Aix-Marseille-Provence

Territoire Marseille-Provence

Schéma Directeur Pluvial

(MS17)

Marché n°13-138-17

Rapport de Phase 4 et 5

Diagnostic pluvial

37657 | Décembre 2017 | v.3

Etude réalisée avec le concours financier de l'Agence de l'Eau RMC et du Conseil Départemental des Bouches du Rhône

Agence de Vitrolles
5, chemin des Gorges de Cabriès
13127 Vitrolles

T : 04 86 15 62 50
F : 04 86 15 62 48

Directeur d'affaire : OVE

Responsable d'affaire : BLN

N°affaire : 016 37657

Fichier :

37657_RAP_AMP_MPMSDEP_Phase4_v3.docx

ACRI-IN/HGM - Hôtel
Technologique de Château
Gombert
5, rue F. Joliot Curie
13013 Marseille

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
0	10/04/2017	CIV/BLN	OVE		Création
1	01/09/2017	CIV/BLN	OVE		Ajout cartes secteur ouest
2	14/09/2017	CIV/BLN/ML	OVE		Ajout cartes secteur est
3	01/12/2017	CIV/BLN/BS	OVE	103	Mise à jour des cartes de diagnostic

SOMMAIRE

1 Introduction 10

1.1 Contexte et objectifs de l'étude 10

1.2 Phasage de l'étude 10

1.3 Démarche générale des phases 3, 4 et 5 11

2 Définition des pluies de projet 12

2.1 Rappels sur la nouvelle référence pluviométrique 12

2.2 Construction des hyétogrammes des pluies 12

3 Construction des modèles hydrauliques 15

3.1 Découpage en sous-modèles 15

3.2 Logiciel Hydra 15

3.2.1 Architecture de la Plateforme 16

3.2.2 Présentation de l'IHM 18

3.2.3 Partenariat 18

3.3 Objets modélisés 19

3.3.1 Bassins versants 19

3.3.2 Regards 22

3.3.3 Tronçons 22

3.3.4 Singularités hydrauliques 24

3.3.5 Les conditions limites aval 27

3.3.6 Renseignement des pluies et paramétrage des scénarios de simulation 28

3.3.7 Visualisation des résultats 29

4 Calcul des débits capables 30

4.1 Formules 30

4.2 Résultats 31

5 Calcul des débits hydrologiques 33

5.1 Méthodologie 33

5.2 Résultats 34

5.2.1 Châteauneuf-les-Martigues – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 36

5.2.2 Gignac-la-Nerthe – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 38

5.2.3 Marignane – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 40

5.2.4 Saint-Victoret – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 42

5.2.5 Sausset-les-Pins – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 44

5.2.6 Carry-le-Rouet – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 46

5.2.7 Ensuès-la-Redonne – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 48
5.2.8 Le Rove – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 50
5.2.9 Septèmes-les-Vallons – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 52
5.2.10 Allauch – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 54
5.2.11 Plan-de-Cuques – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 58
5.2.12 Marseille – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 60
5.2.13 Cassis – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 61
5.2.14 Carnoux-en-Provence – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 63
5.2.15 Gémenos – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 65
5.2.16 Roquefort-la-Bédoule – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 67
5.2.17 Ceyreste – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 69
5.2.18 La Ciotat – Débits hydrologiques & diamètres équivalents 71
6 Diagnostic hydraulique 73
6.1 Méthodologie 73
6.2 Calage des modèles 73
6.2.1 Ajustement de la pluviométrie / notion d'abattement spatial 73
6.2.2 Ajustement des coefficients de ruissellement 74
6.2.3 Résultats du calage 75
6.3 Résultats 76
6.3.1 Châteauneuf-les-Martigues – Diagnostic hydraulique 78
6.3.2 Gignac-la-Nerthe – Diagnostic hydraulique 79
6.3.3 Marignane – Diagnostic hydraulique 80
6.3.4 Saint-Victoret – Diagnostic hydraulique 81
6.3.5 Sausset-les-Pins – Diagnostic hydraulique 82
6.3.6 Carry-le-Rouet – Diagnostic hydraulique 83
6.3.7 Ensuès-la-Redonne – Diagnostic hydraulique 84
6.3.8 Le Rove – Diagnostic hydraulique 85
6.3.9 Septèmes-les-Vallons – Diagnostic hydraulique 86
6.3.10 Allauch – Diagnostic hydraulique 87
6.3.11 Plan-de-Cuques – Diagnostic hydraulique 89
6.3.12 Marseille – Diagnostic hydraulique 90
6.3.13 Cassis – Diagnostic hydraulique 91
6.3.14 Carnoux-en-Provence – Diagnostic hydraulique 92
6.3.15 Gémenos – Diagnostic hydraulique 93
6.3.16 Roquefort-la-Bédoule – Diagnostic hydraulique 95
6.3.17 Ceyreste – Diagnostic hydraulique 96
6.3.18 La Ciotat – Diagnostic hydraulique 97

7 Fichiers numériques fournis 99
7.1 Modèles Hydra 99
7.2 Fichiers shape 99

ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Schématisation d'une pluie double triangle 13
Figure 2 : Hyétogrammes des pluies constituant la nouvelle référence 14
Figure 3 : Vue générale de l'IHM 18
Figure 4 : Fenêtre de paramétrage d'un bassin versant sous Hydra 19
Figure 5 : Schéma conceptuel du modèle à réservoir linéaire 21
Figure 6: Fenêtre de paramétrage d'un regard sous Hydra 22
Figure 7 : Fenêtre de paramétrage d'un tronçon – onglet paramètres 23
Figure 8 : Fenêtre de paramétrage d'un tronçon - géométrie 23
Figure 9 : Fenêtre de la bibliothèque de sections 24
Figure 10 : Représentation d'un bassin de rétention sous Hydra 25
Figure 11 : Fenêtre de paramétrage d'une vanne (gate) 26
Figure 12 : Fenêtre de paramétrage d'un seuil (weir) 26
Figure 13 : Fenêtre de paramétrage d'une liaison de type pompage (pump derivation) 27
Figure 14 : Fenêtre de paramétrage d'une pluie sous Hydra 28
Figure 15 : Fenêtre de visualisation d'un hydrogramme ponctuel 29
Figure 16 : Fenêtre de visualisation d'un profil en long sous Hydra 29
Figure 17 : Cartographie des débits capables – Châteauneuf-les-Martigues 32
Figure 18 : Débits hydrologiques décennaux – Châteauneuf-les-Martigues 36
Figure 19 : Diamètres équivalents décennaux – Châteauneuf-les-Martigues 37
Figure 20 : Débits hydrologiques décennaux - Gignac-la-Nerthe 38
Figure 21 : Diamètres équivalents décennaux - Gignac-la-Nerthe 39
Figure 22 : Débits hydrologiques décennaux - Marignane 40
Figure 23 : Diamètres équivalents décennaux - Marignane 41
Figure 24 : Débits hydrologiques décennaux - Saint-Victoret 42
Figure 25 : Diamètres équivalents décennaux - Saint-Victoret 43
Figure 26 : Débits hydrologiques décennaux - Sausset-les-Pins 44
Figure 27 : Diamètres équivalents décennaux - Sausset-les-Pins 45
Figure 28 : Débits hydrologiques décennaux - Carry-le-Rouet 46
Figure 29 : Diamètres équivalents décennaux – Carry-le-Rouet 47

Figure 30 : Débits hydrologiques décennaux - Ensuès-la-Redonne 48
Figure 31 : Diamètres équivalents décennaux - Ensuès-la-Redonne 49
Figure 32 : Débits hydrologiques décennaux - Le Rove 50
Figure 33 : Diamètres équivalents décennaux – Le Rove 51
Figure 34 : Débits hydrologiques décennaux - Septèmes-les-Vallons 52
Figure 35 : Diamètres équivalents décennaux - Septèmes-les-Vallons 53
Figure 36 : Débits hydrologiques décennaux-Allauch (1) 54
Figure 37 : Débits hydrologiques décennaux- Allauch (2) 55
Figure 38 : Diamètres équivalents décennaux – Allauch (1) 56
Figure 39 : Diamètres équivalents décennaux – Allauch (2) 57
Figure 40 : Débits hydrologiques décennaux - Plan-de-Cuques 58
Figure 41 : Diamètres équivalents décennaux – Plan-de-Cuques 59
Figure 42 : Débits hydrologiques décennaux- Cassis 61
Figure 43 : Diamètres équivalents décennaux - Cassis 62
Figure 44 : Débits hydrologiques décennaux - Carnoux-en-Provence 63
Figure 45 : Diamètres équivalents décennaux – Carnoux-en-Provence 64
Figure 46 : Débits hydrologiques décennaux - Gémenos 65
Figure 47 : Diamètres équivalents décennaux – Gémenos 66
Figure 48 : Débits hydrologiques décennaux - Roquefort-la-Bédoule 67
Figure 49 : Diamètres équivalents décennaux – Roquefort-la-Bédoule 68
Figure 50 : Débits hydrologiques décennaux - Ceyreste 69
Figure 51 : Diamètres équivalents décennaux - Ceyreste 70
Figure 52 : Débits hydrologiques décennaux - La Ciotat 71
Figure 53 : Diamètres équivalents décennaux – La Ciotat 72
Figure 54 : Hydrogrammes produits par les 2 modèles pour 3 pluies décennales 75
Figure 55 : Comparaison des valeurs maximales de débits (modèle Hydra / SDEP 95) secteur Jarret et affluents 76
Figure 56 : Diagnostic hydraulique - Châteauneuf-les-Martigues 78
Figure 57 : Diagnostic hydraulique - Gignac-la-Nerthe 79
Figure 58 : Diagnostic hydraulique - Marignane 80
Figure 59 : Diagnostic hydraulique - Saint-Victoret 81
Figure 60 : Diagnostic hydraulique - Sausset-les-Pins 82
Figure 61 : Diagnostic hydraulique - Carry-le-Rouet 83
Figure 62 : Diagnostic hydraulique – Ensuès-la-Redonne 84
Figure 63 : Diagnostic hydraulique - Le Rove 85
Figure 64 : Diagnostic hydraulique - Septèmes-les-Vallons 86
Figure 65 : Diagnostic hydraulique - Allauch (1) 87

Figure 66 : Diagnostic hydraulique - Allauch (2) *88*
Figure 67 : Diagnostic hydraulique - Plan-de-Cuques *89*
Figure 68 : Diagnostic hydraulique - Cassis *91*
Figure 69 : Diagnostic hydraulique – Carnoux-en-Provence *92*
Figure 70 : Diagnostic hydraulique - Gémenos (1) *93*
Figure 71 : Diagnostic hydraulique - Gémenos (2) *94*
Figure 72 : Diagnostic hydraulique - Roquefort-la-Bédoule *95*
Figure 73 : Diagnostic hydraulique - Ceyreste *96*
Figure 74 : Diagnostic hydraulique - La Ciotat (1) *97*
Figure 75 : Diagnostic hydraulique - La Ciotat (2) *98*

TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des pluies modélisées *28*

ANNEXES

Cartes des débits hydrologiques, diamètres équivalents et cartes de diagnostic de Marseille

Modèles conceptuels de données des modèles hydrologiques et hydrauliques

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Le Schéma Directeur des Eaux Pluviales est un outil de planification d'études et de travaux dans le cadre d'une prise en compte globale de l'assainissement pluvial et du développement urbain.

Depuis la création de la métropole Aix-Marseille-Provence, la compétence pluviale est transférée des communes du territoire Marseille Provence à la Direction de l'Eau de l'Assainissement et du Pluvial (DEAP).

Ainsi, les 18 communes membres du territoire **M**arseille **P**rovence (anciennement MPM) dans la métropole **A**ix-**M**arseille-**P**rovence font partie du secteur d'étude.

Par la suite ces deux entités seront dénommées par leur acronyme à savoir **MP** et **AMP**.

1.2 PHASAGE DE L'ÉTUDE

Le Schéma Directeur est articulé autour des neuf phases principales, qui s'articulent de la manière suivante :

- Phase 1 : bibliographie, recueil des données et analyse critique,
- Phase 2 : connaissance du réseau et des ouvrages, enquêtes de terrain,
- Phase 3 : analyse hydrologique,
- Phase 4 : découpage en tronçons homogènes et débits capables,
- Phase 5 : diagnostic pluvial,
- Phase 6 : définition des zones inondables complémentaires,
- Phase 7 : analyse et mesure qualité des eaux et recommandations,
- Phase 8 : propositions de règlementation type PLUI,
- Phase 9 : enjeux et propositions d'aménagements.

Le présent document traite des phases 3, 4 et 5 de l'étude dont les objectifs sont les suivants :

- Calcul des débits hydrologiques en chaque nœud du réseau,
- Découpage en tronçons homogènes et calcul des débits capables,
- Diagnostic pluvial.

1.3 DÉMARCHE GÉNÉRALE DES PHASES 3, 4 ET 5

A l'issue de l'analyse hydrologique réalisée en phase 3 nous disposons d'une nouvelle référence pluviométrique homogène sur l'ensemble du territoire. Cette référence est utilisée pour définir les pluies de projet de période de retour 1 an à 100 ans et établir le diagnostic du réseau eaux pluviales.

Nous proposons de mettre en œuvre un seul logiciel de calculs hydrauliques qui comprend le module hydrologique et le module hydraulique pour établir le diagnostic hydraulique.

Il se déroule en 5 étapes :

1) Découpage du réseau en tronçons homogènes (phase 4),
2) Calcul des débits capables (phase 4),
3) Calcul des débits hydrologiques théoriques (phase 3),
4) Calcul des diamètres équivalents théoriques (phase 5),
5) Diagnostic hydraulique (phase 5).

L'ensemble de ces étapes est présenté dans le présent document qui traite donc des phases 3, 4 et 5.

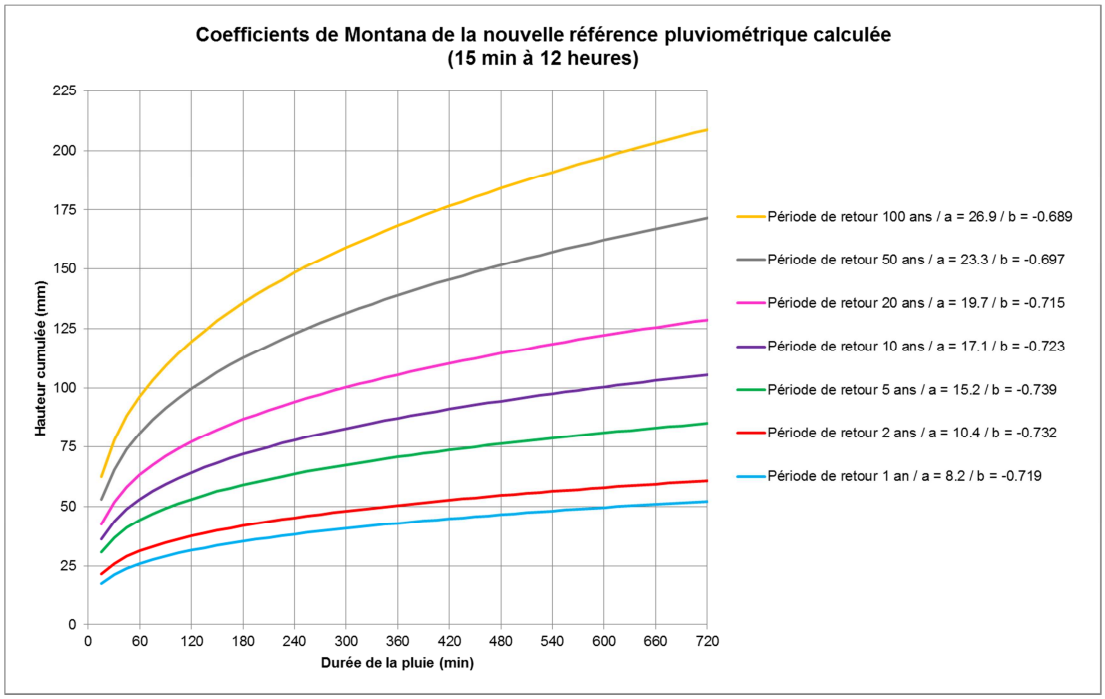
2 DÉFINITION DES PLUIES DE PROJET

2.1 RAPPELS SUR LA NOUVELLE RÉFÉRENCE PLUVIOMÉTRIQUE

Les ajustements par la méthode du renouvellement réalisés à partir des mesures DEAP et les données Meteo France des stations de Marseille, Marignane et Cassis ont été analysées et consolidées pour définir une nouvelle référence pluviométrique sur l'ensemble du territoire.

Les valeurs jugées les moins fiables ont été écartées du calcul et il a été jugé peu pertinent de définir plusieurs jeux de coefficients sur plusieurs secteurs géographiques au regard de l'analyse spatiale des données existantes.

L'ensemble des coefficients de Montana calculés de la nouvelle référence pluviométrique sont représentés sur le graphique suivant avec les courbes durée-intensité-fréquence :



2.2 CONSTRUCTION DES HYÉTOGRAMMES DES PLUIES

Nous proposons de définir 3 pluies de projet double-triangle pour chaque période de retour T.

Elles sont définie par :

- Le cumul de période de retour T_2 sur la période intense,
- Le cumul de période de retour T sur la durée totale de l'événement.

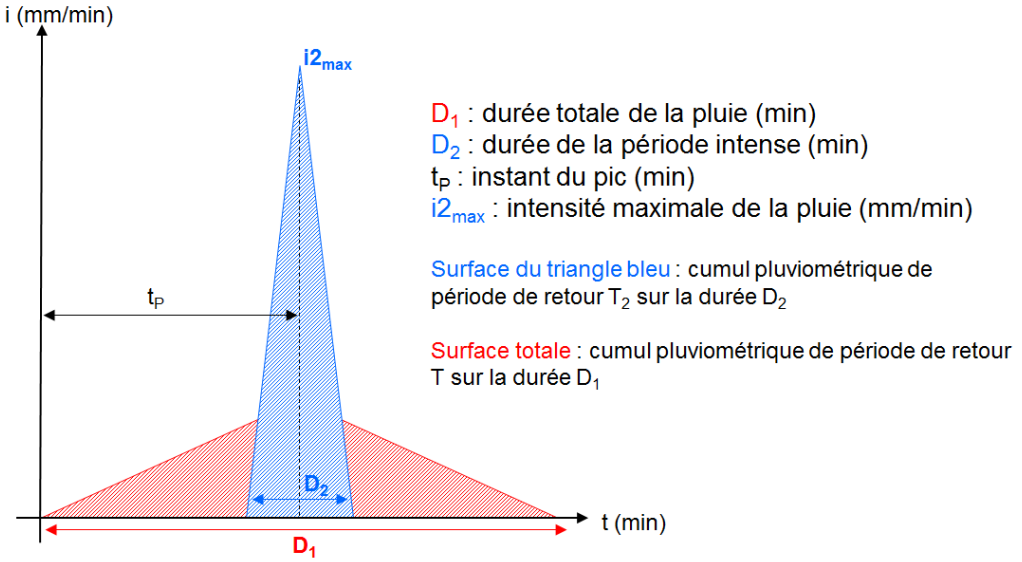


Figure 1 : Schématisation d'une pluie double triangle

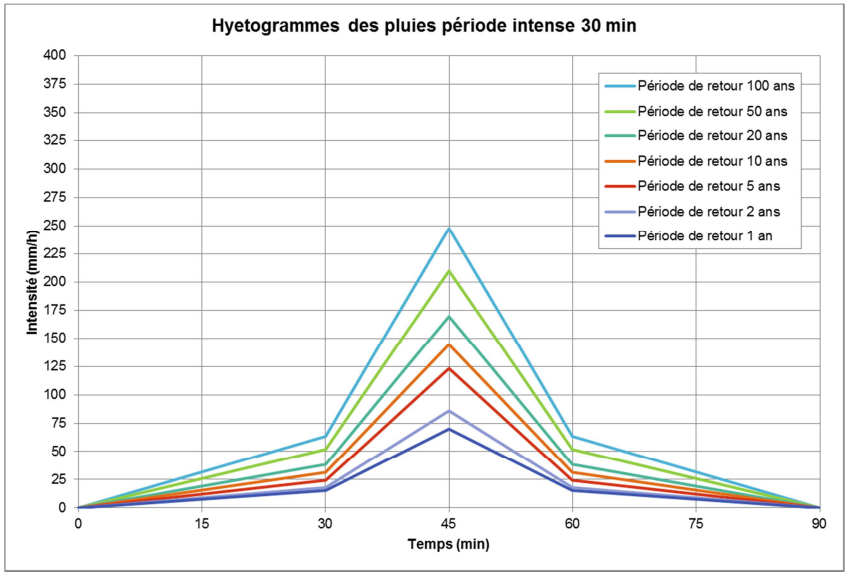
Généralement T_2 est pris égal à 2 x T. On peut également opter pour T_2 = T, ce qui permet de simuler un épisode pour lequel la période de retour est identique sur la durée totale et sur la durée intense. C'est ce qui est proposé ici.

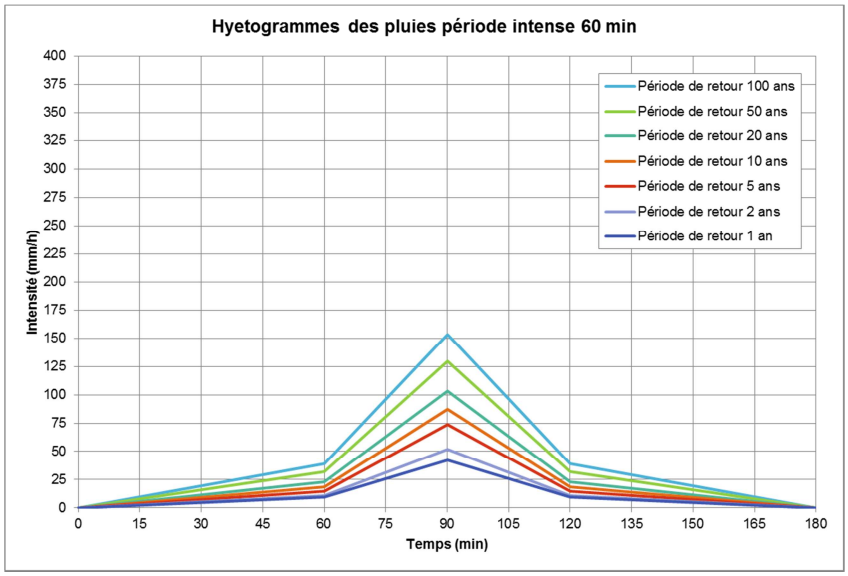
La durée D_1 sera égale à 3 x D_2.

La durée D_2 sera égale à 30 min, 1 heure et 2 heures afin de solliciter les têtes de bassins versants de surface « modeste » aussi bien que les grands bassins versant comme le Jarret ou les Aygalades et d'obtenir le débit maximum possible à chaque point du réseau. Le débit hydrologique théorique pour chaque période de retour et à chaque point du réseau sera donc calculé comme le maximum des débits calculés pour ces 3 pluies de projet.

La pluie sera appliquée de façon homogène sur chaque commune et/ou unité hydrologique.

Les hyétogrammes des pluies sont présentés ci-dessous :





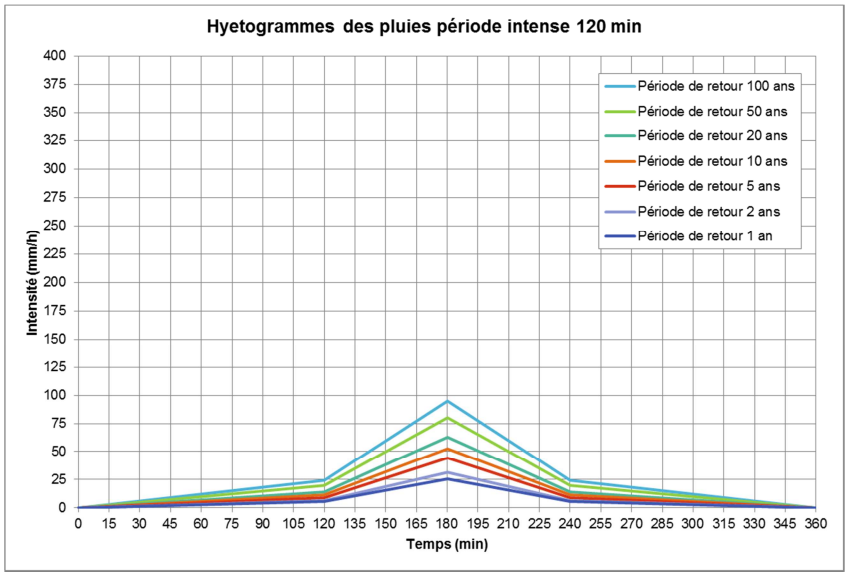


Figure 2 : Hyétogrammes des pluies constituant la nouvelle référence

3 CONSTRUCTION DES MODÈLES HYDRAULIQUES

3.1 DECOUPAGE EN SOUS-MODELES

La majeure partie des communes du secteur d'études sont hydrauliquement indépendantes. Seules les communes de Marseille, Septèmes-les-Vallons, Allauch et Plan-de-Cuques, d'une part et Ceyreste, La Ciotat d'autre part, et Cassis, Carnoux-en-Provence et Roquefort-la-Bédoule d'autre part, constituent trois entités hydrauliques homogènes.

Ainsi, 12 modèles hydrauliques sont construits pour couvrir l'ensemble du territoire :

Bassin versant	***Commune***	***Identifiant du modèle***
Etang de Bolmon / Etang de Berre	Châteauneuf-les-Martigues	CHN
	Gignac-la-Nerthe	GNC
	Marignane	MRG
	Saint-Victoret	SVC
Côte Bleue	Le Rove	LRV
	Carry-le-Rouet	CLR
	Ensuès-la-Redonne	ELR
	Sausset-les-Pins	SST
Littoral Marseille	Allauch	MRS
	Marseille	
	Plan-de-Cuques	
	Septèmes-les-Vallons	
Baie de Cassis et Baie de La Ciotat	Carnoux-en-Provence	CSS
	Cassis	
	Roquefort-la-Bédoule	
	La Ciotat	LCT
	Ceyreste	
	Gémenos	GEM

3.2 LOGICIEL HYDRA

Nous proposons de construire les modèles hydrauliques à l'aide de la plateforme de modélisation **Hydra.** Cette plateforme constitue une évolution majeure dans le domaine de l'hydro-informatique. Elle a été mise au point pour modéliser les processus hydrologiques et hydrauliques dans les agglomérations et permet de refondre en une seule entité de modélisation les modèles d'assainissement urbains et les modèles hydrauliques de plaines inondables.

Hydra est développé par Setec Hydratec et bénéficie de plus de trente ans de développements pour suivre au mieux l'évolution des besoins de modélisation dans les deux domaines précités.

Hydra répond parfaitement aux besoins techniques exprimés et permet :

- Le couplage des modèles hydrologiques et des modèles hydrauliques 1D / 2D, en surface mais également 1D souterrain / 1D ou 2D de surface,
- La modélisation en régime transitoire, nécessaire à une bonne compréhension de la dynamique générale de genèse et de propagation des crues,
- La prise en compte de l'ensemble des ouvrages hydrauliques (franchissement, sections souterraines, vannages, …).

Hydra sera diffusé gratuitement à compter du second semestre 2017, en version de base. Cette version permettra d'accéder à la géométrie des modèles réalisés dans le cadre de la présente mission, de les modifier et de les étendre, et de rejouer des calculs.

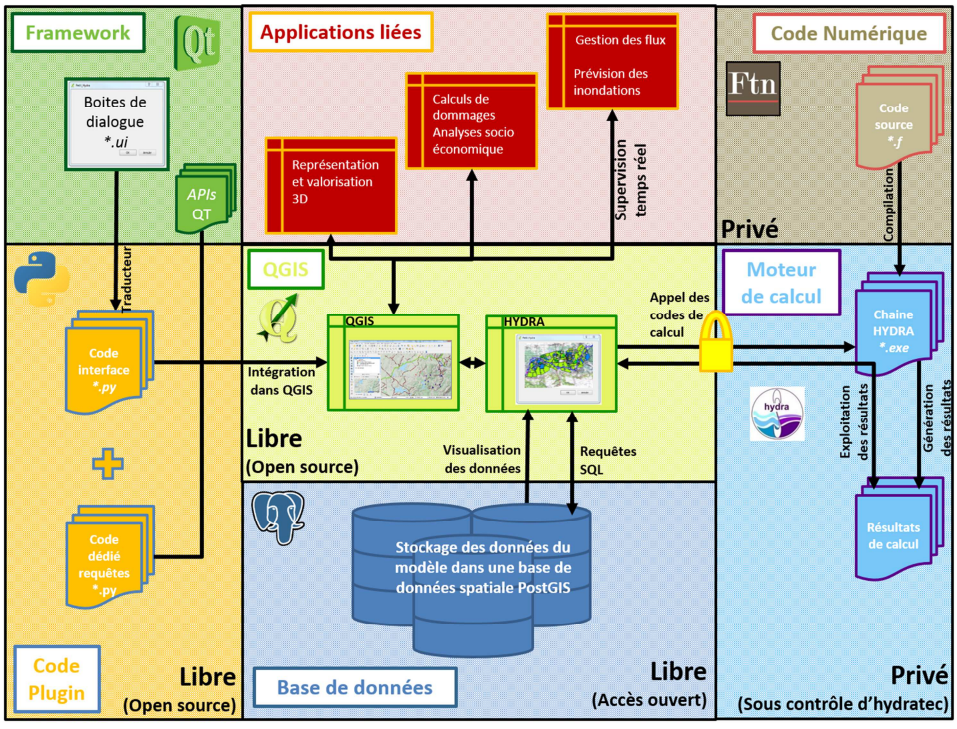
3.2.1 Architecture de la Plateforme

L'architecture logicielle de la plateforme **Hydra** et le choix des composants de développements répond à la demande exprimée dans la circulaire interministérielle *5608/SG* :

« Désormais, pour répondre aux besoins métiers, le logiciel libre doit être considéré à égalité avec les autres solutions. C'est dans cette évolution que s'inscrit l'usage du logiciel libre dans l'administration. »

- Circulaire interministérielle 5608/SG du 19/09/2012

Le schéma suivant décrit les différents composants sous-jacents à la nouvelle plateforme :



QGIS

L'application est développée dans l'environnement *Qgis*. Plusieurs grandes raisons nous ont poussés à faire ce choix :

- *Qgis* est un logiciel SIG (système d'information géographique) libre, multi plateforme, publié sous licence GPL[1].
- *Qgis* permet de développer et d'implémenter des fonctionnalités complémentaires ou applications spécifiques sous forme de plugins.

  Ces Plugins sont développés avec le langage *Python*, un langage de programmation orientée objet très répandu dans le monde scientifique.
- L'Etat Français pousse au déploiement de *Qgis* dans l'administration, dans le prolongement de la circulaire interministérielle *5608/SG* visant à promouvoir et encadrer le déploiement des logiciels libres.

QT

QT est le Frameworks qui sert pour la génération des boites de dialogues, menus et autres formulaires.

PostGRE et PostGIS

La réflexion concernant le choix du stockage des données a abouti d'une part à la restructuration de ces données, et d'autre part à la recherche d'une solution technique pour le stockage de celles-ci. Le choix retenu est celui de *PostGRE* et *PostGIS*, qui sont une solution de bases de données libres. *PostGIS* est l'extension de *PostGRE* qui active la manipulation d'informations géographiques sous forme de géométries, afin de pouvoir être gérées par un SIG.

Ce choix est effectué sur la base de la forte compatibilité entre *PostGIS* et *Qgis*. *PostGIS* est un système dédié au stockage de données SIG, donc parfaitement adapté à l'utilisation qui en sera faite.

Code de calcul

Le cœur de calcul *HYDRA* reste inchangé. La structure des données constitutives du modèle restant cohérente avec les modèles actuels (afin de garantir la compatibilité ascendante de la gamme *HYDRA*), les *exe* de calcul (développés en fortran) sont appelés par l'IHM.

Cette architecture présente un intérêt double :

- Le choix de composants « open source » pour le développement de l'IHM autorise l'enrichissement progressif de la plateforme par des applications parallèles, développables par des tiers : les codes sources sont accessibles à tout un chacun.
- Le code de calcul Hydra proprement dit est conçu pour travailler en mode esclave : il peut être vu comme un plug in externe appelé par la plateforme. La maîtrise en interne de ce moteur de calcul fait appel à des compétences métiers propres à Setec Hydratec et conditionne directement la réussite du projet de modélisation. Il n'est donc pas prévu dans l'immédiat de faire migrer le code de calcul Hydra en produit open source.

[1] (*Licence Publique Générale*, licence fixant les conditions de distribution des logiciels libres du projet *GNU* - *GNU* est un projet de système d'exploitation libre et participatif débuté en 1983)

3.2.2 Présentation de l'IHM

La figure ci-dessous présente une vue générale de l'interface :

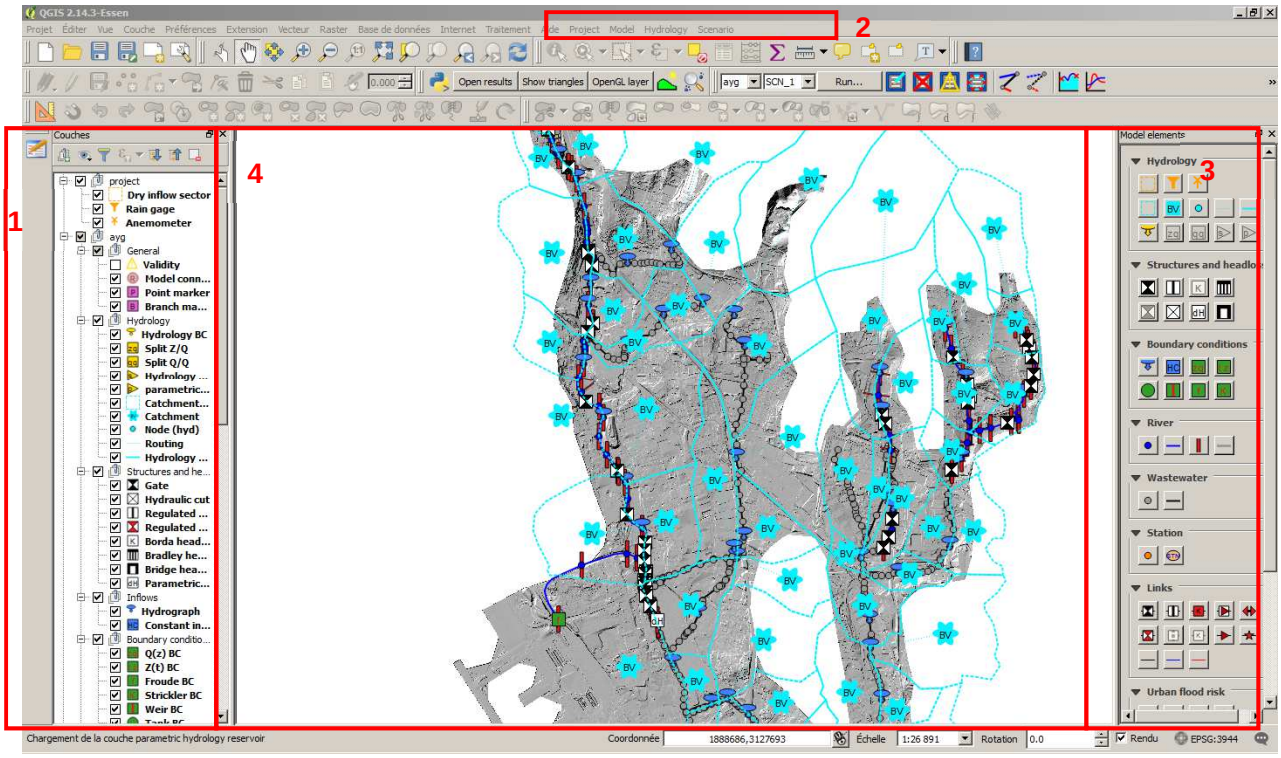


Figure 3 : Vue générale de l'IHM

1- Gestionnaire de couches : gestion de l'affichage des objets géographique, y compris analyses thématiques, étiquettes, …
   a. Objets de modélisation (possibilité de charger plusieurs sous modèles)
   b. Données topographiques exploitées (MNT raster, semis de points, …)
   c. Résultats de calcul
   d. Fonds de plan (orthophotos, scan25, cadastre, …)

2- Menu principal :
   a. Création, ouverture des modèles
   b. Paramétrage des scénarios de calculs (appels des fichiers hydrométriques externes, paramétrage numérique, …)
   c. Exploitation des résultats de modélisation

3- Objet de modélisation

4- Espace de travail

3.2.3 Partenariat

La Plateforme Hydra est développée en partenariat avec IGN dans le cadre du programme IGNfab :

3.3 OBJETS MODÉLISÉS

Les différents objets constituant les modèles hydrauliques construits sous Hydra (ainsi que leurs paramètres de réglage) sont présentés ci-dessous. Ces objets se divisent en différentes catégories :

- Objets ponctuels : bassin versant, regard, singularité hydraulique, …
- Objets linéaires : collecteur, liaison hydraulique, …
- Objets surfaciques : non utilisés ici

3.3.1 Bassins versants

Dans le logiciel Hydra, les bassins versants sont représentés par des objets ponctuels au niveau desquels sont renseignés d'une part les paramètres descriptifs intrinsèques au bassin nécessaires aux calculs hydrologiques (pente, longueur hydraulique, coefficient d'imperméabilisation, …) et d'autre part le choix des fonctions de production et de transfert du modèle pluie / débit. Une représentation du contour des bassins est disponible mais elle n'a qu'une vocation informative visuelle, elle n'intervient pas dans les calculs et il n'est pas nécessaire de la renseigner dans le modèle. La fenêtre de paramétrage d'un bassin versant sous Hydra est présentée ci-dessous :

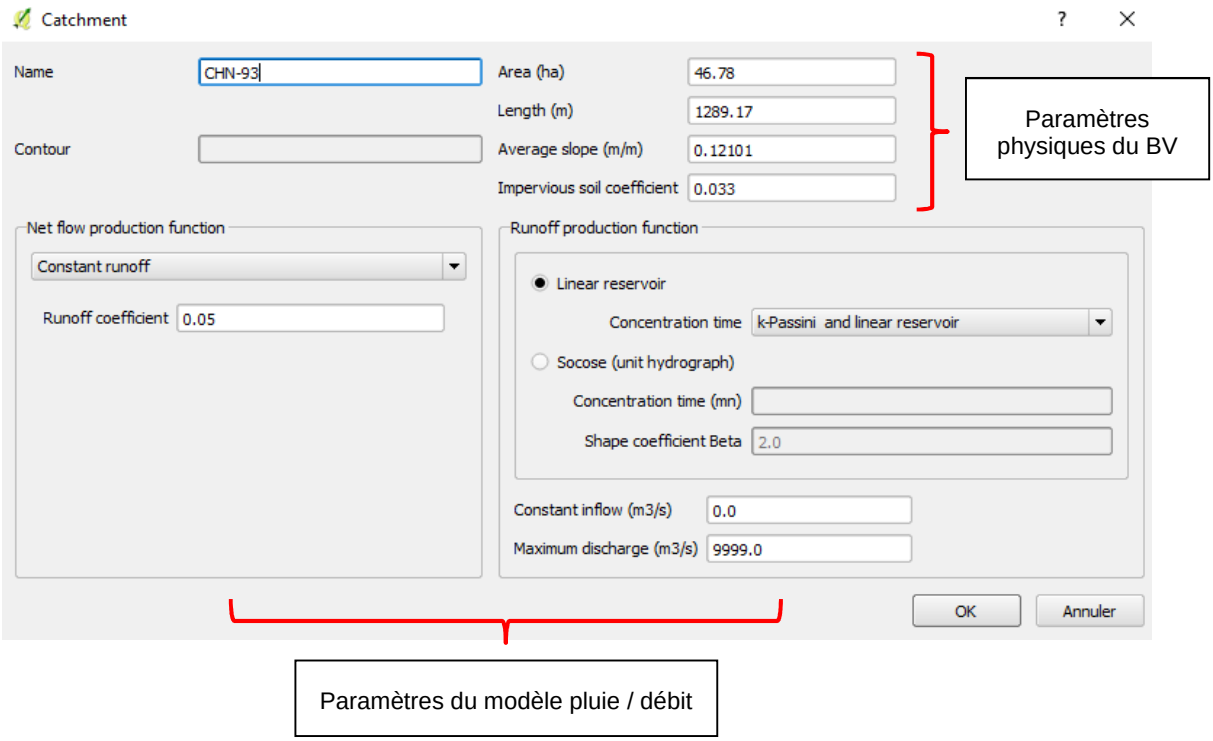


Figure 4 : Fenêtre de paramétrage d'un bassin versant sous Hydra

Concernant le modèle de transformation pluie débit (module hydrologique), nous avons retenu les paramètres suivants :

- **Fonction de production :** Ruissellement constant (constant runoff).
- **Fonction de transfert :** Méthode du réservoir linéaire / formule de Desbordes (BV urbains), méthode du réservoir linéaire / formule de Passini (BV ruraux).

La fonction de production permet de transformer la lame d'eau précipitée sur le bassin (pluie brute) en une lame d'eau ruisselée (pluie nette ou efficace) représentant la fraction réelle de la pluie constituant le débit observé à l'exutoire du bassin versant. La différence entre ces 2 lames d'eau correspond aux pertes par ruissellement, par interception du couvert végétal, infiltration ou encore évapotranspiration. Dans la méthode du coefficient de ruissellement constant, la lame d'eau $Q_e(t)$ est reliée à tout instant à l'intensité de la pluie brute i(t) par l'équation suivante :

$$Q_e(t) = C_r \times i(t) \times \frac{1}{360}$$

Avec C_r : coefficient de ruissellement constant au cours du temps

En considérant le coefficient de ruissellement constant tout au long de l'évènement pluvieux modélisé, cette méthode ne permet pas de prendre en compte l'évolution de l'état de saturation du sol et son impact sur la part du volume d'eau ruisselé (cette part devant théoriquement augmenter au cours du temps en fonction du taux de saturation du sol). Les pertes sont considérées comme continues et proportionnelles à la pluie brute. En conséquence, cette méthode apparaît particulièrement adéquate à la modélisation de bassins versants urbains, présentant des taux d'imperméabilisation élevés, impliquant une contribution très faible des sols perméables au ruissellement, quel que soit leur niveau de saturation.

Dans le cadre de la présente étude, il a été retenu de fixer le coefficient de ruissellement égal au coefficient d'imperméabilisation pour les bassins versants urbains (C_{imp} > 0.2). Ce choix repose pour partie sur l'utilisation de pluies de projet de type double triangle présentant des pics d'intensité élevés, pour lesquels les phénomènes de ruissellement au niveau des surfaces imperméables sont maximisés. Dans ces conditions, il est admis que la contribution des surfaces perméables aux phénomènes de ruissellement devient négligeable.

Concernant les bassins versants dits « ruraux » (C_{imp} < 0.2), nous avons également retenu la méthode du coefficient de ruissellement constant, en fixant ce dernier égal à 5% (0.05), quel que soit le bassin considéré. Ce choix permet de tenir compte des apports en provenance des zones naturelles situées en périphérie des secteurs urbanisés et contribuant au ruissellement urbain. Les bassins versants en question ont été généralement délimités à des échelles plus larges qu'en milieu urbain, sur la base d'une analyse purement topographique et couvrent des surfaces de plusieurs dizaines d'hectares. A de telles échelles, les valeurs d'entrée des paramètres physiques (pente, longueur hydraulique) sont moyennées et ne permettent pas de rendre compte de la complexité de l'ensemble du système (dépressions topographiques locales, variations de pente, écoulements diffus). Par ailleurs, l'occupation du sol en milieu naturel est en constante mutation : évolution du couvert végétal en fonction des saisons et des évènements climatiques ou accidentels (incendies notamment), et rend de ce fait la détermination précise d'un coefficient d'imperméabilisation relativement complexe, de même que la géologie avec la présence potentielle de zones karstiques. Compte tenu de cette problématique, suite à différents tests de sensibilité, nous avons choisi de retenir la valeur de 5% pour le coefficient de ruissellement sur ces bassins versants.

La fonction de transfert permet quant à elle la déformation du signal de la pluie et son transfert depuis le bassin versant jusqu'au réseau en aval, il s'agit de la transformation de la pluie en débit à proprement dit. Il existe différentes fonctions de transfert, basées sur des modèles conservatifs, ce qui signifie que le volume de l'hydrogramme de sortie en aval du bassin versant est égal au volume du hyétogramme de pluie nette d'entrée du modèle. Sous Hydra, 2 modèles de fonctions de transfert sont disponible : le réservoir linéaire et l'hydrogramme unitaire (méthode Socose).

Dans le cadre de la présente étude, nous avons retenu le modèle du réservoir linéaire (dont le schéma conceptuel est présenté ci-dessous) pour lequel chaque bassin versant est perçu comme un réservoir qui temporise l'arrivée des pluies – de manière linéaire -

pour en restituer un débit, tout en conservant le volume d'eau précipité (voir ci-dessous). Le choix de ce modèle a été motivé du fait de sa capacité, en association avec les pluies de projet de type double triangle, à relativement bien représenter le fonctionnement des réseaux d'assainissement urbains.

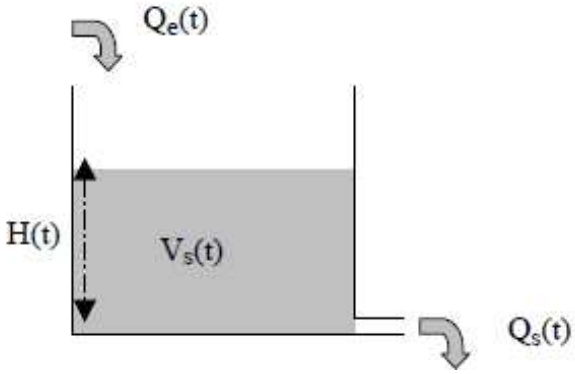


Figure 5 : Schéma conceptuel du modèle à réservoir linéaire

Equation de temporisation linéaire : $V(t) = K \cdot Q_s(t)$

Equation de conservation du volume : $\frac{dV(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t)$

Dans ce modèle, le seul paramètre d'ajustement disponible correspond à K (homogène à un temps), et est appelé « lag time » ou temps de réponse du bassin versant. Son estimation peut être effectuée par différentes expressions, 3 sont disponibles dans Hydra, principalement en fonction du type de bassin considéré.

Pour les bassins versants urbains, nous avons retenu la formule de Desbordes pour le calcul du lag time, en raison de son domaine d'application, valide pour des coefficients de ruissellement compris entre 0.2 et 1. Cette formule est la suivante :

$$K = 5.07 \,.\, A^{0.18} . I^{-0.36} . (1 + C)^{-1.9} . L^{0.15} . D^{0.21} . H^{-0.07}$$

Avec :

A : superficie du bassin versant (Ha)

I : pente équivalente du bassin versant (%)

C : coefficient de ruissellement

L : longueur hydraulique du bassin versant (m)

D : durée de la pluie intense (mn)

H : hauteur cumulée sur la période D (mm)

Pour les bassins versants ruraux, nous avons retenu la formule de Passini pour le calcul du lag time, cette dernière présentant un domaine de validité préférentiel pour les zones rurales (C_{imp} < 0.2). Cette formule permet de calculer le temps de concentration (T_c) d'un bassin versant, puis de lui appliquer un facteur de 0.8 pour obtenir le lag time (K). Son expression est la suivante :

$$T_c = 0.14 \times \frac{S \times L^{1/3}}{\sqrt{P}}$$

Avec :

S : superficie du bassin versant (Ha)

L : longueur hydraulique du bassin versant (m)

P : périmètre du bassin versant (m)

3.3.2 Regards

Les regards sont des objets ponctuels matérialisant les extrémités des collecteurs, sur lesquels ces derniers sont attachés. Les paramètres à renseigner au niveau d'un regard sont :

- L'altitude (Ground elevation)
- La surface au sol (Area)

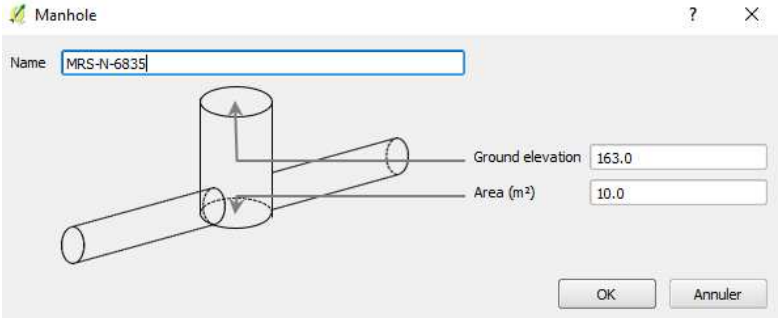


Figure 6: Fenêtre de paramétrage d'un regard sous Hydra

3.3.3 Tronçons

Les tronçons sont des objets linéaires (constituant le domaine filaire du modèle) au niveau desquels transitent les différents débits modélisés par le logiciel. Le tracé des différents linéaires modélisés est issu de la BD réseaux produite en phase 2. Les objets de modélisation de type tronçons et regards ont été importés dans Hydra directement à partir des couches SIG « tronçon » et « pt_acces », après une sélection des éléments stratégiques (exclusion des tronçons et regards « flottants », des branches secondaires de faible diamètre (< Ø 200)). Les informations nécessaires à la modélisation (sections, cotes radier, cotes TN) ont été récupérées dans ces mêmes données SIG et par endroits complétées avec des relevés terrains ainsi que par les données fournies par AMPMP (notamment les MNT pour les cotes TN des regards).

Dans Hydra, il existe 3 types principaux de géométries de tronçons permettant de représenter l'ensemble des configurations de collecteurs existantes :

- Tronçon circulaire
- Tronçon paramétrique fermé
- Tronçon paramétrique ouvert

Les paramètres de base à renseigner pour chacun de ces types de tronçon sont identiques (voir Figure 7 ci-dessous), à l'exception de la géométrie qu'il est nécessaire de renseigner pour les tronçons paramétriques ouverts ou fermés (cf. Figure 8).

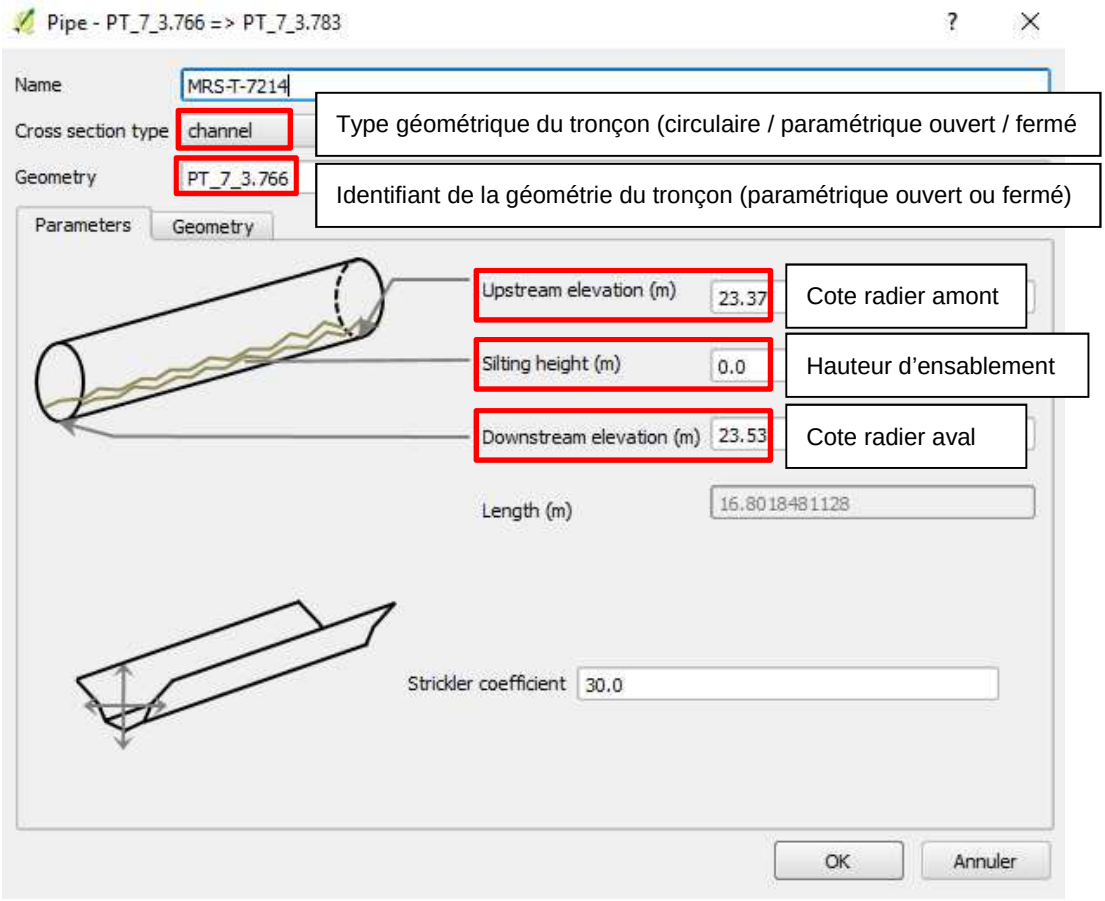


Figure 7 : Fenêtre de paramétrage d'un tronçon – onglet paramètres

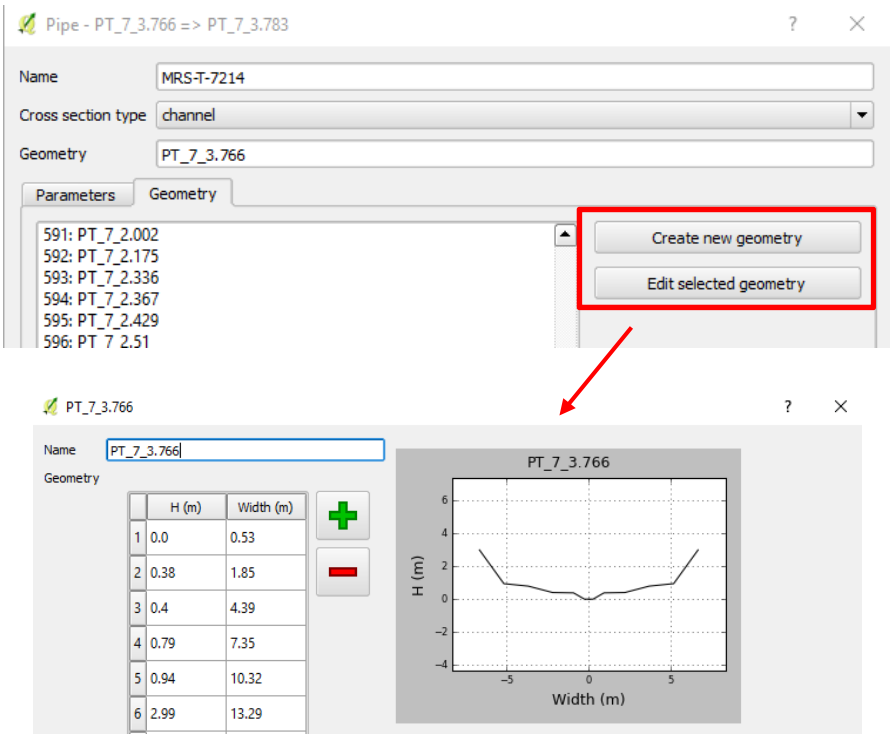


Figure 8 : Fenêtre de paramétrage d'un tronçon - géométrie

La définition d'une section paramétrique ouverte ou fermée se fait au moyen d'un éditeur de géométrie dans lequel on renseigne des couples de valeurs hauteur / largeur à partir desquels le logiciel construit la section correspondante et l'affecte au(x) tronçon(s) correspondant(s). Une bibliothèque de l'ensemble des sections paramétriques ouvertes et fermées utilisées dans un modèle est accessible depuis l'interface du logiciel et permet d'ajouter ou de modifier une section si nécessaire. Elle se présente de la façon suivante :

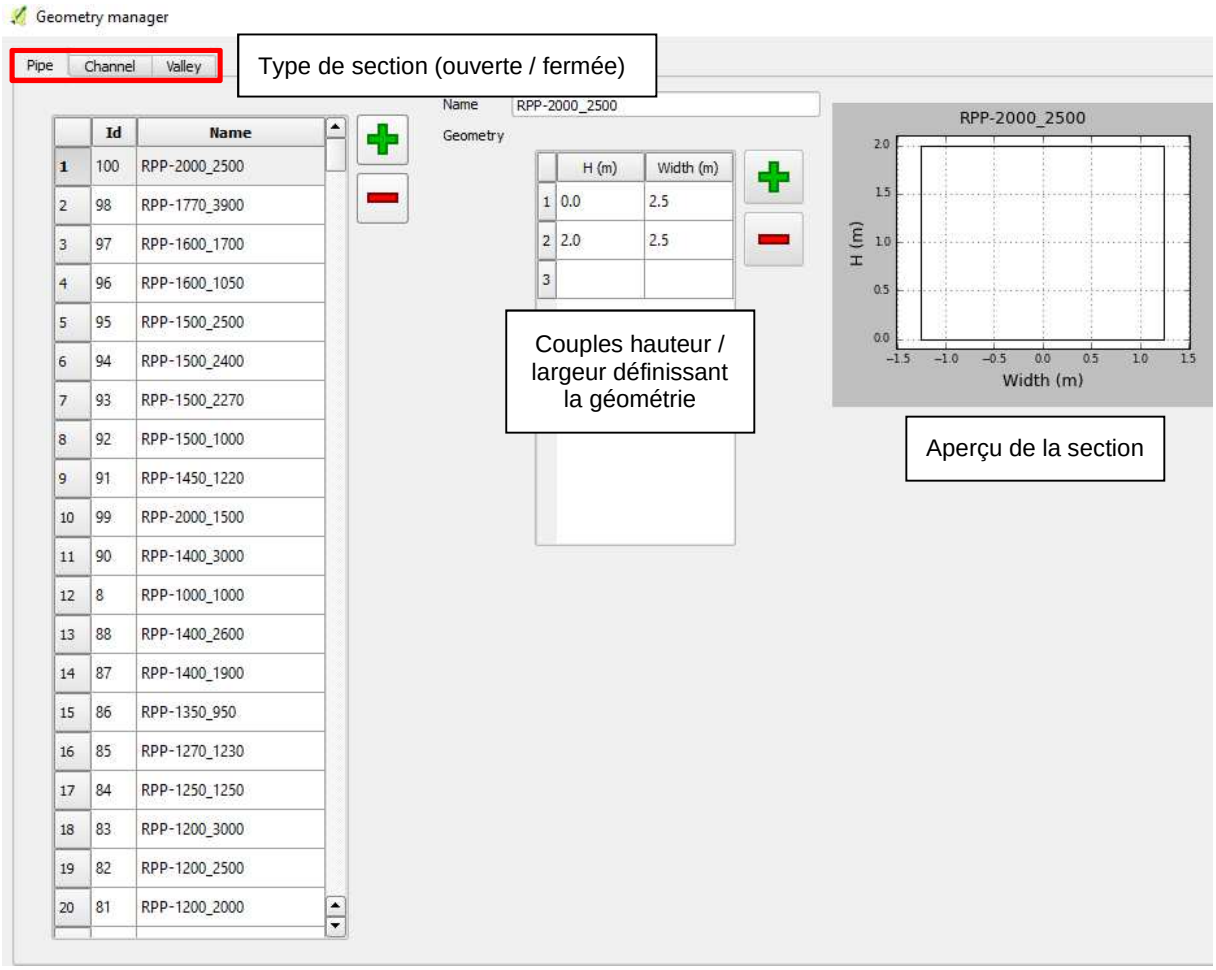


Figure 9 : Fenêtre de la bibliothèque de sections

A chacune de ces sections correspond un identifiant numérique que l'on retrouve dans la table attributaire correspondant aux collecteurs.

3.3.4 Singularités hydrauliques

Le logiciel Hydra propose de multiples objets de modélisation permettant de représenter la majorité des singularités rencontrées sur les réseaux d'assainissement (vannes, déversoirs, bassins, …). Lors de la construction des modèles des 18 communes, nous en avons utilisé plusieurs, présentées ci-après.

a) Bassins de rétention / infiltration

La majorité des communes modélisées comporte 1 ou plusieurs ouvrages de stockage de type bassin d'infiltration / de rétention / ouvrage mixte, qui ont été pris en compte lors de la modélisation. Dans Hydra, un ouvrage de rétention est représenté par un objet

ponctuel matérialisant une zone de stockage, qui doit être rattachée à un objet surfacique dont la nature peut varier en fonction du type de modèle réalisé (1D / 2D). Dans le cas présent, les ouvrages de stockage sont rattachés à des stations de gestion, définies par des polygones à l'intérieur desquels sont contenus des assemblages de nœuds et de liaisons hydrauliques, mais pas d'objet appartenant au domaine filaire (ex : tronçons). La procédure de création d'un ouvrage de rétention est la suivante :

1) Création d'une station de gestion (polygone),
2) Pose d'un nœud fictif de type « station node » servant de support à la singularité,
3) Pose de la singularité « tank » (réservoir) sur ce nœud,
4) Renseignement de la courbe de remplissage du réservoir (surface au miroir en fonction de la cote altimétrique),
5) Pose des singularités ou liaisons hydrauliques représentant les ouvrages d'entrée et de sortie de l'ouvrage.



Figure 10 : Représentation d'un bassin de rétention sous Hydra

Les paramètres à renseigner au niveau des différents éléments constituant l'ouvrage de rétention sont les suivants :

Station de gestion : aucun paramètre spécifique.

Station node : cote sol / surface.

Singularité « tank » : courbe de remplissage surface au miroir / cote altimétrique.

Liaison hydraulique d'entrée : aucun paramètre, objet modulant automatiquement sa section d'écoulement en fonction du débit amont.

Ouvrages de sortie : dans le cas des ouvrages modélisés sur le territoire, nous avons principalement rencontré 2 types d'ouvrages de sortie : les orifices calibrés (représentés par des singularités de type vanne) et les surverses (représentées par des ouvrages de type seuil). Sur l'ensemble des bassins de rétention modélisés, nous avons systématiquement ajouté un ouvrage de sortie de type surverse de manière à rediriger les volumes excédentaires vers les réseaux aval. De cette façon, lorsqu'ils arrivent à saturation, les bassins de rétention deviennent transparents hydrauliquement.

Concernant les bassins d'infiltration, les ouvrages de sortie ont été représentés par des liaisons de type pompage (« pump ») renseignés par une courbe débit de pompage / cote altimétrique. Le cas échéant, le débit maximum a été fixé à 10l/s afin de représenter une infiltration moyenne sur sol calcaire.

b) Ouvrages d'entrée / sortie ou de régulation

Les singularités de type vannes sont renseignées de la façon suivante (Figure 11) :

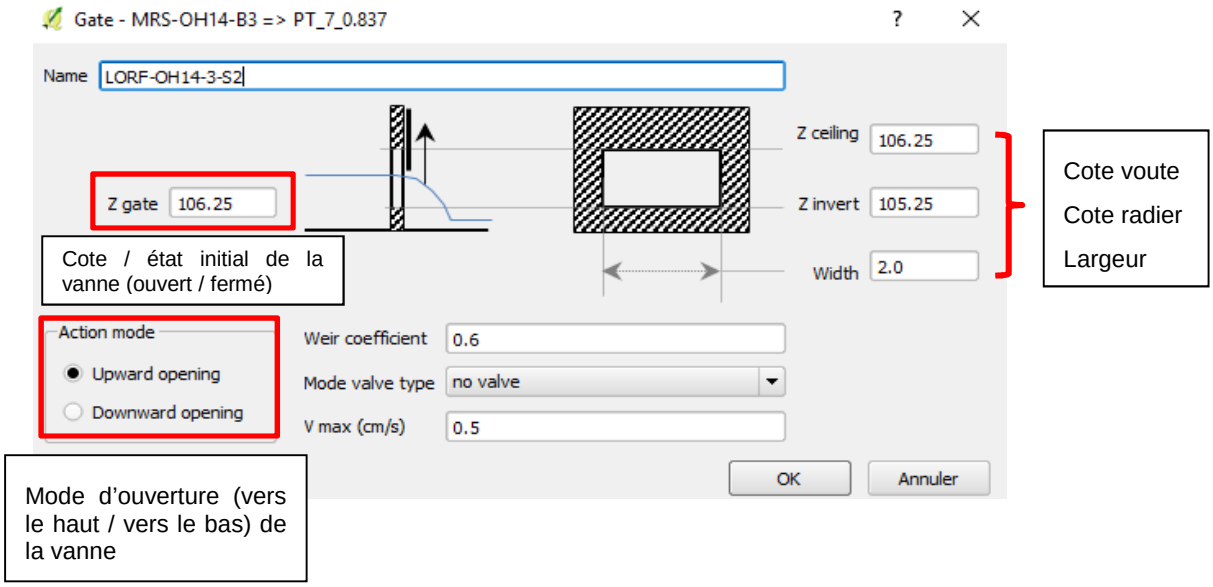


Figure 11 : Fenêtre de paramétrage d'une vanne (gate)

Les singularités de type seuil sont paramétrées de la façon suivante :

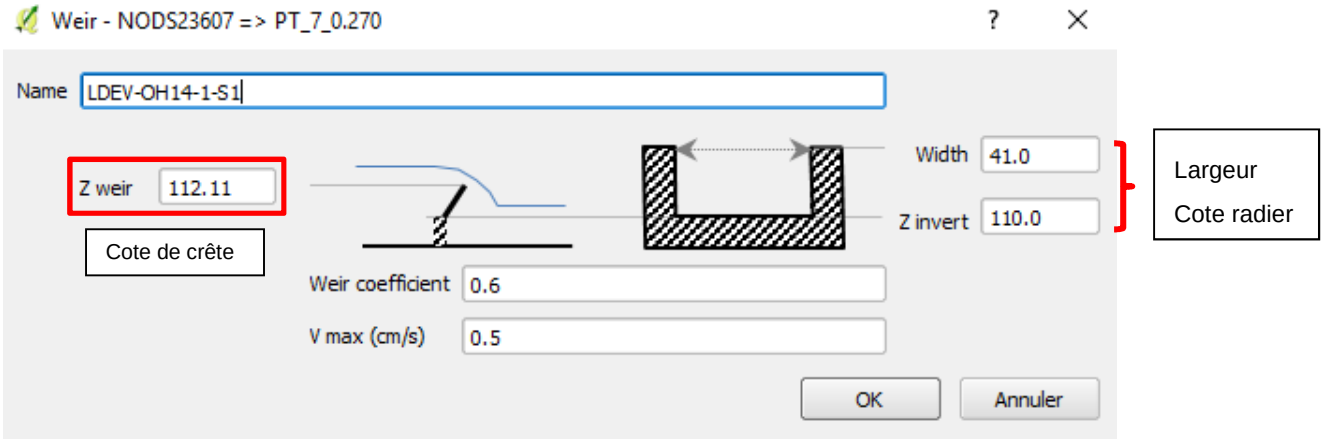


Figure 12 : Fenêtre de paramétrage d'un seuil (weir)

Enfin, les singularités de type pompage permettant la simulation du fonctionnement d'un bassin d'infiltration sont renseignées comme suit :

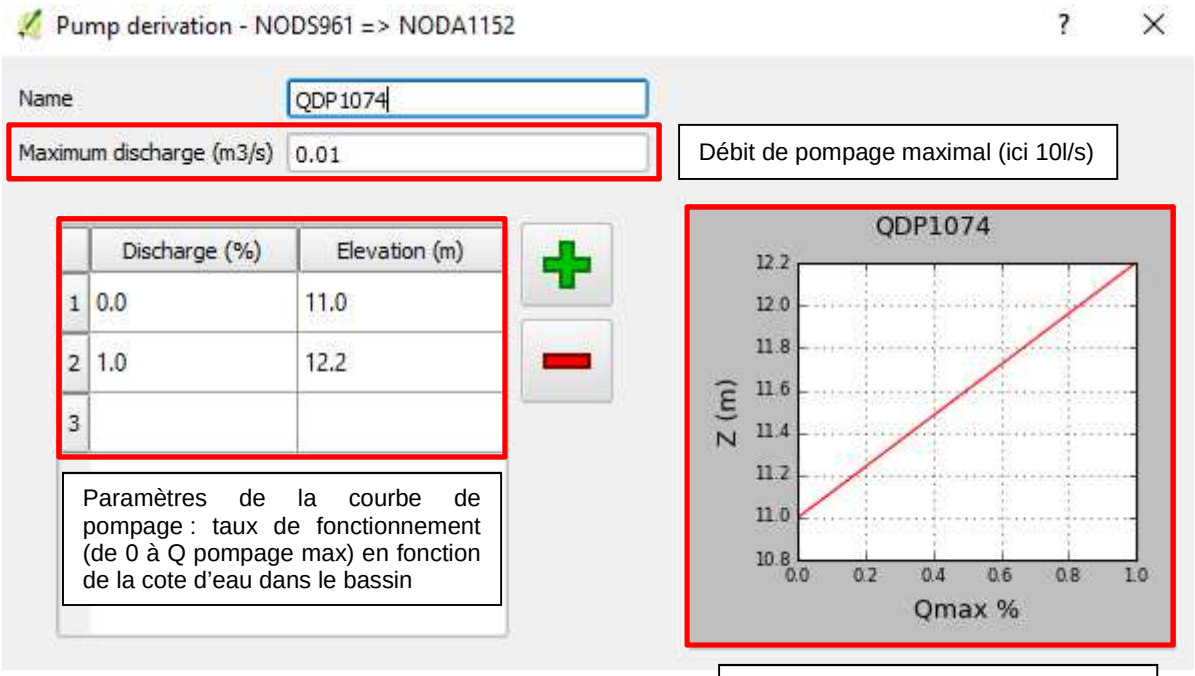


Figure 13 : Fenêtre de paramétrage d'une liaison de type pompage (pump derivation)

3.3.5 Les conditions limites aval

Les conditions limites aval permettent de matérialiser les exutoires des modèles / points de sortie des écoulements. Celles-ci peuvent être de différentes natures en fonction de la configuration du réseau :

- exutoire vers un milieu naturel (mer / rivière)
- exutoire vers une singularité de type station de pompage ou bassin de rétention / infiltration.

Afin d'illustrer les différents cas envisageables, le logiciel Hydra permet de modéliser des conditions limites aval définies par des lois de type :

- hauteur / débit (zq),
- hauteur / temps (zt),
- débit / temps (qt),
- condition d'écoulement libre définie par un nombre de Froude (Fr) égal à 1 (dans ce cas, l'eau sort du modèle sans aucune influence aval).

3.3.6 Renseignement des pluies et paramétrage des scénarios de simulation

Conformément aux attentes du Maître d'Ouvrage mentionnées dans le CCTP et suite au travail réalisé en phase 3, 21 pluies de projet de type double triangle ont été construites à partir de la nouvelle référence pluviométrique établie pour AMP/MP.

Les caractéristiques de ces pluies sont résumées dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Caractéristiques des pluies modélisées

Pluies modélisées	Période de retour (ans)						
Durée intense / totale (mn)	**1**	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
30 / 90	x	x	x	x	x	x	x
60 / 180	x	x	x	x	x	x	x
120 / 360	x	x	x	x	x	x	x

Dans le logiciel Hydra, il est possible de renseigner des pluies de différentes façons, à partir de valeurs de coefficients de Montana ou de couples temps / intensité (hyétograph), c'est ce second mode qui a été utilisé ici. La fenêtre de renseignement des pluies se présente de la façon suivante :

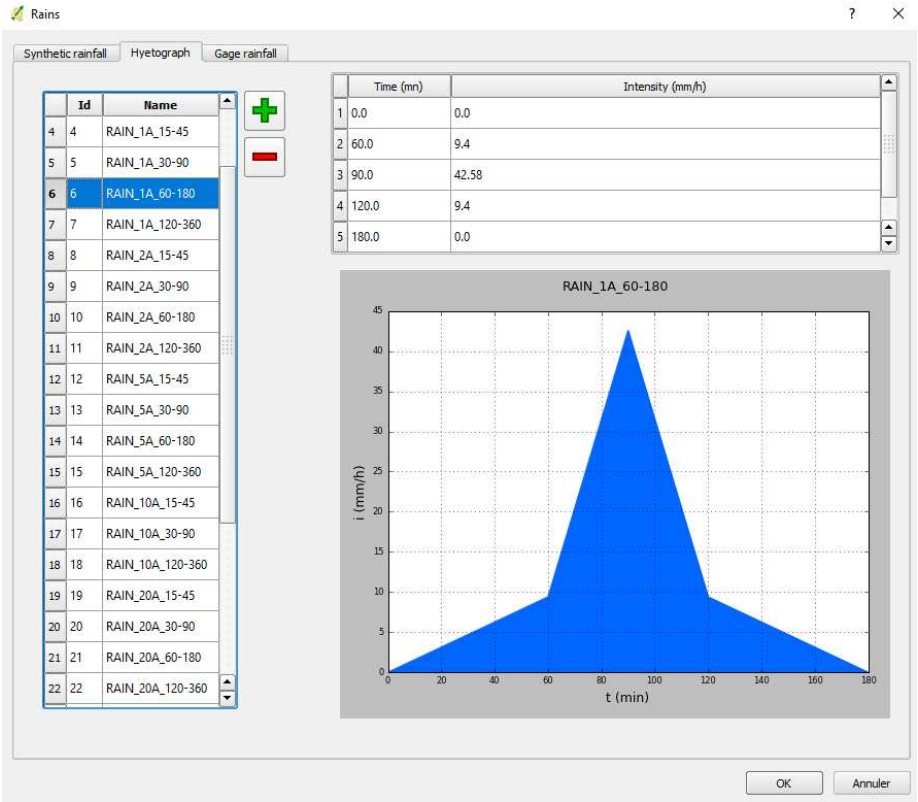


Figure 14 : Fenêtre de paramétrage d'une pluie sous Hydra

Les pluies ainsi renseignées sont ensuite intégrées dans des scénarios de simulation (1 pluie par scénario) qui permettent de définir les caractéristiques de calcul, notamment les pas de temps d'itération de calculs hydrologiques et hydrauliques, la durée d'établissement des conditions initiales, la durée totale de simulation ainsi que d'éventuels éléments de régulation divers.

3.3.7 Visualisation des résultats

Le logiciel Hydra dispose de plusieurs outils de visualisation des résultats produits suite au calcul d'un scénario de simulation. Ces outils permettent de :

- Visualiser un résultat ponctuel au niveau d'un nœud ou d'une singularité (hauteur d'eau amont / aval, cote d'eau dans un bassin de rétention,
- Visualiser un résultat sous la forme d'un profil en long au niveau d'une branche de réseau (ligne d'eau, ligne de charge),
- Visualiser un résultat sous la forme d'une vue en plan des tronçons : débit maximum, mise en charge, cote…
- Editer des tableaux de synthèse des résultats : bilan hydrologique, bilan hydraulique…

Les figures ci-dessous illustrent les outils de visualisation décrits ci-dessus.

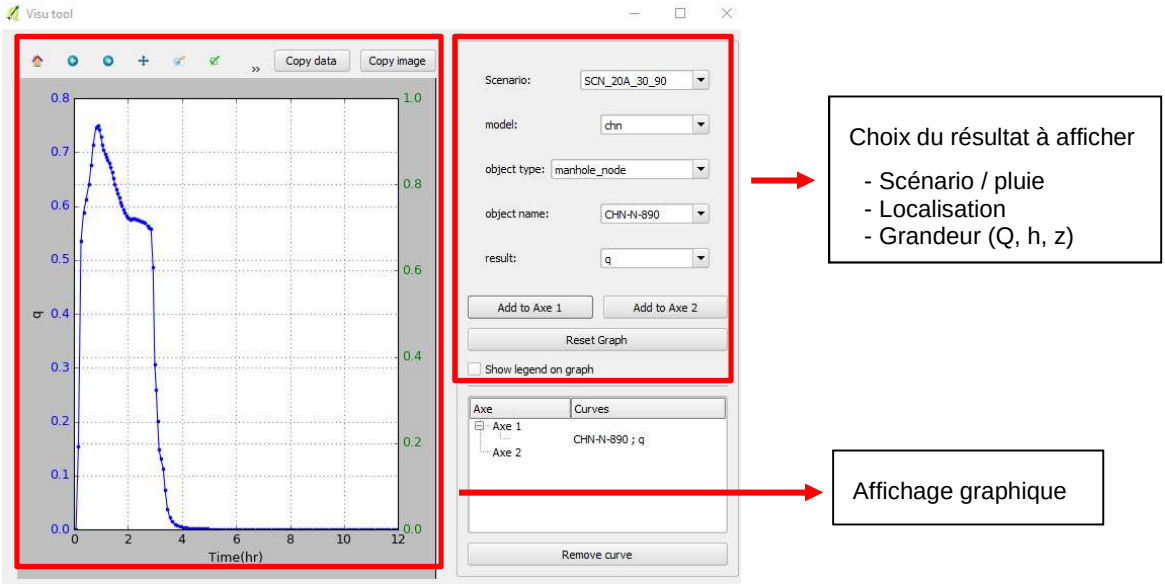


Figure 15 : Fenêtre de visualisation d'un hydrogramme ponctuel

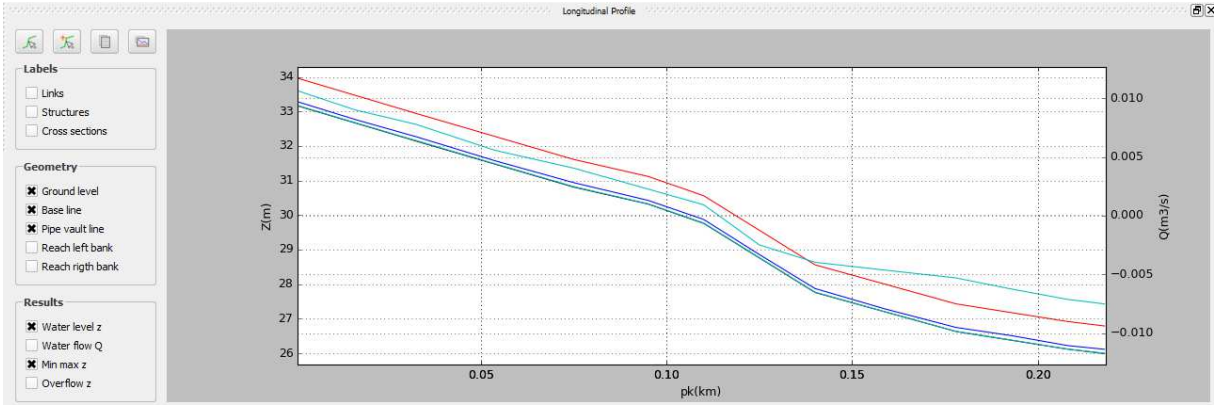


Figure 16 : Fenêtre de visualisation d'un profil en long sous Hydra

4 CALCUL DES DÉBITS CAPABLES

Le calcul du débit capable (ou capacité) d'un collecteur permet de quantifier le débit maximal susceptible d'être transféré par ce dernier, à pleine charge et en l'absence d'influence aval. C'est un paramètre clef en hydraulique puisqu'il permet de connaître la capacité d'évacuation maximale théorique d'un réseau, et de la rattacher à une période de retour d'un évènement pluvieux.

Dans le cadre de cette étude, le débit capable a été calculé automatiquement par le logiciel Hydra et se matérialise sous la forme d'un champ attributaire intitulé « capacity » dans la table correspondant aux collecteurs (table « pipe »). La valeur de ce champ est calculée par le logiciel à partir des paramètres caractéristiques de chaque collecteur : pente, longueur, coefficient de Strickler et section hydraulique (calculée à partir de la table liée « cross_section »).

4.1 FORMULES

La formule générale utilisée par le logiciel est celle de Manning-Strickler dont la formulation générale est la suivante :

$Q_{cap} = KS\left(\frac{S}{P}\right)^{\frac{2}{3}}\left(\frac{Z1-Z2}{L}\right)^{0.5}$ (m^3/s) avec :

Z1, Z2 : cotes radier amont et aval du collecteur,

S : section mouillée : dépend de la géométrie du collecteur (cross_section),

P : périmetre mouille : dépend de la géométrie du collecteur (cross_section),

L : longueur du tronçon (m),

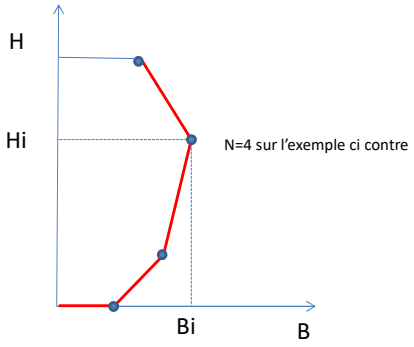
K : coefficient de Strickler.

Le calcul des paramètres S et P est réalisé de la manière suivante :

Sections circulaires : $S = \frac{\pi}{4}D^2$ $P = \pi D$

Avec D : diamètre (m) de la conduite

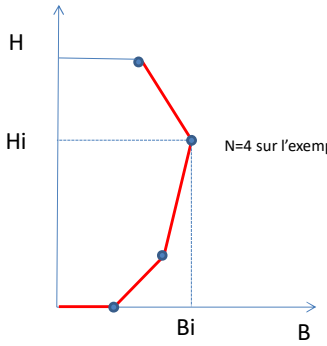
Sections paramétriques fermées :



$$S = \sum_{i=2}^{N} 0.5(B_i + B_{i-1})(H_i - H_{i-1})$$

$$P = \sum_{i=2}^{N} 2\sqrt{(B_i - B_{i-1})^2 + (H_i - H_{i-1})^2} + (B_1 + B_N)$$

Sections paramétriques ouvertes :



$$S = \sum_{i=2}^{N} 0.5(B_i + B_{i-1})(H_i - H_{i-1})$$

$$P = \sum_{i=2}^{N} 2\sqrt{(B_i - B_{i-1})^2 + (H_i - H_{i-1})^2} + (B_1)$$

Pour obtenir le débit capable, c'est-à-dire le débit maximal avant mise en charge du collecteur, on considère la section et le périmètre mouillés maximaux en fonction de la géométrie du collecteur.

Concernant les collecteurs présentant un profil en long à contre pente (cote radier aval supérieure à la cote radier amont), la formule ne s'applique pas le domaine de validité de la fonction racine carrée n'étant pas respecté. Pour ces collecteurs, le champ « capacity » est par défaut affiché à 0.

4.2 RÉSULTATS

Les résultats sont regroupés dans une table shape contenant l'ensemble des tronçons modélisés. La légende employée est la suivante :



Un exemple de rendu cartographique est présenté page suivante.

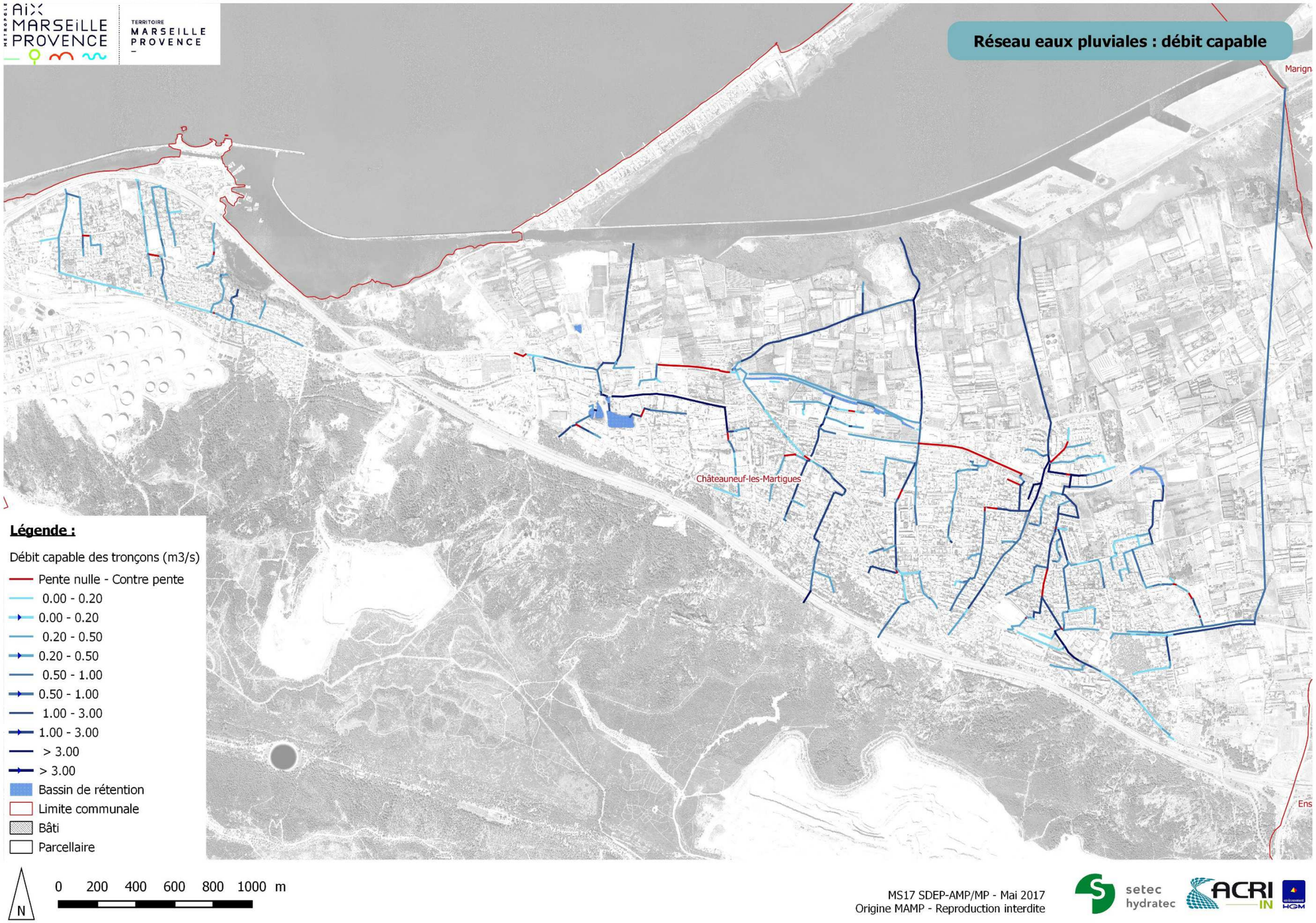


Figure 17 : Cartographie des débits capables – Châteauneuf-les-Martigues

5 CALCUL DES DEBITS HYDROLOGIQUES

Le calcul des débits hydrologiques a pour objectif la détermination, en chaque nœud du réseau, du débit maximal théorique correspondant aux différentes pluies retenues dans le cadre de l'analyse hydrologique réalisée en phase 3. Le calcul de ces débits a été réalisé à l'aide du logiciel Hydra, ce dernier disposant de deux modules de calcul (hydrologique permettant la transformation pluie / débit et hydraulique permettant la propagation des hydrogrammes de sortie des bassins versants dans le réseau).

5.1 METHODOLOGIE

Afin de calculer l'ensemble des débits correspondant aux 21 scénarios de pluie de référence retenus, nous nous sommes appuyés sur les modèles hydrauliques préalablement construits dans Hydra auxquels nous avons apporté différentes modifications structurelles. L'objectif recherché étant d'obtenir la valeur de débit maximale potentiellement observable au niveau de chaque tronçon de collecteur pour une pluie donnée, il a en premier lieu été décidé d'augmenter la capacité de l'ensemble des réseaux de manière considérable. Les valeurs de cotes sol (ou cotes TN) au niveau des regards ont également été relevées afin d'éviter les aberrations de calcul. Cette manipulation s'est traduite par la modification des sections des collecteurs de la manière suivante :

- **Tronçons circulaires :** valeur de diamètre réglée par défaut à 2 m (sauf cas particuliers notamment sur Marseille, certaines valeurs ont été réglées à 3, 4 ou 5 m),
- **Tronçons paramétriques fermés :** modification de leur géométrie en section circulaire, valeur de diamètre réglée par défaut à 2 m (sauf cas particuliers notamment sur Marseille, certaines valeurs ont été réglées à 3, 4 ou 5 m),
- **Tronçons paramétriques ouverts :** définition d'une section d'écoulement type appliquée à l'ensemble des tronçons ouverts des communes hors Marseille, de dimensions 2.5 m x 5 m. Sur Marseille, définition de 3 sections type de forme trapézoïdale, calculées à partir de la section équivalente correspondant au débit capable puis majorées selon le même principe que précédemment.

L'application des sections majorées ainsi obtenues à chaque collecteur a pour but de permettre le transfert de l'ensemble du débit produit par le(s) bassin(s) versant(s) situé(s) en amont de chaque tronçon du réseau et collecté par celui-ci, sans qu'il n'y ait de pertes d'eau par débordement ni de mise en charge / d'influence hydraulique aval sur la ligne d'eau. De cette façon, nous sommes à même de connaître, en tout point du réseau, le débit maximal potentiel calculé pour chaque pluie.

L'impact des ouvrages hydrauliques (notamment des bassins de rétention) a également été pris en compte lors de ces calculs. Leurs caractéristiques hydrauliques n'ont pas été modifiées de façon à tenir compte de leur effet sur les écoulements. Dans les différents modèles, les bassins de rétention ont été paramétrés de manière à devenir transparents hydrauliquement lorsqu'ils arrivent à saturation, le surplus de débit entrant étant directement restitué au réseau en aval par surverse.

5.2 RÉSULTATS

Les différents résultats de débits hydrologiques obtenus ont été regroupés dans une table shape reprenant l'ensemble des tronçons modélisés. Une valeur pour chaque période de retour a été retenue (1, 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans soit 7 valeurs), correspondant à la valeur maximale obtenue entre les différentes durées de pluies (3 pour chaque période de retour). Les valeurs de débit capable « réel » sont également disponibles dans cette même table.

Le modèle conceptuel de données associé à la table des débits hydrologiques est présenté en annexe.

Les débits hydrologiques ont été cartographiés sur l'ensemble du territoire au moyen d'une analyse thématique. La légende employée est la suivante (les seuils affichés peuvent varier en fonction des communes et des gammes de débits rencontrés) :

Débit hydrologique



Comme mentionné au CCTP, le calcul des sections théoriques nécessaires au transit du débit hydrologique décennal a été réalisé pour les tronçons présentant une capacité de transfert inférieure à l'objectif décennal. Le calcul a été réalisé selon la formule de Manning Strickler présentée au 4.1 à partir des valeurs de débit hydrologique calculées précédemment. Les hypothèses de calculs sont les suivantes :

- pente identique à la pente actuelle,
- pente nulle ou contre pente : pas de calcul du diamètre équivalent,
- coefficient de Strickler identique au tronçon actuel.

Les sections équivalentes obtenues ont été traduites en diamètre équivalent, quel que soit le type de section d'origine (ouverte ou fermée).

Afin de faciliter la lecture de l'ensemble des données produites au niveau de chaque tronçon, les résultats obtenus ici ont été intégrés dans la couche shape contenant les différentes valeurs calculées précédemment (débits capables, débits hydrologiques).

La légende employée (hors Marseille) est la suivante :

Diamètre équivalent Q10



Projets Qgis mis à disposition :

Ph5_Qhydrologique comprenant la table shape contenant les résultats présentés précédemment (débit capable, débit hydrologique, diamètre équivalent théorique décennal), paramétrée selon une analyse thématique basée sur les débits hydrologiques. Suivant le niveau d'affichage choisi, les informations cadastrales et du nom des voiries sont également disponibles.

Ph5_Deq_Q10 comprenant la table shape contenant les résultats présentés précédemment (débit capable, débit hydrologique, diamètre équivalent théorique décennal), paramétrée selon une analyse thématique basée sur les diamètres décennaux théoriques. Suivant le niveau d'affichage choisi, les informations cadastrales et du nom des voiries sont également disponibles.

Pour chaque commune la carte des débits hydrologiques de période de retour 10 ans ainsi que la carte des diamètres équivalents théoriques sont fournies dans les paragraphes ci-après.

5.2.1 Châteauneuf-les-Martigues – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

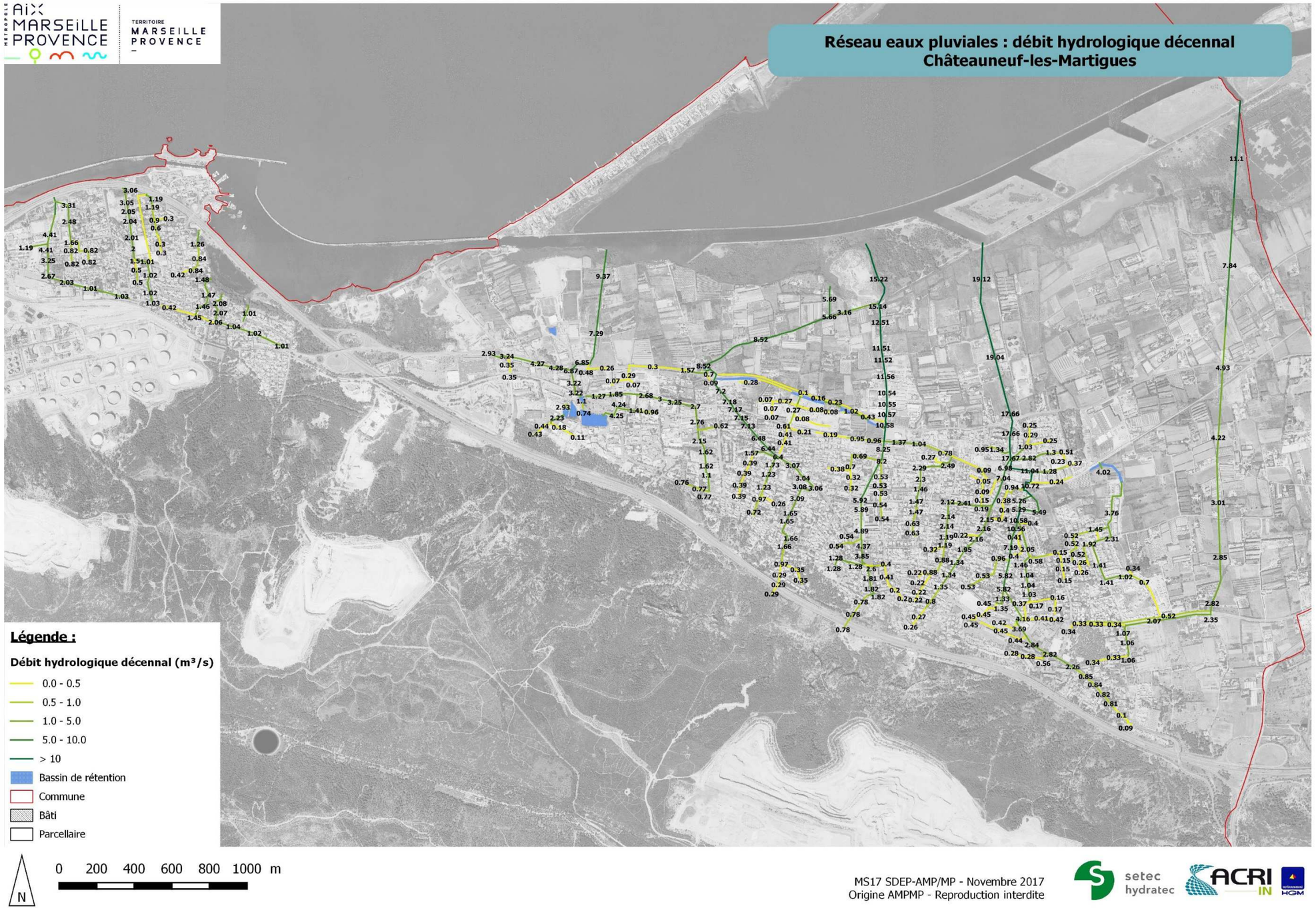


Figure 18 : Débits hydrologiques décennaux – Châteauneuf-les-Martigues

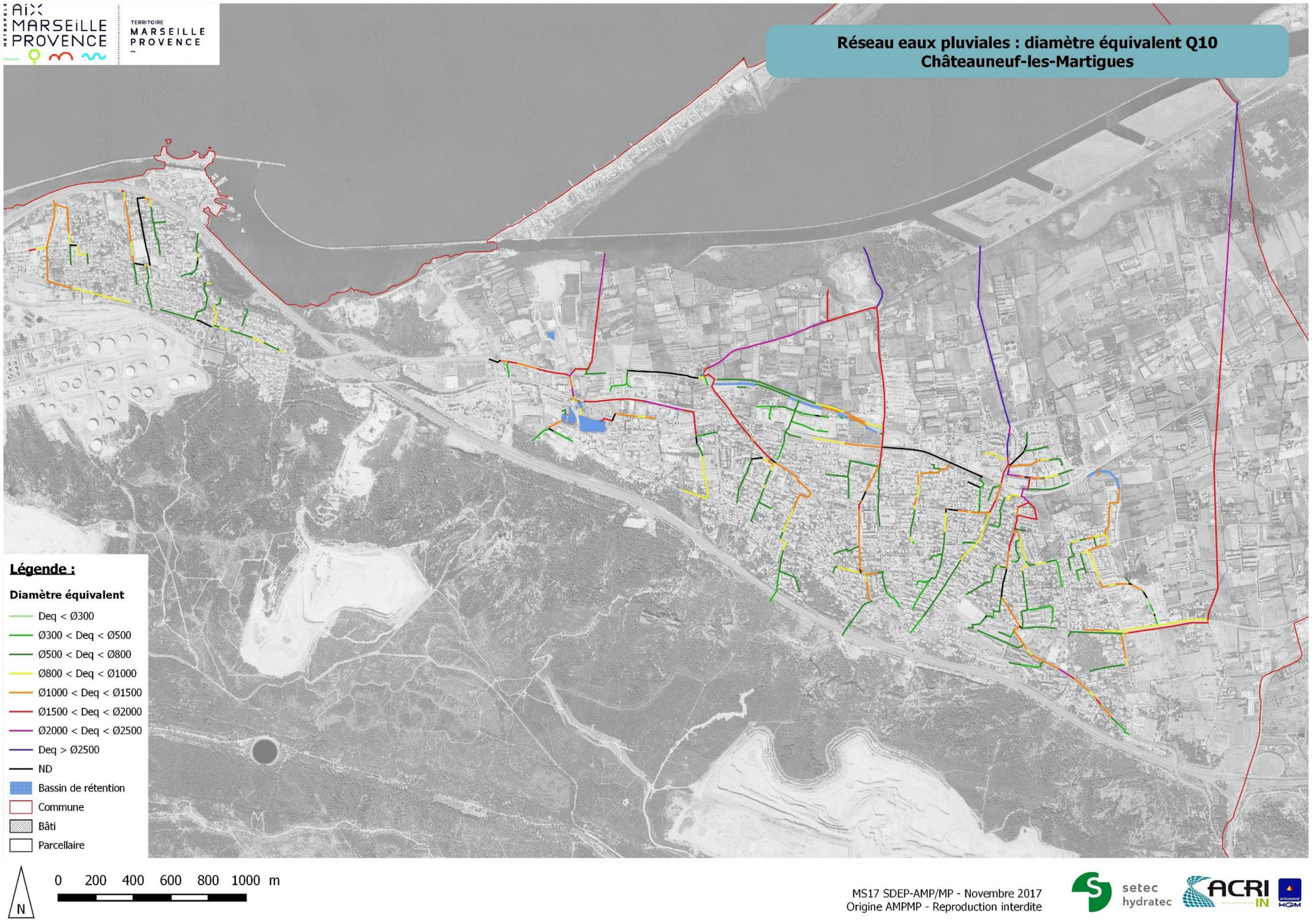


Figure 19 : Diamètres équivalents décennaux – Châteauneuf-les-Martigues

5.2.2 Gignac-la-Nerthe – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

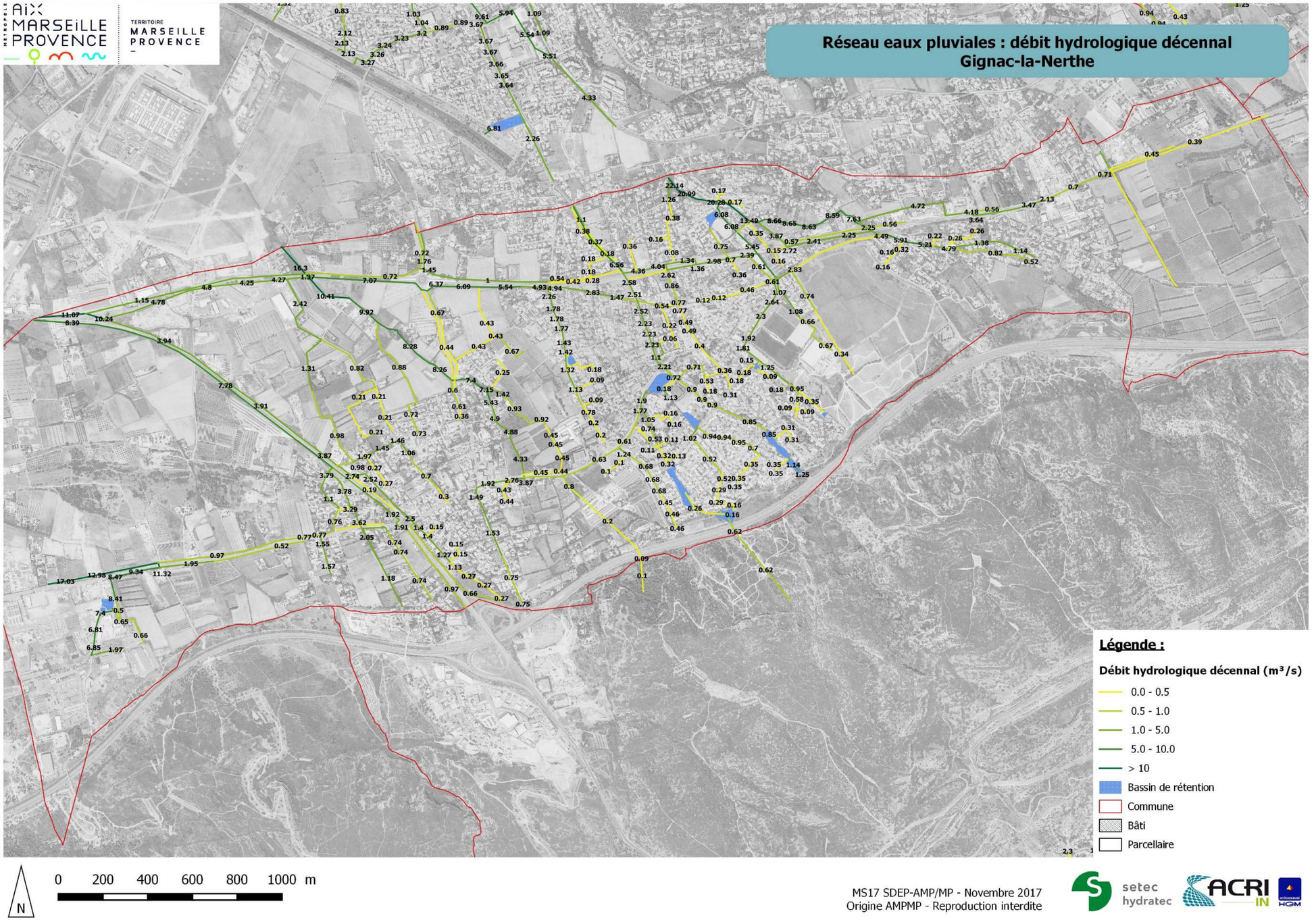


Figure 20 : Débits hydrologiques décennaux - Gignac-la-Nerthe

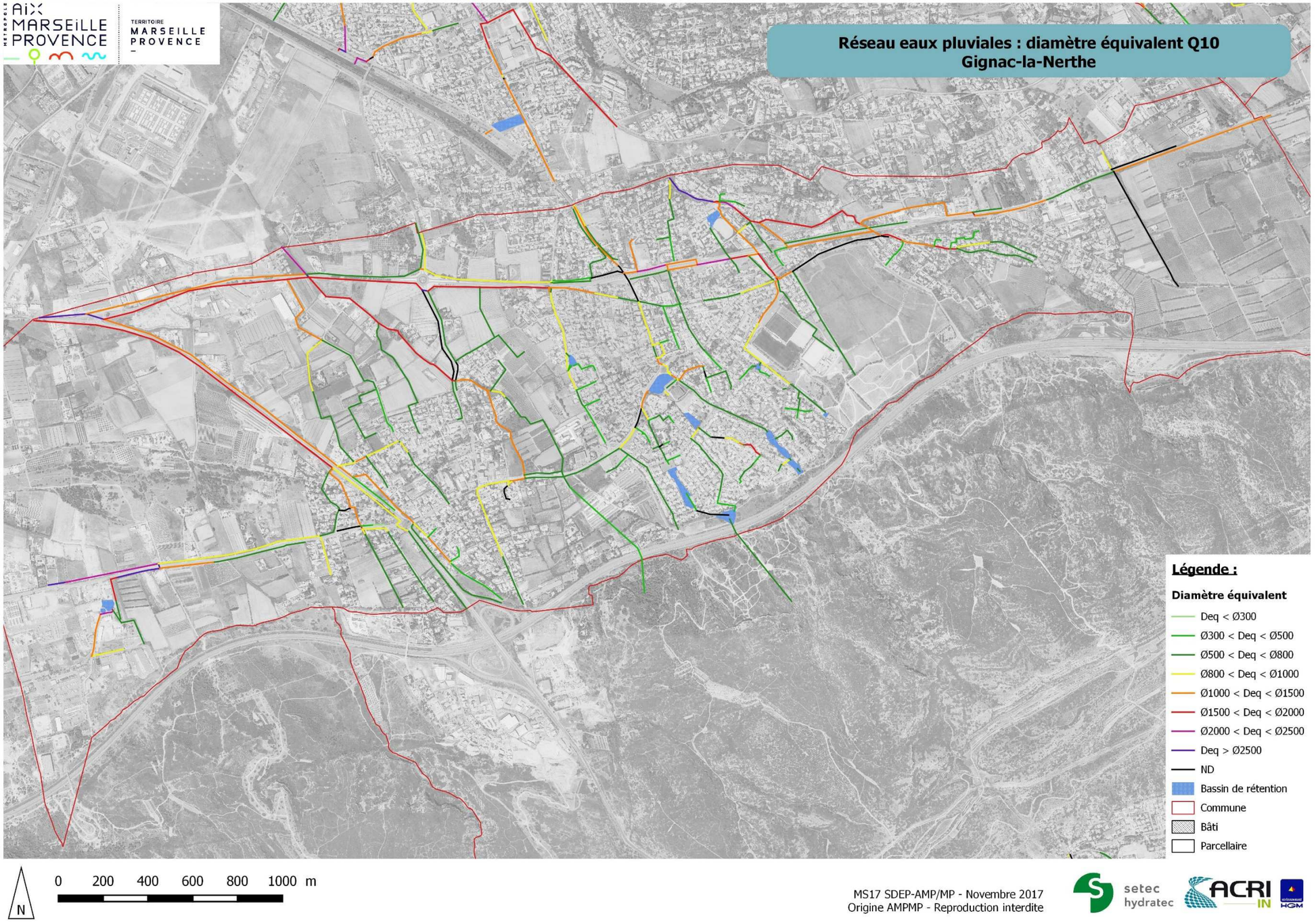


Figure 21 : Diamètres équivalents décennaux - Gignac-la-Nerthe

5.2.3 Marignane – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

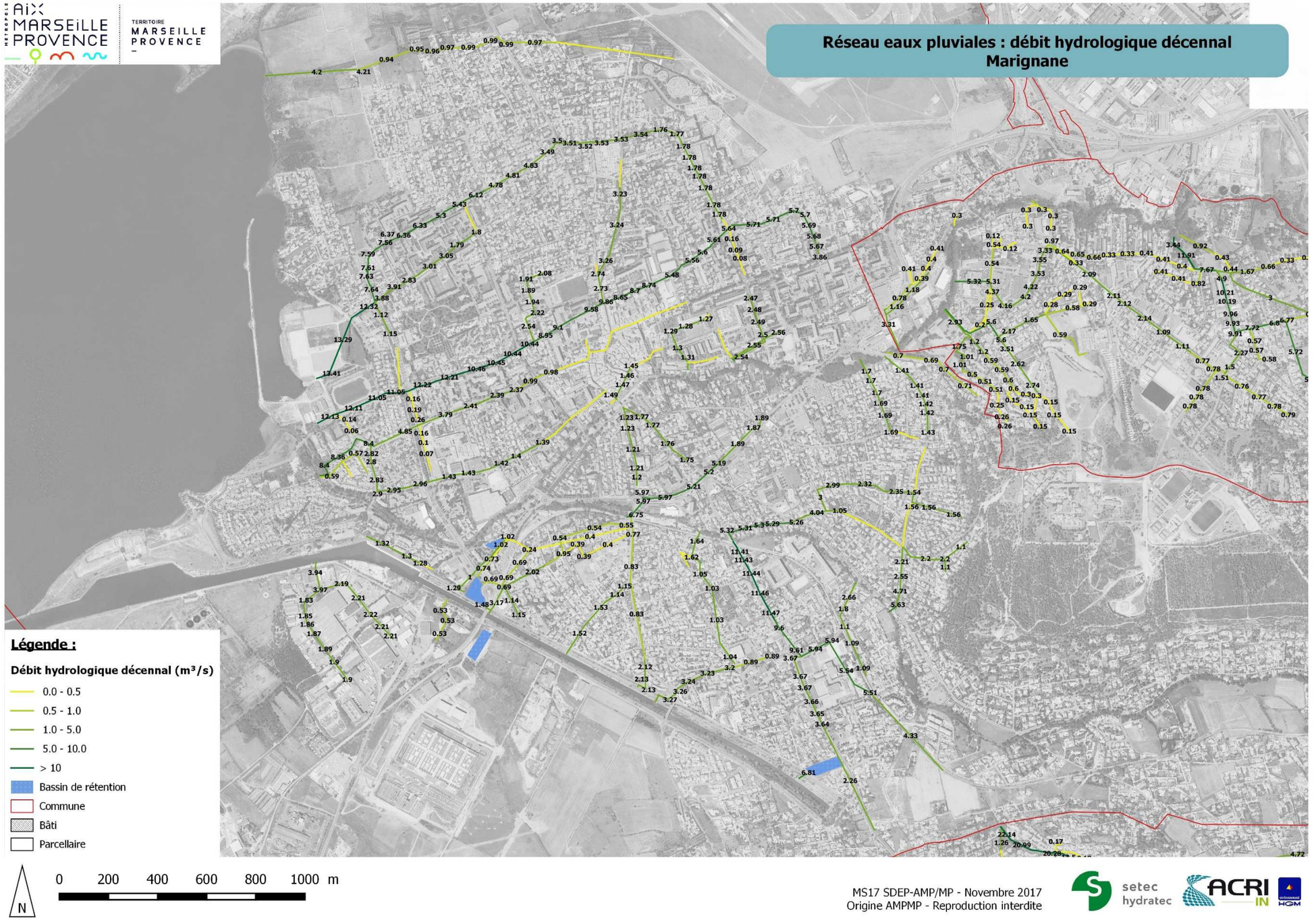


Figure 22 : Débits hydrologiques décennaux - Marignane

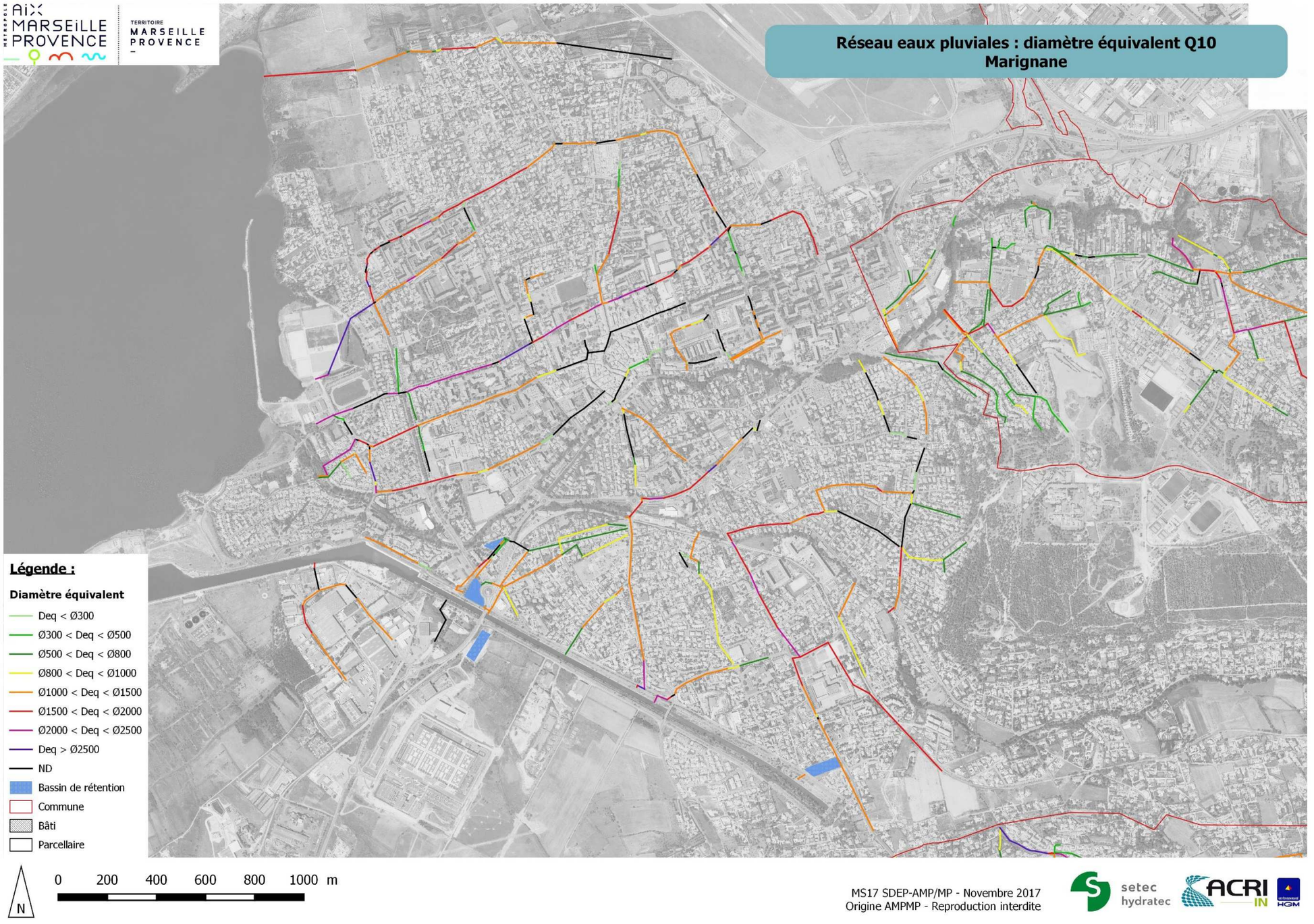


Figure 23 : Diamètres équivalents décennaux - Marignane

5.2.4 Saint-Victoret – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

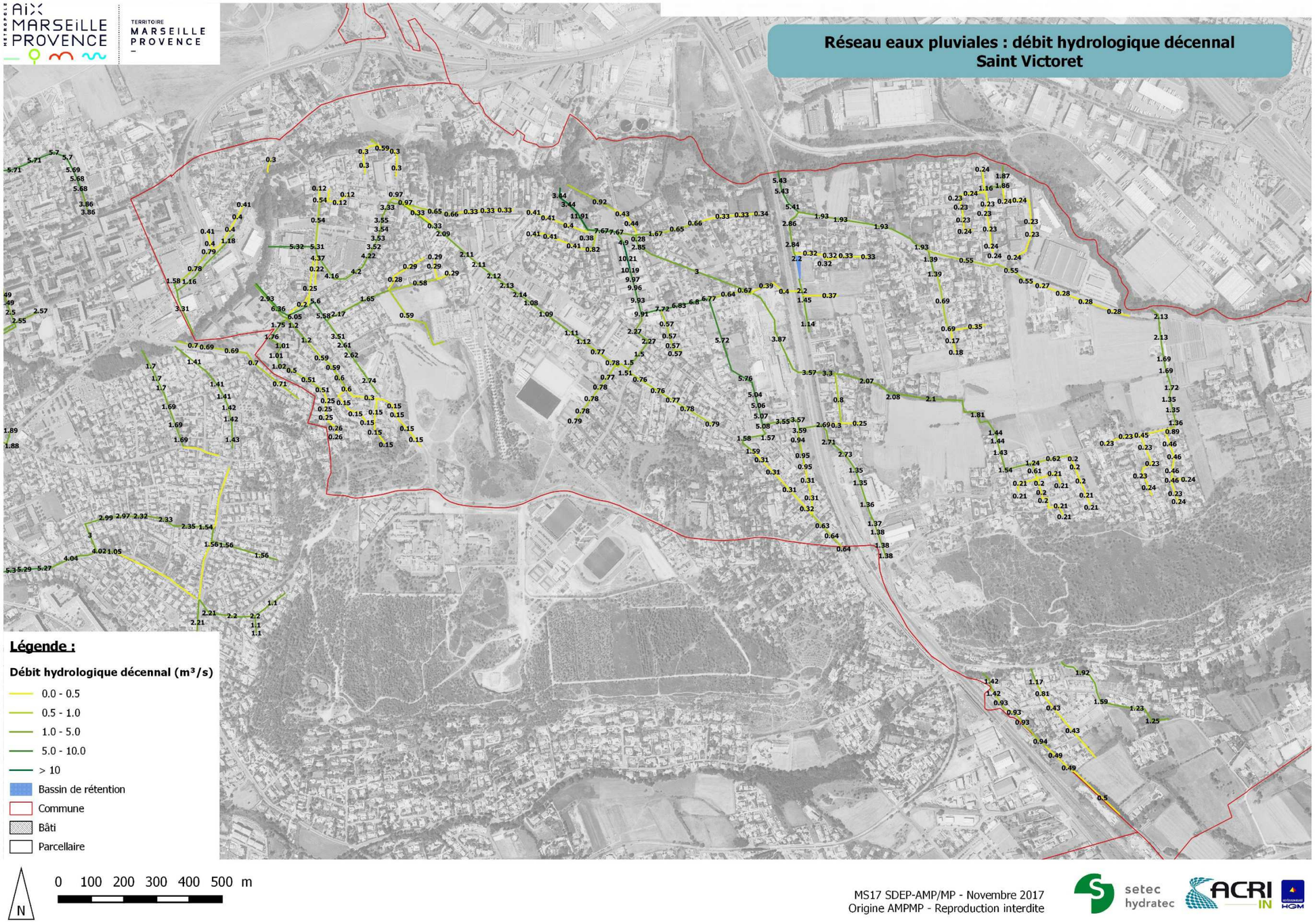


Figure 24 : Débits hydrologiques décennaux - Saint-Victoret

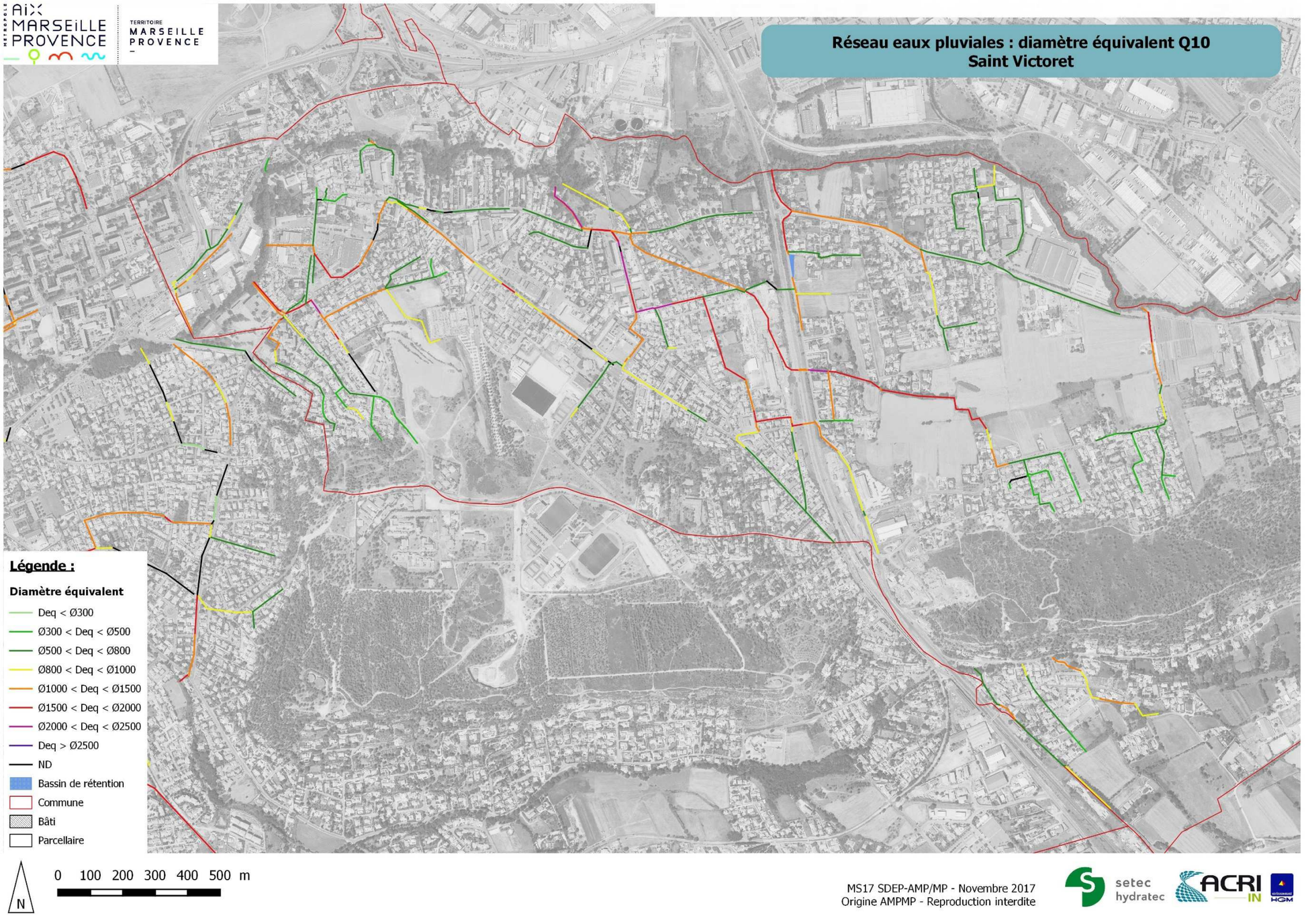


Figure 25 : Diamètres équivalents décennaux - Saint-Victoret

5.2.5 Sausset-les-Pins – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

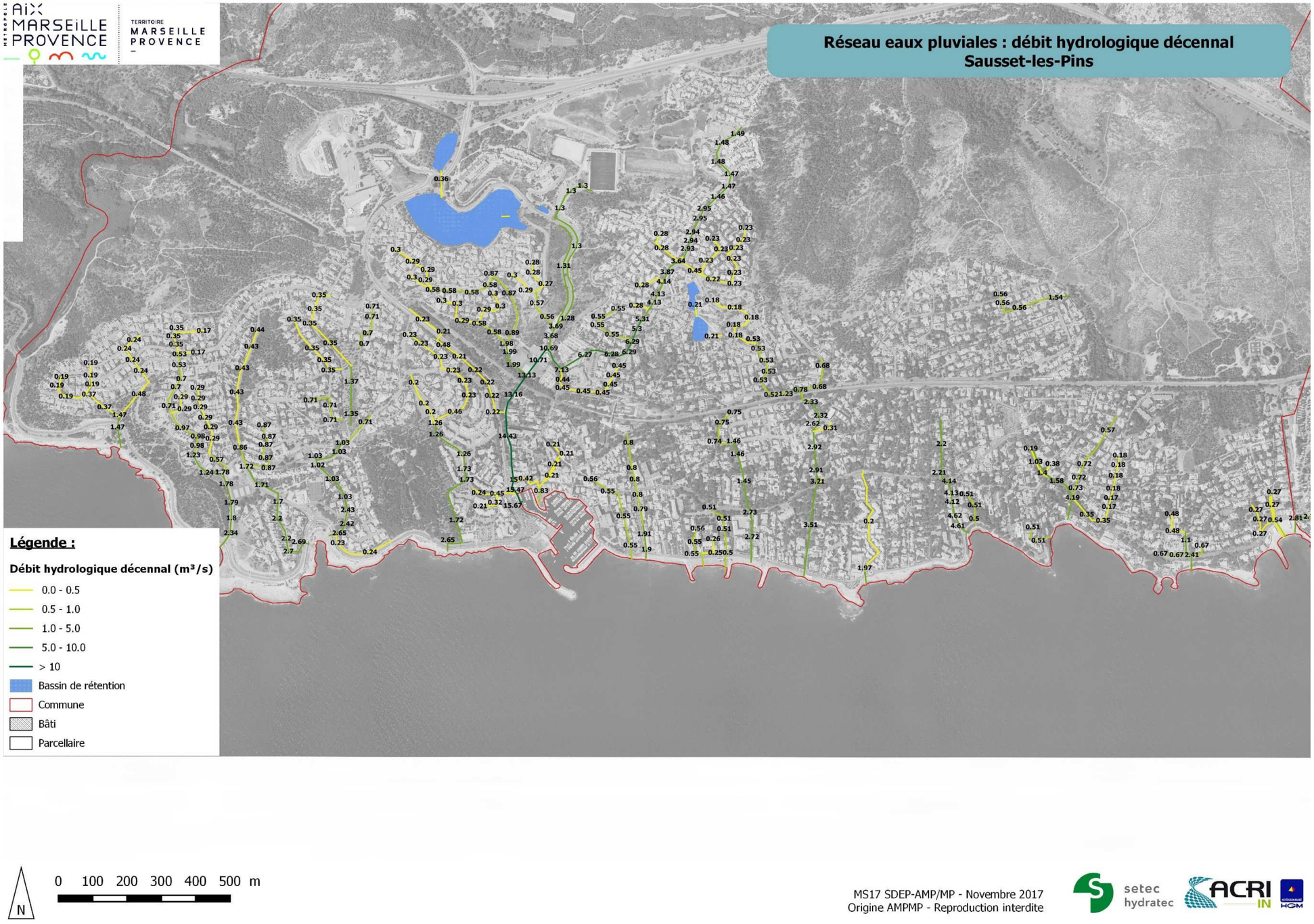


Figure 26 : Débits hydrologiques décennaux - Sausset-les-Pins

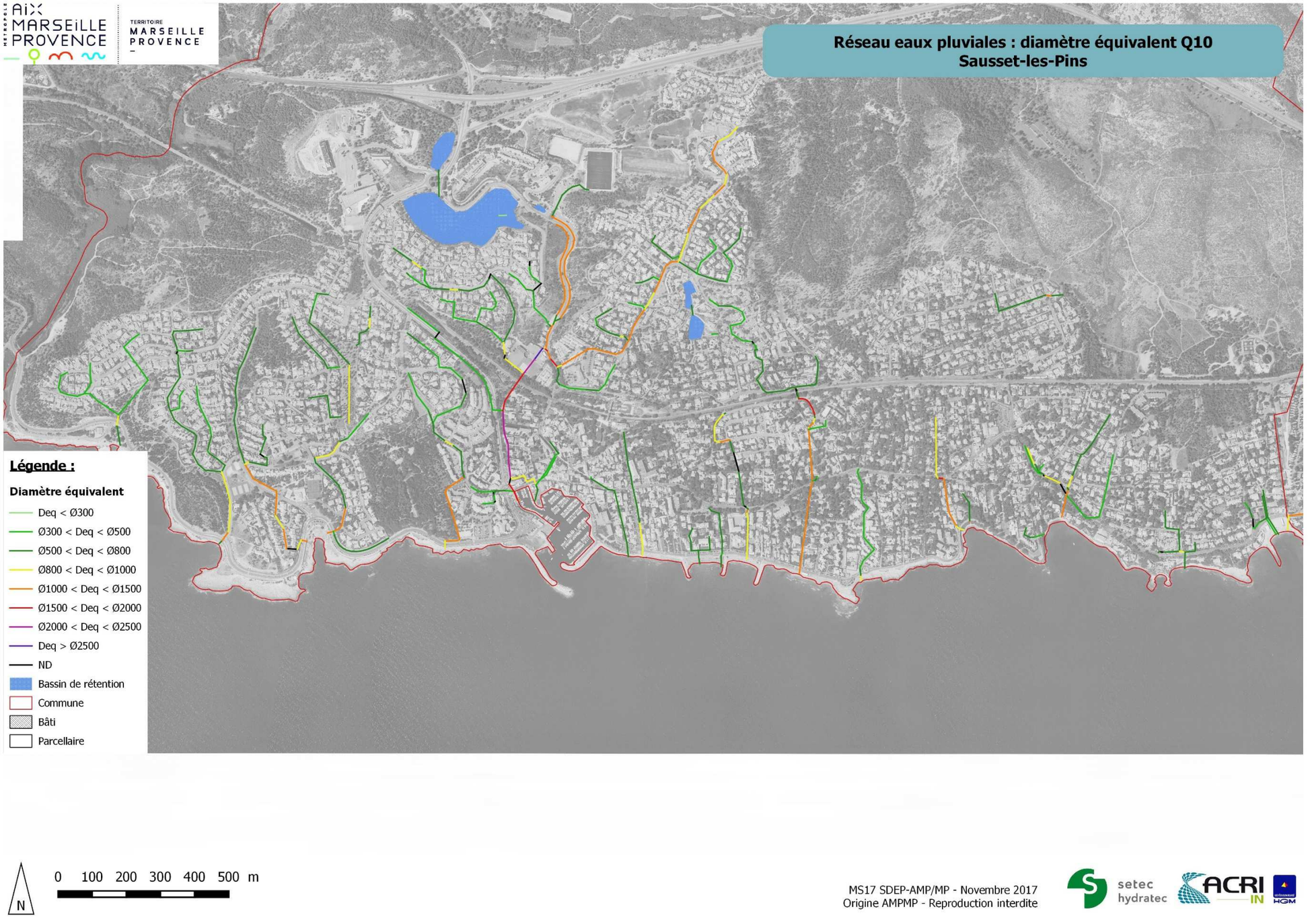


Figure 27 : Diamètres équivalents décennaux - Sausset-les-Pins

5.2.6 Carry-le-Rouet – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

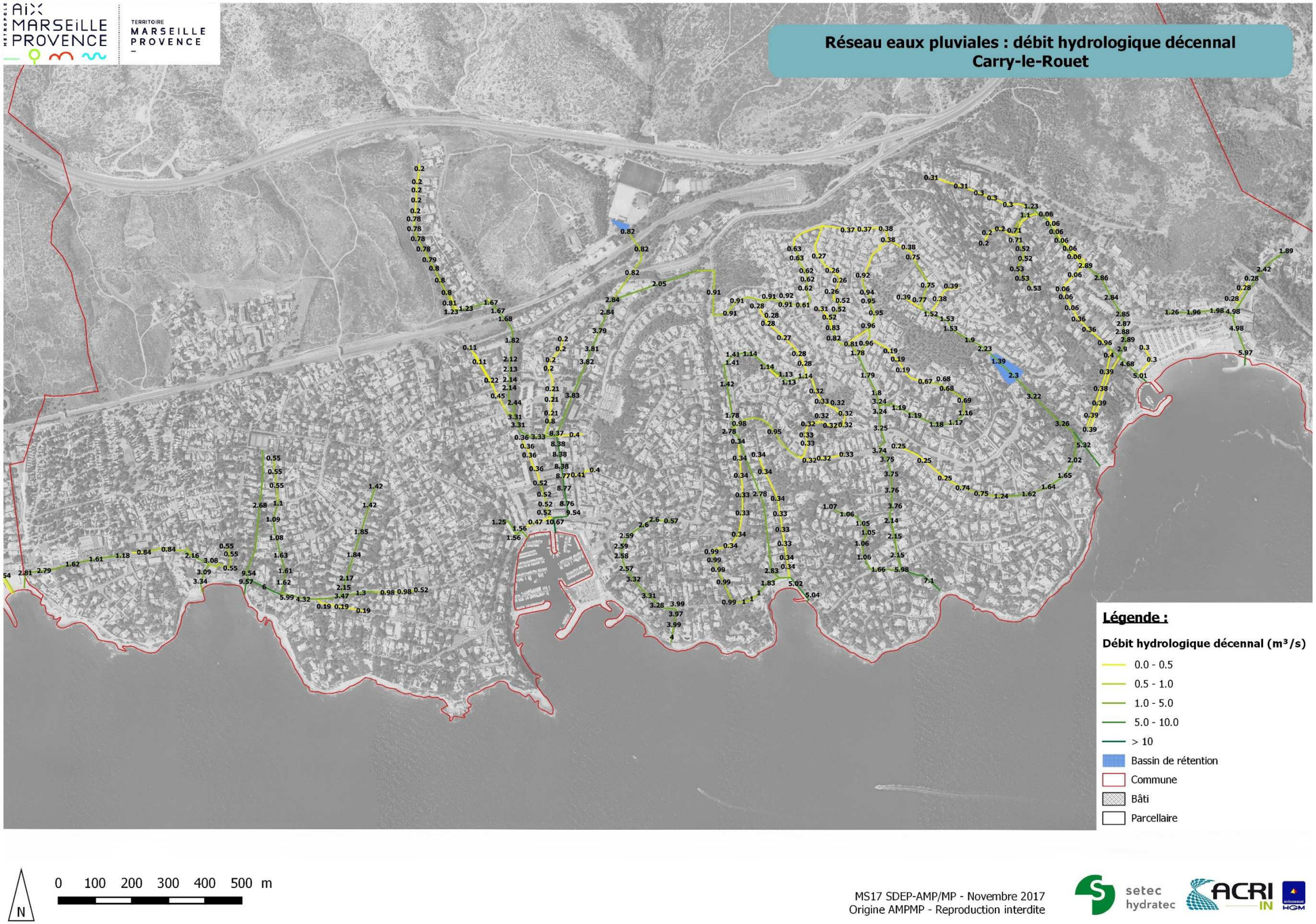


Figure 28 : Débits hydrologiques décennaux - Carry-le-Rouet

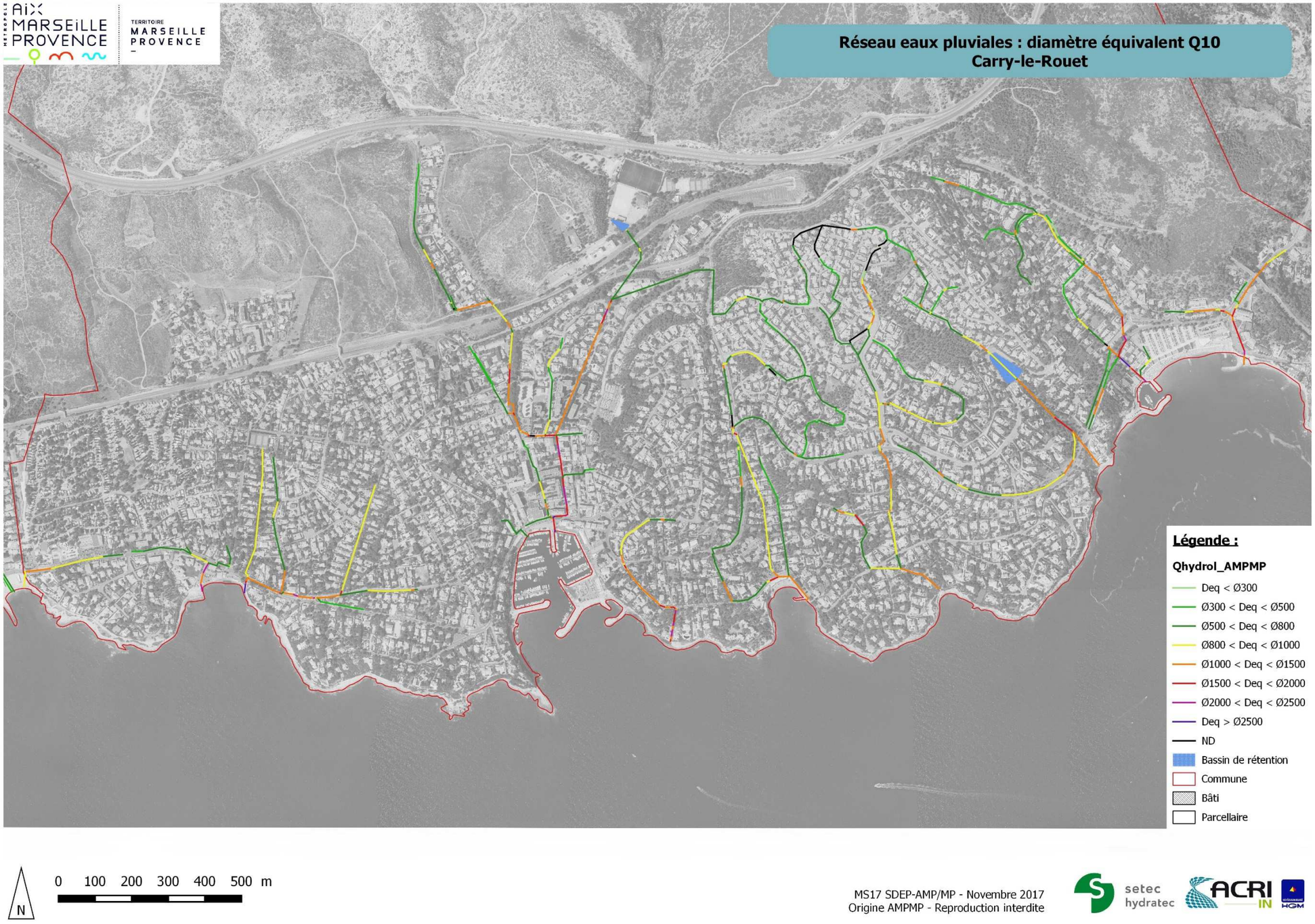


Figure 29 : Diamètres équivalents décennaux – Carry-le-Rouet

5.2.7 Ensuès-la-Redonne – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

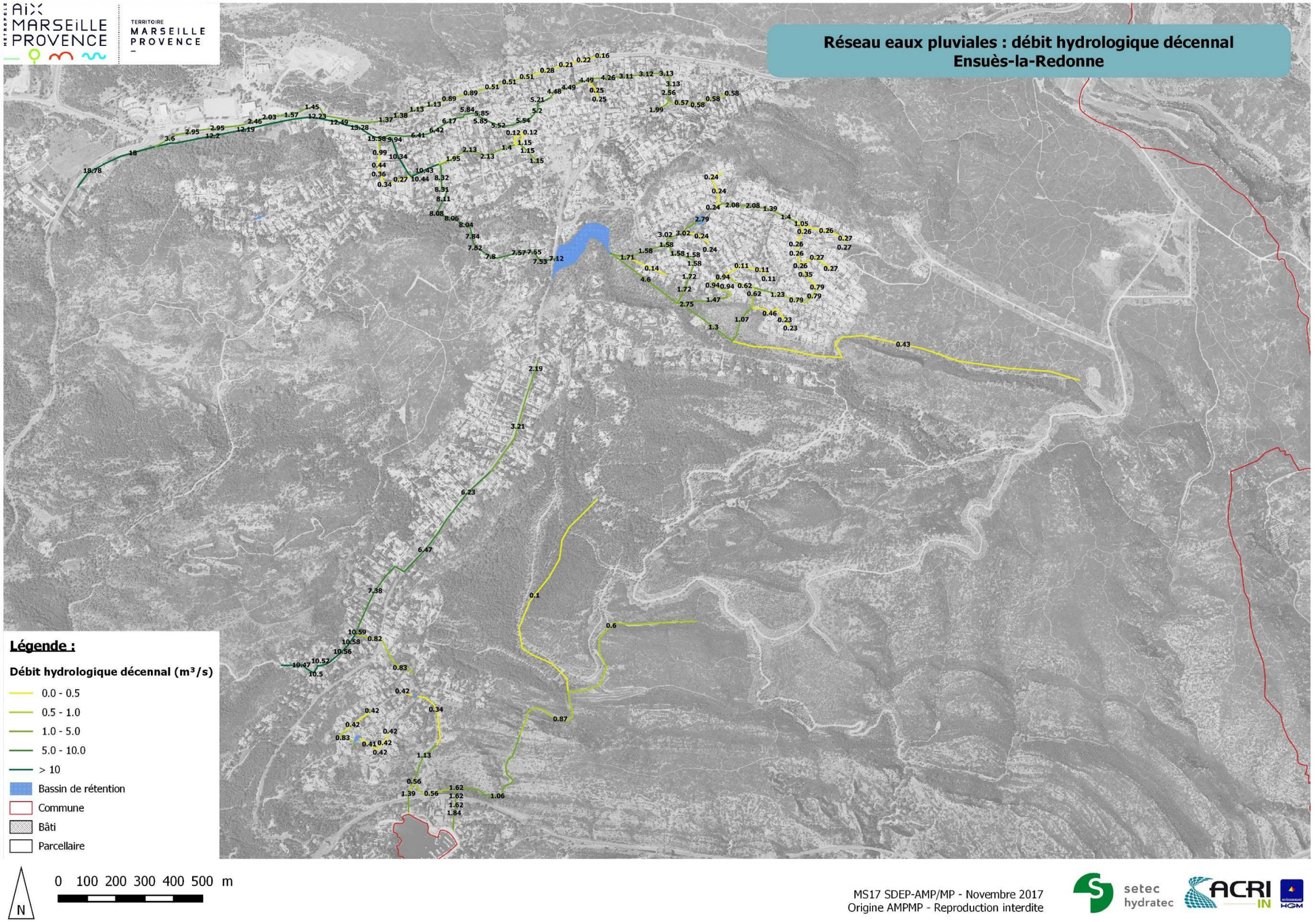


Figure 30 : Débits hydrologiques décennaux - Ensuès-la-Redonne

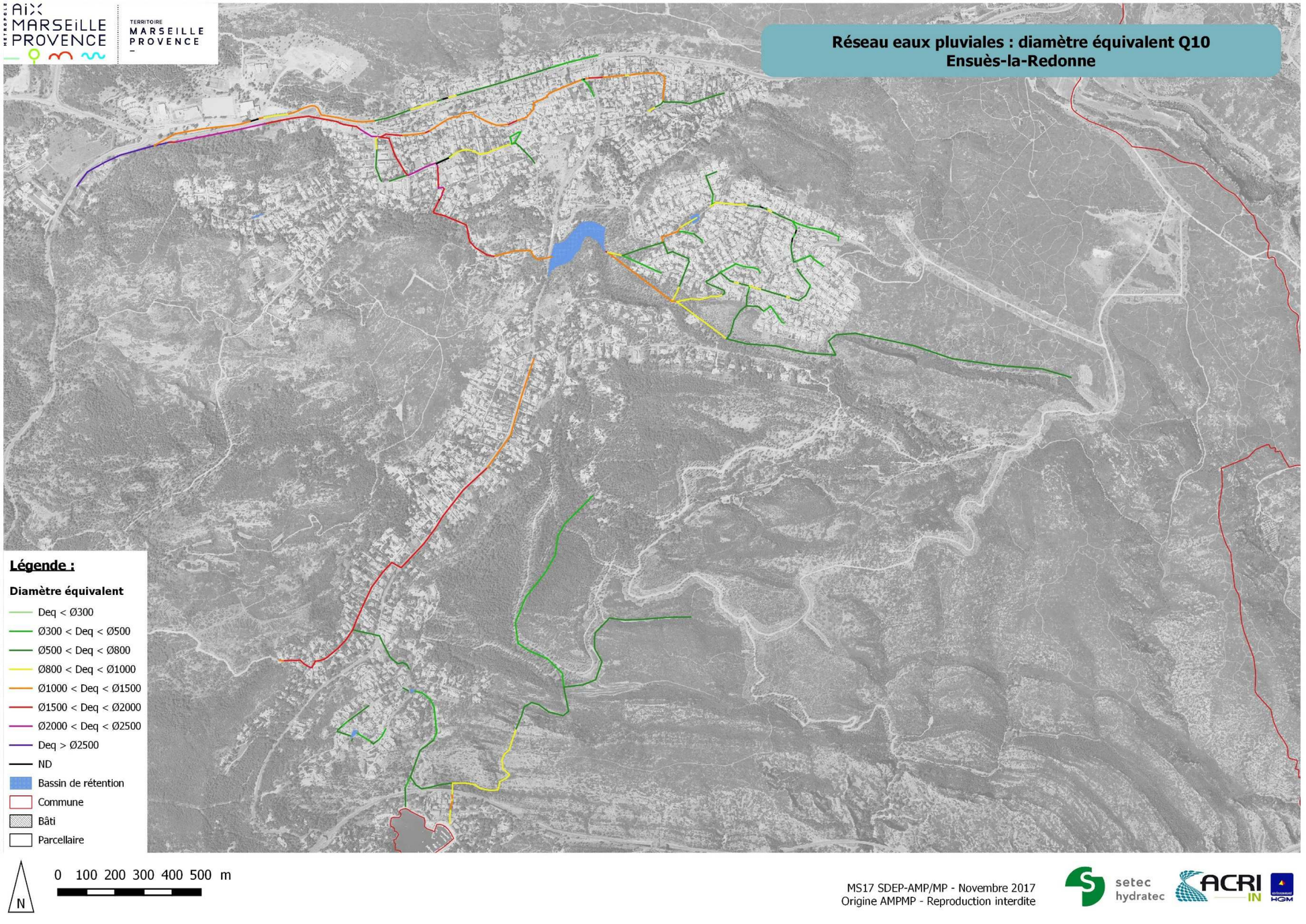


Figure 31 : Diamètres équivalents décennaux - Ensuès-la-Redonne

5.2.8 Le Rove – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

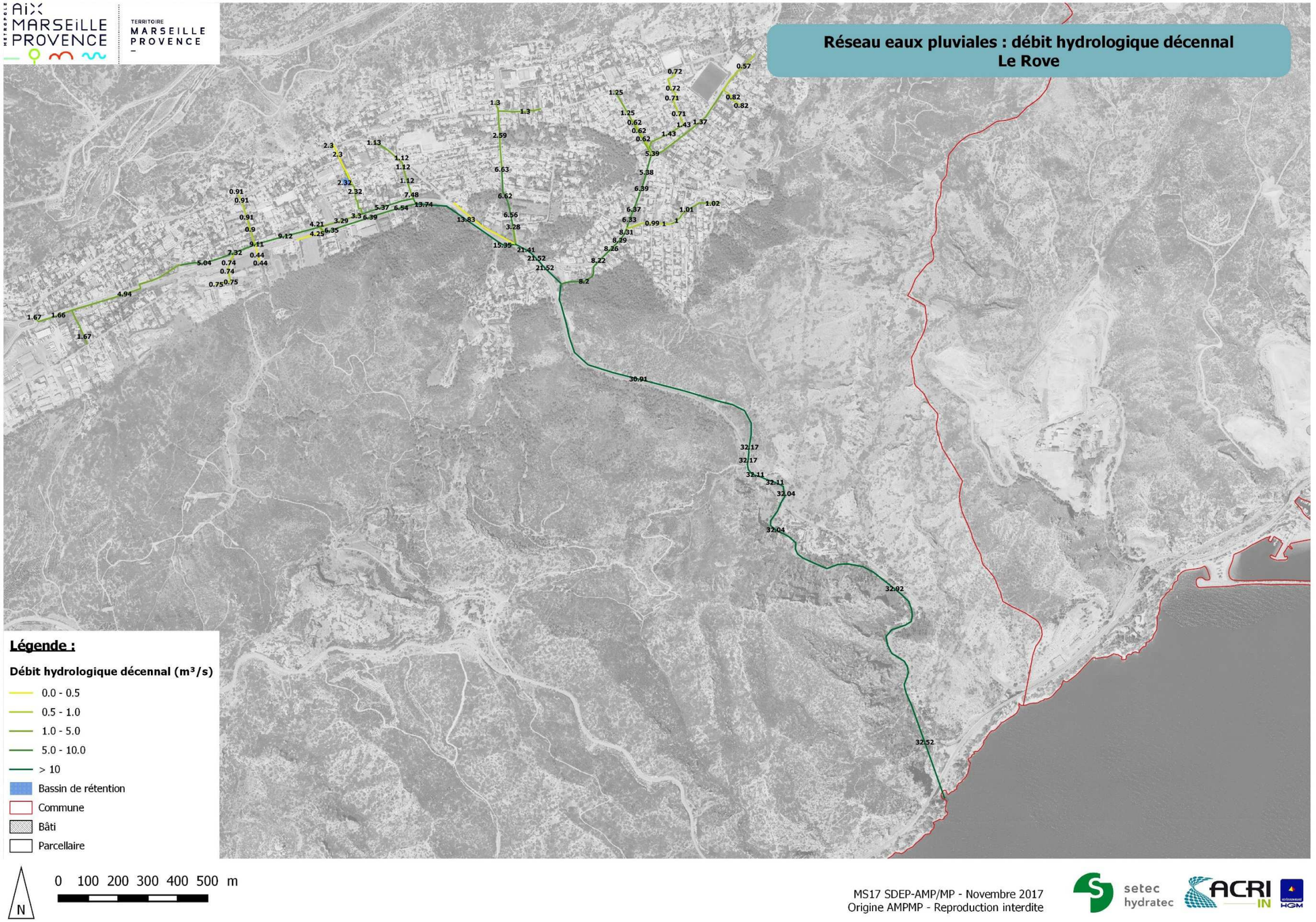


Figure 32 : Débits hydrologiques décennaux - Le Rove

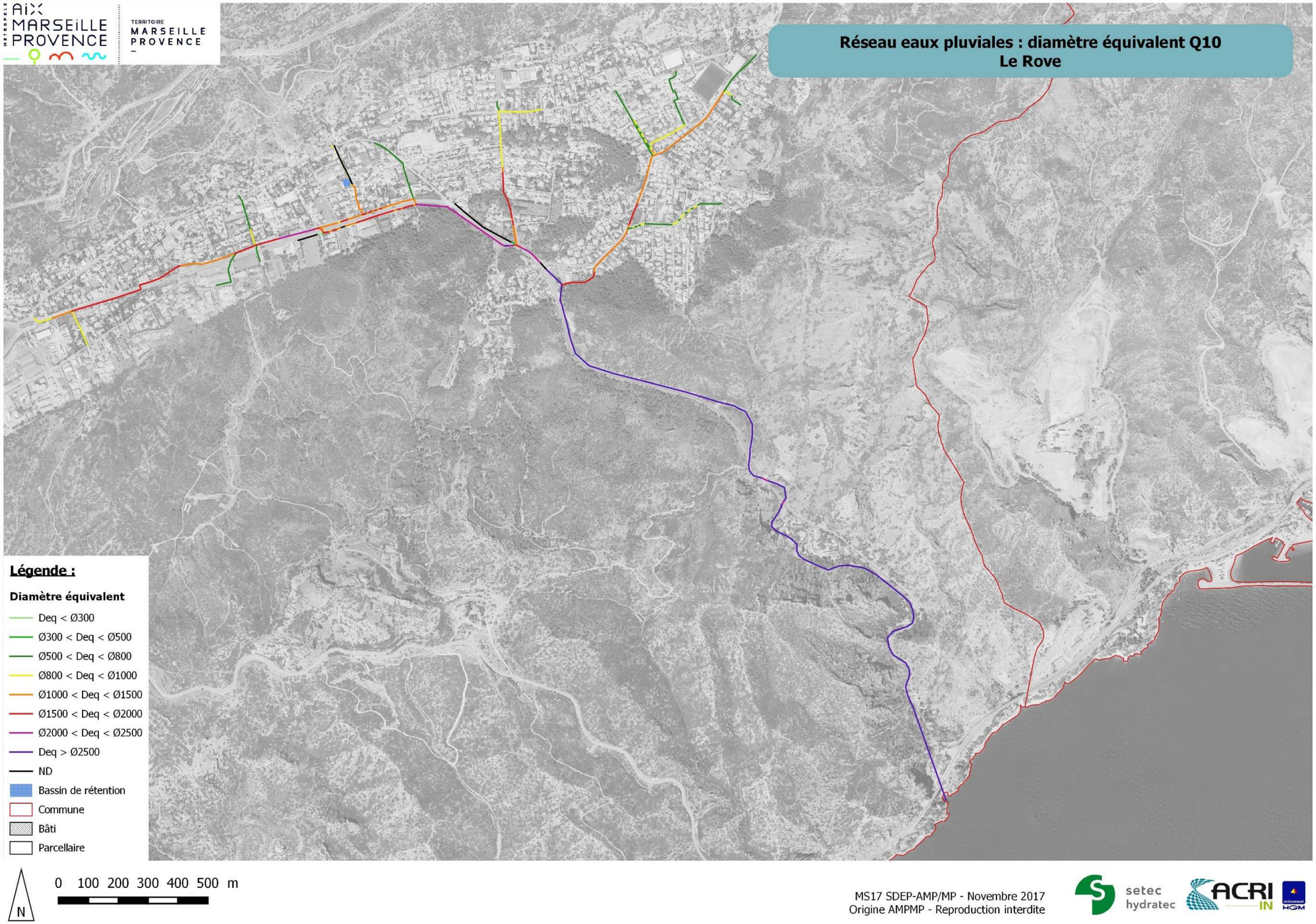


Figure 33 : Diamètres équivalents décennaux – Le Rove

5.2.9 Septèmes-les-Vallons – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

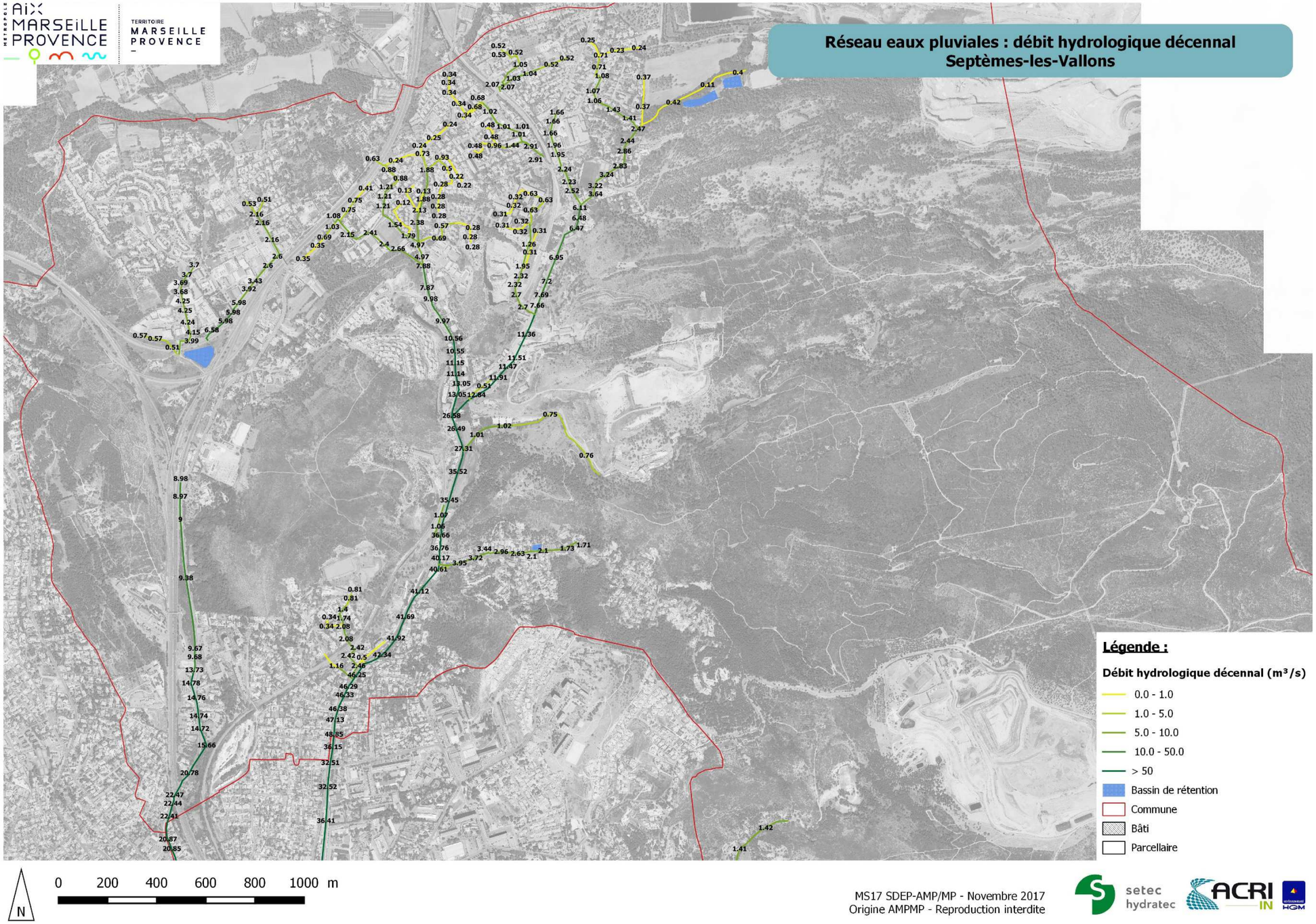


Figure 34 : Débits hydrologiques décennaux - Septèmes-les-Vallons

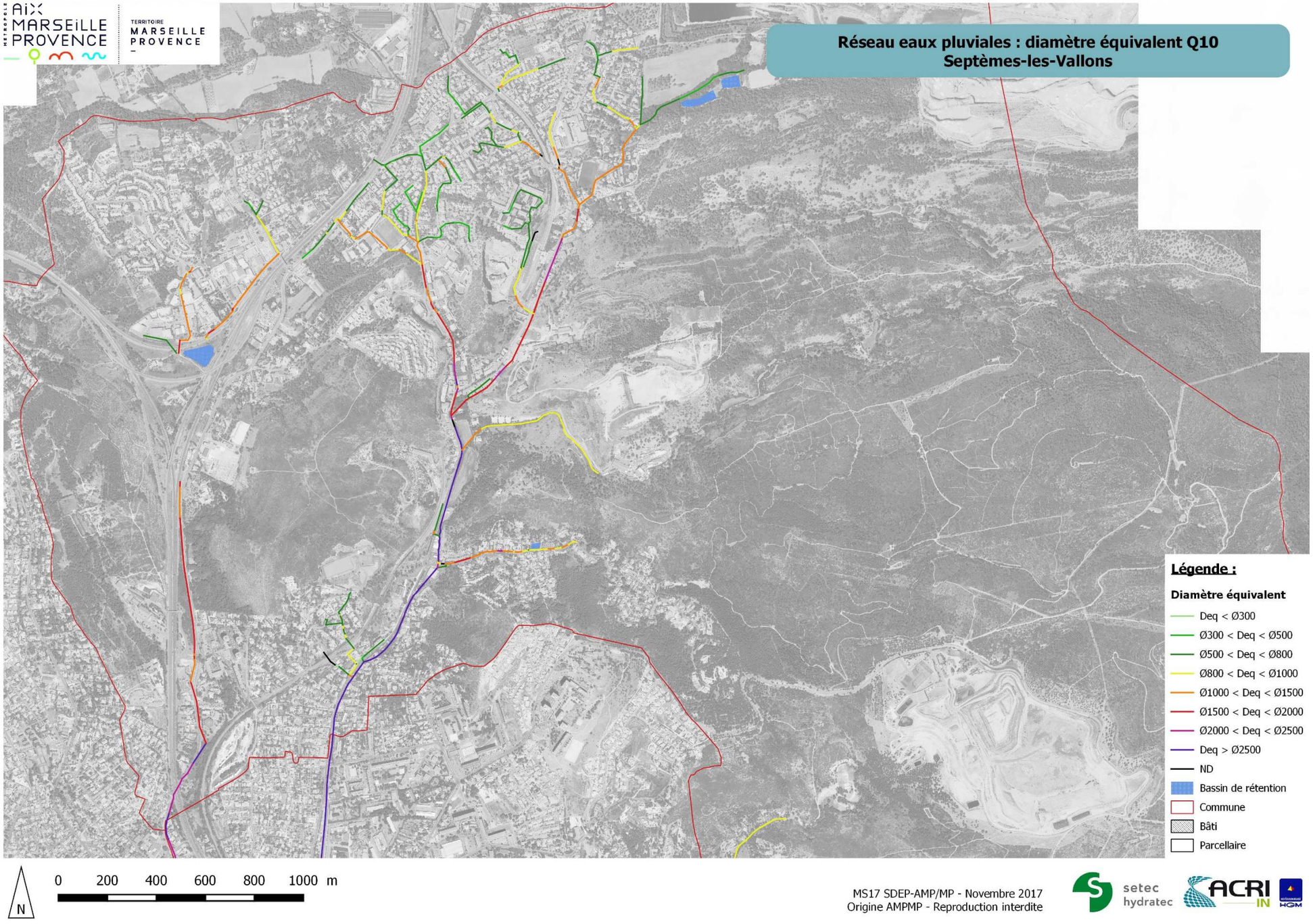


Figure 35 : Diamètres équivalents décennaux - Septèmes-les-Vallons

5.2.10 Allauch – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

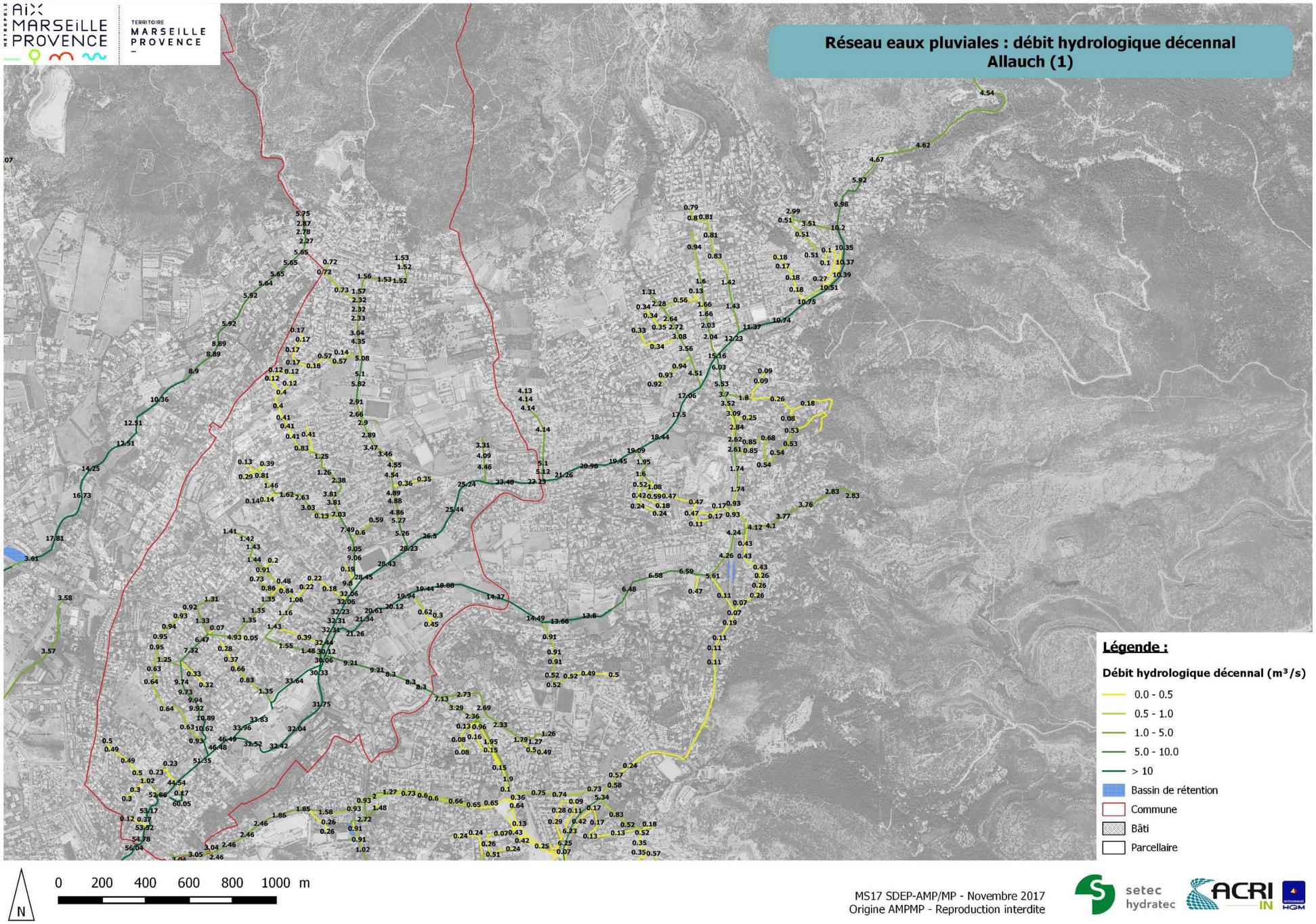


Figure 36 : Débits hydrologiques décennaux-Allauch (1)

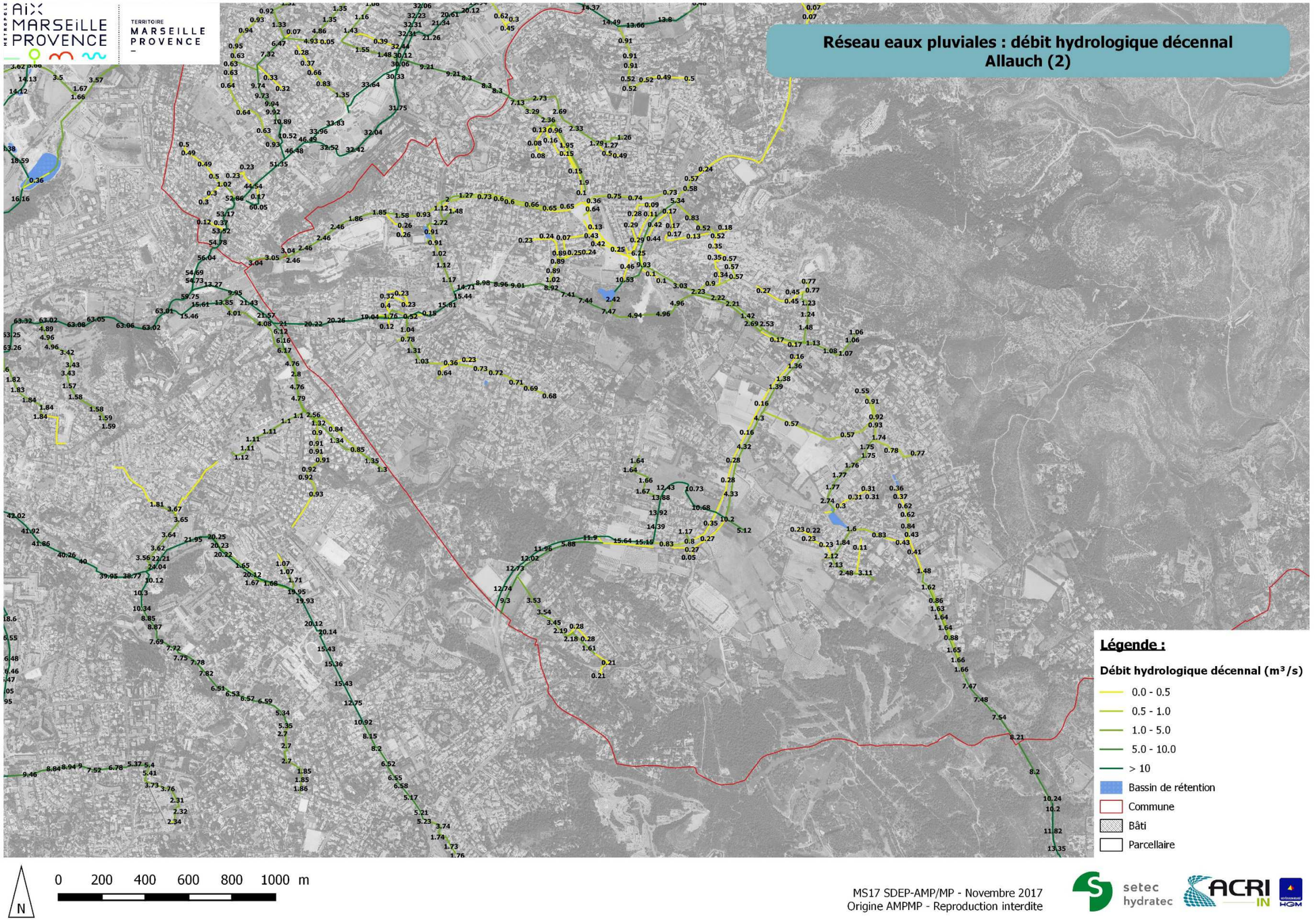


Figure 37 : Débits hydrologiques décennaux- Allauch (2)

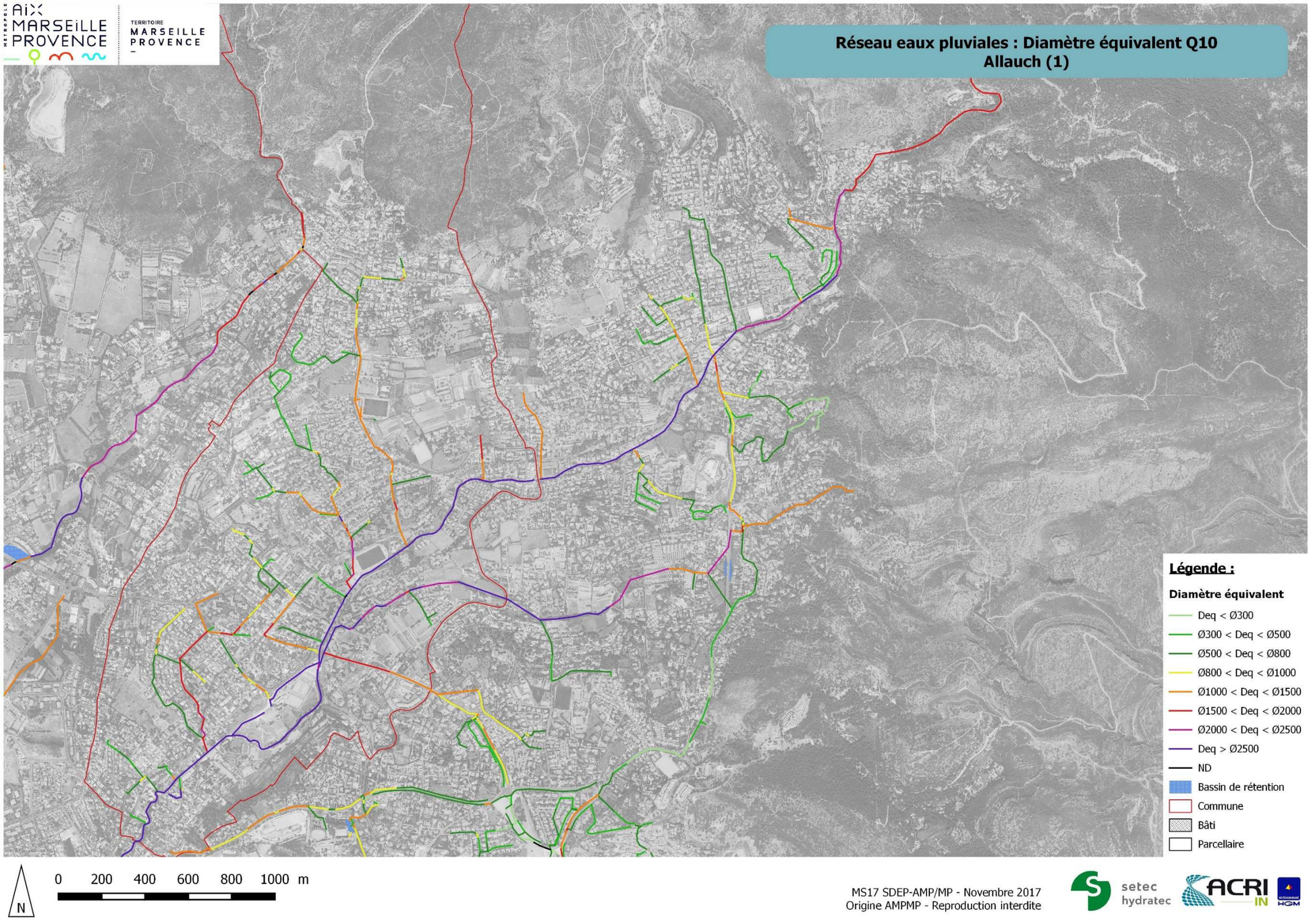


Figure 38 : Diamètres équivalents décennaux – Allauch (1)

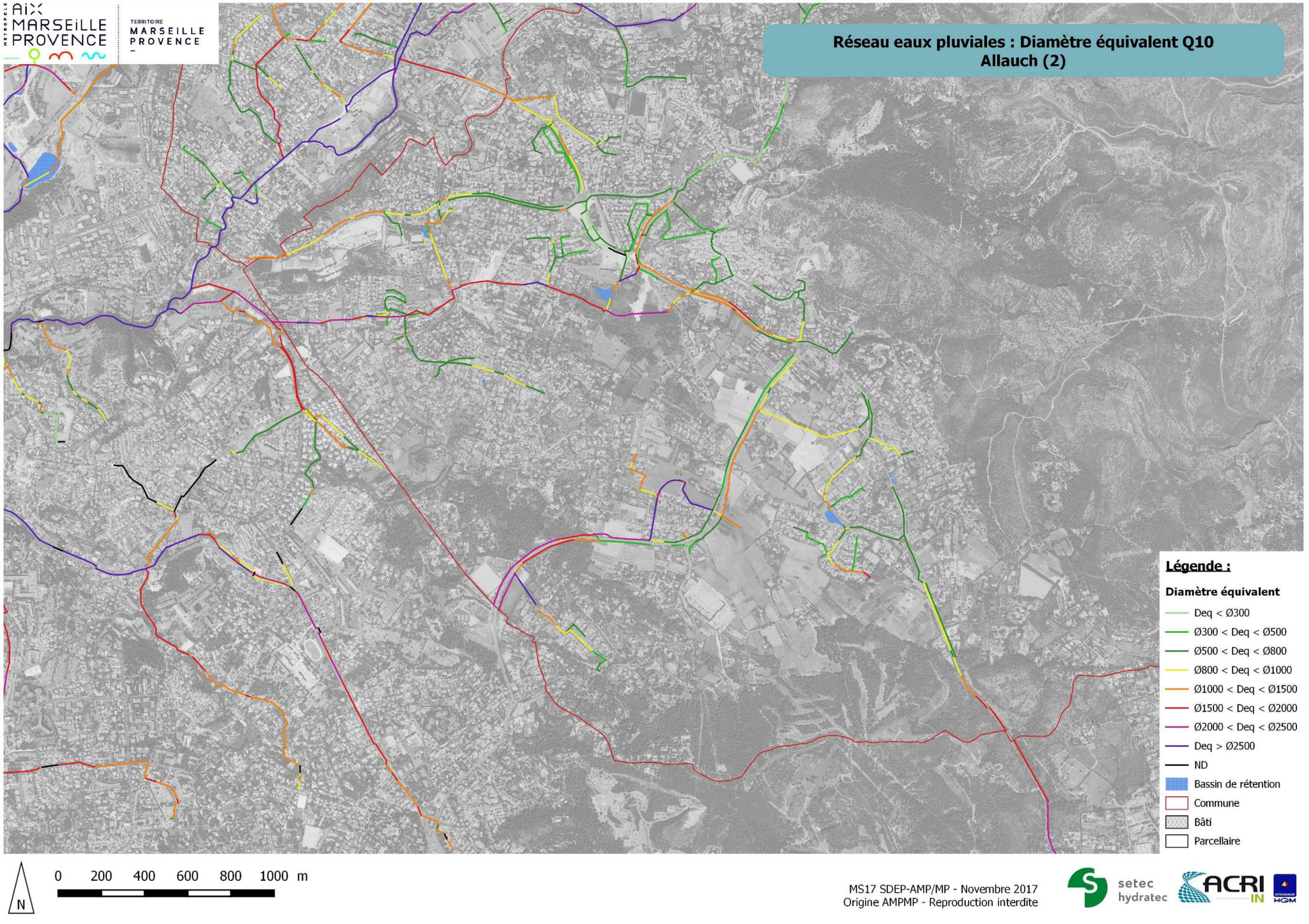


Figure 39 : Diamètres équivalents décennaux – Allauch (2)

5.2.11 Plan-de-Cuques – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

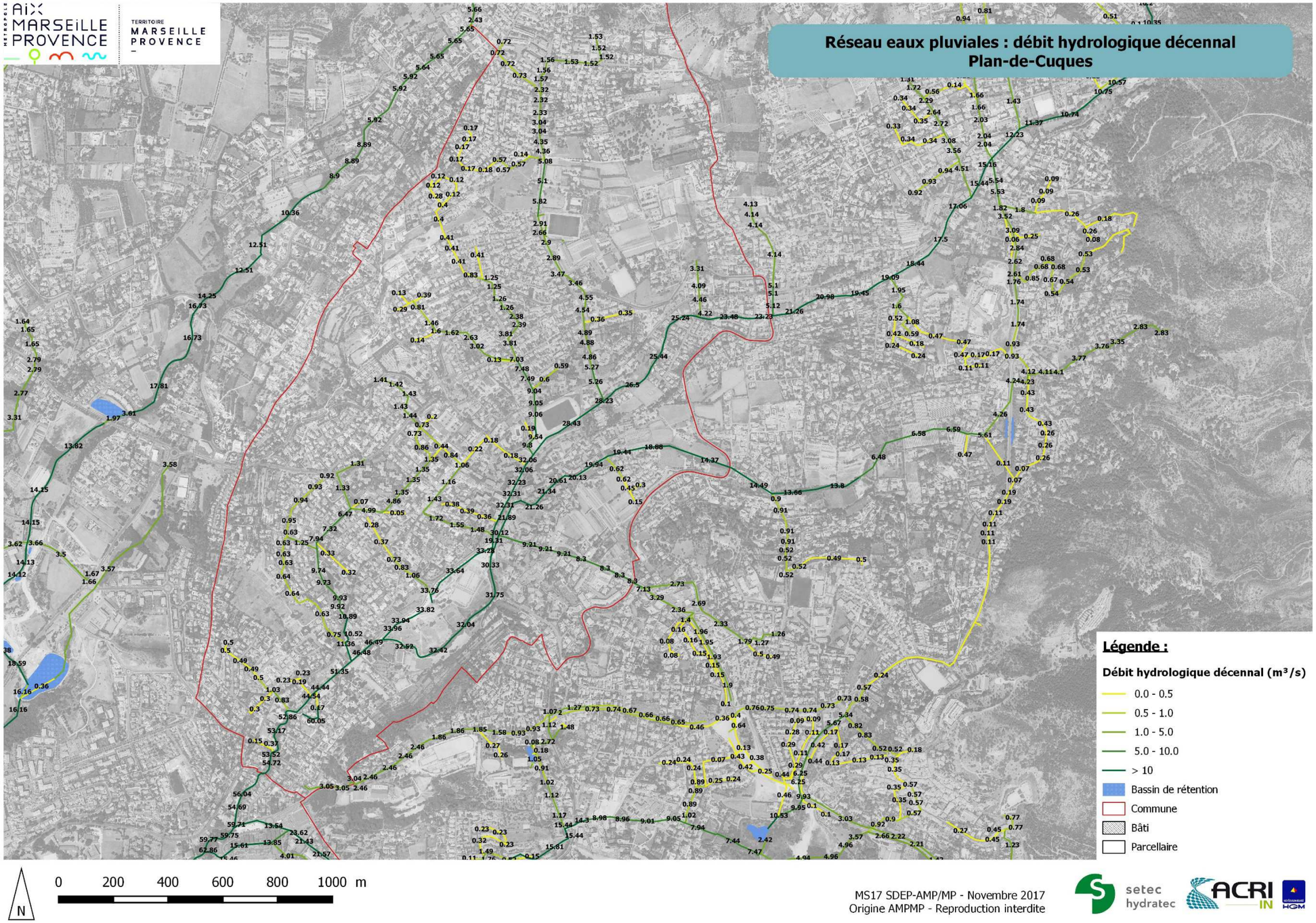


Figure 40 : Débits hydrologiques décennaux - Plan-de-Cuques

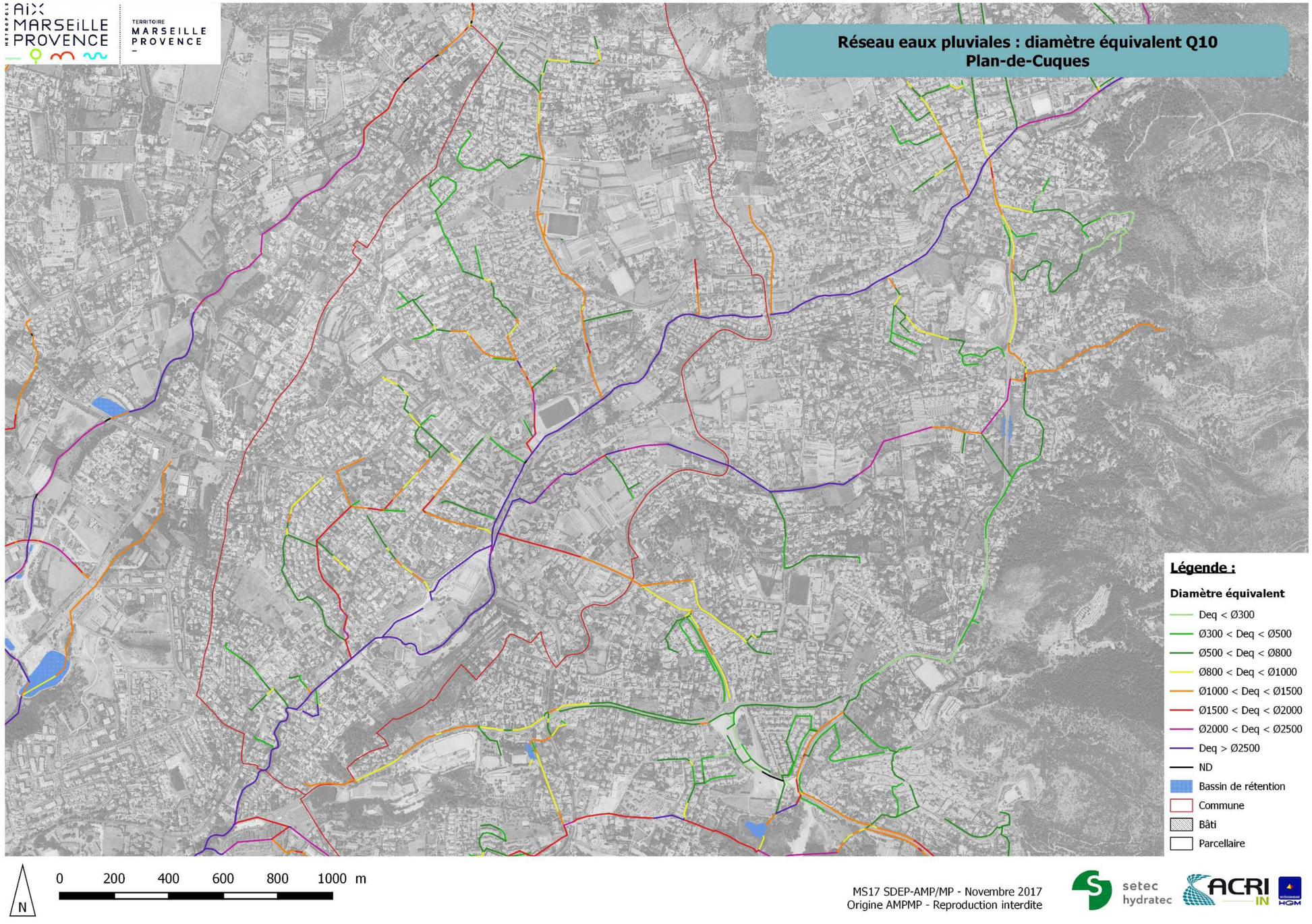


Figure 41 : Diamètres équivalents décennaux – Plan-de-Cuques

5.2.12 Marseille – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

Voir cartes au format image en annexe.

5.2.13 Cassis – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

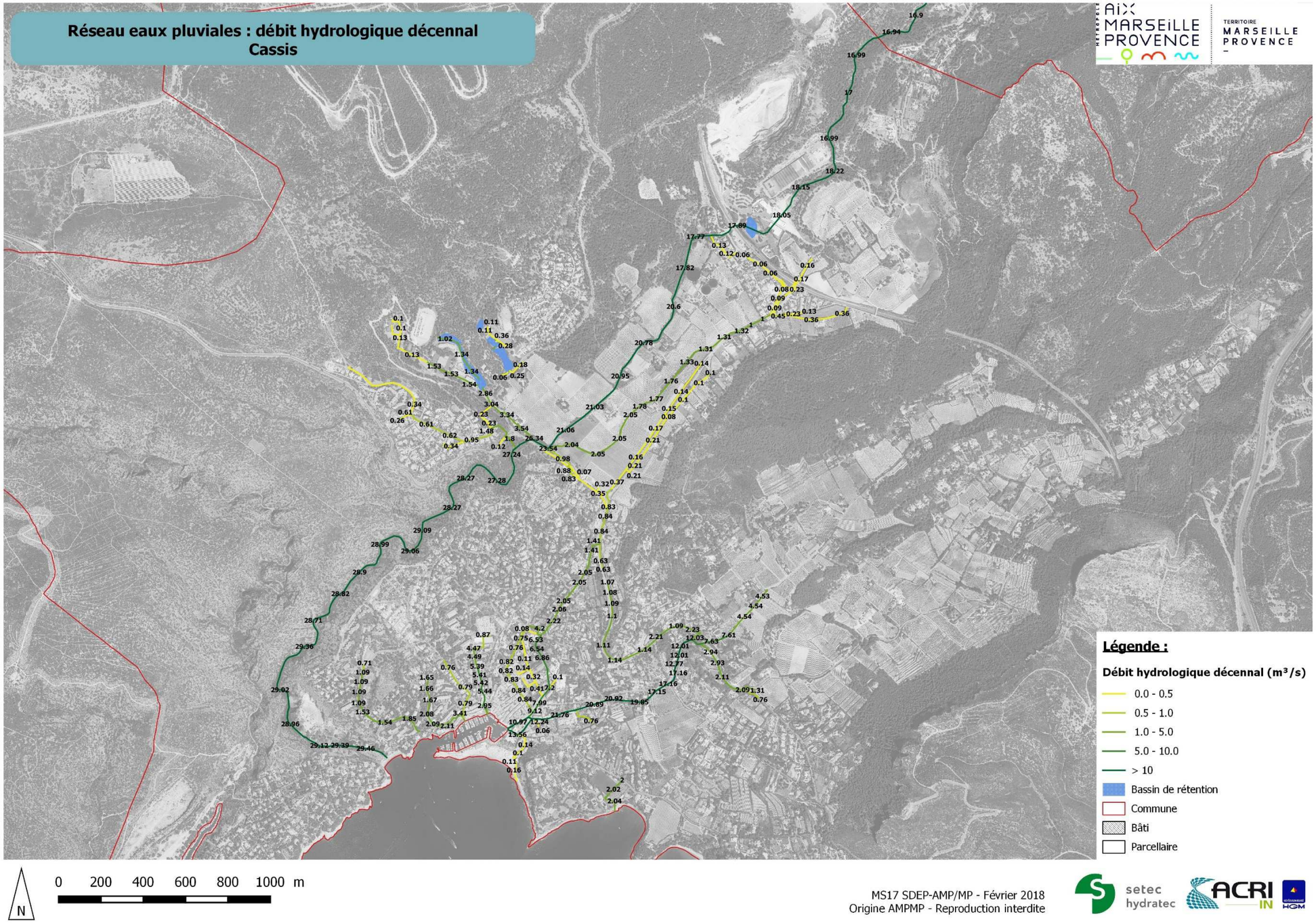


Figure 42 : Débits hydrologiques décennaux- Cassis

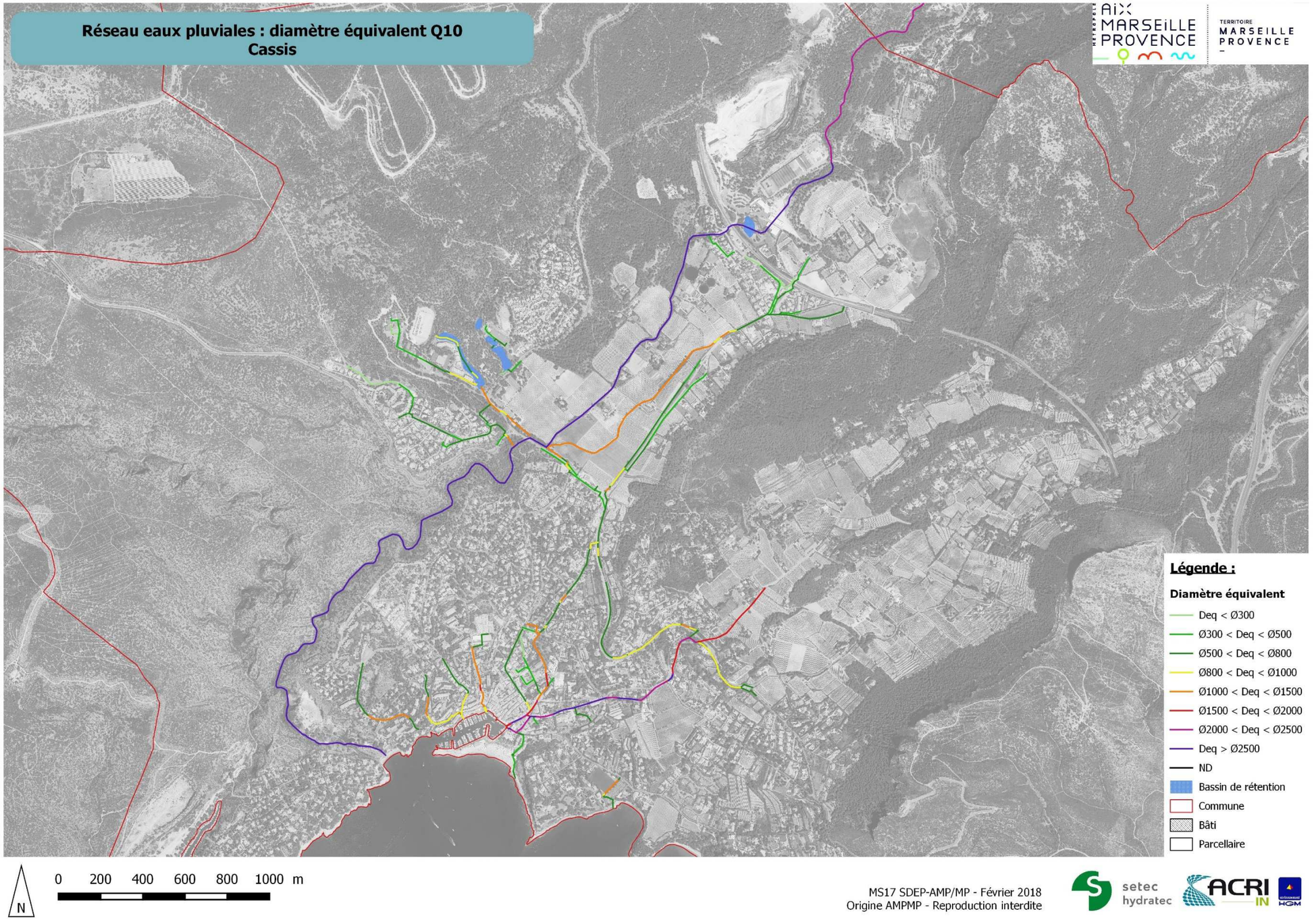


Figure 43 : Diamètres équivalents décennaux - Cassis

5.2.14 Carnoux-en-Provence – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

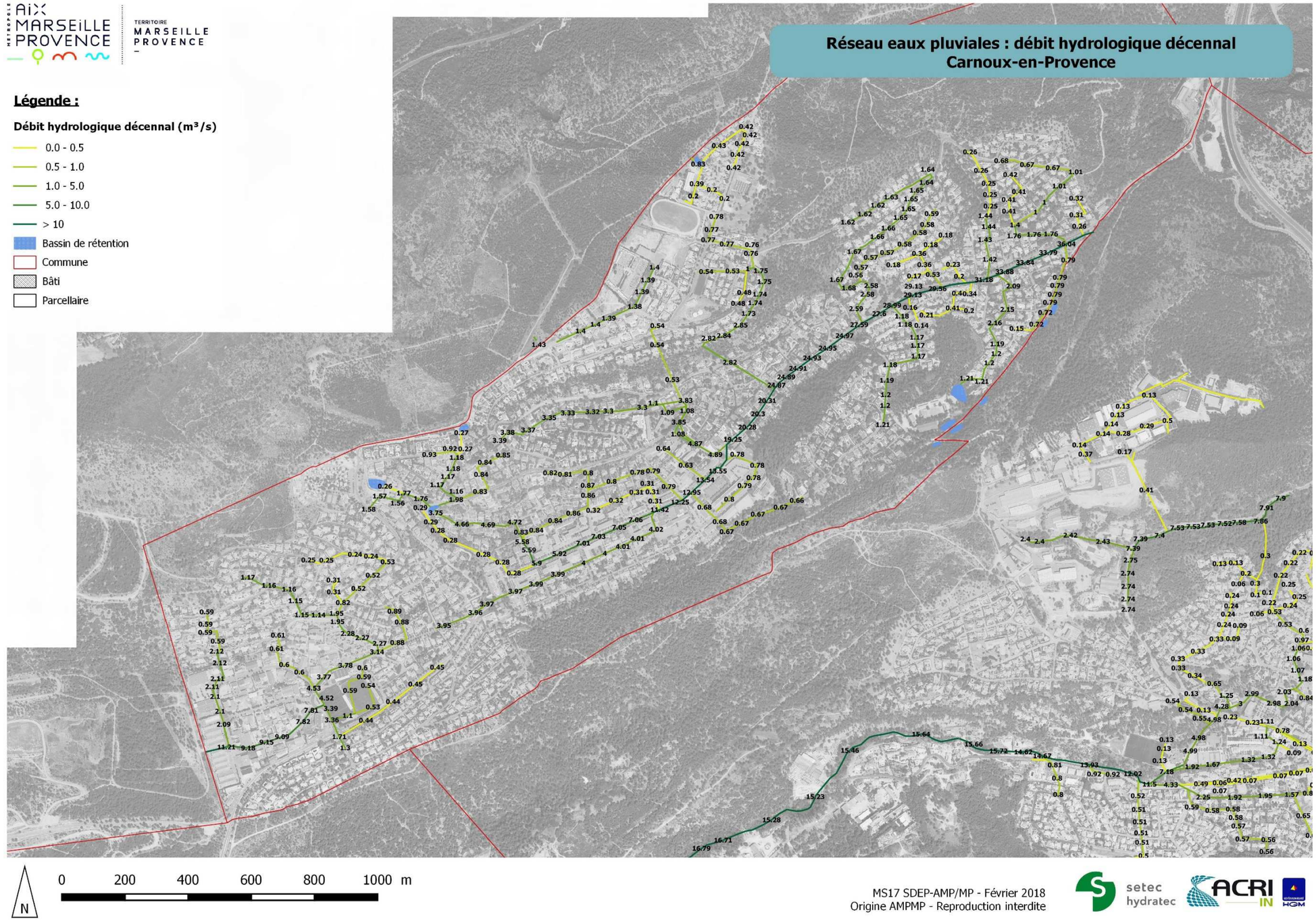


Figure 44 : Débits hydrologiques décennaux - Carnoux-en-Provence

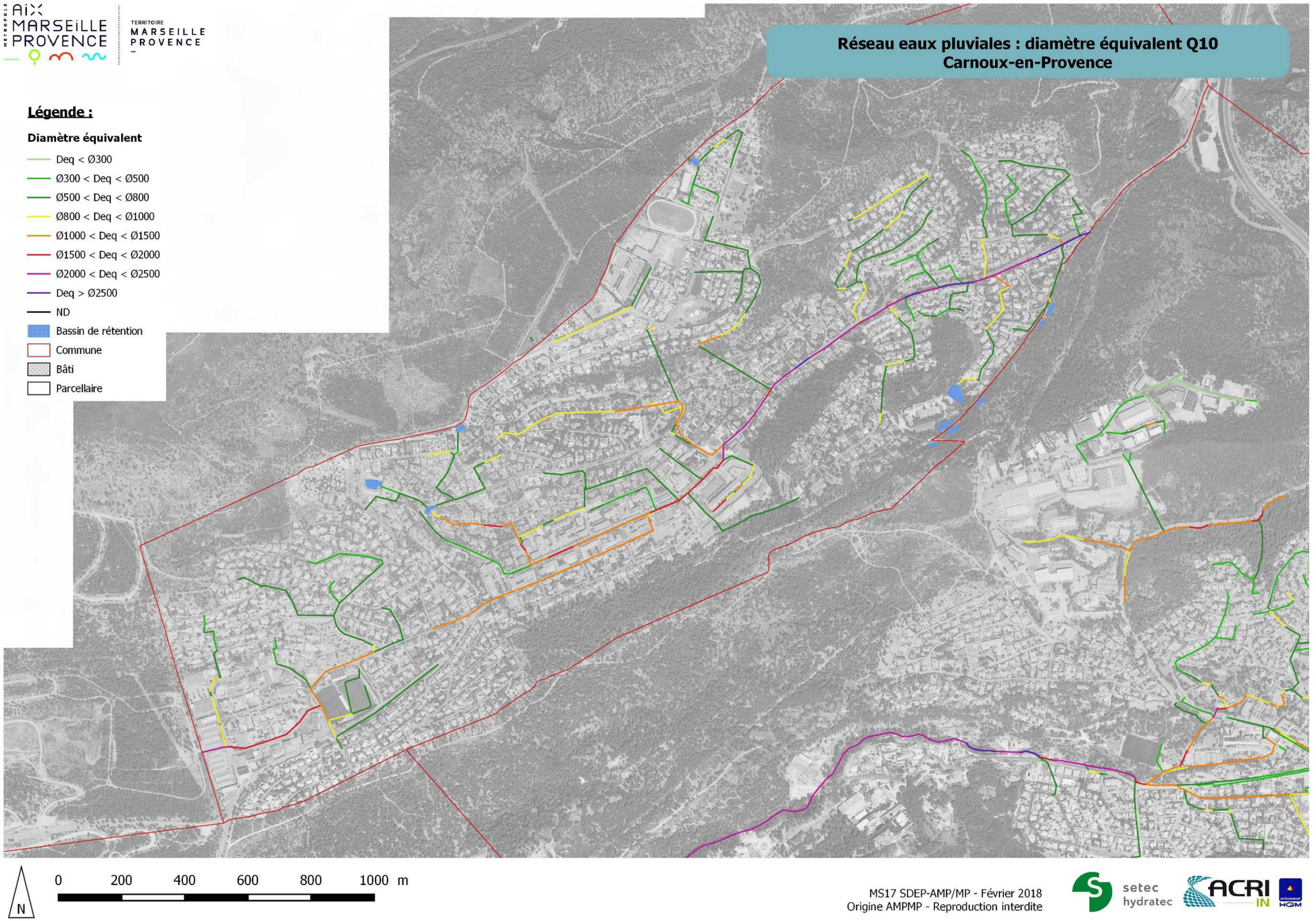


Figure 45 : Diamètres équivalents décennaux – Carnoux-en-Provence

5.2.15 Gémenos – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

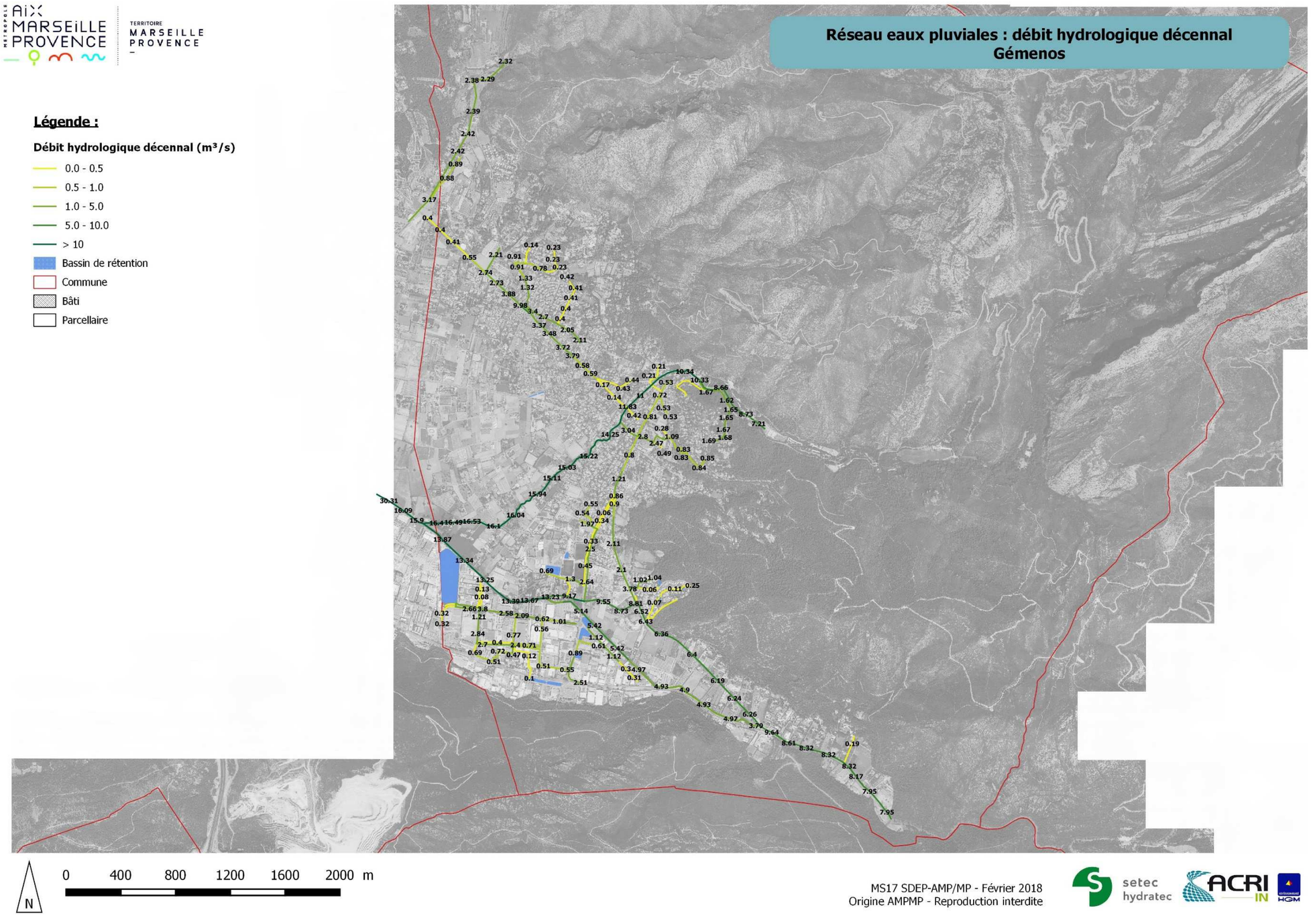


Figure 46 : Débits hydrologiques décennaux - Gémenos

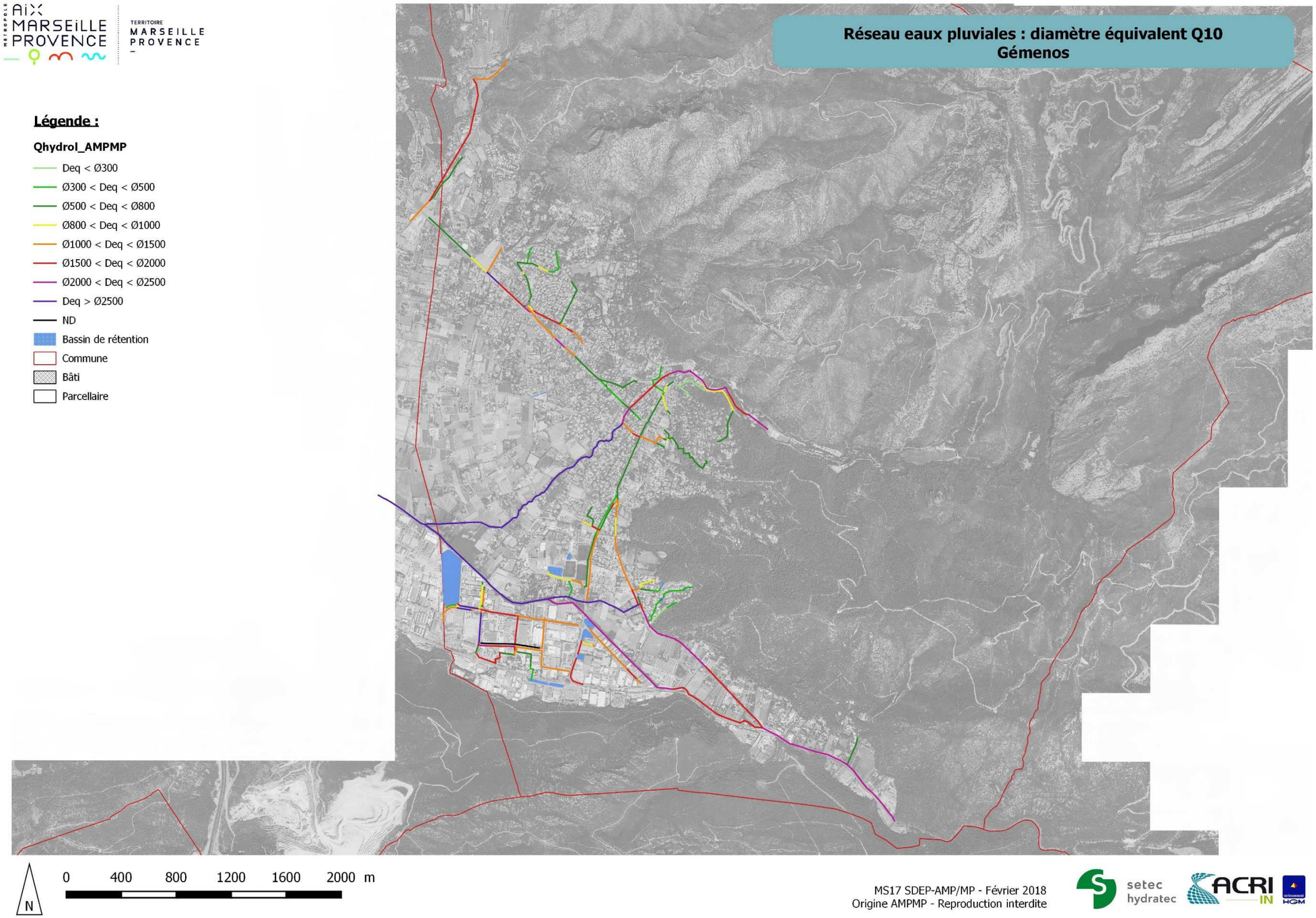


Figure 47 : Diamètres équivalents décennaux – Gémenos

5.2.16 Roquefort-la-Bédoule – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

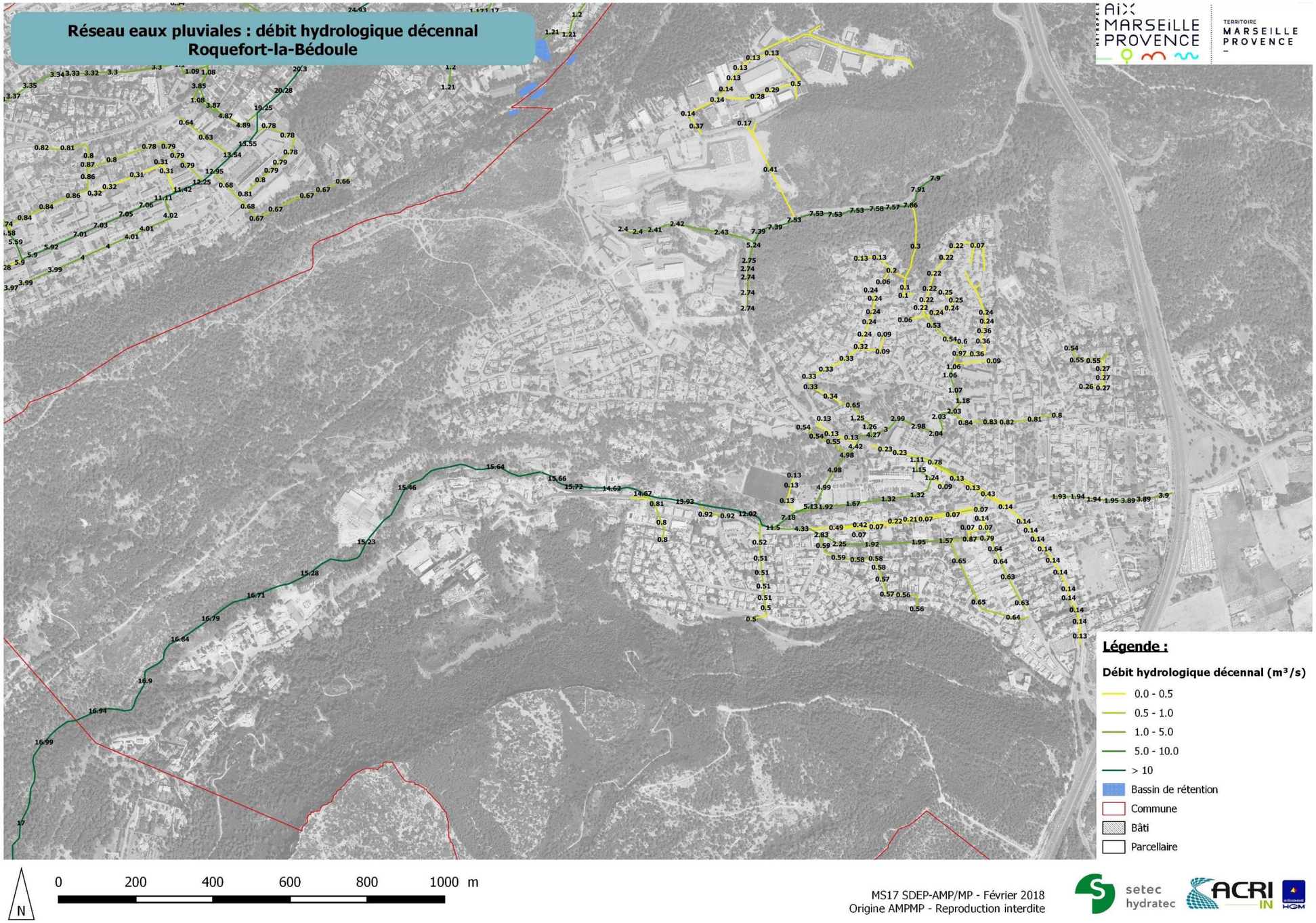


Figure 48 : Débits hydrologiques décennaux - Roquefort-la-Bédoule

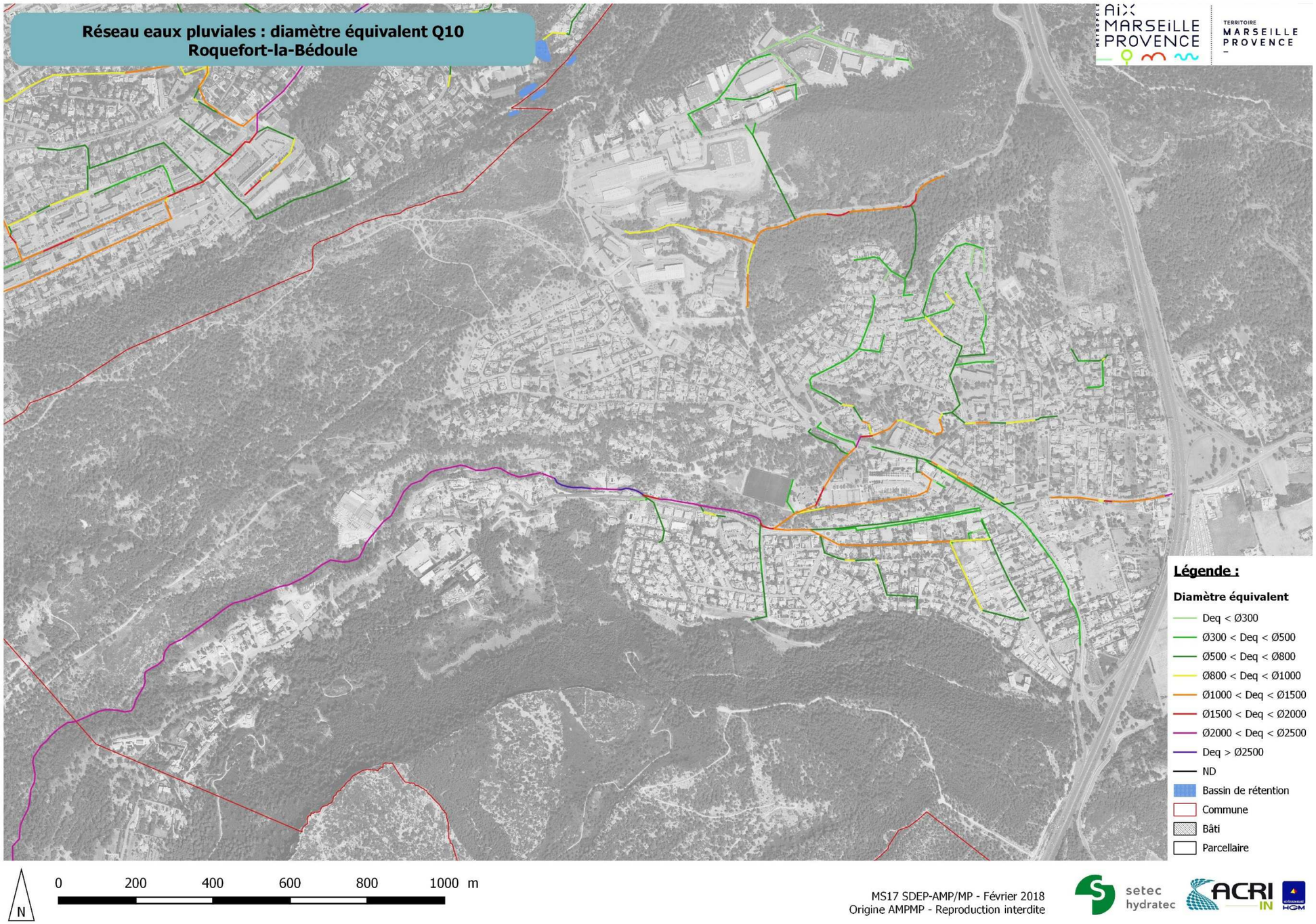


Figure 49 : Diamètres équivalents décennaux – Roquefort-la-Bédoule

5.2.17 Ceyreste – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

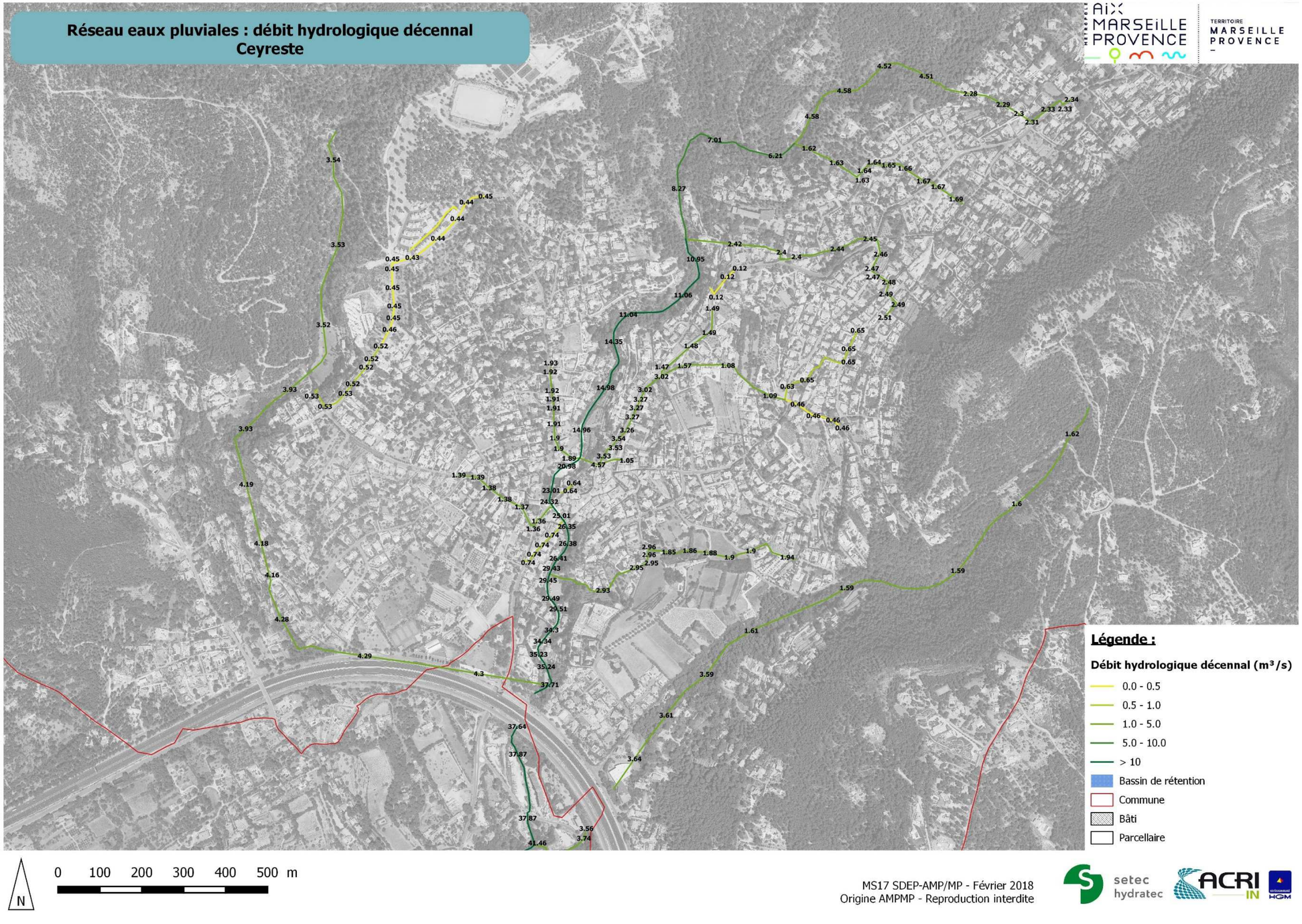


Figure 50 : Débits hydrologiques décennaux - Ceyreste

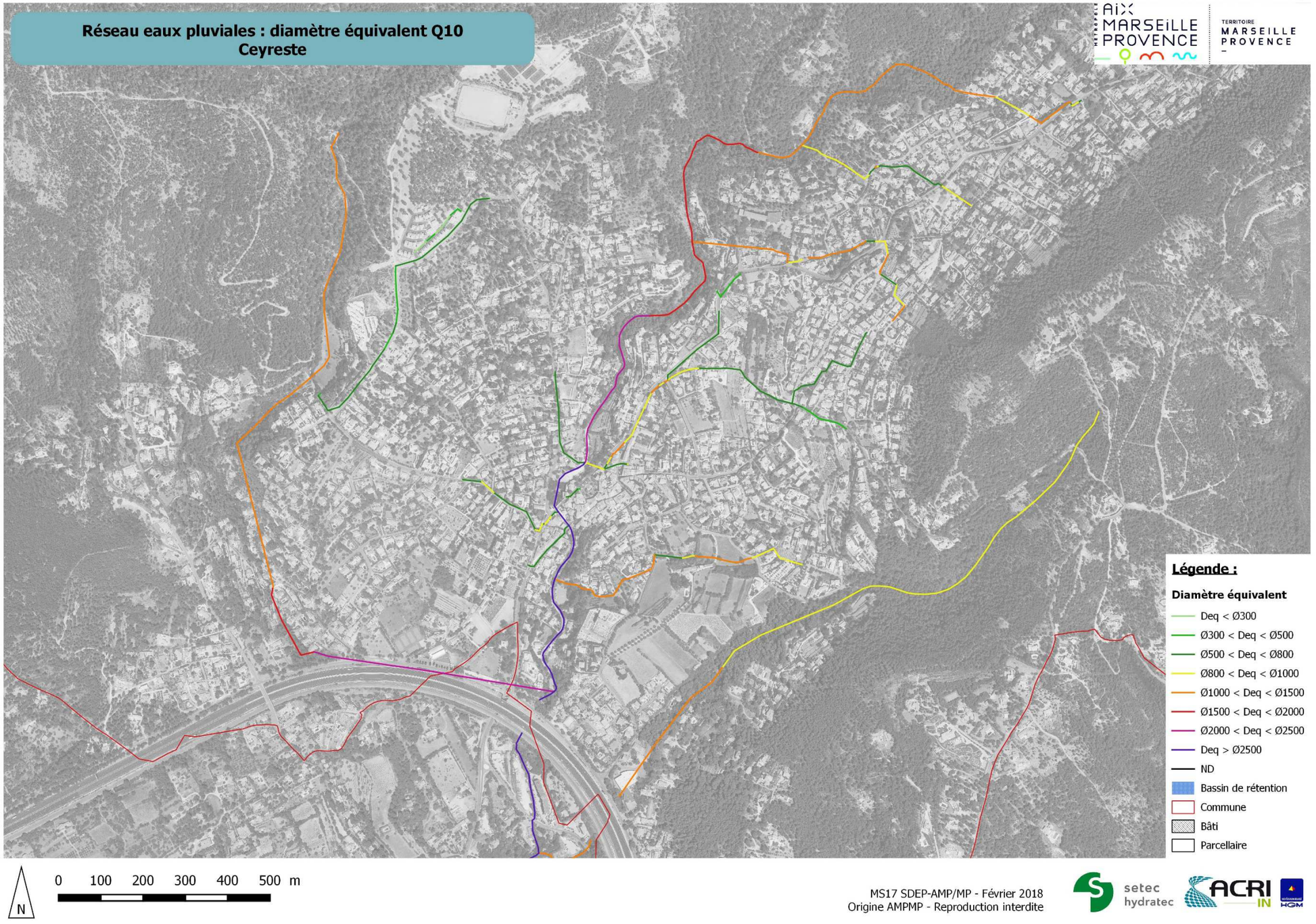


Figure 51 : Diamètres équivalents décennaux - Ceyreste

5.2.18 La Ciotat – Débits hydrologiques & diamètres équivalents

*

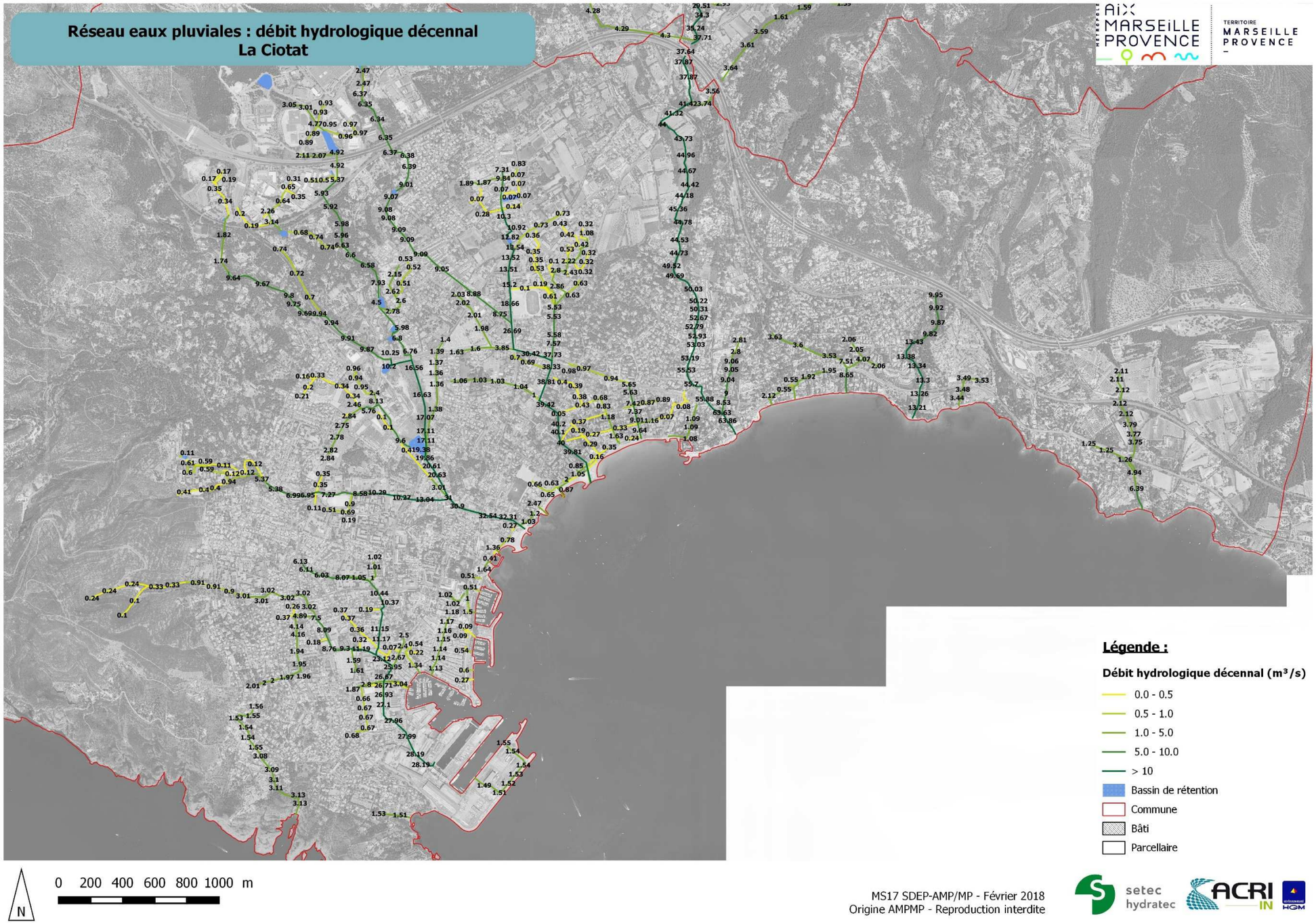


Figure 52 : Débits hydrologiques décennaux - La Ciotat

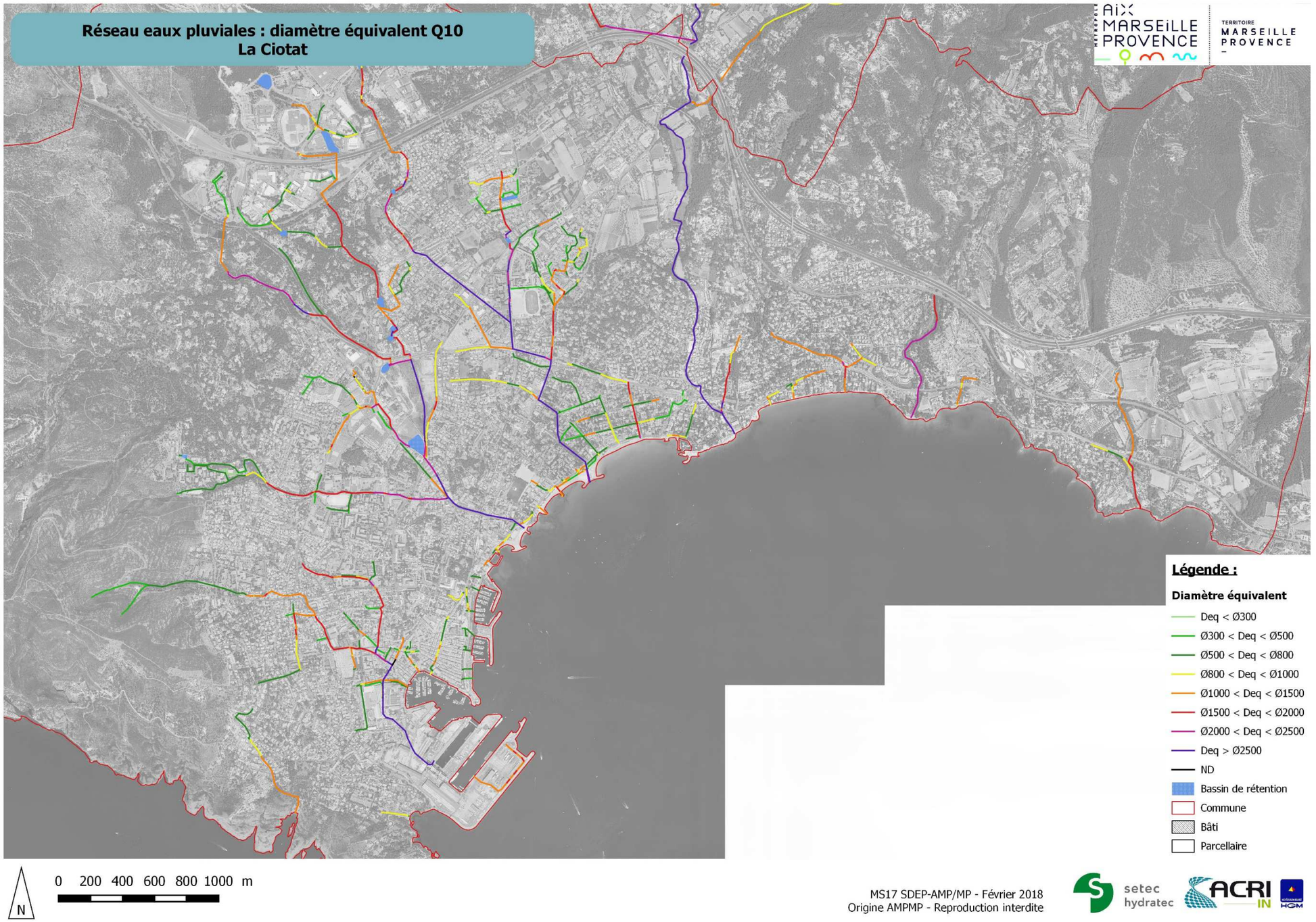


Figure 53 : Diamètres équivalents décennaux – La Ciotat

6 DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE

Le schéma directeur pluvial AMP MP présente un double objectif, à savoir d'une part de connaître les valeurs de débits maximales théoriques en tout point du réseau pour les différentes périodes de retour étudiées (par le biais du calcul des débits) hydrologiques et d'autre part de proposer des aménagements hydrauliques visant à limiter le risque inondation et réduire les dysfonctionnements. Afin de répondre de manière pertinente au second volet, nous avons réalisé un diagnostic hydraulique des différents réseaux pluviaux du territoire.

6.1 MÉTHODOLOGIE

Le diagnostic a été réalisé par la mise en œuvre d'une modélisation hydraulique au moyen du logiciel Hydra des réseaux « réels » du territoire, sans modification des sections de collecteurs comme dans les modélisations décrites précédemment au §5, l'ensemble des autres caractéristiques structurelles des modèles restant inchangées. Ce type de modélisation permet de décrire précisément le fonctionnement actuel des réseaux, en tenant compte des mises en charge et des débordements éventuels. Par ailleurs, ces modèles permettront de vérifier, pour chaque aménagement proposé, l'impact de ce dernier sur les lignes d'eau en amont et en aval.

6.2 CALAGE DES MODELES

Dans le but de rendre compte le plus précisément possible du fonctionnement réel des réseaux ainsi que dans un souci de cohérence avec les données existantes, notamment sur Marseille (SDEP de 1995, Etude de connaissance de l'aléa inondation des Aygalades (2016-2017)), certains paramètres des modèles hydrauliques mis en œuvre ont fait l'objet d'ajustements constituant la phase de calage nécessaire à toute étude de modélisation hydraulique.

6.2.1 Ajustement de la pluviométrie / notion d'abattement spatial

Parmi les paramètres de calage usuels en modélisation, il est possible d'intervenir en premier lieu sur les données d'entrée hydrologiques. En effet, il apparaît comme particulièrement pessimiste - et peu réaliste - de considérer des pluies parfaitement homogènes en termes d'intensité sur des bassins versants très étendus tels que ceux du Jarret ou des Aygalades. Afin de remédier à cette surestimation, il est fréquent d'introduire un coefficient d'abattement pluviométrique de manière à minorer les volumes d'eau précipités. Différentes études ont démontré la pertinence d'une telle démarche, notamment l'étude intitulée ***« Coefficient d'abattement spatial des pluies en région méditerranéenne adaptés aux petits bassins versants, Rapport de synthèse, Cereve, Gaume et al., février 2001 ».***

Cette dernière conclut sur le fait que, pour des pluies de période de retour supérieure à 6 mois affectant des bassins versants d'une superficie supérieure à 30 km², il apparaît pertinent d'introduire un coefficient d'abattement pluviométrique calculé en fonction de la surface du bassin versant et de la durée de la pluie considérée selon l'expression suivante :

$$\propto = S^{(-0.064 + 0.014.\ln(\Delta t))}$$

Dans le cas de notre étude, cette relation apparaît adaptée sur le secteur de Marseille / Septèmes-les-Vallons / Plan-de-Cuques / Allauch, l'ensemble du complexe de réseaux considéré correspondant aux sous bassins versants des Aygalades (50km²), du Jarret (102km²) et de l'Huveaune (partie aval uniquement), sur lesquels la formule ci-dessus est par conséquent applicable.

Les valeurs de coefficients d'abattement ainsi calculées sont, à titre d'exemple :

- 0.79 pour S = 50km² et Δt = 90mn,
- 0.76 pour S = 100km² et Δt = 90mn,
- 0.77 pour S = 50km² et Δt = 45mn.

Au regard de ces résultats, nous avons choisi de retenir une valeur globale de 0.8 que nous avons appliquée sur l'ensemble du modèle de Marseille / Septèmes / Plan-de-Cuques / Allauch.

En revanche, sur les 14 autres communes, nous n'avons pas appliqué ce coefficient d'abattement en raison des plus faibles superficies drainées (< 30km²) par les différents réseaux structurants.

6.2.2 Ajustement des coefficients de ruissellement

De la même façon que l'abattement spatial de la pluviométrie, le coefficient de ruissellement constitue un des principaux paramètres de calage d'un modèle, la détermination d'une valeur exacte de ce paramètre s'avérant particulièrement complexe. En première approche, nous avions considéré ce paramètre comme égal au coefficient d'imperméabilisation, qui avait été déterminé en phase 3, à partir des données cadastrales et Corine Land Cover notamment, conduisant à des valeurs d'imperméabilisation particulièrement élevées en milieu urbain (> 85% / 90%).

En fixant les coefficients de ruissellement de ces secteurs égaux aux coefficients d'imperméabilisation, la contribution des surfaces imperméables est maximisée, et ce durant la totalité de l'épisode pluvieux. Or, différents travaux ont souligné la non linéarité de l'évolution du ruissellement au cours d'une pluie, notamment pour les évènements de durée réduite. Par ailleurs, du fait d'une possible surestimation des surfaces imperméabilisées en milieu urbain, les effets de rétention / infiltration liés entre autres aux espaces verts / jardins sont minimisés, ce qui conduit à se placer dans le cas de figure le plus pessimiste.

L'objectif recherché ici consiste à reproduire le fonctionnement réel des réseaux, ce qui nous a conduit à réajuster à la baisse les valeurs des coefficients de ruissellement. Cet ajustement a été réalisé sur l'ensemble des modèles (18 communes), sur l'ensemble des bassins versants excepté sur les bassins les plus ruraux dont le coefficient de ruissellement a été conservé à 5% (cf. § 3.3.1).

En appliquant cet ajustement, sur le bassin versant des Aygalades nous obtenons, à titre de comparaison avec le modèle des Aygalades établi pour la DDTM 13 :

- CR moyen = 0.35 (modèle DDTM)
- CR moyen = 0.4 (modèle AMP / MP)

Nota : les mêmes ajustements ont été appliqués aux modèles destinés à déterminer les débits hydrologiques.

6.2.3 Résultats du calage

Afin de s'assurer de la pertinence des résultats produits, nous avons confronté les résultats des modèles réels calés à ceux issus du SDEP de 1995 et du modèle des Aygalades (pour la commune de Marseille).

En comparant les hydrogrammes produits par le modèle Aygalades et le modèle AMP / MP à l'aval du cours d'eau (amont du tronçon recalibré), nous obtenons les graphes suivants :

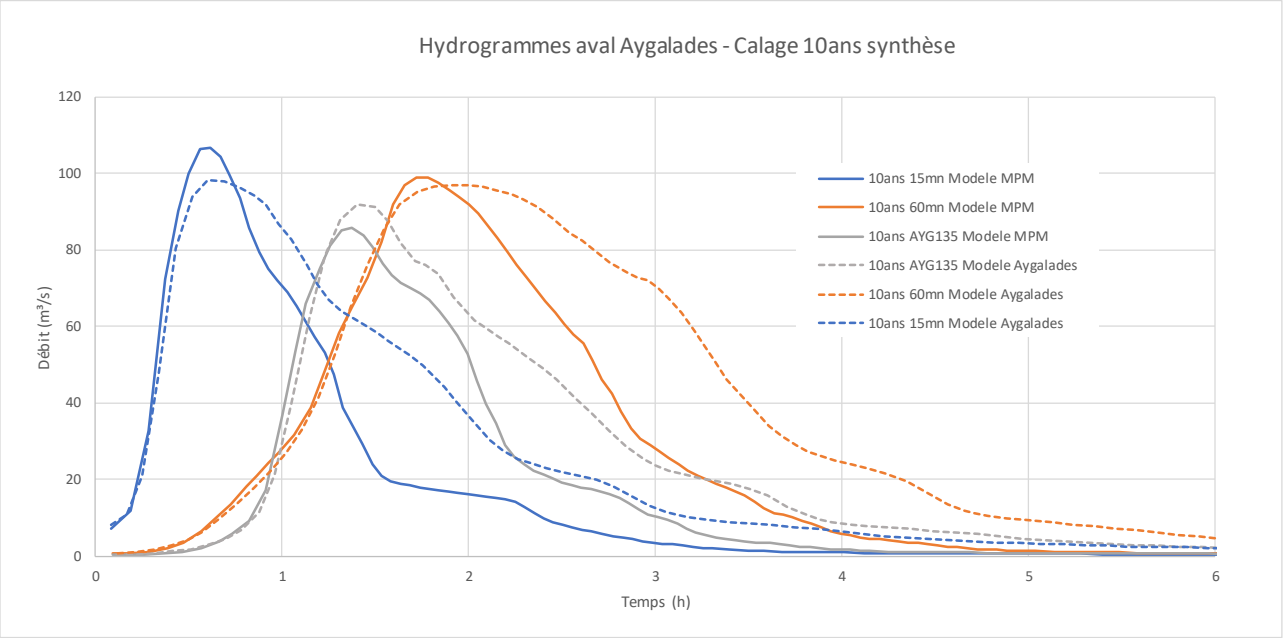


Figure 54 : Hydrogrammes produits par les 2 modèles pour 3 pluies décennales

La Figure 54 permet de constater que les résultats obtenus présentent une relativement bonne cohérence pour ce qui concerne le débit de pointe (écart maximal de 10%). Les volumes d'eau transités sont en revanche systématiquement supérieurs dans le modèle des Aygalades ce qui s'explique par la nature de ce modèle : modélisation des débordements en lit majeur par un maillage 2D et retour au réseau en aval, ce qui n'est pas le cas du modèle AMP / MP.

Concernant la comparaison avec les valeurs issues du SDEP de 1995, nous obtenons les résultats suivants :

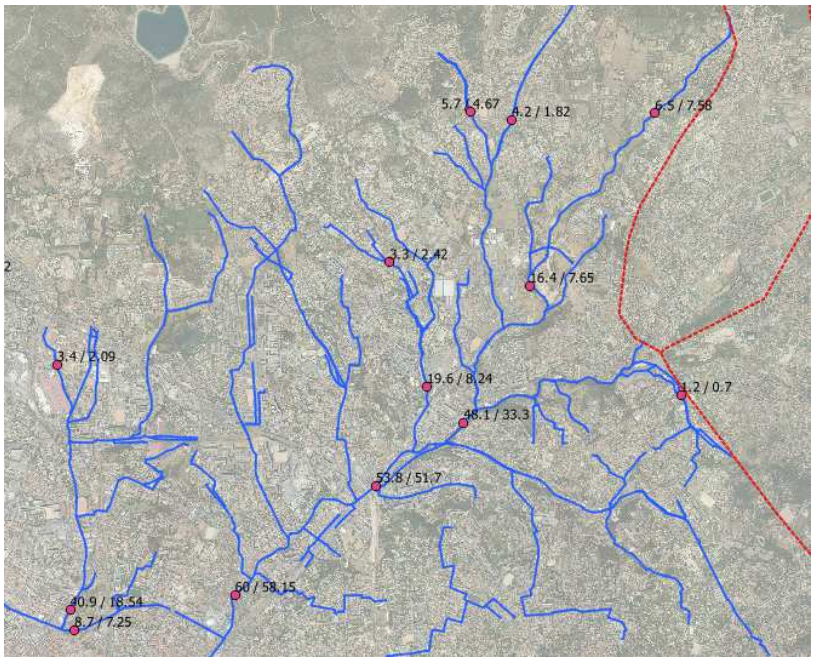


Figure 55 : Comparaison des valeurs maximales de débits (modèle Hydra / SDEP 95) secteur Jarret et affluents

Il est possible de constater que les ordres de grandeurs sont cohérents, toutefois en absence d'informations précises sur la nature des pluies modélisées en 1995, il apparaît complexe de réaliser une analyse plus poussée.

6.3 RÉSULTATS

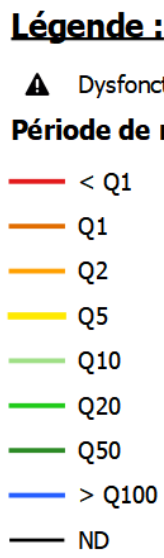
Suite aux différentes simulations réalisées sous Hydra, nous avons obtenu, pour chaque tronçon de collecteur et chacun des 21 scénarios de pluie les valeurs suivantes :

- Débit maximal,
- Hauteur d'eau maximale,
- Fonctionnement du collecteur (à surface libre / en charge / débordement).

Ainsi, nous sommes en mesure d'établir un diagnostic du fonctionnement global du réseau, détaillé au niveau des tronçons, pour chaque pluie / période de retour. Ces valeurs ont par la suite été intégrées dans une table SIG globale de manière à produire des cartes de synthèse pour chaque commune. La carte proposée représente la période de retour de débordement : représentation par un code couleur de la période de retour nécessaire pour observer un débordement du collecteur.

Les cartes représentent également par le symbole : ⚠ la localisation des dysfonctionnements hydrauliques identifiés en phase 2 de l'étude, se référer à l'annexe du rapport de phase 2 pour retrouver les caractéristiques des dysfonctionnements identifiés.

La légende employée est la suivante :



NB : la carte de diagnostic représente les débordements au droit du tronçon uniquement. Les éventuels transferts des débits débordés vers l'aval ne sont pas représentés sur ces cartes.

Le principe de modélisation des collecteurs en charge et des débordements est le suivant :

- Mise en charge des collecteurs

On adopte l'artifice de la fuite : le collecteur est prolongé verticalement par une fuite de faible épaisseur non régulière, qui, en pratique, est choisie égale à 1% de la largeur moyenne du collecteur.

- Débordement

Lorsque la cote piézométrique atteint la cote du terrain naturel, il y a débordement sur chaussée. On suppose que le volume débordé est perdu. Le débordement est modélisé par des lois de déversoir de 1 m de largeur à chaque regard modélisé.

Si un tronçon déborde sur une partie de son linéaire il est considéré en entier comme débordant.

Projet Qgis mis à disposition :

Ph5_AMPMP_Diag comprenant la table shape contenant les résultats présentés précédemment, affiché suivant l'analyse thématique ci-dessus. Suivant le niveau d'affichage choisi, les informations cadastrales et du nom des voiries sont également disponibles.

Le modèle conceptuel de données associé à la table du diagnostic hydraulique est présenté en annexe.

Les cartes de diagnostic hydraulique de chaque commune sont présentées dans les paragraphes ci-dessous.

6.3.1 Châteauneuf-les-Martigues – Diagnostic hydraulique

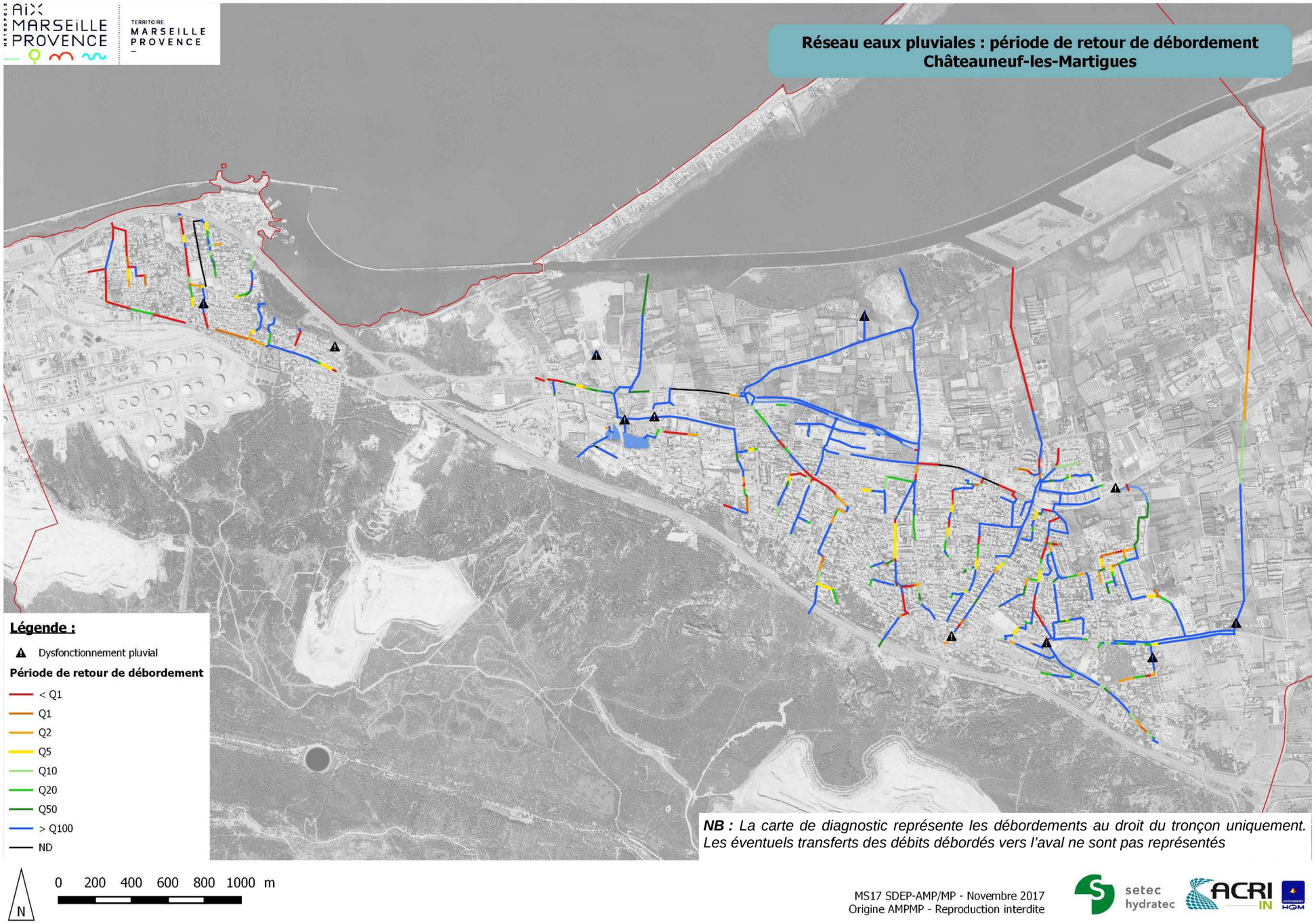


Figure 56 : Diagnostic hydraulique - Châteauneuf-les-Martigues

6.3.2 Gignac-la-Nerthe – Diagnostic hydraulique

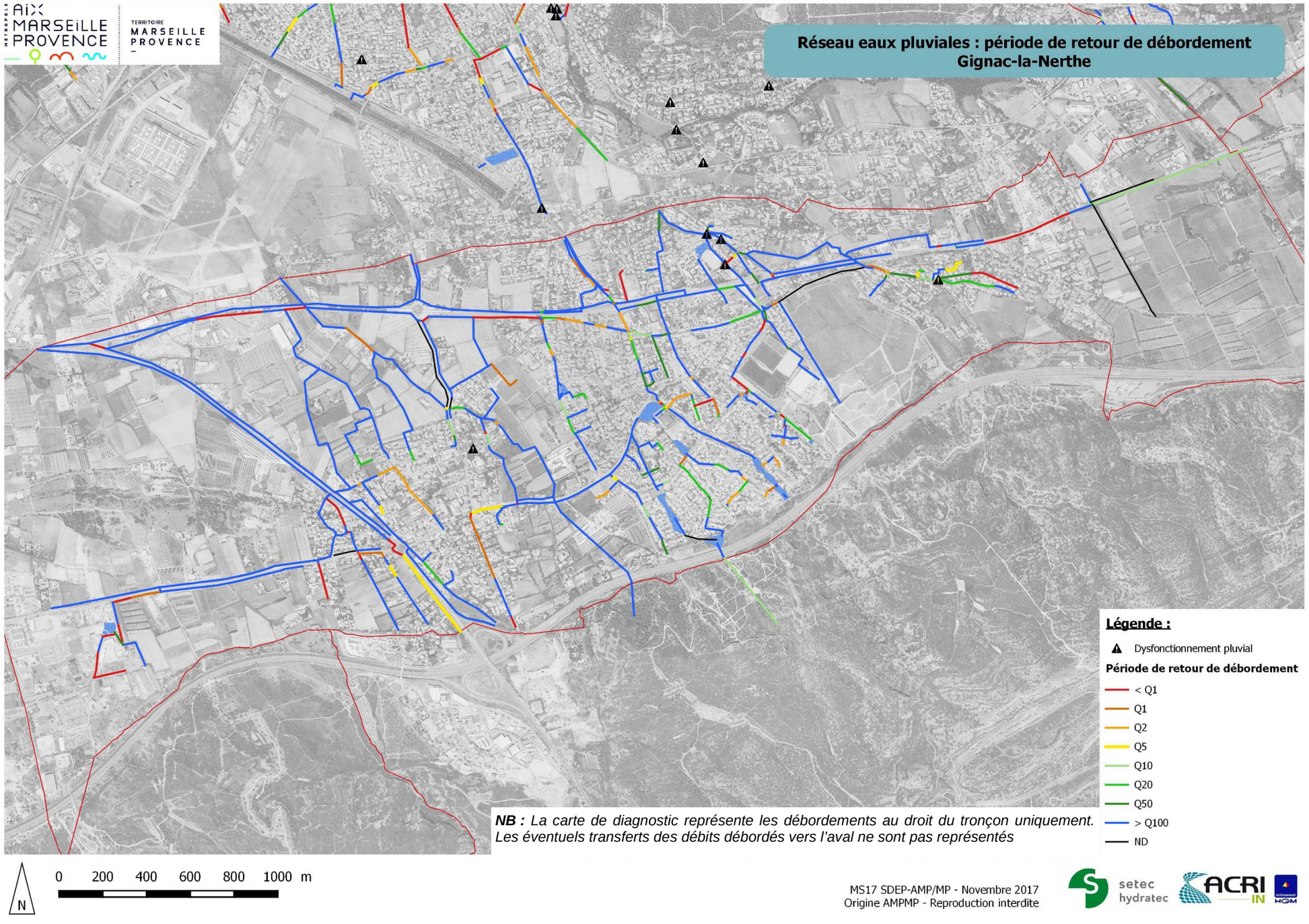


Figure 57 : Diagnostic hydraulique - Gignac-la-Nerthe

6.3.3 Marignane – Diagnostic hydraulique

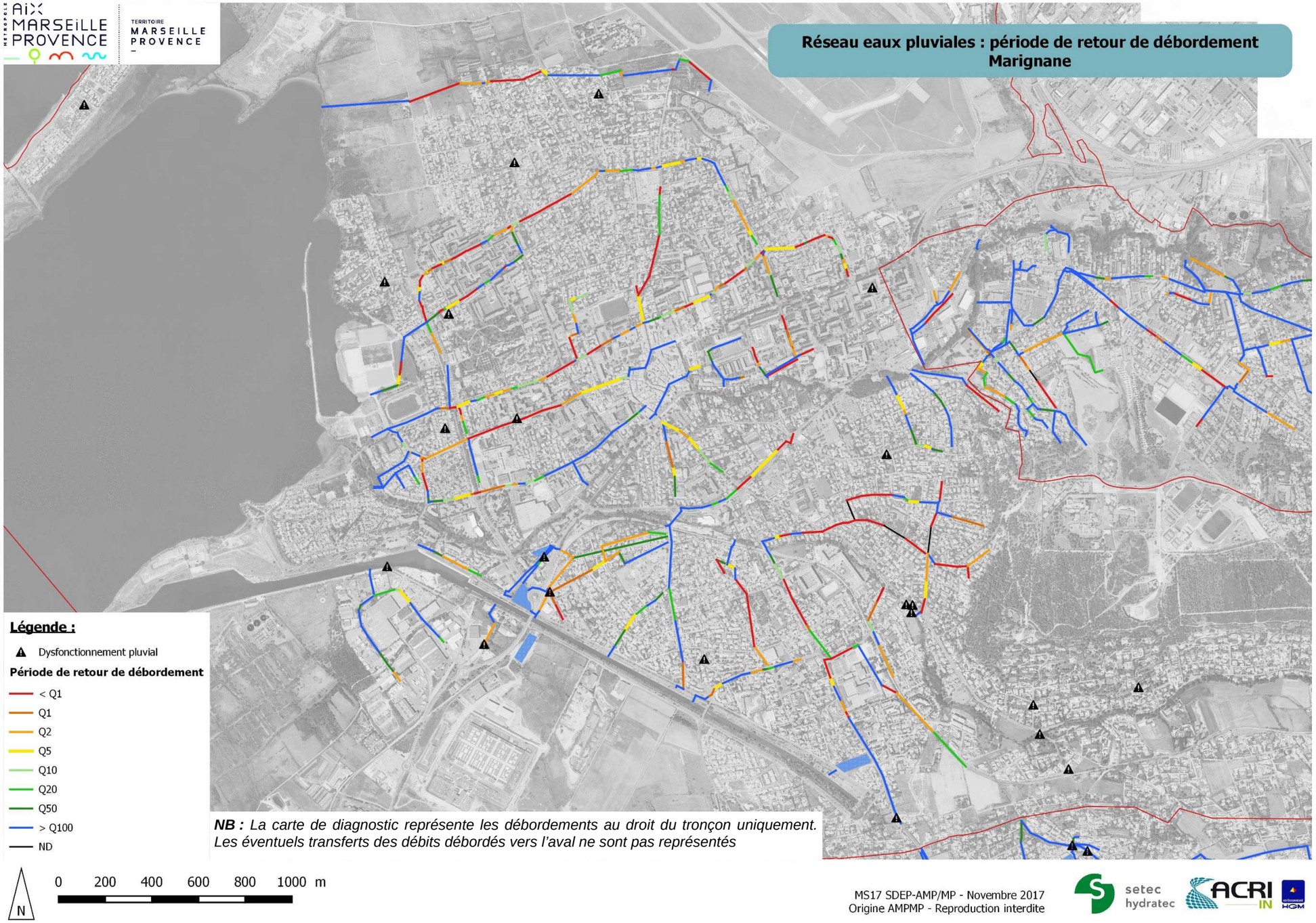


Figure 58 : Diagnostic hydraulique - Marignane

6.3.4 Saint-Victoret – Diagnostic hydraulique

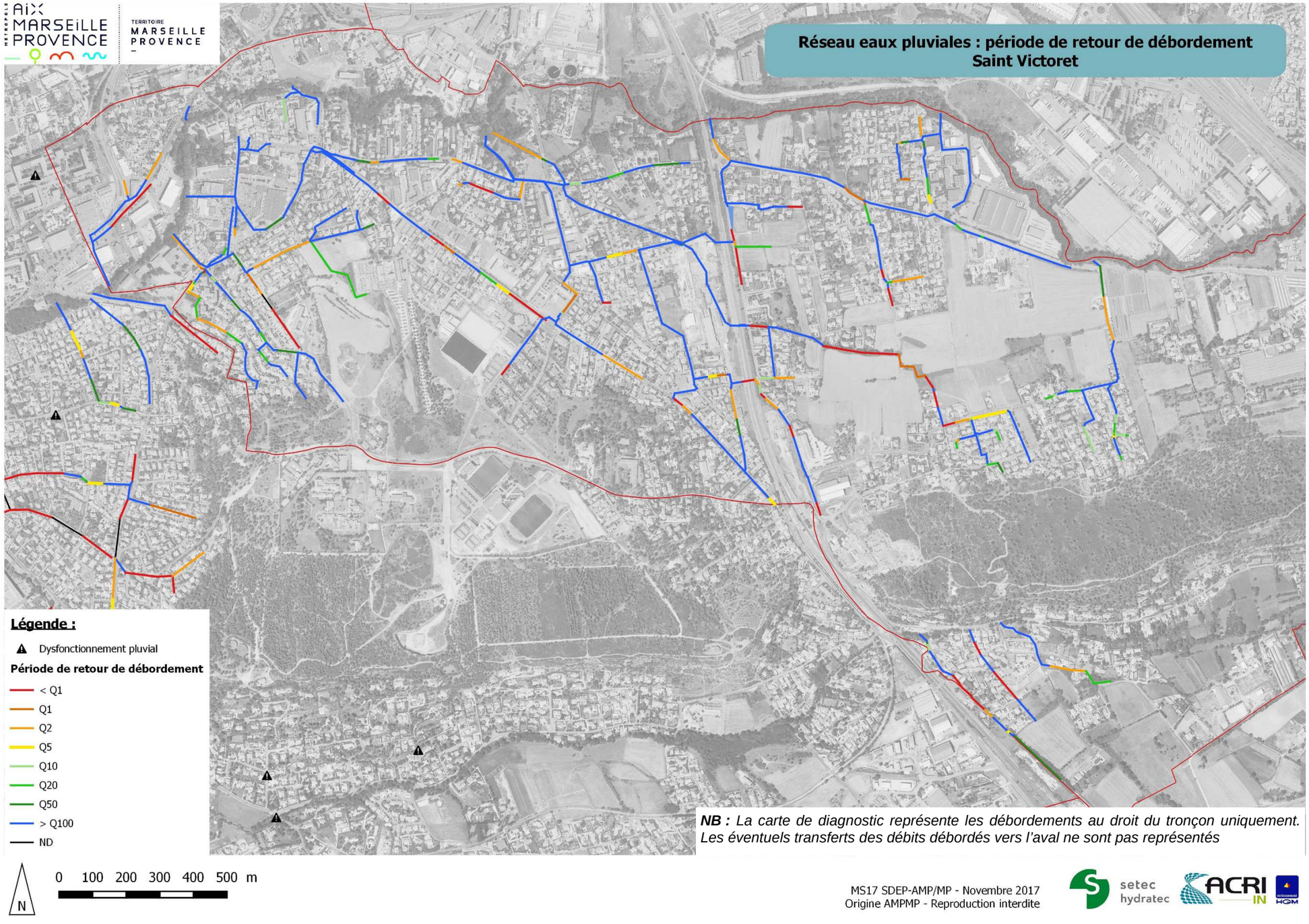
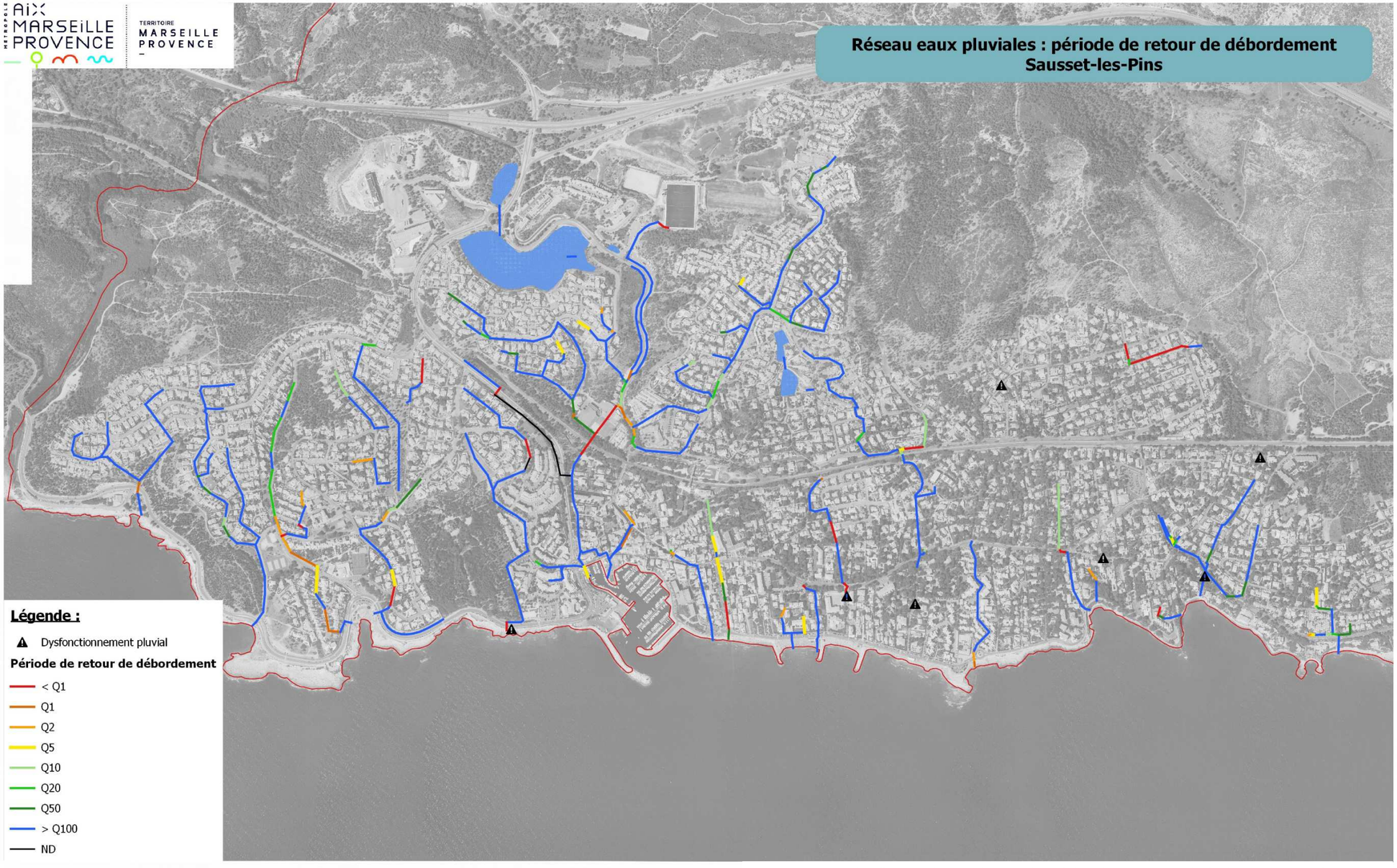


Figure 59 : Diagnostic hydraulique - Saint-Victoret

6.3.5 Sausset-les-Pins – Diagnostic hydraulique



NB : *La carte de diagnostic représente les débordements au droit du tronçon uniquement. Les éventuels transferts des débits débordés vers l'aval ne sont pas représentés*

Figure 60 : Diagnostic hydraulique - Sausset-les-Pins

6.3.6 Carry-le-Rouet – Diagnostic hydraulique

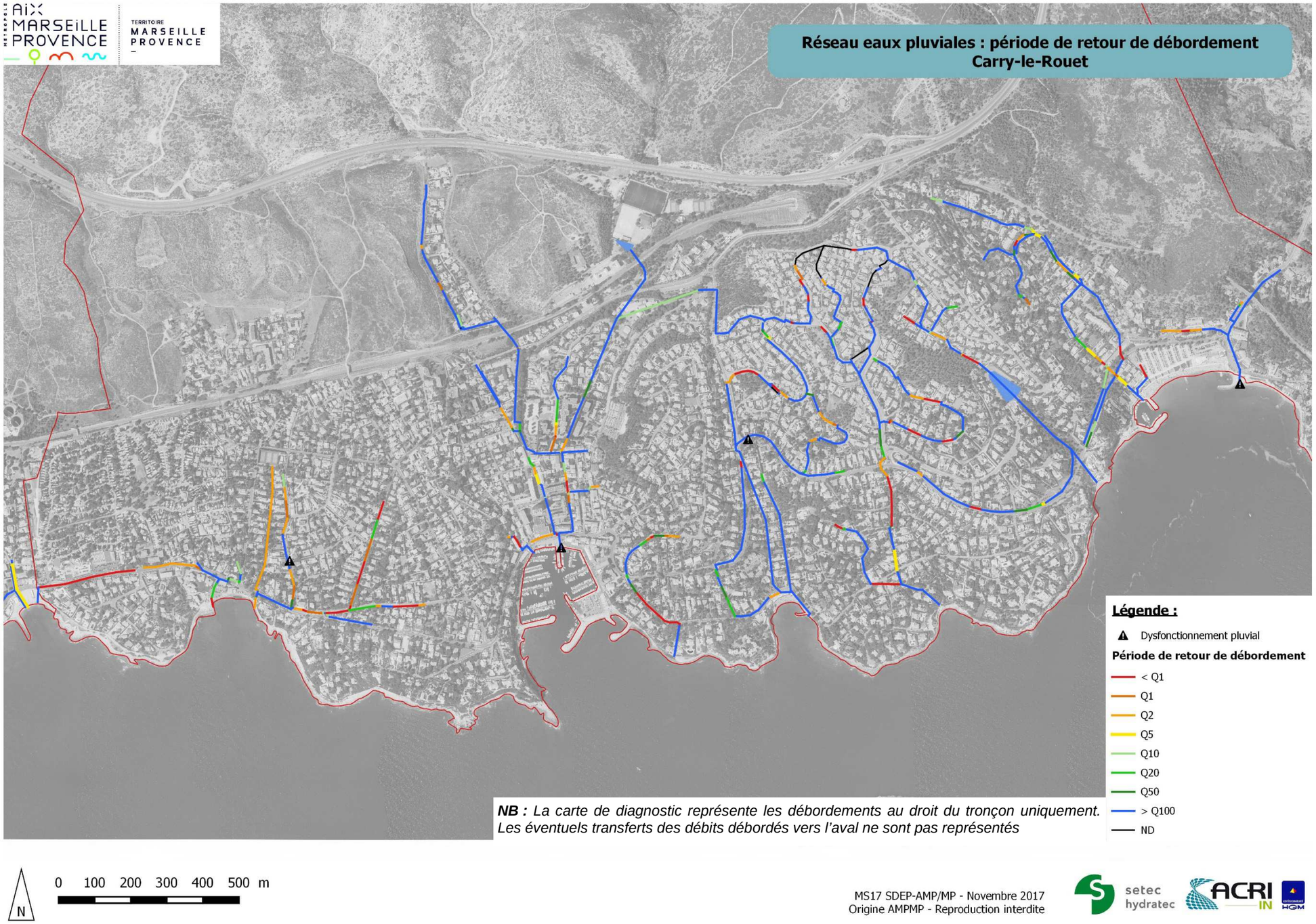


Figure 61 : Diagnostic hydraulique - Carry-le-Rouet

6.3.7 Ensuès-la-Redonne – Diagnostic hydraulique

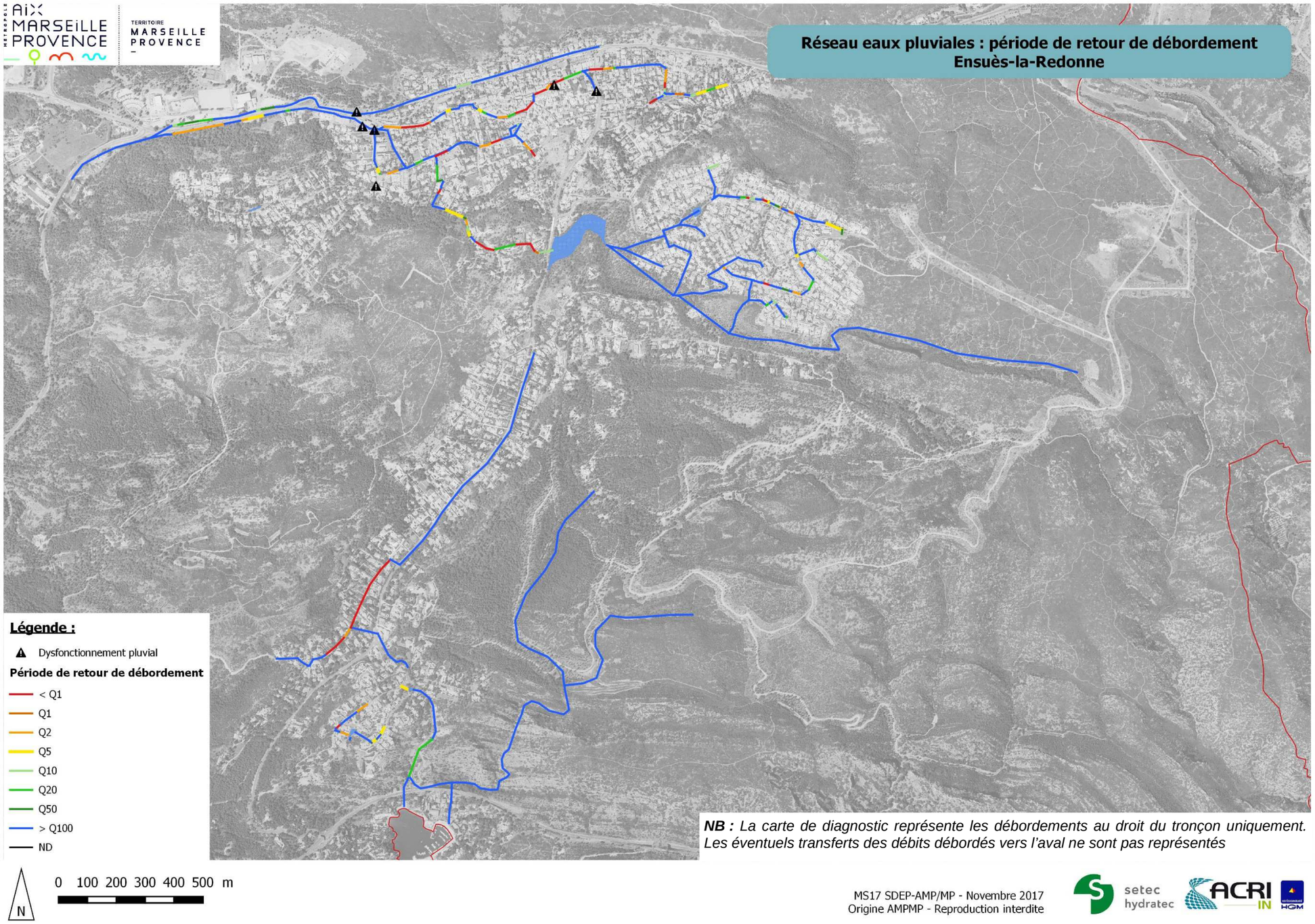


Figure 62 : Diagnostic hydraulique – Ensuès-la-Redonne

6.3.8 Le Rove – Diagnostic hydraulique

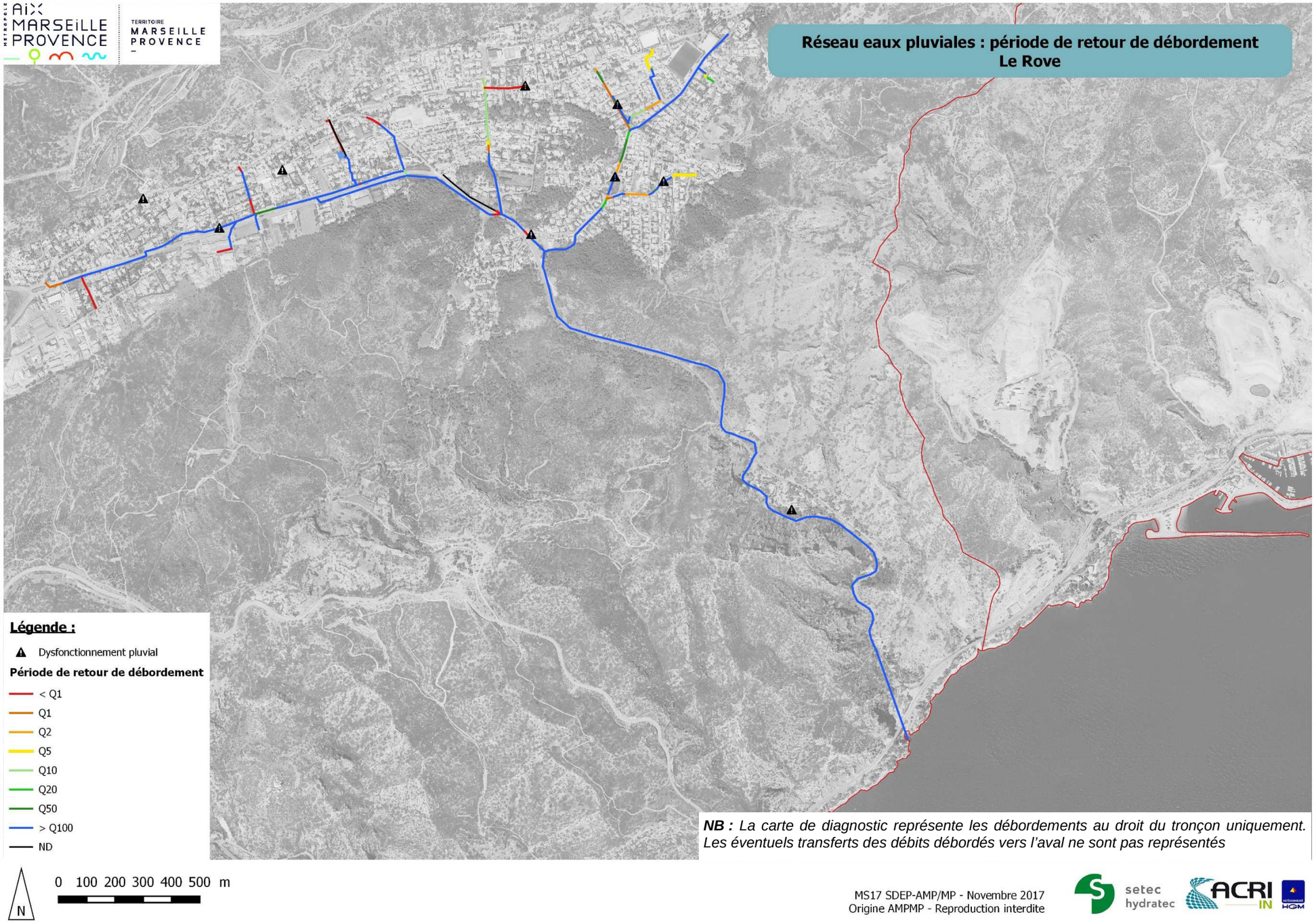


Figure 63 : Diagnostic hydraulique - Le Rove

6.3.9 Septèmes-les-Vallons – Diagnostic hydraulique

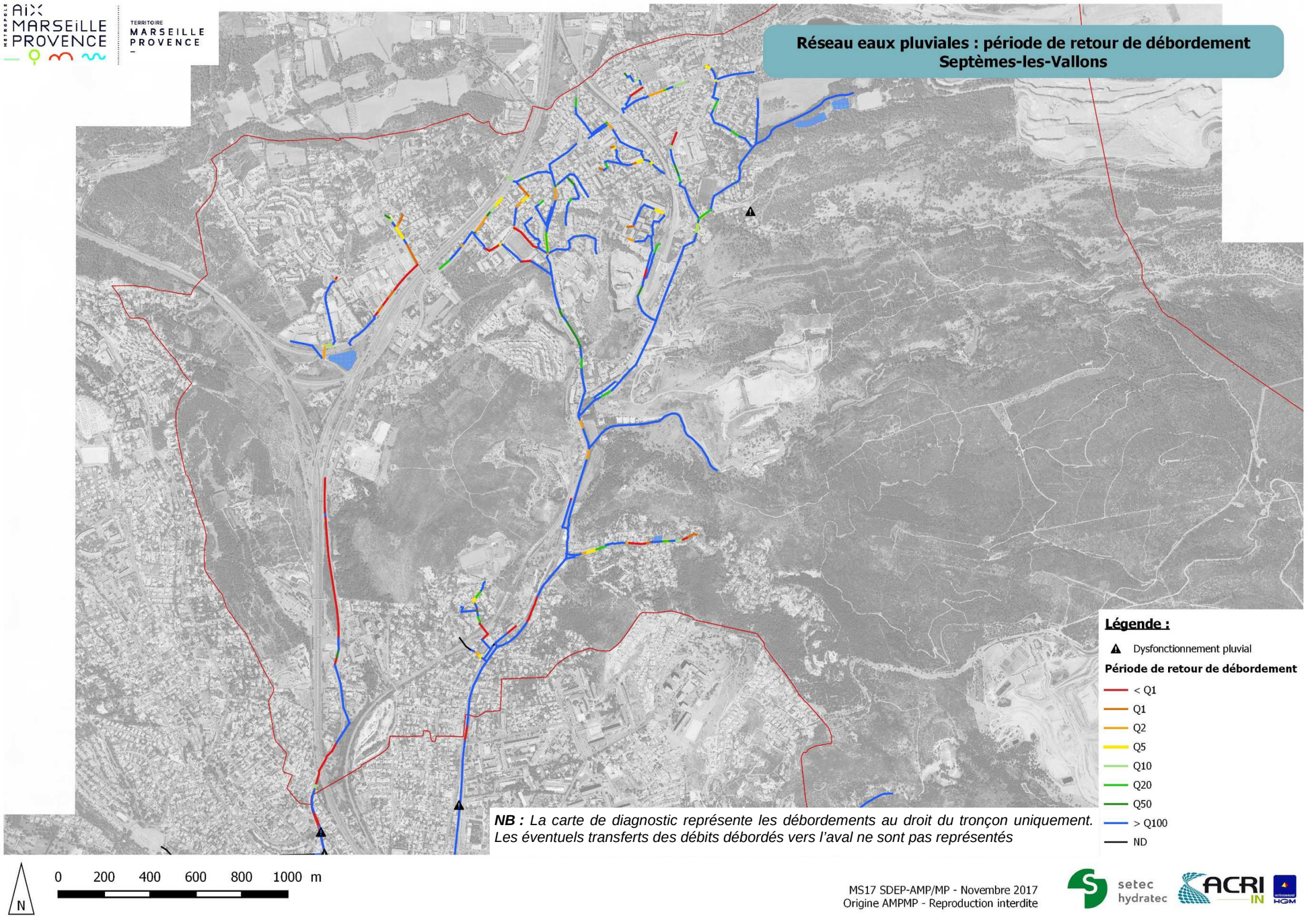


Figure 64 : Diagnostic hydraulique - Septèmes-les-Vallons

6.3.10 Allauch – Diagnostic hydraulique

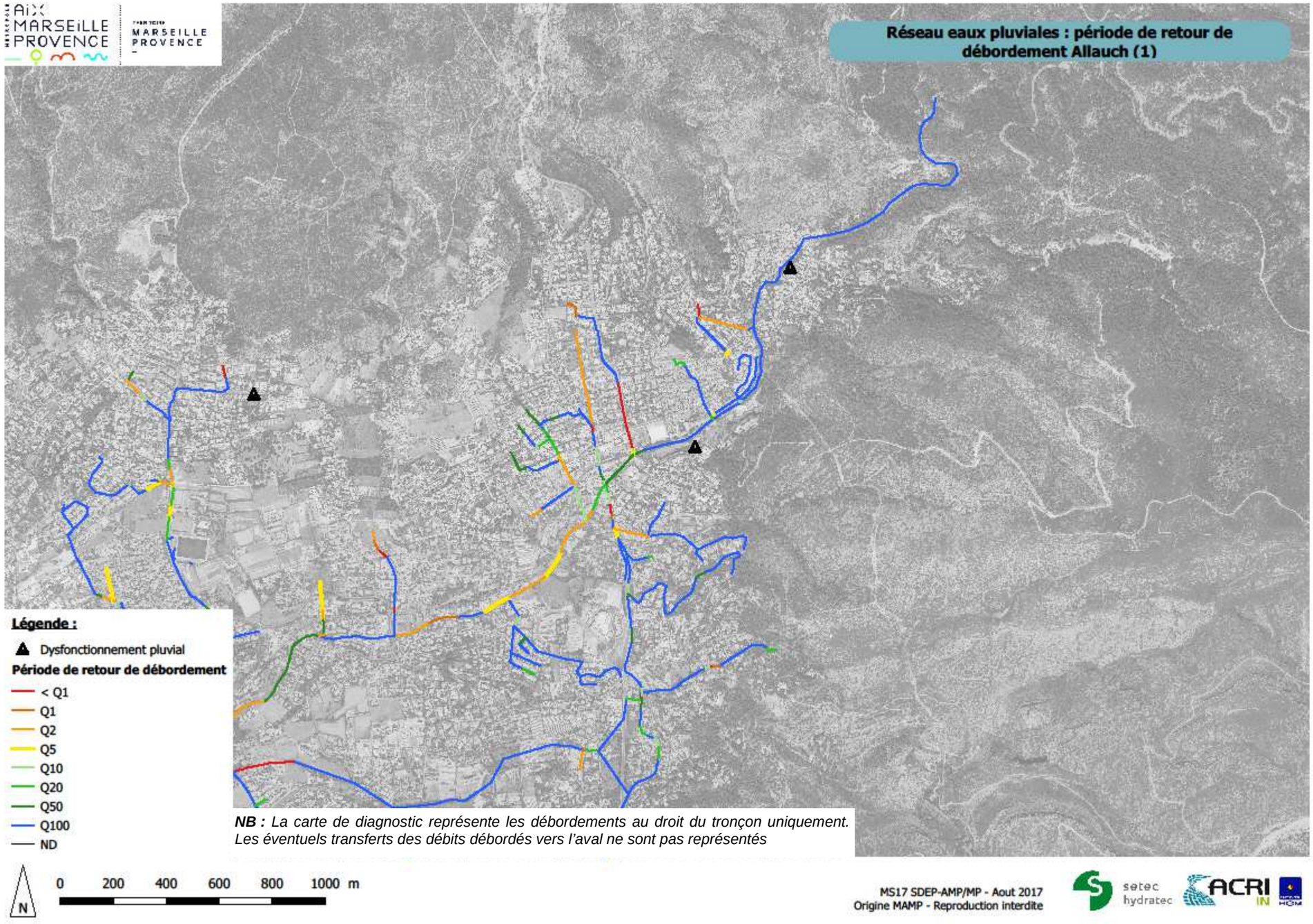


Figure 65 : Diagnostic hydraulique - Allauch (1)

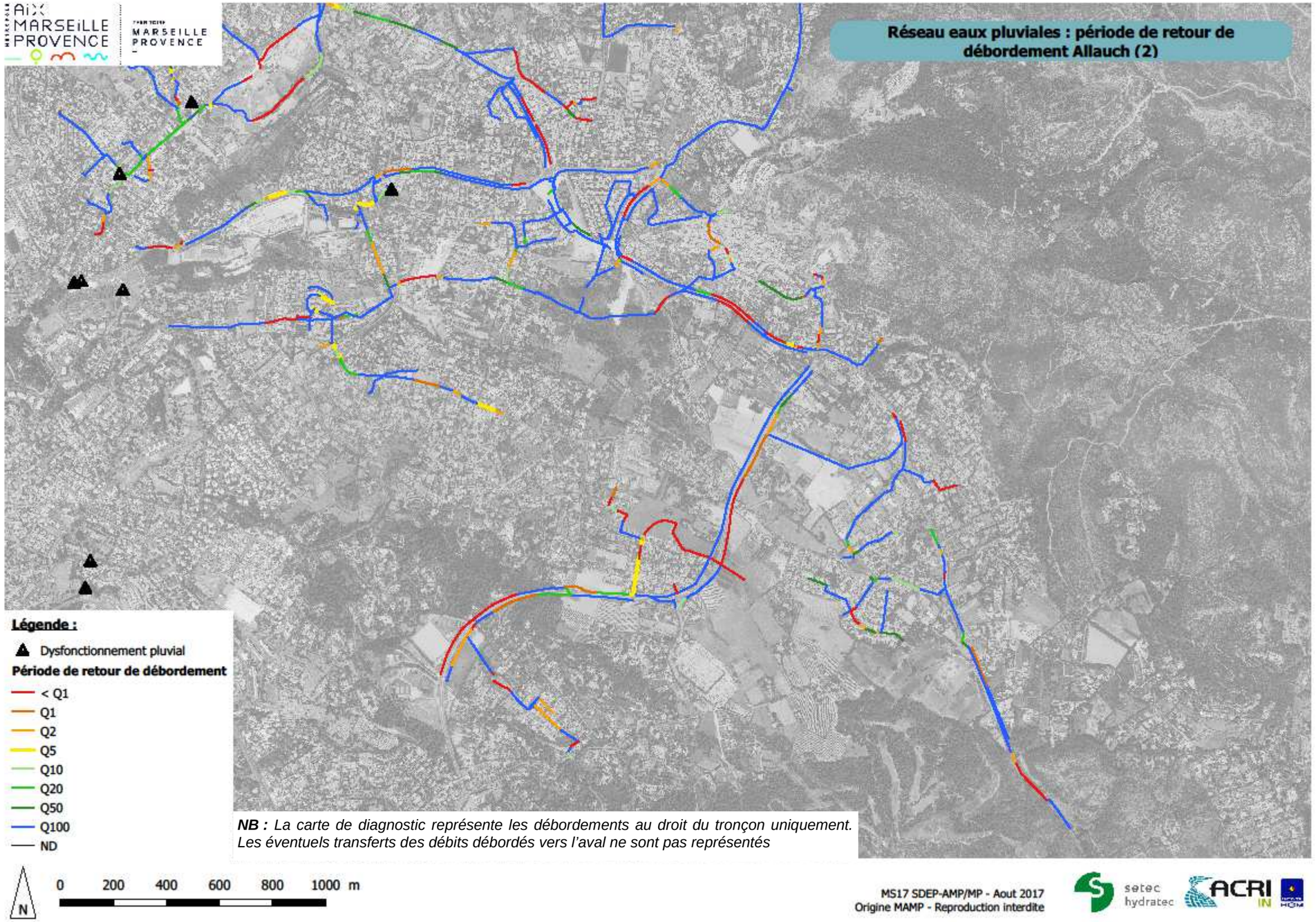


Figure 66 : Diagnostic hydraulique - Allauch (2)

6.3.11 Plan-de-Cuques – Diagnostic hydraulique

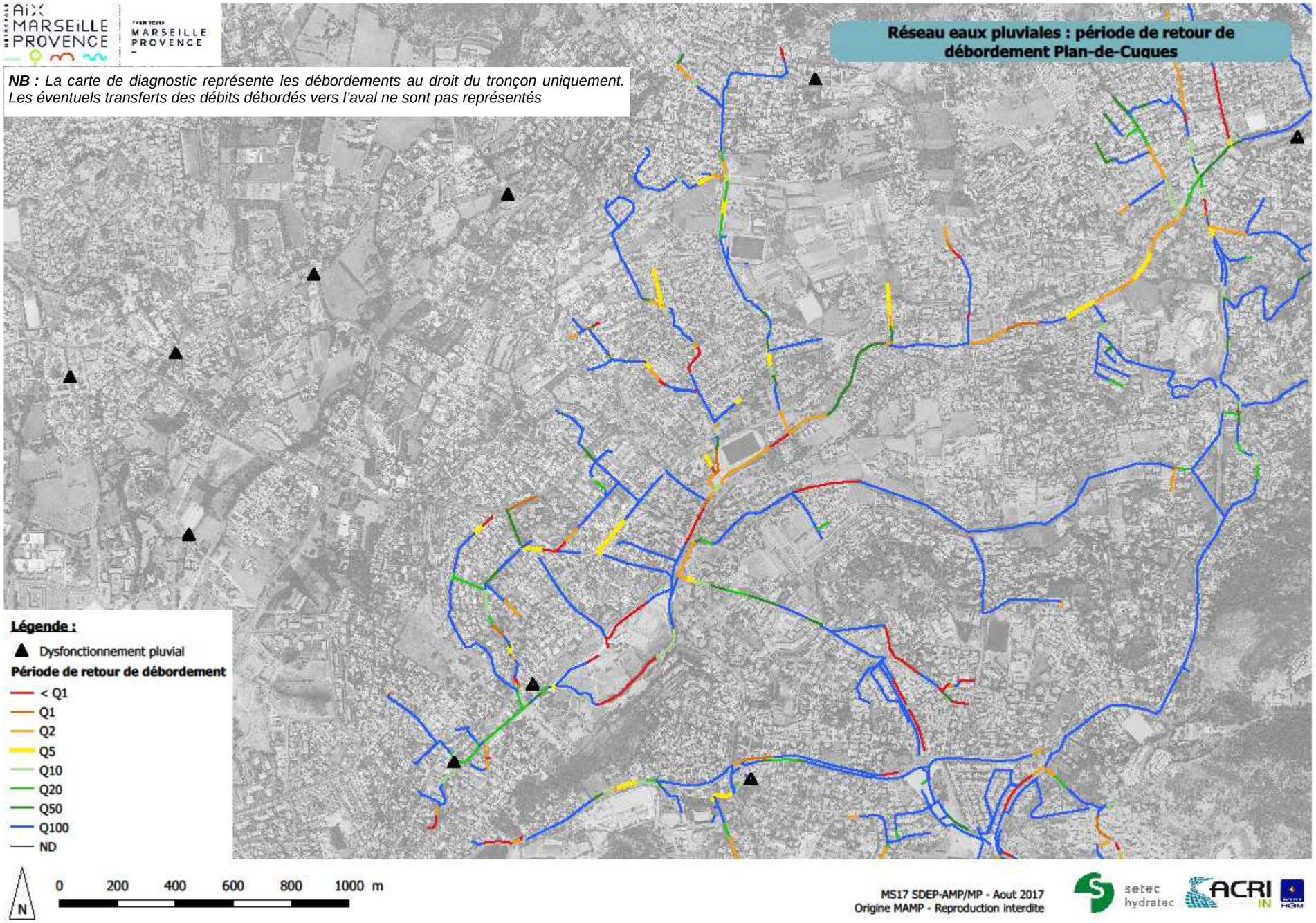


Figure 67 : Diagnostic hydraulique - Plan-de-Cuques

6.3.12 Marseille – Diagnostic hydraulique

Voir cartes au format image en annexe.

6.3.13 Cassis – Diagnostic hydraulique

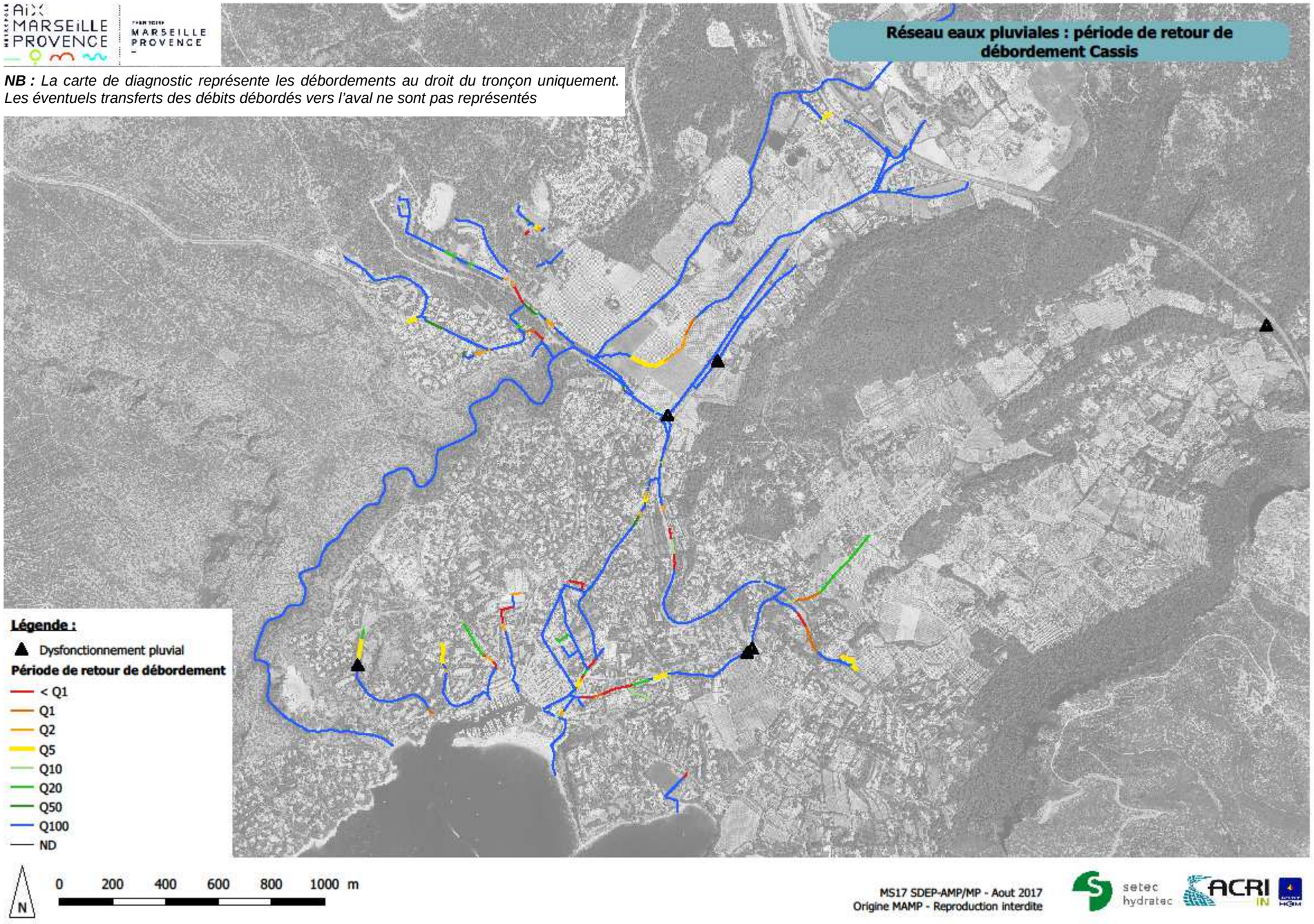


Figure 68 : Diagnostic hydraulique - Cassis

6.3.14 Carnoux-en-Provence – Diagnostic hydraulique

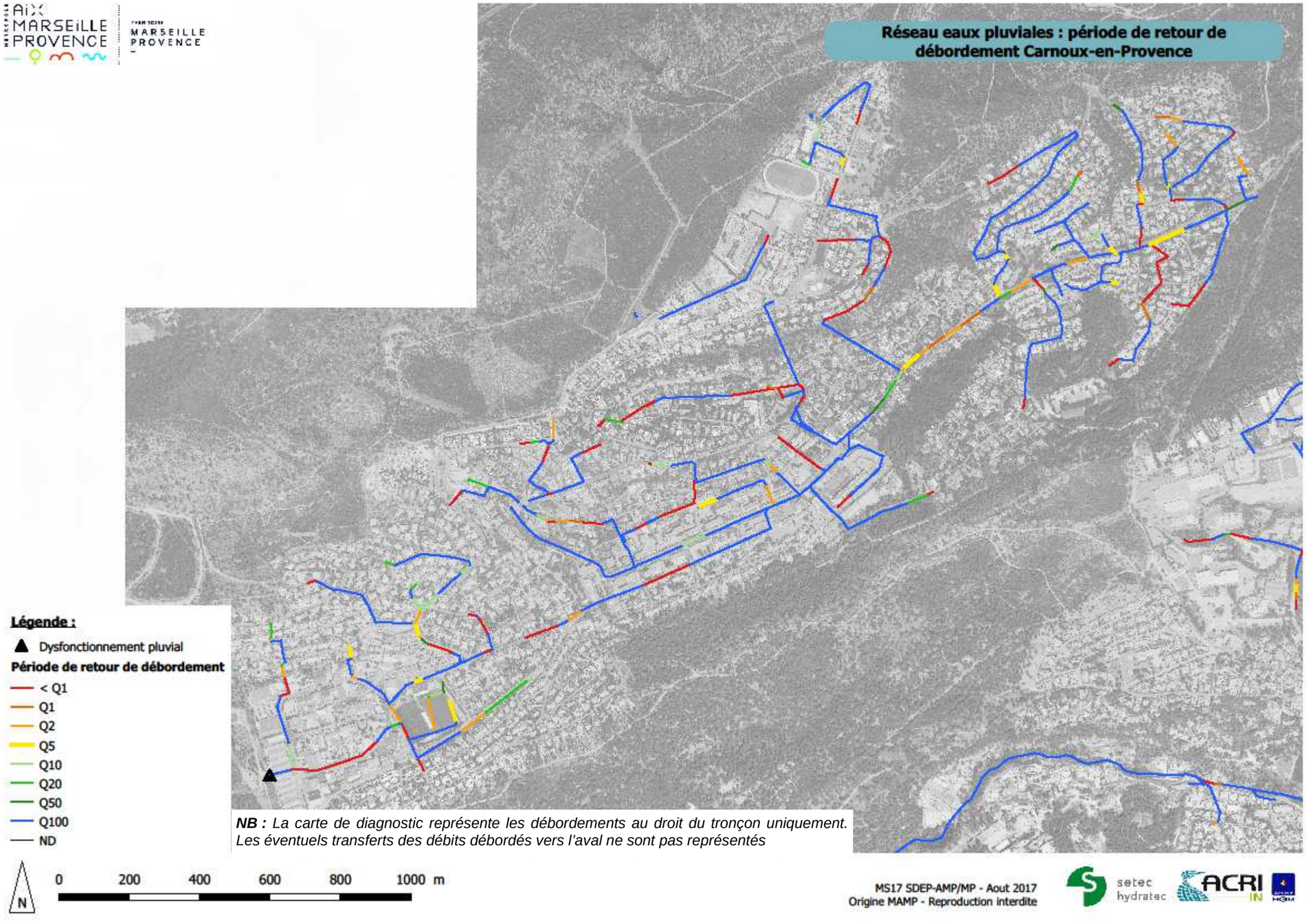


Figure 69 : Diagnostic hydraulique – Carnoux-en-Provence

6.3.15 Gémenos – Diagnostic hydraulique

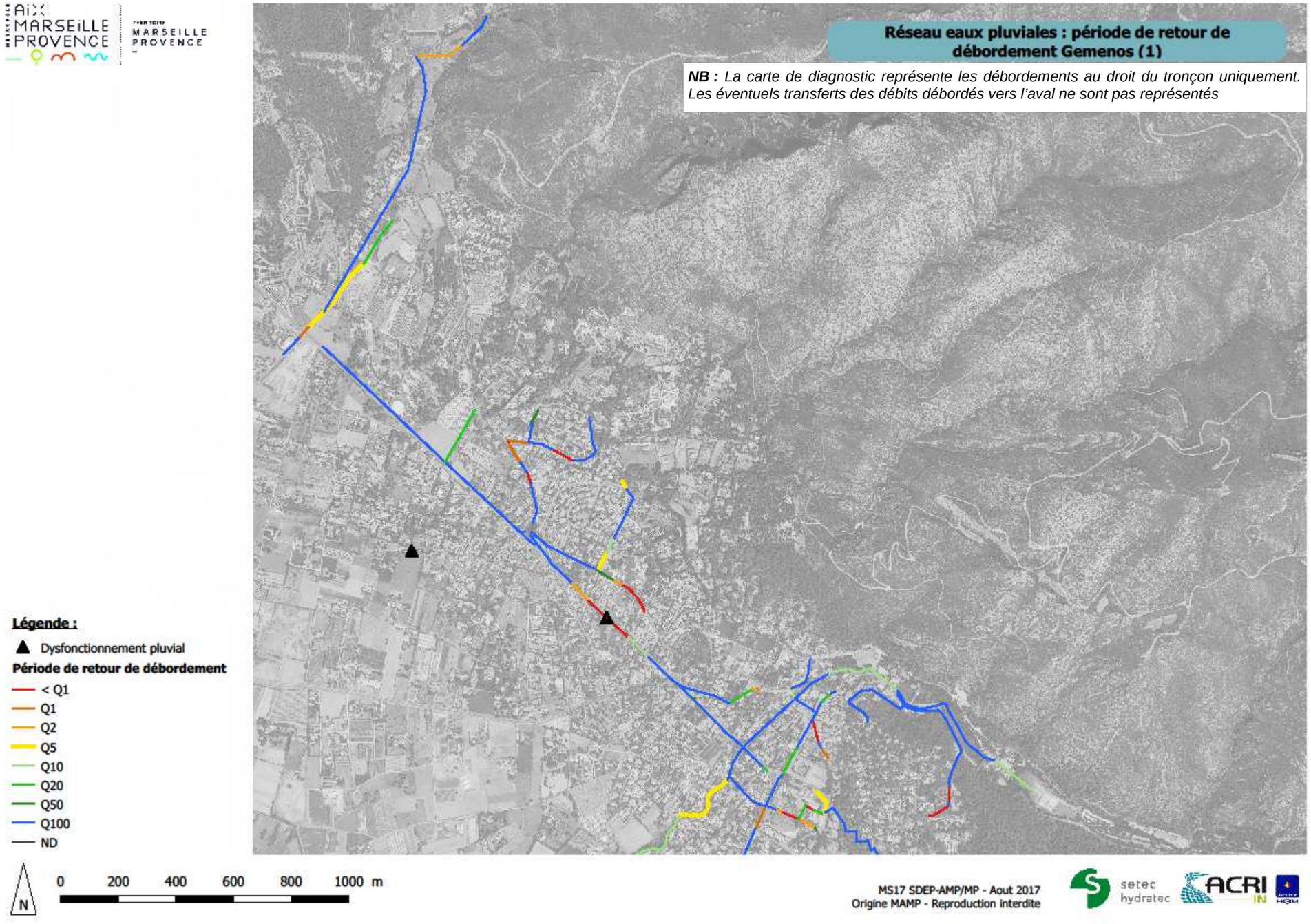


Figure 70 : Diagnostic hydraulique - Gémenos (1)

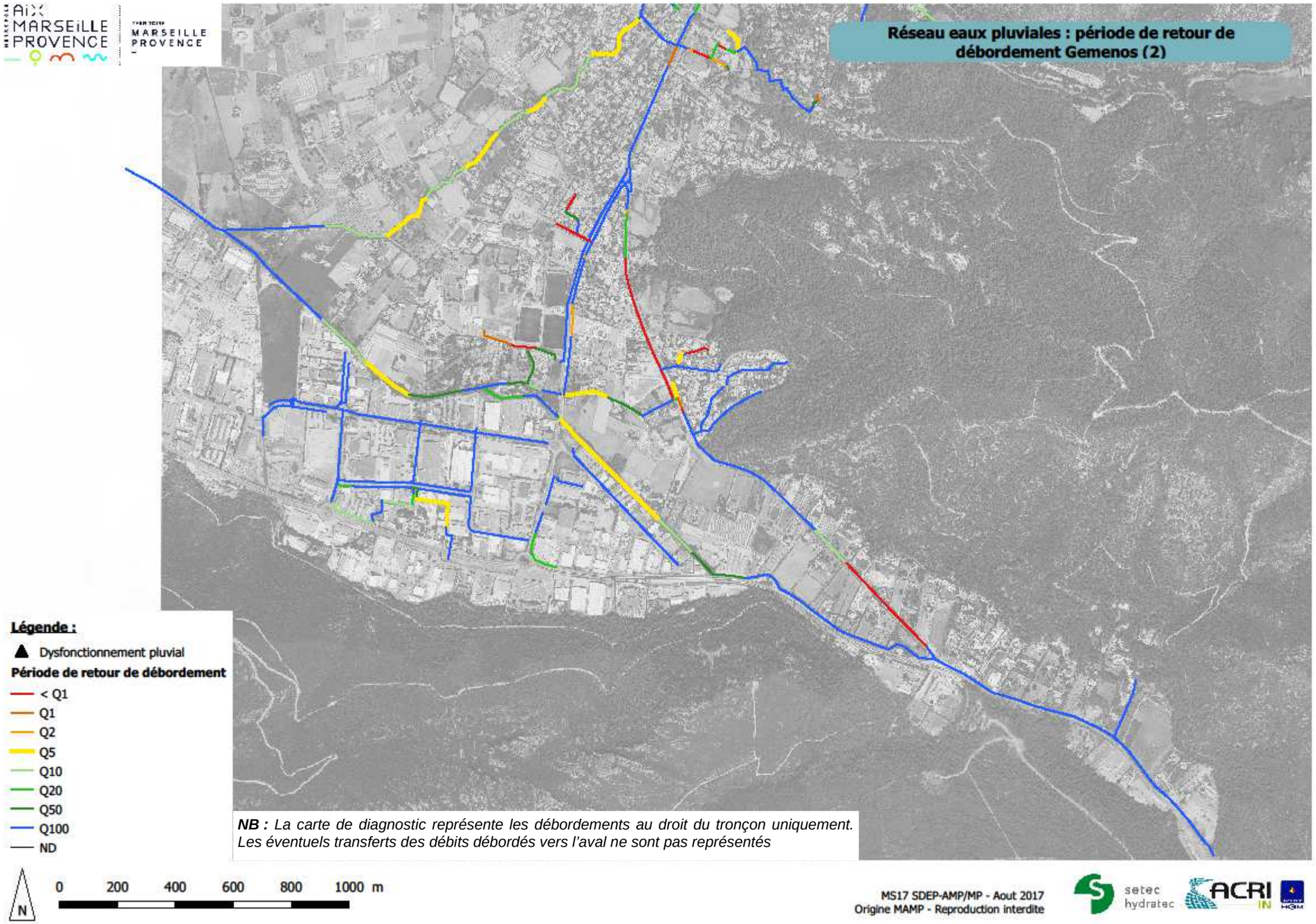


Figure 71 : Diagnostic hydraulique - Gémenos (2)

6.3.16 Roquefort-la-Bédoule – Diagnostic hydraulique

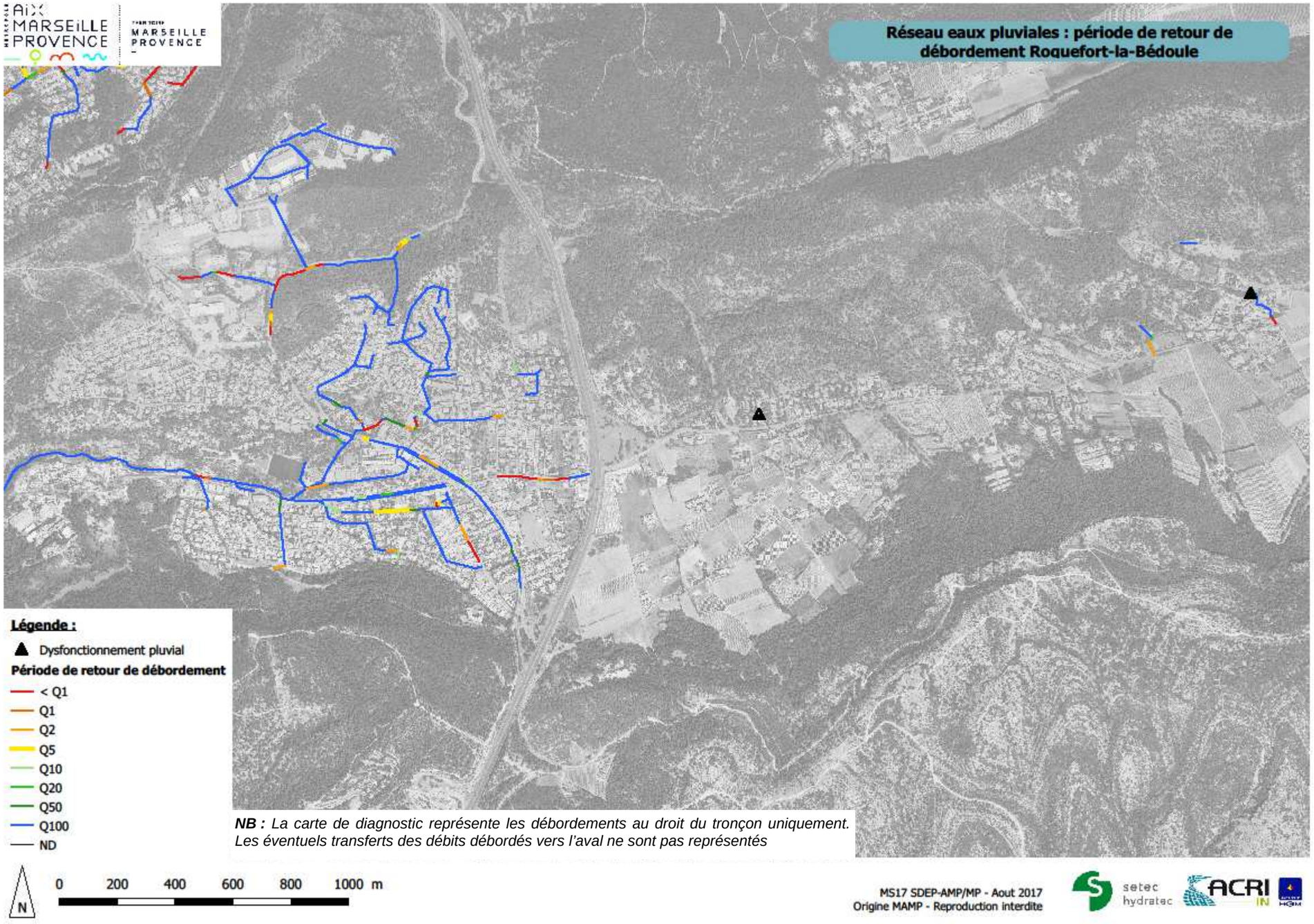


Figure 72 : Diagnostic hydraulique - Roquefort-la-Bédoule

6.3.17 Ceyreste – Diagnostic hydraulique

NB : *La carte de diagnostic représente les débordements au droit du tronçon uniquement. Les éventuels transferts des débits débordés vers l'aval ne sont pas représentés*

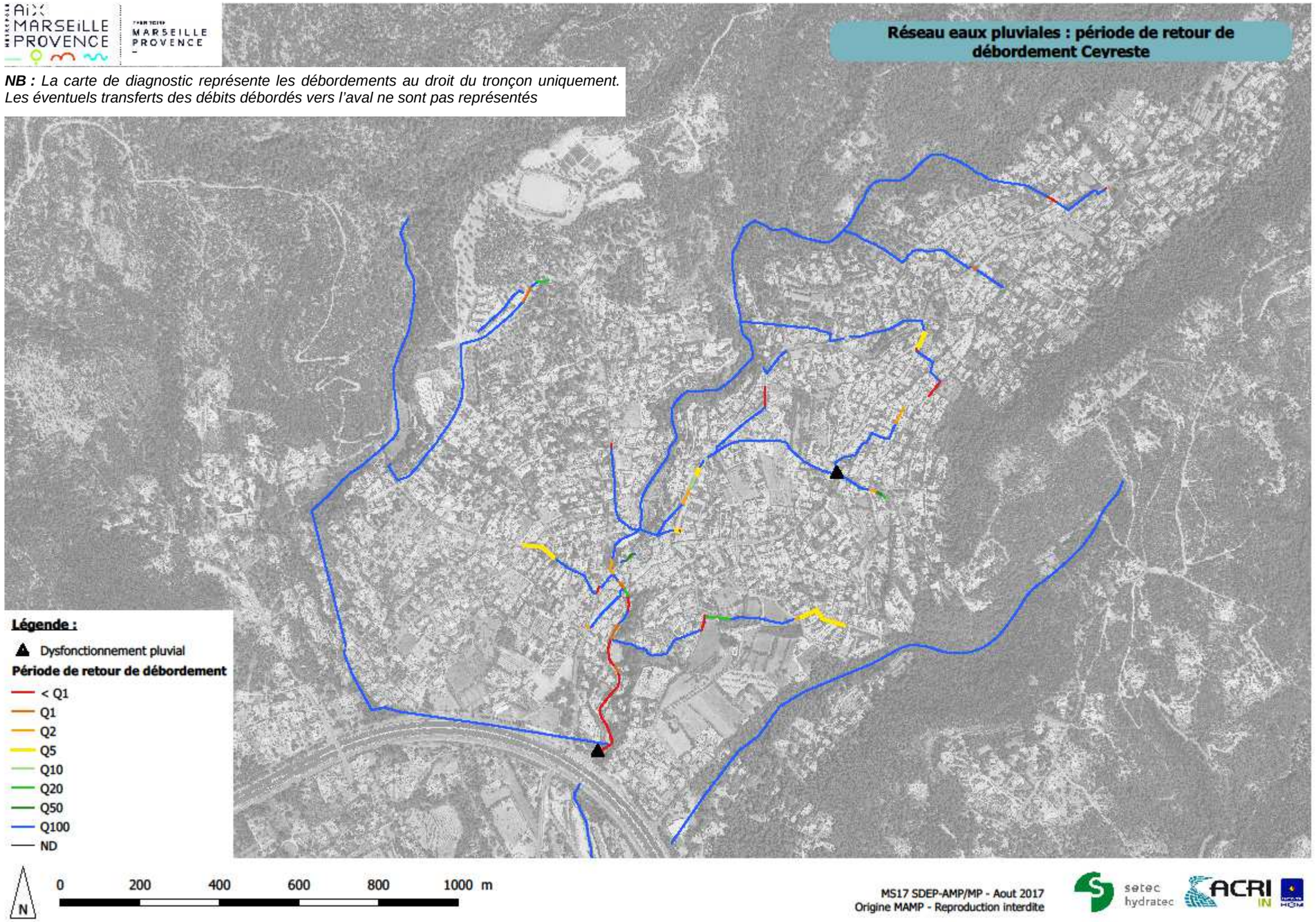


Figure 73 : Diagnostic hydraulique - Ceyreste

6.3.18 La Ciotat – Diagnostic hydraulique

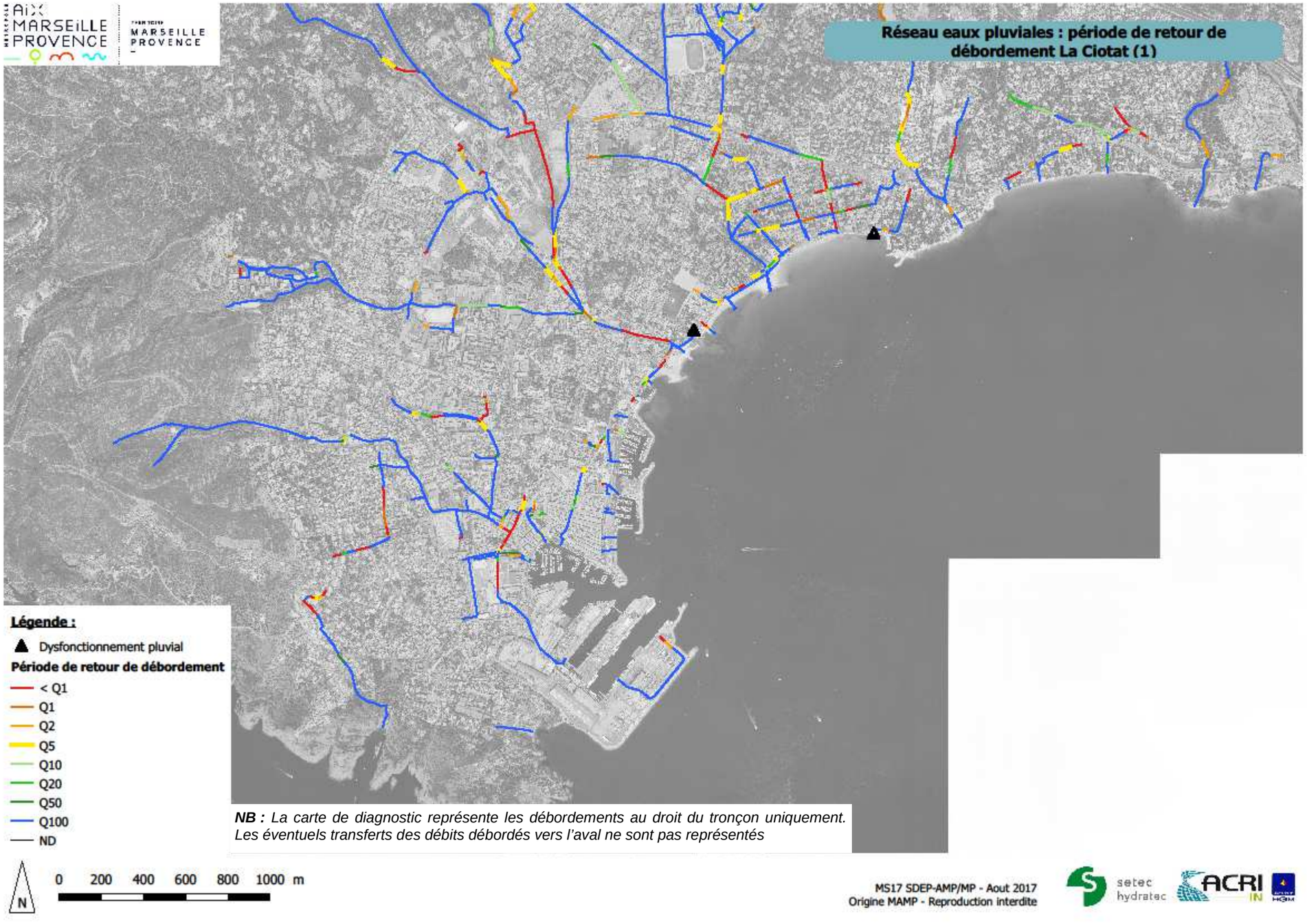


Figure 74 : Diagnostic hydraulique - La Ciotat (1)

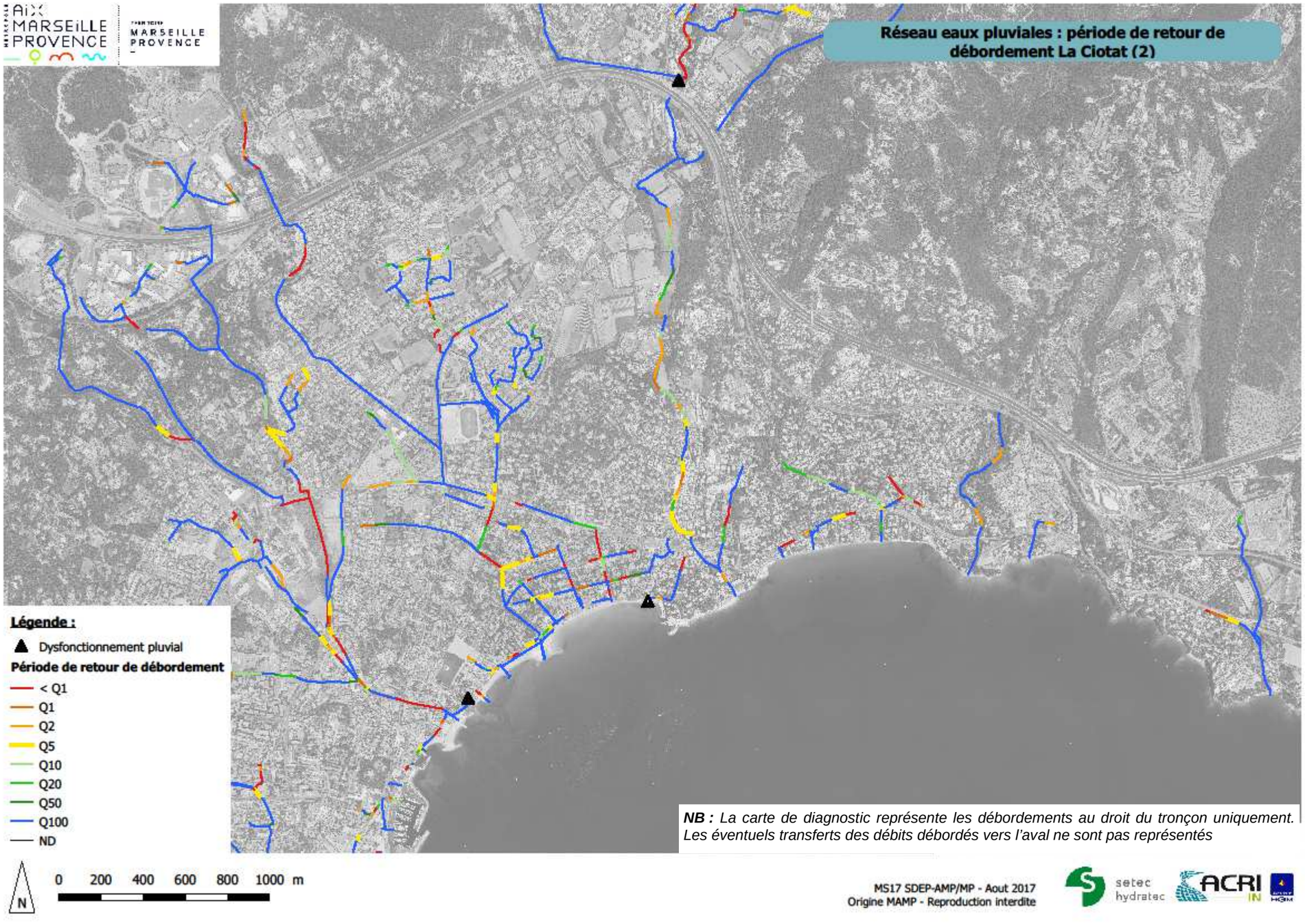


Figure 75 : Diagnostic hydraulique - La Ciotat (2)

7 FICHIERS NUMÉRIQUES FOURNIS

7.1 MODÈLES HYDRA

L'ensemble des modèles sont fournis au format Hydra. Les modèles sont regroupés en trois projets.

7.2 FICHIERS SHAPE

L'ensemble des tronçons modélisés et des résultats de modélisation sont fournis au format shape.