

Appel à Projet « Innovation et changements de pratiques : micropolluants des eaux urbaines »  
avec le soutien de :

**AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA BIODIVERSITÉ**  
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT



# REGARD

*REduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise*

**LOT 3 : MISE EN ŒUVRE DES SOLUTIONS DE REDUCTION DES MICROPOLLUANTS  
SUR LE TERRAIN**

**TACHE 3.1 ACTION SUR LA SOURCE PLUVIALE**

**Livrable n°311 : Observatoire des techniques alternatives**

**Version finale**  
Novembre 2019

Auteurs : Anne-Cécile Michaud, Marion-Justine Capdeville, Pierre del Cos, Kevin Flury, Nora Couderc, Ilyas Belghali, Hélène Budzinski, Rémy Pico, Alexandra Coynel, Antoine Lerat

université  
de BORDEAUX



Université  
BORDEAUX  
MONTAIGNE



suez  
le lyre





**Observatoire des techniques alternatives**  
**Bordeaux Métropole**  
Rapport du projet

Convention R&D SGAC/LyRE  
Projet REGARD

**Auteurs du document :**

**LyRE** : Anne-Cécile Michaud,  
Marion-Justine Capdeville,  
Pierre del Cos, Kevin Flury,  
Nora Couderc, Ilyas Belghali

**UMR EPOC-LPTC** : Hélène Budzinski, Rémy Pico

**UMR EPOC -TGM** : Alexandra Coynel, Antoine Lerat

**Mars 2019**

## Résumé

En 2015, un observatoire des Techniques Alternatives (TA) de gestion des eaux pluviales a été mis en place sur le territoire de Bordeaux Métropole puis intégré au projet REGARD (REduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise). L'Observatoire a pour objectif d'étudier sur 3 années de suivi les performances de cinq ouvrages, tant du point de vue hydraulique qu'en termes de rétention des micropolluants. Pour ce faire, les données hydrauliques des cinq sites sont suivies en continu et des prélèvements d'eau pluviale pour analyses de micropolluants sont réalisés en entrée et en sortie des TA.

Sur la partie suivi hydraulique, le traitement des données mesurées en continu a permis d'analyser les fonctionnements des ouvrages sur des centaines d'événements pluvieux. Dans un premier temps, chaque événement pluvieux a été analysé de manière individuelle dans une démarche de critique/validation qui a consisté à sélectionner les événements ne présentant aucune anomalie hydraulique (mauvais fonctionnement de capteur, indicateurs aberrants, etc.). Dans un second temps, le fonctionnement des ouvrages sur les événements sélectionnés a été comparé aux résultats attendus (surface active théorique, dimensionnement théorique des ouvrages). Enfin, des indicateurs de performance ont été étudiés. Par exemple, l'abattement volumique et l'écrêtement des débits de deux TA ont été évalués et montrent des performances satisfaisantes par rapport aux performances attendues.

Sur la partie suivi qualitatif, des campagnes de prélèvements ont permis d'analyser 22 échantillons de temps de pluie, 6 échantillons d'eaux de nappe et 15 échantillons de sols et plantes. Un protocole a été établi pour pouvoir analyser les micropolluants. Il impliquait notamment une estimation à chaque campagne, des calculs des volumes transportés par les ouvrages par rapport à la pluie pour programmer les préleveurs par rapport au débit transitant. L'analyse de ces données qualité a montré un abattement des MES en concentration et en flux dans la TA. Les concentrations en micropolluants sont sensiblement similaires entre entrée et sortie, exceptés pour les phases particulières. Cette diminution provient d'un abattement de la phase particulière ainsi qu'à une diminution du volume d'eau sortant de l'ouvrage. Il ne s'agit donc pas d'un abattement en tant que tel mais d'une rétention du flux. Les eaux de nappes ne sont pas impactées par les micropolluants identifiés dans les TA. Enfin, un léger transfert vers les plantes est possible, caractérisé par une localisation de certaines molécules dans les parties aériennes. Dans les sols, il est à noter une présence de micropolluants (traceurs routiers et HAP) en concentration importante sur le premier horizon en comparaison des horizons plus profonds, ce qui pourrait indiquer une rétention de la pollution à cet endroit.

**Mots-clés : techniques alternatives, eaux pluviales, mesure en continu, efficacité hydraulique, micropolluants, prélèvements de temps de pluie**

# Sommaire

<b>Résumé .....</b>	<b>3</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>6</b>
<b>Abréviations .....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>10</b>
1) Contexte .....	10
2) Problématiques .....	10
3) Objectifs du projet.....	10
<b>A) CHOIX DES SITES .....</b>	<b>11</b>
<b>B) INSTRUMENTATION .....</b>	<b>14</b>
1) Gammes de débits attendus.....	14
2) Choix de l'instrumentation et gammes de débit revus .....	15
3) Travaux d'instrumentation .....	17
a. Bassin d'infiltration – Bois de Germignan.....	17
b. Bassin sur membrane et roseaux – RD1215 .....	19
c. Noues à alimentation diffuse – Parc d'activité Vert Castel .....	21
d. Noue à alimentation concentrée – Clos Lacaussade .....	22
e. Structure alvéolaire ultralégère infiltrante – La Boétie .....	24
<b>C) METROLOGIE .....</b>	<b>25</b>
1) Configuration des lois hauteur / débit.....	25
a. Déversoir rectangulaire à crête mince avec contraction latérale .....	25
b. Déversoir crête mince à échancrure triangulaire avec contraction latérale .....	27
c. Conduite circulaire avec capteur de mesure hauteur / vitesse .....	28
2) Vérification de l'exactitude des mesures .....	28
<b>D) SUIVI HYDRAULIQUE DES OUVRAGES .....</b>	<b>33</b>
1) Opérationnalité des sites pendant la durée du projet .....	33
2) Méthodologie d'analyse des données.....	35
a. Données pluviométriques.....	35
b. Critique et validation des données .....	36
c. Traitement des données.....	36
3) Indicateurs calculés .....	37
<b>E) RESULTATS DE L'ETUDE HYDRAULIQUE .....</b>	<b>39</b>
1) Suivi des mesures .....	39
a. Bilan sur la métrologie choisie.....	39
b. Sélection des évènements étudiés .....	40
2) Analyse des données : résultats et discussions .....	42
a. Calcul des surfaces actives.....	42
b. Performance de l'ouvrage – approche évènementielle .....	44
c. Performance de l'ouvrage – approche saisonnière .....	47
d. Performance de l'ouvrage – approche par groupe de pluie.....	49
e. Conclusions sur l'analyse des données.....	54
<b>F) SUIVI QUALITE DES OUVRAGES .....</b>	<b>55</b>
1) Campagnes prévues et réalisées .....	55
2) Protocole de prélèvement.....	57
a. Protocole de prélèvement des eaux pluviales.....	57
b. Protocole de prélèvement des eaux de nappes .....	59
c. Protocole de prélèvement des sols .....	61
d. Protocole de prélèvement des plantes et racines .....	63
<b>G) RESULTATS DE L'ETUDE QUALITE .....</b>	<b>67</b>

1)	Traitement des résultats des campagnes qualité .....	67
2)	Résultats des campagnes de prélèvements d'eaux pluviales .....	68
a.	Caractéristiques des campagnes réalisées .....	68
b.	Résultats d'analyse des échantillons d'eaux pluviales – polluants majeurs .....	72
c.	Résultats d'analyse des échantillons d'eaux pluviales - ETM .....	75
d.	Résultats d'analyse des échantillons d'eaux pluviales – micropolluants organiques.....	84
3)	Résultats des analyses des échantillons de nappes.....	92
a.	Polluants majeurs .....	93
b.	ETM.....	94
c.	Micropolluants organiques.....	96
4)	Résultats des analyses des échantillons de sols et plantes .....	97
a.	Résultats d'analyse des échantillons de sols au Bois de Germignan .....	97
b.	Résultats d'analyse des échantillons de plantes à RD1215 .....	101
<b>G)</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>104</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>105</b>
	<b>Annexes.....</b>	<b>106</b>
1)	Graphes d'analyse hydraulique du site RD1215 .....	106
2)	Graphes d'analyse hydraulique du site Germignan.....	111
3)	Protocole de prélèvement des eaux pluviales pour l'observatoire des Techniques Alternatives.....	113
4)	Mesures de conductivité sur les piézomètres P29 et P30 .....	121
5)	Descriptif des sondages réalisés sur le bassin de Germignan .....	122
6)	Liste des micropolluants recherchés .....	126
7)	Hydrogrammes et points de prélèvement obtenus pour les campagnes d'analyse des eaux pluviales .....	128

## Liste des figures

Figure 1 - Méthodologie utilisée pour la sélection des ouvrages.....	12
Figure 2 - Carte de localisation des ouvrages proposés pour l’observatoire des techniques alternatives .....	13
Figure 3 - Récapitulatif des débits attendus pour chaque site .....	16
Figure 4 - Vue en perspective d’un déversoir rectangulaire avec contraction latérale (CETMEF, 2005).....	25
Figure 5 - Abaque de KI (mm) en fonction du rapport L/B. (CETMEF, 2005) .....	26
Figure 6 - Abaque de $\phi$ et $\psi$ en fonction du rapport L/B. (CETMEF, 2005).....	26
Figure 7 - Vue en perspective d’un déversoir triangulaire (CETMEF, 2005).....	27
Figure 8 - Valeurs de Kh (mm) avec $\alpha$ quelconque (CETMEF, 2005) .....	27
Figure 9 - Traçage par injection instantané .....	30
Figure 10 - Traçage par injection à débit constant .....	30
Figure 11 - Schéma d’un traçage (Onema contrôle-débit, 2011) .....	30
Figure 12 - Germignan amont : Boite déversoir à échancrure rectangulaire.....	30
Figure 13 - Lacaussade amont : déversoir triangulaire .....	30
Figure 14 - Préparation des solutions étalons en laboratoire .....	31
Figure 15 - Préparation des solutions mère en laboratoire .....	32
Figure 16 - Hydrocureuse sur site.....	32
Figure 17 - Exemple de résultat obtenu pour le traçage sur le site de Lacaussade amont.....	33
Figure 18 - Exemple de dysfonctionnement de la mesure de hauteur d’eau sur le site de Germignan.....	36
Figure 19 - Exemple de graphique avec la répartition événementielle des hydrogrammes amont et aval d’un site .....	37
Figure 20 - Evènements totaux et évènements sélectionnés pour l'approche événementielle sur le site de Lacaussade.....	40
Figure 21 - Surface active et cumul 5 jours antérieurs à l’évènement sur le site Lacaussade, classés par ordre croissant du cumul de l’évènement .....	42
Figure 22 - Volume amont et cumul 5 jours antérieurs à l’évènement sur le site Clos de Lacaussade classés par ordre croissant du cumul de l’évènement .....	43
Figure 23 - Volume d’abattement et cumul 5 jours antérieurs à l’évènement sur le site de Lacaussade classés par ordre croissant du cumul de l’évènement .....	44
Figure 24 - Pourcentage d’abattement et cumul des 5 jours antérieurs à l’évènement sur le site Clos de Lacaussade classés par ordre croissant du cumul de l’évènement.....	44
Figure 25 - Ecrêtement de débit, débit maximal amont et cumul de l’évènement classés par ordre croissant de l’intensité maximale événementielle au pas de temps de 10min.....	45
Figure 26 - Pourcentage d’ecrêtement (%) et cumul de l’évènement en mm classés par ordre croissant de l’intensité maximale événementielle au pas de temps de 10min.....	46
Figure 27 - Cumuls enregistrés selon la saison sur le site de Clos de Lacaussade.....	47
Figure 28 - Volume amont (bleu) volume abattu (orange) et pourcentage d’abattement du site Lacaussade selon la saison.....	48
Figure 29 - Débit max amont(bleu) Débit écrêté (orange) et Pourcentage d’ecrêtement de débit selon la saison .....	48
Figure 30 - Caractéristiques des groupes d’évènements, en abscisse les noms des groupes et le nombre d’évènements de chaque groupe entre parenthèses .....	50
Figure 31 - Moyenne, minimum, maximum et médiane des trois variables de classification pour chaque groupe de pluie .....	51
Figure 32 - Evolution du pourcentage d’abattement (trait gris), volume amont (bleu) et volume abattu (jaune) en fonction du groupe d’évènements .....	52

Figure 33 - Evolution du pourcentage d'écêtement, du débit maximal amont et débit écêté sur le site de Lacaussade en fonction des groupes d'évènements, le nombre d'évènements de chaque groupe est entre parenthèses.....	53
Figure 34 - Principe du protocole de prélèvement proportionnel au débit.....	58
Figure 35 - Exemple de calcul de surface active à partir des données enregistrées.....	58
Figure 36 - Exemple de répartition des points de prélèvement sur un hydrogramme. Ici Lacaussade amont lors de la campagne du 5 novembre 2016.....	59
Figure 37 - Localisation des piézomètres en amont et en aval du bassin. Source : Infoterre.....	60
Figure 38 - Positionnement des sondages "test" et des sondages ayant servi aux prélèvements.....	62
Figure 39 - Positionnement des sondages dans le bassin d'infiltration.....	62
Figure 40 - Points de prélèvement identifiés lors d'une visite de terrain.....	64
Figure 41 - Roseaux prélevés lors d'une visite de terrain.....	64
Figure 42 - Stratégie d'échantillonnage pour les parties aériennes des plantes.....	66
Figure 43 - Volumes ayant transités pendant les campagnes au niveau des sites : Germignan (noté DORE), Lacaussade amont (noté lacaussadeE), Lacaussade aval (noté lacaussadeS) et la Boétie amont (noté SAUL-BoetieE) – Nota : le volume de LacaussadeS-1 est manquant à cause d'une perte de données.....	69
Figure 44 - Volumes ayant transités pendant les campagnes au niveau des sites : RD1215 amont (noté depollutionRD1215E) et RD1215 aval (noté depollutionRD1215S).....	70
Figure 45 - Exemple de représentativité de l'échantillon qualifiée de « bonne ».....	71
Figure 46 - Exemple de représentativité de l'échantillon qualifiée de « moyenne ».....	71
Figure 47 - Résultats obtenus sur les paramètres MES, DCO et DBO5 dans les échantillons d'eaux pluviales.....	72
Figure 48 - Résultats obtenus sur les autres polluants majeurs dans les échantillons d'eaux pluviales.....	72
Figure 49 - Résultats obtenus sur les flux de polluants majeurs pour RD1215.....	73
Figure 50 - Résultats obtenus sur les flux des paramètres MES, DCO et DBO5 dans les échantillons d'eaux pluviales hors RD1215 (nota : les flux de LacaussadeS-1 ne sont pas calculables car il manque la donnée de volume).....	74
Figure 51 - Résultats obtenus sur les flux des autres polluants majeurs dans les échantillons d'eaux pluviales hors RD1215 (nota : les flux de LacaussadeS-1 ne sont pas calculables car il manque la donnée de volume).....	74
Figure 52 - Résultats obtenus sur les concentrations en ETM dissous dans les échantillons d'eaux pluviales.....	75
Figure 53 - Résultats obtenus sur les niveaux d'enrichissement en ETM dissous dans les échantillons d'eaux pluviales Normalisation par les concentrations obtenues sur l'échantillon de nappe P30-1, hors ETM majeurs (fer, strontium, aluminium, baryum).....	76
Figure 54 - Résultats obtenus sur les niveaux d'enrichissement en ETM dissous dans les échantillons d'eaux pluviales Normalisation par les concentrations obtenues sur l'échantillon de nappe P30-1, hors ETM majeurs (fer, strontium, aluminium, baryum, cuivre).....	76
Figure 55 - Résultats obtenus sur les flux en ETM dissous dans les échantillons d'eaux pluviales hors RD1215 (nota : les flux de LacaussadeS-1 ne sont pas calculables car il manque la donnée de volume).....	77
Figure 56 - Résultats obtenus sur les flux en ETM dissous dans les échantillons d'eaux pluviales de RD1215.....	77
Figure 57 - Résultats obtenus sur les concentrations en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales.....	78
Figure 58 - Résultats obtenus sur les concentrations en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales normalisées par la concentration en MES = concentrations exprimées en mg/kg.....	80
Figure 59 - Résultats obtenus sur les concentrations en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales normalisées par la concentration en MES sans Aluminium, Fer et Zinc.....	81
Figure 60 - Résultats obtenus sur les concentrations en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales normalisées par la concentration en MES sans Cuivre, Aluminium, Fer et Zinc.....	81
Figure 61 - Résultats obtenus sur les flux en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales hors RD1215 (nota : les flux de LacaussadeS-1 ne sont pas calculables car il manque la donnée de volume).....	82

Figure 62 - Résultats obtenus sur les flux en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales, hors ETM fer, strontium, aluminium, baryum, cuivre et zinc.....	82
Figure 63 - Résultats obtenus sur les flux en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales de RD1215 .....	82
Figure 64 - Résultats obtenus sur les flux en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales de RD1215 hors ETM fer, strontium, aluminium, baryum, cuivre et zinc.....	83
Figure 65 - Concentrations cumulées des différentes familles de micropolluants sur les ouvrages étudiés ...	84
Figure 66 - Proportions des différentes familles de micropolluants dans les échantillons.....	85
Figure 67 - Concentration totale en micropolluants dans les eaux d'arrivées du bassin d'infiltration du bois de Germignan en fonction de la période de temps sec précédent l'évènement pluvieux considéré .....	85
Figure 68 - Concentrations cumulées en composés pharmaceutiques pour les échantillons de : a) bassin d'infiltration du bois de Germignan, b) bassin de dépollution RD1215 et c) bassin d'infiltration de Lacaussade et SAUL Boétie .....	87
Figure 69 - Concentrations cumulées en pesticides pour les échantillons de : a) bassin d'infiltration du bois de Germignan, b) bassin de dépollution RD1215 et c) bassin d'infiltration de Lacaussade et SAUL Boétie .....	88
Figure 70 - Concentrations cumulées en HAP pour les différents sites étudiés .....	89
Figure 71 - Concentrations cumulées en PFAS pour les différents sites étudiés .....	90
Figure 72 - Concentrations en HAP sur la fraction particulaire (ng/L) sur les différents ouvrages.....	90
Figure 73 - Flux des différentes familles de micropolluants (mg/évènement pluvieux) pour a) le bassin du bois de Germignan, b) le bassin d'infiltration de Lacaussade et c) le bassin de dépollution de la RD1215. ....	92
Figure 74 - Localisation des piézomètres en amont et en aval du bassin. Source : Infoterre .....	92
Figure 75 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour MES, DCO et DBO <sub>5</sub> .....	93
Figure 76 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour les autres polluants majeurs analysés.....	93
Figure 77 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour ETM dissous .....	94
Figure 78 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour ETM dissous hors Fer, Strontium, Aluminium Baryum .....	94
Figure 79 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour ETM particulières.....	95
Figure 80 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour ETM particulières hors Fer, Strontium, Aluminium, Baryum .....	95
Figure 81 - Concentrations cumulées des différentes familles de micropolluants et b) concentrations cumulées en pharmaceutiques dans les eaux de nappes.....	96
Figure 82 - Résultats d'analyse des échantillons pour les ETM sur les sols de Germignan, en mg/kg.....	97
Figure 83 - Résultats d'analyse des ETM sur les sols de Germignan, normalisation par le Thorium .....	98
Figure 84 - Résultats d'analyse des ETM sur les sols de Germignan, normalisation par le Thorium et l'échantillon le moins concentré (horizon 2 du témoin S4) .....	99
Figure 85 - Concentrations cumulées des familles de micropolluants dans différents points et différents horizons de sols du bassin de Germignan .....	99
Figure 86 - Concentrations cumulées en a) HAP et b) pesticides dans différents points et différents horizons de sols du bassin de Germignan .....	100
Figure 87 - Résultats d'analyse des ETM sur les plantes de RD1215.....	101
Figure 88 - Résultats d'analyse des ETM sur les plantes de RD1215, hors Fer, Aluminium, Cuivre et Zinc ....	101
Figure 89 - a) Concentrations cumulées en pesticides et HAP et b) concentrations cumulées des différents composés dans les plantes du bassin RD1215 .....	102

## Abréviations

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
DBO<sub>5</sub> : Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours  
DCO : Demande Chimique en Oxygène  
EP : Eau pluviale  
EPOC : Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux  
ETM : Eléments Traces Métalliques  
GSM : Global System for Mobile communication  
HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique  
LQ : Limite de quantification  
LPTC : Laboratoire de Physico et Toxico-Chimie de l'environnement  
LyRE : Centre de recherche et d'innovation Suez  
MES : Matières En Suspension  
ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques  
PFAS : PerFluoroAlkyl and PolyFluoroAlkyl Substances  
REGARD : REduction et Gestion des micropolluAnts sur la métRopole borDelaise  
SAUL : Structure Alvéolaire Ultra Légère  
SGAC : Société de Gestion de l'Assainissement de Bordeaux Métropole  
TA : Technique Alternative de gestion des eaux pluviales  
UMR : Unité Mixte de Recherche

## INTRODUCTION

### 1) Contexte

Face à l'urbanisation croissante, Bordeaux Métropole préconise la gestion des eaux pluviales par des ouvrages nommés « techniques alternatives » (TA) ou « solutions compensatoires » permettant de privilégier l'infiltration et la gestion des eaux pluviales à la source.

Leur fonction première est quantitative par l'écrêtement des débits de pointe et l'infiltration des eaux pluviales vers les sols. L'utilisation d'ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source génère également d'autres bénéfices secondaires. Notamment, ils permettent de limiter les transferts de polluants vers le milieu récepteur, en limitant l'effet de concentration des polluants induit par le tout tuyau.

### 2) Problématiques

Sur l'aspect quantitatif, des études de modélisation à l'échelle des systèmes d'assainissement montrent que la mise en place de techniques alternatives à l'amont d'un système d'assainissement permet de réduire les apports vers les réseaux publics d'assainissement et ainsi, les risques de débordements des réseaux et de déversements vers les milieux naturels. En revanche, peu d'études permettent de suivre précisément et en continu le fonctionnement d'ouvrages, notamment d'infiltration, au fur et à mesure des pluies successives. Cette connaissance permettra de vérifier d'une part, que leur dimensionnement est adéquat, et d'autre part, leur impact sur les réductions des apports vers les réseaux publics et le milieu récepteur, dans un contexte pluviométrique local donné.

Sur l'aspect qualitatif, des études sur les techniques alternatives ont montré des bénéfices en termes de réduction des transferts de polluants vers l'aval. En revanche les études sur les micropolluants restent encore limitées. Ces micropolluants sont présents dans les eaux pluviales par leur contact avec l'atmosphère (fumées d'échappement, gaz d'usines, etc.) ou par leur ruissellement (voiries, toitures, etc.). Certains composés peuvent avoir des effets indésirables sur le milieu naturel même à des faibles concentrations (perturbateurs endocriniens par exemple).

### 3) Objectifs du projet

Dans ce cadre, un observatoire expérimental de 5 techniques alternatives a été monté sur le territoire de Bordeaux Métropole. Cet observatoire a pour principaux objectifs :

- d'identifier les évolutions du fonctionnement et des performances hydrauliques avec un suivi pluriannuel
- d'évaluer l'impact de la gestion à la source sur le devenir des micropolluants sur trois ans de pluie sur le territoire de Bordeaux Métropole (travail fait en collaboration avec un laboratoire de recherche pour les analyses et l'expertise sur les micropolluants organiques et métalliques : l'UMR EPOC dans le cadre du projet le programme de recherche REGARD, issu de l'appel à projet ONEMA, porté par Bordeaux Métropole et le LyRE comme coordinateur scientifique et

réalisé en partenariat avec de multiples acteurs et laboratoires universitaires du territoire bordelais).

Le projet a débuté en 2015 avec l'étude d'instrumentation qui a conduit à équiper 5 ouvrages à la fin 2015, il s'est achevé le 26 novembre 2018 avec la restitution du projet et des résultats portant sur le suivi quantitatif à Bordeaux Métropole ; les résultats portant sur le suivi qualitatif ayant été intégrés au projet REGARD.

## A) CHOIX DES SITES

Une étude préalable a été réalisée en 2015 pour sélectionner les 5 sites de l'observatoire. Les principales étapes de cette étude sont résumées ci-dessous :

- Une première partie « **Etat de l'art et revue bibliographique** » a été réalisée pour s'assurer notamment de la pertinence scientifique du choix des ouvrages et recenser les méthodes de mesures – hydraulique et qualité – qui peuvent être envisagées sur ce type d'ouvrage. Les techniques de métrologie sont souvent des prototypes expérimentaux, du fait de la structure des TA (ouvrages à ciel ouvert, peu profonds, à alimentation diffuse, etc.), des petits débits transitant par ces ouvrages et des temps de ressuyage longs. L'instrumentation d'une TA nécessite donc généralement une étude spécifique et des équipements « sur-mesure » bien adaptés à l'ouvrage considéré.
- Les **ouvrages présents sur le territoire de Bordeaux Métropole** ont également été recensés à partir des données disponibles : SIG, plans de récolement, interviews (personnels de Bordeaux Métropole, de la SGAC, de la DT Ouest, etc.). Les ouvrages situés sous domaine privé ont été difficile à recenser (travail en cours par les services de Bordeaux Métropole), une attention particulière a donc été portée sur les ouvrages situés sous domaine public : les ouvrages enterrés (structures alvéolaires infiltrantes par exemple), les ouvrages clos (bassins à sec, etc.), les ouvrages accessibles au public (noues, etc.). Les bassins régulés et canalisations surdimensionnées n'ont pas été prises en compte du fait de la proximité du fonctionnement de ces ouvrages avec les techniques classiques type « tout tuyau ».
- Une **revue des ouvrages** a ensuite permis de pré-sélectionner une cinquantaine d'ouvrages à étudier. Les critères retenus pour cette première sélection étaient la recherche d'une typologie variée des ouvrages, le type de bassin versant raccordé en amont (surface active, usages, charges polluantes estimatives, etc.), les caractéristiques techniques des ouvrages (matériaux de construction, dimensions, etc.) et le fonctionnement hydraulique des ouvrages (en série, en parallèle, etc.).
- Cette première sélection a été affinée par une **analyse multicritère** de 21 sites, grâce notamment à des visites terrain (évaluation des possibilités d'instrumentation, accessibilité des ouvrages, etc.) et des analyses des documents disponibles aux archives (plans, études, etc.). Les possibilités d'instrumentation se sont révélées être la principale limitation dans le choix des sites. En effet, l'instrumentation classique utilisée en assainissement est adaptée aux tuyaux et canalisations mais peu aux ouvrages enherbés transportant de faibles débits.
- Finalement, une **étude d'instrumentation spécifique** (dont les principaux résultats sont présentés ci-après) a permis de sélectionner les 5 ouvrages proposés à Bordeaux Métropole pour l'observatoire.

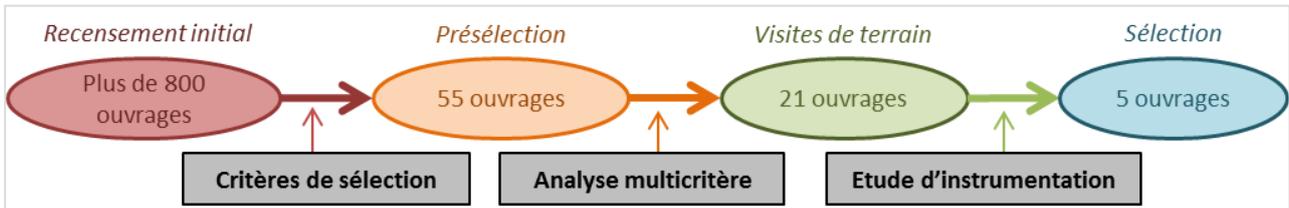


Figure 1 - Méthodologie utilisée pour la sélection des ouvrages

Enfin, le projet et l'instrumentation prévue ont été présentés pour avis à plusieurs scientifiques reconnus sur le sujet, aux experts métrologie de Suez et de la SGAC.

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques des sites sélectionnés :

Nom	Type de TA	Type de bassin versant	Surface du bassin versant (ha)	Fonctionnement	Volume de stockage (m <sup>3</sup> )	Date de création	Surface active <sup>1</sup> théorique (ha)	Débit de fuite (L/s)
<b>Germignan</b>	Bassin d'infiltration	résidentiel	6,4	infiltration	364	1985	2,7	-
<b>RD 1215</b>	Bassin sur membrane et roseaux	voirie (route départementale)	33	Dépollution (?) et infiltration	-	années 80	31,3	-
<b>Vert Castel</b>	2 noues à alimentation diffuse	parc d'activité (rue d'accès)	0,54	Infiltration-régulation	74m <sup>3</sup> chacune	2011	0,5	7,5
<b>Lacaussade</b>	Noue à redans à alimentation concentrée	résidentiel	3,8	Infiltration-régulation	333	1989	2,2	18
<b>Boétie</b>	SAUL	voirie (avenue passante)	0,05	Infiltration-régulation	34	2015	0,05	2

<sup>1</sup> Surface active : surface imperméabilisée équivalente ou somme des surfaces aménagées pondérées par les coefficients d'imperméabilisation des différents matériaux employés (voirie, parking, bâtiment...)

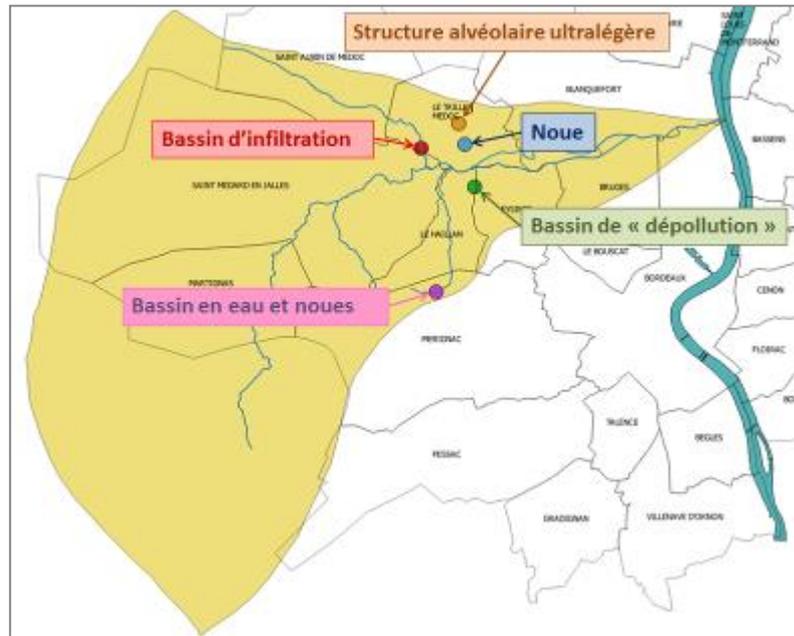


Figure 2 - Carte de localisation des ouvrages proposés pour l'observatoire des techniques alternatives

## B) INSTRUMENTATION

### 1) Gammes de débits attendus

Pour orienter le choix de l'instrument de mesure du débit adapté sur chaque site il était nécessaire d'avoir **un ordre de grandeur des gammes des débits attendus**. A l'aval de certaines techniques alternatives, le débit est régulé afin de ne pas saturer le réseau et de stocker temporairement les eaux pluviales. Le débit attendu a donc été calculé en fonction du dimensionnement des régulateurs en place (ajutage, etc.). Pour les points de mesure où le débit n'est pas régulé, celui-ci a été estimé avec la méthode rationnelle et la méthode du réservoir linéaire. Ces méthodes hydrauliques permettent de connaître l'ordre de grandeur des débits attendus à l'exutoire d'un bassin versant avec un nombre limité de données (il est à noter cependant que les résultats peuvent être éloignés des gammes de débits réels. La différence des résultats entre les méthodes rationnelles et du réservoir linéaire illustre cette incertitude). Les gammes de débits attendus ont été calculées pour des pluies avec une période de retour inférieure ou égale à **6 mois** correspondant aux modes de fonctionnement les plus fréquents et les plus pertinents pour l'étude. La limite inférieure de la gamme de débits idéale est de 0 L/s, permettant ainsi de bien mesurer les débuts et les fins de chaque pluie.

Le tableau ci-dessous donne les résultats théoriques des gammes de débit attendus pour les sites à débit non régulé, puis à débit régulé :

	1. Bois de Germignan	2. RD-1215 Amont    Aval	4. Lacaussade amont	5. Avenue de la Boétie amont
Surface théorique du bassin versant (ha)	6,4	33,0	3,8	0,05
Temps de concentration théorique (min)	9	22	9	2
Diamètre canalisation (mm)	400	1000    800	400	300
<b>Gamme de débits (L/s)</b> <b>T = 1 semaine - 6 mois</b> <i>méthode rationnelle</i>	50 - 300	280 - 2240	10 - 250	2 - 20
<b>Gamme de débits (L/s)</b> <b>T = 1 mois - 6 mois</b> <i>méthode du réservoir linéaire</i>	60 - 180	350 - 2420	60 - 180	2 - 7
<b>Gamme de débits théoriques (L/s)</b> <u>débit non régulé</u>	0 - 300	0 - 2500	0 - 250	0 - 25

	3. Vert Castel	4. Lacaussade (aval)	5. Avenue de la Boétie (aval)
<b>Dispositif de régulation</b>	Orifice $\emptyset$	Orifice $\emptyset$ 100	Orifice $\emptyset$ 32
Débit de régulation nominal (L/s)	7,5	18	2
Débit de régulation maximal (L/s)	12	27	3
<b>Gamme de débits théoriques (L/s) débit régulé</b>	0 - 20	0 - 40	0 - 5

## 2) Choix de l'instrumentation et gammes de débit revus

Une fois que les gammes de débits attendus ont été estimées, il a été possible d'orienter le choix des instruments de mesure. Ce choix s'est effectué en fonction des contraintes techniques (méthodes de mesure adaptées aux débits à mesurer), des contraintes de chaque site (espace disponible, fonctionnement hydraulique...), des contraintes économiques (budget prévu pour le projet) et des contraintes liées à l'exploitation des points de mesure. Les choix réalisés sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Site	Instrumentation amont	Instrumentation aval
Bois de Germignan – bassin d'infiltration	Mesure de hauteur par US et boîte déversoirs rectangulaires	Mesure de hauteur par piézomètre en fond de bassin
RD1215 – Bassin sur membrane et roseaux	Débit par mesure hauteur / vitesse quand $h \geq 2,5$ cm, loi H/Q sinon	Mesure de hauteur par piézomètre et lame déversante rectangulaire
Vert Castel - Noüe à alimentation diffuse	Aucune (alimentation diffuse)	Mesure de hauteur par US et lame déversante triangulaire
Lacaussade - Noüe à alimentation concentrée	Mesure de hauteur par US et lame déversante triangulaire	Mesure de hauteur par US et lame déversante triangulaire
La Boétie - SAUL infiltrante	Mesure de hauteur par US et lame déversante triangulaire	Mesure de hauteur par US et lame déversante triangulaire

La hauteur des lames déversantes a été déterminée en fonction de plusieurs paramètres : la gamme de débits attendus, l'encombrement sur le terrain et les risques de montée en charge à l'amont. En effet, la mise en place des lames ne doit pas augmenter le risque de débordement au niveau des ouvrages. Aussi, il était nécessaire de s'assurer que la surverse prévue permettrait le passage du débit capable pour chaque site. Ces choix ont parfois restreint la gamme de mesure théorique (Germignan, RD1215 aval, Lacaussade amont) ou ont parfois permis de l'étendre (La Boétie amont et aval). Le tableau suivant résume les débits ainsi revus pour chacun des sites de l'observatoire :

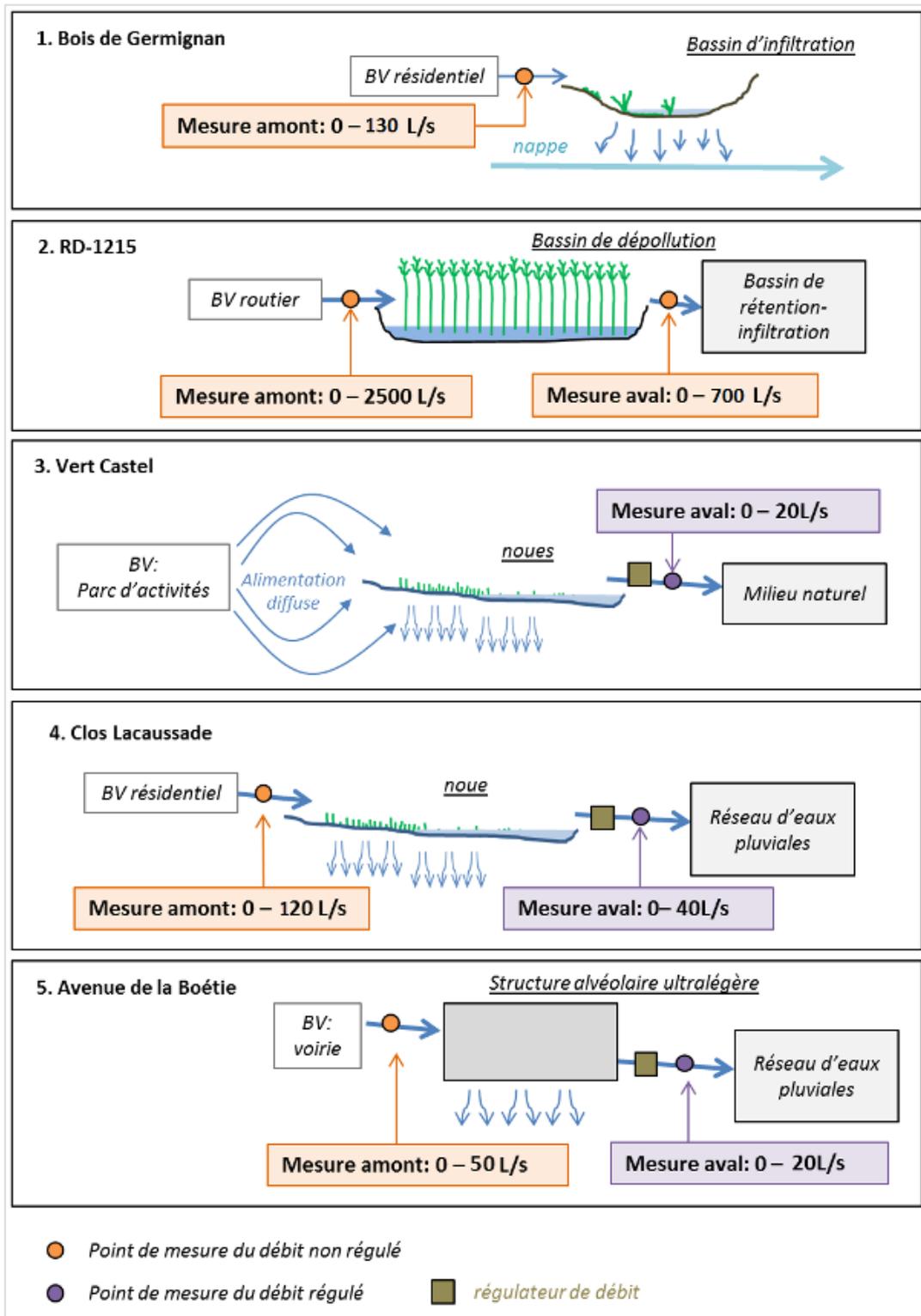


Figure 3 - Récapitulatif des débits attendus pour chaque site

### 3) Travaux d'instrumentation

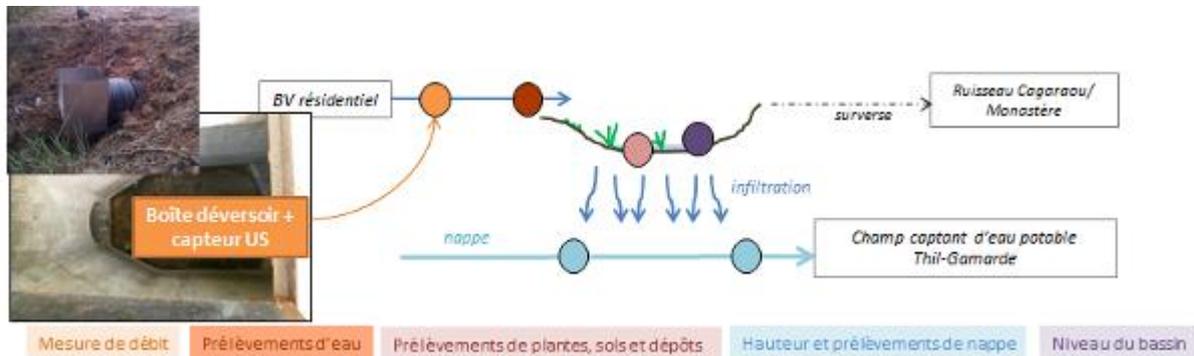
Les solutions retenues pour instrumenter les sites sélectionnés ont été proposées par un groupe de travail composé du LyRE et de CNS instrumentation. Les choix techniques ont été revus et adaptés suite à des échanges avec la DTS et la SGAC. Le détail par site est présenté ci-dessous.

#### a. Bassin d'infiltration – Bois de Germignan

##### Localisation et photo du site – Rue Gustave Doré – Le Taillan-Médoc



##### Instrumentation



##### Spécificités

- Ouvrage d'infiltration en amont du champ captant du Thil
- Bassin versant résidentiel

##### Travaux réalisés

1) **Bouchage des 2 arrivées** (qui étaient inutilisées) de manière à ne pas dévier le flux en entrée



**2) Installation d'une boîte déversoir avec capteur de hauteur IJINUS et lame déversante.**

- La boîte a été solidement enfoncée dans la canalisation de manière à éviter un risque de vol.
- Les IJINUS ont été étalonnés avec un socle et un lasermètre certifiés COFRAC
- La bonne cohérence entre le lasermètre et les valeurs remontées a été vérifiée en lien RAMSES



**3) Installation d'un piézomètre de manière à mesurer le marnage du bassin (pour les fortes pluies car il semble avoir sinon de bonnes capacités d'infiltration)**

- Le piézomètre a été protégé par un tube PVC vissé à un socle enfoncé dans le sol.
- Le piézomètre est autonome sur pile et relié au transmetteur GSM via liaison radio.

Nota : ce piézomètre a finalement été déposé mi-2016 car il a été constaté que les capacités d'infiltration du bassin étaient telles que celui-ci ne se met jamais en charge, même pour des fortes pluies.

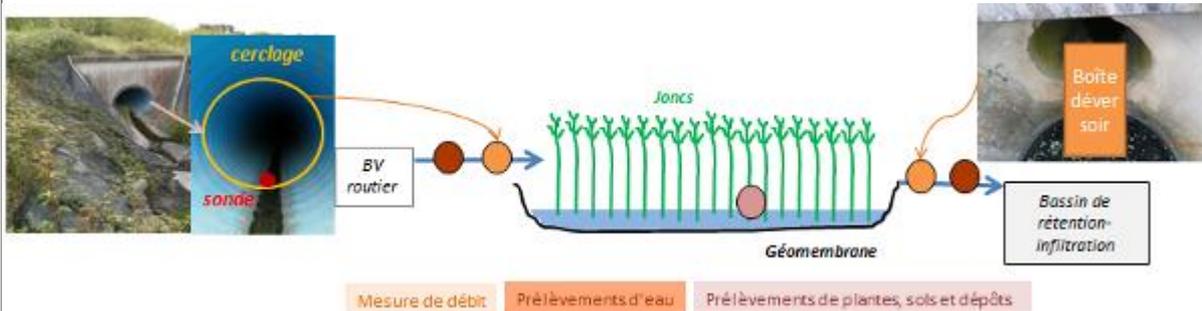


b. Bassin sur membrane et roseaux – RD1215

Localisation et photo du site – Chemin de Jallepont – Le Haillan



Instrumentation



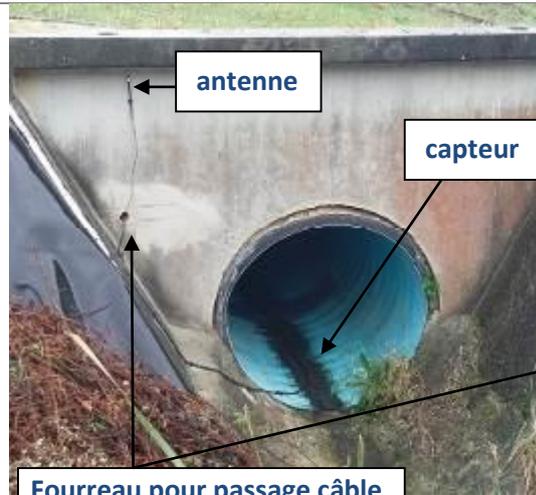
Spécificités

- Bassin versant routier
- Système voulu de « dépollution » (dénomination SIG) avec décantation sur membrane et roseaux

Travaux réalisés

1) **Mise en place d'un capteur hauteur-vitesse en amont**

- La valise énergie a été placée dans le regard cachette qui a été créé pour installer le préleveur
- Un fourreau permet le passage des câbles reliant le préleveur au capteur hauteur-vitesse pour asservir le prélèvement au débit



2) **Réalisation d'un regard cachette**

pour placer le préleveur à proximité du point d'instrumentation amont



Fourreau pour passage câble préleveur et alimentation

3) **Mise en place d'une lame déversante et d'un capteur piezo à l'aval**



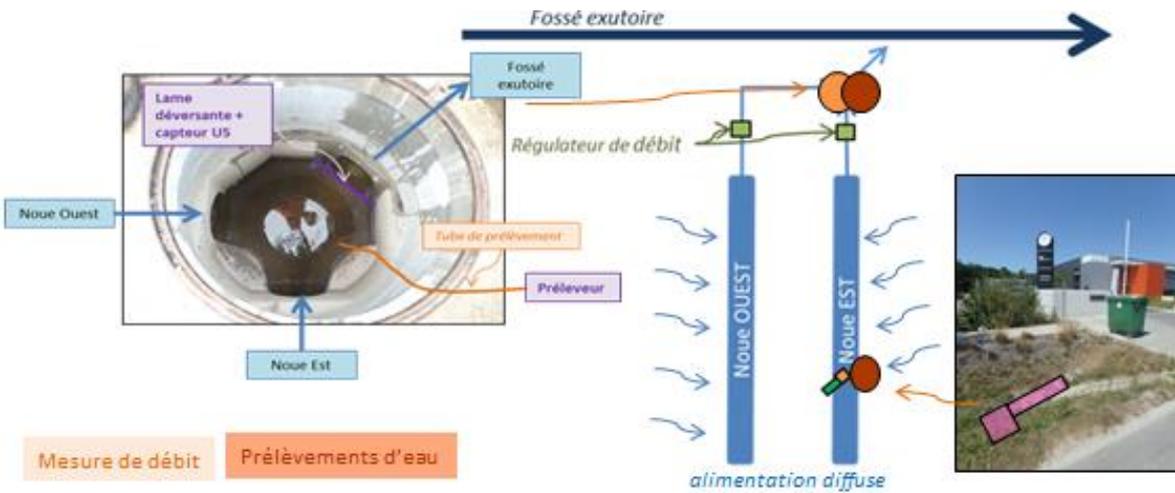
Vanne de régulation

c. Noues à alimentation diffuse – Parc d'activité Vert Castel

Localisation et photo du site – Rue Vert Castel – Mérignac



Instrumentation



Spécificités

- Bassin versant industriel (ZAC)
- Noues végétales à alimentation diffuse (« 0 tuyau »)

Travaux réalisés

1) **Mise en place d'un capteur IJINUS avec lame déversante en aval**



**Fourreau pour passage câble préleveur et alimentation**

2) **Réalisation d'un regard cachette** pour placer le préleveur à proximité du point d'instrumentation aval



3) **Installation d'un capteur de hauteur piezométrique** dans le canal à l'aval du site (capteur déposé du bassin de Germignan mi-année 2016). Cette mesure supplémentaire avait pour but de reconstituer les débits même dans les cas où l'écoulement est noyé (montée en charge du canal aval en période hivernales de fortes pluies et de nappes hautes). Cependant, ce capteur a ensuite été déposé car les conditions de pose n'étaient pas optimales et ne permettait pas d'obtenir une mesure fiable (manque de place par rapport à la lame déversante).

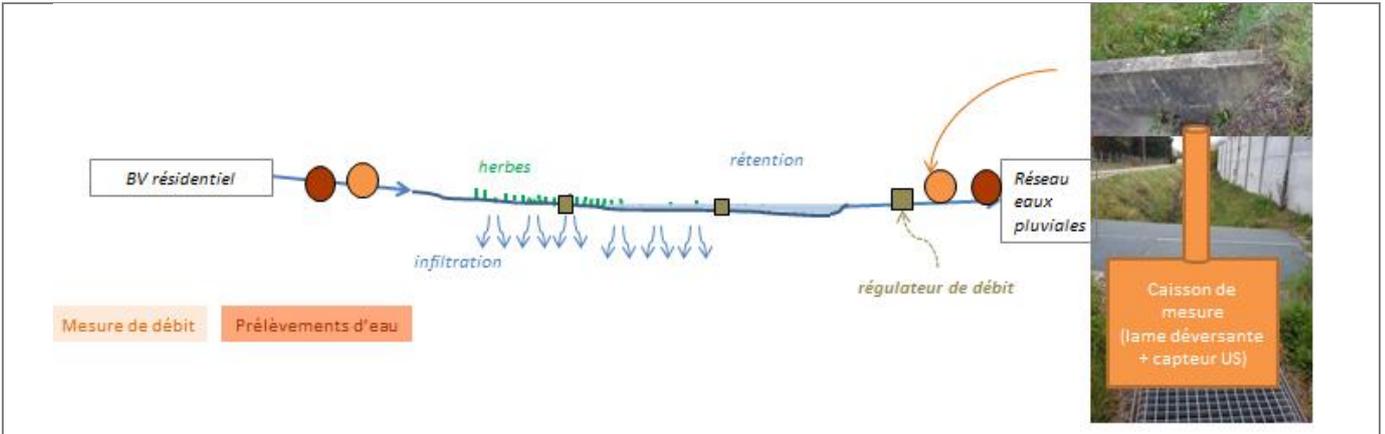
**Nota :** Ce site avait été choisi car, malgré les difficultés d'instrumentation liées au caractère intégré de l'ouvrage (arrivée diffuse et connexion immédiate à un ruisseau urbain) il était tout à fait intéressant de suivre un quartier en « zéro tuyau ». Cependant, l'année 2015 qui a conduit au choix de l'ouvrage s'est avérée différente en terme de pluviométrie et n'avait pas permis d'anticiper ce fonctionnement.

#### *d. Noue à alimentation concentrée – Clos Lacaussade*

##### **Localisation et photo du site – Allée Clos Lacaussade – Le Taillan-Médoc**



##### **Instrumentation**



### Spécificités

- Bassin versant résidentiel
- Noue à redent à alimentation canalisée

### Travaux réalisés

1) Mise en place d'un capteur de hauteur IJINUS avec lame déversante en aval



2) Réalisation d'un regard cachette pour placer le préleveur à proximité du point d'instrumentation amont



Fourreau pour passage câble préleveur et alimentation

3) Mise en place d'un capteur IJINUS avec lame déversante en amont



e. Structure alvéolaire ultralégère infiltrante – La Boétie

**Localisation et photo du site** – Avenue de la Boétie (angle rue Bois des Ormes) – Le Taillan-Médoc



**Spécificités**

- Gestion au plus près de la source (bassin versant très localisé)
- Ouvrage neuf et dans l'air du temps (permet de combiner pistes cyclables et régulation des eaux pluviales)

**Travaux réalisés**

- 1) **Mise en place d'un capteur de hauteur IJINUS avec lame déversante en amont**  
Une gouttière en inox sur-mesure a également été installée de manière à récupérer et canaliser les eaux issues des deux arrivées dans la cheminée du regard.



- 2) **Mise en place d'une boîte déversoir avec capteur de hauteur IJINUS et lame déversante en aval**



**Nota :** Cet ouvrage était neuf et dès la réception des travaux en 2015, il a été constaté que le site ne prenait pas l'eau et était bypassé, même lors de fortes pluies. Par la suite, les avaloirs ont été modifiés pour assurer une arrivée de l'eau dans l'ouvrage, mais même après ces travaux, les débits arrivant dans l'ouvrage étaient très inférieurs aux débits théoriques. Ce fonctionnement inattendu de l'ouvrage a rendu son étude impossible, du fait que les capteurs mis en place avaient été choisis en fonction des débits théoriques notifiés dans la note de calcul du bureau d'étude en charge du dimensionnement de l'ouvrage.

## C) METROLOGIE

### 1) Configuration des lois hauteur / débit

Les lois hauteur / débit ont été configurées dans le logiciel Aquacalc à partir des équations explicitées ci-dessous et adaptées à chaque site.

#### a. Déversoir rectangulaire à crête mince avec contraction latérale

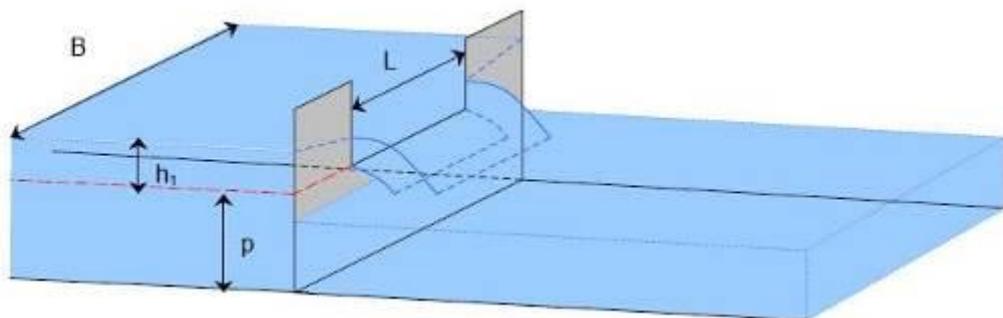


Figure 4 - Vue en perspective d'un déversoir rectangulaire avec contraction latérale (CETMEF, 2005)

Pour les sites de Germignan et RD1215 aval, l'équation retenue est la formule de Kindsvater et Carter pour les déversoirs rectangulaires, comme préconisé par la norme NF X 10-311 :

$$Q = \mu C_v L_e (h_e)^{3/2} \sqrt{2g}$$

Avec :

Q le débit en m<sup>3</sup>/s

$\mu$  le coefficient de débit

$h_e$  la hauteur effective tel que :  $h_e = h_1 + Kh = h_1 + 0.001$  ( $Kh \sim 1$  mm)

$L_e$  la largeur effective telle que :  $L_e = L + K_l$  avec  $K_l$  donné par l'abaque ci-dessous

$g$  la constante gravitationnelle

En pratique, le coefficient  $C_v$  est négligé (égal à 1) pour les déversoirs à crête mince car les vitesses d'approche sont généralement faibles (CETMEF, 2005).

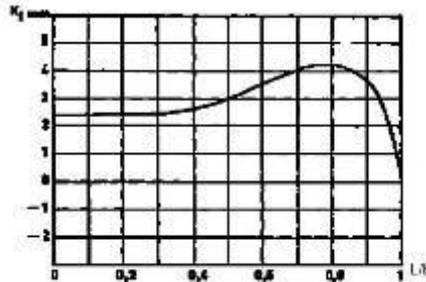


Figure 5 - Abaque de  $K_l$  (mm) en fonction du rapport  $L/B$ . (CETMEF, 2005)

Expression du coefficient de débit :

$$\mu = \frac{2}{3} \left( \varphi + \psi \frac{h_1}{p} \right)$$

Les valeurs de  $\varphi$  et  $\psi$  sont données par l'abaque de la Figure ci-dessous.

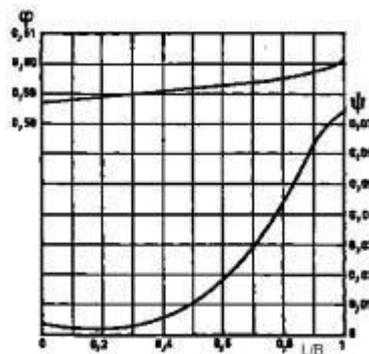


Figure 6 - Abaque de  $\varphi$  et  $\psi$  en fonction du rapport  $L/B$ . (CETMEF, 2005)

b. Déversoir crête mince à échancrure triangulaire avec contraction latérale

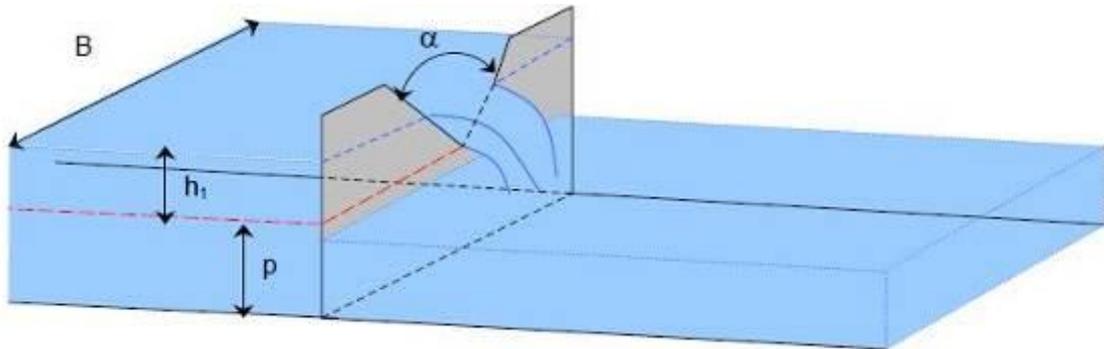


Figure 7 - Vue en perspective d'un déversoir triangulaire (CETMEF, 2005)

Pour les sites de Lacaussade, La Boétie et Vert Castel, et RD1215 aval, l'équation retenue est la formule de Kindsvater et Carter pour les déversoirs triangulaires, comme préconisé par la norme NF X 10-311 :

$$Q = \frac{8}{15} \mu C_v \sqrt{2g} (h_1 + K_h)^{5/2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

avec  
 $K_h$  longueur définie par l'abaque ci-dessous

Avec :

Q le débit en  $\text{m}^3/\text{s}$

$\alpha$  l'angle du déversoir

$\mu$  le coefficient de débit

g la constante gravitationnelle

$C_v$  : coefficient négligeable due à la faible vitesse d'approche pour les déversoirs à crête mince

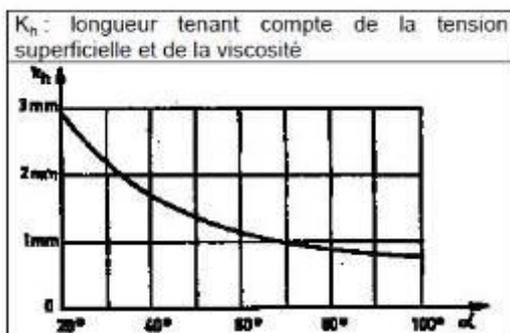


Figure 8 - Valeurs de  $K_h$  (mm) avec  $\alpha$  quelconque (CETMEF, 2005)

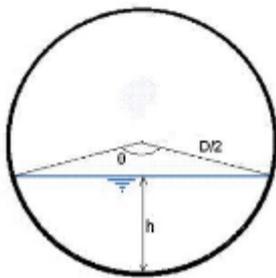
### c. Conduite circulaire avec capteur de mesure hauteur / vitesse

Le site RD1215 amont est le site pour lequel la gamme de mesure des débits entrants est la plus étendue, les débits pouvant être de l'ordre du m<sup>3</sup>/s. Il a donc été équipé d'un capteur hauteur/vitesse type doppler fournissant directement une mesure de débit suivant la formule :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = S_m \text{ (m}^2\text{)} * \text{Vitesse (m/s)}$$

Avec S<sub>m</sub> : section mouillée de la conduite, calculée suivant l'expression suivante :

$$S_m = (\theta - \sin \theta) \frac{D^2}{8} \text{ et } P_m = \frac{D\theta}{2} \text{ avec } \theta = 2 \arccos \left( \frac{\frac{D}{2} - h}{\frac{D}{2}} \right)$$



Caractéristiques de la conduite :	
Conduite circulaire	
Diamètre mm	1000
Matériau	Polyéthylène
Distance m	63,26
Z Aval m	14,28
Z Amont m	16,16
Pente i	0,0297
K Strickler	134

En revanche, le capteur ne fournit une mesure de vitesse que pour des hauteurs  $\geq 2,5$  cm. En-dessous de ces valeurs, la formule de Manning Strickler sera utilisée pour mesurer le débit à partir de la seule donnée de hauteur d'eau :

$$Q = K \cdot S \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Avec Q : Débit en m<sup>3</sup>/s

i : pente de la canalisation en m/m

S<sub>mouillée</sub> : Surface mouillée en m<sup>2</sup>

R<sub>hydraulique</sub> : Rayon hydraulique en m

K<sub>Strickler</sub> : Coefficient de Strickler en m<sup>1/3</sup>/s pris égal à 134 de manière à assurer la continuité entre les deux formules de débit à h = 2,5 cm

## 2) Vérification de l'exactitude des mesures

Les ouvrages ont été instrumentés avec des méthodes utilisées classiquement en assainissement. Or, la particularité des TA est l'absence totale ou partielle de canalisation et le fait les débits sont plus faibles que dans un réseau classique. La vérification de l'exactitude des mesures consiste à utiliser une méthode différente de métrologie pour s'assurer de la cohérence avec la mesure mise en place sur le terrain.

Différentes méthodes existent pour vérifier l'exactitude des mesures, notamment :

- les mesures par empotement
- les mesures par micromoulinet
- les mesures par traçage au sel ou colorimétrique

Cette dernière étant la plus fiable, elle a été testée en 2016. Les résultats obtenus sont décrits ci-après.

### Principe du traçage

Le traçage consiste à injecter un traceur à l'amont d'un écoulement et de mesurer l'évolution de sa concentration à l'aval afin d'en déduire un débit. La validité du calcul de débit est basée sur 4 conditions :

- la masse de traceur est répartie de façon homogène au point de mesure : une distance suffisante entre le point d'injection et la mesure est requise pour assurer un bon mélange
- la masse injectée est conservée (aucune perte ou rétention entre le point d'injection et le point de mesure) : pas de zone stagnante, d'infiltration ou de rétention d'eau entre le point d'injection et la mesure
- le débit à évaluer ne varie pas dans le temps : nécessité d'être en période de temps sec, d'injecter de l'eau à débit constant et s'assurer qu'il n'y ait aucun barrage ou autre ouvrage à l'aval qui pourrait influencer le débit
- la masse de traceur injecté est suffisante pour que le pic de concentration engendré par l'injection du traceur puisse se démarquer du bruit de fond

Une fois ces conditions respectées, on distingue 2 types de traçage :

- le traçage à **injection instantanée** basé sur la conservation de la masse du traceur :  $M1=M2 \Rightarrow C1 \times V1 = C2 \times V2$  et  $Q = \frac{V2}{T} = \frac{V1 \times C1}{T \times C2_{moy}}$

Avec Q (l/s) le débit moyen à mesurer (Inconnu)

C1 (g/l) la concentration mère du traceur (Connu)

V1(l) le volume de traceur injecté (Connu)

C<sub>2moy</sub> (g/l) la moyenne des concentrations au point de mesure (à mesurer)

T(s) la durée de l'enregistrement (à mesurer)

- le traçage à **injection constante** basé également sur la conservation de la masse du traceur, tout au long de l'expérimentation  $M1=M2 \Rightarrow C1 \times V1 = C2 \times V2$  et

$$q = \frac{V1}{dt} \text{ et } Q = \frac{V2}{dt} \Rightarrow C1 * q = C2 * Q \Rightarrow Q = q * \frac{C1}{C2}$$

Avec :

Q (l/s) le débit à mesurer (Inconnu)

q (l/s) le débit constant d'injection du traceur (Connu)

C1 (g/l) la concentration mère du traceur (Connu)

C2 (g/l) la concentration au point de mesure (A mesurer)

Cette seconde méthode est plus précise d'un point de vue statistique car on moyenne une valeur fixe.

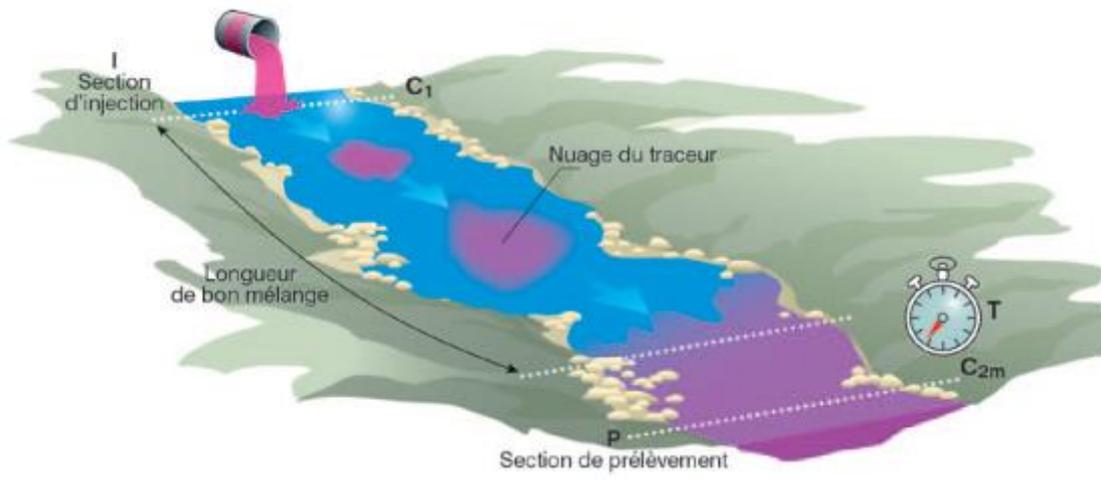
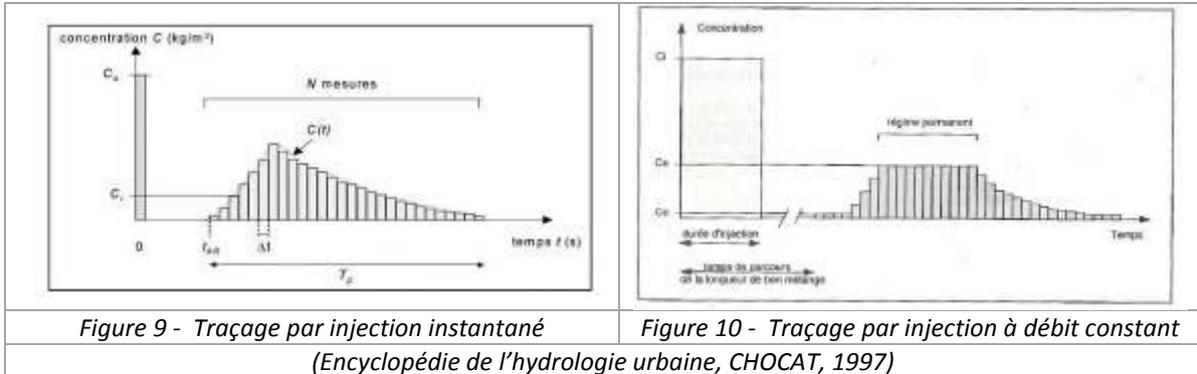


Figure 11 - Schéma d'un traçage (Onema contrôle-débit, 2011)

**Sites testés**

Les conditions d'application de la méthode ont conduit au choix des sites suivants :

- amont Lacaussade
- amont Germignan



### Déroulement des tests

Avant la mise en œuvre des tests, il a été nécessaire de préparer des gammes de solutions étalons à concentration connues. Le traceur choisit a été le NaCl du fait de son faible cout dans le commerce et de la simplicité d'utilisation du détecteur (conductimètre). Le but de l'étalonnage est de trouver le ratio conductivité/concentration pour chaque conductimètre, appelé aussi courbe d'étalonnage.



Il a également été nécessaire de préparer en amont les solutions mères à injecter sur le terrain. A l'aide de la formule de calcul des débits pour un traçage continu, il a été estimé qu'il fallait une concentration mère C1 de 40 g/L pour avoir une concentration C2 de 1g/l au point de mesure pour un débit Q de 3L/s (débit approximatif de l'hydrocureuse utilisée pour injecter l'eau). Le temps d'injection est limité par le volume de solution préparé. Pour pouvoir répéter une fois le test sur site, il était nécessaire de préparer un volume de 9L de par test, ce qui revient à un temps d'injection de 2min environ.



Figure 15 - Préparation des solutions mère en laboratoire

Les tests ont été réalisés à l'aide :

- d'une hydrocureuse pour nettoyer les réseaux avant les tests et alimenter les ouvrages en eaux
- d'un préleveur automatique utilisé pour s'assurer d'une injection à débit constant et connu (pompe péristaltique)



Figure 16 - Hydrocureuse sur site

### Résultats

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Site	Instrumentation	Gamme de débits (l/s)	Type de test	Débit moyen mesuré (l/s)	Débit moyen test (l/s)	Différence (%)
Germignan	hauteur par US et lame déversante rectangulaire	0 - 130 L/s	2 tests injection continue + 1 test injection instantanée	2,37	2,72	15

Lacaussade amont	hauteur par US et lame déversante triangulaire	0 - 80 L/s	2 tests injection continue + 1 test injection instantanée	5,13	4,50	12
------------------	--	------------	---	------	------	----

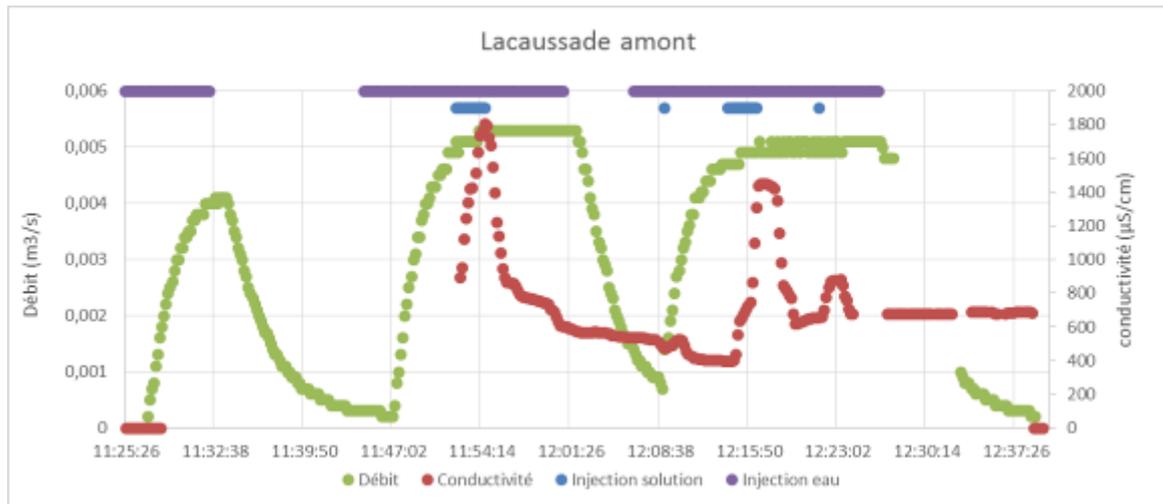


Figure 17 - Exemple de résultat obtenu pour le traçage sur le site de Lacaussade amont

Les conclusions sont les suivantes :

- Les ordres de grandeur mesure et traçage sont les mêmes sur les 2 sites
- Principale difficulté sur le terrain : alimenter le site en eau avec un débit constant. Une hydrocureuse a été utilisée mais elle ne permettait d’injecter que de faibles débits.

**Les résultats obtenus sont satisfaisants** avec comme principale limite que **seuls les faibles débits** (correspondant aux pluies les plus courantes mais à la fourchette basse de la gamme de mesure) ont été vérifiés.

## D) SUIVI HYDRAULIQUE DES OUVRAGES

### 1) Opérationnalité des sites pendant la durée du projet

Un suivi de l’opérationnalité des sites est réalisé régulièrement par la SGAC qui remonte les informations au LyRE. Ce suivi consiste à vérifier le **bon fonctionnement des capteurs et du site** de manière générale. Il permet d’organiser les opérations de **maintenance préventive** (étalonnage, nettoyage, etc.), de **maintenance corrective** (remplacement ou réparation des capteurs), ainsi que **d’alerter les différents acteurs** sur des dysfonctionnements divers (curage de l’ouvrage nécessaire, problème de remplissage ou de vidange, etc.). Un résumé des principales défaillances des sites pendant la durée du projet est donné ci-dessous.

#### Noüe Lacaussade

Ce site a globalement bien fonctionné. Les principales défaillances de ce site provenaient soit d'une panne de capteur, soit d'un problème de coordination des équipes chargées de l'entretien de l'espace vert et les équipes chargées de l'entretien du régulateur de débit. En effet, lors de la tonte de cette noue, le retrait des déchets verts était indispensable au risque d'entraîner un bouchage du régulateur de débit.

#### **Bassin d'infiltration Germignan**

Ce site a globalement bien fonctionné. L'intégralité des eaux arrivant dans le bassin est infiltrée, sans mise en charge de celui-ci.

#### **Noues Vert Castel**

Ce site a été soumis à une influence issue de la rivière urbaine en aval pendant la quasi-totalité du projet, conduisant à une impossibilité de bien mesurer l'écoulement. Contrairement à ce qui avait été observé en 2015, la rivière située à l'aval des noues est restée en charge une bonne partie de l'année. Les fortes pluies hivernales et les niveaux hauts de nappes permettent d'expliquer cette situation. En revanche, l'instrumentation prévue ne permettait pas de mesurer les débits en cas de périodes d'influence aval aussi longue (écoulement noyé).

#### **Bassin de la RD1215**

Des problèmes de batteries et de capteurs ont fait perdre plusieurs mois de données sur la durée du projet. Un échange régulier avec le fournisseur IJINUS par la SGAC a permis de rétablir la situation à plusieurs reprises. Un colmatage de la gaine de protection du piézomètre aval a également entraîné une forte indisponibilité. En effet, ce dysfonctionnement a été long à analyser du fait du renvoi des données par le capteur en temps de pluie. L'incohérence des résultats et les différentes enquêtes réalisées sur le terrain ont permis de comprendre que le problème venait du colmatage de la gaine de protection. Celle-ci a été modifiée par la SGAC ce qui a permis de rétablir l'opérationnalité du site.

#### **SAUL infiltrante La Boétie**

Ce site n'a pas été opérationnel en 2016 à cause d'un problème lié à la réception des travaux de l'ouvrage (ouvrage neuf mis en place en 2015). En effet, le suivi métrologique du site a permis de détecter qu'il ne prenait pas d'eau, même en cas de fortes pluies. De nombreux diagnostics ont été réalisés au bureau et sur le terrain par le LyRE et la SGAC (vérification des dossiers et calculs d'avant-projet, interviews des personnes ayant suivi les travaux, tests avec bombonnes remplies d'eau sur le terrain, déplacements pour visualiser l'ouvrage en temps de pluie, etc.). Cette forte implication a permis de faire remonter le problème de manière réactive à la DETE, maître d'ouvrage des travaux, juste avant la date de fin de réception de l'ouvrage. Les équipements en amont de l'ouvrage ont été repris par l'entreprise qui avait réalisé les travaux :

- les bouches avaloirs ont été modifiées : la configuration initiale ne permettait pas de dévier les eaux vers l'entrée du bassin qui était alors totalement bypassé,

- le regard siphonoïde en entrée de l'ouvrage a été étanchéifié pour permettre le remplissage de l'ouvrage tout en retenant les flottants en amont.

Ces travaux ont permis de rétablir en partie le fonctionnement du site. Cependant, l'arrivée d'eau dans l'ouvrage n'est toujours pas optimale et ne correspond pas aux débits attendus. Ce problème semble lié à la pente de l'impluvium entraînant une forte vitesse de l'écoulement en temps de pluie, ne permettant pas l'entrée des eaux pluviales dans l'avaloir.

<p><i>Problème initial d'engouffrement et de chemin hydraulique dans la noue pour amener les eaux vers l'ouvrage (équipement modifié en mi-année 2016)</i></p>	<p><i>Les eaux stagnantes dans la BE n'atteignaient pas l'ouvrage d'infiltration et régulation (équipement modifié en mi-année 2016)</i></p>
<p><i>Les eaux non interceptées arrivaient directement à l'aval, ce qui avait pour effet de bypasser l'ouvrage d'infiltration et régulation</i></p>	<p><i>Reprise de l'avaloir par l'entreprise chargée des travaux</i></p>

## 2) Méthodologie d'analyse des données

### a. Données pluviométriques

Les données pluviométriques sont récupérées directement depuis l'outil Aquacalc dans lequel sont gérées les données de la SGAC. La SGAC se charge de la critique / validation de ces données qui ont ensuite été utilisées dans le cadre de cette étude (principalement les cumuls 5 min). Les pluviomètres utilisés sont ceux étant les plus proches des sites d'étude soit :

		Pluviomètre		
		Cantinolle	Phare	Lamothe
Site	RD1215	X		X

	<b>Lacaussade</b>	X		
	<b>Germignan</b>	X		
	<b>Boetie</b>	X		
	<b>Vert Castel</b>		X	

### b. Critique et validation des données

Il s'agit d'une étape préliminaire indispensable à l'exploitation des données obtenues depuis le terrain. Les données provenant des capteurs sont suivies par le personnel de la SGAC et du LyRE. Plusieurs fois par semaine, le contrôle des données reçues au niveau d'Aquacalc est fait. En cas d'absence de données prolongée ou de données incohérentes, des visites de terrain sont organisées. Ce travail a permis de détecter des défauts de transmission du capteur de la Boétie amont, la perturbation des mesures de hauteur d'eau due à la végétation sur le site de Germignan, des batteries vides, etc. Par exemple, sur le site de Lacaussade, la noue végétalisée est régulièrement tondue et la tonte est parfois laissée sur place par le prestataire en charge. L'obstruction des orifices des cloisons de la noue est un problème détectable sur Aquacalc grâce aux mesures de hauteur d'eau en aval de l'ouvrage. La figure suivante illustre un dysfonctionnement dans la mesure de hauteur d'eau (en vert) sur le site de Germignan, avec des valeurs élevées et incohérentes par rapport à la pluviométrie (en bleu). Ces valeurs étaient dues à la pousse de la végétation sur le site ; elles ont été invalidées manuellement. L'utilisateur peut tout de même les afficher et des points rouges (sous l'axe des abscisses) signalent l'invalidation.

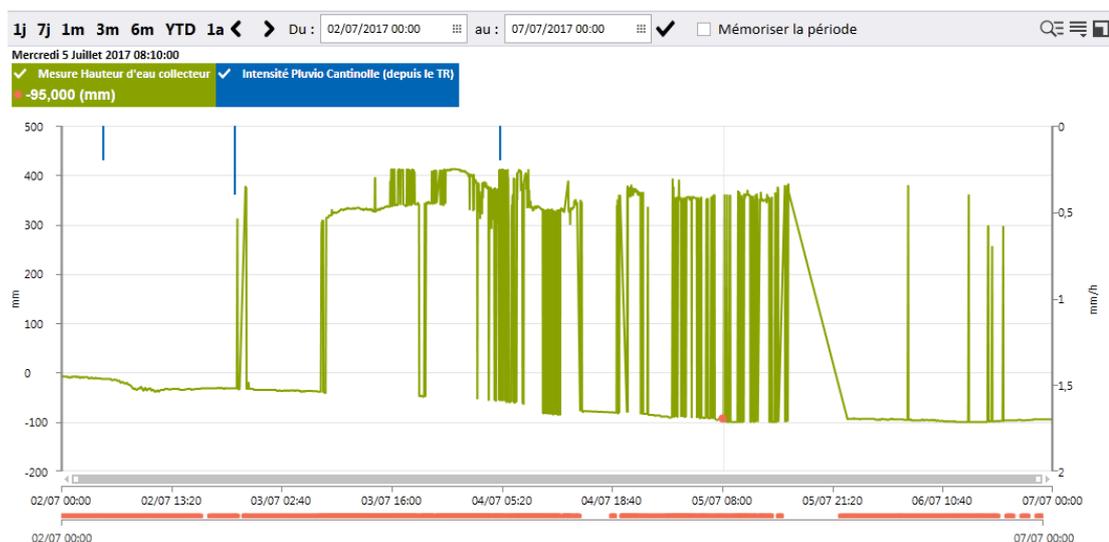


Figure 18 - Exemple de dysfonctionnement de la mesure de hauteur d'eau sur le site de Germignan

### c. Traitement des données

Des rapports automatiques sous Excel ont été créés et sont exportables à partir du logiciel Aquacalc. Ils permettent un traitement mensuel automatisé de la donnée préalablement critiquée et validée.

Ces rapports mensuels permettent pour chaque site de :

- afficher des graphiques préparamétrés combinant hyétogramme et hydrogramme

- calculer les caractéristiques et périodes de retour des évènements pluvieux
- proposer des règles d'autocontrôle des calculs
- calculer des indicateurs à l'échelle d'un évènement pluvieux en associant automatiquement :
  - un évènement pluvieux à un hydrogramme
  - un hydrogramme amont avec un hydrogramme aval

Le guide « La Ville et son Assainissement » (Certu, 2003,) rappelle la définition d'un évènement pluvieux en hydraulique urbaine : « deux évènements pluvieux seront considérés comme distincts dès lors que la durée les séparant excède la durée de leurs effets ». Deux évènements pluvieux seront donc fusionnés dès que le second commence avant que les effets du premier ne soient terminés. Ces associations hydrogramme amont, aval et évènement pluvieux ont été systématiquement vérifiées et ajustées lors du traitement des données.

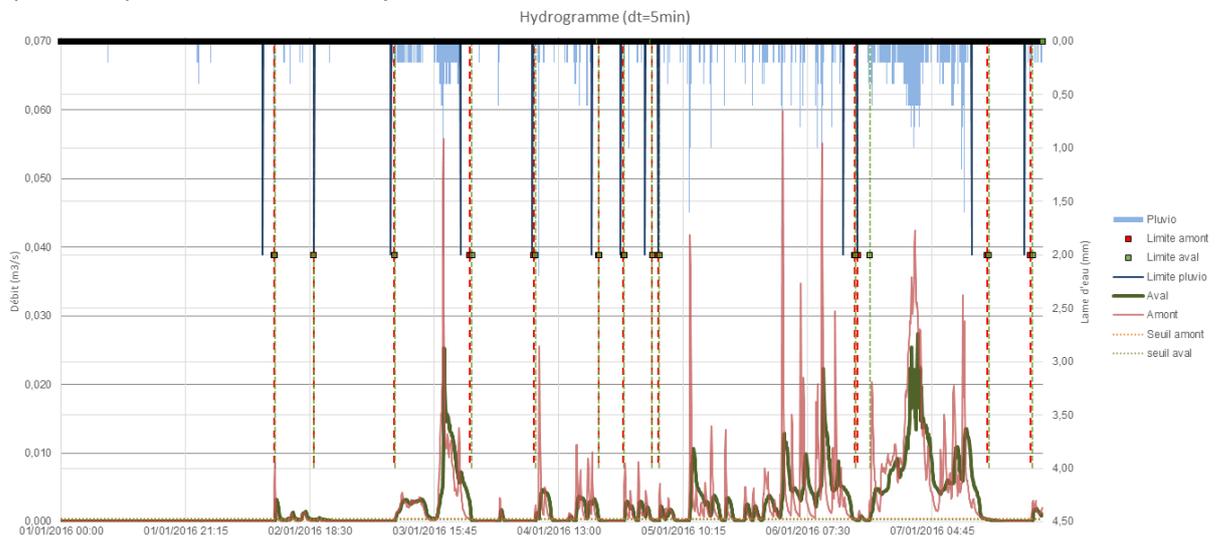


Figure 19 - Exemple de graphique avec la répartition évènementielle des hydrogrammes amont et aval d'un site

Seuls les évènements pluvieux pour lesquels aucun problème n'a été constaté ont été conservés. Les évènements pour lesquels des dysfonctionnements de mesure ont été constatés sur l'amont ou l'aval ont été retirés, ainsi que les évènements dont certains indicateurs donnaient des résultats difficiles à interpréter comme un écrêtement ou un abattement négatif.

### 3) Indicateurs calculés

Les principaux indicateurs calculés et suivis dans le cadre de ce projet sont les suivants :

	Indicateurs	Informations
Pluvio métrie	Début et fin de l'évènement pluvieux	Horodatage des évènements après découpage des données pluviométriques

	Indicateurs	Informations
	Durée totale de l'événement	Différence entre la fin de l'événement pluvieux et le début
	Cumul de pluie (mm)	Cumul total de pluie, pendant la période considérée
	Durée de temps sec antérieure	Durée entre la fin du dernier événement pluvieux et le début de l'événement pluvieux considéré
	Intensité maximale 10 min (mm/h)	Intensité maximale de pluie sur une période de 10 minutes (glissante sur 5 minutes), rapportée à l'unité mm/h
	Intensité maximale 1h (mm/h)	Intensité maximale de pluie sur une période de 1h (glissante sur 5 minutes), rapportée à l'unité mm/h
	Période de retour (max sur un pas de temps 30 min)	Fréquence d'apparition d'un événement pluvieux caractérisé par le couple (hauteur, durée). Elle est déterminée en comparant ce couple aux courbes HDF (Hauteur, Durée, Fréquence) réalisées à partir des historiques de pluie sur le pluviomètre considéré.  Ici nous avons évalué la période de retour suivant différentes durées glissantes (10 min, 30 min, 1h, etc.) et affecté la période de retour maximale à l'évènement pluvieux.
<i>Informations relatives à l'ouvrage</i>	Volume par événement à l'amont (m <sup>3</sup> )	Volumes ayant transité durant l'événement pluvieux, en entrée et en sortie du site
	Volume par événement à l'aval (m <sup>3</sup> )	
	Abattement des volumes	= Volume amont - Volume aval. Il donne une idée de la capacité de l'ouvrage à réduire le volume d'eau entre l'amont et l'aval. Les mécanismes en jeu sont l'infiltration (pour la plus grande partie) et plus marginalement l'évaporation et la consommation d'eau par la végétation.
	% Abattement	= (Volume amont – Volume aval) / Volume amont
	Débit maximal amont (L/s)	Débit maximal sur un évènement pluvieux donné, calculé en amont et en aval de l'ouvrage
	Débit maximal aval (L/s)	
	% Ecrêtement	= (Débit max amont - Débit max aval) / Débit max amont. Il donne une idée de la capacité de l'ouvrage à réduire le débit maximal entre l'amont et l'aval.

	Indicateurs	Informations
	Surface active amont (m <sup>2</sup> )	Volume provenant de amont /Cumul de pluie
	Surface active aval (m <sup>2</sup> )	
	Nombre d'évènements hydrauliques pris en compte (%)	Nombre d'évènements pluvieux pour lesquels des données ont été enregistrées au niveau de l'ouvrage / Nombre d'évènements pluvieux ayant eu lieu durant le mois
	Taux de validité des débits sur le mois	Rend compte de la disponibilité de la donnée sur le mois
	Taux de validité des débits pendant les événements pluvieux	Rend compte de la disponibilité de la donnée sur les périodes d'intérêt que sont les événements pluvieux.

## E) RESULTATS DE L'ETUDE HYDRAULIQUE

### 1) Suivi des mesures

#### a. Bilan sur la métrologie choisie

L'instrumentation sélectionnée pour suivre ces TA était celle classiquement utilisée en hydraulique urbaine car elle est apparue comme étant la plus adaptée en termes de contraintes opérationnelles. Ce choix s'est révélé ici couteux pour des données dont la qualité est limitée. En effet, certains dysfonctionnements ne sont identifiés que lors des pluies, c'est-à-dire lorsque les capteurs sont en fonctionnement, ce qui entraîne une perte de données importante et des retards de maintenance. De plus, les dispositifs d'instrumentation mis en place n'étant pas normalisés pour des raisons de manque de place dans les parties canalisées des ouvrages, une campagne de traçage au NaCl a été réalisée pour vérifier l'exactitude de 2 dispositifs de mesure. Néanmoins, seule la gamme des faibles débits a pu être vérifiée, du fait de la nécessité d'injecter de l'eau en continu pour pouvoir faire les tests dans les conditions adéquates. Enfin, ces tests n'ont pas pu être généralisés à l'ensemble des capteurs mis en place, pour des raisons de faisabilité opérationnelle.

Cependant, le suivi métrologique a permis de constituer une base de données long terme sur ces TA, d'améliorer la compréhension du fonctionnement des ouvrages (paragraphe 2 : Analyse des données, résultats et discussions) ainsi que de détecter certains dysfonctionnements. Par exemple, lors de la tonte d'une des 2 noues, les déchets verts étaient laissés sur place par les équipes en charge de l'entretien peu sensibilisées à la fonction hydraulique de l'ouvrage. Les données ont permis d'identifier un dysfonctionnement du régulateur de débit qui était bouché et d'intervenir avant que celui-ci ne crée un débordement localisé. Le suivi métrologique de la Structure Alvéolaire Ultralégère infiltrante a également permis de détecter un problème d'alimentation de l'ouvrage. En effet, des malfaçons ont

été identifiées au niveau de l'avaloir récupérant les eaux de pluies, ainsi qu'au niveau de la noue assurant le transport des eaux de pluie depuis l'avaloir jusqu'à l'ouvrage. Cette détection a permis de lancer des travaux qui ont résolu une partie du problème.

### b. Sélection des évènements étudiés

A partir du traitement des données réalisé, un nombre fini d'évènements a été étudié pour chaque site. Les évènements conservés sont ceux pour lesquels :

- Les données étaient fiables (pas de panne de capteurs ou de problème induisant une erreur dans les données : présence d'herbes devant le capteur, influence aval sur Vert Castel, etc.)
- Les données étaient cohérentes : les évènements pour lesquels les débits ou volumes aval étaient supérieurs aux débits ou volumes amont n'ont pas été pris en compte dans l'analyse.

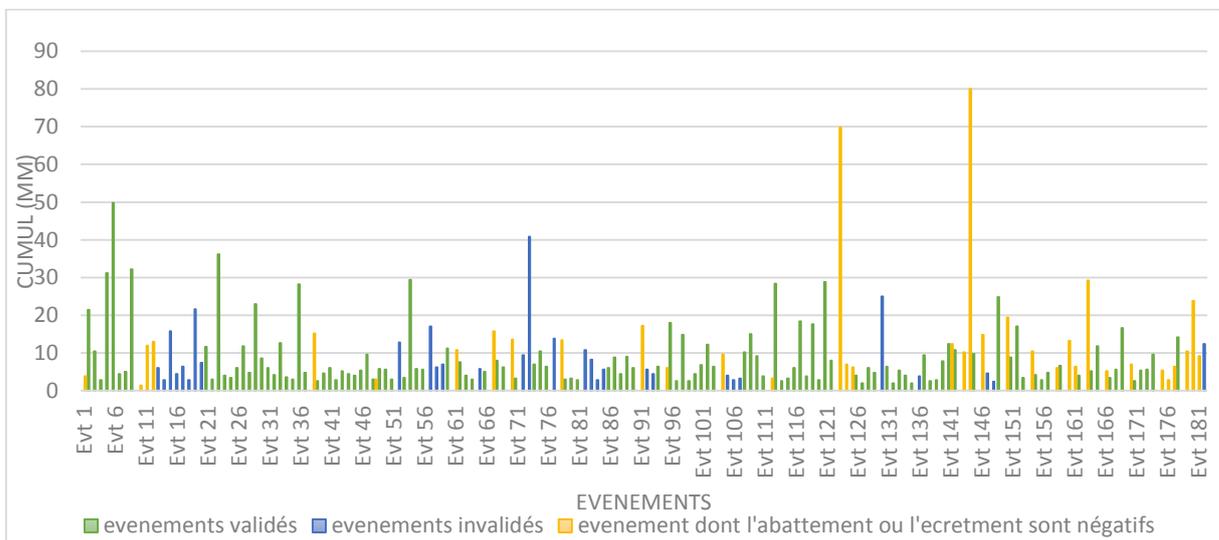
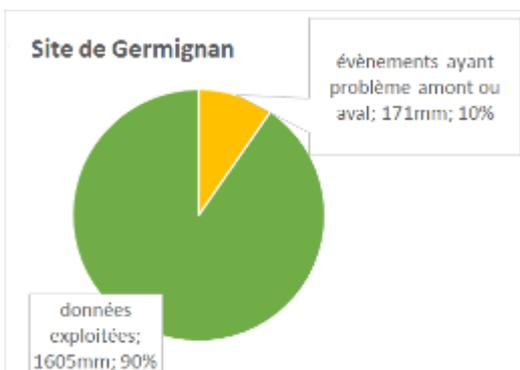
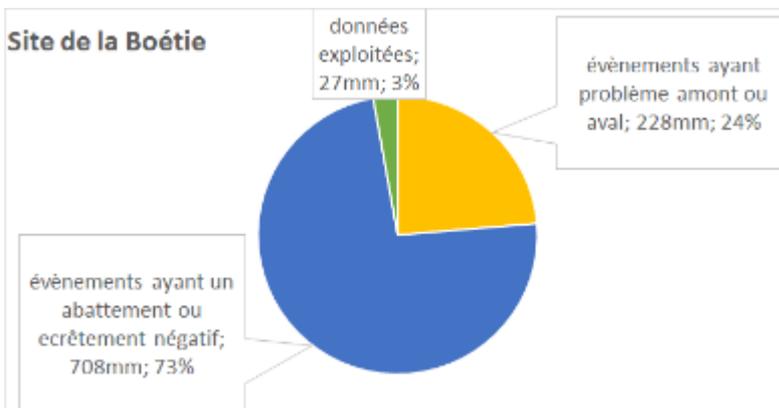
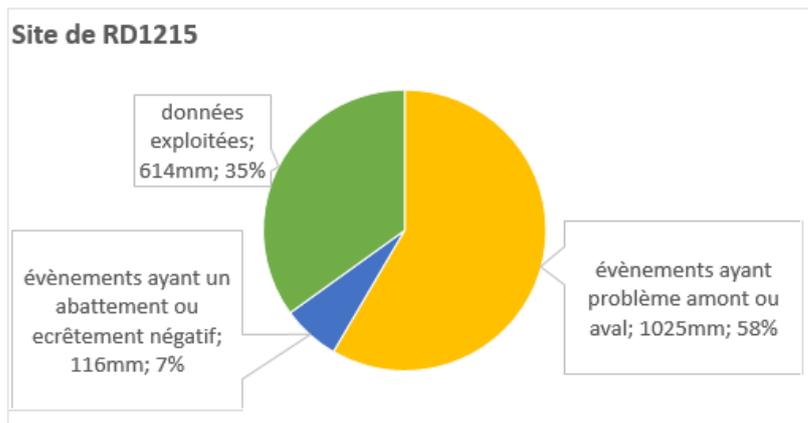
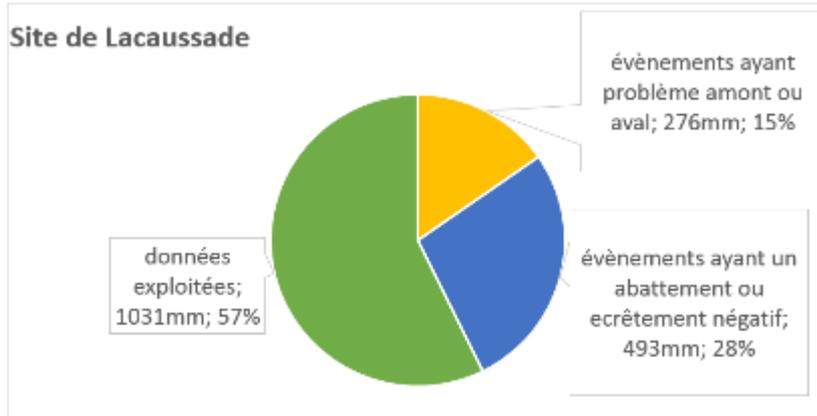


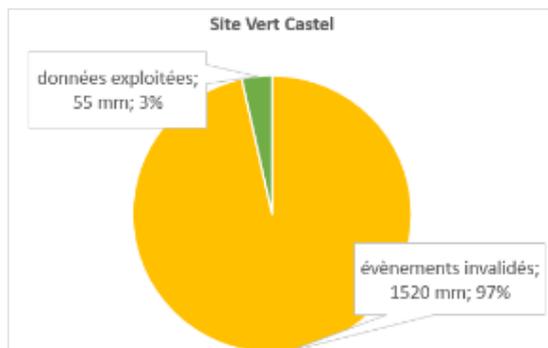
Figure 20 - Evènements totaux et évènements sélectionnés pour l'approche évènementielle sur le site de Lacaussade

Le tableau suivant récapitule le nombre d'évènements finalement sélectionnés pour chaque site :

	Nombre d'évènements total	Cumul de pluie total (mm)	Nombre d'évènements sélectionnés	Cumul de pluie correspondant (mm)
<b>Lacaussade</b>	183	1800	118	1031
<b>RD1215</b>	158	1756	84	1025
<b>La Boétie</b>	94	963	10	228
<b>Germignan</b>	191	1776	179	1605
<b>Vert Castel</b>	98	1520	7	55

Les graphiques ci-dessous donnent la proportion d'évènements exploitables site par site :





Cette étape de choix des évènements à étudier a permis d'utiliser pour l'analyse uniquement des données dont nous avons la maîtrise et la bonne compréhension.

## 2) Analyse des données : résultats et discussions

Les résultats sont explicités ci-dessous, avec un zoom sur Lacaussade. L'ensemble des résultats site par site est ensuite disponible en Annexes 1 et 2 du document, excepté pour La Boétie et Vert Castel compte tenu du faible nombre d'évènements retenus.

### a. Calcul des surfaces actives

L'évolution des surfaces actives calculées en fonction du cumul de pluie évènementiel est présenté ci-dessous. Pour rappel, la surface active est calculée en faisant le rapport du volume mesuré en entrée de l'ouvrage pendant l'évènement pluvieux sur le cumul de pluie du même évènement.

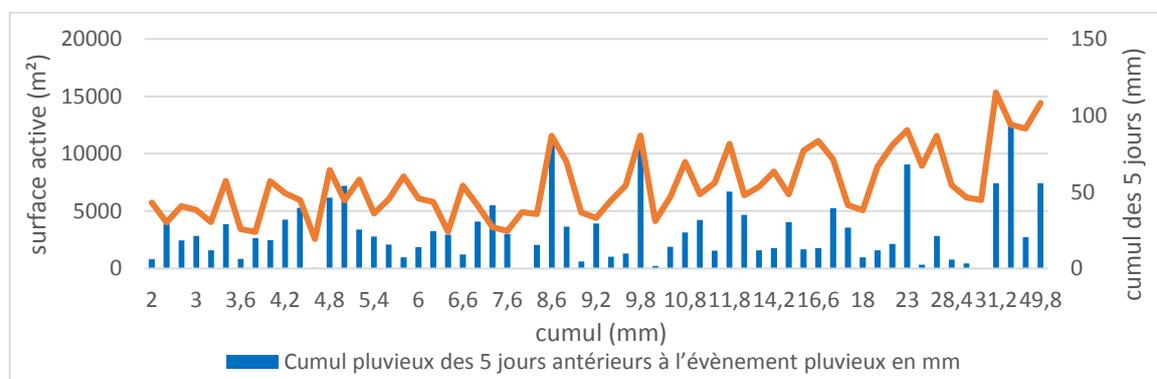


Figure 21 - Surface active et cumul 5 jours antérieurs à l'évènement sur le site Lacaussade, classés par ordre croissant du cumul de l'évènement

Nota : quand plusieurs évènements pluvieux avaient le même cumul, les résultats ont été agrégés puis moyennés.

### Résultats

On observe :

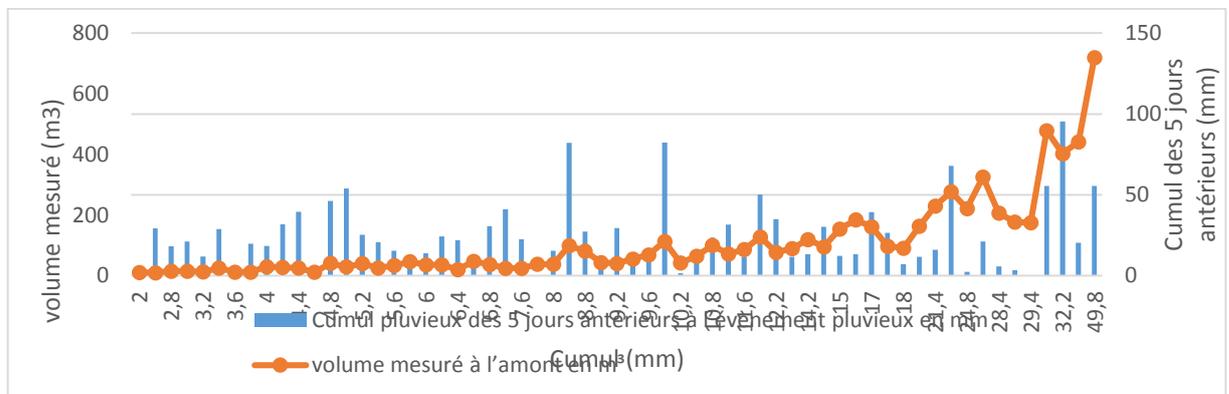
- de fortes fluctuations de la surface active par rapport au cumul de l'évènement pluvieux ;
- que la surface active calculée à partir des mesures de terrain reste très inférieure à la surface active théorique de 22 000 m<sup>2</sup> ;

- une tendance générale ascendante de la surface active en fonction du cumul de l'évènement ainsi que des pics de surface active corrélés aux pics des cumuls 5 jours.

### Discussion

Les deux premiers résultats montrent que la surface active n'est pas une constante, contrairement à l'approximation souvent réalisée lors du dimensionnement des ouvrages. De plus, les calculs théoriques d'estimation de surface active semblent surestimer ce paramètre.

L'augmentation générale de la surface active avec le cumul de pluie de l'évènement et la corrélation entre les pics de surface active et les pics du cumul 5 jours peuvent par ailleurs s'expliquer avec le fait que la saturation des sols provoque l'augmentation du ruissellement et donc de la surface active. Cette analyse semble se vérifier en observant directement l'évolution du volume amont :



*b. Performance de l'ouvrage – approche évènementielle*

**i) Abatement des volumes entre l'amont et l'aval**

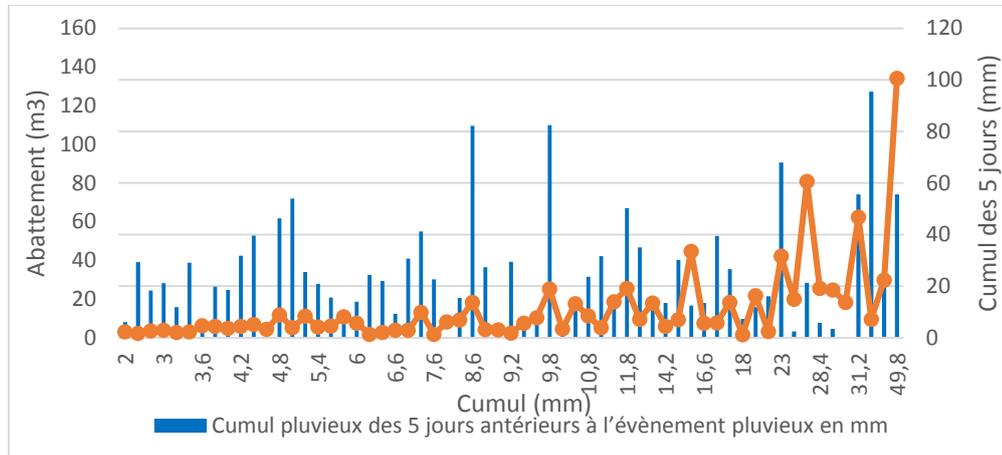


Figure 23 - Volume d'abattement et cumul 5 jours antérieurs à l'évènement sur le site de Lacaussade classés par ordre croissant du cumul de l'évènement

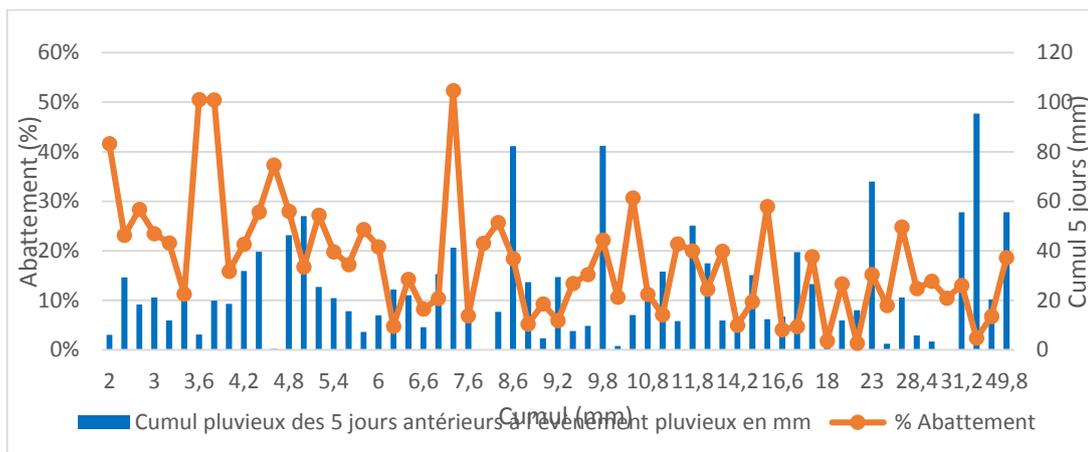


Figure 24 - Pourcentage d'abattement et cumul des 5 jours antérieurs à l'évènement sur le site Clos de Lacaussade classés par ordre croissant du cumul de l'évènement

Nota : quand plusieurs évènements pluvieux avaient le même cumul, les résultats ont été agrégés puis moyennés.

Tableau récapitulatif des résultats obtenus sur l'abattement des volumes amont et aval de Lacaussade (333 m<sup>3</sup> de stockage)

Médiane	Moyenne	Minimum	Maximum
18%	20%	1%	80%
6 m <sup>3</sup>	11 m <sup>3</sup>	0,3 m <sup>3</sup>	134 m <sup>3</sup>

## Résultats

On observe :

- que le volume abattu est compris entre 0,3 et 134 m<sup>3</sup>, avec une moyenne de 11 m<sup>3</sup> qui représente 3% du volume total de l'ouvrage (333 m<sup>3</sup> de stockage) ; le taux d'abattement varie de 1 % à 80 %, avec une moyenne à 20 % ;
- que le volume abattu suit la même tendance et les mêmes fluctuations que celles observées précédemment sur le volume amont.
- une forte fluctuation du pourcentage d'abattement, fluctuation non corrélée au cumul de pluie 5 jours ;
- des pourcentages d'abattement légèrement plus élevés pour les cumuls de pluies faibles.

## Discussion

Le premier résultat montre de bonnes performances hydrauliques de l'ouvrage puisque les ouvrages sont dimensionnés pour des évènements exceptionnels et que les évènements enregistrés étaient des évènements courants. La capacité d'abattement varie cependant énormément selon l'évènement pluvieux.

Le second résultat montre que le volume abattu augmente avec le volume amont, ce qui peut s'expliquer par le fait que plus la noue est remplie, plus la surface de contact entre l'eau et les parois de l'ouvrage est élevée, ce qui entraîne probablement une augmentation des capacités d'infiltration de l'ouvrage. De plus, ce phénomène semble prépondérant par rapport à l'effet de saturation en eau de la TA car le volume abattu ne diminue pas lors des pics de cumuls 5 jours.

Les 2 derniers résultats sont difficiles à analyser. L'indicateur % d'abattement sera donc analysé par la suite avec 2 autres approches : une approche saisonnière et une approche par groupe de pluie.

### ii) Ecrêtement des débits entre l'amont et l'aval

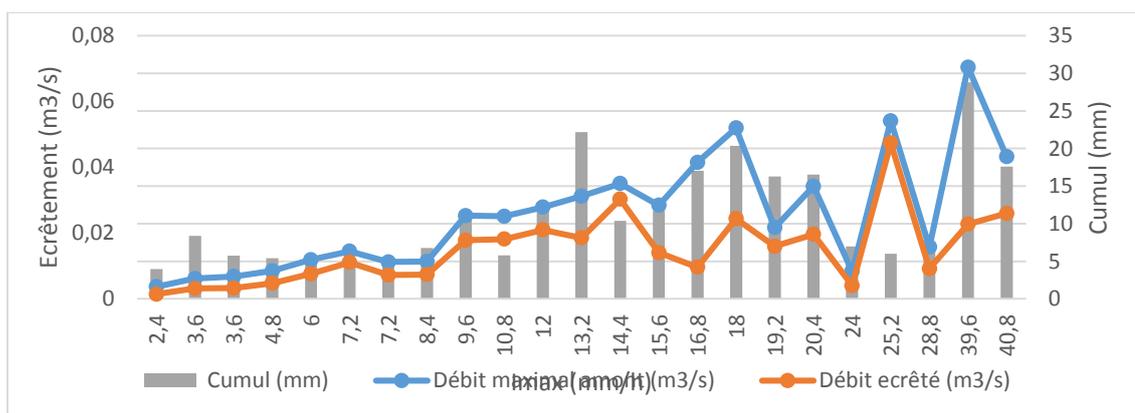


Figure 25 - Ecrêtement de débit, débit maximal amont et cumul de l'évènement classés par ordre croissant de l'intensité maximale événementielle au pas de temps de 10min

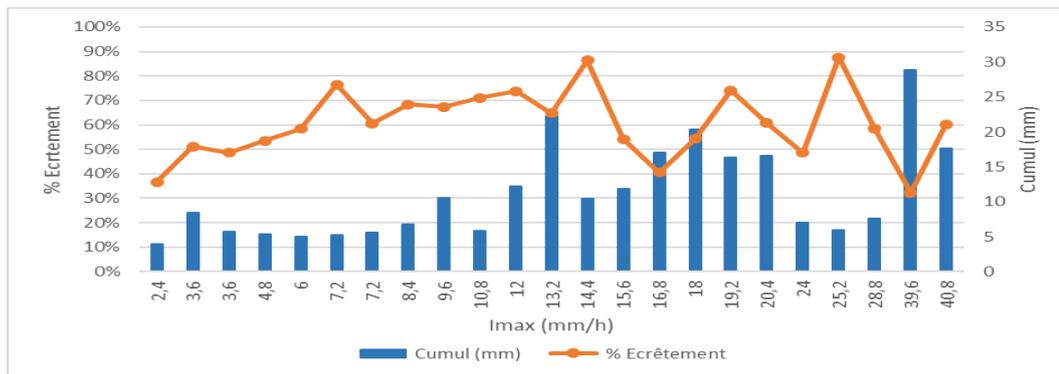


Figure 26 - Pourcentage d'écrêtement (%) et cumul de l'évènement en mm classés par ordre croissant de l'intensité maximale évènementielle au pas de temps de 10min

Nota : quand plusieurs évènements pluvieux avaient le même cumul, les résultats ont été agrégés puis moyennés.

Tableau récapitulatif des résultats obtenus sur l'écrêtement des débits amont et aval de Lacaussade (7,5 l/s de débit de fuite)

Médiane	Moyenne	Minimum	Maximum
58%	56%	11%	92%
6,6 l/s	10,4 l/s	0,23 l/s	47,4 l/s

### Résultats

On observe :

- un Qmax écrêté qui varie de 0,23 à 47,4 l/s, avec une moyenne à 10,4 l/s, à comparer au débit de fuite de 7,5 l/s et aux débits max en entrée qui varient de 1 à 88 l/s, avec une moyenne à 18 l/s,
- un taux d'écrêtement qui varie de 11 et 92% avec une moyenne de 56%,
- une augmentation du Qmax écrêté et du pourcentage d'écrêtement jusqu'à un I<sub>max</sub> de 14,4 mm/h puis une forte fluctuation de ce paramètre.

### Discussion

L'efficacité d'écrêtement de la TA est vérifiée, même si les débits écrêtés dépassent le débit attendu par le limiteur de débit.

L'écrêtement varie énormément sans corrélation évidente avec l'intensité maximale de l'évènement pluvieux ou le cumul de l'évènement. Cependant on voit que l'écrêtement augmente jusqu'à l'I<sub>max</sub> de

14,4 mm/h puis a tendance à varier. Ceci peut s'expliquer par l'activation de la surverse pour des I<sub>max</sub> importants.

### c. Performance de l'ouvrage – approche saisonnière

Ce paragraphe présente les résultats des indicateurs hydrauliques en fonction de la saison. Les évènements pluvieux considérés ici sont les mêmes que dans le paragraphe précédent, cependant, les résultats ont été moyennés de la manière suivante :

- Hiver : évènements des mois de janvier, février, mars des années 2016, 2017 et 2018
- Printemps : mois d'avril, mai, juin des années 2016 et 2017
- Été : mois de juillet, août, septembre des années 2016 et 2017
- Automne : mois d'octobre, novembre et décembre des années 2016 et 2017

Ce regroupement a été effectué car la saison regroupe plusieurs caractéristiques pouvant impacter le fonctionnement des TA, caractéristiques non visibles avec l'approche événementielle précédente.

- La saison estivale est généralement caractérisée par des évènements pluvieux dispersés, températures élevées, une évapotranspiration importante, un assèchement rapide des sols et de la végétation et des nappes au plus bas
- Au contraire, la saison hivernale est généralement caractérisée par un cumul de pluie important, des températures basses, une évapotranspiration faible, des sols engorgés, une végétation dense et des nappes hautes

Les résultats sont présentés pour le site de Lacaussade. Les autres sites sont présentés en Annexes 1 et 2 du document.

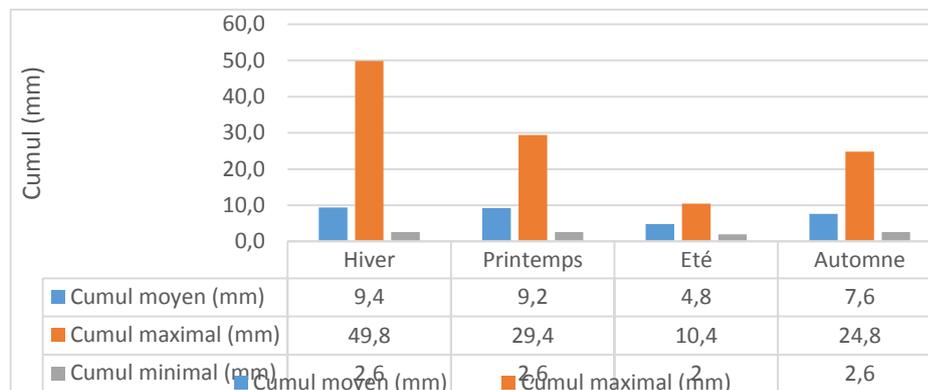


Figure 27 - Cumuls enregistrés selon la saison sur le site de Clos de Lacaussade

La figure suivante présente le volume amont, le volume abattu et le pourcentage d'abattement sur le site de Lacaussade suivant les saisons avec le découpage explicité précédemment :

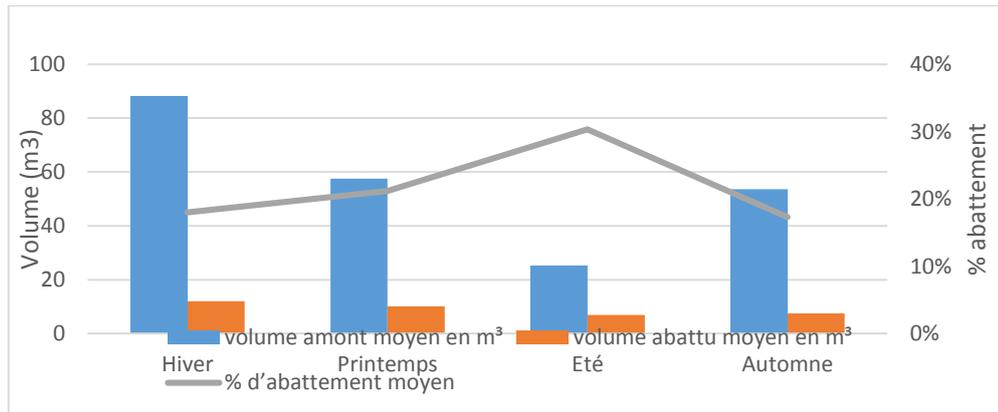


Figure 28 - Volume amont (bleu) volume abattu (orange) et pourcentage d'abattement du site Lacaussade selon la saison

La figure suivante présente le débit max mesuré à l'amont, le débit max écrêté et le pourcentage d'écrêtement sur le site de Lacaussade suivant les saisons avec le découpage explicité précédemment :

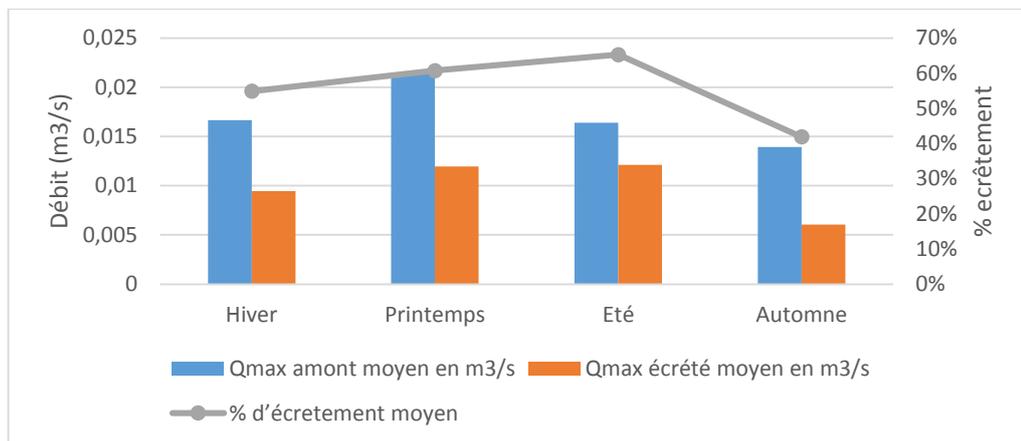


Figure 29 - Débit max amont(bleu) Débit écrêté (orange) et Pourcentage d'écrêtement de débit selon la saison

### Résultats

- La saison d'hiver, caractérisée par un important cumul de pluie moyen, connaît les volumes entrants dans la noue les plus élevés. Cette saison montre une performance d'abattement de volume assez faible (18%) et d'écrêtement de débits à 56% ;
- En été, et au vu des faibles évènements pluvieux sauf quelques orages passagers de la saison, on observe des valeurs maximales d'abattement et d'écrêtement : 30% d'abattement et 65% d'écrêtement ;
- En ce qui concerne le printemps et automne, pour lesquels les évènements pluvieux se ressemblent et sont comparables, une légère différence est observée au niveau de la performance de la noue, les capacités d'abattement et d'écrêtement durant le printemps (21% d'abattement et 61% d'écrêtement en printemps, contre et 17% d'abattement et 42% d'écrêtement en automne).

## Discussion

Mathématiquement, les variations sur les pourcentages d'abattement et d'écrêtement s'expliquent par le fait que les volumes abattus et les débits max écrêtés sont relativement constants au fil des saisons (même si on observe un minimum l'été), alors que les volumes amont et débits max amont varient en fonction de la saison.

Physiquement, cet effet de saturation du débit max écrêté et du volume abattu lors des périodes peut s'expliquer par le fait que :

- l'enchaînement des évènements pluvieux en périodes hivernales dépasse les capacités du site, qui en cette période est sûrement saturé en eau ;
- en été au contraire, on peut supposer que la noue joue pleinement son rôle par l'effet d'assèchement des sols qui augmente ses capacités d'infiltration et de vidange rapide après un évènement pluvieux ;
- la bonne performance d'abattement observée au printemps est probablement due à la végétation qui renforce le processus d'évapotranspiration.

### *d. Performance de l'ouvrage – approche par groupe de pluie*

Une dernière approche a été choisie pour interpréter les résultats consolidés à l'échelle des évènements pluvieux : le classement des évènements par groupes d'évènements similaires.

Un outil développé par le LyRE a permis d'automatiser ce regroupement.

Cet outil utilise comme données d'entrée le cumul, l'intensité maximale (selon un pas de temps de 10min) et la durée de l'évènement. Ces évènements sont, ensuite, soumis à une classification hiérarchique qui a permis d'obtenir plusieurs classes ayant des valeurs comparables de cumuls, d'intensités maximales et de durées. Une fréquence d'apparition de chaque groupe d'évènement est également calculée.

Les groupes d'évènements conservés pour l'analyse ont été choisis comme ayant une fréquence d'apparition minimale d'une apparition annuelle.

#### **i) Groupes de pluie obtenus**

Suivant la méthodologie décrite précédemment, les groupes de pluie obtenus sont présentés ci-dessous :

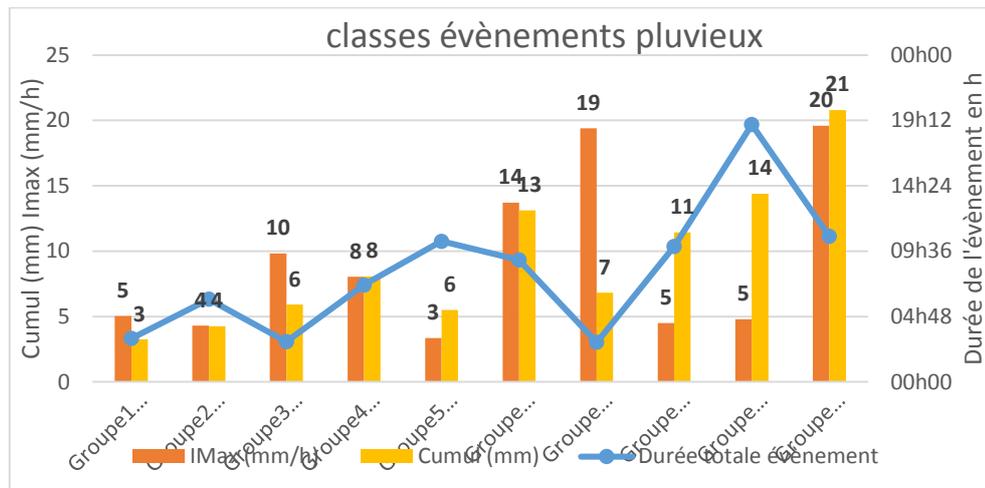


Figure 30 - Caractéristiques des groupes d'événements, en abscisse les noms des groupes et le nombre d'événements de chaque groupe entre parenthèses

Les groupes sont classés de la manière suivante :

- Groupes 1 à 4 (67 évènements) : ces groupes représentent les évènements les plus fréquents, caractérisés par les 3 paramètres faibles à moyens (cumul, Imax et durée)
- Groupes 5 à 9 (31 évènements) : ces groupes représentent les évènements un peu plus rares, caractérisés par au moins un paramètre important
- Groupe 10 (3 évènements) : ce groupe représente les pluies les plus rares, caractérisé par les 3 paramètres importants

La justesse de cette classification se vérifie en représentant les données moyennes de chaque groupe comparativement aux deux extrêmes : données minimales et données maximales, et ce pour chaque paramètre ayant été utilisé. Les figures suivantes présentent ces résultats :

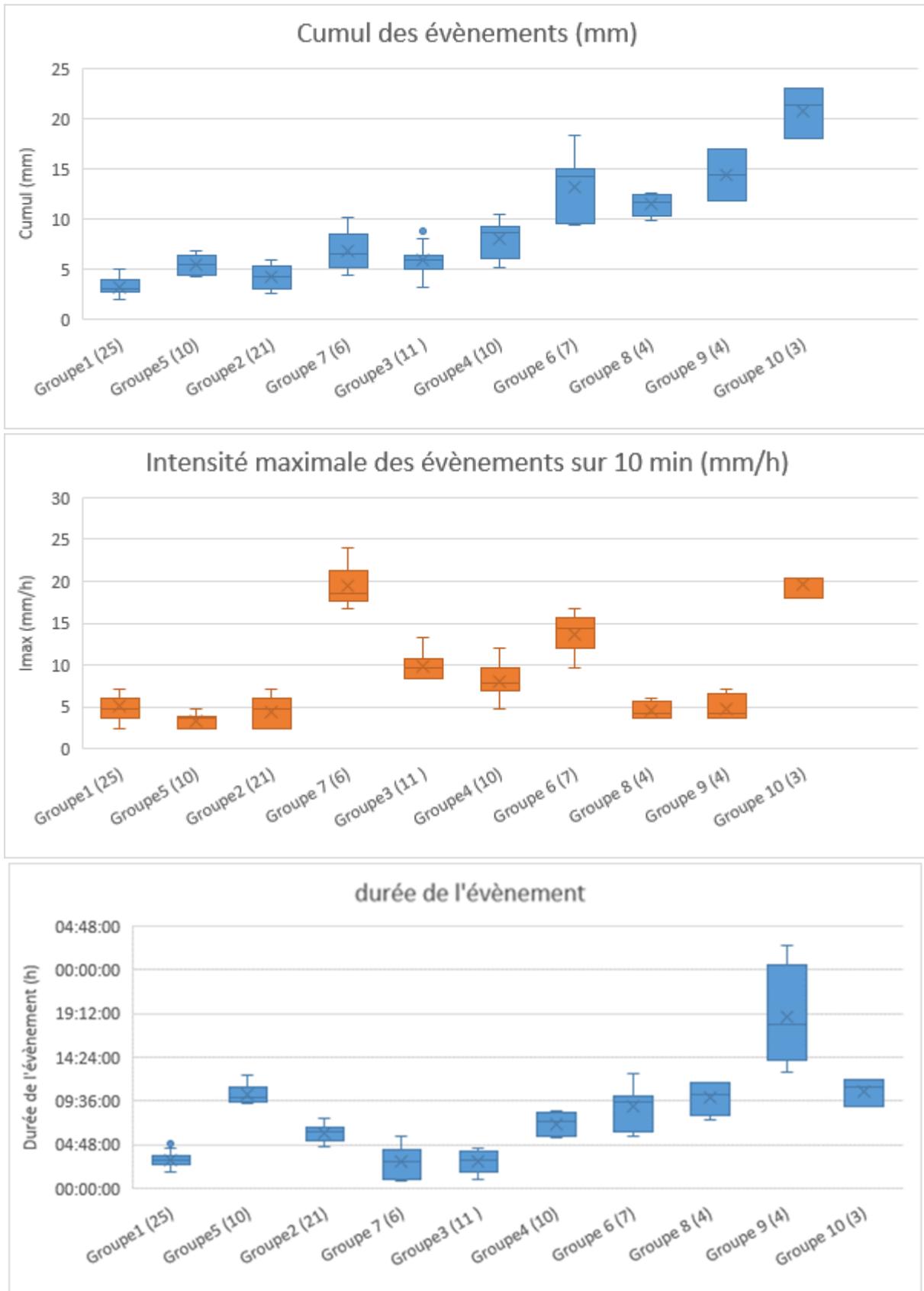


Figure 31 - Moyenne, min., max. et médiane des trois variables de classification pour chaque groupe de pluie

Les graphiques ci-dessus permettent de vérifier la qualité du regroupement. En effet, les groupes créés contiennent des évènements qui ont des caractéristiques semblables c'est pourquoi, on a supposé, que les moyennes seraient représentatives de chaque groupe.

Cette approche n'a pu être appliquée que pour les sites noue de Lacaussade et RD1215 car ce sont les seuls sites pour lesquels on avait suffisamment d'évènements valides à fin mars 2018. Les résultats présentés ici sont ceux du site Lacaussade. Les résultats du site RD1215 sont disponibles en Annexe 1 du document.

## ii) Analyse de l'abattement des volumes par groupe de pluie

La figure suivante représente le taux d'abattement, le volume abattu et le volume amont par groupe de pluie.

Nota : Les résultats sont calculés par évènement, puis moyennés à l'échelle de chaque groupe.

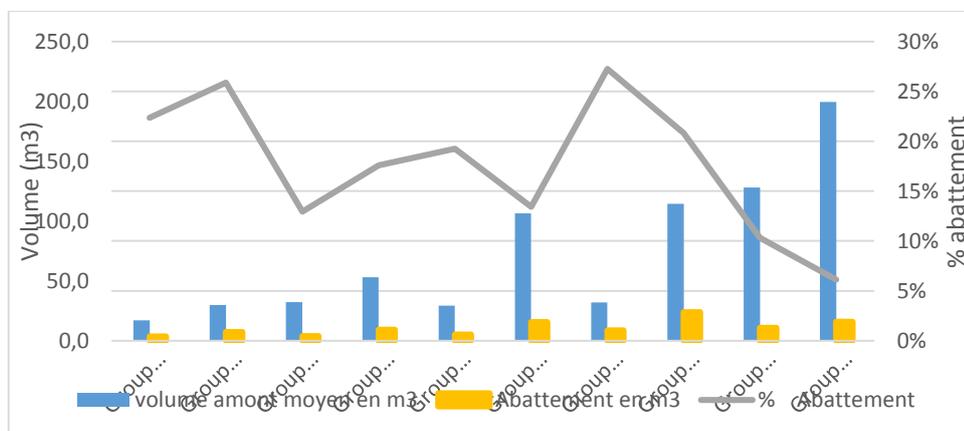


Figure 32 - Evolution du pourcentage d'abattement (trait gris), volume amont (bleu) et volume abattu (jaune) en fonction du groupe d'évènements

### Résultats

On observe :

- Des volumes abattus variant de 3,5 à 23,7 m³, les minimums étant observés pour les groupes 1, 3 et 5 et les maximums pour les groupes 6 et 8 ;
- Des pourcentages d'abattement variant de 6 à 27%, les minimums étant observés pour les groupes 9 et 10 et les maximums pour les groupes 2 et 7.

### Discussion

On peut noter que les évènements les plus rares ne sont pas ceux pour lesquels la performance de la TA en termes d'abattement est la plus élevée contrairement à l'esprit du dimensionnement initial de ces ouvrages (lutte contre les inondations dans le cas d'évènements exceptionnels). Cela pourrait s'expliquer par un effet de saturation de la TA entraînant l'activation de la surverse.

En revanche, on peut noter également que la noue joue un rôle d'abattement des eaux de ruissellement pour tous les évènements courants puisque le taux d'abattement varie de 13 à 27% entre les groupes 1 à 8. Considérant le fait que la TA n'a pas été réfléchi ni dimensionnée pour gérer les pluies courantes, cette performance est intéressante.

### iii) Analyse de l'écrêtement des débits par groupe de pluie

La figure suivante représente le taux d'écrêtement, le Qmax écrêté et le Qmax amont par groupe de pluie.

Nota : Les résultats sont calculés par évènement, puis moyennés à l'échelle de chaque groupe.

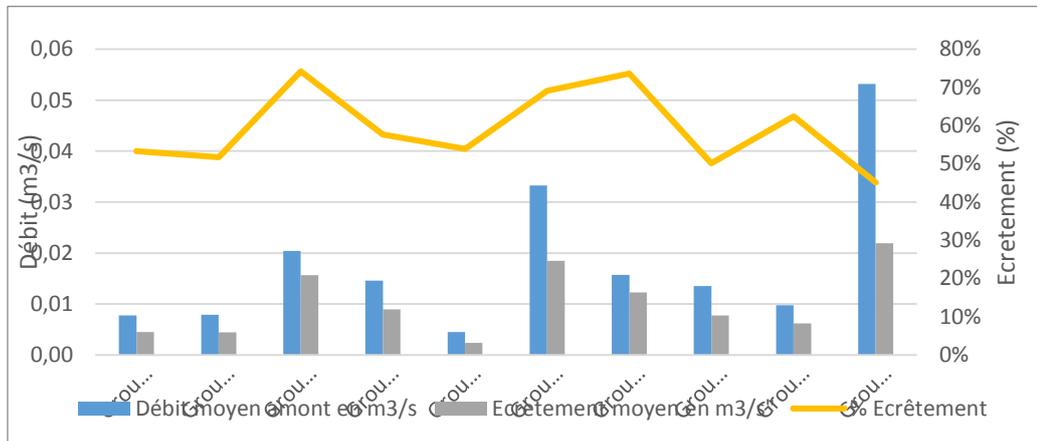


Figure 33 - Evolution du pourcentage d'écrêtement, du débit maximal amont et débit écrêté sur le site de Lacaussade en fonction des groupes d'évènements, le nombre d'évènements de chaque groupe est entre parenthèses

#### Résultats

On observe :

- Des débits écrêtés variant de 0,002 à 0,02 m<sup>3</sup>/s, les minimums étant observés pour les groupes 2 et 5 et les maximums pour les groupes 6 et 10 ;
- Des taux d'abattement variant de 45 à 74%, les minimums étant observés pour les groupes 8 et 10 et les maximums pour les groupes 3 et 7.

#### Discussion

En comparant ces résultats avec ceux obtenus précédemment, on constate des similitudes, notamment que :

- les évènements 5 et 6 font partie de ceux pour lesquels on obtient respectivement les volumes abattus et débit écrêtés minimum et maximum ;
- les évènements 10 et 7 font partie de ceux pour lesquels on obtient respectivement les taux d'abattement et taux d'écrêtement minimum et maximum.

Ceci peut s'expliquer par le fait que :

- les groupes 5 et 6 font partie de ceux ayant respectivement les couples (cumul, I<sub>max</sub>) min et max
- les performances les plus faibles pour le groupe 10, évènements les plus rares, s'expliquent par l'effet de saturation de la TA qui semble plafonner vers un volume abattu et un débit écrêté constant, même si le volume amont et le débit amont augmentent significativement par rapport aux autres évènements. La bonne performance du groupe 7 peut s'expliquer quant à elle par le fait que ce sont des évènements avec des cumuls moyens mais des pointes de débit

importantes. En effet, le rôle d'écêtement de la noue entraîne une accumulation de l'eau dans l'ouvrage, ce qui augmente la surface de contact et donc sa capacité d'infiltration et d'évapotranspiration. Cela entraîne une augmentation de l'abattement non « limitée » par un cumul important qui activerait la surverse.

Plus globalement, on peut constater que l'écêtement est tout à fait satisfaisant puisque toujours supérieur à 45% quel que soit le groupe d'évènement. Là aussi, le groupe 10 d'évènements plus rares n'est pas celui pour lequel on obtient la meilleure performance contrairement à ce dont nous aurions pu attendre. Le % d'écêtement semble par ailleurs être maximal quand le débit amont est important mais que le volume amont reste modéré (car des groupes 3 et 7) ce qui peut s'expliquer par la non-activation de la surverse pour ces évènements.

### *e. Conclusions sur l'analyse des données*

Les résultats - tous sites confondus - montrent une **grande variabilité des surfaces actives selon l'évènement pluvieux** ; la prise en compte d'historiques de pluies avec des jeux de surfaces actives, différentes en fonction de la pluie, paraît nécessaire pour le dimensionnement des ouvrages (la surface active étant souvent considérée comme un paramètre fixe lors des dimensionnements). De plus, les valeurs obtenues restent significativement inférieures aux calculs théoriques d'estimation de la surface active pour chacun des sites. Cependant, il convient de noter que seuls des évènements courants ont été suivis, la période de retour maximale des évènements pluvieux suivis étant de 2 ans alors que les ouvrages sont généralement dimensionnés pour des périodes de retour 10 ans.

Les indicateurs ont également permis de calculer et comparer les performances des ouvrages instrumentés en amont et en aval en termes d'abattement des volumes et d'écêtement des débits. Ils montrent des **performances très satisfaisantes pour les évènements courants**, bien qu'ils soient dimensionnés pour écêter les évènements exceptionnels. De plus, la performance obtenue sur l'écêtement (de l'ordre de 60% en moyenne sur les 2 ouvrages qui ont pu être suivis précisément) est supérieure à celle obtenue sur l'abattement (de l'ordre de 40% en moyenne sur les 2 ouvrages qui ont pu être suivis précisément), ce qui est cohérent avec le principe de dimensionnement appliqué (écêtement du débit de fuite en sortie des ouvrages plutôt que la limitation du volume ruisselé).

Enfin, le suivi métrologique de ce type d'ouvrage, bien que lourd à mettre en place et donc impossible à généraliser avec de tels équipements de mesure, s'est avéré très instructif sur le fonctionnement des TA et a permis de **détecter certaines malfaçons de conception des ouvrages**.

## F) SUIVI QUALITE DES OUVRAGES

Afin d'analyser les performances des TA pour l'abattement et le transfert des polluants et micropolluants, des prélèvements étaient prévus sur les cinq sites. Le nombre et la nature des échantillons prélevés ont été définis dès le début de l'Observatoire. Ces prélèvements sont réalisés selon des protocoles adaptés aux analyses des micropolluants.

### 1) Campagnes prévues et réalisées

Les campagnes prévues dans le cadre de l'Observatoire des TA sont présentées dans le tableau suivant. La nature des campagnes varie selon les sites. Les campagnes initialement prévues sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Sites	Prélèvements prévus en début de projet	
<b>Bois de Germignan</b>	7 prélèvements EP 6 prélèvements eau de nappe	18 prélèvements sol et plantes à répartir entre les deux sites
<b>RD1215</b>	7 prélèvements EP amont + 7 prélèvements EP aval	
<b>Clos Lacaussade</b>	7 prélèvements EP amont + 7 prélèvements EP aval	
<b>Vert Castel</b>	7 prélèvements EP amont + 7 prélèvements EP aval	
<b>La Boétie</b>	7 prélèvements EP amont + 7 prélèvements EP aval	

Les campagnes de prélèvements s'échelonnent en théorie sur toute la durée du projet. Cependant, diverses difficultés ont empêché d'effectuer la totalité de ces campagnes. Les problèmes rencontrés étaient :

- Contraintes liées au protocole : l'évènement pluvieux doit arriver après une période de temps sec, être d'un cumul suffisant, etc.
- Problèmes organisationnels : l'évènement se passe durant le week-end, contraintes de planning de la SGAC, ...
- Problèmes matériels : indisponibilités des capteurs sur sites, problème sur les préleveurs...
- Problèmes hydrauliques : mauvaises prévisions météorologiques (cumul de pluie insuffisant), la noue de Vert Castel en charge à cause de remontée de nappe, faible alimentation de la SAUL Boétie (voir paragraphe B.3).

Le tableau ci-dessous présente les campagnes qui ont finalement été réalisées tous types confondus (prélèvements d'eaux pluviales, prélèvements de sols, plantes, racines et prélèvements d'eaux de nappes) :

Sites	Prélèvements <u>réellement effectués</u>	
<b>Bois de Germignan</b>	6 prélèvements EP 6 prélèvements eau de nappe (3 sur P29 et 3 sur P30)	15 prélèvements sol et plantes (6 sur les plantes du bassin RD1215 et 9 sur le sol du bassin de Germignan)
<b>RD1215</b>	2 prélèvements EP amont + 2 prélèvements EP aval	
<b>Clos Lacaussade</b>	6 prélèvements EP amont + 5 prélèvements EP aval	
<b>Vert Castel</b>	0 prélèvement EP amont + 0 prélèvement EP aval	
<b>La Boétie</b>	1 prélèvement EP amont + 0 prélèvement EP aval	

Le tableau suivant précise les campagnes réalisées et le nombre d'échantillons obtenus pour les eaux pluviales :

Date de la campagne	Sites prélevés	Nombre d'échantillons
<b>07/11/2016</b>	Lacaussade (amont et aval), Germignan	3
<b>28/02/2017</b>	Lacaussade (amont et aval), Germignan, RD1215 (amont et aval)	5
<b>19/05/2017</b>	Lacaussade (amont et aval), Germignan, RD1215 (amont et aval)	5
<b>01/02/2018</b>	Germignan	1
<b>15/02/2018</b>	Germignan, Lacaussade (amont et aval)	3
<b>06/03/2018</b>	Lacaussade (amont et aval)	2
<b>07/04/2018</b>	Boétie amont, Lacaussade amont, Germignan	3
<b>7 campagnes au total</b>		<b>22 échantillons de temps de pluie</b>

Le tableau suivant précise les campagnes réalisées et le nombre d'échantillons obtenus pour les eaux de nappes :

Date de la campagne	Sites prélevés	Nombre d'échantillons
<b>13/07/2017</b>	Piézomètres P29 et P30	2
<b>26/06/2018</b>	Piézomètres P29 et P30	2
<b>05/07/2018</b>	Piézomètres P29 et P30	2
<b>3 campagnes au total</b>		<b>6 échantillons d'eaux de nappe</b>

Le tableau suivant précise les campagnes réalisées et le nombre d'échantillons obtenus pour les sols et plantes :

Date de la campagne	Sites prélevés	Nombre d'échantillons
<b>21/07/2017</b>	Sol du bassin de Germignan : Témoin S4, Point S5 et point S6 (3 horizons chacun)	9
<b>05/09/2017</b>	Bassin RD1215 : plantes-parties aériennes (3 répliqués), racines (3 répliqués)	6
<b>2 campagnes au total</b>		<b>15 échantillons de sols et plantes</b>

## 2) Protocole de prélèvement

### a. Protocole de prélèvement des eaux pluviales

Le protocole de prélèvement a été défini dans le cadre du projet REGARD. Il est disponible en Annexe 3 du document. Les principaux choix définis dans ce protocole sont présentés ci-dessous.

Des contraintes ont été définies sur le **type de pluie** déclenchant un prélèvement :

- après une période de temps sec de 3 jours minimum, le temps sec étant défini comme un cumul inférieur à 1 mm sur un pas de temps de 2 heures
- sur prévision de pluie dont le cumul est estimé à 10 mm minimum pour une période de 24h

Ainsi, une surveillance régulière et précise des prévisions de pluie est nécessaire avant de déclencher une campagne de prélèvement.

Les prélèvements sont réalisés **proportionnels au débit** de manière à ne pas avoir à reconstituer manuellement des échantillons moyens (induisant un biais trop important pour des analyses micropolluants) et d'avoir un échantillon représentatif de l'évènement.

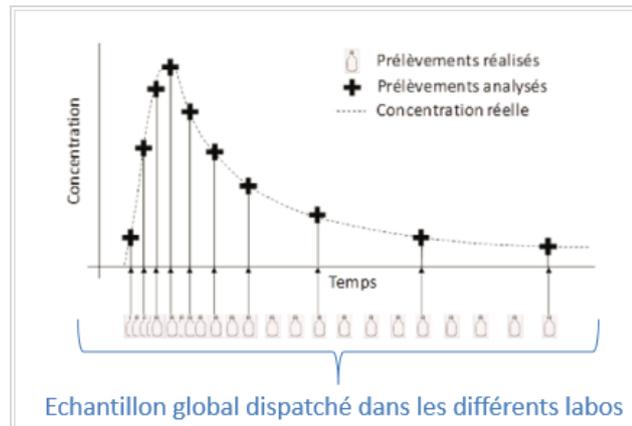


Figure 34 - Principe du protocole de prélèvement proportionnel au débit

Le principe consiste à prélever dans un flacon, une quantité fixe d'eau tous les  $x$  m<sup>3</sup>, avec un asservissement à un débitmètre (impulsions vers le préleveur). Elle est rapide mais il faut une mesure de débit fiable en temps réel et un pas de volume adapté et bien respecté. Elle permet d'avoir un échantillon à analyser sans manipulation dans un seul flacon (source : OTHU – Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine).

Pour déterminer les volumes à prélever, on calcule des surfaces actives de chaque site à partir des données hydrauliques enregistrées lors d'évènements pluvieux indépendants :

$$Sa = \frac{Volume}{h_{tot}}$$

Volume = volume enregistré pendant l'évènement pluvieux en m<sup>3</sup>

$h_{tot}$  = cumul de pluie enregistré pendant l'évènement pluvieux en mm

Sa = Surface active en m<sup>2</sup>

Sa (m<sup>2</sup>) est obtenue à partir du coefficient directeur de la régression linéaire.

Le volume transitant dans l'ouvrage lors du prélèvement peut ainsi être anticipé en multipliant la surface active calculée par le cumul de précipitation prévu. Les prélèvements se feront ensuite tous les tous les  $x$  m<sup>3</sup> avec  $x = \text{volume prélevé pour 1 prélèvement} \times \text{volume transitant} / \text{volume du préleveur}$ .

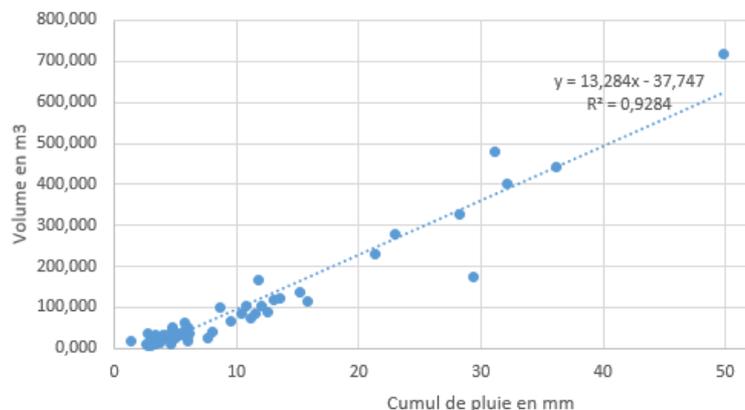


Figure 35 - Exemple de calcul de surface active à partir des données enregistrées

### Tests du protocole

Le protocole a été testé puis affiné avant d'être acté et mis en place de manière opérationnelle. Les différents tests ont permis de corriger les pas de temps d'acquisition des capteurs pendant la campagne et de détecter d'éventuels problèmes de matériels ou logistiques.

Dans la majorité des cas, ce protocole s'est avéré satisfaisant même si de nombreuses données historiques sont nécessaires pour avoir un coefficient de régression linéaire et donc une programmation fiable. La limite de cette méthode est la donnée de prévision de pluie qui est souvent approximative.

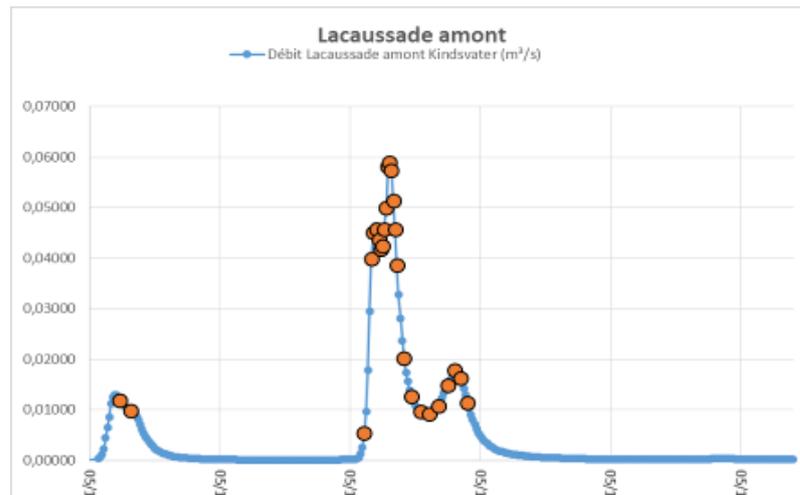


Figure 36 - Exemple de répartition des points de prélèvement sur un hydrogramme. Ici Lacaussade amont lors de la campagne du 5 novembre 2016

Sur la Figure précédente, on observe que les points de prélèvement sont bien répartis sur la totalité de l'évènement.

#### *b. Protocole de prélèvement des eaux de nappes*

Pour compléter l'étude du devenir des micropolluants présents dans les eaux pluviales au niveau du bassin d'infiltration du Bois de Germignan, trois campagnes de prélèvements de nappe ont été effectuées. En effet, sur ce site, la « sortie » des eaux pluviales est la nappe. Le sol au niveau du bassin étant sableux, il se pourrait que le temps d'infiltration des eaux soit court, augmentant le risque de contamination de la nappe.

En ce qui concerne les suivis de nappes au niveau des bassins d'infiltration, un plan d'expérimentation mené par l'OTHU a montré des modifications de conductivité, température, pH, oxygène dissous et potentiel d'oxydo-réduction suite à l'infiltration d'eaux pluviales. L'influence des bassins d'infiltration sur les nappes sous-jacentes peut donc être mise évidence. Cependant, très peu d'études décrivent les impacts de ces infiltrations sur la qualité (concentrations en polluants) des eaux souterraines et lorsqu'elles existent, ces études montrent des impacts plutôt limités, comme Barraud *et al* pour les ETM. Toutefois, peu d'études concernent les micropolluants organiques tels les pesticides ou les médicaments.

Les prélèvements d'eau de nappe se font au niveau de piézomètres, qui sont des forages non exploités permettant de mesurer le niveau de l'eau souterraine et donc de renseigner sur l'exploitation de la nappe. Chaque piézomètre est repéré par un code et enregistré dans le dossier « Banque du Sous-Sol » (BSS), consultable sur le site internet d'Infoterre.

Dans la zone du bassin de Germignan, des études ont montré que l'écoulement de la nappe se fait globalement du nord au sud. Initialement, des prélèvements d'eau de nappe avaient été envisagés en amont et en aval hydraulique du bassin d'infiltration. Cependant aucun piézomètre n'a été identifié comme suffisamment proche de l'amont du bassin pour pouvoir faire cette comparaison amont/aval. De plus, suite à des discussions avec des chercheurs de l'ENSEGID il est apparu difficile de connaître précisément la direction de l'écoulement de la nappe. D'autres projets de recherche menés dans le secteur se sont heurtés à cette difficulté. Pour cette raison, il a été décidé que **seule une caractérisation de la nappe serait faite sur les piézomètres disponibles situés le plus vraisemblablement à l'aval du bassin.**

Plusieurs piézomètres sont présents dans la zone du bassin de Germignan, comme le montre la figure suivante :

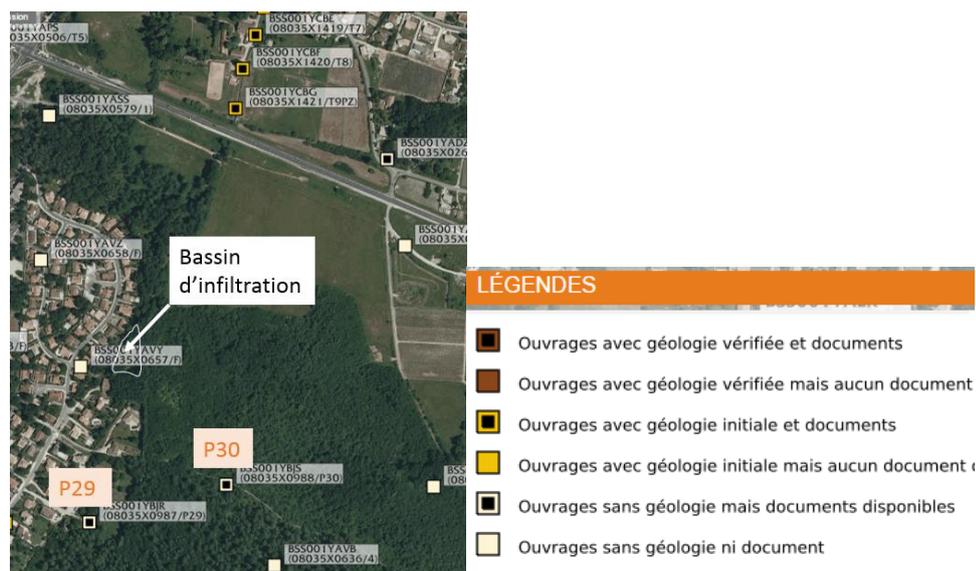


Figure 37 - Localisation des piézomètres en amont et en aval du bassin. Source : Infoterre

Les piézomètres choisis pour les campagnes de prélèvement sont ceux situés à l'aval hydraulique du bassin de Germignan (P29 : code BSS001YBJS, et P30 : BSS001YBJR, sur la figure ci-dessus).

Dans l'idéal, il aurait fallu prélever de l'eau de nappe suite à un événement pluvieux conséquent ayant donné lieu à une campagne d'échantillonnage d'eaux pluviales au niveau du bassin, afin de voir l'influence de l'infiltration des pluies arrivant dans le bassin sur la qualité de la nappe. Cela supposait de connaître le temps que mettent les eaux infiltrées à atteindre la nappe et à se retrouver au niveau. Cette durée s'appelle le temps de transfert. De la même manière, il aurait fallu, avant l'épisode pluvieux, prélever de l'eau de nappe afin de connaître sa concentration initiale en micropolluants.

Afin de confirmer la direction d'écoulement de la nappe et d'estimer le temps de transfert entre le bassin d'infiltration et les piézomètres aval, un traçage naturel a été mis en place. Ce type de traçage repose sur la différence de concentrations en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{HCO}_3^-$  dans les eaux de pluie et dans les eaux souterraines. Les eaux pluviales, peu chargées en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{HCO}_3^-$ , entraînent une chute de la conductivité mesurée dans la nappe. Une des difficultés est qu'en analysant la conductivité au niveau des piézomètres aval, on a aussi l'influence des eaux pluviales qui se sont infiltrées sur l'ensemble de la zone, et pas seulement dans le bassin. Cependant, compte tenu des volumes d'eau infiltrés dans le bassin lors des événements pluvieux (à titre d'exemple :  $101 \text{ m}^3$  pour l'épisode pluvieux du 18/05/17), il devait être possible d'identifier la chute dans la conductivité causée par l'infiltration au niveau du bassin. Dans cette optique, le 17/05/17, deux sondes conductimétriques ont été posées dans les piézomètres P29 et P30. Les données de conductivité ont été enregistrées en continu dans les piézomètres jusqu'au 13/07/17, date à laquelle elles ont été collectées. Cependant, ces données n'ont pas permis de déterminer le temps de transfert. Aucune tendance particulière n'a été observée pour la conductivité au niveau de P30. Pour P29, contrairement à ce qui était attendu, ce sont plutôt des pics dans la conductivité qui ont été observés. Les graphiques représentant l'évolution de la conductivité en fonction du temps pour les deux piézomètres, ainsi qu'un schéma représentant les résultats normalement attendus sont présentés en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** 4. L'hypothèse avancée pour expliquer les résultats en P29 est que suite à la période sèche, assez longue cette année, les précipitations ont mis en solution les ions de la zone non saturée et ainsi fait augmenter la conductivité électrique après chaque épisode pluvieux. Pour P30, aucune explication n'a été envisagée à ce jour, sauf peut-être une dérive du capteur.

**Face à ce constat il a été décidé de réaliser des prélèvements à une année d'intervalle, sans chercher à corrélér les dates avec des événements pluvieux spécifiques.** Ainsi, les 13/07/17, 26/06/2018 et 05/07/2018, des prélèvements d'eau de nappe ont donc été faits au niveau des piézomètres P29 et P30, après avoir vidangé trois fois ces derniers, afin de prélever réellement l'eau de nappe et non de l'eau stagnante. Les volumes d'eau de nappe suivants ont été livrés aux laboratoires : 250 ml/point pour les analyses sur les métaux ; 500 ml/point pour les analyses sur les polluants organiques. Les analyses se concentreront sur la phase dissoute. Des traceurs seront recherchés pour les médicaments, les pesticides et les HAP.

### *c. Protocole de prélèvement des sols*

Des analyses de sols (ou de dépôts sédimentaires) ont été réalisées en complément des analyses d'eaux pluviales sur le site du bassin d'infiltration de Germignan afin de préciser le devenir des micropolluants véhiculés par les eaux pluviales.

Le protocole d'échantillonnage de sol sur le bassin d'infiltration a été élaboré avec les partenaires de REGARD puis mis en pratique le 21/07/2017.

Afin d'explorer la rétention des micropolluants par le sol, il a été décidé de concentrer les prélèvements dans la zone fréquemment sollicitée, soit à proximité immédiate du sillon creusé par l'eau. Ce sillon s'étend jusqu'à un tube PVC, situé à une dizaine de mètres de la canalisation. Un échantillon témoin a également été prélevé dans une zone du bassin éloignée du point de rejet. Il a été décidé de tester

l'hypothèse d'une rétention différente des micropolluants selon les horizons du sol : chaque point de prélèvement devait être échantillonné à plusieurs profondeurs correspondant aux horizons. L'organisation du sol peut varier sur quelques mètres, surtout qu'il s'agit d'une zone sollicitée par les rejets d'eaux pluviales depuis les années 1980, ce qui a pu entraîner des modifications du sol. Dans un premier temps et afin de mettre en évidence les horizons de sol, trois sondages « tests » (sondages S1, S2 et S3 sur les figures suivantes), ont été réalisés à la tarière le long du sillon (du côté gauche).

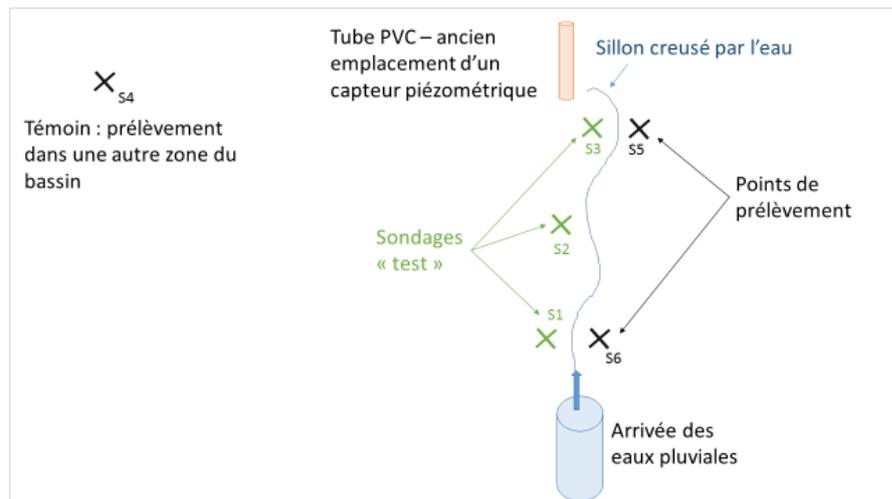


Figure 38 - Positionnement des sondages "test" et des sondages ayant servi aux prélèvements



Figure 39 - Positionnement des sondages dans le bassin d'infiltration

Ces trois sondages « test » ont révélé trois horizons de sol bien distincts décrits dans le tableau en Annexe 5.

Pour tous les échantillons et pour éviter tout risque de contamination, le sol en contact avec la tarière a, dans la mesure du possible, été exclu des échantillons. Ensuite, la méthode du quartage a été appliquée pour constituer les échantillons, dont les masses finales avaient été décidées avec les partenaires du projet REGARD : 50 g de sol pour l'analyse des polluants organiques ; 10 g de sol pour

l'analyse des métaux (des mesures granulométriques ont également été effectuées afin de définir la texture des sols collectés).

L'étape de quartage s'est faite sur une bâche en plastique recouverte de papier kraft et en utilisant des cuillères en inox. La tarière et le matériel utilisé lors du quartage ont été rincés à l'eau déminéralisée entre chaque prélèvement et le papier kraft renouvelé. Le flaconnage adapté a été fourni par les laboratoires : barquettes en aluminium pour les analyses sur les polluants organiques et sachets plastiques pour les analyses sur les métaux.

A la fin de la campagne d'échantillonnage, les sondages ont été rebouchés pour éviter de créer un écoulement préférentiel de l'eau à leur niveau.

Initialement, seuls six échantillons devaient être prélevés sur ce site, en trois points de prélèvements et à deux profondeurs différentes. Sur le terrain, les sondages « tests » ayant montré trois horizons bien distincts, il a été décidé de prélever dans ces trois horizons et d'augmenter le nombre d'analyses pour un total de neuf analyses récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Point de prélèvement	Nombre d'échantillons
Témoin S4	3 horizons
Point S5	3 horizons
Point S6	3 horizons
<b>TOTAL</b>	<b>9 échantillons</b>

#### *d. Protocole de prélèvement des plantes et racines*

Des analyses de plantes ont été réalisées en complément des analyses d'eaux pluviales sur le site du bassin de la RD1215 afin de préciser le devenir des micropolluants véhiculés par les eaux pluviales.

Le protocole d'échantillonnage de sol sur le bassin RD1215 a été élaboré avec les partenaires de REGARD puis mis en pratique le 05/09/2017.

Le bassin RD1215 est un bassin sur membrane et roseaux alimenté par des eaux de voirie et en surverse vers un bassin d'infiltration. Ce bassin semble avoir été conçu dans une optique de dépollution car c'est ainsi qu'il est dénommé sur le SIG, sans qu'une étude de dimensionnement permette de s'en assurer (bassin construit dans les années 80). L'enjeu de l'expérimentation sur ce site est d'évaluer la contribution des différents compartiments de ce bassin sur le devenir des micropolluants. Les « compartiments » font référence ici à tout ce qui se trouve au-dessus de la bâche qui imperméabilise le bassin, à savoir :

- le « sol » ou « dépôts sédimentaires » même s'il s'agirait plutôt d'un mélange entre ce qui a éventuellement été déposé au-dessus de la bâche lors de la construction du bassin dans les années 1980 et les dépôts qui se sont accumulés depuis (végétaux, particules...).
- Les plantes : la végétation du bassin de dépollution est largement monospécifique (genre *Phragmites* espèce *australis*).

En accord avec la littérature et afin d'être en mesure de préconiser un mode de gestion de la végétation (fauche régulière avec exportation de la biomasse hors du site par exemple), il a été décidé de distinguer les parties aériennes et parties souterraines des plantes. Une autre possibilité, évoquée en réunion de travail, aurait été de différencier la partie aérienne des plantes en plusieurs sous-parties (tiges, feuilles, fleurs). Cependant, si la dissociation entre partie aérienne et racinaire a un intérêt pour les préconisations d'entretien du bassin, découper la partie aérienne en sous-parties n'aurait pas pu aboutir à des préconisations d'entretien supplémentaires.

Les dépôts sédimentaires n'ont pas pu être prélevés. Les deux équipements testés n'ont pas permis d'aboutir à des échantillons satisfaisants. Le dépôt était trop liquide pour utiliser la tarière ou la pelle et il y avait trop de racine pour le faire avec un préleveur à vase.

Pour chaque compartiment, un échantillon moyen a été constitué à partir de cinq points de prélèvements identifiés lors d'une visite de terrain (Figure a ci-dessous), afin de réduire l'influence de l'hétérogénéité spatiale potentielle au sein du bassin.

En chaque point, ont été prélevés trois roseaux toujours au même stade de croissance et mesurant environ 1,80m (Figure b). Ainsi, en chaque point, ont été prélevés :

- les parties souterraines des trois plantes rincées à l'eau déminéralisée pour éviter de contaminer l'analyse par des fragments de sol
- les parties aériennes des trois mêmes plantes, elles aussi rincées à l'eau déminéralisée



*Figure 40 - Points de prélèvement identifiés lors d'une visite de terrain*



*Figure 41 - Roseaux prélevés lors d'une visite de terrain*

Après rinçage, les végétaux (l'ensemble des 15 roseaux) sont pesés et découpés en petits morceaux pour former les échantillons. Avec ce protocole, se pose la question de la constitution d'un échantillon représentatif de l'ensemble de la plante. Il a été décidé de reconstituer les échantillons « partie aérienne » au prorata de la masse des tiges et des feuilles par rapport à la masse des roseaux (Figure suivante « Stratégie d'échantillonnage pour les parties aériennes »). A titre d'exemple, si le poids des

15 roseaux est de 10kg, le poids des tiges de 8kg et celui des feuilles de 2kg et si l'on veut constituer un échantillon de 100g, alors cet échantillon sera constitué de 80g de tige et de 20g de feuilles.

De plus, il a été décidé avec les partenaires de REGARD de réaliser seulement une campagne, mais de multiplier le nombre d'échantillons prélevés dans chaque compartiment afin de s'assurer que les échantillons sont bien homogènes et que le protocole n'induit pas trop de variabilité. Ainsi, on prélèvera chaque échantillon constitué du mélange prélevé en 5 points du bassin sera divisé en 3 pour avoir un réplica des analyses :

Type de prélèvement	Nombre d'échantillons
Mélange des parties aériennes	3 réplicas
Mélange des parties souterraines	3 réplicas
<b>TOTAL</b>	<b>6 échantillons</b>

Pour les échantillons de dépôts, une étape de quartage a permis d'aboutir aux quantités suivantes : 50 g de dépôts pour l'analyse des polluants organiques ; 10 g de dépôts pour l'analyse des métaux. Le quartage s'est fait sur une bâche en plastique recouverte de papier kraft et en utilisant des cuillères en inox. Le matériel utilisé lors du quartage étaient rincés à l'eau déminéralisée entre chaque prélèvement et le papier kraft renouvelé.

Le flaconnage était fourni par les laboratoires : barquettes en aluminium pour les analyses sur les polluants organiques et sachets plastiques pour les analyses sur les métaux.

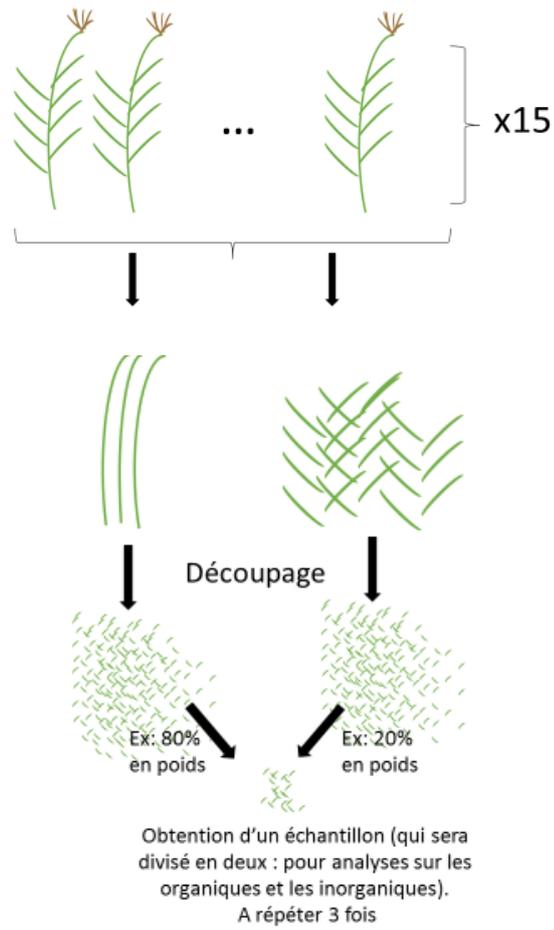


Figure 42 - Stratégie d'échantillonnage pour les parties aériennes des plantes

## G) RESULTATS DE L'ETUDE QUALITE

### 1) Traitement des résultats des campagnes qualité

Cette partie du travail est réalisée par les laboratoires de recherche et d'analyses de l'UMR EPOC pour les micropolluants, le laboratoire de la STEP Louis Fargues pour les polluants majeurs (uniquement pour les prélèvements d'eaux), partenaires du projet REGARD.

Une fois pris en charge par les laboratoires d'analyse, les échantillons sont traités de façons différentes en fonction des paramètres recherchés (micropolluants organiques ou métaux, polluants majeurs). Les échantillons destinés à l'analyse des micropolluants inorganiques et des polluants majeurs sont traités immédiatement après réception. Les échantillons destinés à l'analyse des micropolluants organiques ne sont pas toujours immédiatement traités et sont alors congelés à -18°C afin de les placer dans des conditions de conservation optimales.

Suivant les familles de micropolluants, les analyses sont réalisées en distinguant la phase dissoute de la phase particulaire des échantillons. Afin de séparer ces deux phases, les échantillons sont filtrés. Le filtrat est ensuite reconditionné puis préparé pour analyses. Le gâteau de filtration est lyophilisé et pesé afin de déterminer la masse de MES de l'échantillon, puis utilisé dans le cadre des analyses particulières<sup>2</sup>.

Les 86 molécules recherchées dans les prélèvements d'eau pluviale sont présentées en Annexe 6 ainsi que méthodes analytiques utilisées et les concentrations en-dessous desquelles le laboratoire n'est plus en mesure de déterminer avec une fidélité suffisante la quantité du paramètre recherché (LQ : limite de quantification). 18 métaux sont recherchés et 68 polluants organiques, ces derniers se répartissant entre quatre grandes classes de molécules que sont :

- les pharmaceutiques (13 molécules) : en plus des médicaments, cette catégorie comprend la caféine car, même s'il ne s'agit pas d'un médicament, elle est considérée comme un « traceur de vie humaine ».
- les pesticides (24 molécules) : ils regroupent des fongicides, des herbicides et des insecticides
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques, HAP, (14 molécules) : ils proviennent surtout de la combustion incomplète de la matière organique ou de produits pétroliers
- les composés perfluorés, PFAS, (17 molécules) : utilisés dans les traitements de surfaces, les revêtements, les traitements de textiles...

Les HAP et les PFAS sont recherchés dans les phases dissoute et particulaire ; les médicaments et les pesticides dans la phase dissoute et les métaux dans les phases dissoute et totale (c'est-à-dire sans filtration préalable ; par différence il est alors possible de connaître la phase particulaire). Selon les composés recherchés, des méthodes analytiques différentes ont été utilisées.

---

<sup>2</sup> C. Chollet, J. Cruz, V. Dufour, C. Simonnet-Laprade, P. Labadie, H. Budzinski, MJ. Capdeville, D. Granger. *REGARD : Livrable Lot 1 : Caractérisation des substances et des impacts*. 2017.

En plus des micropolluants, des paramètres physico-chimiques sont aussi déterminés : l'Azote total selon Kejdahl, la DBO5, les MES, la DCO, l'Ammonium et le Phosphore.

## 2) Résultats des campagnes de prélèvements d'eaux pluviales

### a. Caractéristiques des campagnes réalisées

Comme expliqué précédemment, tous les prélèvements prévus n'ont pas pu être réalisés. La plupart des prélèvements ont été faits sur les sites de Germignan et Lacaussade. Sur le site de RD1215, certains prélèvements ont échoué en raison du non-remplissage des bombonnes dû à un problème de programmation des préleveurs (lié généralement à une prévision de pluie approximative) et des problèmes d'alimentation électrique des capteurs. Les sites de la Boétie aval et de Vert Castel n'ont pas pu faire l'objet de prélèvements ; en effet, comme signalé auparavant, le site de la Boétie n'était pas fonctionnel en 2016 et 2017 (l'ouvrage était bypassé à cause d'une malfaçon lors de la pose de l'avaloir amont et la sous-estimation de la pente dans la rue) et a subi des travaux complémentaires en 2017. Ces travaux ont partiellement répondu au besoin, mais l'aval de ce site n'a jamais réceptionné d'eau pluviale sûrement à cause d'une alimentation partielle de l'ouvrage liée à la pente de la voirie. D'un autre côté le site de Vert Castel a subi une influence aval qui empêche l'eau de s'écouler et donc l'impossibilité d'effectuer des campagnes sur ce site.

De plus, de nombreux événements pluvieux ont eu lieu et parmi eux, seuls quelques-uns répondaient aux critères nécessaires au déclenchement d'une campagne de prélèvements.

Les caractéristiques des pluies ayant donné lieu aux campagnes de prélèvements depuis le début du projet en 2016, ainsi que les sites ayant été prélevés au cours de ces campagnes, sont récapitulés dans le tableau suivant :

*Caractéristiques des pluies ayant donné lieu aux campagnes de prélèvement*

	04/11/2016	27/02/2017	17/05/2017	31/01/2018	14/02/2018	06/03/2018	06/04/2018
Date de début de l'évènement pluvieux	04/11/2016 21:00	27/02/2017 17:35	17/05/2017 23:55	31/01/2018 19:00	14/02/2018 07:00	06/03/2018 12:00	06/04/2018 23:00
Date de fin de l'évènement pluvieux	05/11/2016 08:00	28/02/2017 13:05	18/05/2017 13:50	01/02/2018 07:00	14/02/2018 21:00	07/03/2018 16:00	08/04/2018 15:00
Durée de l'évènement pluvieux	11h	19h30	13h55	12h	14h	28h	40h
Cumul de pluie sur l'évènement	14 mm	24 mm	27 mm	5,6 mm	17 mm	10,2 mm	14,6 mm
Durée de temps sec antérieure	11j et 9h	19j et 14h45	4j et 18h	5j - 04h00	2j - 01h50	2j - 03h20	7j - 04h15
Intensité maximale 10 min (mm/h)	26,4	20,4	12	3,6	3,6	7,2	4,8
Période de retour	≥ 3mois	> 1mois	≥ 3mois	<2 semaines	≥ 1 mois	<2 semaines	<2 semaines

	04/11/2016	27/02/2017	17/05/2017	31/01/2018	14/02/2018	06/03/2018	06/04/2018
Sites concernés	Lacaussade (amont et aval), Germignan	Lacaussade (amont et aval), Germignan, RD1215 (amont et aval)	Lacaussade (amont et aval), Germignan, RD1215 (amont et aval)	Germignan	Germignan, Lacaussade (amont et aval)	Lacaussade (amont et aval)	Boétie amont, Lacaussade amont, Germignan

On constate que les pluies ayant fait l'objet d'une campagne de prélèvement sont des pluies courantes (périodes de retour de 3 mois au maximum), avec des caractéristiques assez classiques (pas de pluie exceptionnelle ou atypique).

Pour les campagnes du 14/02/2018 et du 7/03/2018, une entorse au protocole a été faite puisque que le nombre de jours précédents de temps sec est inférieur à 3 (respectivement 2j - 01h50 et 2j - 03h20). Cette décision a été prise suite aux difficultés constatées pour réaliser les prélèvements prévus conformément au protocole établi.

Les graphiques suivants montrent les volumes ayant transités par les ouvrages lors les campagnes :

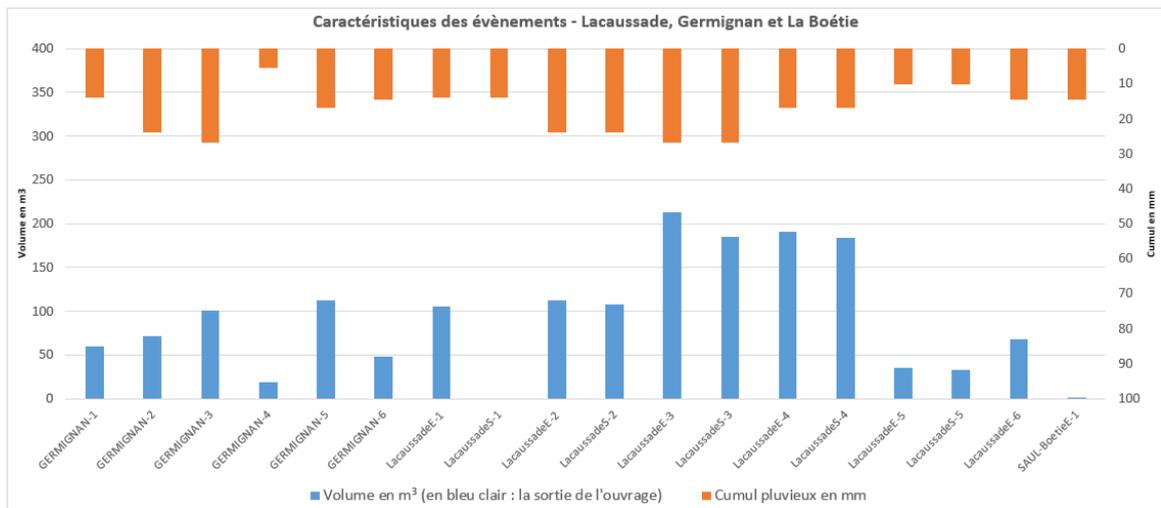


Figure 43 - Volumes ayant transités pendant les campagnes au niveau des sites : Germignan (noté DORE), Lacaussade amont (noté lacaussadeE), Lacaussade aval (noté lacaussadeS) et la Boétie amont (noté SAUL-BoetieE) – Nota : le volume de LacaussadeS-1 est manquant à cause d'une perte de données

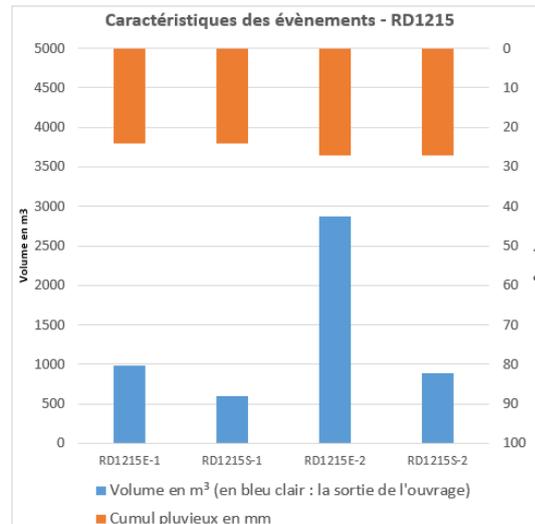


Figure 44 - Volumes ayant transités pendant les campagnes au niveau des sites : RD1215 amont (noté depollutionRD1215E) et RD1215 aval (noté depollutionRD1215S)

Pour les ouvrages dont l'entrée et la sortie ont pu faire l'objet d'un prélèvement lors de la même campagne, les abattements volumiques amont/aval obtenus sont les suivants :

Campagne	Ouvrage	Abattement volumique amont/aval en %
27/02/2017	Lacaussade	4 %
17/05/2017	Lacaussade	13%
14/02/2018	Lacaussade	4 %
06/03/2018	Lacaussade	6 %
27/02/2017	RD1215	39 %
17/05/2017	RD1215	69 %

Ces résultats sont majoritairement inférieurs aux moyennes obtenues avec le suivi hydraulique longue durée (paragraphe E) qui étaient respectivement 20% et 64% pour Lacaussade et RD1215, excepté pour la campagne du 17/05/2017 pour laquelle les abattements obtenus sont assez proches de ces abattements moyens.

Les préleveurs ont été programmés pour prélever des échantillons proportionnels au débit comme expliqué dans le paragraphe F.2.a. La qualité de la représentativité de l'échantillon par rapport à l'hydrogramme mesuré est décrite dans le tableau ci-dessous :

Campagne	Site	Qualité de la représentativité de l'échantillon
04/11/2016	Germignan	Bonne
04/11/2016	Lacaussade amont	Bonne
04/11/2016	Lacaussade aval	Données manquantes
27/02/2017	Germignan	Moyenne
27/02/2017	Lacaussade amont	Bonne
27/02/2017	Lacaussade aval	Moyenne

Campagne	Site	Qualité de la représentativité de l'échantillon
27/02/2017	RD1215 amont	Moyenne
27/02/2017	RD1215 aval	Données manquantes
17/05/2018	RD1215 amont	Bonne
17/05/2018	RD1215 aval	Bonne
17/05/2018	Germignan	Bonne
17/05/2018	Lacaussade amont	Bonne
17/05/2018	Lacaussade aval	Bonne
31/01/2018	Germignan	Bonne
14/02/2018	Germignan	Moyenne
14/02/2018	Lacaussade amont	Moyenne
14/02/2018	Lacaussade aval	Moyenne
06/03/2018	Lacaussade amont	Bonne
06/03/2018	Lacaussade aval	Bonne
06/04/2018	Boétie amont	Moyenne
06/04/2018	Germignan	Bonne
06/04/2018	Lacaussade amont	Bonne

Les échantillons dont la représentativité est qualifiée de « bonne » sont ceux pour lesquels les prélèvements sont correctement répartis sur l'hydrogramme : du début à la fin, avec une augmentation de la fréquence de prélèvement au moment du pic de débit. Au contraire, les échantillons dont la représentativité est qualifiée de « moyenne » sont ceux pour lesquels les prélèvements ne sont pas correctement répartis sur l'hydrogramme : arrêt du prélèvement avant la fin de l'hydrogramme pour cause de bonbonne pleine, etc.

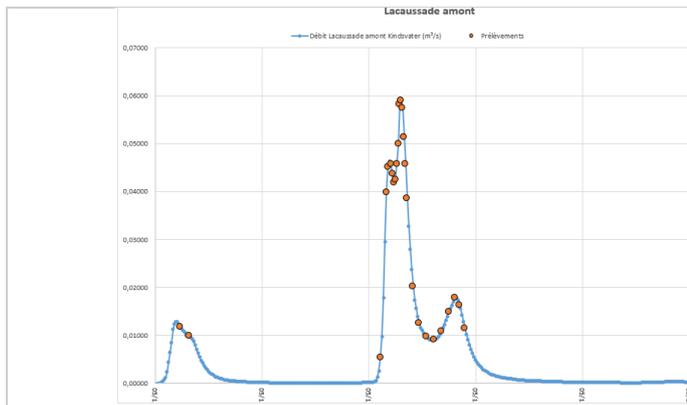


Figure 45 - Exemple de représentativité de l'échantillon qualifiée de « bonne »

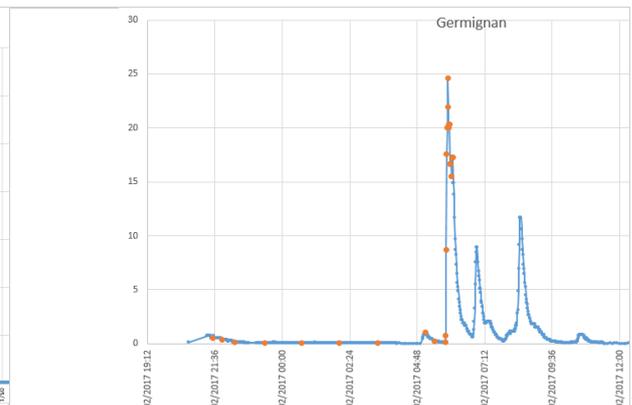


Figure 46 - Exemple de représentativité de l'échantillon qualifiée de « moyenne »

Les hydrogrammes et points de prélèvements pour chaque site et chaque campagne sont disponibles en Annexe 7.

*b. Résultats d'analyse des échantillons d'eaux pluviales – polluants majeurs*

Nota : quand les résultats obtenus étaient inférieurs aux limites de quantification, ils n'ont pas été affichés dans les graphiques.

**Résultats obtenus sur les concentrations :**

Les résultats en concentration obtenues en analysant les polluants majeurs dans les différents échantillons d'eaux pluviales sont affichés ci-dessous :

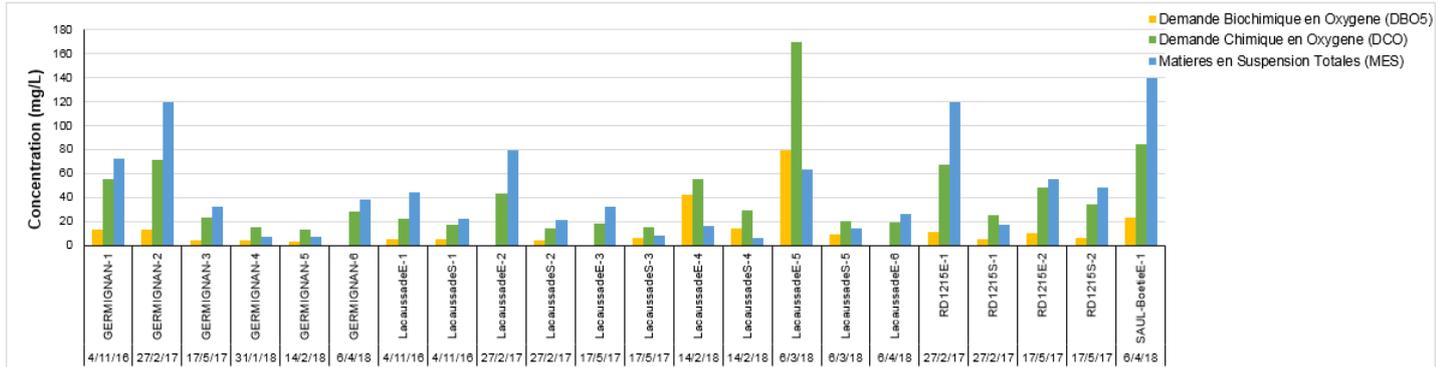


Figure 47 - Résultats obtenus sur les paramètres MES, DCO et DBO5 dans les échantillons d'eaux pluviales

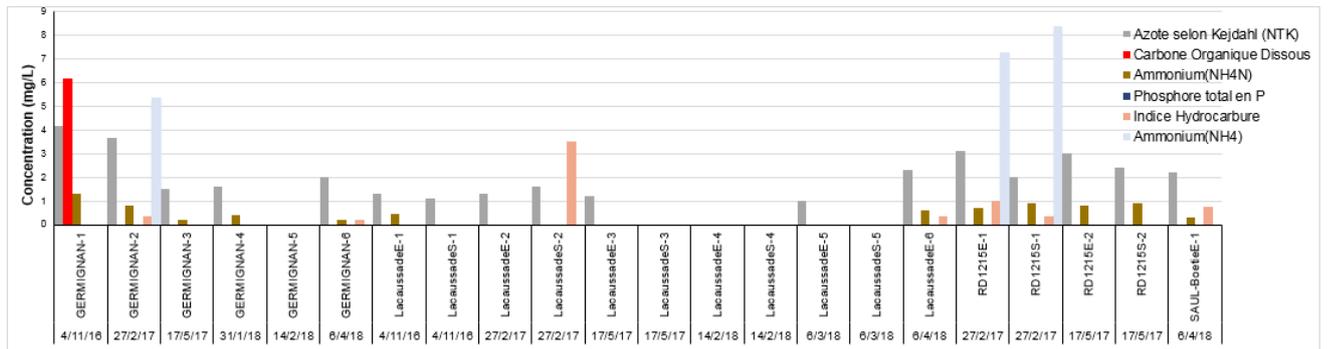


Figure 48 - Résultats obtenus sur les autres polluants majeurs dans les échantillons d'eaux pluviales

Les % abattements correspondants sont présentés dans le tableau suivant :

	04/11/2016	27/02/2017	17/05/2017	14/02/2018	06/03/2018	27/02/2017	17/05/2017
	Lacaussade-1	Lacaussade-2	Lacaussade-3	Lacaussade-4	Lacaussade-5	RD1215-1	RD1215-2
<b>NTK</b>	15%	-23%	x%	#	x%	35%	20%
<b>DBO5</b>	0%	#	#	67%	89%	55%	40%
<b>MES</b>	50%	74%	75%	58%	78%	86%	13%
<b>DCO</b>	23%	67%	17%	47%	88%	63%	29%
<b>COD</b>	#	Pas de donnée					
<b>N-NH4</b>	x%	#	#	Pas de donnée	Pas de donnée	-29%	-13%

P	#	#	#	#	#	#	#
<b>Indice hydro</b>	Pas de donnée	#	Pas de donnée	Pas de donnée	Pas de donnée	64%	Pas de donnée
<b>NH4</b>	Pas de donnée	#	Pas de donnée	Pas de donnée	Pas de donnée	-15%	Pas de donnée

# : signifie que le calcul est impossible car la valeur d'entrée est inférieure à la limite de quantification  
 x% : signifie que le calcul est impossible car la valeur de sortie est inférieure à la limite de quantification, mais que l'abattement est effectif puisque la valeur d'entrée est supérieure à la limite de quantification

On constate :

- Que les événements **pluvieux intenses succédant une période de temps sec importante entraînent des concentrations plus importantes** sur Germignan-1, Germignan-2 et RD1215-1.
- Sur Lacaussade le pic de concentration en MES, DCO et DBO5 est obtenu lors d'un événement classique du 6 mars 2018 et est fortement abattu en sortie : abattements respectifs de 78%, 88% et 89%.
- De manière générale, les concentrations en polluants majeurs sont plutôt bien abattues entre l'entrée et la sortie, ce qui traduit **une bonne aptitude à traiter les polluants majeurs au travers ces TA et en particulier les MES.**

**Résultats obtenus sur les flux :**

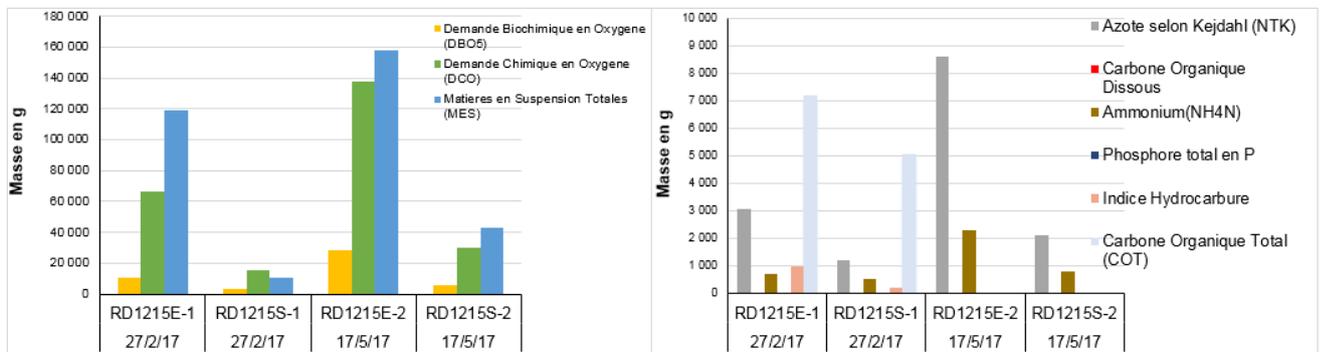


Figure 49 - Résultats obtenus sur les flux de polluants majeurs pour RD1215

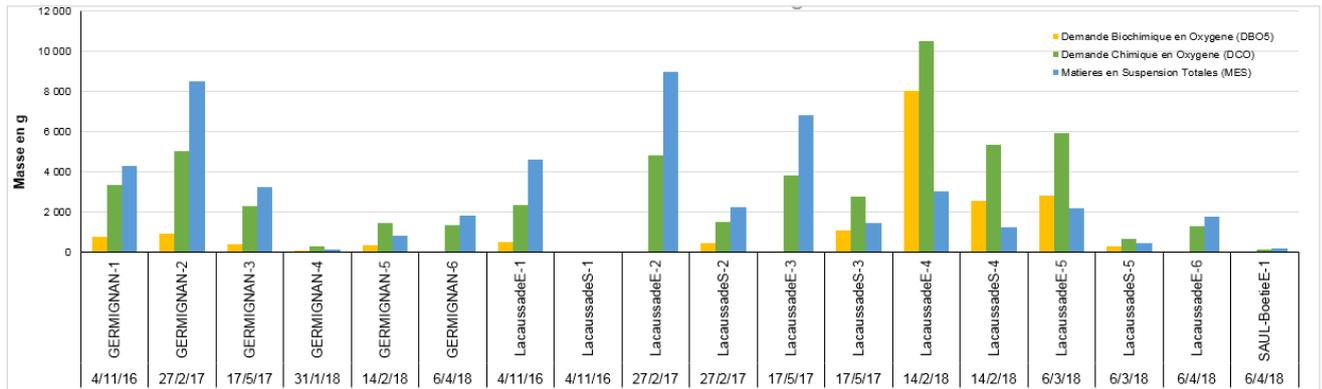


Figure 50 - Résultats obtenus sur les flux des paramètres MES, DCO et DBO5 dans les échantillons d'eaux pluviales hors RD1215 (nota : les flux de LacaussadesS-1 ne sont pas calculables car il manque la donnée de volume)

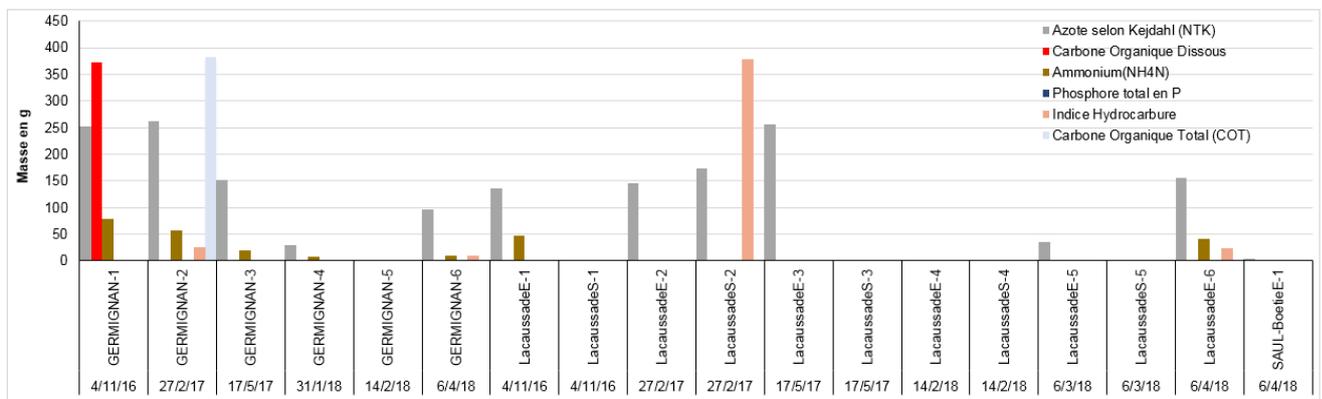


Figure 51 - Résultats obtenus sur les flux des autres polluants majeurs dans les échantillons d'eaux pluviales hors RD1215 (nota : les flux de LacaussadesS-1 ne sont pas calculables car il manque la donnée de volume)

Les % abattements correspondants sont présentés dans le tableau suivant :

	4/11/16	27/2/17	17/5/17	14/2/18	6/3/18	27/2/17	17/5/17
	Lacaussade-1	Lacaussade-2	Lacaussade-3	Lacaussade-4	Lacaussade-5	RD1215-1	RD1215-2
<b>NTK</b>	Pas de données	-19%	x%	#	x%	61%	75%
<b>DBO5</b>	Pas de données	#	#	68%	89%	72%	81%
<b>MES</b>	Pas de données	75%	78%	60%	79%	91%	73%
<b>DCO</b>	Pas de données	69%	28%	49%	89%	77%	78%
<b>COD</b>	Pas de données						
<b>N-NH4</b>	Pas de données	#	#	Pas de données	Pas de données	22%	65%
<b>P</b>	Pas de données	#	#	#	#	#	#

<b>Indice hydro</b>	Pas de données	78%	Pas de données				
<b>NH4</b>	Pas de données	#	Pas de données	Pas de données	Pas de données	30%	Pas de données

# : signifie que le calcul est impossible car la valeur d'entrée est inférieure à la limite de quantification  
 x% : signifie que le calcul est impossible car la valeur de sortie est inférieure à la limite de quantification, mais que l'abattement est effectif puisque la valeur d'entrée est supérieure à la limite de quantification

On constate :

- La **tendance en flux ne suit pas systématiquement celle des volumes**. Pour Germignan, les flux les plus importants sont mesurés lors des évènements 1 et 2 qui sont ceux pour lesquels les concentrations étaient les plus importantes malgré des volumes modérés.
- **Les abattements en flux sont importants et bien supérieurs à ceux mesurés sur les volumes** : sur Lacaussade l'abattement maximal calculé est de 89% pour les MES contre 13% au maximum en volume sur ces mêmes évènements ; sur RD1215 l'abattement maximal calculé est de 91% pour les MES contre 69% au maximum en volume sur ces mêmes évènements. Cela traduit **une très bonne aptitude de ces TA à diminuer les flux polluants, en particulier les MES**.

### c. Résultats d'analyse des échantillons d'eaux pluviales - ETM

#### Résultats obtenus sur le dissous :

- **En concentrations :**

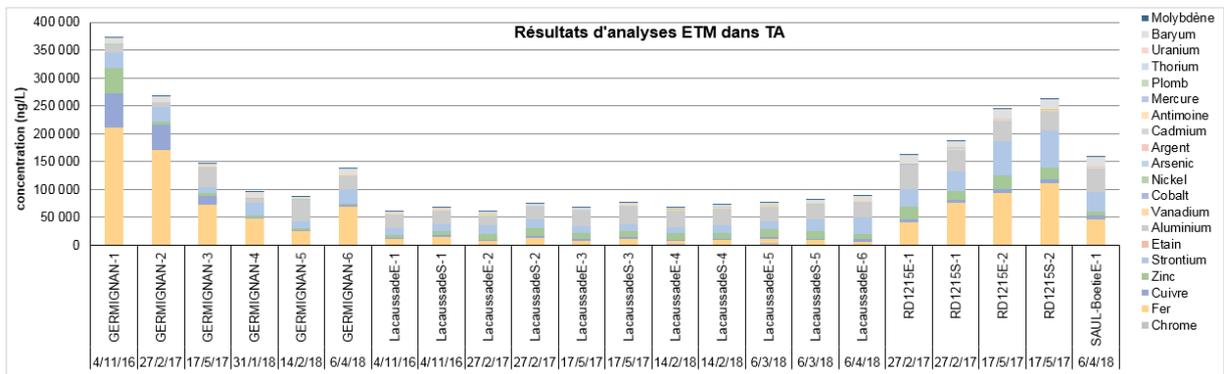


Figure 52 - Résultats obtenus sur les concentrations en ETM dissous dans les échantillons d'eaux pluviales

Sur ce graphique, les métaux Fer, Aluminium, Strontium, Baryum, apparaissent en majorité, ce qui peut s'expliquer du fait de leur abondance relative naturelle (ex. Al et Fe sont classés dans les éléments Majeurs et Sr et Ba sont les plus abondants dans les Métaux traces). Afin de s'affranchir de ce biais d'abondance naturelle, les données ont été normalisées par les concentrations obtenues dans les eaux de nappes (P30-1), supposées ici être une référence proche d'un niveau naturel. Il est alors possible de caractériser des niveaux d'enrichissement.

Les résultats (présentés sans les éléments majeurs), sont affichés ci-dessous :

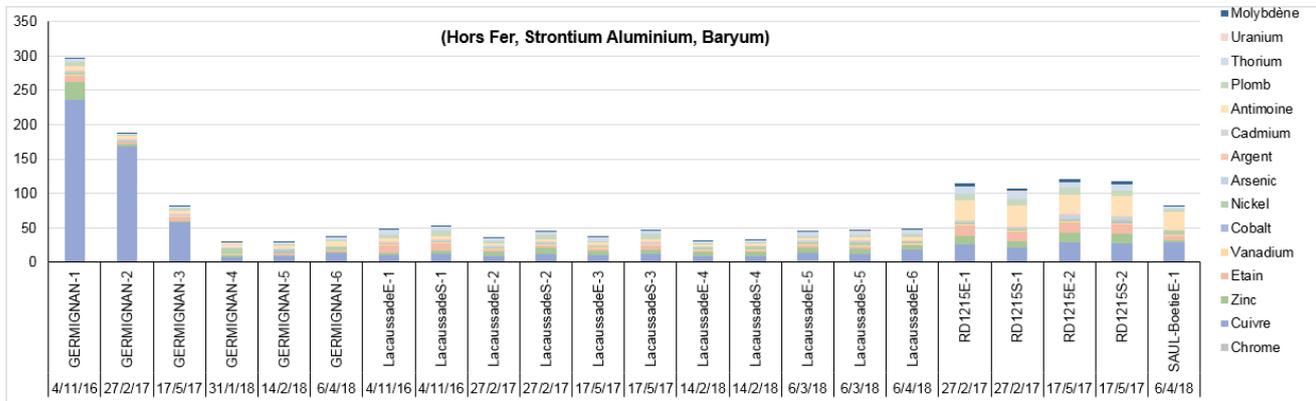


Figure 53 - Résultats obtenus sur les niveaux d'enrichissement en ETM dissous dans les échantillons d'eaux pluviales Normalisation par les concentrations obtenues sur l'échantillon de nappe P30-1, hors ETM majeurs (fer, strontium, aluminium, baryum)

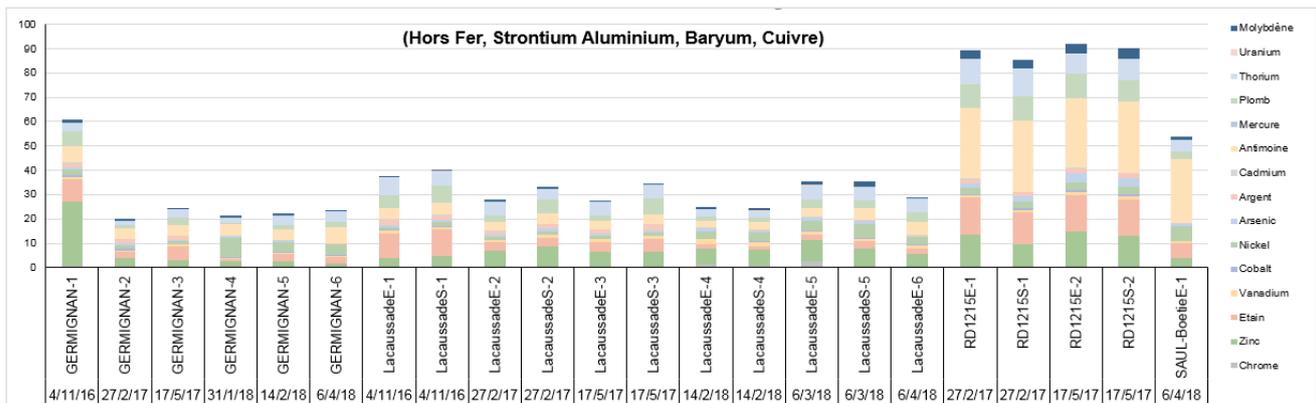


Figure 54 - Résultats obtenus sur les niveaux d'enrichissement en ETM dissous dans les échantillons d'eaux pluviales Normalisation par les concentrations obtenues sur l'échantillon de nappe P30-1, hors ETM majeurs (fer, strontium, aluminium, baryum, cuivre)

On constate :

- Une présence majoritaire des éléments suivants : cuivre (en particulier sur Germignan), zinc, étain, antimoine, plomb, thorium, molybdène, **éléments considérés comme des traceurs urbains et en particulier dans les poussières de routes** (pollutions issues de plaquettes de freins, de pneus, etc.) ;
- Hors majeurs et cuivre, des niveaux sont plus importants sur RD1215 que sur les autres sites, ce qui peut s'expliquer par la nature du bassin versant majoritairement routier en amont du bassin de RD1215 ;
- Les résultats entrée/sortie sont du même ordre de grandeur, **aucun abattement sur les concentrations ne se fait**, ce qui s'explique par le fait que les TA permettent d'abattre majoritairement les MES, sans impact sur ces pollutions dissoutes.

- **En flux :**

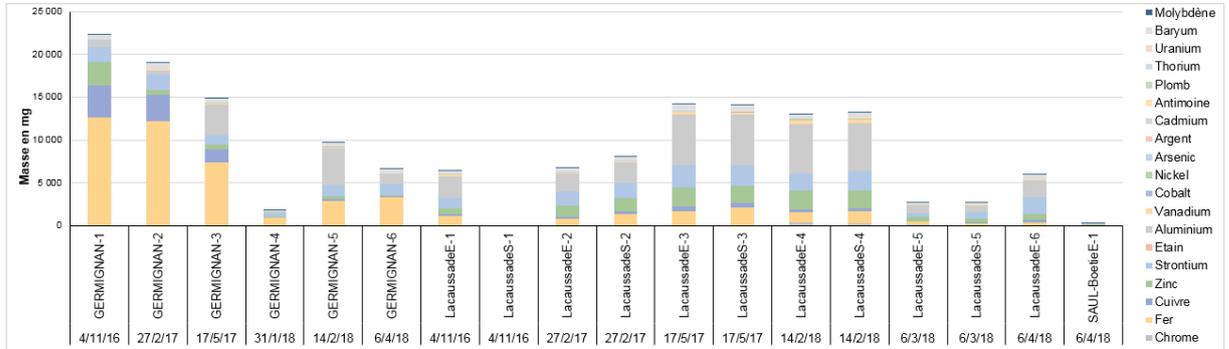


Figure 55 - Résultats obtenus sur les flux en ETM dissous dans les échantillons d'eaux pluviales hors RD1215 (nota : les flux de LacaussadeS-1 ne sont pas calculables car il manque la donnée de volume)

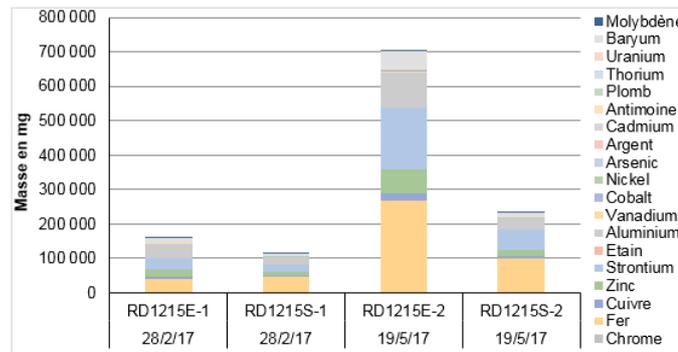


Figure 56 - Résultats obtenus sur les flux en ETM dissous dans les échantillons d'eaux pluviales de RD1215

Les % abattements correspondants sont présentés dans le tableau suivant :

	27/2/17	17/5/17	14/2/18	6/3/18	27/2/17	17/5/17
	Lacaussade-2	Lacaussade-3	Lacaussade-4	Lacaussade-5	RD1215-1	RD1215-2
<b>Chrome</b>	5%	-2%	41%	85%	43%	69%
<b>Fer</b>	-80%	-27%	-19%	9%	-16%	63%
<b>Cuivre</b>	-36%	-12%	-10%	-5%	47%	70%
<b>Zinc</b>	-21%	15%	6%	16%	57%	73%
<b>Strontium</b>	-3%	7%	-18%	-50%	32%	67%
<b>Etain</b>	-7%	-18%	19%	2%	47%	69%
<b>Aluminium</b>	-16%	-1%	4%	9%	46%	69%
<b>Vanadium</b>	-8%	13%	11%	9%	35%	70%
<b>Cobalt</b>	-2%	13%	-6%	-2%	34%	70%
<b>Nickel</b>	-22%	8%	-6%	-38%	41%	70%
<b>Arsenic</b>	-3%	6%	4%	-6%	25%	71%

Argent	-17%	-23%	-18%	-31%	39%	69%
Cadmium	13%	-10%	7%	-32%	39%	64%
Antimoine	-18%	5%	-6%	-16%	38%	68%
Plomb	-102%	-140%	6%	20%	37%	73%
Thorium	25%	9%	7%	4%	35%	68%
Uranium	19%	26%	-6%	-43%	40%	70%
Baryum	11%	8%	-17%	-37%	47%	70%
Molybdène	-17%	-10%	6%	-13%	36%	67%

# : signifie que le calcul est impossible car la valeur d'entrée est inférieure à la limite de quantification  
x% : signifie que le calcul est impossible car la valeur de sortie est inférieure à la limite de quantification, mais que l'abattement est effectif puisque la valeur d'entrée est supérieure à la limite de quantification

On constate que :

- De même que pour les polluants majeurs, **les tendances obtenues sur les flux ne sont pas systématiquement liées aux volumes transitant par les ouvrages** : les fortes concentrations obtenues sur Germignan 1 et 2 se retrouvent ici malgré des volumes transités modérés par rapport aux autres évènements.
- En revanche, cette tendance se retrouve sur les flux obtenus sur RD1215, pour lequel l'abattement volumique obtenu était respectivement de 39% et 69% (évènement 1 et évènement 2). **Le fort abattement en volume entraine donc un fort abattement en flux de métaux dissous.**

### Résultats obtenus sur le particulaire :

- **En concentrations :**

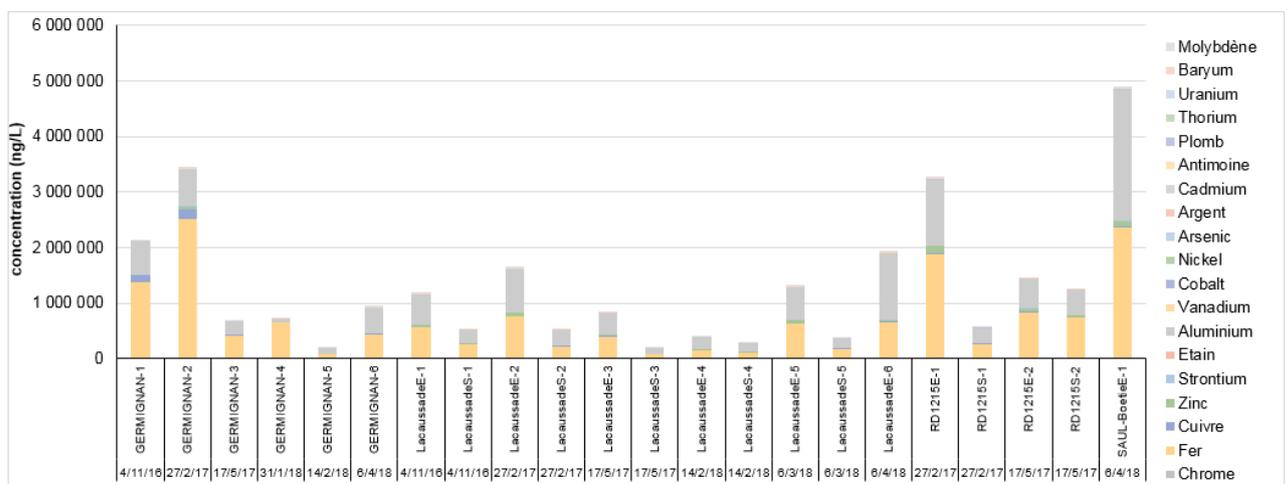
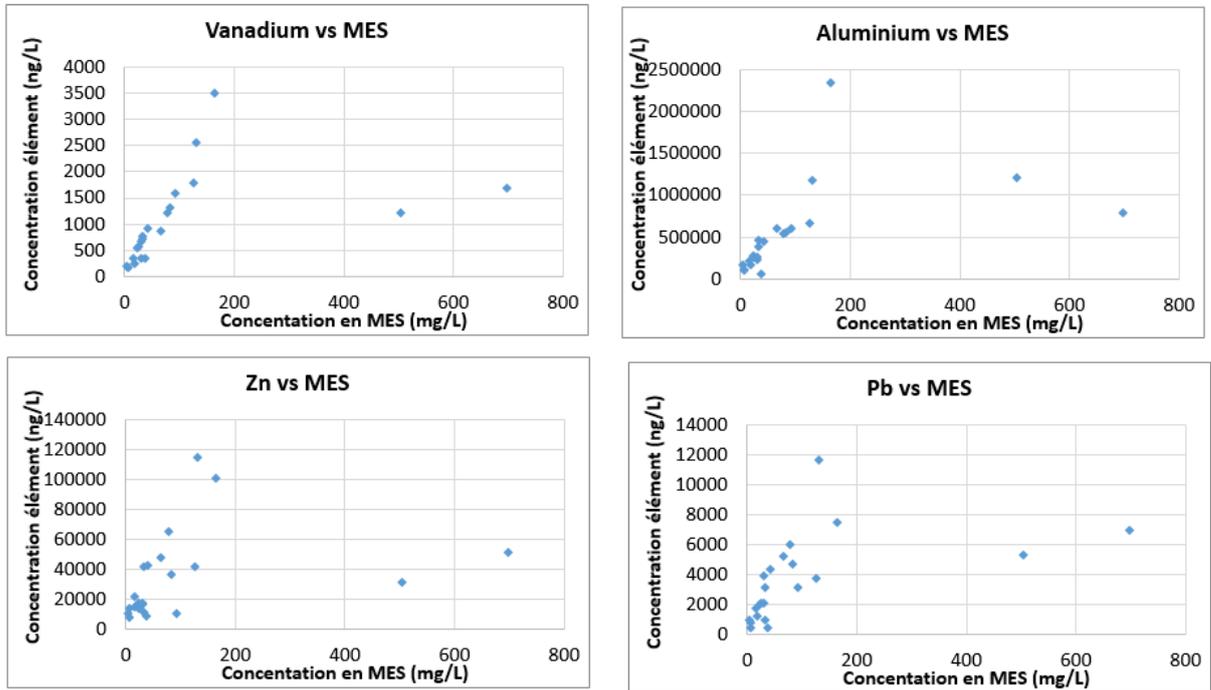


Figure 57 - Résultats obtenus sur les concentrations en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales

Les abattements correspondants obtenus sont présentés ci-dessous :

	4/11/16	27/2/17	17/5/17	14/2/18	6/3/18	27/2/17	17/5/17
	Lacaussade-1	Lacaussade-2	Lacaussade-3	Lacaussade-4	Lacaussade-5	RD1215-1	RD1215-2
<b>Chrome</b>	18%	31%	22%	82%	-144%	61%	9%
<b>Fer</b>	55%	71%	82%	28%	71%	86%	11%
<b>Cuivre</b>	48%	70%	79%	49%	75%	73%	28%
<b>Zinc</b>	52%	73%	66%	51%	70%	86%	35%
<b>Strontium</b>	58%	68%	94%	78%	75%	93%	-170%
<b>Etain</b>	56%	54%	80%	31%	59%	77%	4%
<b>Aluminium</b>	54%	65%	73%	20%	72%	78%	16%
<b>Vanadium</b>	57%	67%	79%	45%	73%	87%	25%
<b>Cobalt</b>	54%	70%	75%	51%	76%	86%	29%
<b>Nickel</b>	53%	63%	72%	57%	74%	16%	14%
<b>Arsenic</b>	32%	51%	51%	21%	57%	77%	14%
<b>Argent</b>	53%	78%	24%	58%	30%	77%	-26%
<b>Cadmium</b>	31%	66%	68%	46%	68%	76%	18%
<b>Antimoine</b>	15%	58%	61%	46%	66%	80%	19%
<b>Plomb</b>	55%	71%	76%	46%	77%	66%	27%
<b>Thorium</b>	71%	72%	62%	57%	71%	97%	-25%
<b>Uranium</b>	72%	89%	90%	46%	70%	93%	7%
<b>Baryum</b>	65%	69%	81%	51%	76%	88%	12%
<b>Molybdène</b>	52%	96%	-80%	-19%	15%	-165%	Valeurs nulles
<b>MES</b>	70%	97%	77%	71%	73%	77%	47%

# : signifie que le calcul est impossible car la valeur d'entrée est inférieure à la limite de quantification  
x% : signifie que le calcul est impossible car la valeur de sortie est inférieure à la limite de quantification, mais que l'abattement est effectif puisque la valeur d'entrée est supérieure à la limite de quantification



Les concentrations en ng/L apparaissent fortement corrélées aux concentrations en MES. Les tendances linéaires entre concentrations particulières et concentrations en MES indiquent que la composition exprimée en mg de métaux par kg de MES ne varie pas. **La variabilité des concentrations en métaux ng/l est uniquement liée à la variabilité des concentrations en MES.** La présence de deux tendances (ou points sortants de la tendance) indique une qualité différente des MES (plus ou moins concentrée en métaux).

Pour s'affranchir de ces corrélations, les résultats ont été normalisés par les concentrations en MES.

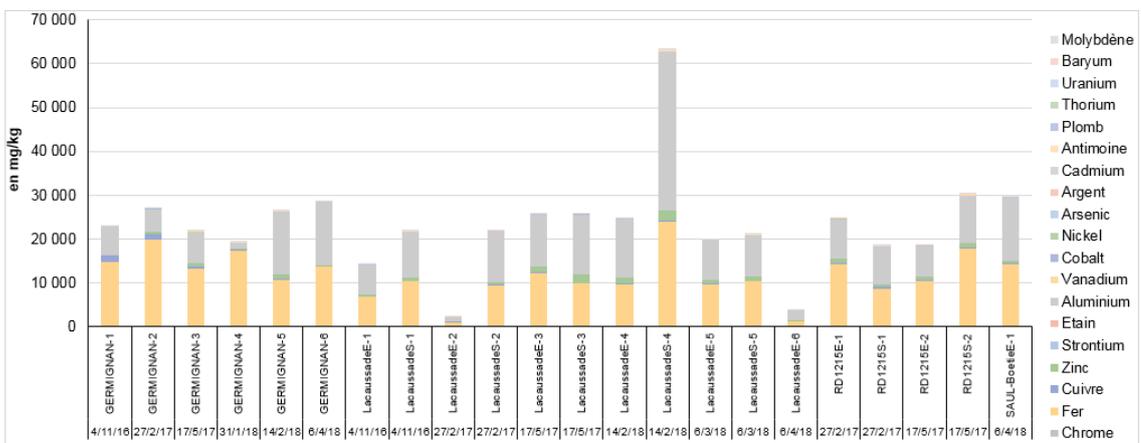


Figure 58 - Résultats obtenus sur les concentrations en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales normalisées par la concentration en MES = concentrations exprimées en mg/kg

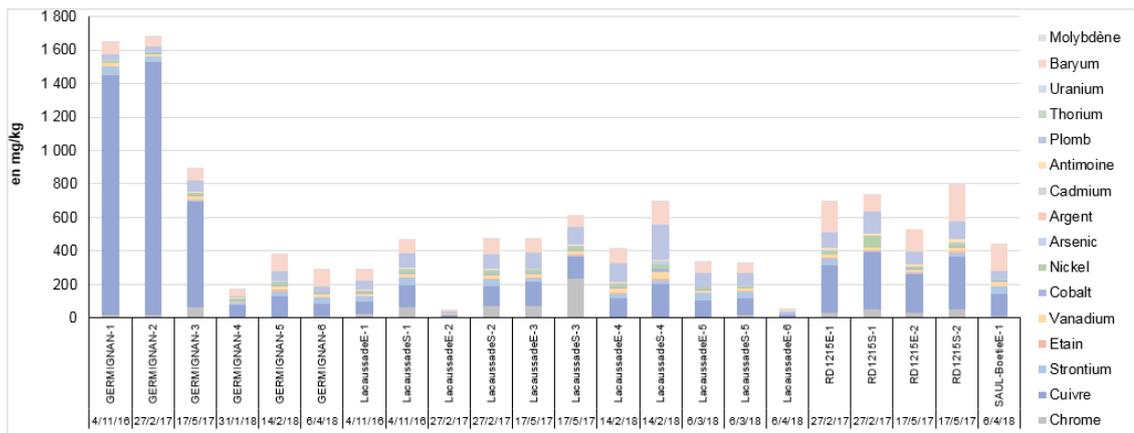


Figure 59 - Résultats obtenus sur les concentrations en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales normalisées par la concentration en MES sans Aluminium, Fer et Zinc

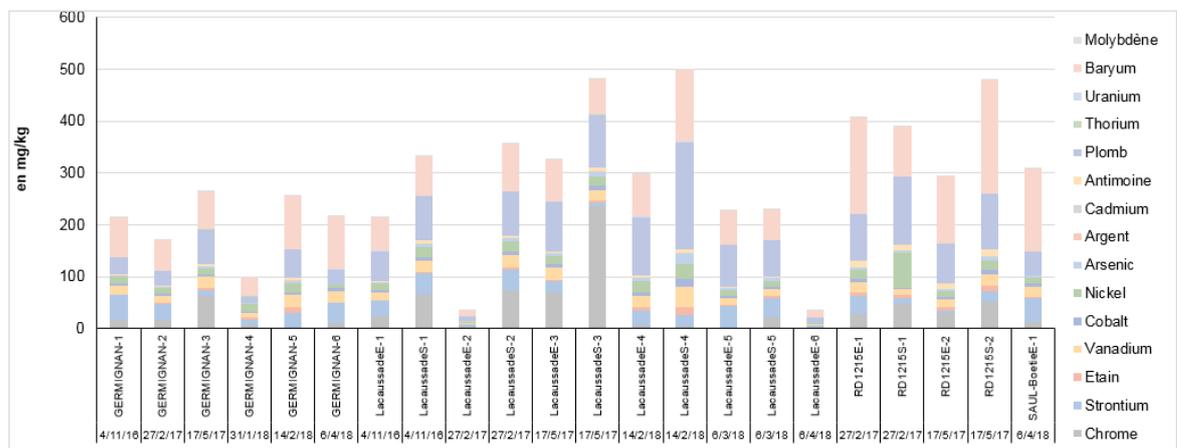


Figure 60 - Résultats obtenus sur les concentrations en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales normalisées par la concentration en MES sans Cuivre, Aluminium, Fer et Zinc

- Une forte concentration en cuivre en particulier sur Germignan 1, 2 et 3 : ces résultats sont similaires à ceux qui avaient été constatés sur les concentrations dissoutes.
- La présence prédominante de Cuivre, Aluminium, Fer et Zinc puis de strontium, chrome, plomb, baryum.
- Des concentrations relativement stables d'un épisode pluvieux à un autre pour un même site (pas d'impact clair des caractéristiques de l'évènement pluvieux comme la durée antérieure de temps sec), excepté pour LacaussadeE-2 et LacaussadeE-6 pour lesquels les concentrations obtenues sont plus faibles que lors des autres évènements, sans qu'il soit aisé de déterminer pourquoi.
- Qu'il n'y a plus aucun abattement lorsque les résultats sont normalisés avec les concentrations en MES, contrairement aux forts abattements obtenus sur les résultats en ng/L précédemment. Ce qui montre que **le fort abattement des métaux particuliers entre l'entrée et la sortie des TA est entièrement corrélé à l'abattement en MES.**

- **En flux :**

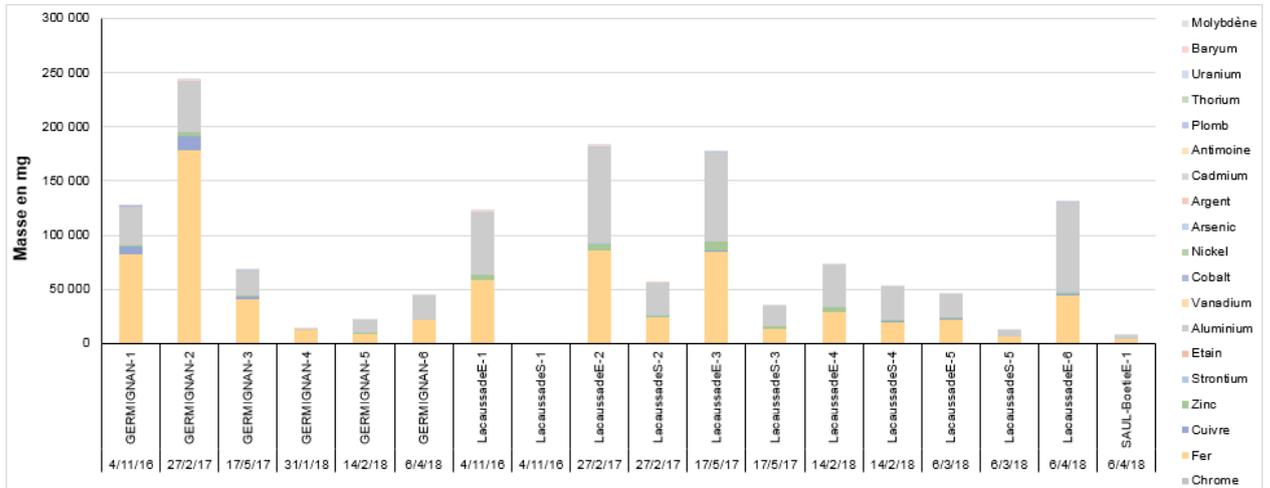


Figure 61 - Résultats obtenus sur les flux en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales hors RD1215 (nota : les flux de LacaussadeS-1 ne sont pas calculables car il manque la donnée de volume)

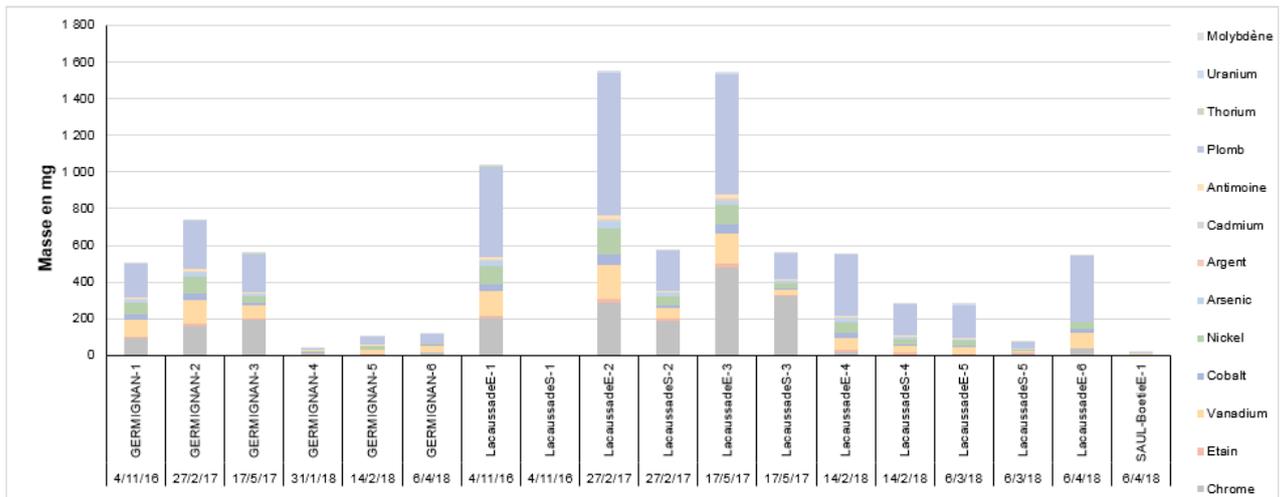


Figure 62 - Résultats obtenus sur les flux en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales, hors ETM fer, strontium, aluminium, baryum, cuivre et zinc

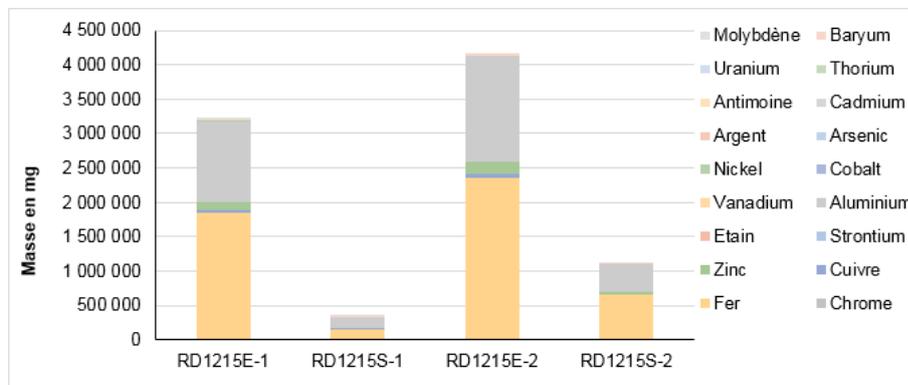


Figure 63 - Résultats obtenus sur les flux en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales de RD1215

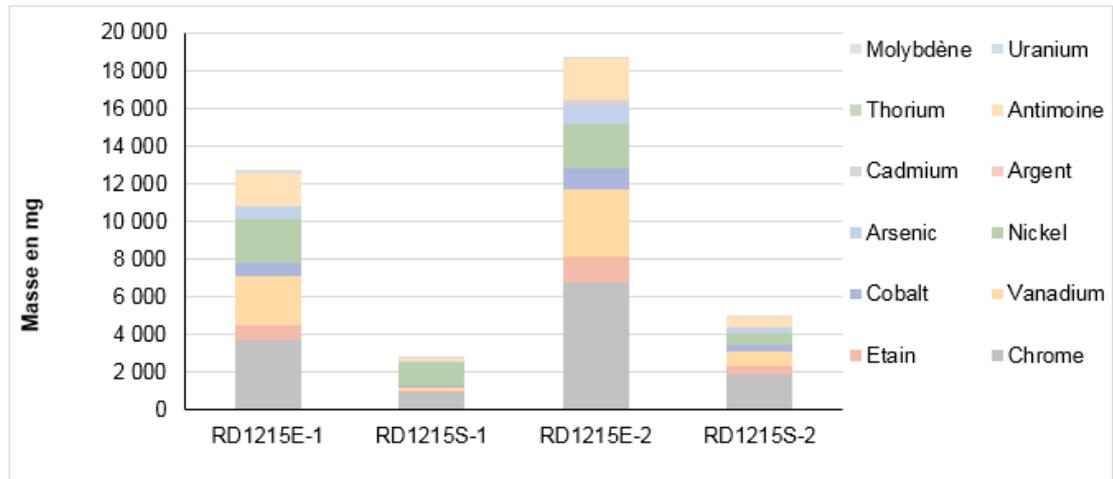


Figure 64 - Résultats obtenus sur les flux en ETM particulières dans les échantillons d'eaux pluviales de RD1215 hors ETM fer, strontium, aluminium, baryum, cuivre et zinc

Les abattements correspondants obtenus sont présentés ci-dessous :

	27/2/17	17/5/17	14/2/18	6/3/18	27/2/17	17/5/17
	Lacaussade-2	Lacaussade-3	Lacaussade-4	Lacaussade-5	RD1215-1	RD1215-2
Chrome	34%	32%	83%	-130%	76%	72%
Fer	72%	84%	31%	73%	91%	72%
Cuivre	71%	82%	51%	77%	83%	78%
Zinc	74%	71%	53%	71%	91%	80%
Strontium	70%	95%	79%	77%	96%	16%
Etain	56%	83%	33%	61%	86%	70%
Aluminium	66%	77%	23%	74%	87%	74%
Vanadium	68%	82%	47%	74%	92%	77%
Cobalt	71%	79%	53%	77%	92%	78%
Nickel	65%	76%	59%	75%	49%	73%
Arsenic	53%	58%	24%	60%	86%	73%
Argent	79%	34%	60%	34%	86%	61%
Cadmium	68%	73%	48%	70%	85%	75%
Antimoine	59%	66%	48%	68%	88%	75%
Plomb	72%	79%	48%	78%	79%	77%
Thorium	73%	67%	58%	72%	98%	61%
Uranium	89%	91%	48%	72%	96%	71%
Baryum	70%	83%	53%	78%	93%	73%
Molybdène	96%	-57%	-15%	19%	-62%	#DIV/0!

# : signifie que le calcul est impossible car la valeur d'entrée est inférieure à la limite de quantification

x% : signifie que le calcul est impossible car la valeur de sortie est inférieure à la limite de quantification, mais que l'abattement est effectif puisque la valeur d'entrée est supérieure à la limite de quantification

On constate :

- La présence prédominante des mêmes éléments que précédemment. Une fois ces éléments retirés du graphique, **les tendances sont globalement les mêmes que celles obtenues en volume.**
- Les abattements en flux sont importants et concernent tous les événements des 2 sites pour lesquels l'entrée et la sortie ont été mesurés, ce qui s'explique par les effets du double abattement en MES et en volume et qui traduit **une très bonne capacité des TA à diminuer le flux d'ETM particuliers envoyés vers l'aval.**

*d. Résultats d'analyse des échantillons d'eaux pluviales – micropolluants organiques*

**Résultats sur la phase dissoute**

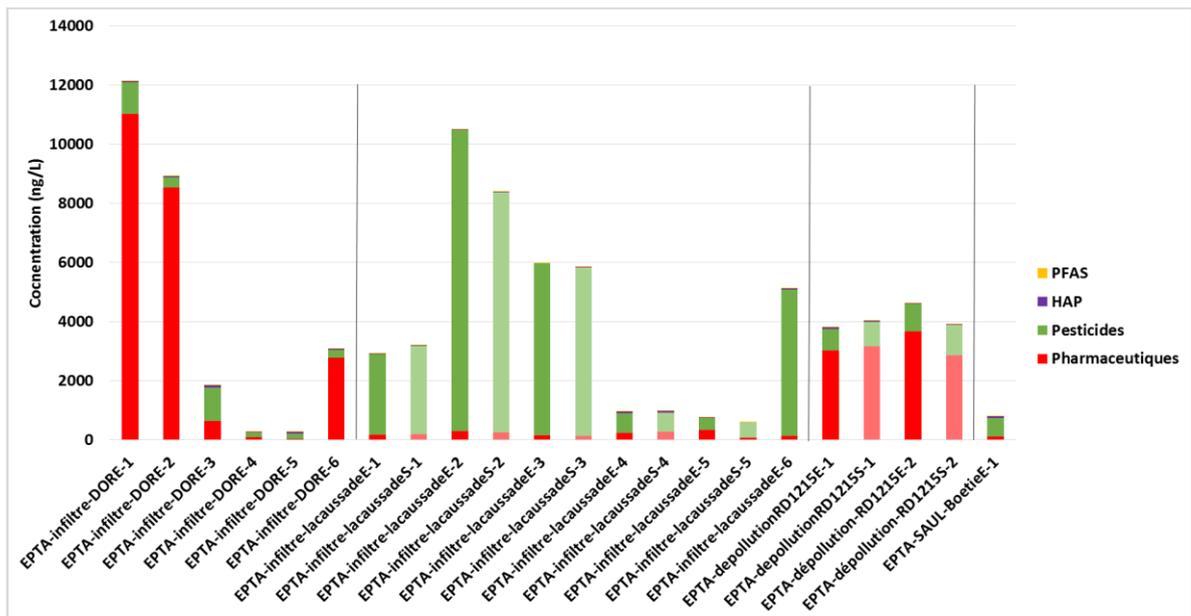


Figure 65 - Concentrations cumulées des différentes familles de micropolluants sur les ouvrages étudiés

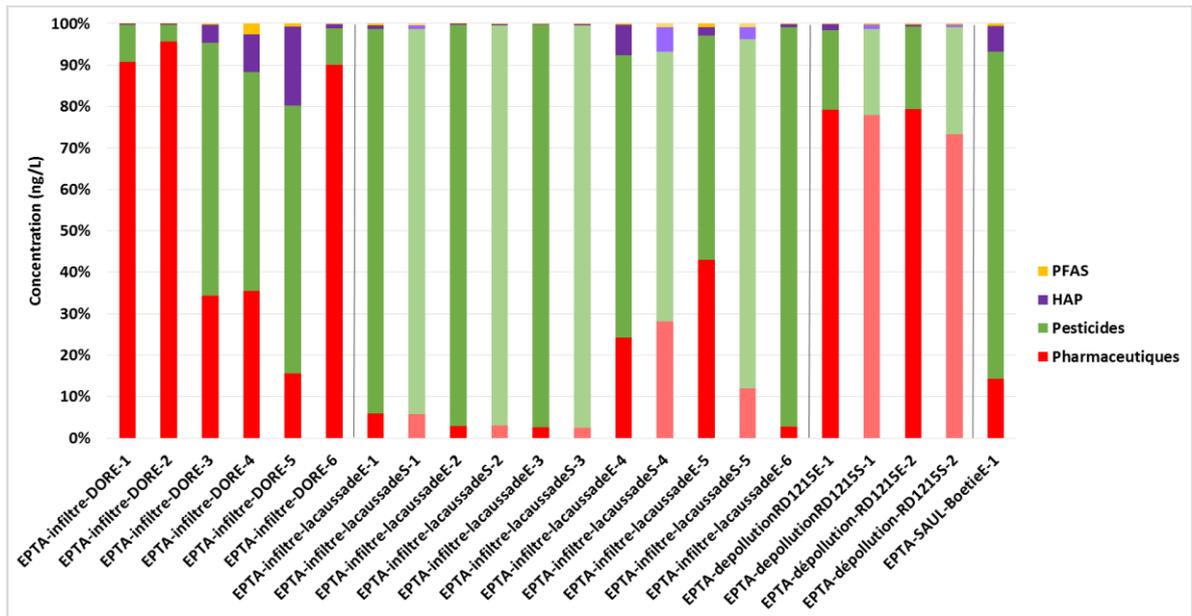


Figure 66 - Proportions des différentes familles de micropolluants dans les échantillons.

L’empreinte de contamination générale des différents sites permet de mettre en évidence 2 typologies différentes pour les eaux pluviales arrivant dans les ouvrages. Dans le cas du bassin d’infiltration de Germignan (nommé dans les graphes « DORE » pour les analyses organique) et du bassin de dépollution de la RD1215, une plus grande proportion de pharmaceutiques est présente, tandis que dans le cas du bassin d’infiltration de Lacaussade les eaux sont marquées par une majorité de pesticides.

Il est également à noter une variation importante des concentrations pour le bassin de Germignan (de 300 ng/L à plus de 12000 ng/L), couplée à un changement dans la typologie de ces eaux. Une partie de ce phénomène peut être expliquée par la période de temps sec ayant eu lieu avant l’évènement pluvieux étudié.

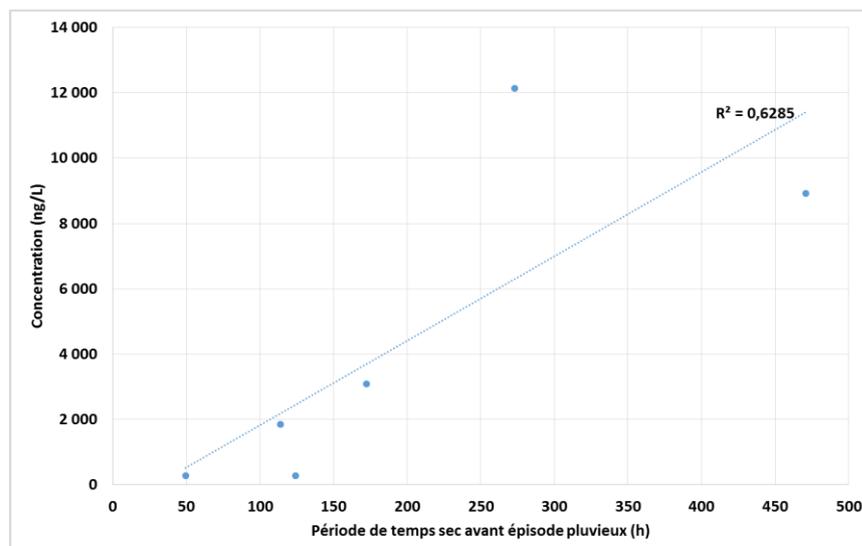
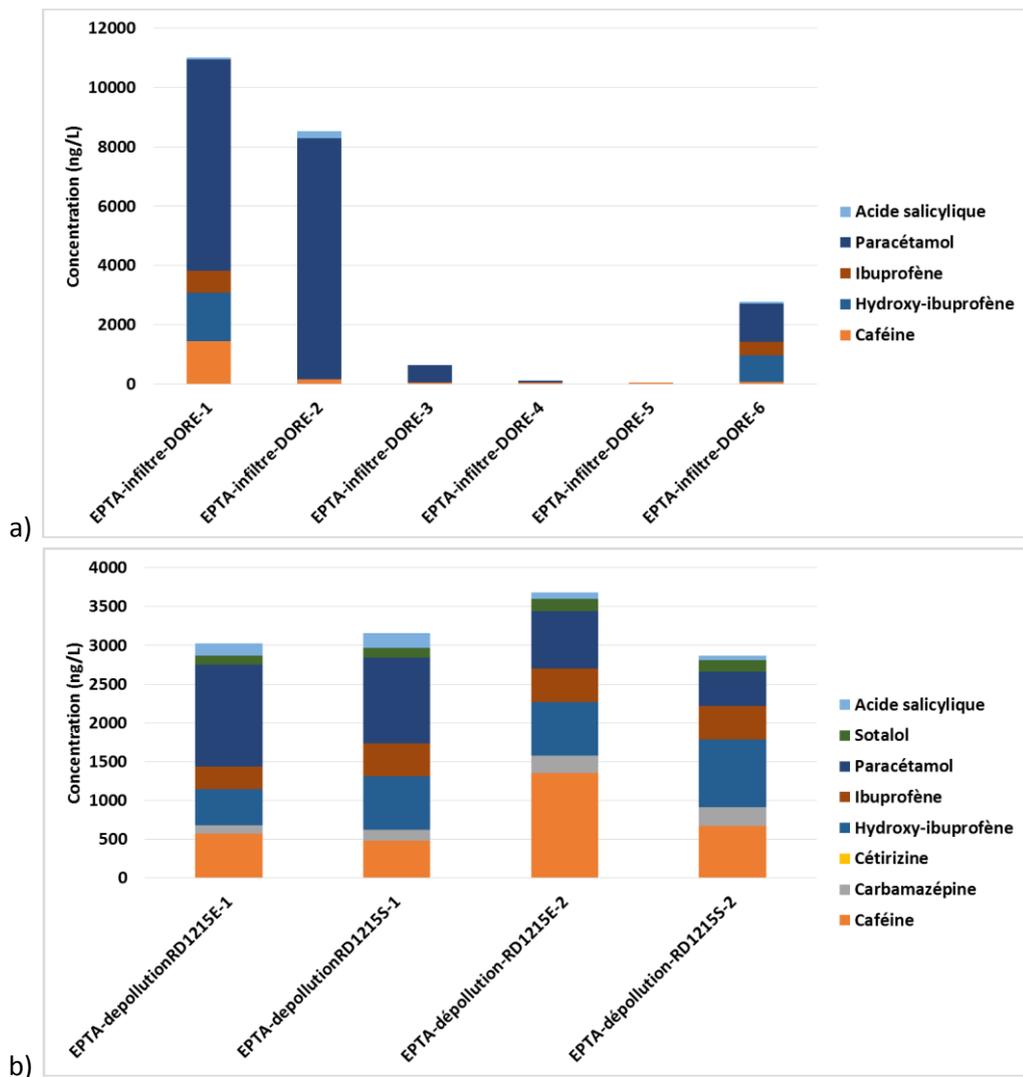


Figure 67 - Concentration totale en micropolluants dans les eaux d’arrivées du bassin d’infiltration du bois de Germignan en fonction de la période de temps sec précédant l’évènement pluvieux considéré

La figure ci-dessus montre que les 2 échantillons les plus concentrés en micropolluants ont été prélevés lors d'évènements pluvieux ayant suivi les 2 plus grandes périodes de temps sec (>250h soit plus de 10 jours). Les épisodes pluvieux répétés plus fréquemment entraînent un lessivage plus régulier des surfaces urbaines ainsi que des particules sédimentant dans les réseaux, et donc des concentrations en micropolluants en phase dissoute potentiellement plus faibles. Ces résultats pourraient être corrélés à d'autres facteurs comme l'intensité ou la durée de la pluie par exemple. En termes de concentrations, les valeurs sont peu différentes entre l'entrée et la sortie des ouvrages lorsque ces 2 points ont été échantillonnés. Ce résultat était prévisible, étant donné qu'il s'agit ici de l'analyse de la fraction dissoute et que ces ouvrages n'ont à l'origine pas été conçus pour traiter ce genre de contaminations dans ce type de phase ; ils sont plus dédiés à l'abattement des particules. L'analyse des flux, abordée plus loin dans les résultats, permettra de tirer des conclusions sur le rôle de ces ouvrages.



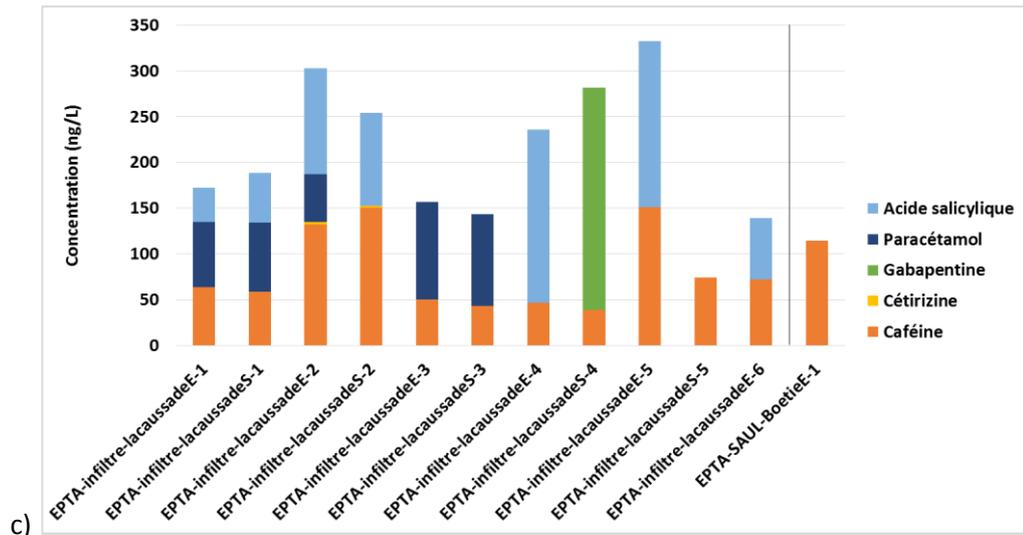
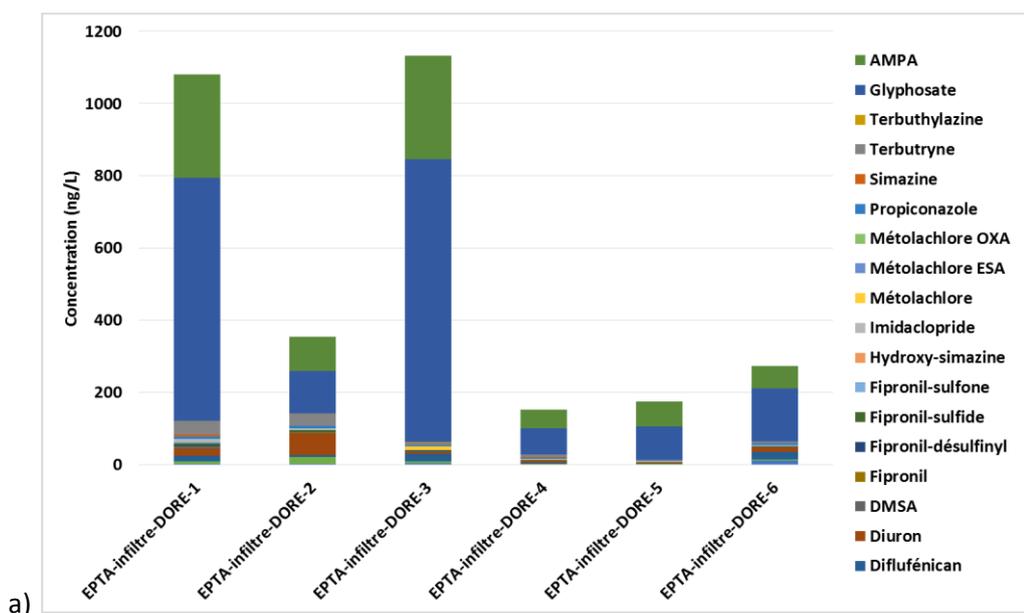


Figure 68 - Concentrations cumulées en composés pharmaceutiques pour les échantillons de : a) bassin d'infiltration du bois de Germignan, b) bassin de dépollution RD1215 et c) bassin d'infiltration de Lacaussade et SAUL Boétie

Si l'on descend à l'échelle de la famille de micropolluants et que l'on s'intéresse à la classe des composés pharmaceutiques (figures ci-dessus), on retrouve des médicaments caractéristiques d'eaux usées non traitées (acide salicylique, paracétamol, ibuprofène, hydroxy-ibuprofène, caféine). De manière plus inattendue la gabapentine est également présente sur un point à Lacaussade (mais en-dessous des limites de quantification), ainsi que du sotalol et de la carbamazépine pour le bassin de dépollution de la RD1215. Les valeurs élevées pour le bassin d'infiltration de Germignan (jusqu'à 11000 ng/L) sont tout de même inférieures à ce qui avait été trouvé dans les eaux pluviales lors du diagnostic amont du projet, avec des concentrations totales en pharmaceutiques variant entre 2 000 et 47 000 ng/L. Les concentrations dans le milieu naturel étaient comprises entre 500 et 3000 ng/L, avec toutefois plus de molécules recherchées.



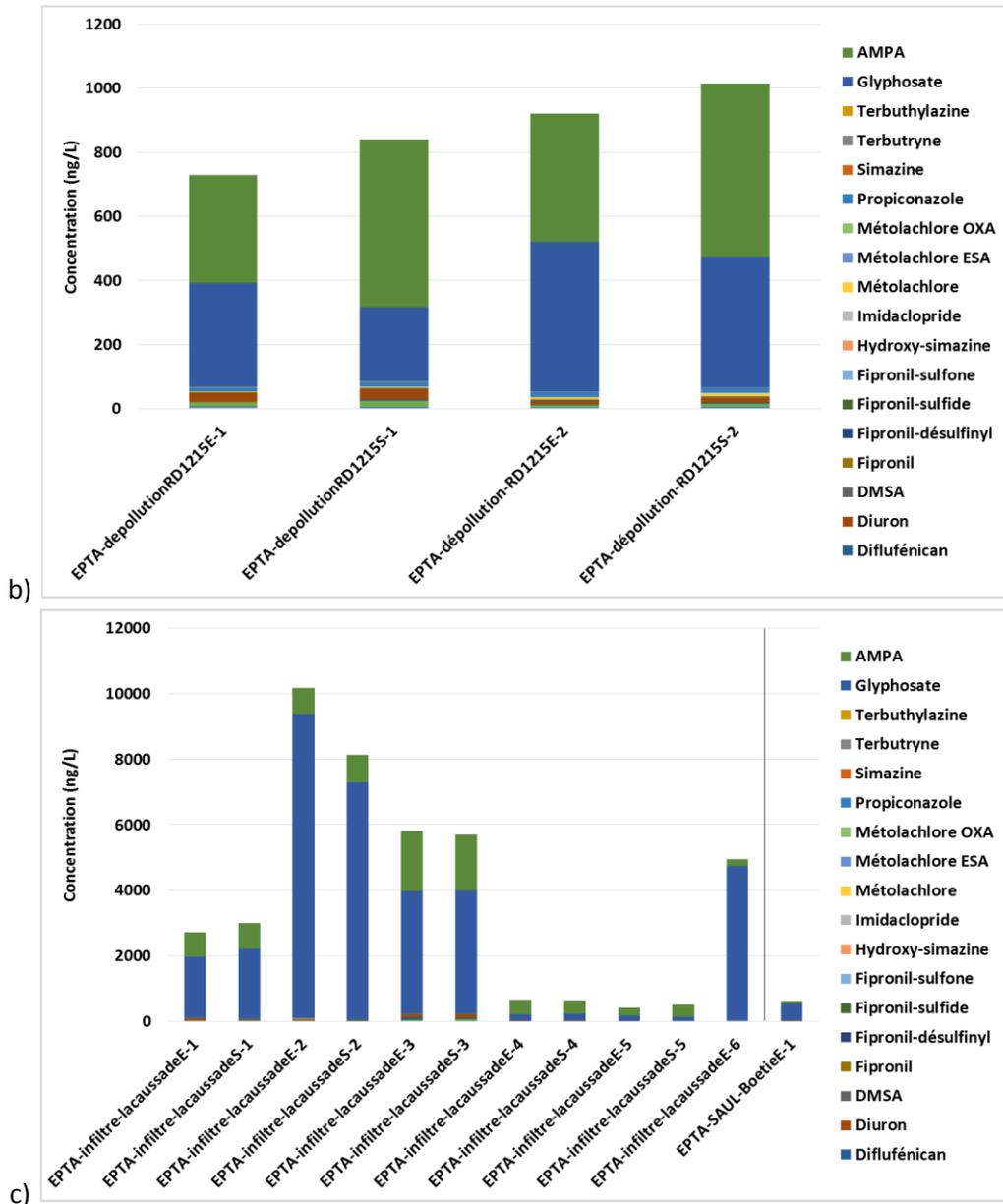


Figure 69 - Concentrations cumulées en pesticides pour les échantillons de : a) bassin d'infiltration du bois de Germignan, b) bassin de dépollution RD1215 et c) bassin d'infiltration de Lacaussade et SAUL Boétie

Les concentrations en pesticides sont les plus élevées pour le bassin d'infiltration de Lacaussade, avec des concentrations cumulées pouvant atteindre 10000 ng/L. Des biocides et des herbicides sont retrouvés dans les différents ouvrages. A titre de comparaison, les exutoires pluviaux étudiés précédemment dans le projet présentaient des concentrations totales en pesticides comprises entre 1000 et 30000 ng/L. Pour l'ensemble des ouvrages, les empreintes chimiques sont marquées par une présence majoritaire de glyphosate et de son métabolite, l'AMPA. Dans le cas de Lacaussade, le glyphosate est majoritaire, ce qui signifie que ce site est plus proche des sources d'émission, alors qu'à l'inverse, le bassin de dépollution de la RD1215 présente une répartition plus équilibrée entre ces 2 molécules.

Si l'on omet le glyphosate et l'AMPA, du diuron, de la terbutryne et du diflufénican sont également présents. Du fipronil est également retrouvé dans tous les ouvrages présents, et sa présence ici n'est

pas forcément associée aux eaux usées (composé présent à Lacaussade dont la typologie des eaux n'est pas particulièrement caractéristique d'eaux usées) bien qu'on ne puisse éliminer cette possibilité non plus. On notera également la présence de métolachlore dans les échantillons, en moindre mesure à Lacaussade (pesticide utilisé en agriculture).

Les concentrations sont peu différentes entre entrée et sortie d'ouvrage, ce qui est lié à l'absence d'abattement sur la phase dissoute.

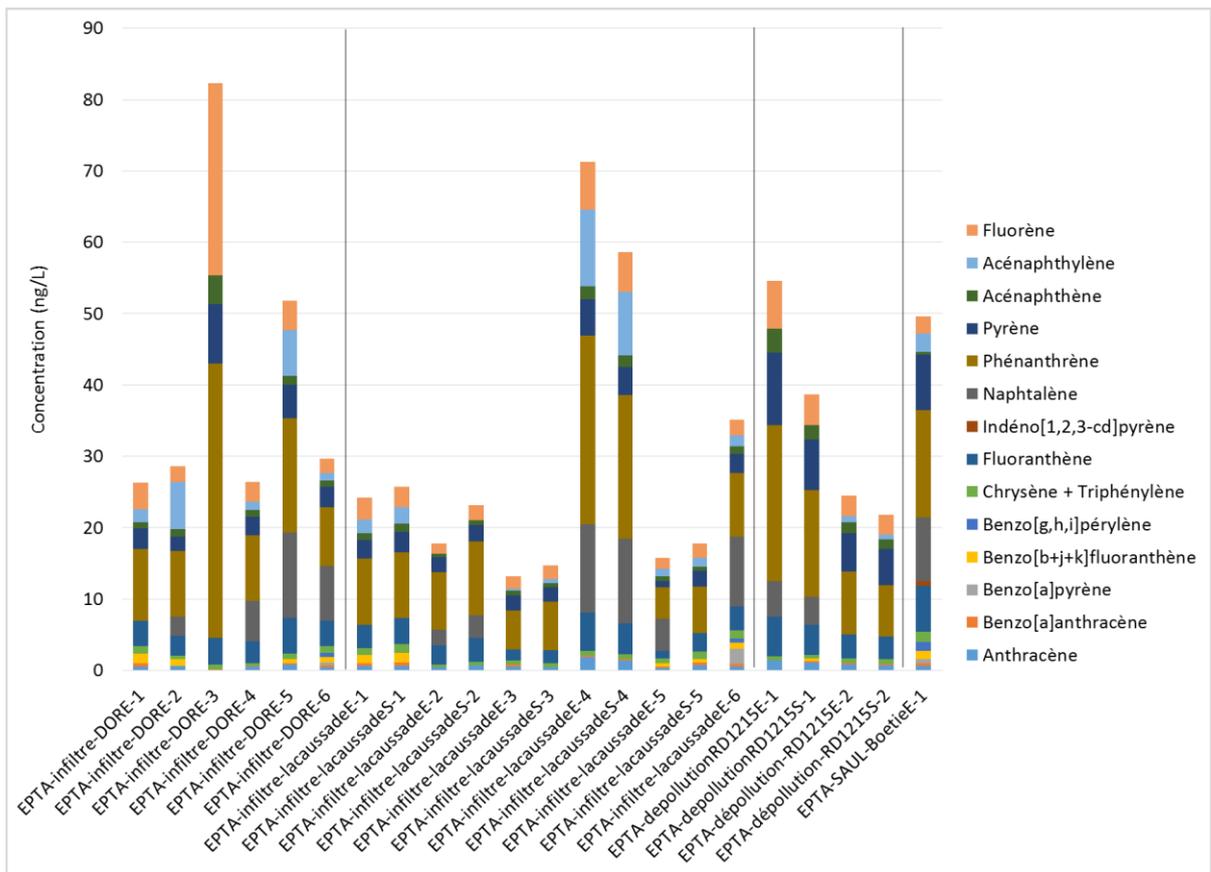


Figure 70 - Concentrations cumulées en HAP pour les différents sites étudiés

Les concentrations en HAP (Figure ci-dessus) sont dominées par les composés les plus légers (fluorène, phénanthrène) car ceux-ci sont plus solubles. Les plus lourds sont en revanche présents en bruit de fond. Aucune différence n'est observée en sortie d'ouvrage, dû au fait qu'il n'y ait pas d'abattement du dissous, comme dans le cas des pesticides. Les empreintes sont relativement homogènes avec des concentrations similaires. On est dans une situation « bruit de fond ».

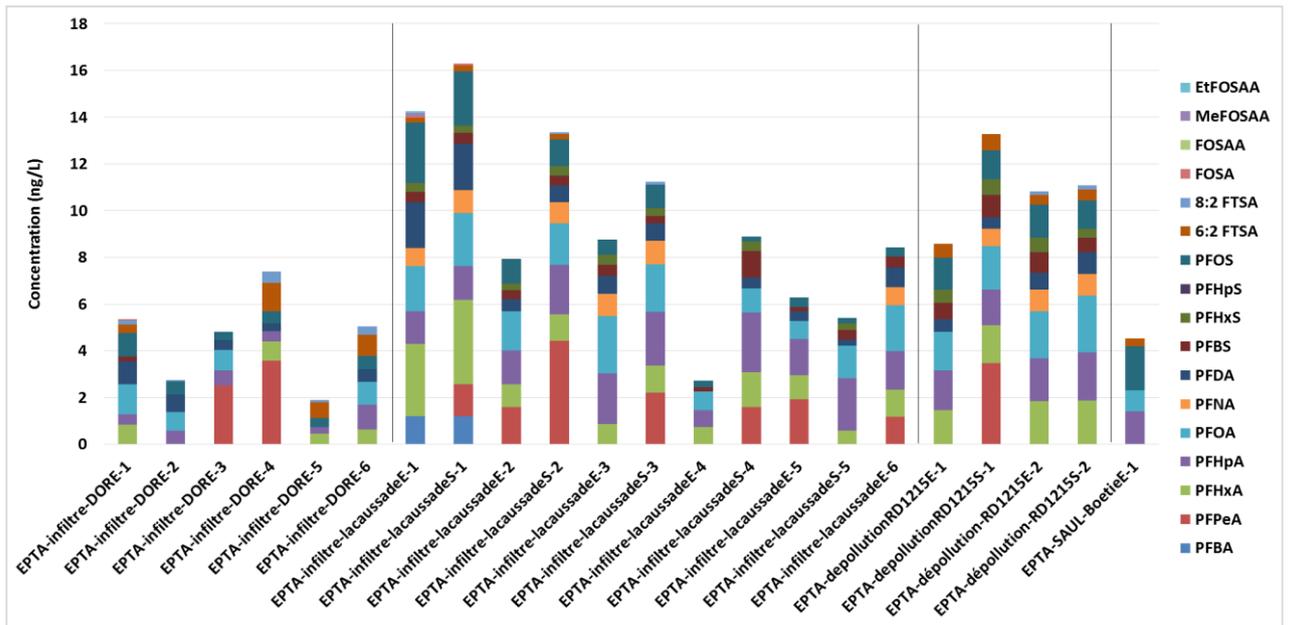


Figure 71 - Concentrations cumulées en PFAS pour les différents sites étudiés

Les concentrations en PFAS sont faibles (Figure ci-dessus), 16 ng/L dans le cas de l'échantillon le plus concentré, ce qui traduit un léger apport. A titre de comparaison, les eaux pluviales du site d'étude de Bois Gramond présentaient des teneurs comprises entre 247 ng/L et 421 ng/L, les eaux pluviales de zones urbaines entre 2 et 115 ng/L et les eaux usées domestiques entre 3 et 33 ng/L (cf. livrable 1.3.1).

### Résultats sur la phase particulaire

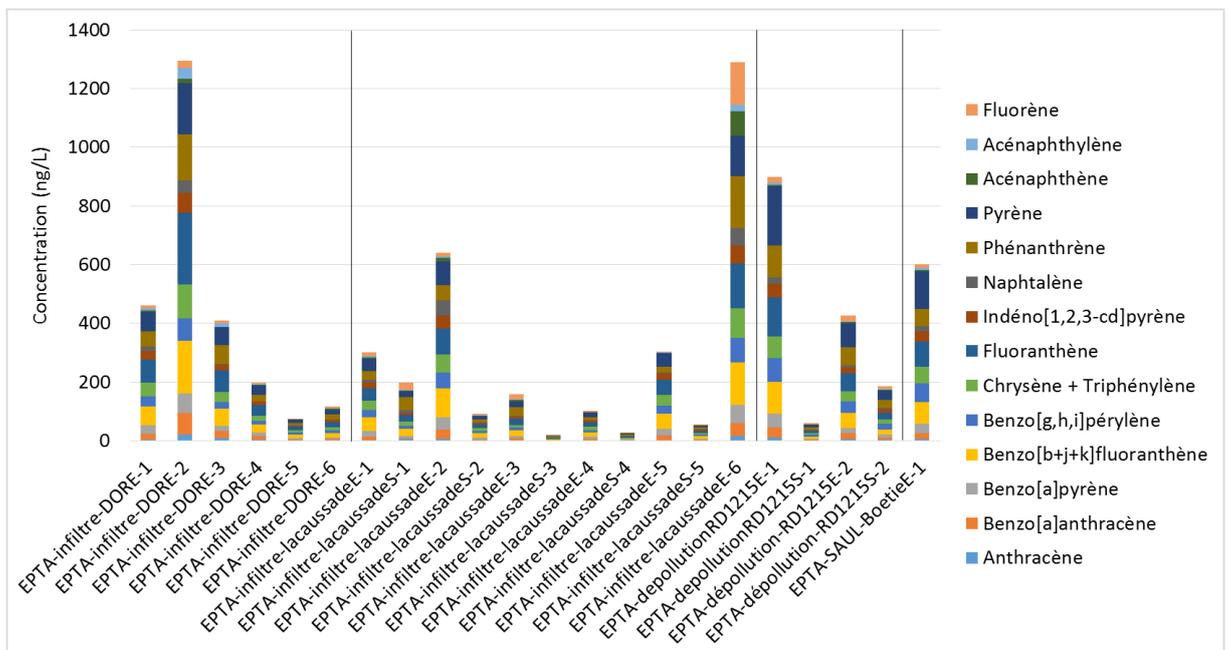


Figure 72 - Concentrations en HAP sur la fraction particulaire (ng/L) sur les différents ouvrages

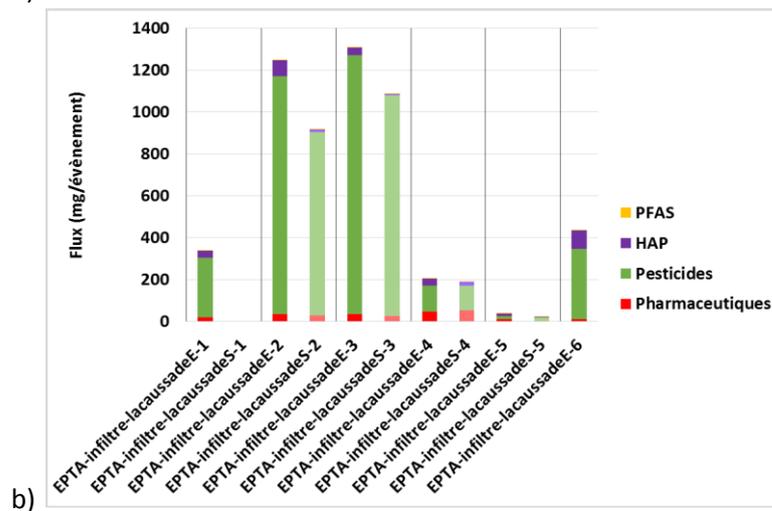
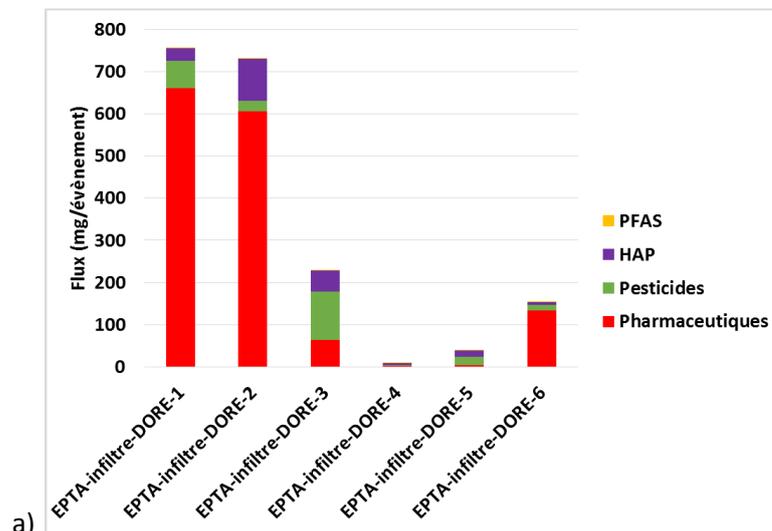
Le bassin de la RD1215, qui reçoit les eaux pluviales de la route départementale, ne présente pas de concentration en HAP particuliers supérieure aux autres ouvrages. Les concentrations en phase

particulaire sont plus élevées que pour la phase dissoute (jusqu'à 1300 ng/L ici contre 10 à 80 ng/L pour la phase dissoute), lié au caractère hydrophobe de ces molécules. Les composés retrouvés en majorité sont les plus lourds, c'est-à-dire les moins solubles.

Les bassins d'infiltration de Lacaussade et de dépollution RD1215 présentent une diminution des concentrations en HAP particuliers entre l'entrée et la sortie, lié à une diminution de la teneur en MES.

### Analyse des flux de micropolluants

Les flux de micropolluants présentés ci-dessous correspondent aux flux totaux, c'est-à-dire aux flux cumulés du dissous et du particulaire pour les HAP, et uniquement au flux dissous pour les autres classes de composés dont la phase particulaire n'a pas été étudiée (du fait du manque de matériel particulaire).



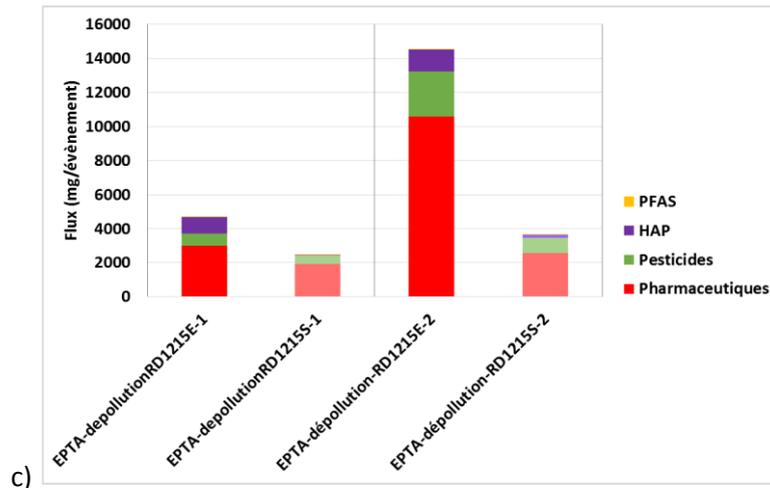


Figure 73 - Flux des différentes familles de micropolluants (mg/événement pluvieux) pour a) le bassin du bois de Germignan, b) le bassin d'infiltration de Lacaussade et c) le bassin de dépollution de la RD1215.

Les valeurs sont variables suivant les ouvrages étudiés, et variables entre entrée et sortie (10 – 750 mg/événement pour DORE (Germignan), 20 – 1300 mg/événement pour Lacaussade, 2000 – 14500 mg/événement pour RD1215). Les flux sont plus faibles en sortie qu'en entrée d'ouvrage lorsque ces 2 points ont été étudiés. Comme indiqué précédemment dans le document, les concentrations étant sensiblement similaires entre entrée et sortie, **cette diminution provient d'un abattement de la phase particulaire ainsi qu'à une diminution du volume d'eau sortant de l'ouvrage. Il ne s'agit donc pas d'un abattement en tant que tel mais d'une rétention du flux.**

### 3) Résultats des analyses des échantillons de nappes

Pour rappel, les piézomètres choisis pour les campagnes de prélèvement sont ceux situés à l'aval hydraulique du bassin de Germignan (P29 : code BSS001YBJS, et P30 : BSS001YBJR, sur la figure ci-dessous).

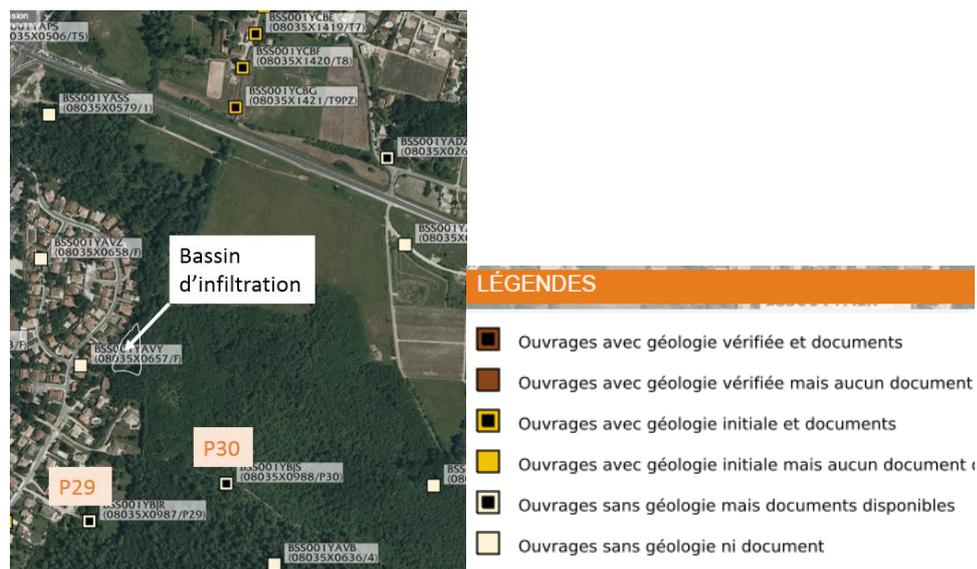


Figure 74 - Localisation des piézomètres en amont et en aval du bassin. Source : Infoterre

3 campagnes de prélèvement ont eu lieu : les 13/7/2017, 26/6/2018 et 5/7/2018. Les résultats obtenus sur les différents polluants analysés sont décrits ci-dessous.

### a. Polluants majeurs

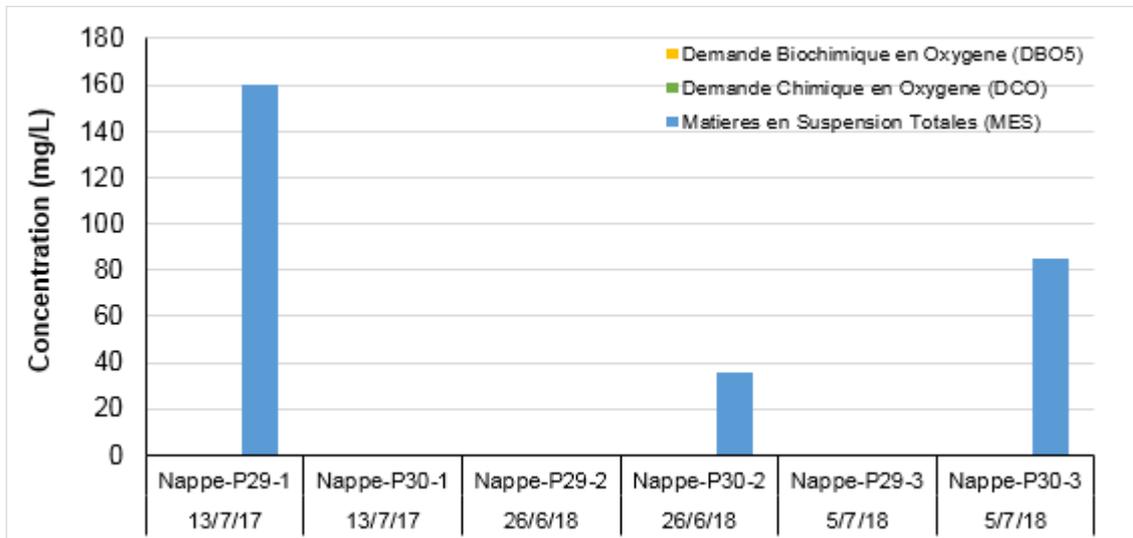


Figure 75 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour MES, DCO et DBO<sub>5</sub>

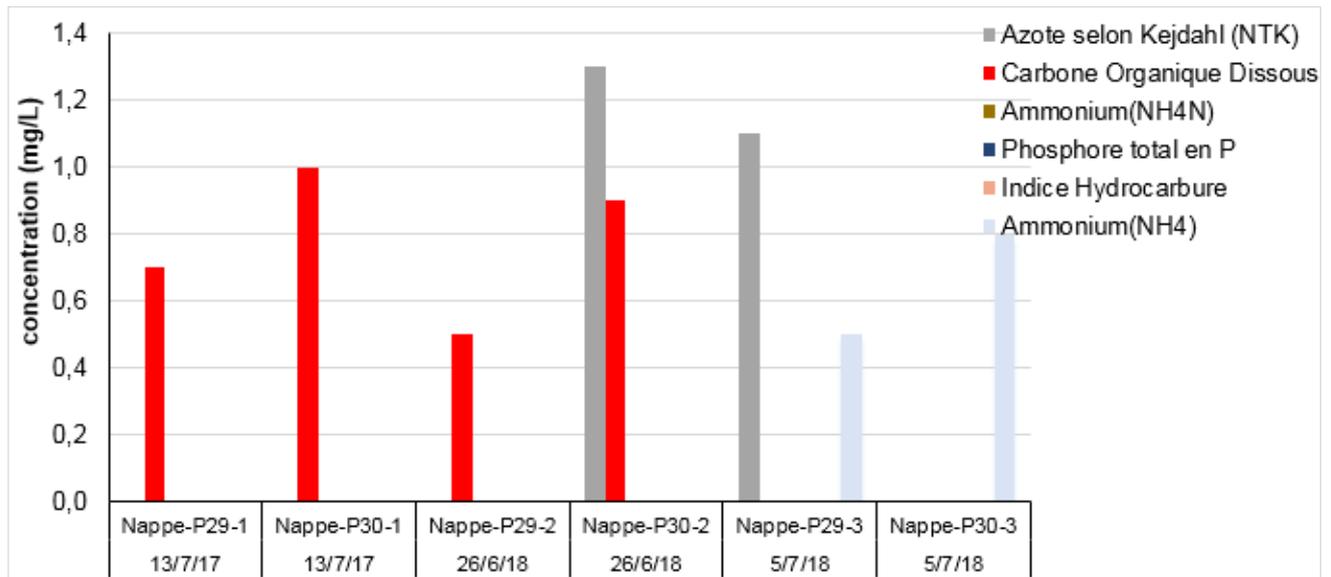


Figure 76 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour les autres polluants majeurs analysés

On constate :

- Pour les paramètres MES et le COD, les résultats obtenus sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus sur les eaux pluviales
- Une présence de NH<sub>4</sub> et NTK est identifiée sur quelques échantillons
- Les autres paramètres sont en-dessous des limites de quantification

b. ETM

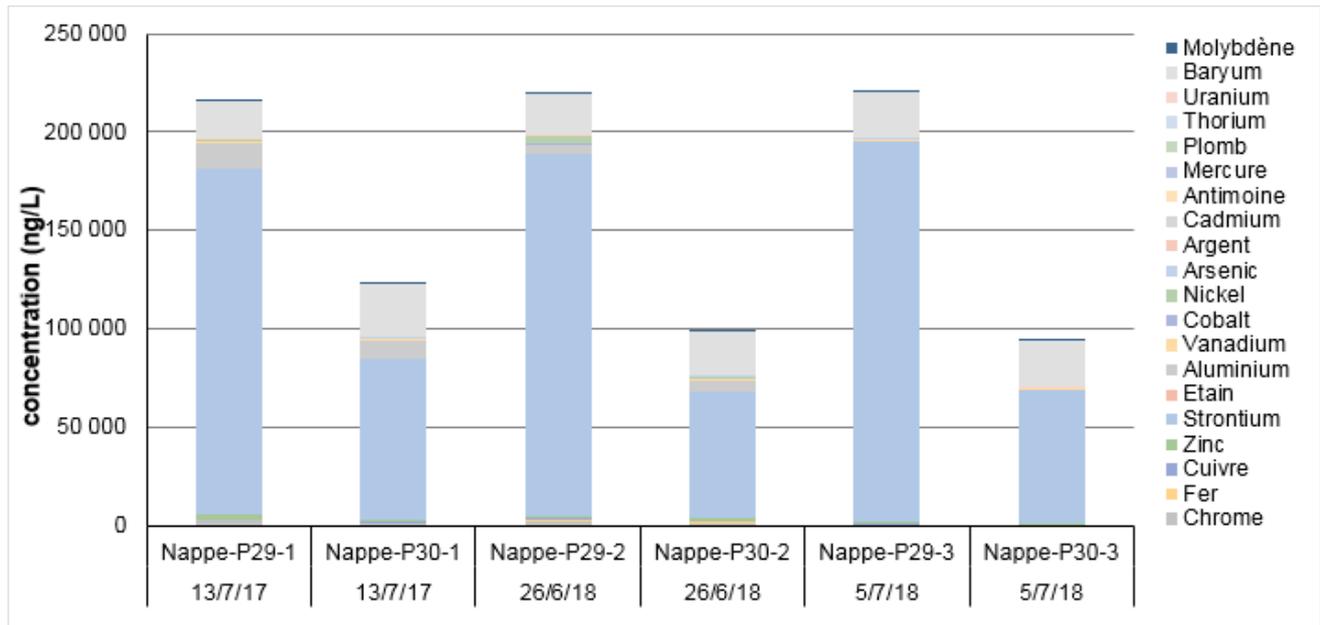


Figure 77 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour ETM dissous

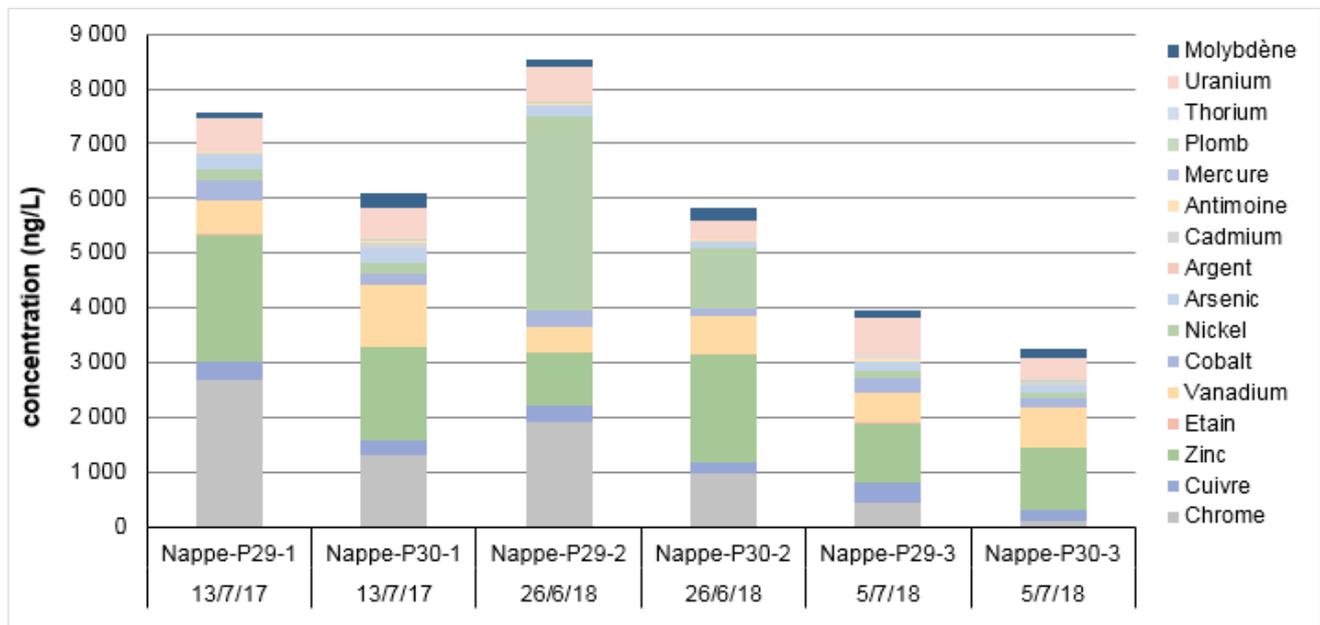


Figure 78 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour ETM dissous hors Fer, Strontium, Aluminium Baryum

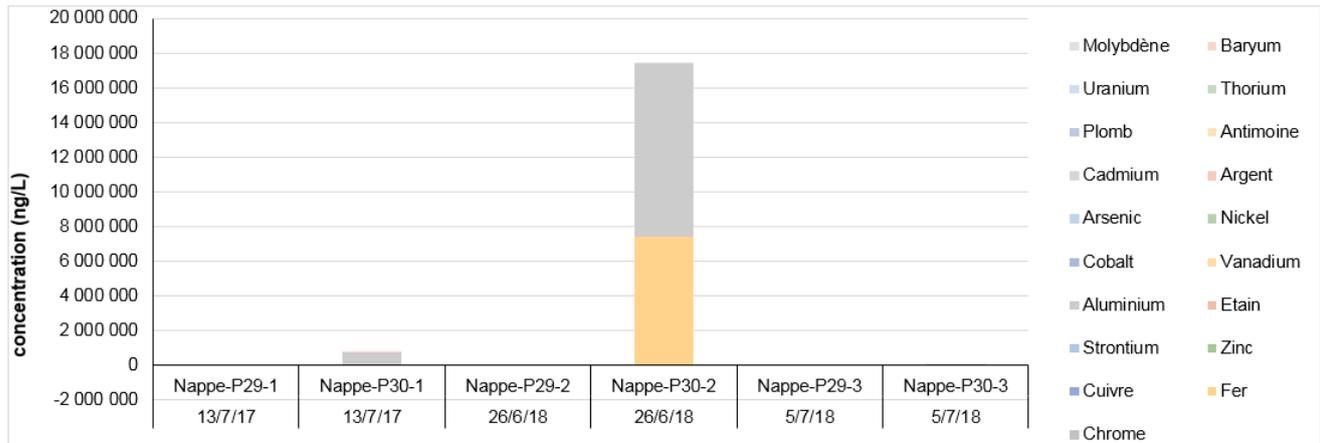


Figure 79 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour ETM particulières

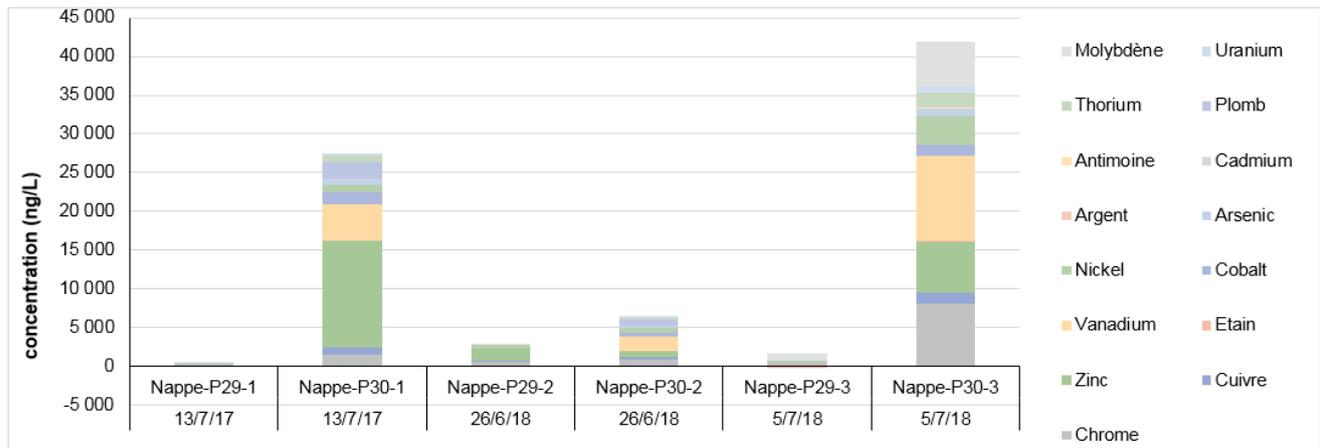


Figure 80 - Résultats obtenus sur les eaux de nappes pour ETM particulières hors Fer, Strontium, Aluminium, Baryum

On constate :

- Des concentrations relativement stables pour les ETM dissous.
- Des concentrations beaucoup plus variables pour les ETM particulières.
- Hors Fer, Strontium, Aluminium Baryum on retrouve majoritairement du Zinc, du Chrome, du Vanadium et du Nickel en dissous, comme en particulaire.

c. Micropolluants organiques

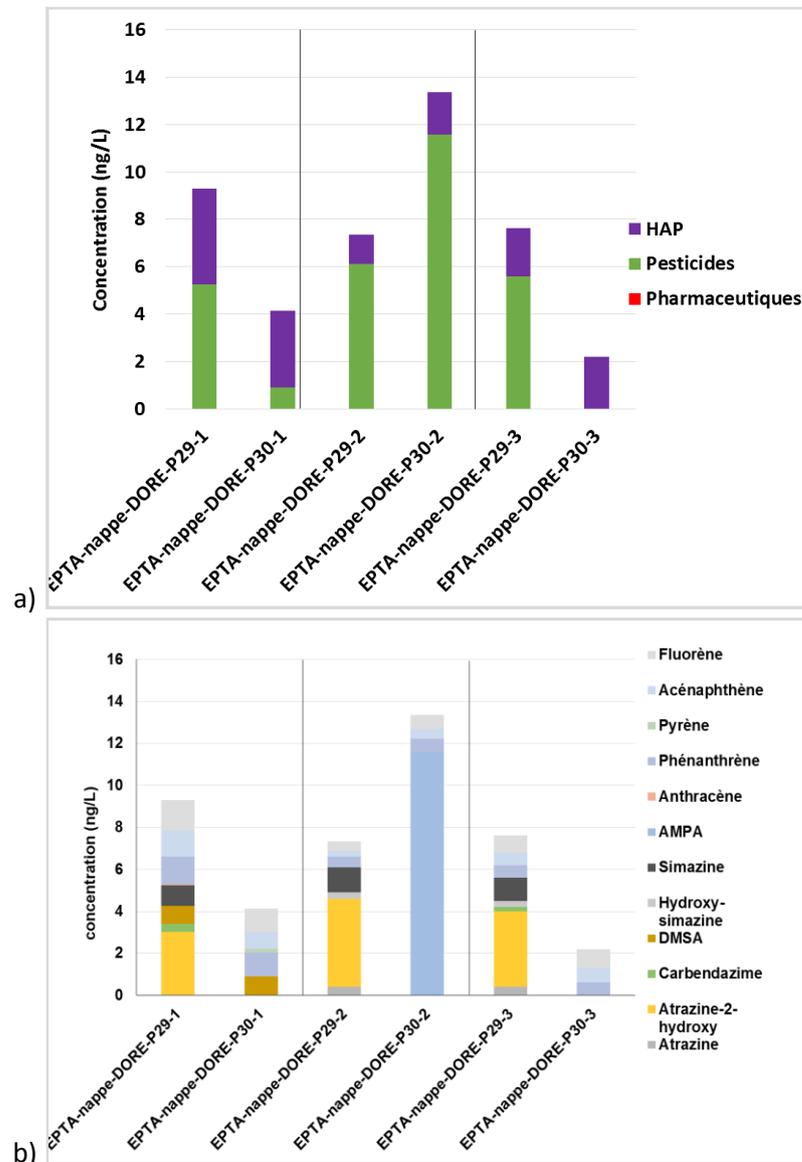


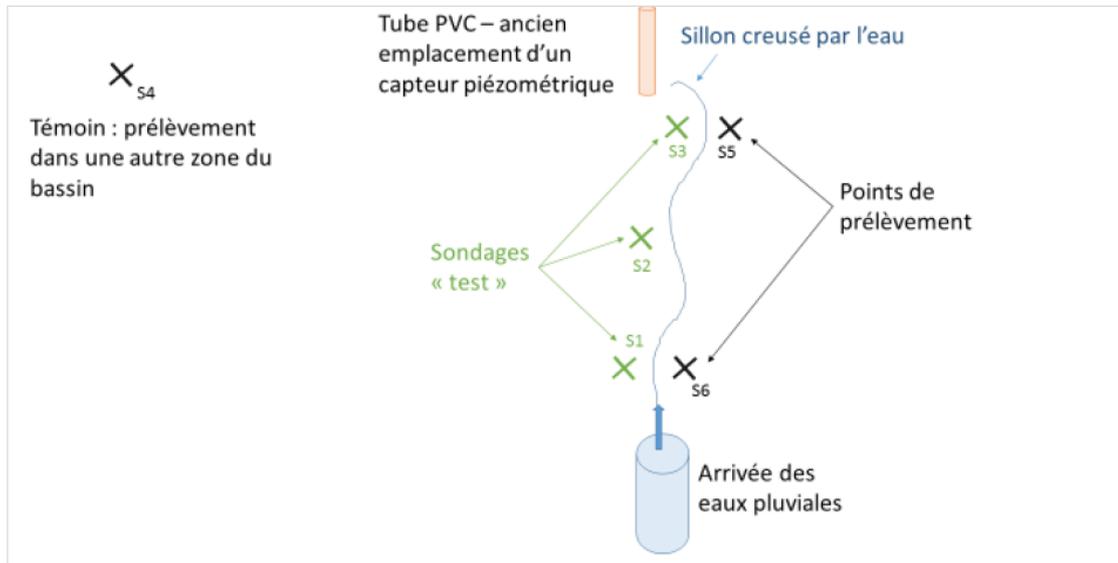
Figure 81 - Concentrations cumulées des différentes familles de micropolluants et b) concentrations cumulées en pharmaceutiques dans les eaux de nappes

Dans les nappes, les typologies de contamination sont différentes des précédents échantillons en phase dissoute avec seulement des HAP et des pesticides qui sont retrouvés, dans des teneurs qui restent toutefois faibles (concentrations totales inférieures à 15 ng/L). Les pesticides retrouvés majoritairement sont des anciens pesticides dont l'usage n'est plus d'actualité (simazine, atrazine et son métabolite atrazine-2-hydroxy), et l'AMPA sur un point. L'empreinte chimique est variable sur les 2 piézomètres, ce qui indique une influence extérieure qui n'a pas pu être mise en évidence dans le cas de cette étude.

#### 4) Résultats des analyses des échantillons de sols et plantes

##### a. Résultats d'analyse des échantillons de sols au Bois de Germignan

Le schéma ci-dessous rappelle le protocole de prélèvement :



- Les sondages S1, S2 et S3 sont des sondages tests qui avaient été utilisés pour déterminer le nombre d'horizons à analyser
- Les points S5 et S6 sont des points de prélèvement situés le long du sillage pour lequel 3 horizons de profondeur ont été analysés
- Le point S6 est plus proche de l'arrivée d'eaux pluviales que le point S5
- Le point S4 est le sondage témoin, a priori non ou peu souillé car relativement loin du sillage dessiné par l'arrivée d'eaux pluviales, utilisé pour comparer les résultats obtenus sur les points de prélèvements S5 et S6
- Les prélèvements ont été réalisés le 21/07/2017

#### Résultats obtenus sur les ETM :

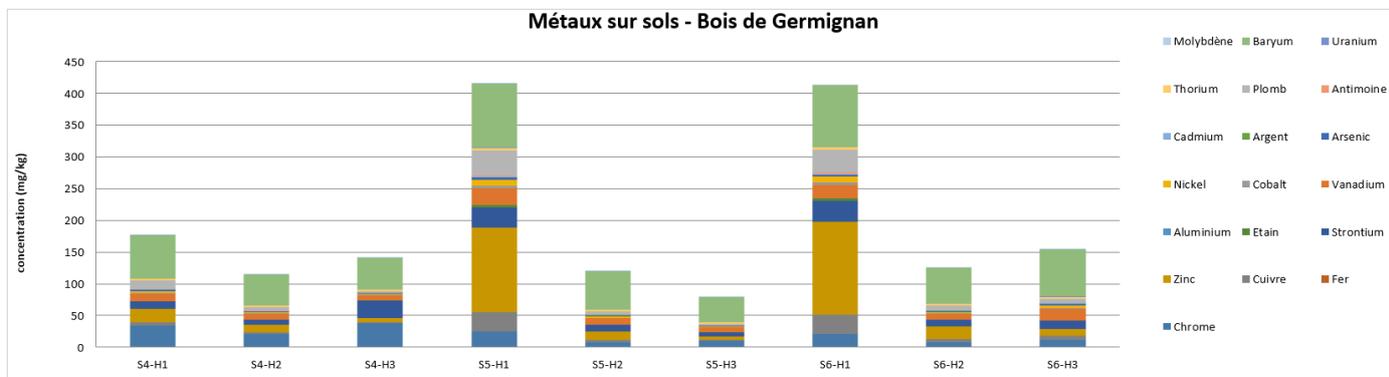


Figure 82 - Résultats d'analyse des échantillons pour les ETM sur les sols de Germignan, en mg/kg

- Analyse des résultats

Les concentrations des 3 horizons du point témoin S4 semblent à peu près identiques contrairement à celles des points S5 et S6 pour lesquels une plus forte concentration est obtenue sur l'horizon 1 (le plus proche de la surface).

Les concentrations en métaux sont souvent corrélées négativement à la médiane granulométrique : les argiles (granularité très fine) fixent beaucoup plus les métaux que le sable en raison de surfaces spécifiques plus importantes. La comparaison entre échantillons nécessite donc, au préalable, d'appliquer une normalisation afin d'éliminer les artefacts dus à la taille des particules. Le normalisant doit donc répondre à différentes exigences 1) varier proportionnellement aux concentrations naturelles des métaux considérés, 2) ne doit pas être influencé par les processus d'adsorption/désorption, d'oxydo-réduction ou de diagenèse dans les sédiments/sols, 3) ne doit pas présenter d'apports anthropiques modifiant sa distribution dans le milieu. Notre choix s'est porté sur Thorium.

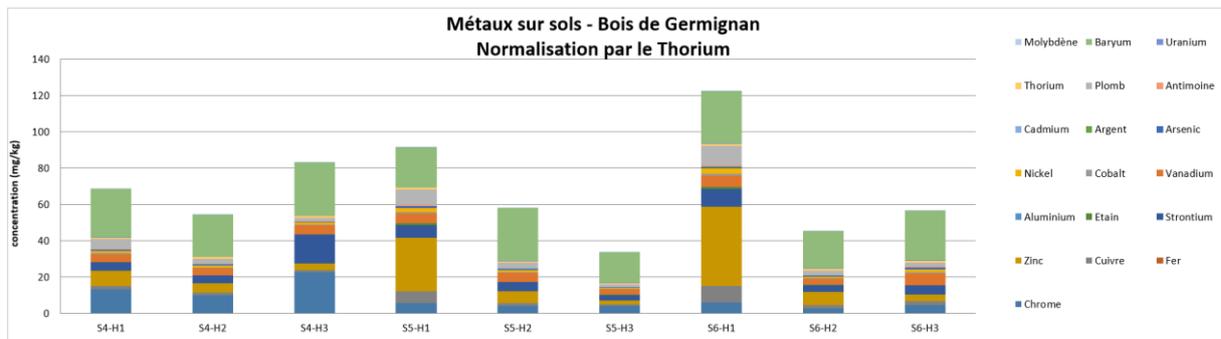


Figure 83 - Résultats d'analyse des ETM sur les sols de Germignan, normalisation par le Thorium

En normalisant on voit également la décroissance des concentrations entre l'horizon le plus haut et ceux plus bas dans le sol pour S5 et S6, contrairement au point témoin S4 pour lequel les concentrations des 3 horizons semblent peu varier.

Le point S6, plus proche de l'arrivée des eaux pluviales semble également plus concentré que le point S5.

⇒ **Ces premières conclusions montrent que, indépendamment de la granulométrie, les parties du sol les plus concentrées en métaux sont celles les plus proches de l'arrivée d'eaux pluviales.**

Pour analyser quels sont les éléments anthropiques, on normalise à nouveau, mais cette fois par un échantillon de référence (i.e. les valeurs obtenues sur l'horizon H2 du point S4, étant celui le moins pollué). Cette normalisation est également nécessaire pour s'affranchir des valeurs importantes qui peuvent être obtenues du fait que des métaux sont naturellement présents dans les sols.

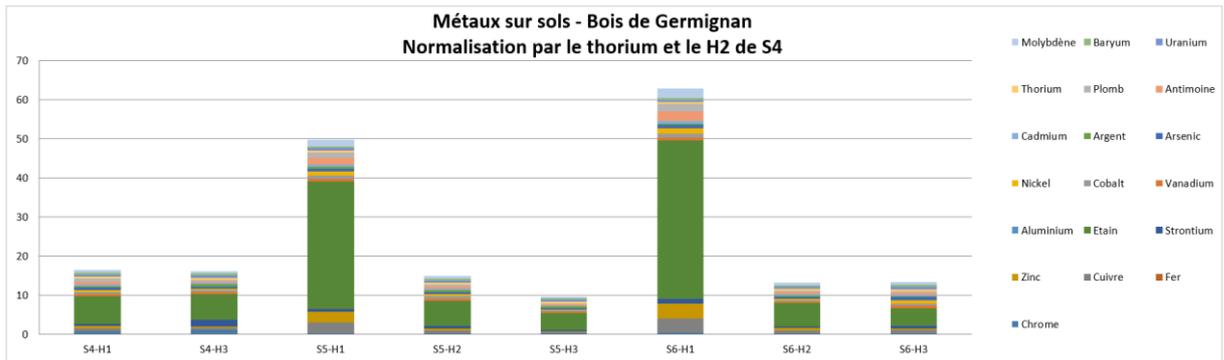


Figure 84 - Résultats d'analyse des ETM sur les sols de Germignan, normalisation par le Thorium et l'échantillon le moins concentré (horizon 2 du témoin S4)

- ⇒ Les éléments qui ressortent sont l'étain, le zinc, le cuivre, molybdène, plomb et antimoine, éléments caractéristiques du pluvial, ce sont notamment des traceurs routiers.
- ⇒ Seuls l'horizon le plus proche de la surface du sol est impacté. Les horizons 2 et 3 qui se trouvent respectivement à 30 et 70 centimètres de la surface ne semblent pas impactés par l'infiltration des eaux pluviales.

**Résultats obtenus sur les micropolluants organiques :**

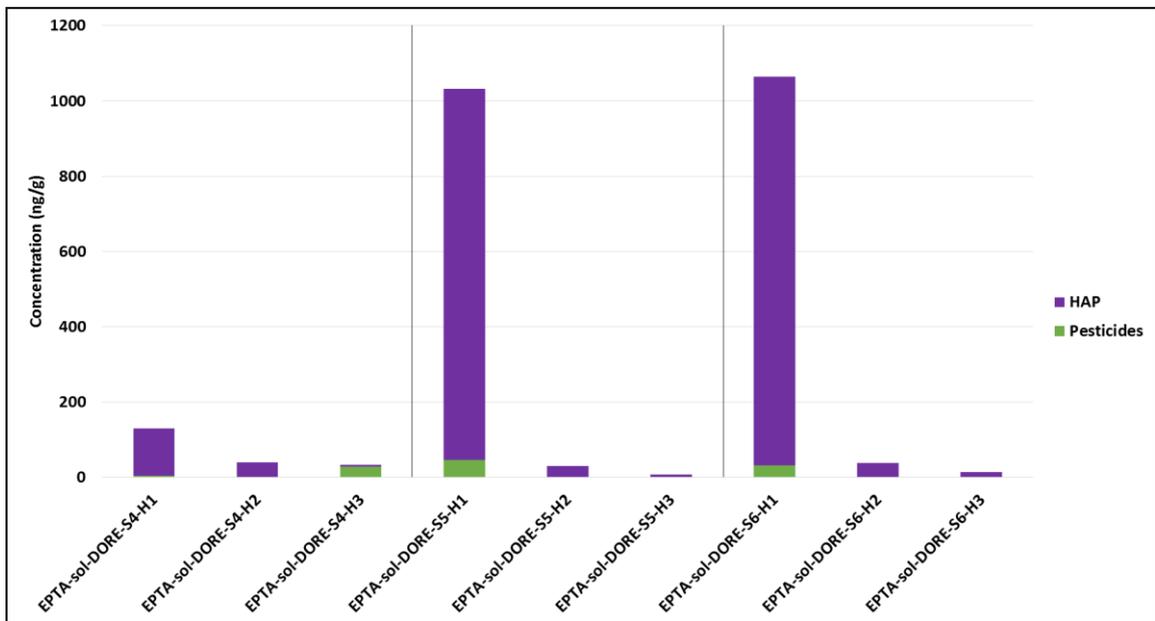


Figure 85 - Concentrations cumulées des familles de micropolluants dans différents points et différents horizons de sols du bassin de Germignan

Les concentrations dans les sols indiquent une forte proportion de HAP en comparaison des pesticides, en moyenne supérieure à 90% (à l'exception du point EPTA-sol-DORE-S4-H3 présentant une majorité de pesticides). Les concentrations sont plus élevées dans le premier horizon (H1) par rapport aux horizons plus profonds (H2 et H3). Il est à noter que le point témoin (S4) est moins contaminé.

Aucune différence apparente n'est en revanche notée entre les concentrations au point S5 (le plus proche de l'arrivée d'eau) et au point S6.

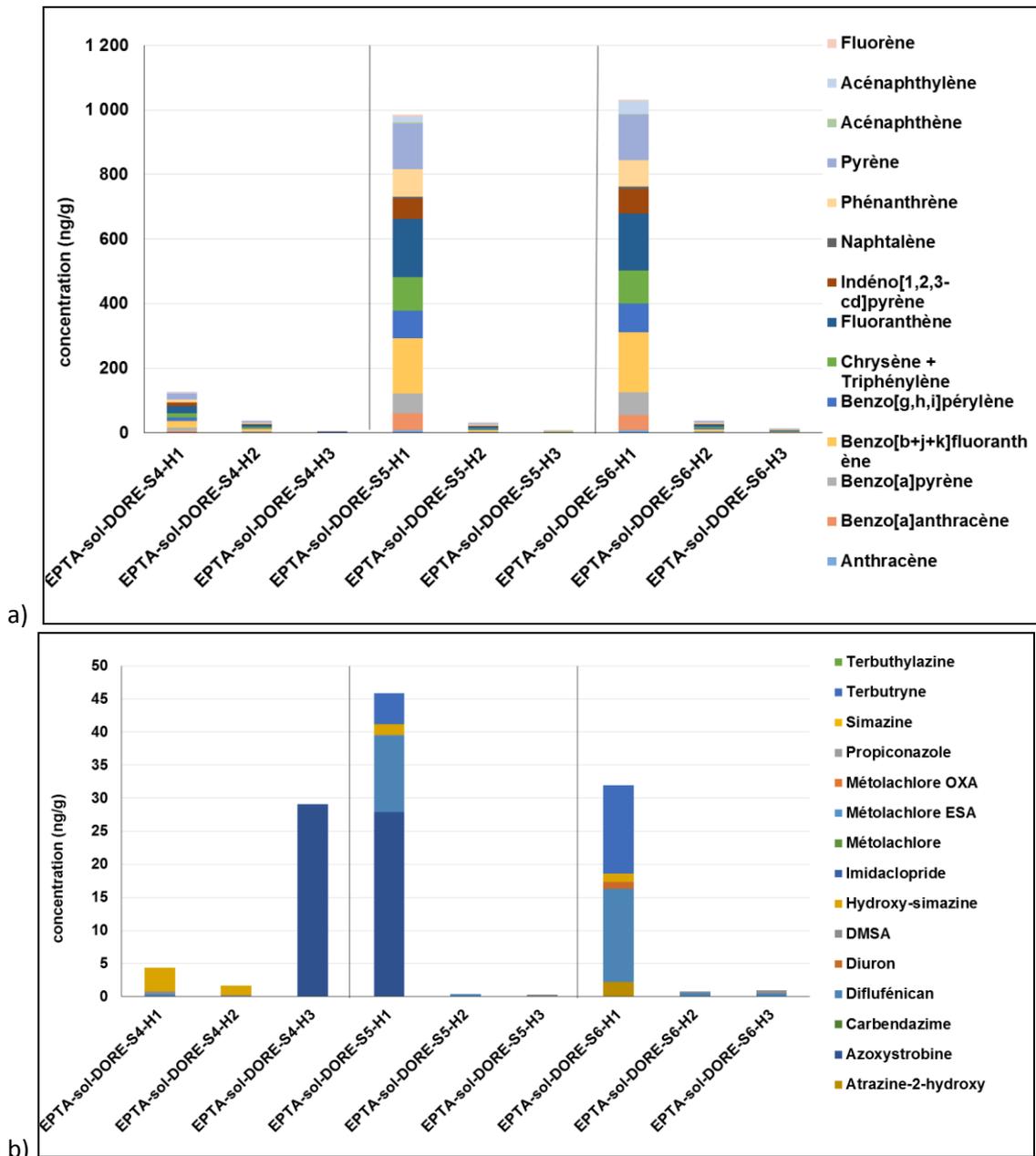


Figure 86 - Concentrations cumulées en a) HAP et b) pesticides dans différents points et différents horizons de sols du bassin de Germignan

En lien avec la contamination générale, les concentrations en HAP et en pesticides sont plus élevées dans le premier horizon, le témoin étant toujours le point le moins contaminé. Les empreintes en HAP sont très similaires entre les différents points, et ce quelle que soit la profondeur de prélèvement.

Les pesticides les plus abondants sont l'atrazine-2-hydroxy, l'azoxystrobine, le diflufénican, l'hydroxy-simazine et la terbutryne, ces composés étant des molécules assez hydrophobes (Log Kow > 2) et

donc pouvant s'adsorber sur les particules. On observe une légère modification d'empreinte pour l'horizon supérieur (plus de terbutryne et disparition de l'azoxystrobine pour le point S6).

### b. Résultats d'analyse des échantillons de plantes à RD1215

Pour rappel, sur le bassin RD1215, chaque échantillon constitué du mélange prélevé en 5 points du bassin a été divisé en 3 pour avoir un réplica des analyses :

Type de prélèvement	Nombre d'échantillons
Mélange des parties aériennes	3 réplicas
Mélange des parties souterraines	3 réplicas
<b>TOTAL</b>	<b>6 échantillons</b>

#### Résultats obtenus sur les ETM :

Les résultats obtenus sur les ETM sont les suivants :

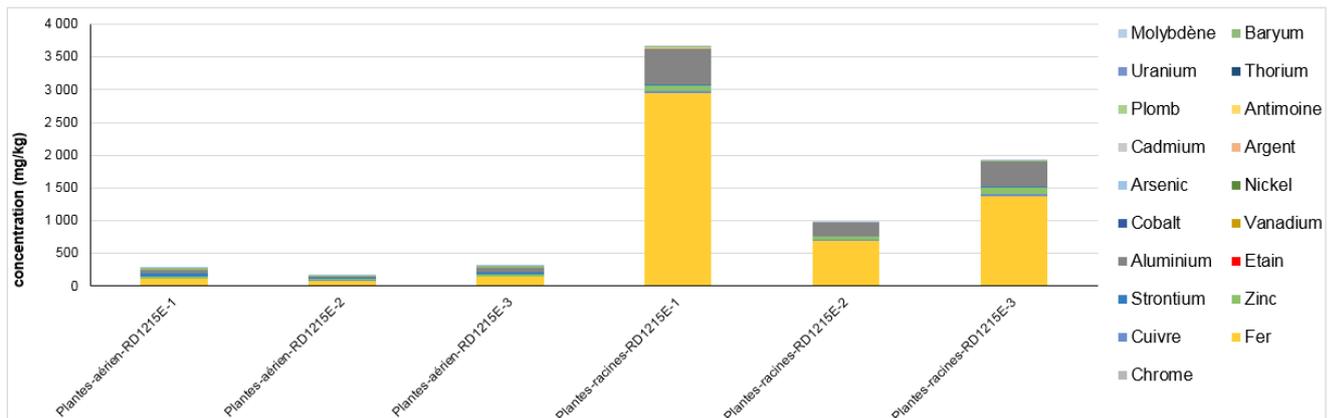


Figure 87 - Résultats d'analyse des ETM sur les plantes de RD1215

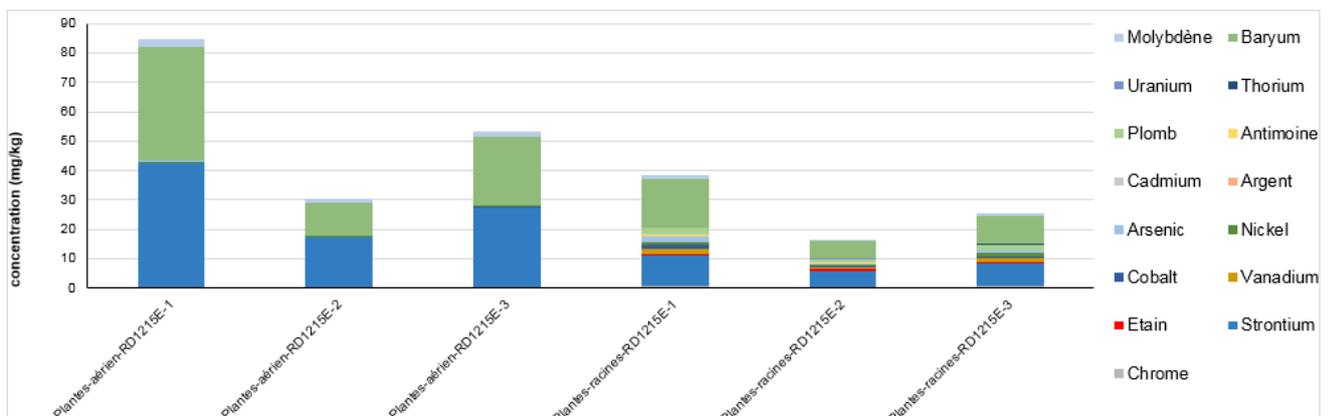


Figure 88 - Résultats d'analyse des ETM sur les plantes de RD1215, hors Fer, Aluminium, Cuivre et Zinc

- Analyse des résultats

Les éléments qui ressortent sont le fer, l'aluminium, le cuivre et le zinc. Ces éléments étant en plus forte concentration dans les racines que dans les parties aériennes des plantes.

Sont présents également le strontium et le baryum, mais ces derniers sont au contraire en plus forte concentration dans la partie aérienne que dans la partie racinaire.

**Résultats obtenus sur les organiques :**

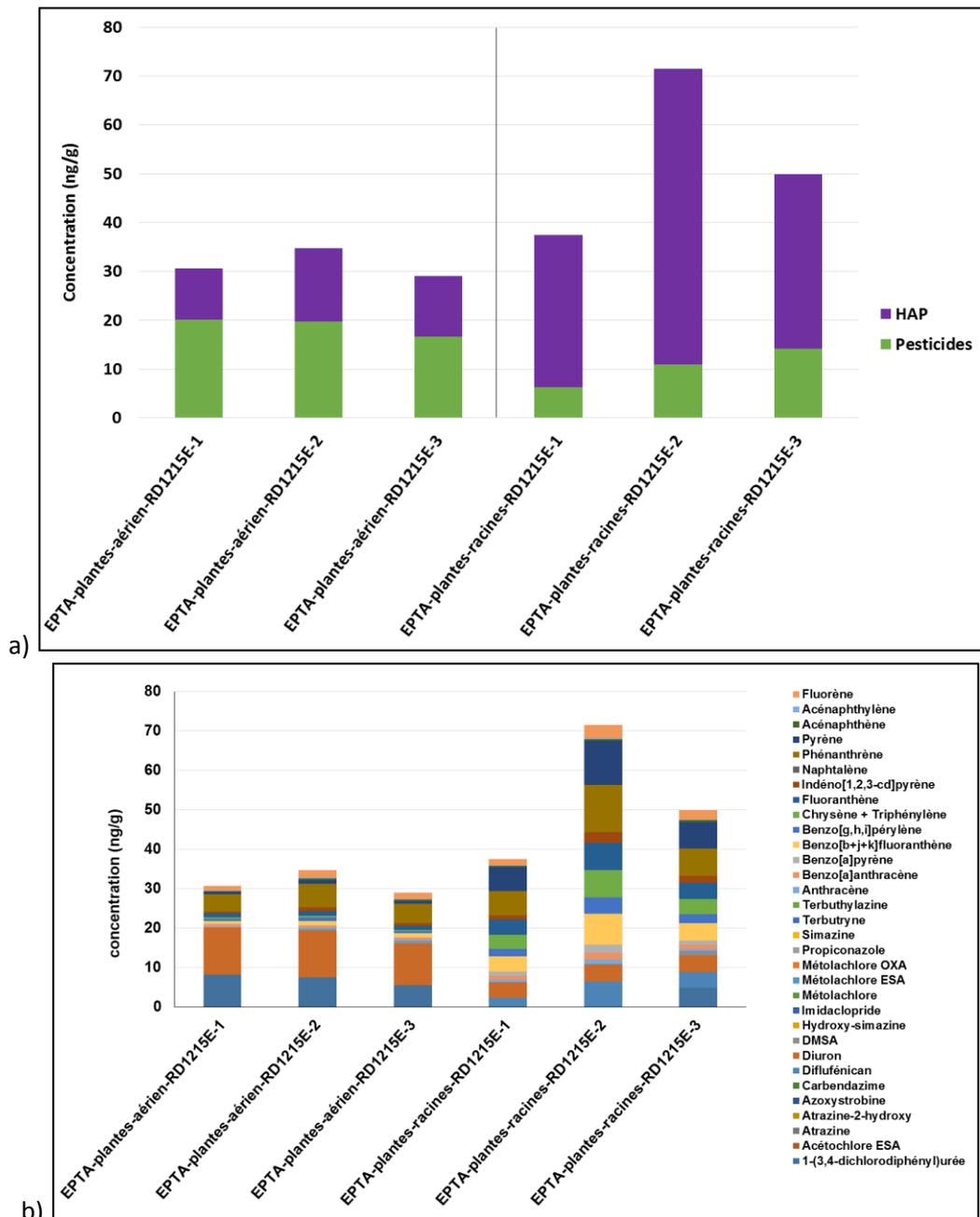


Figure 89 - a) Concentrations cumulées en pesticides et HAP et b) concentrations cumulées des différents composés dans les plantes du bassin RD1215

Les concentrations totales dans les végétaux du bassin RD1215 sont comprises entre 30 et 70 ng/g, avec une modification de l'empreinte entre les racines et les feuilles. En effet, les concentrations en HAP sont plus élevées dans les racines, ce qui peut probablement être expliqué par la présence de sol dans les prélèvements. Les feuilles sont marquées par la présence majoritaire de diuron (herbicide) et de l'un de ses métabolites (1-(3,4-dichlorodiphényl-urée), en quantité plus importante que dans les racines, ce qui pourrait être lié à un transfert de ces molécules dans les parties aériennes.

## G) CONCLUSION

Pour la partie suivi hydraulique, le projet a permis de constituer une base de données long terme sur plusieurs techniques alternatives du territoire. L'analyse des résultats hydraulique montre des performances satisfaisantes par rapport aux performances attendues sur les pluies courantes. Ces données constituent une base qui pourra servir à d'autres éventuelles études à venir. En effet, un suivi hydraulique en continu des TA est pertinent car il permet d'améliorer la compréhension de leur fonctionnement et d'identifier des dysfonctionnements. En revanche, une instrumentation adaptée reste à identifier si pour généraliser ce suivi avec des couts acceptables et une qualité de donnée satisfaisante pour une utilisation opérationnelle.

Pour la partie suivi qualité, le projet a permis d'établir des protocoles adaptés au type de polluants recherchés et aux TA. Une bonne justesse des prévisions de pluie et des données enregistrées par les capteurs est nécessaire pour assurer une programmation fiable des préleveurs asservis aux débits. Cependant, des contraintes liées à la fiabilité du protocole ont induit une difficulté à programmer des prélèvements d'eaux pluviales à une fréquence importante.

L'analyse des données qualité d'eaux pluviales a montré que les TA étudiées dans cette tâche abattaient les MES en concentrations et en flux. En termes de micropolluants, les techniques alternatives ne possèdent pas de pouvoir d'épuration à proprement parler, mais permettent d'obtenir des abattements en micropolluants dus à la rétention des particules et de l'eau. Ces abattements sont légers pour les micropolluants organiques et plus importants pour les ETM.

Concernant les compartiments de ces ouvrages, un transfert léger de micropolluants (notamment les pesticides) dans la plante est possible, caractérisé par une localisation de ces molécules dans les parties aériennes.

Dans les sols, il est à noter une présence de micropolluants (traceurs routiers et HAP) en concentration importante sur le premier horizon en comparaison des horizons plus profonds, ce qui pourrait indiquer une rétention de la pollution à cet endroit. Les échantillons de sols et de plantes n'ayant pas été prélevés sur les mêmes sites, il n'est pas possible de dresser une conclusion plus générale en comparant les empreintes et les niveaux de concentrations dans les 3 compartiments étudiés.

Les nappes étudiées ne semblent pas impactées par les polluants issus des eaux pluviales infiltrées par les techniques alternatives.

## Bibliographie

ADES : Accès aux Données sur les Eaux Souterraines. Piézomètre. [En ligne] <http://www.ades.eaufrance.fr>

AFNOR. *Norme NF X10-311- Mesure de débits de l'eau dans les canaux découverts au moyen de déversoirs en mince paroi*. 1983.

Bordeaux Métropole (2014). *Guide de conception/réalisation à l'usage des professionnels : les solutions compensatoires d'assainissement pluvial*.

Bressy, A. (2010). *Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines : effets de différents modes de gestion à l'amont*. Thèse doctorale, Université Paris-Est.

BRGM. Visualiseur infoterre . [En ligne] <http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>.

Cherqui, F., Granger, D., Métadier, M., Fletcher, T., Barraud, S., Lalanne, P., Litrico, X. (2013). *Indicators related to BMP performances: operational monitoring propositions*. NOVATECH 2013.

OTHU. *Plan d'expérimentation pour la mesure des impacts de l'infiltration des eaux pluviales sur la qualité physico-chimique et biologique des nappes en zone urbanisée*. 2005.

S. Barraud, A. Gautier, J. P. Bardin, V. Riou. The impact of intentional stormwater infiltration on soil and groundwater. *Water Science and Technology* . 1999, Vol. 39, 2 , pp. 185-192.

## Annexes

### 1) Graphes d'analyse hydraulique du site RD1215

#### Analyse évènementielle

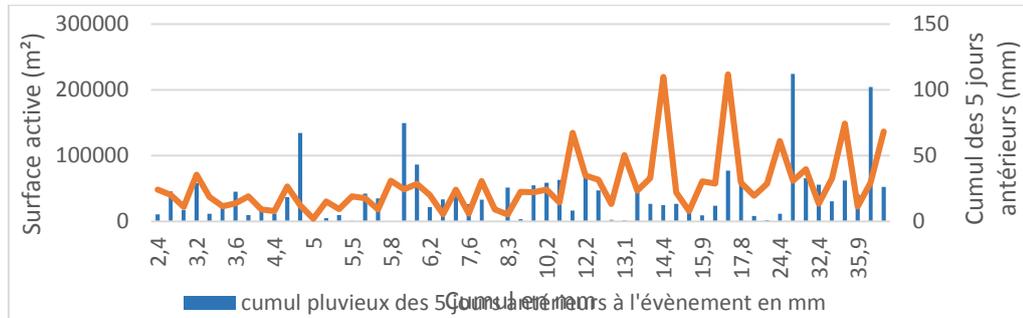


Figure représentant la surface active mesurée à l'amont (courbe orange), Cumul pluvieux des 5 jours antérieurs à l'évènement en mm (histogramme bleu) en fonction du cumul de l'évènement sur le site RD1215

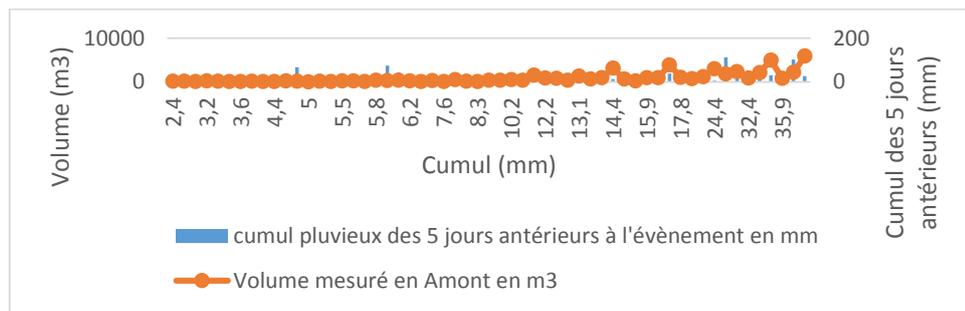


Figure représentant le volume enregistré à l'amont (courbe orange), Cumul pluvieux des 5 jours antérieurs à l'évènement en mm (histogramme bleu) en fonction du cumul de l'évènement sur le site RD1215

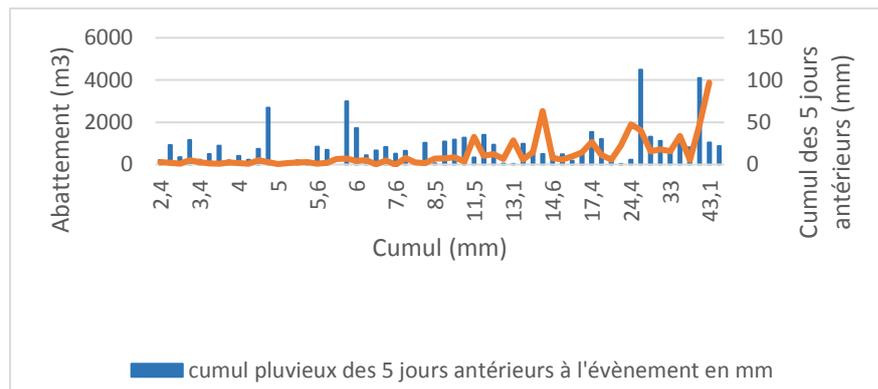


Figure représentant l'abattement (courbe orange), cumul pluvieux des 5 jours antérieurs à l'évènement en mm (histogramme bleu) en fonction du cumul de l'évènement sur le site RD1215

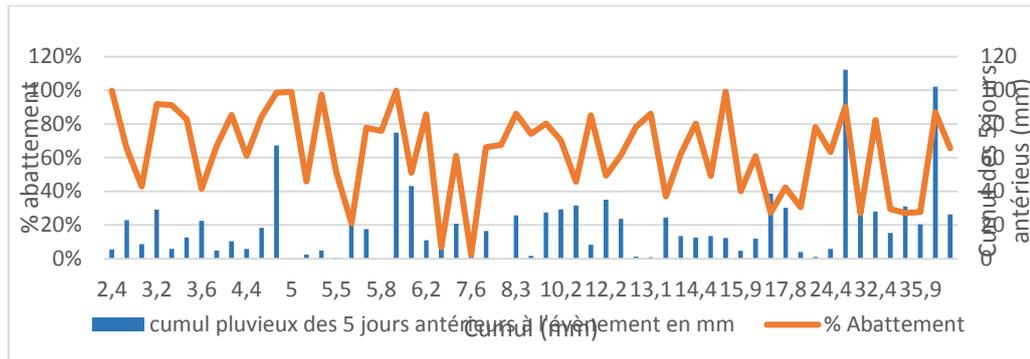


Figure représentant le pourcentage d'abattement (courbe orange), cumul pluvieux des 5 jours antérieurs à l'évènement en mm (histogramme bleu) en fonction du cumul de l'évènement sur le site RD1215

Tableau récapitulatif des résultats obtenus sur l'abattement des volumes amont et aval de RD1215 (volume de stockage inconnu)

Médiane	Moyenne	Minimum	Maximum
69%	64%	1%	100%
202 m <sup>3</sup>	426 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	3873 m <sup>3</sup>

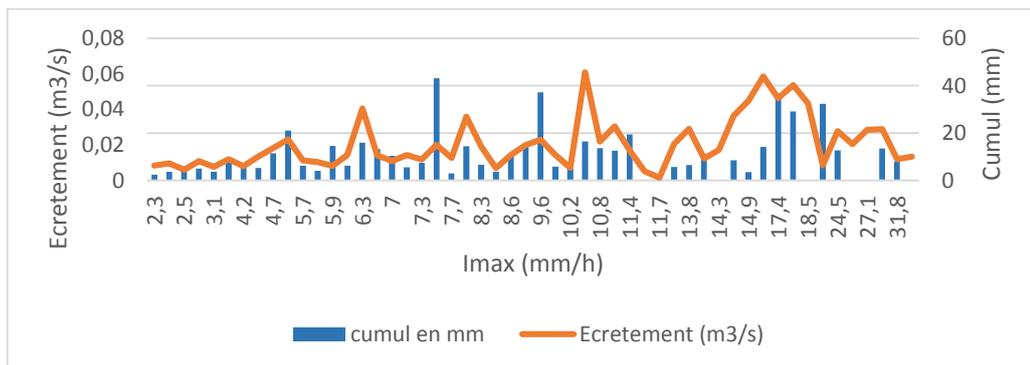


Figure représentant l'écrêtement (courbe orange), cumul de l'évènement en mm (histogramme bleu) en fonction de l'intensité maximale de l'évènement sur le site RD1215

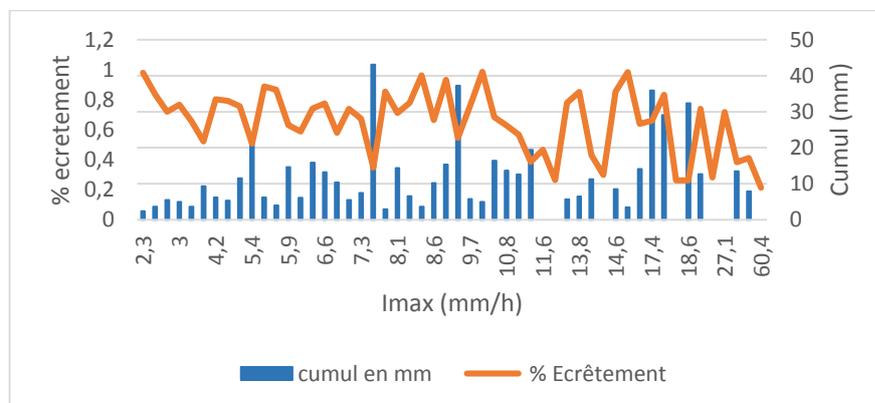
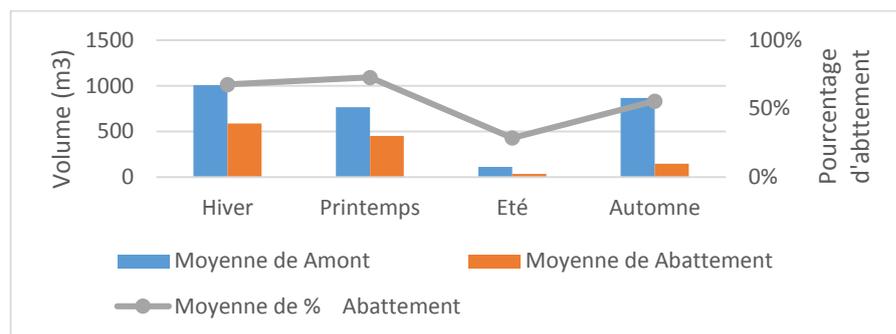


Figure représentant le pourcentage d'écrêtement (courbe orange), cumul de l'évènement en mm (histogramme bleu) en fonction de l'intensité maximale de l'évènement sur le site RD1215

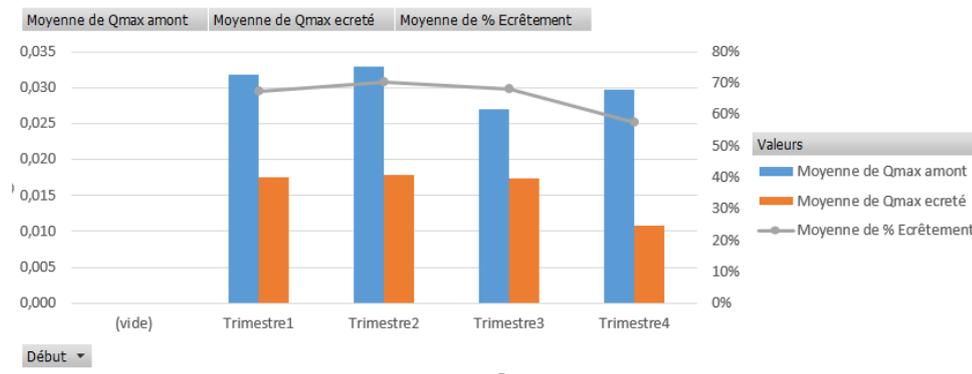
Tableau récapitulatif des résultats obtenus sur l'écèlement des débits amont et aval de RD1215 (surverse des forts débits vers un bassin d'infiltration)

Médiane	Moyenne	Minimum	Maximum
71%	67%	8%	99%
13,4 l/s	16,4 l/s	3,5 l/s	60,9 l/s

### Analyse saisonnière



Volume amont (bleu) volume abattu(orange) et pourcentage d'abattement du site RD1215 selon la saison

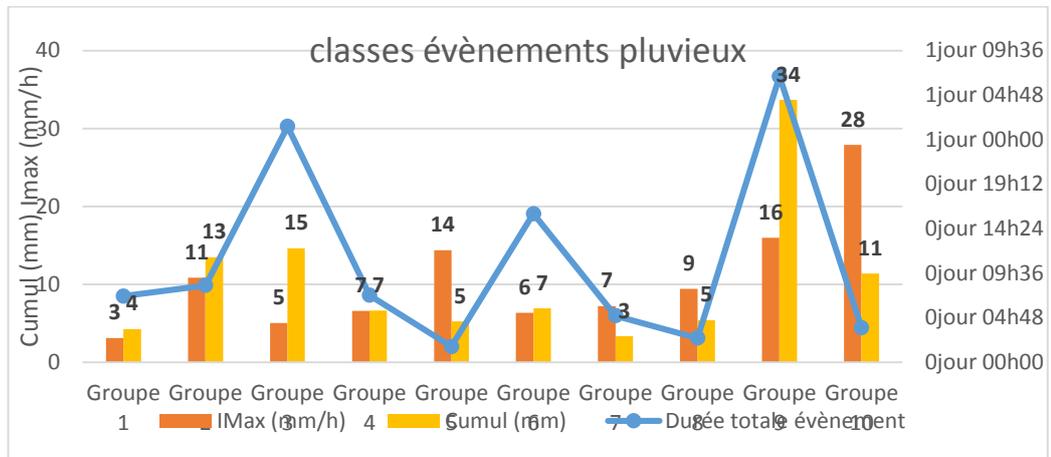


Débit maximal amont (bleu) débit écreté (orange) et pourcentage d'écèlement de débit du site RD1215 selon la saison (trait gris)

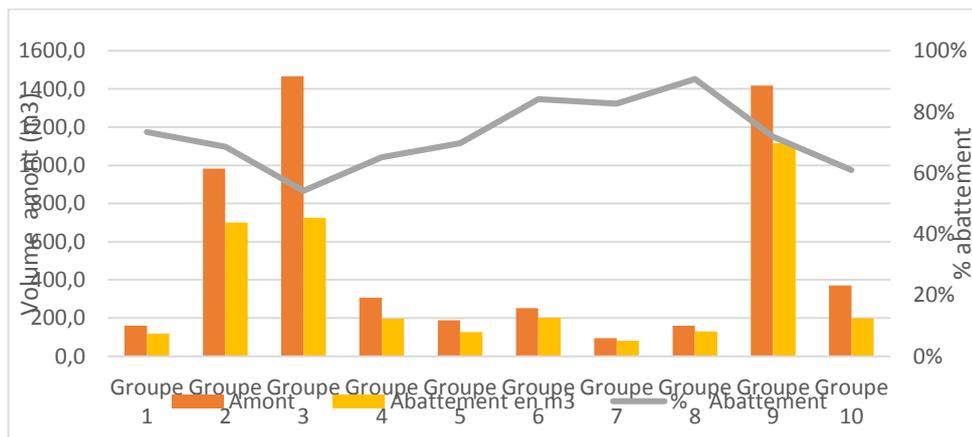
Sur le bassin de dépollution RD1215, on observe des saisons légèrement différentes en termes d'évènements pluvieux et performances à celles observées sur Lacaussade.

En ce qui concerne la performance, on observe que le volume entrant moyen en hiver est plus élevé que celui en Printemps, cependant, l'abattement est plus élevé d'une valeur de 73% en automne ce qui pourrait s'expliquer par la riche végétation se trouvant dans ce bassin durant cette période de l'année. L'écèlement de son coté, environne les 70% Pour les quatre saisons. En été, les évènements sont plus rares les débits d'entrée plus important liés aux orages estivaux, ce qui peut expliquer un abattement moins important de 29% (activation de la surverse). En Automne, l'abattement remonte à 56%

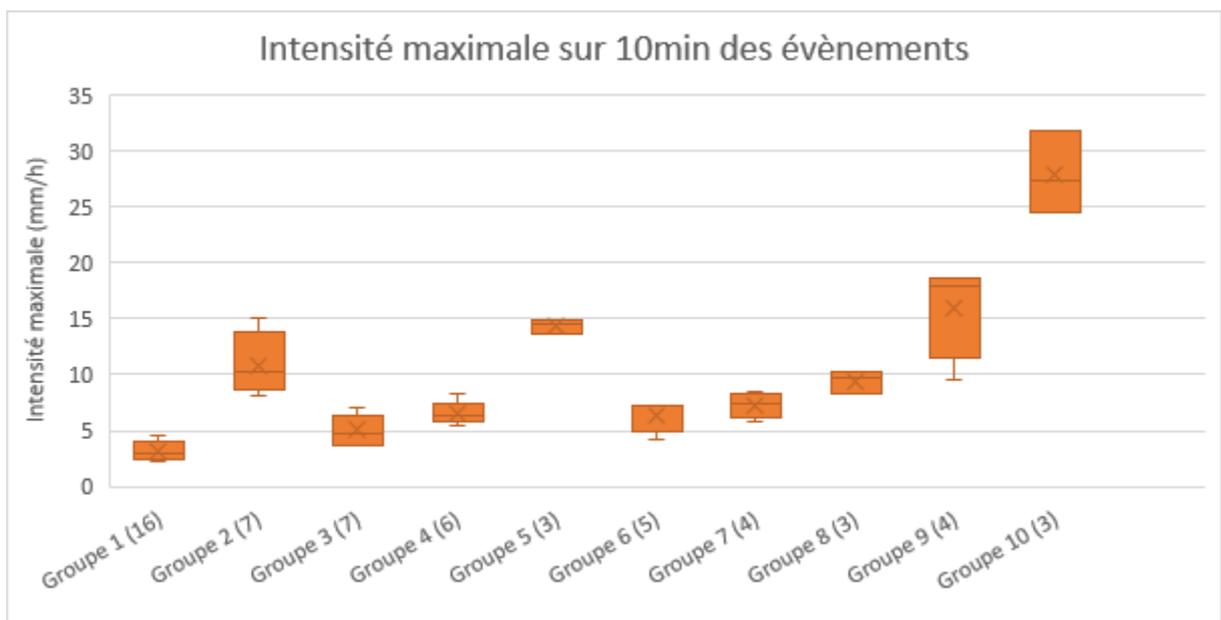
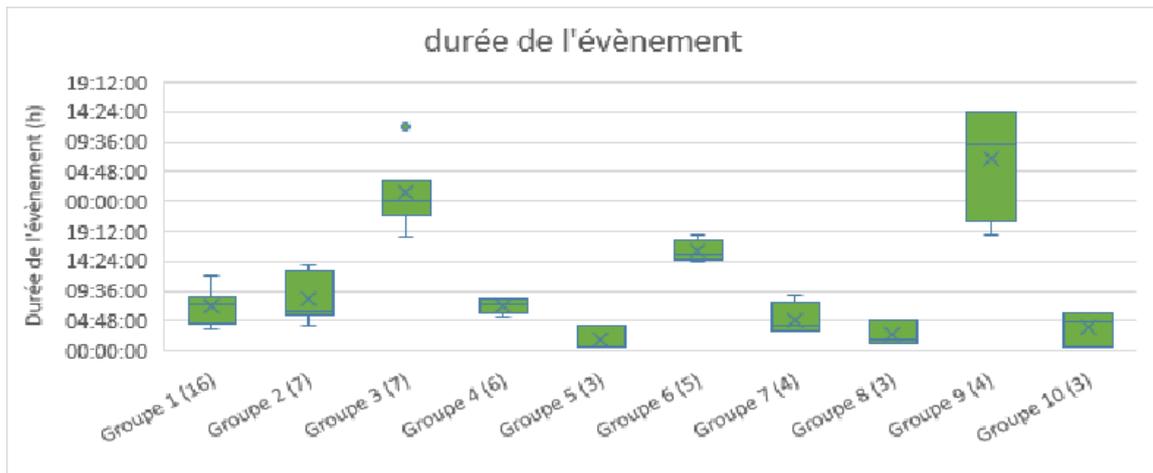
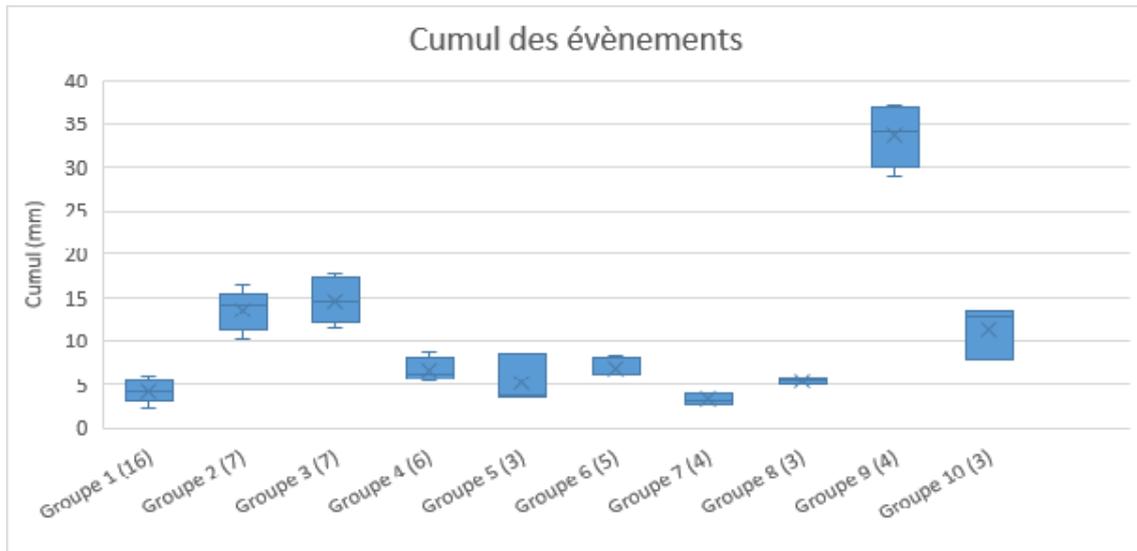
### Analyse par groupes de pluie

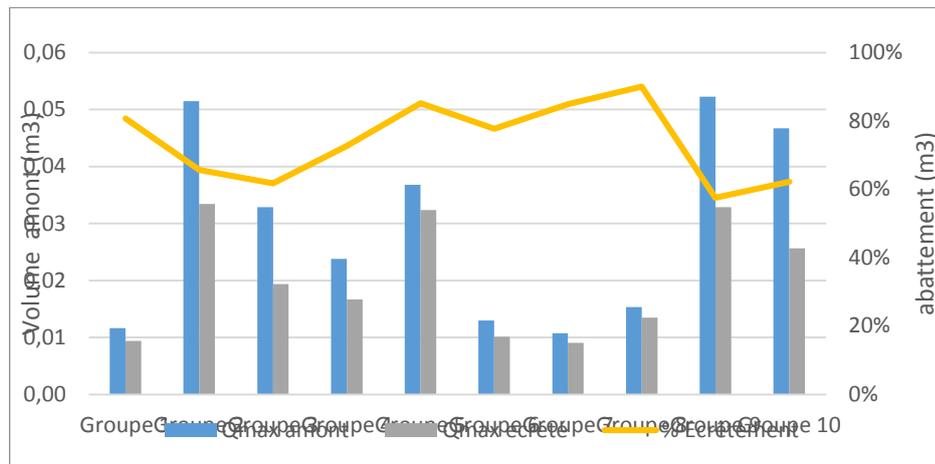


Caractéristiques des groupes d'évènements (cumul (jaune), intensité maximale (orange) et durée de l'évènement (bleu)), en abscisse les noms des groupes et le nombre d'évènements de chaque groupe entre parenthèses sur le site de RD1215



Evolution du % d'abattement, volume amont et volume abattu en fonction du groupe d'évènement





Évolution du pourcentage d'écêtement (trait orange), du débit maximal amont (bleu) et débit écêté (gris) sur le site de RD1215 en fonction des groupes d'évènements

L'écêtement de débit sur ce site est important avec des valeurs qui oscillent entre 55 et 90% en fonction des groupes d'évènements, ce qui s'explique par le fonctionnement par surverse de l'ouvrage. On observe les valeurs max pour les groupes ayant des petits débits max amont faibles (groupe 1, groupe 6, groupe 7 et groupe 8), et les valeurs les moins élevées sont observées pour les groupes ayant débit max amont élevé (groupe 2, groupe 3, groupe 9, groupe 10), ce qui est là encore, cohérent avec le fonctionnement par surverse de l'ouvrage : à partir d'un certain débit, la surverse s'active et il y a moins d'écêtement.

## 2) Graphes d'analyse hydraulique du site Germignan

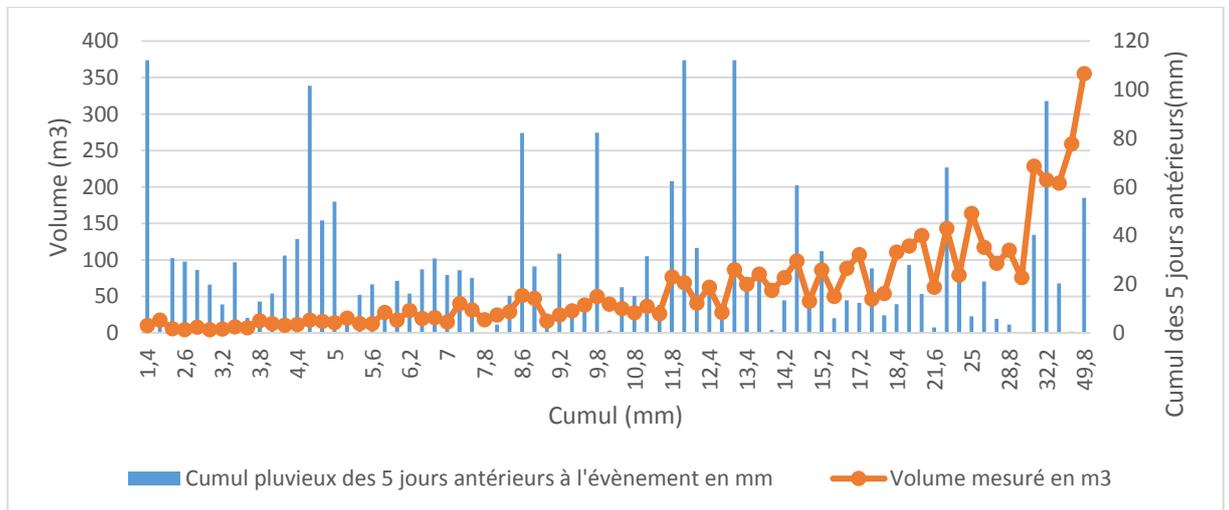
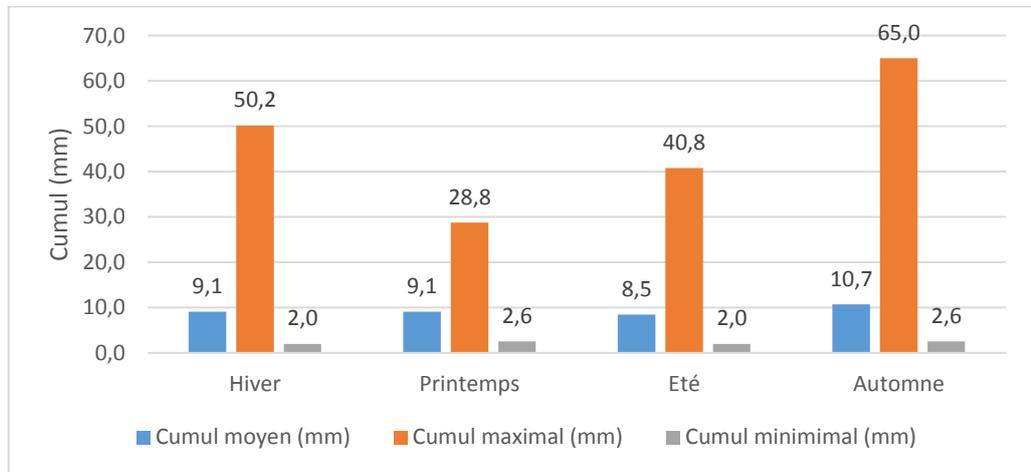


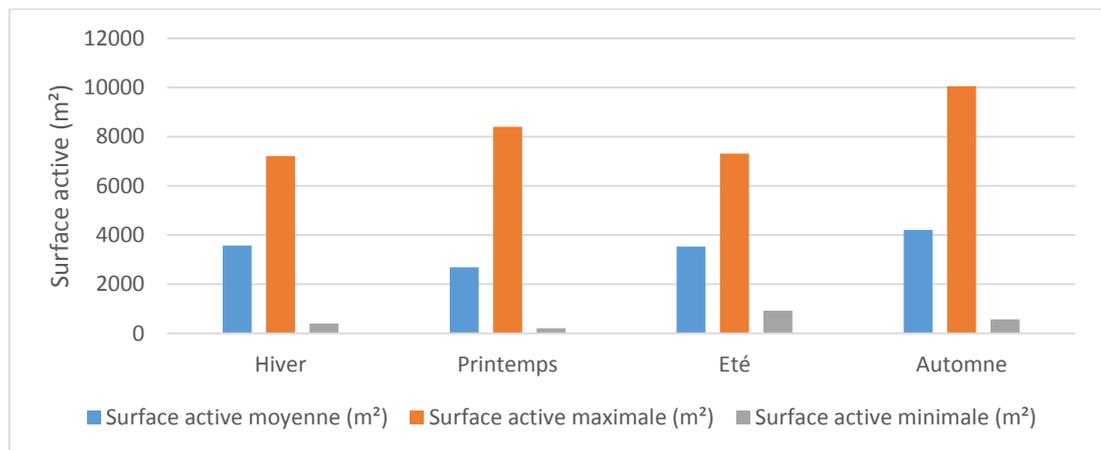
Figure représentant le volume mesuré à l'amont (courbe orange), Cumul pluvieux des 5 jours antérieurs à l'évènement en mm (histogramme bleu) en fonction du cumul de l'évènement sur le site Bois de Germignan

Tendance générale ascendante du volume entrant dans le bassin d'infiltration en fonction du cumul de l'évènement, ce qui est un résultat attendu. Les pics de volumes pourraient s'expliquer par la succession des pluies (corrélés avec le cumul des 5 jours antérieurs à l'évènement) du fait

que le bassin versant soit encore saturé en eau ce qui peut favoriser le ruissellement lors des évènements pluvieux.



*Evènements pluvieux sur le site Bois de Germignan selon la saison*



*Surface active du bassin versant amont du site Bois de Germignan selon la saison*

### 3) *Protocole de prélèvement des eaux pluviales pour l'observatoire des Techniques Alternatives*

#### 1) Préparation de la campagne

Jours avant le prélèvement	Taches	Personne en charge	Personne à contacter
<b>J &lt; J-15</b>	Programmation de la campagne	SGAC	LyRE  Les laboratoires d'analyses*
<b>J-15</b>	Demande de flacons. Convenir de la date de campagne avec le LyRE en fonction des prévisions de pluie	LyRE  SGAC	Les laboratoires d'analyses*  LyRE
<b>J-7</b>	Avertir de l'imminence d'une campagne de prélèvements. Fixer une date de livraison des échantillons. Se coordonner avec la SGAC pour définir le personnel intervenant lors de la campagne prévue.	SGAC  LyRE	Les laboratoires d'analyses*  SGAC
<b>J-2</b>	Nettoyer tout le matériel nécessaire. Mettre les pains de glace au congélateur.	SGAC	
<b>J-1</b>	Confirmer la réalisation de la campagne et la date de livraison. Placer les préleveurs	LyRE/ SGAC	Les laboratoires d'analyses*
	Transmettre les données de programmation du préleveur	LyRE	SGAC
	Programmer les préleveurs.	SGAC	

\*Les laboratoires d'analyses (LPTC, TGM Laboratoire de la SGAC)

Remarque : Le choix des TA à inclure sera défini avant chaque campagne.

#### 1.1) Suivi pluviométrique

La SGAC assure la planification des campagnes suivant le programme global (plan micropolluants, REGARD, Observatoire, etc.) transmis par le LyRE avec les ordres de priorité sur l'année. La SGAC assure le suivi des prévisions météorologiques de manière à anticiper une campagne sur une plage d'environ 2 semaines. Une fois la date de campagne ainsi fixée, les prévisions météorologiques seront suivies en continu jusqu'à la veille de la campagne afin de pouvoir valider ou annuler celle-ci en cas de pluies insuffisantes (échange SGAC/LyRE).

Ce suivi pluviométrique permettra également d'anticiper le cumul pluviométrique prévu, donnée nécessaire à la programmation du préleveur (asservissement au débit). Ce sujet est détaillé dans la partie 2.

### **Condition de début de campagne :**

Une période de temps sec de 3 jours minimum. (Une période de temps sec est définie comme cumul inférieur à 1 mm sur une durée de 2 heures).

Une prévision de pluie dont le cumul est estimé à 10 mm minimum pour une période inférieure à 24h.

Ces conditions peuvent être adaptées au cas par cas et au jour le jour du fait :

- des aléas de la prévision de pluie (très changeante en ce moment !), des avancées du projet et planning (si trop de contraintes, on peut adapter).
- des contraintes de planning de la SGAC, notamment sur ses autres missions.
- des échanges réguliers SGAC/LyRE (et le suivi météo) permettent ensuite de se caler quant au jour « réel » de prélèvement.

## 1.2) Logistique

### 1.2.1) Matériel nécessaire

Se référer au protocole général de prélèvements de micropolluants.

Nb : (préleveur ou entonnoir en inox, Cf. prélèvement amont Vert Castel), tuyaux téflons, gants nitriles sans talc, bécher gradué, sceau, eau déminéralisée, pale et perceuse pour l'homogénéisation des échantillons + ciseaux, stylos, sopalin.

Nb : Utiliser des bombonnes 15L en verre.

### **Nettoyage du matériel avant chaque utilisation :**

Se référer au protocole de nettoyage du laboratoire Louis Fargue.

Tout matériel qui sera en contact direct avec l'eau prélevée doit être préalablement nettoyé.  
(Bombonne verre, pale inox...)

Nb : Les tuyaux en téflon ainsi que les tuyaux d'aspiration du préleveur en silicone seront changé entre chaque campagne de prélèvement

Nb : Penser à prendre des gants nitriles sans talc et de l'eau déminéralisée pour nettoyer la pale d'homogénéisation en inox entre 2 utilisations.

### 1.2.2) Informations supplémentaires

#### 1.2.2.1) Effectifs

La réalisation des campagnes nécessite deux personnes de la SGAC.

#### 1.2.2.2) Etiquetage

Les informations qui doivent figurer sur chaque étiquette de flacon sont :

- Nom du Projet : REGARD
- Nom du site
- Emplacement sur le site
- Date de la campagne

Les noms des sites sont les suivants :

<b>Localisation du point de prélèvement</b>	<b>Nom du site à inscrire sur l'étiquette</b>
Noue Clos Lacaussade amont / rue Colbert (Taillan-Medoc) : Regard cachette	<b>EPTA-infiltre-lacaussadeE-1</b>
Noue Clos Lacaussade aval / chemin de la Houn de Castets : Grille	<b>EPTA-infiltre-lacaussadeS-1</b>
Noue Vert Castel amont / rue Vert Castel (Mérignac) : Rigole	<b>EPTA-infiltre-vert-castelE-1</b>
Noue Vert Castel aval / rue Vert Castel : Regard cachette	<b>EPTA-infiltre-vert-castelS-1</b>
Bassin Bois de Germignan amont/ rue Gustave Doré (Taillan-Medoc)	<b>EPTA-infiltre-DORE-1</b>

Bassin RD1215 amont/ chemin de Jallepont (Haillan) : Regard cachette	<b>EPTA-dépollution- RD1215E-1</b>
Bassin RD1215 aval/ chemin de Jallepont : Tampon grille	<b>EPTA-dépollution- RD1215S-1</b>
Structure alvéolaire La Boétie amont/ Avenue de la Boétie (Taillan-Medoc) : Regard proche de la bouche d'égout	<b>EPTA-SAUL-BoetieE-1</b>
Structure alvéolaire La Boétie aval/ Chemin du bois des ormes : Regard sur la route	<b>EPTA-SAUL-BoetieS-1</b>

### 1.2.2.3) Conditions de prélèvement

Se référer au protocole général de prélèvement par préleveur automatique.

Nb : Le tuyau en téflon ne doit pas être trop long afin de réduire les pertes de charges.

Nb : La crépine ne doit pas être positionnée sur une zone d'eau stagnante et ne doit pas perturber la mesure de débit.

### 1.2.2.4) Plages de temps pour effectuer les prélèvements

Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
 *				Le matin uniquement		

\*Lorsque le prélèvement s'effectue le lundi, la programmation des préleveurs se fait le jour même et le nettoyage et la pose des préleveurs se fait avant le week-end.

## 2) Réglages

### 2.1) Volume d'asservissement

Une pré-étude a été effectuée par le LyRE afin de corréler le cumul de précipitations (mm) pour chaque évènement pluvieux avec les volumes d'eau transitant pour chaque site (amont et aval)

Ce travail, qui sera actualisé régulièrement par le LyRE, permet de définir la méthode de programmation du préleveur (asservissement au débit).

Ces résultats sont récapitulés dans le fichier Excel « Programmation du préleveur\_TA.xls »

Ce fichier doit être complété avant chaque campagne avec la donnée de lame d'eau prévue (mm) pour l'évènement pluvieux qui fait l'objet de la campagne.

Cette donnée sera transmise par le LyRE à la SGAC 6 à 24h avant le déclenchement de la campagne à partir des prévisions de pluie.

## 2.2) Pas de temps des capteurs

Afin d'améliorer la qualité de l'asservissement, les capteurs US de Lacaussade amont et Germignan devront être reprogrammés à un pas de temps 1min en temps de pluie pendant la durée du prélèvement.

Capteur	Pas de temps hors prélèvement (min)		Pas de temps pendant un prélèvement (min)	
	Temps sec	Temps de pluie	Temps sec	Temps de pluie
Boetie amont US	15	2	15	2
Boetie aval US	15	2	15	2
Germignan US	5	2	5	1
Lacaussade amont US	5	2	5	1
Lacaussade aval US	15	2	15	2
Vert castel US	15	2	15	2
Vert Castel Piézo	5	5	5	5
RD1215 amont h/v	2	2	2	2
RD1215 aval Piézo	5	5	5	5

Tableau récapitulatif des pas de temps. (Hauteur seuil temps pluie/temps sec = 1cm)

## 3) Réalisation de la campagne

### 3.1) Pendant la pluie

Le prélèvement s'effectue à l'aide d'un préleveur automatique durant toute la période de l'épisode pluvieux.



**Les échantillons issus des 15 L prélevés sur chaque site doivent être remis aux laboratoires au maximum 24h après les prélèvements.**



Cas particulier : Amont de Vert Castel

La noue de Vert Castel collecte les eaux pluviales de façon diffuse. Le site amont est situé sur la rigole qui canalise l'eau au milieu de la noue à droite de la rue Pierre Georges Latécoère.

La bombonne sera positionnée dans la noue.

Pour ce point, la répartition de l'échantillon dans les différents flacons s'effectue au choix :

En homogénéisant régulièrement le prélèvement et en transvidant la bombonne à l'aide d'un entonnoir en inox dans les flacons.

En homogénéisant et en utilisant un préleveur ayant des tuyaux propres pour remplir les flacons.

3.2) Après la pluie



Reprogrammer les capteurs de Germignan et Lacaussade au pas de temps de pluie 2min

3.2.1) Flaconnage

Le flaconnage dans les glacières est initialement entreposé par site de prélèvement. Il faudra ensuite prévoir une glacière par labo. Les laboratoires sont différenciés par code couleur dans le texte suivant :

- 6 x 1L verre (capuchon bleu) pour le LPTC, analyses des micropolluants organiques
- 1 x 250mL verre pour le labo de Louis Fargue, analyses des paramètres physico-chimiques classiques
- 1 x 1L verre stabilisé pour le labo de Louis Fargue, analyses des paramètres physico-chimiques classiques
- 1 x 1L plastique (capuchon rouge) pour le labo de Louis Fargue, analyses des paramètres physico-chimiques classiques
- 2 x 500mL plastique (capuchon rouge) pour le labo de Louis Fargue, analyses des paramètres physico-chimiques classiques
- 1 x 250 mL plastique stabilisé (capuchon rouge) pour le labo de Louis Fargue, analyses des paramètres physico-chimiques classiques
- 8 x 500 mL fioles plastique (blanc opaque) pour le LPTC, analyses des micropolluants organiques

- 1 x 250 mL fiole plastique (blanc opaque) (flacon avec col étroit) pour TGM, analyses des micropolluants inorganiques (métaux)

Effectuer la répartition de l'échantillon dans les différents flacons avec homogénéisation en continu du prélèvement

Les points suivants feront notamment l'objet d'une attention particulière :

Cette répartition (mise en bouteille) se fait sur place. Le nettoyage de la pale inox se fait à l'eau déminéralisée entre 2 utilisations.



**L'ensemble des flacons en verre doit être rempli à moitié car ils seront congelés. Les flacons plastiques doivent être remplis complètement. La manipulation s'effectue avec des gants nitriles sans talc pour éviter les contaminations.**

- Compléter les étiquettes de chaque flacon de façon lisible. Noter toutes remarques ou problèmes rencontrés lors de la manipulation.
- Les échantillons seront entreposés dans les glacières en fonction des laboratoires d'analyse. Des pains de glace sont ajoutés pour garder le tout au frais.

Les conditions ambiantes proches du lieu de prélèvement peuvent avoir un impact sur la qualité de l'échantillon, il faut donc bannir les éléments suivants à proximité du lieu de l'opération et pendant toute sa durée :

- Cigarette,
- Pots d'échappement de véhicule en marche,
- Machine thermique en fonctionnement,
- Manipulation de solvants et autres produits chimiques volatils,
- Désodorisant, marqueurs (type indélébile), etc.

Nb : Penser à manipuler les bombones de verre avec précaution.

### 3.2.2) Adresse de livraison

A la fin de chaque campagne, l'ensemble des glacières, avec des pains de glace, doit être ramené le plus rapidement possible aux adresses suivantes :

**Les flacons pour les paramètres physico-chimiques classiques sont analysés par le laboratoire de Louis Fargue :**

Laboratoire de la STEP de Louis Fargue  
71 cours Louis Fargue  
Bâtiment F, 1<sup>er</sup> étage  
33000 Bordeaux  
Demander Céline Pinard

**Les micropolluants organiques sont analysés par le LPTC (UMR EPOC) :**

Equipe LPTC  
EPOC/LPTC (UMR CNRS 5805)  
Université Bordeaux 1  
Bat A12, 2ème étage ouest  
351, cours de la Libération  
33405 Talence cedex  
Demander Céline Chollet ou Karyn Le Menach

**Les micropolluants inorganiques seront analysés par le TGM (UMR EPOC) :**

Equipe TGM  
EPOC/TGM (UMR CNRS 5805)  
Université Bordeaux 1  
Bat B18, rez-de-chaussée  
Allée Geoffroy St Hilaire  
CS 50023  
33615 Pessac Cedex  
Demander Alexandra Coynel (ou Gérard Blanc)

3.2.3) Fin de la campagne

Prévoir un échange Lyre/SGAC pour faire le point sur la campagne. Il est demandé d'envoyer un mail permettant de préciser si il y a eu des problèmes lors des campagnes (échantillons cassés, vols de matériel, volume d'eau prélevé insuffisant,...).L'objectif étant de tenir informer toutes les personnes concernées de la réalisation de la campagne.

#### 4) Mesures de conductivité sur les piézomètres P29 et P30

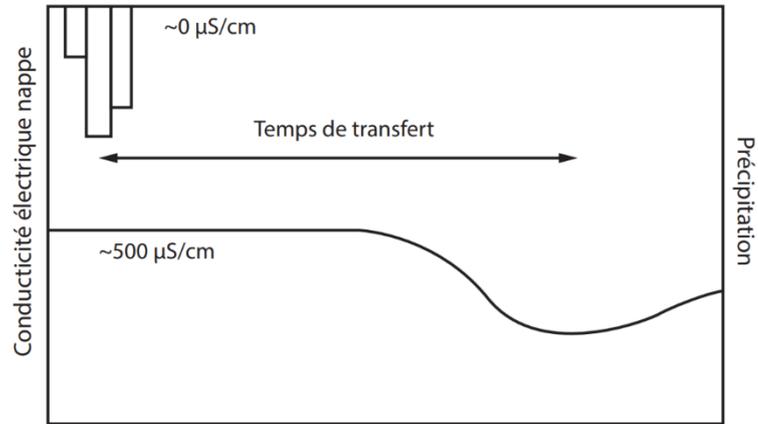
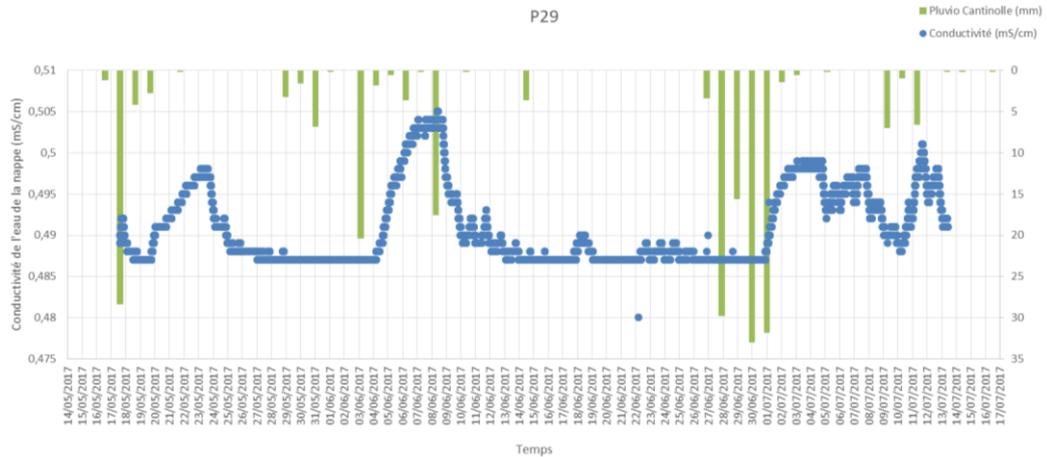
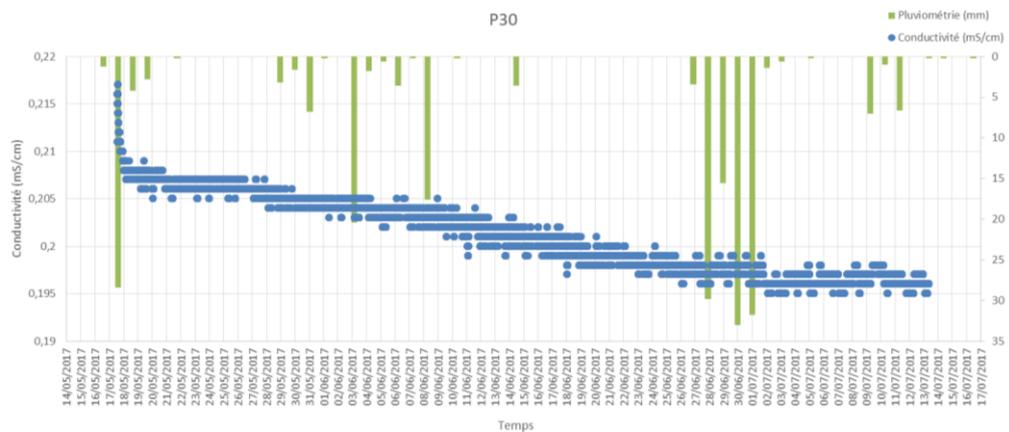


Schéma expliquant la détermination du temps de transfert à partir des données de conductivité



Résultats des mesures de conductivité sur le piézomètre P29



Résultats des mesures de conductivité sur le piézomètre P30

5) Descriptif des sondages réalisés sur le bassin de Germignan

		S1 et S5	S2	S3 et S6	S4
<b>Vue d'ensemble</b>					
<b>H 1</b>	<b>Profondeur</b>	Environ 0-30 cm	Environ 0-30 cm	Environ 0-30 cm	Environ 0-10 cm
	<b>Couleur (+ code Charte Munsell)</b>	Sombre (marron-noir) (2.5Y 2.5/1)	Sombre (marron-noir) (2.5Y 2.5/1)	Sombre (marron-noir) (2.5Y 2.5/1)	Sombre (marron-noir) (2.5YR 2.5/1)

		<b>S1 et S5</b>	<b>S2</b>	<b>S3 et S6</b>	<b>S4</b>
	<b>Texture</b>	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse
	<b>Éléments grossiers et racines</b>	Éléments grossiers (graviers + cailloux) mais pas de racines	Quelques graviers étaient visibles	Pas d'éléments grossiers mais présence de racines	Quelques racines mais pas d'éléments grossiers
	<b>Taches</b>	Non	Non	Non	Non
	<b>Humidité</b>	Sol frais	Sol frais	Sol sec	Sol sec
<b>H 2</b>	<b>Profondeur</b>	Environ 30-70 cm	Environ 30-70 cm	Environ 30-70 cm	Environ 10-40 cm
	<b>Couleur (+ code Charte Munsell)</b>	Marron clair (10YR 4/6)	Marron clair (10YR 4/6)	Marron clair (10YR 4/6)	Marron-gris (2.5YR 4/4)
	<b>Texture</b>	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse
	<b>Éléments grossiers et racines</b>	Pas d'éléments grossiers	Pas d'éléments grossiers	Quelques graviers	Quelques éléments grossiers, pas de racines.
	<b>Taches</b>	Oui. Abondance : environ 15%. Taille : entre 2 et 6mm. Plus foncées que l'horizon	Oui. Abondance : environ 15%. Taille : environ 2mm. Plus foncées que l'horizon	Oui. Abondance : environ 15%. Taille : environ 2mm. Plus foncées que l'horizon	Non

		<b>S1 et S5</b>	<b>S2</b>	<b>S3 et S6</b>	<b>S4</b>
	<b>Humidité</b>	Sol humide	Sol humide	Sol frais	Sol sec
	<b>Profondeur</b>	70-?cm	70-?cm	70-?cm	40-80cm
	<b>Couleur (+ code Charte Munsell)</b>	Ocre (10 YR 4/4)	Marron clair (10YR 3/4)	Beige (2.5Y 7/4)	Beige (2.5Y 7/3)
	<b>Texture</b>	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse
	<b>Elements grossiers et racines</b>	Pas d'éléments grossiers	Pas d'éléments grossiers	Quelques graviers	Non
	<b>Taches</b>	Oui. Abondance : environ 15%. Taille : environ 2mm. Couleur rouille	Non	Non	Non
	<b>Humidité</b>	Sol humide	Sol humide	Sol frais	Sol frais
	<b>Profondeur</b>	Limite de la tarière	Limite de la tarière	Limite de la tarière	80-?
	<b>Couleur (+ code Charte Munsell)</b>				Marron (10YR 4/6)

		S1 et S5	S2	S3 et S6	S4
	Texture				Sableuse
	Elements grossiers et racines				Non
	Taches				Non
	Humidité				Sol frais

## 6) Liste des micropolluants recherchés

Micropolluants organiques recherchés dans les eaux pluviales des TA, méthodes analytiques et limites de quantification correspondantes

Famille de substances	Substances	Matrice	Préparation / Extraction	Techniques analytiques	Limites de quantification	Méthode développée spécifiquement
<b>Médicaments (13)</b>	bisoprolol, caféine, carbamazépine, cétirizine, diclofénac, gabapentine, hydroxy-ibuprofène, ibuprofène, kétoprofène, oxazépam, paracétamol, sotalol acide salicylique	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI+ et ESI-)	2-50 ng/L	Non
<b>Pesticides (24)</b>	acétochlore ESA (acide sulfonique), atrazine, atrazine-2-hydroxy, azoxystrobine, carbendazime, DCPMU (1-(3,4-dichlorophényl)-3-méthylurée), diflufenican, diuron, DMSA (diméthyl-phénylsulfamide), hydroxy-simazine, imidaclopride, métolachlore, métolachlore ESA (acide sulfonique), métolachlore OXA (acide oxanilique), propiconazole, simazine, terbutryne, terbuthylazine	EAU phase dissoute	SPE Ou SBSE	LC/MS/MS (ESI+) Ou GC/MS/MS IE	1-70 ng/L Ou 0,1-7,4 ng/L	Non
	glyphosate, AMPA (acide aminométhylphosphonique)	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI+)	1-10 ng/L	Non
	fipronil, fipronil-désulfanyl, fipronil-sulfide, fipronil-sulfone	EAU phase dissoute	SPME	GC/MS/MS IE	0,2-0,5 ng/L	Non
<b>HAP (14)</b>	Acénaphthylène, acénaphthène, fluorène	EAU phase dissoute	SPME	GC/MS	0,2-5 ng/L	Non
		EAU phase particulaire	MO + $\mu$ colonne	GC/MS	Variable	Non
	Anthracène, benzo[a]anthracène, benzo[a]pyrène, benzo[b+j+k]fluoranthène, benzo[g,h,i]pérylène, chrysène + triphénylène, fluoranthène, indéno[1,2,3-cd]pyrène, naphthalène, phénanthrène, pyrène	EAU phase dissoute	SPME	GC/MS	0,2-5 ng/L	Non
		EAU phase particulaire	MO + $\mu$ colonne	GC/MS	Variable	Non
<b>PFAS (17)</b>	PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS, PFHpS, PFOS, 6:2 FTSA, 8:2 FTSA, FOSA, FOSAA, MeFOSAA, EtFOSAA	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI-)	0,006-0,99 ng/L	Oui
		EAU phase particulaire	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI-)	0,006-0,99 ng/L	Oui

**Légende :**

		<b>Nom complet</b>	<b>Principe général</b>
Techniques d'extraction	SPME	Solid phase micro-extraction	Extraction des composés d'intérêt présents en phase aqueuse sur une fibre adsorbante
	SBSE	Stir-bar sorptive extraction	Extraction des composés d'intérêt présents en phase aqueuse sur un barreau recouvert d'une phase adsorbante
	SPE	Solid phase extraction	Extraction des composés d'intérêt présents en phase aqueuse sur une cartouche contenant une phase adsorbante
	MO	Micro-ondes	Extraction des composés présents sur une phase particulaire par un solvant soumis aux micro-ondes
Techniques d'analyses	GC/ECD	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la détection par capture d'électrons	Séparation par chromatographie en phase gazeuse Détection des anions formés par capture d'électrons d'une source radioactive
	GC/MS	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse	Séparation par chromatographie en phase gazeuse Détection des ions en fonction de leur rapport masse/charge
	GC/MS/MS	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en tandem	Séparation par chromatographie en phase gazeuse Détection des ions en fonction de leur rapport masse/charge après fragmentation d'un ion parent sélectionné
	LC/MS/MS	Chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem	Séparation par chromatographie en phase liquide Détection des ions en fonction de leur rapport masse/charge après fragmentation d'un ion parent sélectionné

*Micropolluants inorganiques recherchés dans les eaux pluviales des TA*

<b>Métaux (18)</b>	Aluminium (Al), Antimoine (Sb), Argent (Ag), Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cobalt (Co), Cuivre (Cu), Etain (Sn), Fer (Fe), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Strontium (Sr), Thorium (Th), Uranium (U), Vanadium (V), Zinc (Zn)	EAU phase dissolue et particulaire
--------------------	---	------------------------------------

7) Hydrogrammes et points de prélèvement obtenus pour les campagnes d'analyse des eaux pluviales

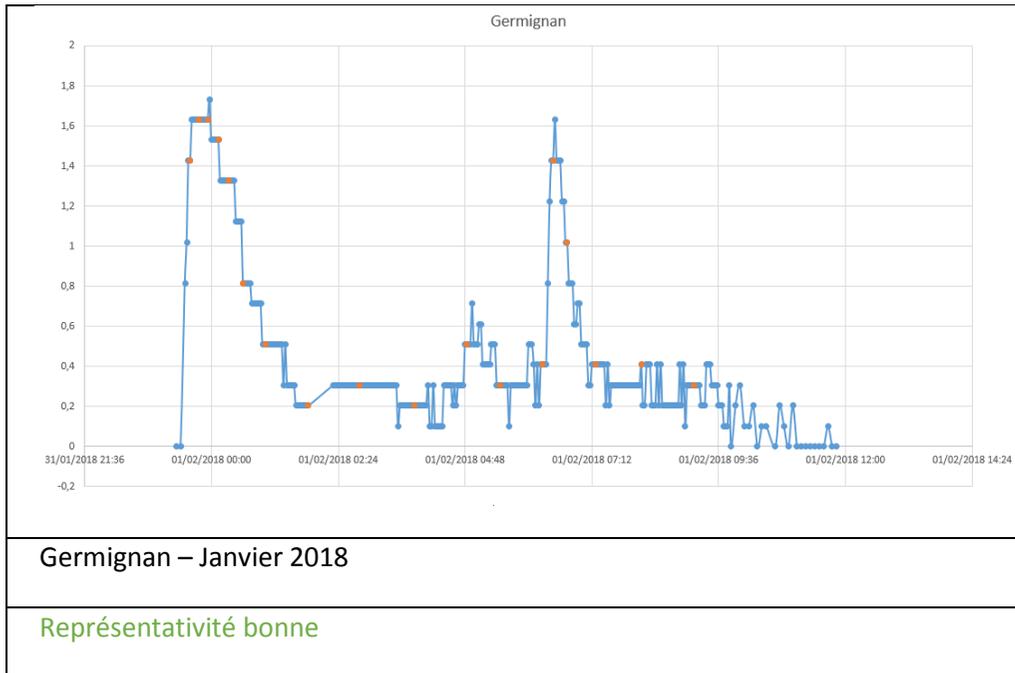
<p>Germignan – Novembre 2016</p>	<p>Lacaussade entrée – Novembre 2016</p>	<p>Lacaussade entrée et sortie</p>
<p>Représentativité bonne</p>	<p>Représentativité bonne</p>	<p>Données absentes</p>

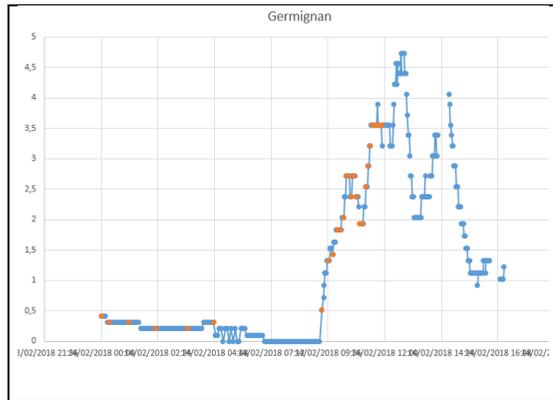
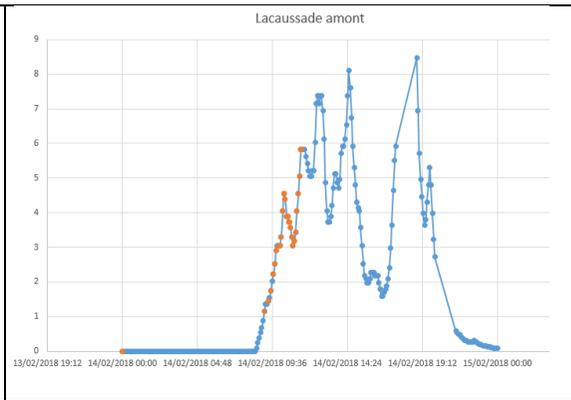
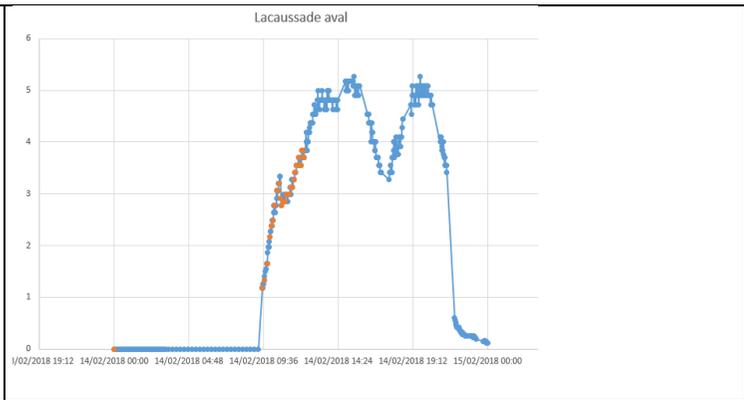
<p>Germignan – Février 2017</p>	<p>Lacaussade entrée – Février 2017</p>	<p>Lacaussade sortie – Février 2017</p>
<p>Représentativité moyenne</p>	<p>Représentativité bonne</p>	<p>Représentativité moyenne</p>

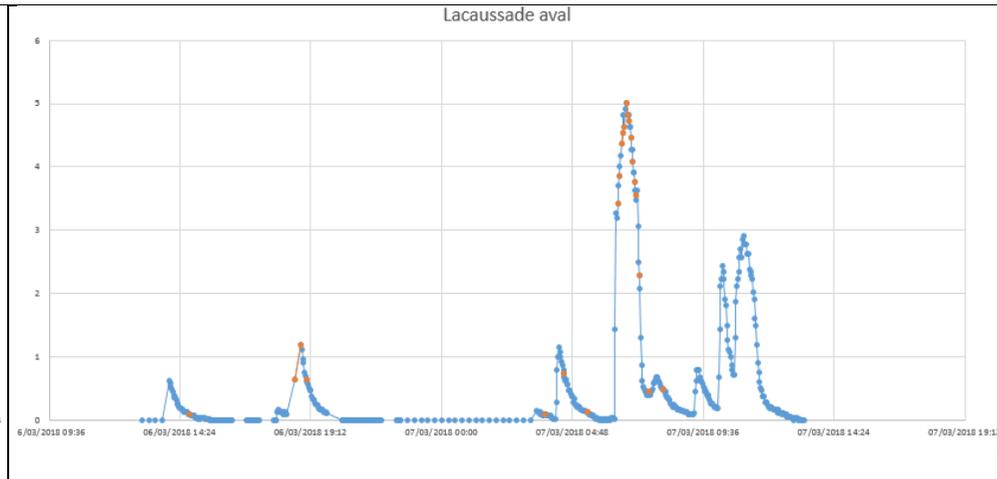
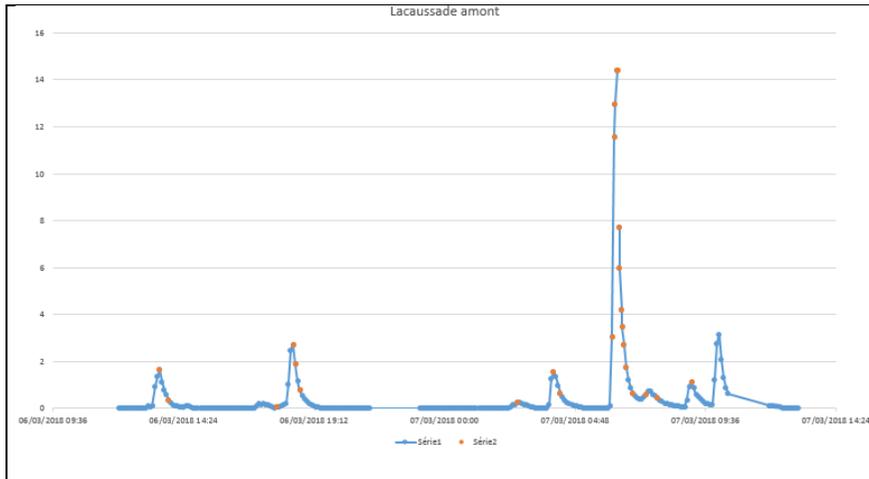
<p>RD1215 amont – Février 2017</p>	<p>RD1215 aval – Février 2017</p>
<p>Représentativité moyenne</p>	<p>Horodatage absent</p>

<p>RD1215 amont – Mai 2017</p>	<p>RD1215 aval – Mai 2017</p>
<p>Représentativité bonne</p>	<p>Représentativité bonne</p>

	<p>Lacaussade Amont</p>	<p>Lacaussade aval</p>
<p>Germignan – Mai 2017</p>	<p>Lacaussade entrée – Mai 2017</p>	<p>Lacaussade sortie – Mai 2017</p>
<p>Représentativité bonne</p>	<p>Représentativité bonne</p>	<p>Représentativité bonne</p>



		
<p>Germignan – Février 2018</p>	<p>Lacaussade entrée – Février 2018</p>	<p>Lacaussade sortie – Février 2018</p>
<p>Représentativité moyenne</p>	<p>Représentativité moyenne</p>	<p>Représentativité moyenne</p>

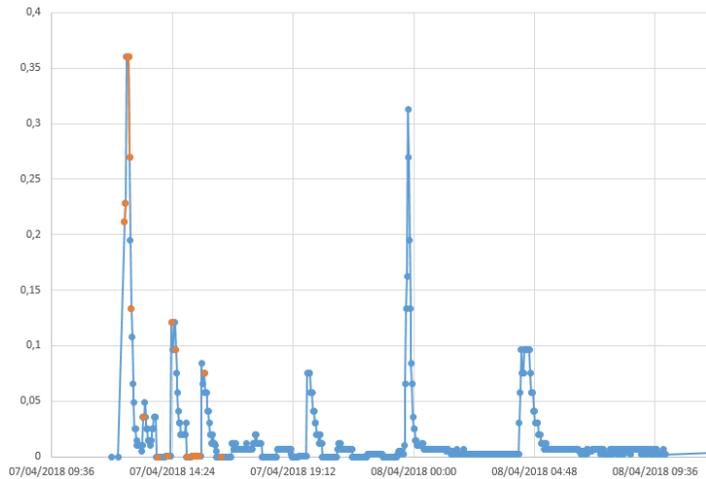
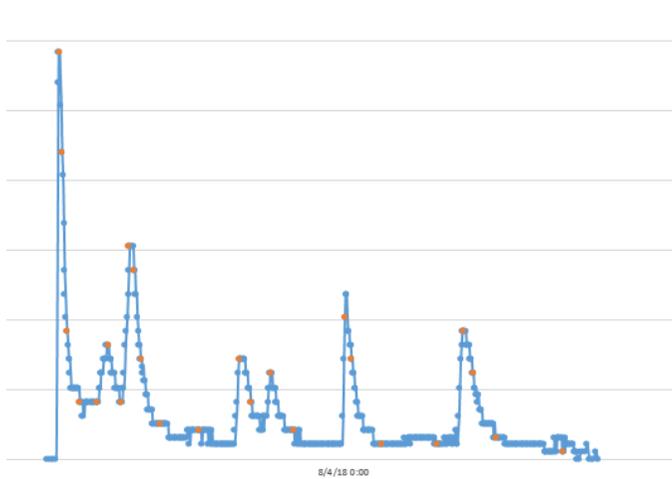


Lacaussade entrée – Mars 2018

Lacaussade sortie – Mars 2018

Représentativité bonne

Représentativité bonne

<p style="text-align: center;">Boétie amont</p> 	<p style="text-align: center;">Germignan</p> 
<p>Boétie – Avril 2018</p>	<p>Germignan – Avril 2018</p>
<p>Représentativité moyenne</p>	<p>Représentativité bonne</p>

