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 présentation

Commune de Marignane

45677 | Janvier 2020 | v.2

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 45677

Fichier : 45677_MarignaneV4.doc

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages (hors annexes)	Observations / Visa
1	01/08/2019	GFL	OVE	61	Création
2	03/01/2020	GFL	OVE	43 (hors annexes)	Corrections suite au mail du 6 octobre

SOMMAIRE

1 chapitre 1 – contexte et objet de l'étude 8

1.1 Contexte et objectifs de l'étude 8

1.2 Phasage de l'étude 9

1.3 Objet du rapport 9

1.4 Périmètre d'étude général 9

1.5 Zone d'étude : commune de Marignane 11

2 chapitre 2 – Généralites sur les inondations 12

2.1 Les conditions de formation d'une crue et d'une inondation 12

2.1.1 Définitions 12

2.1.2 Le processus conduisant aux crues et aux inondations 12

2.2 Les conséquences des inondations 13

2.3 Les facteurs aggravants 14

3 Chapitre 3 – Récoltes des données d'entrées 15

3.1 Méthodologie 15

3.2 Synthèses des données sur la commune de Marignane 15

4 Chapitre 4 – Analyse hydrologique 18

4.1 Démarche générale 18

4.2 Détermination des pluies de projets 18

4.2.1 Homogénéité spatiale des pluies extrêmes : abattement spatial 18

4.2.2 Hyétogrammes des pluies de projet de la crue de référence 19

4.2.3 Hyétogramme des pluies de projet de période de retour 10 ans 20

4.2.4 Hyétogramme des pluies de projet de période de retour 30 ans 21

4.2.5 Pluies de période de retour exceptionnelle 22

4.3 Construction du modèle hydrologique 23

4.3.1 Caractéristiques des sous-bassins versant 23

4.3.2 Propagation du débit 25

5 Chapitre 5 - Modélisation Hydraulique 26

5.1 Outils de modélisation 26

5.2 Modèle réalisé 26

5.3 Condition aux limites 28

5.3.1 Condition aux limites amont 28

5.3.2 Condition aux limite aval 28

5.4 Calage du modèle 28

5.4.1 Eléments de calages 28
5.4.2 Tests de sensibilité 31
5.5 Résultats des modélisations pour les crues de projet 31
5.5.1 Crues de projet 31
5.5.2 La crue de référence 32
5.5.3 Cartographie de l'aléa inondation 40
5.5.4 Différences observées avec les cartographies de l'aléa inondation existantes 41

ANNEXES

Annexe 1 : Cartographie des hauteurs et des vitesses de la crue de référence sur la commune de Marignane.....44

Annexe 2 : Cartographie de l'aléa inondation et emprise de la crue exceptionnelle 45

Annexe 3 : Cartographie comparative de l'aléa inondation avec les cartographie PPRi existant.....46

FIGURES

Figure 1 : Périmètre d'étude 10
Figure 2 : Périmètre d'étude- Zoom sur la commune 11
Figure 3 : Zones de dysfonctionnements sur Marignane secteur Lacanau et Vignes 16
Figure 4 : Zones de disfonctionnements sur Marignane secteur Général de Gaulle 17
Figure 5 : Extrait de la cartographie du PPri de Marignane sur la Cadière 17
Tableau 1 : coefficients d'abattement spatial en fonction de la durée intense par grands sous-bassin versant 19
Tableau 2 : Caractéristiques des pluies de projets centennales modélisées 19
Figure 6 : La pluie du 22 septembre 1993 d'Aix Les milles 20
Figure 7 : les pluies de projet double triangle de période de retour 100 ans avec différentes durées 20
Tableau 3 : Caractéristiques des pluies de projets décennales modélisées 21
Figure 8 : les pluies de projet double triangle de période de retour 10ans avec différentes durées 21
Tableau 4 : Caractéristiques des pluies de projets décennales modélisées 22
Figure 9 : les pluies de projet double triangle de période de retour 30ans avec différentes durées 22
Figure 10 : Découpage en sous bassin-versant et coefficient d'imperméabilisation 24
Figure 11 : Découpage en sous bassin-versant et coefficient d'imperméabilisation 24
Figure 12 : Emprise du modèle 27
Figure 13 : Synthèse des linéaires modélisés 27
Figure 14 : coefficient de ruissellement et temps de concentration à l'état actuel 30
Figure 15 : Bilan des volumes pour la crue de référence 33
Figure 16 : débits caractéristiques pour la crue de référence 33
Figure 17 : temps de propagation de la crue de référence 34
Figure 18 : Localisation des premiers débordements 35
Figure 19 : Localisation des premiers axes d'écoulements 36
Figure 20 : L'étalement des eaux jusqu'à la connexion des différents débordements 37
Figure 21 : l'emprise de la zone inondable au moment du pic de la crue de référence 38
Figure 22 : Les axes d'écoulement pendant la décrue 38
Figure 23 : Les débordements du Raumartin en aval de la voie ferrée 39
Figure 24 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de 1993 sur la partie aval de la Cadière 39
Figure 25 : limites de déplacements dans l'eau 40
Figure 26 : Grille aléa inondation 41
Tableau 5 : Tableau récapitulatif des données sources 43

1 CHAPITRE 1 – CONTEXTE ET OBJET DE L'ETUDE

1.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Le bassin versant de la Cadière s'étend depuis le plateau calcaire de l'Arbois jusqu'à l'étang de Berre sur une superficie de 73 km^2 (Il culmine à 250 m). Le réseau hydrographique est constitué des ruisseaux de la Cadière (12km), du Raumartin (10km) du Bondon (6km) et de la Marthe (3km). Depuis sa source dans les gorges karstiques de l'Infernet, les pentes sont soutenues avant d'arriver dans la plaine « littorale » ou cette dernière devient faible.

Ces cours d'eau ont un régime hydraulique méditerranéen caractérisé par des périodes de sécheresse intense et des épisodes orageux, très violents, à caractère torrentiel.

Ce petit bassin versant côtier qui traverse des zones très urbanisées sur sa partie aval, est soumis à des crues rapides pouvant impacter un grand nombre d'enjeux, tant humains que matériels.

Au cœur de plusieurs zones d'activités économiques majeures du département, favorisant l'expansion de sa démographie, il est primordial de connaitre le fonctionnement des cours d'eau en cas de crue, tant dans un objectif de prévention, que d'alerte et de gestion de crise.

La présente étude a donc pour objectifs la connaissance des aléas inondations sur la totalité du bassin versant, pour différentes occurrences de crues (des évènements fréquents aux évènements exceptionnels) : une attention toute particulière devra être portée à la définition de l'aléa de référence, l'évènement à prendre en compte dans les décisions d'aménagements.

1.2 PHASAGE DE L'ÉTUDE

Cette étude hydraulique comporte 4 phases :

- Phase 1 : Synthèse de la connaissance existante du risque inondation sur le bassin versant de la Cadière,
- Phase 2 : Besoins topographiques complémentaires,
- Phase 3 : Modélisation hydraulique,
- Phase 4 : Simulation des crues et cartographie des aléas – analyse qualitative

Le présent document traite des phases 1 et 2 de l'étude.

1.3 OBJET DU RAPPORT

L'objet de ce rapport est de présenter en synthèse l'ensemble des méthodes et résultats de cette étude avec un zoom sur la commune de Marignane. Ainsi il est présenté dans ce rapport :

- **Une présentation de la méthodologie mise en œuvre,**
- **Les données hydrologiques utilisées pour la modélisation,**
- **Les documents cartographiques relatifs à la zone à enjeux (cartographie de la crue de référence et de l'aléa).**

1.4 PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE GENERAL

Le périmètre d'étude couvre le bassin versant de la Cadière et ses affluents :

- Le Bondon, principal affluent de la rive droite de la Cadière, et son affluent le ravin d'Aix,
- Le Ravin de l'Infernet, alimenté par la source de l'Infernet
- Le Ruisseau de Marthe,
- Le Raumartin, affluent principal en rive gauche.

Les cours d'eau sont représentés dans la cartographie page suivante.

Ainsi les acteurs concernés sont :

- Le syndicat de la Cadière (SIARC)
- 5 communes : Marignane, Saint-Victoret, Vitrolles, Les Pennes Mirabeau et dans une moindre mesure Gignac-La-Nerthe.
- 2 Intercommunalités : le Conseil de territoire Marseille Provence et le Conseil de territoire d'Aix en Provence.

La cartographie suivante présente le bassin versant de la Cadière et du Raumartin avec le réseau hydrographique comprenant aussi bien axes d'écoulement naturels marqués (amont des bassins versant), les cours d'eau identifiés (Bondon, Raumartin, Cadière …) ou les axes d'écoulements préférentiels de surface comme sur le secteur du centre-ville de Vitrolles.

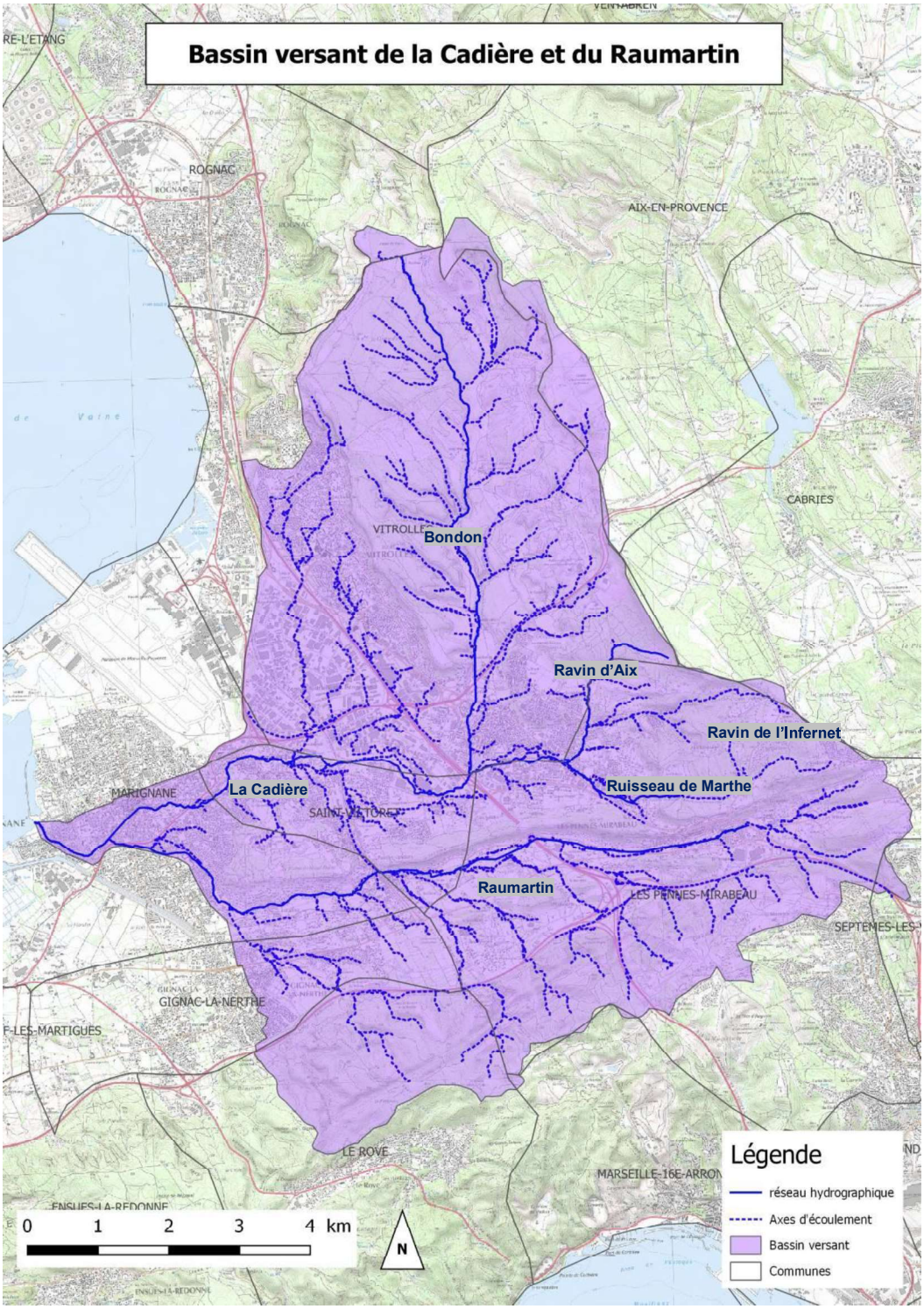

Figure 1 : Périmètre d'étude

1.5 ZONE D'ÉTUDE : COMMUNE DE MARIGNANE

La commune de Marignane se situe en partie aval du bassin versant de la Cadière et du Raumartin. Les cours d'eau traversent la commune de l'Est vers l'Ouest sur un secteur fortement anthropisée (nombreuses habitations et commerces).

Les cours d'eau modélisés dans le cadre de cette étude, sur le secteur de la Commune, sont :

- La Cadière,
- Le Raumartin.

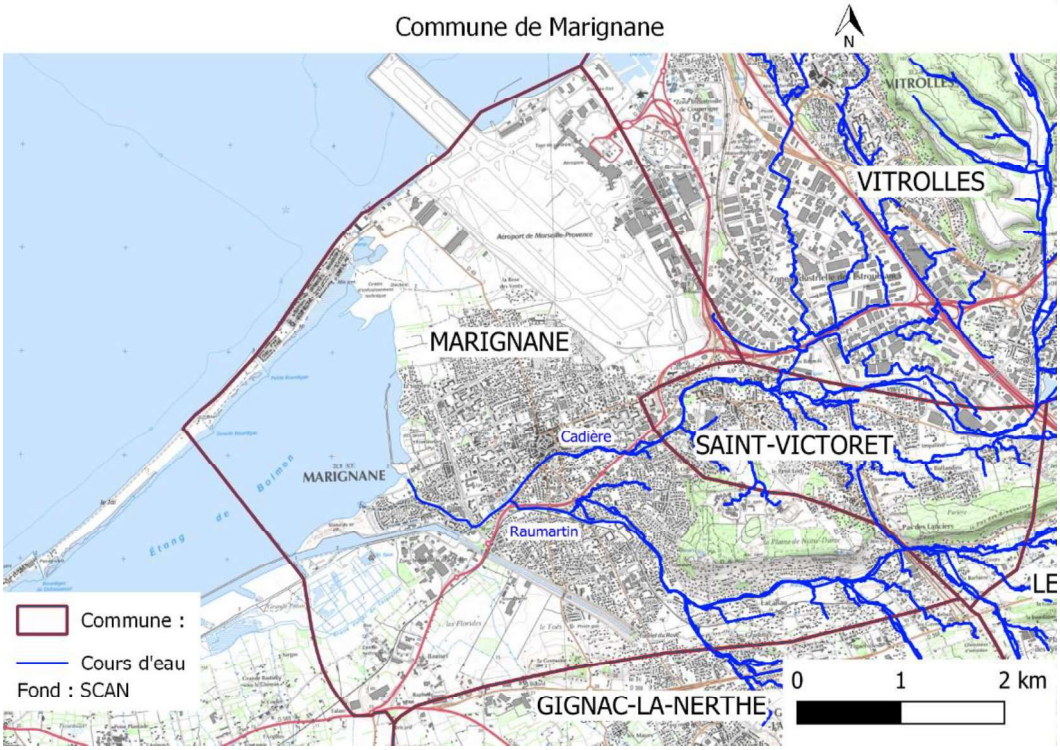

Figure 2 : Périmètre d'étude- Zoom sur la commune

2 CHAPITRE 2 – GENERALITES SUR LES INONDATIONS

2.1 LES CONDITIONS DE FORMATION D'UNE CRUE ET D'UNE INONDATION

2.1.1 Définitions

Une crue correspond à une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau au-delà d'un certain seuil auquel toute analyse doit faire référence. Elle est décrite à partir de plusieurs paramètres, dont le débit et la fréquence. Les paramètres secondaires tels que la vitesse, la hauteur, la durée de submersion peuvent également caractériser la crue. En fonction de son intensité, la crue peut être contenue dans le lit mineur au contraire s'épandre dans son lit majeur.

Une inondation désigne un recouvrement d'eau qui déborde du lit mineur ou qui afflue dans les thalwegs ou les dépressions. En ce sens, les inondations couvrent les phénomènes suivants : débordements directs ou non des cours d'eau, remontées de nappe, ruissellement urbain, inondations par rupture d'ouvrages de protection, ou encore inondations estuariennes résultant de la conjonction de fortes marées, de situation dépressionnaire, et de crues.

Cette étude traite uniquement des inondations par débordement de cours d'eau, et plus précisément sur la commune de Marignane des débordements de la Cadière et du Raumartin.

2.1.2 Le processus conduisant aux crues et aux inondations

La compréhension du processus conduisant aux crues et aux inondations nécessite la connaissance de nombreux facteurs tels que :

- **L'eau mobilisable** : par les pluies ou par la rupture par exemple de digues de fermeture de barrages. Concernant les pluies, l'analyse des quantités d'eau qui provoquent les crues nécessite une connaissance fine du bassin versant et de sa réaction vis-à-vis d'événements plus ou moins étendus spatialement et de durées différentes. Les courts orages affecteront principalement des petits bassins versants urbains, tandis que les précipitations générées lors de longues pluies pourront concerner des bassins versants de plus grande étendue.
- **Le ruissellement** : dépend de la nature du sol et de sa couverture de surface. Le ruissellement concerne la fraction de pluie qui n'est retenue ni par le couvert végétal ni par le micro relief de surface (flaques d'eau par exemple), qui n'est pas évaporée, et qui n'est pas définitivement infiltrée dans le sol. En particulier, l'imperméabilisation des sols a un effet prépondérant dans la formation des crues puisqu'aucune rétention ou infiltration n'est possible.
- **Le temps de concentration** : c'est la durée qu'une goutte d'eau nécessite pour parcourir le plus long chemin hydraulique du bassin versant (entre la pointe du bassin versant et l'exutoire). Ce temps est fonction de la taille du bassin versant, mais également de sa forme, de sa pente, de sa couverture. Il peut notamment

évoluer sensiblement en fonction des différents travaux de drainage mais surtout en fonction de l'imperméabilisation.

- **La propagation de la crue** : les particules d'eau ruissellent et s'accumulent à mesure de leur descente le long des thalwegs, formant des écoulements concentrés le long des axes de ruissellement et des cours d'eau. La propagation des crues est fortement conditionnée par la présence ou non de zones d'expansion (zones larges, rapidement inondables, présentant de faibles pentes). Les cours d'eau dépourvus de zones d'expansion (soit naturellement dans le cas de torrents, soit à cause de remblais incontrôlés des lits majeurs), sont les plus exposés aux crues violentes et rapides.
- **Le débordement** : est consécutif à la propagation d'un débit supérieur à celui que peut accepter le lit mineur. Les débordements du lit mineur sont bénéfiques aux milieux naturels et permettent de réduire la propagation des crues en aval. Ils sont en revanche source de risques pour les biens et vies humaines.

2.2 LES CONSÉQUENCES DES INONDATIONS

Elles affectent les personnes, les communications, les biens et les activités, mais aussi les milieux naturels. Elles se traduisent principalement par :

- **La mise en danger des personnes** : survient surtout lorsque les habitations sont dans des zones soumises à forts aléas. En effet, la taille des bassins versants concernés par la zone d'étude rendent difficile les préalertes et les opérations d'évacuation et de secours du fait des temps de concentration courts des bassins versants. Le danger se traduit principalement par le risque d'être emporté et par la suite noyé, en raison de la vitesse et de la hauteur des écoulements, dont les niveaux peuvent largement dépasser les seuils de maintien de personnes en position debout.
- **L'interruption des communications :** Elles se traduisent par la submersion ou coupures de routes qui interdisent tout accès, mais également rupture de conduites, de réseaux aériens ou enterrés (électricité, téléphone …), qui ne permettent pas le bon fonctionnement des opérations de secours, lorsqu'ils existent.
- **Les dommages aux biens et aux activités :** les dommages revêtent de multiples formes. Ils touchent les biens immobiliers dans des proportions plus ou moins importantes qui vont de la simple mise au contact avec l'eau, jusqu'à la destruction complète, avec emportement et conséquence indirectes sur l'inondabilité en aval par création d'embâcles. Les dommages mobiliers sont néanmoins les plus fréquents principalement dans les rez-de-chaussée et sous-sols. Les dommages se manifestent également plus ou moins directement sur les activités, par dégâts sur le matériel mais également arrêt de l'activité ou dégradation de ses conditions.
- **L'érosion et les dépôts de matériaux, le déplacement du lit ordinaire :** Les crues impliquent des phénomènes d'érosion, de transport de matériaux solides, d'alluvionnement… Elles participent ainsi à l'évolution du milieu naturel, que ce soit positif ou négatif, positif pour le milieu naturel en général et négatif pour les activités (pertes de surface de terrain cultivés par exemple ou érosion du terrain d'assiette de construction).

2.3 LES FACTEURS AGGRAVANTS

Ils sont souvent dus à l'activité humaine et correspondent essentiellement à :

- **La concentration des personnes et l'accumulation des biens dans le champ d'inondation** : l'implantation de l'activité humaine aux abords des cours d'eau et l'implantation de biens sensibles à l'eau sont les principales causes de l'aggravation du risque. Elles sont d'autant plus redoutables que l'urbanisation initiale aux bords des cours d'eau s'est développée rapidement et qu'elle appelle de plus en plus des équipements de proximité pour satisfaire la population.
- Par ailleurs, **la notion de risque est facilement oubliée** puis occultée par la population d'autant plus dans le bassin versant de la Cadière et du Raumartin où il n'y a pas eu de fortes crues depuis longtemps.
- **La défaillance des dispositifs de protection** : Paradoxalement, le rôle des dispositifs de protection contre les crues est souvent limité. Cela est d'autant plus vrai dans les zones où les ouvrages en question sont principalement les digues de protection, dont le comportement est largement dépendant de leur conception mais également de leur entretien. Par ailleurs, en cas de rupture, le phénomène d'onde de crue générée peut se révéler plus dangereux qu'un débordement naturel et progressif.
- **Le transport et le dépôt de produits indésirables** : les écoulements de crues peuvent mobiliser et répandre en aval des produits dangereux et toxiques. Ce risque est davantage présent dans les zones urbaines et en particulier industrielles, souvent situées en zones à risques d'inondations.
- **La formation et la rupture d'embâcles** : les matériaux flottants transportés par les écoulements (végétaux, tôles, fûts, voitures …) s'accumulent en amont des passages à section réduite (ponts en particulier) et s'y enchevêtrent au point de former un barrage d'embâcles. Les niveaux d'eau sont dans un premier temps augmentés en amont et le risque le plus important est la rupture de ce barrage qui peut provoquer une onde de crue plus importante avec un effet surprise très dommageable.
- **La surélévation de l'eau en amont des obstacles** : du fait des obstacles naturels ou non le long des cours d'eau, les niveaux d'eau sont exhaussés en amont, d'autant plus si la réduction de section est importante, c'est le cas général des ponts. Un autre phénomène à ne pas négliger est la recharge successive en enrobés de routes qui constituent ainsi des barrages et rendent d'autant plus vulnérables les habitations situées en amont immédiat.

3 CHAPITRE 3 – RECOLTES DES DONNEES D'ENTREES

3.1 METHODOLOGIE

Afin de connaître et de comprendre le fonctionnement du secteur d'étude, la première étape a été de récolter des données existantes par :

- La rencontre des différents acteurs du territoire, jouant un rôle dans la gestion du risque inondation avec notamment : Le syndicat de la Cadière qui apporte une bonne vision des problématiques inondation sur l'ensemble du bassin versant,
    - La commune de Vitrolles qui a réalisé récemment, dans le cadre de son PLU, le schéma directeur des eaux pluviales et la détermination de l'aléa inondation du Bondon et du Ravin d'Aix sur la commune.
    - La commune de Saint-Victoret qui apporte sa connaissance du risque sur leur commune en lien avec les projets d'urbanisation,
    - La commune des Pennes Mirabeau, qui apporte sa connaissance du terrain et du fonctionnement amont du Raumartin (Merlançon).
    - La commune de Marignane, qui apporte sa connaissance du risque inondation en lien avec les projets d'urbanisation mais également son retour d'expérience sur la crue de 2005.

Ces rencontres ont permis :

- D'avoir un retour d'expérience sur les événements qui se sont produits afin de comprendre le fonctionnement hydrodynamique des événements,
- De prendre connaissance des documents existants (études, plan, carte…), du réseau eaux pluviales et de sa gestion et des principaux dysfonctionnements hydrauliques de chaque commune.

- L'expertise de terrain afin d'avoir une vision d'ensemble du bassin versant avec ses spécificités et ses dysfonctionnements.
- L'analyse critique des documents recueillis afin de rechercher des éléments sur : la topographie (identification des besoins complémentaires), les crues historiques (PHEc), le risque inondation (données anciennes et hétérogènes : cartographie de zone inondables, PPRi existants), les données hydrologiques (très hétérogènes sur le secteurs d'études).

3.2 SYNTHESES DES DONNEES SUR LA COMMUNE DE MARIGNANE

Marignane est située à l'ouest du secteur d'étude en bordure de l'Etang de Berre et de l'Etang de Bolmon et sur la confluence de la Cadière et du Raumartin. Sa topographie est donc plutôt plane (Plaine Notre Dame).

Marignane compte aujourd'hui environ 35 000 habitants sur 2 320 hectares.

La commune de Marignane présente la particularité géographique d'être située à l'extrémité d'un bassin versant, ainsi les cours d'eau sont les exutoires du réseau d'eaux pluviales qui collecte les eaux de ruissellement de Marignane et de quelques communes limitrophes, notamment les communes de Saint-Victoret et Gignac-la-Nerthe.

D'un point de vue pluvial, les gestionnaires du réseau constatent une mise en charge rapide des réseaux mais les débordements sont peu fréquents.

Concernant les systèmes de rétention, la politique de la commune, au travers du POS incite autant que possible à une rétention des eaux pluviales à la parcelle.

La commune de Marignane est dotée de 4 ouvrages principaux de rétention des eaux de ruissellement. Aucun dysfonctionnement majeur lié à ces bassins n'a été relevé.

La commune dispose d'un plan du réseau eaux pluviales mis à jour en 2011 qui couvre l'ensemble du réseau enterré et les canaux d'irrigation.

Certains secteurs font l'objet de disfonctionnement :

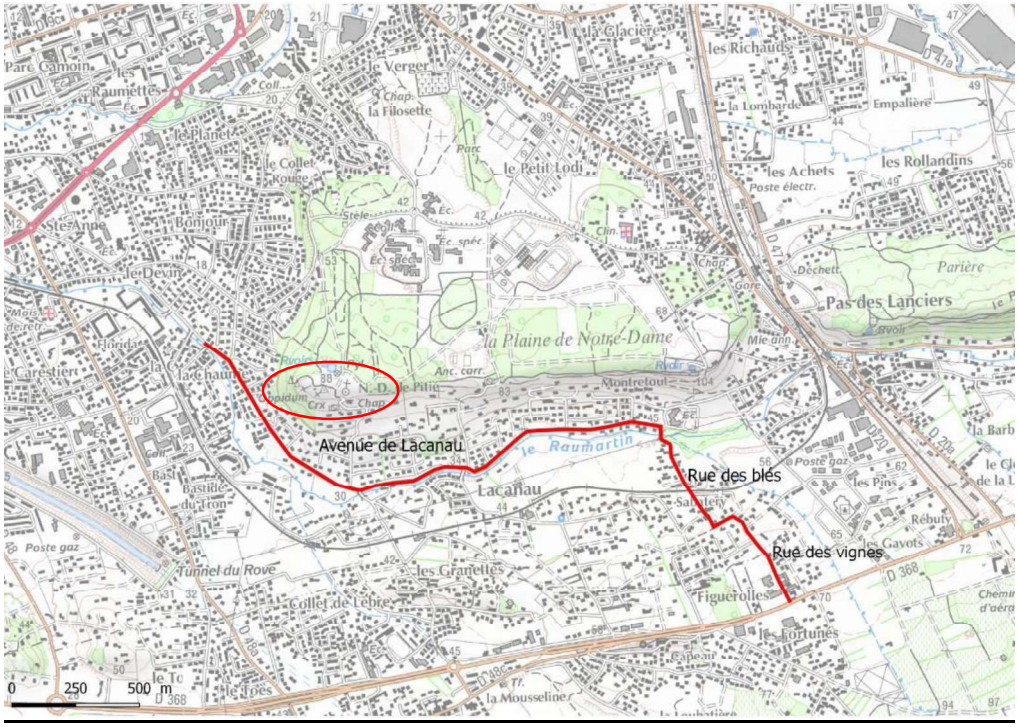

Figure 3 : Zones de dysfonctionnements sur Marignane secteur Lacanau et Vignes

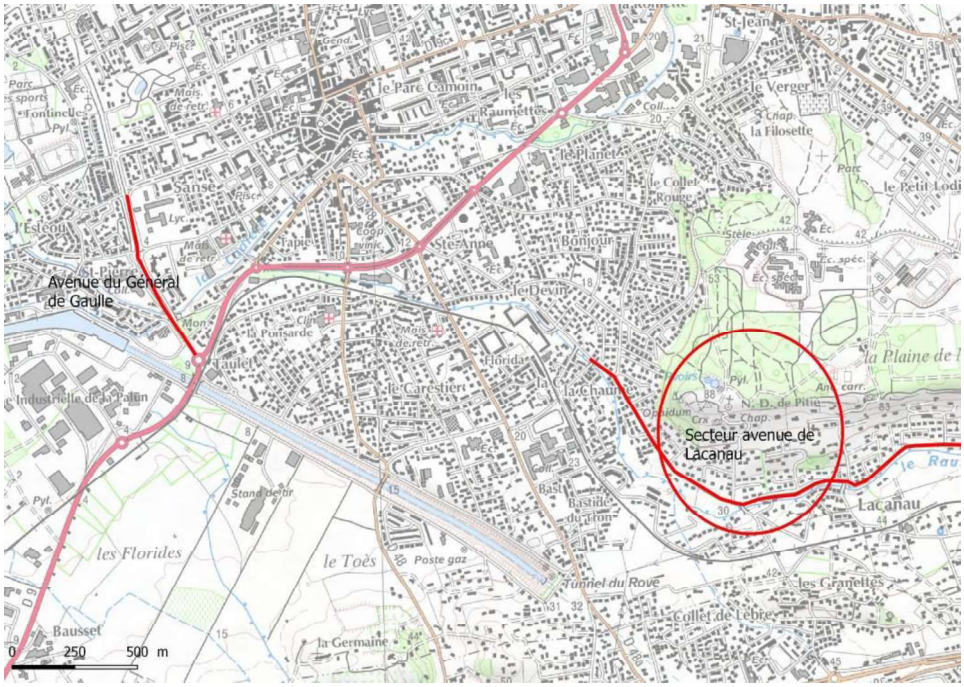

Figure 4 : Zones de disfonctionnements sur Marignane secteur Général de Gaulle

Concernant le risque inondation, une première délimitation des zones inondables de la Cadière et du Raumartin a été réalisée en 1996 sur la commune de Marignane. Dans le schéma directeur pluvial communautaire en 1999 il a été réalisé des cartes d'aléa centennal. Enfin le plan de prévention des risques inondation est réalisé en 2000.

Le premier schéma des eaux pluviales réalisé en 1999 a été mis à jour en 2010. Sa traduction réglementaire en zonage pluvial a été réalisé en 2014.

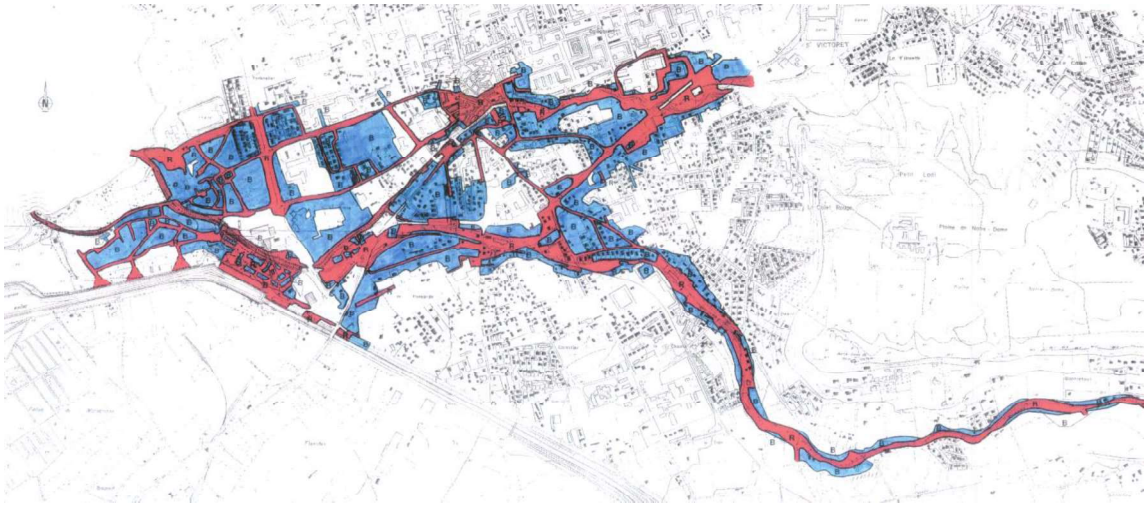

Figure 5 : Extrait de la cartographie du PPri de Marignane sur la Cadière

4 CHAPITRE 4 – ANALYSE HYDROLOGIQUE

4.1 DÉMARCHE GÉNÉRALE

L'analyse hydrologique s'appuie d'une part sur la connaissance des événements historiques à travers une étude détaillée des mesures disponibles et d'autre part sur l'exploitation d'un modèle hydrologique pluie-débit couplé aux modèles hydrauliques mis en œuvre pour la caractérisation de l'aléa inondation.

L'analyse statistique des données pluviométriques et hydrométriques disponibles permet de quantifier les débits de pointe et volumes écoulés pour différentes périodes de retour au droit des stations de mesure.

Le modèle hydrologique permet de définir les hydrogrammes injectés dans les modèles hydrauliques qui en assurent le routage vers l'aval. Il tient compte des caractéristiques physiques des sous-bassins versants, et notamment de l'imperméabilisation liée à l'urbanisation qui tend à augmenter le ruissellement et les volumes écoulés vers les cours d'eau.

La méthode proposée s'inscrit dans une approche générale développée par Hydratec, applicable à tout système hydrologique complexe, dont les épisodes exceptionnels sont influencés par des combinaisons variées de facteurs physiques hétérogènes (ici la structure des pluies et la localisation spatiale de leurs épicentres notamment). Sa bonne application nécessite une caractérisation précise de ces facteurs et de leur interaction, ainsi qu'une modélisation adéquate du fonctionnement hydrologique et hydraulique du système.

Pour cette étude, le calage du modèle hydrologique a été réalisé conjointement au calage du modèle hydraulique.

4.2 DETERMINATION DES PLUIES DE PROJETS

4.2.1 Homogénéité spatiale des pluies extrêmes : abattement spatial

Une possibilité est d'appliquer de façon homogène sur l'ensemble du bassin versant la lame d'eau ponctuelle issue des données du poste météo choisi : en d'autres termes, la lame d'eau moyenne sur le bassin versant est prise partout égale à la lame d'eau issue des mesures ponctuelles.

Or, il est probable que cette méthodologie aboutisse à des débits totaux de période de retour supérieure à 100 ans.

Afin de tenir compte de cette hétérogénéité, on introduit la notion de **coefficient d'abattement spatial.**

Hydratec a effectué une recherche bibliographique sur les travaux de recherche s'étant intéressés à cette notion d'abattement spatial dans le contexte méditerranéen. Parmi ces travaux, une étude paraît particulièrement pertinente : il s'agit de l'étude « **Coefficient d'abattement spatial des pluies en région méditerranéenne adaptés aux petits bassins versants, Rapport de synthèse, Cereve, Gaume et al., février 2001 ».**

L'analyse des grands sous-bassins versant, conduit aux coefficients suivants :

			Coeffcient abattement		
			Durée intense (heure)		
BV	Surface (km²)	Formule	0.5	1	1.5
Raumartin	27.145	2	0.8	0.8	0.8
Bondon	17.5	2	0.8	0.9	0.9
Ravin d'Aix	2.74	2	0.9	0.9	1.0
Cadière (à la confluence avec le Raumartin)	46.9	1	0.8	0.8	0.8
Cadière à la station hydro	72.4	1	0.7	0.8	0.8

Tableau 1 : coefficients d'abattement spatial en fonction de la durée intense par grands sous-bassin versant

Le coefficient d'abattement moyen quel que soit la durée intense est de 0.8, comparable au coefficient d'abattement appliqué dans l'étude des Aygalades.

C'est cette hypothèse qui sera appliquée pour la suite des calculs hydrologiques dans l'application des pluies de projets reconstituées.

4.2.2 Hyétogrammes des pluies de projet de la crue de référence

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 (avec application de l'abattement spatial de facteur 0.8), 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*
min	***min***	*mm*	*mm*	*mm/h*
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 2 : Caractéristiques des pluies de projets centennales modélisées

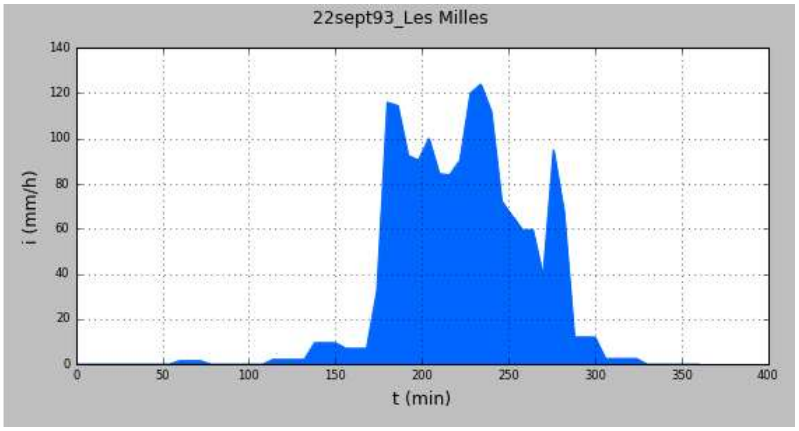

Figure 6 : La pluie du 22 septembre 1993 d'Aix Les milles

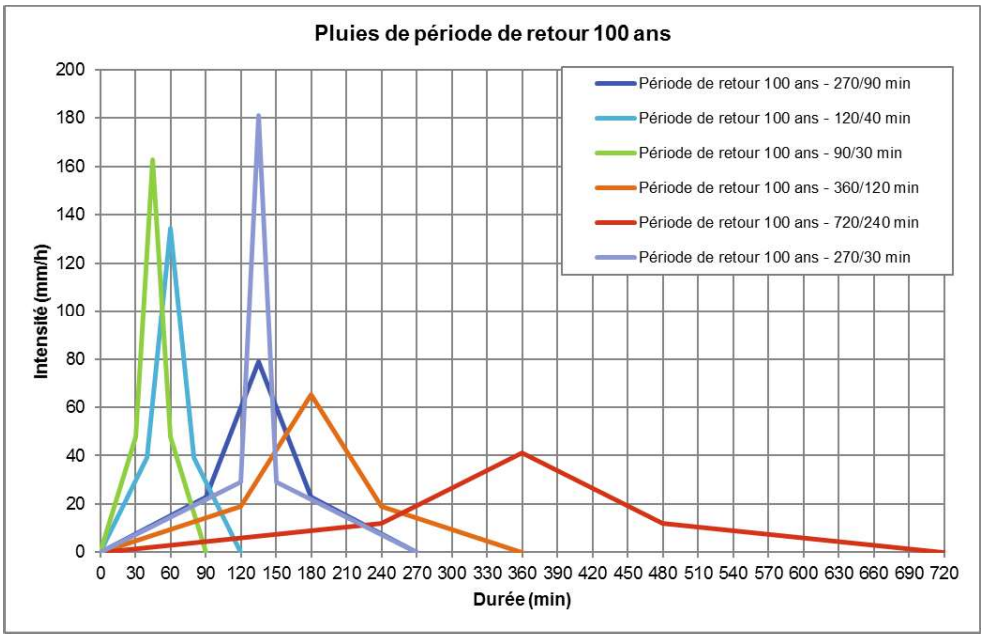

Figure 7 : les pluies de projet double triangle de période de retour 100 ans avec différentes durées

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

4.2.3 Hyétogramme des pluies de projet de période 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		
Durée totale	*Durée intense*	*Lame d'eau totale*	*Lame d'eau intense*	*Intensité maximale*
min	***min***	*mm*	*mm*	*mm/h*
360	**120**	61	43	34
270	**90**	56	39	41
120	**40**	43	30	72
90	**30**	39	28	88

Tableau 3 : Caractéristiques des pluies de projets décennales modélisées

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

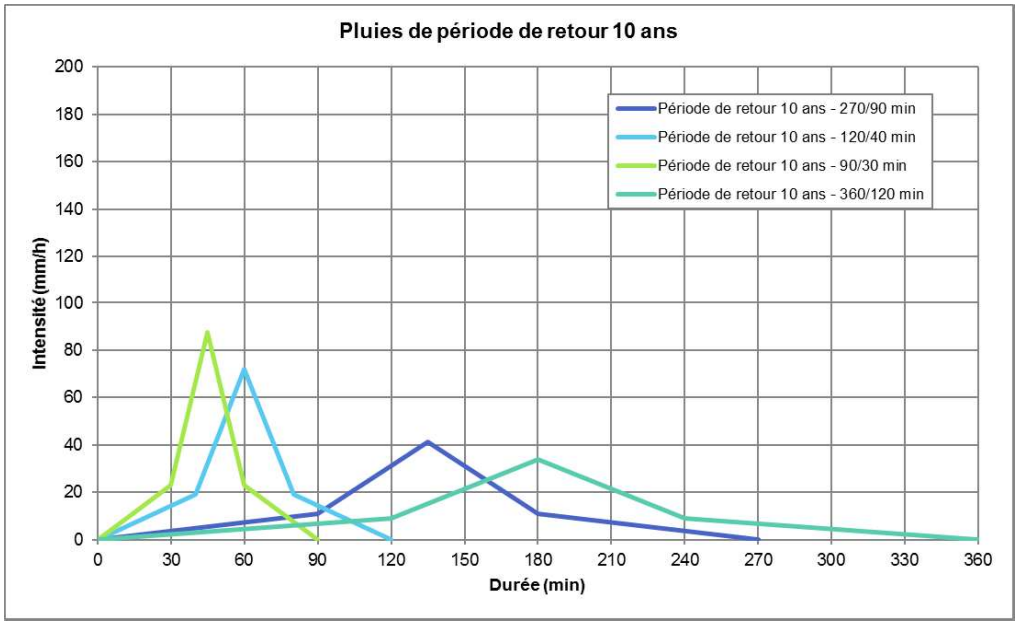

Figure 8 : les pluies de projet double triangle de période de retour 10ans avec différentes durées

4.2.4 Hyétogramme des pluies de projet de période de retour 30 ans

Une modélisation supplémentaire a été réalisée sur la pluie de période de retour 30 ans. La simulation de plusieurs durées et intensités de pluie a été réalisée afin de déterminer l'enveloppe maximale de l'ensemble des pluies testées.

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

		Période de retour (ans)		
		30		
Durée totale	*Durée intense*	*Lame d'eau totale*	*Lame d'eau intense*	*Intensité maximale*
min	***min***	*mm*	*mm*	*mm/h*
360	**120**	85	60	47
270	**90**	78	54	57
120	**40**	60	42	98
90	**30**	54	38	119

Tableau 4 : Caractéristiques des pluies de projets décennales modélisées

Les pluies double triangle de période de retour 30 ans sont reprises dans le graphique suivant.

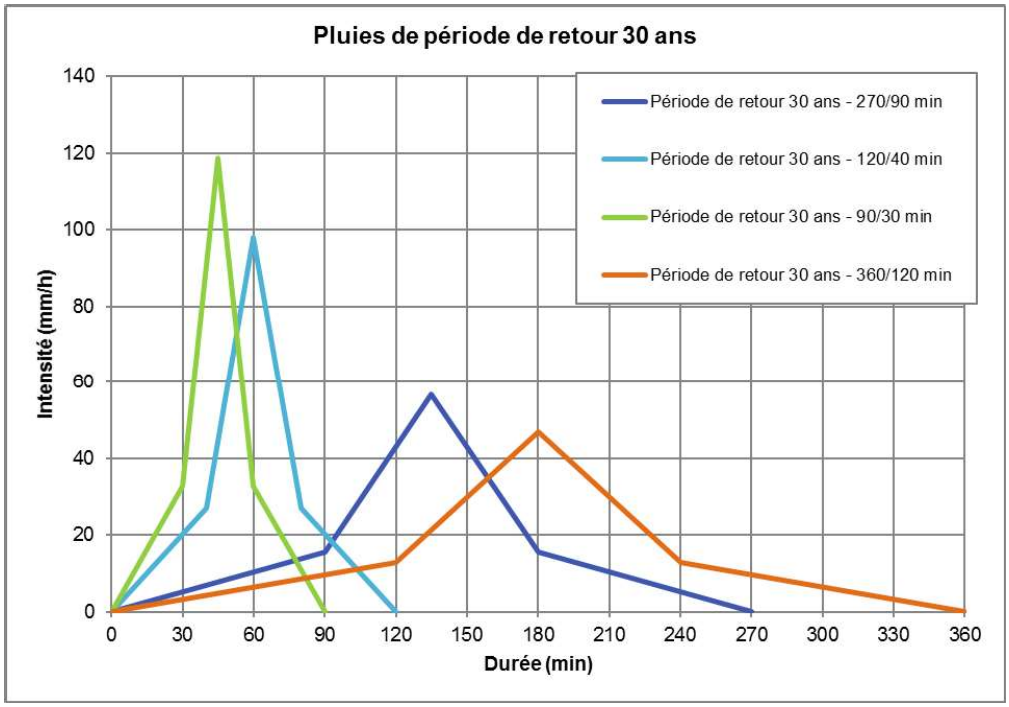

Figure 9 : les pluies de projet double triangle de période de retour 30ans avec différentes durées

4.2.5 Pluies de période de retour exceptionnelle

Afin de représenter l'événement exceptionnelle, des hydrogrammes ont été reconstitués et injectés dans le modèle (pas des pluies). Les hydrogrammes de la **crue exceptionnelle** ont été 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.

4.3 CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDROLOGIQUE

4.3.1 Caractéristiques des sous-bassins versant

Le découpage en sous bassin versant repose essentiellement sur le MNT. Les bassins versants déterminés ont ensuite été confronté localement aux données existantes issues du SDEP de Vitrolles et SDEP de l'AMPM. Localement, la mission de terrain a permis de déterminer plus précisément les limites des bassins versants. La découpe en sous-bassin versant permet d'affiner la description de l'ensemble du bassin versant de la Cadière et du Raumartin afin de détailler la modélisation hydraulique. Ainsi le bassin versant est découpé en 136 sous-bassins versants, répartis de la manière suivante :

- 21 sous-bassins versant sur le Bondon (à la confluence avec La Cadière)
- 4 sous-bassins versant sur le ravin d'Aix (à la confluence avec le Bondon)
- 6 sous-bassins versant sur le ruisseau de la Marthe (à la confluence avec la Cadière)
- 51 sous-bassins versant sur la Cadière : depuis la source de l'Infernet (10 sous-bassins versant) à l'exutoire, en prenant les écoulements sur la commune de Vitrolles (7 sous-bassins versant)
- 54 sous-bassins versant sur le Raumartin (à la confluence avec la Cadière)

Chaque sous-bassin versant a été caractérisé par :

- Sa surface,
- Sa pente,
- Sa longueur,
- Son coefficient d'imperméabilisation.

Le coefficient d'imperméabilisation a été déterminé en zonant les surfaces dont l'occupation du sol est de même type (urbanisation très dense, dense, peu dense…) à partir de la base de données Corine Land COVER. Des ajustements localisés ont ensuite été réalisés sur la base des orthophotoplans.

Le coefficient d'imperméabilisation moyen par sous bassin versant correspond à la moyenne pondérée par la surface des coefficients d'imperméabilisation élémentaires.

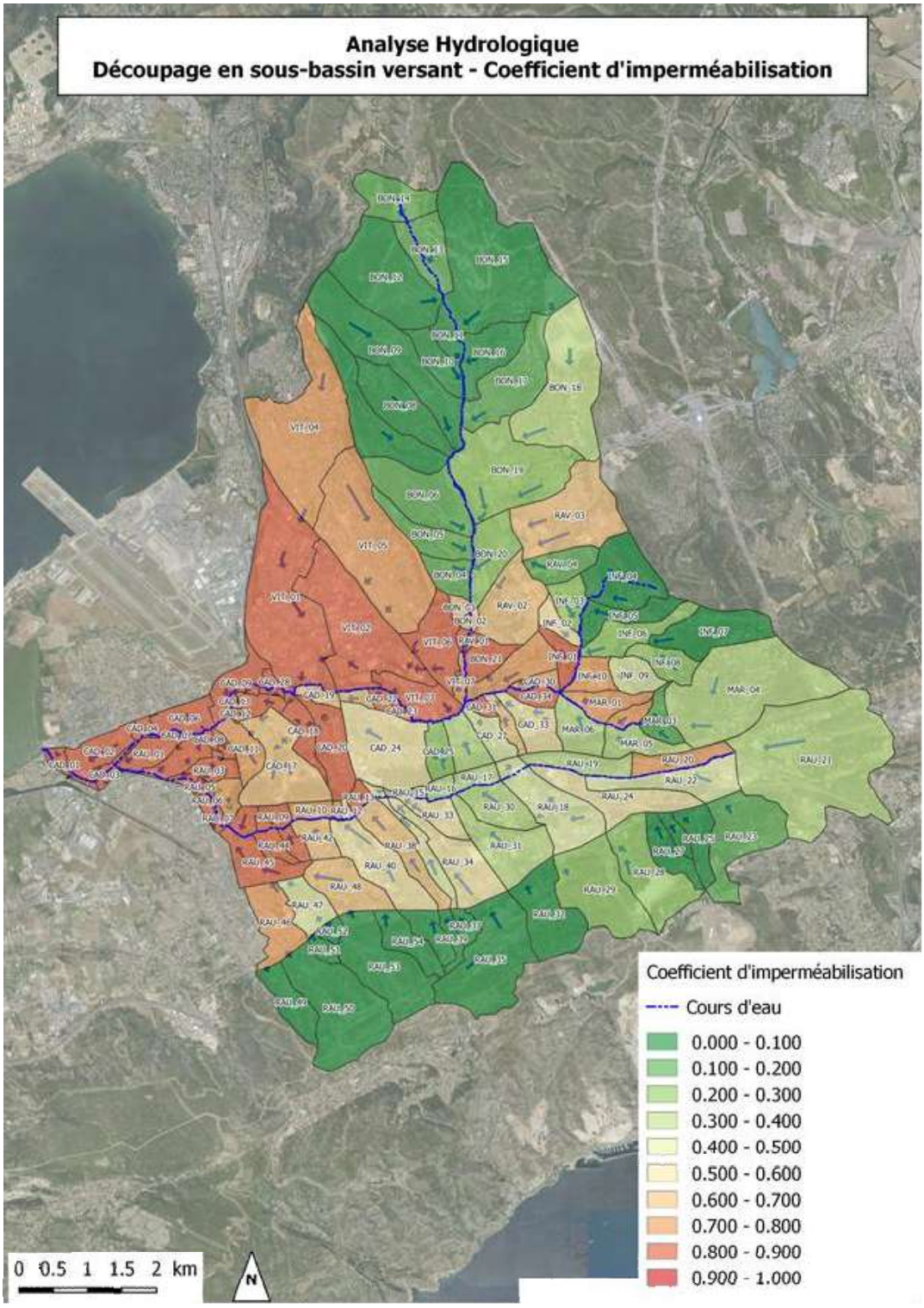

Figure 11 : Découpage en sous bassin-versant et coefficient d'imperméabilisation

Le 10 août 2016, un incendie a détruit une grande partie de la végétation du bassin versant du Bondon, du ravin d'Aix, de l'Infernet et du ruisseau de la Marthe. Une analyse sur l'impact du coefficient de ruissellement a été menée dans le cadre de cette étude. Les retours d'expérience montrent que lorsque la végétation apparaît, généralement des buissons, l'impact sur le ruissellement est rapidement atténué. Ainsi dès la première année l'impact est réduit même si les sols restent fragiles, il faudra attendre 3 à 5 ans pour avoir un retour à l'état initial.

A l'échelle de réflexion du PPRi ou d'un document d'urbanisme (10 / 15 ans, voire plus), il nous semble donc délicat de prendre en considération l'effet de cet incendie sur le ruissellement et l'érosion des sols.

4.3.2 Propagation du débit

Le calage du modèle hydrologique est réalisé conjointement au calage du modèle hydraulique puisque les bassins versants seront directement connectés au modèle hydraulique de simulation de l'aléa.

5 CHAPITRE 5 - MODELISATION HYDRAULIQUE

5.1 OUTILS DE MODÉLISATION

Le modèle numérique des écoulements a été élaboré à partir des levés topographiques mis à disposition et les compléments réalisés dans le cadre de l'étude, avec le logiciel dédié à l'hydraulique fluviale et urbaine HYDRA.

Hydra est une plateforme de modélisation hydrologique et hydraulique permettant de faire appel dans un même modèle aux fonctionnalités propres aux réseaux d'assainissement, aux systèmes fluviaux et maritimes afin de répondre aux problématiques complexes d'interconnexion des réseaux de collecte des eaux pluviales et des débordements de surface dans la gestion des inondations des grandes métropoles.

Cette plateforme permet de piloter un moteur de calcul robuste et performant, fruit de 30 ans de développements et d'exploitation par Hydratec, capable de traiter l'ensemble des problématiques dans le domaine de l'eau.

5.2 MODÈLE RÉALISÉ

La zone d'étude a été modélisée dans un seul et même modèle à partir de profils en travers du lit mineur et parfois du lit majeur, issus des relevés topographiques effectués par le géomètre du cabinet Opsia.

Les ouvrages hydrauliques (OH) sont également issus de la même campagne de relevés par le même géomètre : levés des ponts et seuils sur le linéaire d'étude.

Le LIDAR, fourni par la DDTM, a permis la modélisation des lits majeurs.

En s'appuyant sur les données topographiques récentes, le modèle réalisé est un couplage de modélisation1D, 2D, avec :

- Les secteurs situés en tête de bassin versant sont peu urbanisés et sont situés dans des vallons encaissés présentant des pentes relativement marquées. L'écoulement en cas de crue présente une direction privilégiée dans l'axe du talweg, et les obstacles longitudinaux à même de cloisonner les vallées sont peu nombreux. Une modélisation filaire a donc été optée sur ces secteurs, incluant le lit mineur (filaire 1D).
- Dans **les zones d'urbanisation dense et régulière**, nous opterons pour la modélisation **2D-Rues** couplée aux biefs filaires 1D du lit mineur.
- Dans **les zones d'urbanisation plus ouvertes**, un **schéma 2D** classique sera privilégié, le maillage s'appuyant alors sur les obstacles physiques aux écoulements (bâtis, remblais, …), couplé aux biefs filaires 1D du lit mineur.

- Les différents ouvrages ont été représenté dans le modèle : ouvrages de franchissement, des ouvrages souterrains, des seuils et des bassins de rétention.
- Les infrastructures routières et ferroviaires en remblai ont été pris en compte pour la construction du maillage du modèle 2D.

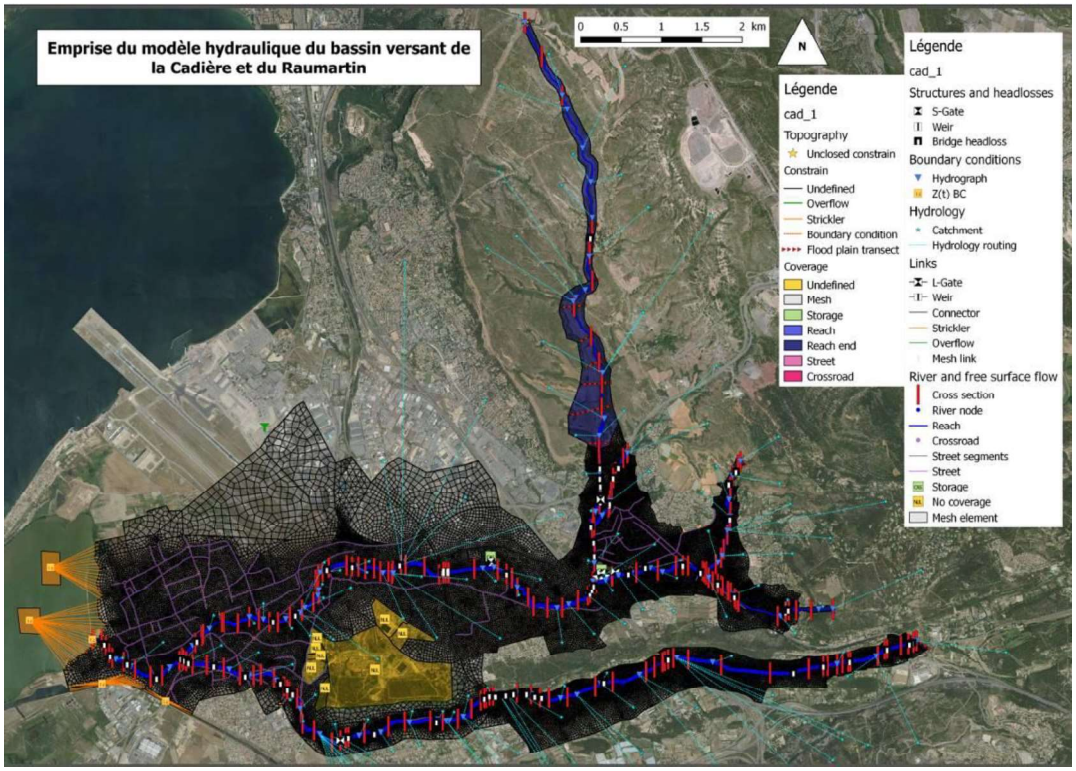

Figure 12 : Emprise du modèle

Le tableau suivant synthétise les linéaires modélisés :

Cours d'eau et affluents	Commune	Linéaire modélisé (km)		
		Cours d'eau à ciel ouvert	***Cours d'eau « couvert »***	**Total**
Bondon	Vitrolles	7.590		7.590
Ravin d'Aix	Vitrolles	1.105		1.105
Vallon Infernet	Vitrolles	1.605		1.605
Ruisseau de la Marthe	Les Pennes Mirabeau	1.195	0.630	1.825
La Cadière	Vitrolles	4.550		4.550
	Saint Victoret	1.900		1.900
	Marignane	2.690	0.285	2.975
Raumartin	Les Pennes Mirabeau	3.870	0.280	4.150
	Saint Victoret	1.425		1.425
	Marignane	4.630		4.630
			TOTAL	**31.755**

Figure 13 : Synthèse des linéaires modélisés

5.3 CONDITION AUX LIMITES

5.3.1 Condition aux limites amont

Comme le modèle couple un modèle hydrologique et hydraulique, les conditions aux limites amont correspondent aux entrées nécessaires au modèle hydrologique :

- Injection de pluies réelles pour la crue de calage et pour la crue de référence,
- Injection de pluie ou de projet pour les crues, 10 ans, 30 ans et 100ans,
- Injection d'hydrogrammes pour la crue exceptionnelle.

Les points d'injection de pluie ou des hydrogrammes correspond au point de connexion des bassins versant au cours d'eau soit par ruissellement naturel, soit par rejet par l'intermédiaire du réseau d'eau pluvial.

5.3.2 Condition aux limite aval

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

Après différent test de sensibilité sur la condition aval (entre 0.5 et 2MNGF), il a été fait le choix, au vu du faible impacts sur les débordements de la Cadière de prendre, comme condition aval, un niveau d'étang constant de 1mNGF, ce qui permettra :

- D'être cohérent avec les études sur le territoire (l'Arc),
- De considérer une surcote marine en liaison avec les variations de niveau de l'Etang de Berre.

5.4 CALAGE DU MODÈLE

5.4.1 Eléments de calages

Le calage consiste à ajuster les paramètres du modèle de sorte à retrouver par le calcul les niveaux de crues observés.

Le calage du modèle s'appuie sur la comparaison des mesures et observations (laisses de crues, débit, hydrogrammes…) et des résultats des simulations des différentes crues historiques modélisées. Dans le cadre de cette étude les événements considérés sont :

- 22-23 septembre 1993 : crue historique ayant marqué les esprits, plus forte crue connue sur le bassin versant, crue débordante, crue comportant des éléments historiques (rapport d'analyse de la crue et cartographies, laisses de crue), en outre de nombreuses études ont utilisé cette crue comme crue de calage.
- 10 septembre 2005 : crue récente, nous ne disposons pas de mesures de débits cependant, nous disposons de laisse de crue, de photographies, d'un rapport de l'analyse de la crue et une cartographie des débordements sur la commune de Marignane. Cette crue est moins importante que la crue de 1993 toutefois elle a la particularité d'avoir eu un impact majoritairement sur le bassin versant du Raumartin.
- 16 et 18 septembre 2009, crue récente dont la pluie est comparable à l'événement de 2005, nous avons peu d'éléments sur cet événement, toutefois nous disposons des mesures de débit à la station hydrométrique.

Le calage a été réalisé sur la crue de 1993 par comparaison avec :

- Les laisses de crue en lit majeur,
- Les laisses de crue dans le lit mineur avec la ligne d'eau calculée par la modélisation,
- L'hydrogramme à la station de mesure en aval de la confluence avec le Raumartin
- L'emprise de la zone inondable lorsque la donnée existait,
- Les débits en des points stratégiques issues de la bibliographie.

Ce calage a ensuite été validé avec les crues de septembre 2005 (comparaison avec les laisses de crues) et la crue de 2009 (comparaison avec l'hydrogramme à la station de mesure).

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.

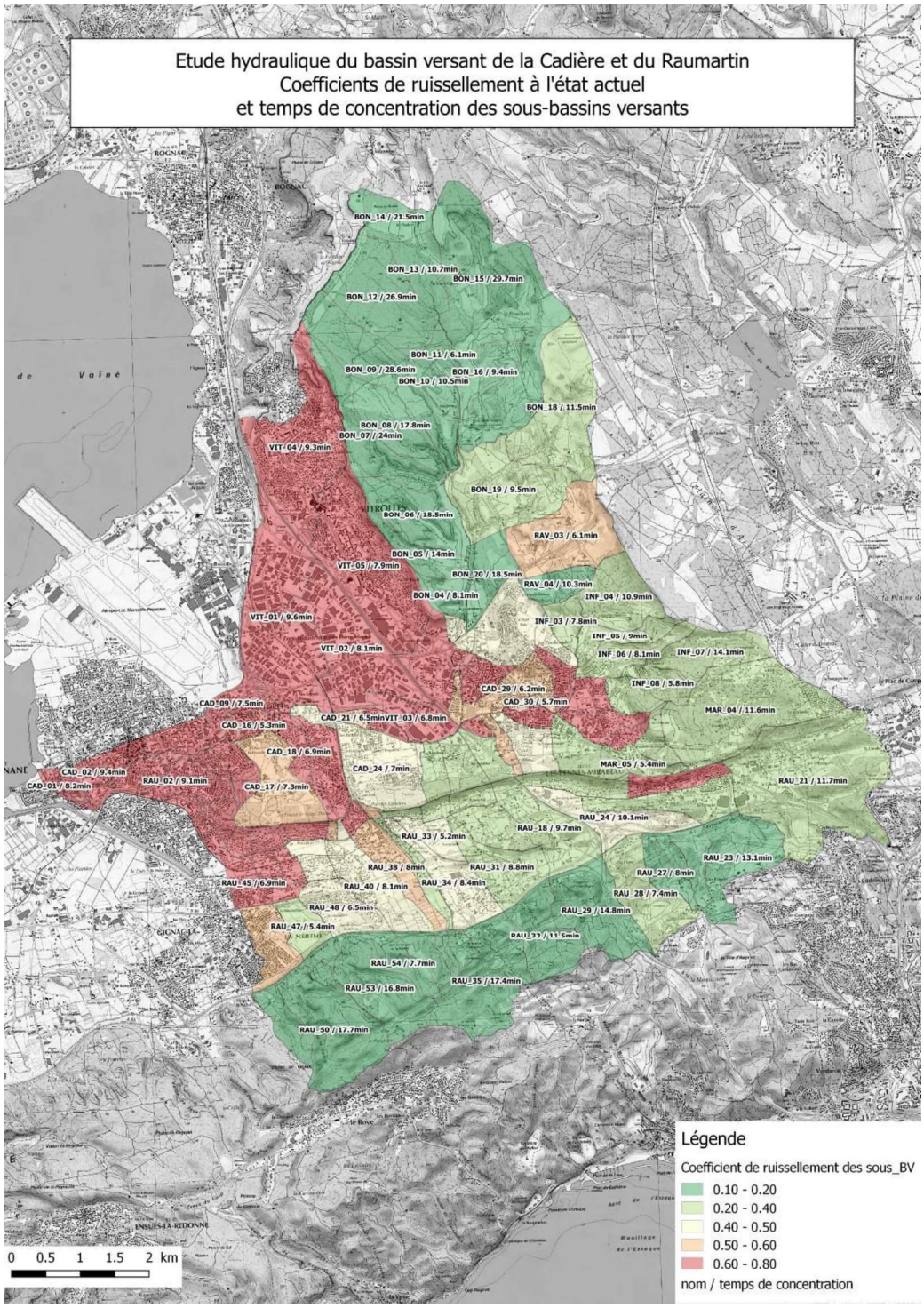

Figure 14 : coefficient de ruissellement et temps de concentration à l'état actuel

5.4.2 Tests de sensibilité

Etant donné la difficulté du calage sur les crues du fait du manque de fiabilité des données (stations et PHE), il parait important d'étudier l'incidence de la variation du coefficient de Strickler, paramètre de calage du modèle, sur le calcul des cotes d'eau.

Les tests de sensibilité réalisés ont concerné :

- Dans le cadre du calage sur la crue de 1993, les coefficients de ruissellement sur la partie urbaine de Marignane et Saint Victoret ont été réduits de 10% à 20% par rapport aux coefficients déterminés à partir de l'occupation du sol actuelle. En effet depuis 1993, l'urbanisation de ces secteurs a augmenté.
- Le coefficient de ruissellement ajuster sur les bassins versants amont : 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.
- La condition aval avec un niveau constant de l'étang à différentes côtes.
- Au vu des différentes sources de données de pluies et des incertitudes (problème d'enregistrement), 4 tests sur les pluies de l'événement de 1993 ont été réalisés afin de caractériser la pluie ayant permis la réaction du bassin versant observé par comparaison avec les laisses de crue et l'hydrogramme mesuré à la station hydrométrique.

Au regard des incertitudes sur les pluies (problème d'enregistrement sur le pluviomètre de Marignane) et sur l'hydrogramme estimé, il semble que le test avec l'injection de la pluie de la forme d'Aix Les Milles au pluviomètre de Marignane, corrigé de l'intensité atteinte lors de l'événement, et la pluie d'Aix les Milles à la Station d'Aix Les Milles soit le plus représentatif de l'événement et de la réaction du bassin versant de la Cadière et du Raumartin.

5.5 RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS POUR LES CRUES DE PROJET

5.5.1 Crues de projet

Suite au calage du modèle, les crues de projet suivantes ont été simulées :

- Crue décennale,
- Crue trentennale,
- Crue de référence (centennale et pluie de 1993),
- Crue exceptionnelle.

a) 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.

b) Crue de période de retour 10 ans et 30 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 360min, 270min, 120mi et 90min 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).

c) 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.

5.5.2 La crue de référence

a) Synthèse du fonctionnement générale

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, entrainant 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.

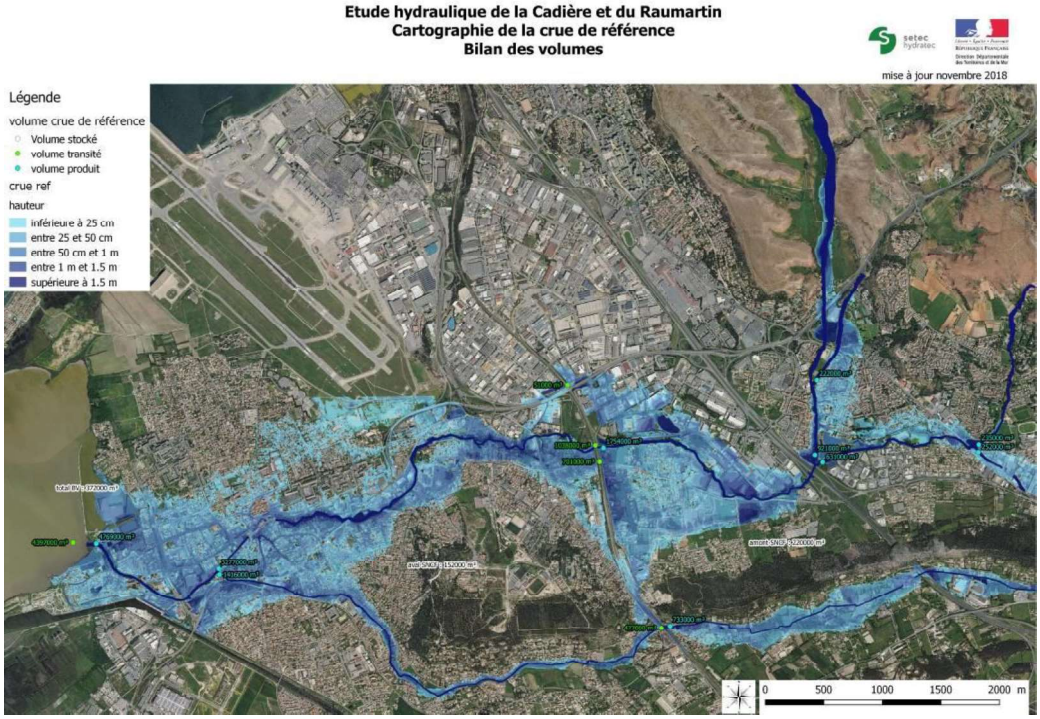

Figure 15 : Bilan des volumes pour la crue de référence

La cartographie suivante synthétise les débits caractéristiques de la crue de référence.

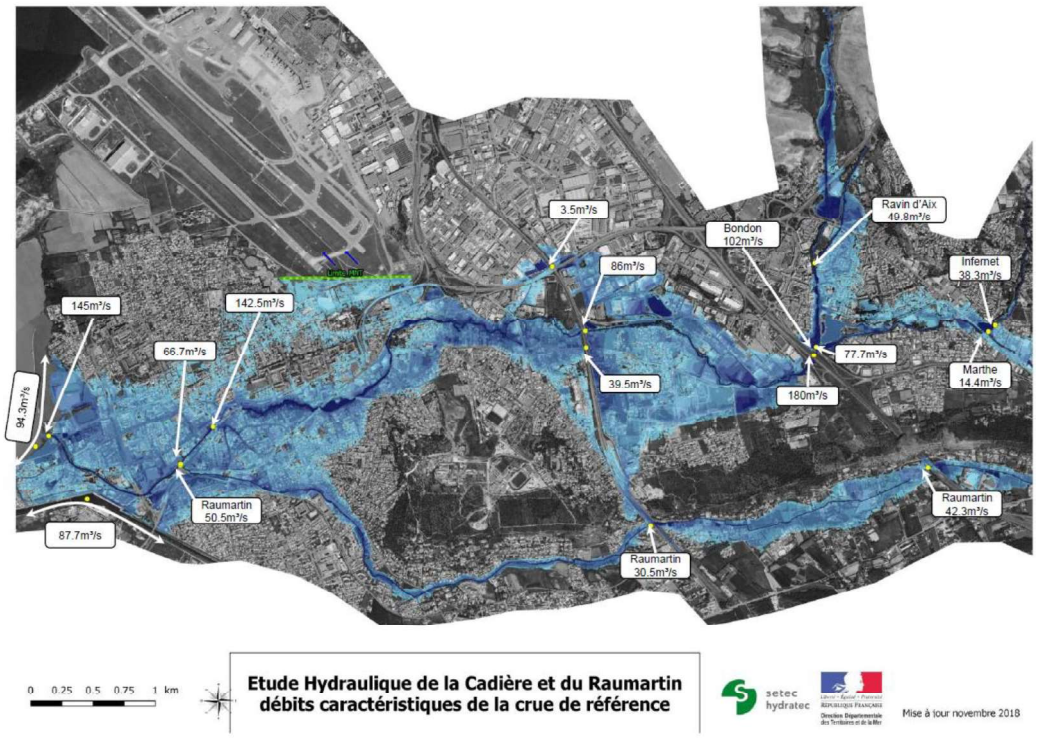

Figure 16 : débits caractéristiques pour la crue de référence

La cartographie suivante synthétise, pour l'événement de référence les temps de propagation de l'événement. Bien évidemment ces temps sont fortement dépendant du type d'événement pluvieux (antécédent pluviométrique, localisation de l'orage, intensité et durée de pluie, déplacement spatial de la cellule orageuse…).

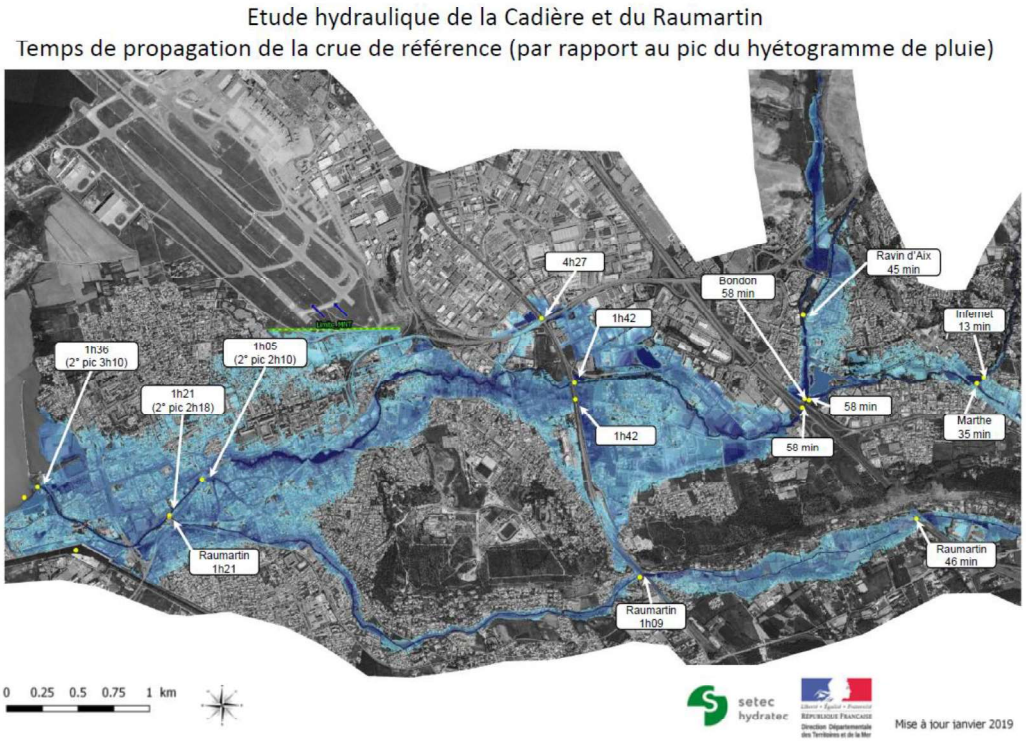

Figure 17 : temps de propagation de la crue de référence

b) Synthèse du fonctionnement sur la Commune

Sur la commune les premiers débordements pour la crue de référence sont observés en quelques points aux abords du Raumartin, impactant les premiers jardins de particuliers. Rapidement des premiers débordements en rive droite et en rive gauche de la Cadière sont observés en amont de la couverture et en amont de l'Avenue du 8 Mai 1945.

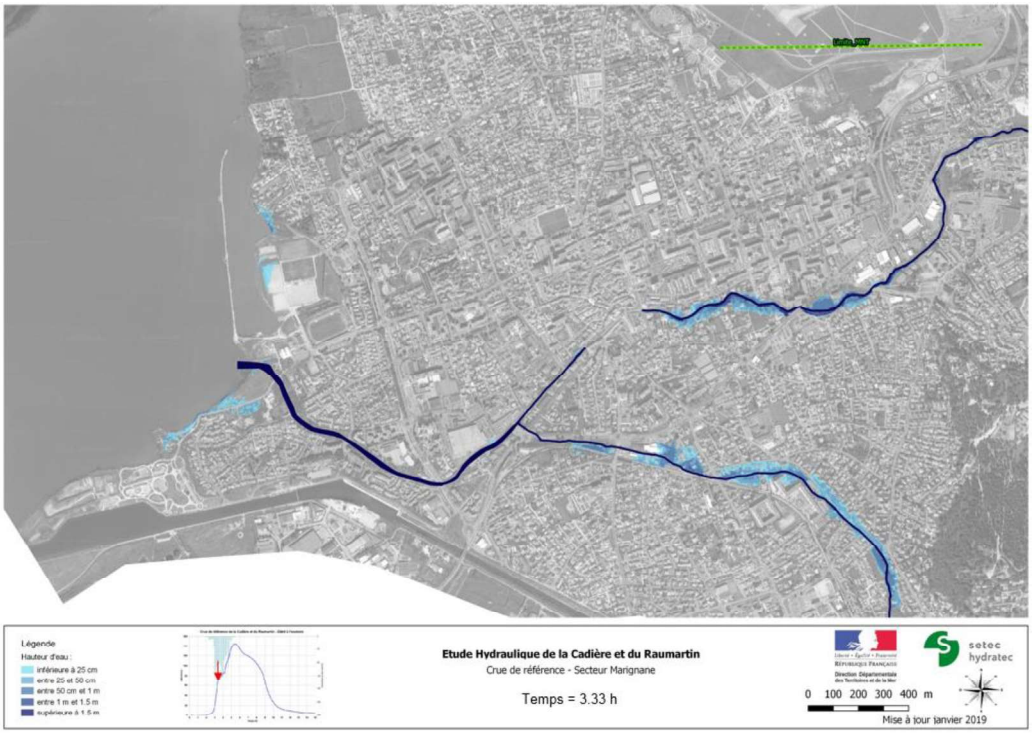

Figure 18 : Localisation des premiers débordements

Les débordements se poursuivent en rive droite de la Cadière, en aval de la couverture, puis en aval de la confluence avec le Raumartin et en rive gauche, en amont de la confluence.

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. Ils empruntent deux directions :

- La rue de Figueras vers le Nord-Ouest, puis l'avenue Marius Ruinat. Les écoulements poursuivent leur étalement sur les terrains par l'intermédiaire de l'Avenue du Général DE Gaulle, le chemin du Bolmon puis la rue Edmond Rostand. L'emprise de la zone inondable augmente jusqu'à une limite Nord vers l'impasse Etienne Maury.
- Le chemin de Saint Pierre vers le Sud-Ouest.

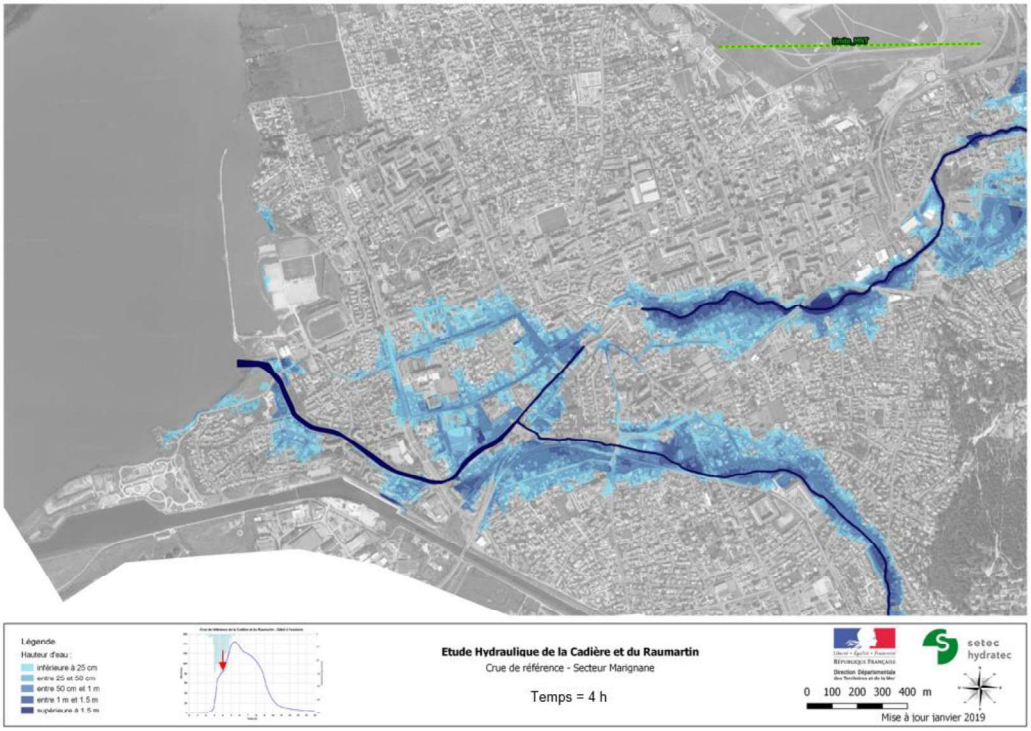

Figure 19 : Localisation des premiers axes d'écoulements

La Cadière et la couverture du cours d'eau dans la traversée de Marignane, ne permettent pas le transit du débit de la crue de référence. Des débordements sont donc observés 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.

Les débordements rive gauche de la Cadière, en amont de la couverture, s'écoulent vers le sud/ouest, sur les axes principaux (Bd Georges Clémenceau, Bd Frédéric Mistral, Av du Maréchal de Lattre de Tassiny puis l'Av de la 1° Armée Française). Ils sont rejoints par des débordement rive droite du Raumartin qui empruntent l'Av. de Lacanau et l'av du 8 mai 1945. Dans un second temps, ils sont augmentés par les écoulements en provenance des débordements amont.

Les débordements en rive gauche du Raumartin d'orientent vers le Sud en longeant le chemin de la Ponsarde.

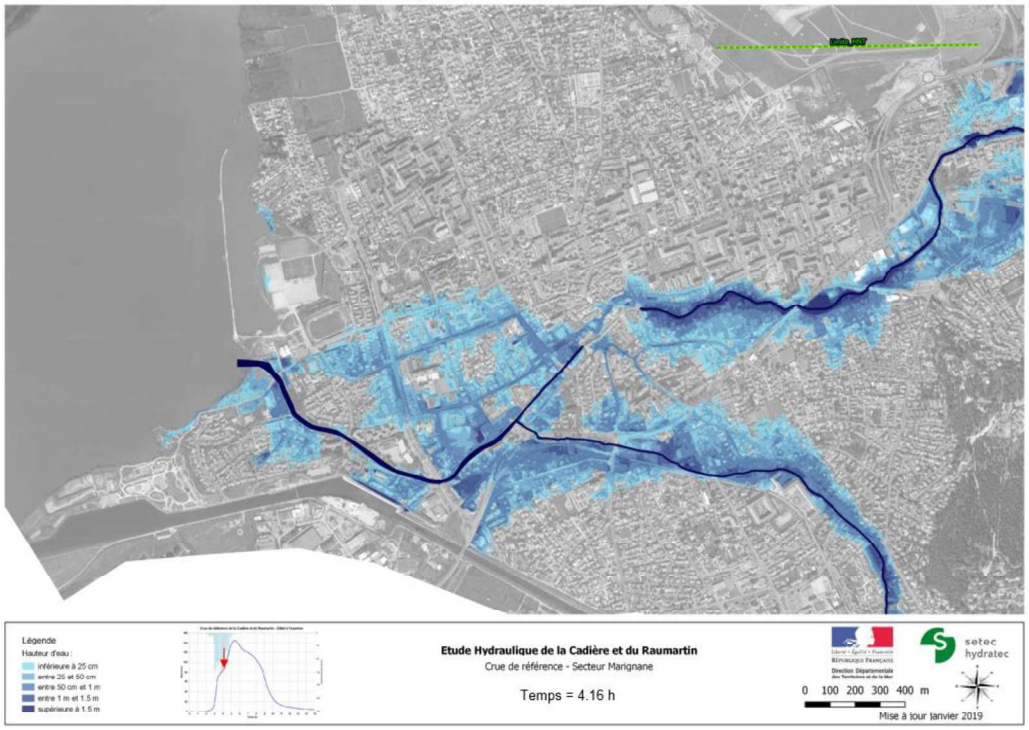

Figure 20 : L'étalement des eaux jusqu'à la connexion des différents débordements

Au pic de crue :

- Les débordements rive gauche du Raumartin en amont de la traversé de l'Av des Combattants en Afrique du Nord restent limités aux abords du cours d'eau,
- 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.
- Sur la partie aval, les écoulements au Sud en provenance des débordements rive gauche du Raumartin et de la Cadière s'écoulent naturellement vers le canal du Rove.
- 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.
- Les débordements rive gauche de la Cadière s'étalent vers le Sud / ouest en suivant l'axe de l'Av du 8mai 1945, surverse sur le Bd des Plaines et rejoignent les débordements rive droite du Raumartin.
- En amont du centre-ville, les débordements rive droite de la Cadière reste proche du cours d'eau, puis ils s'étalent en contournant le centre-ville (points hauts topographiques) par le nord (av Jean Jaurès) et par le sud pour s'étaler dans la plaine urbanisée jusqu'à l'Etang du Bolmon

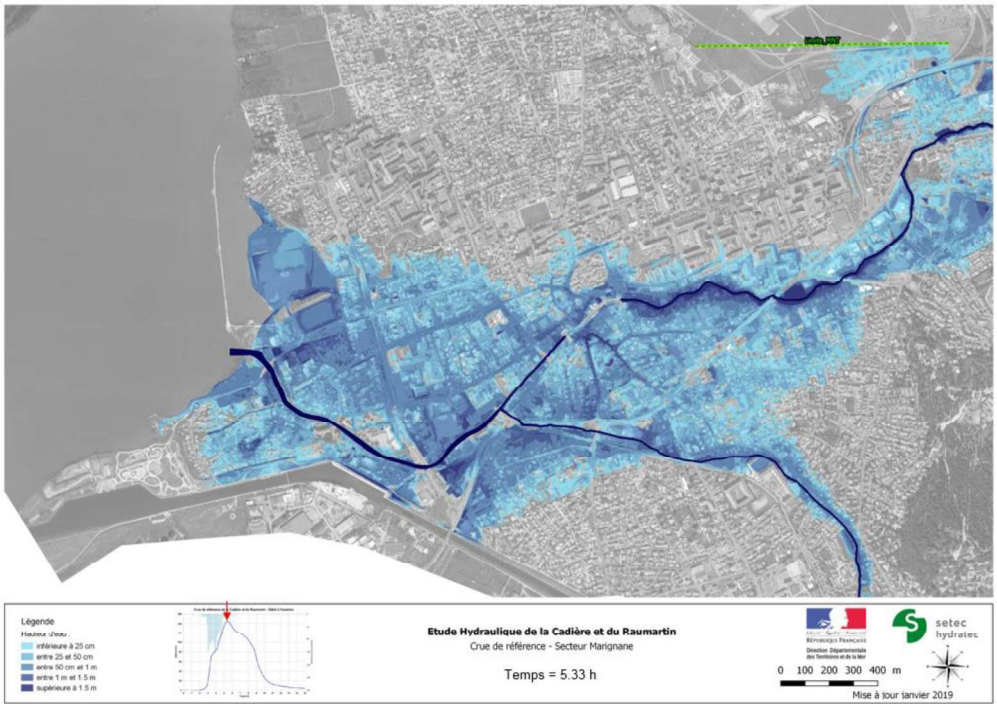

Figure 21 : l'emprise de la zone inondable au moment du pic de la crue de référence

- Les débordements rive droite de la Cadière en amont de la commune s'orientent vers l'aéroport en submergeant le boulevard Cailloux puis la D9. Une partie des écoulements s'écoulent en direction des pistes de l'aéroport, une autre partie s'oriente vers l'ouest. En décrue, ses débordements s'écoulent en surface en suivant les axe des voiries (Av Roland Corrao, Av René Bidos).

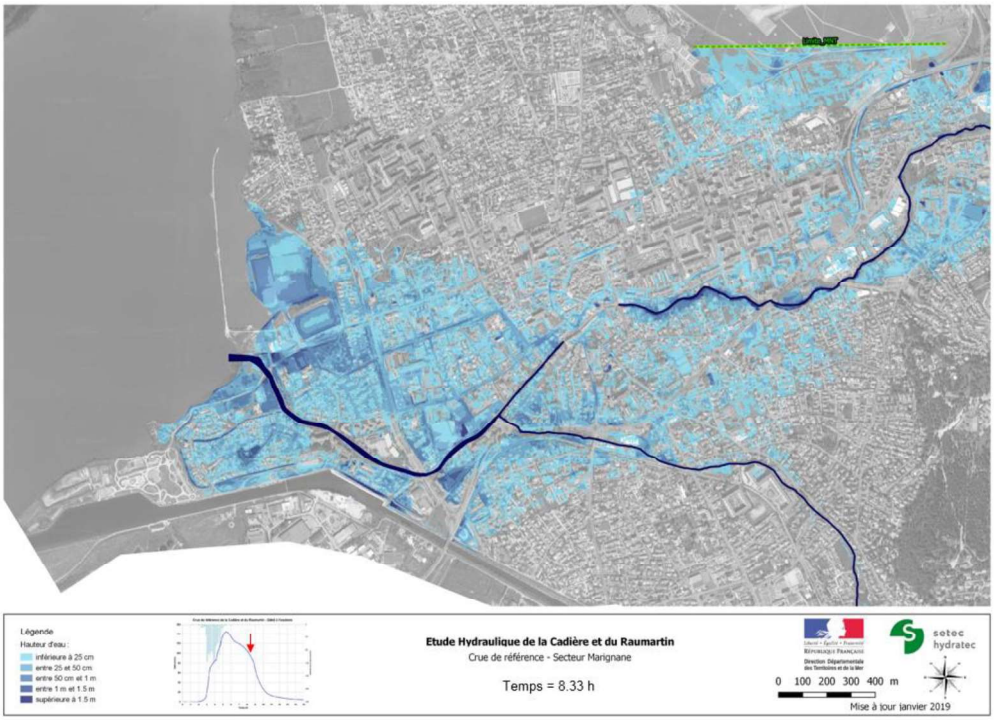

Figure 22 : Les axes d'écoulement pendant la décrue

- Les débordements du Raumartin, entre la voie ferrée et Pas des Lanciers, sont relativement limités en rive droite et en rive gauche. La largeur inondée est de l'ordre de 40m pouvant localement atteindre 70m en aval de la voie ferrée.

Figure 23 : Les débordements du Raumartin en aval de la voie ferrée

La figure suivante, représente les sens d'écoulements sur la commune de Marignane, au droit de la confluence du Raumartin avec la Cadière.

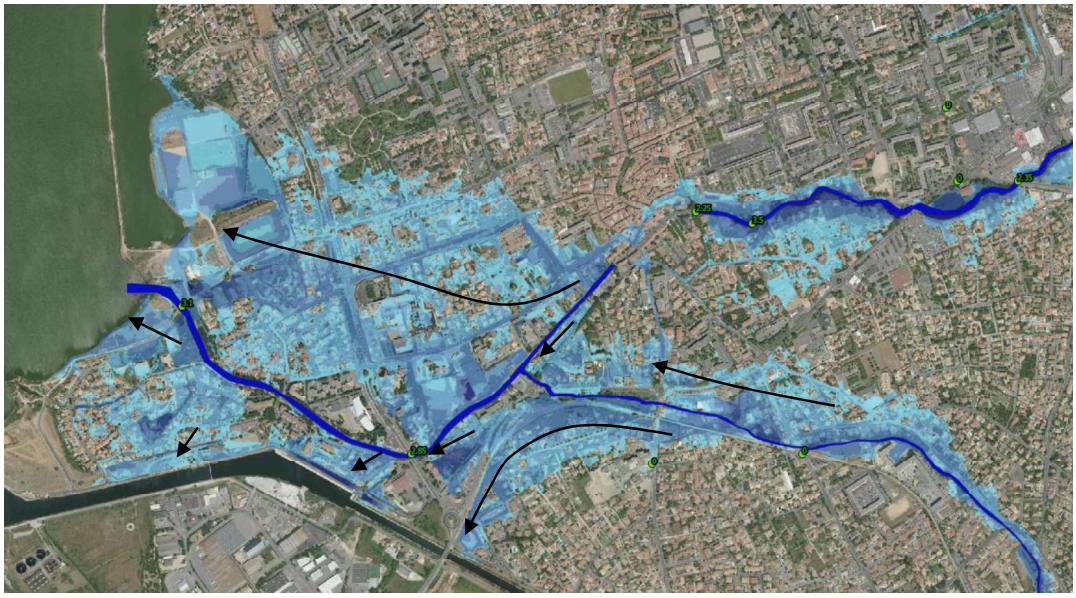

Figure 24 : Fonctionnement hydraulique pour la crue de 1993 sur la partie aval de la Cadière

5.5.3 Cartographie de l'aléa inondation

L'aléa inondation dans le cadre des PPRi est défini comme « la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel », en intégrant l'intensité des phénomènes (hauteurs et vitesses d'écoulement).

La cartographie de l'aléa inondation a été réalisée pour la crue de référence.

Cette cartographie résulte du croisement entre les hauteurs et les vitesses maximales d'écoulement qui se base sur les limites de déplacements dans l'eau :

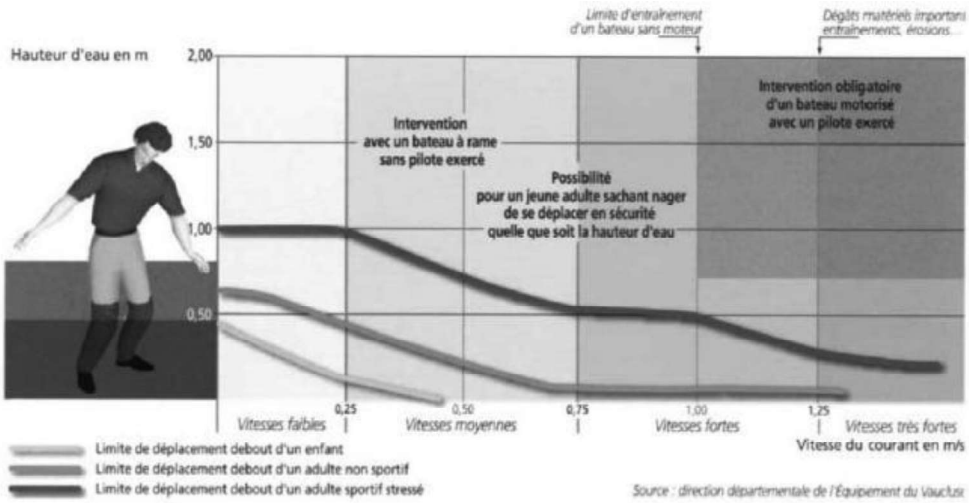

Figure 25 : limites de déplacements dans l'eau

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, pour le bassin versant de la Cadière et du Raumartin, la pluie du 22 septembre 1993 enregistrée à Aix Les Milles, dans les conditions actuelles (imperméabilisation des sols, voiries, ouvrages…) est l'événement historique présentant une inondation supérieure aux pluies de projet centennales.

Ainsi, la crue de référence sur le bassin versant de la cadière et du Raumartin est la pluie du 22 septembre 1993.

La grille officielle présentée par la DDTM des Bouches du Rhône fait état de 4 niveaux d'aléas, définis selon les critères suivants :

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

- **Aléa fort** : vitesse supérieure à 1 m/s et/ou hauteur d'eau > 1 m ou vitesse et hauteur supérieures à 0.5 m ou m/s
- **Aléa fort** (v<0.5m/s) : hauteur supérieure à 1m et vitesse inférieure à 0.5m/s
- **Aléa modéré** : vitesse comprise entre 0.5 m/s et 1 m/s et hauteur d'eau inférieure à 0.5 m ou hauteur comprise entre 0.5 m et 1 m et vitesse inférieure à 0.5 m/s
- **Aléa faible** : vitesse inférieure à 0.5 m/s et hauteur d'eau inférieure à 0.5 m.

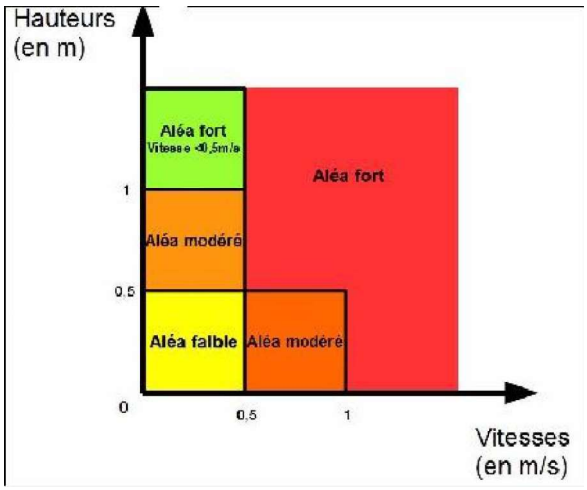

Figure 26 : Grille aléa inondation

La cartographie de l'aléa inondation de la crue de référence, avec l'enveloppe de la crue exceptionnelle, est fournie en annexe.

5.5.4 Différences observées avec les cartographies de l'aléa inondation existantes

Sur le territoire, il existe des documents qui présentent l'aléa inondation et notamment les documents suivants :

- PPRi de Marignane (2000)
- PPRi de Saint Victoret (2002)
- L'étude hydraulique dans le cadre du PPRi sur la commune des Pennes Mirabeau, réalisée par le CETE (2006)
- Le SDEP de Vitrolles qui traite également de l'aléa ruissellement (2013)

On constate que l'ensemble des données sont hétérogènes et très souvent anciennes.

La présente étude a permis d'homogénéiser la connaissance et de l'actualiser, entrainant parfois des différences avec les documents déjà existants.

a) Les évolutions

Ces différences peuvent s'expliquer par :

- La grille d'aléa : elle a évolué au cours du temps dans une volonté d'affiner la caractérisation des aléas et ainsi d'adapter au mieux les réglementations des secteurs touchés.
- Les évolutions technologiques : à l'exception du SDEP de Vitrolles, les études hydrauliques antérieures ont été réalisées à partir d'une modélisation 1D (ou 1D à casier) sur la base d'éléments topographiques comme de la photogrammétrie, profil en travers et coupe d'ouvrage. Or, les éléments topographiques, les outils et les méthodes de modélisation ont beaucoup évolué et sont actuellement beaucoup plus précis et performants.
- Les hypothèses :
  - Le coefficient de ruissellement : une réflexion a été menée sur les coefficients de ruissellement lors du calage de la modélisation sur les crues de 22 / 23 septembre 1993 et 10 septembre 2005, afin de définir les coefficients à prendre pour représenter au mieux, le phénomène inondation sur l'ensemble du bassin versant, ce qui a pu entrainer la prise en compte de coefficients différents par rapport à certaines études locales.
  - La condition aval : dans le cadre de la définition de l'aléa inondation du SDEP de Vitrolles, la condition aval choisie pour la Cadière est la crue centennale. Pour déterminer la hauteur d'eau correspondant à cette crue, il a été réalisé un croisement entre le MNT existant et la cartographie de l'aléa inondation réalisée en mars 1998. Cependant, la cartographie de 1998 se base sur des données topographiques qui étaient alors moins précises que le MNT, ce qui génère de fortes imprécisions sur les côtes PHE retenues.
  - L'événement de référence : L'analyse hydrologique a conduit à définir la pluie du 22/23 septembre 1993 enregistrée au poste d'Aix Les Milles comme l'événement de référence (supérieur à la crue centennale). Or dans les études antérieures, on peut noter des hypothèses sur l'événement de référence différentes (crue centennale, pluie de projet reconstituée)

b) Rappel des données sources

Le tableau ci-dessous synthétise les types de modélisation et les hypothèses hydrologiques prises dans le cadre des études des PPRi et du SDEP de Vitrolles. Ces études ont abouti à des représentations cartographiques de l'aléa inondation sur lesquelles se basent la présente comparaison.

Commune	Etude	Année	topograhie	type de modélisation	Période de retour	Pluie
Marignane	PPRi	2000	photogrammétrie (1995) et profil en travers et ouvrages (1998)	1D à Casier	100 ans	pluie de projet
Saint Victoret	PPRi	2002	photogrammétrie (1995) et profil en travers et ouvrages (1998)	pas précisé	100 ans	pas précisé
Vitrolles	Aléa ruissellement - SDEP	2013	MNT et profil en travers et ouvrages	2D	100 ans	Marignane / pluie de 1993 sur le Bondon et le Ravin d'Aix
Pennes Mirabeau	Etude des zones inondables (PPRi)	2006	profils en travers et ouvrages (2002)	1D	10/100 ans	Montana
BV Cadière	aléa inondation du bassin versant de la Cadière et du Raumartin	2018	MNT 1 x 1 (2016)	2D et couplage 1D / 2D	> 100ans	pluie réelle enregistrée à la station d'Aix Les Milles 22 septembre 1993

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des données sources

c) Comparaison des cartographies sur le PPRI de Marignane

Nous remarquons une grande similitude des résultats au niveau du Raumartin. L'aléa fort concorde sur la grande majorité du linéaire.

Cependant, de grandes différences sont à noter sur la partie aval du bassin versant, dans la ville. L'emprise de la zone inondable, et donc l'enveloppe de l'aléa inondation, est beaucoup plus étalée avec les nouvelles hypothèses et la nouvelle modélisation. Ainsi, de nombreuses habitations sont en aléa faible à modéré.

La cartographie de la comparaison entre l'aléa inondation et les cartographies des PPRi existant est fournie en annexe. Cette dernière reprend les éléments du PPRi de Marignane (hachure rouge et bleu) et l'aléa inondation défini dans le cadre de la présente étude (selon la grille d'aléa 2018).