

ETUDE N° MM2714

BASSIN VERSANT JOUÏNE - GRAND VALLAT

ETUDE POUR LA REDUCTION
DE L'ALEA INONDATION AU
DROIT DES LIEUX HABITES
EN TENANT COMPTE DU
FONCTIONNEMENT
NATUREL DES COURS D'EAU

PHASE 2



SYNDICAT INTERCOMMUNAL
D'AMENAGEMENT DU BASSIN
DE L'ARC

Juillet 2013



© une marque
Ingérop Conseil & Ingénierie

Identification



® Une marque



INGÉROP Conseil & Ingénierie – Région Méditerranée – Agence d'Aix en Provence
Domaine du Petit Arbois - Pavillon Laennec - B.P 20056 - 13 545 AIX EN PROVENCE Cedex 04

Téléphone : +33 4 42 50 83 00 - Télécopie : +33 4 42 50 83 01

E-mail : ipseau@ingerop.com

Siège Social : 168/172, boulevard de Verdun - 92408 Courbevoie Cedex - France
Téléphone : 33 (0) 1 49 04 55 00 - Télécopie : 33 (0) 1 49 04 57 01 - E-mail : ingerop@ingerop.com
S.A.S. au capital de 5 800 000 € - R.C.S. Nanterre B 489 626 135 - N° Siret 489 626 135 00011 - APE 7112B - Code TVA n° FR 454 896 261 35



Gestion de la qualité

Version	Date	Intitulé	Rédaction	Lecture	Validation
1	06/2013	Phase 2 – rapport provisoire	MC	SH	SH
2	07/2013	Phase 2 – rapport définitif	MC	SH	SH

Sommaire

1. INTRODUCTION	9
2. RAPPELS PHASE 1	13
2.1. SYNTHÈSE DE LA PHASE 1	13
2.2. REQUÊTES DE LA DDTM ET DE LA DREAL	13
3. ANALYSE HYDROLOGIQUE	15
3.1. CLIMATOLOGIE – PLUVIOMETRIE	15
3.1.1. <i>Caractéristiques climatiques générales</i>	15
3.1.2. <i>Précipitations intenses</i>	16
3.2. MODELISATION PLUIE-DEBIT	17
3.2.1. <i>Méthodologie</i>	17
3.2.2. <i>Les paramètres hydrologiques</i>	19
3.2.3. <i>Pluie de projet</i>	25
3.2.4. <i>Résultats</i>	28
3.2.5. <i>Cohérence des résultats</i>	33
4. MODELISATION DES ECOULEMENTS	35
4.1. PRESENTATION DU MODELE	35
4.2. TOPOGRAPHIE	36
4.2.1. <i>Modèles numériques de terrain</i>	36
4.2.2. <i>Levés terrestres</i>	37
4.2.3. <i>Profils en travers</i>	37
4.3. MODELISATION DES LITS MINEURS	38
4.3.1. <i>Géométrie des cours d'eau</i>	38
4.3.2. <i>Profils en travers et ouvrages</i>	39
4.3.3. <i>Coefficients de rugosité</i>	39
4.4. MODELISATION DU LIT MAJEUR	40
4.4.1. <i>Emprise du modèle et maillage</i>	40
4.4.2. <i>Coefficients de rugosité</i>	41
4.5. COUPLAGE LIT MINEUR / LIT MAJEUR	42
4.6. CONDITIONS AUX LIMITES	42
4.6.1. <i>Conditions aux limites amont</i>	42
4.6.2. <i>Conditions aux limites aval</i>	42
4.7. RESULTATS MODELE 2D	43
4.7.1. <i>Calage du modèle</i>	43
4.7.2. <i>Résultats de la modélisation Q2</i>	44
4.7.3. <i>Résultats de la modélisation Q5</i>	49
4.7.4. <i>Résultats de la modélisation Q10</i>	55
4.7.5. <i>Résultats de la modélisation Q50</i>	61
4.7.6. <i>Résultats de la modélisation Q1993</i>	67
4.7.7. <i>Récapitulatif</i>	73
4.8. RESULTATS MODELE PETITE JOÛINE (SAFEGE)	77
4.9. DEBITS DE PREMIERS DEBORDEMENTS	89
4.9.1. <i>Méthodologie</i>	89
4.9.2. <i>Résultats</i>	89
5. DIRECTIVE INONDATION	93
5.1. PRESENTATION	93
5.2. RESULTATS	93
6. PERSPECTIVES PHASE 3	95
6.1. RAPPELS DES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE ET DES ORIENTATIONS SDAGE / SAGE	95
6.1.1. <i>Objectifs de l'étude</i>	95
6.1.2. <i>Orientations SDAGE et SAGE de l'Arc</i>	95
6.2. PISTES DE REFLEXION	96

6.2.1.	Objectif « confort ».....	96
6.2.2.	Solutions techniques envisagées.....	97
6.2.3.	Solutions réglementaires envisagées.....	99
7.	CONCLUSION	101
8.	ANNEXES	103

Planches cartographiques

Numéro planche	Titre planche	Echelle	Fond
Ph2-1	Modèle pluie-débit – Découpage des sous bassins versants	1 / 16 000	Cadastral
Ph2-2a	Débits de premiers débordements – Secteur Simiane-Collongue & Bouc-Bel-Air	1 / 5 000	Cadastral
Ph2-2b	Débits de premiers débordements – Secteur Bouc-Bel-Air & Cabriès	1 / 6 000	Cadastral
Ph2-2c	Débits de premiers débordements – Secteur Cabriès & Aix-en-Provence	1 / 5 000	Cadastral
Ph2-3a	TRI ARC – Cartographie des zones inondables du Grand Vallat et de la Petite Jouïne – Crue décennale	1 / 11 000	Cadastral
Ph2-3b	TRI ARC – Cartographie des zones inondables du Grand Vallat et de la Petite Jouïne – Crue de référence de type 1993	1 / 11 000	Cadastral
Ph2-3c	TRI ARC – Cartographie des zones inondables du Grand Vallat et de la Petite Jouïne – Crue exceptionnelle	1 / 11 000	Cadastral

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Quantiles de pluie en mm pour la station météorologique d'Aix-Les-Milles	16
Tableau 2 : Caractéristiques géométriques des sous BV	19
Tableau 3 : Définition du Curve Number	20
Tableau 4 : Curve Number moyen pour chaque sous BV	20
Tableau 5 : Absorption initiale (mm).....	23
Tableau 6 : Définition des temps de concentration	24
Tableau 7 : Calage des temps de transfert et coefficients d'amortissement sur le Grand Vallat pour un évènement décennal	25
Tableau 8 : Débit obtenu à la confluence avec l'Arc pour les occurrences 2, 5, 50 ans et pluie de 1993	25
Tableau 9 : Débits de pointe des sous BV	29
Tableau 10 : Comparaison des débits pseudo-spécifiques	33
Tableau 11 : Comparaison avec l'analyse de 2006 réalisée par Ipseau	34
Tableau 12 : Linéaires de cours d'eau modélisés	38
Tableau 13 : Coefficients de rugosité retenus en lit mineur	39
Tableau 14 : Coefficients de rugosité retenus en lit majeur	41
Tableau 15 : Secteurs impactés classés par ordre de priorité	96

Liste des figures :

Figure 1 : Modèle Pluie-Débit	18
Figure 2 : Illustration des temps de transfert et coefficient d'amortissement sur le Grand Vallat	18
Figure 3 : Occupation du sol.....	21
Figure 4 : Les pluies de projet d'occurrence 2, 5, 10 et 50 ans	26
Figure 5 : Pluie de septembre 1993	27
Figure 6 : Hydrogrammes de crue de la Petite Jouïne au niveau de la RD9 (données SAFEGE).....	27
Figure 7 : Débits de pointe retenus sur l'ensemble du réseau hydrographique.....	31
Figure 8 : Données topographiques	37
Figure 9 : Extrait du modèle unidimensionnel	39
Figure 10 : Emprise du modèle 2D – Topographie	40
Figure 11 : Coefficients de rugosité – secteur Vallats de Pibou et Babol Bouc Bel Air	41
Figure 12 : Hauteurs maximales – Evènement T = 2 ans	45
Figure 13 : Vitesses maximales – Evènement T = 2 ans.....	47
Figure 14 : Hauteurs maximales – Evènement T = 5 ans	51
Figure 15 : Vitesses maximales – Evènement T = 5 ans	53
Figure 16 : Hauteurs maximales – Evènement T = 10 ans.....	57
Figure 17 : Vitesses maximales – Evènement T = 10 ans.....	59
Figure 18 : Hauteurs maximales – Evènement T = 50 ans.....	63
Figure 19 : Vitesses maximales – Evènement T = 50 ans.....	65
Figure 20 : Hauteurs maximales – Evènement type 1993	69
Figure 21 : Vitesses maximales – Evènement type 1993	71
Figure 22 : Secteurs à enjeux impactés et période de retour associée	75
Figure 23 : Petite Jouïne SAFEGE Hauteurs maximales – Evènement T = 2 ans	79
Figure 24 : Petite Jouïne SAFEGE Hauteurs maximales – Evènement T = 5 ans	81
Figure 25 : Petite Jouïne SAFEGE Hauteurs maximales – Evènement T = 10 ans	83
Figure 26 : Petite Jouïne SAFEGE Hauteurs maximales – Evènement T = 50 ans	85
Figure 27 : Petite Jouïne SAFEGE Hauteurs maximales – Evènement type 1993	87
Figure 28 : Zones de rétention naturelles – Bouc Bel Air.....	97
Figure 29 : Zones de rétention potentiellement intéressantes – Cabriès.....	98
Figure 30 : Zones à inscrire comme non urbanisables sur les PLU des communes	99

1. INTRODUCTION

Les bassins versants du Grand Vallat et de la Petite Jouïne, d'une superficie totale de 75 km², traversent les communes de Simiane Collongue, Bouc Bel Air, Cabriès et Aix en Provence. Ce secteur connaît, comme beaucoup de communes de l'arc Méditerranéen, de nombreux problèmes d'inondation liés aux phénomènes pluvieux intenses sur des sols de plus en plus imperméabilisés du fait du développement de l'urbanisation.

Les travaux d'entretien des berges et les aménagements ponctuels réalisés par le SABA, Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Bassin de l'Arc, améliorent localement la situation mais ne résorbent pas pour autant l'ensemble des points de dysfonctionnement.

Le SABA a donc décidé d'engager une réflexion à l'échelle du bassin versant, sur l'ensemble du réseau hydrographique principal et secondaire, visant à réduire l'aléa inondation dans les zones urbanisées présentant des enjeux importants en conservant au maximum le fonctionnement naturel du cours d'eau.

L'étude vise à définir une politique générale de gestion des cours d'eau à l'échelle du bassin et des communes concernées, développée et adaptée à chaque contexte communal et ce, dans une logique globale amont-aval. Des solutions proposées pourront être d'ordre technique et/ou réglementaire, et respecteront au mieux le choix qui a été fait sur le bassin versant de l'Arc d'appliquer en priorité le principe de **ralentissement dynamique**.

L'étude s'articule selon quatre phases :

- **Phase 1** : Afin d'avoir une première approche des mécanismes d'écoulement et de connaître les zones de dysfonctionnements remarquables, un recueil d'études antérieures et de témoignages, par le biais de rencontres avec les communes et d'enquêtes sur le terrain, a constitué une base importante à la bonne compréhension du bassin versant. Par ailleurs, ce recueil exhaustif, a permis d'identifier les ouvrages hydrauliques et leur singularité et les levés topographiques à réaliser.
- **Phase 2** : L'objectif est de disposer d'une cartographie des désordres et des enjeux exposés en fonction de différents débits d'occurrence et de caractériser la vulnérabilité des enjeux en déterminant le débit causant les premiers dommages et la période de retour associée. Une

analyse hydrologique a permis de définir les débits d'occurrences en différents nœuds du réseau hydrographique. La modélisation hydraulique des écoulements a été réalisée par le biais de modèles numériques.

- **Phase 3** : Cette phase visera à proposer des aménagements et des outils ou mesures de gestion. Dans une notion de gestion globale du bassin versant, il s'agira de conjuguer plusieurs solutions : mesures de réduction des aléas, actions de réduction de la vulnérabilité, mesures de précaution, mesures de sauvegarde, développement de la culture du risque. Les propositions d'aménagements seront modélisées de manière à évaluer leur impact sur les débordements.
- **Phase 4** : Elle sera constituée d'une synthèse et d'un programme détaillé des actions à engager pour réduire les risques d'inondation et protéger les secteurs densément urbanisés. Ce programme sera élaboré sur la base de scénarios testés et validés en fonction des enjeux et des priorités pour les populations ainsi que de l'efficacité des actions à engager. Chaque aménagement fera enfin l'objet d'une présentation détaillée.

La présente note constitue le rendu de la phase 2.

Phase 2 : Diagnostic des désordres

Les objectifs de cette deuxième phase sont :

- De disposer d'une cartographie des désordres et des enjeux exposés en fonction des différentes occurrences de débits,
- De caractériser la vulnérabilité des enjeux en déterminant le débit causant les premiers dommages et la période de retour associée au débit.

Ce volet s'articule autour des étapes suivantes :

- **Analyse hydrologique** : définition détaillée des débits de référence, mise en œuvre d'un modèle « pluie-débit ».
- **Modélisation hydraulique des écoulements** via un modèle bidimensionnel sur l'ensemble des secteurs à enjeux et unidimensionnel sur le reste du linéaire.
- **Bilan de la situation actuelle.**

2. RAPPELS PHASE 1

2.1. SYNTHÈSE DE LA PHASE 1

Les enquêtes de terrain, rencontres avec les communes et analyses des études existantes réalisées lors de la phase 1 ont permis de définir les mécanismes d'écoulement et les dysfonctionnements notables. Ce recueil, constituant un pré-diagnostic de la situation actuelle, a mis en évidence trois zones problématiques :

- Sur la commune de Simiane-Collongue : Le Quartier des Migraniers, situé entre le vallat de Babol et le vallat des Mourgues, se situe sur un secteur inondable par débordement des deux vallats et par une remontée de l'eau stockée par les remblais de la voie ferrée.
- Sur la commune de Bouc-Bel-Air : La confluence de plusieurs vallats (Pibou, Babol, Tilleul) crée des désordres, notamment sur le quartier de Vaunière traversé par le vallat des Tilleuls et à proximité du Grand Vallat.
- Sur la commune de Cabriès : En amont de la RD60, de nombreuses habitations sont souvent victimes de montées des eaux du Grand Vallat. L'hétérogénéité des merlons en bordure du Grand Vallat ne permet pas une expansion efficace des crues.

Il a ainsi été proposé d'affiner ces trois secteurs grâce à la mise en place d'un modèle bidimensionnel qui permettra :

- d'avoir une vision globale du transit des écoulements de l'amont vers l'aval,
- une exploitation plus facile des résultats,
- une homogénéité et une précision nettement meilleure qu'un modèle unidimensionnel, pas adapté à ce genre de configuration hydraulique (présence de lits perchés, débordements en lit majeur, etc.).

2.2. REQUÊTES DE LA DDTM ET DE LA DREAL

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Inondation menée par la DREAL, il a été demandé d'étendre le modèle bidimensionnel jusqu'à la confluence avec l'Arc et de réaliser, en plus des modélisations prévues dans le cadre de la présente étude, une modélisation de la crue exceptionnelle sur les communes incluses dans le Territoire à Risque d'Inondation Important (TRI).

Cette requête a donc augmenté la zone couverte par le modèle bidimensionnel pour la porter à une superficie de 11.7 km², présentée dans la planche cartographique de la phase 1 *Ph1-3 : Données topographiques – Proposition suite Phase 1*. Sur cette planche, figurent également des zones d'expansion de crue potentiellement intéressantes.

3. ANALYSE HYDROLOGIQUE

La connaissance des débits de crues et hydrogrammes associés est nécessaire à la quantification des désordres. Dans la « Synthèse et mise en cohérence des études existantes relatives à l'inondabilité des communes de Cabriès, Simiane-Collongue et Bouc-Bel-Air », Ipseau avait réalisé une étude hydrologique à l'échelle du bassin versant et les débits de référence avaient été calculés en de nombreux nœuds du bassin versant. Cette étude, réalisée sous maîtrise d'ouvrage DDE13, sert actuellement de référence.

Nous proposons ici d'affiner ces débits, grâce à la mise en place d'un modèle pluie-débit. Ce modèle hydrologique permettra de préciser les débits en chaque nœud de calcul pour différentes occurrences de crue (2, 5, 10, 50 et 100 ans) grâce à une analyse détaillée de l'occupation des sols et le couplage avec le modèle hydraulique bidimensionnel.

Tenant compte des temps de transfert d'un point à un autre du bassin versant et de la concomitance ou pas des débits de chaque affluent, ce modèle pluie-débit constituera un outil intéressant pour déterminer en chaque nœud du réseau hydrographique les hydrogrammes de crue dans les conditions actuelles d'écoulement.

3.1. CLIMATOLOGIE – PLUVIOMETRIE

3.1.1. Caractéristiques climatiques générales

Le secteur d'étude est situé dans une région dont le climat est méditerranéen. Les fréquentes sécheresses estivales et les orages très violents en sont les traits les plus connus.

En région méditerranéenne, la présence de la mer et des massifs montagneux proches, associée à la circulation générale des masses d'air d'Europe du Nord, sont à l'origine de situations météorologiques spécifiques, génératrices de champs pluvieux à très fort potentiel de précipitation.

Les pluies, au regard de la lame d'eau annuellement précipitée, sont de l'ordre de 630 mm en moyenne (Station Météo France d'Aix les Milles).

Elles sont très irrégulières, tant d'un mois à l'autre que d'une année à l'autre.

Plus particulièrement, le climat méditerranéen se caractérise par l'existence de pluies localisées de très forte intensité (plus de 300 mm en quelques heures) qui provoquent souvent des inondations catastrophiques, mais de courtes durées.

3.1.2. Précipitations intenses

Les principaux apports proviennent de violentes averses dans le courant de l'automne ; certains en début d'hiver présentent également des précipitations importantes dues à du mauvais temps persistant parfois plusieurs jours. Les dépressions océaniques jouent quelquefois un rôle essentiel dans le comportement des pluies de printemps.

Les précipitations maximales journalières sur des courtes durées (pas de temps inférieurs à la journée) constituent des données fondamentales lorsqu'il s'agit de prévoir le comportement de petits bassins versants (à fortiori s'ils sont urbanisés) sensibles aux précipitations orageuses très intenses, mais de courte durée.

Ces données ne sont disponibles qu'en de très rares postes d'observation, équipés de pluviographes ou de stations automatiques. Parmi le réseau de mesure équipant la région et permettant de disposer d'informations sur un pas de temps inférieur à la journée, on peut retenir notamment la station d'Aix-en-Provence, à Aix-Les-Milles.

Les valeurs des quantiles de pluies pour différentes durées observées à la station météorologique d'Aix-Les-Milles, sur la période d'observation 1993 – 2008. Les quantiles de pluies résultant (en mm) sont les suivants :

TABLEAU 1 : QUANTILES DE PLUIE EN MM POUR LA STATION METEOROLOGIQUE D'AIX-LES-MILLES

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

Les valeurs suivies d'un astérisque ont été extrapolées.

3.2. MODELISATION PLUIE-DEBIT

3.2.1. Méthodologie

Le modèle pluie-débit a été réalisé sur la base du logiciel « HEC-HMS », conçu aux Etats-Unis, adapté et développé par le Laboratoire d'Hydraulique de Montpellier.

Cette méthode, relativement précise, permet de déterminer un hydrogramme de crue en réponse à une pluie de projet.

Ce modèle résulte de combinaisons d'effets élémentaires : la prise en compte de pluies de projet, le calcul des pertes au ruissellement pour la détermination de la pluie efficace, sa transformation en hydrogramme de crue, la propagation de ce dernier dans le réseau hydrographique et la sommation des hydrogrammes aux différents nœuds en tenant compte des décalages du à leur propagation le long du réseau.

Plusieurs méthodes de transformation sont disponibles en fonction des caractéristiques du bassin versant et du cours d'eau.

Pour construire un tel modèle, le secteur d'étude a été découpé en plusieurs sous bassins versants autour du Grand Vallat, lui-même représenté par une quinzaine de tronçons. Chaque sous BV a été défini par certains paramètres hydrologiques :

- un coefficient de ruissellement appelé Curve Number, défini selon l'occupation du sol, qui caractérise le ruissellement,
- l'absorption initiale,
- un temps de concentration.

Les tronçons du Grand Vallat ont été définis par :

- un temps de transfert du débit du nœud amont vers le nœud aval du tronçon,
- un coefficient d'amortissement le long du tronçon.

Les figures suivantes illustrent les différentes entités renseignées dans le modèle pluie-débit.

Le découpage des sous bassins versants et l'implantation de chaque nœud de calcul sont présentés sur la planche cartographique [Ph2-1 : Modèle pluie-débit – Découpage des sous bassins versants](#).

FIGURE 1 : MODELE PLUIE-DEBIT

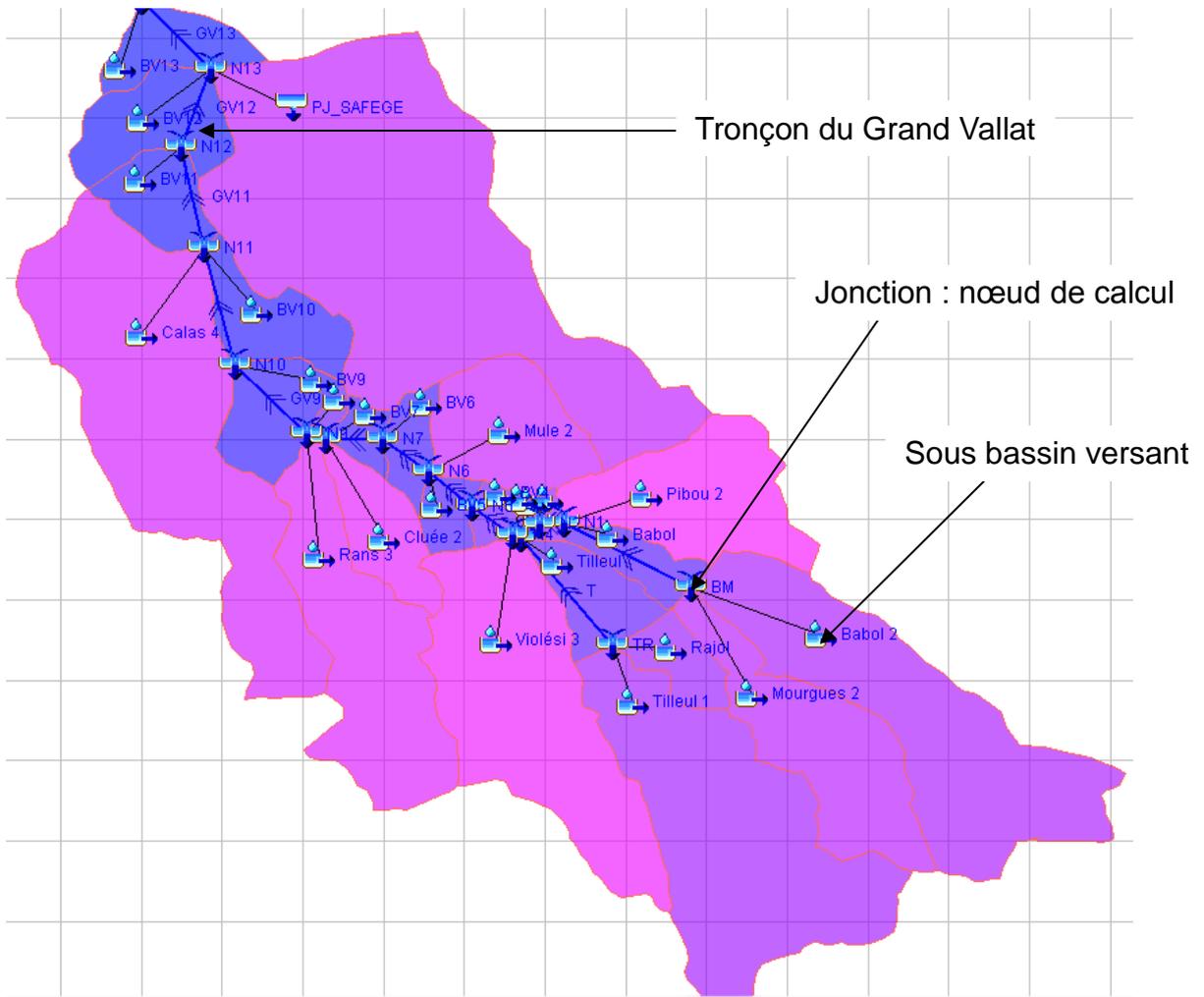
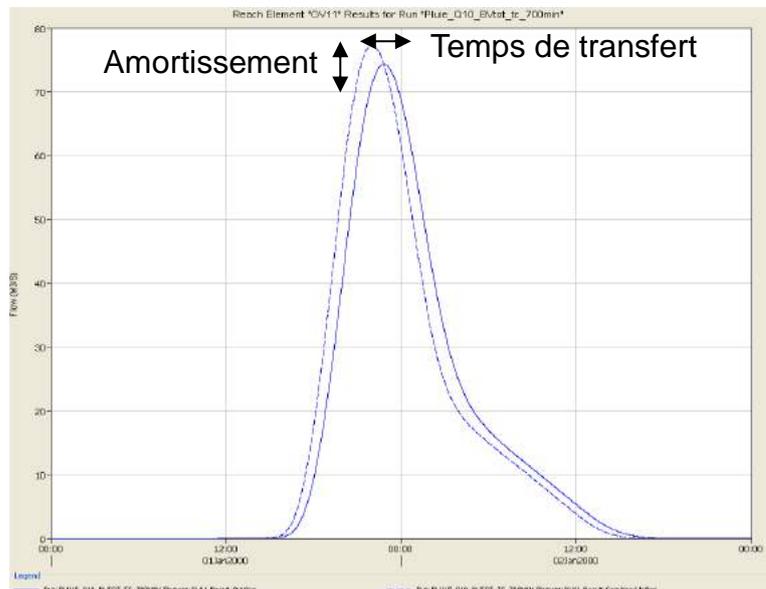


FIGURE 2 : ILLUSTRATION DES TEMPS DE TRANSFERT ET COEFFICIENT D'AMORTISSEMENT SUR LE GRAND VALLAT



3.2.2. Les paramètres hydrologiques

A - Caractéristiques géométriques des sous BV

Les caractéristiques géométriques de chaque sous BV sont :

- la superficie S,
- la longueur du plus long chemin hydraulique L (du point le plus haut du bassin versant jusqu'à son exutoire),
- la pente pondérée lpond.

Elles sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES SOUS BV

Cours d'eau	sous BV	S (km ²)	L (km)	lpond (%)
Vallat de Pibou	Pibou 2	3.52	3.89	2
Vallat de Babol	Babol 2	7.19	5.64	4
Vallat des Mourgues	Mourgues 2	3.82	5.12	5
Vallat des Tilleuls	Tilleul 1	7.99	6.58	4.9
Vallat de Rajol	Rajol	0.88	1.51	6
Vallat de Violési	Violési 3	6.64	5.69	2.9
Vallat de la Cluée	Cluée 2	1.49	2.91	1.7
Vallat de Rans	Rans 3	4.93	5.16	2.3
Vallat de Calas	Calas 4	9.55	6.86	2.1
Vallat de la Mule	Mule 2	2.58	2.69	1.7
La Petite Jouïne	Jouïne 4	14.72	7.94	1.2

B - Curve Number (indice de ruissellement)

Afin d'affecter à chaque sous BV un indice de ruissellement CN, le secteur d'étude a été découpé en plusieurs zones homogènes en termes d'occupation du sol, à l'aide de photographies aériennes.

Les surfaces définies et leur Curve Number associé sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Le CN tient compte des caractéristiques et des conditions d'humidité du sol.

TABLEAU 3 : DEFINITION DU CURVE NUMBER

Occupation du sol	CN
surface boisée	55
Surface urbanisée dense lots 0.05 ha ou moins	85
Surface urbanisée peu dense lots 0.1 ha	75
Surface urbanisée peu dense lots 0.13 ha	72
Surface urbanisée peu dense lots 0.2 ha	70
Surface urbanisée peu dense lots 0.3 ha	69
Champs ou prairie	58
Secteur industriel	88

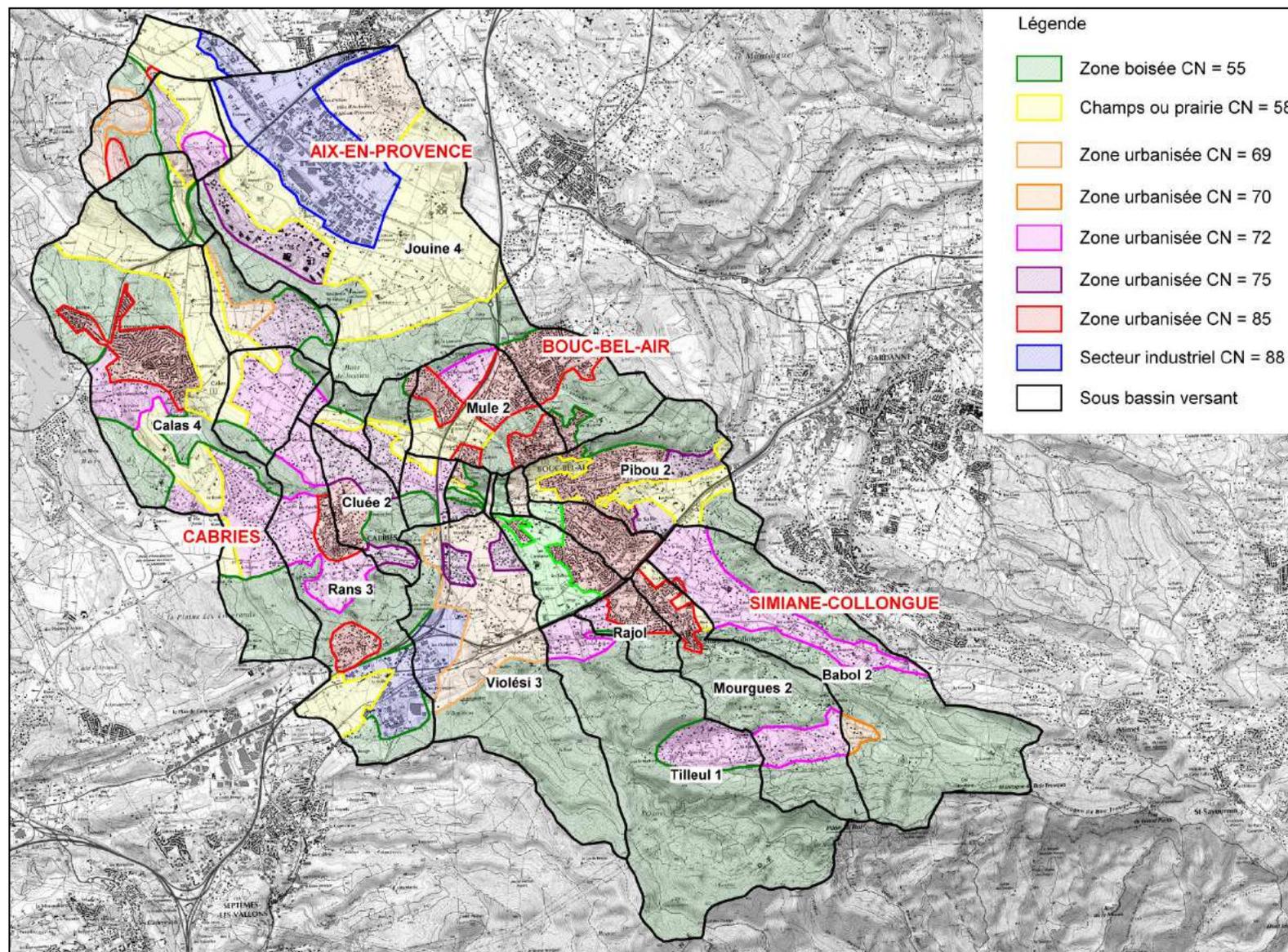
Ces coefficients ont été définis pour un groupe hydrologique du sol type « sols de vitesses d'infiltration intermédiaires » et pour des conditions antécédentes d'humidité moyennes (tableau adapté de Chow et al. (1988), Rivard, 2005).

Ainsi, la répartition de l'occupation du sol est illustrée par la figure ci-après. Les CN moyens calculés pour chaque sous BV figurent dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU 4 : CURVE NUMBER MOYEN POUR CHAQUE SOUS BV

Sous BV	CN
Pibou 2	66.5
Babol 2	59.4
Mourgues 2	60.7
Tilleul 1	57.4
Rajol	70.3
Violési 3	59.8
Cluée 2	64.0
Rans 3	66.8
Calas 4	62.3
Mule 2	71.4

FIGURE 3 : OCCUPATION DU SOL



C - Absorption initiale

L'infiltration initiale (avant que les sols ne commencent à ruisseler) est représenté dans le modèle pluie-débit par un paramètre I_a , exprimé en mm, représentant les pertes initiales par interception du sol, défini comme tel, par application de la méthode SCS (Soil Conservation Service) :

$$I_a = 0.25 \times S$$

S, exprimé en mm, correspond à la capacité de stockage du sol et du paramètre de ruissellement CN, il est défini par :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

TABLEAU 5 : ABSORPTION INITIALE (MM)

Sous BV	I_a
Pibou 2	32.0
Babol 2	43.4
Mourgues 2	41.1
Tilleul 1	47.1
Rajol	26.8
Violési 3	42.7
Cluée 2	35.7
Rans 3	31.6
Calas 4	38.4
Mule 2	25.4

D - Temps de concentration

Il correspond au temps que met une goutte d'eau pour traverser le bassin versant de son point le plus haut à son exutoire.

Les temps de concentration ont été définis par plusieurs méthodes de calcul hydrologiques :

- la formulation de Ventura,
- la formulation de Passini,
- la méthode du guide du Setra (consistant à diviser le chemin hydraulique du bassin versant en des tronçons de pente homogène et à calculer un temps d'écoulement sur chaque tronçon par une relation entre la pente et la vitesse, différente selon si les écoulements sont diffus ou concentrés).

Ces trois méthodes ont permis de définir dans un premier temps un intervalle de validité. Les temps ont ensuite été définis précisément de manière à ce que pour une pluie décennale de période intense égale au temps de concentration du sous bassin versant, le débit obtenu à l'exutoire soit cohérent avec les débits calculés dans l'étude de synthèse et mise en cohérence réalisée par Ipseau en 2006.

TABLEAU 6 : DEFINITION DES TEMPS DE CONCENTRATION

Sous BV	Tc (min)	Pic Q10 obtenu (m³/s)	Pic Q10 – 2006 (m³/s)
Pibou 2	60	12.1	12.7
Babol 2	100	10.6	10.3
Mourgues 2	73	7.1	7.1
Tilleul 1	67	10.1	10.0
Rajol	30	4.7	4.0
Violési 3	147	9.0	8.9
Cluée 2	91	3.5	2.7
Rans 3	138	11.8	11.5
Calas 4	180	14.7	-
Mule 2	95	10.1	9.1
Jouïne 4	281	21.2	-

E - Temps de transfert et coefficients d'amortissement sur le Grand Vallat

Dans le modèle pluie-débit, le Grand Vallat est représenté par une quinzaine de tronçons, chacun défini par un temps de transfert et un coefficient d'amortissement des hydrogrammes de crue (cf. Figure 1 : Modèle Pluie-Débit). Ces paramètres ont été calés pour que les débits obtenus en chaque nœud de calcul du Grand Vallat correspondent aux débits obtenus par la modélisation hydraulique bidimensionnelle d'un **évènement pluvieux décennal** (présentée en §4).

Le tableau ci-après présente les similitudes entre les deux modèles pour un évènement décennal et pour d'autres occurrences au niveau de la confluence du Grand Vallat avec l'Arc.

Il apparaît ainsi que pour des évènements d'occurrence 2, 5 et 10 ans, les temps de transfert et coefficients d'amortissement sont parfaitement bien définis puisque les débits obtenus en chaque nœud de calcul sont similaires. En revanche, pour des évènements plus forts d'occurrence 50 ans ou du type de l'évènement pluvieux de 1993, les débits obtenus avec le modèle pluie-débit sont sous-estimés par rapport aux débits obtenus avec les modélisations hydrauliques. Effectivement, les temps de transferts et coefficients d'amortissement ont été calés pour un évènement décennal et sont donc surestimés pour des évènements plus forts (pour un évènement pluvieux cinquantennal, les temps de transfert et amortissements seront plus faibles que pour un évènement décennal).

Cette différence n'a que peu d'importance car dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons principalement aux crues fréquentes d'occurrence 2, 5 et 10 ans.

TABLEAU 7 : CALAGE DES TEMPS DE TRANSFERT ET COEFFICIENTS D'AMORTISSEMENT SUR LE GRAND VALLAT POUR UN EVENEMENT DECENNAL

Nœud de calcul	Modèle hydrologique	Modèle hydraulique
	Pluie-Débit Qmax (m3/s)	2D Qmax (m3/s)
BM	14.2	15.2
B	15.8	15.3
TR	10.8	10.7
T	13.7	12.5
N1	21.7	21.7
N3	36	36
N4	44	45
N6	50	48
N8	53	52
N9	62	54
N10	63	63
N11	78	78
N12	76	72
N13	76	74
N14	77	77

TABLEAU 8 : DEBIT OBTENU A LA CONFLUENCE AVEC L'ARC POUR LES OCCURRENCES 2, 5, 50 ANS ET PLUIE DE 1993

Débit à la confluence avec l'Arc	Modèle Pluie-Débit	Modèle 2D
Q2 (m³/s)	26.8	27.7
Q5 (m³/s)	48.4	50.4
Q50 (m³/s)	188.7	228.8
Q93 (m³/s)	292	368

3.2.3. Pluie de projet

Les débits de pointe ont été définis pour différentes occurrences : 2, 5, 10 et 50 ans et pour l'évènement de référence qui correspond à l'évènement le plus fort entre la plus forte crue connue et la crue centennale. Sur le bassin versant du Grand Vallat, l'évènement pluvieux de référence est l'évènement de 1993, plus fort qu'un évènement centennal.

Les pluies de projet, renseignées en entrée du modèle pluie-débit, ont été définies par utilisation de la station pluviométrique d'Aix-les-Milles (cf. Tableau 1 : Quantiles de pluie en mm pour la station

météorologique d'Aix-Les-Milles). Ce sont des pluies double-triangle dont la période intense est égale au temps de concentration du bassin versant du Grand Vallat et dont la période totale est égale à trois fois ce temps de concentration. Le temps de concentration du Grand Vallat a été pris égal à 700 min (soit environ 11h).

FIGURE 4 : LES PLUIES DE PROJET D'OCCURRENCE 2, 5, 10 ET 50 ANS

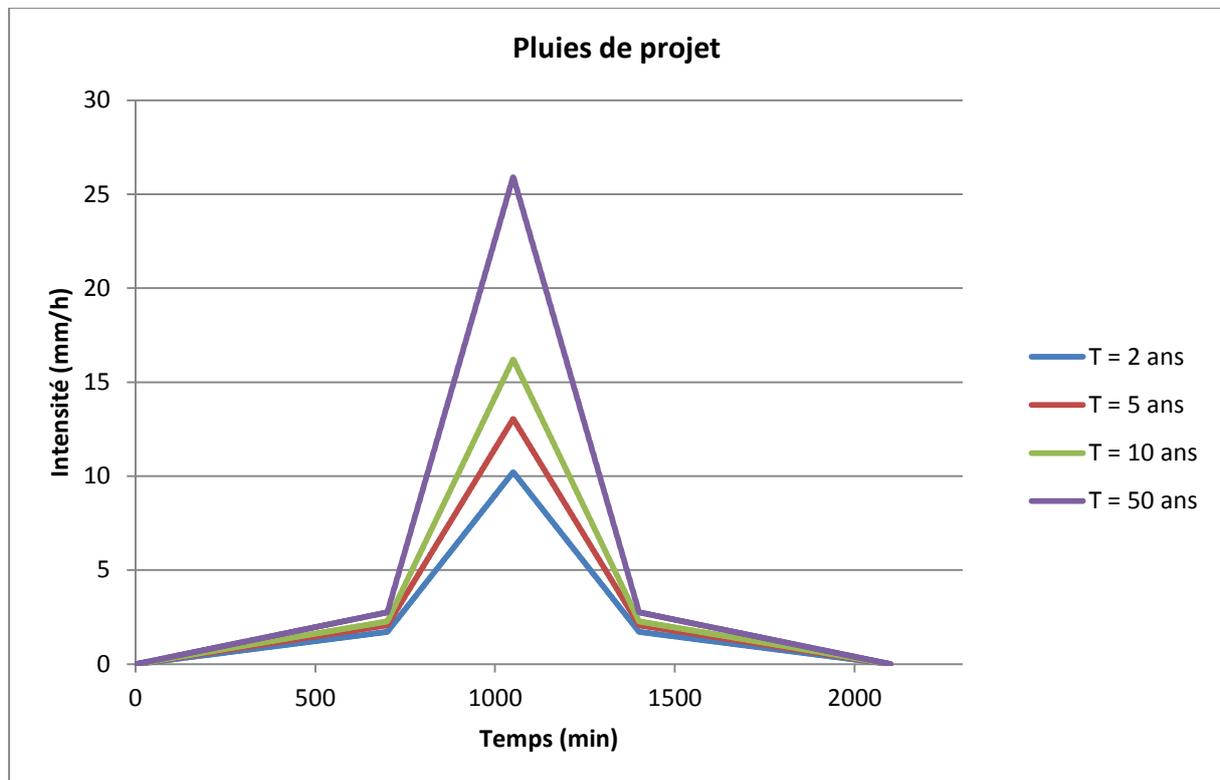
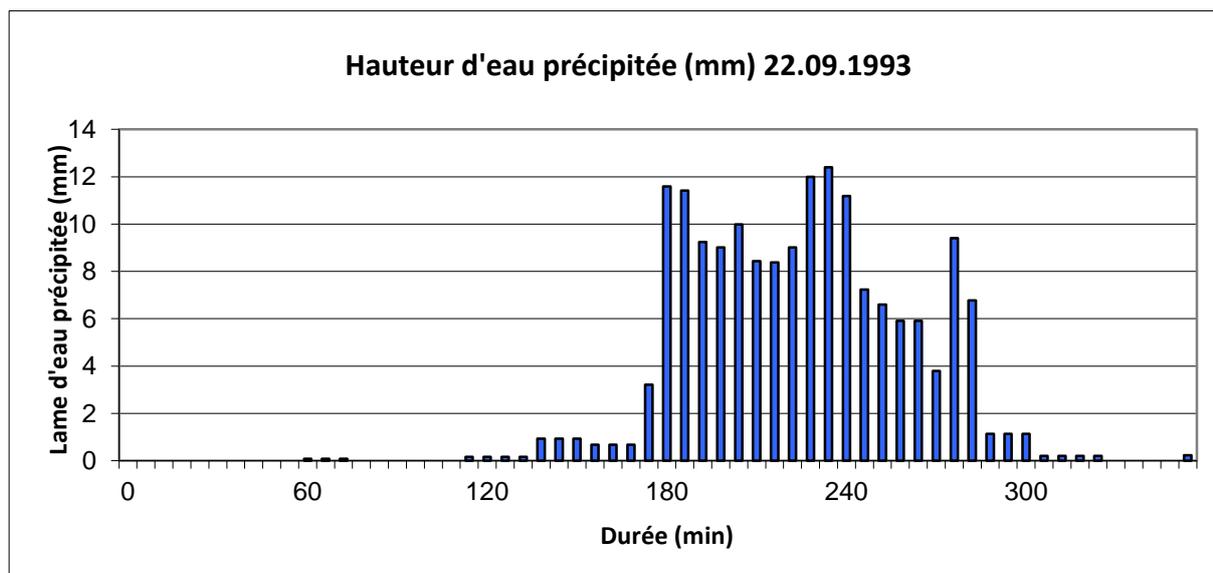
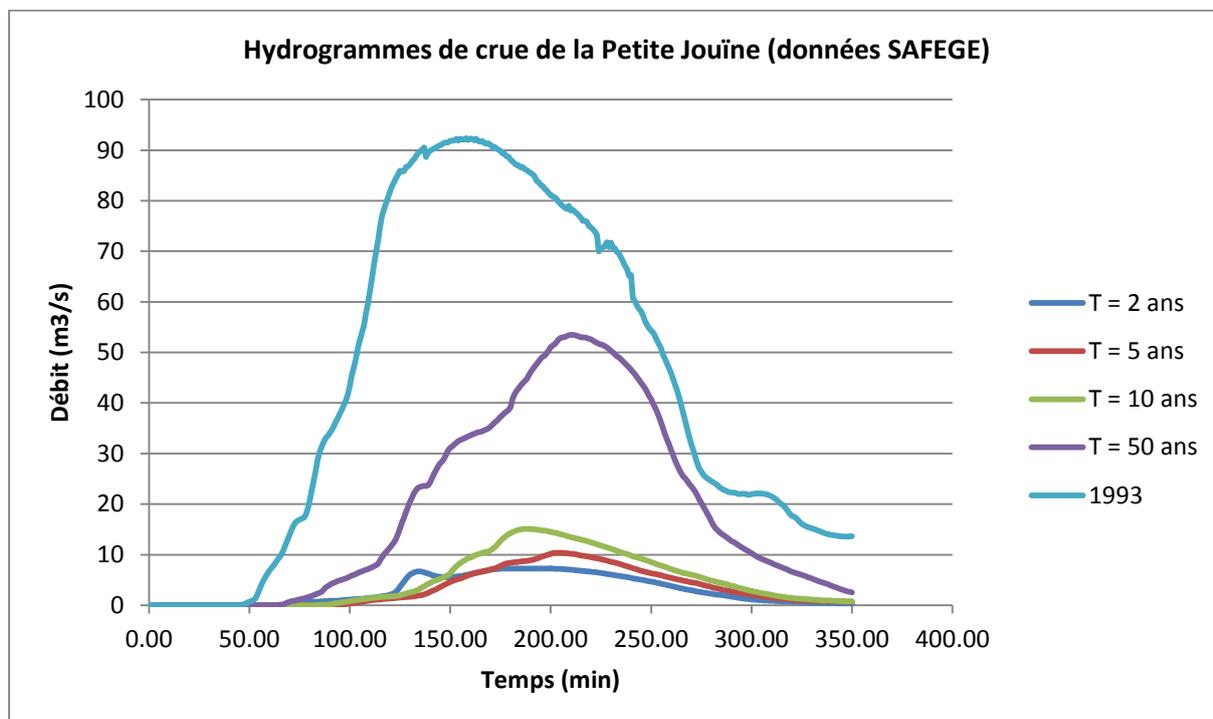


FIGURE 5 : PLUIE DE SEPTEMBRE 1993



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

FIGURE 6 : HYDROGRAMMES DE CRUE DE LA PETITE JOUÏNE AU NIVEAU DE LA RD9 (DONNEES SAFEGE)



3.2.4. Résultats

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

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

N.B. : Les vallats de Calas et de la Cluée ne rentrent pas dans le cadre de l'analyse. Néanmoins, les débits sont indiqués, à titre d'information.

TABLEAU 9 : DEBITS DE POINTE DES SOUS BV

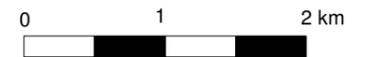
Sous bassin versant	Superficie (km ²)	Pic Q2 (m ³ /s)	Pic Q5 (m ³ /s)	Pic Q10 (m ³ /s)	Pic Q50 (m ³ /s)	Pic Q93 (m ³ /s)
Pibou 2	3.52	2.5	4.3	6.5	14.3	46.2
Babol 2	7.19	2.7	5.5	9.0	22.4	61.2
Mourgues 2	3.82	1.7	3.3	5.3	12.8	38.9
Tilleul 1	7.99	2.5	5.4	9.1	23.7	73.1
Rajol	0.88	0.8	1.3	1.9	4.1	16.2
Violési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



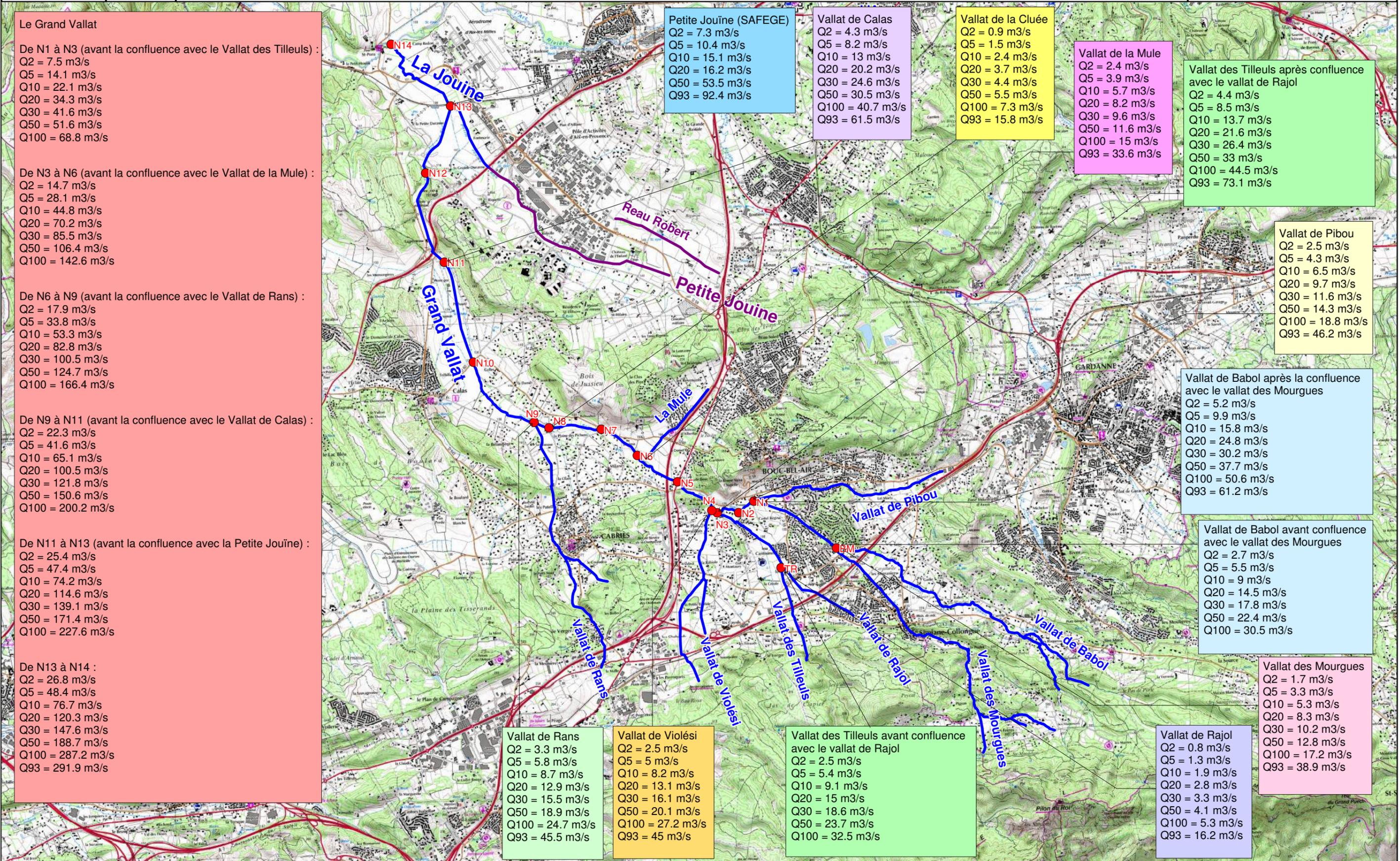
Figure 7 : Débits de pointe retenus sur l'ensemble du réseau hydrographique

Etude N° MM2714 - JUILLET 2013

Echelle : 1 / 50 000



Fond de plan : IGN



Le Grand Vallat

De N1 à N3 (avant la confluence avec le Vallat des Tilleuls) :

- Q2 = 7.5 m3/s
- Q5 = 14.1 m3/s
- Q10 = 22.1 m3/s
- Q20 = 34.3 m3/s
- Q30 = 41.6 m3/s
- Q50 = 51.6 m3/s
- Q100 = 68.8 m3/s

De N3 à N6 (avant la confluence avec le Vallat de la Mule) :

- Q2 = 14.7 m3/s
- Q5 = 28.1 m3/s
- Q10 = 44.8 m3/s
- Q20 = 70.2 m3/s
- Q30 = 85.5 m3/s
- Q50 = 106.4 m3/s
- Q100 = 142.6 m3/s

De N6 à N9 (avant la confluence avec le Vallat de Rans) :

- Q2 = 17.9 m3/s
- Q5 = 33.8 m3/s
- Q10 = 53.3 m3/s
- Q20 = 82.8 m3/s
- Q30 = 100.5 m3/s
- Q50 = 124.7 m3/s
- Q100 = 166.4 m3/s

De N9 à N11 (avant la confluence avec le Vallat de Calas) :

- Q2 = 22.3 m3/s
- Q5 = 41.6 m3/s
- Q10 = 65.1 m3/s
- Q20 = 100.5 m3/s
- Q30 = 121.8 m3/s
- Q50 = 150.6 m3/s
- Q100 = 200.2 m3/s

De N11 à N13 (avant la confluence avec la Petite Jouïne) :

- Q2 = 25.4 m3/s
- Q5 = 47.4 m3/s
- Q10 = 74.2 m3/s
- Q20 = 114.6 m3/s
- Q30 = 139.1 m3/s
- Q50 = 171.4 m3/s
- Q100 = 227.6 m3/s

De N13 à N14 :

- Q2 = 26.8 m3/s
- Q5 = 48.4 m3/s
- Q10 = 76.7 m3/s
- Q20 = 120.3 m3/s
- Q30 = 147.6 m3/s
- Q50 = 188.7 m3/s
- Q100 = 287.2 m3/s
- Q93 = 291.9 m3/s

Petite Jouïne (SAFEGE)

- Q2 = 7.3 m3/s
- Q5 = 10.4 m3/s
- Q10 = 15.1 m3/s
- Q20 = 16.2 m3/s
- Q50 = 53.5 m3/s
- Q93 = 92.4 m3/s

Vallat de Calas

- Q2 = 4.3 m3/s
- Q5 = 8.2 m3/s
- Q10 = 13 m3/s
- Q20 = 20.2 m3/s
- Q30 = 24.6 m3/s
- Q50 = 30.5 m3/s
- Q100 = 40.7 m3/s
- Q93 = 61.5 m3/s

Vallat de la Cluée

- Q2 = 0.9 m3/s
- Q5 = 1.5 m3/s
- Q10 = 2.4 m3/s
- Q20 = 3.7 m3/s
- Q30 = 4.4 m3/s
- Q50 = 5.5 m3/s
- Q100 = 7.3 m3/s
- Q93 = 15.8 m3/s

Vallat de la Mule

- Q2 = 2.4 m3/s
- Q5 = 3.9 m3/s
- Q10 = 5.7 m3/s
- Q20 = 8.2 m3/s
- Q30 = 9.6 m3/s
- Q50 = 11.6 m3/s
- Q100 = 15 m3/s
- Q93 = 33.6 m3/s

Vallat des Tilleuls après confluence avec le vallat de Rajol

- Q2 = 4.4 m3/s
- Q5 = 8.5 m3/s
- Q10 = 13.7 m3/s
- Q20 = 21.6 m3/s
- Q30 = 26.4 m3/s
- Q50 = 33 m3/s
- Q100 = 44.5 m3/s
- Q93 = 73.1 m3/s

Vallat de Pibou

- Q2 = 2.5 m3/s
- Q5 = 4.3 m3/s
- Q10 = 6.5 m3/s
- Q20 = 9.7 m3/s
- Q30 = 11.6 m3/s
- Q50 = 14.3 m3/s
- Q100 = 18.8 m3/s
- Q93 = 46.2 m3/s

Vallat de Babol après la confluence avec le vallat des Mourgues

- Q2 = 5.2 m3/s
- Q5 = 9.9 m3/s
- Q10 = 15.8 m3/s
- Q20 = 24.8 m3/s
- Q30 = 30.2 m3/s
- Q50 = 37.7 m3/s
- Q100 = 50.6 m3/s
- Q93 = 61.2 m3/s

Vallat de Babol avant confluence avec le vallat des Mourgues

- Q2 = 2.7 m3/s
- Q5 = 5.5 m3/s
- Q10 = 9 m3/s
- Q20 = 14.5 m3/s
- Q30 = 17.8 m3/s
- Q50 = 22.4 m3/s
- Q100 = 30.5 m3/s

Vallat des Mourgues

- Q2 = 1.7 m3/s
- Q5 = 3.3 m3/s
- Q10 = 5.3 m3/s
- Q20 = 8.3 m3/s
- Q30 = 10.2 m3/s
- Q50 = 12.8 m3/s
- Q100 = 17.2 m3/s
- Q93 = 38.9 m3/s

Vallat de Rans

- Q2 = 3.3 m3/s
- Q5 = 5.8 m3/s
- Q10 = 8.7 m3/s
- Q20 = 12.9 m3/s
- Q30 = 15.5 m3/s
- Q50 = 18.9 m3/s
- Q100 = 24.7 m3/s
- Q93 = 45.5 m3/s

Vallat de Violési

- Q2 = 2.5 m3/s
- Q5 = 5 m3/s
- Q10 = 8.2 m3/s
- Q20 = 13.1 m3/s
- Q30 = 16.1 m3/s
- Q50 = 20.1 m3/s
- Q100 = 27.2 m3/s
- Q93 = 45 m3/s

Vallat des Tilleuls avant confluence avec le vallat de Rajol

- Q2 = 2.5 m3/s
- Q5 = 5.4 m3/s
- Q10 = 9.1 m3/s
- Q20 = 15 m3/s
- Q30 = 18.6 m3/s
- Q50 = 23.7 m3/s
- Q100 = 32.5 m3/s

Vallat de Rajol

- Q2 = 0.8 m3/s
- Q5 = 1.3 m3/s
- Q10 = 1.9 m3/s
- Q20 = 2.8 m3/s
- Q30 = 3.3 m3/s
- Q50 = 4.1 m3/s
- Q100 = 5.3 m3/s
- Q93 = 16.2 m3/s

3.2.5. Cohérence des résultats

Les analyses réalisées antérieurement ainsi que la comparaison des débits pseudo-spécifiques constituent des outils intéressants pour la vérification de la cohérence des résultats obtenus.

- Débit pseudo-spécifique

Le débit pseudo-spécifique, donné par la formule ci-après, permet de comparer des débits générés par des bassins versants similaires, mais de taille différente.

$$Q_{ps} = \frac{Q}{S^{0.8}}$$

Avec Q le débit exprimé en m³/s et S la superficie du bassin versant en km².

Dans le tableau ci-dessous, figurent le débit pseudo-spécifique généré par une pluie type 1993 sur les bassins versants de la Jouïne et du Grand Vallat (résultats du modèle pluie-débit), la Petite Jouïne (données SAFEGE) et la Luynes (données extrait de l'étude SCE 2012).

TABLEAU 10 : COMPARAISON DES DEBITS PSEUDO-SPECIFIQUES

Bassin versant	Grand Vallat	Jouïne		Petite Jouïne (SAFEGE)	Luynes (SCE)
	Modèle QP	modèle QP	modèle 2D		
Superficie (km²)	59.6	75.5	75.5	14.7	55
Q93 (m³/s)	249.00	292	368	92.4	271
Qps (m³/s/km^{1.6})	9.5	9.2	11.6	10.8	11

Le débit pseudo-spécifique sur la Luynes et la Petite Jouïne est d'environ 11 m³/s/km^{1.6}. Sur la Jouïne, le débit pseudo-spécifique varie entre 9.2 et 11.6 (les valeurs diffèrent entre le modèle hydrologique et le modèle hydraulique). Les valeurs sont globalement cohérentes entre elles.

- Comparaison avec l'analyse de 2006

Le tableau suivant présente les débits obtenus pour un évènement décennal sur le Grand Vallat, comparés à ceux qui avaient été calculés en 2006, par Ipseau.

Il met en évidence que les débits actualisés sont supérieurs aux débits estimés en 2006. Notons que les méthodes de calcul sont complètement différentes. En 2006, la méthode rationnelle avait été principalement utilisée. Cette méthode ne tient pas compte des concomitances ou non des hydrogrammes de crue. Par ailleurs, le modèle pluie-débit réalisé intègre bien plus finement l'occupation des sols, la réaction à une pluie de chaque sous bassin versant ainsi que le transfert des hydrogrammes le long du Grand Vallat.

TABLEAU 11 : COMPARAISON AVEC L'ANALYSE DE 2006 REALISEE PAR IPSEAU

Nœud Grand Vallat	Q10 2006 (m³/s)	Q10 modèle QP (m³/s)
N1	21.8	21.7
N3	27.2	35.7
N4	32.1	43.9
N5	32.6	44.2
N6	34.6	49.8
N9	40.5	61.6
N11	49.9	77.8
N13 (Grand Vallat)	52.2	74.2

4. MODELISATION DES ECOULEMENTS

L'objectif de cette partie est de faire un bilan de la situation actuelle en :

- disposant d'une cartographie localisant les désordres et les enjeux exposés en fonction des débits d'occurrences différentes (Q2, Q5, Q10, Q50 et Q93),
- caractérisant la vulnérabilité des enjeux en déterminant le débit causant les premiers dommages et la période de retour associée à ce débit,
- appréciant la fonctionnalité des zones d'expansion, l'impact des endiguements et de l'urbanisation.

Pour cela, un modèle numérique bidimensionnel a permis de représenter les écoulements pour les différentes occurrences demandées et de définir pour chaque cours d'eau les débits de premiers débordements en rive droite et en rive gauche.

4.1. PRESENTATION DU MODELE

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

MIKE FLOOD permet le couplage d'une modélisation unidimensionnelle du lit mineur du cours d'eau (représenté par des profils en travers grâce au logiciel MIKE 11) avec une modélisation bidimensionnelle du lit majeur (représenté sous forme de MNT grâce au logiciel MIKE 21).

Les logiciels MIKE 11 et MIKE 21 résolvent les équations de Barré Saint-Venant à une et deux dimensions.

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

Le modèle bidimensionnel se compose d'un découpage fin du secteur d'étude, à l'aide d'un maillage rectangulaire, permettant de connaître à chaque instant de la simulation les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement en chaque maille du modèle.

Le modèle mis en œuvre permet donc d'obtenir une description précise du champ de vitesses et des axes d'écoulement. Autrement dit, il est possible de simuler les crues en temps réel, les vitesses, les directions d'écoulement et les hauteurs d'eau étant connues en tout point et à chaque instant.

Les résultats sont fournis sous forme de cartographies :

- Des hauteurs d'eau maximales,
- Des vitesses maximales d'écoulement,
- Des mécanismes d'écoulement au pic de crue (direction et intensité des écoulements représentés par des vecteurs vitesse).

Des animations des crues simulées permettent de visualiser la dynamique des écoulements et la chronologie des phénomènes.

Sur le bassin versant du Grand Vallat, il a été retenu une limite du modèle hydraulique allant jusqu'à la confluence avec l'Arc, intégrant la Petite Jouïne à partir de la RD9 et partant de la commune de Simiane-Collongue, en amont des vallats de Babol et Mourgues.

Un unique modèle a été construit, intégrant l'ensemble de la surface à modéliser afin d'avoir une vision globale du transit des écoulements de l'amont vers l'aval, de permettre une exploitation des résultats plus facile et d'assurer une homogénéité et une précision des résultats plus fine.

L'emprise du modèle bidimensionnel représente une superficie de 11.7 km², elle est présentée sur la planche cartographique de la phase 1 [Ph1-3 : Données topographiques – Proposition suite Phase 1](#).

4.2. TOPOGRAPHIE

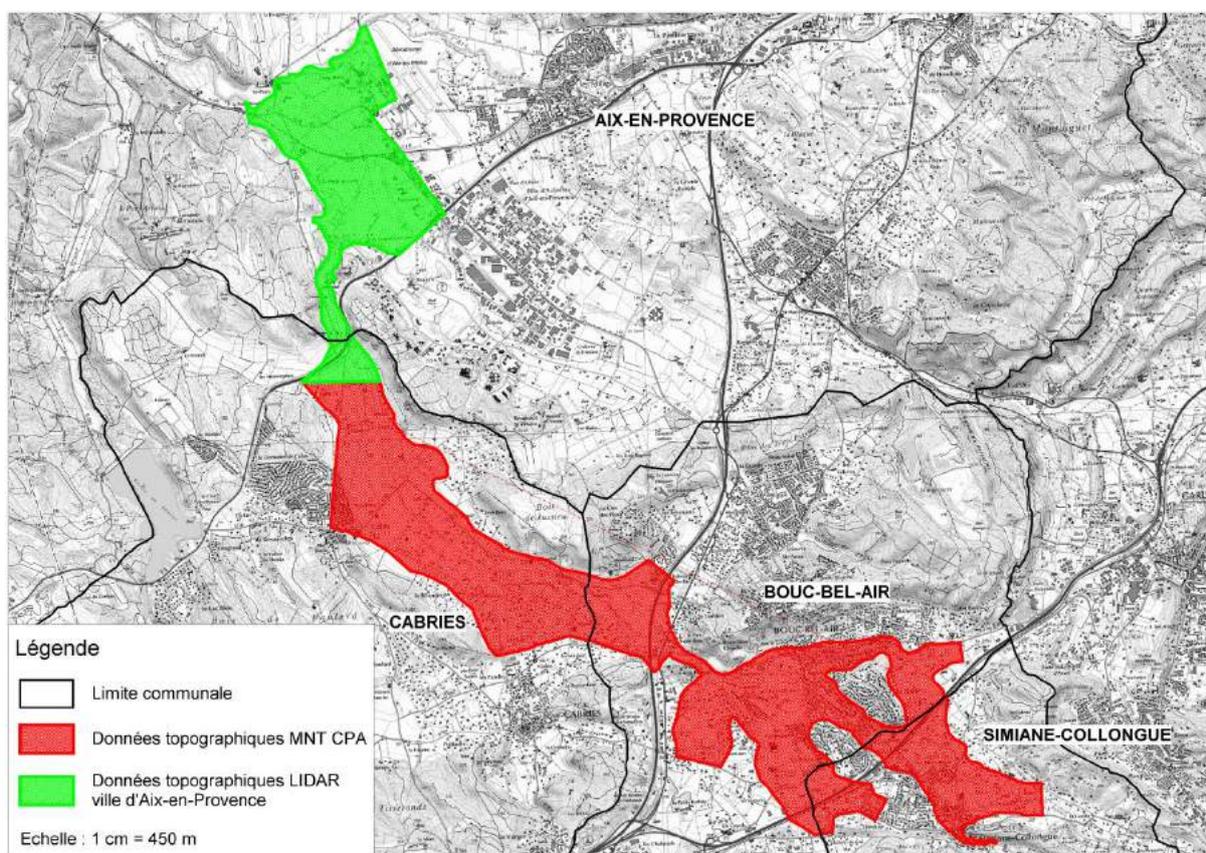
4.2.1. Modèles numériques de terrain

Plusieurs données topographiques ont été utilisées :

- de l'amont du bassin versant jusqu'au giratoire de Lagremeuse : extrait du MNT fourni par la CPA donnant un point topographique tous les 5 m avec une précision altimétrique de 15 cm.
- de Lagremeuse jusqu'à la confluence avec l'Arc : extrait du LIDAR de la commune d'Aix-en-Provence réalisé en 2009 et fourni par le service SIG de la commune. L'espacement des points topographiques est de 1 m et la précision altimétrique est de l'ordre de 20 cm.

La figure ci-après illustre la délimitation des données topographiques.

FIGURE 8 : DONNEES TOPOGRAPHIQUES



4.2.2. Levés terrestres

Les levés terrestres des ouvrages hydrauliques sont issus pour la plupart de *l'Etude générale sur le bassin versant de la Jouïne et du Grand Vallat*, réalisée par la Société du Canal de Provence en 1999. Certains levés avaient été complétés lors de la *Synthèse et mise en cohérence des études existantes relatives à l'inondabilité des communes de Simiane, Bouc-Bel-Air et Cabriès*, réalisée par IPSEAU en 2006. Aujourd'hui, certains ouvrages ont nécessité une réactualisation de leurs levés terrestres, effectués lors des reconnaissances de terrain. Par ailleurs, de nouveaux levés ont été réalisés entre Lagremeuse et la confluence avec l'Arc.

4.2.3. Profils en travers

La plupart des profils en travers datent de l'étude de la SCP en 1999. Des compléments avaient été effectués en 2006, notamment sur le Vallat de Babol. Aujourd'hui, de nouveaux levés de profils en travers ont été réalisés à l'aval du modèle, entre Lagremeuse et la confluence avec l'Arc, afin d'affiner ce secteur.

4.3. MODELISATION DES LITS MINEURS

4.3.1. Géométrie des cours d'eau

Le modèle unidimensionnel a été établi sous le logiciel MIKE 11. La géométrie des cours d'eau est définie par leur profil en long, les différents profils en travers ainsi que les ouvrages hydrauliques.

Le linéaire modélisé est représenté sur la planche *Ph1-3 : Données topographiques – Proposition suite Phase 1*.

Le tableau suivant résume les différents cours d'eau modélisés et le linéaire associé.

TABLEAU 12 : LINEAIRES DE COURS D'EAU MODELISES

Cours d'eau	Description	Linéaire modélisé (m)
Vallat de Babol	De l'amont de Cournière vers la confluence avec le Grand Vallat	3670
Vallat des Mourgues	De l'amont du village de Simiane vers confluence avec le vallat de Babol	1950
Vallat de Pibou	Du chemin Joseph Roumanille vers la confluence avec le Grand Vallat	2305
Vallat de Rajol	De l'amont de la voie ferrée vers la confluence avec le vallat des Tilleuls	820
Vallat des Tilleuls	De l'amont de la voie ferrée vers la confluence avec le Grand Vallat	2210
Vallat de Violési	De la RD8 vers la confluence avec le Grand Vallat	945
Vallat de la Mule	De l'amont du lotissement vers la confluence avec le Grand Vallat	755
Vallat de Rans	Du chemin de Bélandière vers la confluence avec le Grand Vallat	1045
Petite Jouïne	De la RD9 vers la confluence avec le Grand Vallat	1060
Grand Vallat	Jusqu'à la confluence avec l'Arc	10700

Par ailleurs, l'Arc a été modélisé sur environ 3 km afin d'intégrer une condition aval du modèle. Les fossés situés de part et d'autre du Grand Vallat à l'aval de la RD60 ont également été intégrés au

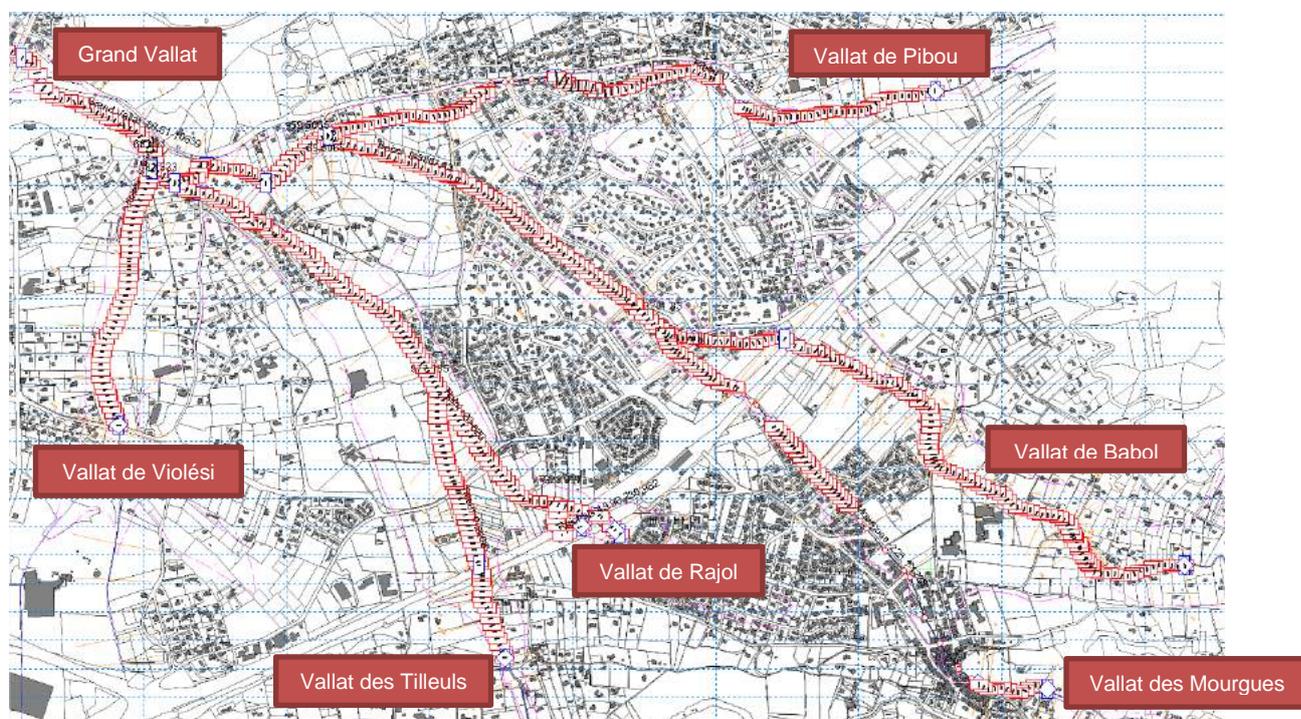
modèle car ils participent au ressuyage des terres. La partie aval du Vallat de Calas, en sortie du village, a été intégrée pour les mêmes raisons.

Sans tenir compte des fossés servant au drainage des écoulements entre la RD60 et Lagremeuse (intégrés au modèle unidimensionnel), **un linéaire total de 25.5 km a été modélisé dont environ 10.7 km sur le Grand Vallat.**

4.3.2. Profils en travers et ouvrages

Afin d'améliorer la précision du calcul, les profils en travers ont été interpolés à partir des profils réels de manière à ce que sur chaque cours d'eau, il y ait un profil tous les 25 m environ. 70 ouvrages hydrauliques sont représentés.

FIGURE 9 : EXTRAIT DU MODELE UNIDIMENSIONNEL



4.3.3. Coefficients de rugosité

Les coefficients de rugosité retenus dans les lits mineurs sont les suivants :

TABLEAU 13 : COEFFICIENTS DE RUGOSITE RETENUS EN LIT MINEUR

Type de surface	Coefficient de rugosité
Lit	20
Berge	15
Ouvrage	50

4.4. MODELISATION DU LIT MAJEUR

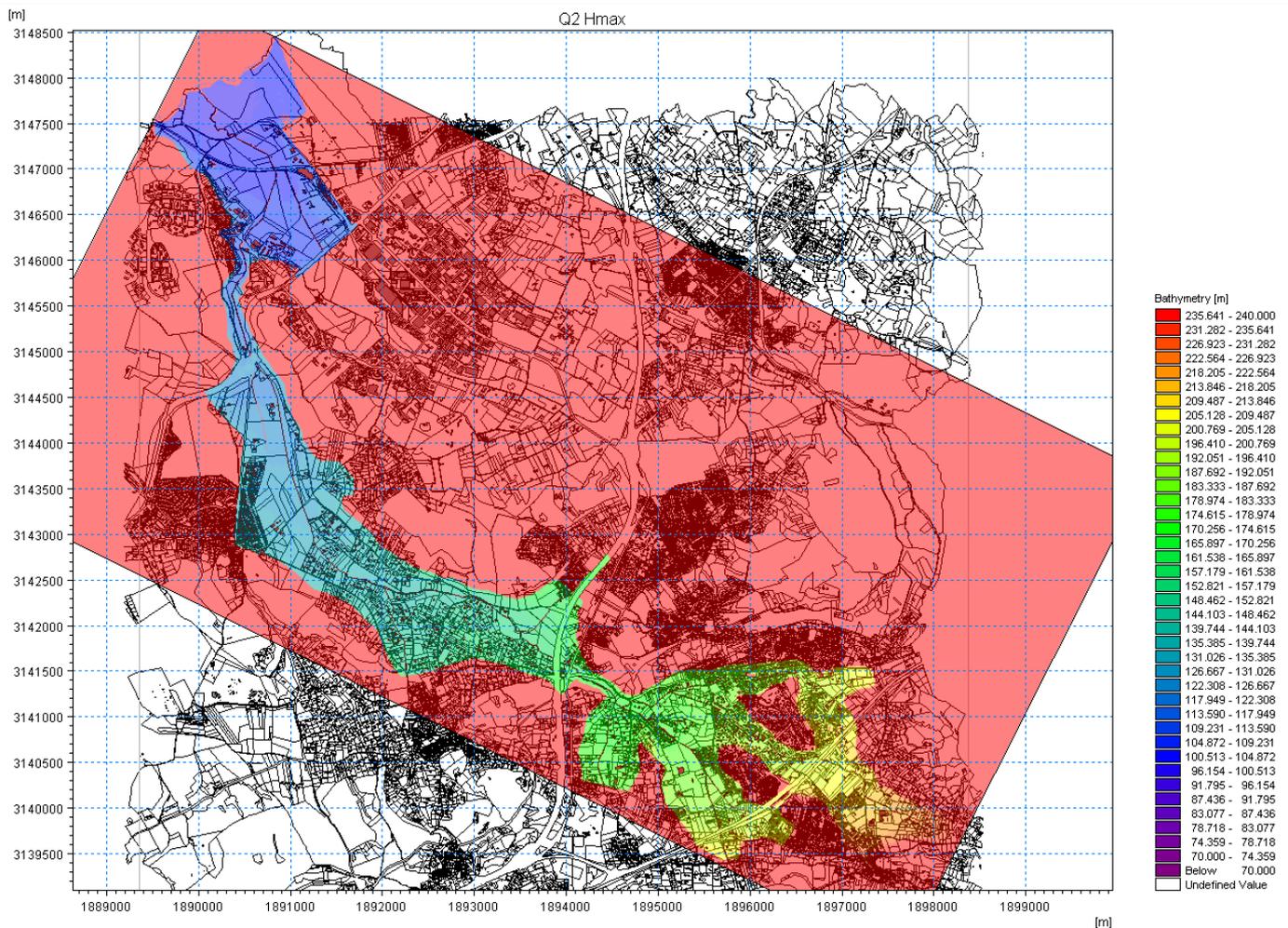
4.4.1. Emprise du modèle et maillage

Le modèle couvre l'étendu de la zone inondable du Grand Vallat (définie en 2006 par l'étude IPSEAU) plus une largeur supplémentaire prévue pour la crue exceptionnelle. Cela représente une superficie de 11.7 km².

Un maillage carré régulier de 5 m x 5 m quadrille cette emprise. Cela représente environ 473 000 mailles. En chacun de ces points de calculs est affectée une cote topographique.

Ce maillage intègre les singularités de la topographie du site : l'ensemble des merlons, remblais ou digues, des bâtiments et obstacles (murs) et des infrastructures, sont représentés.

FIGURE 10 : EMPRISE DU MODELE 2D – TOPOGRAPHIE



4.4.2. Coefficients de rugosité

Un coefficient de rugosité a été attribué à chaque maille en fonction de l'occupation du sol. Les coefficients de rugosité retenus pour chaque type d'occupation du sol sont donnés dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU 14 : COEFFICIENTS DE RUGOSITE RETENUS EN LIT MAJEUR

Occupation du sol	Coefficient de rugosité
Zones boisées	10
Lotissements	12
Champs type friche ou jardin	20
Champs type culture	30
Stabilisé	45
Routes	55

La figure ci-après présente un extrait de la vue en plan des coefficients de rugosité appliqués selon l'occupation du sol de la zone d'étude.

FIGURE 11 : COEFFICIENTS DE RUGOSITE – SECTEUR VALLATS DE PIBOU ET BABOL BOUC BEL AIR



4.5. COUPLAGE LIT MINEUR / LIT MAJEUR

Le couplage entre le modèle unidimensionnel des lits mineurs et le modèle bidimensionnel représentant le lit majeur est réalisé sous l'interface MIKE FLOOD.

Des liens de déversement latéraux permettent des échanges entre les lits mineurs et le lit majeur pendant toute la durée de la simulation.

4.6. CONDITIONS AUX LIMITES

4.6.1. Conditions aux limites amont

Les hydrogrammes calculés dans l'analyse hydrologique par le modèle pluie-débit (cf. 3.2.4.) ont été injectés en limite amont du modèle, en amont de chaque cours d'eau pour les différentes crues étudiées.

Pour l'Arc, un débit faible constant de 20 m³/s a été choisi arbitrairement de manière à ce qu'il n'y ait aucune influence aval.

4.6.2. Conditions aux limites aval

En limite aval du modèle, c'est-à-dire au droit du dernier profil de l'Arc, une loi hauteur – débit est calculée en fonction de la géométrie de ce profil et de la pente du tronçon aval. Elle correspond à une condition libre d'écoulement des eaux.

4.7. RESULTATS MODELE 2D

Rappelons que pour l'ensemble des modélisations T = 2, 5, 10 et 50 ans, les hydrogrammes d'entrée ont été obtenus par le modèle pluie-débit avec une pluie globale de période de retour 2, 5, 10 ou 50 ans dont la période intense est égale au temps de concentration du bassin versant de la Jouïne.

Pour l'évènement type 1993, les hydrogrammes d'entrée ont été obtenus par le modèle pluie-débit avec la pluie de 1993 mesurée sur Aix-en-Provence (cf. Figure 5 : Pluie de septembre 1993).

Les zones inondables du Grand Vallat jusqu'à l'Arc sont présentés sur des images au format A0 annexées au rapport.

4.7.1. Calage du modèle

Il n'existe aucun repère de crue sur le Grand Vallat et ses affluents. Le calage du modèle n'a donc pu se faire que sur les témoignages et études antérieures collectés lors de la phase 1.

Les mécanismes d'écoulements résultant de la modélisation concordent avec les témoignages reçus. De plus, l'emprise de la crue type 1993 se superpose presque parfaitement avec l'emprise de la zone inondable centennale cartographiée en 2006 par IPSEAU.

Le modèle est construit avec une topographie fine dans laquelle chaque type d'obstacle (bâtiment, merlon, mur, remblai, etc.) a été retravaillé avec précision. Le découpage de la rugosité en lit majeur est lui aussi très précis (cf. Figure 11 : Coefficients de rugosité – secteur Vallats de Pibou et Babol Bouc Bel Air).

4.7.2. Résultats de la modélisation Q2

Les figures ci-après présentent les hauteurs et vitesses maximales obtenues pour un tel évènement.

Les premiers dysfonctionnements qui apparaissent sont :

- sur le Vallat des Tilleuls, débordement en rives gauche et droite inondant les quartiers de Vaunière et Lou Cantounet,
- sur le Vallat de Babol au niveau de la confluence avec le Grand Vallat, débordement en rive gauche,
- sur le Vallat de la Mule, débordement en rive droite et création d'un axe secondaire d'écoulement,
- sur le Grand Vallat en amont et en aval de la RD60, débordements généralisés en rive gauche et droite et surverse par-dessus la RD60,
- en amont de Lagremeuse, stockage d'eau,
- à l'aval au niveau d'Aix-La-Durance, en rive droite du Grand Vallat.

Les secteurs à enjeux touchés sont le quartier de Vaunière sur Bouc Bel Air, quelques habitations en amont de Vaunière en rive droite du Vallat des Tilleuls (quartier Lou Cantounet) et les habitations situées en amont de la RD60 sur Cabriès.

La hauteur maximale observée en amont de Lagremeuse est de 1.70 m.

FIGURE 12 : HAUTEURS MAXIMALES – EVENEMENT T = 2 ANS

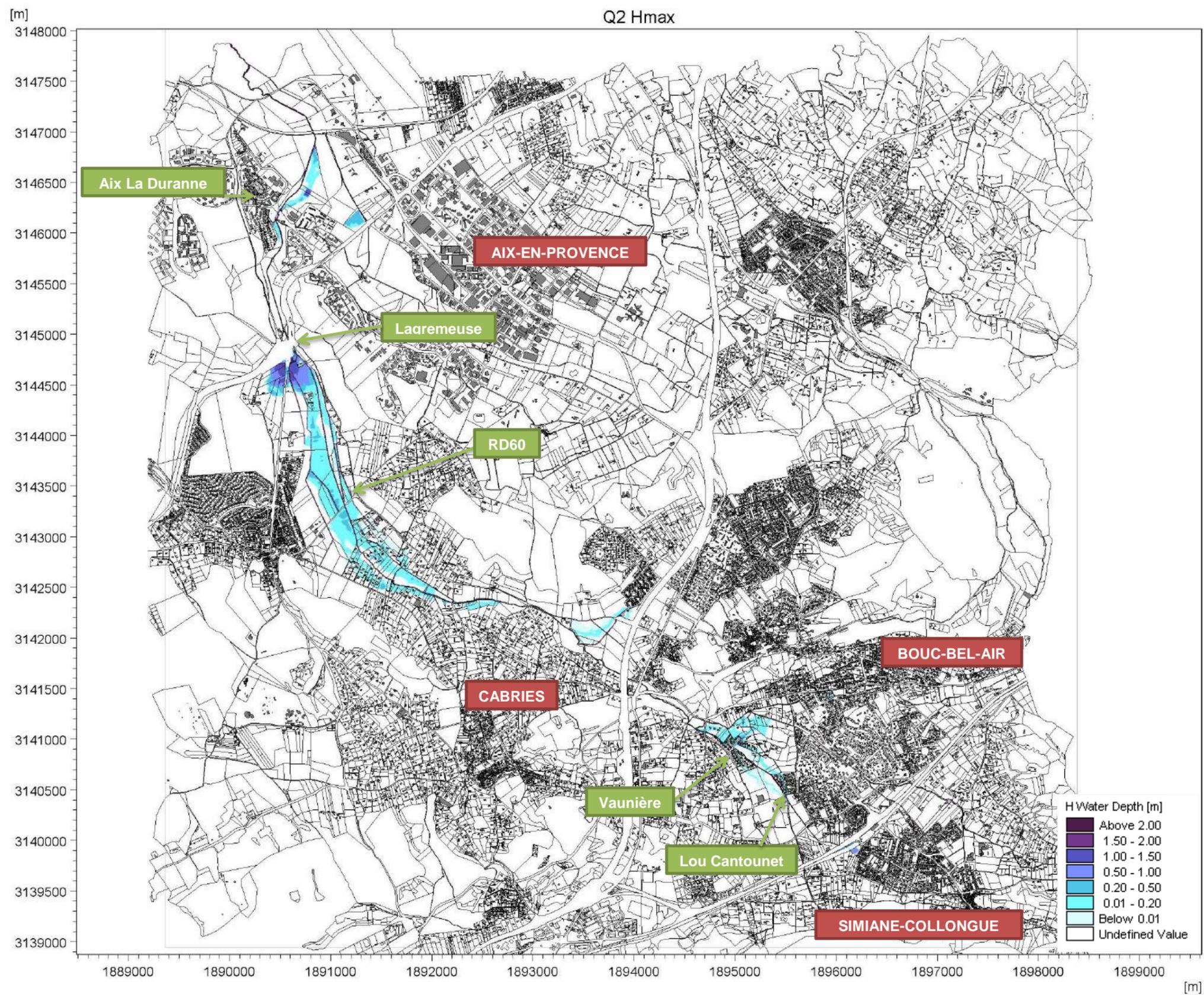
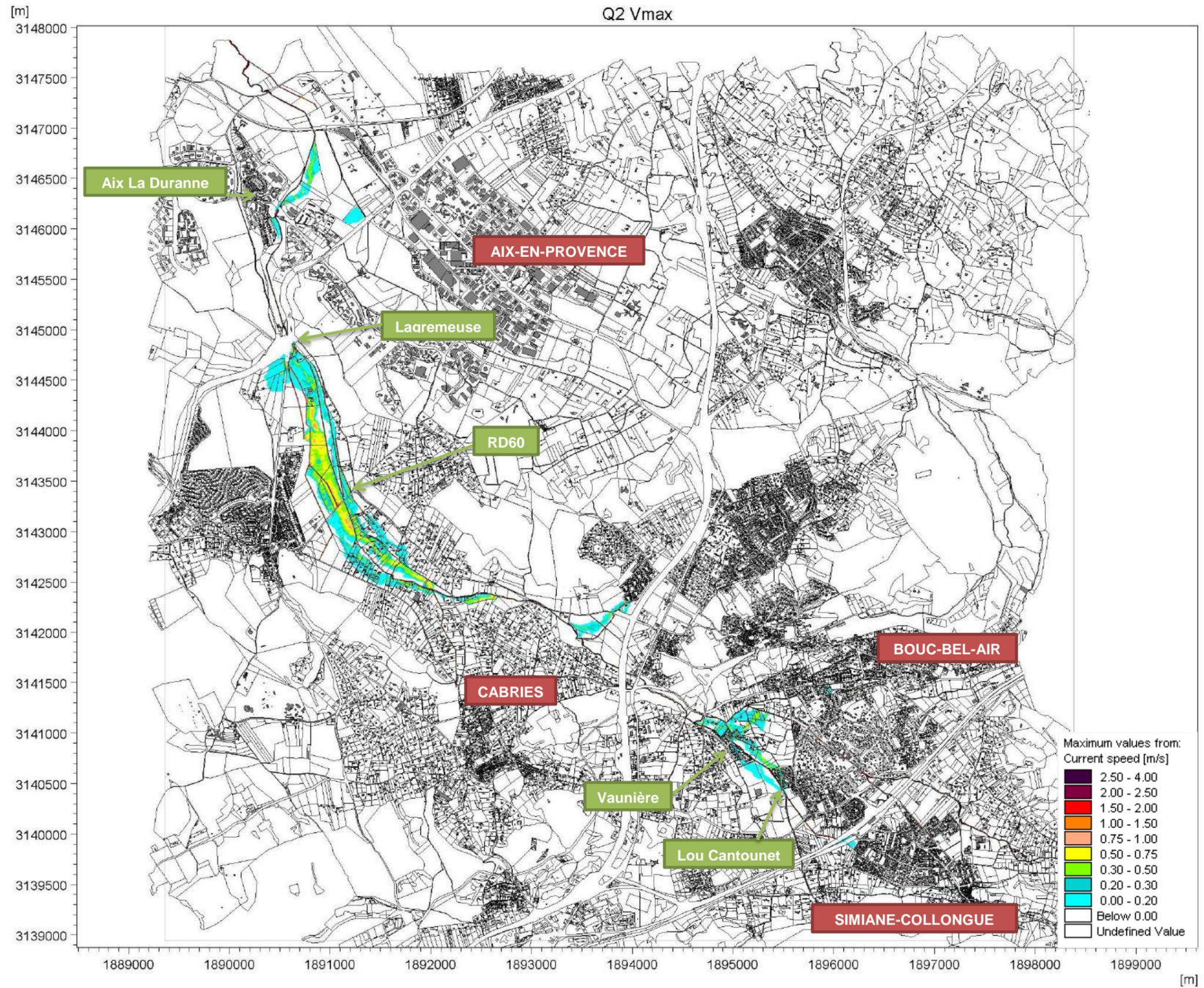


FIGURE 13 : VITESSES MAXIMALES – EVENEMENT T=2 ANS



4.7.3. Résultats de la modélisation Q5

Les figures ci-après présentent les hauteurs et vitesses maximales obtenues pour un tel évènement.

De nouveaux dysfonctionnements apparaissent par rapport à l'évènement biennal :

- débordements du Vallat de Babol en amont de la voie ferrée ; ils amorcent une zone de stockage qui s'accroitra avec la période de retour,
- nouveau débordement du Vallat des Tilleuls en aval de la RD6,
- débordement du Vallat de Pibou, au niveau du bassin de rétention le long de la RD60a, vers la confluence avec le Grand Vallat et en amont sur le chemin Joseph Roumanille,
- débordement du Vallat de Violési en rive droite au niveau de la confluence avec le Grand Vallat,
- débordement du Grand Vallat en rive gauche après la confluence avec le Vallat de la Mule,
- stockage d'eau en amont de la voie ferrée à l'aval d'Aix La Duranne et création d'axes secondaires d'écoulement en rive gauche du Grand Vallat avant la confluence avec l'Arc (déversement par-dessus la RD65).

Les nouveaux secteurs à enjeux touchés sont les suivants :

- le quartier de Prentigarde sur Bouc-Bel-Air en aval du bassin de rétention situé le long de la RD60a, - la rive droite du vallat de Violési entre le vallat et le chemin de Sauvecanne, au niveau de la confluence avec le Grand Vallat,
- la rive gauche du Grand Vallat au niveau du pont Mirabelle.

Les hauteurs maximales dans les zones de stockage remarquables sont :

- en amont de Lagremeuse, de 2 m,
- en amont de la voie ferrée sur Simiane de 0.45 m,
- en amont de la voie ferrée à l'aval d'Aix-la-Duranne de 1 m.

FIGURE 14 : HAUTEURS MAXIMALES – EVENEMENT T = 5 ANS

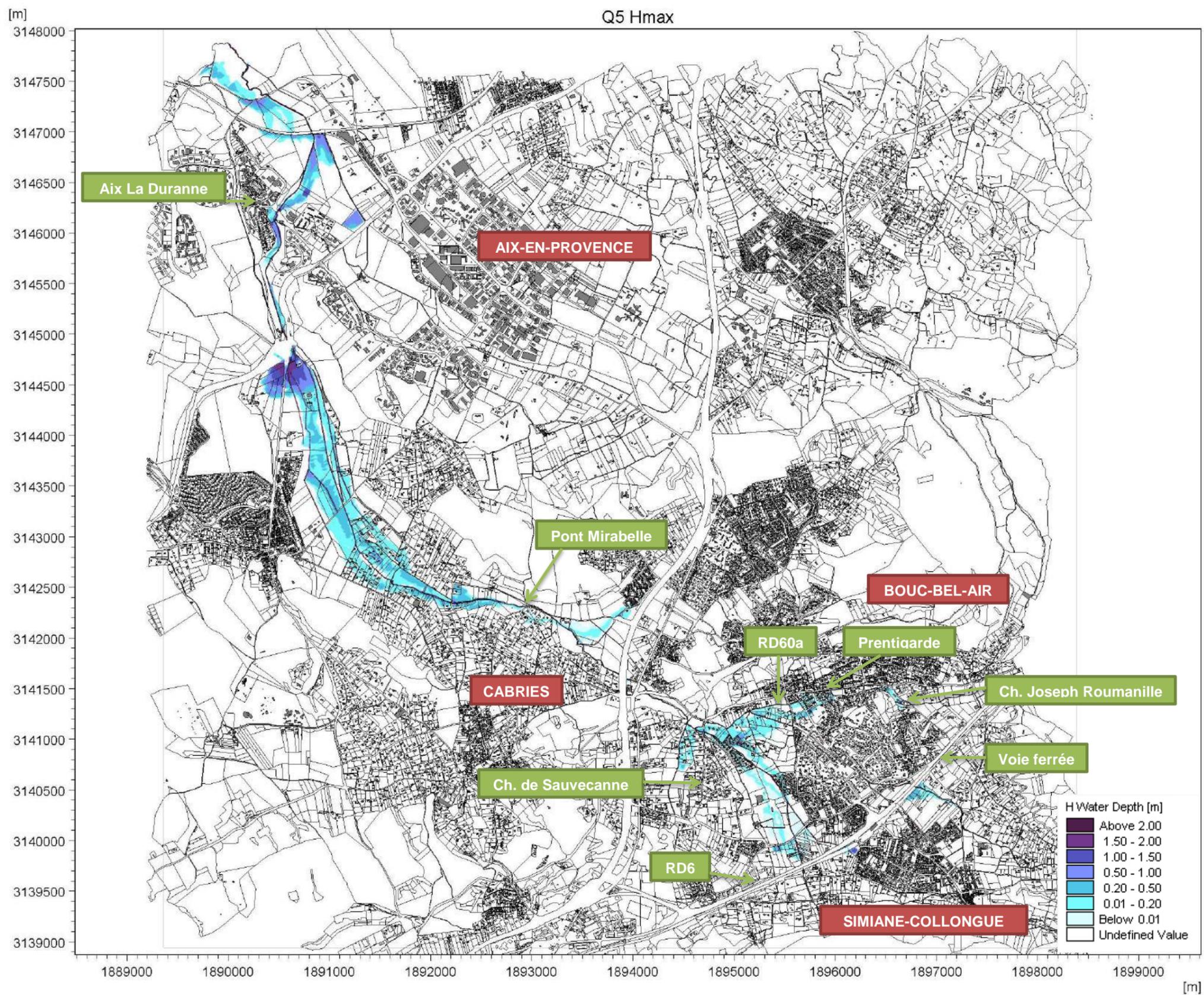
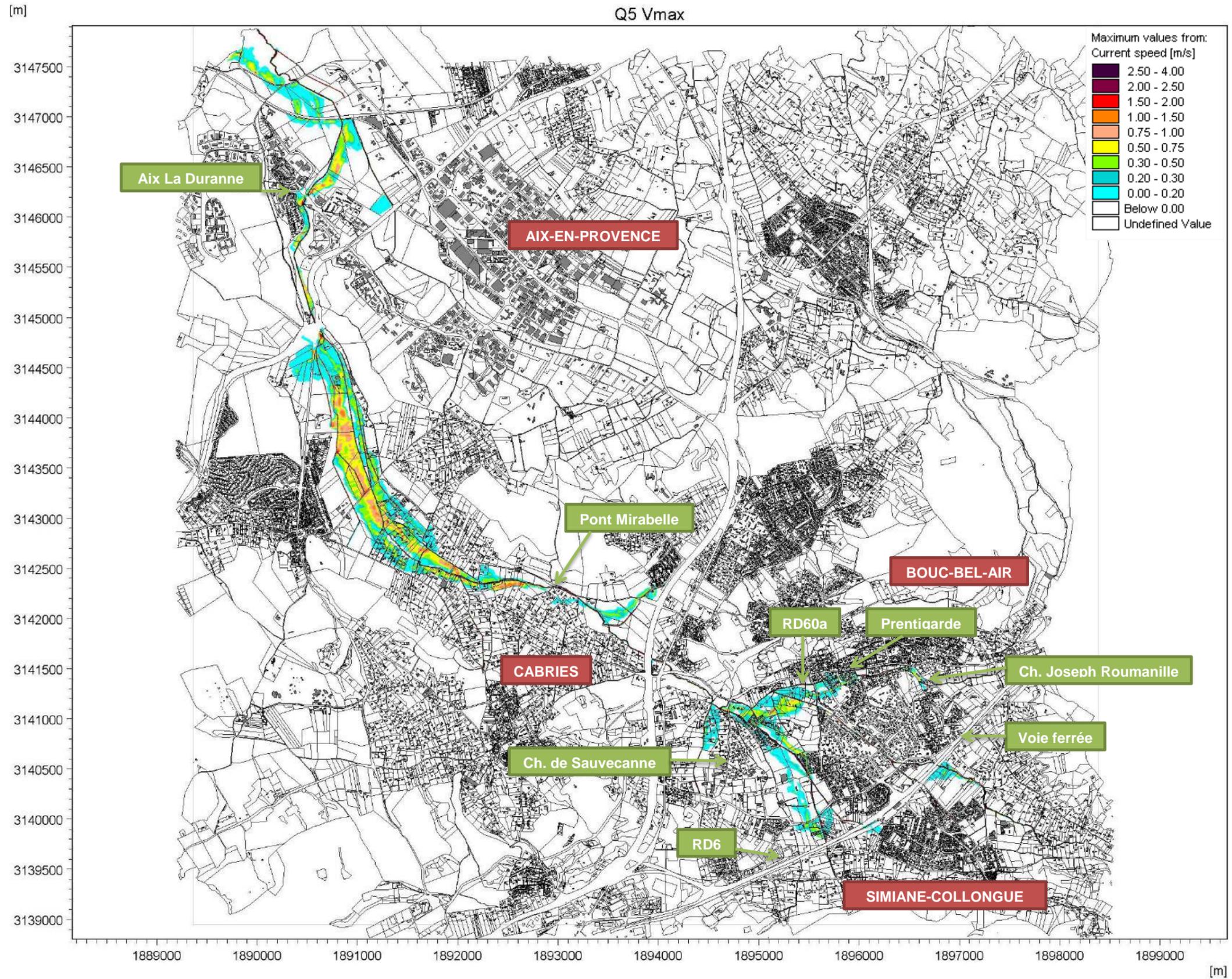


FIGURE 15 : VITESSES MAXIMALES – EVENEMENT T = 5 ANS



4.7.4. Résultats de la modélisation Q10

Les figures ci-après présentent les hauteurs et vitesses maximales obtenues pour un tel évènement.

De nouveaux dysfonctionnements apparaissent par rapport à l'évènement de période de retour 5 ans :

- débordements du Vallat des Mourgues sur Simiane, en rive droite au niveau du lotissement des Migraniers alimentant la rétention d'eau en amont de la voie ferrée,
- débordement du Vallat des Mourgues en aval de la RD6 en rive droite,
- débordements en rive gauche du Vallat de Violési, au niveau de la confluence avec le Grand Vallat touchant quelques habitations,
- amplification des débordements au droit du Pont Mirabelle en rive gauche du Grand Vallat

Les secteurs à enjeux touchés qui ne le sont pas pour un évènement de période de retour 5 ans sont les suivants:

- le lotissement des Migraniers sur Simiane,
- la rive droite du Vallat des Mourgues en aval de la RD6.

Les hauteurs maximales dans les zones de stockage remarquable sont :

- en amont de Lagremeuse, de 2.5 m,
- en amont de la voie ferrée sur Simiane de 0.6 m,
- en amont de la voie ferrée à l'aval d'Aix-La-Durance de 1.7 m.

FIGURE 16 : HAUTEURS MAXIMALES – EVENEMENT T= 10 ANS

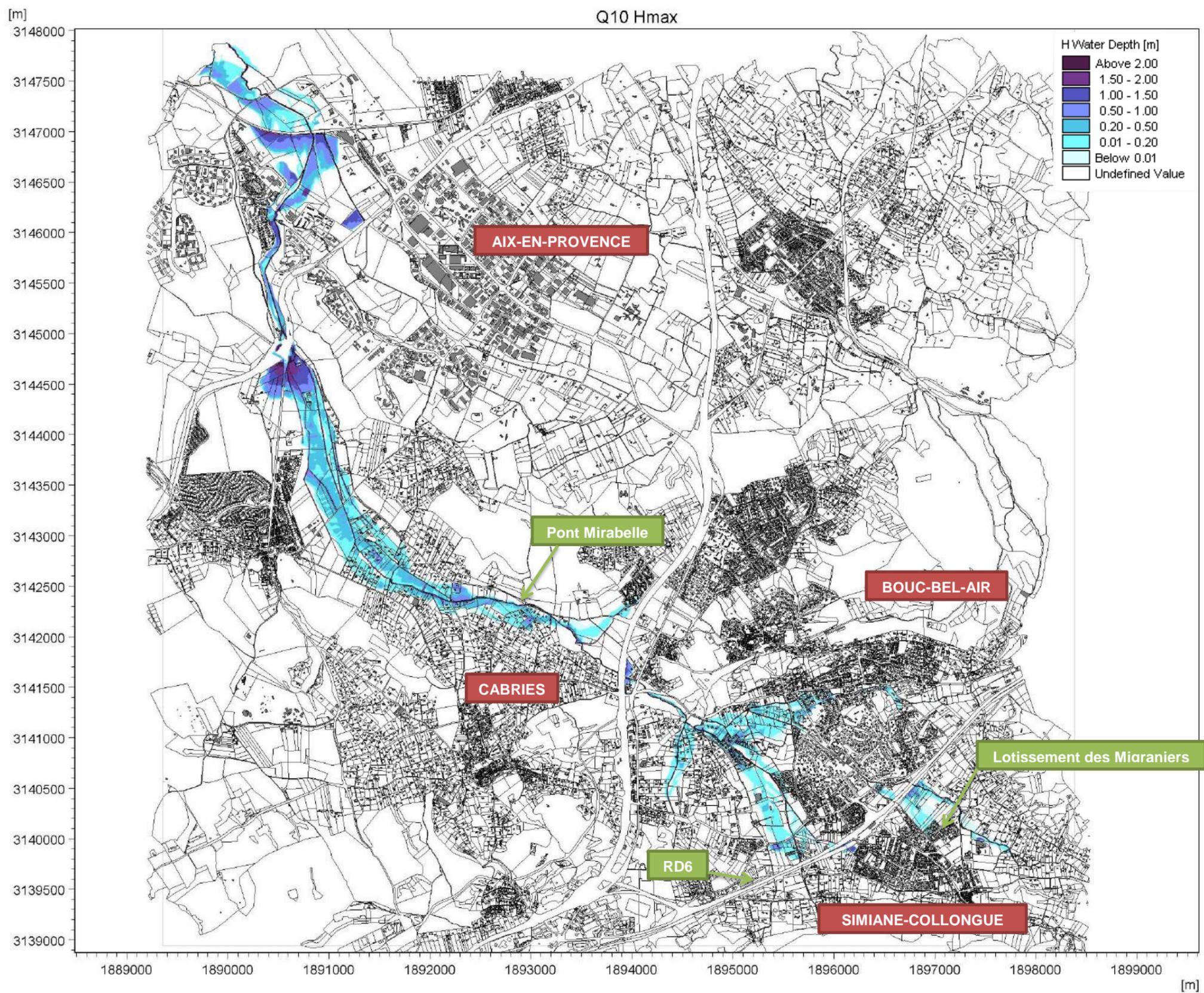
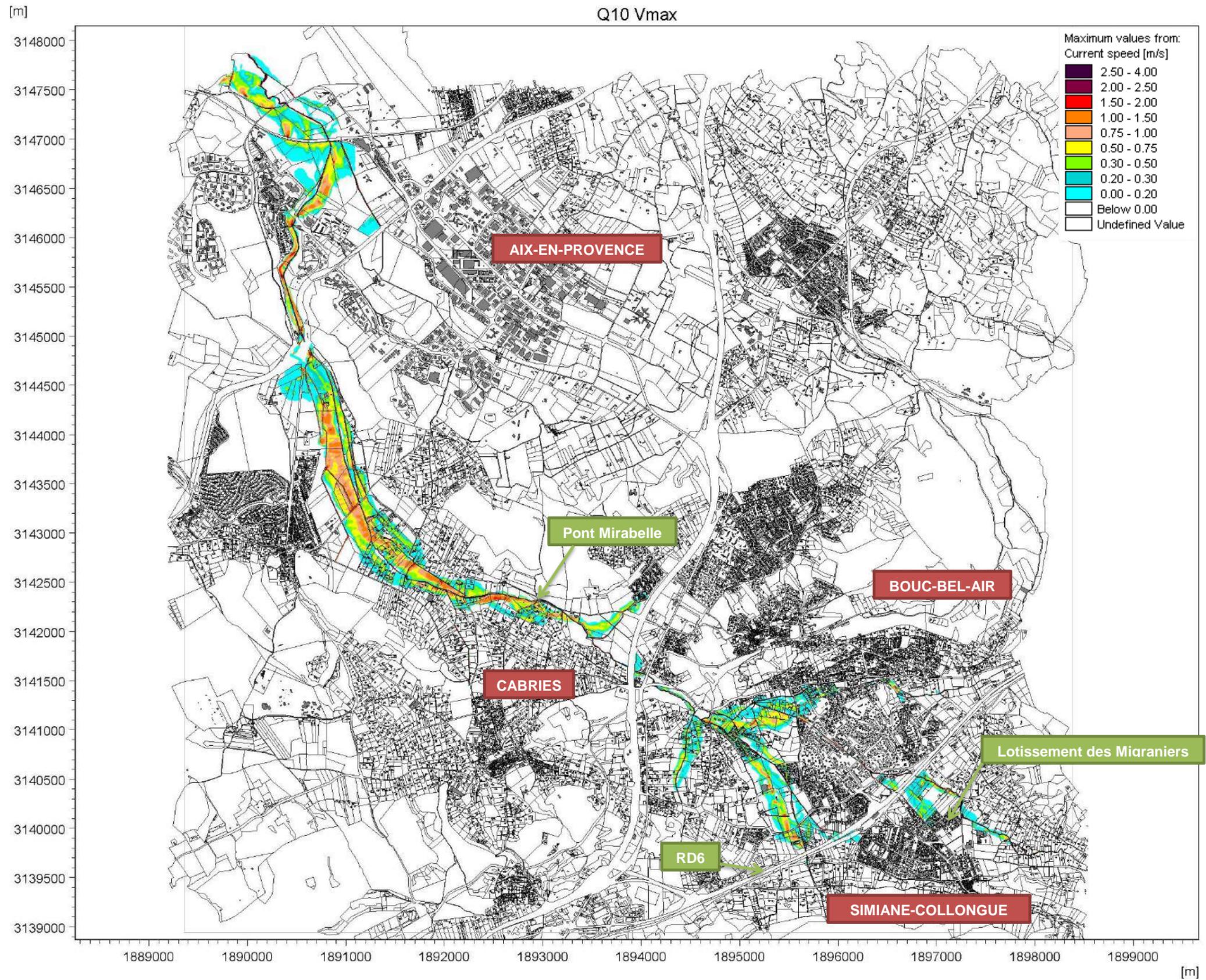


FIGURE 17 : VITESSES MAXIMALES – EVENEMENT T = 10 ANS



4.7.5. Résultats de la modélisation Q50

Les figures ci-après présentent les hauteurs et vitesses maximales obtenues pour un tel évènement.

De nouveaux dysfonctionnements apparaissent par rapport à l'évènement décennal :

- débordement du Vallat des Mourgues au niveau du passage en souterrain dans le centre du village, l'eau s'écoule principalement dans les rues avec des vitesses importantes,
- les débordements généralisés du Vallat de Babol en rive gauche et du Vallat des Mourgues en rive droite se dirigent vers le lotissement des Migraniers, mais les hauteurs d'eau restent faibles dans le lotissement (environ 10 cm), le secteur du collège est également touché,
- débordements quasi généralisés sur le Vallat de Pibou, notamment apparition de nouveaux débordements à l'amont du bassin de rétention le long de la RD60a,
- débordement du Vallat de Babol au niveau de l'école à l'aval de la RD6, en rive droite et en rive gauche sur Bouc-Bel-Air,
- débordement du Grand Vallat en rive droite et gauche en amont de l'A51 qui entraîne une rétention d'eau et une surverse par-dessus l'autoroute sur son point bas, quelques habitations et commerces sont touchés par ces débordements ; il y a également surverse par-dessus la RN8,
- débordement du Vallat de Rans en rive droite au niveau de la confluence avec le Grand Vallat,
- débordement de la Petite Jouïne, inondant quelques habitations en rive gauche à Aix-La-Duranne.

D'une manière plus générale, on observe des débordements généralisés sur l'ensemble du linéaire du Grand Vallat, du Vallat de Pibou, du Vallat de Babol, du Vallat des Mourgues, du Vallat des Tilleuls et du Vallat de Violési.

Les secteurs à enjeux touchés qui ne le sont pas pour un évènement décennal sont :

- le centre-ville de Simiane,
- le secteur de l'école en rives droite et gauche du Vallat de Babol sur Bouc-Bel-Air,
- la rive droite du Vallat de Pibou en amont du bassin de rétention le long de la RD60a,
- les habitations en amont de l'autoroute A51,
- la rive droite du Vallat de Rans au niveau de la confluence avec le Grand Vallat.

Les hauteurs maximales dans les zones de stockage remarquable sont :

- en amont de Lagremeuse de 3.3 m,
- en amont de la voie ferrée sur Simiane de 2.4 m,
- en amont de la voie ferrée à l'aval d'Aix-La-Durance de 2.7 m,
- en amont de l'A51 de 4.3 m.

FIGURE 18 : HAUTEURS MAXIMALES – EVENEMENT T = 50 ANS

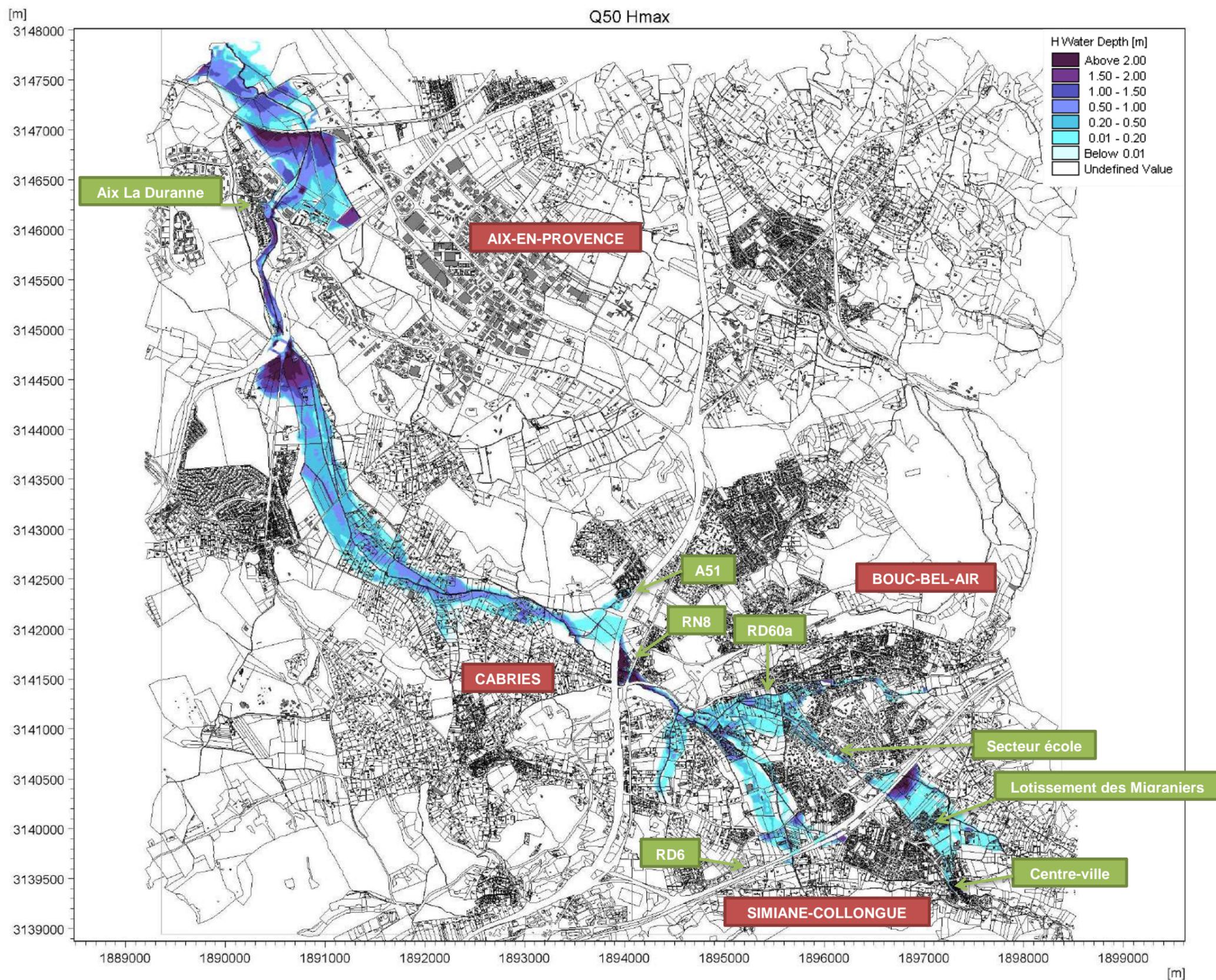
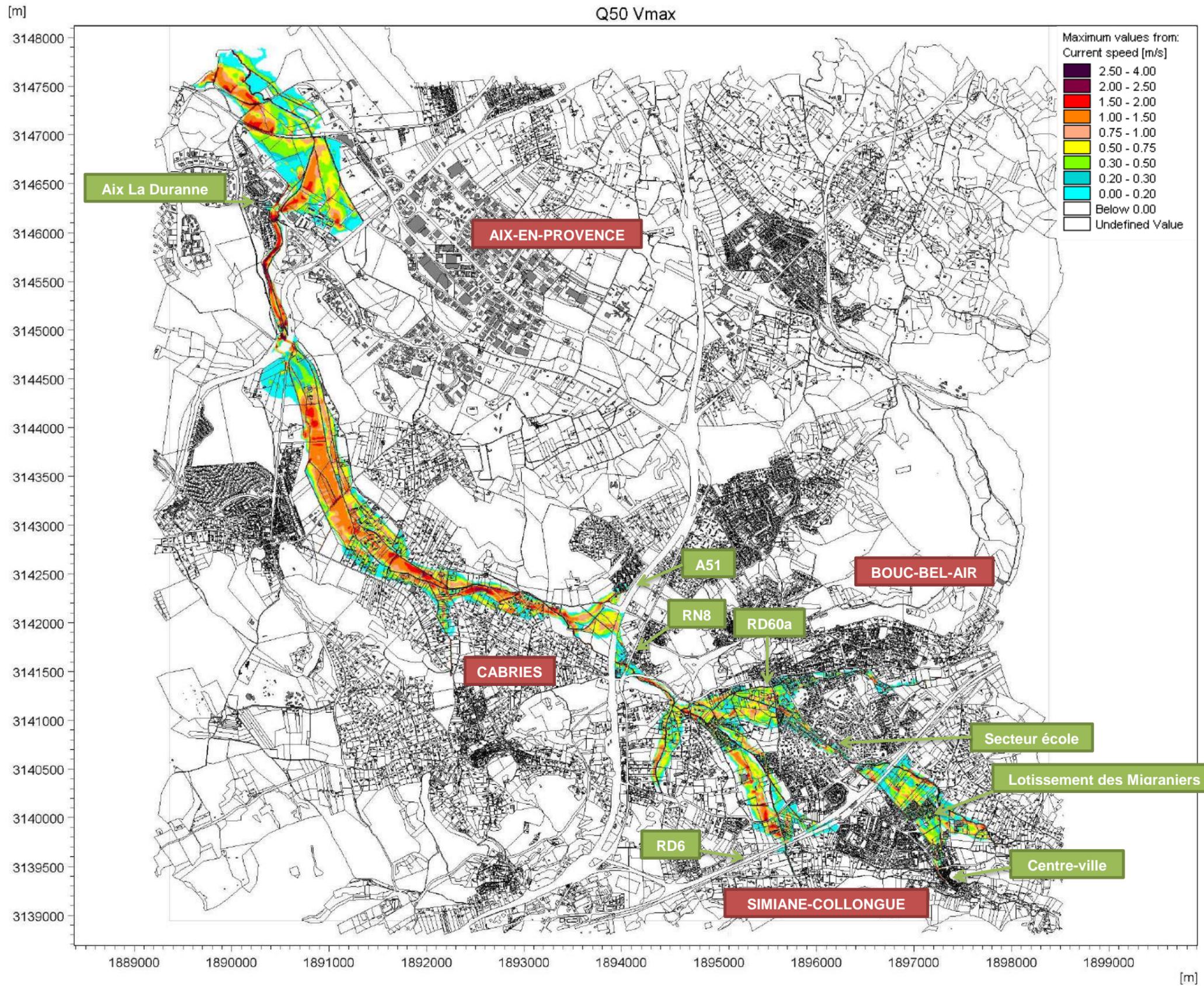


FIGURE 19 : VITESSES MAXIMALES – EVENEMENT T = 50 ANS



4.7.6. Résultats de la modélisation Q1993

Les figures ci-après présentent les hauteurs et vitesses maximales obtenues pour un tel évènement.

Pour un tel évènement, comparable à une période de retour de l'ordre de 100 ans, l'ensemble des cours d'eau montre des débordements généralisés. Il n'y pas de nouvelles zones inondées qui ne le sont pas pour un évènement cinquantennal.

Les principaux secteurs à enjeux sont les mêmes que pour les évènements plus fréquents :

- sur Simiane-Collongue : le lotissement des Migraniers et le centre-ville,
- sur Bouc-Bel-Air : en bordure des vallats de Babol (secteur de l'école), de Pibou (quartier Prentigarde), des Tilleuls (quartiers de Vaunière et Lou Cantounet), et de Violési (confluence avec le Grand Vallat),
- sur Cabriès : les habitations situées en bordure du Grand Vallat de l'autoroute A51 jusqu'à la RD60 ainsi que les habitations en bordure du Vallat de Rans,
- sur Aix-en-Provence : quelques habitations sur Aix-la-Durance.

Les hauteurs maximales dans les zones de stockage remarquable sont :

- en amont de Lagremeuse de 4.6 m,
- en amont de la voie ferrée sur Simiane de 4.2 m,
- en amont de la voie ferrée à l'aval d'Aix-La-Durance de 3.2 m,
- en amont de l'A51 de 5.9 m.

FIGURE 20 : HAUTEURS MAXIMALES – EVENEMENT TYPE 1993

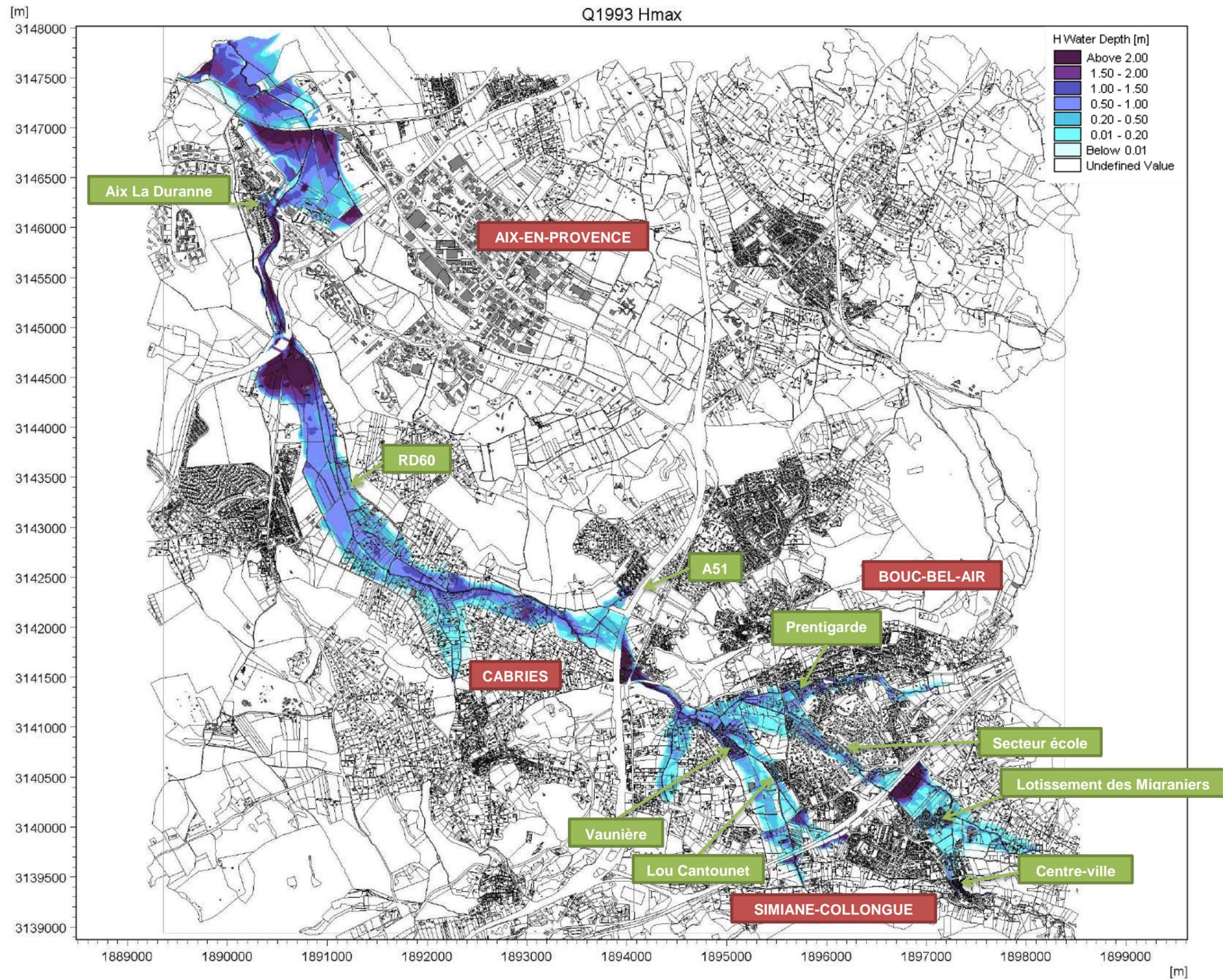
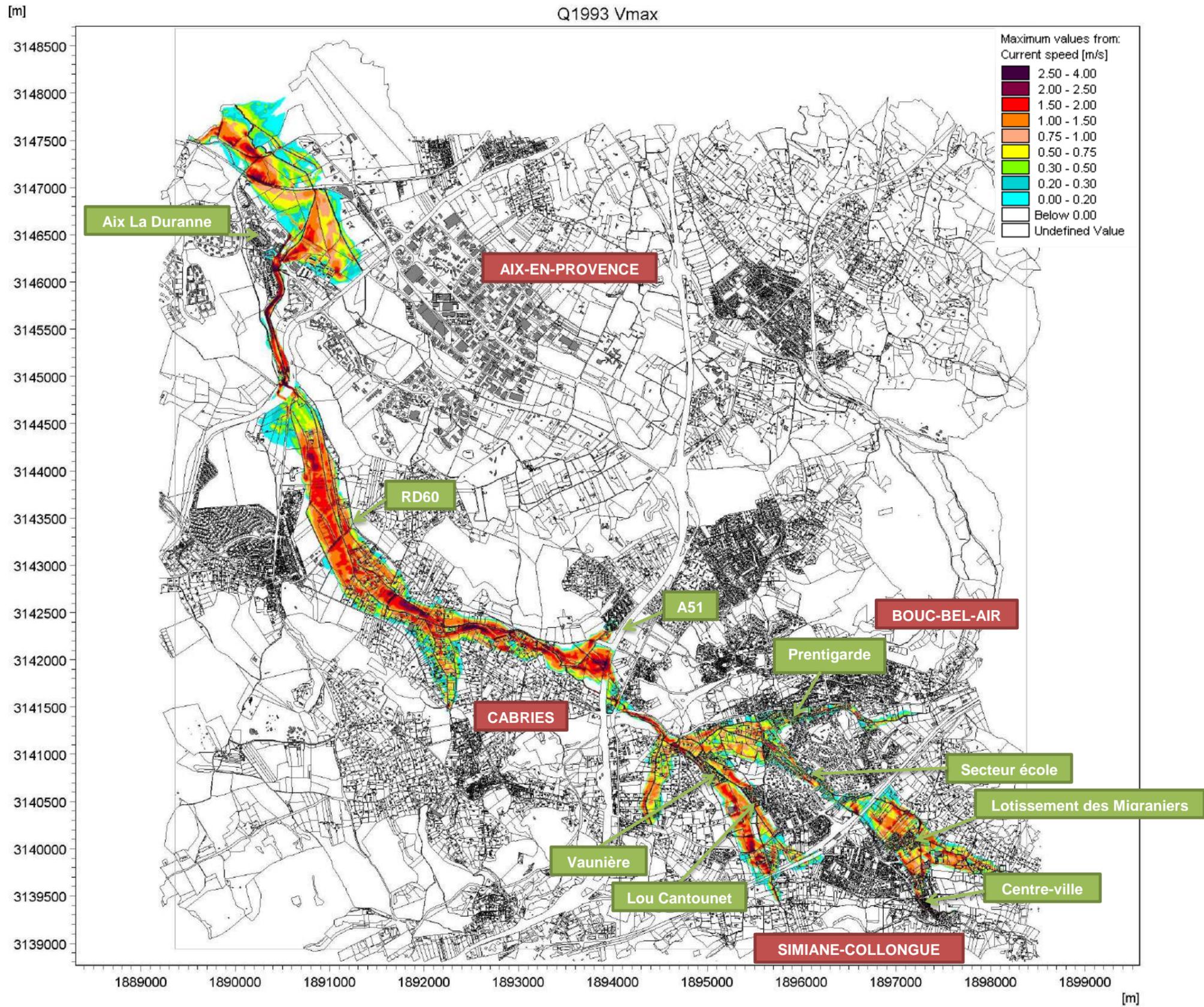


FIGURE 21 : VITESSES MAXIMALES – EVENEMENT TYPE 1993



4.7.7. Récapitulatif

La figure 22 ci-après illustre l'ensemble des secteurs à enjeux touchés ainsi que la période de retour associée. Elle permet d'avoir une vision globale des dysfonctionnements observés et de faire un récapitulatif de l'état actuel. Cette illustration distingue les secteurs à enjeux (quartiers denses, écoles, etc.) ainsi que les secteurs isolés sans enjeu fort (bâtiments isolés).

Attention, cette figure n'est donnée qu'à titre d'information, elle ne fait en aucun cas office de délimitation de zone inondable ; pour cela, se référer aux figures 12, 14, 16, 18, 20.

Elle fait ressortir les secteurs à enjeux importants impactés pour des crues de faible occurrence (2 à 5 ans) : le quartier de Vaunière sur Bouc-Bel-Air (et plus en amont Lou Cantounet) ainsi que les habitations situées en amont de la RD60 sur Cabriès. Viennent ensuite le quartier de Prentigarde en rive gauche du Vallat de Pibou et les habitations situées en rive droite du Vallat de Violési.

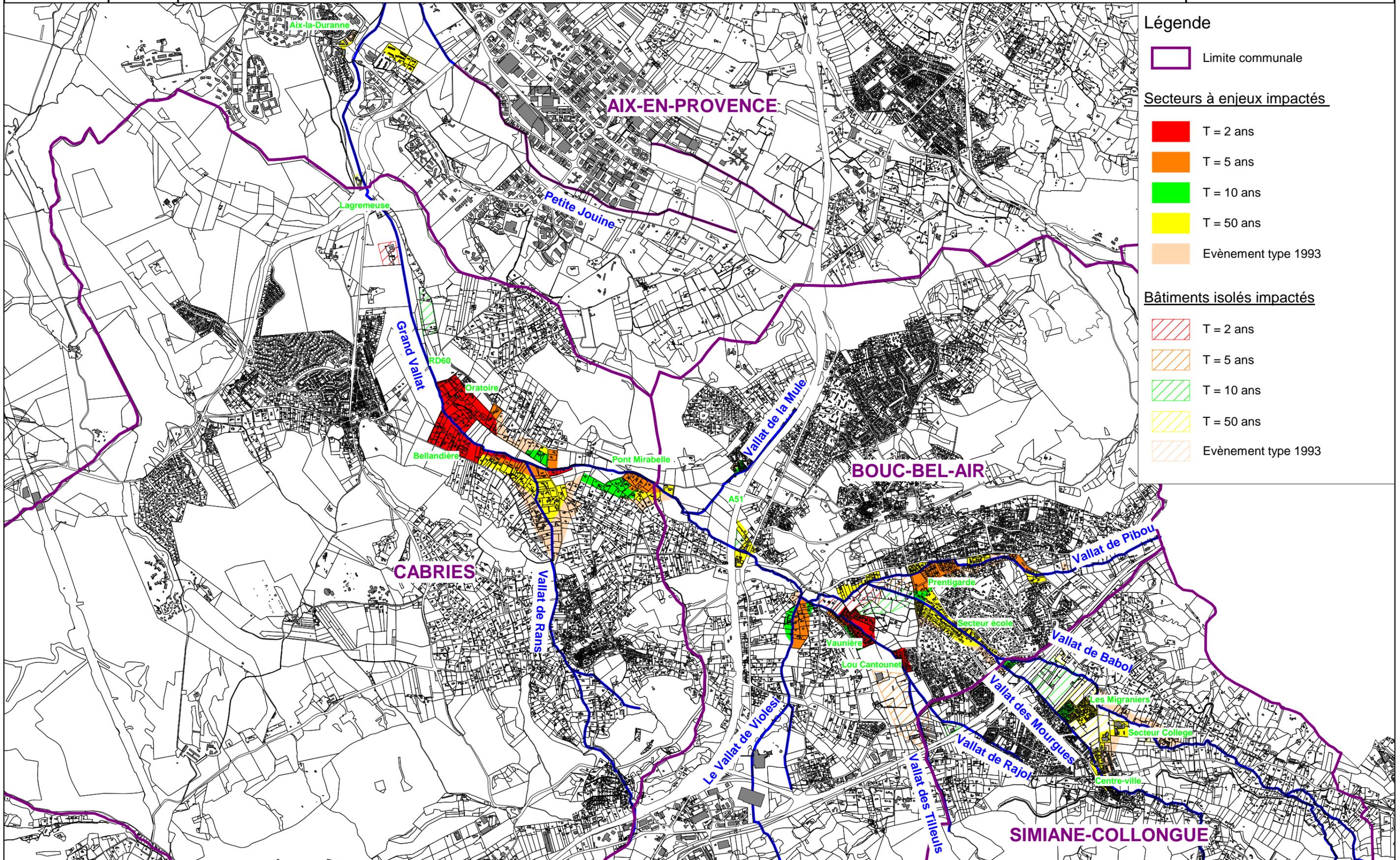
Pour une crue d'occurrence moyenne (10 ans), le lotissement des Migraniers commence à être inondé par le Vallat des Mourgues. En amont de la RD60, plus la période de retour est importante, plus le nombre d'habitations touchées est grand.

Pour une crue d'occurrence plus forte (50 ans à évènement type 1993), les principales nouvelles zones inondables sont les bords du Vallat de Babol au niveau de l'école de Bouc-Bel-Air et les bords du Vallat de Rans.



Figure 22 : Secteurs à enjeux impactés et période de retour associée

Etude N° MM2714 - JUILLET 2013



Légende

Limite communale

Secteurs à enjeux impactés

- T = 2 ans
- T = 5 ans
- T = 10 ans
- T = 50 ans
- Evènement type 1993

Bâtiments isolés impactés

- T = 2 ans
- T = 5 ans
- T = 10 ans
- T = 50 ans
- Evènement type 1993

4.8. RESULTATS MODELE PETITE JOUÏNE (SAFEGE)

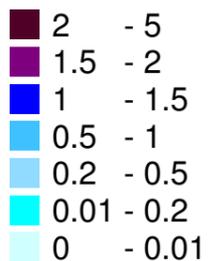
La Petite Jouïne, située sur la commune d'Aix-en-Provence, au niveau de la zone d'activité des Milles a été modélisée de l'A51 jusqu'à la RD9 par le bureau d'étude SAFEGE dans le cadre du schéma pluvial de la ville d'Aix-en-Provence.

Afin d'avoir une cartographie des dysfonctionnements sur le bassin versant de la Petite Jouïne en amont de la RD9, le SABA a missionné SAFEGE pour la réalisation des simulations d'occurrence 2, 5, 10, 50 ans et de la simulation représentant un évènement type 1993. En aval de la RD9, la Petite Jouïne a été intégrée au modèle bidimensionnelle présenté en §4.1.

Les résultats de la Petite Jouïne, illustrés sur les figures ci-dessous, sont ainsi issus du modèle de SAFEGE, construit différemment du modèle du Grand Vallat, avec un maillage flexible.

Figure 23 : Cartographie hauteurs d'eau maximales Petite Jouïne (SAFEQE) Q2

Hauteur d'eau max (m)



Echelle : 1 cm = 100 m

Zone d'activité Aix Les Milles

RD9

Vers Aix-la-Durance

A51

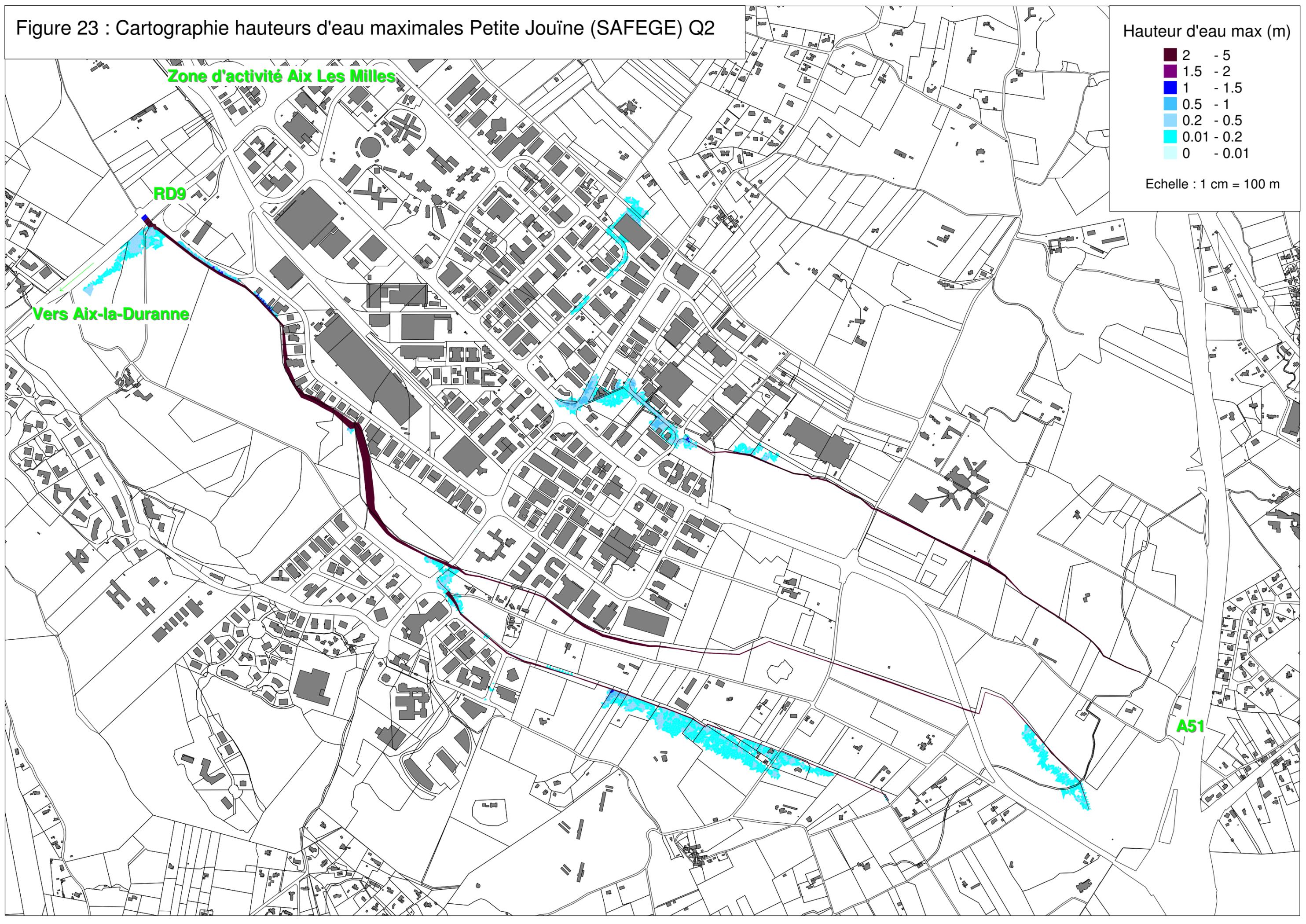
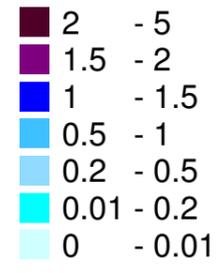


Figure 24 : Cartographie hauteurs d'eau maximales Petite Jouïne (SAFEQE) Q5

Hauteur d'eau max (m)



Echelle : 1 cm = 100 m

Zone d'activité Aix Les Milles

RD9

Vers Aix-la-Durance

A51

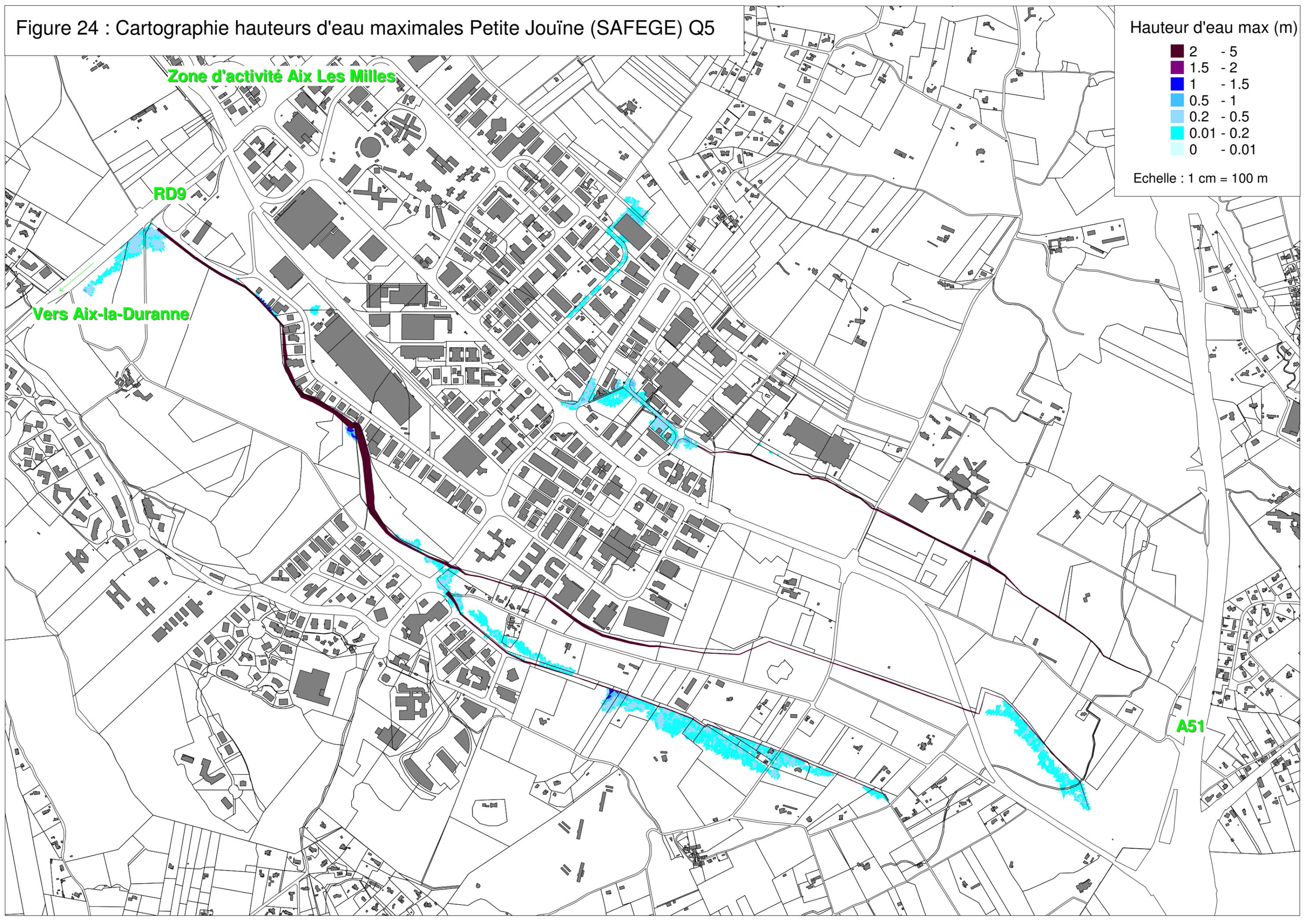
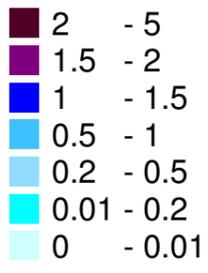


Figure 25 : Cartographie hauteurs d'eau maximales Petite Jouïne (SAFEQE) Q10

Hauteur d'eau max (m)



Echelle : 1 cm = 100 m

Zone d'activité Aix Les Milles

RD9

Vers Aix-la-Durance

A51



Figure 26 : Cartographie hauteurs d'eau maximales Petite Jouïne (SAFEQE) Q50

Hauteur d'eau max (m)

- 2 - 5
- 1.5 - 2
- 1 - 1.5
- 0.5 - 1
- 0.2 - 0.5
- 0.01 - 0.2
- 0 - 0.01

Echelle : 1 cm = 100 m

Zone d'activité Aix Les Milles

RD9

Vers Aix-la-Durance

A51

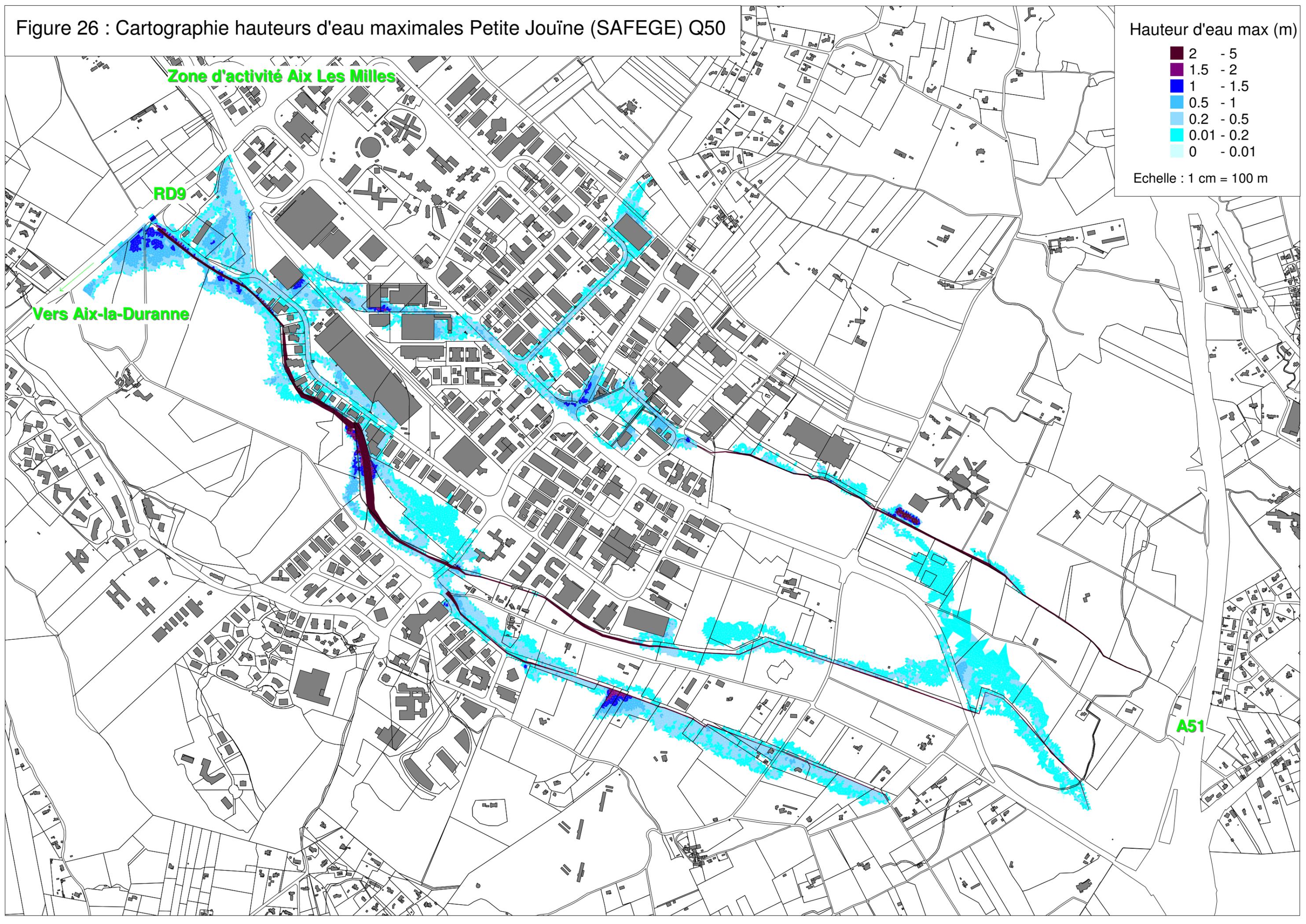
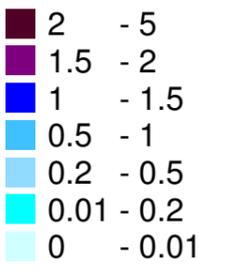


Figure 27 : Cartographie hauteurs d'eau maximales Petite Jouïne (SAFEGE) 1993

Hauteur d'eau max (m)



Echelle : 1 cm = 100 m

Zone d'activité Aix Les Milles

RD9

Vers Aix-la-Durance

A51



4.9. DEBITS DE PREMIERS DEBORDEMENTS

4.9.1. Méthodologie

Les débits de premiers débordements ont été définis pour chaque cours d'eau en rive droite et en rive gauche sur des tronçons homogènes de 25 m environ. Ces débits ont été associés à une période de retour 2, 5, 10, 20, 30, 50 ou 100 ans (cf. Figure 7 : Débits de pointe retenus sur l'ensemble du réseau hydrographique). Le Grand Vallat a été divisé en plusieurs tronçons de débits de pointe homogènes. Le Vallat de Babol et le Vallat des Tilleuls ont été divisés en deux tronçons, avant et après la confluence avec le Vallat des Mourgues, avant et après la confluence avec le Vallat de Rajol. Chaque tronçon étant défini par des débits de pointe différents.

La définition des débits de premiers débordements a été faite en situation réelle d'écoulement grâce aux modélisations effectuées sur le Grand Vallat et sur la Petite Jouïne (utilisation des résultats de SAFEGE), elle tient ainsi compte des influences aval (ouvrage ou confluence). Pour les tronçons de cours d'eau situés hors du modèle bidimensionnel, les modèles unidimensionnels construits en 2006 par IPSEAU (logiciel HEC-RAS) ont été réutilisés.

4.9.2. Résultats

Des planches cartographiques ont été réalisées sur lesquelles figurent pour chaque cours d'eau les périodes de retour associées aux débits de premiers débordements en rive droite et en rive gauche.

- *Ph2-2a : Débits de premiers débordements – Secteur Simiane-Collongue & Bouc-Bel-Air*

- *Ph2-2b : Débits de premiers débordements – Secteur Bouc-Bel-Air & Cabriès*

- *Ph2-2c : Débits de premiers débordements – Secteur Cabriès & Aix-en-Provence*

Les observations qui résultent de cette analyse sont synthétisées ci-après, pour chaque Vallat.

- Vallat des Mourgues

Il présente une capacité centennale en amont du village de Simiane. Arrivé dans le souterrain qui traverse le centre, le Vallat n'a plus qu'une capacité décennale. Au-delà, l'ouvrage n'est plus suffisant et les écoulements, après avoir surversé au-dessus du parapet, s'écoulent principalement dans les rues du centre-ville. En sortie du souterrain, au niveau du lotissement des Migraniers, la présence de plusieurs ouvrages les uns à la suite des autres cause des réductions ponctuelles de capacités (de 10 à 5 ans) et des débordements en rive droite préférentiellement. Après le lotissement, sa capacité est de l'ordre de 5 ans.

- Vallat de Babol

Sa capacité en amont du pont de la Cournière est importante et se réduit peu à peu à l'approche du pont (de 100 à 2 ans). En aval, elle redevient suffisante (30 ans) avant d'atteindre un nouvel ouvrage au droit des Migraniers où les premiers débordements sont observés pour des occurrences plus faibles (10 ans). Entre les Migraniers et la RD6, sa capacité se situe entre 2 et 5 ans. Les débordements apparaissent plus particulièrement en rive gauche.

Après la confluence avec le Vallat des Mourgues au niveau de l'école de Bouc-Bel-Air, les débordements arrivent moins fréquemment (périodes de retour entre 10 et 30 ans). Avant la confluence avec le Grand Vallat, les fréquences de débordement augmentent (de 5 à <2 ans).

- Vallat de Pibou

Il présente des capacités globalement faibles, pour la plupart entre 5 et <2 ans, avec quelques tronçons à 10 ans. Les premiers débordements apparaissent en entrée de la buse souterraine le long de la RD60a (sortie du bassin de rétention, près de Prentigarde).

- Vallat de Rajol

Jusqu'à l'aval de la voie ferrée, sa capacité est inférieure à 2 ans, et l'eau est stockée dans un bassin de rétention entre la voie ferrée et la RD6. En sortie du bassin de rétention, les capacités sont relativement importantes (entre 10 et 100 ans).

- Vallat des Tilleuls

Le Vallat des Tilleuls est l'un des cours d'eau dont les dysfonctionnements arrivent le plus rapidement. En effet, entre la RD6 et sa confluence avec le Grand Vallat, les capacités sont comprises entre 5 et <2 ans. Par ailleurs, certains ouvrages ont une capacité limitée qui entraîne une mise en charge des ouvrages et des débordements. Les quartiers les plus touchés sont Vaunière et Lou Cantounet.

- Vallat de Violési

D'une capacité comprise globalement entre 5 et 10 ans et avec quelques tronçons ponctuels d'une capacité de 2 ans liée à la présence d'un ouvrage, le Vallat de Violési n'impacte pas de zones à enjeux importants. Il touche principalement des villas isolées, situées au niveau de la confluence avec le Grand Vallat. Les débordements dans ce secteur semblent être liés à l'insuffisance d'un ouvrage.

- Vallat de la Mule

Il déborde très rapidement puisque les tronçons en amont ont une capacité inférieure à 2 ans.

- Vallat de Rans

Jusqu'au chemin de la Bellandière, les capacités sont comprises entre 10 et 100 ans, excepté en amont sur la route de Rans, derrière l'autoroute, où le Vallat est canalisé et de faible capacité (<2 ans). A l'approche du Grand Vallat, le cours d'eau commence à déborder pour un évènement cinquantennal.

- Petite Jouïne

Les périodes de retour des premiers débordements ont été définies sur la Petite Jouïne grâce aux cartographies des zones inondables de différentes occurrences de crue fournies par le bureau d'études SAFEGE. Il apparaît ainsi que la Petite Jouïne en amont de la RD9 a quelques tronçons de capacité faible (<2 à 5 ans) mais globalement, le cours d'eau a une capacité comprise entre 10 et 50 ans.

A l'aval de la RD9, sa capacité se réduit à l'approche de la voie ferrée, passant de 30 ans à <2 ans.

- Le Grand Vallat

En amont de l'A51, les capacités sont en moyenne comprises entre 5 et 10 ans. Après l'autoroute et jusqu'à la confluence avec la Mule, un tronçon fait l'exception par sa capacité trentennale. Après la confluence avec la Mule et jusqu'à la voie ferrée, les capacités sont très faibles, inférieures à 2 ans (en amont et en aval de la RD60) à 2 ans.

A l'aval entre la voie ferrée et l'Arc, la capacité est homogène, de 5 ans.

5. DIRECTIVE INONDATION

5.1. PRESENTATION

La Directive 2007/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et la gestion globale des risques d'inondations dite « Directive Inondation » a pour principal objectif d'établir un cadre pour l'évaluation et la gestion globale des risques d'inondations, qui vise à réduire les conséquences négatives pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique associées aux différents types d'inondations dans la Communauté.

Elle préconise de travailler à l'échelle des grands bassins hydrographiques appelés « districts hydrographiques », en l'occurrence le district Rhône et côtiers méditerranéens dit « bassin Rhône-Méditerranée » pour ce qui concerne notre bassin. Ainsi, des Territoires à Risques d'Inondations importants (TRI) ont été sélectionnés, dont une partie du bassin de l'Arc.

Dans le cadre du TRI de l'Arc, la DDTM et la DREAL ont lancé une requête auprès du SABA : réaliser la modélisation hydraulique du bassin versant de la Jouïne pour trois types de crues :

- une crue fréquente type décennale,
- une crue moyenne type 1993,
- une crue exceptionnelle prise égale à $1.8 \times Q_{1993}$.

5.2. RESULTATS

Les résultats (hauteurs et vitesses maximales) seront présentés sous format SIG à la DDTM et à la DREAL. De même que pour les précédents scénarios simulés, la crue exceptionnelle sur la Petite Jouïne a été modélisée par SAFEGE.

Par rapport à l'évènement type 1993, la seule zone nouvellement inondée est le quartier de San Baquis sur la commune de Bouc-Bel-Air.

Les hauteurs maximales dans les zones de stockage remarquable sont :

- en amont de Lagremeuse de 6.1 m,
- en amont de la voie ferrée sur Simiane de 5.8 m,
- en amont de la voie ferrée à l'aval d'Aix-La-Durance de 3.7 m,
- en amont de l'A51 de 7.2 m.

Les résultats issus de la modélisation hydraulique sur le Grand Vallat et sur la Petite Jouïne (SAFEGE) sont présentés sur les planches cartographiques suivantes :

- *Ph2-3a : TRI ARC – Cartographie des zones inondables du Grand Vallat et de la Petite Jouïne – Crue décennale,*
- *Ph2-3b : TRI ARC – Cartographie des zones inondables du Grand Vallat et de la Petite Jouïne – Crue de référence de type 1993,*
- *Ph2-3c : TRI ARC – Cartographie des zones inondables du Grand Vallat et de la Petite Jouïne – Crue exceptionnelle.*

6. PERSPECTIVES PHASE 3

6.1. RAPPELS DES OBJECTIFS DE L'ETUDE ET DES ORIENTATIONS SDAGE / SAGE

6.1.1. Objectifs de l'étude

Le secteur d'étude connaît de nombreux problèmes d'inondation liés à des phénomènes pluvieux de plus en plus intenses sur un sol de plus en plus imperméabilisé du fait de l'urbanisation. C'est pourquoi le SABA a décidé d'engager une réflexion à l'échelle du bassin versant visant à réduire l'aléa inondation sur les zones à enjeux.

Le premier objectif passe par la définition d'une politique générale de gestion des cours d'eau à l'échelle du bassin versant et des communes concernées, développée et adaptée à chaque contexte communal et dans une logique globale amont-aval.

Les solutions proposées en phase 3 seront d'ordre :

- **techniques** : visant à ralentir la dynamique des crues (création ou restauration des zones d'expansion de crue, aménagements hydrauliques ponctuels),
- **réglementaires** : établissant des prescriptions en matière d'urbanisation et d'occupation des sols (préservation des zones d'expansion de crue).

Ces solutions devront être compatibles avec le SDAGE et le SAGE de l'Arc, et favoriseront au mieux le principe de ralentissement dynamique des crues.

6.1.2. Orientations SDAGE et SAGE de l'Arc

Les solutions proposées en phase 3 seront conformes aux objectifs du SDAGE et du SAGE de l'Arc. Elles s'appuieront en particulier sur les principes suivants :

- **Orientation fondamentale n°8 du SDAGE RM** : gérer les risques d'inondations en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau.
- **Préconisations du SAGE de l'Arc** :
 - rechercher les sites de stockage et/ou d'expansion significatifs sur les affluents de l'Arc,
 - définir par commune une zone non urbanisable,
 - tout projet d'aménagement futur ne devra pas altérer de manière significative les secteurs d'expansion de crues et leur fonction d'amortissement des crues pour l'aval.

6.2. PISTES DE REFLEXION

6.2.1. Objectif « confort »

Afin de donner une priorité aux dysfonctionnements les plus problématiques, il a été fixé, en accord avec le maître d'ouvrage, un objectif « confort » de 10 ans. Sont donc considérés comme prioritaires les secteurs à enjeux présentant des désordres pour des événements de périodes de retour inférieures à 10 ans.

D'après la *Figure 22 : Secteurs à enjeux impactés et période de retour associée*, les secteurs impactés pour des crues d'occurrences 2 à 5 ans et présentant des enjeux importants sont listés dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU 15 : SECTEURS IMPACTES CLASSES PAR ORDRE DE PRIORITE

Secteur à enjeux nouvellement touchés	Occurrence d'impact	Cours d'eau	Commune
Quartier de Vaunière et de Lou Cantounet	2	Vallat des Tilleuls	Bouc-Bel-Air
Habitations situées en amont de la RD60	2	Grand Vallat	Cabriès
Quartier de Prentigarde	5	Vallat de Pibou	Bouc-Bel-Air
Rive droite du Vallat de Violési en amont de la confluence avec le GV	5	Vallat de Violési	Bouc-Bel-Air
Rive gauche du Grand Vallat, amont du Pont Mirabelle	5	Grand Vallat	Cabriès
Lotissement des Migraniers	10	Vallats des Mourgues	Simiane-Collongue
Centre-ville de Simiane et collègue	50	Vallat des Mourgues	Simiane-Collongue
Rives droite et gauche du Vallat de Babol – secteur Ecole	50	Vallat de Babol	Bouc-Bel-Air
Commerces situés en amont de l'A51	50	Grand Vallat	Bouc-Bel-Air
Rives droite et gauche du Vallat de Rans au niveau de la confluence avec le GV	50	Vallat de Rans	Cabriès
Aix-la-Durance quelques habitations	50	Grand Vallat et Petite Jouïne	Aix-en-Provence

Priorité élevée
 Priorité moyenne
 Priorité faible
 Priorité nulle

6.2.2. Solutions techniques envisagées

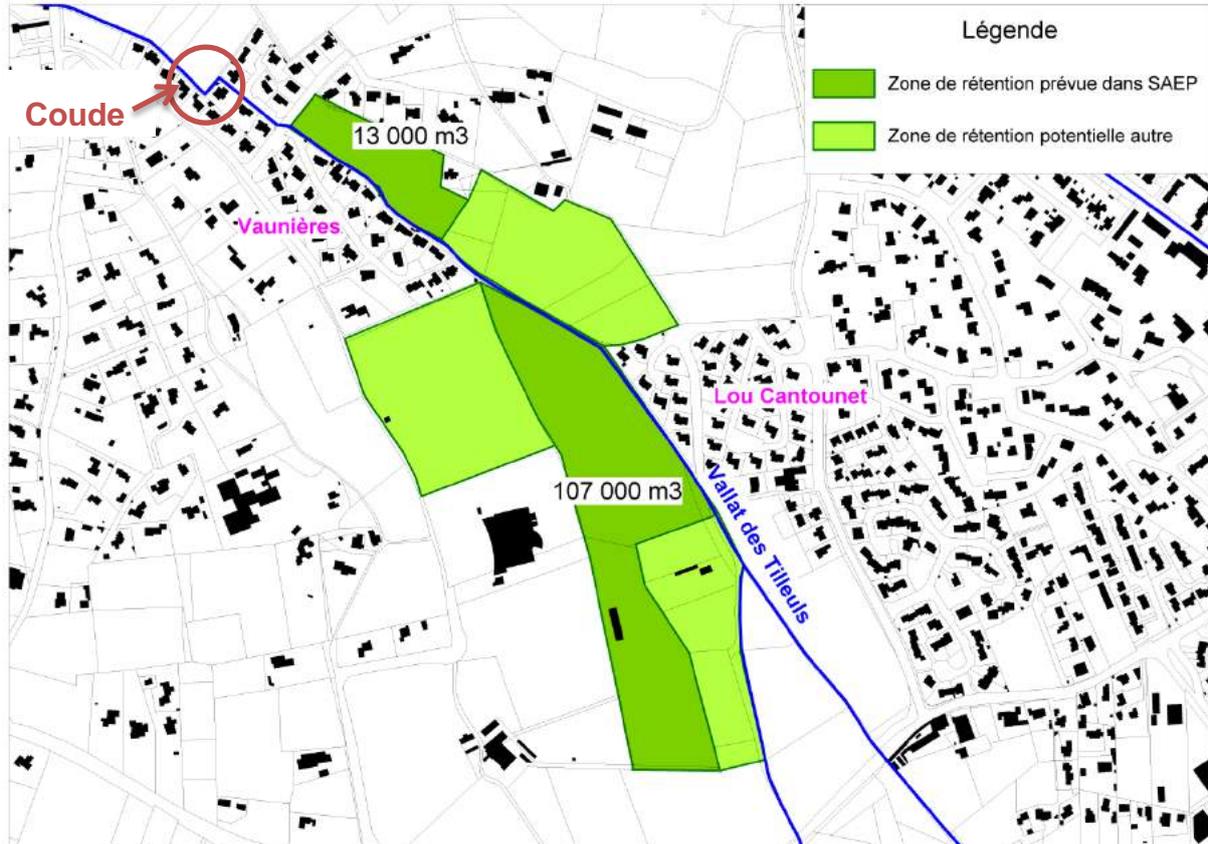
- **Bouc-Bel-Air**

Dans le cadre du Schéma d'Aménagement des Eaux Pluviales de la ville, réalisé par le bureau d'étude ARTELIA, des bassins de rétention servant au ralentissement dynamique des crues ont été envisagés en rive droite du Vallat des Tilleuls entre les quartiers de Vaunière et Lou Cantounet, représentant un volume de 120 000 m³. Par ailleurs, il est prévu la mise en place de bassins de taille plus réduite en bordure du Vallat de Violési et en amont du Vallat de Pibou. Le bassin de rétention existant sur le vallat de Pibou devrait de plus être agrandi.

Nous proposons d'intégrer ces aménagements dans le modèle bidimensionnel afin d'évaluer l'impact qu'auraient ces zones d'expansion sur les mécanismes d'écoulement.

Par ailleurs, en sortie du quartier de Vaunière, le lit du vallat des Tilleuls, canalisé, est en forme de coude. Il serait intéressant de lui redonner un axe d'écoulement naturel. L'eau ne viendrait ainsi plus se heurter à l'angle droit du coude actuel.

FIGURE 28 : ZONES DE RETENTION NATURELLES – BOUC BEL AIR

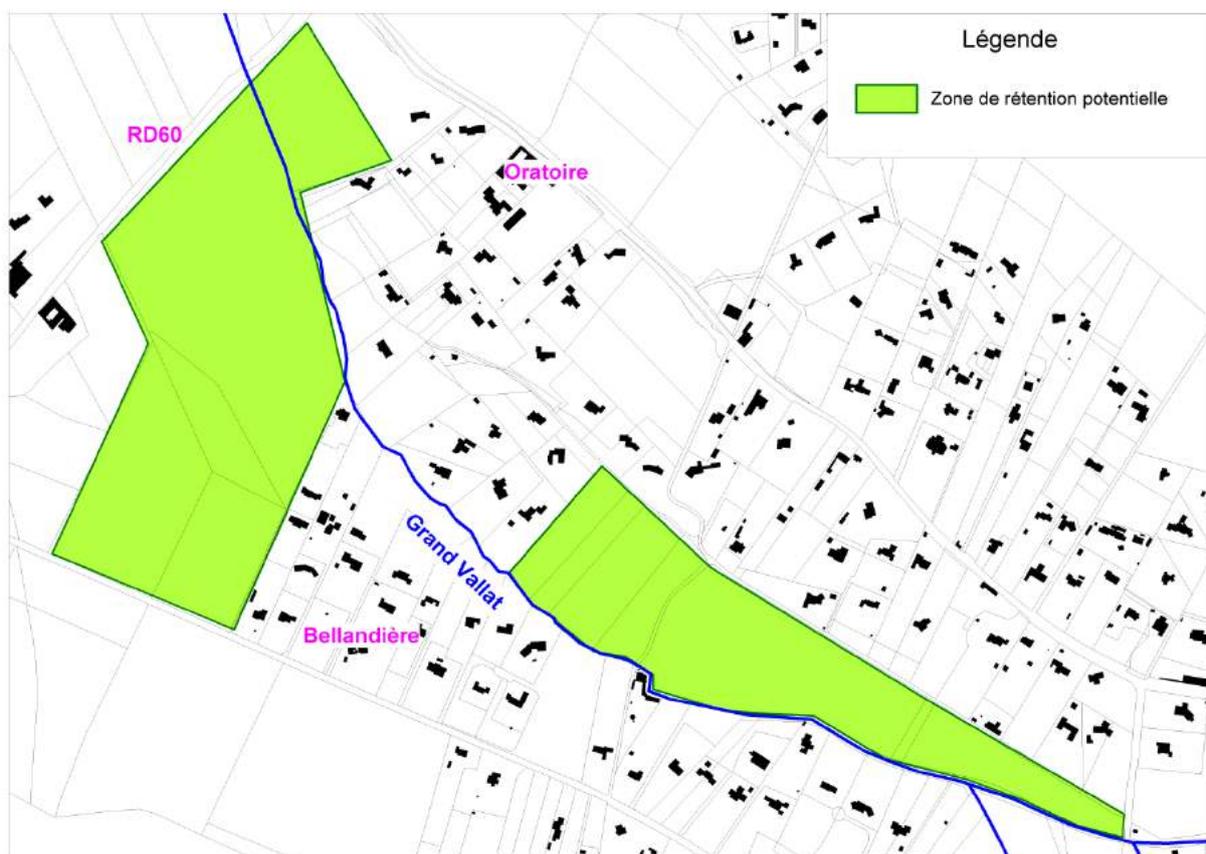


- **Cabriès**

De nombreux merlons longent les bords du Grand Vallat, notamment en amont de la RD60. Le SABA se propose de tester l'impact de leur suppression. Des témoignages confirment en effet que lors de crues passées, la rupture d'un merlon aurait eu pour conséquence l'abaissement de la ligne d'eau chez les habitations situées en amont de la brèche. Cela permettrait de reconquérir les espaces naturels et de respecter le fonctionnement naturel du cours d'eau.

Par ailleurs, il existe sur ce secteur des zones non encore urbanisées, il pourrait être intéressant de modéliser un décaissement de ces secteurs afin qu'ils participent au stockage d'eau.

FIGURE 29 : ZONES DE RETENTION POTENTIELLEMENT INTERESSANTES – CABRIÈS



- **Autres solutions**

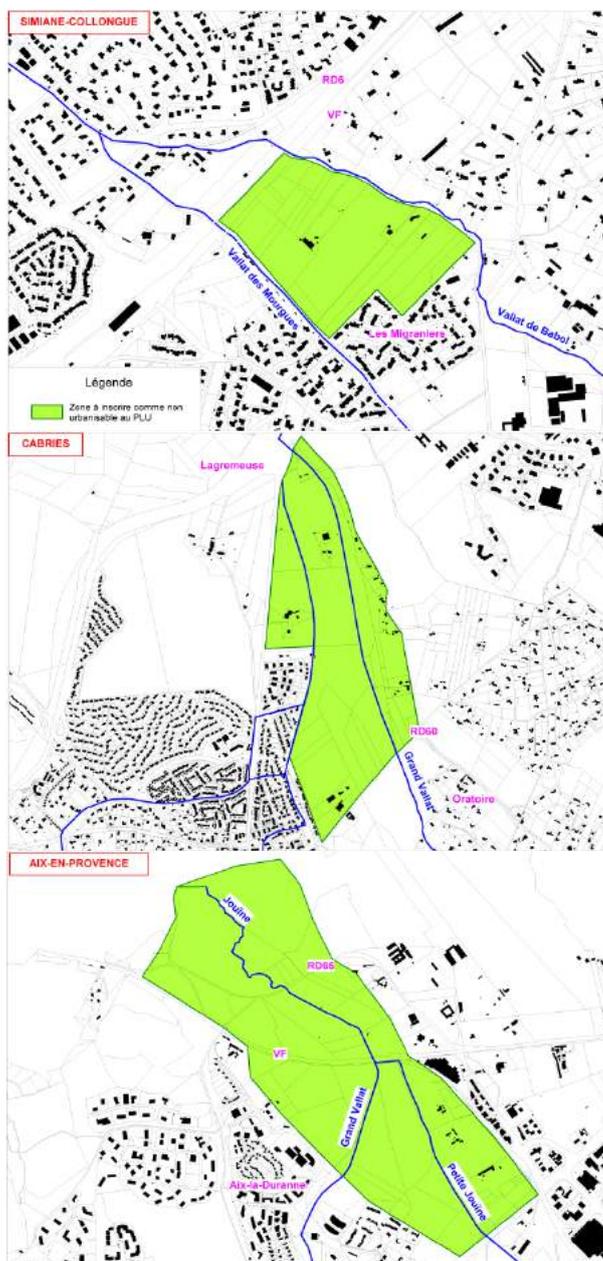
D'autres solutions, à échelle plus locale, peuvent être envisagées telles que :

- la protection rapprochée : aménagements proches des habitations visant leur protection,
- le recalibrage d'ouvrage : cette solution doit être ponctuelle et ne fera pas l'objet d'une généralisation, seuls les ouvrages causant des dysfonctionnements majeurs seront étudiés, si une nette amélioration est constatée.

6.2.3. Solutions réglementaires envisagées

Certains secteurs participent déjà au ralentissement dynamique des crues : l'espace de rétention situé entre la voie ferrée et le lotissement des Migraniers sur Simiane-Collongue, les zones agricoles entre la RD60 et Lagremeuse sur Cabriès et la confluence entre le Grand Vallat et l'Arc sur Aix-en-Provence. Afin de ne pas perturber leur fonction d'amortissement, il est important de les préserver en les inscrivant comme non urbanisables dans les Plans Locaux d'Urbanisme.

FIGURE 30 : ZONES A INSCRIRE COMME NON URBANISABLES SUR LES PLU DES COMMUNES



7. CONCLUSION

La mise en place d'un modèle bidimensionnel homogène sur l'ensemble du secteur d'étude a permis de définir la situation actuelle des écoulements pour les occurrences 2, 5, 10 et 50 ans pour un évènement pluvieux type 1993.

Il en est ressorti des secteurs présentant des dysfonctionnements pour des crues plus ou moins fréquentes. Ces secteurs avaient déjà été mis en évidence en fin de phase 1 : habitations en amont de la RD60 sur Cabriès et quartiers de Vaunière et Lou Cantounet sur Bouc-Bel-Air pour les crues fréquentes, le lotissement des Migraniers pour une crue décennale.

A l'issu de la phase 2, les modèles hydrologique et hydraulique bidimensionnel sont tous deux capables d'intégrer des propositions d'aménagements telles que la suppression de merlon ou l'intégration de zone de rétention et répondre ainsi aux objectifs de la phase 3, traiter à plus ou moins long terme :

- Les dysfonctionnements quantitatifs mis en exergue en situation actuelle,
- Les actions préventives à mener sur les zones de développements futurs,
- Les actions à mener pour améliorer la gestion des crues, en cohérence avec les objectifs du SAGE et du SDAGE (ralentissement des écoulements dans les différents lits de cours d'eau en favorisant la sur inondation, le stockage temporaire ou la restauration d'espaces de liberté des cours d'eau, combinaison de ces principes avec des dispositifs de protection rapprochée, recalibrages d'ouvrage ponctuels).

8. ANNEXES

Annexe 1 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales - Evènement T = 2 ans (*format A0*)

Annexe 2 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales - Evènement T = 5 ans (*format A0*)

Annexe 3 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales - Evènement T = 10 ans (*format A0*)

Annexe 4 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales - Evènement T = 50 ans (*format A0*)

Annexe 5 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales - Evènement type 1993 (*format A0*)

Annexe 6 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales - Evènement exceptionnel (*format A0*)