



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

Etude de connaissance de l'aléa
inondation sur le bassin versant des
Aygaldes

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

37502 | Octobre 2017 | v2



setec
hydratec



Agence de Vitrolles
5, chemin des Gorges de Cabriès
13127 Vitrolles
T : 04 86 15 62 45
F : 04 86 15 62 48

Directeur d'affaire :
Responsable d'affaire : BLN
N°affaire : 016 37502
Fichier : 37502_RAP_Phase4_v2.doc

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
1	10/09/2017	BLN	DUC		Création
2	20/10/2017	BLN	DUC	30	Corrections DDTM13

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION.....	5
2	PARAMETRAGE DU MODELE	6
2.1	Vue d'ensemble du modèle.....	6
2.2	Conditions aux limites.....	7
2.3	Prise en compte des murs et infrastructures routières et ferroviaires en remblai	8
2.4	Prise en compte des ouvrages de rétention.....	8
3	LES CARTOGRAPHIES DES ZONES INONDABLES	10
3.1	Méthodologie	10
3.2	Cartographie des zones inondables.....	12
3.3	Cartographie de l'aléa de référence	13
3.4	Présentation des Atlas.....	14
4	APPROFONDISSEMENT DE LA CONNAISSANCE DU RISQUE INONDATION.....	15
4.1	Bilan hydrologique	15
4.2	Hydrogrammes / Bilan de volumes	17
4.3	Fonctionnement hydraulique du bassin versant (crue de référence)	24
4.3.1	Septèmes-les-Vallons - Route de la Télévision (Planche 1)	25
4.3.2	Marseille – Picon Busserine (Planche 14)	26
4.3.3	Marseille – Bvd. Gèze (Planches 20 et 21)	27
4.3.4	Les Pennes-Mirabeau – confluence Cadenaux / Bédoule (Planche 7).....	28
4.3.5	Marseille – cours d'Anthoine / rue du Bachas (Planche 22).....	29
4.4	Fonctionnement hydraulique du bassin versant (crue décennale)	30
4.4.1	Marseille – Picon Busserine (Planche 14)	32
4.4.2	Marseille – Bvd. Gèze (Planches 20 et 21)	32
4.4.3	Marseille – cours d'Anthoine / rue du Bachas (Planche 22).....	33

ANNEXES

ANNEXE 1 : ATLAS DES ZONES INONDABLES DE LA CRUE CENTENNALE (CRUE DE REFERENCE).....	34
ANNEXE 2 : ATLAS DES ZONES INONDABLES DE LA CRUE DECENNALE	35
ANNEXE 3 : ATLAS DE L'ALEA INONDATION DE LA CRUE DE REFERENCE.....	36

FIGURES

Figure 1 : Vue globale du modèle du bassin versant des Aygalades (Hydra).....	6
Figure 2 : Exutoire des Aygalades	7
Figure 3 : Fonctionnement d'un bassin de rétention type.....	8
Figure 4 : Liste des bassins de rétention pris en compte dans le modèle hydraulique.....	9
Figure 5 : Localisation du Tunnel d'Arenc.....	11
Figure 6 : Profil en long du tunnel d'Arenc (source RFF, m.à.j. 1987)	11
Figure 7 : Grands bassins versants des Aygalades	15
Figure 8 : Localisation des points de calcul des hydrogrammes	17
Figure 9 : Débits spécifiques de la crues de référence.....	19
Figure 10 : Hydrogrammes de la crue de référence	20
Figure 11 : Hydrogrammes à l'exutoire des Aygalades dans la darse du GPMM.....	24
Figure 12 : Secteurs inondés pour la crue décennale	31

1 INTRODUCTION

Ce rapport correspond au volet hydraulique de l'étude connaissance de l'aléa inondation sur le bassin versant des Aygalades, 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, mais également à la mise à jour de la cartographie des surfaces inondables du territoire à Risque Important (TRI) Marseille-Aubagne.

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 au volet hydrologique (phase 2), qui a permis de définir des données hydrologiques fiables et cohérentes à l'échelle des bassins versants étudiés, il est décomposé en deux phases :

- Phase 3 : construction et calage du modèle hydraulique,
- Phase 4 : simulations des crues de projet et cartographie des aléas.

2 PARAMETRAGE DU MODELE

2.1 VUE D'ENSEMBLE DU MODELE

Le modèle couvre un linéaire de 55 km de cours d'eau et affluents, sur 3 communes, modélisés par des biefs filaires couplés aux maillages 2D. Il est représenté sur la vue globale suivante :

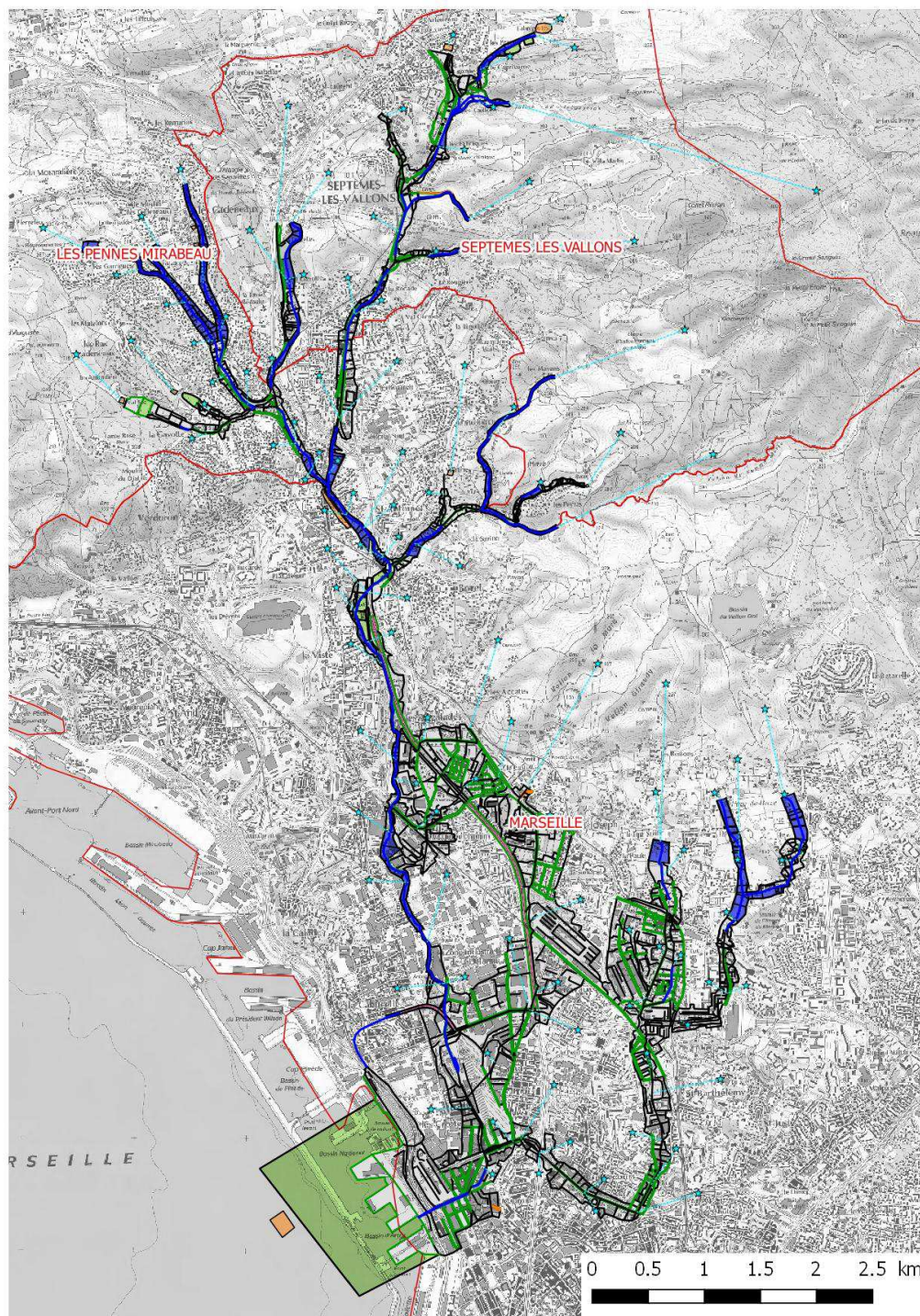


Figure 1 : Vue globale du modèle du bassin versant des Aygalades (Hydra)

2.2 CONDITIONS AUX LIMITES

La condition limite aval correspond au niveau marin à l'exutoire des Aygalades dans le Bassin d'Arenc du Grand Port Maritime de Marseille.



Figure 2 : Exutoire des Aygalades

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.

Trois hypothèses de niveau aval ont été testées lors des phases de calage du modèle. Elles n'ont qu'une faible influence sur le périmètre de la zone inondée pour l'aléa de référence. En conséquence, et par continuité avec l'étude hydraulique qui a été conduite dans le cadre du PPRI sur l'Huveaune, un niveau marin de **+1.50 mNGF** sera pris en compte de la crue de référence et la crue décennale. S'agissant de la crue exceptionnelle, un niveau marin de **+2.10 mNGF** sera pris en compte (surcote marine + changement climatique).

2.3 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.

2.4 PRISE EN COMPTE DES OUVRAGES DE RETENTION

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

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

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

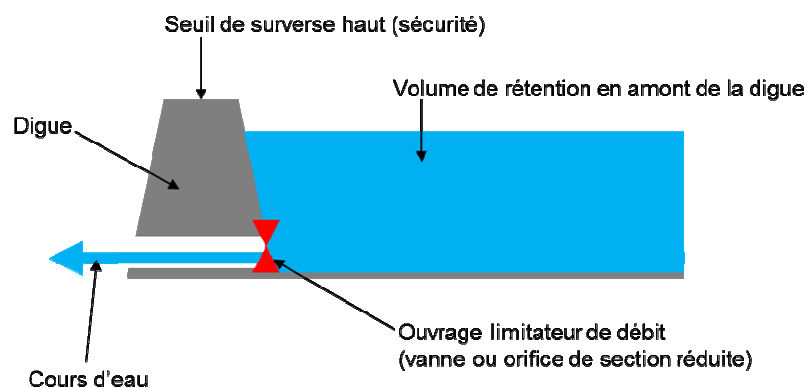


Figure 3 : Fonctionnement d'un bassin de rétention type

Les différents ouvrages pris en compte dans le modèle sont les suivants :

Figure 4 : Liste des bassins de rétention pris en compte dans le modèle hydraulique

Identifiant	Commune	Vallon / cours d'eau	Cote de fond (mNGF)	Cote de surverse (mNGF)	Volume (m ³) (au niveau de la surverse)	Ouvrage limitateur	
Bassin de Fabregoules B1	Septème-les-Vallons	Vallon de Fabregoules	228.30	229.00	2 000	Seuil haut vers B2	
Bassin de Fabregoules B2	Septème-les-Vallons	Vallon de Fabregoules	223.35	225.50	7 700	DN 300	
Retenue collinaire de Rougière	Septème-les-Vallons	Vallon de Rougière			7 100		Amont tronçon modélisé
Bassin triangle autoroutier	Septème-les-Vallons	Bédoule	212.00	213.50	3 300		Amont tronçon modélisé
Cossimo	Les Pennes-Mirabeau	Cadeneaux			490		Amont tronçon modélisé
Gedimat	Les Pennes-Mirabeau	Cadeneaux	180.40	182.20	2 500	0.7 x 0.7 m	
Cimetière	Les Pennes-Mirabeau	Cadeneaux			220		Amont tronçon modélisé
Sauges	Les Pennes-Mirabeau	Cadeneaux	198.60	202.20	3 300	0.5 x 0.5 m	
Bouroumettes	Les Pennes-Mirabeau	Cadeneaux	202.80	204.70	1 700	0.3 x 0.4 m	
Boli	Les Pennes-Mirabeau	Val sec	187.10	189.90	10 000	0.3 x 0.45 m	
Giono	Les Pennes-Mirabeau	Matelots	174.70	176.60	7 800	DN 500	
Résidence Murmure des eaux	Marseille	Four de Buze	131.54	134.00	650	1.5 x 1.5 m	
Résidence l'échiquier	Marseille	Four de Buze	119.00	120.20	800	0.6 x 0.2 m	
ZAC Sainte-Marthe	Marseille	Bois chenu	102.00	107.25	10 000	DN 600	
Bassin de Chaillan B1	Marseille	Aygalades	109.11	112.11	10 500	2.0 x 1.0 m et DN1800	
Bassin de Chaillan B2	Marseille	Aygalades	103.60	106.68 et 107.30	7 800	2.0 x 0.5 m	
Bassin de Chaillan B3	Marseille	Aygalades	102.80	105.50	9 800	2.0 x 0.5 m	

3 LES CARTOGRAPHIES 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.

3.1 METHODOLOGIE

La caractérisation de l'aléa inondation prend en compte deux hypothèses :

- **Méthode enveloppe** : l'aléa inondation pour une période de retour donnée est calculé en chaque point sur le maximum de trois pluies de durée intense 30 min, 45 min et 90 min définies pour une période de retour donnée : pluies courtes plus dommageables sur les petits bassins versants et pluies longues plus dommageables sur les grands bassins versants (soit en aval),
- Prise en compte d'un **scénario d'embâcle** : afin de caractériser l'incidence que pourrait avoir la formation d'embâcles dans les ouvrages, un scénario d'embâcles a été défini.

Les caractéristiques des pluies de projet présentées dans le rapport de phase 2 sont rappelées ici :

		Période de retour (ans)					
		10			100		
<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>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>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/h</i>
270	90	44	39	49	91	76	92
135	45	36	31	78	72	60	145
90	30	31	28	103	63	53	190

Concernant les embâcles, compte-tenu des volumes et des hauteurs de charge calculés sur l'ensemble du bassin versant, un seul ouvrage sur lequel la formation d'embâcles pourrait influencer sensiblement les flux d'inondation a été identifié. Il s'agit du **tunnel ferroviaire d'Arenc** représenté ci-après.

Ce tunnel reliant la gare d'Arenc à la gare du Canet est susceptible de permettre les écoulements en crue du ruisseau des Aygalades vers la gare d'Arenc via le sud du Parc Billoux. L'influence d'un embâcle à l'entrée de cet ouvrage est donc prise en compte par un scénario spécifique pour chaque pluie ; dans ce cas il est obturé à 95% de sa section.

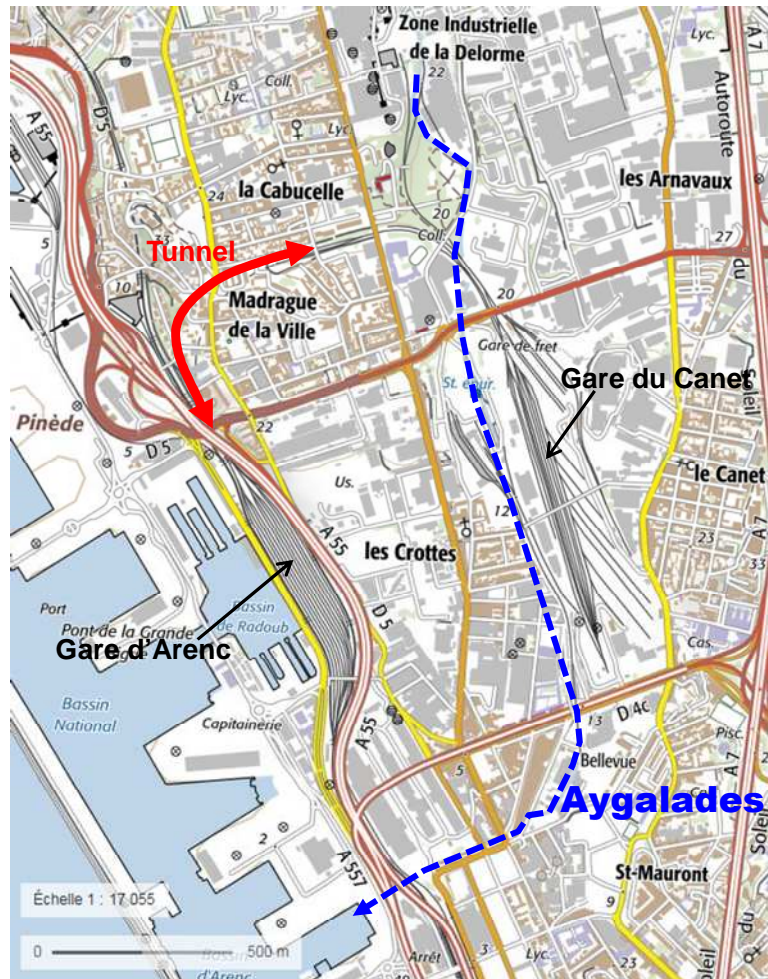


Figure 5 : Localisation du Tunnel d'Arenc

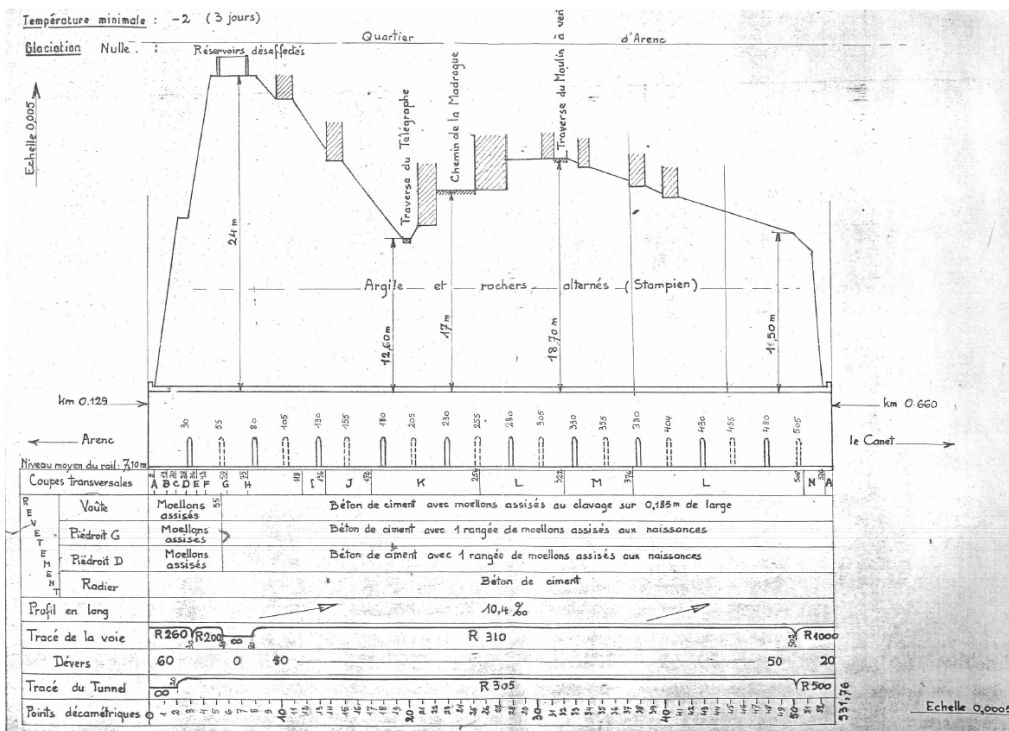


Figure 6 : Profil en long du tunnel d'Arenc (source RFF, m.à.j. 1987)

Ce tunnel est représenté dans le modèle hydraulique par un bief filaire défini par les cotes amont et aval et la section (section voutée demi-circulaire de 9.20 m de largeur et 6.60 m de hauteur).

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 d'embâcle, avec à priori des hauteurs d'eau maximales obtenues pour les pluies de courtes durée sur les petits bassins versants et pour les pluies de plus longue durée sur les grands bassins versants.

Les hydrogrammes de la **crue exceptionnelle** sont définis par homothétie des hydrogrammes centennaux 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. Trois scénarios de pluie ont été simulés pour la crue centennale, l'hydrogramme de la crue exceptionnelle est donc calculé à partir de l'hydrogramme maximal des trois pluies centennales.

Le tableau suivant récapitule les différents scénarios pris en compte pour le calcul de l'aléa :

Période de retour	Scénario de pluie (durée intense / durée totale min)	Scénario d'embâcle
10 ans	30/90 min	Oui
	45/135 min	Oui
	90/270 min	Oui
	30/90 min	Non
	45/135 min	Non
	90/270 min	Non
100 ans	30/90 min	Oui
	45/135 min	Oui
	90/270 min	Oui
	30/90 min	Non
	45/135 min	Non
	90/270 min	Non
Crue exceptionnelle	Q100 x 2	Oui
	Q100 x 2	Non

3.2 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 (crue de période de retour 100 ans sur le périmètre d'étude),
- aléa de forte probabilité (crue de période de retour 10 ans sur le périmètre d'étude).

Pour chaque scénario, les éléments suivants doivent apparaître :

- 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.


La légende des atlas des zones inondables est la suivante :

Légende :


Lit mineur :


 Lit mineur aérien

 Bief couvert


 Profil en travers


Réseau pluvial :

 Collecteur pluvial (ouvert)


 Collecteur pluvial (fermé)


Points d'injection des hydrogrammes :


 Réseau souterrain


 Cours d'eau aérien


Hauteur d'eau :

 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

Vitesse :

 inférieure à 0.5 m/s

 entre 0.5 et 1 m/s

 supérieure à 1 m/s

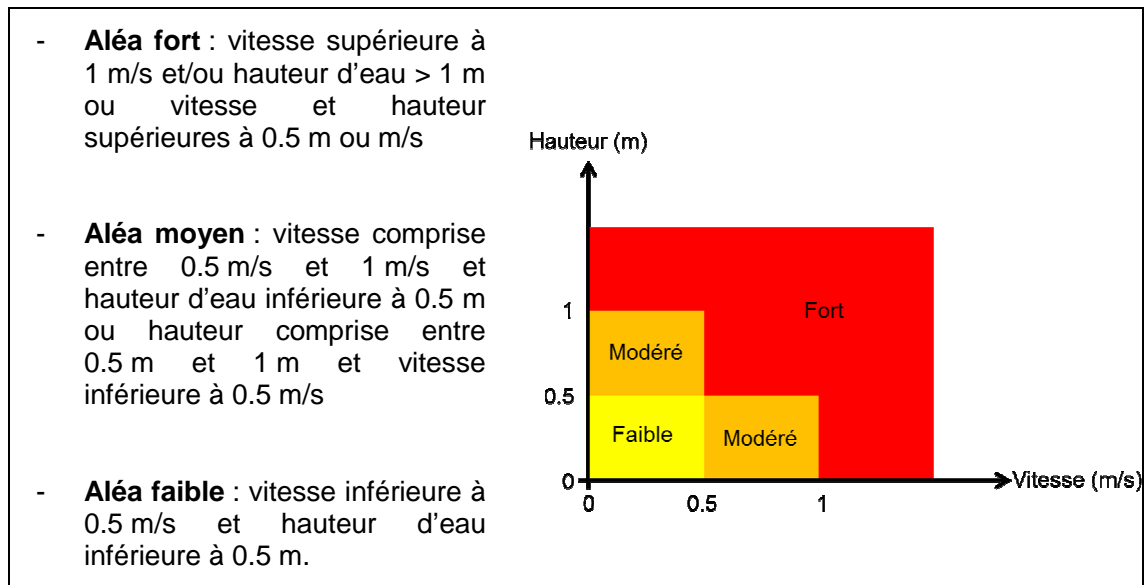
3.3 CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA DE REFERENCE

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 évènements récents pour lesquels des données précises sont disponibles présentent des périodes de retour inférieures à 100 ans (cf. rapport phase 2).

En conséquence les cartes d'aléa sont établies sur la base de l'évènement centennal défini dans le cadre de la présente étude.

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



Des isocotes exprimées dans le système de Nivellement général de la France (NGF) permettent d'identifier la cote du niveau de l'eau atteint par la crue centennale modélisée.

L'atlas de l'aléa de la crue centennale et de la crue exceptionnelle sont joints au présent rapport avec la légende suivante :

Légende :

--- Limite du modèle

Lit mineur :

■ Lit mineur aérien

□ Bief couvert

— Profil en travers

Réseau pluvial :

— Collecteur pluvial (ouvert)

---- Collecteur pluvial (fermé)

Aléa inondation de référence :

■ Faible

■ Modéré

■ Fort

4.20 Plus hautes eaux (mNGF)

Aléa exceptionnel :

■ Enveloppe

3.4 PRESENTATION DES ATLAS

Le plan de découpage en planches des différents atlas est présenté page suivante. On retrouve par commune les N° suivants :

- Septèmes-les-Vallons : N°1, 2, 3, 5, 7 et 9,
- Les Pennes-Mirabeau : N° 4, 5, 6 et 7,
- Marseille : N°8 à 22.

4 APPROFONDISSEMENT DE LA CONNAISSANCE DU RISQUE INONDATION

4.1 BILAN HYDROLOGIQUE

Le tableau et la carte ci-après présentent un bilan des volumes d'apport, par secteur, des différents scénarios hydrologiques simulés.

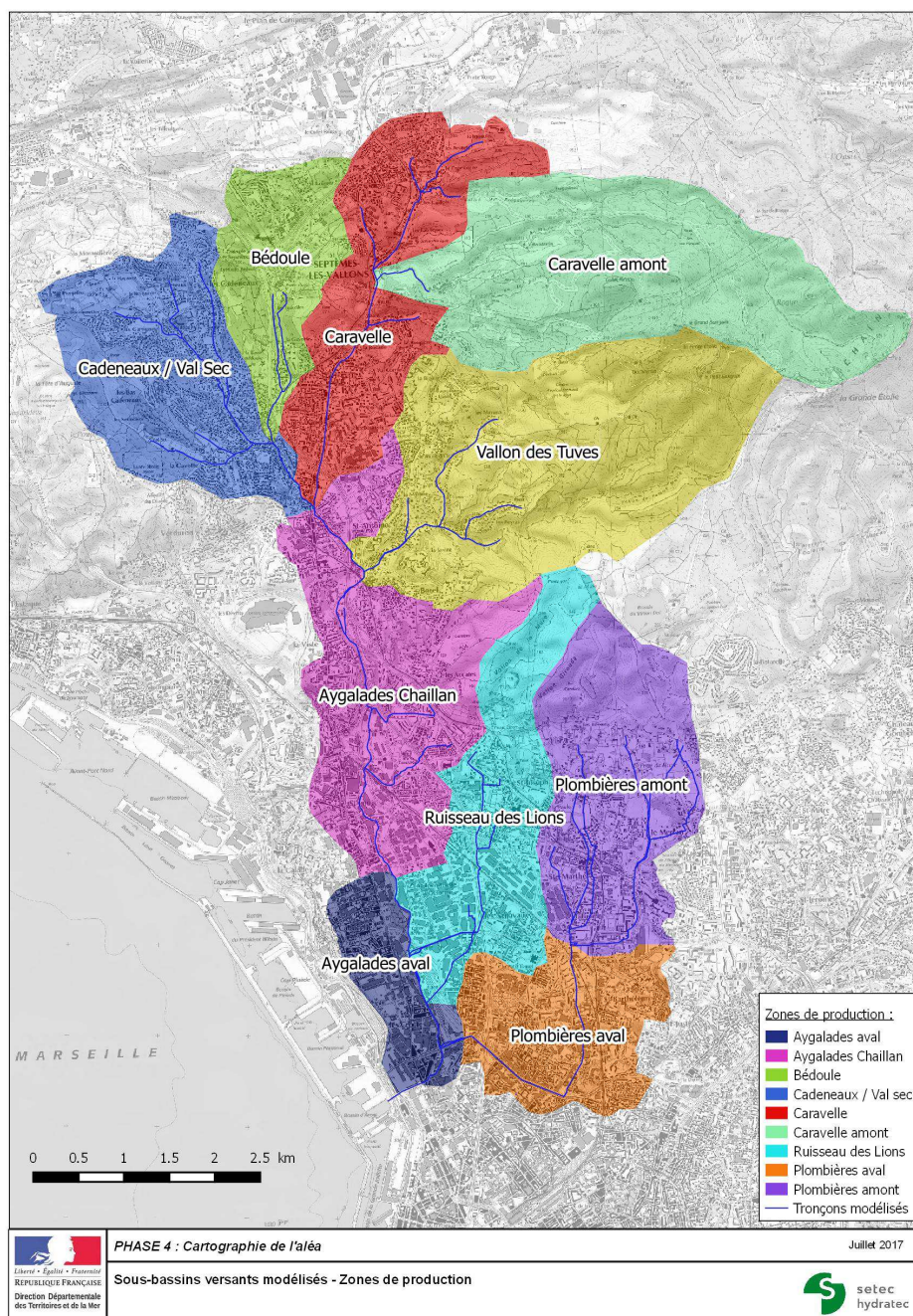


Figure 7 : Grands bassins versants des Aygaldes

		Pluie décennale (cumul en m ³)		
		Durée 270 min	Durée 135 min	Durée 90 min
Cumul pluie brute (mm)	Surface (km ²)	44	35	31
Aygalades aval	1.8	65 000	55 000	45 000
Aygalades Chaillan	6.4	140 000	110 000	100 000
Bédoule	2.8	30 000	25 000	20 000
Cadeneaux	5.1	85 000	70 000	60 000
Caravelle	5.1	80 000	65 000	55 000
Caravelle amont	8.2	65 000	55 000	45 000
Ruisseau des Lions	4.5	105 000	85 000	75 000
Plombières aval	3.4	100 000	80 000	70 000
Plombières amont	5.3	85 000	65 000	60 000
Vallons des Tuves	9.2	90 000	70 000	65 000
Total	52	845 000 m³	680 000 m³	595 000 m³

		Pluie centennale (cumul en m ³)			Crue Exceptionnelle
		Durée 270 min	Durée 135 min	Durée 90 min	
Cumul pluie brute (mm)	Surface (km ²)	90	71	62	-
Aygalades aval	1.8	135 000	105 000	95 000	270 000
Aygalades Chaillan	6.4	280 000	220 000	195 000	560 000
Bédoule	2.8	65 000	50 000	45 000	130 000
Cadeneaux	5.1	175 000	140 000	120 000	350 000
Caravelle	5.1	165 000	130 000	115 000	330 000
Caravelle amont	8.2	135 000	105 000	95 000	270 000
Ruisseau des Lions	4.5	215 000	170 000	150 000	430 000
Plombières aval	3.4	205 000	160 000	145 000	410 000
Plombières amont	5.3	170 000	135 000	115 000	340 000
Vallons des Tuves	9.2	185 000	145 000	130 000	370 000
Total	52	1 730 000 m³	1 360 000 m³	1 205 000 m³	3 460 000 m³

4.2 HYDROGRAMMES / BILAN DE VOLUMES

Le chapitre suivant présente les bilans de volumes et les hydrogrammes à différents points du bassin versant représenté sur la carte ci-dessous :

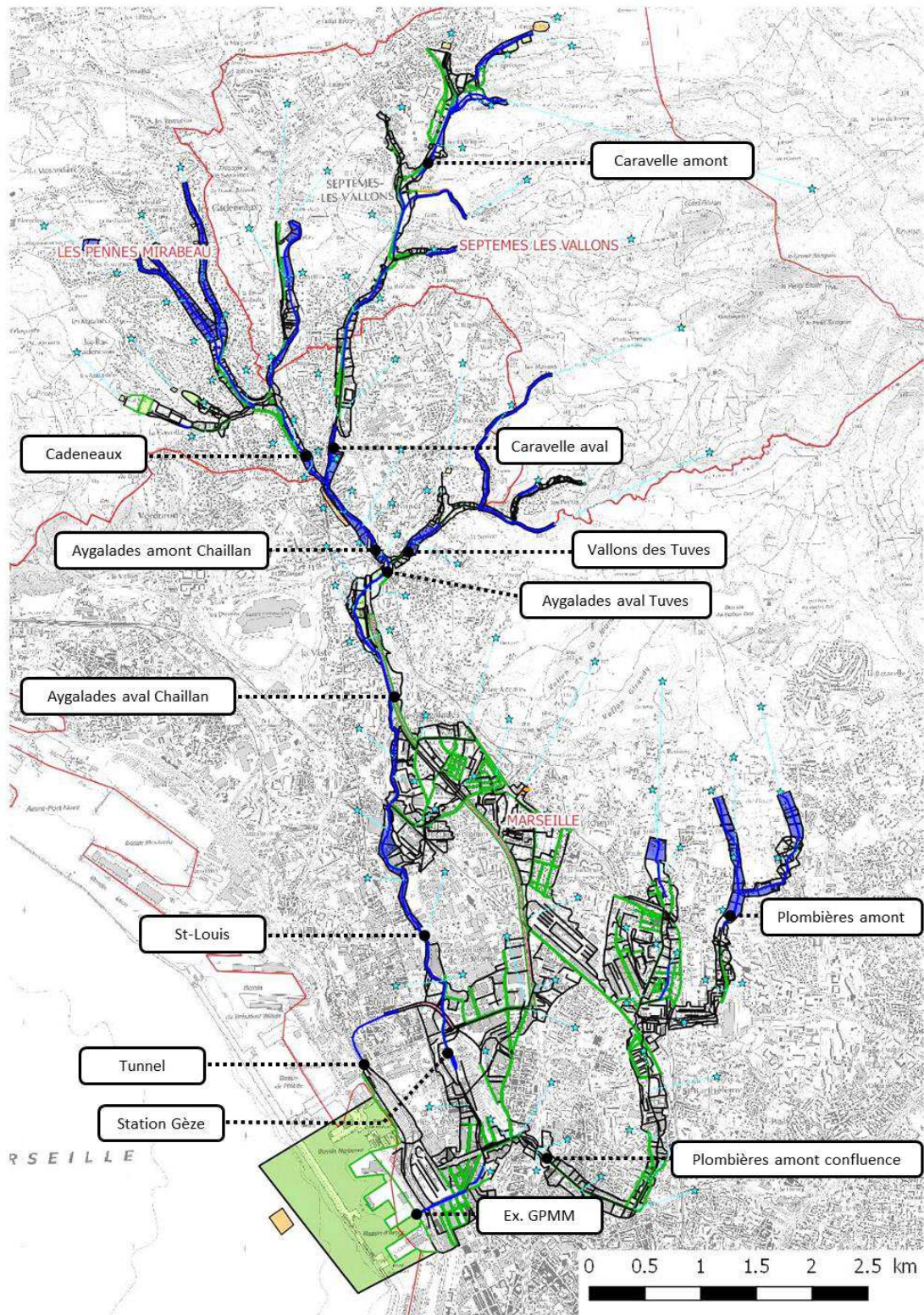


Figure 8 : Localisation des points de calcul des hydrogrammes

Le tableau suivant présente pour les différents scénarios de modélisation de la crue de référence le débit maximum calculé en différents points du système.

En amont du bassin versant le débit maximal est calculé pour les scénarios de pluie les plus courts (Caravelle, Cadeneaux, Vallons des Tuves). En aval du bassin versant le débit maximum est calculé pour le scénario de pluie le plus long.

Crue centennale		Débit en m ³ /s							
		90 min		135 min		270 min		Synthèse	
Libellé	Surface BV (ha)	TO	TF	TO	TF	TO	TF	Qmin	Qmax
Caravelle amont	614	18	18	19	19	18	18	18	19
Caravelle aval	1321	35	35	38	39	41	41	35	41
Cadeneaux	807	35	37	37	38	34	34	34	38
Aygalades amont Chaillan	2202	71	72	75	76	77	77	71	77
Vallon des Tuves	919	25	27	25	26	24	24	24	27
Aygalades aval Tuves	3121	85	86	91	93	100	100	85	100
Aygalades aval Chaillan	3236	81	82	89	90	99	99	81	99
Aygalades Sucrierie Saint Louis	3495	78	81	89	89	101	101	78	101
Aygalades station Gèze	3597	53	54	53	53	55	55	53	55
Tunnel ferroviaire	-	18	3	19	3	30	3	3	30
Plombières amont	190	2	2	2	2	2	2	2	2
Plombières amont confluence	817	32	34	34	35	34	34	32	35
Exutoire Aygalades GPMM	5205	98	98	101	102	108	108	98	108
Exutoire global (Tunnel + GPMM)	5205	114	100	114	105	133	111	100	133

La carte ci-dessous représente le débit spécifique (débit rapporté à la surface totale en amont du point) calculé en chaque point du bassin versant pour la crue de référence :

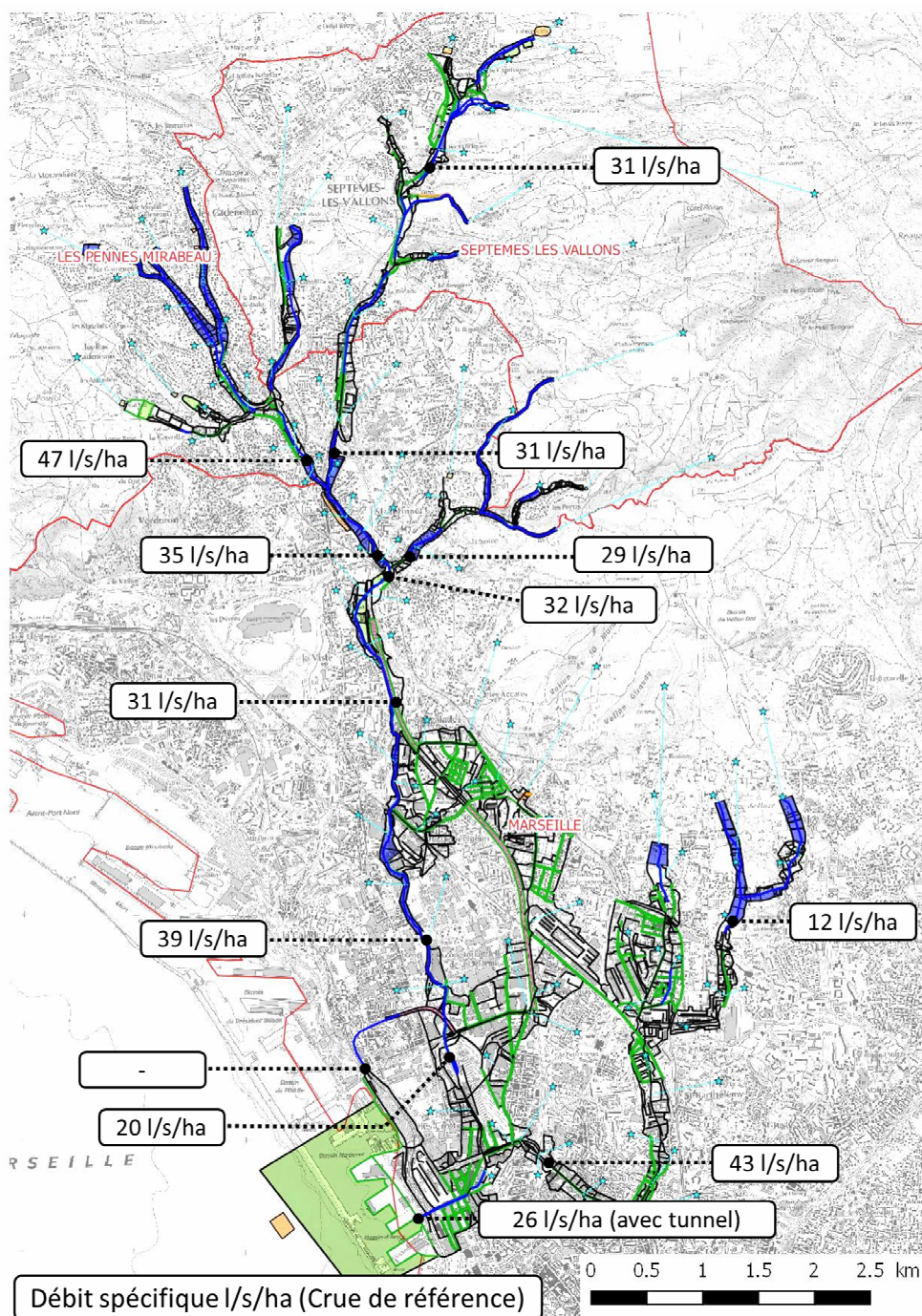


Figure 9 : Débits spécifiques de la crue de référence

Cette carte fait apparaître les zones les plus productives du bassin versant à savoir : Les Pennes Mirabeau, Plombières et les Aygaldes en aval de Chaillan.

On constate également que le bassin de rétention de Sainte-Marthe, en amont du bassin versant de Plombières permet de réduire les débits de pointe en amont des zones les plus urbanisées même pour la crue de référence (point « Plombières amont » à 12 l/s/ha en aval du bassin).

Le graphique ci-après présente les hydrogrammes, en différents points du modèle, de la crue centennale de durée 270 minutes sans embâcle du tunnel :

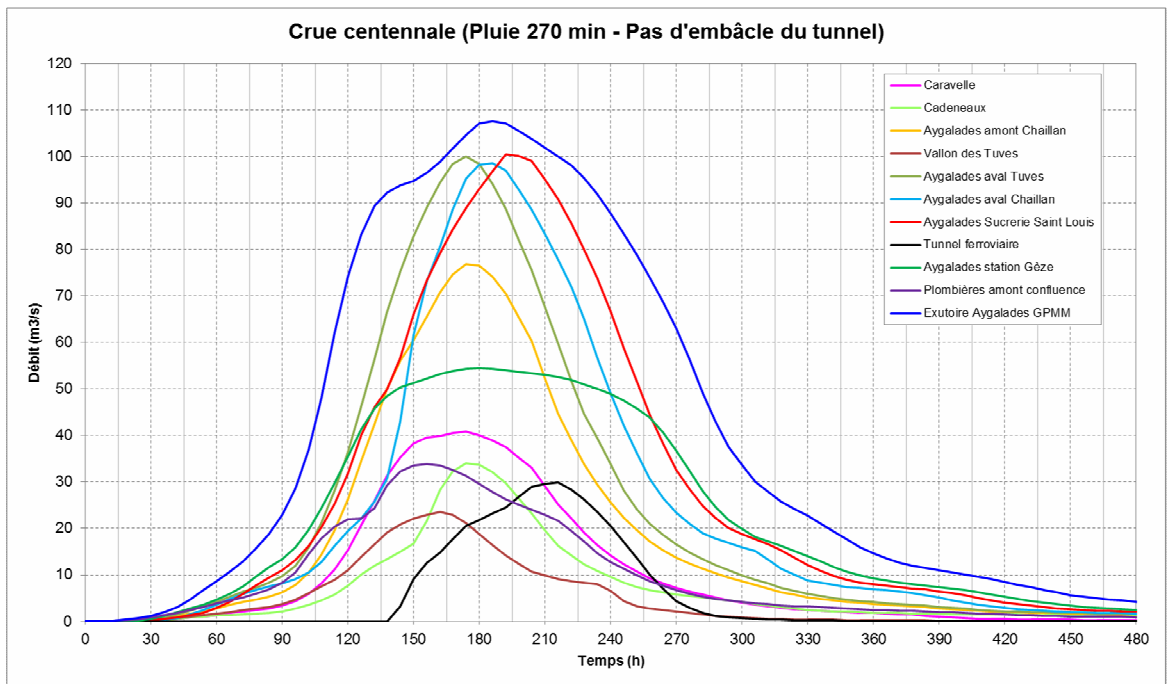


Figure 10 : Hydrogrammes de la crue de référence

Les temps de réaction à différents points du bassin versant sont relativement courts et proches : 140 à 190 minutes pour une pluie de durée 270 minutes dont le pic est à 135 minutes.

Le bassin versant des Ayalades peut donc réagir assez rapidement et en simultané sur les sous-bassins versants pour des pluies intenses et courtes.

Aux principales confluences du bassin versant les pics de crue sont donc relativement proches sur les différents affluents (les écarts des pointes sont indiqués pour le scénario de pluie centennale de 270 minutes) :

Confluence	1 ^{er} pic	2 ^{ème} pic	Ecart en minutes
Caravelle/Cadeneaux	Caravelle	Cadeneaux	0 min
Ayalades/Tuves	Tuves	Ayalades	12 min
Ayalades/Plombières	Plombières	Ayalades	24 min

Le tableau ci-dessous présente les temps de transfert d'amont en aval sur les Aygalades et les affluents (décalage des pics en minutes). On constate qu'ils sont également très faibles voire nuls.

Cela signifie que tous les sous-bassins versants réagissent quasiment en même temps et que la crue se forme sur l'ensemble du territoire en simultané en masquant les effets de propagation de l'amont vers l'aval.

Point	Distance (km)	Décalage des pointes (minutes)
Caravelle amont	3 km	6 min
Caravelle aval	0.8 km	0 min
Aygalades amont Chaillan	1.3 km	5 min
Aygalades aval Chaillan	2.8 km	12 min
Sucrierie Saint Louis	1.2 km	0 min
Gèze	1.9 km	0 min
Exutoire		
Plombières amont	5 km	12 min
Plombières aval		

La carte ci-après présente les débits de premier débordement des tronçons de réseau et des cours d'eau.

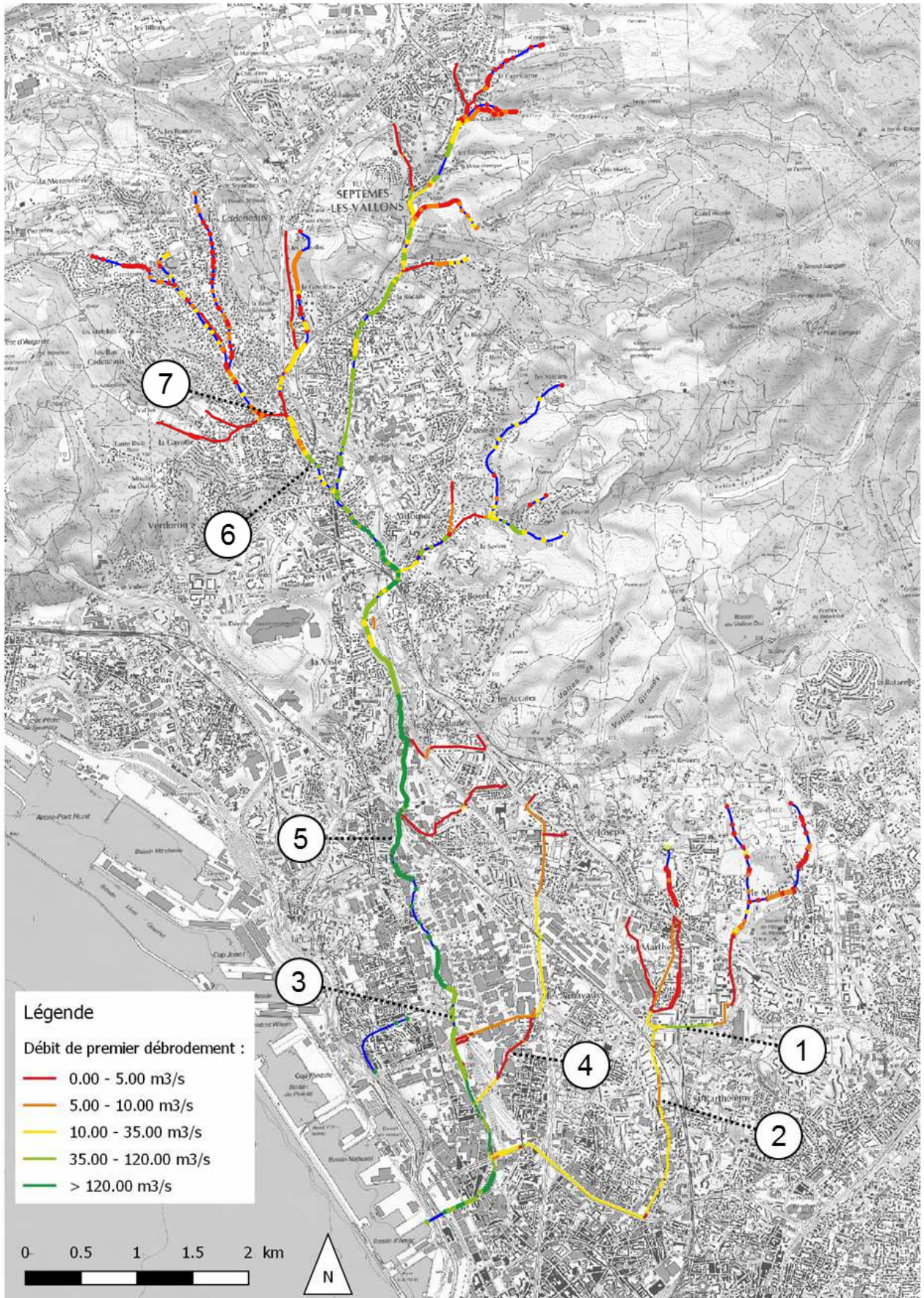
Elle permet de mettre en évidence les ouvrages singuliers qui induisent des débordements localisés : secteur N°6 : aval Cadeneaux, Caravelle, Aygalades : succession de petits ouvrages de franchissement qui induisent des débordements localisés.

On représente également les tronçons de collecteurs de capacité insuffisante qui génèrent des débordements fréquents : secteurs N°7 aux Pennes-Mirabeau, N°2 à Marseille près du stade Philibert et N°4 à Marseille dans la zone du Canet.

Les tronçons dont le débit capable est relativement élevé et qui n'ont que peu d'effet de laminage pendant la crue sont localisés en aval des bassins de Chaillan et jusqu'à l'entrée dans la zone d'activités, ce secteur (secteur N°5) est encaissé et déborde peu.

A l'inverse, le Ruisseau des Aygalades à partir du Boulevard du Capitaine Gèze, début du tronçon canalisé (secteur N°3), présente un débit de premier débordement plus faible qu'en amont ce qui occasionne des débordements vers le faisceau ferré du Canet et le tunnel ferroviaire. Le collecteur de Plombières, en aval de la confluence avec le bassin versant de Sainte Marthe présente un débit capable inférieur à 20 m³/s jusqu'à sa confluence avec les Aygalades. Ce débit est insuffisant au regard des apports du bassin versant, l'ensemble du linéaire du collecteur est donc « inondable ». On remarque que les travaux de redimensionnement des réseaux eaux pluviales dans le secteur de la L2 (secteur N°1) ont permis de mettre en place un réseau de capacité supérieure à celle de l'ensemble du bassin versant de Plombières actuellement.

Figure 11 : Débit de premier débordement du bassin versant des Ayalades



Le tableau ci-dessous présente pour les différents scénarios de modélisation de la crue de référence, le bilan de volume calculé en différents points du système. Le volume maximum est calculé systématiquement pour la durée de pluie de 270 minutes, qui est la pluie présentant le cumul le plus important.

Crue centennale		Volume en m ³							
		90 min		135 min		270 min		Synthèse	
Libellé	Surface BV (ha)	TO	TF	TO	TF	TO	TF	Min	Max
Caravelle amont	614	75 000	75 000	85 000	85 000	110 000	110 000	75 000	110 000
Caravelle aval	1321	200 000	200 000	230 000	230 000	290 000	290 000	200 000	290 000
Cadeneaux	807	150 000	150 000	170 000	170 000	215 000	215 000	150 000	215 000
Aygalades amont Chaillan	2202	370 000	370 000	425 000	425 000	540 000	540 000	370 000	540 000
Vallon des Tuves	919	95 000	95 000	110 000	110 000	140 000	140 000	95 000	140 000
Aygalades aval Tuves	3121	485 000	480 000	550 000	550 000	695 000	695 000	480 000	695 000
Aygalades aval Chaillan	3236	485 000	485 000	560 000	555 000	710 000	710 000	485 000	710 000
Aygalades Sucrierie Saint Louis	3495	575 000	570 000	655 000	655 000	840 000	840 000	570 000	840 000
Aygalades station Gèze	3597	495 000	490 000	545 000	545 000	675 000	680 000	490 000	680 000
Tunnel ferroviaire	-	65 000	55 000	95 000	55 000	155 000	60 000	55 000	155 000
Plombières amont	190	25 000	25 000	30 000	30 000	35 000	35 000	25 000	35 000
Plombières amont confluence	817	200 000	195 000	230 000	225 000	295 000	295 000	195 000	295 000
Exutoire Aygalades GPMM	5205	865 000	870 000	975 000	1 010 000	1 240 000	1 330 000	865 000	1 330 000
Exutoire global (Tunnel + GPMM)	5205	930 000	925 000	1 070 000	1 065 000	1 395 000	1 390 000	925 000	1 395 000

Le graphique ci-dessous présente les hydrogrammes calculés en aval des Aygalades au niveau de l'exutoire dans la darse du GPMM pour les 6 scénarios modélisés de la crue de référence :

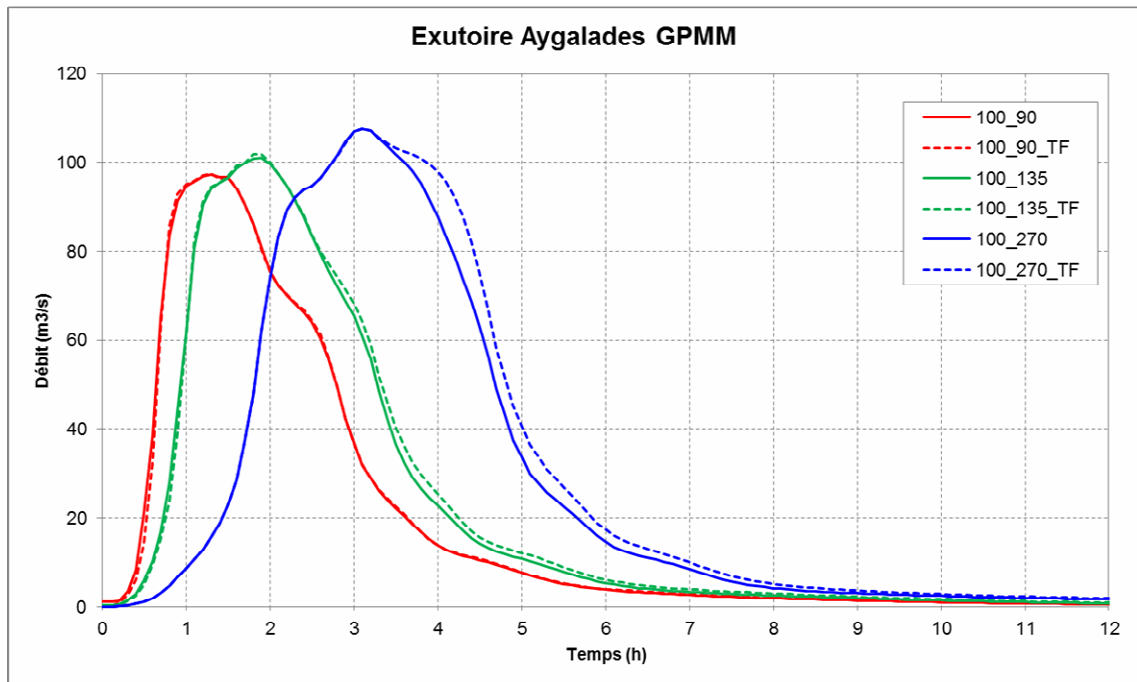


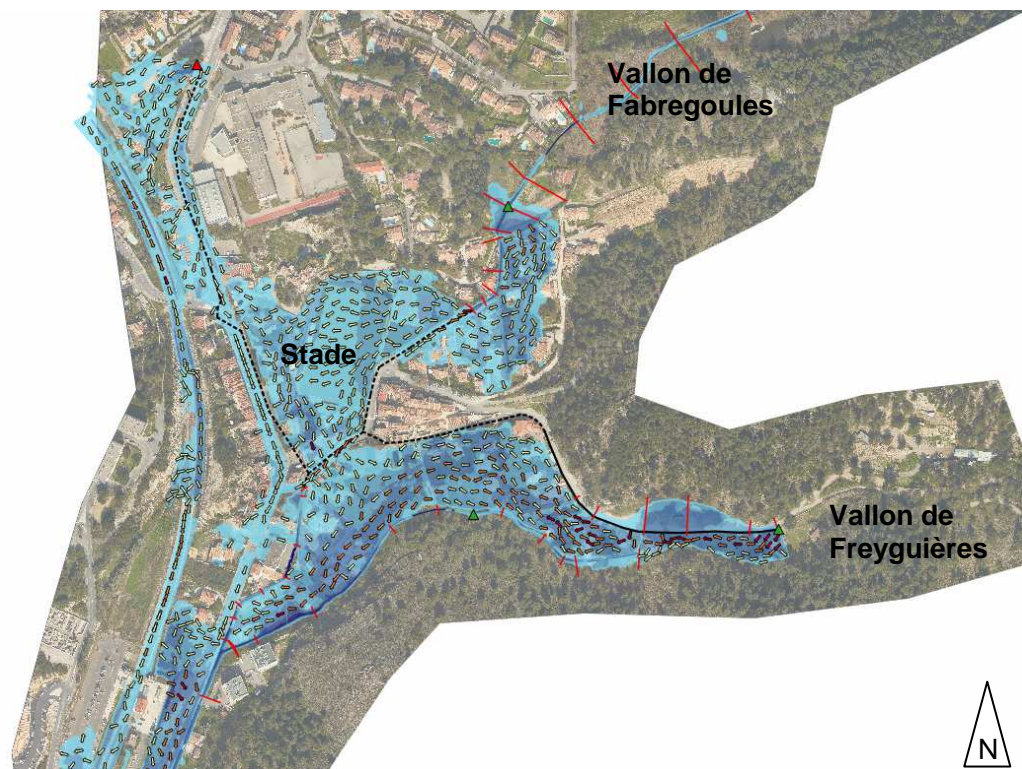
Figure 12 : Hydrogrammes à l'exutoire des Aygalades dans la darse du GPMM

En ce point c'est bien le scénario de durée 270 minutes qui génère le débit de pointe et le volume maximal.

4.3 FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT (CRUE DE REFERENCE)

Les figures ci-après présentent quelques zooms de l'atlas des zones inondables de la crue de référence.

4.3.1 Septèmes-les-Vallons - Route de la Télévision (Planche 1)

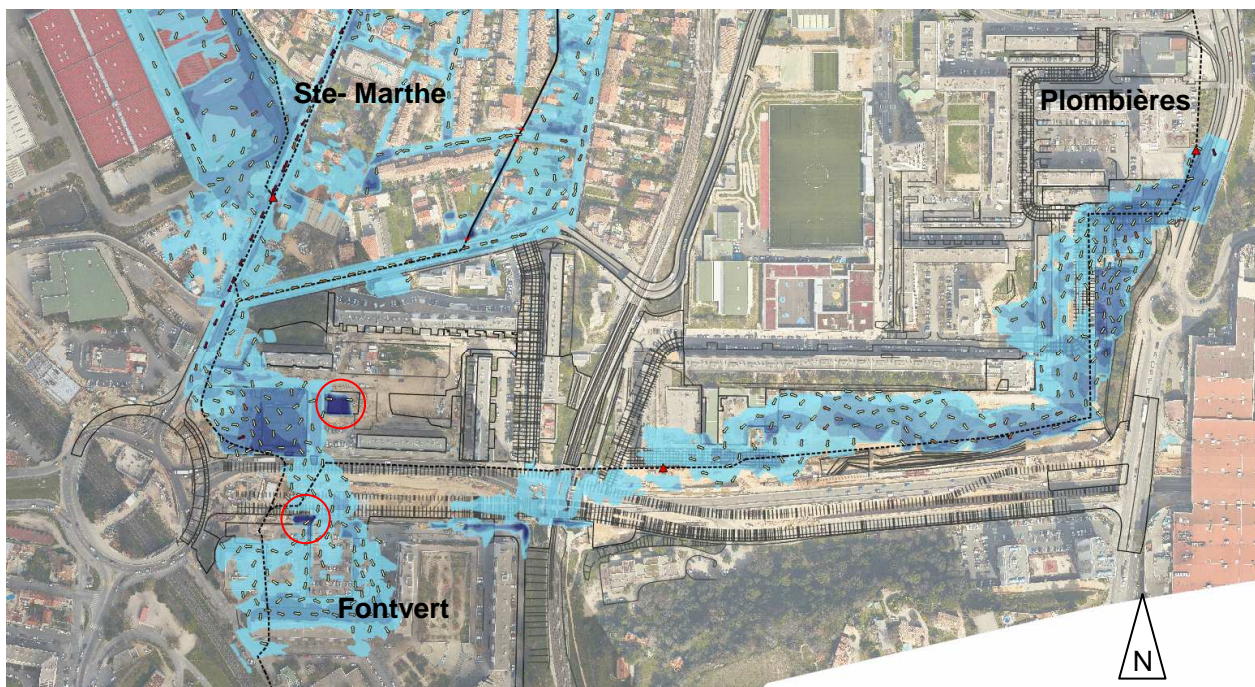


Un apport important provient du Vallon de Freyguières en amont de la route (à l'est) et s'écoule sur la voie vers l'ouest. Les écoulements de surface se dirigent vers le fond de vallon en passant par les propriétés.

Depuis le nord, les apports du Vallon de Fabregoules inondent le stade et rejoignent la route de la Télévision vers le sud.

4.3.2 Marseille – Picon Busserine (Planche 14)

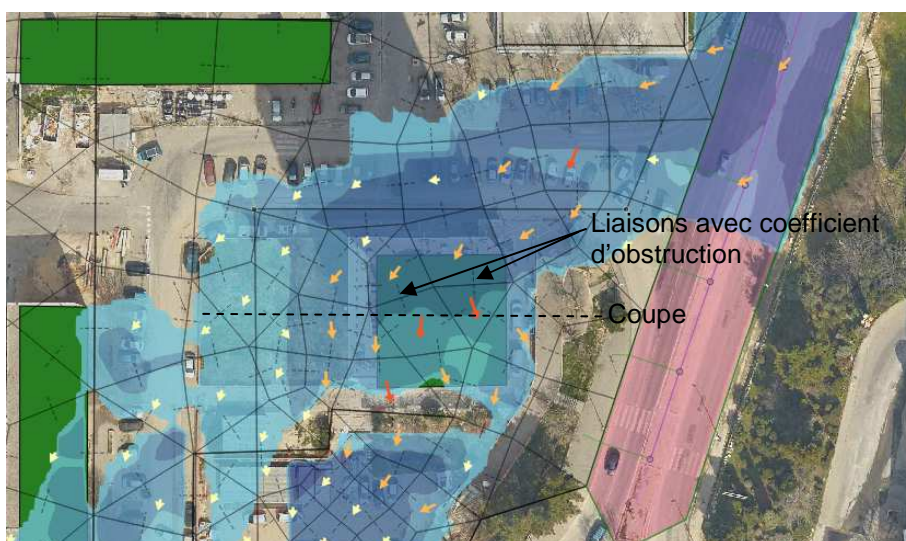
Attention, en l'absence de photographies aériennes à jour, l'image ci-dessous représente la vue du secteur en mars 2016 mais le modèle tient bien compte des réseaux eaux pluviales et de la topographie en situation L2 terminée (dessinés en noir).

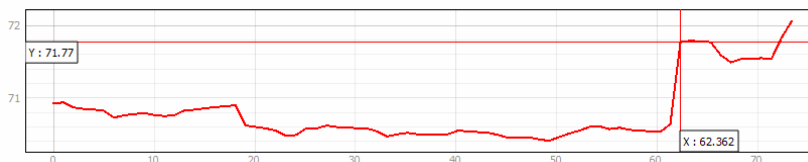


Le réseau pluvial côté Sainte Marthe (à l'ouest) et côté Plombières (à l'est) est saturé en amont des tronçons redimensionnés sur le périmètre L2 et déborde sur les voiries. Les écoulements de Plombières se dirigent vers l'ouest en longeant sur un axe est-ouest la voie L2. Les écoulements de Sainte Marthe se dirigent vers le sud et inondent un point bas situé au niveau du centre commercial (au nord de L2).

Les écoulements se dirigent ensuite vers le sud par-dessus la voie L2 en passant par la résidence Fontvert.

Zoom sur la prise en compte du bâti :





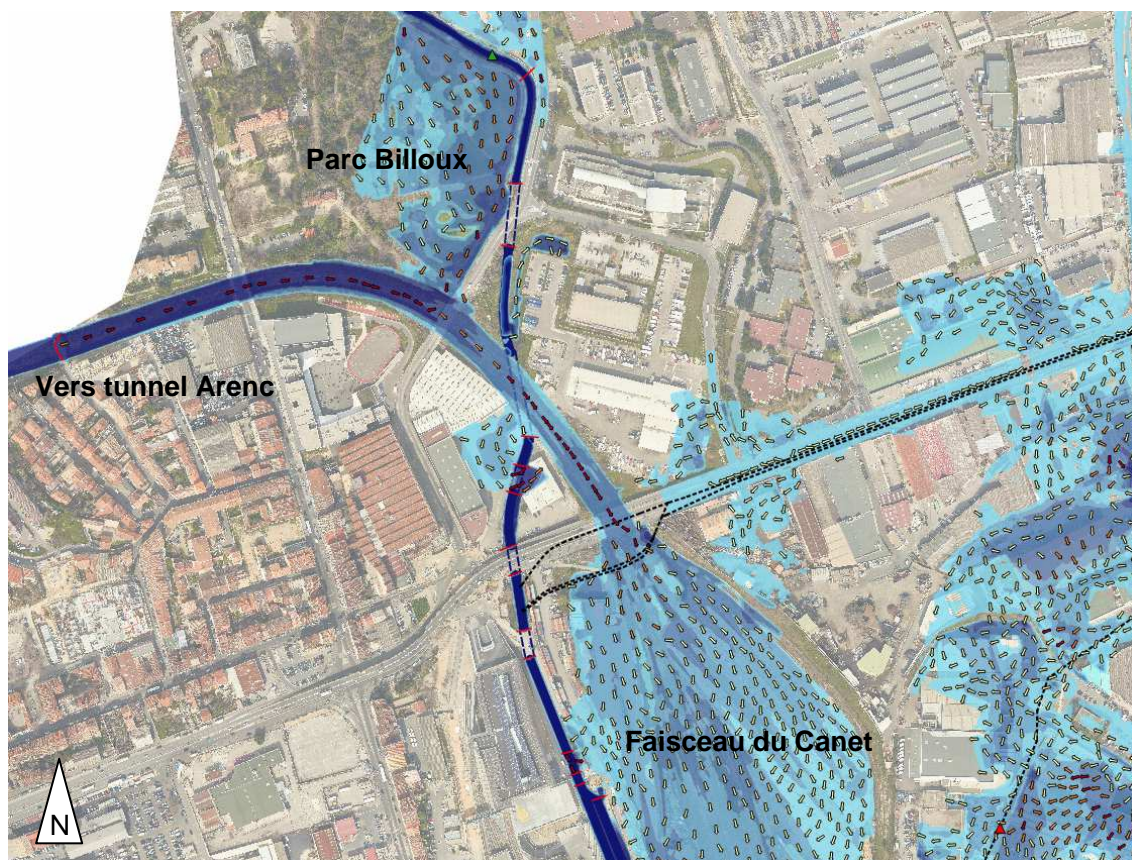
Coupe ouest-est

Sur l'exemple ci-dessus, le bâti au centre de l'image (en vert) est inondé depuis la voirie à l'est. Les écoulements traversent le bâtiment avec une vitesse supérieure à la vitesse à coté du bâti (flèches rouges), due au rétrécissement de la largeur des liaisons (coefficient d'obstruction de 88 et 91 % de deux liaisons).

Remarque :

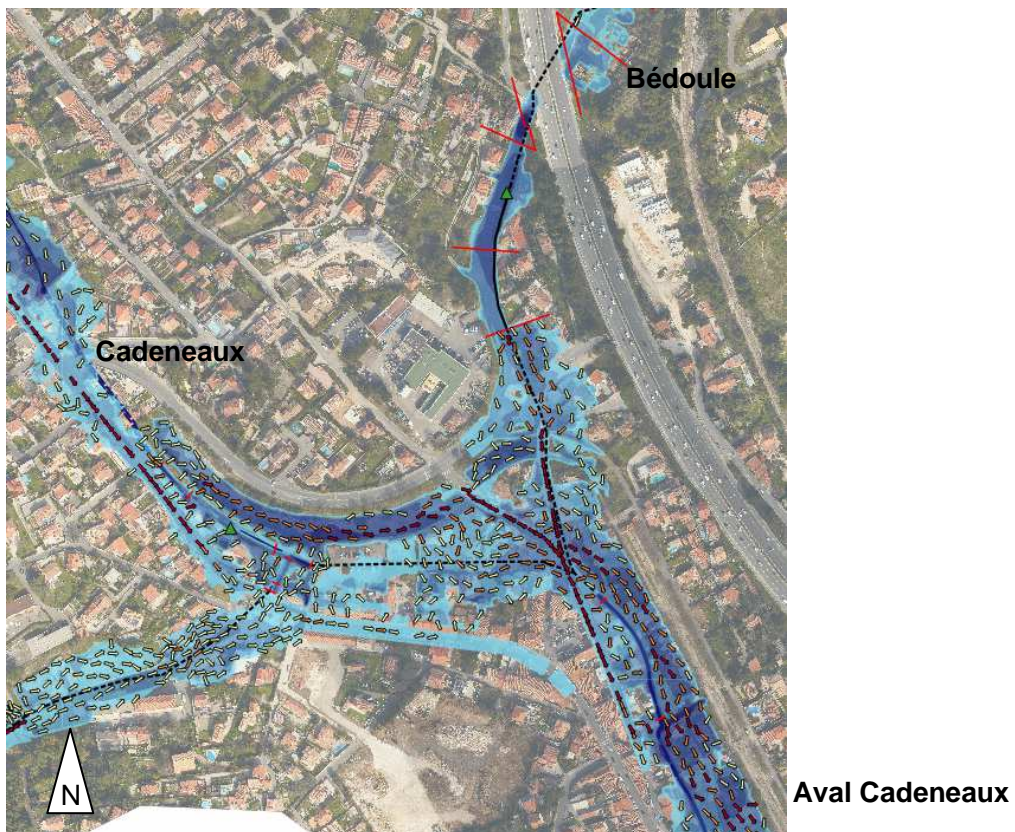
Il existe 2 « poches » isolées de hauteur d'eau importante (zones entourées en rouge). Elles correspondent à des zones de déblais en phase chantier qui existaient au moment du levé LIDAR qui a servi à la construction du modèle. Elles se situent également en dehors des données topographiques fournies dans le cadre du projet L2 et n'ont donc pas été corrigées pour l'établissement des cartes de hauteur d'eau.

4.3.3 Marseille – Bvd. Gèze (Planches 20 et 21)



Le ruisseau des Aygalades déborde en amont du parc Billoux vers la zone d'activités en rive gauche et vers le parc Billoux en rive droite. Les écoulements rejoignent la voie ferrée reliant le faisceau du Canet et celui d'Arenc. Cette voie ferrée présente un point « haut » au niveau des Aygalades. En cas d'embâcle du tunnel d'Arenc les écoulements se dirigent donc vers le Canet, dans le cas contraire les écoulements se dirigent vers le tunnel.

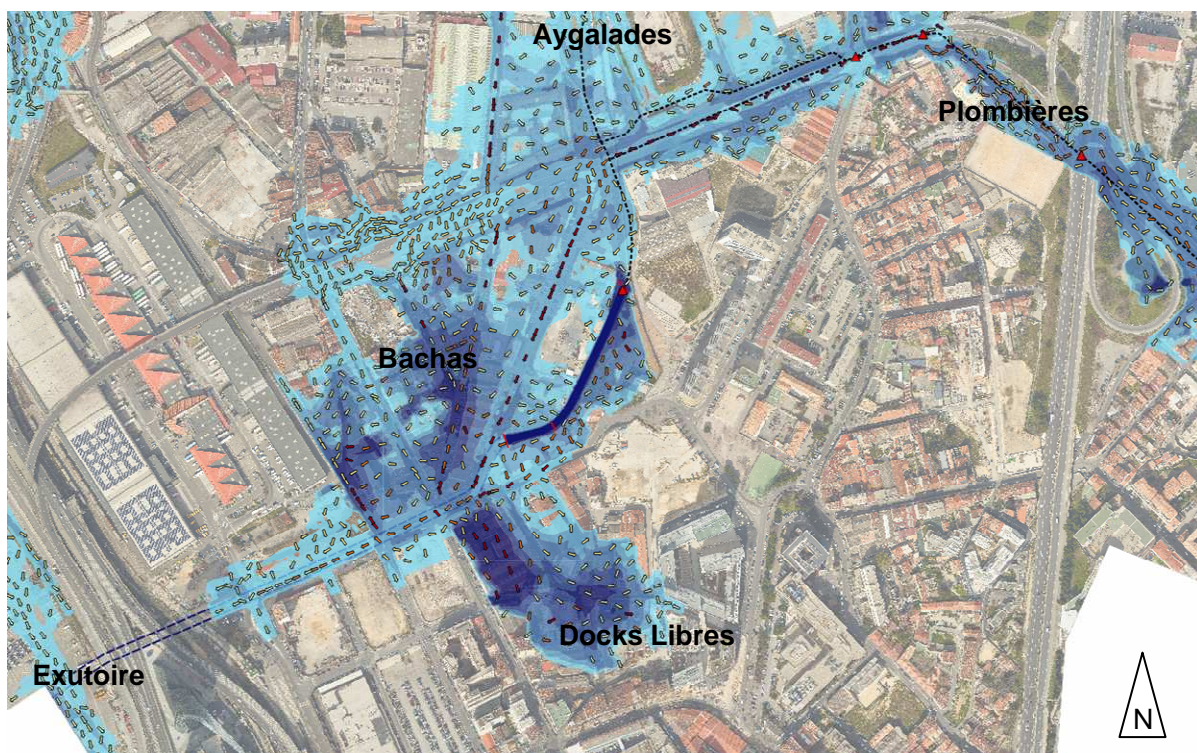
4.3.4 Les Pennes-Mirabeau – confluence Cadeneaux / Bédoule (Planche 7)



Sur ce secteur, les Cadeneaux et la Bédoule passent d'une zone à ciel ouvert à un collecteur enterré. Sur les deux branches, les collecteurs sont sous-dimensionnés. Les réseaux débordent donc rapidement sur les voiries.

Les écoulements provenant de l'ouest (Cadeneaux) et du nord (Bédoule) se dirigent vers l'aval des Cadeneaux au sud est.

4.3.5 Marseille – cours d'Anthoine / rue du Bachas (Planche 22)

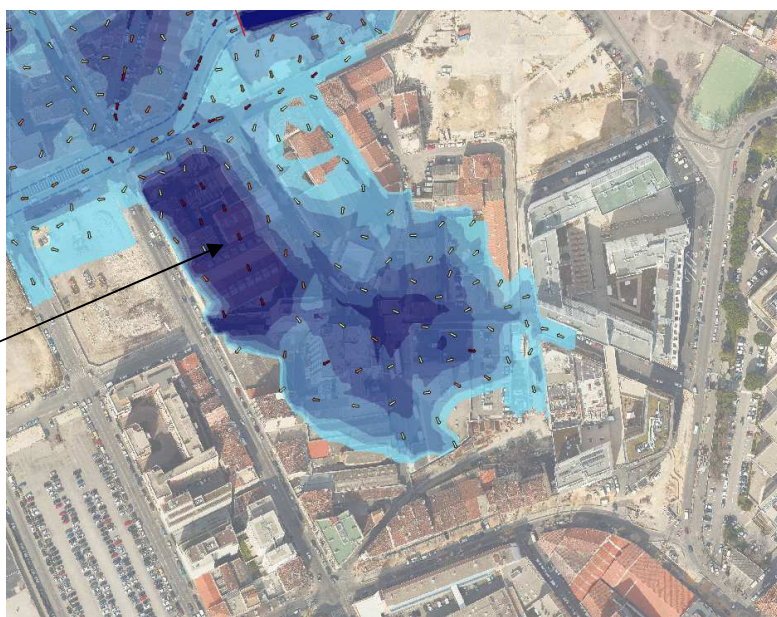


Le secteur cours d'Anthoine / Rue du Bachas / Docks Libres, présentant des points bas du terrain naturel sont inondés par le ruisseau de Plombières via le bvd. Lesseps et par les Aygalades via le faisceau ferré du Canet.

Les volumes d'inondation de ces points bas ne peuvent pas in fine rejoindre le tronçon canalisé des Aygalades et l'exutoire.

Plus particulièrement le secteur Docks Libres, encadré par les rues Caravelle, Crémieux, Cassin, National et Salengro présente un point bas de -2.00 m au maximum par rapport à la rue de la Caravelle au carrefour avec la rue de Briançon. Ainsi le secteur est inondé par ces deux rues sous une hauteur d'eau pouvant atteindre 2.50 m au maximum, la cote des plus hautes eaux étant de 4.00 mNGF en moyenne.

PHE = 4.00 mNGF



4.4 FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT (CRUE DECENNALE)

La carte ci-après met en évidence les secteurs de débordement des cours d'eau ou des réseaux dès la pluie de période de retour décennale (voir N° sur la carte) :

- 1) Secteurs amont des Pennes-Mirabeau,
- 2) Confluence Bédoule / Cadeneaux aux Pennes-Mirabeau,
- 3) La Bédoule,
- 4) Le vallon route de la Télévision, le vallon du Maire et le vallon de Rougières à Septèmes-les-Vallons,
- 5) La Caravelle dans la traversée de Septèmes-les-Vallons,
- 6) Les voiries du vallon des Tuves,
- 7) L'autoroute A7 entre la confluence du vallon des Tuves et le secteur de la « cascade » près du cimetière,
- 8) Voiries du secteur Castellás / chemin de Saint-Joseph à Saint-Antoine en amont de l'autoroute A7,
- 9) Voiries et îlots du bassin versant de Sainte-Marthe en amont de la voie L2,
- 10) Ruisseau de Plombières / Four de Buze en tête de bassin versant,
- 11) Plombières en amont de la voie L2,
- 12) Plombières au niveau du Stade Philibert,
- 13) Tronçons aval du collecteur de Plombières sur le boulevard de Plombières depuis le carrefour du chemin de Sainte-Marthe jusqu'au métro Bougainville,
- 14) Parc Billoux,
- 15) Faisceau du Canet et îlots à l'est du faisceau sur le collecteur du Ruisseau des Lions,
- 16) Secteur des points bas Bachas, Docks Libres en aval des Ayalades.

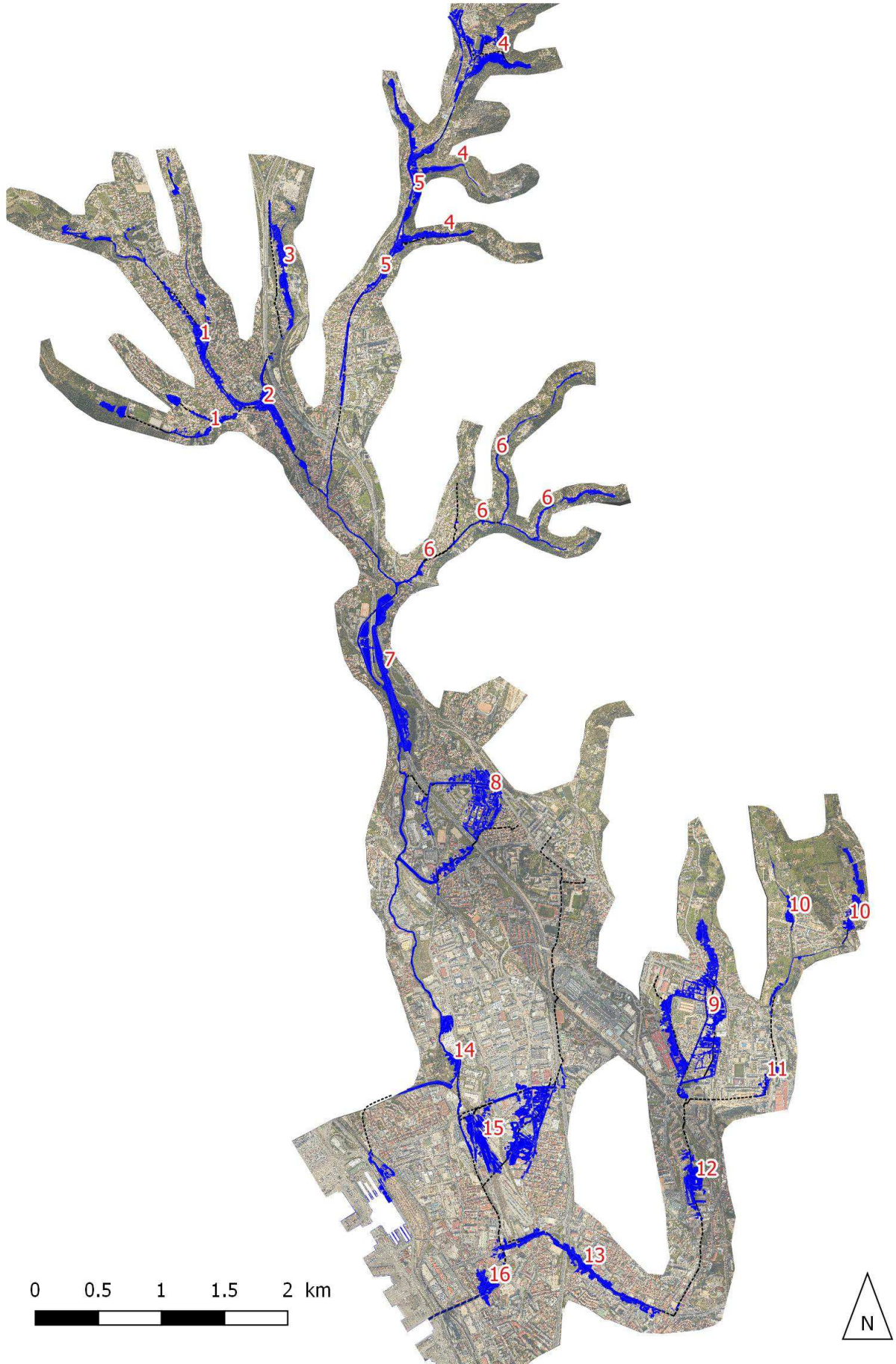
On constate que l'enveloppe de la zone inondable de la crue décennale est assez proche de la crue de décembre 2003 sur l'ensemble du bassin versant.

L'enveloppe de la crue décennale est légèrement plus étendue que pour la crue de décembre 2003 dans les secteurs de Four de Buze, Plombières juste en amont de la L2, du Canet, du Castellás ainsi que plus nettement sur les têtes de bassins versants de la Haute Bédoule et du Vallon de Fabregoules.

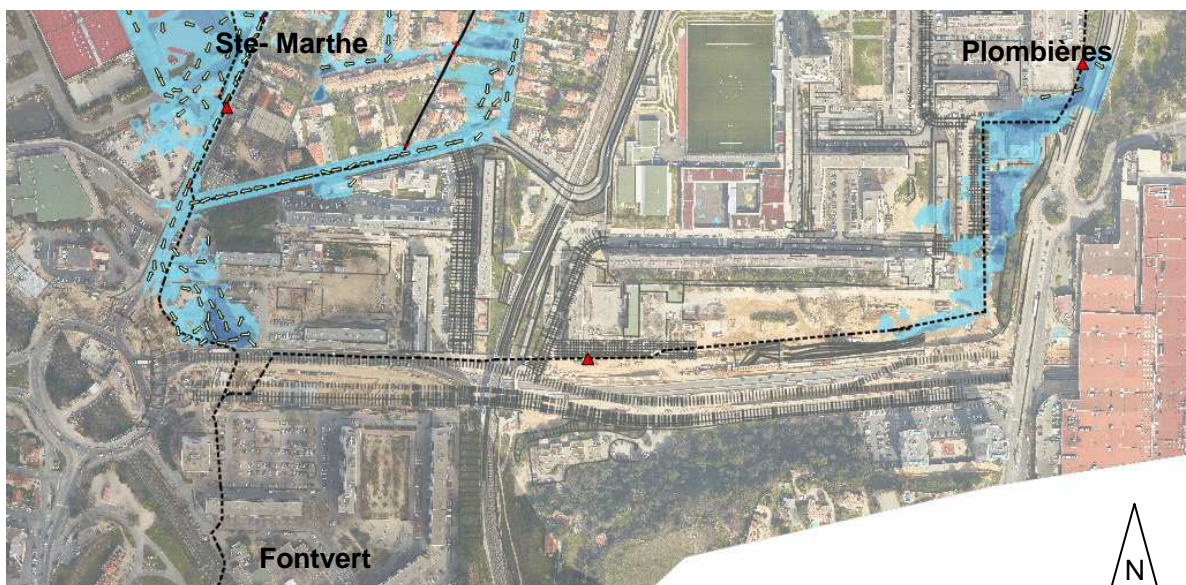
Il existe également des différences au droit des murettes qui ne sont pas prises en compte pour la crue décennale, à savoir : au droit du bassin de Chaillan N°1 : inondation vers le sud via l'autoroute, au droit du tronçon canalisé des Ayalades dans le secteur Bougainville : inondation vers la rue du Bachas et les Docks Libres.

Les chapitres ci-après présentent quelques points de la zone inondable de la crue décennale plus en détail.

Figure 13 : Secteurs inondés pour la crue décennale



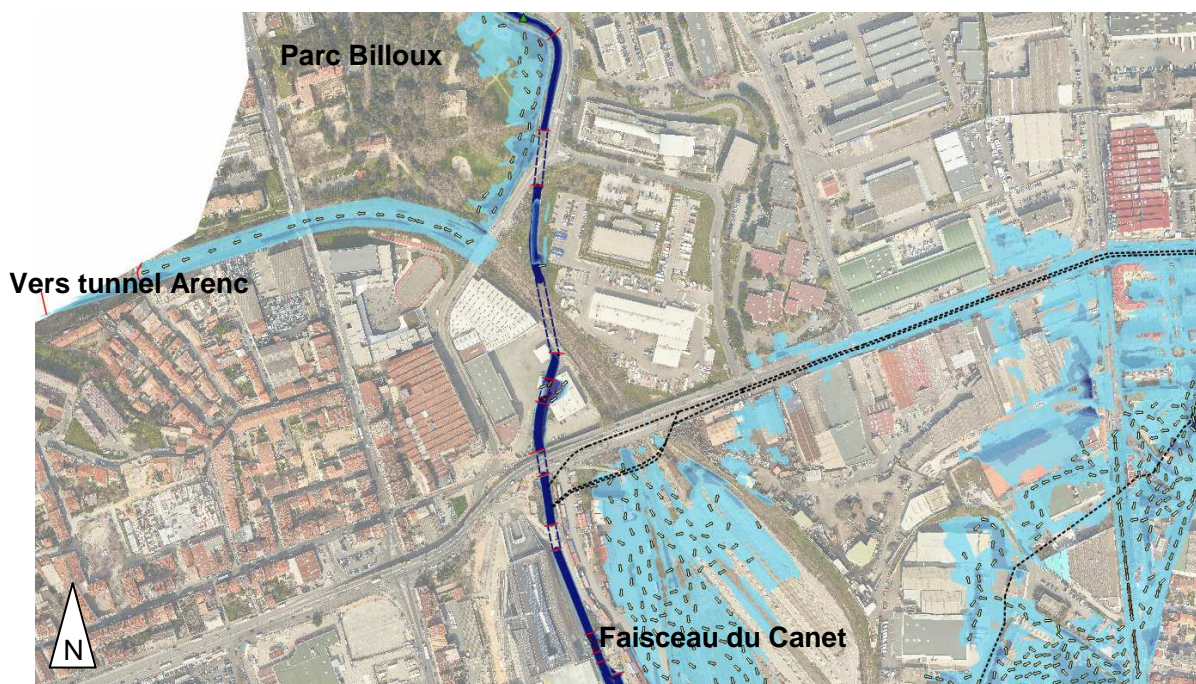
4.4.1 Marseille – Picon Busserine (Planche 14)



Le collecteur de Plombières en amont du secteur recalibré ne permet pas de faire transiter le débit décennal, les débordements sur l'avenue Raimu rejoignent l'entrée est de la future plaine des sports mais ne la traversent pas.

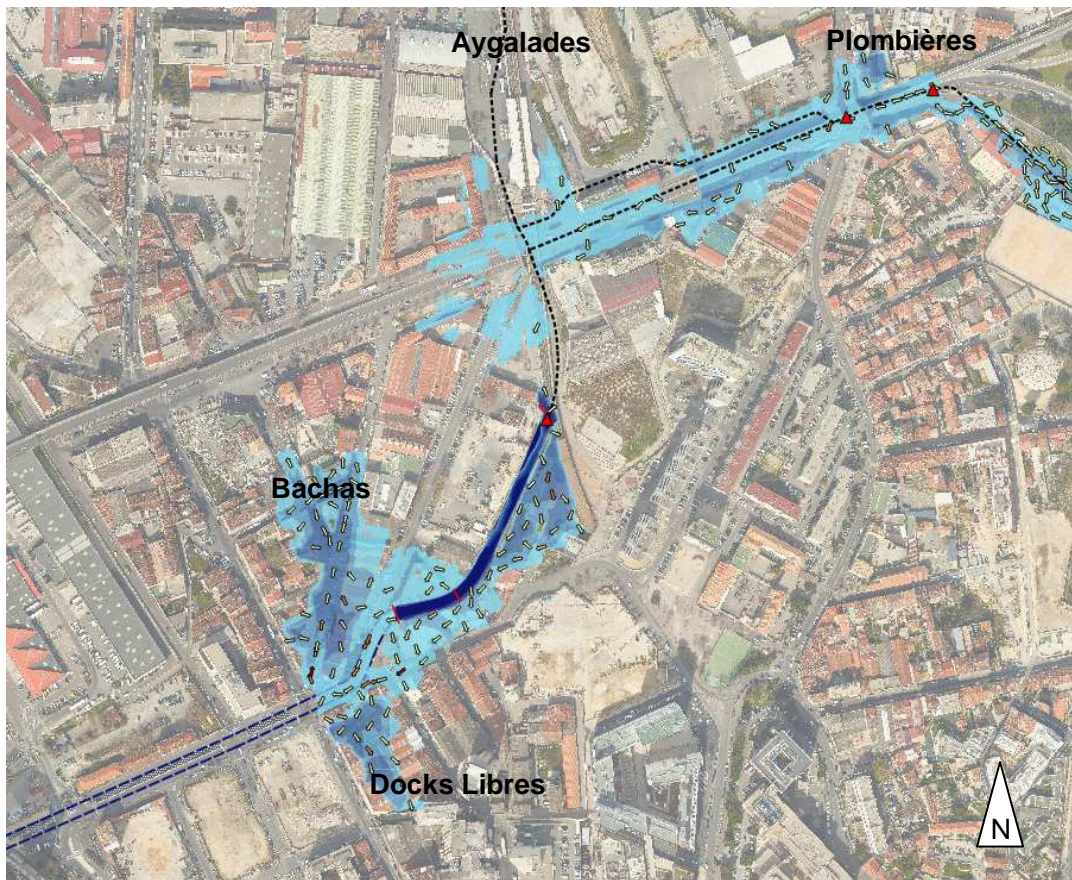
Sur le collecteur Sainte-Marthe le fonctionnement est identique. Les débordements rejoignent le point bas en amont de la L2 mais le volume n'est pas suffisant pour déborder par-dessus la voie L2.

4.4.2 Marseille – Bvd. Gèze (Planches 20 et 21)



Les débordements des Ayalades du parc Billoux se dirigent préférentiellement vers le tunnel ferroviaire à l'ouest. Le niveau d'inondation n'est pas suffisant pour rejoindre le faisceau du Canet à l'est. Il est lui-même inondé par les écoulements sur voirie du bvd. du Capitaine Gèze.

4.4.3 Marseille – cours d’Anthoine / rue du Bachas (Planche 22)



Pour la crue décennale, les inondation du bvd. de Plombières rejoignent le bvd. Lesseps et le métro Bougainville.

Les points bas de la rue du Bachas et des Docks Libres sont inondés par débordement du tronçon aérien des Aygalades (sans murettes). La hauteur d'eau maximum dans le point bas des Docks Libres est de 1 m en moyenne.

**ANNEXE 1 : ATLAS DES ZONES INONDABLES DE LA CRUE
CENTENNALE (CRUE DE RÉFÉRENCE)**

ANNEXE 2 : ATLAS DES ZONES INONDABLES DE LA CRUE DÉCENNALE

ANNEXE 3 : ATLAS DE L'ALEA INONDATION DE LA CRUE DE
REFERENCE

