MÉTROPOLE AIX-MARSEILLE PROVENCE | Territoire de Marseille Provence

Aix-Marseille-Provence

Territoire Marseille-Provence

Schéma Directeur Pluvial

(MS17)

Marché n°13-138-17

Rapport de Phase 3

Analyse hydrologique

37657 | Avril 2017 | v.2

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

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE

PROJET CO-FINANCÉ PAR LE DÉPARTEMENT BOUCHES-DU-RHÔNE

setec hydratec

ACRI IN

environnement HGM

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_Phase3_v2.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	04/11/2016	BBR	BLN		Création, pour document de travail
1	04/01/2017	BLN	OVE	67	Mise à jour de la référence pluviométrique
2	17/04/2017	BLN	OVE	67	Tableaux de la nouvelle référence dans plusieurs unités

SOMMAIRE

1 Introduction 8

1.1 Contexte et objectifs de l'étude 8

1.2 Phasage de l'étude 8

1.3 Démarche générale de la phase 3 9

2 Analyse pluviométrique 10

2.1 Présentation des données pluviométriques disponibles 10

2.1.1 Stations pluviométriques DEAP 10

2.1.2 Stations pluviométriques gérées par Météo France 12

2.1.3 Pluies SHYREG 16

2.2 Analyse statistique des données DEAP 16

2.2.1 Introduction 16

2.2.2 Principe des ajustements utilisés 17

2.2.3 Extraction des données exploitables 19

2.3 Synthèse des résultats 20

2.4 Discussion sur variabilité spatiale des pluies 23

3 Définition d'une pluviométrie de référence 28

3.1 Pluies de références utilisées précédement 28

3.1.1 Etudes hydrauliques antérieures 28

3.1.2 Méthodologie DDTM13 30

3.2 Discussion sur le choix des nouvelles références 33

3.3 Construction des nouvelles références pluviométriques 34

3.4 Impact de la nouvelle référence pluviométrique sur le territoire 40

4 Définition des pluies de projet 41

5 Détermination des bassins versants 44

5.1 Méthodologie 44

5.2 Détermination des caractéristiques 44

5.2.1 Longueur de cheminement 44

5.2.2 Pente 44

5.2.3 Coefficient d'imperméabilisation 48

5.2.4 Coefficient de ruissellement 53

5.2.5 Transformation pluie-débit 54

Annexe 1 : Ajustements statistiques aux postes Météo France 58

Annexe 2 : Ajustements statistiques aux postes DEAP 63

Annexe 3 : Synthèse des analyses statistiques 64
Annexe 4 : Analyse de la variabilité spatiale des pluies 65
Annexe 5 : Construction de la nouvelle référence pluviométrique 66
Annexe 6 : Principes de gestion des eaux pluviales dans les projets d'aménagement dans les Bouches du Rhône (DDTM13) 67

ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Localisation des pluviomètres DEAP 11
Figure 2 : Localisation des postes Météo France 13
Figure 3 : Synthèse des données aux postes Météo France 14
Figure 4 - Comparaison des résultats statistiques aux postes Météo France et DEAP 22
Figure 5 : Variabilité spatiale des pluies - 1 an 25
Figure 6 : Variabilité spatiale des pluies – 10 ans 26
Figure 7 : Variabilité spatiale des pluies - 100 ans 27
Figure 8 : Données pluviométriques utilisées sur le territoire AMP/MP 29
Figure 9 : Carte du Relief du territoire AMP/MP 33
Figure 10 : Calcul de la nouvelle référence pluviométrique (1 an à 100 ans) 35
Figure 11 - Schématisation d'une pluie double triangle 41
Figure 12 : Carte des pentes des bassins versants 45
Figure 13 : Carte des coefficients d'imperméabilisation des bassins versants 50
Figure 14 : Schématisation du modèle à réservoir linéaire (Source : Guide du Certu, 2003) 55

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des postes étudiés et des années de données exploitées 20
Tableau 2 : Coefficients de Montana calculés de la nouvelle référence 39
Tableau 3 : Hauteurs d'eau calculées (en mm) à partir des coefficients de Montana 39
Tableau 4 : Intensités moyennes calculées (en mm/h) à partir des coefficients de Montana 39

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 de la phase 3 de l'étude dont les objectifs sont les suivants :

- Analyse pluviométrique et détermination des pluies de référence,
- Détermination des bassins versants.

1.3 DÉMARCHE GÉNÉRALE DE LA PHASE 3

L'analyse hydrologique s'appuie d'une part sur la **connaissance de la pluviométrie** à travers une étude détaillée des mesures disponibles, et d'autre part sur l'exploitation d'un **module hydrologique de transformation de la pluie en débit** qui sera par la suite couplé au module hydraulique mis en œuvre pour la caractérisation des écoulements du système d'assainissement.

L'analyse statistique des données pluviométriques disponibles permet de quantifier les hauteurs de précipitations pour différentes périodes de retour au droit des stations de mesure de Marseille gérées par le Service d'Assainissement Marseille Métropole (SERAMM) et Météo France.

Le module hydrologique définit ensuite les hydrogrammes injectés dans les modèles hydrauliques qui en assurent le routage vers l'aval.

Le Groupement propose de mettre en œuvre un seul logiciel de calculs hydrauliques qui comprendra le module hydrologique et le module hydraulique. Les calculs d'hydrogrammes aux exutoires des bassins versants seront donc exécutés conjointement au modèle hydraulique qui sera construit au cours de la phase 4 de l'étude.

Nous présenterons donc dans ce document l'analyse pluviométrique et la détermination des bassins versants mais les résultats du module hydrologique seront présentés conjointement aux résultats de la phase 4.

2 ANALYSE PLUVIOMÉTRIQUE

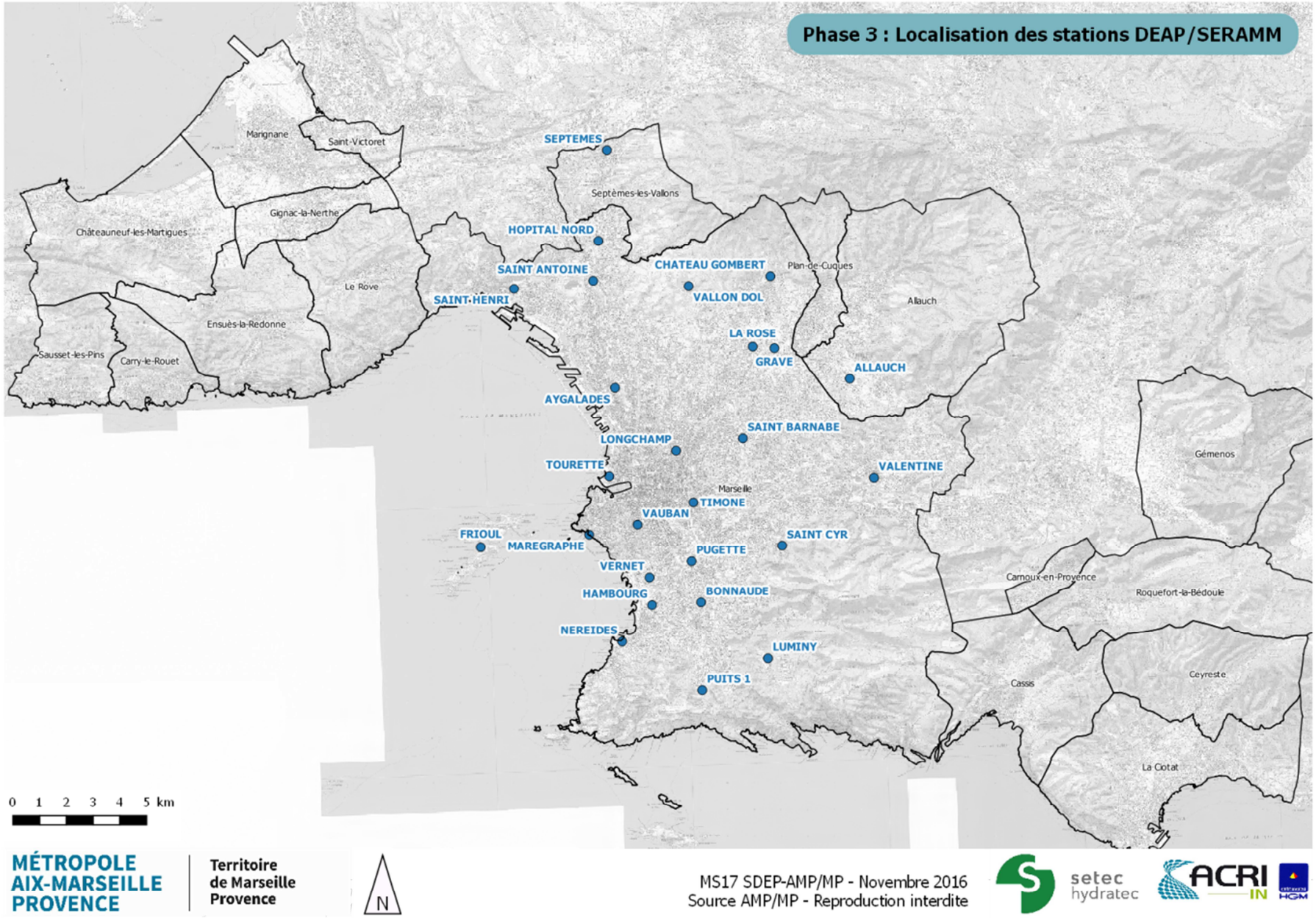
2.1 PRÉSENTATION DES DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES DISPONIBLES

2.1.1 Stations pluviométriques DEAP

La DEAP dispose d'un réseau de **26 pluviomètres** installés depuis 1988 sur le territoire de Marseille. Il est géré par le délégataire SERAMM. Les données, faisant l'objet d'une vérification sommaire, sont disponibles au pas de temps **6 minutes**. La liste des stations avec leurs dates de mise en service est donnée ci-dessous et leur localisation est présentée sur la figure 1.

Nom station	***Identifiant station***	***Date de mise en service***
Allauch	40	1989
Aygalades	36	1986
Bonnaude	62	1996
Château Gombert	33	1987
Frioul	39	1989
Grave	80	1997
Hambourg	505	1988
Hôpital nord	34	1986
La Rose	32	1986
Longchamp	42	1986
Luminy	406	1988
Marégraphe	602	1990
Nereides	220	1987
Pugette	55	1987
Puits 1	54	1987
Saint Antoine	61	1991
Saint Barnabé	30	1989
Saint Cyr	41	1989
Saint Henri	44	1997
Septèmes	407	1990
Timone	31	1988
Tourette	16	1990
Valentine	38	1988
Vallon Dol	401	1988
Vauban	35	1989
Vernet	37	1986

Figure 1 : Localisation des pluviomètres DEAP



2.1.2 Stations pluviométriques gérées par Météo France

Météo France dispose de plusieurs postes relativement anciens sur tout le territoire de AMP/MP dont les données peuvent être exploitées dans le cadre de l'analyse pluviométrique. Les postes retenus, localisés sur la figure 2 sont les suivants :

- **Marignane** : 44 années exploitables depuis 1960,
- **Marseille Observatoire** : 36 années exploitables depuis 1963,
- **Cassis** : 18 années exploitables depuis 1994.

L'analyse détaillée du poste de Toulon n'a pas été réalisée. Ce poste est en effet relativement éloigné du secteur d'étude (distance La Ciotat - Toulon = 32 km et distance La Ciotat – Marignane = 33 km) et ses données n'ont été utilisées précédemment que sur une seule commune. Seuls les coefficients de Montana ont été acquis à cette station ils ont permis de vérifier le très faible écart sur les données pluviométriques entre les valeurs de Marignane, Marseille et Toulon.

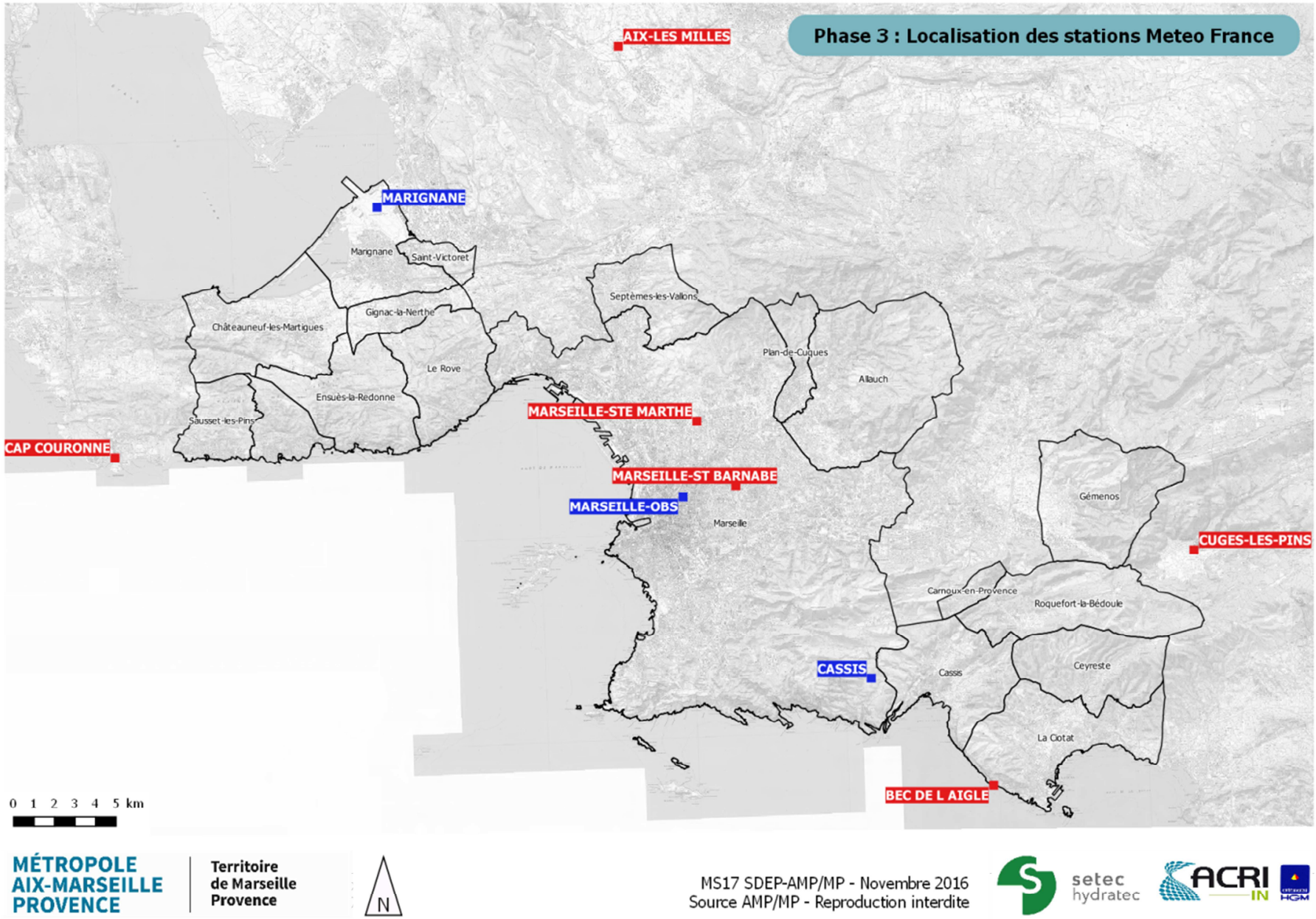
Les durées de retour de Précipitations au pas de temps infra-horaire, permettant d'estimer la **fréquence d'apparition de phénomènes pluvieux intenses de courte et moyenne** durées, ont été récupérées auprès de Météo France à ces stations pour les pas de temps suivants : **30min, 1h, 3h, 6h et 12h**.

Les **ajustements**, fournis en **annexe 1**, sont issus de la méthode **GPD** (Generalized Pareto Distribution ou renouvellement) avec pour estimateur la méthode des moments pondérés et pour méthode de sélection du seuil, celle développée pour les rafales de vent. Ils sont valables pour des périodes de retour comprises entre **5 ans et 100 ans**.

Les hauteurs de pluie pour la période de retour **1 an et 2 ans** ont également été récupérées pour les mêmes pas de temps.

Les données aux postes et les courbes intensité-durée-fréquence qui en découlent sont présentées sur la figure 3 page suivante.

Figure 2 : Localisation des postes Météo France



MÉTROPOLE AIX-MARSEILLE PROVENCE | Territoire de Marseille Provence

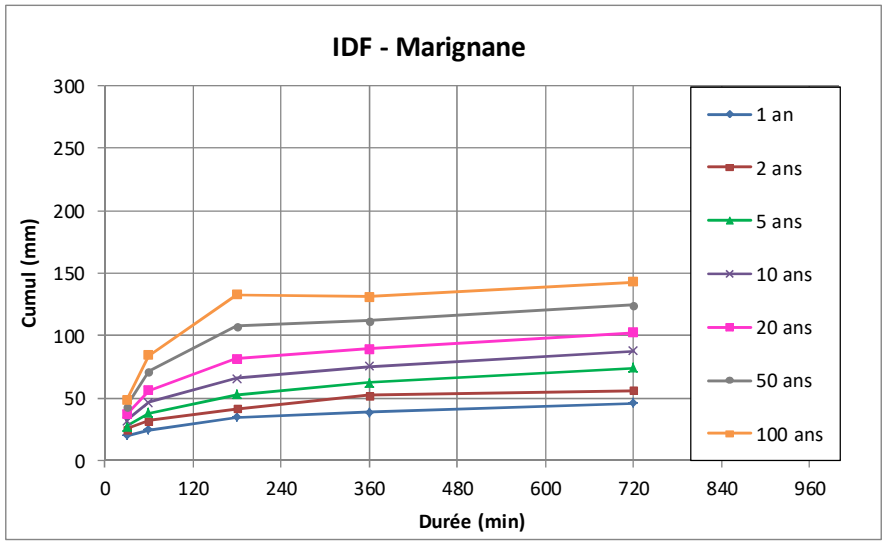
MS17 SDEP-AMP/MP - Novembre 2016
Source AMP/MP - Reproduction interdite

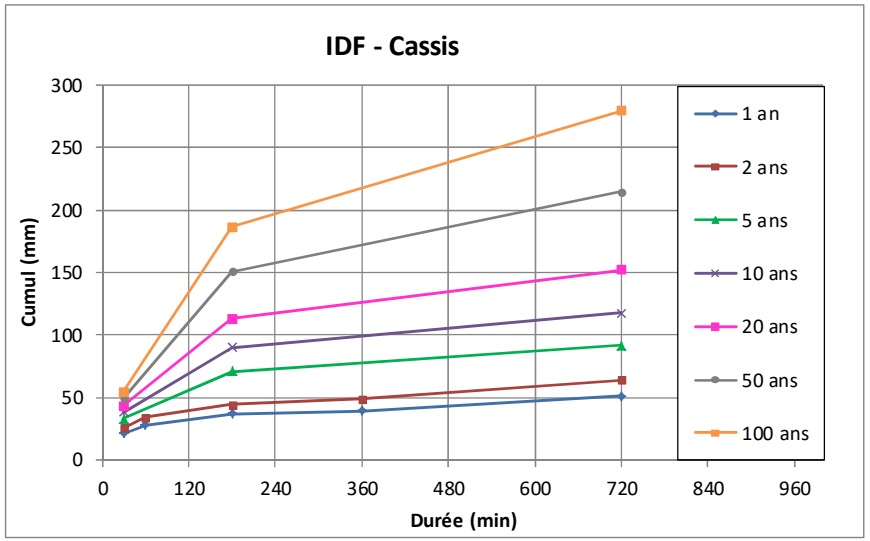
setec hydratec | ACRI IN

Figure 3 : Synthèse des données aux postes Météo France

	MARIGNANE				
	30 min	1h	3h	6h	12h
	Période 1982 - 2013				
1 an	19.8	24.2	34.8	38.8	45.8
2 ans	25	31.5	41.4	52.2	55.8
	Période 1960 - 2012 / 44 années traitées				
Seuil	*10.9*	*15.7*	*24.9*	*24.3*	*31.3*
5 ans	27.5	38.1	52.7	62.4	73.9
10 ans	32	46.5	65.4	75.1	87.4
20 ans	36.7	56.1	81.1	89.5	102.3
50 ans	43.1	71	107.5	111.7	124.4
100 ans	48.1	84.2	132.8	131.2	143

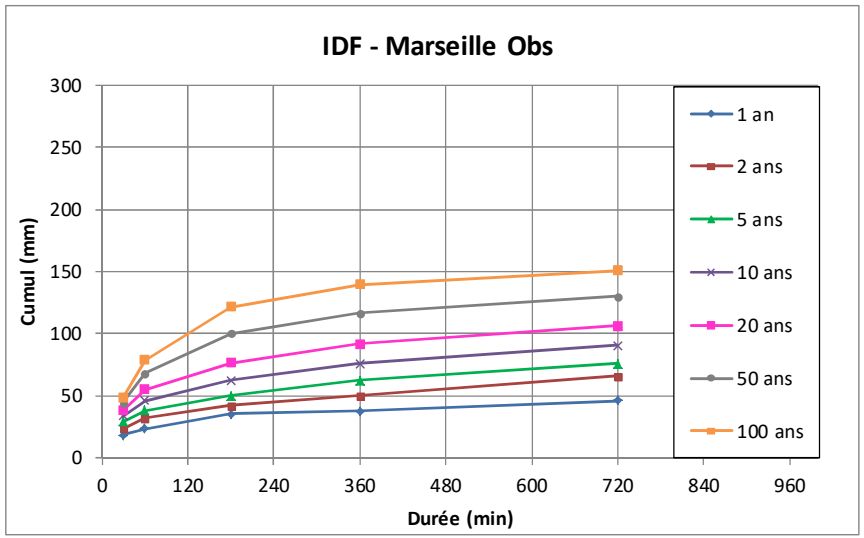
	CASSIS				
	30 min	1h	3h	6h	12h
	Période 1990 - 2013				
1 an	20.9	27.6	36.6	39	50.7
2 ans	25.3	34	44.2	48.4	64.1
	Période 1994 - 2012 / 18 années traitées				
Seuil	*11.2*	*-*	*23.6*	*-*	*40.1*
5 ans	32.7	-	70.5	-	91.6
10 ans	37.8	-	89.8	-	117.7
20 ans	42.9	-	113	-	152
50 ans	49.4	-	151	-	214.4
100 ans	54.3	-	186.6	-	279.2

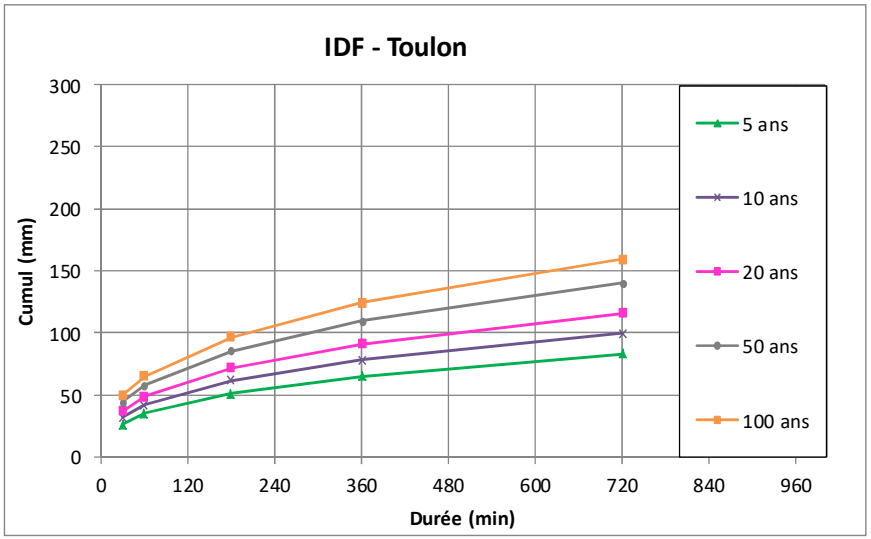




	MARSEILLE OBS				
	30 min	1h	3h	6h	12h
	Période 1982 - 2011				
1 an	18.2	23.2	35	37.4	46
2 ans	23.2	32	42	49.7	65.6
	Période 1963 - 2010 / 36 années traitées				
Seuil	*11.3*	*12.6*	*19.8*	*24.9*	*31.5*
5 ans	28.7	37.8	49.9	62.1	75.6
10 ans	33.4	45.9	61.9	75.7	90.1
20 ans	38	54.8	76.3	91.6	106.2
50 ans	43.9	67.9	99.8	116.6	130.2
100 ans	48.2	78.8	121.6	139.3	150.6

	TOULON				
	Période 1971 - 2011 / 36 années traitées				
	30 min	1h	3h	6h	12h
5 ans	26.1	34.9	51.2	65.2	82.9
10 ans	31.9	42.0	61.4	78.0	99.2
20 ans	36.6	48.9	71.6	91.2	116.0
50 ans	43.9	57.9	85.5	109.3	139.8
100 ans	49.6	64.9	96.6	124.1	159.5





Pour les **faibles périodes de retour** (1 an et 2 ans), les ajustements obtenus aux 3 stations étudiées sont **similaires** et les cumuls calculés pour les différentes durées sont comparables avec des écarts maximum inférieurs à 10%.

Pour les **fréquences plus rares** (à partir de 5 ans), les résultats à la station de **Cassis** s'écartent notablement des résultats aux stations de Marignane et Marseille avec des écarts d'autant plus importants que les durées et périodes de retour considérées sont élevées. Les estimations aux stations de Marignane et Marseille restent quant à elles similaires.

Ces différences peuvent s'expliquer par l'utilisation d'un **échantillon plus restreint** au niveau de la station de Cassis (18 années traitées contre 44 et 36 respectivement pour les stations de Marignane et Marseille) pour la réalisation des ajustements statistiques induisant un risque plus élevé de mauvaise extrapolation des cumuls pour les fréquences rares.

2.1.3 Pluies SHYREG

L'**IRSTEA** a développé une méthodologie permettant de disposer d'une interpolation spatiale des estimations de précipitations pour différentes durées et périodes de retour, dénommée SHYREG.

Celle-ci fournit une estimation des quantiles de pluies pour des cumuls allant de **1 heure à 72 heures** et des périodes de retour de **2 à 100 ans**, disponibles sur une grille de **1km** de résolution.

Ces estimations sont obtenues par simulations de longues chroniques de pluie à l'aide d'un générateur stochastique de pluies horaires.

Ces estimations seront comparées à celles obtenues par analyse statistique au droit des postes Météo France et DEAP disposant de suffisamment de données.

2.2 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES DEAP

2.2.1 Introduction

Les analyses statistiques sur les précipitations de durée comprises entre 30 minutes et 12 heures sont réalisées sur les postes DEAP présentés au paragraphe précédent afin de :

- Déterminer les **hauteurs de précipitations** pour différentes périodes de retour comprises entre 2 ans et 100 ans et les c**omparer** à celles connues aux postes Météo France et aux pluies SHYREG,
- **Caractériser la variabilité spatiale de la pluie** à l'échelle des bassins versants de AMP/MP étudiés afin de définir les événements pluviométriques synthétiques nécessaires au diagnostic du système d'assainissement pluvial de l'agglomération.

Plusieurs ajustements ont été réalisés à partir des données de pluie au pas de temps 6 minutes fournies par la DEAP afin de comparer les différentes approches :

- Ajustement de **Gumbel**,
- Ajustement à la **Loi des Extrêmes Généralisés** (GEV : Generalized Extreme Values),
- Méthode du **renouvellement**.

Les principes de ces 3 méthodes sont présentés succinctement dans le paragraphe suivant.

Seuls les postes disposant de suffisamment d'enregistrements ont fait l'objet d'une analyse. Les hypothèses retenues pour le choix des postes et des années de données exploitées sont présentées ci-après.

2.2.2 Principe des ajustements utilisés

a) Ajustement de Gumbel

Pour les périodes de retour supérieures à 1 an, en première approche, un ajustement statistique à l'aide d'une loi de type Gumbel des pluies maximales annuelles aux stations est réalisé.

L'ajustement de Gumbel est défini selon la loi suivante :

$$P(T) = a \times U + b \begin{cases} a = \sigma_x \\ b = \mu_x - a \\ U = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right) \end{cases}$$

Avec :

- T : période de retour,
- P(T) : hauteur de précipitation pour une période de retour T
- σ_x : écart type des débits maximum instantanés
- μ_x : moyenne des débits maximum instantanés

Les valeurs fournies par l'ajustement de Gumbel ne sont valables que pour des **périodes de retour faibles**, égales au nombre d'années de mesure, voire lorsque l'ajustement est très bon, à deux fois le nombre d'années. Au-delà de cette limite, on peut extrapoler la courbe représentant la loi choisie mais cette méthode peut sous-estimer la hauteur de pluie pour les périodes de retour rares.

b) Loi des Extrêmes Généralisés (GEV)

Pour représenter les phénomènes de valeurs extrêmes, l'ajustement à la Loi des Extrêmes Généralisés (GEV) est généralement employé.

La loi d'ajustement à 3 paramètres est la suivante :

$$F(x) = \exp\left(-\left(1 - \frac{\xi \times (x - \mu)}{\lambda}\right)^{\frac{1}{\xi}}\right)$$

Avec :

- x : hauteur de précipitation,
- ξ : paramètre de forme,

- μ : paramètre de position,
- σ : paramètre de dispersion.

Cette méthode est néanmoins fortement déconseillée en deçà de 25 années d'observations.

c) Méthode du renouvellement (GPD)

La méthode du renouvellement, couramment utilisée pour les estimations de valeurs extrêmes de crues, permet d'évaluer les évènements exceptionnels pour des séries disposant de 10 à 25 années d'observations.

A la différence des autres méthodes, elle utilise **les hauteurs dépassant un seuil prédéfini x0**, ce qui permet en général de conserver plus d'un évènement par an (les ajustements classiques s'appliquent aux maximum annuels, soit une valeur par an).

La loi d'ajustement de cette méthode est la suivante :

$$F(x) = \sum P(k) \times G(x)$$

Avec :

- **P(k)** : loi d'ajustement sur le **nombre annuel de dépassement du seuil x0**. La loi retenue est une loi de Poisson à 1 paramètre,
- **G(x)** : loi d'ajustement sur les **hauteurs de dépassement du seuil x0**. La loi retenue est une loi de Pareto généralisée à 2 paramètres.

La combinaison de ces 2 lois permet de retenir la loi d'ajustement suivante :

$$F(x) = \exp\left(-\mu \times \left(1 - \frac{k \times (x - x0)}{\sigma}\right)^{1/k}\right)$$

Avec :

- x : hauteur de précipitation,
- x0 : seuil de dépassement,
- μ : paramètre d'ajustement de la loi de Poisson sur le nombre annuel de dépassement,
- k, σ : paramètres d'ajustement de la loi de Pareto sur les hauteurs de dépassement.

En pratique, le seuil x0 est déterminé de façon **itérative** de façon à obtenir le meilleur test du Khi-deux (ξ^2, permet de tester l'adéquation de la série de données avec les lois statistiques) pour l'ajustement des 2 lois (Poisson et Pareto généralisée) ainsi qu'un seuil ni trop haut ni trop bas permettant de traiter une série de plus d'un évènement par an.

d) Cas particulier de la période de retour 1 an

Le cumul de précipitation de fréquence d'apparition 1 an est déterminé à partir des **fréquences empiriques** calculées sur les cumuls classés supérieurs au seuil fixé par la méthode du renouvellement présentée dans le paragraphe précédent.

La fréquence d'apparition considérée pour une période de retour 1 an est la suivante :

$$F = 1 - \frac{Na}{Nc}$$

Avec :

- Na : nombre total d'années d'observations exploitées,
- Nc : Nombre total de cumuls supérieurs au seuil fixé par la méthode du renouvellement.

2.2.3 Extraction des données exploitables

a) Choix des postes et des années de données

Une synthèse des données disponibles et de l'état des capteurs (conformité, période d'arrêt…) a été réalisée afin de retenir pour l'analyse statistique :

- Les **pluviomètres disposant d'au moins 10 ans d'enregistrement** afin de réaliser les ajustements avec une série suffisamment longue,
- Pour chaque pluviomètre étudié, les **années complètes d'enregistrement** uniquement afin de ne pas sur-représenter une saison par rapport à d'autres plus ou moins pluvieuses. Une année a été considérée comme incomplète lorsque **plus de 30 manques** de données sont recensés.

Sur les 26 pluviomètres existant, 2 ne disposent pas de suffisamment de données valides exploitables et ne feront pas l'objet d'une analyse statistique. Il s'agit des stations **La Rose** et **Hambourg**, toutes deux fermées en 1997.

Enfin les enregistrements isolés qui semblent **aberrants** ont également été écartés.

Le tableau suivant synthétise les données exploitées pour les 24 postes analysés.

PLUVIOMETRES		Date de mise en service	Début des données exploitables	Fin des données exploitables	Nombre d'années exploitées
44	St Henri	1997	1999	2015	17
407	Septeme	1990	1993	2015	23
34	Hôpital Nord	1986	1987	2015	26
61	St Antoine	1991	1992	2015	21
36	Aygalades	1986	2002	2015	14
42	Longchamp	1986	1990	2010	20
43-16	Tourette	1990	1991	2010	20
35	Vauban	1989	1990	2015	25
602	Marégraphe	1990	1991	2015	23
54	Puits 1	1987	1991	2015	22
31	Timone	1988	1988	2015	28
30	St Barnabé	1989	1990	2015	25
40	Allauch	1989	1990	2015	24
80	La Grave	1997	1998	2015	17
33	Château Gombert	1987	1988	2015	28
401	Val d'Ol	1989	1993	2015	22
38	Valentine	1988	1991	2015	25
62	Bonnaude	1996	1998	2015	17

PLUVIOMETRES		Date de mise en service	Début des données exploitables	Fin des données exploitables	Nombre d'années exploitées
406	Luminy	1988	1993	2015	23
37	Vernet	1986	1990	2015	26
220	Nereides	1987	1993	2015	23
39	Frioul	1989	1990	2015	21
55	Pugette	1987	1991	2015	25
41	St Cyr	1989	1990	2015	26

Tableau 1 : Liste des postes étudiés et des années de données exploitées

Sur l'ensemble des stations exploitées, seules **9 disposent de 25 années** ou plus (coloriées en vert dans le tableau) d'enregistrements valides pour lesquelles la méthode GEV peut être considérée comme valide.

Pour les autres stations, le nombre d'années exploitables est globalement compris entre 17 et 24 (à l'exception de la station Aygalades avec seulement 14 années de données valides).

b) Extraction des cumuls par poste

Pour chaque poste étudié, les cumuls pluviométriques maximum suivants au pas de temps **30min, 1h, 3h, 6h et 12h** sont extraits des données brutes fournies par le SERAMM :

- Cumuls **maximum annuels** utilisés pour les ajustements Gumbel et GEV,
- Cumuls **maximum par évènement pluvieux** utilisés pour la mise en œuvre de la méthode du renouvellement. Les hypothèses de détection des évènements pluvieux sont les suivantes :
    - Durée de temps sec minimum entre 2 évènements : **24 heures**,
    - Hauteur cumulée minimum pour un évènement : **2mm**.

2.3 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Les ajustements de hauteur de précipitation réalisés avec les lois de Gumbel, GEV et la méthode du renouvellement sont présentés en annexe 2. Les valeurs fournies par les données SHYREG au droit de chacun des postes sont également reportées.

La **loi de Gumbel** est globalement bien ajustée sur les échantillons (contrôle visuel). Elle s'ajuste néanmoins moins bien pour un certains nombres de stations présentant des évènements pluviométriques particulièrement intenses pour des périodes de retour supérieures à 10 ans (Château Gombert, Frioul, Luminy, St-Antoine, St-Barnabé, St-Cyr, Timone, Tourette et Vauban).

La **loi GEV**, très fortement influencée par les valeurs les plus fortes de l'échantillon considéré, ne s'écarte notablement de la **loi de Gumbel** que vers les périodes de retour élevées, avec des cumuls qui ne dépassent les cumuls estimés par la loi de Gumbel que pour la période de retour 100 ans.

La **méthode du renouvellement** permet également un bon ajustement sur les échantillons à la fois pour les périodes de retour fortes que pour les périodes de retour plus faibles. Les valeurs sont globalement plus basses que pour la méthode de Gumbel et la loi GEV. Les cumuls restent également compris dans l'intervalle de confiance à 90% de la loi Gumbel.

Les valeurs **SHYREG** sont quant à elles généralement plus faibles que les tous les ajustements réalisés quels que soient les périodes de retour et durées de précipitation considérées.

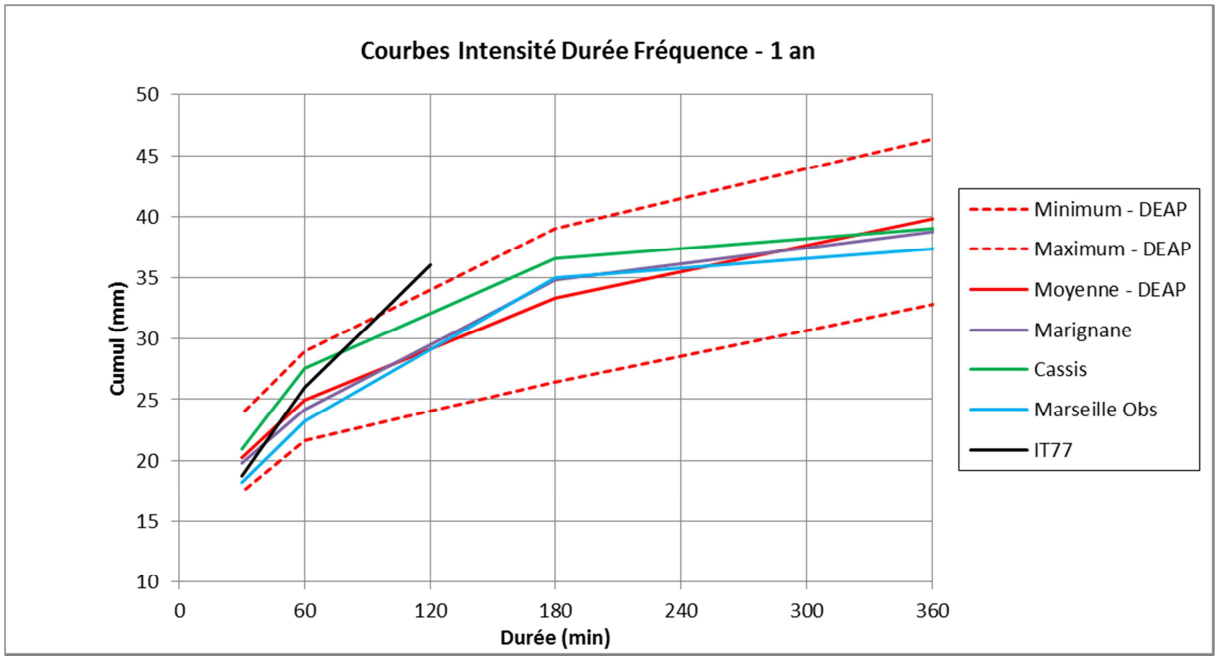
Pour la suite de l'analyse, on propose de retenir les estimations issues de la **méthode du renouvellement**, préconisée pour les séries de données limitées. Cette méthode est par ailleurs celle retenue depuis 2013 par Météo France pour l'ensemble de ses ajustements.

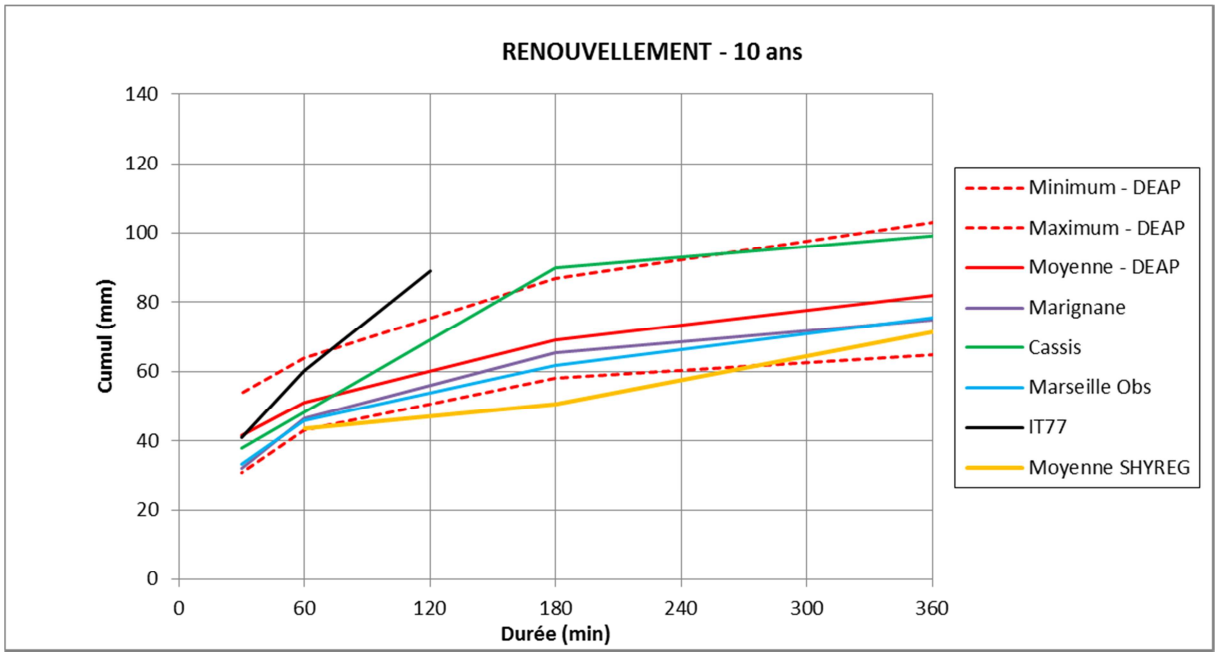
Le **faisceau des cumuls pluviométriques** pour les périodes de retour 1 an, 10 ans et 100 ans aux postes de Marseille, calculés par la méthode du renouvellement sur les stations DEAP, a été comparé avec les **données Météo France** acquises.

Les cumuls calculés à partir des données de la **région III de l'Instruction Technique de 1977**, valables pour des périodes de retour comprises entre 1 et 10 ans et des durées comprises entre 6 minutes et 2 heures sont également représentés.

Les graphiques sont présentés sur la Figure 4 ci-dessous et les tableaux de valeurs sont donnés en annexe 3.

Pour le faisceau des données DEAP le minimum, maximum et la moyenne des valeurs sont représentés pour alléger les graphiques.





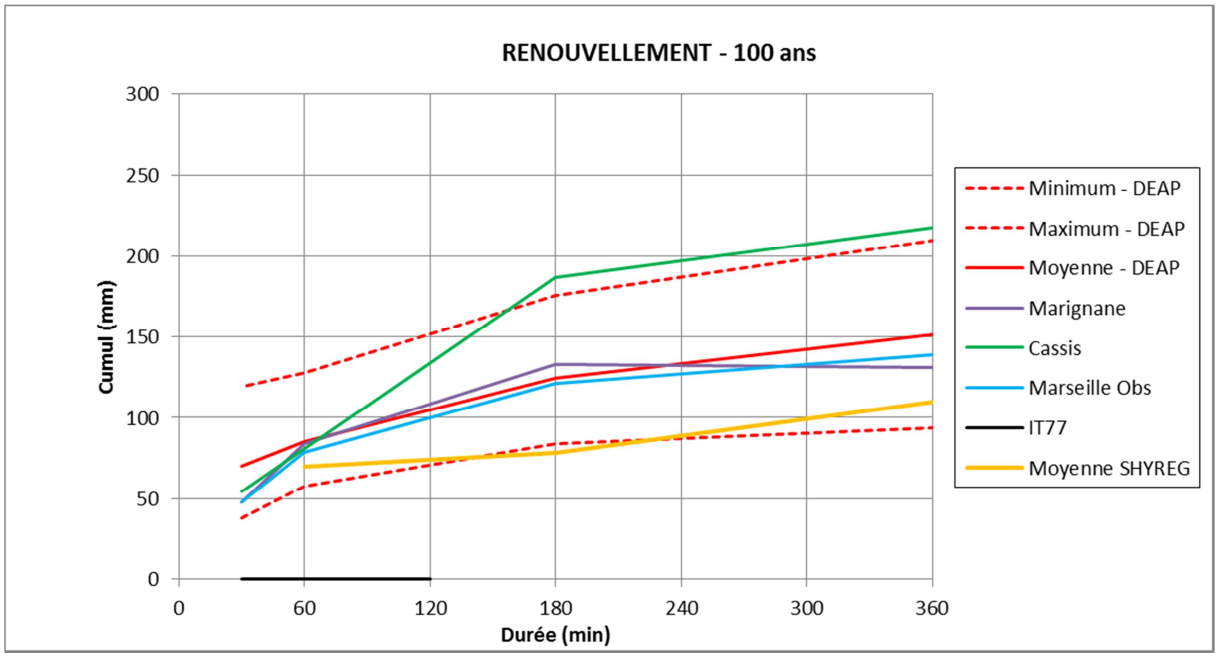


Figure 4 - Comparaison des résultats statistiques aux postes Météo France et DEAP

On retrouve dans ces résultats la **particularité de la station de Cassis** pour les fréquences rares avec des cumuls qui s'écartent notablement des cumuls calculés aux postes de Marseille et Marignane.

Cette station exclue, la moyenne des cumuls calculée aux postes de la DEAP est **cohérente** avec les résultats aux postes de Marignane et Marseille Observatoire. Ces derniers sont par ailleurs systématiquement inclus dans le faisceau des pluviomètres de Marseille, quelle que soit la durée et la période de retour considérée :

- Pour la période de retour 1 an et pour les durées inférieure à 3 heures, les données Météo France sont proches de la moyenne DEAP,

- Pour la période de retour 10 ans, les données Météo France sont comprises entre le minimum des valeurs DEAP et le quantile 25%,
- Pour la période de retour 100 ans, les données Météo France sont globalement comprises entre la moyenne des valeurs DEAP et le quantile 25%, pour les durées inférieure à 3 heures les données Météo France sont proches de la moyenne DEAP,

Cet écart, somme toute relatif, entre les valeurs DEAP et Météo France pourrait s'expliquer par deux facteurs :

- Une tendance à l'augmentation des cumuls de pluie depuis une vingtaine d'année, les ajustements Météo France sont en effet réalisés sur des données relevées à partir des années 1960, les données DEAP sont quant à elle relevées depuis les années 1990. Pour confirmer ce point il faudrait pouvoir extraire les données Météo France depuis les années 1990 uniquement hors ces données ne sont pas facilement accessibles auprès de Météo France,
- Un biais sur les pluviomètres DEAP dont les valeurs ne sont pas calibrées et contrôlées de la même façon que les données Météo France.

Nous n'avons pas aujourd'hui les éléments pour valider l'une au l'autre de ces hypothèses.

Les données issues de l'IT77 sont quant à elles supérieures à la valeur la plus haute des postes de la DEAP pour des durées supérieures à une heure. Elles se situent dans la moyenne des valeurs DEAP pour les cumuls sur 30 minutes.

Hormis pour le poste de Marignane, dont les valeurs de cumuls sont ici 30% plus faibles que celles indiquées dans le document de 2008, les conclusions de la présente analyse sont similaires aux conclusions du Schéma de Cohérence Hydraulique de 2008. On retrouve en effet que les données du poste de Marseille sont dans la fourchette basse du faisceau des courbes des postes DEAP.

2.4 DISCUSSION SUR VARIABILITÉ SPATIALE DES PLUIES

Les cartes pages suivantes illustrent la variabilité spatiale des cumuls pluviométriques des postes de la DEAP pour les périodes de retour 1 an, 10 ans et 100 ans et pour une durée de 1 heure.

On représente l'écart en mm du cumul calculé à la station et aux postes Météo France par rapport à la moyenne des valeurs DEAP.

Les tableaux de valeurs pour les autres durées sont fournis en annexe 4.

L'analyse de ces valeurs permet d'identifier les stations qui présentent les cumuls les plus faibles et les plus forts pour chaque période de retour :

Période de retour	1 an		10 ans		100 ans	
Cumul	< 1 heure	> 1 heure	< 1 heure	> 1 heure	< 1 heure	> 1 heure
Les plus faibles	Frioul St Henri Vallon Dol St Antoine	Frioul St Antoine La Grave Vallon Dol	La Grave Vallon Dol Timone St Barnabe Frioul	Frioul Aygalades Hopital Nord St Henri Vallon Dol	La Grave Vallon Dol Puits1 Timone Valentine	Aygalades Hopital Nord Frioul Vernet
Les plus élevés	Luminy Vernet Tourette Longchamp	St Cyr Nereides Valentine Vernet	Septemes Vernet Nereides Luminy	St Cyr Tourette Luminy Nereides	St Henri Nereides Septemes Luminy	Tourette Luminy Vauban Nereides

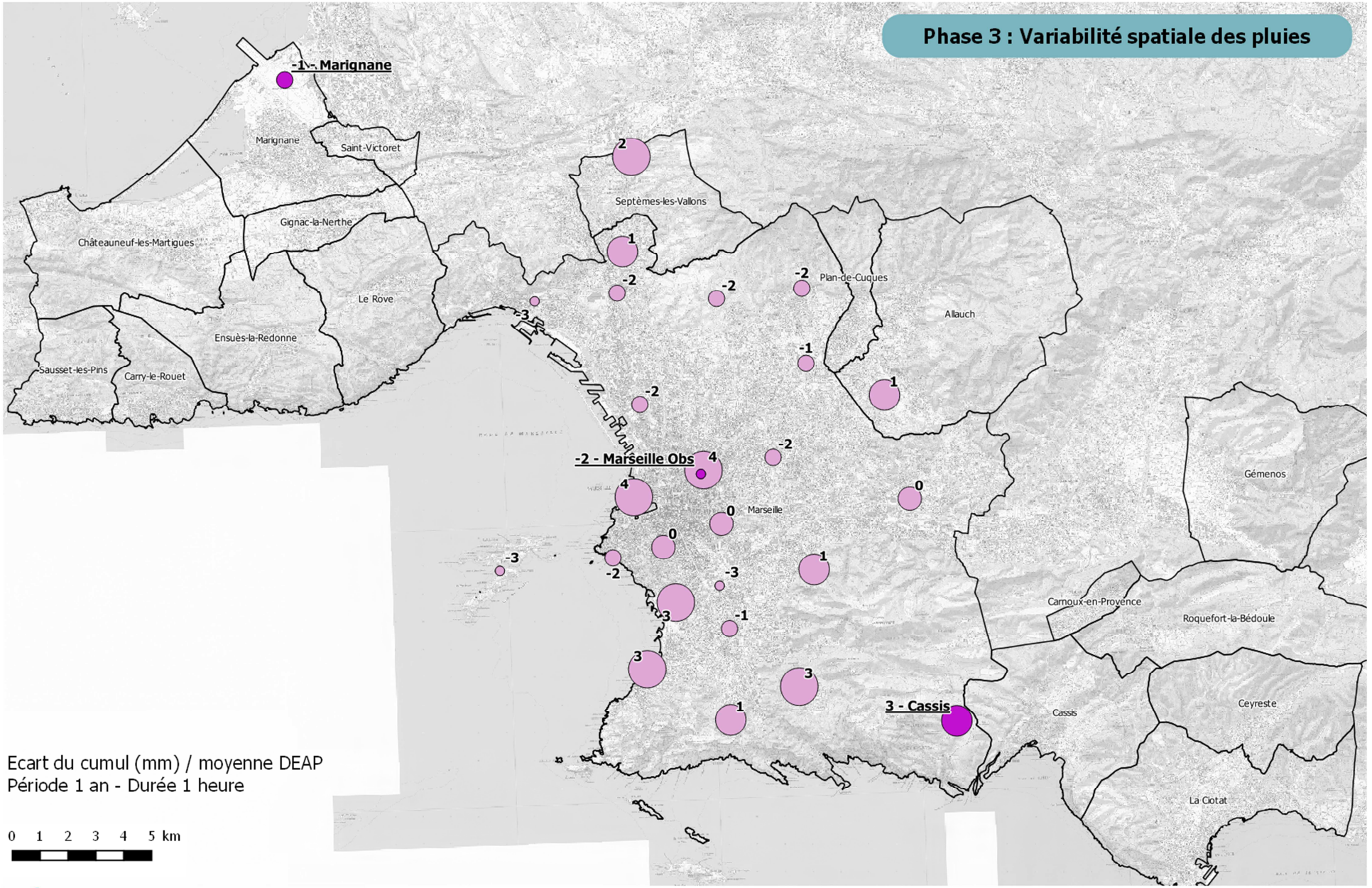
Aucune tendance très nette ne se dégage de cette analyse, des stations présentent en effet tantôt les cumuls les plus faibles, tantôt les cumuls les plus élevés (par exemple Vernet).

On ne retrouve pas non plus de groupe de station géographiquement proches et dont le « comportement » est constant.

Nous pouvons toutefois souligner le « comportement » constant individuel des stations :

- Lumigny (toujours dans les plus élevés),
- Vallon Dol (toujours dans les plus faibles),
- Frioul (toujours dans les plus faibles), la localisation insulaire de cette station nous incite à ne pas extrapoler les résultats à cette station au reste du territoire.

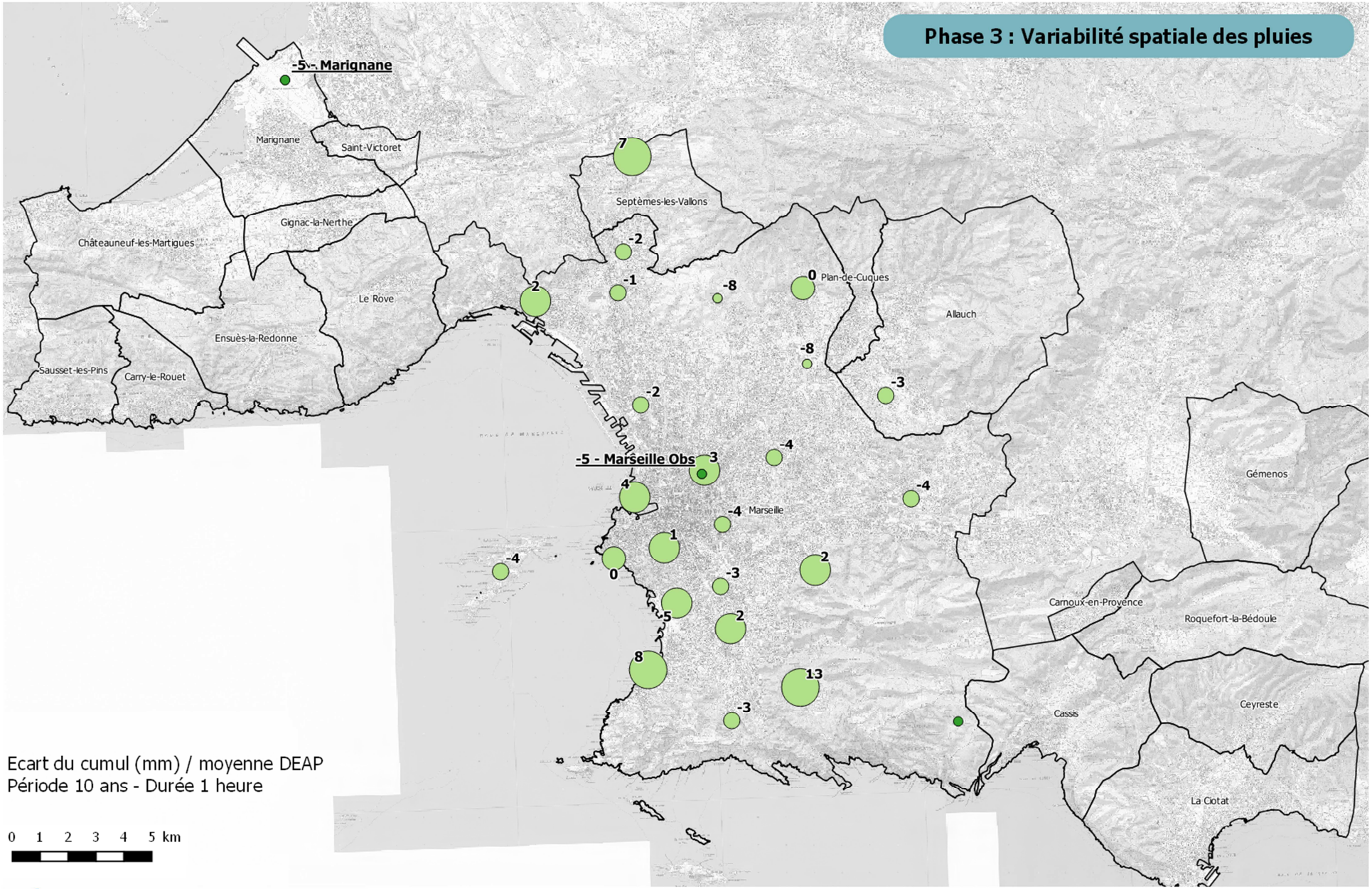
La particularité de la station de Lumigny avait déjà été identifiée dans le Schéma de Cohérence Hydraulique de 2008.



MÉTROPOLE AIX-MARSEILLE PROVENCE | Territoire de Marseille Provence

MS17 SDEP-AMP/MP - Novembre 2016
Source AMP/MP - Reproduction interdite

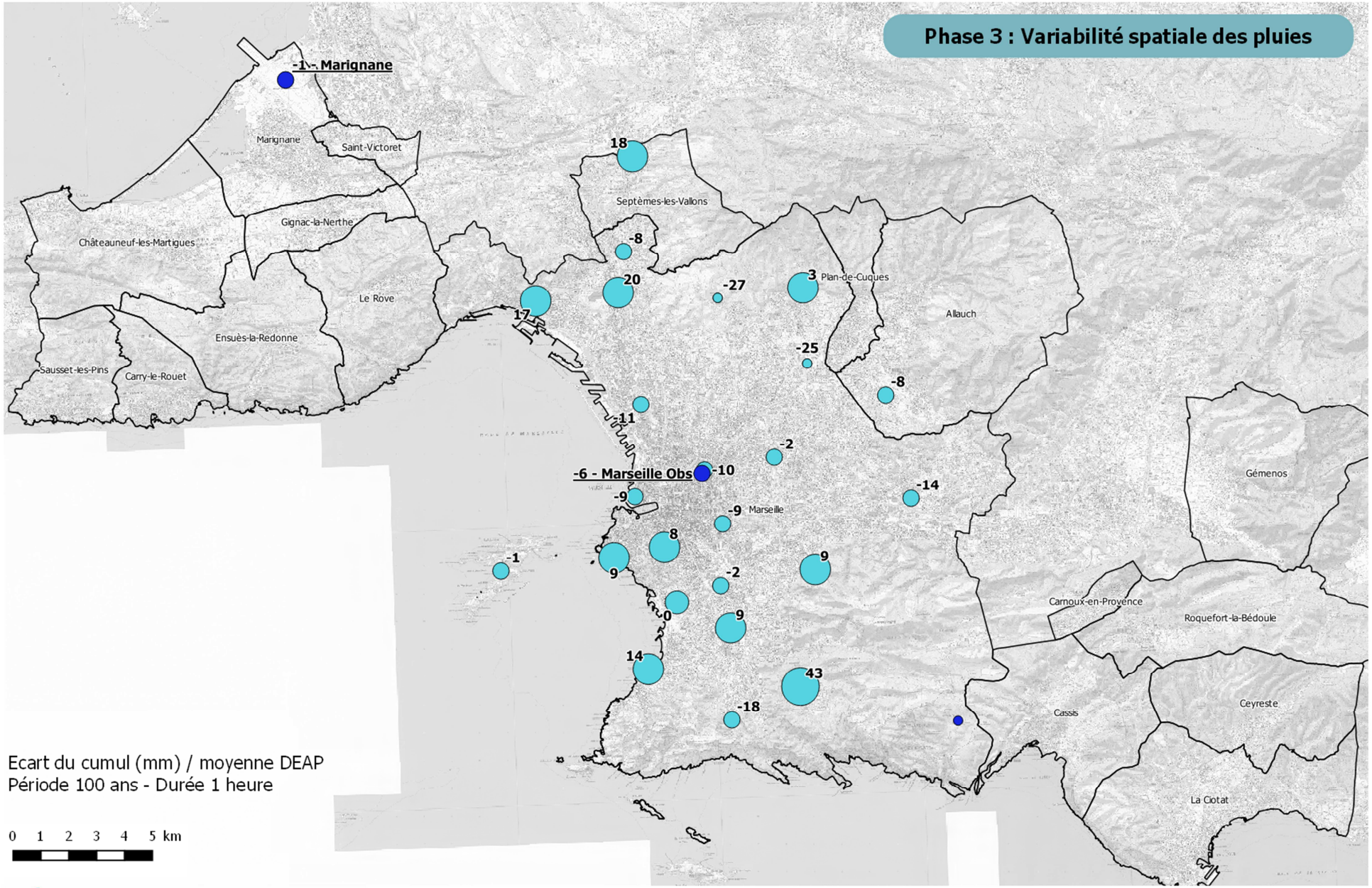
setec hydratec | ACRI IN | HGM



MÉTROPOLE AIX-MARSEILLE PROVENCE | Territoire de Marseille Provence

MS17 SDEP-AMP/MP - Novembre 2016
Source AMP/MP - Reproduction interdite

setec hydratec | ACRI IN


Phase 3 : Variabilité spatiale des pluies
-1 - Marignane
Marignane
Saint-Victoret
Gignac-la-Nerthe
Châteauneuf-les-Martigues
Le Rove
Ensuès-la-Redonne
Sausset-les-Pins
Carry-le-Rouet
18
Septèmes-les-Vallons
-8
20
-27
3
Plan-de-Cuques
17
Allauch
-25
-8
-11
-2
-6 - Marseille Obs
-10
-14
-9
-9
Marseille
8
9
-1
9
-2
0
9
14
43
-18
Gémenos
Carnoux-en-Provence
Roquefort-la-Bédoule
Ceyreste
Cassis
La Ciotat
Ecart du cumul (mm) / moyenne DEAP
Période 100 ans - Durée 1 heure
0 1 2 3 4 5 km
N
MÉTROPOLE AIX-MARSEILLE PROVENCE
Territoire de Marseille Provence
MS17 SDEP-AMP/MP - Novembre 2016
Source AMP/MP - Reproduction interdite
setec hydratec
ACRI IN

3 DÉFINITION D'UNE PLUVIOMÉTRIE DE RÉFÉRENCE

3.1 PLUIES DE RÉFÉRENCES UTILISÉES PRÉCÉDEMENT

3.1.1 Etudes hydrauliques antérieures

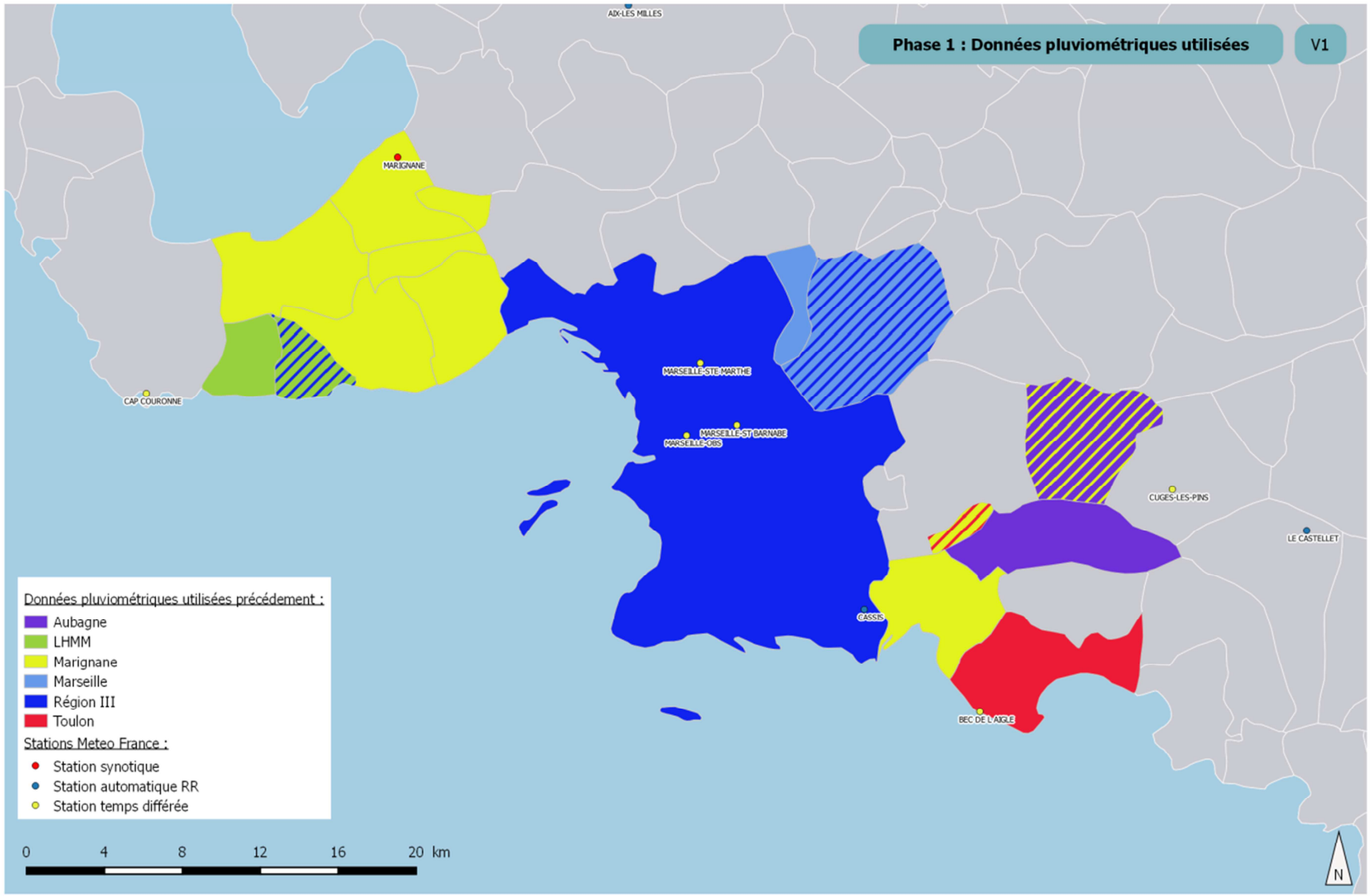
A l'issue du recueil de donnée de phase 1, nous avons synthétisé l'ensemble des données pluviométriques utilisées dans les différentes études hydrauliques antérieures des 18 communes du territoire.

Les quatre principales stations ou zone de référence utilisées et présentées sur la carte ci-dessous sont celles :

- de Marignane,
- de Marseille Observatoire (Météo France ne propose pas la mise à disposition des données sur les autres postes de Marseille Sainte Marthe et Saint Barnabé),
- de Toulon,
- de la Région III de l'IT77.

NB : les communes hachurées sont celles pour lesquelles plusieurs stations de Météo France ont servi de référence (voir tableau ci-après).

Figure 8 : Données pluviométriques utilisées sur le territoire AMP/MP



Commune		*Station Météo France de référence*
Allauch	ALL	Ville de Marseille, Région III
Carnoux-en-Provence	CRN	Marignane, Toulon
Carry-le-Rouet	CLR	Région III, LHMM
Cassis	CSS	Marignane
Ceyreste	CEY	non
Châteauneuf-les-Martigues	CHN	Marignane
Ensuès-la-Redonne	ELR	Marignane
Gémenos	GEM	Aubagne, Marignane
Gignac-la-Nerthe	GNC	Marignane
La Ciotat	LCT	Toulon
Le Rove	LRV	Marignane
Marignane	MRG	Marignane
Marseille	MRS	Région III
Plan-de-Cuques	PDC	Marseille Olive, Mimet
Roquefort-la-Bédoule	RLB	Aubagne
Saint Victoret	SVC	Marignane
Sausset-les-Pins	SST	LHMM
Septèmes-les-Vallons	SLV	non

Une distinction s'opère entre l'ouest et l'est du territoire : à l'ouest, pour les études postérieures à 2000, ce sont les données de la station de Marignane qui servent de référence. A l'est du terrioire les données utilisées sont plus hétérogènes.

3.1.2 Méthodologie DDTM13

La DDTM13 a publié en 2015 un guide d'application de la rubrique 2.1.5.0 de la loi sur l'eau intitulé : « Principes de gestion des eaux pluviales dans le projets d'aménagement dans les Bouches du Rhône. », ce guide est présenté en annexe 6.

Ce guide présente deux hypothèses de selection des données pluviométriques de références :

- Utilisation d'un poste pluviométrique ponctuel Météo France ou particulier si le poste dispose de données récentes (<10 ans) et de chroniques suffisament longues pour l'estimation des pluies décennales et centennales (au moins 30 ans de données),
- Utilisation de coefficients de Montana selon un zonage déterminé par le Cerema : voir carte ci-dessous.

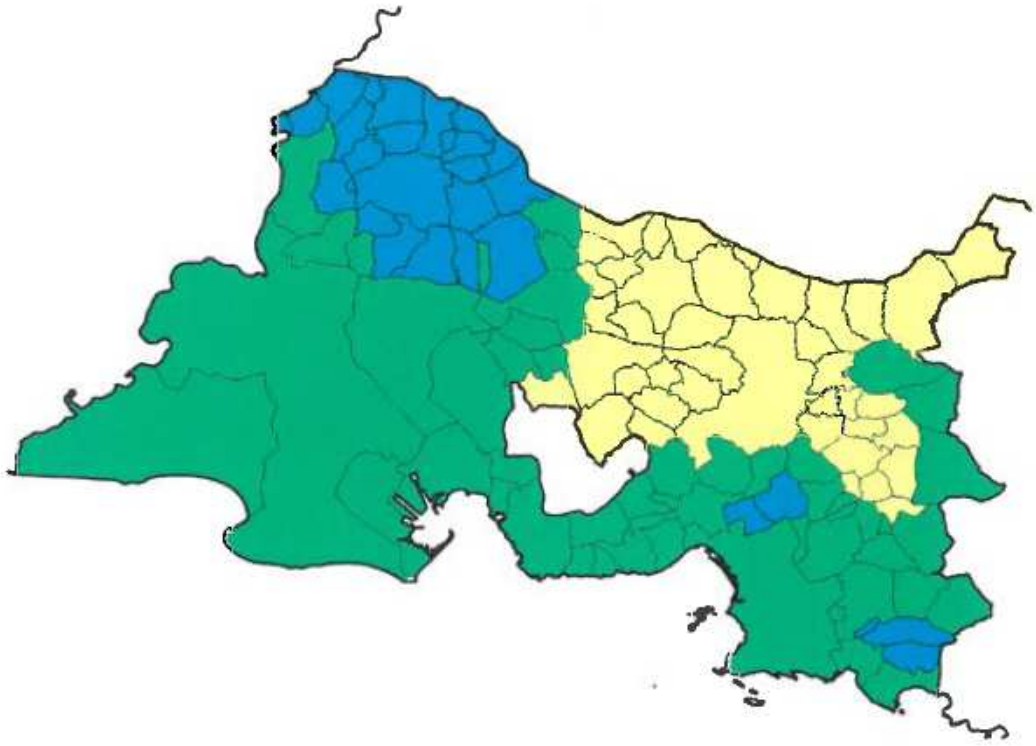


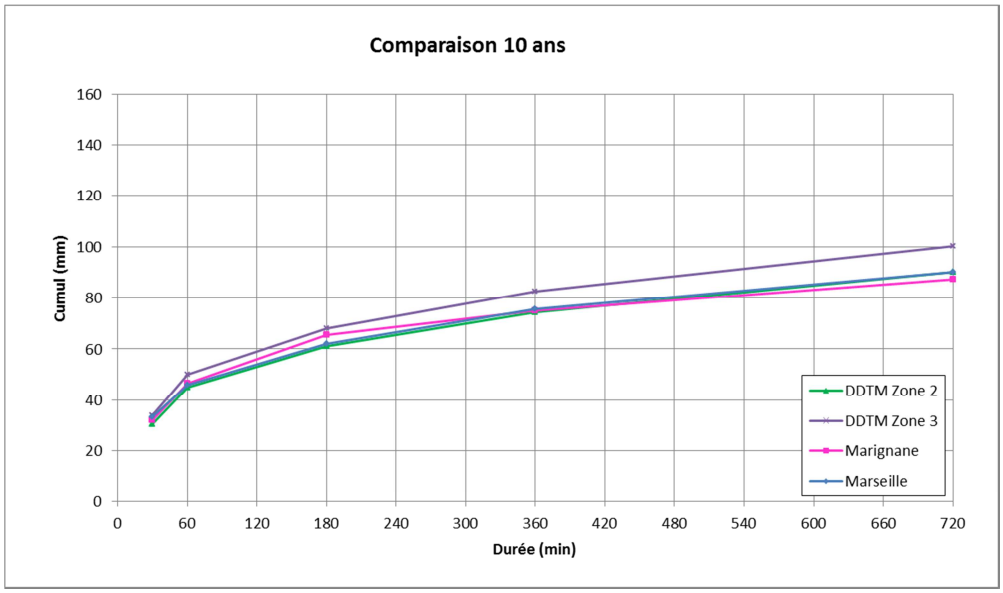
Illustration 2: découpage des Bouches-du-Rhône en 3 zones pluviométriques (jaune = zone 1 ; vert = zone 2 ; bleu = zone 3)

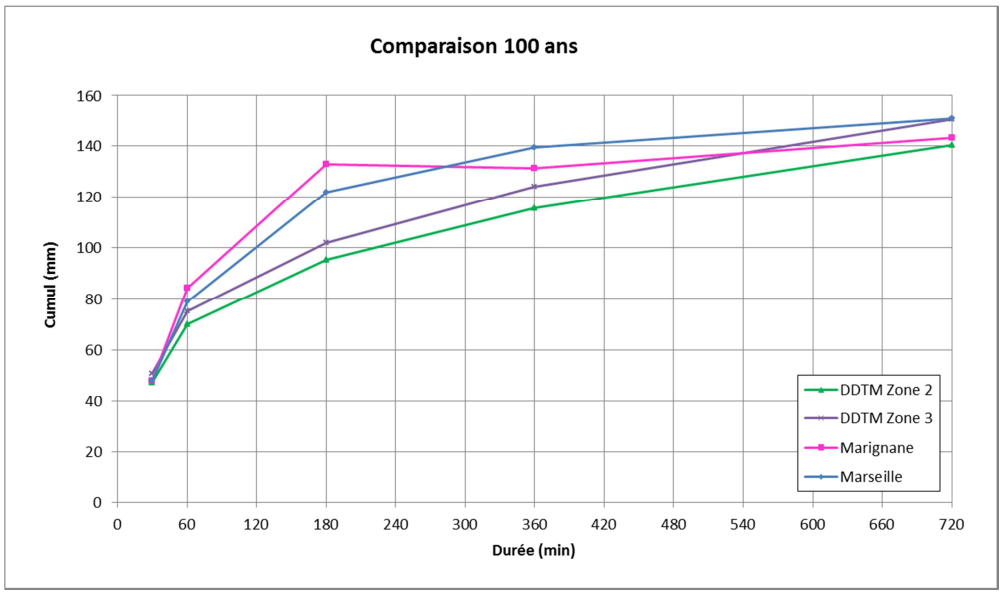
- Zone 1 : vallée de la Durance de Saint Paul à Mallemort, Pays Aixois = jaune,
- Zone 2 : pays d'Arles, sud de l'étang de Berre, Marseille, Pays d'Aubagne, Sainte Victoire = vert,
- Zone 3 : massif des Alpilles, Massif de l'Etoile et massif de la Sainte Baume (comprement les communes AMP/MP de Septèmes-les-Vallons, Carnoux en Provence, Ceyreste et Roquefort-la-Bédoule).

Les coeficients de Montana fournis sont les suivants :

	Zone 2				**Zone 3**			
	10 ans		100 ans		10 ans		100 ans	
	< 1h	> 1h	< 1h	> 1h	< 1h	> 1h	< 1h	> 1h
a	45	45	70	70	50	50	75	75
b	0.44	0.72	0.44	0.72	0.44	0.72	0.44	0.72

La comparaison des cumuls pluviométriques issus de ces coefficients avec les données Météo France est présentée sur les graphiques ci-dessous :





On note que :

- les valeurs des cumuls pour la période de retour 10 ans de la zone 2 sont très proches des valeurs Météo France de Marignane et Marseille,
- les valeurs des cumuls pour la période de retour 10 ans de la zone 3 sont supérieurs d'environ 10% aux valeurs Météo France de Marignane et Marseille,
- les valeurs des cumuls pour la période de retour 100 ans des zones 2 et 3 sont globalement inférieurs aux valeurs Météo France de Marignane et Marseille.

On peut également s'interroger sur la répartition des communes entre les différentes zones en analysant la topographie globale du territoire. On peut en effet constater sur la carte ci-après que les massifs de la Sainte-Baume et de l'Etoile empietent largement sur les communes de Allauch et Gemenos mais qu'elles ne font par partie de la zone 3.

Cette interrogration sera probablement à clarifier avec le Cerema.

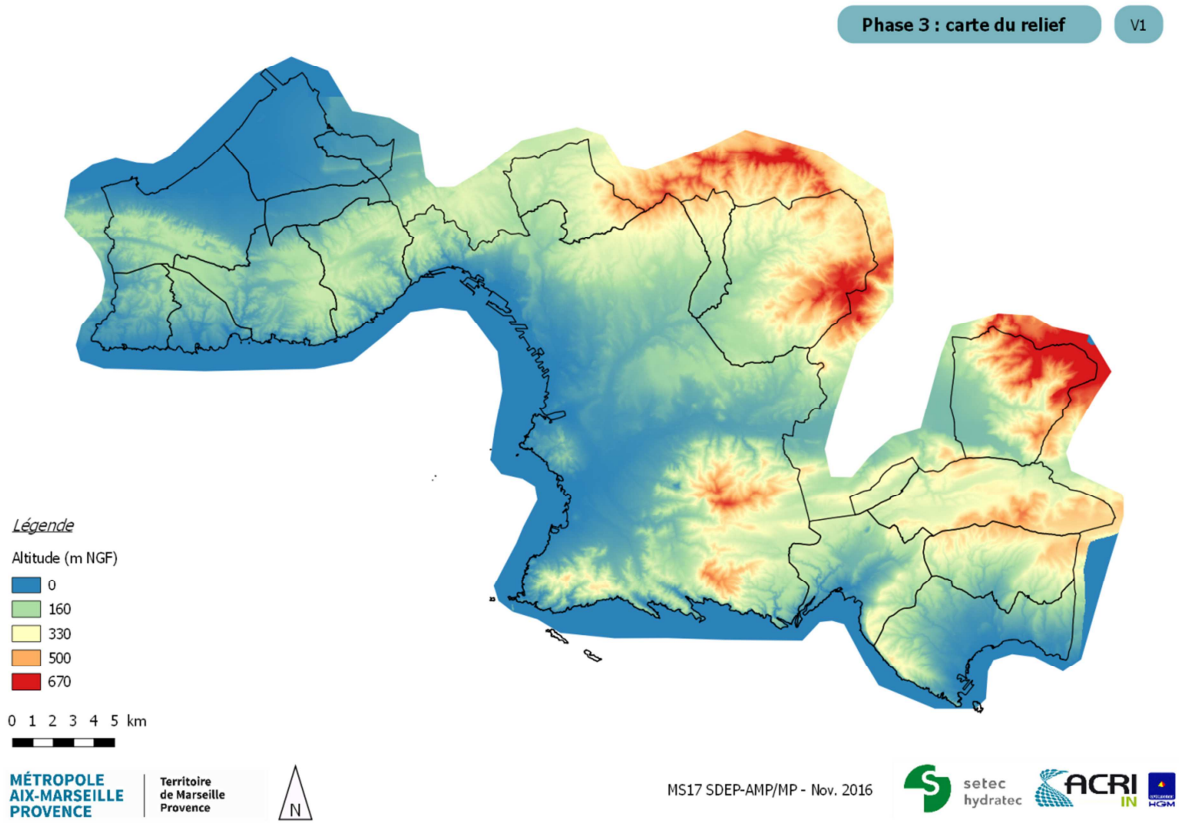


Figure 9 : Carte du Relief du territoire AMP/MP

3.2 DISCUSSION SUR LE CHOIX DES NOUVELLES RÉFÉRENCES

Le choix de la nouvelle référence a été déterminé en concertation avec la DEAP pour répondre à 3 objectifs :

- Tenir compte des données mesurées sur les pluviomètres DEAP depuis plus de 25 ans et leur donner un poids relatif équivalent aux données Meteo France tout en conservant un caractère sécuritaire,
- Rendre facile d'utilisation de cette référence pour les maitres d'ouvrage et les maitres d'œuvre en fournissant dans la mesure du possible un seul jeu de coefficients de Montana par période de retour et pour tout le territoire,
- Justifier s'il y a lieu les écarts entre la nouvelle référence et les précédentes : notamment sur Marseille pour favoriser l'acceptation par les maitre d'ouvrages.

Cette méthodologie est motivée par les nouvelles préconisations de la DREAL et de la DDTM qui incitent les maitres d'ouvrages à prendre en compte des données pluviométriques les plus proches possible du site étudié si l'historique disponible est suffisamment long et fiable.

3.3 CONSTRUCTION DES NOUVELLES REFERENCES PLUVIOMETRIQUES

Les ajustements par la méthode du renouvellement réalisés à partir des mesures DEAP et les données Meteo France nous permettent de calculer une nouvelle référence pour les périodes de retour 1 an, 5, 10, 20, 50 et 100 ans et sur les pas de temps 30, 60, 120, 180, 360 et 720 minutes.

La construction de la nouvelle référence suit les étapes suivantes :

1) Sélection des valeurs valides pour le calcul du centile,
2) Calcul du centile 80% pour chaque pas de temps,
3) Calcul des coefficients de Montana pour chaque période de retour à partir des centiles calculés à l'étape 2.

Au regard de l'analyse des données décrite dans les chapitres précédents il a été convenu :

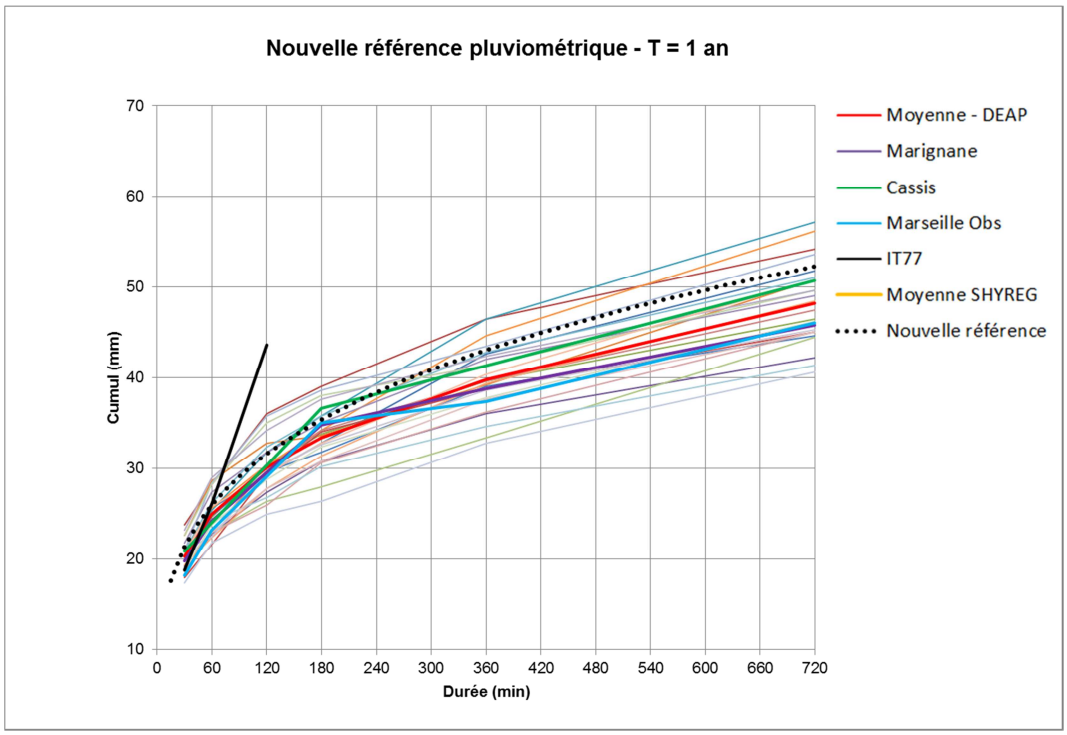
- D'écarter les données des stations DEAP dont l'historique était inférieur à 20 ans pour le calcul des périodes de retour supérieures à 10 ans, 10 ans inclus, (soit les stations de Aygalades, Bonnaude, La Grave, Longchamp, Saint-Henri et Tourette),
- De conserver les données de ces stations pour le calcul des périodes de retour inférieures à 10 ans,
- D'écarter systématiquement les données de la station de Cassis, jugées peu fiables au regard des données aux autres stations Meteo France,
- D'écarter systématiquement les données SHYREG qui sont déjà des données moyennées.

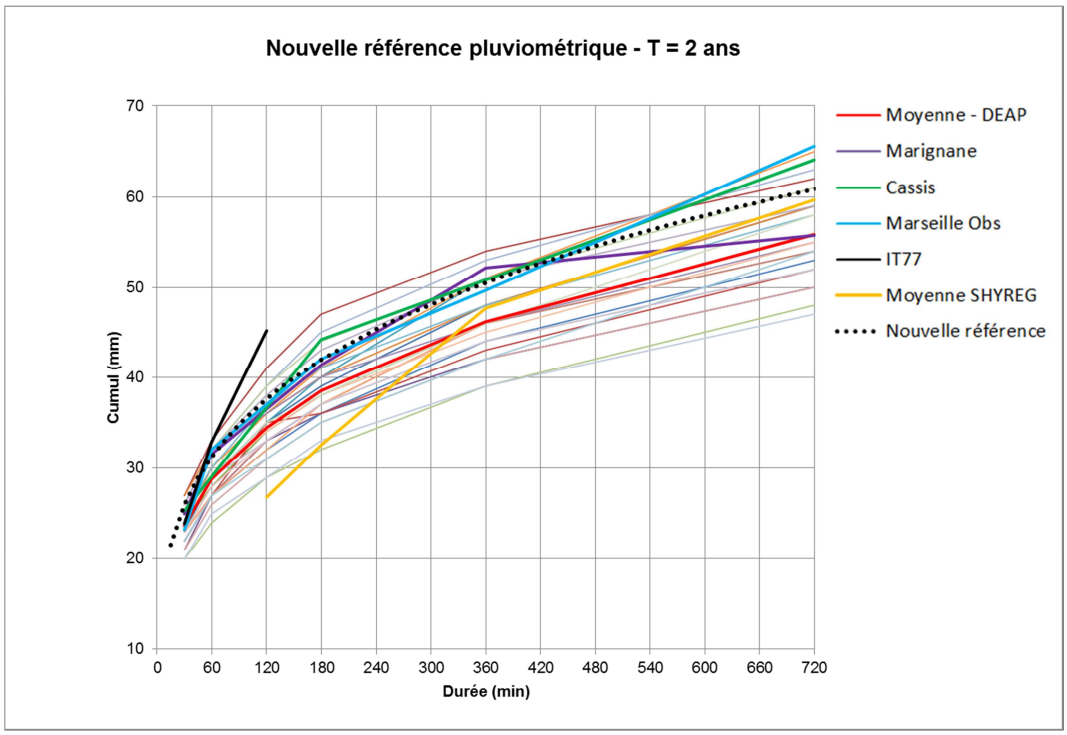
Les tableaux et courbes en annexe permettent de préciser les valeurs utilisées et écartées pour les calculs et de représenter de la distribution normale des valeurs.

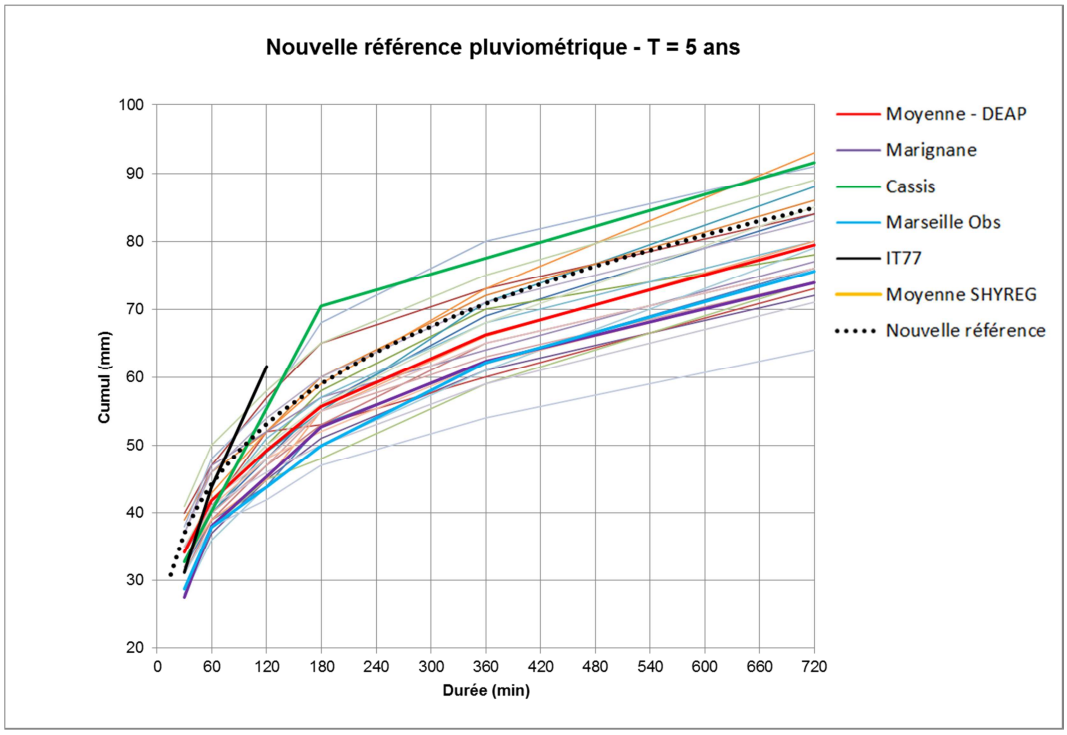
La nouvelle référence est présentée sur les graphiques ci-après sur lesquels on représente également :

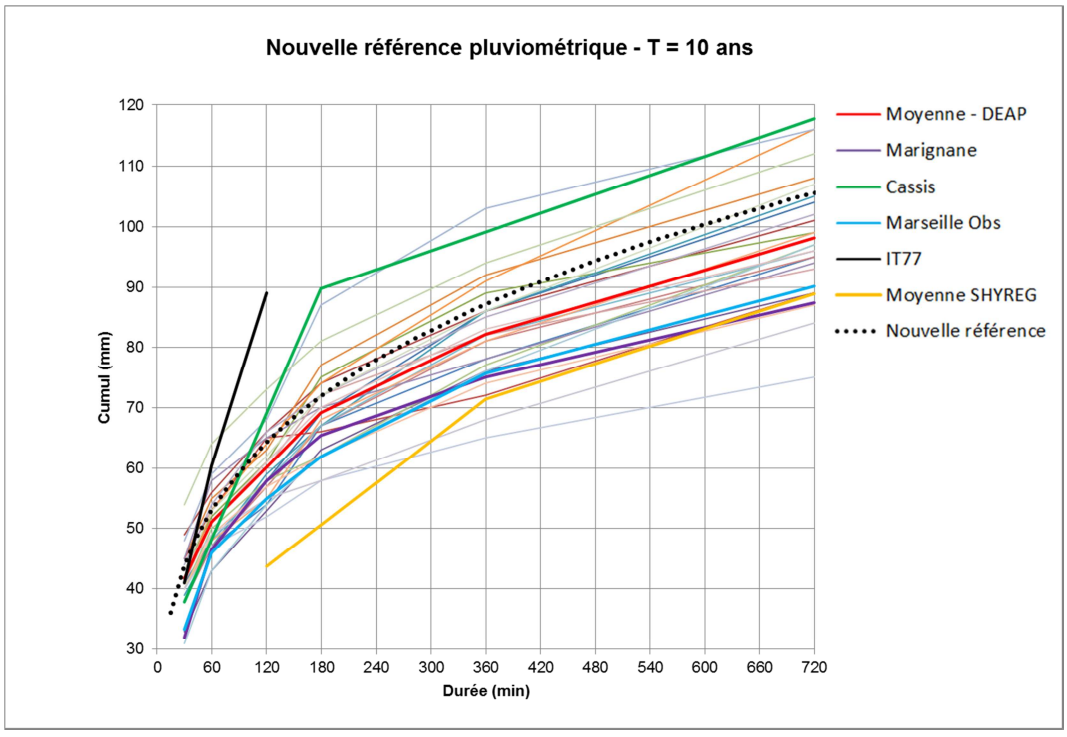
- Les valeurs DEAP y compris les valeurs écartées,
- Les valeurs Meteo France y compris les valeurs écartées,
- Les données SHYREG,
- Les valeurs de l'IT77.

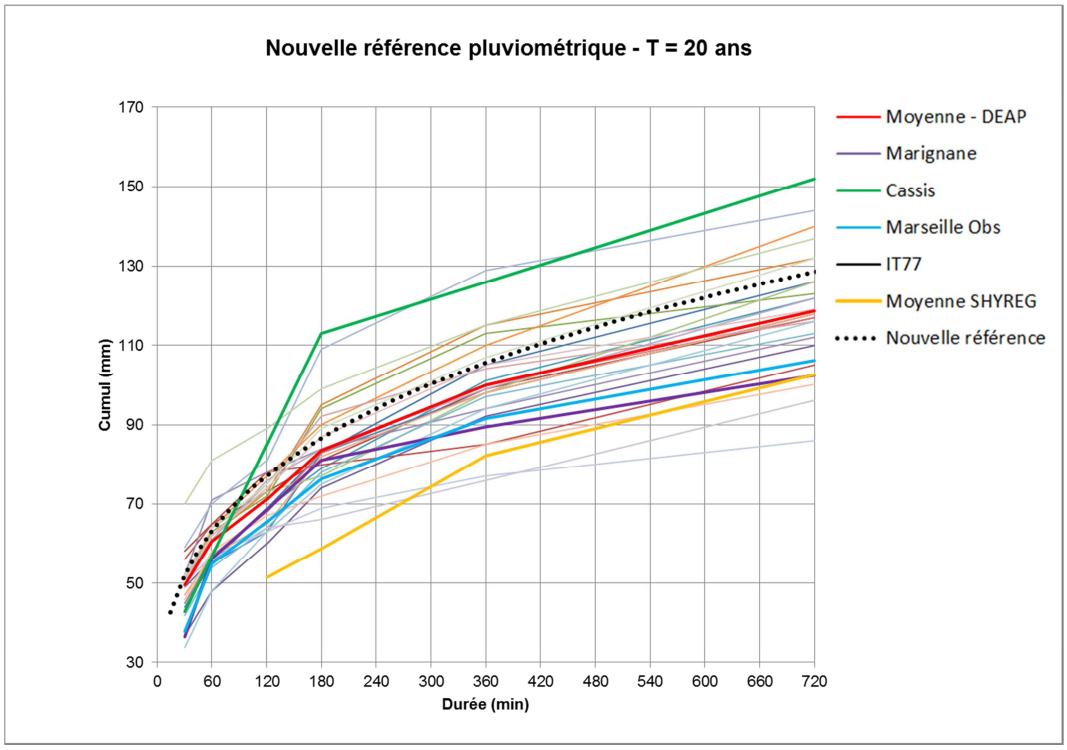
Figure 10 : Calcul de la nouvelle référence pluviométrique (1 an à 100 ans)

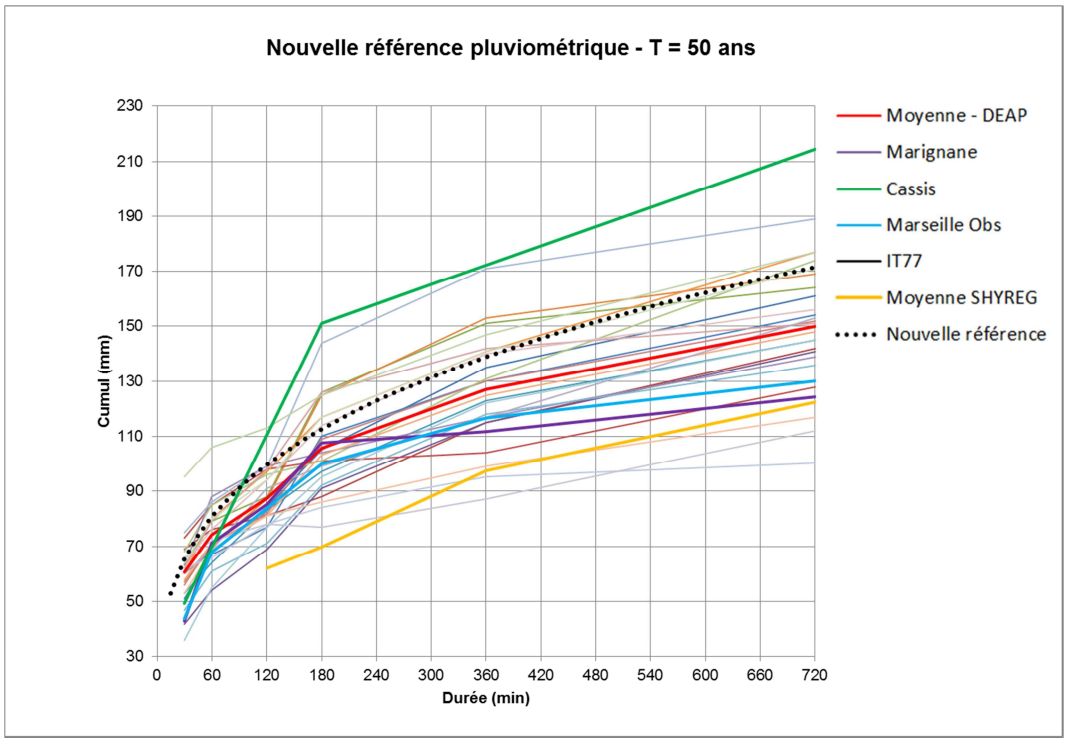


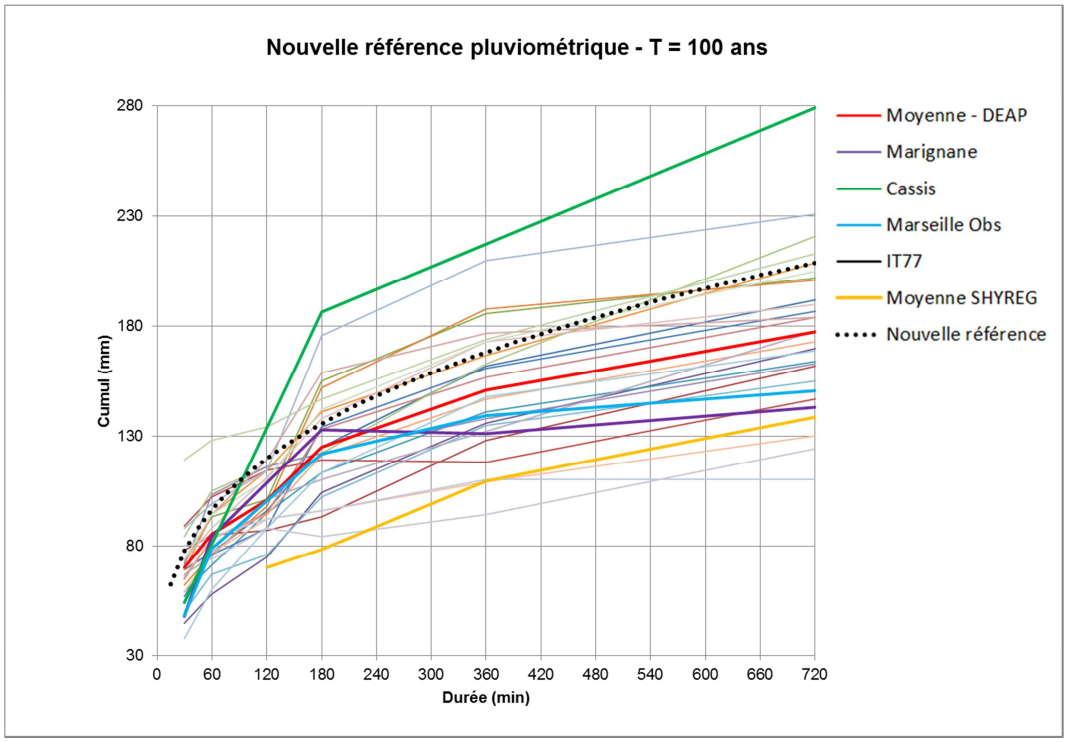



Nouvelle référence pluviométrique - T = 5 ans
Cumul (mm)
Durée (min)
Moyenne - DEAP
Marignane
Cassis
Marseille Obs
IT77
Moyenne SHYREG
Nouvelle référence


Nouvelle référence pluviométrique - T = 10 ans
Cumul (mm)
Durée (min)
Moyenne - DEAP
Marignane
Cassis
Marseille Obs
IT77
Moyenne SHYREG
Nouvelle référence


Nouvelle référence pluviométrique - T = 20 ans
Cumul (mm)
Durée (min)
Moyenne - DEAP
Marignane
Cassis
Marseille Obs
IT77
Moyenne SHYREG
Nouvelle référence


Nouvelle référence pluviométrique - T = 50 ans
Cumul (mm)
Durée (min)
Moyenne - DEAP
Marignane
Cassis
Marseille Obs
IT77
Moyenne SHYREG
Nouvelle référence



En synthèse l'ensemble des coefficients de Montana calculés sont représentés sur le graphique suivant avec les courbes durée-intensité-fréquence et rappelés dans le tableau ci-après :

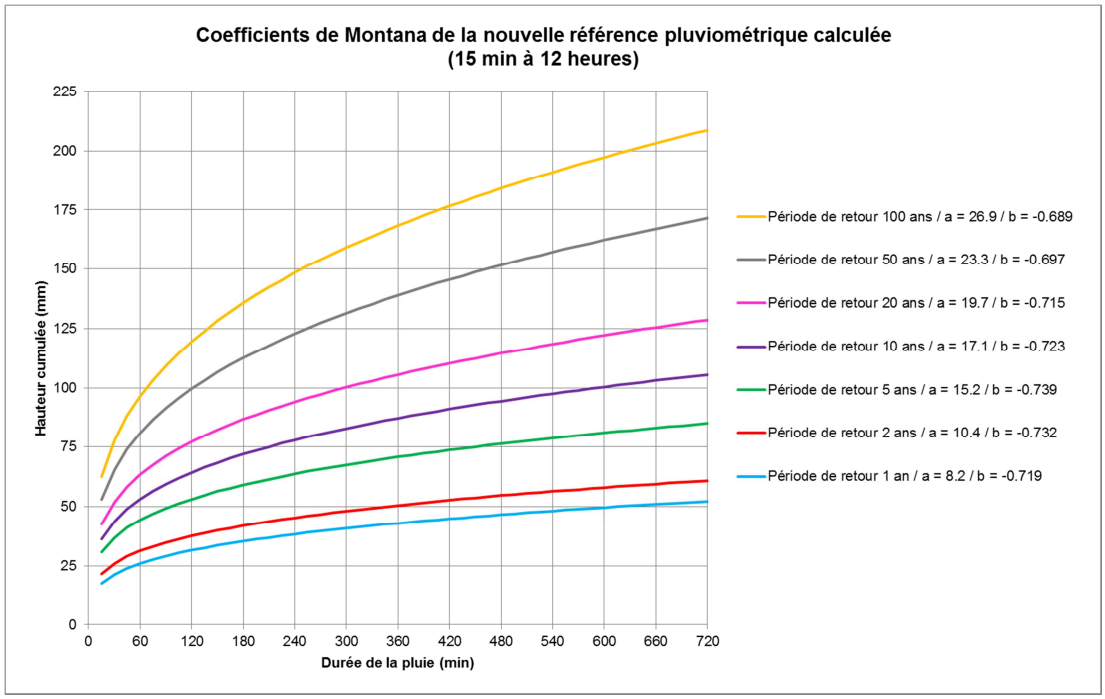


Tableau 2 : Coefficients de Montana calculés de la nouvelle référence

Avec h (**mm**) = a * $t^{(1+b)}$ et t en **minutes**

	a	b
1 an	8.23	-0.719
2 ans	10.42	-0.732
5 ans	15.19	-0.739
10 ans	17.08	-0.723
20 ans	19.67	-0.715
50 ans	23.32	-0.697
100 ans	26.95	-0.689

Avec h (**mm**) = a * $t^{(1+b)}$ et t en **heures**

	a	b
1 an	25.99	-0.719
2 ans	31.24	-0.732
5 ans	44.32	-0.739
10 ans	53.06	-0.723
20 ans	63.29	-0.715
50 ans	80.70	-0.697
100 ans	96.37	-0.689

Tableau 3 : Hauteurs d'eau calculées (en mm) à partir des coefficients de Montana

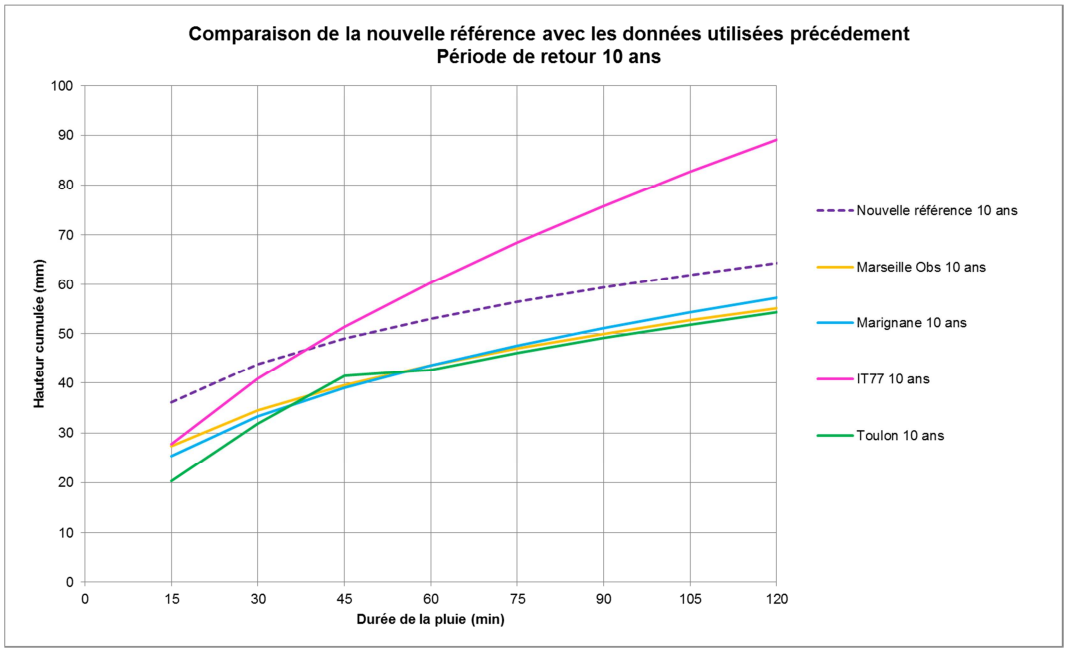
h en **mm**	*Durée*					
	15 min	30 min	45 min	1 h	2 h	3 h
1 an	18	21	24	26	32	35
2 ans	22	26	29	31	38	42
5 ans	31	37	41	44	53	59
10 ans	36	44	49	53	64	72
20 ans	43	52	58	63	77	87
50 ans	53	65	74	81	100	113
100 ans	63	78	88	96	120	136

Tableau 4 : Intensités moyennes calculées (en mm/h) à partir des coefficients de Montana

i en **mm/h**	*Durée*					
	15 min	30 min	45 min	1 h	2 h	3 h
1 an	72	42	32	26	16	12
2 ans	88	52	39	31	19	14
5 ans	124	74	55	44	27	20
10 ans	144	88	65	53	32	24
20 ans	172	104	77	63	39	29
50 ans	212	130	99	81	50	38
100 ans	252	156	117	96	60	45

3.4 IMPACT DE LA NOUVELLE RÉFÉRENCE PLUVIOMÉTRIQUE SUR LE TERRITOIRE

On compare sur le graphique ci-dessous les hauteurs cumulées pour différentes durées de pluie pour la période de retour 10 ans entre la nouvelle référence et les postes Meteo France majoritairement utilisés précédemment sur le territoire :



On constate :

- Que la nouvelle référence engendre une hauteur cumulée supérieure de +10 mm en moyenne pour les durées de pluies comprises entre 15 min et 2 heures par rapport aux postes de Marignane, Marseille Obs et Toulon donc pour toutes les communes des secteurs est et ouest du territoire,
- Que la nouvelle référence engendre un écart de -25 mm par rapport aux données de l'IT77 donc pour la ville de Marseille, pour les pluies de durée 2 heures,
- Que la nouvelle référence engendre un écart de +10 mm environ par rapport aux données de l'IT77 donc pour la ville de Marseille, pour les pluies de durée 15 minutes,
- Le croisement des courbes IT77 et nouvelle référence se fait autour de 40 minutes.

La nouvelle référence permet donc de conserver une marge de sécurité pour toutes les pluies de durée inférieure à 1 heure donc pour tous les calculs de dimensionnement d'ouvrages et de travaux d'ampleur réduite (bassin versant de temps de réponse faible).

Pour tous les aménagements de grande ampleur et avec des temps de réponse de bassins versant supérieurs à 1 heure, la nouvelle référence permettra d'avoir une vision certainement plus réaliste par rapport à l'IT77.

Notre mission prévoit également la comparaison des débits hydrologiques calculés avec la nouvelle référence avec les débits calculés dans les études antérieures. Cette comparaison sera réalisée en phase 4, à l'issu de la construction du modèle hydrologique et hydraulique.

4 DÉFINITION DES PLUIES DE PROJET

Nous proposons de définir des 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.

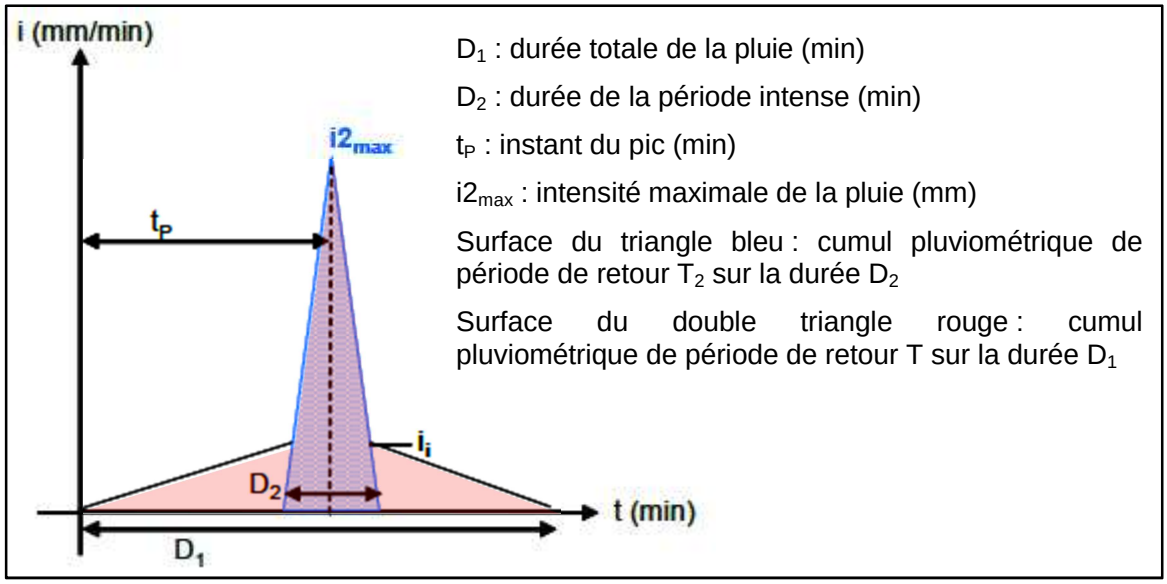


Figure 11 - Schématisation d'une pluie double triangle

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.

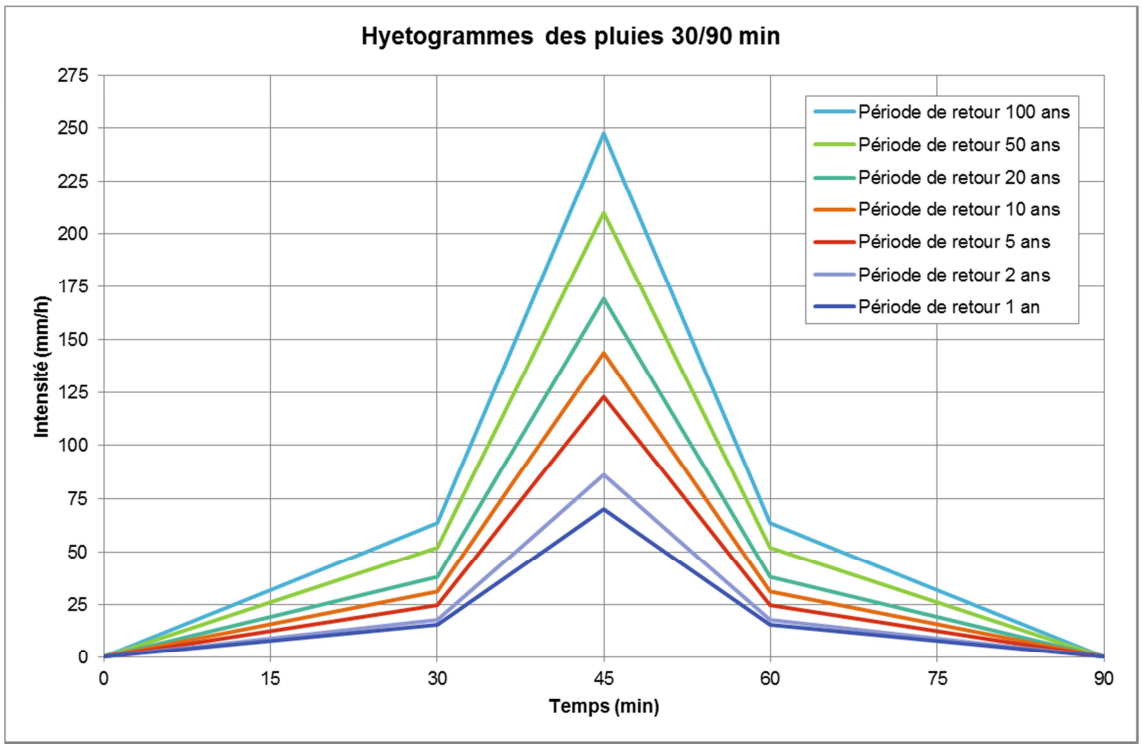
La durée D_2 sera comprise entre 15 min et 2 heures afin de solliciter les têtes de bassins versants de surface « modeste » aussi bien que les grands bassins versant comme le Jarret ou les Aygalades.

La durée D_1 sera égale à 3 x D_2.

Les hyétogrammes sont alors définis à partir des courbes IDF de la nouvelle référence. Les cumuls correspondants, donnés à titre indicatif pour D_2 = 30 min et D_1 = 1h30 sont les suivants :

Période de retour	*Cumul sur D1 (cumul total)*	*Cumul sur D2*	*Intensité max*
	mm	*mm*	*mm/h*
1 an	29	21	70
2 ans	35	26	86
5 ans	49	37	123
10 ans	59	44	144
20 ans	71	52	169
50 ans	91	65	210
100 ans	109	78	247

Les hyétogrammes des pluies sont présentés ci-dessous :



Les pluies de durées intenses comprises entre 15 minutes et 2 heures seront construites de la même façon.

Ce type de pluie de projet est très fréquemment employé pour la réalisation d'études hydrologiques [HAMMAR, 2009], et présente un certain nombre d'avantages. En premier lieu, ce type de pluie de projet apparaît comme relativement bien adapté à l'étude des réseaux d'assainissement de bassins versants urbains de superficies faibles à moyennes [DESBORDES, 1975], [DESBORDES, 1976].

Par ailleurs, un guide de construction détaillé de ces pluies est disponible [HEMAIN, 1986]. Ces pluies présentent également l'avantage d'être facilement modulables en fonction des effets attendus, ainsi, pour maximiser le débit de pointe et se trouver dans la situation la plus pénalisante, la durée de la période pluvieuse intense peut être prise égale au temps de concentration de chaque bassin versant. Par opposition, si le but recherché est de reproduire les effets d'une pluie réelle, une seule pluie peut être appliquée sur l'ensemble des bassins versants étudiés.

5 DÉTERMINATION DES BASSINS VERSANTS

5.1 MÉTHODOLOGIE

Le découpage en bassins versant de l'ensemble du territoire est réalisé à partir du plan des réseaux eaux pluviales et de la topographie.

On utilise en référence le découpage en bassin versant existant lorsqu'il est disponible dans une étude antérieure.

Les axes préférentiels d'écoulement considérés ont été les branches de réseaux en milieu urbain, et les thalwegs en milieu rural ou périurbain dépourvu de réseau. Lors de la construction du modèle hydraulique, les bassins versants seront reliés au réseau de manière ponctuelle : l'ensemble du débit est injecté en un point unique, ce qui ne traduit pas un fonctionnement réel. Afin de limiter cet artéfact de représentativité, les bassins versants urbains ont été découpés finement (quelques hectares au maximum) dans le but de répartir au mieux les injections de débit dans le réseau.

La table shape des bassins versants est fournie en annexe.

5.2 DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES

5.2.1 Longueur de cheminement

La longueur de cheminement est calculée le long du parcours hydraulique de chaque bassin versant.

5.2.2 Pente

La pente est calculée à partir des cotes du MNT 2009 fourni par AMP/MP et de la longueur de cheminement.

Le recoupement de la table des bassins versant et du MNT permet de déterminer la cote minimale et la cote maximale utilisées pour le calcul de la pente.

La carte page suivante présente les pentes calculées sur l'ensemble du territoire.

Les pentes des bassins versants sont en moyenne assez élevées (moyenne autour de 6%) avec des maximums atteignant 15 à 30 % sur certains secteurs.

Seuls les bassins versants en bordure de l'étang de Bolmon sont assez faiblement pentus avec des valeurs de pente quasi-nulles.

Phase 3 : Bassins versants - Classes de pentes

Marignane
Saint-Victoret
MARIGNANE
LES-PENNES-MIRABEAU
Gignac-la-Nerthe
Chateauneuf-les-Martigues
Le Rove
Ensuès-la-Redonne
Sausset-les-Pins
Carry-le-Rouet

Étang de Bolmon

Pente

- < 0.5%
- 0.5% - 1%
- 1% - 5%
- 5% - 10%
- > 10%

0 1 2 3 4 km

N

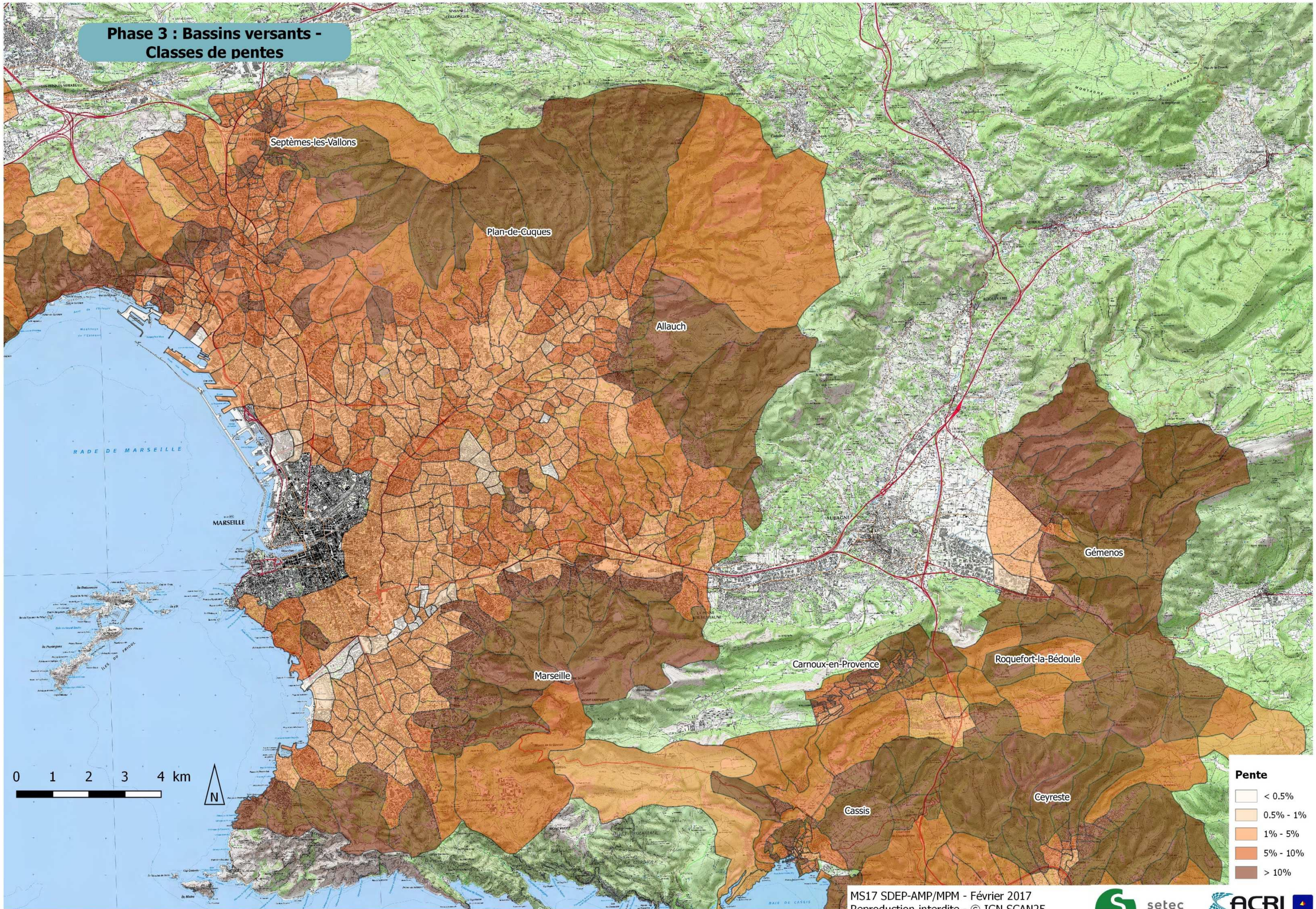
MS17 SDEP-AMP/MPM - Février 2017

Reproduction interdite - © IGN SCAN25

setec hydratec

ACRI IN

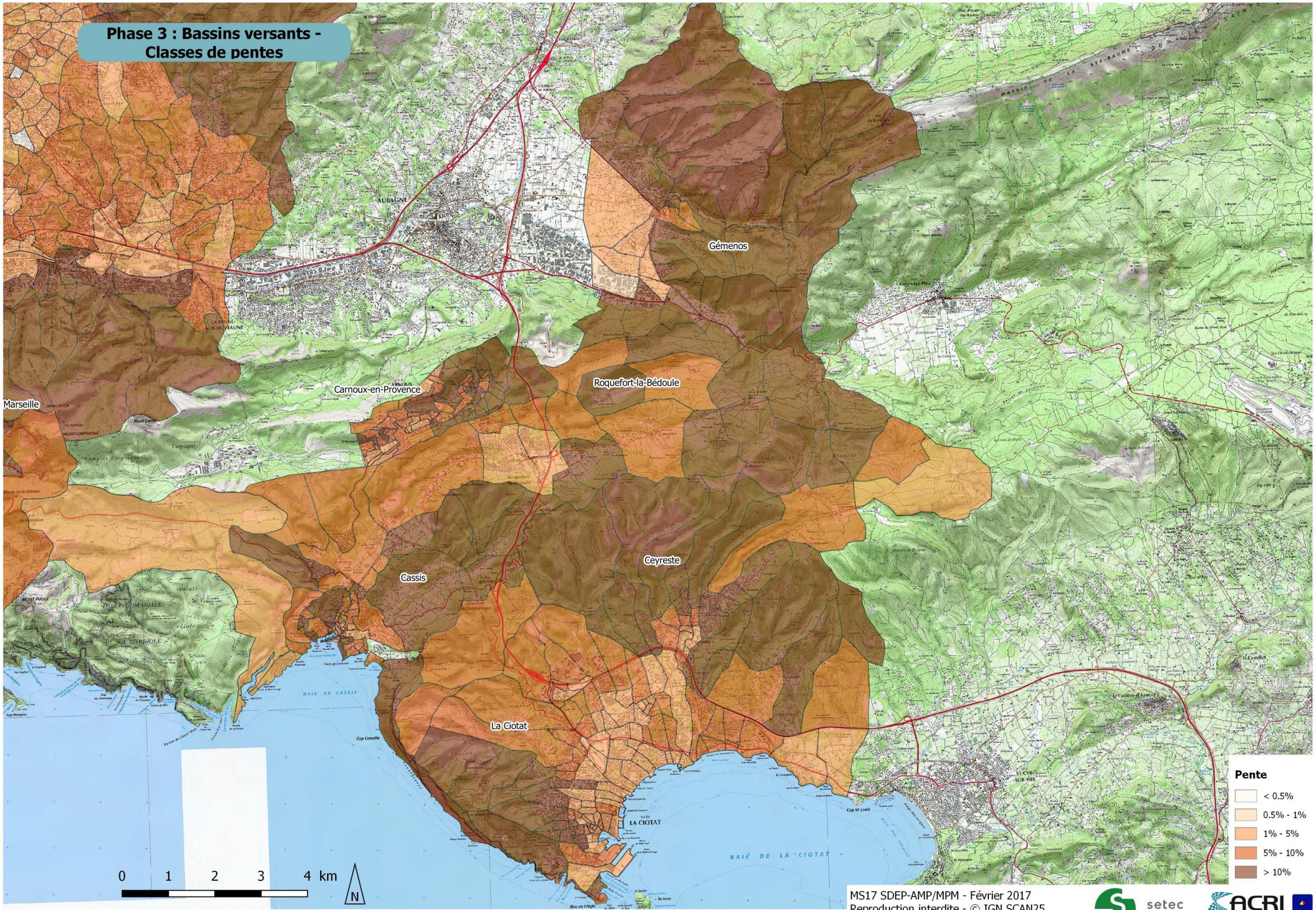
Phase 3 : Bassins versants - Classes de pentes



MS17 SDEP-AMP/MPM - Février 2017
Reproduction interdite - © IGN SCAN25

setec hydratec ACRI IN HGM

Phase 3 : Bassins versants - Classes de pentes



MS17 SDEP-AMP/MPM - Février 2017
Reproduction interdite - © IGN SCAN25

setec hydratec

ACRI IN

5.2.3 Coefficient d'imperméabilisation

Le coefficient d'imperméabilisation est calculé à partir de trois sources de données :

- Table du bâti extraite du PCI AMP/MP,
- Table des voiries extraite du PCI AMP/MP,
- Tables Corine Land Cover 2012.

Ces trois couches SIG permettent de calculer par intersection avec la couche de bassins versants les surfaces de bâti, de voirie et les différents types d'occupation des sols.

Pour cette dernière on distingue trois types d'occupation des sols principaux :

- Identifiants compris entre 100 et 199 : tissus urbains,
- Identifiants compris entre 200 et 299 : terres cultivées,
- Identifiants supérieurs à 300 : surfaces naturelles.

La surface imperméabilisée S_{imp} est ensuite calculée de la façon suivante :

$$S_{imp} = S_{bati} * C_{bati} + S_{voirie} * C_{voirie} + S_{urba} * C_{urba} + S_{cult} * C_{cult} + S_{nat} * C_{nat}$$

Où :

S_{bati} = surface bâtie, extraite du PCI AMP/MP,

S_{voirie} = surface des voiries, extraite du PCI AMP/MP,

S_{urba} = surface du tissu urbain, extraite de Corine Land Cover,

S_{cult} = surface cultivée, extraite de Corine Land Cover,

S_{nat} = surface des zones naturelles, extraite de Corine Land Cover,

C_{bati} = coefficient d'imperméabilisation de la surface bâtie,

C_{voirie} = coefficient d'imperméabilisation de la surface des voiries,

C_{urba} = coefficient d'imperméabilisation de la surface du tissu urbain,

C_{cult} = coefficient d'imperméabilisation de la surface cultivée,

C_{nat} = coefficient d'imperméabilisation de la surface des zones naturelles.

Dans cette formule on suppose que les surfaces de bâti et de voiries sont comprises dans la surface Corine Land Cover de type tissu urbain ou terres cultivées ainsi la surface totale du bassin versant se calcule de la façon suivante :

$$S_{tot} = S_{urba} + S_{cult} + S_{nat}$$

La formule présentée ci-dessus a dans un premier temps été expérimentée sur un échantillon de bassins versants sélectionnés sur différentes communes. Un premier calcul du coefficient d'imperméabilisation a été ensuite réalisé sur l'ensemble du territoire avec les valeurs suivantes :

$C_{bati} = C_{voirie} = 1.10$ (pour tenir compte des surfaces imperméabilisées autour du bâti et des voiries mais non identifiées au plan parcellaire.

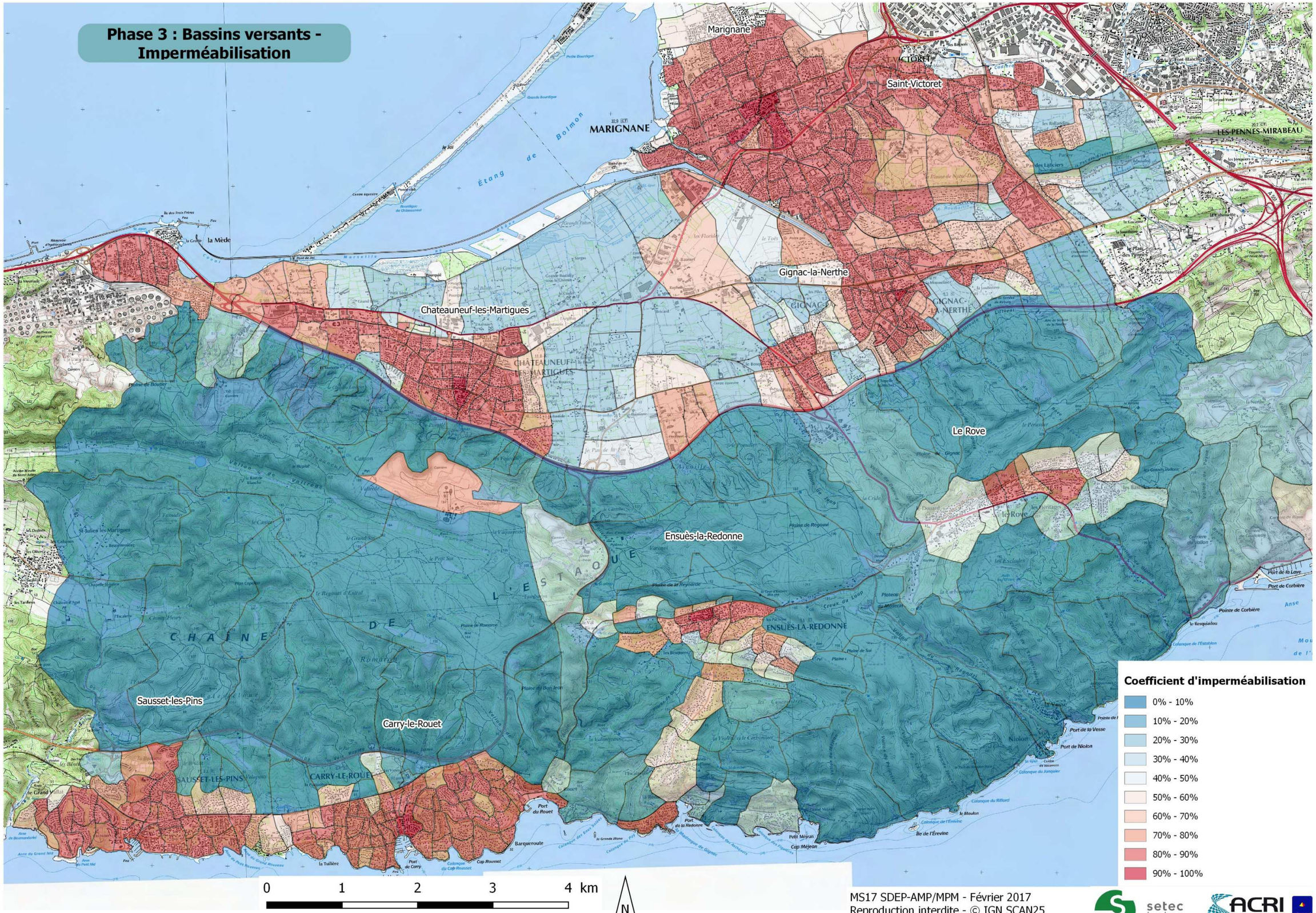
$C_{urba} = 0.75$, $C_{cult} = 0.2$ et $C_{nat} = 0$.

Les coefficients pourront être ajustés en concertation avec la DEAP et recalés après les premières simulations hydrauliques.

La carte page suivante présente les coefficients d'imperméabilisation calculés sur l'ensemble du territoire.

Les coefficients d'imperméabilisation varient de quelques % à 90% au maximum. La moyenne d'imperméabilisation sur le territoire est de 30%, soit 180 km² imperméabilisés pour une surface totale de 575 km².

Phase 3 : Bassins versants - Imperméabilisation



Coefficient d'imperméabilisation

- 0% - 10%
- 10% - 20%
- 20% - 30%
- 30% - 40%
- 40% - 50%
- 50% - 60%
- 60% - 70%
- 70% - 80%
- 80% - 90%
- 90% - 100%

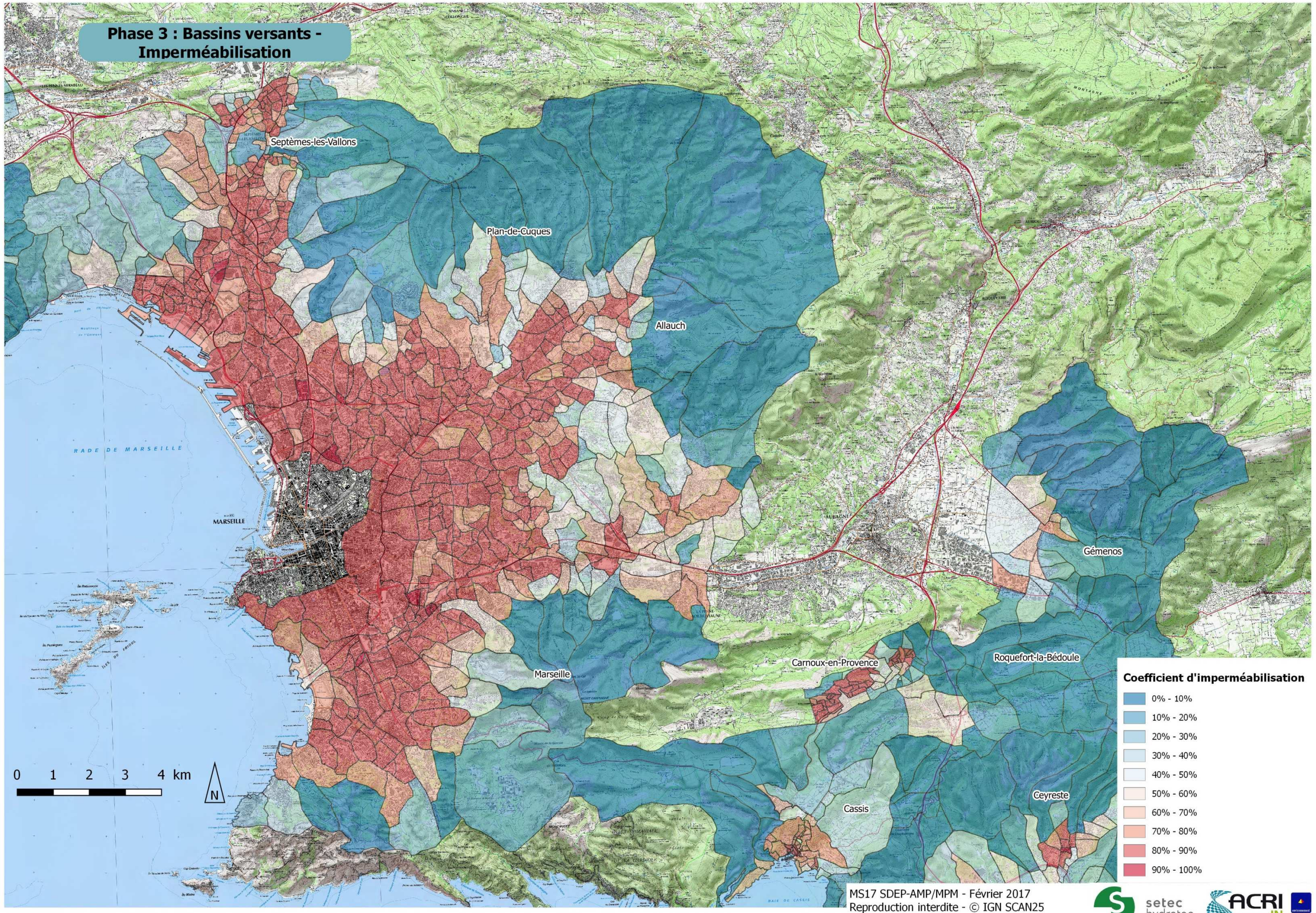
MS17 SDEP-AMP/MPM - Février 2017

Reproduction interdite - © IGN SCAN25

setec hydratec

ACRI IN

Phase 3 : Bassins versants - Imperméabilisation



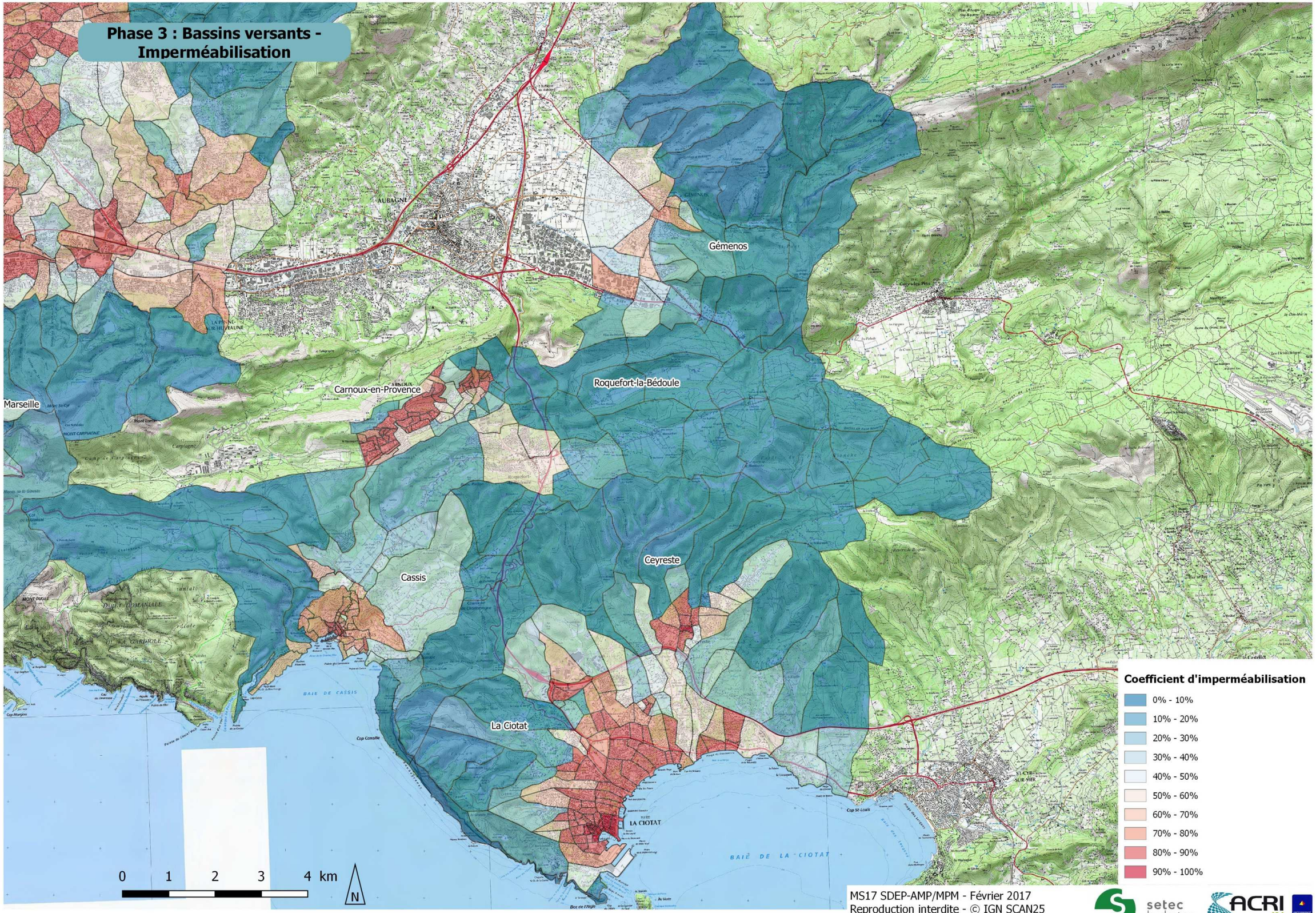
MS17 SDEP-AMP/MPM - Février 2017

Reproduction interdite - © IGN SCAN25

setec hydratec

ACRI IN

Phase 3 : Bassins versants - Imperméabilisation



Coefficient d'imperméabilisation

- 0% - 10%
- 10% - 20%
- 20% - 30%
- 30% - 40%
- 40% - 50%
- 50% - 60%
- 60% - 70%
- 70% - 80%
- 80% - 90%
- 90% - 100%

MS17 SDEP-AMP/MPM - Février 2017
Reproduction interdite - © IGN SCAN25

setec hydratec

ACRI IN

5.2.4 Coefficient de ruissellement

Pour la transformation de la pluie brute en pluie « efficace » (ou pluie nette), représentant la fraction réelle de la pluie contribuant au débit injecté dans les réseaux, plusieurs fonctions de production existent, notamment :

- le modèle Horner,
- le modèle Holtan,
- le modèle SCS,
- le modèle à coefficient de ruissellement constant.

a) BV urbains

Le modèle à coefficient de ruissellement constant a été retenu pour les bassins versants urbains.

Les fonctions de production de pluie nette utilisant la notion de coefficient de ruissellement supposent qu'à l'échelle de la surface réceptrice, la pluie nette ou le débit ruisselé peuvent s'exprimer sous la forme d'une fraction C de la pluie brute [CERTU, 2003]. Les pertes liées au ruissellement sont donc continues et proportionnelles à la pluie brute.

Le modèle particulier à coefficient de ruissellement constant est l'un des plus simples et des plus classiques en hydrologie urbaine [CERTU, 2003]. Des recherches expérimentales [DESBORDES, 1975] ont montré la prépondérance des surfaces imperméabilisées dans les processus de ruissellement, dans des proportions telles que l'apport des surfaces perméables peut être négligé si celles-ci représentent moins de 20% de la surface totale étudiée.

Dans le cas de bassins versants présentant un pourcentage d'imperméabilisation supérieur à 20%, le coefficient de ruissellement peut donc être considéré égal au coefficient d'imperméabilisation [DESBORDES, 1980], [CHOCAT *et al.,* 1981].

Cette hypothèse reste néanmoins fortement simplificatrice, de nombreux travaux ayant démontré la complexité inhérente à la détermination de la valeur d'un coefficient de ruissellement, cette dernière étant fortement influencée par de nombreux facteurs extérieurs tels que l'état initial des sols [LONGOBARDI *et.al.,* 2003], [SHI *et al.,* 2006], [MERZ *et al,.* 2006]. Par ailleurs, les coefficients de ruissellement ainsi déterminés peuvent produire des valeurs de débit surestimées pour des pluies simulées d'intensités moyennes à faibles [CERTU, 2003]. Ceci étant lié à l'absence de prise en compte des pertes initiales (lame d'eau ne contribuant pas au ruissellement), notamment expliquées par des phénomènes tels que l'interception par le couvert végétal, le stockage dans les dépressions du sol ou l'évapotranspiration. Dans le cas de pluies plus intenses (supérieures à 40 mm en 2h, les pertes initiales deviennent négligeables devant les pertes continues par ruissellement, et peuvent donc ne pas être considérées.

Le choix de cette fonction de production pour la modélisation intéressée ici a donc été retenu en raison d'une part des taux d'imperméabilisation rencontrés, et d'autre part au vu des pluies de projet simulées, de périodes de retour et donc d'intensités importantes.

b) BV ruraux

Sur les bassins versants ruraux on utilisera la méthode du Soil Conservation Service (SCS) avec le paramètre J (ou Curve Number) :

Le volume ruisselé est calculé par la formule :

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Avec :

- R (mm) : volume ruisselé (= cumul pluie nette),
- P (mm) : hauteur de précipitation (= cumul pluie brute),
- S (mm) : infiltration potentielle maximale du sol calculée en fonction du Curve Number CN :

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

Le CN varie entre 0 et 100. Plus le Curve Number est élevé, plus le ruissellement est important. Il est déterminé par croisement de l'occupation du sol et des caractéristiques pédologiques du sol (groupe hydrologique des sols). Tous les sols sont classés selon leur capacité à drainer l'eau verticalement. Les classes évoluent de A à D, du plus drainant au plus imperméable.

- I_a (mm) : perte initiale des sols via l'interception, l'infiltration et le stockage de surface,

I_a est généralement admis égal à $0.2 * S$

5.2.5 Transformation pluie-débit

Cette opération est effectuée au moyen d'une fonction dite « fonction de transfert ». Ces fonctions correspondent à des modèles conservatifs, ce qui signifie que le volume de l'hydrogramme de pluie nette est égal à celui de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant.

C'est le modèle du réservoir linéaire qui a été retenu. Ce dernier fait partie de la catégorie des modèles dits « conceptuels » [REFSGAARD, 1995], cherchant à représenter les principaux processus de la relation pluie-débit de manière globale, sans décrire le détail des phénomènes physiques sous-jacents. Le bassin versant est alors considéré comme un système opérant la transformation de la pluie qu'il reçoit en un débit à son exutoire [CERTU, 2003].

Dans le cas du modèle à réservoir linéaire, chaque bassin versant est perçu comme un réservoir qui temporise l'arrivée des pluies pour en restituer un débit, tout en conservant le volume d'eau précipitée. En outre, cette temporisation s'effectue de manière linéaire.

Les notions de temporisation linéaire et de conservation se traduisent par les suivantes :

$V(t) = K.Qs(t)$: Temporisation linéaire

$\frac{dV(t)}{dt} = Qe(t) - Qs(t)$: Conservation du volume

Avec :

- V(t) : volume de stockage,
- Qe(t) : débit d'entrée déduit de la pluie nette,
- Qs(t) : débit de sortie, hydrogramme à l'exutoire,

- K ou « Lag Time » : paramètre reflétant le temps de réponse du bassin versant, homogène à un temps. Il représente la durée comprise entre le centre de gravité du hyétogramme d'entrée et l'hydrogramme de sortie.

La figure ci-dessous présente une vue schématique du modèle à réservoir linéaire.

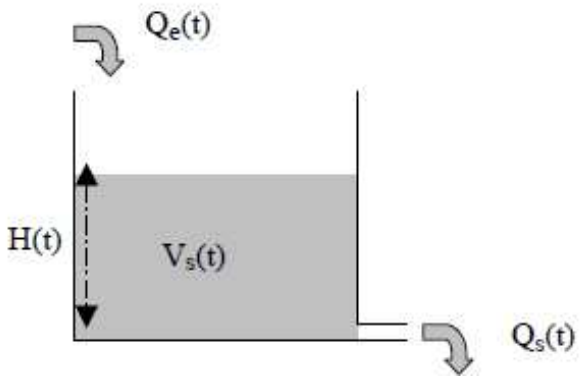


Figure 14 : Schématisation du modèle à réservoir linéaire (Source : Guide du Certu, 2003)

Le choix du modèle à réservoir linéaire a principalement été motivé du fait de sa capacité, en association avec des pluies de projet de type double triangle, à relativement bien représenter le fonctionnement des réseaux d'assainissement dans le cas de bassins versants urbains [DESBORDES, 1976], [DESBORDES, 1980]. Cette approche permet également de tenir compte de l'effet de rétention temporelle exercée par les bassins versants durant les épisodes pluvieux, entraînant un transfert progressif des débits ruisselés vers les réseaux.

Le paramètre K constitue l'unique paramètre du modèle, son estimation peut être approchée par la formule suivante, proposée par Desbordes [DESBORDES, 1975] pour des bassins versants urbains :

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

Estimation du paramètre K par l'ajustement de Desbordes

Avec :

Paramètre	Domaine d'ajustement
A : superficie du bassin versant (ha)	0.04 < A < 5000
I : pente équivalent du bassin versant (%)	0.2% < I < 14.7%
C : coefficient de ruissellement (SD)	0.2 < C < 1
L : longueur équivalente du bassin versant (m)	110 < L < 17800
D : durée de la pluie intense (mn)	5 < D < 180
H : hauteur cumulée sur la période D (mm)	5 < H < 240

Pour les bassins versants ruraux les formules suivantes pourront être utilisées et calées à partir de tests de sensibilité :

Formule de Giandotti : $K = 0{,}8 * 60 * \frac{0{,}4\sqrt{S} + 0{,}0015\ L}{0{,}8\sqrt{P * L}}$

Avec :

- S : surface du bassin en ha
- L : longueur du bassin en m
- P : pente du bassin en m/m

Formule de Passini : $K = 0{,}8 * 0{,}14 \frac{(S * L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{P}}$

Avec :

- S : surface du bassin en ha
- L : longueur du bassin en m
- P : pente du bassin en m/m

ANNEXES

ANNEXE 1 :

AJUSTEMENTS STATISTIQUES AUX POSTES MÉTÉO FRANCE

Annexe 1-1

Station de Marignane

Annexe 1-2

Station de Cassis

Annexe 1-3

Station de Marseille Observatoire

Annexe 1-4

Station de Toulon

ANNEXE 2 :

AJUSTEMENTS STATISTIQUES AUX POSTES DEAP

ANNEXE 3 :

SYNTHESE DES ANALYSES STATISTIQUES

ANNEXE 4 :

ANALYSE DE LA VARIABILITE SPATIALE DES PLUIES

ANNEXE 5 :

CONSTRUCTION DE LA NOUVELLE REFERENCE PLUVIOMETRIQUE

ANNEXE 6 :

PRINCIPES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES DANS LES PROJETS D'AMÉNAGEMENT DANS LES BOUCHES DU RHÔNE (DDTM13)