

2 février 2023



Aléa Inondation par Ruissellement

Zone commerciale de
Plan de Campagne (13)

ETUDE HYDRAULIQUE



IDENTIFICATION



INGÉROP Conseil et Ingénierie

Agence de Aix-en-Provence - Domaine du Petit Arbois - Pavillon Laënnec - Hall B - BP 20056 - F-13545 Aix-en-Provence cedex 4

Tél. : (33)4 42 50 83 00 - N° Siret 489 626 135 00250 - ingerop.aix@ingerop.com - ingerop.fr

Siège Social : 18 rue des deux gares - CS 70081 - F-92563 Rueil-Malmaison Cedex

S.A.S. au capital de 5 800 000 € - R.C.S. Nanterre B 489 626 135 - APE 7112B - Code TVA n° FR 454 896 261 35



GESTION DE LA QUALITE

Version	Date	Intitulé	Rédaction	Lecture	Validation
1	11/2022	EH	LP	JF	JF
2	11/2022	EH	LP	JF	JF
3	01/2023	EH	LP	JF	JF

Observations sur l'utilisation du rapport :

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations d'INGÉROP ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

La société INGEROP n'est pas responsable de la vérification de la véracité des informations transmises, à l'exception de celles normalement décelables par l'homme de l'art, et celles pour lesquelles le Client a exigé une analyse spécifique.



SOMMAIRE

1	CONTEXTE DE L'ETUDE	7
2	DONNEES D'ENTREE ET HYPOTHESES RETENUES	9
2.1	TOPOGRAPHIE	9
2.1.1	sources des données	9
2.1.2	analyse topographique	9
2.2	INTEGRATION DES BATIMENTS	13
2.3	RESEAU PLUVIAL	13
3	DONNEES PLUVIOMETRIQUES RETENUES	15
4	ANALYSE HYDRAULIQUE	19
4.1	METHODOLOGIE	19
4.2	CONSTRUCTION DU MODELE	20
4.2.1	Modele du réseau pluvial	20
4.2.2	Modèle de surface	22
4.2.2.1	Modèle topographique	22
4.2.2.2	Modèle de rugosité	23
4.3	CONDITIONS AUX LIMITES	24
5	RESULTATS DE LA MODELISATION	27
5.1	CRUE DE REFERENCE	27
5.2	CRUE EXCEPTIONNELLE	30
5.3	CRUE TRENTENNALE	31
5.4	CRUE DECENNALE	33
6	ALEA INONDATION PAR RUISSELLEMENT	36
6.1	METHODOLOGIE DE CARACTERISATION	36
6.2	CARTOGRAPHIE DE L'ALEA	37
7	CONCLUSION	40
8	ANNEXES	41

FIGURES

Figure 1 : Plan IGN du secteur de Plan de Campagne	7
Figure 2 : Illustration des parcelles en remblai	10
Figure 3 : Exemple de merlons identifiés	12
Figure 4 : Exemple de creusement topographique filtré	12
Figure 5 : Exemple de types de bâtiments	13
Figure 6 : Extrait du plan du programme d'aménagement du collecteur pluvial du chemin des Rigons (INTERVIA Etudes, décembre 2020)	14
Figure 7 : Extrait du plan de récolement du collecteur Avant-Cap « MAMPSPLA-VC15 » (GAGNEREAU Construction, juin 2022).....	14
Figure 8 : Bassin versant de la zone d'étude Plan de Campagne	15
Figure 9 : Hyétogramme de la pluie de septembre 1993 mesuré à la station d'Aix les Milles	16
Figure 10 : Pluie de projet double triangle trentennale	17
Figure 11 : Pluie de projet double triangle décennale	18
Figure 12 : Fonctionnement du couplage	19
Figure 13 : Réseaux et aménagements projetés au titre du Dossier Loi sur l'Eau (Communauté d'agglomération du Pays d'Aix, 2006)	21
Figure 14 : Réseau pluvial modélisé sous Mike Urban	22
Figure 15 : Modèle topographique et contour du bassin versant global	23
Figure 16 : Modèle de rugosité.....	24
Figure 17 : Cartographie de l'occupation du sol	26
Figure 18 : Illustration de la dynamique des écoulements pour Q93	27
Figure 19 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales pour Q93	28
Figure 20 : Cartographie des vitesses d'écoulement maximales pour Q93.....	28
Figure 21 : Comparaison des résultats obtenus par la modélisation avec des inondations observées	29
Figure 22 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales pour Qexcp.....	30
Figure 23 : Cartographie des vitesses d'écoulement maximales pour Qexcp	30
Figure 24 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales pour Q30	31
Figure 25 : Cartographie des vitesses d'écoulement maximales pour Q30.....	31
Figure 26 : Cartographie des débordements du réseau pluvial pour Q30	32
Figure 27 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales pour Q10	33
Figure 28 : Cartographie des vitesses d'écoulement maximales pour Q10	33
Figure 29 : Profil en long du collecteur cadre des Rigons.....	34
Figure 30 : Profil en long de la partie amont du collecteur CV15 le long d'Avant-Cap	35
Figure 31 : Cartographie des débordements du réseau pluvial pour Q10	35
Figure 32 : Limites de déplacement dans l'eau en fonction de la hauteur et de la vitesse	36



Figure 33 : Grille pour l'aléa inondation par ruissellement (DDTM13, décret 2019) 36
Figure 34 : Cartographie de l'aléa brut sur le territoire de Plan de Campagne 38
Figure 35 : Cartographie de l'aléa lissé sur le territoire de Plan de Campagne 39

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des études hydrauliques récentes réalisées par INGEROP sur le secteur de Plan de Campagne 7
Tableau 2 : Quantiles de pluie retenus (mm) 16
Tableau 3 : Coefficients de Montana retenus (I en mm/h et t en h) 17
Tableau 4 : Coefficients de rugosité retenus 23
Tableau 5 : Coefficients de ruissellement retenus 25

1 CONTEXTE DE L'ETUDE

La Métropole Aix-Marseille Provence souhaite la réalisation d'une étude de caractérisation de l'aléa ruissellement sur le secteur de Plan de Campagne. Il s'agit d'une zone commerciale créée en 1966 située sur la commune des Pennes-Mirabeau côté sud-ouest et la commune de Cabriès côté nord-est.

Le périmètre d'étude englobe le bassin versant global de la zone de Plan de Campagne jusqu'à l'entrée du bassin de Baume Baragne.

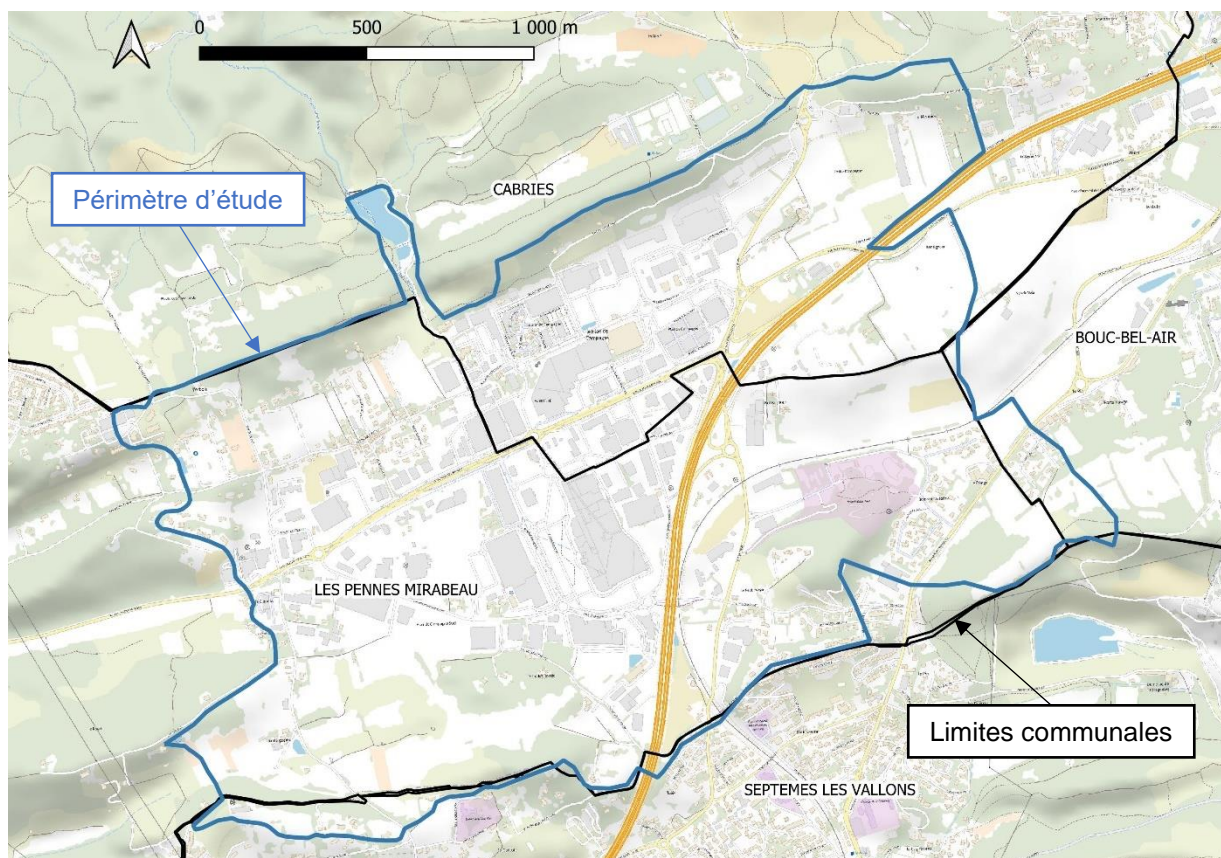


Figure 1 : Plan IGN du secteur de Plan de Campagne

La zone de Plan de Campagne a été le sujet de plusieurs études hydrologiques et hydrauliques ces dernières années, notamment réalisée par INGEROP, dont une première étude caractérisation de l'aléa inondation en 2016, sur la commune de Cabriès uniquement :

Tableau 1 : Liste des études hydrauliques récentes réalisées par INGEROP sur le secteur de Plan de Campagne

Auteur	N° Etude	Mois - Année	Titre
INGEROP	MM3303	nov-17	Reprise du Schéma Pluvial de Plan de Campagne
INGEROP	MM3376	avr-16	Etude hydraulique de cartographie de l'aléa inondation sur le territoire communal de Cabriès Secteur Plan de Campagne



Auteur	N° Etude	Mois - Année	Titre
INGEROP	MM3602	sept-17	Etude locale SAS DOCKS EUROPEENS Parcelle 31a
INGEROP	MM3604	juil-17	Etude hydraulique pour le projet de création d'une salle IMAX pour le complexe de cinéma Pathé sur la zone de Plan de Campagne
INGEROP	MM3798	sept-18	Etude hydraulique pour le projet de création d'un parking couvert sur le complexe Pathé sur la zone de Plan de Campagne
INGEROP	MM4044	janv-20	Analyse hydraulique écoulements Parcelle Plan de Campagne SHAM INVEST

L'étude INGEROP de « Reprise du Schéma Pluvial de Plan de Campagne » mettant à jour le modèle de réseau pluvial de plan de campagne constitue à ce jour la référence en termes de débits de ruissellement.

2 DONNEES D'ENTREE ET HYPOTHESES RETENUES

2.1 TOPOGRAPHIE

2.1.1 SOURCES DES DONNEES

Les études antérieures précitées ont été réalisées sur la base du modèle numérique de terrain (MNT) issu de l'ortho 2009, fourni par la CPA, qui couvre le territoire avec un pas d'espace de 5 m. Sa précision altimétrique est de l'ordre de 40 à 50 cm.

A ce jour, il existe des données topographiques plus récentes et plus précises :

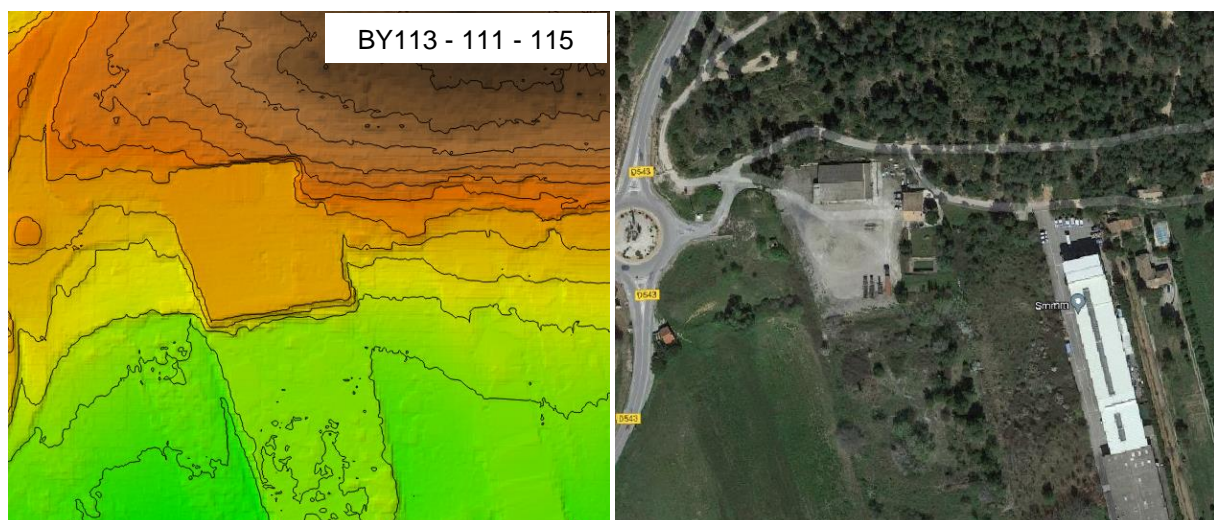
- Levé LIDAR RGE Alti de l'IGN daté de 2021, au pas de 1 m, et dont la précision altimétrique moyenne est de +/- 30 cm en moyenne.
- Plan topographique du secteur de Plan de Campagne (missions Opsia de 2018 et 2021), issu d'un levé aérien.

C'est le levé LIDAR de l'IGN qui est utilisé en priorité sur l'ensemble du périmètre pour la présente étude. Les plans topographiques Opsia ont été utilisés ponctuellement pour confirmer la donnée RGE ALTI sur certains secteurs.

2.1.2 ANALYSE TOPOGRAPHIQUE

Une analyse de la topographie RGE ALTI a été menée. L'objectif de ce travail a été d'identifier les éléments structurants du secteur, devant être intégrés ou non au modèle hydraulique (dans le cas par exemple de remblai anthropique non autorisé sur un terrain privé).

Certaines parcelles sont visiblement en remblai (Figure 2Figure 2). Elles ont été intégrées au modèle hydraulique sur la base des données du RGE Alti de l'IGN, en concertation avec le Maitre d'Ouvrage.



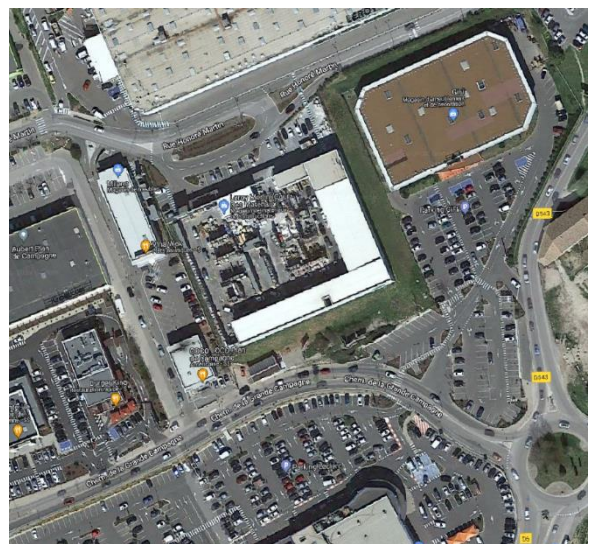
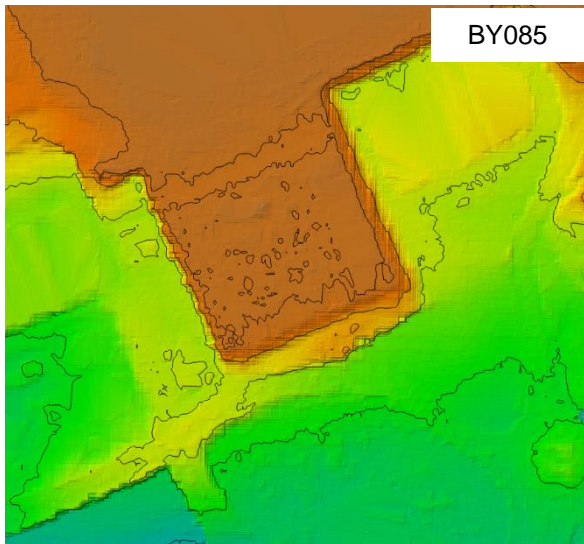
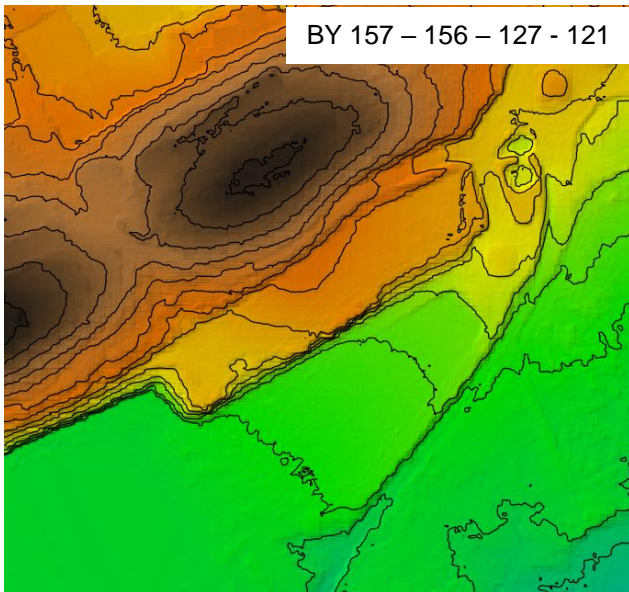
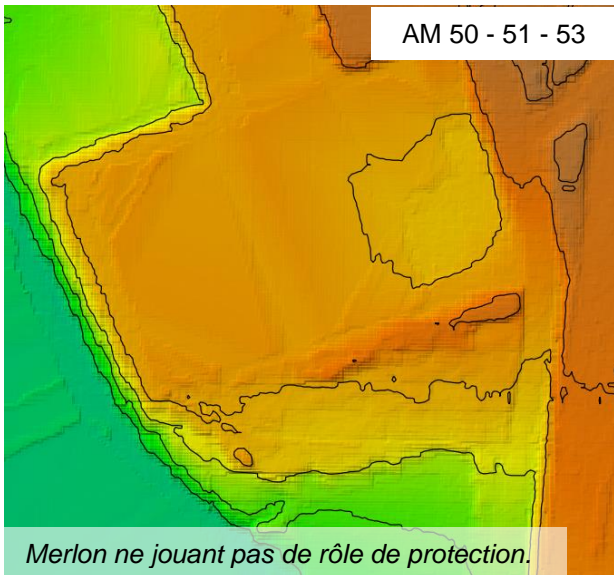
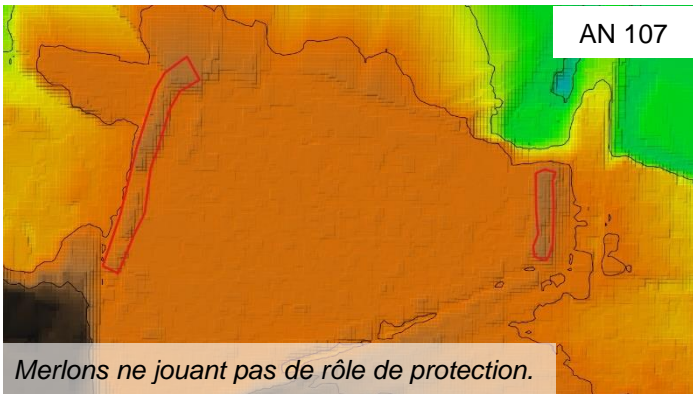
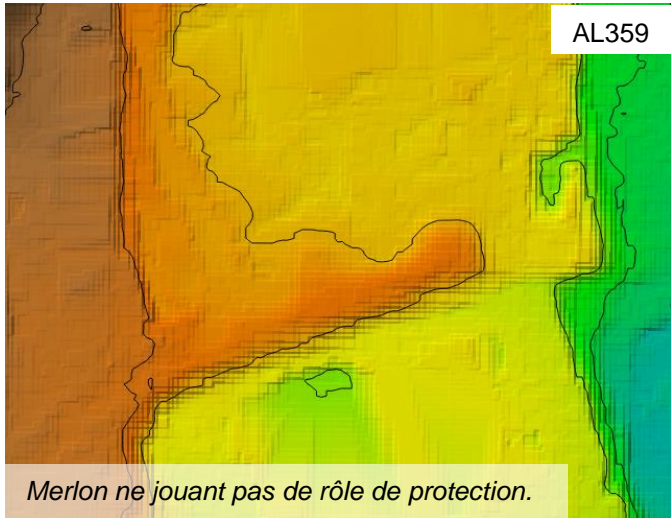


Figure 2 : Illustration des parcelles en remblai

NB : la parcelle du cirque, au droit de l'autoroute, n'est pas concernée par un remblai sur le RGE ALTI.

Par ailleurs, les merlons du secteur ont été identifiés et répertoriés pour déterminer leur incidence vis-à-vis de la dynamique des écoulements. S'ils constituent un obstacle aux ruissellements et jouent un rôle de protection vis-à-vis de certains terrains, le principe général est de considérer leur transparence hydraulique (arasement dans le modèle hydraulique, dès le début de la simulation).

Le merlon identifié parcelles BV 1 – 2 correspond à une digue du bassin de rétention et appartient donc à part entière à l'ouvrage pluvial. Cet ouvrage fait l'objet d'une autorisation et d'une réglementation suivie. **Il a été conservé dans la modélisation hydraulique.**



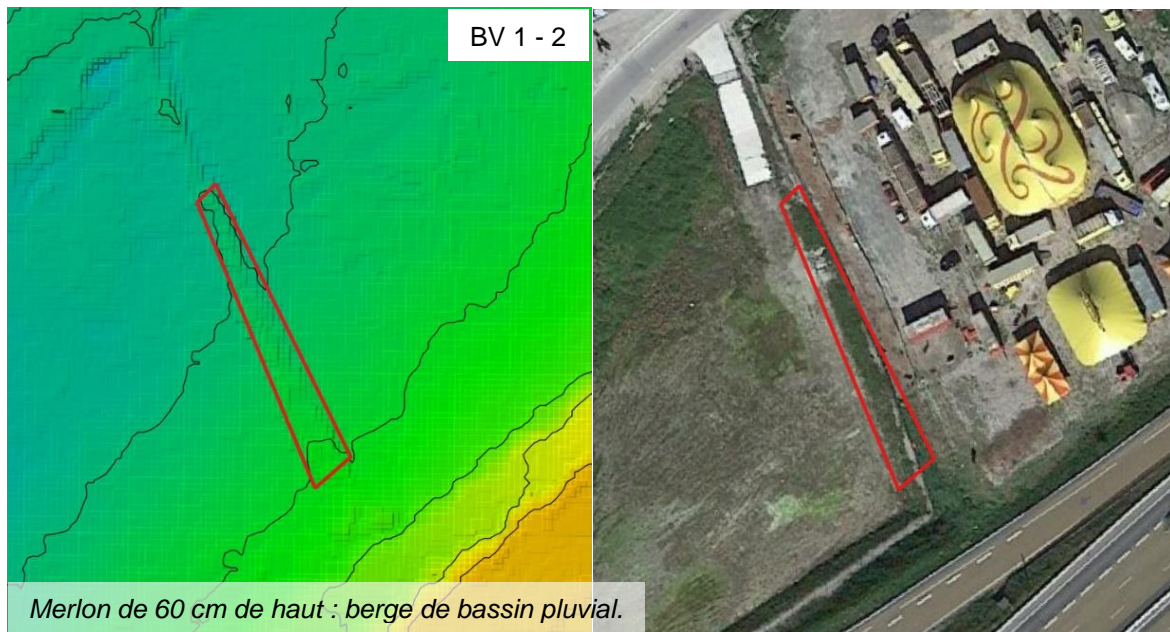


Figure 3 : Exemple de merlons identifiés

De plus, des petits éléments de type fossé ont été filtrés du maillage ; il est fait l'hypothèse de leur saturation en eau pour un événement orageux d'ampleur, comme ceux modélisés. Ainsi, les points présentant une cote topographique plus basse seront supprimés et la valeur sera interpolée pour correspondre à l'altimétrie environnante (terrain naturel).



Figure 4 : Exemple de creusement topographique filtré

2.2 INTEGRATION DES BATIMENTS

Il a été fait le choix d'intégrer les bâtiments durs en tant qu'obstacles aux écoulements. Les bâtiments dit légers, de type panneaux solaires et hangars sans murs, ont été intégrés dans le modèle par l'intermédiaire du coefficient de rugosité (abaissement du coefficient de Strickler K_S , cf. 4.2.2.2). Dans ce deuxième cas, cela n'empêche pas l'eau de passer mais les écoulements sont ralentis par les obstacles présents.

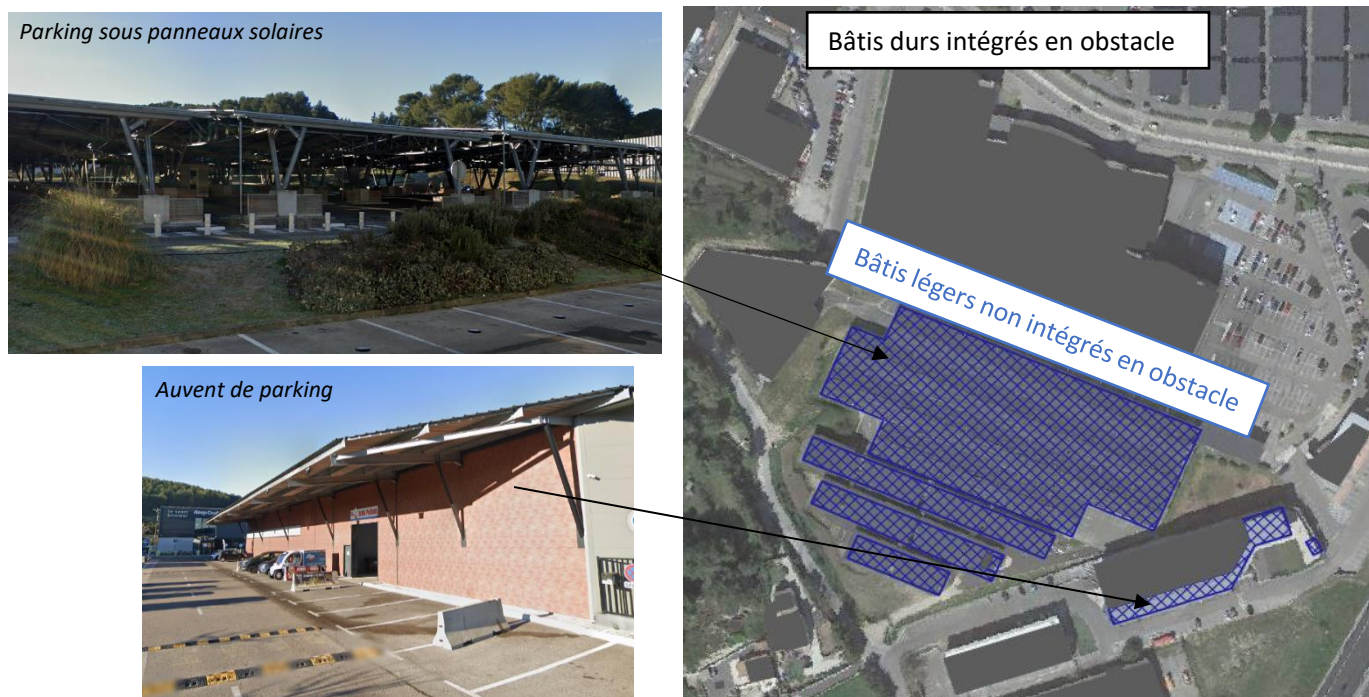


Figure 5 : Exemple de types de bâtiments

2.3 RESEAU PLUVIAL

Le secteur de Plan de Campagne est en perpétuelle évolution, avec l'apparition de nombreux projets et le réaménagement de parcelles déjà urbanisées. Il a été défini que les projets connexes publics dont l'échéance est proche sont intégrés au modèle hydraulique de la présente étude. Cela concerne notamment le réaménagement du réseau pluvial sous le chemin des Rigons et le bassin de rétention sud-est, ainsi que le nouveau collecteur Avant-Cap. La cartographie de l'aléa a donc été réalisée pour correspondre au dossier Loi sur l'Eau (réalisé en 2006) en cours sur le secteur. Concernant les aménagements projetés privés, ils n'ont pas été inclus au modèle hydraulique.

Ces aménagements projetés publics ont été intégrés sur la base des plans fournis par le Maître d'Ouvrage, dont des extraits sont présentés ci-dessous.

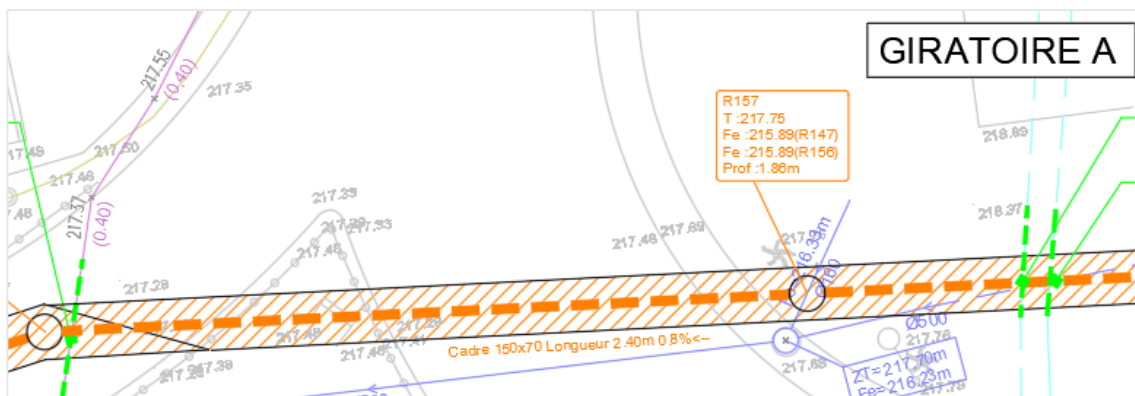
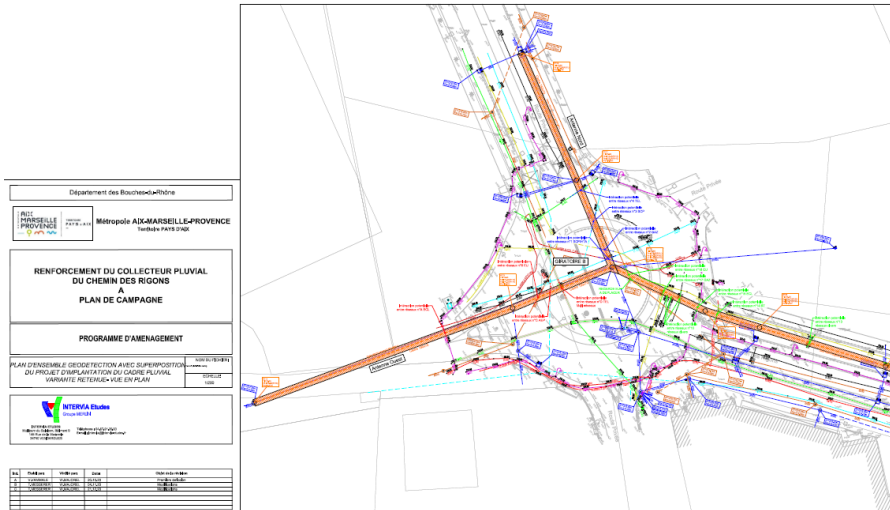


Figure 6 : Extrait du plan du programme d'aménagement du collecteur pluvial du chemin des Rigons (INTERVIA Etudes, décembre 2020)

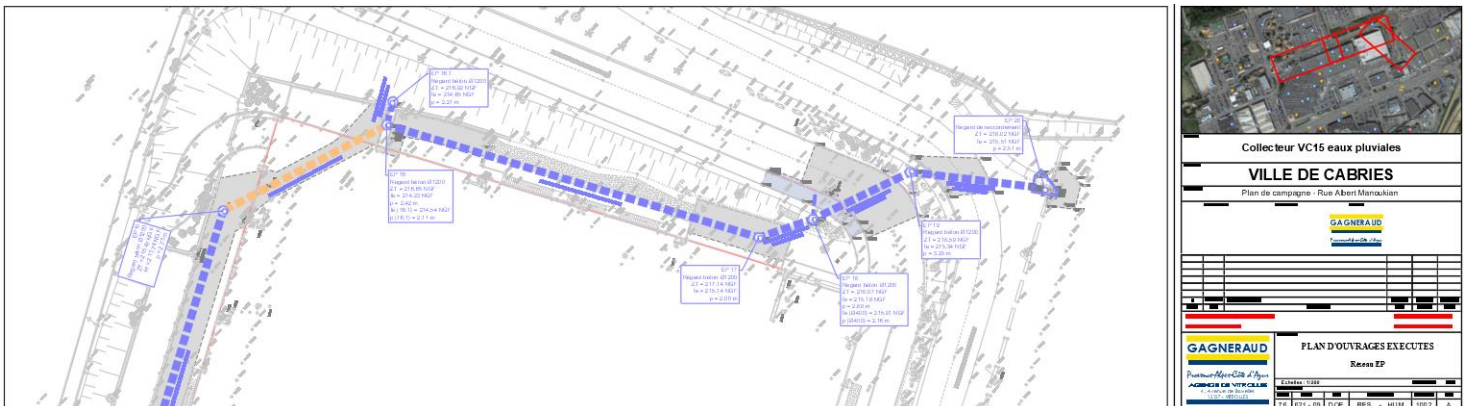


Figure 7 : Extrait du plan de récolement du collecteur Avant-Cap « MAMPSPLA-VC15 » (GAGNERAUD Construction, juin 2022)

Les travaux projetés pour lesquels il n'y a pas de visibilité calendaire n'ont pas été intégrés au modèle hydraulique de la présente étude. Il s'agit notamment de la réalisation du bassin de rétention sur la zone centrale (4500 m³, phase 3) ainsi que pour le collecteur dit « Fabemi » à l'ouest de la zone (phase 4a).



3 DONNEES PLUVIOMETRIQUES RETENUES

La connaissance des débits de crues et des hydrogrammes associés est nécessaire à la quantification des mécanismes d'écoulement. Dans le cadre de la réalisation du Schéma pluvial de Plan de Campagne, une analyse hydrologique détaillée du secteur avait été menée. Un découpage en sous-bassins versants de la zone d'étude avait été réalisé sur les communes des Pennes-Mirabeau et de Cabriès, afin de représenter de la manière la plus précise possible les hydrogrammes de crue. Cette analyse hydrologique avait été poursuivie par une modélisation pluie-débit. Puis, selon les sous-bassins versant, il avait été fait le choix soit d'injecter les hydrogrammes dans le réseau pluvial, soit d'effectuer une application de la pluie sur le modèle de surface.

Les caractéristiques hydrologiques du territoire ont donc été préalablement déterminées (coefficient de ruissellement en particulier) et sont conservées dans le cadre de la présente étude.

Dans l'objectif de caractériser les ruissellements (la formation du ruissellement, son transfert et les éventuelles zones d'accumulation), il est ici fait le choix **d'appliquer la pluie nette sur l'ensemble du modèle 2D de surface**, correspondant à l'emprise totale du bassin versant global du secteur de Plan de Campagne.

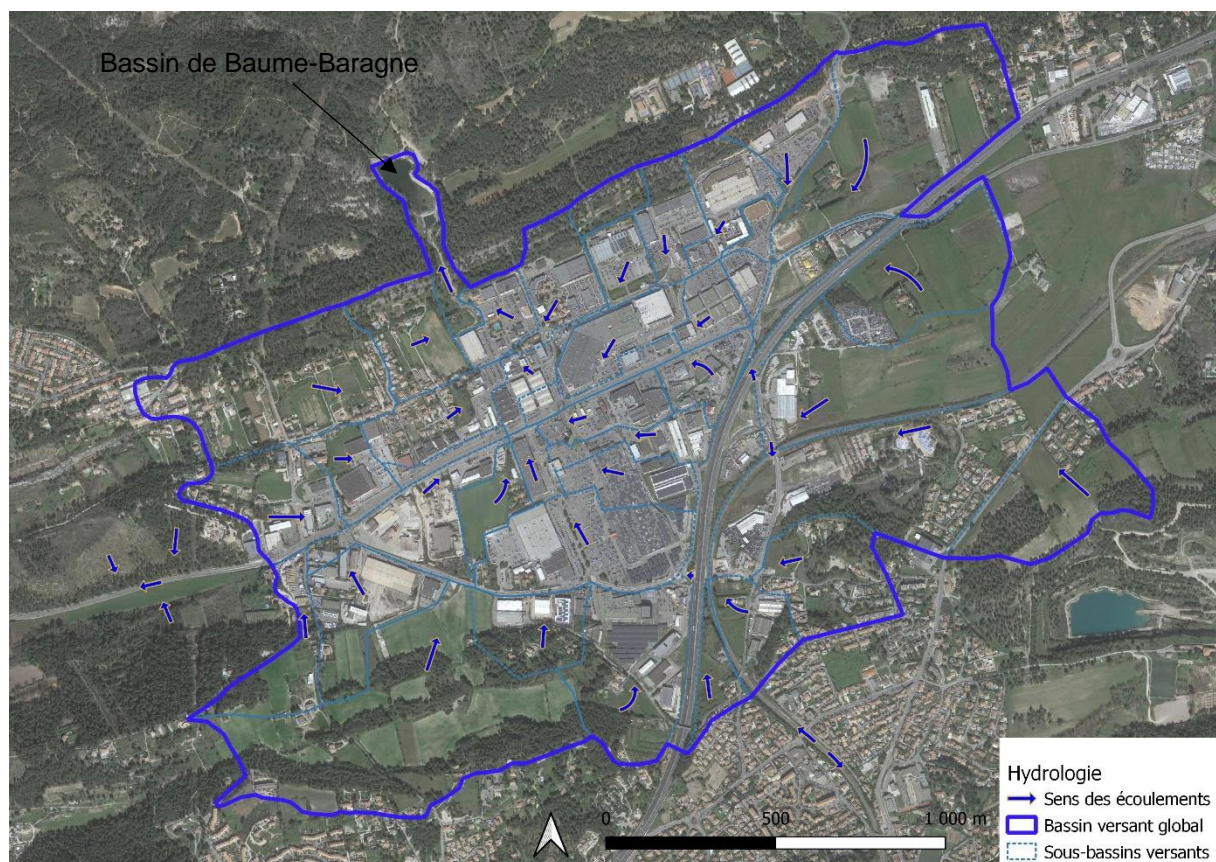


Figure 8 : Bassin versant de la zone d'étude Plan de Campagne

En cohérence avec les études antérieures, l'évènement de référence considéré pour l'analyse de l'aléa ruissellement sur le secteur de Plan de Campagne est l'évènement de septembre 1993 mesuré à la station d'Aix-Les-Milles.

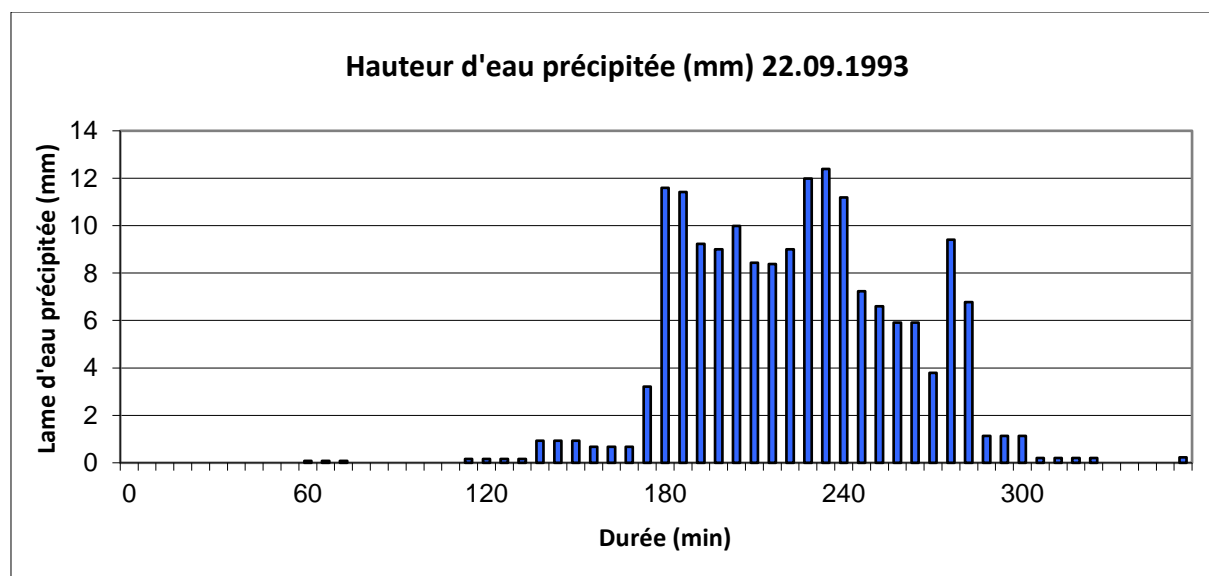


Figure 9 : Hyéogramme de la pluie de septembre 1993 mesuré à la station d'Aix les Milles

Pour évaluer les débits de périodes de retour inférieures à l'évènement de référence et disposer de « pluies de projets » correspondantes, les données pluviométriques considérées dans le Schéma Directeur d'Assainissement Pluvial (SDAP) de Plan de Campagne ont été utilisées. Ces données sont elles-mêmes issues d'une étude régionalisée et sont présentées dans le tableau ci-après. Ces valeurs sont identiques à celles préconisées pour la « région III » dans l'instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations (circulaire 77-248/INT). Ces données seront notamment utilisées dans le cadre de la modélisation de l'occurrence trentennale, utile pour une connaissance de l'état du réseau pluvial sur une plus faible crue.

Tableau 2 : Quantiles de pluie retenus (mm)

Période de retour (T)	10 min	15 min	30 min	1h	2h	3h	6h	12h	24h
T = 1 an	11.3	13.6	18.8	26.0	35.8	42.1	49.9	59.2	70.2
T = 2 ans	14.3	17.3	23.9	33.0	45.6	53.0	62.8	74.4	88.1
T = 5 ans	18.1	22.1	31.2	44.0	62.0	71.8	85.0	100.6	119.2
T = 10 ans	22.1	27.8	41.0	60.4	89.1	98.8	117.0	138.4	163.8
T = 20 ans	27.8	34.8	51.3	75.5	111.1	122.7	145.4	172.2	204.0
T = 30 ans*	30.2*	38.6*	56.6*	82.9*	121.4*	134.8*	159.7*	189.2*	224.1*
T = 50 ans	35.6	44.6	65.6	96.6	142.1	156.9	186.0	220.5	261.4
T = 100 ans	44.2	55.5	82.0	121.0	178.6	196.7	233.0	276.0	326.9

*Les quantiles d'occurrence trentennale ont été interpolés

Les coefficients de Montana définis à partir de ces quantiles sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Coefficients de Montana retenus (I en mm/h et t en h)

Période de retour	T ≤ 2h		T > 2h	
	a	b	a	b
T = 1 an	25.96	0.54	32.17	0.75
T = 2 ans	33.02	0.53	40.49	0.76
T = 5 ans	43.98	0.50	54.90	0.76
T = 10 ans	60.41	0.44	75.70	0.76
T = 20 ans	75.51	0.44	93.78	0.76
T = 30 ans	82.88	0.45	102.65	0.75
T = 50 ans	96.58	0.44	119.83	0.75
T = 100 ans	121.00	0.44	150.36	0.76

En cohérence avec la pluviométrie appliquée dans les études antérieures, la pluie de projet trentennale retenue pour cette étude présente une **période intense de 30 min pour une durée totale de 2h.**

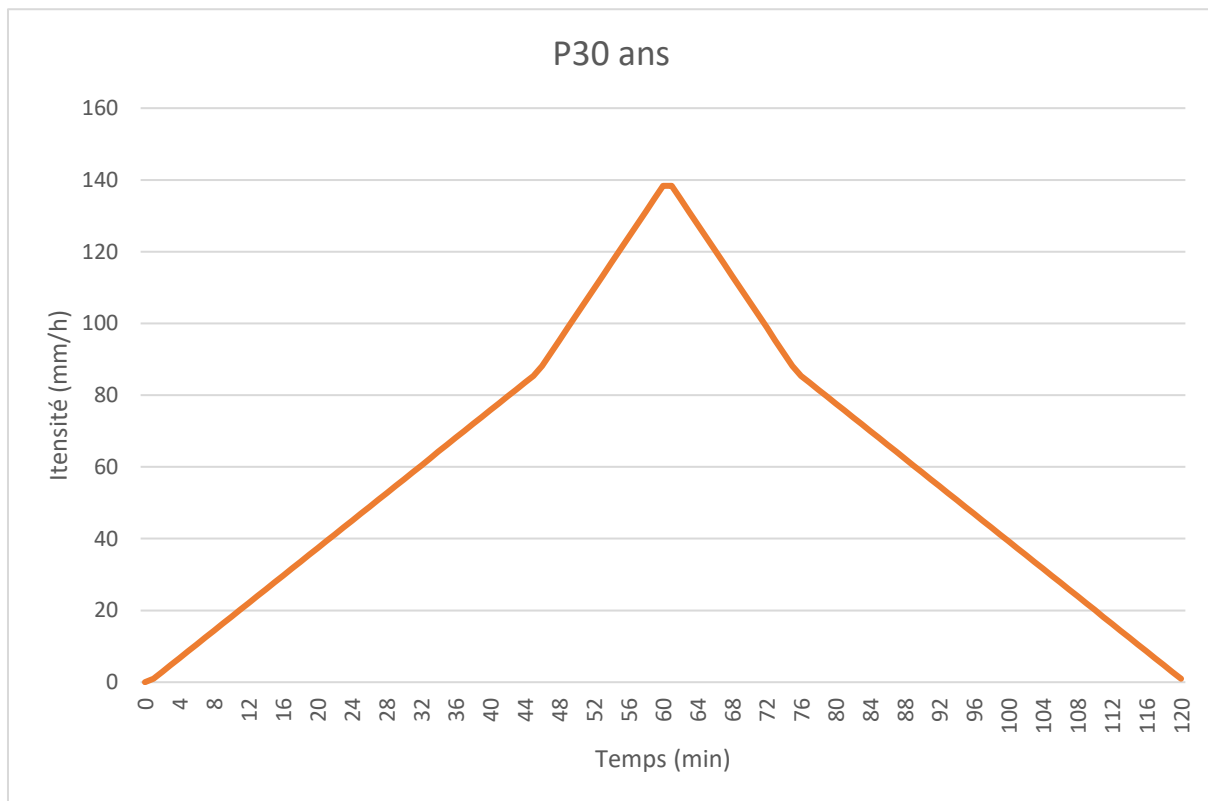


Figure 10 : Pluie de projet double triangle trentennale

De la même façon que pour la pluie P30, la pluie décennale retenue présente une période intense de 30 min pour une durée totale de 2h.

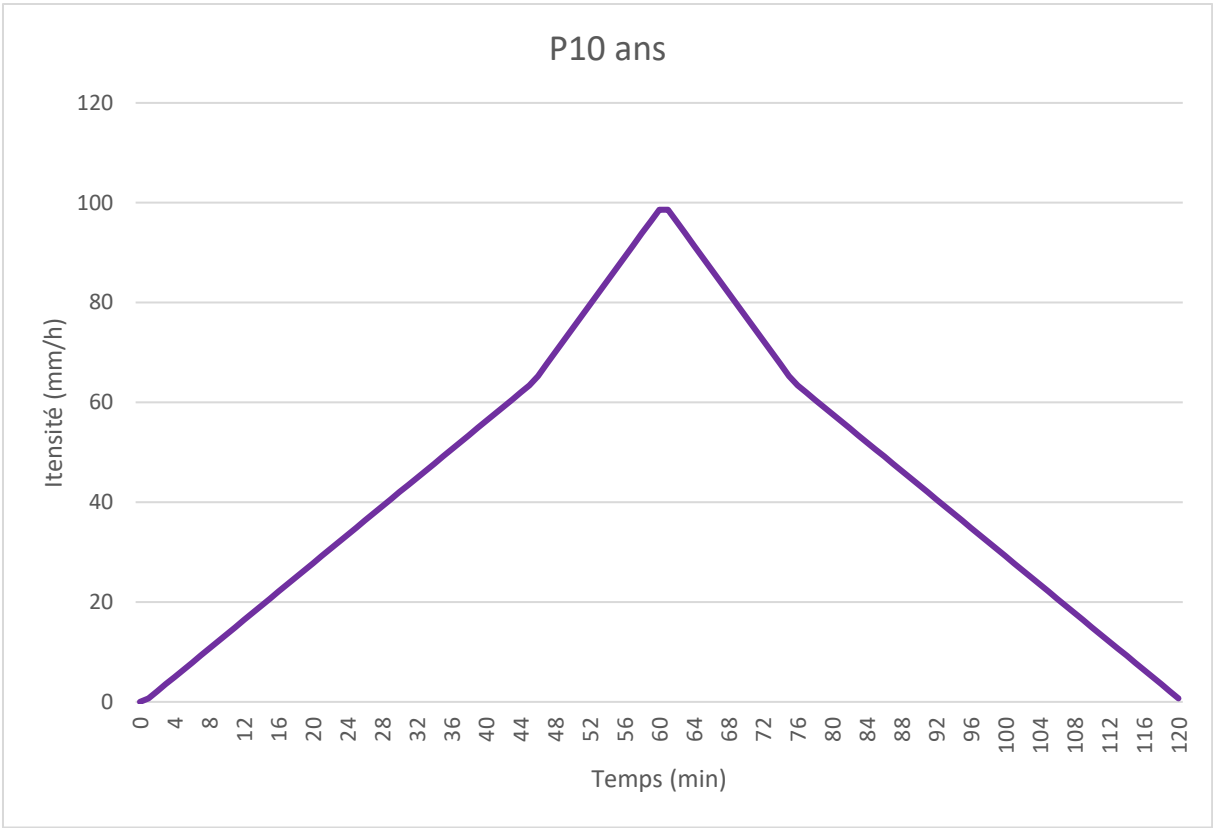


Figure 11 : Pluie de projet double triangle décennale

Par ailleurs, l'événement exceptionnel retenu dans cette étude correspond à 2 fois la pluie de référence de 1993. Autrement dit, le hyétogramme de la pluie « exceptionnelle » a été défini en appliquant un facteur multiplicateur (2) au hyétogramme de précipitations présenté en Figure 9.



4 ANALYSE HYDRAULIQUE

4.1 METHODOLOGIE

Une modélisation couplée entre les écoulements en réseau et les écoulements en surface a été réalisée, sur la base des modèles antérieurs.

Le logiciel utilisé pour cela est MIKE FLOOD, distribué par la société DHI (Danish Hydraulic Institute). Cet outil permet le couplage d'un modèle réseau (évacuation et collecte des eaux pluviales) et d'un modèle 2D (champ d'expansion de crue, lit majeur) sous les interfaces respectives MIKE Urban et MIKE 21.

Le modèle MIKE Urban représente les regards, les canalisations et les bassins de rétention présents sur le secteur.

Le modèle bidimensionnel se compose d'un découpage fin du secteur d'étude (environ 253 000 mailles de calcul, de dimensions 5 m x 5 m dans le cas présent). Ce modèle permet de connaître à chaque instant de simulation les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement en chaque maille du modèle, donnant localement les caractéristiques principales d'écoulement.

Ces deux modèles interagissent entre eux de la manière suivante :

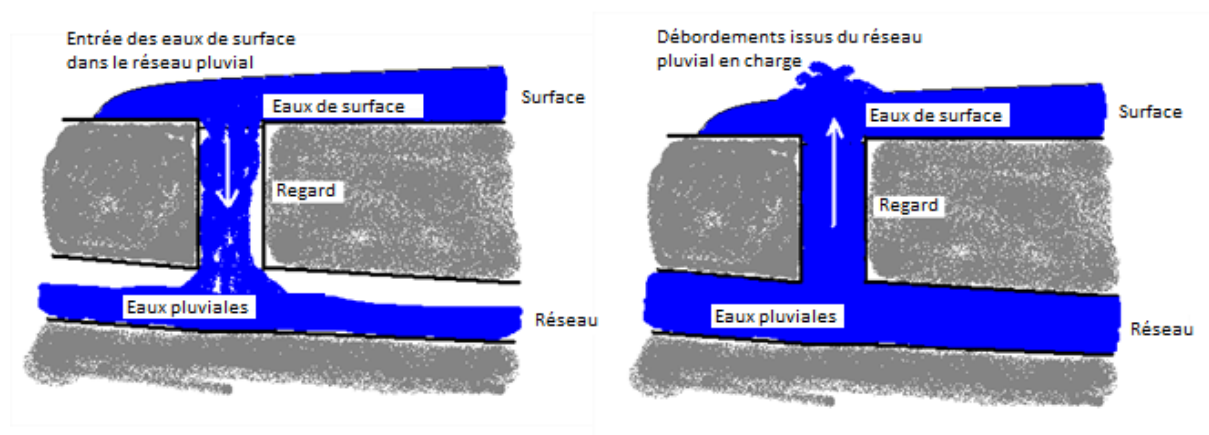



Figure 12 : Fonctionnement du couplage

Les limites du modèle ont été positionnées de façon à représenter l'intégralité du bassin versant, et suffisamment loin côté aval (bassin de Baume Baragne) afin de garantir la robustesse des résultats (aucune interférence des sorties d'eau du modèle par rapport à la zone d'intérêt de l'étude).

Les modélisations sont réalisées en régime transitoire (évolution dans le temps de la pluie injectée, et donc du débit calculé par le modèle). Notons que les phénomènes d'embâcles ne sont pas pris en



compte dans la modélisation. En effet, il s'agit de phénomènes trop complexes et trop incertains pour que l'état de l'art permette de définir une méthodologie de modélisation.

Enfin, conformément à la doctrine de l'Etat en la matière, la modélisation hydraulique tient compte d'une hypothèse de transparence des murs de clôture pour tenir compte des risques de mise en défaut de ces aménagements. Cette méthodologie est en accord avec celle mise en place dans les études de type PPRi. De même, il n'a pas été identifié de système d'endiguement sur le secteur.

4.2 CONSTRUCTION DU MODELE

4.2.1 MODELE DU RESEAU PLUVIAL

Le modèle réseau (MIKE Urban) qui a été utilisé est celui initialement réalisé dans l'« Etude 03-028-13 Schéma pluvial Plan de Campagne - Juin 2004 ». Ce modèle a été mis à jour en 2016 puis en 2022 afin d'intégrer les travaux déjà réalisés ou qui seront réalisés dans un futur proche.

Les travaux intégrés sont les suivants :

- **Phase 1** : Réaménagement du bassin de Baume-Baragne et renforcement de l'évacuation vers ce bassin par la création d'un canal béton. La capacité utile du bassin a été portée à 50 000 m³. Le débit de fuite maximal du bassin sera limité à 4 m³/s pour un événement décennal.
- **Phase 2** : Création du collecteur Ouest permettant de décharger le collecteur principal. Ce collecteur intercepte tous les réseaux actuels de la partie Ouest de la zone commerciale.
- **Phase 3b** : Création d'un nouveau collecteur, nommé « CV15 » sur le parking d'Avant-Cap permettant de by-passer l'actuel bassin de rétention situé sous ce parking par une déconnexion dans le réseau. Le Bassin d'Avant-Cap sera conservé pour la gestion des eaux de son propre parking.
- **Phase 4** : Création d'une extension au nouveau collecteur Ouest permettant de renforcer les réseaux devant le Cinéma Pathé : ouvrage cadre des Rigons.
- **Zone Est** : Création d'une rétention pour la zone au sud-est de l'autoroute dit « pépinière », permettant de limiter les inondations devant le Cinéma Pathé. La rétention projetée présente un volume utile de 20 000 m³.
- **Phase 5** : Renforcement de l'antenne G sur la partie aval du collecteur de la RD6 Est.

Le bassin de rétention (bassin Nord-Est ou dit « pépinière ») de la phase 3a, qui présente un volume utile de 12 000 m³, a été renseigné dans le modèle 2D de surface.

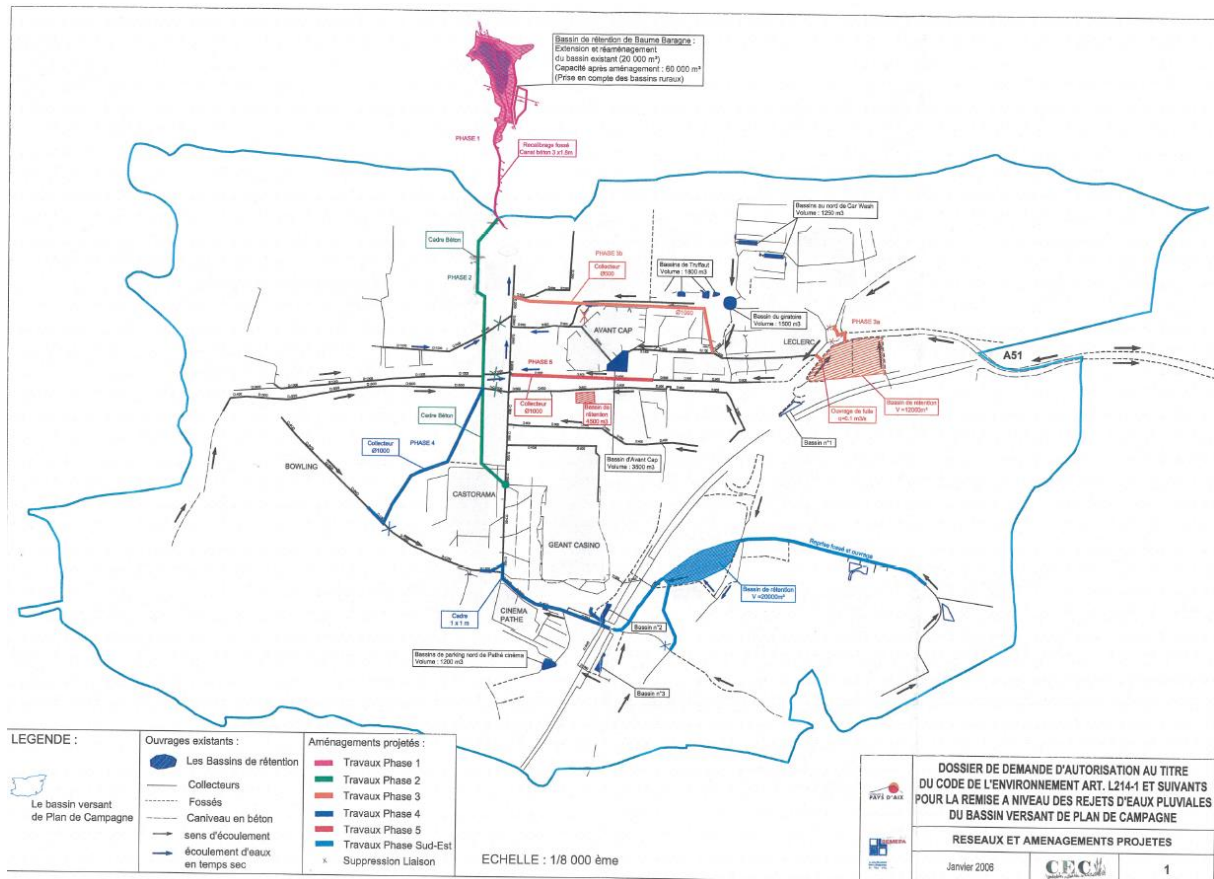


Figure 13 : Réseaux et aménagements projetés au titre du Dossier Loi sur l'Eau (Communauté d'agglomération du Pays d'Aix, 2006)

Par ailleurs, une analyse à dire d'expert a été menée sur le réseau pluvial existant, dans l'objectif de déterminer quels sont les réseaux structurants qu'il est pertinent d'intégrer à la modélisation. Il a été défini que la prise en compte de petits collecteurs serait trop optimiste par rapport à la réalité de fonctionnement de ces ouvrages lors d'un événement orageux intense. Il a donc été fait le choix d'intégrer tous les collecteurs d'une taille supérieure ou égale à un diamètre Ø500.

De plus, la méthode d'application de la pluie à l'ensemble du modèle de surface, et non pas par injection des débits directement dans le modèle réseau, permet d'éviter de surestimer la capacité d'avalement par le réseau.

La figure ci-dessous représente le réseau pluvial intégré sous Mike Urban.

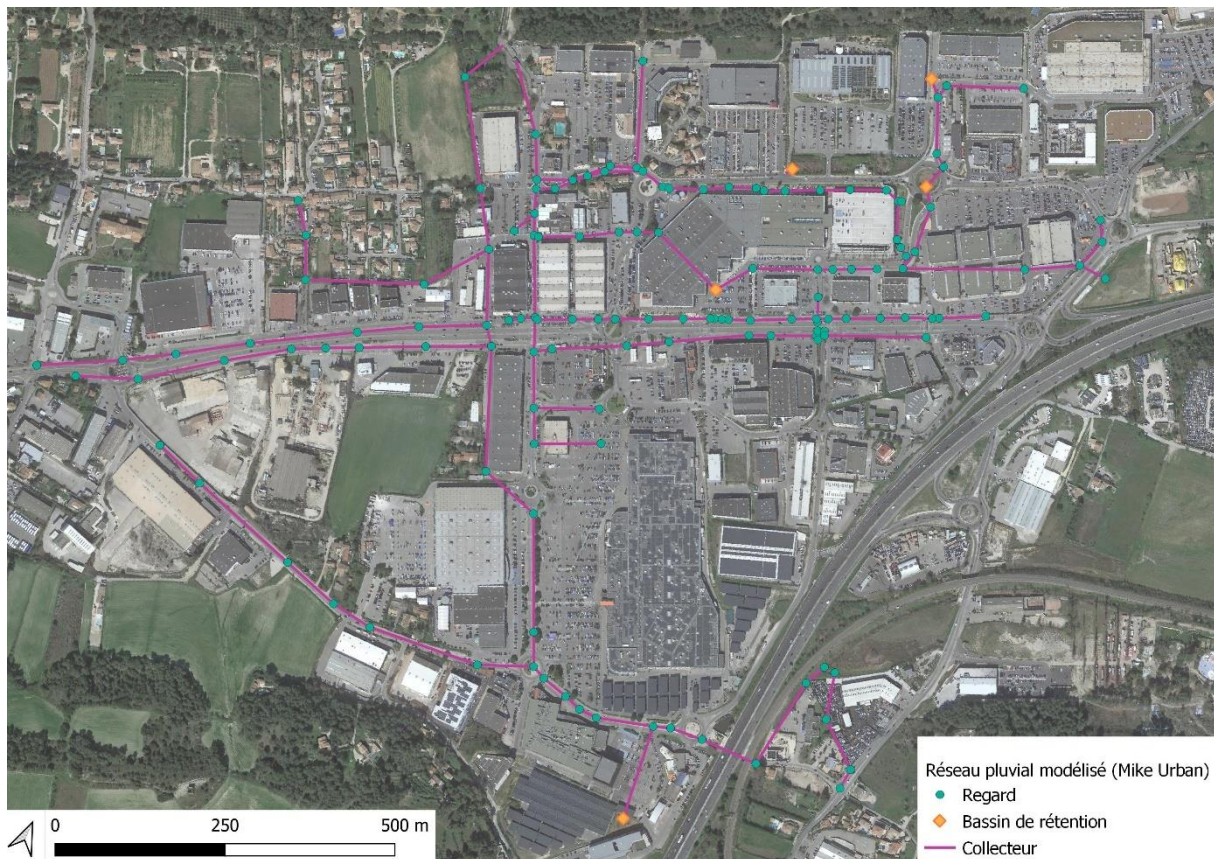


Figure 14 : Réseau pluvial modélisé sous Mike Urban

4.2.2 MODELE DE SURFACE

4.2.2.1 Modèle topographique

Pour rappel, le modèle topographique a été établi en priorité sur la base du LIDAR de l'IGN et complété par les levés Opsia (§2.1).

Le secteur modélisé correspond à une emprise plus large que le strict bassin versant intercepté, d'une superficie de 7 km².

La figure ci-dessous présente une vue en plan du modèle topographique réalisé (maillage orienté à 23.5°).

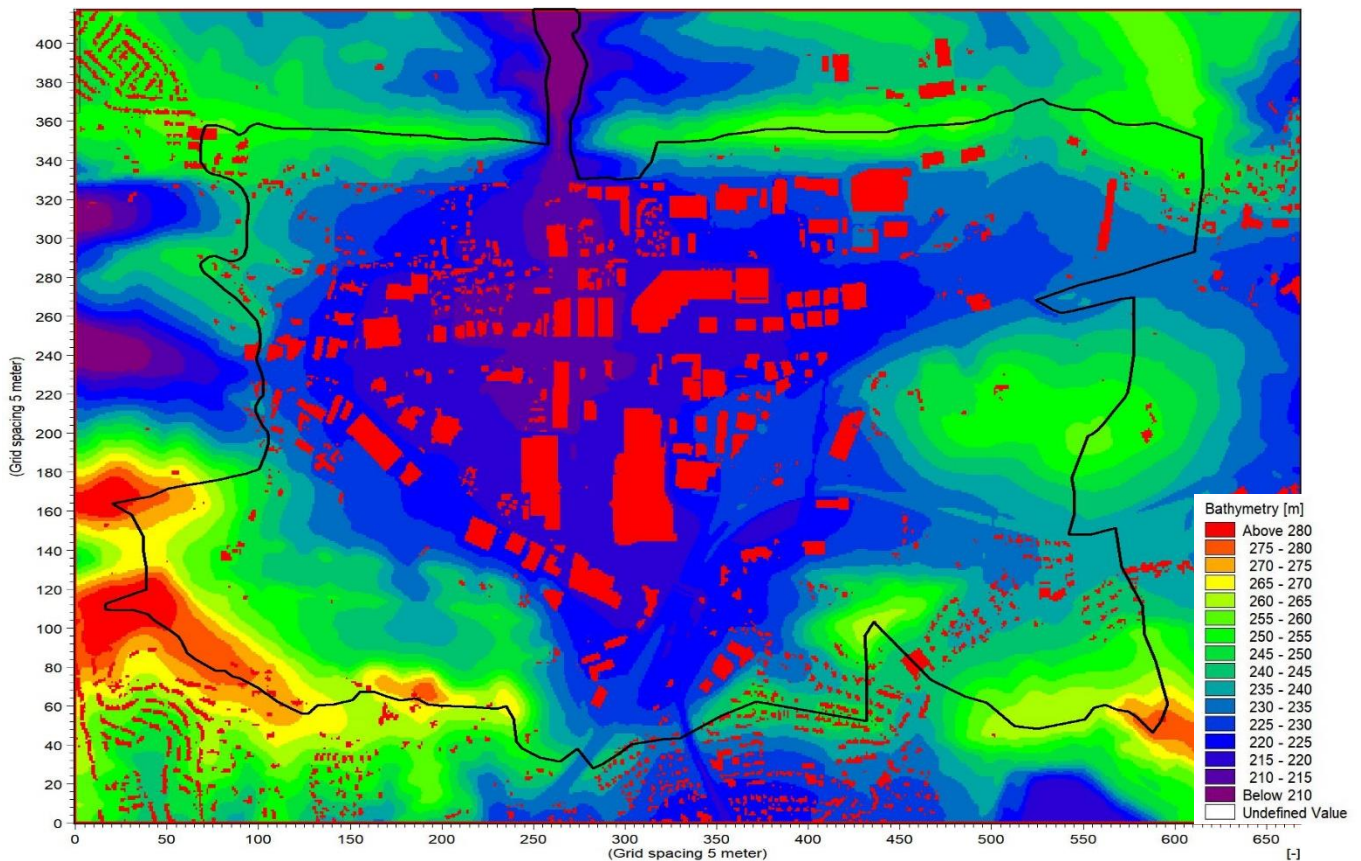


Figure 15 : Modèle topographique et contour du bassin versant global

4.2.2.2 Modèle de rugosité

Sur le même principe que le modèle topographique présenté précédemment, un modèle de rugosité a été construit sur la même résolution (5 m x 5 m). Un coefficient de rugosité a été attribué à chaque maille en fonction de l'occupation du sol. Il traduit la facilité ou non qu'auront les ruissellements à s'écouler sur le sol. Plus le coefficient est élevé, plus le sol est « lisse ». Les coefficients de rugosité (« KS », ou coefficient de Strickler) pour chaque type d'occupation du sol, retenus dans le cadre de l'étude de 2016 et conservés pour la présente étude, sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Coefficients de rugosité retenus

Occupation du sol	KS ($m^{1/3}.s^{-1}$)
Route	55
Parking	45
Zone industrielle	40
Voie ferrée, sol nu	35
Champs	30
Zone urbanisée	25

Occupation du sol	KS ($m^{1/3}.s^{-1}$)
Végétation peu dense	25
Lotissement dense	18
Lotissement peu dense	14
Forêt	10
Bâtis légers	5

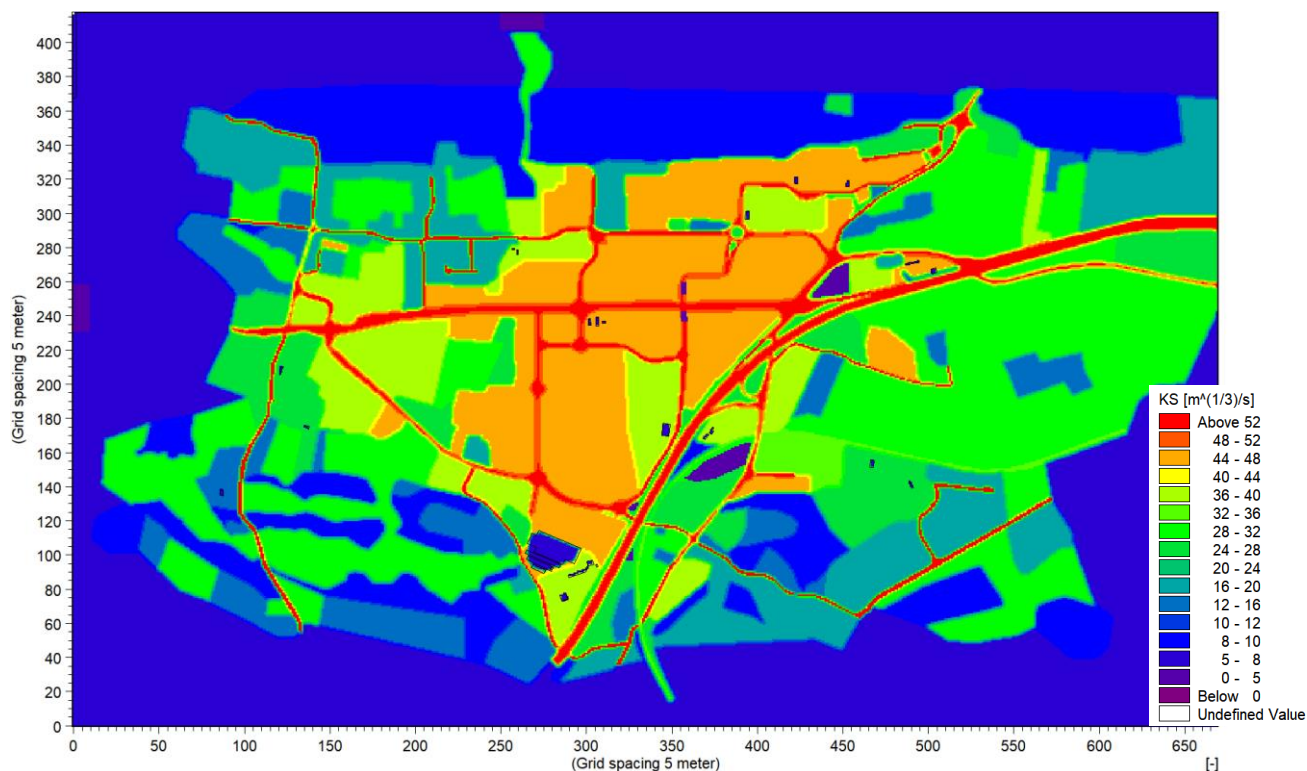


Figure 16 : Modèle de rugosité

Il est important de rappeler que les bâtiments seront intégrés au modèle hydraulique en tant qu'obstacle à l'écoulement des crues (mise hors d'eau). Le coefficient de rugosité retenu intègre ainsi les différentes occupations du sol rencontrées et la prise en compte des effets d'obstacles des différents éléments (mobilier urbain, murets, etc...). Un coefficient de Strickler de 5 a été retenu pour représenter l'effet d'obstacle des bâtis légers (§2.2).

4.3 CONDITIONS AUX LIMITES

La modélisation est réalisée pour trois occurrences de crue distinctes :

- la crue de référence correspondant à l'orage de type septembre 1993 ;
- la crue trentennale Q30
- la crue exceptionnelle Qexcp correspondant à 2 fois la crue de référence.

En condition « amont », l'événement pluvieux est appliqué au modèle 2D. Dans l'optique de caractériser l'aléa par ruissellement, la pluie est directement injectée sur le modèle de surface, après abattement par le coefficient de ruissellement (CR) spatialisé. Cette méthode présente de représenter avec précision le ruissellement en surface sur des secteurs où le réseau pluvial est peu dense. Elle constitue la condition amont, autrement dits les apports en eau du modèle.

Les coefficients de ruissellement définis dans le cadre du Schéma Pluvial de Plan de Campagne ont été conservés. Les coefficients décennaux ont été obtenus en fonction de l'occupation du sol, puis les coefficients centennaux et trentennaux calculés à partir de la méthode du GTAR. Les coefficients centennaux ont été retenus dans le cadre de la modélisation de la pluie de 1993, dont l'occurrence est estimée légèrement supérieure à 100 ans à l'échelle du secteur de Plan de Campagne.

Tableau 5 : Coefficients de ruissellement retenus

Occupation du sol	CR10 (%)	CR30 (%)	CR100 (%)
Route	100	100	100
Parking	90	90	90
Zone industrielle	80	80	80
Zone urbanisée / Lotissement dense	70	72	74
Lotissement peu dense	50	55	63
Voie ferrée / Sol nu	35	40	55
Champs	25	35	49
Végétation peu dense	28	32	45
Forêt	15	28	43

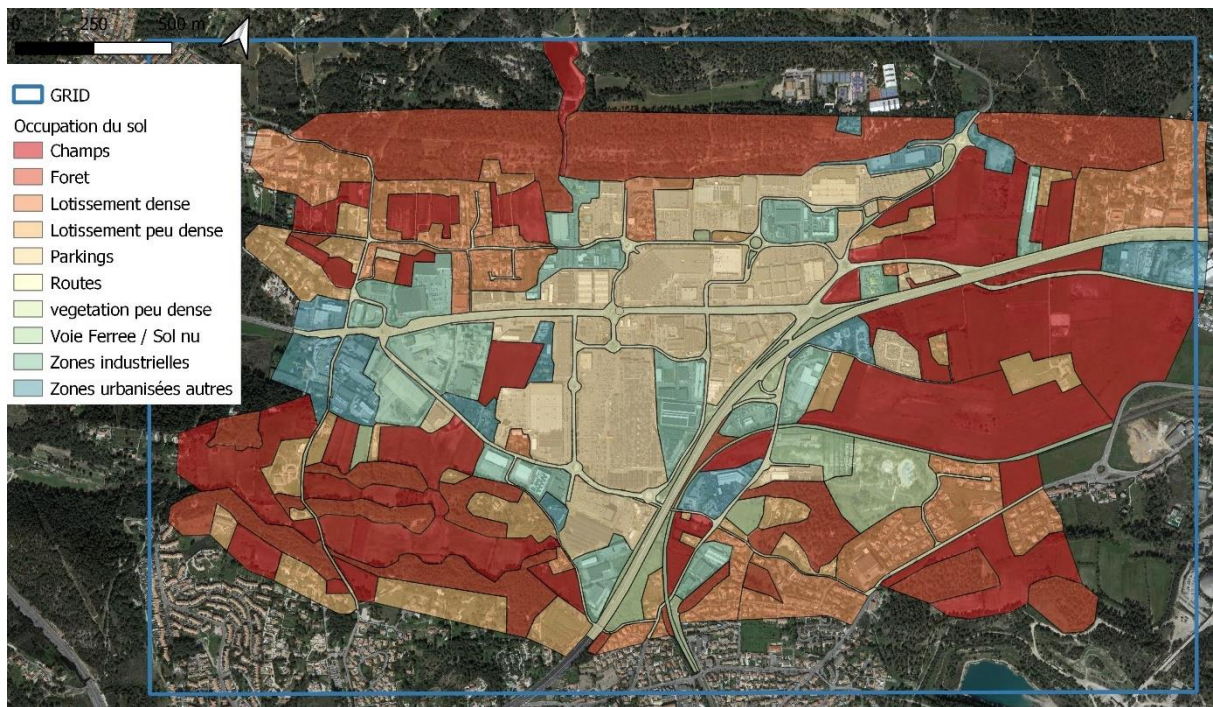


Figure 17 : Cartographie de l'occupation du sol

En condition aval, la sortie des écoulements sera représentée jusqu'à l'entrée dans le bassin de Baume Baragne (conservation de la condition aval du modèle hydraulique de 2016).

5 RESULTATS DE LA MODELISATION

Le modèle a été exploité pour simuler la crue de référence (orage de type septembre 1993) et la crue exceptionnelle (2 fois l'événement de référence), ainsi que pour les crues d'occurrences trentennale et décennale.

Il est important de noter que, compte tenu de la méthode d'analyse (application de la pluie sur le MNT), les résultats ne sont pas représentés pour des hauteurs d'eau inférieures à 3 cm.

5.1 CRUE DE REFERENCE

Les résultats obtenus pour la crue de référence Q93 sont illustrés ci-dessous :

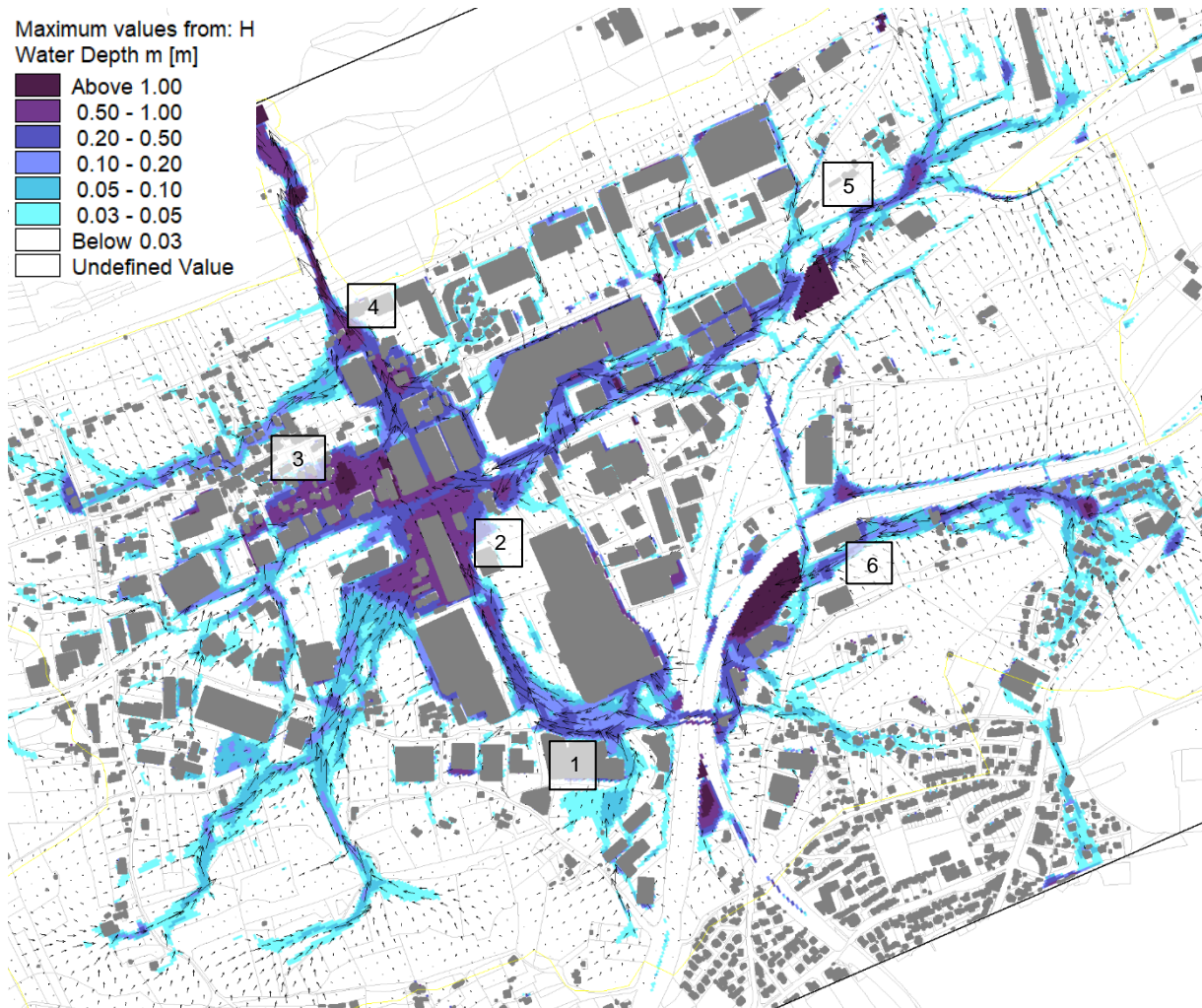


Figure 18 : Illustration de la dynamique des écoulements pour Q93

La zone de Plan de Campagne est située dans une cuvette topographique. Cela engendre des inondations importantes au centre de la zone, avec des hauteurs d'eau accumulées conséquentes. Les eaux arrivent par plusieurs axes d'écoulement concentrés, notamment depuis le nord-ouest et le sud-ouest, l'est contre le talus de la voie ferrée, et le nord-est.

Les hauteurs d'eau maximales accumulées selon les zones sont les suivantes :

- Environ 30 cm devant le cinéma et au sud de l'avenue Barneoud [1]
- 60 cm à 90 cm au nord de l'avenue Barneoud [2]
- Environ 1.35 m sur la parcelle AL89 non aménagée dans le secteur ouest de la zone [3]
- 35 cm à 75 cm dans la partie nord du territoire [4]
- 60 cm en parcelle BY91 traversée par l'axe d'écoulement se formant au nord-est [5]
- 14 cm à 35 cm sur l'axe d'écoulement formé au sud-ouest contre le talus de la voie ferrée [6]

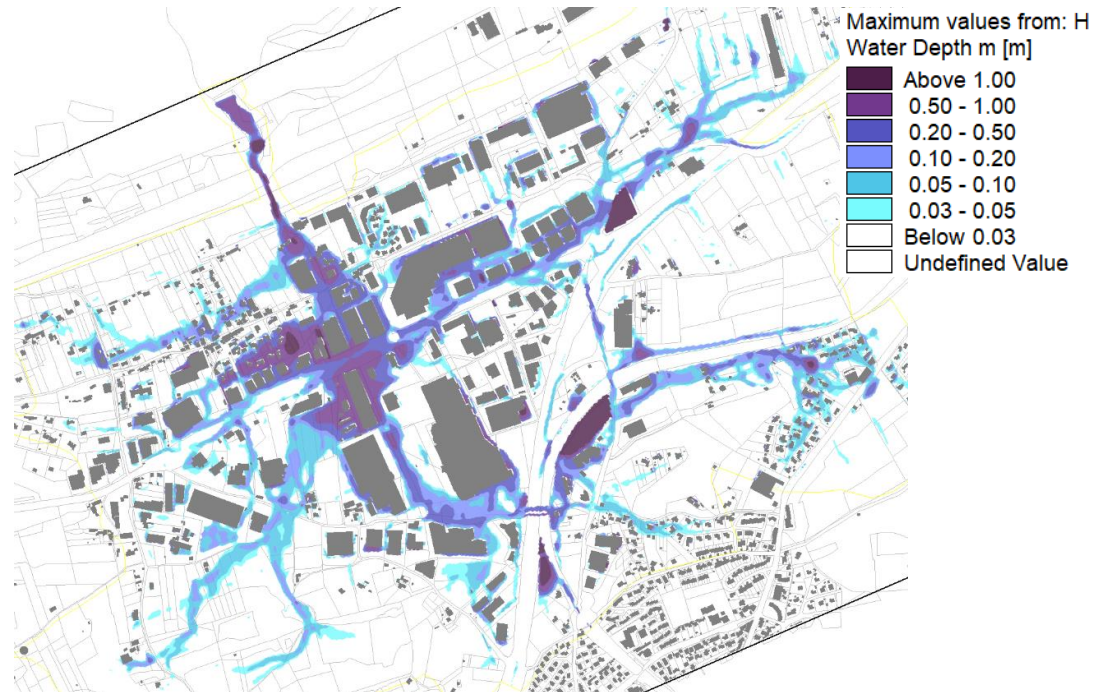


Figure 19 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales pour Q93

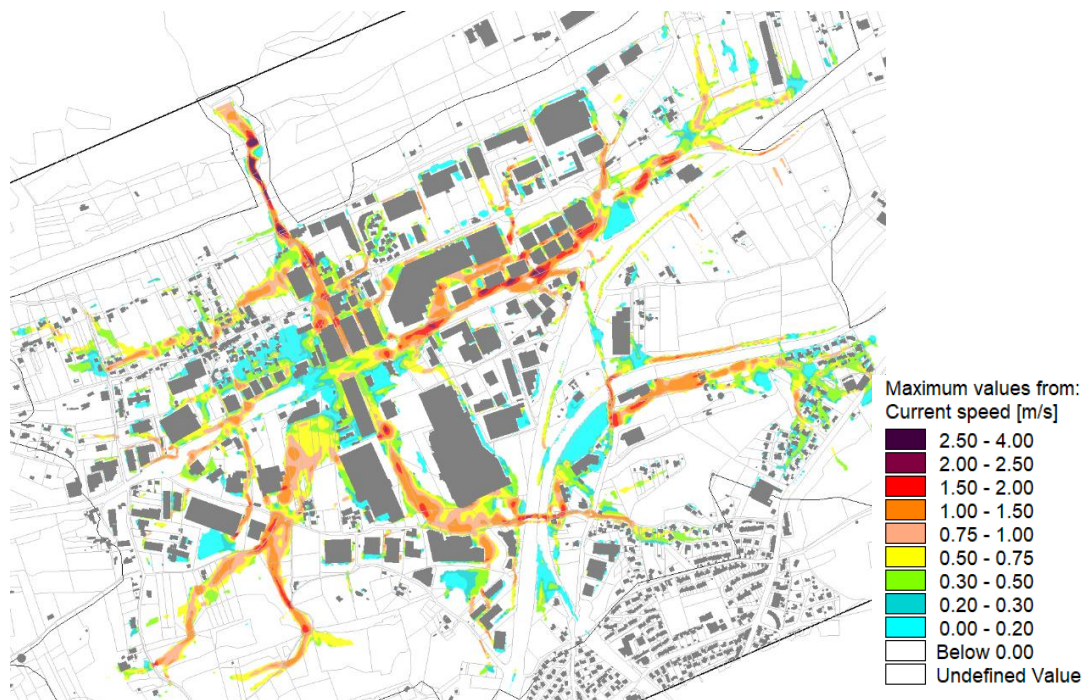


Figure 20 : Cartographie des vitesses d'écoulement maximales pour Q93

Les résultats ont été comparés avec des photographies prises lors d'évènements pluviaux par le passé, transmises par M. Abela, élu à Cabriès et directeur de la zone commerciale de Plan de Campagne. Les résultats obtenus sont cohérents avec les observations de la réalité du terrain. Une forte accumulation des eaux a lieu au nord de l'avenue Barneoud en cas d'orage important.

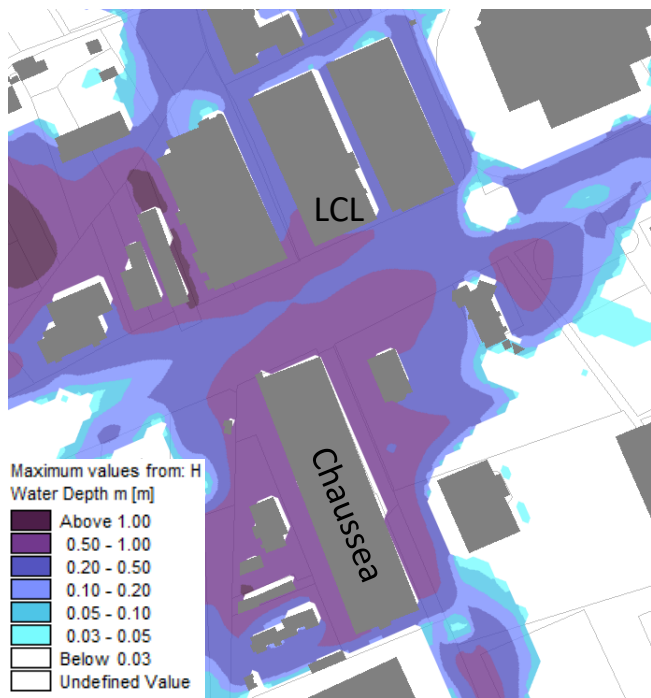


Figure 21 : Comparaison des résultats obtenus par la modélisation avec des inondations observées

En ce qui concerne le réseau pluvial, il est en grande majorité saturé et débordant pour la crue de référence sur l'ensemble des collecteurs, excepté sur l'amont de certains tronçons. Les résultats présentés au paragraphe suivant, concernant la crue trentennale, montre déjà un important taux de saturation des réseaux.

5.2 CRUE EXCEPTIONNELLE

Les résultats obtenus pour la crue exceptionnelle Qexcp sont illustrés ci-dessous.

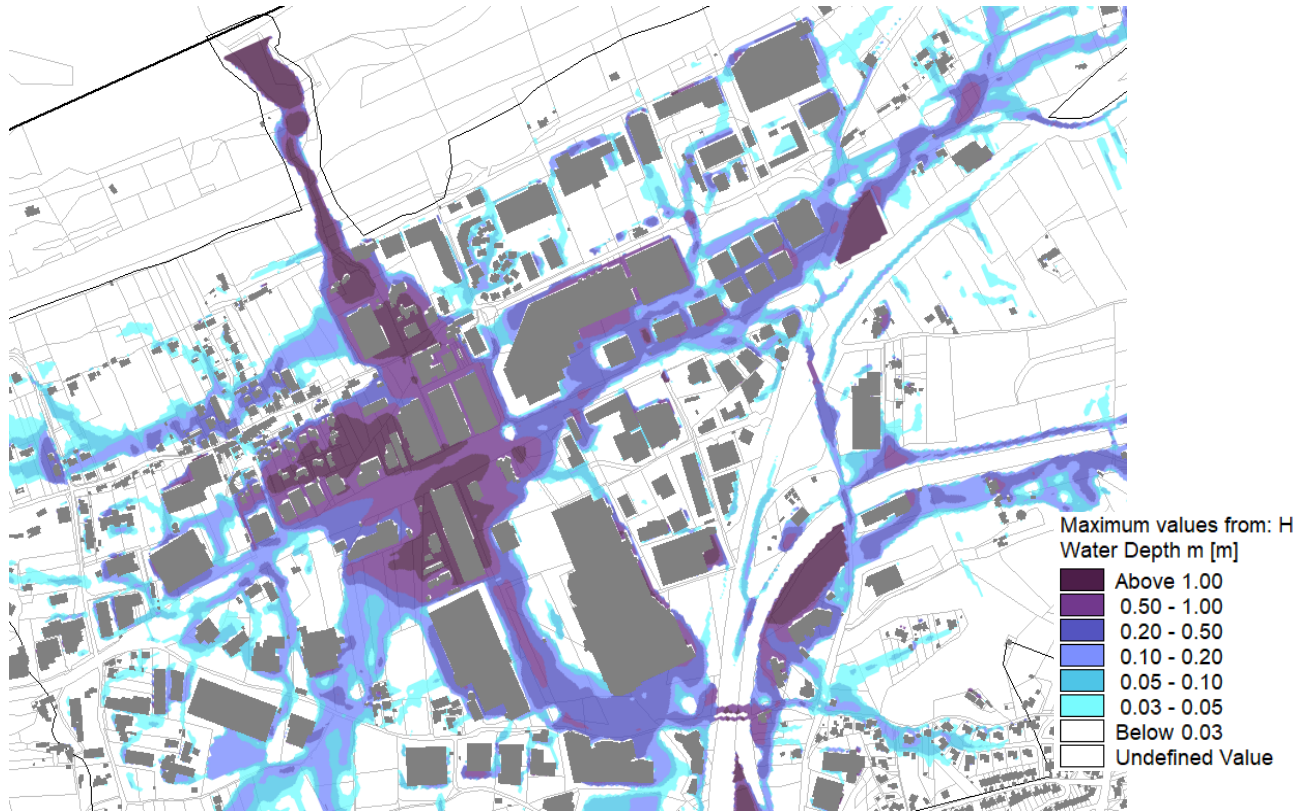


Figure 22 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales pour Qexcp

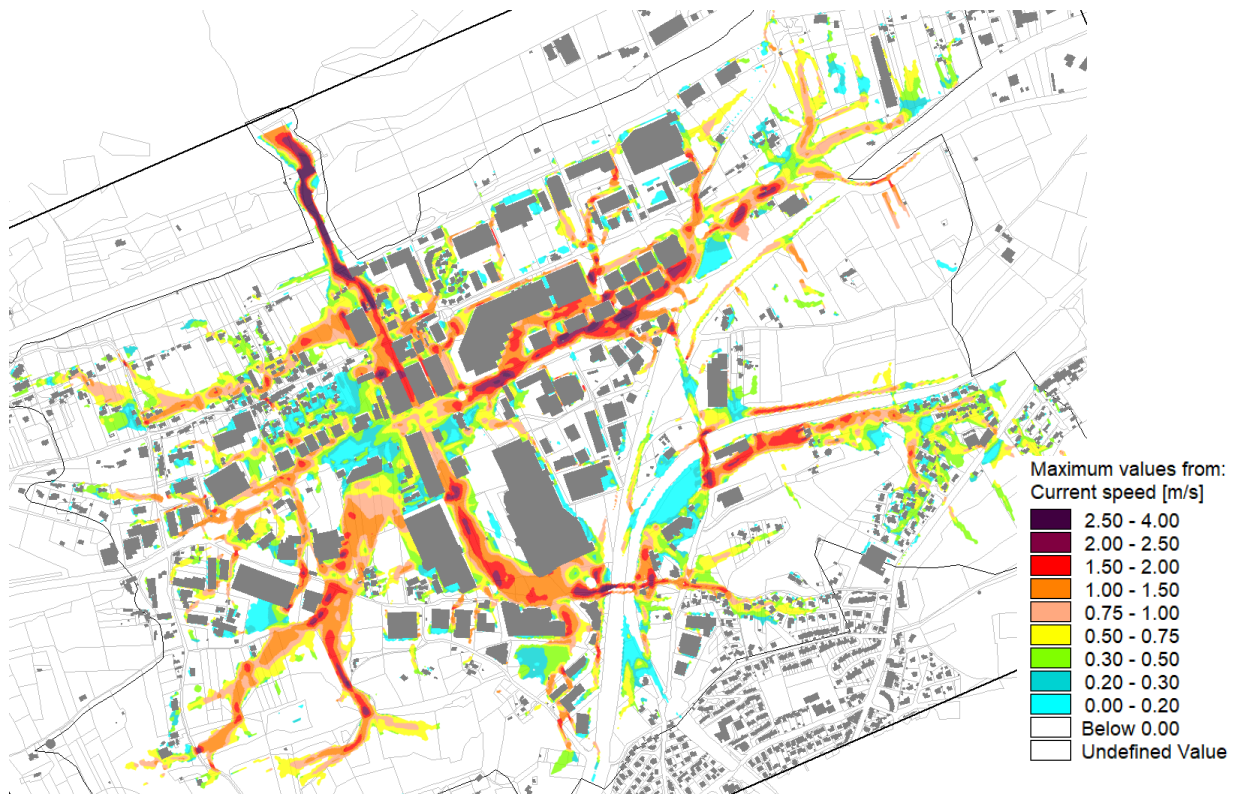


Figure 23 : Cartographie des vitesses d'écoulement maximales pour Qexcp

5.3 CRUE TRENTENNALE

Les résultats obtenus pour la crue trentennale Q30 sont illustrés ci-dessous.

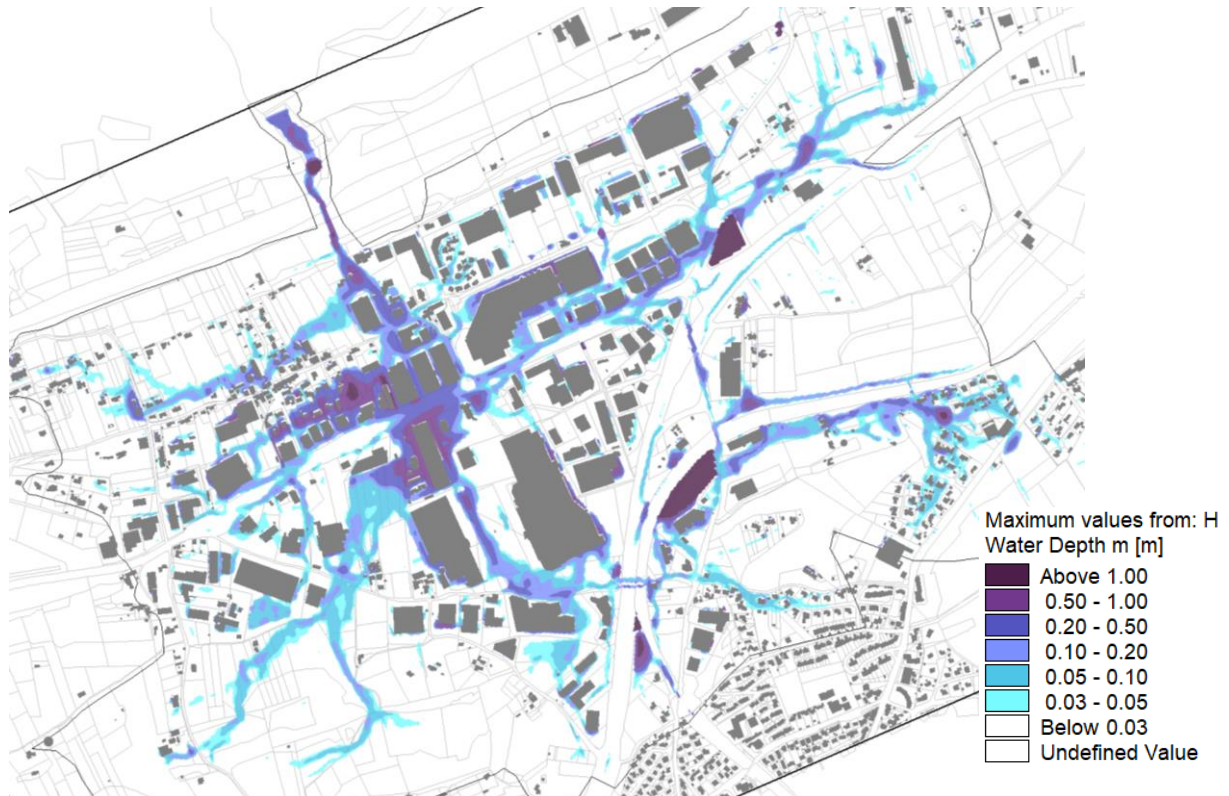


Figure 24 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales pour Q30

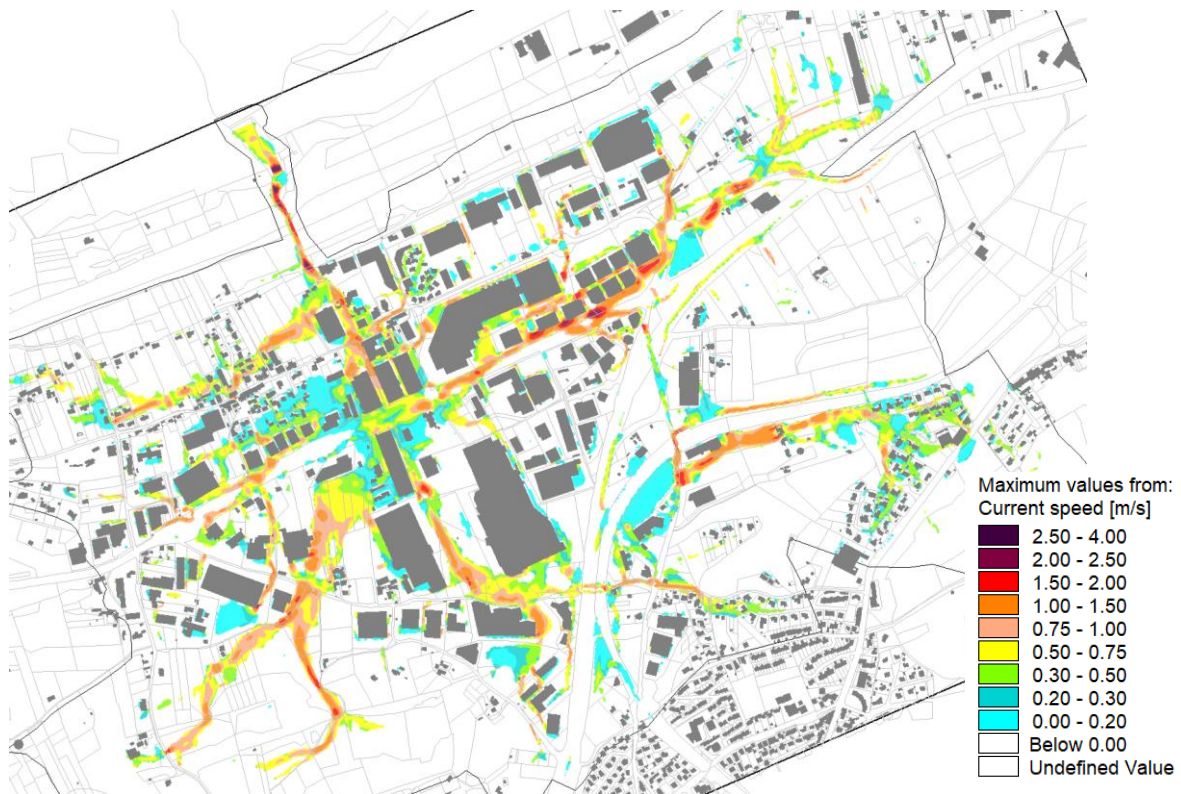


Figure 25 : Cartographie des vitesses d'écoulement maximales pour Q30

Concernant la capacité du réseau pluvial lors la crue trentennale, plusieurs linéaires de réseau sont saturés et débordants :

- Nouveau collecteur cadre des Rigons (débit drainé de 2.2 m³/s)
- Collecteur sud-nord de l'avenue Barneoud jusqu'à la RD6 (débit drainé de 8.2 m³/s)
- Partie aval du collecteur ouest RD6 (débit drainé de 0.2 m³/s)
- Nouveau collecteur est (phase 5) RD6 (débit drainé de 1.5 m³/s)
- Partie aval du 2^e collecteur est RD6 (débit drainé de 0.7 m³/s)
- Nouveau collecteur CV15 au nord d'Avant-Cap (débit drainé de 1.6 m³/s)
- Bassins de rétention nord-est (phase 3a) et sud-est (phase 5).

La figure ci-dessous illustre les débordements observés au nœud du modèle pluvial.

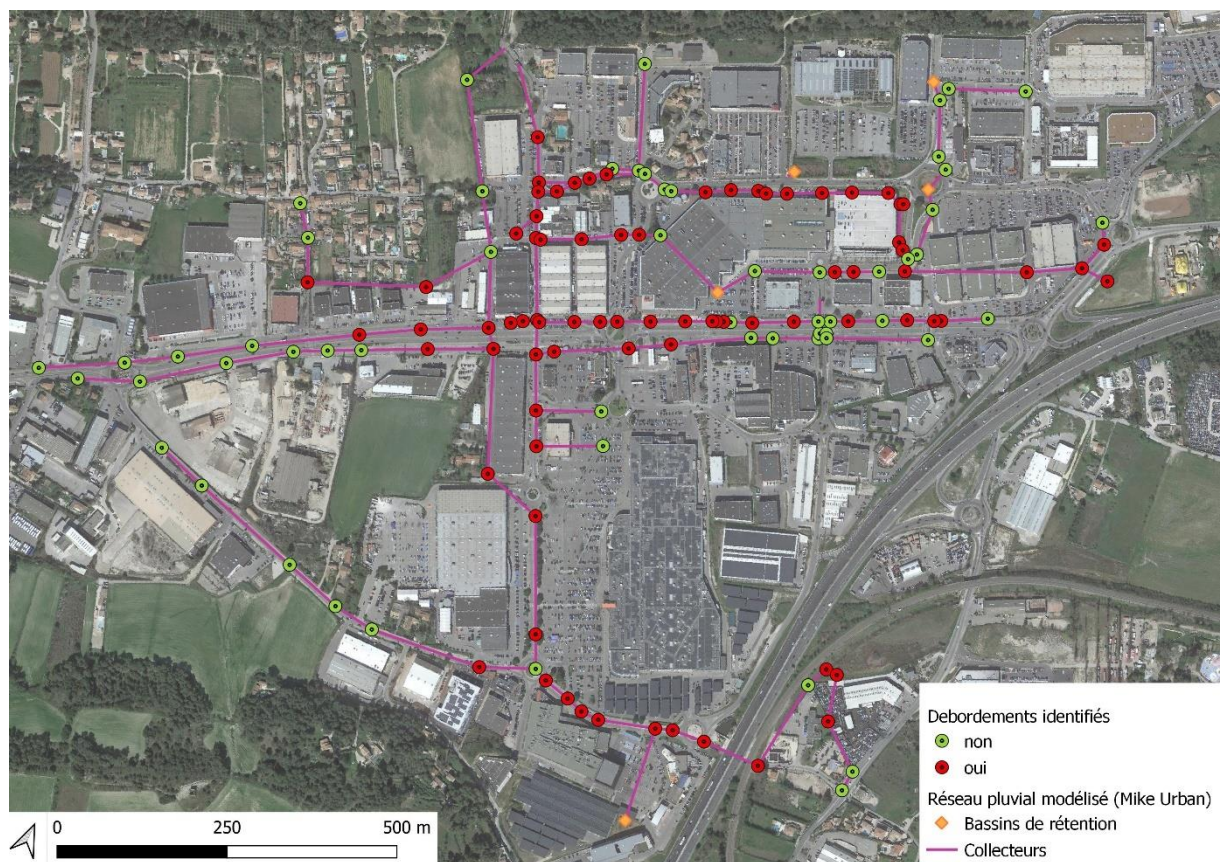


Figure 26 : Cartographie des débordements du réseau pluvial pour Q30

5.4 CRUE DECENNALE

Les résultats obtenus pour la crue décennale Q10 sont illustrés ci-dessous.

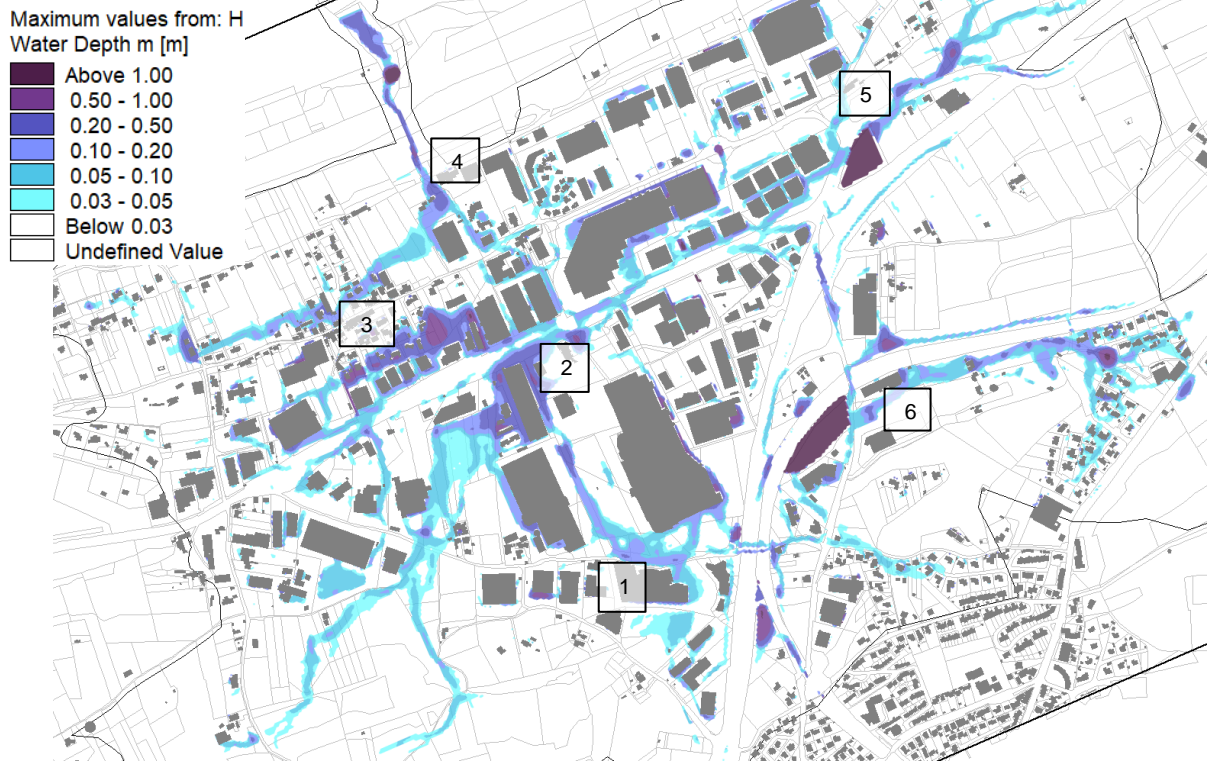


Figure 27 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales pour Q10

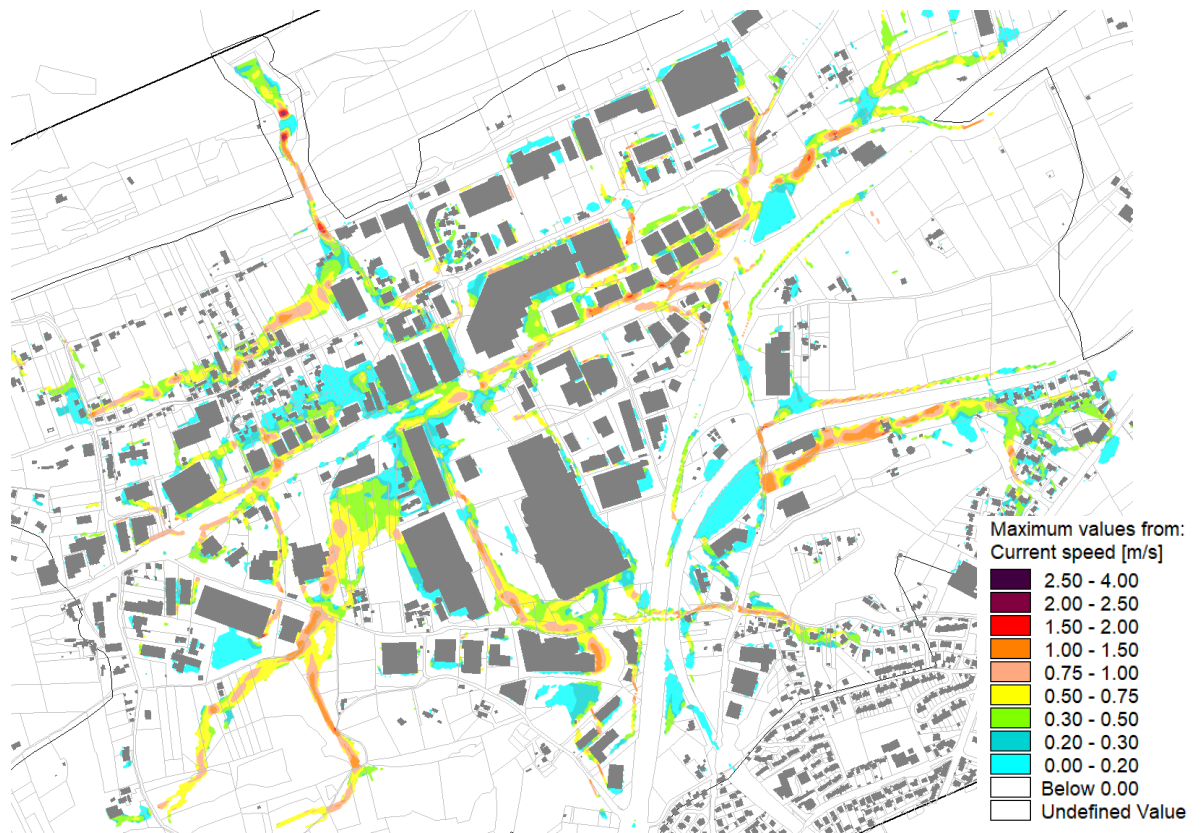


Figure 28 : Cartographie des vitesses d'écoulement maximales pour Q10

Les hauteurs d'eau maximales accumulées selon les zones sont les suivantes :

- Environ 18 cm devant le cinéma et au sud de l'avenue Barneoud [1]
- 30 cm à 90 cm au nord de l'avenue Barneoud [2]
- Environ 90 cm sur la parcelle AL89 non aménagée dans le secteur ouest de la zone [3]
- 11 cm à 45 cm dans la partie nord du territoire [4]
- 45 cm en parcelle BY91 traversée par l'axe d'écoulement se formant au nord-est [5]
- 4 cm à 28 cm sur l'axe d'écoulement formé au sud-ouest contre le talus de la voie ferrée [6]

Concernant la capacité du réseau pluvial lors la crue décennale, plusieurs linéaires de réseau sont saturés et débordants :

- Partie ouest du nouveau collecteur cadre des Rigons, devant le cinéma (débit drainé de 2 m³/s au niveau du linéaire débordant).
- Partie aval du collecteur sud-nord de l'avenue Barneoud jusqu'à la RD6 (débit drainé de 6 m³/s)
- Nouveau collecteur est (phase 5) RD6 (débit drainé de 1.3 m³/s)
- Partie aval du 2^e collecteur est RD6 (débit drainé de 0.7 m³/s)
- Nouveau collecteur CV15, le long du centre commercial Avant-Cap (débit drainé de 1.3 m³/s)

Les bassins de rétention sud-est (phase 5) et nord-est (phase 3a) dimensionnés pour la Q10 sont saturés mais non débordants.

Les figures ci-dessous illustrent le profil en long de la ligne d'eau le long de plusieurs axes structurants du réseau pluvial.

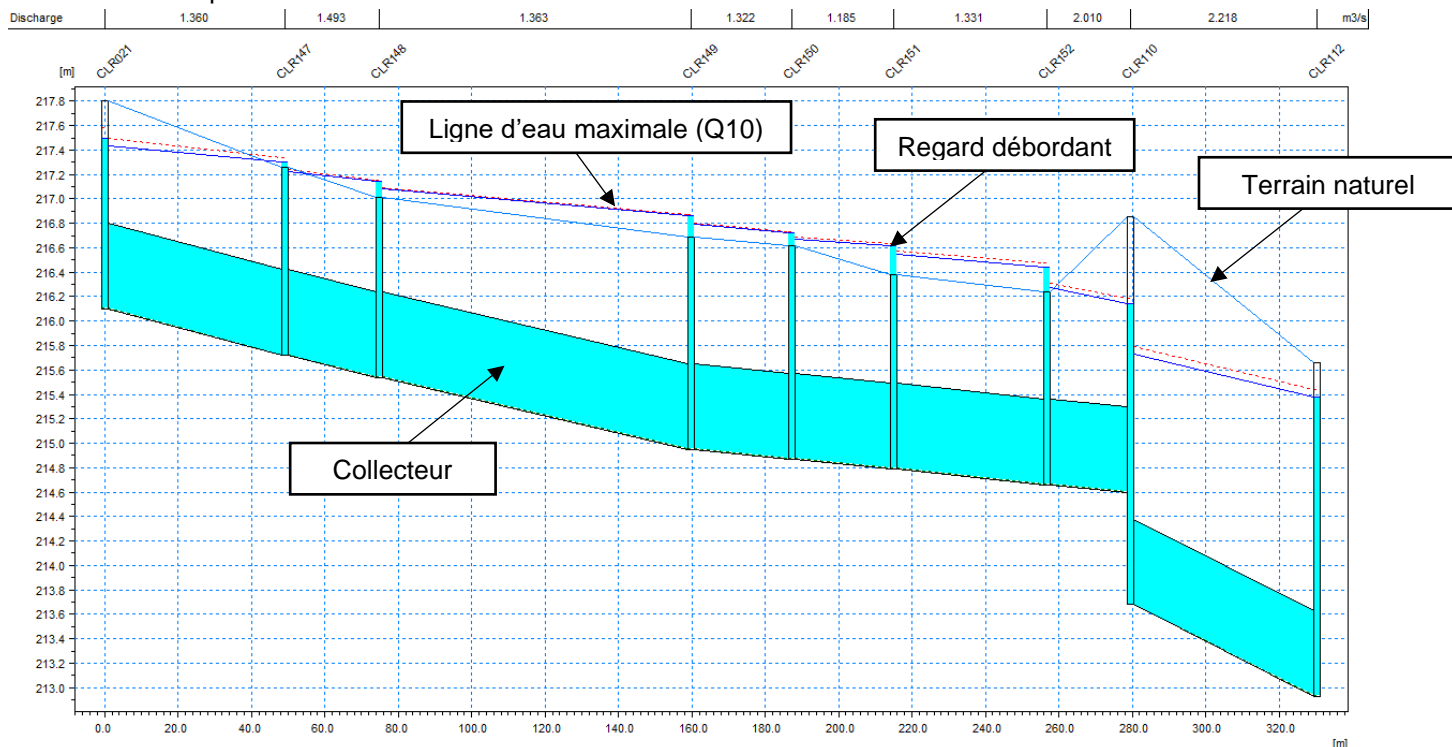


Figure 29 : Profil en long du collecteur cadre des Rigons

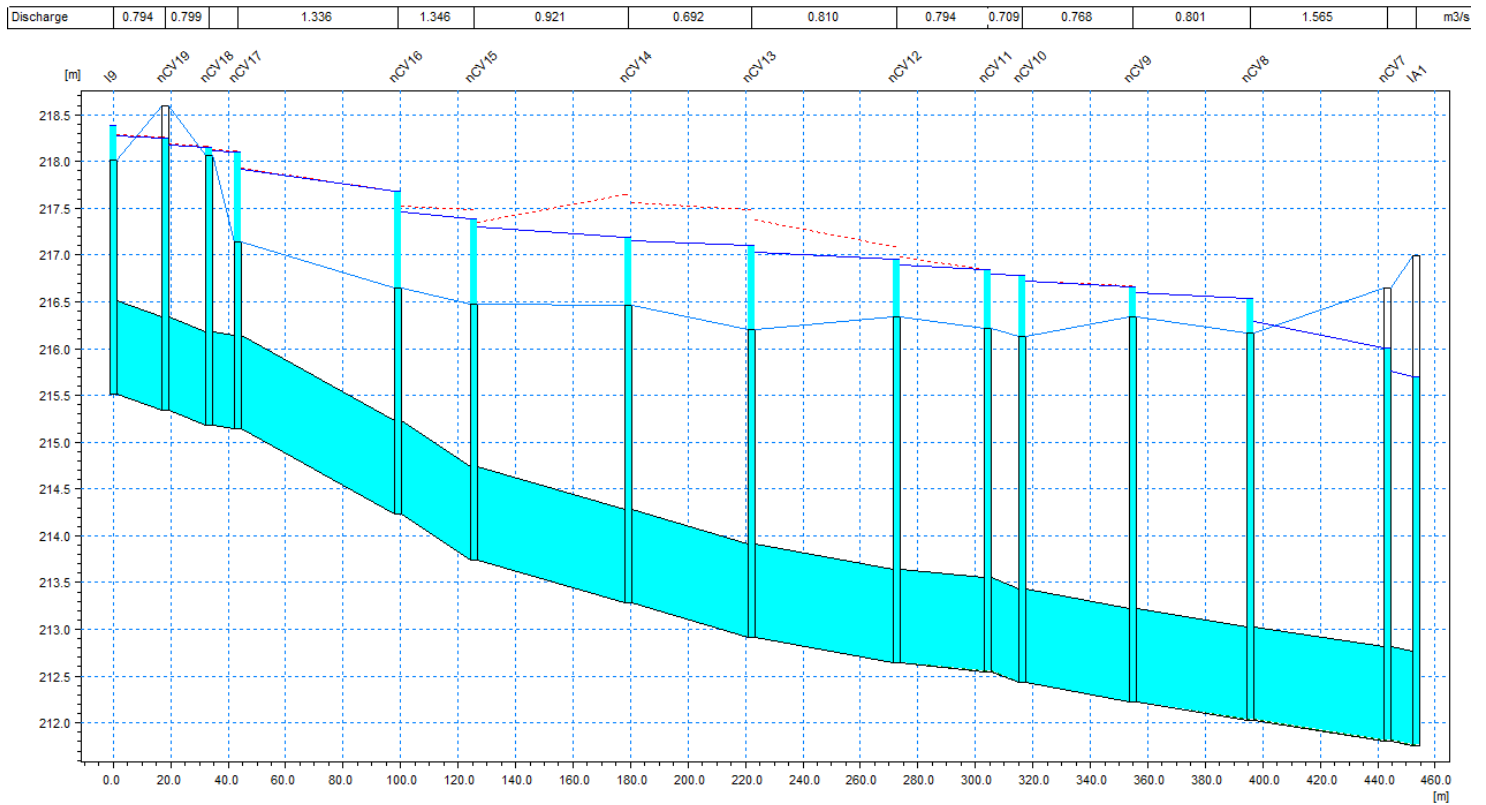


Figure 30 : Profil en long de la partie amont du collecteur CV15 le long d'Avant-Cap

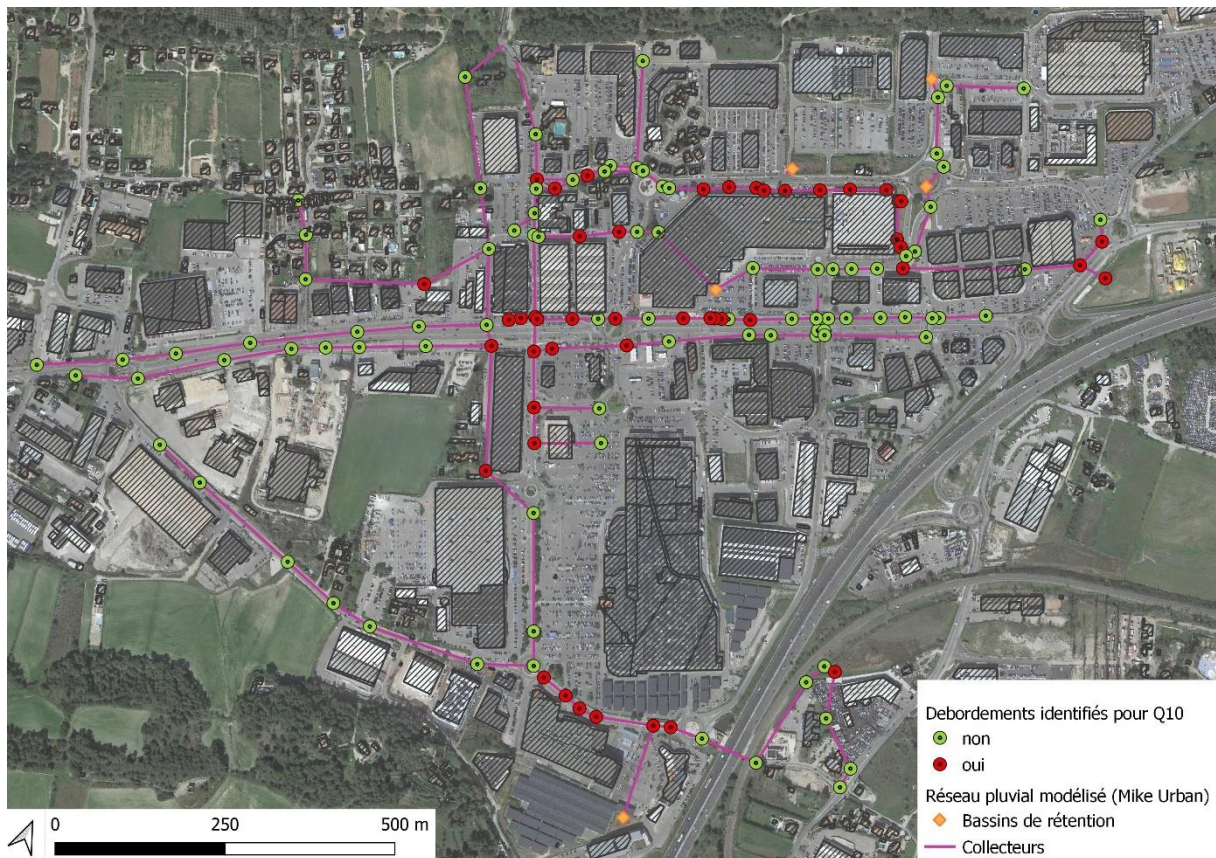


Figure 31 : Cartographie des débordements du réseau pluvial pour Q10

6 ALEA INONDATION PAR RUISSELLEMENT

6.1 METHODOLOGIE DE CARACTERISATION

La modélisation de la crue de référence a permis la caractérisation de l'aléa inondation par ruissellement à l'état projet. Les grilles d'aléa inondation sont construites à partir des croisement hauteur / vitesse selon l'intensité de ces deux phénomènes. Elles se basent sur des éléments physiques qui précisent les capacités d'une personne humaine à évoluer dans un champ d'inondation. Cela permet de définir des seuils d'intensité pour classifier l'aléa.

La figure suivante rappelle les limites de déplacement en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse.

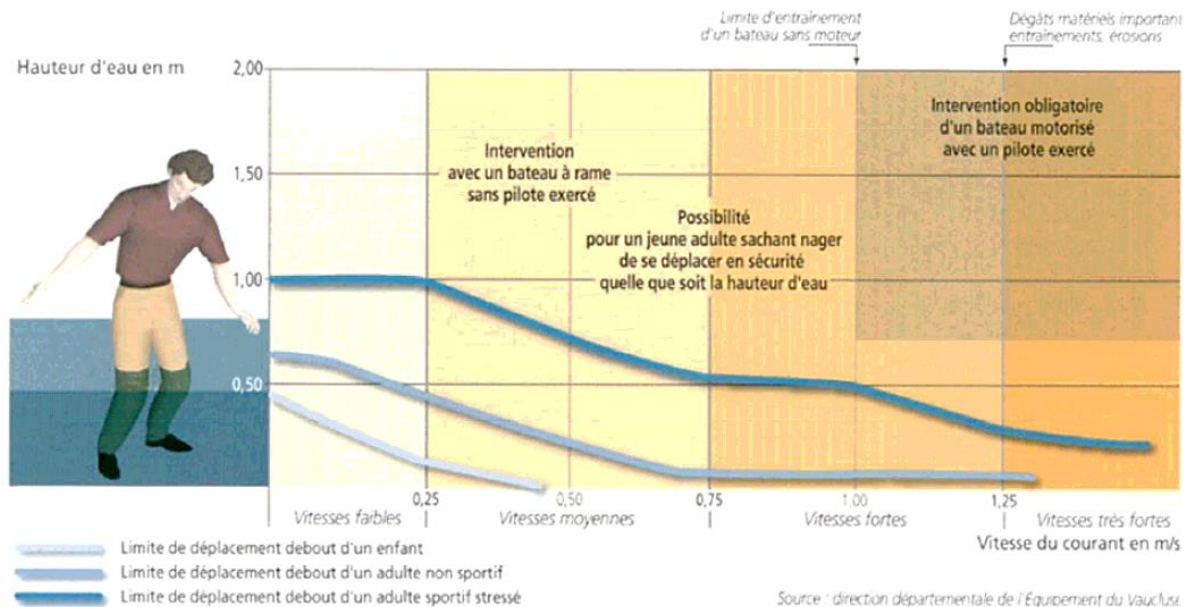



Figure 32 : Limites de déplacement dans l'eau en fonction de la hauteur et de la vitesse

La grille de référence applicable dans le département des Bouches-du-Rhône, pour la définition de l'aléa inondation en zone de ruissellement, est la suivante :



Figure 33 : Grille pour l'aléa inondation par ruissellement (DDTM13, décret 2019)



L'emprise de la zone inondable pour une crue exceptionnelle vient compléter la cartographie de l'aléa, en remplacement de l'enveloppe hydrogéomorphologique.

Précision sur le lissage de l'aléa :

Les résultats bruts des simulations hydrauliques peuvent contenir des artefacts correspondant à des mailles isolées pour lesquelles il y a une variation brusque des conditions d'écoulement. La cartographie de l'aléa inondation, établie par croisement sur la base des cartographies iso-hauteurs et iso-vitesses, correspond aux résultats bruts pour la crue de référence.

Elle intègre donc ces « artefacts » non traités. Néanmoins, le logiciel de modélisation intègre la possibilité d'un rendu cartographique automatique présentant des contours lissés (ne faisant pas apparaître le contour des mailles). Ce traitement peut aisément être effectué pour l'ensemble des simulations.

La cartographie de l'aléa dite brute est directement issue des résultats du modèle hydraulique. Sur chaque maille de calcul, le croisement hauteur / vitesse permet de définir si l'aléa sur cette maille est faible, modéré ou fort.

Afin d'établir une cartographie exploitable par les services de l'état, la cartographie brute est soumise à un travail d'interprétation (à dire d'expert) menant à une cartographie de synthèse dite « lissée ». Cette dernière assure plus de cohérence de parcelles en parcelles, tient compte des zones d'ombre derrière les bâtiments. Dans cette étape, une attention particulière est tout de même portée afin de ne pas éliminer des zones très localisées de danger accru.

Le lissage se fait en première approche de manière automatique suivant les critères de sélection imposés mais se termine systématiquement « à la main », l'ordinateur ne pouvant pas se substituer une interprétation humaine.

6.2 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

La figure suivante présente la cartographie de l'aléa inondation « brut », sans traitement spécifique ni lissage, obtenu pour la crue de type 1993.

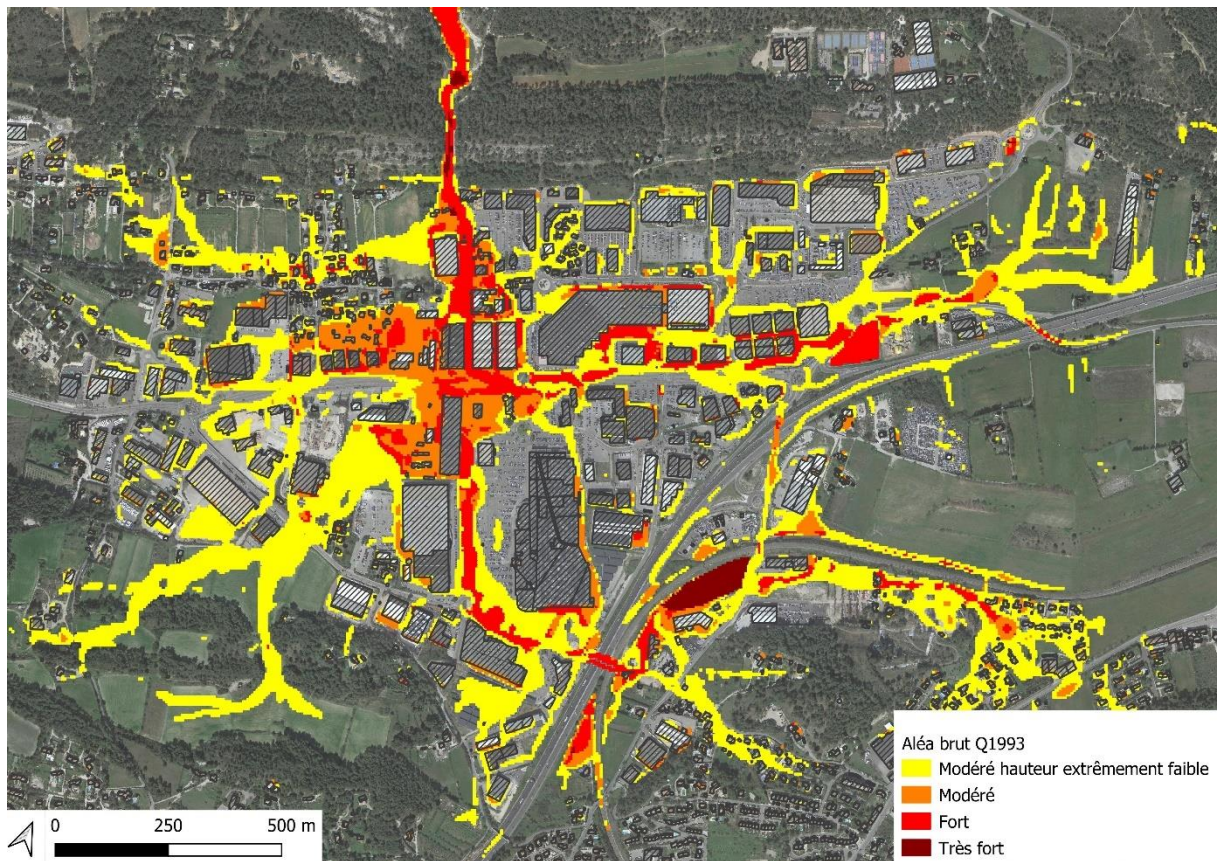


Figure 34 : Cartographie de l'aléa brut sur le territoire de Plan de Campagne

La cartographie de l'aléa lissé, réalisé pour la crue de référence Q93 et complété par l'emprise de la zone inondable de la crue exceptionnelle, est présentée en page suivante.

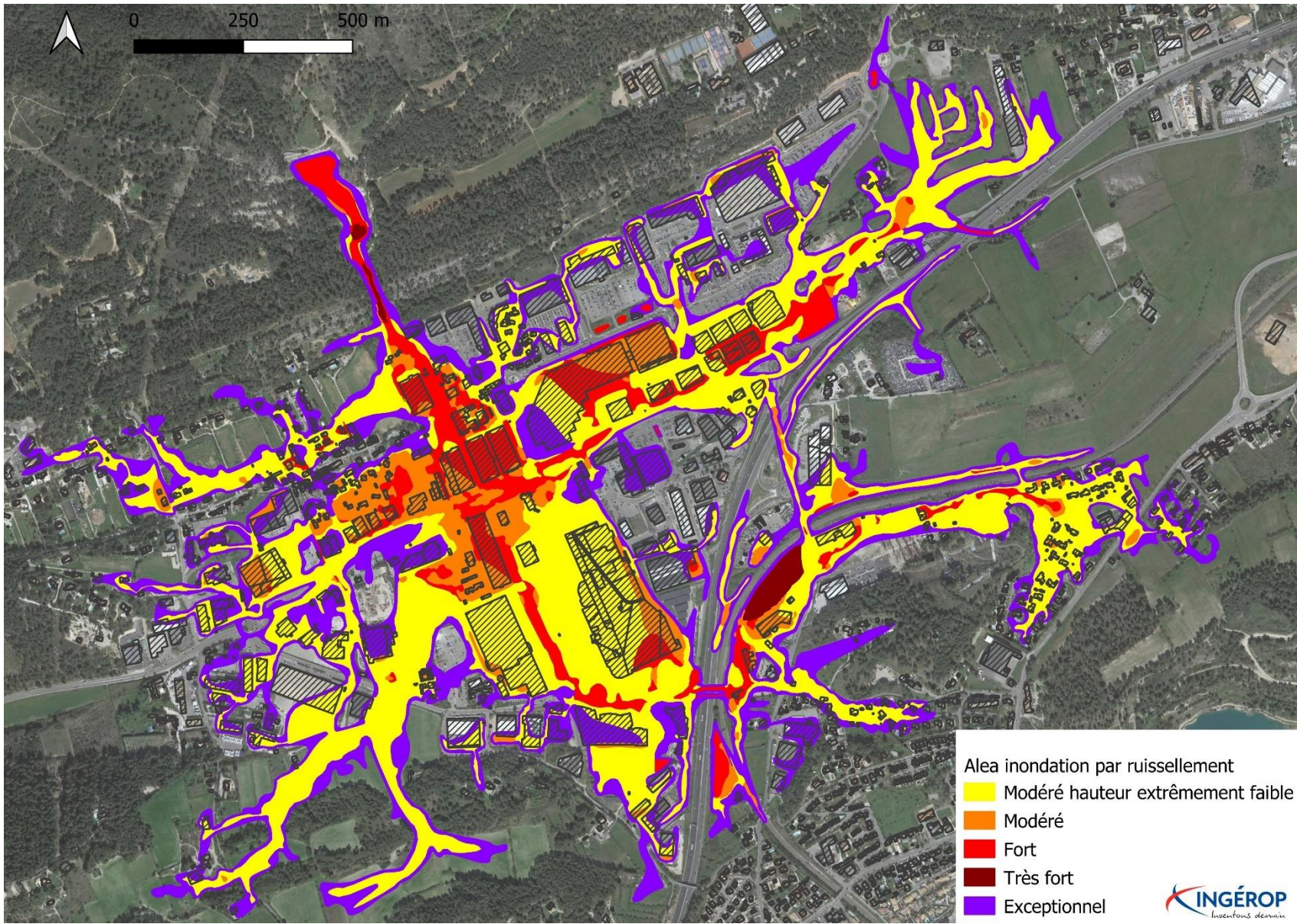


Figure 35 : Cartographie de l'aléa lissé sur le territoire de Plan de Campagne

7 CONCLUSION

La Métropole Aix-Marseille Provence souhaite la réalisation d'une étude de caractérisation de l'aléa ruissellement sur le secteur de Plan de Campagne. Il s'agit une zone commerciale créée en 1966 située sur la commune des Pennes-Mirabeau côté sud-ouest et la commune de Cabriès côté nord-est. Le périmètre d'étude englobe le bassin versant global de la zone de Plan de Campagne jusqu'à l'entrée du bassin de Baume Baragne.

La modélisation hydraulique du risque de ruissellement a été réalisée pour trois occurrences de crue distinctes.

La crue de référence de type septembre 1993 a permis de réaliser la cartographie de l'aléa lissé sur la zone de Plan de Campagne. Cet aléa est complété par l'emprise de la crue exceptionnelle.

Les modélisations de la crue trentennale et de la crue décennale ont permis d'analyser plus en détail le comportement du réseau pluvial du territoire.

La cartographie de l'aléa lissé sera utilisée dans la révision du nouveau Plan Local d'Urbanisme (PLU) de la zone commerciale. A terme, elle servira de document de référence pour l'établissement du futur Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRI) du territoire.

8 ANNEXES

La liste des annexes accompagnant le rapport est la suivante :

- ✚ **Annexe 1** : Carte PDF A3 de l'aléa lissé
- ✚ **Annexe 2** : Couche SIG des résultats Q93 contenant les hauteurs d'eau maximales (Hmax en m), les vitesses d'écoulement maximales (Vmax en m/s), les cotes d'eau maximales (Nmax en m NGF) ainsi que l'aléa brut
- ✚ **Annexe 3** : Couche SIG des résultats Q30 contenant Hmax, Vmax, Nmax
- ✚ **Annexe 4** : Couche SIG de l'enveloppe de l'aléa inondation pour Qexcp
- ✚ **Annexe 5** : Couche SIG de l'aléa lissé complet
- ✚ **Annexe 6** : Couche SIG point des cotes PHE pour Q93
- ✚ **Annexe 7** : Couche SIG point des cotes PHE pour Qexcp
- ✚ **Annexe 8** : Couche SIG point du modèle topographique
- ✚ **Annexe 9** : Fichier Excel des quatre pluies injectées dans la modélisation
- ✚ **Annexe 10** : Fichier Excel des hydrogrammes des débits extraits du modèle de surface pour les quatre occurrences
- ✚ **Annexe 11** : Vidéo des résultats de la dynamique de crue pour Q93
- ✚ **Annexe 12** : Couche SIG des résultats Q10 contenant Hmax, Vmax, Nmax

Les fichiers SIG fournis sont géoréférencés dans le système de coordonnées RGF93 / CC44 (EPSG: 3944).