une période de retour probable supérieure ou égale à cent ans (aléa généré par la pluie enregistrée en 1993 à Aix Les Milles),
- aléa de forte probabilité (crue de période de retour 10 ans sur le périmètre d'étude).

Pour chaque scénario, il apparaît les éléments suivants :

- l'étendue de l'inondation,
- les hauteurs d'eau ou les cotes exprimées dans le système de Nivellement général de la France, selon le cas,
- le cas échéant, la vitesse du courant ou le débit de crue correspondant.

Pour répondre à ces objectifs, sont ainsi joints au présent rapport :

- l'atlas des zones inondables : crue exceptionnelle,
- l'atlas des zones inondables : crue centennale,
- l'atlas des zones inondables : crue décennale.

4.3 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA DE REFERENCE

La cartographie de l'aléa des PPRI doit être établie sur la base de l'évènement historique le plus fort connu ou si sa période de retour est inférieure à 100 ans sur la base d'une crue centennale reconstituée.

Les résultats des différentes modélisations montrent que la pluie du 22 septembre 1993 enregistrée à Aix Les Milles, dans les conditions actuelles (imperméabilisation des sols, voiries, ouvrages...) est l'évènement historique présentant une inondation supérieure aux pluies de projet centennales.

En conséquence les cartes d'aléa sont établies sur la base de l'évènement de référence, soit la pluie de 1993 à Aix Les Milles.

L'atlas de l'aléa de la crue de référence est joint au présent rapport.

Quatre classes d'aléa sont définies à partir d'un croisement des hauteurs et des vitesses d'écoulement :

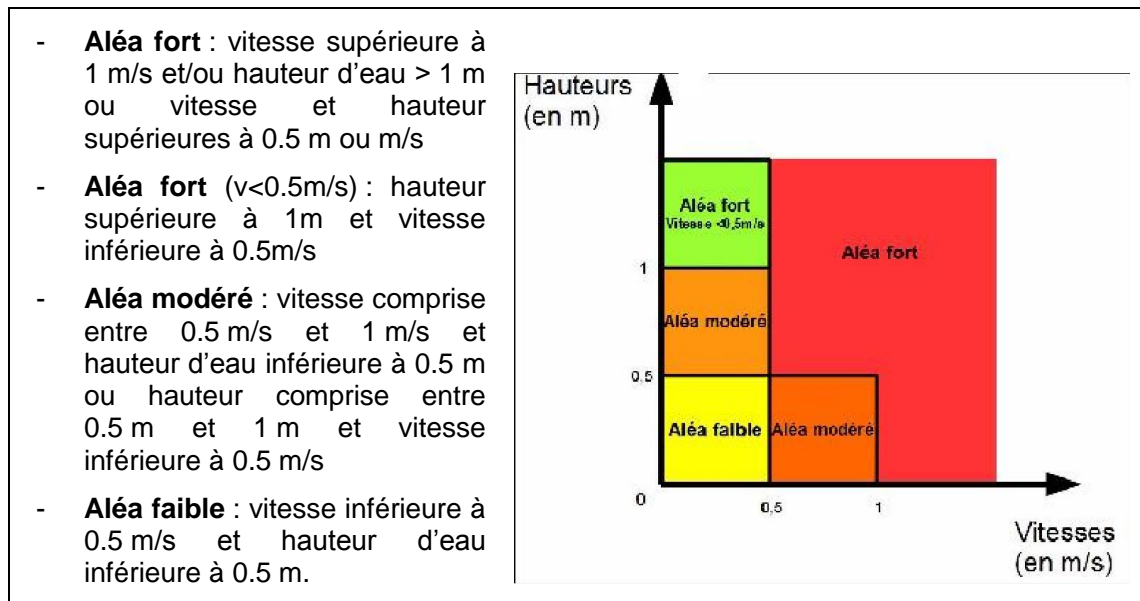


Figure 12 : Grille aléa inondation

4.4 POINTS PARTICULIERS

4.4.1 Secteur de l'aéroport

Le MNT disponible en début d'étude n'intégrait pas le secteur de l'aéroport, qui se situe hors bassin versant de la Cadière.

En outre, l'aéroport n'est pas inondé par la crue de calage.

Afin de ne pas arrêter brutalement le modèle sur ce secteur, nous avons intégré un MNT en notre possession. Toutefois, ce MNT présente une précision moins importante que le MNT sur le bassin versant de la Cadière.

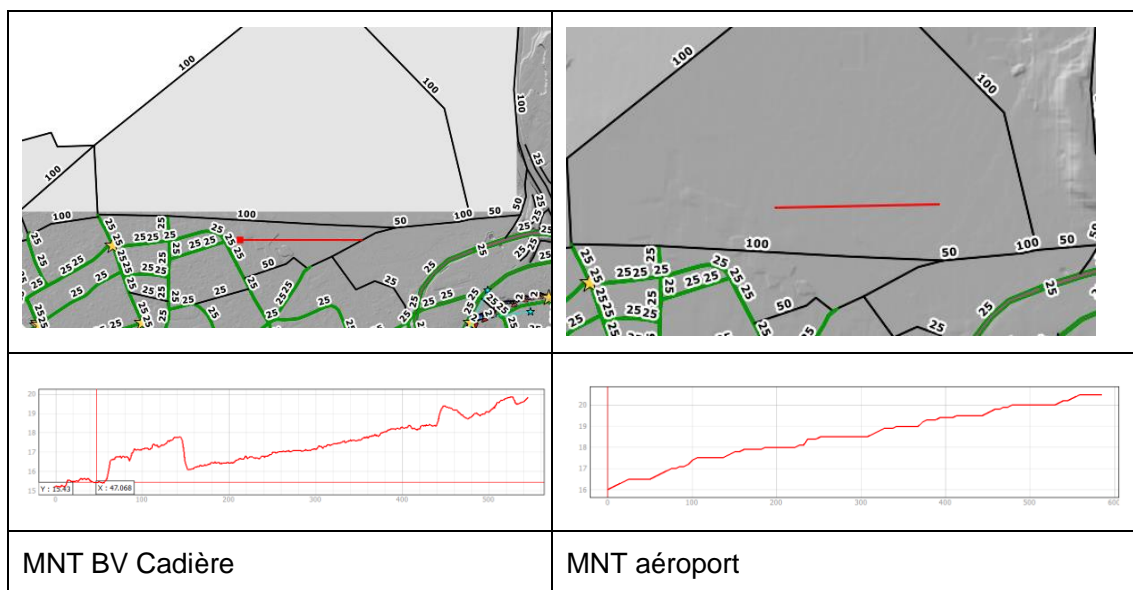


Figure 13 : Comparaison de la précision des coupes sur les MNT « BV cadière » et MNT « aéroport »

La modélisation de la crue de référence et de la crue exceptionnelle, dans le contexte actuel, montre des écoulements vers l'aéroport. Pour le rendu cartographique final, le traitement des résultats bruts, sur le secteur de l'aéroport, ne permet pas d'obtenir un rendu satisfaisant.

Ainsi sur ce secteur, il a été choisi de représenter la limite du MNT et des flèches indiquant un sens d'écoulement sur l'aéroport afin de montrer l'existence d'écoulement sur les pistes (la zone de l'aéroport ne présentant pas un enjeu majeur pour l'urbanisation future).



Figure 14 : Localisation de la limite du MNT au droit de l'aéroport

4.4.2 L'analyse des discontinuités sur les cartes de hauteur et aléa

Le traitement des données brutes calculées à l'échelle de la maille peut conduire à une discontinuité des écoulements sur les secteurs présentant une faible inondation (faible hauteur d'eau). Cette discontinuité est liée au croisement de la ligne d'eau calculée et la cote du MNT.

Le schéma ci-dessous montre un croisement des lignes d'eau calculées sur les mailles 2D avec le MNT.

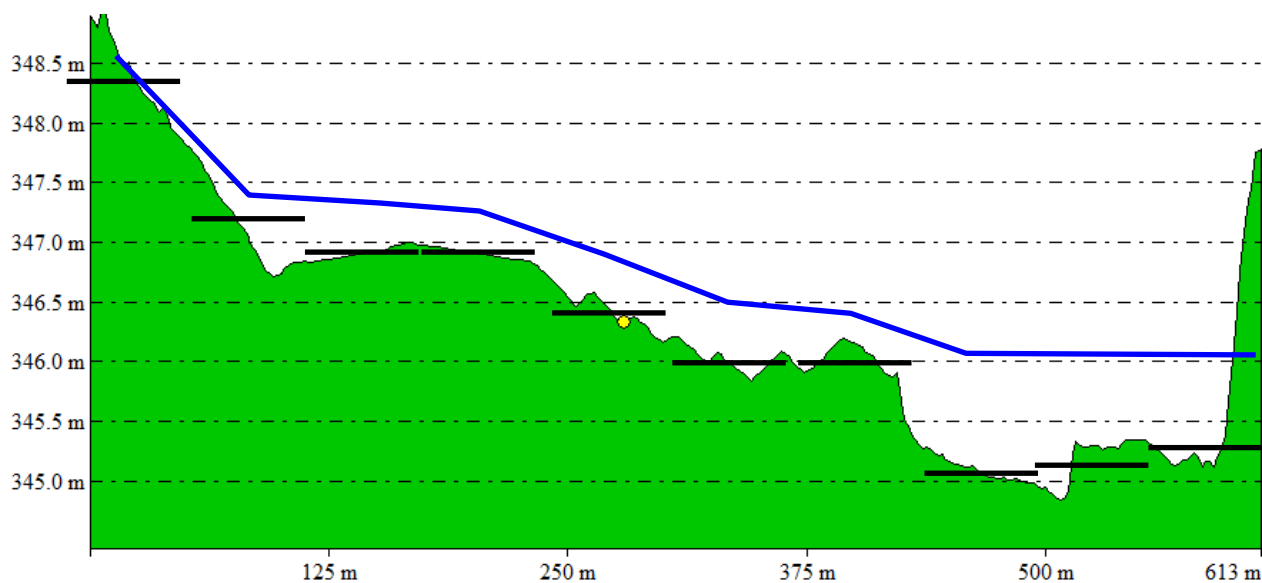
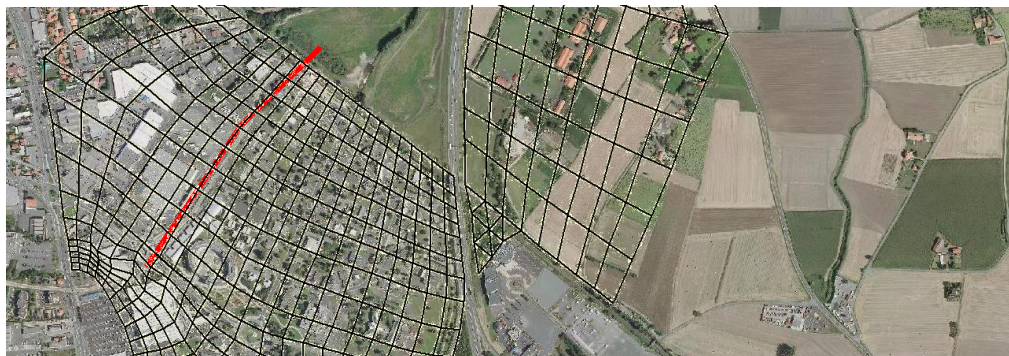


Figure 15 : Schématisation du croisement des lignes d'eau calculées sur les mailles 2D avec le MNT

Chaque maille est caractérisée par une altimétrie moyenne du terrain naturel sur son emprise (en noir). Une cote d'eau est calculée au centre de chaque maille. Ces cotes d'eau sont interpolées linéairement entre chacune des mailles pour constituer une surface d'eau 3D (en bleu) qui est ensuite croisée avec le MNT pour définir des hauteurs d'eau sur chaque pixel du MNT (pour mémoire 1mx1m).

Lorsque les hauteurs d'eau sont faibles, la discrétisation des mailles étant plus lâche que la précision du MNT, la ligne d'eau peut croiser des points hauts topographiques localisés qui apparaissent hors d'eau et peuvent créer des discontinuités dans le rendu de l'emprise inondée (cartes de hauteur d'eau).

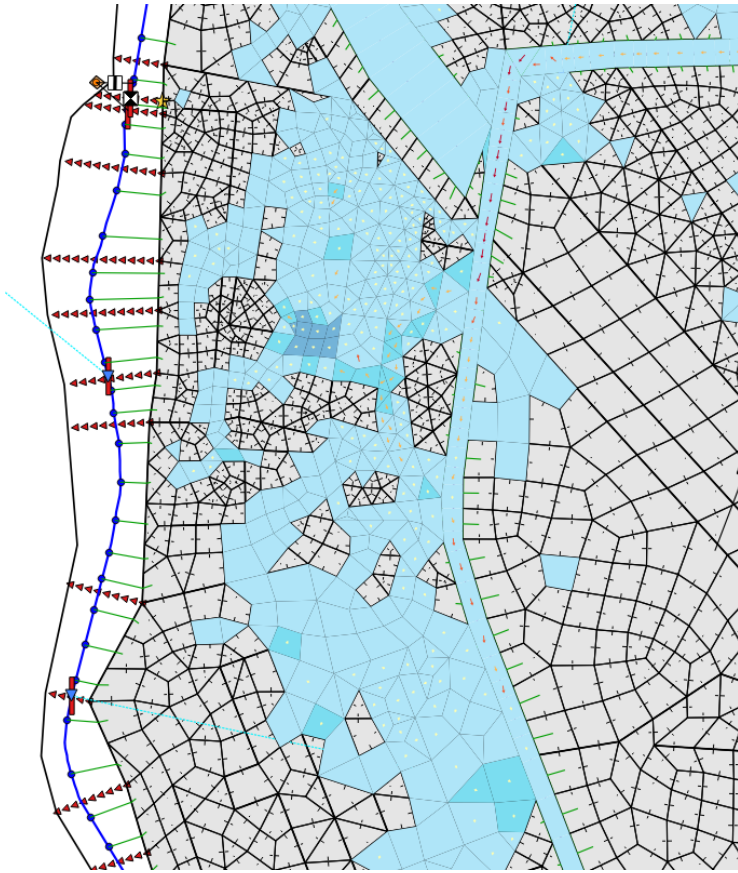


Figure 16 : Hauteur d'eau dans les mailles du modèle.

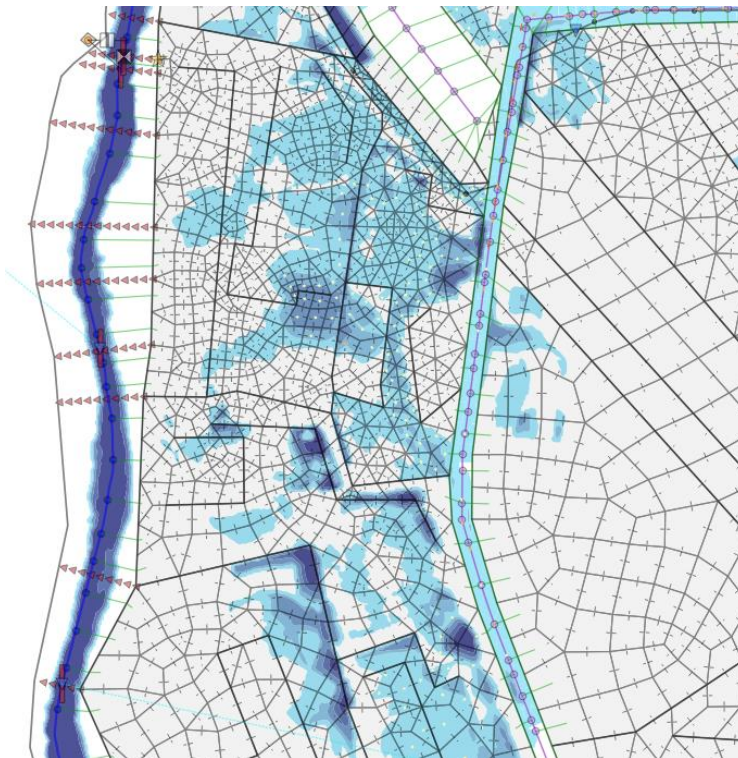


Figure 17 : Hauteur d'eau après croisement avec le MNT.

Pour les cartes d'aléa nous réalisons un traitement spécifique pour ne pas faire apparaître des zones d'aléa isolées de moins de 60 m² ou des zones sans aléa milieu d'un aléa de moins de 60 m². ce phénomène de « pastillage » est donc moins visible sur les cartes d'aléa que sur les cartes de hauteur d'eau. Les figures suivantes présentent un exemple dans la traversée de Marignane.



Figure 18 : Exemple de carte des hauteurs d'eau avec phénomène de « pastillage »

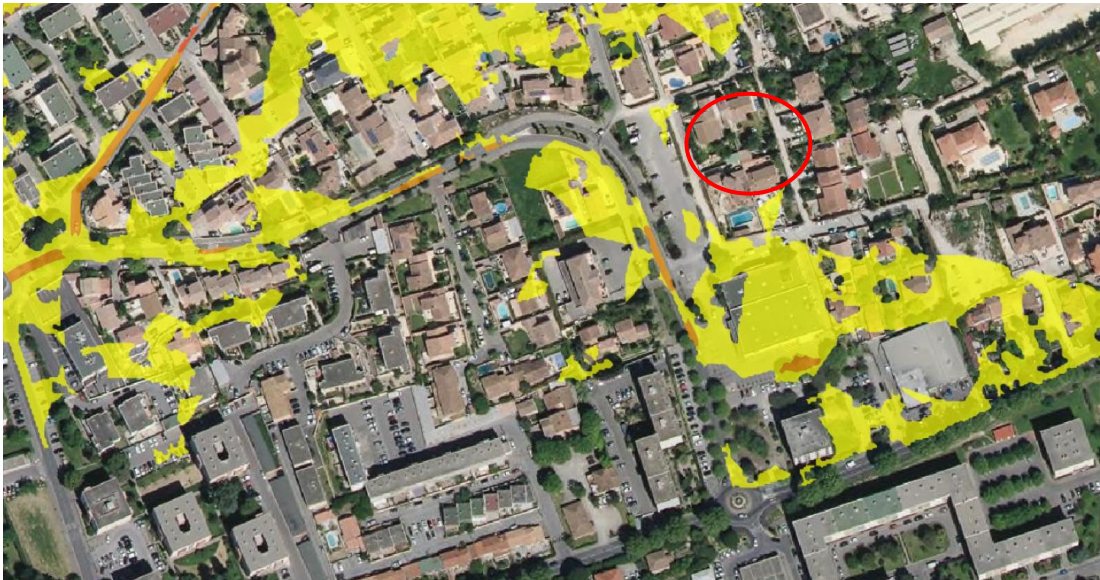


Figure 19 : Exemple de carte d'aléa traité pour réduire le phénomène de « pastillage »

Pour palier à ces discontinuités, les routes qui sont inondées et qui jouent axes d'écoulement sont représentées en affichant directement les résultats pour ce type d'élément, ce qui permettra de relier de nombreuses zones inondées en créant un axe d'écoulement mais également de représenter toute la largeur de la voirie inondée (voir image ci-après).

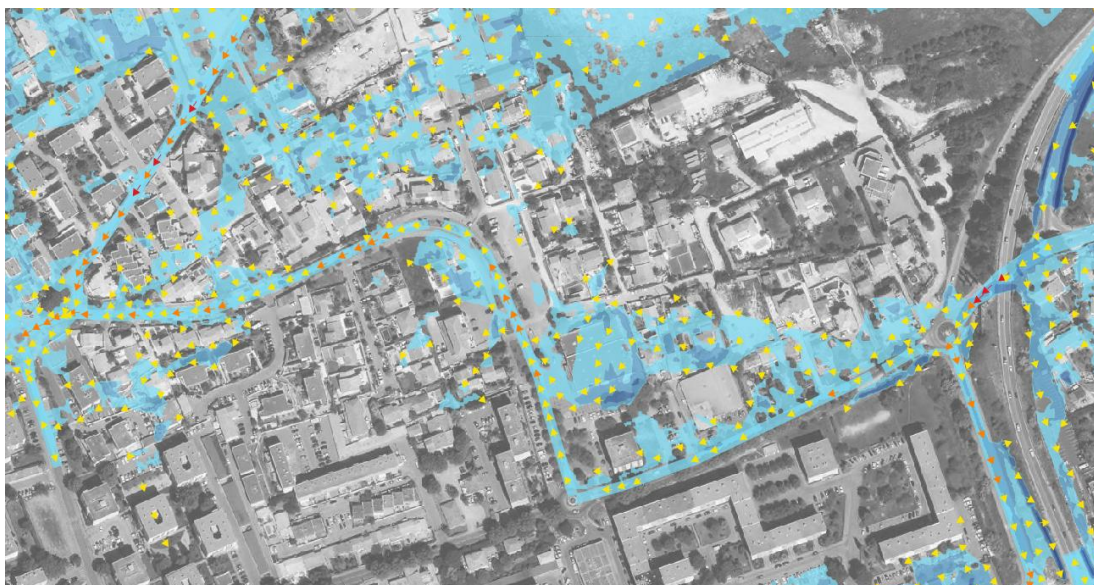


Figure 20 : Exemple de rendu cartographique des hauteurs d'eau avec représentation des rues pour limiter l'effet de « pastillage »

4.4.3 Précision sur les hauteurs et les vitesses dans les bâtiments

Pour ce qui est du bâti et de sa prise en compte dans la modélisation et les restitutions cartographiques, il y a deux problématiques :

- Celle des hauteurs d'eau cartographiées sur l'emprise des bâtiments, et notamment ceux présentant une surface importante, qui dépend de la ligne d'eau calculée mais également de l'interpolation du terrain qui a été faite sur la partie construite,
- Celle des vitesses dans les bâtiments et de leur « diffusion », qui est plutôt liée à la méthode de modélisation et de restitution des vitesses.

Sur l'agglomération de Clermont Ferrand, les échanges que nous avons eu avec la DDT portaient principalement sur la problématique des hauteurs d'eau, le MNT faisant apparaître sur certains bâtis d'importantes « fosses » pouvant atteindre 2 ou 3m de profondeur sous les côtes du terrain naturel environnant. Après échange avec les géomètres ayant effectué ces traitements, il est ressorti que les cotes à l'intérieur des bâtis étaient généralement interpolées à partir d'une analyse des côtes du terrain naturel situées à proximité immédiate des murs ; lorsque des accès extérieurs à des niveaux souterrains étaient identifiés, ce sont ces cotes (basses) qui étaient retenues. Au regard de ces éléments, la possibilité de mettre en eau ces surfaces bâties dans la modélisation est cohérente et globalement proche des phénomènes observés : l'eau pénètre dans les bâtiments, et dans les sous-sols le cas échéant. Un paramètre n'est pas maîtrisé, la présence d'une dalle située au-dessus du terrain naturel rehaussant les planchers et susceptibles de les mettre hors d'eau. Les techniques consistant à extruder le maillage au droit des bâtiment (et notamment les plus gros) tend à sous-estimer les volumes stockés dans le calcul de propagation de l'inondation et ne nous paraissent pas pertinentes.

Pour ce qui est des vitesses, le calcul est fait en considérant la largeur totale des frontières entre les mailles, et non les largeurs contractées ; cette approche permet de restituer un champ de vitesse moyen à l'échelle de la maille ; les vitesses sont ainsi cohérentes avec l'échelle de modélisation et la taille des mailles. Pour les bâtiments de taille importante, les frontières des mailles tendent à s'appuyer sur leurs contours ; les vitesses des écoulements les contournant sont alors bien restituées.

5 APPROFONDISSEMENT DE LA CONNAISSANCE DU RISQUE INONDATION

5.1 BILAN DES VOLUMES

5.1.1 Bilan de la crue de référence

Le schéma suivant synthétise le bilan des volumes pour la crue de référence, en précisant par grands secteurs du bassin versant :

- Les volumes produit par les bassins versants,
- Les volumes transitant,
- Les volumes stockés.

Au regard des résultats cartographiques, on constate que la voie SNCF joue un rôle important dans la répartition des écoulements puisqu'elle fait obstacle aux écoulements vers l'ouest, entraînant ainsi des débordements et imposant les secteurs de transit des écoulements par les ouvrages traversants qui ont été créés pour les voiries ou les cours d'eau.

Le volume produit sur l'ensemble du bassin versant pour la crue de référence est de 4 769 000m³, dont 70% (3 353 000m³) provient du bassin versant de la Cadière (Bondon, Ravin d'Aix, Marthe et Infernet) et 30% (1 416 000m³) du bassin versant du Raumartin.

En regardant la répartition par rapport à la voie SNCF, ce volume total produit provient pour 52% de la partie en amont (Cadière et Raumartin) et 48% est produit par la partie en aval de la voie SNCF (Cadière avec les bassins versant de Vitrolles et Raumartin).

Le volume transitant par les ouvrages traversant de la voie SNCF s'élève à 2 267 000m³. Ainsi sur le secteur en amont de la voie SNCF, le volume de stockage s'élève à 220 000m³, soit à 9% du volume produit. Il faut également noter les volumes transitant sur le secteur de la Cadière (voirie et Cadière) comptabilise les débordements du Raumartin qui rejoignent les écoulements de la Cadière en amont de la voie SNCF.

Le volume à l'exutoire qui s'écoule vers le canal du Rove et vers l'étang du Bolmon est de 4 397 000 m³, ce qui représente 92% du volume produit sur l'ensemble du bassin versant. Le volume stocké sur l'ensemble du bassin versant en fin d'évènement s'élève donc à 372 000m³ dont 59% est stocké sur le secteur amont de la voie SNCF et 41% en aval de la voie SNCF.

Etude hydraulique de la Cadière et du Raumartin

Cartographie de la crue de référence

Bilan des volumes



mise à jour novembre 2018

Légende

volume crue de référence

- Volume stocké
- volume transité
- volume produit

crue ref

hauteur

- inférieure à 25 cm
- entre 25 et 50 cm
- entre 50 cm et 1 m
- entre 1 m et 1.5 m
- supérieure à 1.5 m

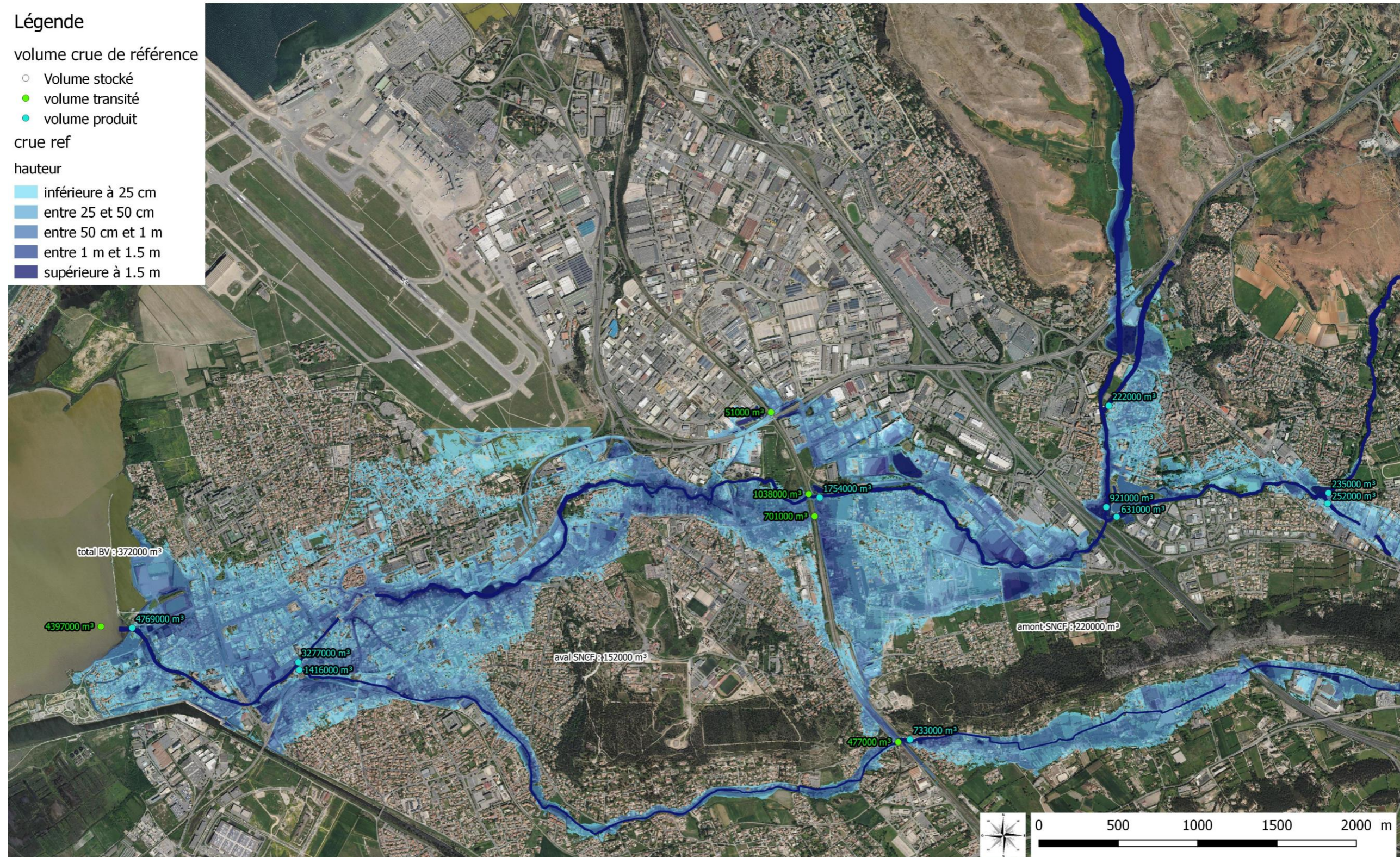


Figure 21 : Bilan des volumes pour la crue de référence

5.1.2 Bilan des volumes de la crue de période de retour 10 ans

Le schéma suivant synthétise le bilan des volumes pour la crue de période de retour 10 ans de durée total 270min, en précisant par grands secteurs du bassin versant :

- Les volumes produit par les bassins versants,
- Les volumes transitant
- Les volumes stockés

Le volume produit sur l'ensemble du bassin versant pour la crue de période de retour 10 ans est de 1 529 000m³, dont 70% provient du bassin versant de la Cadière (Bondon, Ravin d'Aix, Marthe et Infernet) et 30% du bassin versant du Raumartin.

En regardant la répartition par rapport à la voie SNCF, ce volume total produit provient pour 57% de la partie en amont (Cadière et Raumartin) et 43% est produit par la partie en aval de la voie SNCF (Cadière avec les bassins versant de Vitrolles et Raumartin).

Le volume transitant par les ouvrages traversant de la voie SNCF s'élève à 745 000m³. Ainsi sur le secteur en amont de la voie SNCF, le volume de stockage s'élève à 121 000m³, soit à 14% du volume produit. Il faut également noter les volumes transitant sur le secteur de la Cadière (voirie et Cadière) comptabilise les débordements du Raumartin qui rejoignent les écoulements de la Cadière en amont de la voie SNCF.

Le volume à l'exutoire qui s'écoule vers le canal du Rove et vers l'étang du Bolmon est de 1 409 000 m³, ce qui représente 92% du volume produit sur l'ensemble du bassin versant. Le volume stocké sur l'ensemble du bassin versant s'élève donc à 121 000m³, la totalité de ce volume est stocké sur le secteur en amont de la voie SNCF.

Etude hydraulique de la Cadière et du Raumartin Cartographie de la crue de période de retour 10 ans Bilan des volumes

Légende

volume crue de référence

- Volume stocké
- volume transité
- volume produit

crue ref

hauteur

- inférieure à 25 cm
- entre 25 et 50 cm
- entre 50 cm et 1 m
- entre 1 m et 1.5 m
- supérieure à 1.5 m

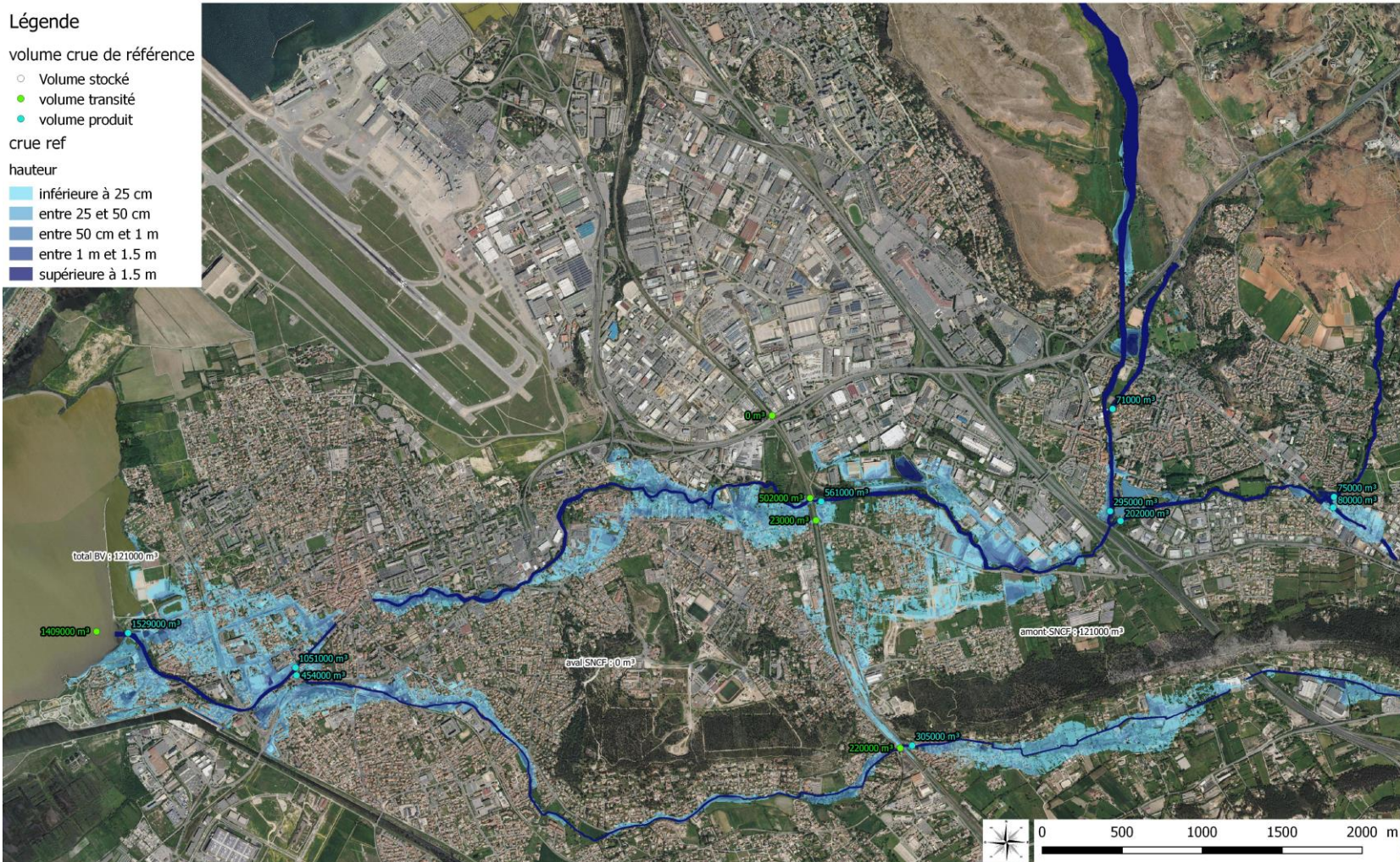


Figure 22 : Bilan des volumes pour la crue de période de retour 10 ans

5.2 FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT (CRUE DE REFERENCE)

5.2.1 Vitrolles – le Parc du Griffon

Les premiers débordements sont observés en rive gauche du Bondon en amont de la traversée de la RD9. Ces débordements inondent les champs puis les zones bâties en amont de la traversée de la route de la Seds.

L'ouvrage de traversée de la RD9 est limitant et entraîne des débordements en rive gauche et en rive droite, inondant les zones bâties avec une hauteur d'eau maximale de 1m.

Les débordements surversent sur la RD9 avec une lame d'eau comprise entre 25 et 50cm sur une largeur de l'ordre de 250m.

Dans le Parc du Griffon, le Bondon déborde largement, inondant les terrains de sports. Le bassin se remplit. Les eaux surversent sur le seuil alimentant le ravin d'Aix. Ces nombreux apports ne peuvent être supportés par le gabarit du ravin d'Aix ce qui entraîne les nombreux débordements en rive gauche du ravin d'Aix en direction du collège. Les eaux surversent ensuite sur l'avenue Jean Monnet inondant la rive gauche du Rain d'Aix puis la rive gauche du Bondon jusqu'au bassin de la Tuillière.

De la confluence du Bondon avec le Ravin d'Aix au bassin de la Tuillière, les écoulements du Bondon débordent en rive droite sur une largeur de 40m environ avant de s'accumuler au pied de l'Autoroute.

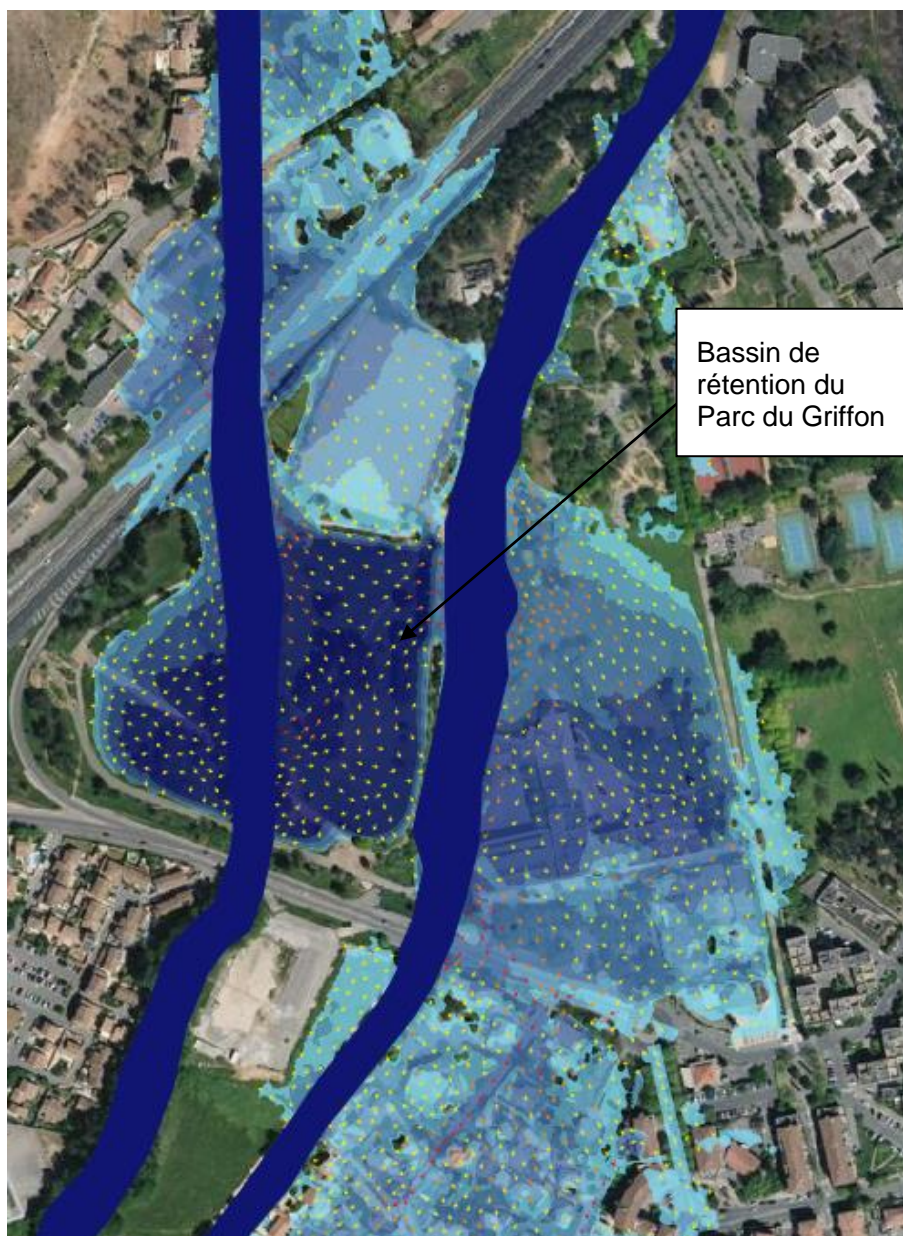


Figure 23 : Fonctionnement hydraulique de la crue de référence – secteur du Griffon à Vitrolles

5.2.2 Vitrolles Le vallon de l’Infernet

Le vallon de l’Infernet présente un débordement localisé sur 20m de large environ et 150m de long, en rive droite, ne touchant aucune zone bâtie.

5.2.3 Les Pennes Mirabeau le ruisseau de la Marthe

Dans sa partie naturelle, le ruisseau de la Marthe contient les écoulements de cet événement. Dès qu’on rentre dans la partie urbanisée, le cours d’eau présente des recalibrages et de nombreux ouvrages qui contraignent le lit mineur. On observe donc des débordements en rive droite du ruisseau de la Marthe.

En amont de partie couverte traversant la zone d’activités, les débordements inondent également la rive gauche jusqu’à la confluence avec le ruisseau de l’Infernet.

Le bassin de rétention situé à la confluence se remplit complètement et déborde en rive droite. Les écoulements longent et surversent l'avenue Jean Monnet, jusqu'au Rond-Point de la ZAC de la Ferme de Croze.

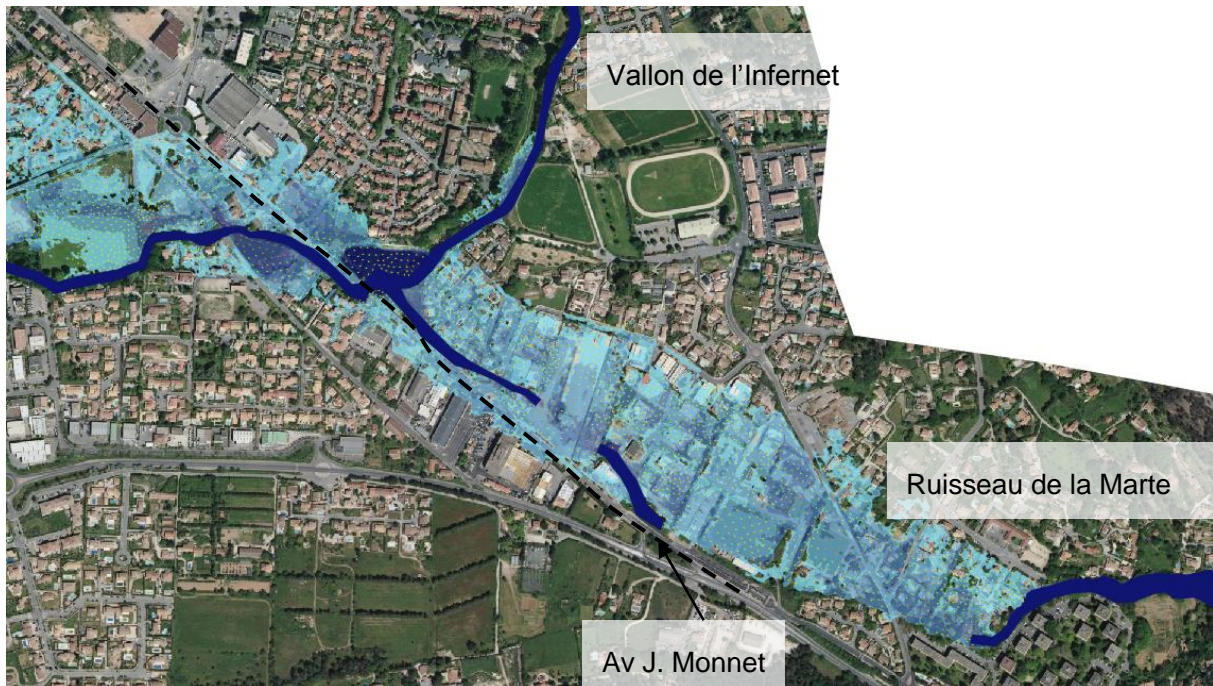


Figure 24 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de référence – A la confluence entre le vallon de l'Infernet et le ruisseau de la Marthe

5.2.4 La Cadière entre l'avenue Jean Monnet et la confluence avec le Bondon

En aval de la confluence du vallon de l'Infernet et du ruisseau de la Marthe, l'ouvrage traversant de l'avenue du Maréchal de Lattre de Tassigny a entraîné de nombreux débordements en amont de l'ouvrage. L'avenue étant en remblai sur ce secteur, elle a entraîné l'accumulation des volumes débordés sur les quartiers habités.

Sur ce secteur la majorité des débordements sont en rive droite de la Cadière, ils s'étalent sur les zones naturelles mais inondent également les lotissements, jusqu'au Lac de la Tuillière.

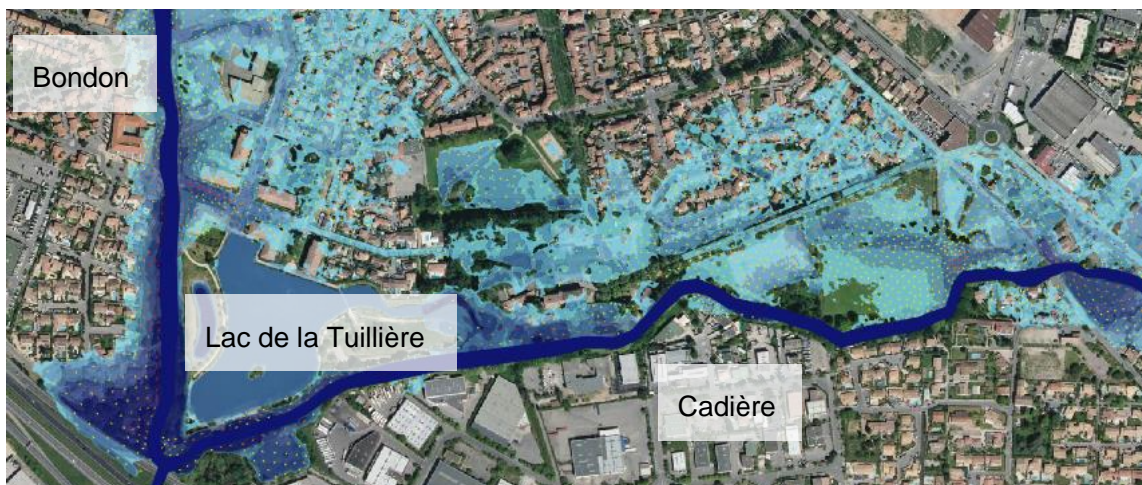


Figure 25 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de référence – de la Cadière en amont du Lac de la Tuillière

5.2.5 La Cadière entre la traversée de l'A7 et de la voie SNCF

La capacité de l'ouvrage de traversée de l'A7 est légèrement insuffisante pour cet événement ce qui entraîne des débordements en rive droite du Bondon. L'autoroute en remblai contribue à bloquer les volumes débordés sur les zones bâties en rive droite du Bondon.

En aval de la traversée de l'A7, le faible gabarit de la Cadière entraîne de nombreux débordements en rive droite et en rive gauche. En rive gauche, on repère sur la cartographie des zones inondables un axe d'écoulement, identifié lors des reconnaissances. Les volumes débordés sont stockés en amont de la voie SNCF qui, sur ce secteur est en remblai. Les eaux transitent donc par l'ouvrage sous la voie SNCF et une partie des débordements par les points bas et plus particulièrement sur la voirie D47.

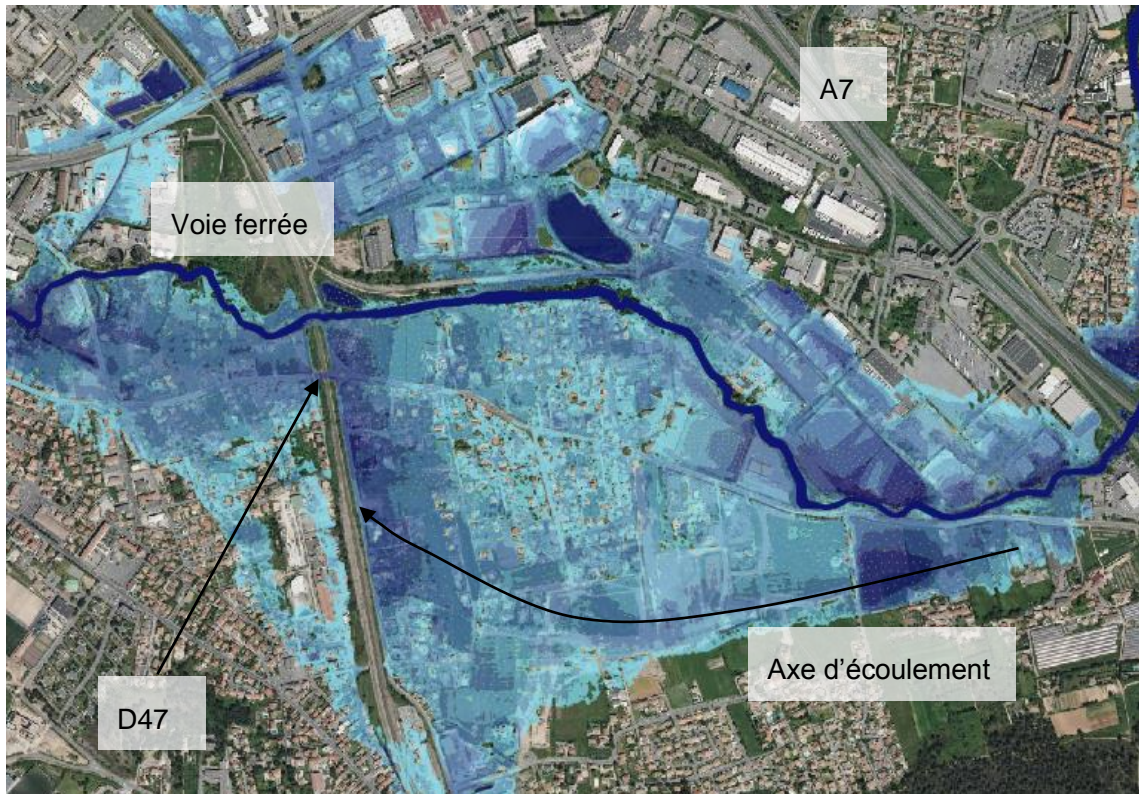


Figure 26 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de référence sur la Cadière entre l'A7 et la voie ferrée

On notera des apports au Sud de la zone inondée, de part et d'autre de la voie SNCF, liés aux débordements du Raumartin.

5.2.6 Précision sur le fonctionnement hydraulique au droit du boulevard Paul Raphel

Le boulevard est situé sur une infrastructure en remblai de 40 à 60 cm au-dessus du terrain naturel à l'est.

Les figures suivantes représentent quelques profils en travers du boulevard :

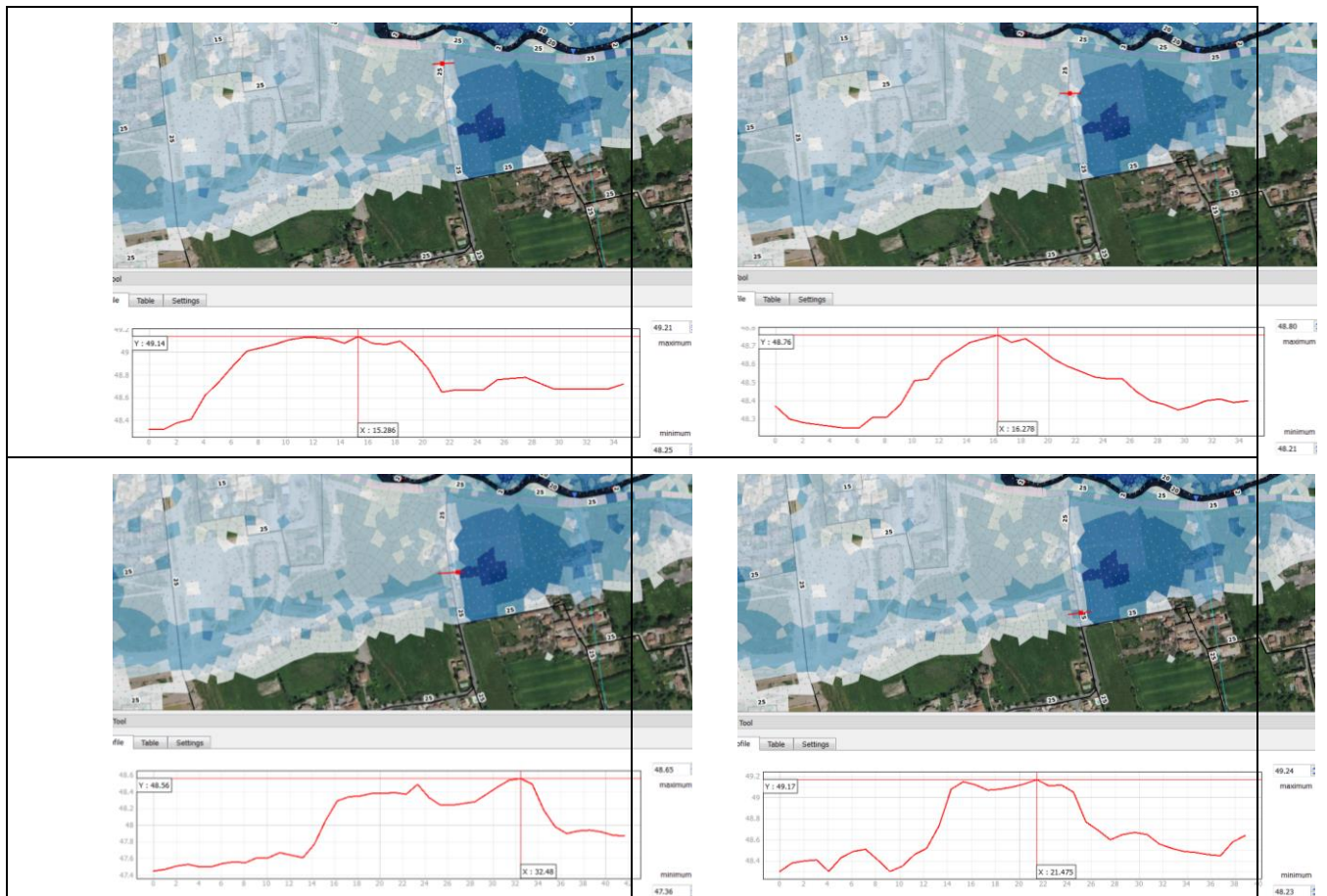


Figure 27 : Profils en travers du Bd Paul Raphel

Le niveau du boulevard est compris entre 48.30 mNGF et 49.50 mNGF comme le montre le profil en long sur la figure suivante :

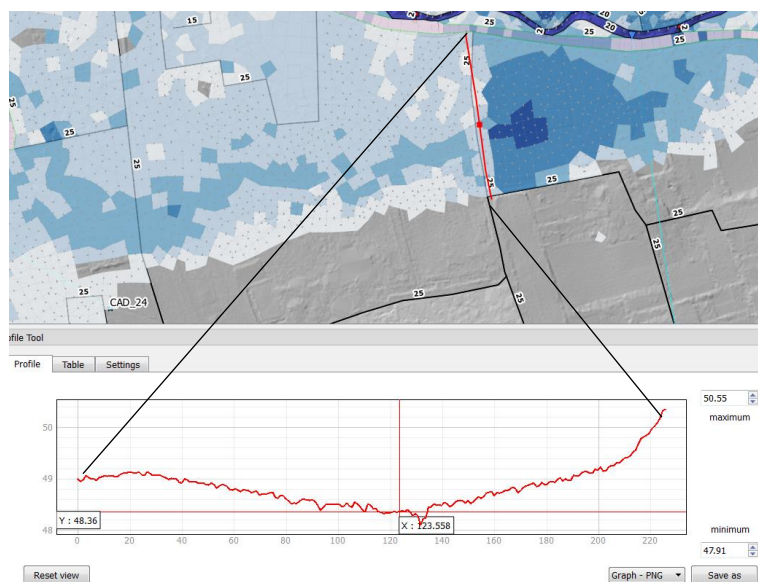


Figure 28 : Profil en long du Bd Paul Raphel

Pour la crue de référence, les débordements rive gauche de la Cadière sur le secteur de la ZAC de l'Anjoly s'écoulent vers la plaine inondable au sud et empruntent un axe est-ouest.

Le boulevard Paul Raphel fait alors obstacle aux écoulements, créant une zone d'accumulation.

Une partie des écoulements en amont immédiat du boulevard Paul Raphel s'orientent au nord vers le boulevard de la Libération. Ce dernier étant légèrement en remblai les écoulements sont donc bloqués entre les deux boulevards.

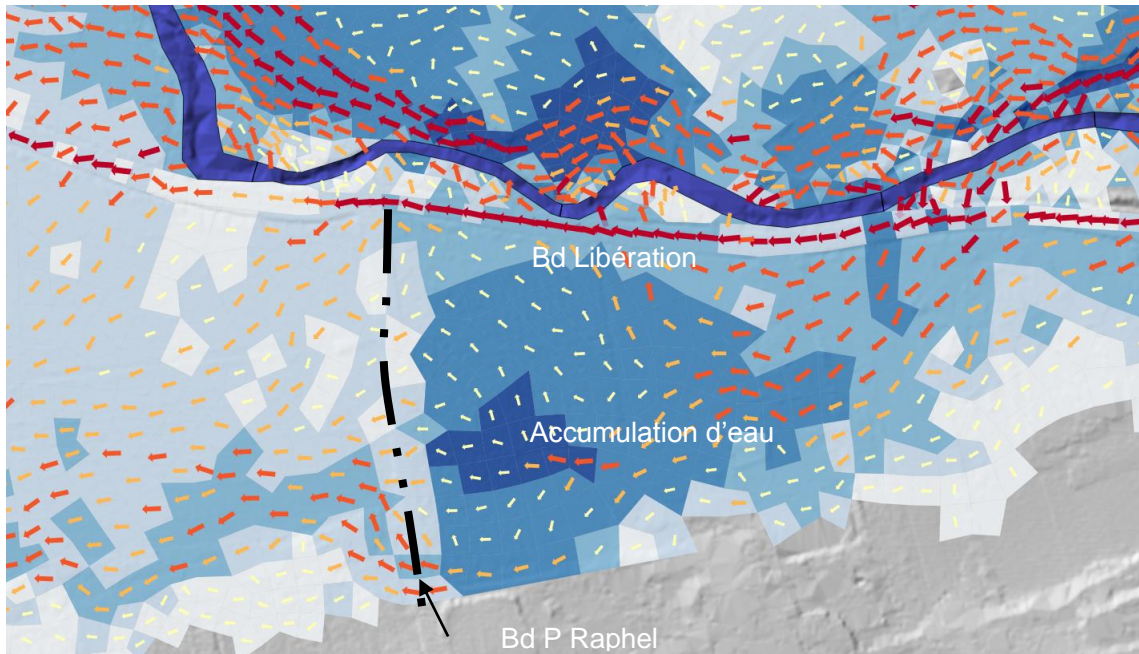


Figure 29 : écoulement au droit du Bd P Raphel

Lorsque les hauteurs d'eau en amont du boulevard Paul Raphel sont supérieures à la crête de la route les écoulements surversent sur le boulevard vers l'ouest sur une longueur de 225m environ.

La figure suivante représente les cotes d'eau atteintes au droit du boulevard Paul Raphel pour la crue de référence.

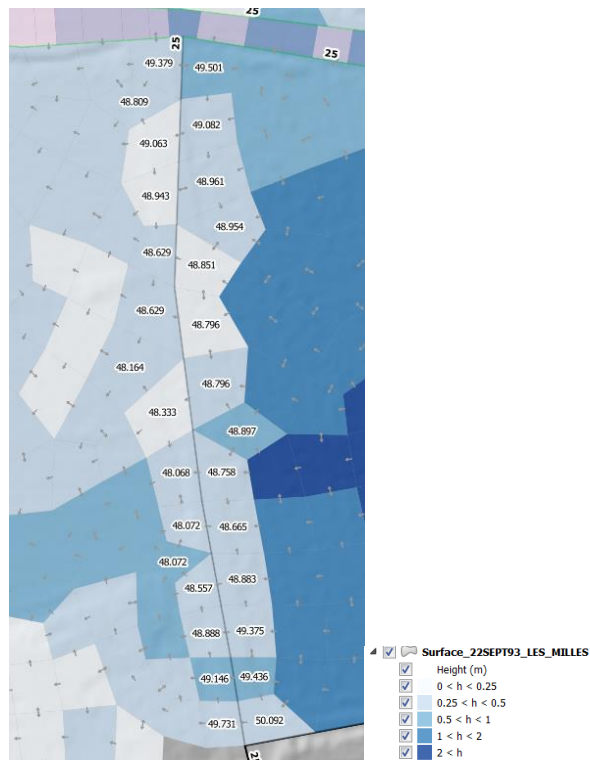


Figure 30 : Cote d'eau pour la crue de référence en amont et en aval de la voirie

Le boulevard joue ainsi le rôle de seuil déversant sur toute la longueur. Le débit surversant est de $21\text{m}^3/\text{s}$ au maximum, ce qui représente une lame d'eau moyenne de 15 cm sur la route pour la crue de référence. La lame d'eau maximum, sur la partie sud du boulevard, est de l'ordre de 35cm.

5.2.7 La Cadière entre la voie ferrée et la D9 (Commune de Saint Victoret)

En aval de la voie ferrée les écoulements débordent majoritairement en rive gauche. Ces débordements rejoignent les écoulements en provenance de la RD47.

Ces écoulements rejoignent le cours d'eau en aval de la rue de la Glacière (aval de la STEP), ce qui entraîne des débordements supplémentaires en rive droite.

En aval du Pont de la Glacière les débordements rive droite s'étalent, surversent sur le boulevard René Cailloux, puis sur la RD9. Une partie des écoulements s'écoulement en direction de l'aéroport (Nord/ouest), alors qu'une autre partie des débordements s'écoule vers le centre-ville de Marnagnane (Sud/ouest).

Sur le secteur Sainte Marie / Saint Jean, à Saint Victoret, les débordements rive gauche, prennent une direction nord est / sud ouest, en empruntant la voirie, ils sont déconnectés du cours d'eau. L'ensemble des débordements transitent alors sous l'ouvrage de l'avenue de l'Europe.

Des débordements sont importants en rive gauche et en rive droite, en amont de l'ouvrage de la D9.

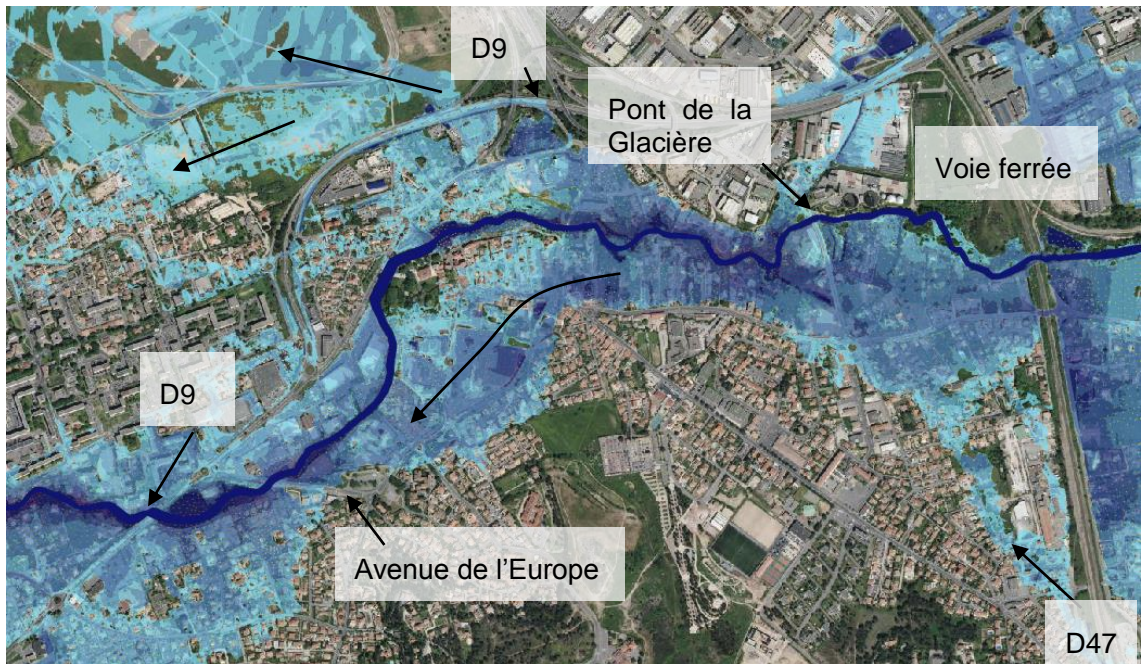


Figure 31 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de référence sur la Cadière entre la voie ferrée et la D9

5.2.8 Précision en aval Pont de la Glacière – débordement rive droite de la Cadière

En aval du pont de la Glacière les débordements rive droite de la Cadière s'écoulent sur une largeur de 70 m environ en longeant le cours d'eau.

En aval de l'impasse Cardelin les écoulements s'étalent d'avantage et une partie des débordements s'oriente vers le nord-ouest.

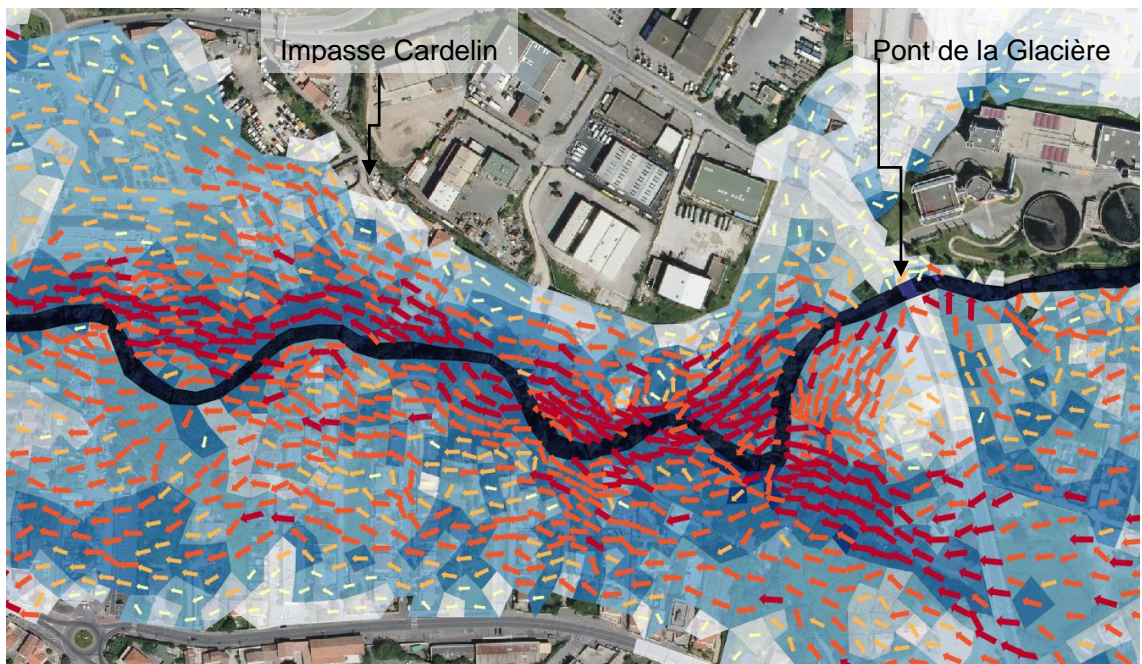


Figure 32 : Caractérisation des écoulements en aval du Pont de la Glacière pour la crue de référence

En aval du rond-point de la D20e les écoulements se dirigent préférentiellement vers le nord sur les terrains en contre-bas et surversent sur la D9.

Les écoulements suivent ensuite les deux voies D20 et D9 pour continuer vers l'ouest.

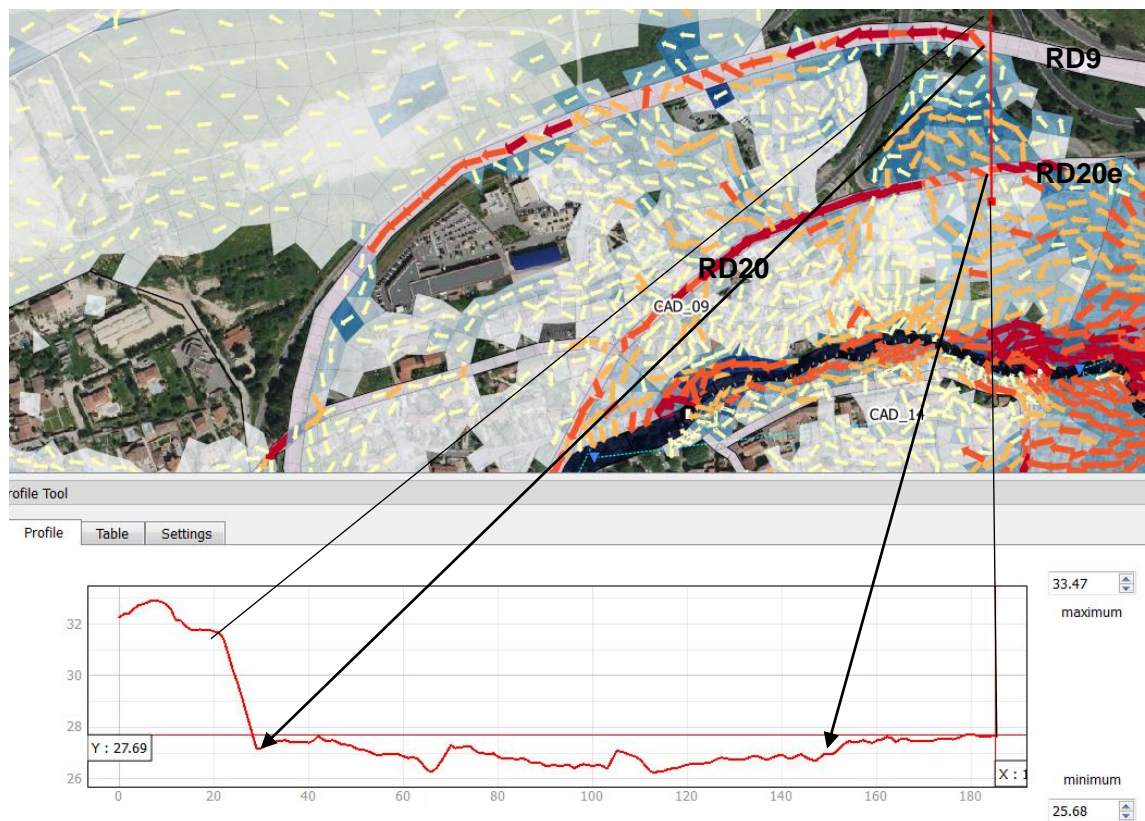


Figure 33 : Profil en travers en aval du Rond-point de la D20e

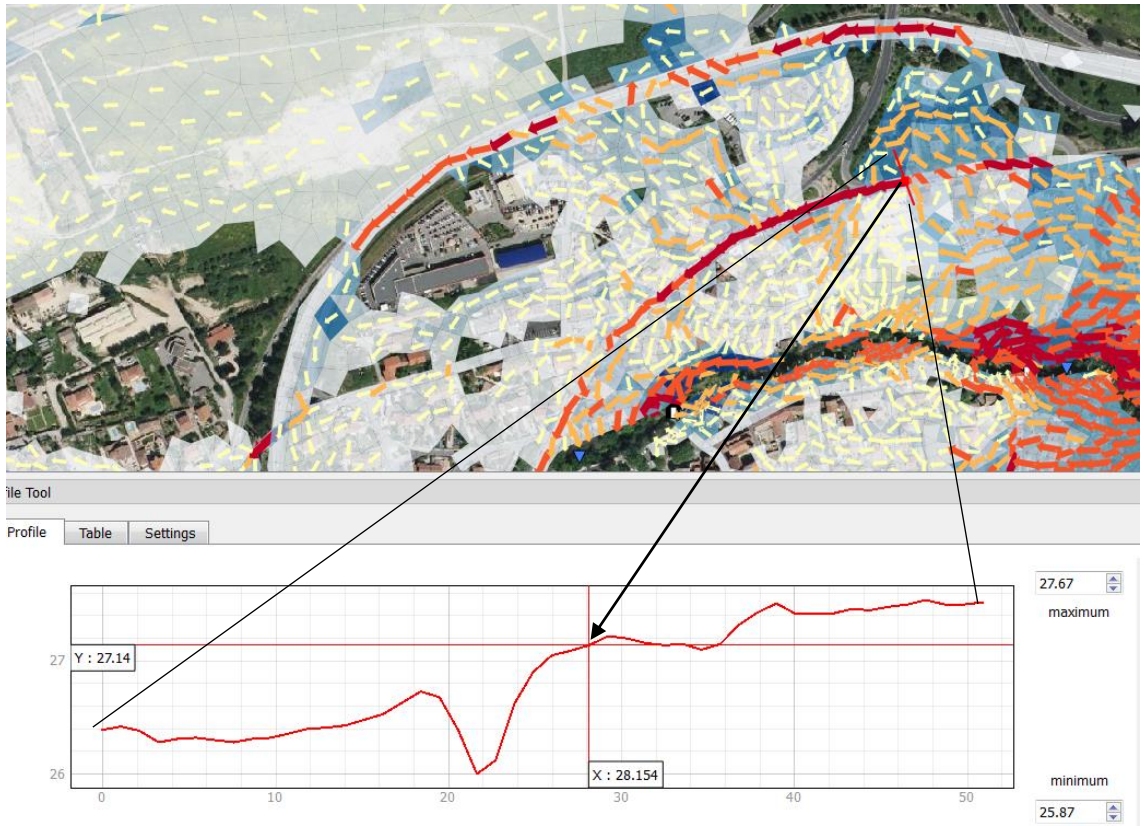


Figure 34 : Zoom du profil en travers de la RD20e en contre-bas du terrain naturel situé au nord

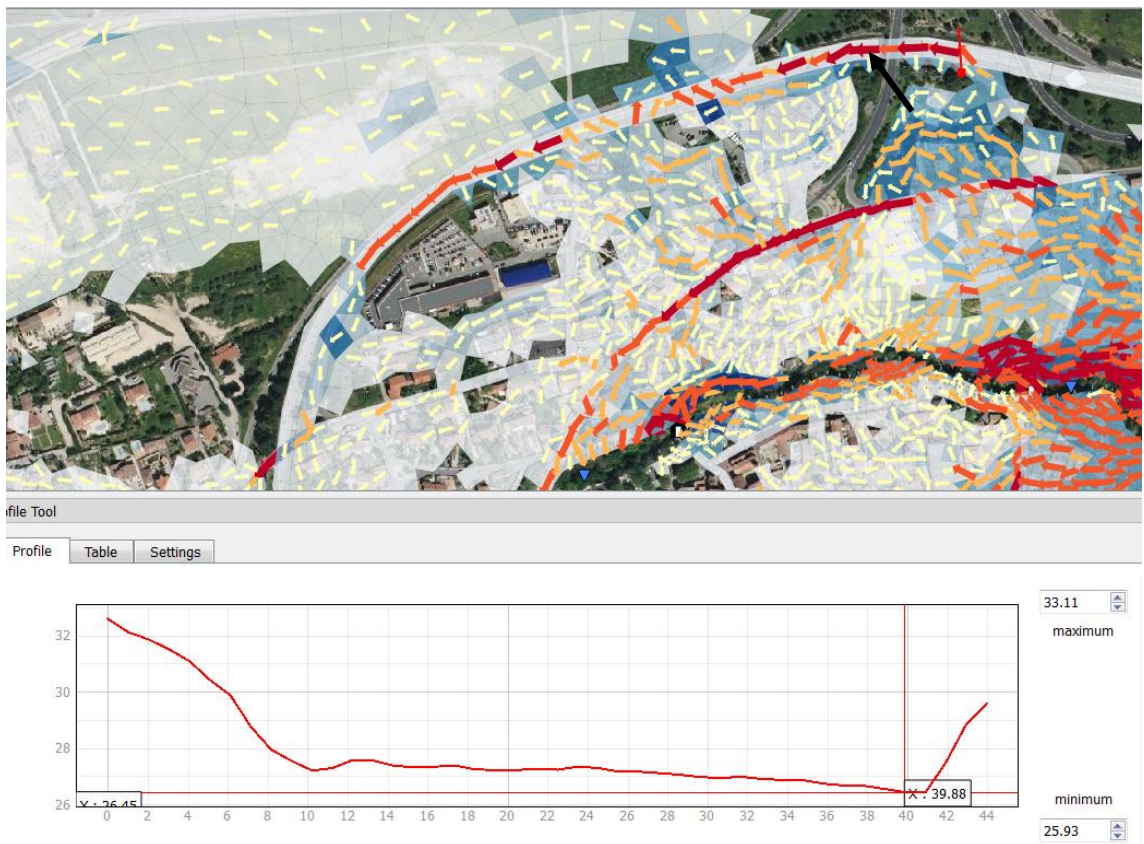


Figure 35 : Profil en travers de la RD 9 en déblai

Dans le secteur de la Cascade et de la Mairie de Saint Victoret, la pente générale du terrain naturel étant plutôt orientée vers le nord-ouest, les écoulements s'orientent alors globalement en direction de l'aéroport.

Plusieurs points bas sur la D9 permettent d'inonder l'aéroport situé en contre-bas de la voie.



Figure 36 : Profil en travers du terrain en rive droite de la Cadière

La figure ci-après présente l'ordre de grandeur des débits transitant sur les différents axes et vers l'aéroport pour la crue de référence :

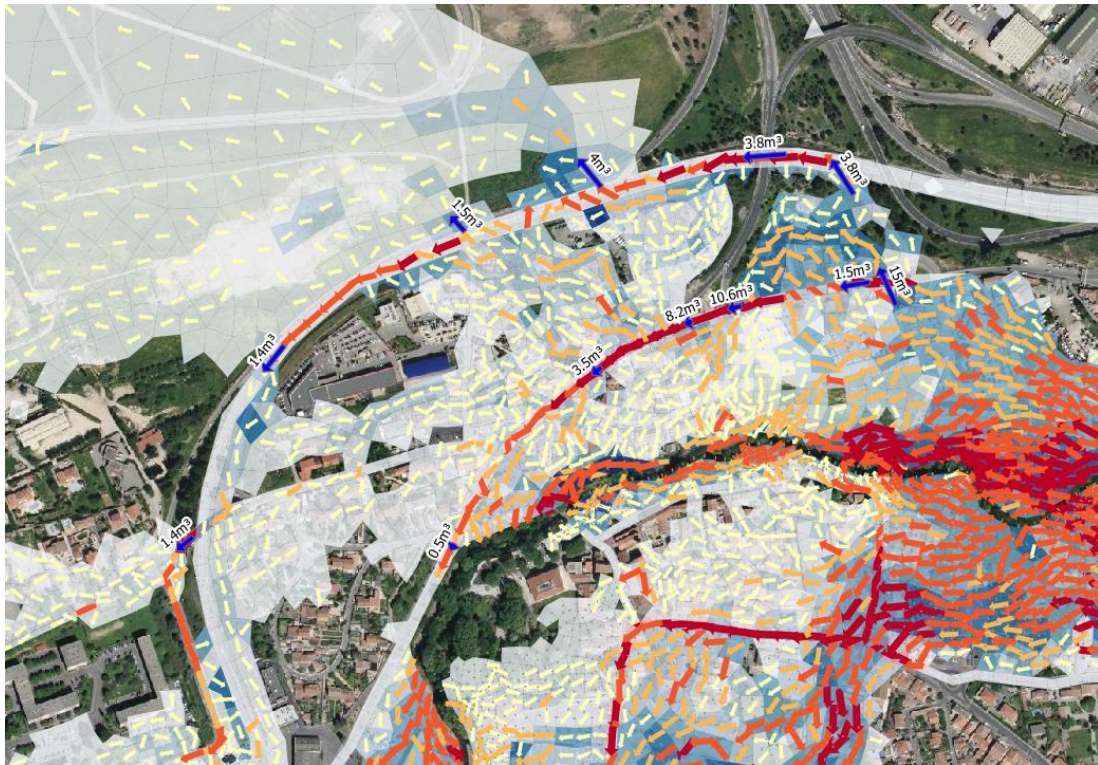


Figure 37 : Fonctionnement hydraulique dans le secteur amont de l'aéroport pour la crue de référence

5.2.9 La Cadière en aval de la D9 (Marignane) et la confluence avec le Raumartin

En aval de la D9 et en amont de la couverture, le cours d'eau et la couverture du cours d'eau dans la traversée de Marignane, ne permettent pas le transit du débit de l'événement. Des débordements sont donc modélisés en rive droite et en rive gauche. Ces débordements s'étalent dans la zone urbaine en empruntant également les voiries comme axes d'écoulement préférentiels.

La rive gauche est une vaste zone inondée comprenant les nombreux débordements rive gauche de la Cadière et quelques débordement rive droite du Raumartin.

En aval de la couverture les débordements rive droite s'orientent vers l'étang de Berre vers l'Ouest. Ils sont déconnectés du cours d'eau. Seule une partie de ses débordements retournent dans le cours d'eau en amont de l'avenue du Général De Gaulle.

En amont de l'avenue du Général De Gaulle on note un retour d'eau dans la Cadière, des débordements rive gauche du Raumartin. En effet les débordement rive gauche du Raumartin en amont de la confluence prennent une direction nord-est/ sud-ouest. Une partie des écoulements retournent à la Cadière alors qu'une autre partie surversent dans le Canal du Rove.

En aval de la traversée de l'avenue du Général De Gaulle, les débordements rive gauche rejoignent le canal du Rove par des ouvrages d'assainissement pluviaux.

Le secteur des Paluds est également inondé par des débordements de la Cadière. En fonction de la topographie du secteur, ces écoulements rejoignent le canal du Rove ou directement l'Etang de Berre.

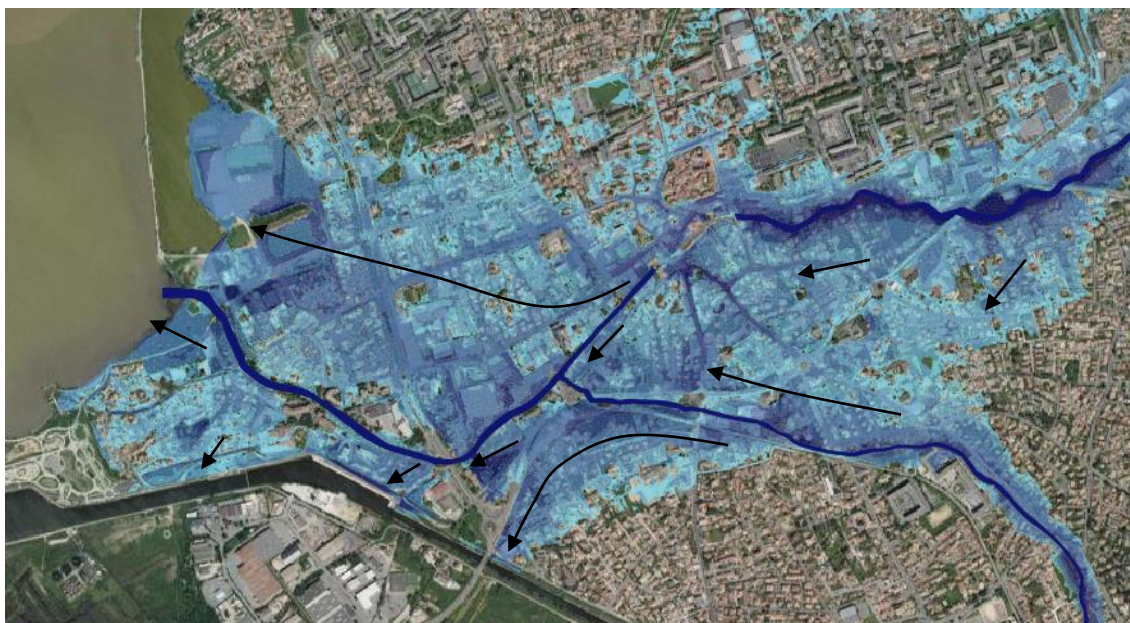


Figure 38 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de référence sur la partie aval de la Cadière

5.2.10 Le Raumartin sur les Pennes Mirabeau

Le Raumartin déborde en rive droite et en rive gauche. Ces débordements restent localisés aux abords du cours d'eau (la largeur maximale d'inondation est de 100m), puisque la configuration en vallée ne permet l'étalement des eaux. Les volumes débordés s'accumulent ensuite aux points bas topographiques ou derrière des remblais.



Figure 39 : Cartographie des zones inondables de la crue de référence sur le secteur amont du Raumartin

Sur le secteur des Jonquiers (en amont de l'A7), les débordements rive droite longe le cours d'eau sur une largeur de 50m maximal. Les débordements rive gauche quant à eux, s'étalent et inondent les entreprises du secteur.

L'ouvrage de traversée de l'A7 est limitant pour cet événement puisqu'il crée une perturbation entraînant des débordements en rive gauche et en rive droite. Ces débordements surviennent sur l'Autoroute en amont du Tunnel des Pennes Mirabeau, sur une largeur de plus de 150m. Ces écoulements s'ajoutent aux débordement rive droite du Raumartin en sortie de l'ouvrage.

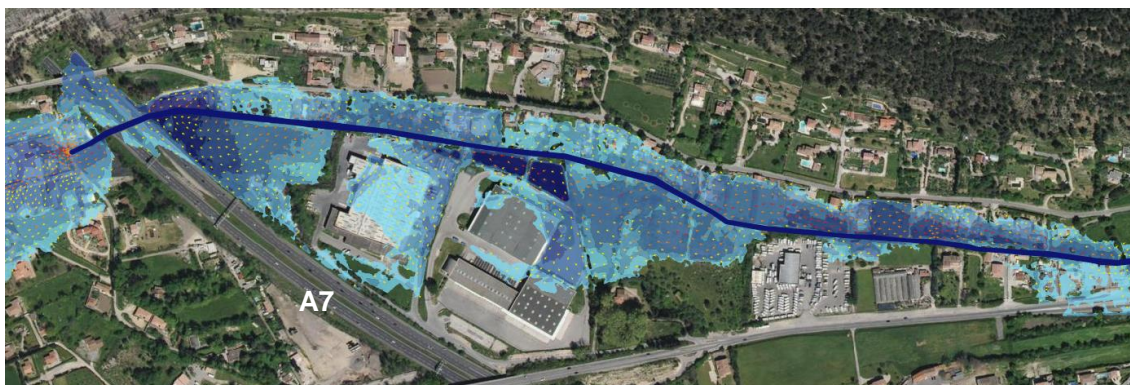


Figure 40 : Cartographie des zones inondables pour la crue de référence du Raumarin en amont de l'Autoroute A7

5.2.11 Le Raumarin entre la traversée de l'Autoroute et de la voie SNCF

En aval de l'A7, les débordements sont beaucoup plus importants que dans la partie amont. La topographie du secteur permet l'étalement des débordements en rive droite et en rive gauche.

L'ouvrage traversant la voie ferrée est limitant il entraîne des débordements en amont de l'ouvrage majoritairement en rive gauche.

Sur ce secteur la voie ferrée est en déblais, les débordements rive gauche surversent sur la voie au droit de l'ouvrage et suivent ensuite la voie ferrée en direction du nord-ouest. Lorsque la voie ferrée ressort du secteur en déblai, les écoulements s'orientent vers le nord vers le lit majeur de la Cadière, en amont et en aval de la voie ferrée.

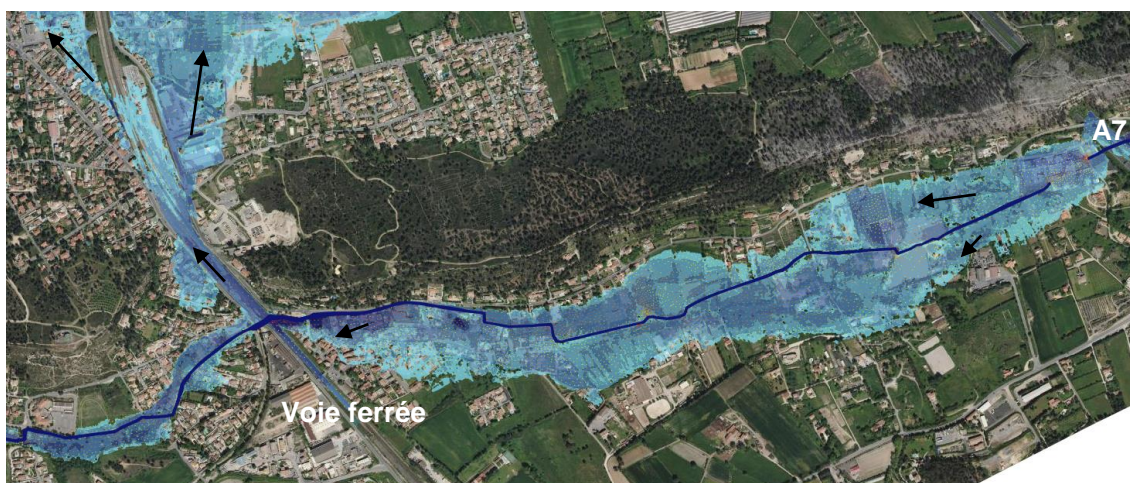


Figure 41 : Zones inondables du Raumarin pour la crue de référence entre l'A7 et la voie ferrée

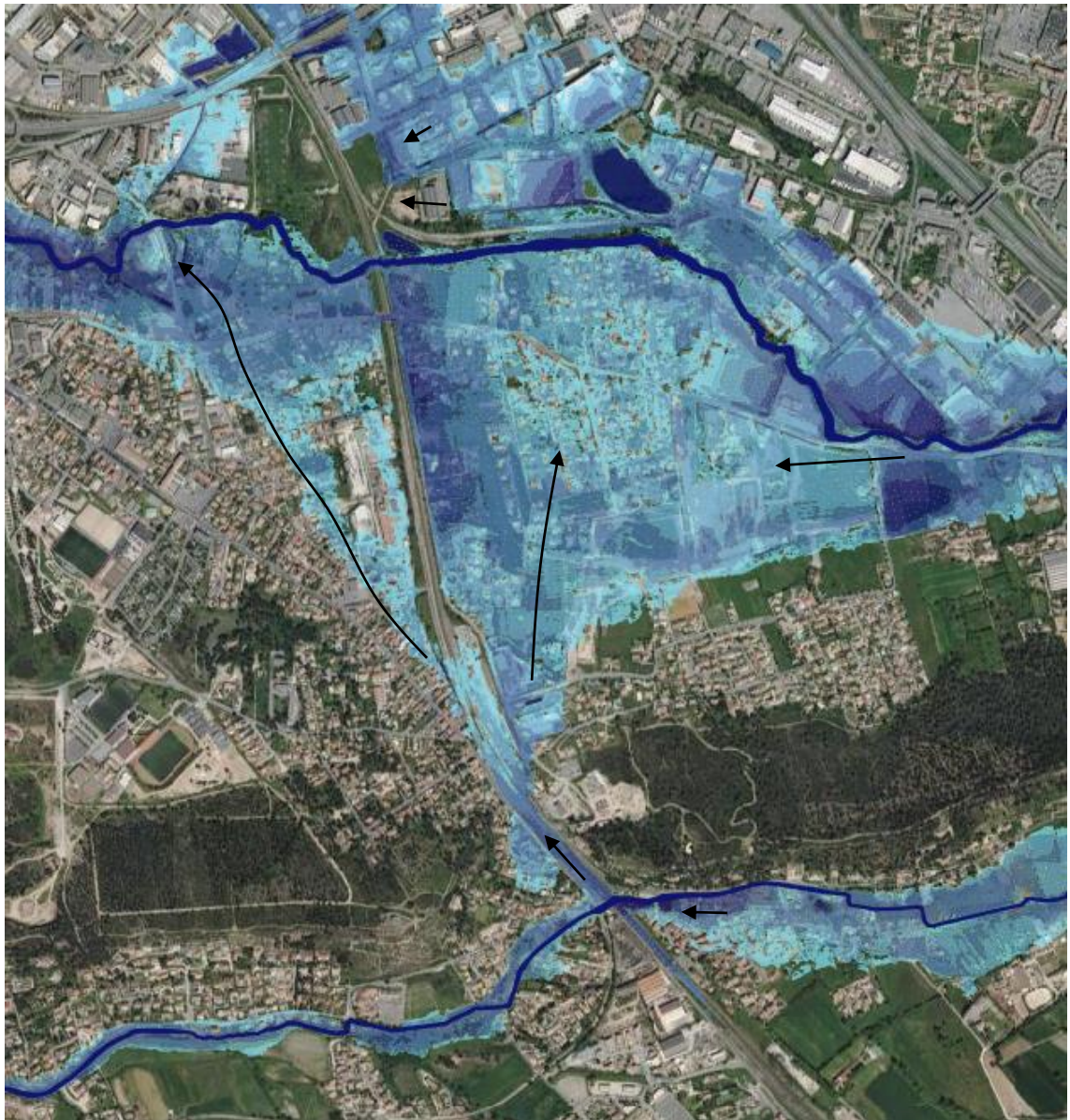


Figure 42 : Les débordements du Raumartin pour la crue de référence au droit de la voie ferrée

5.2.12 Précision sur le fonctionnement hydraulique du Raumartin dans la traversée du pont SNCF

Remarque : l'analyse a été menée sur la crue de calage.

L'ouvrage de traversée du Raumartin par la voie SNCF ne se limite pas à un simple ouvrage de franchissement mais présente un linéaire de couverture de près de 50m avec une ouverture de l'ordre de 5m entre les voies. Ainsi, la modélisation prend en compte la perte de charge liée à l'ouvrage mais représente également la couverture. L'ouverture existante entre les voies a également été représentée par une liaison du 1D enterré vers le maillage 2D, afin de matérialiser les échanges entre le réseau et le terrain naturel. La cartographie suivante représente une vue en plan de la modélisation de ce secteur.

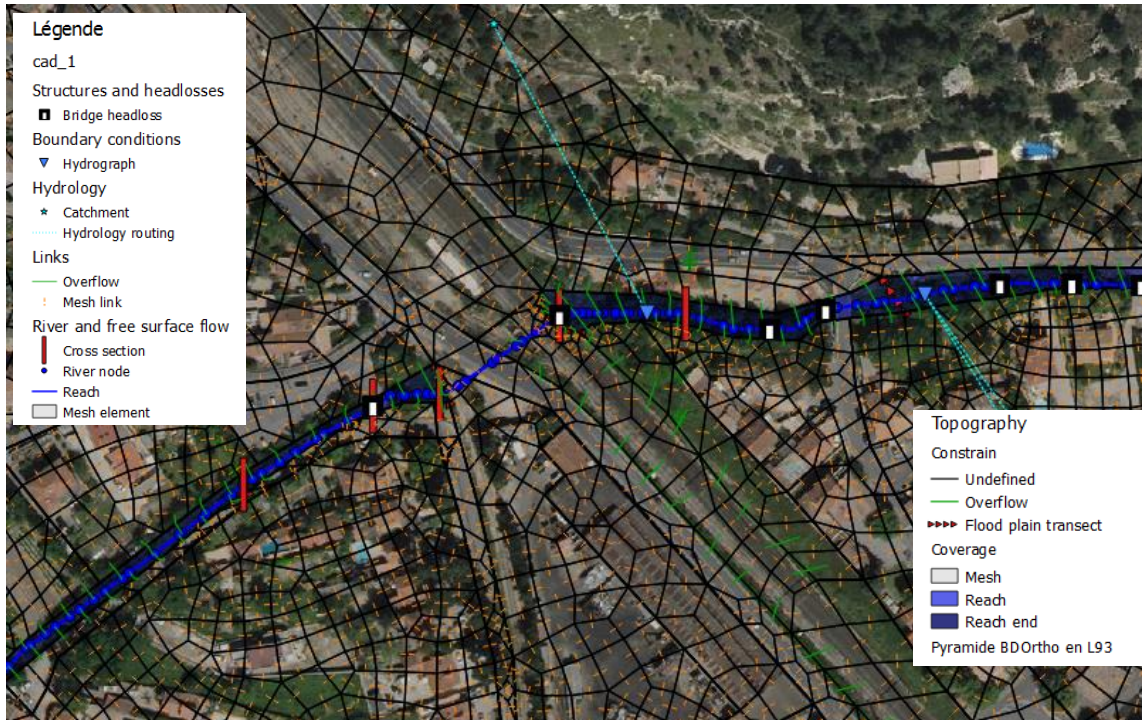


Figure 43 : Vue en plan de la modélisation du secteur Raumartin / SNCF

Afin de s'assurer des échanges et des écoulements nous avons également affiné le maillage de la voie SNCF et des routes qui la jouxtent en représentant une liaison surversante lorsque le terrain naturel représentait une rupture de pente. Pour ce faire nous avons réalisé une analyse fine du MNT en réalisant des profils en travers de la voie SNCF. La figure suivante représente la localisation des profils en travers de la voie SNCF.



Figure 44 : Représentation fine de la topographie et notamment des ruptures de pentes (lignes vertes) et localisation des profils en travers de la voie SNCF

L'analyse des profils en travers montre :

- La voie encaissée de PT1 à PT4
- Le point bas en rive gauche du Raumartin par lequel surverse sur la voie les débordements du Raumartin amont, vers PT2
- Le voie en remblai de PT5 à PT8
- Les ruptures de pentes, entraînant :
 - les écoulements vers le Nord Est au profil PT5
 - la séparation des écoulements sur la voie et les écoulements vers le nord Est PT 6 et PT7

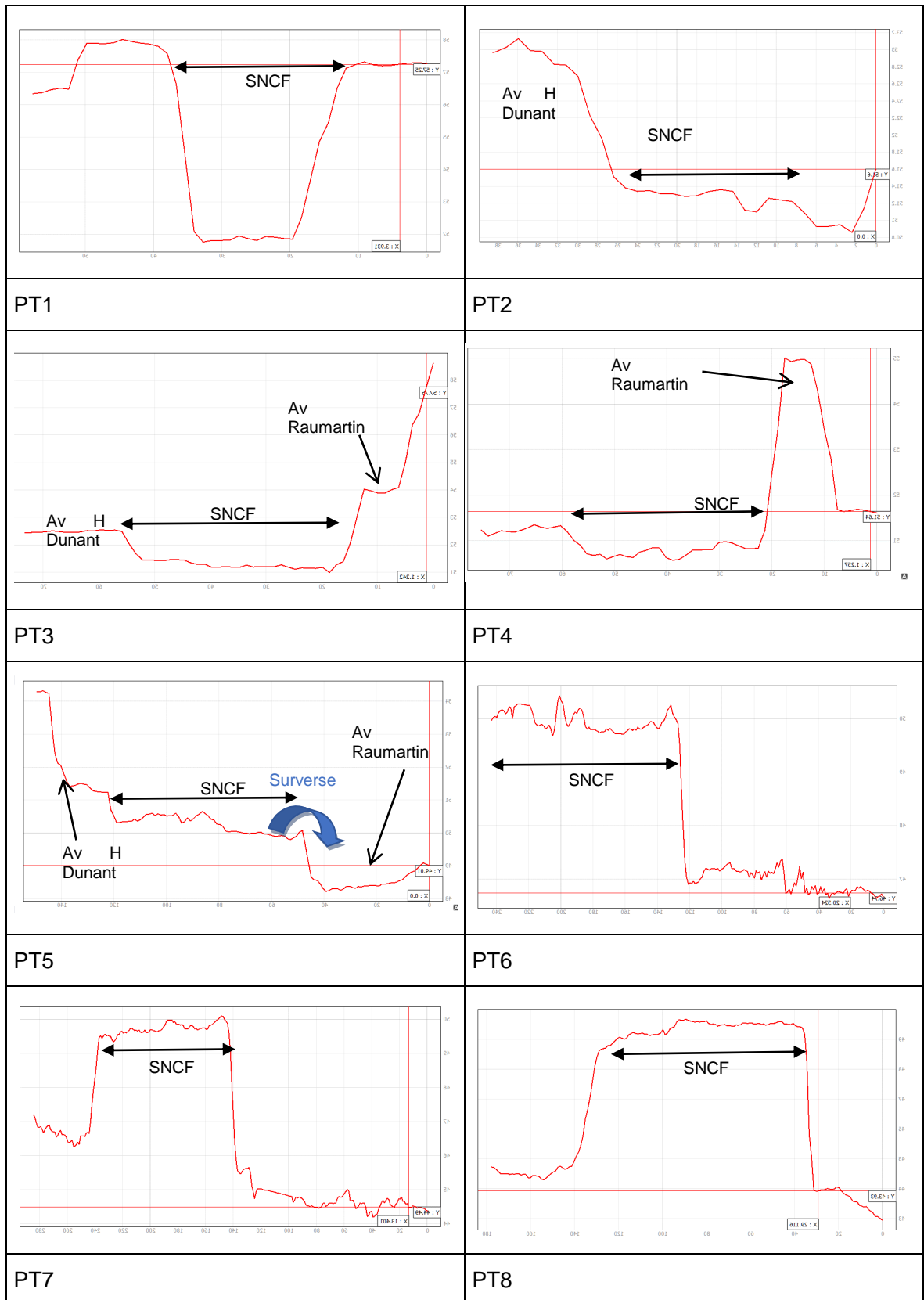


Figure 45 : Profils en travers de la voie SNCF entre le Raumartin et la Cadière (Est- ouest)

Pour la crue de 1993, le débit dans le lit mineur est de $34.9\text{m}^3/\text{s}$. Une partie surverse en rive gauche en amont de la traversée de la SNCF. Une partie surverse également sur l'ouvrage de la voie SNCF. Le voie étant encaissée, le débit maximal qui s'écoule sur la voie est de l'ordre de $0.5\text{m}^3/\text{s}$ en rive gauche et de $11.8\text{m}^3/\text{s}$ en rive droite. Ces débordements s'écoulent ensuite sur la voie vers le Nord. Lorsque l'encaissement de la voie disparaît les eaux surversent et s'écoulent dans la direction Nord Est avec un débit maximal de $10\text{m}^3/\text{s}$. Un débit de l'ordre de $0.5\text{m}^3/\text{s}$ surverse de la voie en prenant une direction Nord-Ouest. Ces deux axes d'écoulement rejoignent les débordements de la Cadière.

Le schéma suivant synthétise le fonctionnement hydraulique au droit de l'ouvrage SNCF.

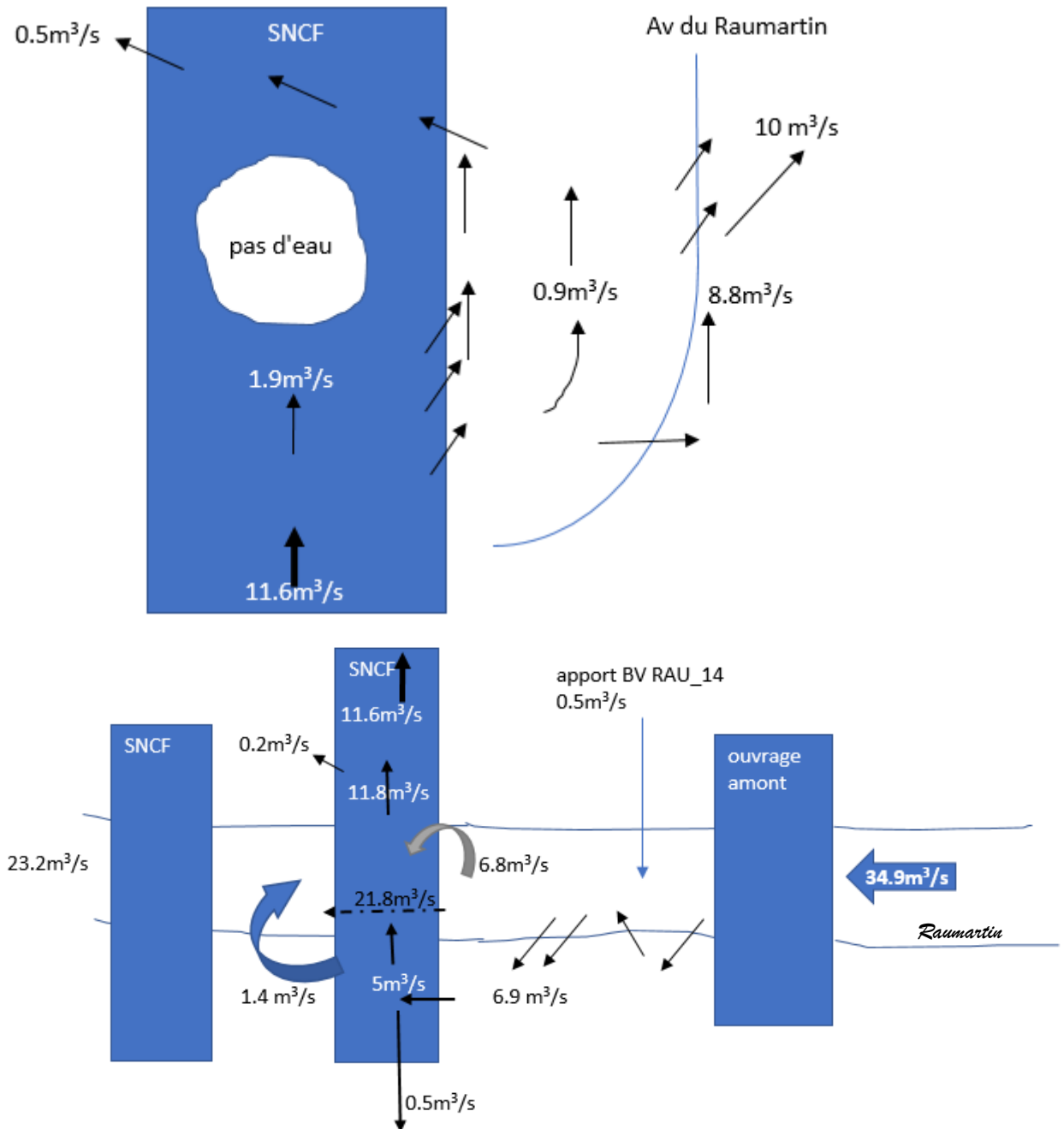


Figure 46 : Répartition des débits au niveau de l'ouvrage SNCF dans la traversée du Raumartin et des débordements entre le Raumartin et la Cadière

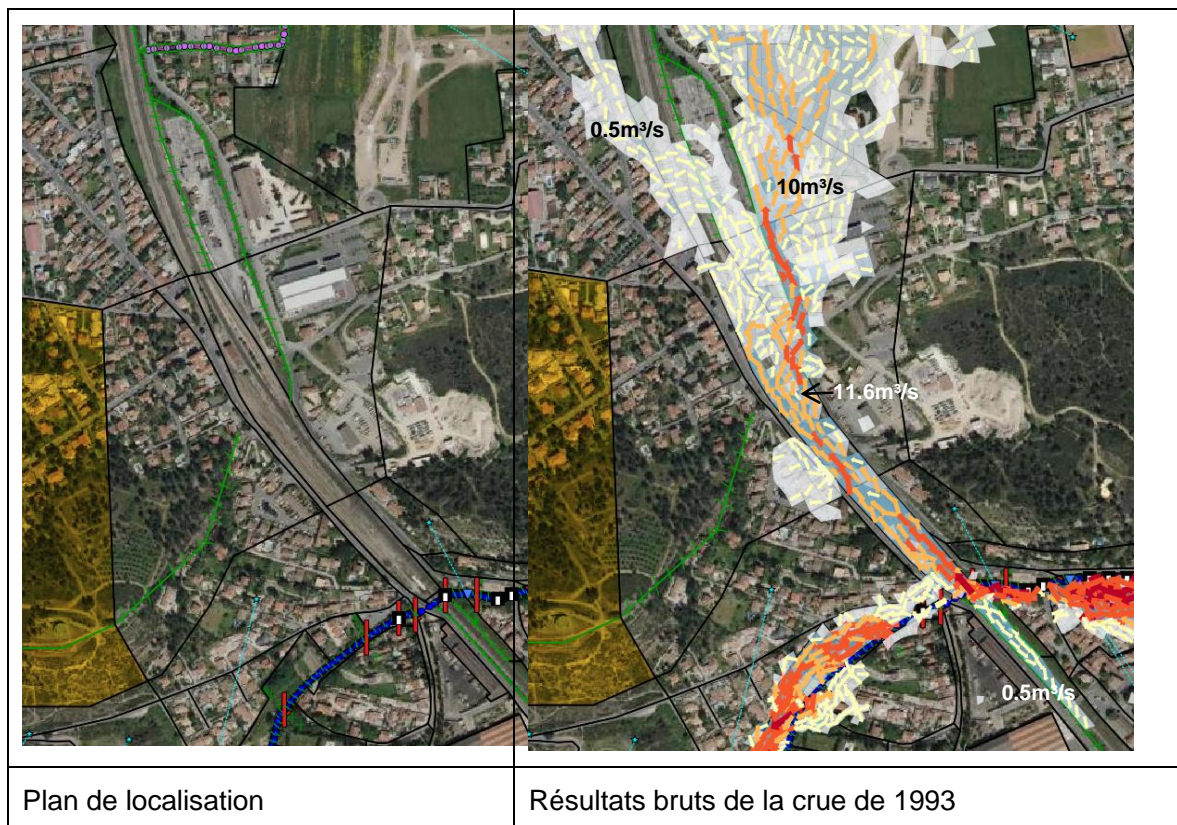
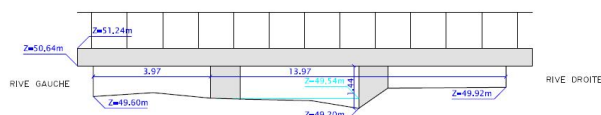
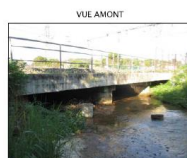


Figure 47 : Répartition synthétique des débits sur une vue ne plan

Les résultats de la modélisation montrent que l'ouvrage de traversée de la voie SNCF sur le Raumartin est un ouvrage limitant. C'est également ce qui ressort des rencontres avec les acteurs locaux. D'une section de 11.2m², avec une hauteur moyenne de l'ordre de 1m, la capacité de l'ouvrage n'excède pas 6m³/s avant la mise en charge.

La figure ci-dessous représente le levé topographique de l'ouvrage et l'ouvrage modélisé.

LE RAUMARTIN
Ouvrage de Franchissement OH_RM_25 (Amont)
07/04/2017



Dossier N° 1711511
ECHELLE 1/100

Figure 48 : Levé topographique de l'ouvrage SNCF sur le Raumartin

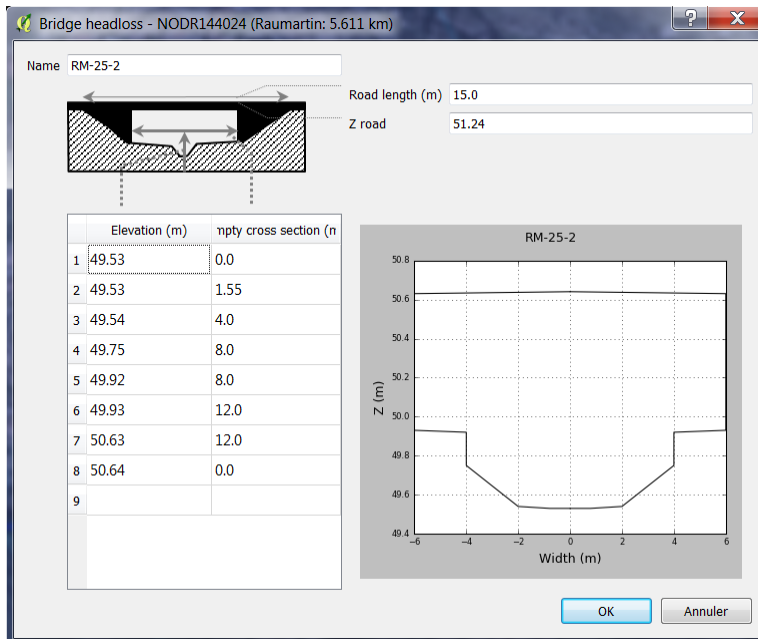


Figure 49 : Modélisation de l'ouvrage SNCF sur le Raumartin

En première approche, le débit hydrologique du Raumartin au droit de la voie SNCF peut être estimé pour la crue centennale à un débit de l'ordre de $31\text{m}^3/\text{s}$ pour une superficie de 16.7km^2 . En effet dans la bibliographie, le débit centennial du Raumartin a été estimé à $47\text{m}^3/\text{s}$ pour une superficie de 25.2km^2 , soit un débit spécifique de $1.87\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Le profil en long du Raumartin de la modélisation de la crue de 1993 est représenté sur la figure suivante :

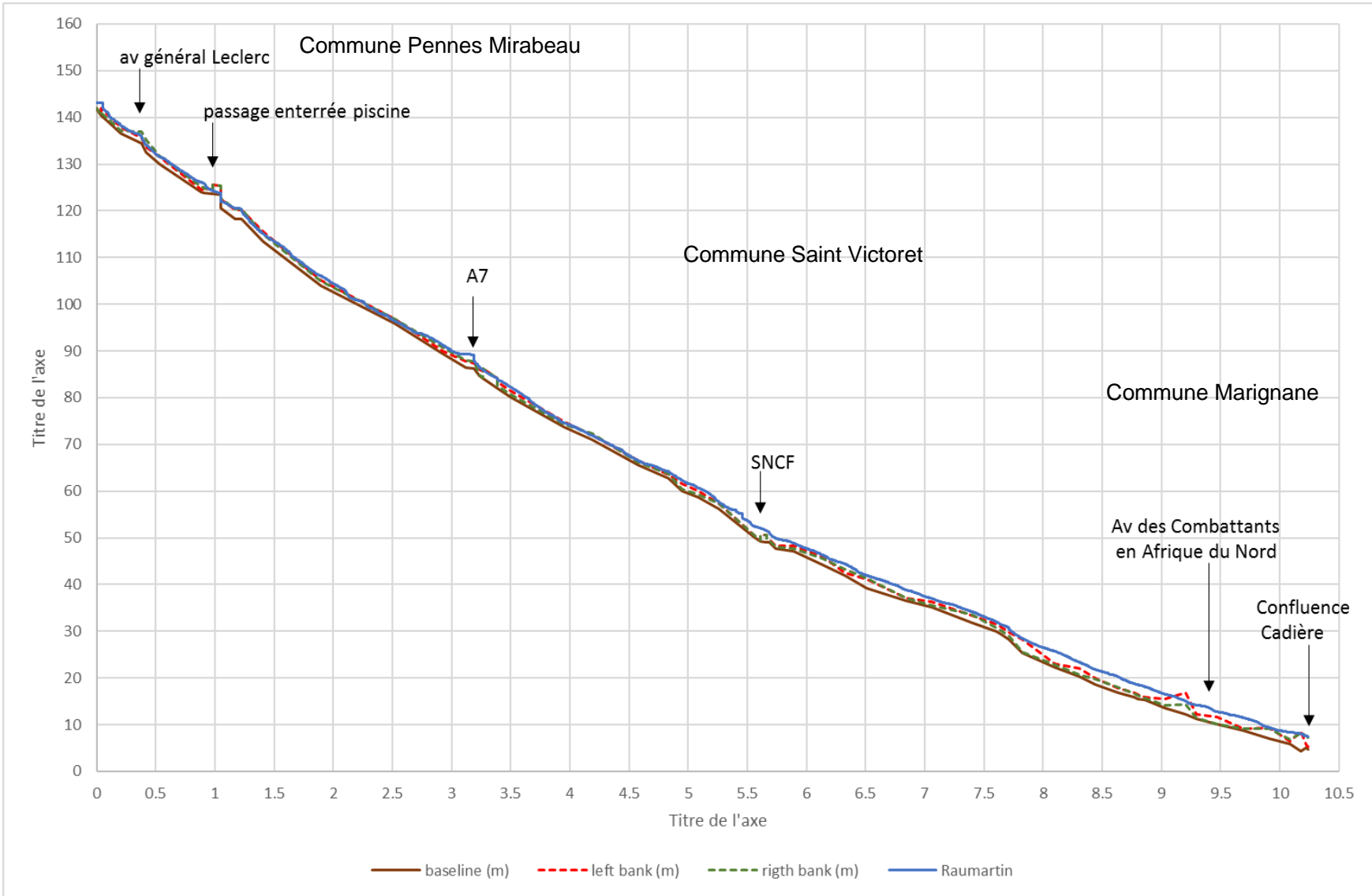
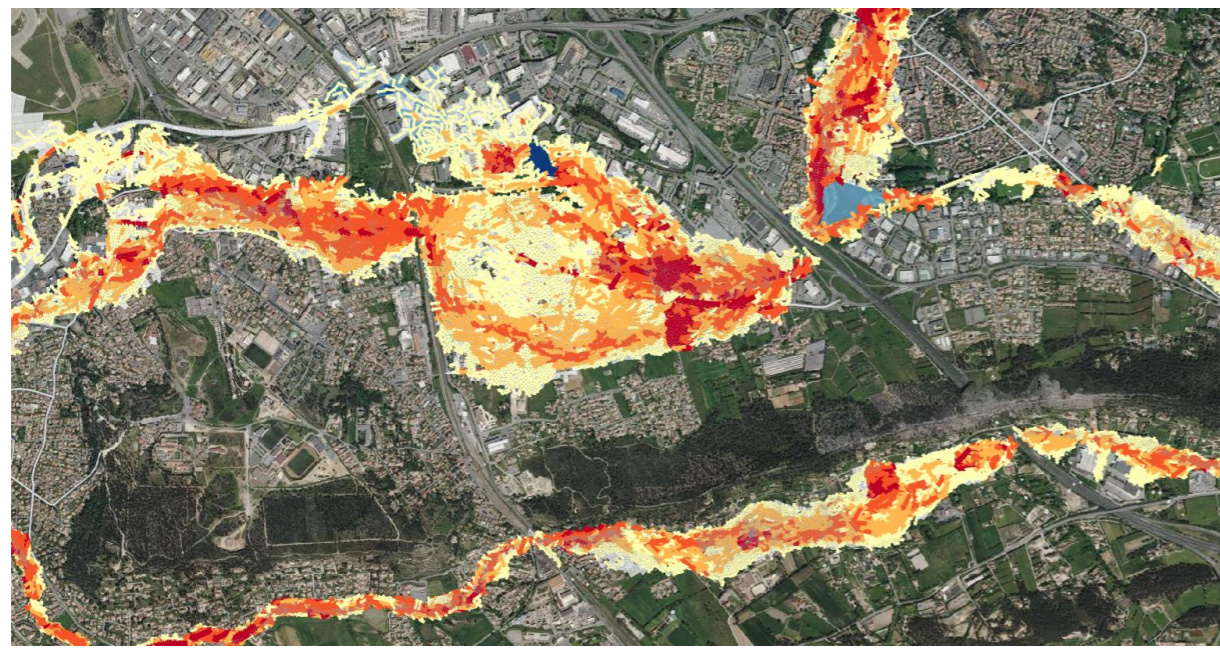


Figure 50 : Profil en long du Raumartin pour la crue de calage de 1993

Nous avons réalisé un test de modélisation afin de voir l'impact de la suppression des débordements sur la voie ferrée. Pour se faire nous avons supprimé les liaisons représentant les écoulements sur la voie ferrée.

Pour la crue de calage, les débordements en rive gauche surverse toujours sur la voie SNCF. Le débit qui transite par la partie couverte passe de 21.8 m³/s dans la modélisation initiale à 29.4m³/s. Un débit de l'ordre de 1.2m³/s s'écoule sur la voie vers le sud et stagne sans jamais retourner au cours d'eau.

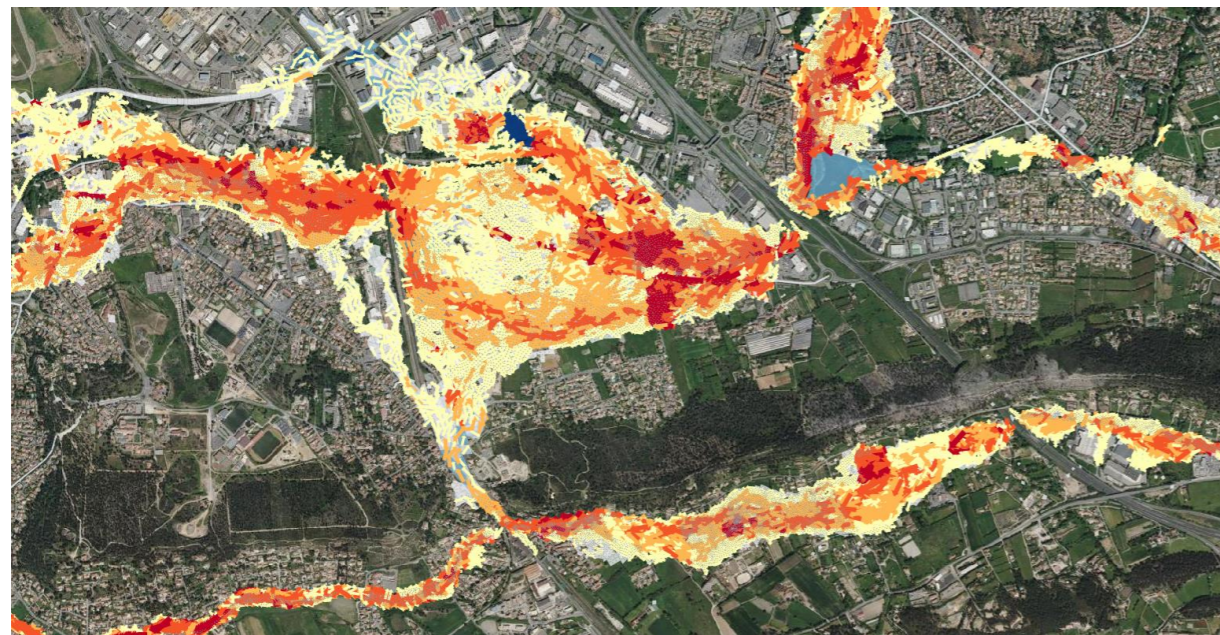
Les cartographies des vitesses et des hauteurs d'eau sont représentées dans la figure suivantes :



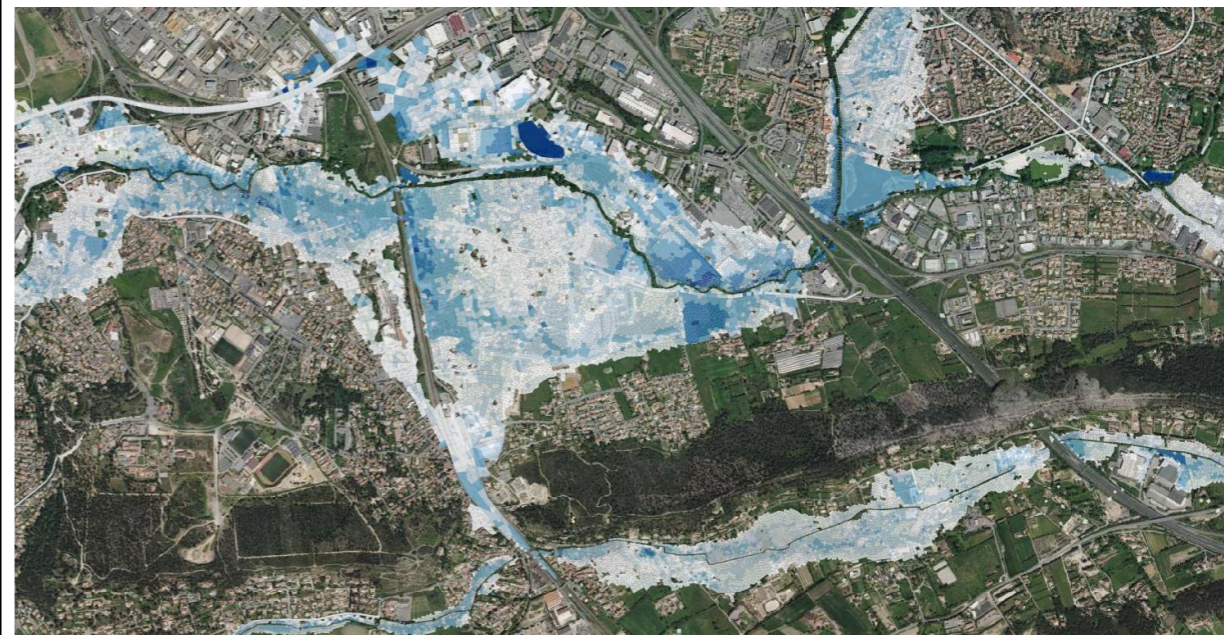
Résultat brut des vitesses sans débordement sur la voie ferré



Résultat brut des hauteurs d'eau sans débordement sur la voie ferré



Résultat brut des vitesses avec débordement sur la voie ferré (état initial)



Résultat brut des hauteurs d'eau avec débordement sur la voie ferré (état initial)

Figure 51 : Cartographies des résultats brut des 2 scénarii

La cartographie suivante localise l'impact sur les hauteurs d'eau entre le scénario débordement sur la voie SNCF et le scénario sans débordement.

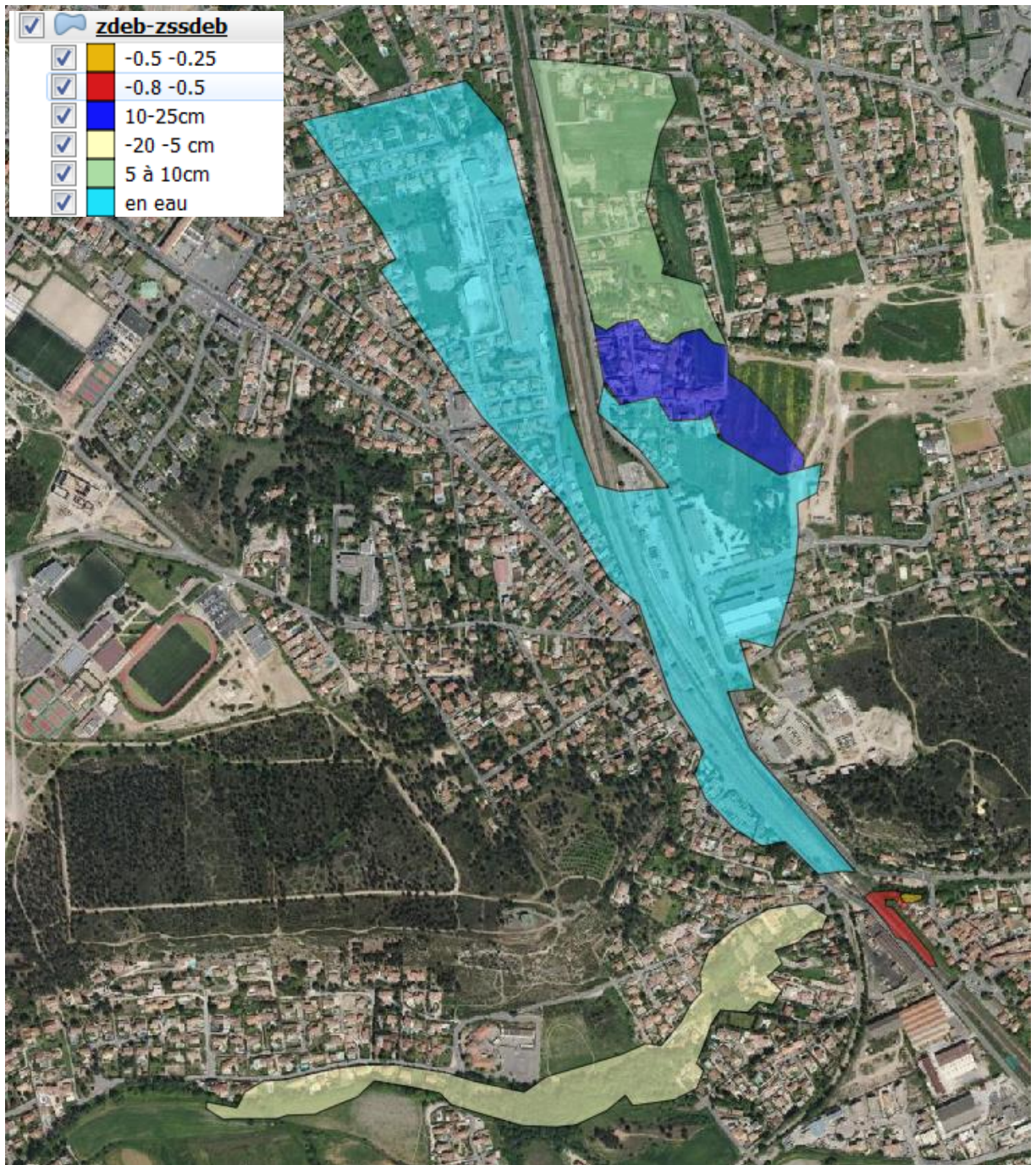


Figure 52 : Cartographie de l'impact de la suppression des débordements sur la voie ferrée

Les débordements sur la voie ferrée entraînent une augmentation des niveaux d'eau entre 5 cm et 25cm (secteur en vert et bleu foncé) le long de la voie ferrée, sur le secteur des Richauds.

Avec les débordements sur la voie ferrée, l'emprise de la zone inondable augmente créant 2 axes d'écoulement de part et d'autre de la voie ferrée en direction de la Cadière (secteur en bleu clair non inondé dans le scénario sans débordement de la voie SNCF).

Les débordements sur la voie ferrée engendrent une diminution des débordements le long du Raumartin :

- localement, en amont de la voie ferrée jusqu'à 80cm (secteur orange et rouge)
- en aval de la voie ferrée l'impact est compris entre 5 et 15cm (secteur en jaune) sur un linéaire de l'ordre de 1km.

5.2.13 La Raumartin entre la voie ferrée et Pas des Lanciers

Les débordements sont relativement limités en rive droite et en rive gauche. La largeur inondée est de l'ordre de 50m pouvant localement atteindre 70m en aval de la voie ferrée.



Figure 53 : Les débordements du Raumartin pour la crue de référence en aval de la voie ferrée

ANNEXE 1 : ATLAS CARTOGRAPHIQUE DE LA CRUE DECENNALE

**ANNEXE 2 : ATLAS CARTOGRAPHIQUE DE LA CRUE DE REFERENCE
(PLUIE D'AIX LES MILLES DU 22 SEPTEMBRE 1993)**

**ANNEXE 3 : ATLAS CARTOGRAPHIQUE DE LA CRUE
EXCEPTIONNELLE**

ANNEXE 4 : ATLAS CARTOGRAPHIQUE DE L'ALEA DE LA CRUE DE
REFERENCE