

*Rôle des techniques alternatives sur la gestion des micropolluants dans les RUTP  
Comparaison système centralisé / systèmes à la source*



## LIVRABLE 2-B

### Rapport de suivis des sites Efficacités de dispositifs centralisés et décentralisés vis-à-vis du traitement des micropolluants

## Version finale

Responsables du rendu :

Sylvie Barraud, INSA Lyon, Laboratoire DEEP

Robin Garnier (doctorant), INSA Lyon, Laboratoire DEEP

Hélène Castebrunet, INSA Lyon, Laboratoire DEEP

( Date : 06/10/2020 )

---

## Table des matières

\_Toc52810127

<b>Nomenclature, abréviation du texte et des micropolluants</b> .....	<b>8</b>
<i>Nomenclature</i> .....	8
<i>Abréviations</i> .....	10
<i>Liste et abréviations des micropolluants étudiés</i> .....	11
<b>A. Introduction</b> .....	<b>15</b>
<b>B. Présentation sommaire des sites</b> .....	<b>15</b>
<b>C. Instrumentation des systèmes et principes de mesures</b> .....	<b>20</b>
<i>C1. Principe de mesure des flux d'eau et de micropolluants sur les sites décentralisés</i> .....	20
C.1.1. Zones de référence pour la comparaison des flux d'eau et de polluants.....	20
C.1.2. En sortie de tous les systèmes .....	23
C.1.3. Instruments, capteurs et éléments de mesure sur sites.....	26
C.1.4. Prélèvement et échantillonnage .....	28
C.1.5. Mesure de conductivité .....	33
C.1.6. Mesure de la température .....	34
C.1.7. Pluviométrie .....	35
<i>C2. Principe de mesure des flux d'eau et de micropolluants sur le site centralisé Django Reinhardt</i> .....	36
C.2.1. Mesure des flux d'eau .....	36
C.2.2. Mesure des concentrations en polluants.....	38
<b>D. Résultats en termes de performance hydraulique des systèmes</b> .....	<b>40</b>
<i>D1. Principes d'exploitation et indicateurs</i> .....	40
D1.1. Nature des données utilisées.....	40
D1.2. Quelques définitions .....	40
D1.3. Indicateurs hydrauliques.....	41
<i>D2. Cas des systèmes à la source</i> .....	43
D2.1. Caractéristiques des pluies .....	43
D2.2. Caractéristiques des événements pluvieux (EP).....	43
D2.3. Résultats.....	43
<i>D3. Cas du système centralisé</i> .....	46
D3.1. Caractéristiques des pluies .....	46
D3.2. Résultats.....	47

<b>E. Etude des performances de traitement.....</b>	<b>48</b>
<i>E1. Campagnes de mesure (récapitulatif).....</i>	<i>48</i>
<i>E2. Principes d'exploitation.....</i>	<i>49</i>
E2.1. Concentrations .....	49
E2.2. Blancs de mesure et impact sur les concentrations.....	50
E2.3. Indicateurs de performances vis-à-vis des micropolluants.....	51
<i>E3. Résultats .....</i>	<i>53</i>
E3.1. Occurrences de détection et de quantification – identification des polluants peu détectés.....	53
E3.2. Caractérisation des apports et comparaison systèmes centralisés et décentralisés.....	56
E3.3. Caractérisation des sorties sur les sites de gestion à la source et centralisés .....	60
E3.4. Illustration des principaux résultats pour la comparaison des concentrations totales des « entrées » et « sorties » sur les sites de gestion à la source et centralisé.....	65
E3.5. Partition phases dissoute et particulaire.....	71
E3.4. Abattement des micropolluants en concentration et en masse (en phase totale) .....	77
<b>F. Campagnes photographiques et suivi visuel des usages .....</b>	<b>89</b>
<b>G. Synthèse.....</b>	<b>89</b>
<b>H. Références bibliographiques .....</b>	<b>89</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>95</b>
Annexe A. Fiches détaillées de présentation des sites .....	96
Annexe B : Méthodes analytiques.....	118
Annexe C : Taux de couverture des évènements.....	120
Annexe D : Analyse des blancs et impacts sur les concentrations mesurées .....	128
Annexe E : Analyse des occurrences .....	130
Annexe F : Comparaison des masses par m <sup>2</sup> de surface active en entrées de bassin de retenue et sur la référence des sites à la source.....	137
Annexe G. Bilan photographique .....	139
Annexe H. Observations visuelles sur les dispositifs du campus et problèmes rencontrés .....	147

---

## Table des figures

Figure 1. (a) Localisation des sites sur le campus Lyon Tech La Doua, photo des 3 sites décentralisés, (b) Vue aérienne du site de Chassieu : (Bassin versant en bleu) et localisation du bassin (en rouge).....	16
Figure 2. Photo descriptive du bassin de retenue-décantation (Google Earth) - (Sébastien 2013) .....	18
Figure 3. Système de mesure permettant d'évaluer les débits et volumes d'eau en entrée des systèmes drainés par la noue et la tranchée. a) montre la localisation et la similitude du site avec ceux du système muni de la noue et de la tranchée, b) montre le site permettant d'estimer les apports avec installation à la périphérie des caniveaux collectant les flux avant entrée dans un ouvrage, c) et d) la connexion des caniveaux au système de mesure (double mesure 1/par auget basculant et 2/par mesure électromagnétique).....	22
Figure 4. Schéma de principe de la partie permettant de mesurer qualité et quantité des apports du parking en béton bitumineux classique appelé ASP (Asphalte) et contigu à la CSR .....	23
Figure 5. Schéma de principe des mesures de flux d'eau et de micropolluants en sortie des systèmes décentralisés.	24
Figure 6. Débitmètre à auget de 20 g et bridage du système.....	26
Figure 7. Dispositif complet de mesure débitmétrique avec complément électromagnétique Krohne (Optiflux IFC 2100C) .....	27
Figure 8. Exemple de données récupérées par le dispositif débitmétrique pour la pluie du 15 - 16/06/2016 .....	28
Figure 9. Différentes stratégies de prélèvement (Source : Endress-Hauser, fiche technique Liquiport CSP44, p4) .....	30
Figure 10. Préleveur utilisé (modèle Liquiport CSP44 de chez Endress & Hauser).....	31
Figure 11. Photo de la centrale d'acquisition sélectionnée (Sofrel S550) [1] Alimentation, [2] emplacement de la carte pour PT100, [3] Sorties Analogiques pour pilotage du préleveur, [4] Entrées Digitales pour auget, [5] Entrées Analogiques télé-alimentées pour conductivité, [6] Entrées Analogiques pour débitmètre électromagnétique, [7] Sorties Digitales "watchdog" pour communication de secours avec le préleveur.....	32
Figure 12. Schéma du canal de prélèvement en sortie des dispositifs décentralisés.....	33
Figure 13. Photo de l'emplacement de la sonde et de la sonde elle-même de conductivité (Smartpat de la marque Krohne).....	34
Figure 14. Sonde de température choisie.....	35
Figure 15. Bungalow situé à l'entrée et sortie du bassin de retenue .....	37
Figure 16. Distribution cumulée des hauteurs de pluie (mm) enregistrées depuis avril 2016 sur l'EcoCampus. ....	43
Figure 17. Rendement C1 du système (parking + ouvrage) par rapport à la pluie .....	45
Figure 18. Fréquence cumulée des volumes de sortie (Vs) en mm ramené au m <sup>2</sup> des surfaces actives des bassins versants drainés par la noue, la tranchée, la chaussée réservoir (CSR) et la chaussée imperméable (ASP) sur la période avril 2016 – novembre 2018 .....	45
Figure 19. Distribution cumulée des hauteurs de pluie (mm) enregistrées depuis avril 2016 sur le bassin de rétention. ....	46

Figure 20. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en MES. Les barres autour des médianes donnent le 10 <sup>ème</sup> et 90 <sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90).....	65
Figure 21. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en ETM. Les barres autour des médianes donnent le 10 <sup>ème</sup> et 90 <sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90).....	66
Figure 22. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en pesticides. Les barres autour des médianes donnent le 10 <sup>ème</sup> et 90 <sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90).....	67
Figure 23. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en Bisphénol A et Alkylphénols. Les barres autour des médianes donnent le 10 <sup>ème</sup> et 90 <sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90).....	68
Figure 24. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en HAP. Les barres autour des médianes donnent le 10 <sup>ème</sup> et 90 <sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90).....	69
Figure 25. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en PBDE. Les barres autour des médianes donnent le 10 <sup>ème</sup> et 90 <sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90).....	70
Figure 26. Fraction dissoute (en %) pour les ETM pour tous les sites .....	74
Figure 27. Fraction dissoute (en %) pour les pesticides pour tous les sites .....	74
Figure 28. Fraction dissoute (en %) pour le bisphénol A et les alkylphénols pour tous les sites .....	75
Figure 29. Fraction dissoute (en %) pour les HAPs pour tous les sites .....	75
Figure 30. Fraction dissoute (en %) pour les PBDEs pour tous les sites .....	76
Figure 31. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les MES et pour tous les sites .....	77
Figure 32. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les métaux et métalloïde pour le site centralisé (Bassin Django Reinhardt) .....	78
Figure 33. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les métaux et métalloïde pour la CSR .....	78
Figure 34. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les métaux et métalloïde pour le système muni de la tranchée .....	79
Figure 35. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les métaux et métalloïde pour le système muni de la noue .....	79
Figure 36. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les pesticides et pour le site centralisé (Bassin Django Reinhardt).....	80
Figure 37. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les pesticides et pour la CSR .....	81
Figure 38. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les pesticides et pour le système muni de la tranchée .....	81
Figure 39. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les pesticides et pour le système muni de la noue.....	82
Figure 40. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour le BPA et les alkylphénols et pour le site centralisé (Bassin Django Reinhardt) .....	83
Figure 41. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour le BPA et les alkylphénols et pour la CSR .....	83
Figure 42. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour le BPA et les alkylphénols et pour le système muni de la tranchée.....	84

Figure 43. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour le BPA et les alkylphénols et pour le système muni de la noue .....	84
Figure 44. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les HAP et pour le site centralisé (Bassin Django Reinhardt) .....	85
Figure 45. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les HAP et pour la CSR.....	85
Figure 46. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les HAP et pour le système muni de la tranchée .....	86
Figure 47. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les HAP et pour le système muni de la noue .....	86
Figure 48. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les PBDE et pour le site centralisé (Bassin Django Reinhardt) .....	87
Figure 49. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les PBDE et pour la CSR.....	87
Figure 50. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les PBDE et pour le système muni de la tranchée .....	88
Figure 51. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les PBDE et pour le système muni de la noue .....	88
Figure 52. Schémas d'illustration du principe de calcul du taux de couverture .....	121
Figure 53. Par micropolluant, nombre d'échantillons dont la concentration a pu être quantifiée (en noir), seulement détectée (en mauve) ; ou ni détectée ni quantifiée (en gris). La hauteur totale des barres donne le nombre total d'échantillons analysés – Cas du parking imperméable de référence (Asphalte) .....	130
Figure 54. Par micropolluant, nombre d'échantillons dont la concentration a pu être quantifiée (en noir), seulement détectée (en mauve) ; ou ni détectée ni quantifiée (en gris). La hauteur totale des barres donne le nombre total d'échantillons analysés – Cas de la chaussée à structure réservoir (CSR) .....	131
Figure 55. Par micropolluant, nombre d'échantillons dont la concentration a pu être quantifiée (en noir), seulement détectée (en mauve) ; ou ni détectée ni quantifiée (en gris). La hauteur totale des barres donne le nombre total d'échantillons analysés – Cas de la tranchée.....	133
Figure 56. Par micropolluant, nombre d'échantillons dont la concentration a pu être quantifiée (en noir), seulement détectée (en mauve) ; ou ni détectée ni quantifiée (en gris). La hauteur totale des barres donne le nombre total d'échantillons analysés – Cas de la noue .....	134
Figure 57. Par micropolluant, nombre d'échantillons dont la concentration a pu être quantifiée (en noir), seulement détectée (en mauve) ; ou ni détectée ni quantifiée (en gris). La hauteur totale des barres donne le nombre total d'échantillons analysés – Cas de l'entrée (en haut) la sortie (en bas) du bassin de retenue Django Reinhardt.....	135

---

## Table des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques des trois sites décentralisés .....	17
Tableau 2. Caractéristiques du bassin de retenue Django Reinhardt.....	18
Tableau 3. Tableau récapitulatif des zones de références utilisées pour l'évaluation des performances des systèmes de gestion à la source des eaux pluviales ; toutes les notations sont définies dans le paragraphe 0 ainsi qu'en début de document.....	25
Tableau 4. Volumes nécessaires aux analyses chimiques et laboratoires d'analyses .....	29
Tableau 5. Indicateurs hydrauliques, définitions et formulations pour les dispositifs à la source .....	42
Tableau 6. Indicateurs hydrologiques et hydrauliques : médianes, moyennes et écart-types (n=nombre EP).....	44
Tableau 7. Indicateurs hydrologiques et hydrauliques : médianes, moyennes et écart-types (DjR Entrée : Django Reinhardt Entrée du bassin (caractéristique du bassin versant), DjR Sortie : Django Reinhardt Sortie du bassin de retenue) .....	47
Tableau 8. Récapitulatif des prélèvements réalisés .....	48
Tableau 9. Récapitulatif des prélèvements réalisés pendant le projet INOGEV.....	49
Tableau 10. Proportion du nombre d'échantillons à concentrations quantifiées et/ou détectées lors des analyses ...	53
Tableau 11. Données statistiques des concentrations totales pour les sites de référence DjR Entrée et Asphalte (Dans la colonne « comparaison à la littérature », la couleur verte indique que nos concentrations sont dans la fourchette basse, violette dans toute l'étendue, orange dans la zone médiane et rouge dans la fourchette haute ou au-dessus des valeurs de la littérature) .....	57
Tableau 12. Données statistiques des concentrations totales pour les sites de gestion des eaux pluviales centralisé DjR Sortie et décentralisés CSR, Tranchée et Noue.....	61
Tableau 13. Données statistiques des concentrations totales pour les sites de de gestion des eaux pluviales centralisé DjR Sortie et décentralisés CSR, Tranchée et Noue par rapport à la NQE (les valeurs de médianes et Q90 sont reprises pour plus de lisibilité du tableau) .....	62
Tableau 14. Données statistiques des concentrations totales pour les sites de de gestion des eaux pluviales centralisé DjR Sortie et décentralisés (CSR, Tranchée et Noue) par rapport à la NQE et à la littérature (les valeurs de médianes sont reprises pour plus de lisibilité du tableau). Dans la colonne « comparaison à la littérature », la couleur verte indique que nos concentrations sont dans la fourchette basse, violette dans toute l'étendue, orange dans la zone médiane et rouge dans la fourchette haute ou au-dessus des valeurs de la littérature) .....	63
Tableau 15. Données statistiques des proportions dissoutes pour les sites DjR Entrée et Asphalte.....	72
Tableau 16. Analyse des éléments traces métalliques et éléments majeurs en phases dissoute et totale.....	118
Tableau 17. Analyse des HAPs en phases dissoute et particulaire .....	118
Tableau 18. Analyse des APs, APEOs, Bisphénol A et PBDEs en phases dissoute et particulaire .....	119
Tableau 19. Analyse des pesticides en phases dissoute et particulaire .....	119

Tableau 20. Récapitulatif des échantillons analysés ainsi que leur méthode d'obtention (les zones hachurées correspondent à des évènements sans rejet d'eau à l'exutoire des sites). Les couleurs des cases différencient visuellement les sites .....	121
Tableau 21. Valeurs des taux de couverture pour chacun des échantillons du site centralisé et des sites à la source. ....	123
Tableau 22. Valeurs des taux de couvertures pour chacun des échantillons (site à la source). Les couleurs des cases différencient visuellement les sites.....	124
Tableau 23. Récapitulatif des différents volumes observés ou calculés nécessaires à l'obtention du taux de couverture pour le site Django Reinhardt ( $V_{tot}$ : volume total mesuré à l'exutoire du système, $V_{pe}$ : volume prélevé équivalent, $V_{out}$ : volume total mesuré à l'exutoire du système pendant la durée d'échantillonnage) .....	126
Tableau 24. Récapitulatif des différents volumes observés ou calculés nécessaires à l'obtention du taux de couverture pour le parking imperméable (ASP) et la chaussée réservoir (CSR) ( $V_{tot}$ : volume total mesuré à l'exutoire du système, $V_{pe}$ : volume prélevé équivalent, $V_{out}$ : volume total mesuré à l'exutoire du système pendant la durée d'échantillonnage) .....	126
Tableau 25. Récapitulatif des différents volumes observés ou calculés nécessaires à l'obtention du taux de couverture pour le système tranchée et noue ( $V_{tot}$ : volume total mesuré à l'exutoire du système, $V_{pe}$ : volume prélevé équivalent, $V_{out}$ : volume total mesuré à l'exutoire du système pendant la durée d'échantillonnage).....	127
Tableau 26. Proportion du nombre d'échantillons non impactés par une possible contamination des dispositifs métrologiques .....	128
Tableau 27: Proportion du nombre d'échantillons à concentrations prises égale à zéro suite aux blancs réalisés sur les dispositifs métrologiques.....	129
Tableau 28. Données statistiques des masses par m <sup>2</sup> de surface active (MSa) totales pour les sites de référence DjR Entrée et Asphalte .....	138

## Nomenclature, abréviation du texte et des micropolluants

---

### Nomenclature

$C1$ (%)	Rendement du système (parking + ouvrage)
$C2$ (%)	Rendement de l'ouvrage
$C3$ (%)	Rendement du bassin d'apport (parking pour les sites à la source)
$C_{fpo}$	Concentration totale de faux positif en $\mu\text{g/L}$ ou $\text{ng/L}$ . C'est la concentration obtenue par les tests et/ou blancs correspondant au point de mesure
$CME_d$	Concentration moyenne évènementielle en phase dissoute en $\mu\text{g/L}$ ou $\text{ng/L}$
$CME_e$	Concentration moyenne évènementielle à l'exutoire du parking de référence (Asphalte) en $\mu\text{g/L}$ ou $\text{ng/L}$
$CME_{MES}$	Concentration moyenne évènementielle en MES en $\text{g/L}$
$CME_p$	Concentration moyenne évènementielle en phase particulaire en en $\mu\text{g/L}$ ou $\text{ng/L}$
$CME_s$	Concentration moyenne évènementielle à l'exutoire de chaque système étudié en $\mu\text{g/L}$ ou $\text{ng/L}$
$CME_S$	Concentration moyenne évènementielle à l'exutoire de chaque système (celui de la CSR, parking muni de la noue et de la tranchée) en $\mu\text{g/L}$ ou $\text{ng/L}$
$CME_s^{ASP}$	Concentration moyenne évènementielle à l'exutoire du parking de référence (Asphalte) en $\mu\text{g/L}$ ou $\text{ng/L}$
$CME_{SO}$	Concentration moyenne évènementielle en phase totale, dissoute ou particulaire en $\mu\text{g/L}$ des effluents en sortie d'ouvrage en $\mu\text{g/L}$ ou $\text{ng/L}$
$C_{blancs}$	Concentration dans les blancs pour différents polluants en $\mu\text{g/L}$ ou $\text{ng/L}$
$CME_t$	Concentration moyenne évènementielle totale en en $\mu\text{g/L}$ ou $\text{ng/L}$
$Cr$	Coefficient d'apport (coefficient volumétrique de ruissellement sur les zones de parking)
$Ec$	Efficacité en termes de concentrations en %
$Em$	Efficacité en termes de masse en %
$H_I$	Hauteur d'interception en mm - différence entre la hauteur d'eau précipitée sur le système parking + ouvrage et la hauteur d'eau recueillie en sortie
$HT$	Hauteur de pluie précipitée en mm

$H_s$	Hauteur d'eau équivalente en sortie en mm
$HT < 15 \text{ mm}$	Pourcentage des pluies de moins de 15 mm qui sont interceptées complètement - rapport entre la hauteur d'eau interceptée (H1) et la hauteur précipitée pour l'ensemble des pluies de moins de 15 mm
$K$	Lag-time du système (Parking + ouvrage) défini comme la différence temporelle entre le centre de gravité de l'hydrogramme issu de la pluie brute et le centre de gravité de l'hydrogramme de sortie du système (parking + ouvrage)
$LOQ_{so}$	Limite de quantification en sortie d'ouvrage
$Masse\ absolue$	Masse totale de polluants observée à la sortie d'un ouvrage en g
$M_e$	Masse événementielle d'un micropolluant donné sur la zone de référence en g
$M_{ref}$	Masse moyenne événementielle en phase totale, dissoute ou particulaire en $\mu\text{g}$ des effluents issus du parking traditionnel qui sert de référence en g
$M_s$	Masse événementielle d'un micropolluant obtenue par analyse des échantillons de sortie en g
$M_s^{ASP}$	Masse événementielle d'un micropolluant donné sur la zone de référence (Asphalte) en g
$M_{so}$	Masse moyenne événementielle en phase totale, dissoute ou particulaire en $\mu\text{g}$ des effluents en sortie d'ouvrage en g
$M_{so}$	Volume d'eau événementiel en sortie d'ouvrage (L)
$ne$	Nombre de pas de temps d'un hydrogramme en entrée
$ns$	Nombre de pas de temps d'un hydrogramme en sortie
$Q_i$	Débit au pas de temps $i \Delta t$ en L/s
$Q_{ei}$	Débit au pas de temps $i \Delta t$ en entrée du bassin de retenue en L/s
$Q_{si}$	Débit au pas de temps $i \Delta t$ en sortie du bassin de retenue en L/s
$S$	Surface totale du bassin versant alimentant l'ouvrage centralisé Django Reinhardt en $\text{m}^2$ ou ha
$S1$	Surface de l'ouvrage en $\text{m}^2$
$S2$	Surface de la zone de ruissellement du système étudié (issu du parking sans considérer l'ouvrage) en $\text{m}^2$
$S2a$	Surface de la zone de ruissellement (issu du parking du site noue d'apport) en $\text{m}^2$
$S_a$	Surface active en $\text{m}^2$

$V_e$	Volume d'apport dans les systèmes (volume de pluie directe sur l'ouvrage et ruissellement issu des parkings pour la tranchée et la noue) en L
$V_e^{système}$	volume d'apport au système (parking + ouvrage) (Noue (N) ou Tranchée (T) ou au Bassin de retenue (BR) en L
$V_r$	Volume ruisselé (à partir des mesures sur le site noue d'apport) en L
$V_{ref}$	Volume d'eau évènementiel de la référence corrigée pour les systèmes à la source en L
$V_s$	Volume d'eau en sortie de système (parking + ouvrage) calculé à partir des données débitmétriques en L
$V_s^{système}$	Volume sortant des systèmes (parking + ouvrage) en L calculé à partir des données de débitmétrie à l'exutoire des ouvrages ; en exposant figure le système concerné (N : noue, T : tranchée, CSR, ASP : Asphalte ou parking classique) ou au bassin de retenue (BR)
$\tau_p$	Teneur du polluant sur les particules ( $\mu\text{g/g}$ de matière sèche)
$\% \Delta Q_{max} (\%)$	Abattement du débit de pointe - rapport entre la différence de débits de pointe de l'hydrogramme de pluie brute et l'hydrogramme de sortie sur le débit maximum de l'hydrogramme de pluie brute en %

### Abréviations

ASP	Asphalte faisant référence au parking imperméable
BB	Béton bitumineux
CSR	Chaussée à structure réservoir
EM	Electromagnétique
EP	Evènement pluvieux
MP	Micropolluants
OUV	Ouvrage : décrit le bassin de rétention, la noue (bande végétalisée) ou la tranchée (bande de galets)
RUTP	Rejet urbain par temps de pluie
SP	Substances prioritaires
SPD	Substances prioritaires dangereuses

## Liste et abréviations des micropolluants étudiés

Symbole ou Abréviation	Famille	Nom
As	ETM	Arsenic
Cd	ETM	Cadmium
Co	ETM	Cobalt
Cr	ETM	Chrome
Cu	ETM	Cuivre
Mn	ETM	Manganese
Mo	ETM	Molybdène
Ni	ETM	Nickel
Pb	ETM	Plomb
Sr	ETM	Strontium
Ti	ETM	Titane
V	ETM	Vanadium
Zn	ETM	Zinc
Al	Em	Aluminium
Ba	ETM	Baryum
Ca	Em	Calcium
Fe	Em	Fer
K	Em	Potassium
Mg	Em	Magnésium
Na	Em	Sodium
P	Em	Phosphore
Nap	HAP léger	Naphtalène
Acy	HAP léger	Acénaphthylène
Ace	HAP léger	Acénaphène
Flu	HAP léger	Fluorène
Phe	HAP léger	Phénanthrène
A	HAP léger	Anthracène
Flh	HAP lourd	Fluoranthène
Pyr	HAP lourd	Pyrène
BaA	HAP lourd	Benzo(a)anthracène
Chr	HAP lourd	Chrysène
BbF	HAP lourd	Benzo(b)fluoranthène
BkF	HAP lourd	Benzo(k)fluoranthène
BaP	HAP lourd	benzo(a)pyrène
IP	HAP lourd	Indeno(1,2,3-cd)pyrène

Symbole ou Abréviation	Famille	Nom
D(a,h)A	HAP lourd	Dibenzo(a,h)anthracène
Bper	HAP lourd	Benzo(g,h,i)pérylène
24M	H	2,4-MCPA
Mec	H	Mécoprop
Car	F	Carbendazime
Sim	H	Simazine
DCPMU	H	N-(3,4 dichlorophényl)-N-(méthyl)-urée
Isop	H	Isoproturon
Atr	H	Atrazine
Di	H	Diuron
Dif	H	Diflufénicanil
AM	H	AMPA
GIA	H	Glyphosinate ammonium
Gly	H	Glyphosate
BPA	Bis	Bisphénol A
NPEC1	AP	Nonylphénol-1-carboxylé
4-OP	AP	4-Tert-Octylphénol
OP1EO	APEO	Octylphénol-mono-éthoxylé
OP2EO	APEO	Octylphénol-di-éthoxylé
4-NP	APEO	4-Nonylphénol
NP2EO	APEO	Nonylphénol-di éthoxylé
NP1EO	APEO	Nonylphénol-mono-éthoxylé
B28	PBDE	BDE-28
B47	PBDE	BDE-47
B100	PBDE	BDE-100
B99	PBDE	BDE-99
B154	PBDE	BDE-154
B153	PBDE	BDE-153
B183	PBDE	BDE-183
B205	PBDE	BDE-205
B209	PBDE	BDE-209

*ETM : Elément Trace Métallique / Em : Elément majeur / HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique / H : Herbicide/ F : Fongicide / Bis Bisphénol /AP : AlkylPhénol / APEO : AlkylPhénol EthOxylé / PBDE : PolyBromoDiphénylEther*

# Introduction et présentation sommaire des sites d'étude



## A. Introduction

---

Le projet MICROMEGAS a pour objectif d'étudier le rôle des techniques alternatives sur la gestion des micropolluants (MP) dans les rejets urbains de temps de pluie par comparaison aux systèmes centralisés.

L'une des tâches du projet (T2) consiste à mesurer et à comparer le rôle de différentes techniques alternatives de gestion des eaux pluviales à la source (chaussée à structure réservoir (notée CSR), noue classique végétalisée et tranchée) drainant de petites surfaces (quelques centaines de m<sup>2</sup>) par rapport à des techniques centralisées (bassin de rétention/infiltration à l'exutoire de bassins versants de grande taille de plusieurs dizaines d'ha) vis-à-vis de la réduction des flux de micropolluants véhiculés par les eaux pluviales.

Ce livrable fait suite au LIVRABLE 2-A "Source des micropolluants suivis - Définition des protocoles d'expérimentation" de juin 2019. Ce rapport constitue la version finale du livrable.

Ce livrable fait un point détaillé du dispositif métrologique mis en place et des différents tests ayant permis d'affiner sa mise en œuvre. Il présente et exploite en outre les données des campagnes d'échantillonnage sur les sites à la source ainsi que sur le bassin de rétention qui ont été menées jusqu'en décembre 2018.

## B. Présentation sommaire des sites

---

L'étude s'appuie sur le suivi de trois sites décentralisés drainant des eaux de ruissellement de parking sur le campus de La Doua à Villeurbanne (Cf. Figure 1 pour la localisation) et un bassin de retenue centralisé Django Reinhardt. Tous font partie de l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU) de la région de Lyon (Ecocampus Lyon Tech La Doua).

Parmi les sites décentralisés, deux sont des parkings de même facture de quelques centaines de m<sup>2</sup> dont les eaux sont évacuées, l'un par une noue végétalisée et l'autre par une tranchée de graves. Le troisième est un parking en chaussée à structure réservoir (CSR) et revêtement drainant de l'ordre de 90 m<sup>2</sup>. Ces ouvrages sont étanchés pour les besoins expérimentaux.

Une zone de référence en chaussée traditionnelle (nommé Asphalte) permet une comparaison des flux d'eau et de polluants entre un système traditionnel de parking imperméable et des systèmes alternatifs.

Le bassin de retenue-décantation centralisé est localisé quant à lui à l'exutoire d'un bassin versant d'une surface totale de 185 hectares et drainé par un réseau séparatif pluvial. Les activités du bassin versant concernent surtout de l'industrie légère avec notamment des activités logistiques, traitement des déchets papier et carton ou encore fabrique d'enrobés routiers. Etant donné le renouvellement très régulier des entreprises sur le site, il n'est pas possible de proposer un recensement exhaustif et fiable. En plus de l'activité industrielle, des espaces verts aménagés, des zones agricoles et naturelles représentent respectivement 20 %, 4 % et 4 % de la surface totale. Enfin la zone est maillée de rues et routes typiques d'un milieu urbain. D'après les comptages du Grand Lyon, la circulation moyenne est d'environ de 10 000 véhicules / jour (avec en moyenne approximativement 1 700 poids lourds) si l'on inclut la voie rapide qui borde le bassin versant.

Chaque site comprend son propre dispositif métrologique (mesure de débit, de conductivité et système de prélèvement en entrée et sortie d'ouvrage) qui sera décrit au paragraphe C.

Un récapitulatif des principales caractéristiques des sites sont rappelées au Tableau 1 et 2. Leur description et les moyens de mesure font l'objet d'une fiche récapitulative à l'annexe A de ce document.

Les micropolluants supposés présents dans les rejets sont suivis en phases dissoute et particulaire en termes de concentrations moyennes évènementielles.

Les micropolluants visés sont soit ceux pointés par la Directive Cadre sur l'Eau, soit de familles contenant des substances potentiellement dangereuses déjà observés dans les eaux pluviales (Cf. Livrable L2A). Il s'agit plus particulièrement de métaux et métalloïdes (As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn, V), de HAPs (16 HAPs de l'USEPA), de pesticides, de PBDEs et d'alkylphénols et dérivés. D'autres substances ou paramètres sont acquis pour contrôle comme par exemple le pH. Le livrable L2A donne une description détaillée des MP mesurés. Leur liste et les abréviations sont présentes dans la section Nomenclature et abréviations.



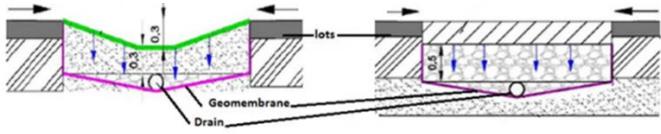
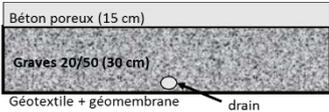
(a)



(b)

Figure 1. (a) Localisation des sites sur le campus Lyon Tech La Doua, photo des 3 sites décentralisés, (b) Vue aérienne du site de Chassieu : (Bassin versant en bleu) et localisation du bassin (en rouge)

Tableau 1. Caractéristiques des trois sites décentralisés

Lieu	EcoCampus Lyon Tech de la Doua (Villeurbanne - 69)		
	Noue en terre végétale (a)	Tranchée de graviers (b)	Chaussée à structure réservoir (CSR) (c)
Système			
Caract. du bassin versant	<p>Parking + ouvrage (302,27 m<sup>2</sup>) composé d'une partie en stabilisé et une partie en béton bitumineux imperméable (BB)</p>	<p>Parking + ouvrage (260,13 m<sup>2</sup>) composé d'une partie en stabilisé et une partie en béton bitumineux imperméable (BB)</p>	<p>Parking en deux parties indépendantes (chaussée réservoir de 93,96 m<sup>2</sup> avec revêtement en béton drainant + chaussée classique en BB de 93,96 m<sup>2</sup>)</p>
Ouvrage (coupe)			

La conception des sites étant différente de la réalisation effective, des tests préalables ont été menés. Ils sont donnés à l'annexe B.

Tableau 2. Caractéristiques du bassin de retenue Django Reinhardt

<p>Lieu</p>	<p>Bassin Django Reinhardt (Chassieu - 69)</p>
<p>Ouvrage</p>	 <p>Figure 2. Photo descriptive du bassin de retenue-décantation (Google Earth) - (Sébastien 2013)</p>
<p>Caractéristiques du bassin versant</p>	<p>Le bassin de retenue-décantation localisé à l'exutoire d'un bassin versant de type industriel d'une surface totale de 185 hectares et drainé par un réseau séparatif pluvial. Le taux d'imperméabilisation du bassin versant a été estimé à 75 % avec un coefficient d'apport d'environ 0,35 (surface active ~ 65 ha). Activités du bassin versant : (i) industrie légère avec notamment des activités logistiques, traitement des déchets papier et carton ou encore fabrique d'enrobés routiers mais renouvellement très régulier des entreprises sur le site, (ii) espaces verts aménagés, des zones agricoles et naturelles respectivement 20 %, 4 % et 4 % de la surface totale, (iii) maillage de rues et (d'après comptages du Grand Lyon), la circulation moyenne est d'environ de 10 000 véhicules / jour (avec en moyenne approximativement 1 700 poids lourds) si l'on inclut la voie rapide qui borde le bassin versant.</p>
<p>Caractéristique de l'ouvrage</p>	<p>Le bassin de retenue-décantation a été construit en 1975 et a régulièrement subi des modifications avec notamment la construction d'un muret muni de trois orifices en 2004 et destiné à améliorer la décantation.</p> <p>Il est constitué d'un radier bitumineux étanche et les talus sont recouverts d'une géomembrane plastique.</p> <p>Le volume de stockage est de 32 200 m<sup>3</sup> avec une surface au sol de 11 300 m<sup>2</sup> dont 8 000 m<sup>2</sup> en amont du muret. Le débit de sortie est régulé « théoriquement » à 350 L.s<sup>-1</sup> par un système de contrôle (Hydroslide®).</p> <p>Le bassin présente une entrée principale ainsi qu'une entrée secondaire, condamnée par un batardeau et seulement utilisée lors d'opérations sur le bassin (curage par exemple). Une cunette dite « de temps sec » permet la circulation des faibles débits jusqu'à la sortie de l'ouvrage. Deux fosses de décantation sont également localisées dans le bassin.</p>

# Instrumentation

## C. Instrumentation des systèmes et principes de mesures

---

### C1. Principe de mesure des flux d'eau et de micropolluants sur les sites décentralisés

Les dispositifs de mesure sont ici plus détaillés car ils ont été développés spécifiquement dans le cadre de ce projet.

Etudier la performance des systèmes à la source nécessite une bonne connaissance des flux d'eau. La performance peut en effet provenir de l'abattement des volumes d'eau qui transportent les polluants comme des concentrations de polluants.

L'examen de ces aptitudes de dépollution devrait dans l'idéal être réalisé par comparaison entre masses de polluants issues des eaux de ruissellement entrant dans les systèmes et celles qui en sortent sur un évènement. Pour ce faire, un prélèvement et une analyse doivent être assurés également à l'entrée des systèmes. Or, cet échantillonnage des apports ne peut se faire directement sur les systèmes étudiés. En effet, toute interception des eaux d'entrée fausserait les quantités de sortie qui sont, en entrée comme en sortie, statistiquement assez faibles<sup>1</sup>.

Ne pouvant raisonnablement opérer des bilans entrée / sortie, il est donc nécessaire pour caractériser les performances de définir des zones de référence pour ces apports.

Nous présentons donc dans ce qui suit ces zones de référence, leurs caractéristiques et la méthodologie appliquée pour comparer les flux d'eau et de polluants entre eux : comparaison référence et sortie par site et comparaison inter-sites. Le Tableau 3 donne un récapitulatif.

#### C.1.1. Zones de référence pour la comparaison des flux d'eau et de polluants

##### C.1.1.1. Références prises pour les performances hydrologiques (comparaison des flux d'eau)

**Pour la chaussée à structure réservoir**, le volume des apports ( $V_e$ ) pour un évènement pluvieux correspond à la hauteur d'eau précipitée sur le bassin versant de la CSR par la surface de la chaussée réservoir. Ce volume entrant sur le système est donc évalué à partir des données pluviométriques.

$$V_e = HT \cdot S_1$$

*HT* : hauteur totale précipitée pour un évènement

*S<sub>1</sub>* : surface de l'ouvrage

**Pour la noue ou la tranchée**, le volume évènementiel des apports à l'ouvrage  $V_e^{ouvrage\ N,T}$  correspond à la hauteur d'eau précipitée sur l'ouvrage par sa surface ainsi qu'au volume issu du ruissellement des parkings.

$$V_e^{ouvrage\ N,T} = HT \cdot S_1 + HT \cdot S_2 \cdot C_r$$

$V_e^{ouvrage\ N,T}$  : volume d'apport à l'ouvrage Noue (ouvrage N) ou Tranchée (ouvrage T) seuls

*HT* : hauteur totale précipitée pour un évènement

*S<sub>1</sub>* : surface de l'ouvrage

---

<sup>1</sup> La gamme des volumes issus du ruissellement des eaux de pluie sur les parkings a été déterminée à partir de la simulation simplifiée de 26 années de pluie du pluviomètre de la métropole le plus proche de notre site. Les volumes médians évènementiels trouvés sont très inférieurs au m<sup>3</sup>.

$S_2$  : surface totale de la zone de ruissellement (parking)

$C_r$  : coefficient d'apport (coefficient volumétrique de ruissellement sur les zones de parking placées en amont de la noue ou de la tranchée)

Le volume des apports au système (Parking + ouvrage)  $V_e^{N,T}$  qui nous intéresse ici est donné par la hauteur d'eau précipitée sur la somme des surfaces de parking et d'ouvrage.

$$V_e^{N,T} = HT \cdot (S_1 + S_2)$$

$V_e^{N,T}$  : volume d'apport au système (parking + ouvrage) (Noue (N) ou Tranchée (T))

$HT$  : hauteur totale précipitée pour un évènement

$C_r$  : coefficient d'apport (coefficient volumétrique de ruissellement sur les zones de parking placées en amont de la noue ou de la tranchée)

$S_1$  : surface de l'ouvrage

$S_2$  : surface de la zone de ruissellement du système étudié

La caractérisation des flux d'eau issus des parkings seuls alimentant la noue et la tranchée est réalisée par collecte des eaux d'un parking contigu à la noue et la tranchée, de même facture et approximativement de même dimension (noue dite « d'apport »). La collecte se fait par des caniveaux interceptant l'eau du parking avant l'entrée dans la noue d'apport (Cf. Figure 3). Les eaux ainsi collectées sont acheminées vers un système de mesure de débit identique à ceux implémentés en sortie, c'est-à-dire constitué par un débitmètre à auget basculant pour la gamme [0 ; 100 L/h] et électromagnétique pour la gamme [75 – 3 500 L/h]. Cette mesure étant difficile à maîtriser du fait des très faibles volumes d'eau arrivant dans les caniveaux, nous ne l'avons exploitée que pour caractériser la surface d'apport (parking en stabilisé et voies de circulation en béton bitumineux BB). Ces mesures nous permettent d'estimer le coefficient volumétrique de ruissellement  $C_r$  de la partie amont alimentant la noue ou la tranchée (pour chaque évènement et en moyenne) et le rendement des ouvrages Noue ou Tranchée seuls (Cf. § D1.3. Indicateurs hydrologiques).

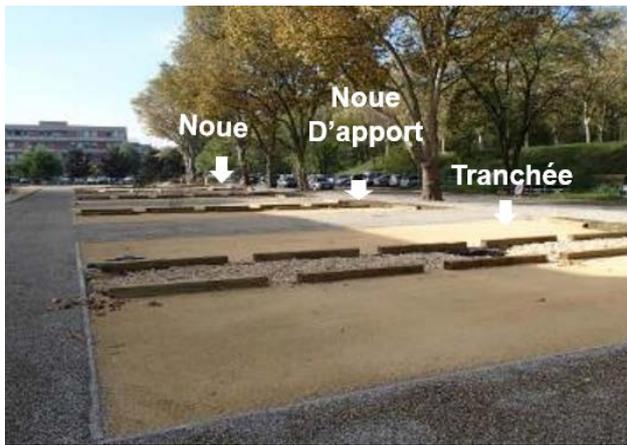
$$C_r = \frac{V_r \cdot \frac{S_2}{S_{2a}}}{S_2 \cdot HT}$$

$C_r$  : coefficient d'apport (coefficient volumétrique de ruissellement sur les zones de parking placées en amont de la noue ou de la tranchée)

$HT$  : hauteur totale précipitée pour un évènement

$S_2$  : surface de parking du système étudié

$S_{2a}$  : surface de parking du système « noue d'apport »



a)



b)



c)



d)

**Figure 3. Système de mesure permettant d'évaluer les débits et volumes d'eau en entrée des systèmes drainés par la noue et la tranchée. a) montre la localisation et la similitude du site avec ceux du système muni de la noue et de la tranchée, b) montre le site permettant d'estimer les apports avec installation à la périphérie des caniveaux collectant les flux avant entrée dans un ouvrage, c) et d) la connexion des caniveaux au système de mesure (double mesure 1/par auget basculant et 2/par mesure électromagnétique)**

#### C.1.1.2. Références prises pour les performances en termes de gestion des micropolluants (comparaison des flux de micropolluants)

Pour l'étude de la performance de dépollution, nous comparons la qualité des flux d'eau issus d'une chaussée classique à celle des flux d'eau en sortie de CSR, noue ou tranchée.

Les flux d'eau issus de la chaussée classique (appelée « Asphalte ») sont mesurés en sortie du parking classique contigu de même dimension que la CSR dont le revêtement est en béton bitumineux étanche (Asphalte) (Figure 4). Ils sont calculés tels que :

$$V_s^{ASP} = \sum_{i=1}^{ne} Q_i \cdot \Delta t$$

$V_s^{ASP}$  : volume d'eau en sortie du parking classique (Asphalte) calculé à partir des données débitométriques collectées à son exutoire

$Q_i$  : débit au pas de temps  $\Delta t$

$ne$  : nombre de pas de temps de l'hydrogramme de sortie de la partie « Asphalte »

Les mesures et le prélèvement de ces eaux se font dans un puits instrumenté de façon identique à celui installé en sortie de CSR (Cf. § C.2.2.).

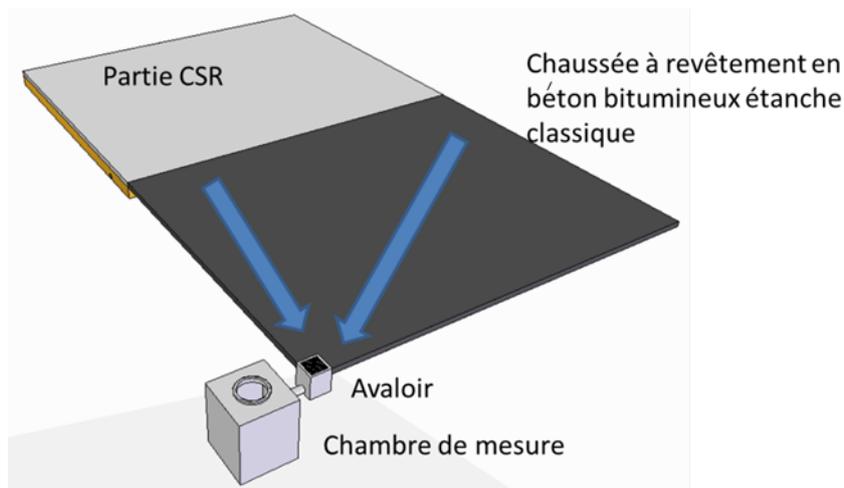


Figure 4. Schéma de principe de la partie permettant de mesurer qualité et quantité des apports du parking en béton bitumineux classique appelé ASP (Asphalte) et contigu à la CSR

Ainsi, les concentrations « de sortie » mesurées par évènement (concentration moyenne évènementielle :  $CME_s$ ) comme les flux (masse :  $M_s$ ) de micropolluants restitués par les systèmes sont comparés aux concentrations ou flux de référence ( $CME_s^{ASP}$  et  $M_s^{ASP}$ ) produits par le parking classique. Le flux de référence de micropolluants produits par le parking classique est calculé comme suit :

$$M_s^{ASP} = CME_s^{ASP} \cdot V_s^{ASP}$$

$M_s^{ASP}$ : Masse évènementielle d'un micropolluant donné sur la zone de référence (Asphalte)

$CME_s^{ASP}$ : Concentration moyenne évènementielle à l'exutoire du parking de référence (Asphalte)

$V_s^{ASP}$ : Volume évènementiel en sortie de l'asphalte estimé, comme indiqué précédemment, par les données débitométriques.

### C.1.2. En sortie de tous les systèmes

C1.2.1. Calcul des volumes sortant des systèmes à la source pour l'évaluation de la performance en termes de gestion des micropolluants (flux de micropolluants)

La métrologie et l'acquisition de données en sortie des différents sites de gestion des eaux pluviales à la source s'articulent selon le schéma présenté en Figure 5. Les instruments sont placés dans une chambre souterraine pour les sites « Noue » et « Tranchée » ou dans un puits pour la CSR et la partie « Asphalte ».

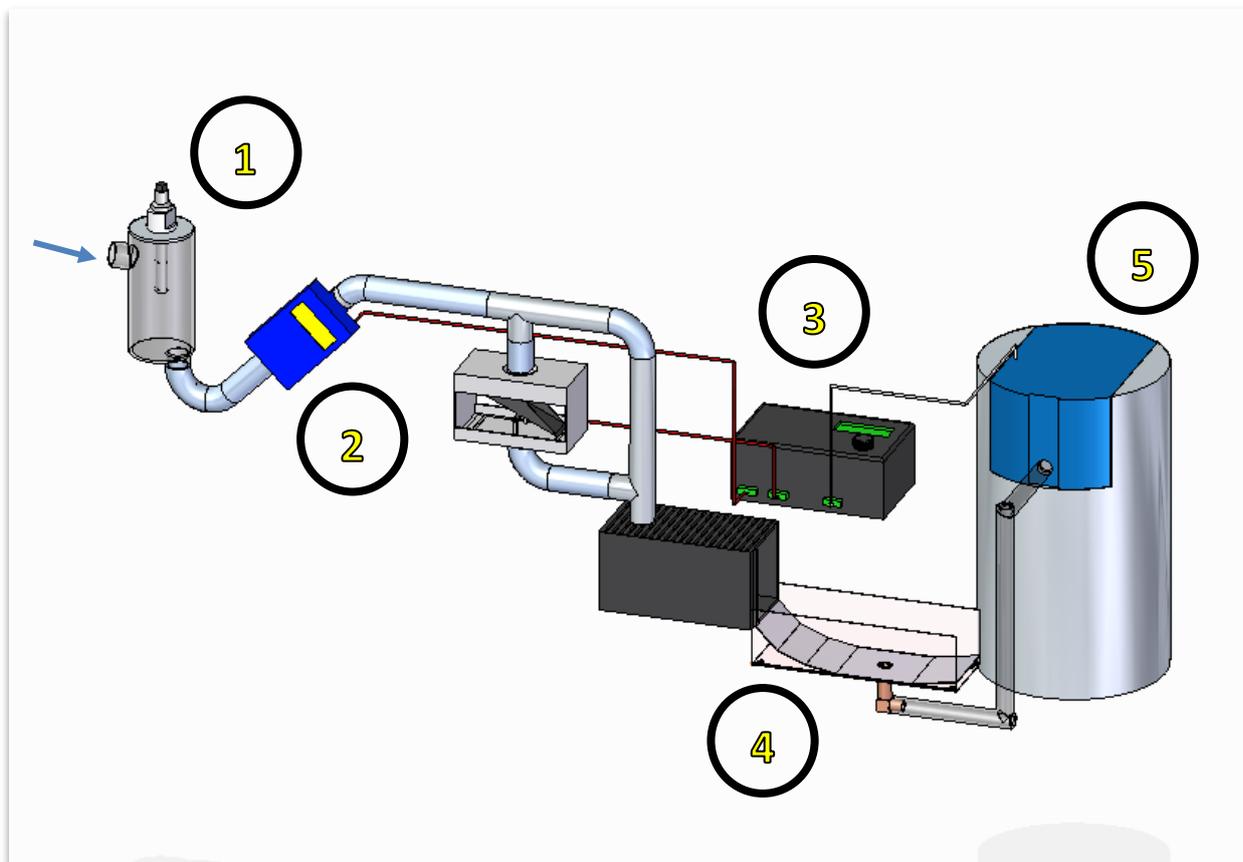


Figure 5. Schéma de principe des mesures de flux d'eau et de micropolluants en sortie des systèmes décentralisés

Les étapes de mesure lors d'un évènement pluvieux sont les suivantes :

1. Les effluents sortant de la noue, de la tranchée ou de la CSR subissent une mesure de conductivité électrique et de température placée dans une cellule cylindrique en PVC.
2. Une mesure de débit par un double débitmètre (débitmètre électromagnétique (EM) + débitmètre massique à auget (20 g) est ensuite effectuée. Les petits débits de la gamme [0 ; 100 L/h] sont mesurés par le débitmètre à auget tandis que le mesurage des débits plus importants de la gamme [75 ; 3 500 L /h] est assuré par le débitmètre EM. Le mesurage de l'un comme de l'autre est une valeur moyennée de l'ensemble des débits sur le pas de temps de mesure.
3. Une centrale d'acquisition recueille en continu et au pas de temps de 2 minutes les données des débitmètres, du conductimètre et de la sonde de température. Les deux signaux issus des débitmètres subissent un traitement en ligne pour ne fournir en fin de compte qu'un seul débit présentant l'incertitude la plus faible. Les deux informations sont néanmoins archivées.
4. Les eaux sont ensuite récupérées en sortie de la zone de débitmétrie et passe par un bac de prélèvement en inox dont la forme a été étudiée pour assurer un bon mélange des polluants dans le volume d'eau au moment du prélèvement.

Les eaux sont enfin prélevées dans le canal d'une quantité dépendant de la donnée de débit fournie par la centrale d'acquisition au préleveur portable (Cf. § 2.3).

Les flux d'eau en sortie ( $V_s$ ) sont calculés pour chaque système à partir des données débitométriques :

$$V_s = \sum_{i=1}^{ne} Qi \cdot \Delta t$$

$V_s$  : volume d'eau en sortie de système calculé à partir des données débitométriques

$Q_i$  : débit au pas de temps  $\Delta t$

$n_e$  : nombre de pas de temps de l'hydrogramme de sortie

### C1.2.2. Calcul des masses sortant des systèmes à la source pour l'évaluation de la performance en termes de gestion des micropolluants (flux de micropolluants)

Les flux de micropolluants en sortie sont calculés selon la formulation suivante :

$$M_s = CME_s \cdot V_s$$

$M_s$  : masse événementielle d'un micropolluant obtenue par analyse des échantillons de sortie

$CME_s$  : concentration moyenne événementielle à l'exutoire de chaque système (celui de la CSR, parking muni de la noue et de la tranchée)

$V_s$  : volume d'eau en sortie de système (parking + ouvrage) calculé à partir des données débitométriques (Figure 5.)

**Tableau 3. Tableau récapitulatif des zones de références utilisées pour l'évaluation des performances des systèmes de gestion à la source des eaux pluviales ; toutes les notations sont définies dans le paragraphe 0 ainsi qu'en début de document**

	« Référence »	« Sortie »
Performance hydraulique du système (parking + ouvrage)	<p>Volume de pluie alimentant le système</p> $V_e^{ASP} = HT \cdot S_1^{ASP}$ $V_e^{CSR} = HT \cdot S_1^{CSR}$ $V_e^{N,T} = HT \cdot (S_1^{N,T} + S_2^{N,T})$	<p>Volume d'eau en sortie de système calculé à partir des données débitométriques</p> $V_s = \sum_{i=1}^{n_s} Q_i \cdot \Delta t$
Performance hydraulique d'un ouvrage	<p>Volume de ruissellement alimentant l'ouvrage seul</p> $V_e^{CSR} = HT \cdot S_1^{CSR}$ $V_e^{N,T} = HT \cdot S_1^{N,T} + Cr \cdot HT \cdot S_2^{N,T}$	
Performance en termes de gestion des micropolluants	<p>Flux de micropolluants en sortie de la chaussée classique (ASP)</p> $M_s^{ASP} = CME_s^{ASP} \cdot V_s^{ASP}$	<p>Flux de micropolluants en sortie de systèmes (Noue, Tranchée, CSR)</p> $M_s = CME_s \cdot V_s$

### C.1.3. Instruments, capteurs et éléments de mesure sur sites

L'ensemble des éléments présentés est décrit et argumenté ci-après. Notons que le matériel a également été choisi pour assurer la concordance des données acquises entre les différents systèmes et de manière à être transposable, autant que faire se peut, à d'autres sites.

L'ordre de présentation qui suit est donné selon l'enchaînement logique des décisions concernant l'équipement.

#### C1.3.1. Débits par auget basculant

La débitmétrie a été considérée dès le départ comme une mesure particulièrement importante car d'elle découle la bonne représentativité du fonctionnement hydraulique et des quantités de polluants prélevées et donc du rôle de la structure vis-à-vis des micropolluants (représentativité des évènements).

Supposant la mise en jeu importante de faibles à très faibles débits, et du fait de l'expérience d'études précédentes sur les biais induits par une méconnaissance de ces gammes basses, il a été décidé d'axer le mesurage des faibles débits sur la base d'une acquisition par débitmètre à auget. Ce genre d'instrument permet en effet la mesure fiable des débits sur une gamme relativement étendue : pour un auget de type pluviomètre de 20 g par exemple, on peut suivre l'évolution des débits sur une étendue de 0 L/h jusqu'à au 100 L/h environ (Figure 6).

De plus, l'étalonnage et la vérification de ce genre de matériel peut se faire de façon très simple directement au laboratoire par les techniciens et ne nécessite pas de ré-étalonnage sophistiqué.

Dans le cadre du projet MicroMegas des débitmètres à auget du fournisseur Précis-Mécanique de 20 g (Figure 6) permet l'acquisition de gammes de débits entre [0 ; 100 L/h].

Il a ensuite été nécessaire, du fait des gammes de débits réellement impliquées, de brider l'arrivée d'eau à l'auget, notamment lorsque les débits dépassent 110 L/h, pour éviter les dérèglements chroniques qui aurait alors nécessité des ré-étalonnages fréquents (Figure 6).

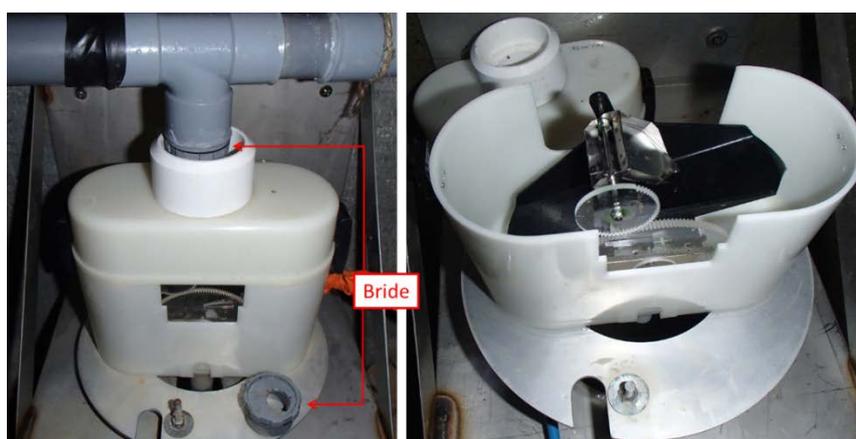


Figure 6. Débitmètre à auget de 20 g et bridage du système

#### C1.3.2. Débits par mesure électromagnétique

Pour mesurer les débits supérieurs à 100 L/h, un débitmètre électromagnétique a été mis en place en complément du débitmètre à auget (Figure 7).

Ce genre de capteur nécessite que la conduite dans laquelle se fait la mesure de flux soit en charge. Le débitmètre électromagnétique (EM) a donc été placé avant le débitmètre à auget.

Le dispositif complet permet donc de capter l'intégralité des débits aussi bien sur des gammes de faibles débits (par auget) ou plus importants (par débitmètre EM). Le débitmètre EM permet une acquisition fiable du débit lorsque celui-ci est d'au moins 80 L/h pour le modèle en place, cela assure un recoupement des données et une meilleure estimation du débit pour les prélèvements.

Les débitmètres électromagnétiques installés pour le projet MicroMegas sont des modèles Optiflux IFC 2100C de la marque Krohne et permettent l'acquisition de gammes de débits comprises entre [80 ; 3 500 L/h] (Figure 7).

Notre dispositif complet de mesure des débits permet donc l'acquisition de débit allant de 0 à 3 500 L/h.



**Figure 7. Dispositif complet de mesure débitmétrique avec complément électromagnétique Krohne (Optiflux IFC 2100C)**

Il peut être noté que le constructeur assure une bonne mesure sur une gamme plus étendue, mais que l'expérience de projets précédents a prouvé une efficacité réelle sur cette gamme-ci (celle qui nous intéresse), expliquant le choix de ce modèle de débitmètre.

Autre critère ayant encouragé ce choix : les Optiflux IFC 2100C sont disponibles en alimentation 230VAC ou 12-24VDC, ce qui est une nécessité sur certains de nos sites où l'alimentation sur batterie/panneau solaire est la seule possible.

La Figure 8 présente les hydrogrammes récupérés par le dispositif sur une période de pluie (15 et 16/06/2016). On peut observer une différence de valeur de débits d'un instrument à l'autre inférieure à 7 % sur la plage d'acquisition commune. Cela est vérifié sur l'ensemble des mesures acquises sur les autres événements.

Sur la plage commune, le débit considéré est la moyenne des deux.

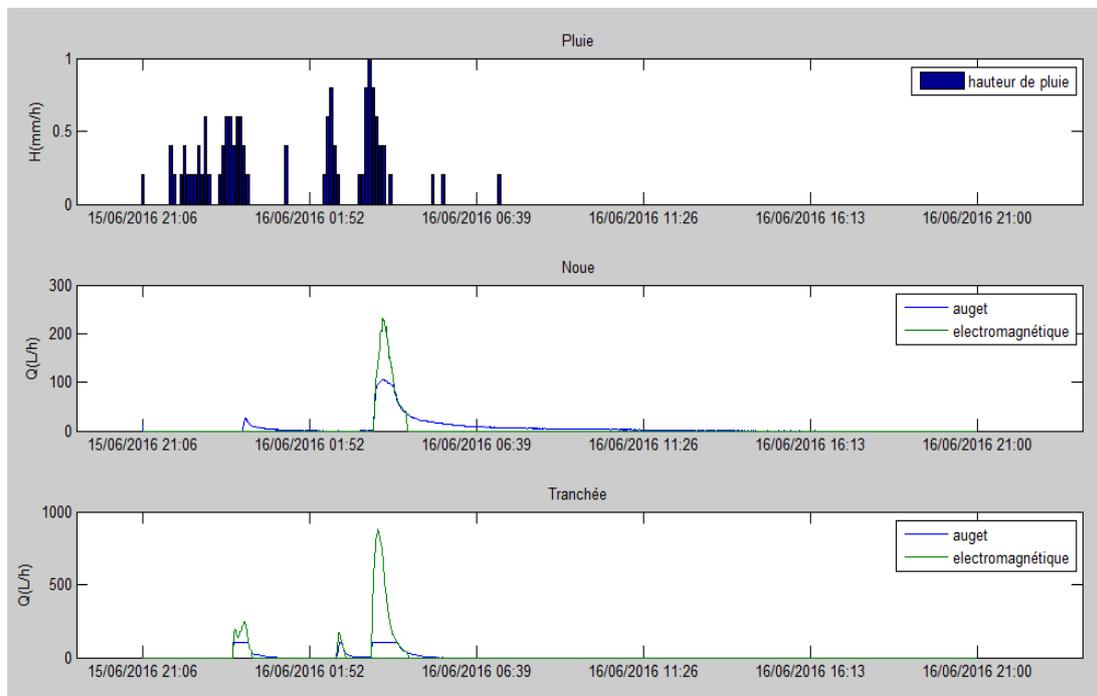


Figure 8. Exemple de données récupérées par le dispositif débitmétrique pour la pluie du 15 - 16/06/2016

### C.1.4. Prélèvement et échantillonnage

#### C1.4.1. Conditions, modes de prélèvement et analyses

Rappelons que pour tous les systèmes (noue, tranchée, CSR) une seule référence a été choisie pour des raisons de comparabilité. Ainsi, la partie « Asphalté » dite de référence a été sélectionnée. La performance de traitement des systèmes munis de la noue, de la tranchée ou la CSR est donc comparée à la performance d'un parking traditionnel.

**Les volumes nécessaires** pour réaliser les analyses des différentes familles, les laboratoires d'analyses et les normes d'analyses sont donnés au Tableau 4. Les méthodes analytiques sont rappelées à l'annexe B et au livrable L2A.

Tableau 4. Volumes nécessaires aux analyses chimiques et laboratoires d'analyses

Familles de substances	Volume nécessaire	Laboratoires
MES	250 mL	DEEP – INSA IFSTTAR Nantes
Eléments majeurs <i>Al, Ba, Ca, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, P</i>	1 L plastique	IFSTTAR Nantes
ETM <i>As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn, V</i>		
HAP	1 L verre	ISA Lyon
Pesticides	2 L plastique Glyphosate, AMPA, Glyphosinate ammonium 1L verre pour les autres	LMSPC-Université de Strasbourg
PBDE/AP	2,5 L verre	LEESU Paris

**Les conditions de mise en place** des prélèvements sont les suivantes :

1. Le déclenchement des prélèvements se fait suivant les prévisions de pluie. La pluie doit être prévue entre la nuit de samedi à dimanche jusqu'à la nuit de mercredi à jeudi au maximum. Les échantillons devant être envoyés et reçus par les laboratoires, puis conditionnés dans les 24 heures pour éviter les dégradations, il faut pouvoir envoyer les échantillons pour une arrivée la plus tardive dans les laboratoires d'analyses le vendredi matin (donc un départ du campus avant le jeudi après-midi).
2. La mise en place des installations de prélèvement (préleveurs, flacons, tuyaux de prélèvement) se fait : (i) dans les deux jours avant la pluie pour le site centralisé de Chassieu ou (ii) l'après-midi la veille de la pluie pour les sites décentralisés de l'Ecocampus. Ces précautions sont dues à la nécessité d'exposer au minimum le matériel de prélèvement nettoyé au milieu extérieur ou à des contaminations intempestives.

**Les modes de prélèvement des échantillons** sont de deux types :

1. Prélèvement proportionnel au débit. Les sous-échantillons prélevés proportionnellement au débit sont dirigés vers un mono flacon (le plus inerte possible en plastique téflonné). Ce mono-flacon recueille une quantité d'eau suffisante pour les analyses des micropolluants et fournit un échantillon dont la concentration doit être représentative d'une concentration moyenne évènementielle.
2. Prélèvement complet des volumes produits lorsqu'ils sont faibles. Lorsque la pluie est annoncée avec une faible hauteur suffisante pour ne pas dépasser les capacités du bidon (16 L), le prélèvement se fait sans activer la centrale de prélèvement.

Pour parer aux dysfonctionnements de la centrale, le bidon est systématiquement installé pour permettre la collecte d'échantillons.

La collecte d'échantillons, qu'elle soit faite par prélèvement proportionnellement au débit ou par collecte incomplète dans le bidon, soulève la question du taux de couverture de l'évènement (quelle partie du pollutogramme avons-nous réellement prélevée ?). L'annexe C aborde les taux

de couvertures des prélèvements et l'incertitude liée à la centrale pour les prélèvements proportionnels au débit.

Par ailleurs, chaque échantillon est caractérisé en pH, température et concentrations en MES par nos soins. Le pH est mesuré par un pH-mètre Yokogawa, les MES selon un protocole extrait de la norme NF EN 872.

Des blancs de l'ensemble du système de prélèvement ont été réalisés pour connaître la contamination potentielle provoquée par le système de mesure global. Ils consistent à faire passer de l'eau déminéralisée dans les systèmes de prélèvements. Ces blancs permettent d'examiner de possibles relargage de polluants par le matériel de prélèvement mais pas de possibles interceptions des polluants par ces mêmes systèmes. Les résultats sont donnés à l'annexe D.

#### C1.4.2. Préleveur et nature du flaconnage

Le choix du préleveur a été fait sur les considérations suivantes.

- Les dimensions du préleveur devaient être compatibles avec les dimensions des chambres de mesure et leur accès (diamètre d'accès du regard, hauteur de la chambre ou du regard inférieures à 60 cm x 150 cm).
- Le préleveur devait pouvoir permettre une composition représentative de l'évènement pluvieux (concentration moyenne événementielle). Nous avons opté pour un échantillonnage proportionnel au débit qui est une stratégie jugée satisfaisante selon des études antérieures (e.g. Bertrand-Krajewski *et al.*, 2000) (Cf. Figure 9) pour les différentes stratégies).

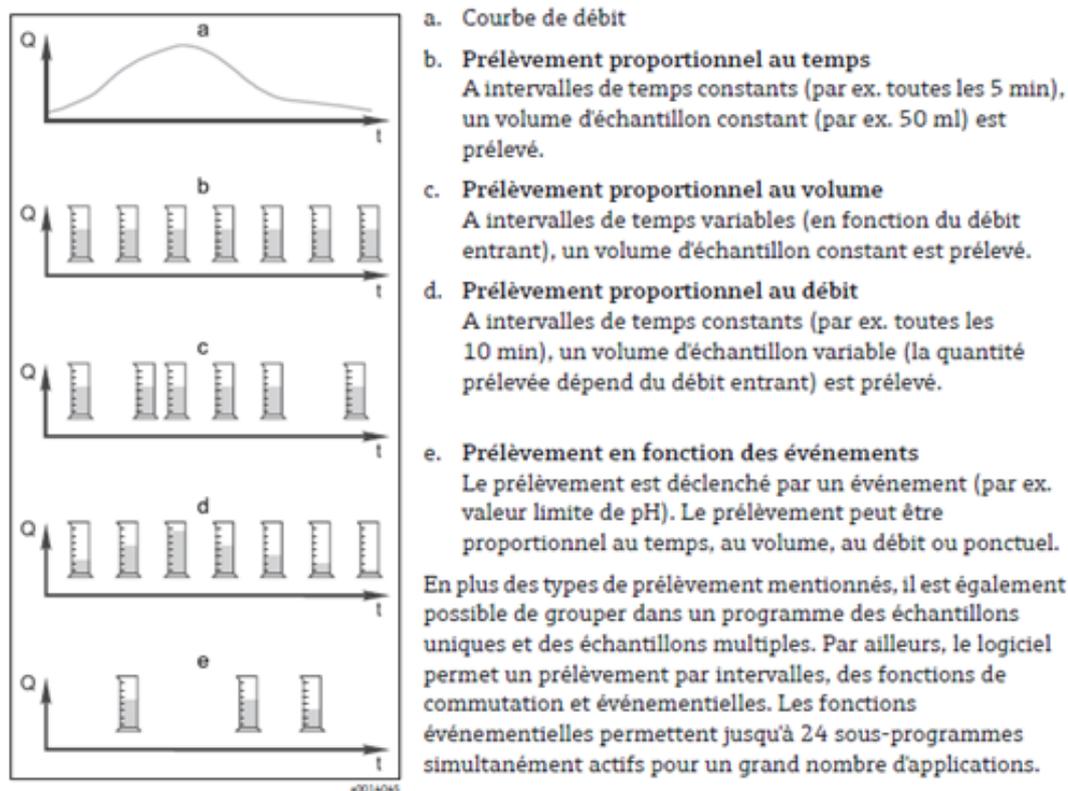


Figure 9. Différentes stratégies de prélèvement (Source : Endress-Hauser, fiche technique Liquiport CSP44, p4)

- Le flaconnage devait être compatible avec la nature des micropolluants étudiés.
- L'alimentation électrique devait être possible par batterie/panneau solaire 12-24VDC ou sur

secteur 230VAC.

- Si possible, le préleveur devait assurer lui-même sa réfrigération pour environ 24 h. Cette contrainte a finalement été écartée car trop contraignante par rapport aux autres plus importantes (notamment les dimensions). Des pains de glace hermétiques sont ainsi glissés dans la zone de stock du préleveur afin d'assurer un minimum de refroidissement.

Le choix définitif s'est finalement porté sur le modèle Liquiport CSP44 de la marque Endress & Hauser (voir Figure 10). En plus de remplir l'ensemble des critères, des préleveurs fixes de la même gamme et du même fournisseur avaient été installés pour l'instrumentation du bassin de rétention et d'infiltration Django-Reinhardt à Chassieu (69) et les retours en étaient très positifs. Cela permet à nouveau de se rapprocher d'une concordance globale d'échantillonnage pour l'ensemble du projet et ainsi une meilleure pertinence des comparaisons.

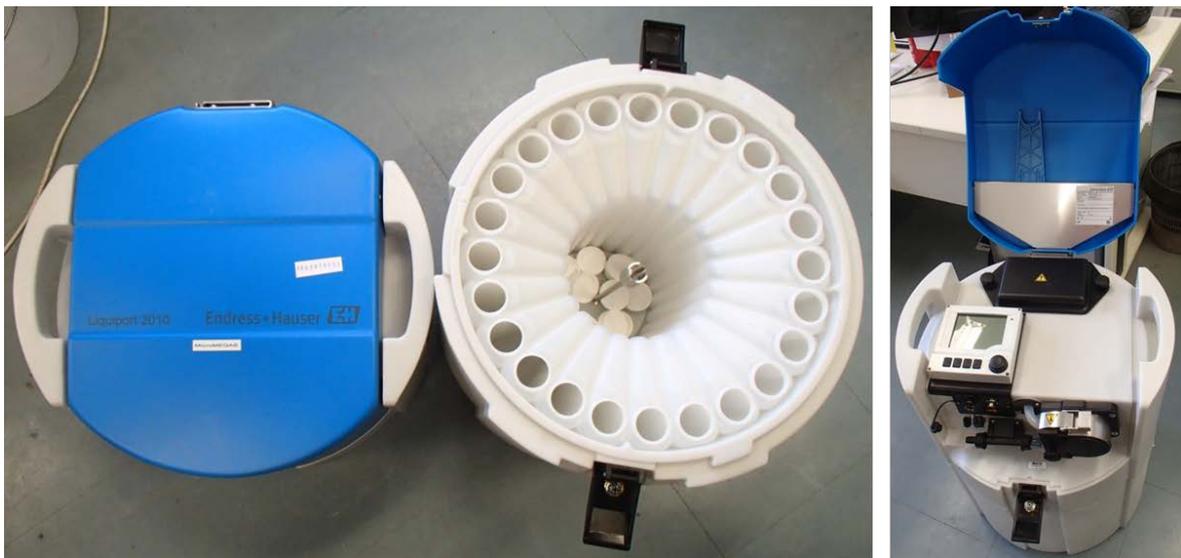


Figure 10. Préleveur utilisé (modèle Liquiport CSP44 de chez Endress & Hauser)

Au vu des contraintes de place et de la quantité d'eau obtenue à l'exutoire des sites, un double prélèvement avec flaconnage verre et plastique (comme opéré sur le site de Django-Reinhardt) était impossible. Le choix s'est donc porté sur un monoflacon standard de marque Endress & Hauser en plastique recouvert d'une couche de téflon.

L'alimentation électrique était dans un premier temps assurée par la batterie interne du préleveur sur les sites dépourvus d'alimentation électrique, doublée par nos soins. Sur des temps d'installation trop longs (par exemple du vendredi après-midi au lundi matin pour une pluie de dimanche) la batterie ne tenait malheureusement pas forcément durant l'intégralité de l'évènement. Ce problème a été résolu lors du raccord de tous les sites à une source électrique de secteur permettant le branchement du chargeur du préleveur assurant son bon fonctionnement électrique.

De ce fait, seule la centrale d'acquisition de la noue d'apport mesurant le ruissellement est alimentée par panneau solaire.

### C1.4.3. Centrale d'acquisition

La centrale d'acquisition a deux rôles principaux dans les dispositifs de mesure du projet : (i) la récupération et le stockage des données fournies par les capteurs, (ii) le pilotage du préleveur par envoi d'une donnée de débit unique par influx électrique.

Ayant expérimenté plusieurs modèles et fournisseurs de centrales d'acquisition, le choix était complètement ouvert. La centrale a été sélectionnée sur des considérations économiques et sur la possibilité ou non de les alimenter aussi bien en 12-24VDC qu'en 230VAC.

L'acquisition et le pilotage se font donc sur des centrales Sofrel S550 (Cf. Figure 11). Petits plus secondaires : le laboratoire possédait déjà les logiciels de gestion de ces centrales et leur fonctionnement était bien connu. Enfin, les opérateurs de la métropole de Lyon travaillent principalement avec ce genre de matériel ce qui facilite les potentiels échanges de données.



Figure 11. Photo de la centrale d'acquisition sélectionnée (Sofrel S550) [1] Alimentation, [2] emplacement de la carte pour PT100, [3] Sorties Analogiques pour pilotage du préleveur, [4] Entrées Digitales pour auget, [5] Entrées Analogiques télé-alimentées pour conductivité, [6] Entrées Analogiques pour débitmètre électromagnétique, [7] Sorties Digitales "watchdog" pour communication de secours avec le préleveur

### C1.4.4. Canal de prélèvement

Le canal de prélèvement (Cf. Zone 4 -Figure 5) est un prototype spécifiquement conçu pour le projet MicroMegas pour améliorer les prélèvements d'échantillons d'eau et pour minimiser les biais.

Ce canal de prélèvement (Cf. Figure 12) a pour objectif :

3. de minimiser le relargage ou la rétention des micropolluants par ou sur les parois : une fabrication en inox a donc été choisie pour façonner ce prototype lui conférant en théorie un comportement inerte vis-à-vis des micropolluants.
4. d'offrir un volume d'eau suffisant pour permettre le prélèvement (remplissage du tube de prélèvement + échantillonnage) : le canal permet de disposer d'un volume d'environ 450 mL d'eau.
5. de renouveler l'eau stockée rapidement au fur et à mesure de l'évènement pour ne pas prélever plusieurs fois la même eau (donc être représentatif des charges polluantes au cours

du temps). La pente forte à l'entrée du canal permet une accélération du flux d'eau et un meilleur renouvellement du stock. D'après les tests au colorant alimentaire effectués en laboratoire, pour renouveler entièrement le stock d'eau, il faut un écoulement de 2 fois ce stock.

6. d'éviter la décantation de particules et faciliter l'auto-curage lors des passages de forts débits : les pentes faibles, l'absence de changements de pentes abruptes et la taille réduite du prototype en partie courante du canal minimisant le temps de séjour tendent à ne pas induire de zone de dépôt. Lors des campagnes de prélèvement, il a été vérifié que le canal n'induisait effectivement pas de dépôts.
7. de permettre un échantillonnage représentatif de bonne qualité de l'instant du prélèvement : la prise d'eau se faisant par le fond du canal, l'intégralité des particules en suspension dans le volume d'eau est captée lors du prélèvement.

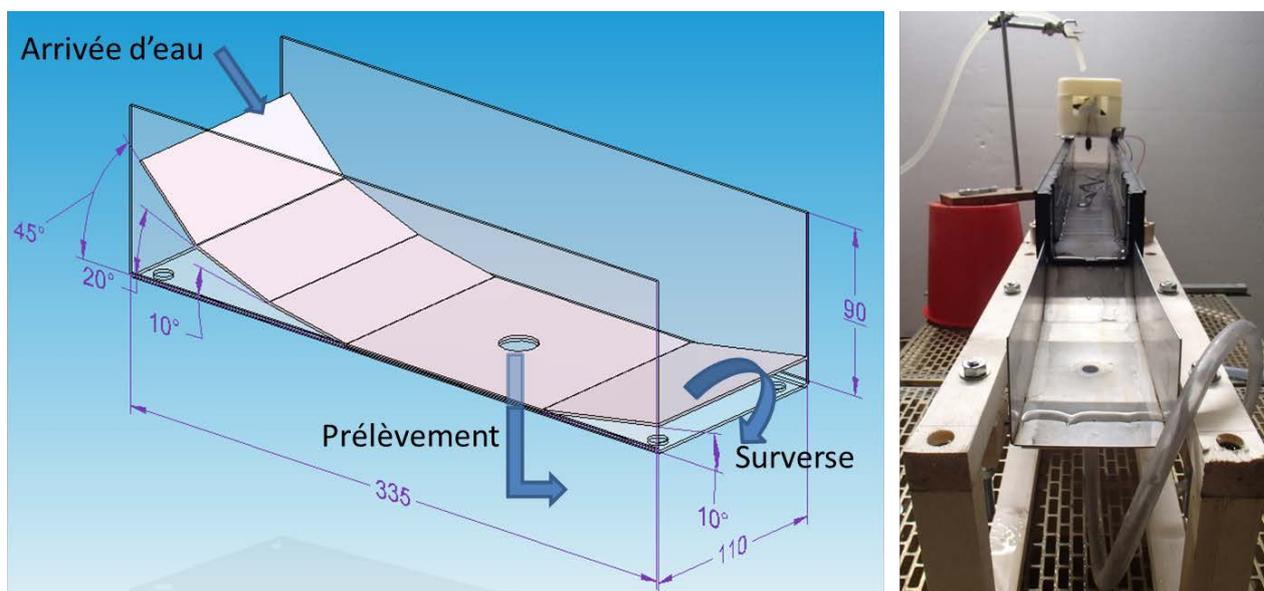


Figure 12. Schéma du canal de prélèvement en sortie des dispositifs décentralisés

### C.1.5. Mesure de conductivité

La mesure de conductivité se fait systématiquement dans la zone d'arrivée d'eau avant la mesure de débit. Cette zone est à tout moment en eau du fait de la présence du débitmètre EM qui nécessite la mise en charge de la conduite dans laquelle il effectue la mesure. De ce fait, le capteur fournit une mesure continue de la conductivité de l'eau la moins perturbée par l'installation de mesure.

Le choix du capteur s'est fait selon trois critères et dans cet ordre : la taille, la facilité de mise en place et de nettoyage, et enfin la récupération de la donnée.

La taille du capteur a été le critère déterminant dans le choix du matériel. En effet, du fait des contraintes de « tuyauteries » dues soit aux éléments acheminant l'eau, soit aux débitmètres EM, la possibilité de greffe du capteur sur le dispositif de mesure n'était pas toujours garantie. La plupart d'entre eux nécessitent en effet une zone d'immersion d'au moins 5cm x 5cm, avec des contraintes de distances par rapport aux bords de conduites. Or, dans les agencements actuels, ces impératifs ne pouvaient pas être respectés. De plus, la place dans la plupart des chambres de mesures étant limitée, il était nécessaire de trouver un capteur qui prenne le moins de place possible.

Pour nettoyer et vérifier le capteur de façon régulière (réduction des biais dans les prélèvements, précision des mesures), il était aussi nécessaire que son installation et sa remise en place soit facile et fiable.

Enfin, du fait du choix des centrales de mesures, le capteur devait pouvoir fournir un signal compréhensible par le système d'acquisition.

Il a donc été choisi de mesurer la conductivité grâce à la sonde Smartpat de la marque Krohne (voir Figure 13). En plus de son absence systématique de transmetteur (gain de place et de consommation électrique), la partie immergeable est principalement recouverte d'inox, ce qui minimise les biais pour la qualité d'eau par rapport à d'autres sondes plus classiques.

En soi, la valeur de la conductivité ne donne dans notre cas de figure que des indications très pauvres sur la qualité de l'eau. Cette mesure est faite principalement pour vérifier si un évènement pluvieux a quelque chose d'exceptionnel dans sa composition par rapport à d'autres évènements plus habituels. Cette mise en exergue d'une exceptionnalité pourra ainsi nous confirmer la conformité de l'évènement et la pertinence de l'intégration des analyses qualitatives dans nos comparaisons et analyses de performances.



Figure 13. Photo de l'emplacement de la sonde et de la sonde elle-même de conductivité (Smartpat de la marque Krohne)

### C.1.6. Mesure de la température

Là aussi, la température a une finalité de vérification de conformité des données (notamment correction pour la conductivité) et de qualification des rejets.

Pour cela, nous avons choisi d'installer une petite sonde en inox de la gamme PT100 (Figure 14), toujours dans une optique de gain de place et de facilité de manutention. De plus, ces sondes sont peu onéreuses, fiables et très bien connues par l'équipe du laboratoire.



Figure 14. Sonde de température choisie

### C.1.7. Pluviométrie

Afin d'interpréter au mieux les résultats des analyses, il faut pouvoir observer et étudier de façon fiable les événements pluvieux. Si le choix des événements et le lancement des protocoles de campagne de prélèvement se font sur la base des prévisions météorologiques, l'analyse pluviométrique réelle des événements s'est fait principalement selon une double mesure :

- un pluviomètre à pesée intégré dans une station météorologique placés sur le toit du bâtiment du laboratoire (distance maximale aux sites décentralisés : ~ 300 m) travaillant avec un pas d'acquisition de 2 min. Ce dispositif a été démonté en cours de programme car le toit du bâtiment a fait l'objet d'une réfection complète dans le cadre du plan Campus ;
- un pluviomètre à pesée géré par la métropole et situé à proximité du site (Cf. Figure 1) travaillant avec un pas d'acquisition de 6 min.

## C2. Principe de mesure des flux d'eau et de micropolluants sur le site centralisé Django Reinhardt

### C.2.1. Mesure des flux d'eau

L'instrumentation de ce site est présentée de manière très sommaire dans le texte. C'est en effet un site de l'OTHU ancien, rénové en 2017. On trouvera à l'annexe A une description plus précise. Walcker *et al.* (2018) présentent en détails les principes de cette rénovation. Le dispositif est néanmoins basé sur les mêmes principes que ceux qui ont été utilisés dans la thèse de Christel Sébastien (2012) dont les résultats ont servi à compléter la base de données de concentrations en micropolluants.

Les équipements et dispositifs suivants sont disponibles sur le site (Figure 15).

- **Mesures climatiques** : une station météo (vitesse et orientation du vent, température, humidité, pyranomètre avec un pas de temps de 2 min) et un pluviomètre à pesée (pas de temps de 1 minute) sont installés sur le site pour la mesure locale de l'intensité de pluie en complément du réseau de la métropole de Lyon.
- **Caractérisation des flux d'eau, de polluants et de contaminants en entrée et en sortie du bassin de retenue** (2 bungalows) (entrée et sortie du bassin de retenue objet d'expérimentation sur MicroMegs):

Au niveau du collecteur principal d'arrivée dans le bassin de rétention (entrée au bassin de retenue) : des mesures en continu 24h/24h sont effectuées au pas de temps de 2 min pour les débits (2 mesures de hauteur – 2 mesures de vitesse). Le collecteur secondaire d'amenée des eaux est fermé pour les besoins d'observation et toute l'eau du bassin versant transite par le collecteur principal.

Au niveau de la sortie du bassin de retenue : le dispositif est identique au précédent. Les mesures sont réalisées sur les eaux transitant dans la canalisation de sortie (circulaire  $\Phi 600$ ) placée en aval de la régulation (hydroslide à 350 L/s). Les mesures de débits effectuées depuis de nombreuses années laissent penser que la régulation se fait plutôt autour de 500 L/s.

Ainsi, les volumes d'eau en entrée et en sortie du bassin de retenue lors d'un événement sont donnés par :

$$V_e^{BR} = \sum_{i=1}^{ne} Q_{ei} \cdot \Delta t$$

$$V_s^{BR} = \sum_{i=1}^{ns} Q_{si} \cdot \Delta t$$

$V_e^{BR}$ ,  $V_s^{BR}$  : volume d'eau en entrée du bassin de retenue calculé (exutoire du bassin versant) et volume d'eau en sortie du bassin de retenue

$Q_{ei}$ ,  $Q_{si}$  : débit à l'entrée et à la sortie du bassin de retenue au pas de temps  $i \cdot \Delta t$

$ne$ ,  $ns$  : nombre de pas de temps de l'hydrogramme d'entrée et de sortie du bassin de retenue

On peut en outre caractériser les apports à l'ouvrage. Le coefficient de ruissellement du bassin versant d'apport est calculé selon l'expression suivante :

$$C_r = \frac{V_r}{V_p} = \frac{V_r}{S \cdot HT}$$

$C_r$  : coefficient volumétrique de ruissellement du bassin versant d'apport à l'ouvrage à l'échelle de l'évènement

$V_r$  : volume ruisselé à l'exutoire du bassin versant pour un évènement

$V_p$  : volume de pluie brute pour un évènement collecté sur la surface totale du bassin versant d'apport

$HT$  : hauteur totale précipitée pour un évènement

$S$  : surface totale du bassin versant alimentant l'ouvrage de retenue



**Zoom sur l'équipement**

Capteurs en continu & canal de mesure

Pompage

Prélèvements



Figure 15. Bungalow situé à l'entrée et sortie du bassin de retenue

### C.2.2. Mesure des concentrations en polluants

Au niveau des collecteurs d'arrivée et de sortie du bassin de rétention, des mesures en continu de la qualité des effluents (turbidité doublée, pH, conductivité et température) sont effectuées au pas de temps de 2 min.

Des analyses ponctuelles sur des échantillons sont réalisés à partir de deux préleveurs réfrigérés (4°C) : un dont le dispositif de pompage est téflonné et qui est muni de flacons en verre (pour la plupart des substances organiques) et un muni de flacons en plastique pour les métaux et autres substances inorganiques (glyphosate, glufosinate, AMPA) dont les raisons ont été explicitées au Livrable 2A.

Les échantillonnages sont réalisés proportionnellement aux débits.

Les analyses sont faites selon les mêmes protocoles que ceux menés sur les sites décentralisés.

# RESULTATS

## D. Résultats en termes de performance hydraulique des systèmes

---

### D1. Principes d'exploitation et indicateurs

#### D1.1. Nature des données utilisées

Chaque évènement pluvieux (EP), défini entre le début d'une pluie et la fin de la réponse du système, est caractérisé par :

1. un hyétogramme de pluie ainsi que le volume entrant dans le système et/ou dans l'ouvrage. Pour les sites décentralisés, nous utilisons la pluviométrie du Grand Lyon (données GL – station transborder) au pas de temps de 6 min ou celle donnée par la station du campus lorsqu'elle a été en service. Par souci d'homogénéité, nous utilisons prioritairement les données du GL sur laquelle nous nous sommes basés depuis le début du projet. Cependant, une analyse critique comparative est réalisée pour chaque pluie : si l'écart entre les durées ou les intensités entre les deux jeux de données est supérieur à 10 %, alors (i) nous vérifions les données en les comparant avec le débit de sortie de l'asphalte et (ii) nous utilisons les données les plus cohérentes.  
Même chose sur le site centralisé, nous utilisons la pluviométrie du Grand Lyon (données GL – station Bron) au pas de temps de 6 min ou celle donnée par le pluviomètre OTHU sur site au pas de temps de la minute.
2. un hydrogramme de sortie ainsi que le volume sortant du système, à partir des données de débitmétrie.

A partir de ces données, des indicateurs évènementiels ont été définis, permettant de qualifier le comportement et de caractériser les performances hydrauliques des systèmes à la source.

#### D1.2. Quelques définitions

##### La pluie

Une pluie est délimitée par une date de début et une date de fin. Pour les délimiter et les considérer, les critères suivants ont été utilisés :

- il doit y avoir 10 h de temps sec minimum entre 2 pluies consécutives (10 h correspondant au temps de réponse maximal des systèmes (parkings + ouvrages)).
- la pluie doit avoir une durée supérieure ou égale à 12 minutes (c'est à dire à 2 pas de temps de 6 min).

##### Un évènement pluvieux

Pour délimiter un évènement pluvieux (EP), le hyétogramme et l'hydrogramme de sortie sont tracés (sous Diadem), la cohérence et la pertinence des données sont analysées. Les critères suivants sont appliqués :

- Pour être considérés comme distincts, deux hyétogrammes de pluies consécutifs doivent être séparés d'une durée minimum de 10 heures de temps sec (= temps de réponse du bassin + ouvrage, permettant aux débits de sortie de devenir négligeables).
- La durée entre le début de la pluie et le début de l'hydrogramme de sortie doit être inférieure à 15 heures (durée maximisée pour être sûr d'avoir la réponse à la pluie considérée).

Une validation et un réajustement manuels sont finalement réalisés :

- Les pluies pour lesquelles aucun débit de sortie n'est observé ou mesuré (problèmes techniques, d'alimentation, ...) sur aucun des ouvrages ont été conservées dans les statistiques de pluie et les séries continues capitalisées. Leur succession dans le temps (e.g. durée de temps sec les séparant, quantités tombées avant l'EP considéré) donne une information permettant de comprendre le fonctionnement des systèmes.

- Les dates de début et de fin d'EP sont systématiquement vérifiées et corrigées si besoin.

Les mêmes protocoles sont appliqués à tous les sites.

### D1.3. Indicateurs hydrauliques

Cinq indicateurs d'hydrologie quantitative ont été évalués (Tableau 5). Il s'agit de :

-  $C1$ ,  $C2$  (%) : respectivement le rendement du système (parking + ouvrage), le rendement de l'ouvrage. Le coefficient de ruissellement  $Cr$  du parking est également calculé pour caractériser la zone de parking qui est un peu particulière dans les cas des parkings alimentant la noue et la tranchée (partie en stabilisé qui infiltre très bien et partie en BB classique). Il n'est cependant pas considéré comme un indicateur de performance.

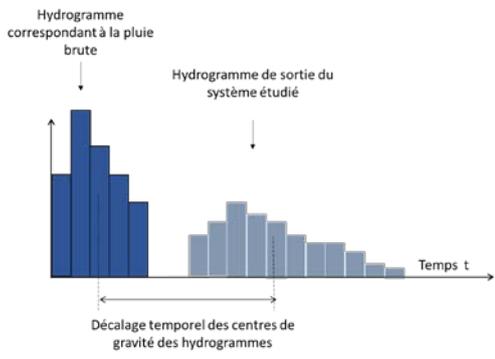
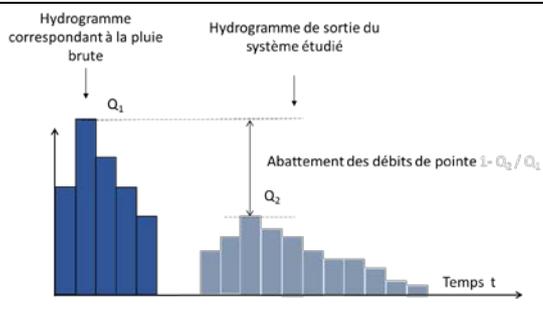
- Pourcentage des pluies de moins de 15 mm qui sont interceptées complètement ( $HT < 15\text{mm}$  en %) pour les pluies de hauteur totale précipitée inférieures à 15 mm : rapport entre la hauteur d'eau interceptée ( $H1$ ) et la hauteur précipitée pour l'ensemble des pluies de moins de 15 mm. La métropole prévoit en effet de réglementer l'urbanisation en imposant une condition de pertes initiales de 15 mm. Cela permet d'examiner si ces conditions seraient faciles à obtenir avec nos systèmes.

- Lag-time du système (min) que nous définissons comme la différence temporelle entre le centre de gravité de l'hydrogramme issu de la pluie brute et le centre de gravité de l'hydrogramme de sortie du système (parking + ouvrage). Notons que pour certains événements caractérisés par de faibles hauteurs de pluie, aucun écoulement n'est produit en sortie. C'est particulièrement le cas pour les systèmes munis de la noue et de la tranchée. Dans ce cas-là, le lag-time n'est pas calculé car infini.

- Abattement du débit de pointe (%) : rapport entre la différence de débits de pointe entre l'hydrogramme de pluie brute et l'hydrogramme de sortie sur le débit maximum de l'hydrogramme de pluie brute. Cet abattement a été calculé sur des hydrogrammes au pas de temps de 6 min.

Si les définitions sont triviales pour le système centralisé, il nécessite d'être précisé pour les systèmes à la source. On trouvera les définitions pour ces systèmes au Tableau 5.

Tableau 5. Indicateurs hydrauliques, définitions et formulations pour les dispositifs à la source

Indicateur	Définition
<b>C1 : Rendement du système (parking + ouvrage) par rapport à la pluie (%)</b>	<p><math>C1 = 1 - [\text{Volume sortant de l'ouvrage} / \text{volume de pluie tombé sur le BV (parking + ouvrage)}]</math></p> $C1 = 1 - \frac{Vs}{(S1 + S2).HT}$
<b>C2 : Rendement de l'ouvrage (%)</b>	<p><math>C2 = 1 - [\text{Volume sortant de l'ouvrage} / \text{volume de pluie tombée sur l'ouvrage et volume ruisselé}]</math> ou encore <math>1 - [\text{Volume sortant} / \text{volume entrant dans l'ouvrage}]</math></p> $C2 = 1 - \frac{Vs}{\left(Vr \cdot \frac{S2}{S2a} + S1.HT\right)} = 1 - \frac{Vs}{Ve}$
<b>HT &lt;15 mm (%)</b>	<p>Parmi les pluies de HT inférieure à 15 mm, ratio (en %) de la hauteur d'eau interceptée complètement par le dispositif (H1) sur la hauteur précipitée pour l'ensemble des pluies de moins de 15 mm (HHT&lt;15mm)</p> $\frac{H1}{HHT < 15mm}$
<b>K : Lag-time (hh : mm)</b>	
<b>%ΔQmax : Abattement des débits de pointe (%) (pas de temps 6 min)</b>	 $\% \Delta Q_{max} = Q_2 / Q_1$

$V_s$  (m<sup>3</sup>) est le volume sortant des systèmes (parking + ouvrage) calculé à partir des données de débitmétrerie à l'exutoire des ouvrages ;  $H_s$  est la hauteur d'eau équivalente à ce volume ;  
 $HT$  (mm) est la hauteur de pluie précipitée ;  
 $H_s$  (mm) est la hauteur équivalente en sortie de dispositif ;  
 $V_r$  (m<sup>3</sup>) est le volume ruisselé (à partir des mesures sur le site noue d'apport) ;  
 $S1$ ,  $S2$  et  $S2a$  sont respectivement les surfaces de l'ouvrage, de la zone de ruissellement du système étudié (issu du parking) et de la zone de ruissellement (issu du parking du site noue d'apport). A noter que dans le cas de la CSR,  $S1$  et  $S2$  sont confondues.

<sup>2</sup> A cause du peu d'EP analysables pour la noue d'apport (16 seulement), nous avons utilisé le coefficient de ruissellement calculé à partir des 16 données en tenant compte de pertes initiales (soit  $Cr = 0,57 \% \pm 1,48 \%$ ) afin de modéliser les volumes ruisselés pour les autres EP. Ce coefficient de ruissellement très faible s'explique par la perméabilité très importante du stabilisé des places de stationnement, aux abords des ouvrages.

## D2. Cas des systèmes à la source

### D2.1. Caractéristiques des pluies

Sur la période d'avril 2016 à novembre 2018, 141 pluies ont été exploitées. La Figure 16 présente la distribution cumulée des 141 pluies traitées : les hauteurs précipitées vont de 0,6 mm à 52,6 mm. La distribution statistique des hauteurs de pluie sur cette période est représentative de la distribution statistique des hauteurs de pluie sur la période de novembre 2013 à janvier 2019 (test de Wilcoxon – seuil de 5 %). On remarque que les pluies de plus de 15 mm représentent 12 % des pluies observées depuis avril 2016, et 15 % depuis novembre 2013. L'ensemble des résultats est à considérer dans ce contexte de distributions des pluies.

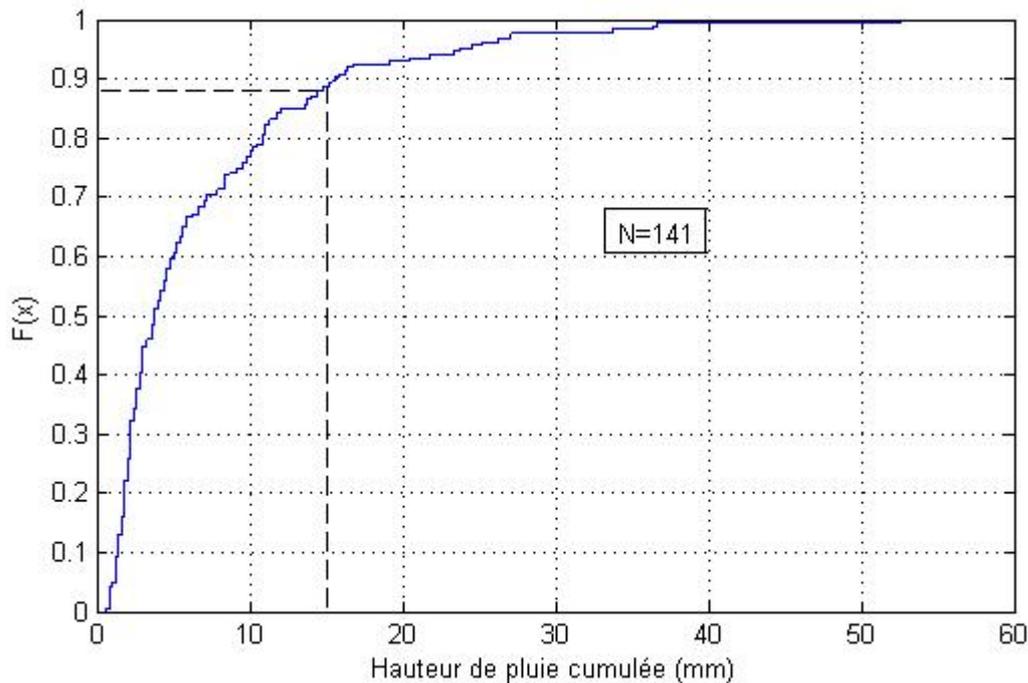


Figure 16. Distribution cumulée des hauteurs de pluie (mm) enregistrées depuis avril 2016 sur l'EcoCampus.

### D2.2. Caractéristiques des événements pluvieux (EP)

Entre avril 2016 et novembre 2018, sur les 141 pluies enregistrées, une centaine EP a été définie selon les considérations précédentes. Notons que tous les sites n'ont pas fonctionné dès avril 2016 ce qui explique le plus faible nombre d'EP sur certains sites :

- pour le système muni de la noue, 106 EP analysables dont 68 correspondent à des volumes de sortie nuls ;
- pour la tranchée, 106 EP analysables dont 55 correspondent à des volumes de sortie nuls ;
- pour le parking muni de la CSR, 49 EP analysables ;
- pour le parking ASP, 38 EP analysables ;
- la noue d'apport, suite à des soucis d'instrumentation puis de colmatage des caniveaux, n'a que très peu fonctionné normalement : 16 EP analysables.

### D2.3. Résultats

L'ensemble des résultats événementiels est donné au Tableau 6. Les performances des systèmes à source sont comparées entre elles et avec la zone de référence qu'est la chaussée traditionnelle imperméable classique (Asphalte).

Tableau 6. Indicateurs hydrologiques et hydrauliques : médianes, moyennes et écart-types (n=nombre EP).

	Noüe			n	Tranchée			n	CSR			n	ASP			n
	106				106				49				38			
	64%				52%				2%				0%			
	med.	moy.	$\sigma$	med.	moy.	$\sigma$	med.	moy.	$\sigma$	med.	moy.	$\sigma$				
EP analysables	100.0%	98.9%	3.3%	106	100.0%	97.2%	4.9%	108	54.5%	53.0%	30.1%	49	33.5%	39.5%	24.9%	39
% d'EP sans volume de sortie	100.0%	93.6%	16.4%	40	100.0%	81.9%	34.3%	40	-	-	-	-	-	-	-	-
C1 (%)	100.0%	90.8%	28.2%	105	100.0%	76.0%	43.7%	106	-	-	-	-	-	-	-	-
C2 (%)	100%	99%	2%	96	100%	98%	4%	96	56%	57%	30%	41	37%	41%	23%	31
C2 modélisé (%)	2:08	3:36	4:23	38	0:51	1:31	2:38	49	5:10	7:10	6:30	47	0:21	0:46	1:09	31
Abattement volumétrique(HT < 15 mm (%))	100%	99%	2%	106	100%	95%	9%	106	89%	81%	27%	48	31%	29%	40%	38
Lag-time (heure)																
Abattement débits de pointe (%)																

\* Les lag-times ne sont calculés que pour les EP pour lesquels il y a des flux d'eau sortants

En ce qui concerne les rendements hydrologiques des systèmes à la source, la Figure 17 montre que la noue et la tranchée ont des rendements C1 très élevés liés à de très faibles volumes de sortie. La noue et la tranchée abattent donc respectivement 99 % ( $\pm 3$  %) et 97 % ( $\pm 5$  %) de l'eau reçue par le système (parking + ouvrage). A noter que 64 % et 52 % des évènements pluvieux n'ont pas donné lieu à un écoulement à l'exutoire de la noue et la tranchée.

La Figure 18 présente les distributions des volumes d'eau observés à l'exutoire de chacun des sites rapportés à la surface active des bassins versants (parking +ouvrage) et montre que les sites munis de la noue et de la tranchée restituent moins d'eau que la CSR et a fortiori que la partie asphaltée. La CSR montre donc une performance moindre : elle n'abat, que 53 % ( $\pm 30$  %) contre 40 % ( $\pm 25$  %) pour l'asphalte. La forte variabilité entachant ces résultats fait que le volume de réponse au m<sup>2</sup> fourni par la chaussée réservoir est statistiquement similaire à celui observé à l'exutoire de la partie asphaltée (validation par test de Kolmogorov-Smirnov au seuil de 5 %). Cette forte variabilité s'explique par le fait que la performance en termes d'abattement de volumes est très sensible aux hauteurs de pluies précipitées : pour la plupart des pluies faibles (inférieurs à 5 mm), l'asphalte et la CSR abattent plus de 90 % des volumes entrants.

A noter que 99 %, 98 % et 57 % des pluies de moins de 15 mm sont interceptées complètement respectivement par la noue, la tranchée et la CSR contre 41 % pour l'asphalte, démontrant la très bonne performance de la noue et de la tranchée pour ce type de pluies, et la pertinence de leur implémentation dans le tissu urbain aux yeux d'une éventuelle réglementation de la métropole imposant une condition de pertes initiales de 15 mm.

L'indicateur C2 n'est décliné que pour la noue et la tranchée, sites pour lesquels on peut distinguer l'ouvrage de la surface d'apport (parkings). L'indicateur C2, donnant le rendement de l'ouvrage, montre une meilleure performance pour la noue que pour la tranchée (94 % contre 82 %, valeurs entachées d'une forte variabilité) liée au fait que la terre végétalisée retient plus l'eau que les graves.

Notons que le coefficient de ruissellement étant très faible (0.57 %), une quantité réduite d'eau tombée sur la surface d'apport (hors ouvrage) arrive dans l'ouvrage lui-même. L'eau « entrant » vient donc principalement de la hauteur d'eau précipitée sur l'ouvrage.

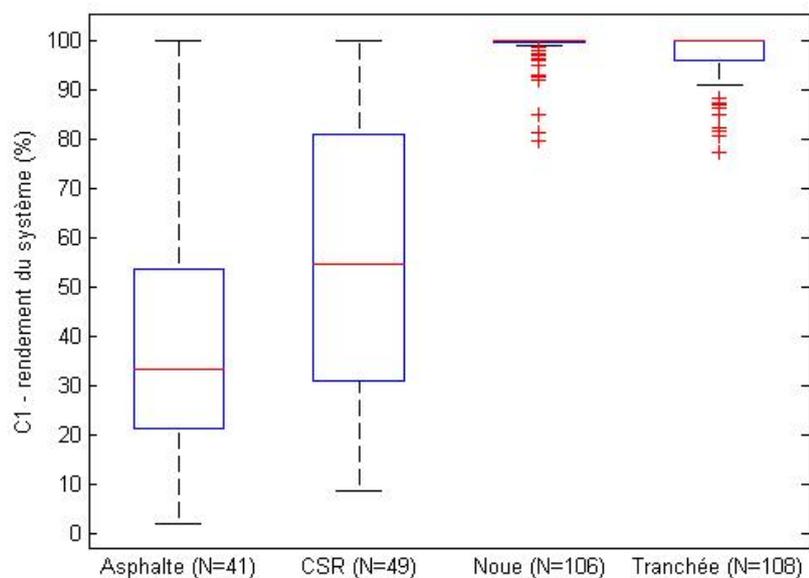


Figure 17. Rendement C1 du système (parking + ouvrage) par rapport à la pluie

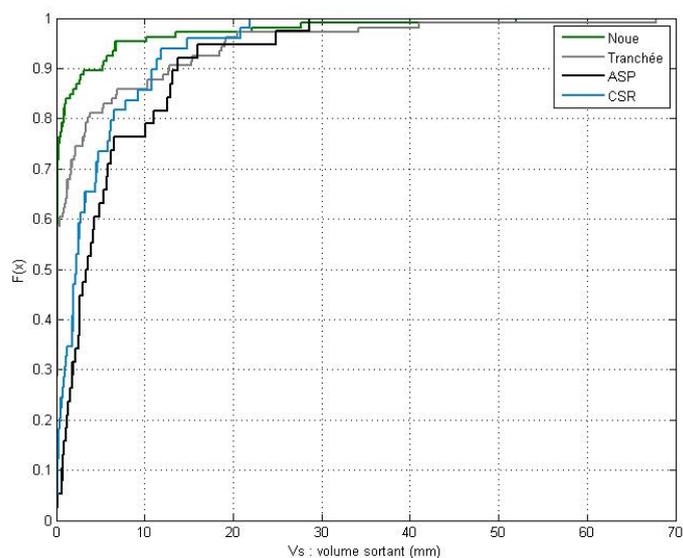


Figure 18. Fréquence cumulée des volumes de sortie ( $V_s$ ) en mm ramené au  $m^2$  des surfaces actives des bassins versants drainés par la noue, la tranchée, la chaussée réservoir (CSR) et la chaussée imperméable (ASP) sur la période avril 2016 – novembre 2018

Ces systèmes de gestion à la source de type noue et tranchée sont également efficaces pour écrêter les débits de pointe : en effet, en moyenne 99 % ( $\pm 2$  %) et 95 % ( $\pm 9$  %) des débits de pointe (pas de temps : 6 min) sont abattus respectivement pour la noue et la tranchée. Ces systèmes retardent aussi les écoulements : en moyenne, on observe environ 3h36 de lag-time pour le système noue et 1h30 pour le site avec la tranchée lorsqu'il y a une réponse des systèmes. Ces durées sont donc très largement sous-estimées étant donné que pour les 64 et 52 % des EP (respectivement pour la noue et la tranchée) pour lesquels les volumes sortant sont nuls, les lag-times sont infinis.

Si la CSR abat moins les volumes que la noue et la tranchée, elle permet bien en revanche de retarder et d'écrêter les débits de pointe. Le lag-time est en effet de 7h10 en moyenne contre 46 min pour la partie asphaltée ; 81 % des débits de pointe sont abattus contre 29 % pour la partie imperméable.

Nous avons pu observer ici que, conformément aux résultats d'autres études déjà menées (e.g. Balades *et al.*, 1998 ; Abott *et al.*, 2003 ; Clary *et al.*, 2010), les systèmes de gestion des rejets urbains de temps de pluie à la source régulent grandement les flux d'eaux, que ce soit par rétention, infiltration ou même par absorption (rappelons ici que nos dispositifs sont étanchés) et écrêtent les débits de pointe. Leur action sur l'évacuation d'eau dans les milieux récepteurs démontre leur fort potentiel à limiter les flux polluants transportés par ces eaux.

### D3. Cas du système centralisé

#### D3.1. Caractéristiques des pluies

Sur la période d'avril 2016 à décembre 2018, 127 pluies ont été exploitées. La Figure 19 présente la distribution cumulée des 127 pluies traitées : les hauteurs précipitées vont de 0,6 mm à 60,6 mm. On remarque que les pluies de plus de 15 mm représentent 25 % des pluies observées depuis avril 2016, et 15 % depuis novembre 2013. La distribution statistique des hauteurs de pluie sur la période d'avril 2016 à décembre 2018 n'est pas représentative statistiquement de la distribution statistique des hauteurs de pluie sur la période de novembre 2013 à janvier 2019 (Test de Wilcoxon rejeté – seuil de 5 %). L'ensemble des résultats est à considérer dans ce contexte de distribution des pluies.

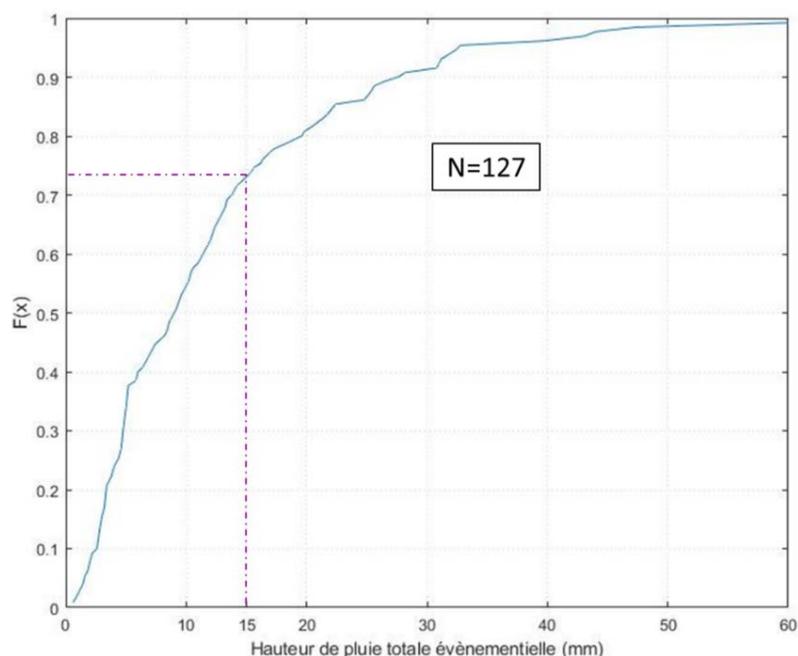


Figure 19. Distribution cumulée des hauteurs de pluie (mm) enregistrées depuis avril 2016 sur le bassin de rétention.

## D3.2. Résultats

Le Tableau ci-dessous nous donne les valeurs des indicateurs dans le cas du bassin de retenue.

**Tableau 7. Indicateurs hydrologiques et hydrauliques : médianes, moyennes et écart-types**  
 (DjR Entrée : Django Reinhardt Entrée du bassin (caractéristique du bassin versant),  
 DjR Sortie : Django Reinhardt Sortie du bassin de retenue)

	DjR Entrée				DjR Sortie			
	127			n	127			n
	0%				0%			
	med.	moy.	$\sigma$		med.	moy.	$\sigma$	
EP analysables	67.6%	67.3%	12%	127	66.4%	65.1%	15%	127
% d'EP sans volume de sortie	-	-	-	-	0.0%	0.0%	0.0%	127
C1 (%)	-	-	-	-	65.0%	64.0%	17.0%	93
C2 (%)	3:31	5:08	4:57	127	8:16	10:14	6:14	127
HT < 15 mm (%)	-	-	-	-	97.0%	96.0%	4.0%	127
Lag-time (heure)								
% $\Delta$ Qmax : (%)								

On constate que l'abattement volumétrique du bassin (C2) est en moyenne nul, ce qui indique que les volumes entrants sont les mêmes, aux incertitudes près, que ceux qui sont rejetés. Les pertes qui pourraient se produire par évaporation par exemple ou les apports directs sont donc négligeables.

Les 65 % de volume d'eau abattu entre les quantités de pluie reçues et les volumes collectés à l'exutoire durant une pluie sont totalement liés aux pertes au ruissellement sur le bassin versant.

On observe que pour les pluies inférieures à 15 mm l'efficacité d'abattement des volumes d'eau reste à 65 %. Le bassin de rétention n'a là encore pas d'action notable sur ces pluies. Ces résultats sont cohérents avec le coefficient de ruissellement volumétrique moyen qui est de 35 %.

Ce système centralisé démontre en revanche une très forte capacité à limiter les débits de pointe. On observe un abattement moyen supérieur à 95 %. La régulation en sortie de bassin joue donc bien son rôle.

On observe pour le bassin de retenue un lag-time moyen d'environ 10 h ce qui le place à un niveau légèrement supérieur à celui de la CSR.

Nous avons pu observer ici que, conformément aux résultats d'autres études déjà menées dans le cadre des suivis de l'OTHU, le bassin de retenue abat très peu de volume (Gonzalez-Merchan, 2012 ; Sébastien, 2013) contrairement aux parkings munis de la noue et de la tranchée. En revanche, la limitation du débit de pointe est bien présente et la régulation joue bien son rôle. Il est un peu meilleur sur ce point que la CSR, mais moins bon que le système muni de la noue ou de la tranchée.

## E. Étude des performances de traitement

### E1. Campagnes de mesure (récapitulatif)

Le Tableau 8 présente l'ensemble des prélèvements réalisés sur les différents sites. La liste des abréviations des micropolluants est donnée au début du document dans la partie Nomenclature et abréviation.

Le nombre de prélèvements effectués à l'exutoire de la noue est moindre du fait de la grande capacité de rétention de ce système comme nous l'avons vu précédemment.

Tableau 8. Récapitulatif des prélèvements réalisés

Campagnes	Date de l'évènement	Dj-R Entrée				Dj-R Sortie				ASP				CSR				Tranchée				Noue				
		21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.	
1	05/11/2017																									
2	11/11/2017																									
3	28/11/2017																									
4	16/01/2018																									
5	03/03/2018																									
6	16/03/2018																									
7	04/04/2018																									
8	14/05/2018																									
9	29/05/2018																									
10	05/06/2018																									
11	15/06/2018																									
12	08/11/2018																									
Nombre d'évènements échantillonnés		4	3	3	4	4	3	3	4	9	9	9	9	10	10	10	10	8	8	9	8	4	4	4	4	

 Evènements n'ayant pas entraîné d'écoulement à l'exutoire du site

Au total, ont été réalisées : 3 campagnes avec succès sur le bassin Django-Reinhardt et 1 partielle Métaux + Pesticides, 9 campagnes complètes sur le site de référence « asphalt », 10 campagnes complètes sur la CSR ; 4 campagnes complètes sur la Noue, 8 campagnes complètes sur la tranchée et 1 partielle Alkylphénols + PBDE. Il est cependant à noter que pour les sites de la noue (5 fois) et de la tranchée (1 fois), l'absence d'analyses est due à une absence d'eau à l'exutoire des sites.

Le Tableau 9 ci-après donne le récapitulatif des prélèvements réalisés pendant le projet INOGEV dont les données sur le site de Django-Reinhardt viendront compléter celles du projet MicroMegs compte tenu du fait qu'elles ont été acquises dans des conditions similaires.

Tableau 9. Récapitulatif des prélèvements réalisés pendant le projet INOGEV

Campagnes	Dates	Django-Reinhardt											
		MVS	COD	OrgC	ETM I	ETM II	PAH	AP	PBDE	Pest I	Pest II	Pest III	Pest IV
1	21/12/2010												
A	07/07/2011												
B	19/10/2011												
2	03/11/2011												
3	05/12/2011												
C	07/12/2011												
4	14/12/2011												
D	05/01/2012												
E	19/03/2012							*					
F	03/04/2012												
G	12/04/2012												
H	20/05/2012												
I	04/06/2012							*					
J	02/07/2012												
K	12/09/2012												
Nombre d'évènements échantillonnés		5	5	6	7	4	6	2*/5	2	3	3	6	3

■ Echantillonnage pour analyses de l'ensemble APs, APEOs et BPA

ETM I : Cd, Cu, Ni, Pb, Zn

ETM II : As, Cr, Pt, Co, Mo, Sr, V, Ba, Ti, Al, Fe, Mn, Ca, Na, K, Mg, P

Pest I: Ala, Atr, Sim, Chlor, Dhex, Op DDT, Pp DDT, End, Ahex, Enb, Ghex, DDD pp, DDE pp, Bhex, Tri

Pest II: Meh, Mec, 24D, 24M, Sme, Car, Itz, Clo, Pen, Ato, Met, Teb, Epo, Dif, Del, Fen, Trp, Fol, Irg, Ter

Pest III: Di, Ena, Ald, Iso, Chlorf, Isop, Die

Pest IV: Gly, GlA, AM

## E2. Principes d'exploitation

### E2.1. Concentrations

Les laboratoires nous fournissent des concentrations.

Quels que soient les points de prélèvement et d'échantillonnage, pour les métaux et metalloïde, une concentration dissoute  $CME_d$  et particulaire  $CME_p$  sont mesurées. La concentration totale  $CME_t$  est déduite de :

$$CME_t = CME_d + CME_p$$

Pour les autres micropolluants, sont donnés les concentrations en phase dissoute (ng/L ou µg/L) ainsi que la teneur du polluant considéré sur les particules  $\tau_p$  (µg/g). Les laboratoires de Nantes et de Villeurbanne fournissent également les concentrations de matières en suspension (MES). La concentration particulaire est donnée par :

$$CME_p = \tau_p \cdot CME_{MES}$$

$CME_t$  : concentration moyenne événementielle totale

$CME_d$  : concentration moyenne événementielle en phase dissoute

$CME_p$  : concentration moyenne événementielle en phase particulaire

$CME_{MES}$  : concentration moyenne événementielle en MES

$\tau_p$  : teneur du polluant sur les particules

Il est à noter que, pour une question d'homogénéité des données avec les programmes sœurs Matriochkas et Roulépur, lorsque les résultats bruts des laboratoires nous indiquent une présence de polluants  $< LOD$  ou  $< LOQ$ , les valeurs de concentrations attribuées à ces échantillons seront respectivement égales à cette même LOD ou à la valeur de  $LOQ/2$ , ce dans le but de pouvoir procéder à un calcul d'abattement quantifiable lorsque cela est possible.

## E2.2. Blancs de mesure et impact sur les concentrations

La première étape du pré-traitement est la comparaison des concentrations fournies par les laboratoires avec les valeurs des blancs de mesure effectués sur les dispositifs métrologiques. Ce test permet de corriger des concentrations et masses pour lesquelles on ne peut pas quantifier la différence entre la concentration obtenue au point de mesure (entrée du bassin, sortie du bassin, référence, sortie de CSR, sortie de tranchée, sortie de noue) et celle obtenue lors des blancs de mesure sur le dispositif de métrologie. En d'autres termes, il s'agit d'identifier les cas et corriger les données pour lesquelles on ne peut pas être sûr que la contamination observée provient de l'évènement pluvieux ou des matériaux du dispositif de mesure. Pour rappel, les conditions de réalisation des blancs sont données dans la partie Matériels et méthodes.

Pour cela, chaque résultat est comparé à la valeur mesurée sur les blancs de mesure. Si la différence entre les deux n'est pas quantifiable, nous avons alors estimé que la contamination mesurée à l'exutoire est due au dispositif métrologique et les valeurs de concentration en phase totale, dissoute et particulaire sont alors prises égales à zéro pour le reste de l'étude.

Ainsi, si  $|CME_{so} - C_{blancs}| < LOQ_{so}$  alors  $CME_{so} = 0$  ainsi que les concentrations en phase dissoute et particulaire, sinon  $CME_{so}$  est prise égale à la valeur donnée par le laboratoire d'analyse.

$CME_{so}$  : concentration moyenne événementielle en phase totale des effluents en sortie d'ouvrage pour un polluant donné

$C_{blancs}$  : concentration totale obtenue par les blancs correspondant au point de mesure pour un polluant donné

$LOQ_{so}$  : limite de quantification de la concentration totale en sortie d'ouvrage pour un polluant donné

On trouvera à l'annexe D l'analyse de l'impact du système de mesure sur les concentrations. Globalement les impacts (relargages possibles) sont mineurs car agissant sur des concentrations mesurées déjà faibles.

Après cette étape, les concentrations et les masses tirées de l'étude du projet INOGEV par Christel Sébastien de 2013 ont été intégrées aux valeurs de concentrations obtenues et de masses calculées sur le bassin de rétention de Django Reinhardt afin de renforcer l'étude.

## E2.3. Indicateurs de performances vis-à-vis des micropolluants

### E2.3.1. Principe

La performance d'un dispositif de gestion des eaux pluviales peut être évaluée par différents indicateurs. Nous renvoyons le lecteur au guide rédigé dans le cadre du GLIP (Groupe de Liaison inter-projets MicroMegas, Matriochkas et Roulépur, à paraître) en cours de rédaction ou encore à (GeoSyntec, 2009). Nous faisons ici la présentation des indicateurs utilisés ou qui ont utilisés avec les données de MicroMegas.

L'efficacité peut être évaluée à l'échelle événementielle ou sur de plus longues durées.

Pour les efficacités événementielles, il existe différentes façons de les quantifier.

La plupart du temps, les efficacités présentes dans la littérature sont des **efficacités en termes de concentrations** permettant la comparaison des concentrations entrée / sortie ou site de référence / sortie des dispositifs. Cette définition permet de saisir une tendance en termes d'abattement ou un relargage de façon synthétique avec peu de données (les concentrations uniquement). Elle donne une idée de l'intensité des processus de dépollution et de mobilisation des polluants au sein de la structure. Elle présente deux biais importants :

(i) Un abattement ou un relargage important (à 75 % par exemple) peut ne pas être significatif car s'appliquant sur de faibles concentrations (rien ou presque en entrée et 4 fois rien en sortie). Peut-on alors vraiment conclure sur une bonne performance ?

(ii) Le deuxième biais est que les concentrations peuvent être observées sur de faibles quantités d'eau en entrée ou en sortie. Une très forte concentration sur très peu d'eau en sortie peut ne pas être inquiétante.

Pour ce dernier cas, il est plus intéressant de raisonner en masse ou charge de polluants. **L'efficacité en termes de masse** (concentration X volume) est alors plus adaptée. Elle demande cependant la mesure des concentrations et des volumes en entrée et en sortie ou sur la référence et en sortie conjointement, ce qui est plus exigeant. Cependant, le biais concernant la comparaison sur de faibles masses en entrée et sortie reste entier.

C'est la raison pour laquelle il est nécessaire d'assortir à ces efficacités les **valeurs de concentrations et de masses**. Pour les masses, lorsque l'on compare différents dispositifs qui ne sont pas de même taille, il est nécessaire de les normer avant comparaison (les masses de polluants rejetés par le bassin de retenue de Chassieu par exemple qui draine une surface de 185 ha active à 35 % est sans commune mesure avec les masses rejetées par une chaussée réservoir recueillant les eaux de 94 m<sup>2</sup>). Nous choisirons de normer ces masses par la surface active. La **surface active** est la surface contribuant effectivement au ruissellement pour une pluie donnée. Sa moyenne est calée à partir des données volumétriques de pluies et de débits sortant des bassins versants de chaque système.

Efficacité sur de plus longues durées

Enfin, l'efficacité peut se mesurer par l'ensemble des indicateurs proposés mais à une échelle de temps plus longue (une année par exemple ou mieux une décennie, ...). L'échelle est plus réaliste et plus intéressante, mais la difficulté d'évaluation plus ardue. Les mesures de concentrations ou de masses de polluants sont ponctuelles notamment pour la prise en compte des micropolluants qu'on ne sait pas mesurer en continu. Il faut alors adopter une approche par modélisation. La plus utilisée est celle qui couple un modèle pluie/débit et un modèle statistique pour la qualité. Des lois de concentrations

peuvent être déduites des mesures ponctuelles si elles sont suffisamment nombreuses. Une simulation de type Monte Carlo est alors utilisée. Cette méthode a été utilisée par Dechesne (2002) sur des bassins d'infiltration, Flanagan (2018) sur les données de Roulépur et plus récemment par Cachard (2019) sur les données de MicroMegs. Cette dernière ne sera pas présentée dans ce document.

### E2.3.2. Efficacités évènementielles

L'efficacité en termes de concentration que ce soit en dissous, total ou particulaire pour un polluant donné est exprimée par :

$$E_c = (CME_{ref} - CME_{so}) / CME_{ref}$$

$CME_{ref}$  : concentration moyenne évènementielle en phase totale, dissoute ou particulaire (i) des effluents issus du parking traditionnel qui sert de référence pour les systèmes à la source ou (ii) concentration moyenne évènementielle des effluents d'entrée pour le bassin Django Reinhardt.

$CME_{so}$  : concentration moyenne évènementielle en phase totale, dissoute ou particulaire des effluents en sortie d'ouvrage quel qu'il soit centralisé ou décentralisé

Notons que lorsque la différence des concentrations  $CME_{ref}$  et  $CME_{so}$  a été inférieure à la limite de quantification l'efficacité a été considérée comme nulle.

L'efficacité en termes de masse que ce soit en phase dissoute, totale ou particulaire pour un polluant donné est exprimée par :

$$E_m = (M_{ref} - M_{so}) / M_{ref} = (CME_{ref} \cdot V_{ref} - CME_{so} \cdot V_{so}) / CME_{ref} \cdot V_{ref}$$

$M_{ref}$  : masse évènementielle en phase totale, dissoute ou particulaire de MP (i) de la référence corrigée pour les systèmes à la source (nécessité de correction relative aux surfaces contributives) ou (ii) d'entrée pour le bassin de retenue

$M_{so}$  : masse évènementielle en phase totale, dissoute ou particulaire de MP en sortie d'ouvrage quel qu'il soit centralisé ou décentralisé

$V_{ref}$  : volume d'eau évènementiel de la référence corrigée pour les systèmes à la source (nécessité de correction relative aux surfaces contributives) ou (ii) d'entrée pour le bassin de retenue

$V_{so}$  : volume d'eau évènementiel en sortie d'ouvrage

## E.3. Résultats

### E3.1. Occurrences de détection et de quantification – identification des polluants peu détectés

Le Tableau 10 synthétise pour tous les sites la proportion de concentrations quantifiées et/ou détectées suivant le polluant. On trouvera le détail de l'analyse des occurrences à l'annexe E.

Pour tous micropolluants confondus et tous sites confondus, on observe une quantification plus élevée sur les « entrées » (75 % pour les sites de l'Asphalte et Django Reinhardt Entrée) que pour les « sorties » (56 % pour les sites CSR, Tranchée, Noue et Django Reinhardt Sortie).

Tableau 10. Proportion du nombre d'échantillons à concentrations quantifiées et/ou détectées lors des analyses

Famille	Composé	Asphalte	CSR	Tranchée	Noue	Dj-R E	Dj-R S	
ETM	As	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Cd	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Co	100%	100%	100%	100%	100%	88%	
	Cr	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Cu	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Mn	100%	90%	100%	75%	100%	100%	
	Mo	0%	0%	100%	100%	88%	100%	
	Ni	100%	60%	100%	100%	100%	100%	
	Pb	100%	0%	100%	75%	100%	100%	
	Sr	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Ti	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	V	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Zn	100%	30%	100%	100%	100%	100%	
	Ba	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
HAP	Nap	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Acy	25%	0%	0%	0%	56%	33%	
	Ace	50%	56%	71%	100%	78%	78%	
	Flu	88%	44%	29%	0%	100%	89%	
	Phe	100%	56%	86%	100%	100%	100%	
	A	0%	0%	0%	0%	67%	44%	
	Flh	100%	22%	57%	50%	100%	100%	
	Pyr	100%	11%	43%	50%	100%	100%	
	BaA	50%	0%	0%	0%	100%	89%	
	Chr	75%	0%	14%	25%	100%	100%	
	BbF	63%	0%	0%	0%	89%	89%	
	BkF	0%	0%	0%	0%	67%	67%	
	BaP	25%	0%	0%	0%	78%	33%	
	IP	38%	0%	0%	0%	78%	22%	
	D(a,h)A	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
	Bper	38%	0%	0%	0%	100%	44%	
	Pesticides	24M	22%	20%	13%	75%	50%	50%
Mec		67%	30%	13%	0%	33%	33%	
Car		100%	50%	75%	50%	100%	83%	
Sim		44%	40%	13%	25%	67%	67%	
DCPMU		11%	10%	13%	0%	0%	0%	
Isop		67%	50%	25%	50%	100%	100%	
Atr		67%	40%	50%	75%	83%	83%	
Di		67%	40%	13%	0%	89%	89%	
Dif		22%	0%	0%	0%	0%	0%	
AMPA		33%	30%	63%	50%	29%	43%	
GIA		67%	40%	38%	0%	71%	57%	
Gly		56%	40%	38%	75%	71%	57%	
Bispheno		BPA	100%	88%	100%	75%	100%	100%
Alkylphénols et dérivés		NPEC1	29%	100%	100%	100%	100%	80%
	4-OP	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	OP1EO	100%	75%	100%	100%	100%	100%	
	OP2EO	86%	75%	83%	50%	100%	100%	
	4-NP	100%	75%	100%	75%	100%	100%	
	NP2EO	100%	0%	100%	50%	100%	100%	
PBDE	NP1EO	29%	38%	83%	50%	100%	100%	
	B28	71%	100%	67%	100%	80%	80%	
	B47	100%	88%	100%	25%	40%	40%	
	B100	86%	100%	100%	100%	100%	100%	
	B99	100%	25%	100%	50%	80%	100%	
	B154	100%	25%	0%	50%	60%	60%	
	B153	57%	38%	33%	25%	80%	80%	
	B183	100%	88%	100%	100%	100%	100%	
	B205	86%	75%	50%	100%	60%	60%	
B209	86%	38%	100%	100%	80%	100%		

Une quantification plus importante sur les effluents de Django Reinhardt (tous polluants confondus) suggère que les eaux des sites centralisés (entrée et sortie du bassin de rétention Django Reinhardt) sont plus souvent contaminées que celles provenant des sites décentralisés tous sites confondus (respectivement 82 % de quantification contre 54 %).

Les métaux sont les plus souvent quantifiés, sur tous les sites, en entrée (95 %) comme en sortie (88 %), suivis par les alkylphénols (89 % - 81 %), les PBDE (80 % - 67 %), les HAPs (65 % - 32 %) et enfin les pesticides (49 % - 31 %).

L'analyse des occurrences nous permet d'identifier en outre trois micropolluants dont la quantification est nulle ou très faible et qui ne seront donc pas traités par la suite. Il s'agit :

- du dibenzo(a,h)anthracène (D(a,h)A) qui est un HAP lourd et qui n'est jamais quantifié sur aucun des sites,
- de l'herbicide diflufénicanil (Dif) qui n'est quantifié que 2 fois sur le site Asphalte avec des concentrations très faibles de 1,46 ng/L et 0,06 ng/L soit de 7 et 150 fois inférieures à la NQE (10 ng/L),
- du DCPMU, produit de dégradation du diuron, qui a été quantifié 1 fois sur chacun des sites mais en concentrations ne dépassant pas 0,3 ng/L et donc négligeables au regard de la littérature notamment des concentrations trouvées dans les eaux de ruissellement variant de 1 à 83 000 ng/L (Sorin, 2015 ; S.I.B.A, 2016 ; Australian Government, 2011).

Sur l'ensemble des concentrations quantifiées, il a été observé pour certains micropolluants des niveaux de concentrations faibles (voire très faibles) par rapport à ce qui a pu être observé dans d'autres études concernant les eaux de ruissellement et/ou par rapport aux normes en vigueur (NQE). Nous identifions ici ces micropolluants particuliers afin de pouvoir alléger notre étude et se focaliser ultérieurement sur les plus importants. Cela dit, certains d'entre eux sont suspectés d'être des perturbateurs endocriniens dont les effets pourraient être délétères quelle que soit la dose<sup>3</sup> (e.g. Vandenberg et al., 2012). Il s'agit des substances suivantes :

- 2,4-MCPA : le 24M est un herbicide qui a été globalement peu quantifié à l'exutoire de l'intégralité des sites. Si on observe les valeurs de concentrations, on s'aperçoit que sur le peu d'échantillons quantifié, un seul a présenté une valeur >100 ng/L significativement inférieure à la norme (NQE = 500 ng/L).
- Mécoprop : il est classé comme substance à surveiller. Candidat pour la révision de la directive DCE2008/105/CE, cet herbicide n'a finalement pas été inscrit dans la liste des substances prioritaires ou dangereuses dans la version DCE 2013/39/CE. On constate de prime abord que, pour notre étude, lui aussi ne présente qu'une faible proportion de quantification, tous sites confondus. Les valeurs effectivement mesurées à l'exutoire des sites correspondent bien à la gamme des concentrations observées dans la littérature (Gasperi *et al.*, 2017 ; Lampréa, 2009). Nous observons des concentrations en mécoprop faibles ne dépassant pas 65 ng/L, soit 0,3 % de la valeur de la NQE qui lui est associée.
- Simazine : cet herbicide classé SP par la DCE 2013/39/CE n'est pas souvent quantifié et, malgré des valeurs mesurées majoritairement faibles, il présente une variabilité de concentration assez prononcée (€ [0 ; 135 ng/L]). Le maximum observé représente cependant moins de 15 % de la norme en vigueur (NQE = 1000 ng/L). Ces constatations rejoignent assez bien ce qui a pu être observé dans la littérature (Moy *et al.*, 2003 ; Sorin, 2015 ; Zgheib, 2009).

---

<sup>3</sup> Le *Ministère des Solidarités et de la Santé* français définit sur son site les perturbateurs endocriniens selon la même définition que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme étant : « une substance chimique d'origine naturelle ou synthétique, étrangère à l'organisme et susceptible d'interférer avec le fonctionnement du **système endocrinien**, c'est-à-dire des cellules et organes impliqués dans la production des hormones et leur action sur les cellules dites « cibles » via des récepteurs ».

- Isoproturon : cet herbicide classé SP par la DCE 2013/39/CE s'avère être assez souvent quantifié. Les concentrations mesurées ici restent dans les franges basses et médianes de ce qui a pu être observé dans la littérature (Bressy, 2010; Sorin, 2015; Zgheib, 2009) malgré une variabilité prononcée et des maxima sur le bassin de rétention. La gamme observée ([0 ; 65 ng/L] tous sites confondus) reste tout de même en deçà de la valeur de la NQE (NQE = 1 000 ng/L).
- AMPA : cette substance présente un taux de quantification assez faible sur l'ensemble des sites. Les valeurs de concentrations sont très basses (majoritairement inférieures à 0,5 ng/L) et bien inférieures à ce qui a pu être observé dans la littérature (Bressy, 2010 ; Lampréa, 2009 ; Zgheib, 2009). Malgré un pic à 75 ng/L pour un évènement, les concentrations restent loin de la NQE (moyenne annuelle des eaux douces de surface) qui est de 452 µg/L.
- Glufosinate ammonium : retiré du marché français en 2017 par l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (ANSES), cet herbicide reste dans notre étude relativement bien quantifié. On note cependant que les concentrations observées sont faibles (toujours inférieure à 5 ng/L avec une seule valeur exceptionnelle de 82 ng/L sur le bassin de rétention de Django Reinhardt) et bien loin des valeurs 100 à 200 fois plus élevées recensées dans la littérature (Gasperi *et al.*, 2017).
- Glyphosate : s'il présente un taux de quantification non négligeable, cet herbicide très controversé n'est quantifié que dans des concentrations faibles inférieures à 10 ng/L tous sites confondus (une unique valeur exceptionnelle à 100 ng/L à l'entrée du bassin de rétention Django Reinhardt). Ces résultats sont bien inférieurs aux gammes de la littérature (Bressy, 2010 ; Lampréa, 2009 ; Zgheib, 2009) qui présente des concentrations de 20 ng/L à 230 000 ng/L, ou de la norme en vigueur à 28 000 ng/L. Une seule étude de la littérature référencée dans ce manuscrit (Lampréa, 2009) montre des concentrations similaires : mais sur des eaux provenant d'un réseau séparatif eaux usées.
- Acénaphthylène : c'est une substance classée comme SPD de la DCE 2013/39/CE, l'acénaphthylène n'est que peu quantifié sur les sites de notre étude (et pas du tout sur les sites de gestion à la source). Les concentrations observées sont majoritairement très faibles mais quelques exceptions peuvent parfois monter aux alentours de 30 ng/L. Ces résultats restent toujours dans la frange très basse à basse de la littérature (Birch, 2012 ; Flanagan, 2018 ; Zgheib, 2009) qui présente des résultats dans une gamme [0 ; 300 ng/L].
- Anthracène : il n'est pas quantifié sur les sites décentralisés et quantifié la moitié du temps sur les sites centralisés, les concentrations en anthracène mesurées se situent plutôt dans la frange basse de ce qui peut être trouvé dans la littérature (Becouze-Lareure, 2010; Birch, 2012; Flanagan, 2018; Percot, 2012). Tous échantillons confondus, les quelques concentrations observées ne dépassent pas 25 ng/L, soit ¼ de la norme (NQE = 100 ng/L).

Dans la suite, nous ne considérerons que les MP qui ont été quantifiés et qui ne présentent pas des concentrations négligeables (41 MP au total).

### E3.2. Caractérisation des apports et comparaison systèmes centralisés et décentralisés

Pour évaluer les différences en termes d'apport entre sites centralisé et décentralisés, nous commençons par comparer les concentrations en MP en entrée du Bassin Django Reinhardt (référence du site centralisé) et du site Asphalte (référence des sites décentralisés). On trouvera à l'annexe F la même analyse sur la variable masses au m<sup>2</sup> actif.

Le Tableau 11 donne pour chacun des deux sites de référence et chaque MP :

- la valeur *Q10* du 10<sup>ème</sup> percentile ;
- la valeur *Med* de la médiane ;
- la valeur *Q90* du 90<sup>ème</sup> percentile ;
- la valeur *CV* du coefficient de variation (Ecart type/moyenne) ;
- la valeur de la *Pvalue* issue du test de Wilcoxon testant si les distributions sont significativement différentes ou non au seuil de 5 %. Pour rappel une *Pvalue* < 0.05 indique que les distributions sont statistiquement différentes (cases grises) ;
- si elles ne sont pas statistiquement différentes, la valeur de la médiane *Med\_réfs* de la distribution issue de la fusion des deux distributions des sites de référence DjR Entrée et Asphalte ;
- la valeur de la NQE ou de la concentration assurant le bon état écologique des milieux ;
- le rapport de la concentration médiane à la NQE (*Med / NQE*) et entre parenthèse le rapport entre la concentration *Q90* et la NQE. Si les distributions sont statistiquement différentes, les rapports sont relatifs à chaque distribution. Si elles ne le sont pas, les rapports sont issus de la fusion des deux distributions. Si ces rapports sont > 1 la case est en rouge, si seul le rapport *Q90/NQE* est > 1 la case est en orange, sinon la case est verte ;
- des éléments de comparaison avec la littérature qui permettent :
  - de visualiser par une représentation schématique si les concentrations obtenues sont dans la fourchette basse, haute, dans toute la gamme ou hors des gammes de valeurs fournies par la littérature ;
  - de donner les valeurs minimales et maximales trouvées dans la littérature sur des eaux pluviales ou autres lorsque l'information sur les eaux pluviales manque et les références associées.

Tableau 11. Données statistiques des concentrations totales pour les sites de référence DjR Entrée et Asphalte (Dans la colonne « comparaison à la littérature », la couleur verte indique que nos concentrations sont dans la fourchette basse, violine dans toute l'étendue, orange dans la zone médiane et rouge dans la fourchette haute ou au-dessus des valeurs de la littérature)

		DjR Entrée				Asphalte				Pvalue WCX	Med_réfs	NQE	Comparaison à la NQE		Comparaison à la littérature		Littérature	
		Q10	Med	Q90	CV	Q10	Med	Q90	CV				DjRE	Asp	DjR Entrée	Asphalte	[min; max]	Références
ETM	As (µg/L)	0.68	1.17	2.56	57%	0.43	1.82	10.50	123%	0.541	1.53	0.83	x2 (x10)		[1; 12]	[15; 10; 2; 1]		
	Cd (µg/L)	0.12	0.31	1.20	89%	0.04	0.18	1.68	140%	0.403	0.20	0.45	x1/2 (x4)		[0; 7]	[32; 21; 15; 12; 11; 10; 9; 8; 6; 5; 2; 1]		
	Co (µg/L)	0.91	2.49	14.09	127%	0.15	1.33	7.08	120%	0.236	2.29	-	-		[3; 23]	[21; 15; 10]		
	Cr (µg/L)	3.73	8.58	15.97	50%	2.27	10.48	46.55	109%	0.888	8.93	3.4	x2 (x15)		[1; 95]	[32; 21; 15; 14; 13; 12; 10; 9; 8; 6; 2; 1]		
	Cu (µg/L)	20.50	31.80	122.70	98%	6.13	22.99	76.65	97%	0.171	31.04	1	x30 (x120)		[8; 675]	[32; 21; 17; 16; 15; 14; 13; 12; 10; 9; 8; 6; 5; 4; 3; 2; 1]		
	Mn (µg/L)	24.70	58.15	228.53	108%	10.99	106.55	739.44	135%	0.743	59.80	-	-		[5; 610]	[22; 21; 17; 10; 7; 6; 4; 1]		
	Mo (µg/L)	0.30	1.75	25.84	161%	0.00	0.00	0.00	-	0.001	-	-	-		[2; 62]	[15; 10; 1]		
	Ni (µg/L)	3.43	8.72	15.48	54%	2.16	7.49	29.64	95%	1.000	8.11	34	x1/4 (x1)		[2; 235]	[32; 21; 15; 13; 12; 10; 9; 8; 6; 2; 1]		
	Pb (µg/L)	4.71	11.30	57.51	109%	1.38	9.40	50.76	126%	0.362	10.31	13	x1 (x5)		[0; 175]	[32; 22; 21; 17; 15; 14; 13; 12; 11; 10; 9; 8; 6; 5; 4; 3; 2; 1]		
	Sr (µg/L)	46.05	73.97	106.54	37%	24.60	44.10	148.92	79%	0.200	48.17	-	-		[38; 330]	[15; 10; 1]		
	Ti (µg/L)	18.97	60.40	202.07	88%	23.47	441.69	1532.17	112%	0.093	108.10	-	-		[28; 2010]	[15; 10]		
	V (µg/L)	2.30	4.67	8.23	47%	1.91	10.62	48.61	112%	0.370	5.55	-	-		[3; 70]	[15; 10; 2; 1]		
	Zn (µg/L)	198.41	259.25	928.81	79%	20.97	104.67	387.39	104%	0.010	-	7.8	x25 (x115) x3 (x50)		[1; 1653]	[32; 22; 21; 17; 16; 15; 14; 12; 11; 10; 9; 8; 7; 6; 5; 4; 3; 2; 1]		
Ba (µg/L)	23.72	53.28	812.87	210%	7.40	74.25	293.22	117%	1.000	56.20	-	-		[3; 430]	[17; 10; 1]			
pest.	Car (ng/L)	9.68	40.95	60.60	48%	1.04	29.42	144.14	150%	0.328	31.00	150	x1/5 (x1)		[4; 213]	[21; 15; 9]		
	Atr (ng/L)	0.15	3.30	135.11	175%	0.00	5.04	112.46	150%	0.859	4.20	2000	x1/50 (x1/15)		[1; 10]	[32; 21; 19; 1]		
	Di (ng/L)	1.13	19.00	53.19	92%	0.00	0.29	45.80	207%	0.081	6.15	1800	x1/300 (x1/30)		[3; 1750]	[32; 15; 9; 8; 3; 1]		
Bis	BPA (ng/L)	406.07	525.46	731.92	25%	126.42	157.68	353.20	49%	0.003	-	-	-		[0; 964]	[21; 15; 10]		
	NPCE1 (ng/L)	158.35	190.40	326.24	32%	0.00	0.00	57.66	171%	0.003	-	2000	x1/10(x1/6) 0(x1/30)		[0; 606]	[21; 15; 14; 10]		
	4-OP (ng/L)	21.73	38.89	90.31	57%	8.64	18.76	355.60	182%	0.281	36.40	100	x1/5 (x4)		[0; 1527]	[21; 15; 14; 10; 9; 1]		
	OP1EO (ng/L)	11.09	108.46	196.22	86%	18.39	52.71	82.41	46%	0.530	54.99	100	x1/2 (x2)		[22; 298]	[15; 10]		
	OP2EO (ng/L)	4.37	9.08	11.19	38%	4.07	7.38	10.76	38%	0.530	7.43	100	x1/10 (x1/10)		[7; 56]	[15; 10]		
	4-NP (ng/L)	258.81	584.16	1231.70	55%	140.88	329.06	434.16	44%	0.021	-	2000	x1/3 (x1/2) 1/6 (1/5)		[33; 5818]	[21; 15; 14; 10; 1]		
	NP2EO (ng/L)	45.42	120.70	155.07	42%	20.83	62.25	139.27	66%	0.202	85.78	2000	x1/20 (x1/13)		[0; 2279]	[21; 15; 10]		
	NP1EO (ng/L)	50.17	215.87	321.42	56%	0.00	0.00	75.66	178%	0.005	-	2000	x1/10(x1/6) 0(x1/25)		[1; 1526]	[21; 15; 14; 10]		
HAP	Nap (ng/L)	100.90	237.92	1219.54	110%	94.51	211.49	1693.08	149%	0.963	216.63	130000	x1/600 (x1/75)		[5; 720]	[32; 31; 10; 9; 8; 2]		
	Ace (ng/L)	3.79	16.49	33.92	62%	3.79	5.74	8.43	39%	0.016	-	-	-		[6; 107]	[32; 31; 30; 10; 9; 8; 2]		
	Flu (ng/L)	14.68	28.83	45.77	45%	9.84	18.08	37.85	50%	0.321	18.83	-	-		[10; 106]	[32; 31; 30; 10; 9; 8; 2]		
	Phe (ng/L)	65.83	92.95	170.95	41%	42.64	110.25	432.70	95%	0.963	92.95	-	-		[12; 1609]	[32; 31; 30; 10; 9; 8; 3; 2]		
	Flh (ng/L)	65.63	99.95	200.96	48%	29.50	110.88	297.50	77%	0.963	105.39	120	x1 (x2)		[15; 1601]	[32; 31; 30; 15; 10; 9; 8; 3; 2; 1]		
	Pyr (ng/L)	64.75	93.62	223.71	55%	24.86	93.13	234.18	79%	0.815	93.62	-	-		[11; 3254]	[32; 31; 30; 15; 10; 9; 8; 2]		
	BaA (ng/L)	31.69	50.01	78.79	34%	3.52	31.67	206.33	121%	0.800	50.01	-	-		[6; 611]	[32; 31; 30; 10; 9; 8; 3; 2]		
	Chr (ng/L)	25.62	46.99	96.21	56%	2.67	57.50	241.98	112%	0.939	46.99	-	-		[8; 895]	[32; 30; 10; 9; 8; 3; 2]		
	BbF (ng/L)	18.25	57.70	153.63	74%	6.90	59.89	298.56	116%	0.977	57.70	17	x4 (x17)		[6; 1627]	[32; 30; 10; 9; 8; 3; 2; 1]		
	BkF (ng/L)	6.90	18.84	51.96	79%	6.90	6.90	6.90	0%	0.014	-	17	x1 (x4) x1/2		[6; 485]	[32; 30; 10; 9; 8; 2; 1]		
	BaP (ng/L)	9.07	14.90	75.47	98%	11.69	11.69	83.61	118%	0.446	11.69	270	x1/20 (x1/3)		[3; 698]	[32; 31; 30; 10; 9; 8; 3; 2]		
	IP (ng/L)	7.56	45.88	57.86	50%	40.00	40.00	80.03	36%	0.834	40.00	-	-		[3; 764]	[32; 31; 30; 10; 9; 8]		
	Bper (ng/L)	28.03	55.00	98.22	47%	40.00	40.00	81.77	37%	0.418	45.88	8.2	x6 (x12)		[8; 1045]	[32; 31; 30; 10; 9; 8; 3; 2]		
	2HAP légers (ng/L)	237.29	397.82	1394.51	79%	184.33	410.99	2148.01	124%	0.888	397.82	-	-		-	-		
	2HAP Lourds (ng/L)	335.68	499.67	986.80	46%	214.72	501.54	1382.90	74%	1.000	499.67	-	-		-	-		
216HAP (ng/L)	583.30	1004.76	1909.19	45%	399.05	895.87	3479.01	92%	0.888	911.12	-	-		[980; 11495]	[15; 14; 10]			
PBDE	B183 (ng/L)	1.68	1.76	2.60	24%	1.93	5.51	17.30	84%	0.030	-	-	-		[0; 253]*	[23]		
	B205 (ng/L)	0.00	0.39	8.49	192%	0.33	10.71	104.30	176%	0.071	4.69	-	-		-	-		
	B209 (ng/L)	0.00	60.08	216.87	98%	2.58	50.02	568.52	168%	0.790	56.19	-	-		[1; 2413]*	[15]		
	26PBDE (ng/L)	1.85	8.93	13.81	68%	2.14	13.75	67.51	123%	0.432	9.00	140	x1/15 (x1/2)		-	-		
MES (mg/L)	16.67	48.40	203.00	88%	15.67	191.83	1301.92	125%	0.165	136.67	50	x3 (x25)		[5; 1955]	[32; 22; 15; 10; 9; 8; 7; 6; 5; 4; 3; 2; 1]			

\* Valeurs de littératures prises en tenant compte des observations faites sur des effluents de réseau unitaire ou de stations d'épuration du fait du manque de données pour les eaux pluviales

Références : [1] Becouze-Lareure, 2010 ; [2] Percot, 2012 ; [3] Bressy, 2010 ; [4] Hatt et al., 2009 ; [5] Pagotto et al., 2000 ; [6] Silva et al., 2010 ; [7] Carpen-ter et al., 2014 ; [8] Lampréa, 2009 ; [9] Zgheib, 2009 ; [10] Flanagan, 2018 ; [11] Legret and Pagotto, 1999 ; [12] Brombach et al., 2005 ; [13] Sabin et al., 2005 ; [14] Gasperi et al., 2012 ; [15] Gasperi et al., 2017 ; [16] Brattebo and Booth, 2003 ; [17] Booth and Leavitt, 1999 ; [18] Raux, 2012 ; [19] S.I.B.A, 2016 ; [20] Australian Government, 2011 ; [21] Sorin, 2015 ; [22] Bäckström et al., 2006 ; [23] Shao et al., 2018 ; [24] Mailler et al., 2015 ; [25] Jiang et al., 2018 ; [26] Li et al., 2016 ; [27] Anderson and MacRae, 2006 ; [28] Peng et al., 2009 ; [29] North, 2004 ; [30] Motelay-Massei et al., 2006 ; [31] Birch, 2012 ; [32] Moy et al., 2003

On constate que 32 substances sur 41 (78 %) montrent des distributions qui ne sont pas statistiquement différentes entre l'entrée du bassin Django Reinhardt et la référence Asphalte ( $Pvalue < 0,05$ ) et ce principalement en raison de la variabilité des concentrations sur les deux sites.

Les eaux constituant les apports aux différents dispositifs sont sans surprise chargées (i) en métaux ou métalloïde notamment en As, Cr, Cu, Pb, Zn et de manière moins marquée en Cd et (ii) en HAP notamment lourds (Fluoranthène Benzo(b)fluoranthène ou Benzo(g,h,i)pérylène) avec des concentrations proches ou dépassant les valeurs de NQE.

Elles sont relativement peu chargées en pesticides ou en alkylphénols (valeurs inférieures aux NQE) et en  $\Sigma$ PBDE.

Par rapport aux eaux de même nature, les niveaux de concentrations de l'ensemble des substances sont dans les fourchettes de valeurs présentes dans la littérature. On constate des valeurs pouvant être dans la fourchette haute sur certains échantillons et certains MP. C'est le cas du Cr sur les deux sites, de Ni, Ti, Naphtalène, Benzo(a)anthracène pour le parking asphalte et Co, Ba pour Django Reinhardt. Seul le BDE 183 est élevé et en dehors de la fourchette, mais la fourchette n'est basée que sur une seule étude.

Les substances présentant des distributions significativement différentes sont : deux métaux (Molybdène, Zinc), Bisphénol A, trois alkylphénols (Nonylphénol-1-carboxylé, 4-Nonylphénol, Nonylphénol-mono-éthoxylé), deux HAP (Acénaphène, Benzo(k)fluoranthène), un PBDE (BDE-183). Dans ce cas, les concentrations sur les apports au bassin de Django Reinhardt sont nettement plus élevées sauf pour le PBDE 183.

Notons qu'en valeurs médianes, les apports à Django Reinhardt sont également plutôt plus élevés que ceux liés au parking (~80 %).

Deux substances (Molybdène et Benzo(k)fluoranthène) sont en concentrations respectivement nulles et inférieures à la limite de détection sur la référence Asphalte. Le Molybdène est en quantité faible en entrée du bassin de retenue. Quant au benzo(k)fluoranthène (Substance Prioritaire Dangereuse), il présente en entrée de DjR une concentration médiane légèrement supérieure à la NQE et une concentration maximale qui lui est 4 fois supérieure.

Le Nonylphénol-1-carboxylé (NPEC1) et le Nonylphénol-mono-éthoxylé (NP1EO) (tous deux SP, DCE) présentent des différences significatives entre les deux sites. Elles sont très faibles sur le parking imperméable avec des médianes nulles et des concentrations maximales ne dépassant pas respectivement 3 % et 4 % de la norme en vigueur (NQE = 2 000 ng/L). Même si les concentrations de ces deux substances sont bien plus élevées à l'entrée de Django Reinhardt que sur le parking de référence, elles restent toutefois toujours inférieures à la NQE et se situent dans les gammes médiane et basse de la littérature. Ces composés sont régulièrement utilisés dans les produits de nettoyage (notamment industriels) et dans certains additifs du béton, ciment ou produits bitumineux. La présence d'une centrale à bitume, d'une cimenterie et de nombreuses industries sur le bassin versant de Chassieu drainé par le bassin de rétention Django-Reinhardt pourrait partiellement expliquer ces différences de contamination.

Le zinc est sans surprise en concentrations importantes dans les deux cas : entre [200 ; 930  $\mu\text{g/L}$ ] à l'entrée du bassin de rétention, soit 25 à 115 fois la valeur de la NQE (7,8  $\mu\text{g/L}$ ) et entre [21 ; 390  $\mu\text{g/L}$ ], soit 3 à 50 fois la valeur de la NQE, pour la référence Asphalte. On peut noter que ces concentrations

restent toutefois respectivement dans les franges médiane et médiane-basse de ce qui est référencé dans la littérature. Une piste pouvant expliquer la différence entre ces concentrations peut provenir de la composition d'éléments particuliers du bassin versant de Chassieu qui alimente le site DjR Entrée. Le zinc, très souvent utilisé dans les domaines de la construction, de l'automobile et des revêtements de protection des surfaces métalliques, peut aussi provenir du lessivage des nombreux bâtiments en construction métallique présents sur le bassin versant (hangars, magasins, usines) ainsi que des routes très fréquentées de la zone.

Un constat similaire sur les distributions peut être fait pour l'acénaphthène (Substance Prioritaire Dangereuse). Les concentrations observées sur DjR Entrée ([4 ; 34 µg/L]) sont situées dans la frange médiane de la littérature et sont plus élevées que celles observées sur le site Asphalte ([4 ; 8,4µg/L] frange basse de la littérature). Pour ce composé également, majoritairement issu de la combustion de carburant par les moteurs diesel, la fréquentation plus importante des routes du bassin versant alimentant le bassin Django-Reinhardt notamment (par les poids lourds) peut expliquer les différences de concentrations.

Les distributions en Bisphénol A sont plus élevées sur DR que sur l'Asphalte : on constate que le percentile Q10 observée sur DjR Entrée est déjà plus élevé que le percentile Q90 de l'Asphalte. Les concentrations observées restent respectivement dans les franges médianes et basses des données disponibles dans la littérature.

Les concentrations sont significativement différentes pour la SPD 4-NP qui présente des concentrations couvrant la gamme basse de la littérature, respectivement sur le site DjR Entrée et sur l'Asphalte. Les deux sites présentent cependant des concentrations médianes respectivement 3 et 6 fois moindre que la NQE.

Le BDE 183 (SPD, DCE) fait exception car il est en plus forte concentration sur le parking de référence entre [1,9 ; 17,3 µg/L]) contre [1,7 ; 2,6 µg/L] pour Django Reinhardt. L'ensemble de ces concentrations restent cependant dans les franges basse à très basse de ce qui a pu être observé dans des eaux de surface (Shao *et al.*, 2018) mais sont bien supérieures aux concentrations observées à l'entrée ou à la sortie de stations de traitement des eaux usées (Tableau 11). Cette tendance est difficilement explicable sinon par la composition de l'enrobé du parking.

On trouvera à l'annexe F la même analyse réalisée en masse au m<sup>2</sup>. Les tendances sont les mêmes.

Les gammes d'apports au bassin de Django Reinhardt ne sont pas fondamentalement différentes de celles du parking de référence. Quand elles sont différentes, les concentrations en entrée du système centralisé sont supérieures. Les concentrations se situent dans les fourchettes de valeur de la littérature quand elles existent. Globalement, les eaux sont chargées en métaux (notamment en cuivre et zinc), HAP sur les deux sites de référence. Les concentrations sont relativement plus faibles en alkylphénols et dérivés et faibles en pesticides et PBDE.

### E3.3. Caractérisation des sorties sur les sites de gestion à la source et centralisés

Selon le même principe que précédemment on trouvera aux Tableau 12, Tableau 13 et Tableau 14 la présentation des résultats obtenus pour les concentrations en sortie du bassin de Django Reinhardt, des systèmes munis de la tranchée, de la noue et de la CSR.

Le Tableau 12, le Tableau 13 et le Tableau 14 donne pour chacun des sites :

- la valeur *Q10* du 10<sup>ème</sup> percentile ;
- la valeur *Med* de la médiane ;
- la valeur *Q90* du 90<sup>ème</sup> percentile ;
- la valeur *CV* du coefficient de variation (Ecart type/moyenne) ;
- la valeur de la *Pvalue* issue du test de Kruskal-Wallis testant si les distributions de l'ensemble des quatre sites de sorties sont significativement différentes ou non au seuil de 5 %. Pour rappel, une *Pvalue* < 0,05 indique que les distributions sont statistiquement différentes (cases grises) ;  
Si elles ne sont pas statistiquement différentes, le tableau donne la valeur de la médiane *Med\_Sorties* de la distribution issue de la fusion des quatre sites ;
- la valeur de la *Pvalue* issue du test de Kruskal-Wallis testant si les distributions des trois sites de gestion à la source sont significativement différentes ou non au seuil de 5 %. Pour rappel une *Pvalue* < 0.05 indique que les distributions sont statistiquement différentes (cases grises) ;  
Si elles ne sont pas statistiquement différentes, le tableau donne la valeur de la médiane *Med\_Souces* de la distribution issue de la fusion des trois sites à la source ;
- la valeur de la NQE ou de la concentration assurant le bon état écologique des milieux ;
- le rapport de la concentration médiane à la NQE (*Med / NQE*) et entre parenthèse le rapport de la concentration *Q90* et de la NQE. Si les distributions sont statistiquement différentes, les rapports sont relatifs à chaque distribution. Si elles ne le sont pas les rapports sont issus de la fusion des deux distributions. Si ces rapports sont >1 la case est en rouge, si seul le rapport de *Q90/NQE* est > 1 la case est en orange, sinon la case est verte ;
- des éléments de comparaison avec la littérature qui permettent :
  - de visualiser par une représentation schématique si les concentrations obtenues sont dans la fourchette basse, haute, dans toute la gamme ou hors des gammes de valeurs fournies par la littérature ;
  - de donner les valeurs minimales et maximales trouvées dans la littérature sur des eaux pluviales ou autres lorsque l'information sur les eaux pluviales manque et les références associées.

Tableau 12. Données statistiques des concentrations totales pour les sites de gestion des eaux pluviales centralisé DjR Sortie et décentralisés CSR, Tranchée et Noue

			DjR Sortie				CSR				Tranchée				Noue				Pvalue KW Sorties	Med_Sorties	Pvalue KW Sources	Med_Sources
			Q10	Med	Q90	CV	Q10	Med	Q90	CV	Q10	Med	Q90	CV	Q10	Med	Q90	CV				
ETM	As	(µg/L)	0.41	0.83	1.21	40%	1.04	1.31	1.53	14%	0.37	0.84	1.63	53%	1.24	1.98	2.85	37%	0.001	-	0.006	-
	Cd	(µg/L)	0.09	0.13	1.21	120%	0.01	0.02	0.04	67%	0.01	0.02	0.77	236%	0.03	0.04	0.07	42%	0.000	-	0.160	0.02
	Co	(µg/L)	0.23	1.02	1.47	47%	0.04	0.11	0.31	72%	0.08	0.15	0.51	85%	0.11	0.40	0.89	79%	0.009	-	0.135	0.13
	Cr	(µg/L)	1.77	3.97	6.54	44%	1.06	2.56	3.82	44%	2.54	3.73	14.47	99%	4.37	6.34	7.46	22%	0.009	-	0.006	-
	Cu	(µg/L)	11.03	19.47	36.26	44%	4.90	8.18	11.64	30%	4.51	7.28	10.15	29%	4.89	11.06	13.53	37%	0.000	-	0.254	7.79
	Mn	(µg/L)	16.18	31.00	36.51	32%	0.25	1.40	5.00	106%	5.47	7.12	30.03	84%	0.00	20.50	49.97	98%	0.001	-	0.010	-
	Mo	(µg/L)	1.04	2.11	19.41	144%	0.00	0.00	0.00	NaN	0.14	0.37	0.52	41%	0.72	0.88	1.44	33%	0.000	-	0.000	0.17
	Ni	(µg/L)	1.83	3.27	12.87	85%	0.00	1.29	6.56	126%	1.45	2.78	4.60	39%	4.24	5.21	6.39	21%	0.040	-	0.047	-
	Pb	(µg/L)	2.81	5.51	10.51	56%	0.00	0.00	0.00	NaN	0.59	1.02	1.93	45%	0.00	1.84	3.87	89%	0.000	-	0.001	-
	Sr	(µg/L)	32.10	50.49	85.13	38%	109.62	131.97	148.10	12%	77.69	107.99	129.50	20%	115.53	175.27	202.26	23%	0.000	-	0.008	-
	Ti	(µg/L)	6.28	27.19	92.43	91%	0.30	1.98	11.81	115%	3.39	16.60	55.01	86%	8.07	40.13	113.52	102%	0.008	-	0.015	-
	V	(µg/L)	1.87	2.52	4.27	34%	1.94	2.82	4.04	28%	1.22	2.35	5.20	57%	1.75	4.79	8.59	63%	0.447	2.65	0.254	2.77
	Zn	(µg/L)	87.66	181.00	629.05	107%	0.00	0.00	17.40	165%	6.67	12.33	63.81	124%	9.90	14.80	89.41	119%	0.000	-	0.040	-
	Ba	(µg/L)	16.92	26.00	38.80	30%	2.50	7.25	20.90	80%	4.06	10.35	16.33	44%	13.90	21.80	44.50	55%	0.001	-	0.020	-
pest.	Car	(ng/L)	2.90	38.99	214.69	110%	0.00	12.12	120.50	153%	0.02	2.42	14.20	137%	0.00	1.02	5.00	134%	0.183	4.50	0.755	1.42
	Atr	(ng/L)	0.17	3.95	73.15	186%	0.00	0.00	65.60	208%	0.00	0.16	68.89	235%	0.00	4.67	536.87	195%	0.518	0.98	0.380	0.16
	Di	(ng/L)	1.22	23.08	867.03	255%	0.00	0.00	36.00	235%	0.00	0.00	0.36	270%	0.00	0.00	0.00	200%	0.006	-	0.561	0.00
Bis	BPA	(ng/L)	362.27	536.62	844.58	32%	18.79	115.14	385.31	93%	17.64	66.40	123.19	68%	0.00	69.39	3043.01	188%	0.026	-	0.515	84.58
AP	NPEC1	(ng/L)	0.00	166.42	265.35	93%	10.58	18.15	33.36	47%	6.67	14.85	21.68	45%	10.20	15.05	77.25	109%	0.754	17.11	0.631	16.25
	4-OP	(ng/L)	22.45	38.03	96.27	61%	4.13	39.11	62.86	75%	10.49	17.91	34.66	49%	15.95	33.81	45.92	42%	0.198	34.68	0.393	26.01
	OP1EO	(ng/L)	10.46	86.88	245.32	94%	0.00	26.69	88.01	104%	15.72	24.24	79.94	82%	10.83	16.49	28.02	44%	0.368	26.41	0.505	23.81
	OP2EO	(ng/L)	1.13	4.46	16.51	99%	0.92	2.53	9.17	79%	1.04	6.51	10.57	68%	0.92	1.50	3.13	54%	0.396	2.88	0.305	2.53
	4-NP	(ng/L)	179.45	552.63	1195.91	62%	0.00	304.35	615.04	80%	133.73	247.02	672.84	65%	0.00	94.30	136.54	75%	0.027	-	0.098	197.33
	NP2EO	(ng/L)	58.99	73.68	82.13	13%	0.00	0.00	0.00	NaN	17.91	38.10	77.42	54%	0.00	37.49	144.21	126%	0.003	-	0.006	-
	NP1EO	(ng/L)	42.07	85.50	187.81	66%	0.00	0.00	53.10	144%	1.46	18.28	45.69	77%	0.00	9.05	25.44	119%	0.021	-	0.700	16.32
HAP	Nap	(ng/L)	79.33	113.26	1234.57	136%	10.38	30.50	140.97	128%	24.59	66.44	134.77	57%	52.39	71.90	146.66	49%	0.004	-	0.041	-
	Ace	(ng/L)	3.79	11.29	28.90	69%	0.95	3.95	7.51	76%	3.79	7.89	11.53	45%	6.29	7.82	10.69	26%	0.016	-	0.044	-
	Flu	(ng/L)	9.01	20.33	35.76	46%	2.11	8.45	11.00	65%	8.45	8.45	17.13	38%	8.45	8.45	8.45	0%	0.004	-	0.542	8.45
	Phe	(ng/L)	38.40	55.87	91.36	37%	1.70	7.00	49.86	178%	8.89	23.57	55.61	65%	17.83	34.42	60.35	50%	0.001	-	0.025	-
	Flh	(ng/L)	25.36	45.09	103.11	58%	0.46	0.46	11.96	218%	1.84	2.15	24.03	103%	1.84	11.82	51.01	122%	0.000	-	0.013	-
	Pyr	(ng/L)	28.11	42.17	105.74	56%	0.40	0.40	2.81	149%	1.58	1.58	41.49	130%	1.58	1.71	18.37	143%	0.000	-	0.004	-
	BaA	(ng/L)	6.67	25.98	45.06	59%	0.88	0.88	2.46	75%	3.52	3.52	3.52	0%	3.52	3.52	3.52	0%	0.000	-	0.000	-
	Chr	(ng/L)	3.25	21.98	46.77	80%	0.67	0.67	1.87	75%	2.67	2.67	16.16	125%	2.67	2.67	12.82	97%	0.000	-	0.001	-
	BbF	(ng/L)	10.60	20.11	74.28	74%	1.73	1.73	4.83	75%	6.90	6.90	6.90	0%	6.90	6.90	6.90	0%	0.000	-	0.000	-
	BkF	(ng/L)	4.55	6.90	21.97	68%	1.73	1.73	4.83	75%	6.90	6.90	6.90	0%	6.90	6.90	6.90	0%	0.000	-	0.000	-
	BaP	(ng/L)	0.00	11.69	30.07	98%	2.92	2.92	8.18	75%	11.69	11.69	11.69	0%	11.69	11.69	11.69	0%	0.031	-	0.000	-
	IP	(ng/L)	0.00	29.81	40.00	96%	10.00	10.00	28.00	75%	40.00	40.00	40.00	0%	40.00	40.00	40.00	0%	0.002	-	0.000	-
	Bper	(ng/L)	0.00	26.58	69.40	109%	10.00	10.00	28.00	75%	40.00	40.00	40.00	0%	40.00	40.00	40.00	0%	0.015	-	0.000	-
	ΣHAP légers	(ng/L)	167.55	218.30	1364.98	108%	32.55	50.88	209.90	118%	61.23	119.87	211.24	43%	98.54	137.99	235.07	39%	0.001	-	0.023	-
	ΣHAP Lourds	(ng/L)	102.50	264.66	488.41	54%	38.78	38.78	117.57	73%	155.12	173.16	212.11	14%	155.12	178.57	204.55	16%	0.001	-	0.003	-
	Σ16HAP	(ng/L)	340.35	475.87	1569.55	67%	75.33	89.97	320.26	99%	216.34	279.30	415.71	26%	277.96	304.41	439.62	22%	0.000	-	0.013	-
	PBDE	B183	(ng/L)	0.48	1.56	6.96	96%	0.40	2.28	5.12	79%	1.34	1.92	5.84	74%	1.68	2.23	2.89	22%	0.965	2.19	0.925
B205		(ng/L)	0.00	0.64	9.60	169%	0.00	0.93	16.33	183%	0.00	0.28	8.70	205%	0.43	0.66	13.71	170%	0.746	0.64	0.581	0.69
B209		(ng/L)	1.59	29.17	93.47	96%	0.00	0.00	38.60	240%	0.52	1.35	25.60	140%	0.99	5.19	6.33	57%	0.034	-	0.166	1.06
ΣPBDE		(ng/L)	1.88	4.98	13.01	69%	1.79	4.70	5.39	36%	1.76	2.62	3.32	25%	2.53	3.15	4.75	28%	0.102	3.36	0.123	3.15
MES	(mg/L)	13.60	20.17	115.17	109%	0.00	0.58	29.83	188%	3.68	17.75	87.73	108%	8.33	25.33	81.17	94%	0.017	-	0.015	-	

**Tableau 13. Données statistiques des concentrations totales pour les sites de de gestion des eaux pluviales centralisé DjR Sortie et décentralisés CSR, Tranchée et Noue par rapport à la NQE (les valeurs de médianes et Q90 sont reprises pour plus de lisibilité du tableau)**

			DjR Sortie		CSR		Tranchée		Noue		Med Sorties	Med Sources	NQE	Comparaison à la NQE			
			Med	Q90	Med	Q90	Med	Q90	Med	Q90				DjR S	CSR	Tra	Noue
ETM	As	(µg/L)	0.83	1.21	1.31	1.53	0.84	1.63	1.98	2.85	-	-	0.83	x 1 (x 1.5)	x 1.5	x1 (x 2)	x 2.5 (x 3.5)
	Cd	(µg/L)	0.13	1.21	0.02	0.04	0.02	0.77	0.04	0.07	-	0.02	0.45	x 1/3 (x3)	x 1/20 (x 1.5)		
	Co	(µg/L)	1.02	1.47	0.11	0.31	0.15	0.51	0.40	0.89	-	0.13	-				
	Cr	(µg/L)	3.97	6.54	2.56	3.82	3.73	14.47	6.34	7.46	-	-	3.4	x 1 (x 2)	x 2/3 (x 1)	x 1 (x 4)	x 2
	Cu	(µg/L)	19.47	36.26	8.18	11.64	7.28	10.15	11.06	13.53	-	7.79	1	x 20 (x 35)	x 8 (x 13)		
	Mn	(µg/L)	31.00	36.51	1.40	5.00	7.12	30.03	20.50	49.97	-	-	-				
	Mo	(µg/L)	2.11	19.41	0.00	0.00	0.37	0.52	0.88	1.44	-	-	-				
	Ni	(µg/L)	3.27	12.87	1.29	6.56	2.78	4.60	5.21	6.39	-	-	34	x 1/10 (x 1/3)	x 1/30 (x 1/6)	x 1/12 (x 1/8)	x 1/6
	Pb	(µg/L)	5.51	10.51	0.00	0.00	1.02	1.93	1.84	3.87	-	-	13	x 1/2 (x1)	0	x 1/10	x 1/10 (x1/3)
	Sr	(µg/L)	50.49	85.13	131.97	148.10	107.99	129.50	175.27	202.26	-	-	-				
	Ti	(µg/L)	27.19	92.43	1.98	11.81	16.60	55.01	40.13	113.52	-	-	-				
	V	(µg/L)	2.52	4.27	2.82	4.04	2.35	5.20	4.79	8.59	2.65	2.77	-				
Zn	(µg/L)	181.00	629.05	0.00	17.40	12.33	63.81	14.80	89.41	-	-	7.8	x 20 (x 80)	0 (x 2)	x 1 (x 8)	x 1 (x 10)	
Ba	(µg/L)	26.00	38.80	7.25	20.90	10.35	16.33	21.80	44.50	-	-	-					
pest.	Car	(ng/L)	38.99	214.69	12.12	120.50	2.42	14.20	1.02	5.00	4.50	1.42	150	x 1/30 (x 1.5)			
	Atr	(ng/L)	3.95	73.15	0.00	65.60	0.16	68.89	4.67	536.87	0.98	0.16	2000	0 (x 1/4)			
	Di	(ng/L)	23.08	867.03	0.00	36.00	0.00	0.36	0.00	0.00	-	0.00	1800	x 1/70 (x 1/3)	0 (x 1/60)		
Bis	BPA	(ng/L)	536.62	844.58	115.14	385.31	66.40	123.19	69.39	3043.01	-	84.58	-				
AP	NPEC1	(ng/L)	166.42	265.35	18.15	33.36	14.85	21.68	15.05	77.25	17.11	16.25	2000	x 1/10	x 1/120 (x 1/30)		
	4-OP	(ng/L)	38.03	96.27	39.11	62.86	17.91	34.66	33.81	45.92	34.68	26.01	100	x 1/3 (x 1)			
	OP1EO	(ng/L)	86.88	245.32	26.69	88.01	24.24	79.94	16.49	28.02	26.41	23.81	100	x 1 (x 2)	x 1/4 (x 1)		
	OP2EO	(ng/L)	4.46	16.51	2.53	9.17	6.51	10.57	1.50	3.13	2.88	2.53	100	x 1/30 (x 1/10)			
	4-NP	(ng/L)	552.63	1195.91	304.35	615.04	247.02	672.84	94.30	136.54	-	197.33	2000	x 1/4 (x1/2)	x 1/5 (x1/2)		
	NP2EO	(ng/L)	73.68	82.13	0.00	0.00	38.10	77.42	37.49	144.21	-	-	2000	x 1/30	0	x 1/60 (x 1/30)	x 1/60 (x 1/20)
	NP1EO	(ng/L)	85.50	187.81	0.00	53.10	18.28	45.69	9.05	25.44	-	16.32	2000	x 1/25 (x 1/10)	x 1/130 (x 1/40)		
HAP	Nap	(ng/L)	113.26	1234.57	30.50	140.97	66.44	134.77	71.90	146.66	-	-	130000	0 (x 1/100)	0	0	0
	Ace	(ng/L)	11.29	28.90	3.95	7.51	7.89	11.53	7.82	10.69	-	-	-				
	Flu	(ng/L)	20.33	35.76	8.45	11.00	8.45	17.13	8.45	8.45	-	8.45	-				
	Phe	(ng/L)	55.87	91.36	7.00	49.86	23.57	55.61	34.42	60.35	-	-	-				
	Flh	(ng/L)	45.09	103.11	0.46	11.96	2.15	24.03	11.82	51.01	-	-	120	x 1/3 (x 1)	x 1/200 (x1/10)	x 1/100 (x 1/6)	x 1/10 (x1/2)
	Pyr	(ng/L)	42.17	105.74	0.40	2.81	1.58	41.49	1.71	18.37	-	-	-				
	BaA	(ng/L)	25.98	45.06	0.88	2.46	3.52	3.52	3.52	3.52	-	-	-				
	Chr	(ng/L)	21.98	46.77	0.67	1.87	2.67	16.16	2.67	12.82	-	-	-				
	BbF	(ng/L)	20.11	74.28	1.73	4.83	6.90	6.90	6.90	6.90	-	-	17	x 1 (x 5)	- *		
	BkF	(ng/L)	6.90	21.97	1.73	4.83	6.90	6.90	6.90	6.90	-	-	17	x 1/2 (x 1)	- *		
	BaP	(ng/L)	11.69	30.07	2.92	8.18	11.69	11.69	11.69	11.69	-	-	270	x 1/25 (x 1/10)	- *		
	IP	(ng/L)	29.81	40.00	10.00	28.00	40.00	40.00	40.00	40.00	-	-	-				
	Bper	(ng/L)	26.58	69.40	10.00	28.00	40.00	40.00	40.00	40.00	-	-	8.2	x 3 (x 10)	- *		
	ΣHAP légers	(ng/L)	218.30	1364.98	50.88	209.90	119.87	211.24	137.99	235.07	-	-	-				
	ΣHAP Lourds	(ng/L)	264.66	488.41	38.78	117.57	173.16	212.11	178.57	204.55	-	-	-				
	Σ16HAP	(ng/L)	475.87	1569.55	89.97	320.26	279.30	415.71	304.41	439.62	-	-	-				
PBDE	B183	(ng/L)	1.56	6.96	2.28	5.12	1.92	5.84	2.23	2.89	2.19	2.22	-				
	B205	(ng/L)	0.64	9.60	0.93	16.33	0.28	8.70	0.66	13.71	0.64	0.69	-				
	B209	(ng/L)	29.17	93.47	0.00	38.60	1.35	25.60	5.19	6.33	-	1.06	-				
	Σ6PBDE	(ng/L)	4.98	13.01	4.70	5.39	2.62	3.32	3.15	4.75	3.36	3.15	140	x 1/50 (x 1/10)			
MES	(mg/L)	20.17	115.17	0.58	29.83	17.75	87.73	25.33	81.17	-	-	50	x 1/2 (x 2)	x 1/100 (x 1/2)	x 1/3 (x 1.5)	x 1/2 (x 1.5)	

\* Résultats d'analyses détectés mais non quantifiés de façon systématique donc pas réellement exploitable du point de vue des valeurs de concentrations

Tableau 14. Données statistiques des concentrations totales pour les sites de de gestion des eaux pluviales centralisé DJR Sortie et décentralisés (CSR, Tranchée et Noue) par rapport à la NQE et à la littérature (les valeurs de médianes sont reprises pour plus de lisibilité du tableau). Dans la colonne « comparaison à la littérature », la couleur verte indique que nos concentrations sont dans la fourchette basse, violine dans toute l'étendue, orange dans la zone médiane et rouge dans la fourchette haute ou au-dessus des valeurs de la littérature)

			DJR Sortie	CSR	Tranchée	Noue	Med_Sorties	Med_Sources	Comparaison à la littérature				[min; max] ou (moy) de la littérature						
			Med	Med	Med	Med			DJR Sortie	CSR	Tranchée	Noue	DJR Sortie	CSR	Tranchée	Noue			
ETM	As	(µg/L)	0.83	1.31	0.84	1.98	-	-											
	Cd	(µg/L)	0.13	0.02	0.02	0.04	-	0.02											
	Co	(µg/L)	1.02	0.11	0.15	0.40	-	0.13											
	Cr	(µg/L)	3.97	2.56	3.73	6.34	-	-											
	Cu	(µg/L)	19.47	8.18	7.28	11.06	-	7.79											
	Mn	(µg/L)	31.00	1.40	7.12	20.50	-	-											
	Mo	(µg/L)	2.11	0.00	0.37	0.88	-	0.17											
	Ni	(µg/L)	3.27	1.29	2.78	5.21	-	-											
	Pb	(µg/L)	5.51	0.00	1.02	1.84	-	-											
	Sr	(µg/L)	50.49	131.97	107.99	175.27	-	-											
	Ti	(µg/L)	27.19	1.98	16.60	40.13	-	-											
	V	(µg/L)	2.52	2.82	2.35	4.79	2.65	2.77											
	Zn	(µg/L)	181.00	0.00	12.33	14.80	-	-											
Ba	(µg/L)	26.00	7.25	10.35	21.80	-	-												
pest.	Car	(ng/L)	38.99	12.12	2.42	1.02	4.50	1.42											
	Atr	(ng/L)	3.95	0.00	0.16	4.67	0.98	0.16											
	Di	(ng/L)	23.08	0.00	0.00	0.00	-	0.00											
Bis	BPA	(ng/L)	536.62	115.14	66.40	69.39	-	84.58											
AP	NPEC1	(ng/L)	166.42	18.15	14.85	15.05	17.11	16.25											
	4-OP	(ng/L)	38.03	39.11	17.91	33.81	34.68	26.01											
	OP1EO	(ng/L)	86.88	26.69	24.24	16.49	26.41	23.81											
	OP2EO	(ng/L)	4.46	2.53	6.51	1.50	2.88	2.53											
	4-NP	(ng/L)	552.63	304.35	247.02	94.30	-	197.33											
	NP2EO	(ng/L)	73.68	0.00	38.10	37.49	-	-											
HAP	NP1EO	(ng/L)	85.50	0.00	18.28	9.05	-	16.32											
	Nap	(ng/L)	113.26	30.50	66.44	71.90	-	-											
	Ace	(ng/L)	11.29	3.95	7.89	7.82	-	-											
	Flu	(ng/L)	20.33	8.45	8.45	8.45	-	8.45											
	Phe	(ng/L)	55.87	7.00	23.57	34.42	-	-											
	Flh	(ng/L)	45.09	0.46	2.15	11.82	-	-											
	Pyr	(ng/L)	42.17	0.40	1.58	1.71	-	-											
	BaA	(ng/L)	25.98	0.88	3.52	3.52	-	-											
	Chr	(ng/L)	21.98	0.67	2.67	2.67	-	-											
	BbF	(ng/L)	20.11	1.73	6.90	6.90	-	-											
	BkF	(ng/L)	6.90	1.73	6.90	6.90	-	-											
	BaP	(ng/L)	11.69	2.92	11.69	11.69	-	-											
	IP	(ng/L)	29.81	10.00	40.00	40.00	-	-											
	Bper	(ng/L)	26.58	10.00	40.00	40.00	-	-											
	ΣHAP légers	(ng/L)	218.30	50.88	119.87	137.99	-	-											
	ΣHAP Lourds	(ng/L)	264.66	38.78	173.16	178.57	-	-											
Σ16HAP	(ng/L)	475.87	89.97	279.30	304.41	-	-												
PBDE	B183	(ng/L)	1.56	2.28	1.92	2.23	2.19	2.22											
	B205	(ng/L)	0.64	0.93	0.28	0.66	0.64	0.69											
	B209	(ng/L)	29.17	0.00	1.35	5.19	-	1.06											
	Σ6PBDE	(ng/L)	4.98	4.70	2.62	3.15	3.36	3.15											
MES	(mg/L)	20.17	0.58	17.75	25.33	-	-												

Références littérature : DJR Sortie : Carpenter et al., 2014 ; Belizario et al., 2016 ; Watega and Wachulec, 2018 / CSR : Brattebo and Booth, 2003 ; Booth and Leavitt, 1999 ; Pagotto et al., 2000 ; Scholes et al., 2003 ; Colandini, 1997  
 Noue et Tranchée : Bressy, 2010 ; Li et al., 2016 ; Stagge et al., 2012 ; \*\*Silva et al., 2010 seul ; Zhang et al., 2014 ; Xiao and McPherson, 2009 ; Hatt et al., 2009 ; Lucke and Nichols, 2015 ; Scholes et al., 2003

Pour la comparaison de tous les sites ensemble (Tableau 12), on constate que seulement 9 substances sur 41 (22 %) ont des distributions qui ne sont pas statistiquement différentes (*Pvalue* < 0,05). Ces substances sont : V, Car, Atr, NPEC1, 4-OP, OP1EO, OP2EO, B183, B205. La somme des 6 PBDE (B28, B47, B99, B100, B153 et B154) est également dans ce cas.

Toutes les autres présentent des distributions significativement différentes. On constate que la quasi intégralité des métaux et l'ensemble des HAPs sont concernés par ces différences.

Pour les sites à la source entre eux (CSR, Tranchée et Noue) (Cf. Tableau 13) : 18 substances sur 41 (44 %) montrent des distributions qui ne sont pas statistiquement différentes (Cd, Co, Cu, V, Di, BPA, tous les alkyphénols sauf NP2EO, Flu et B209).

Les rejets du bassin de retenue sont en majorité plus chargés en métaux (Tableau 12 et Tableau 14) (e.g. plus de 10 fois plus pour Pb et jusqu'à environ 20 fois plus pour Zn) que les sorties des sites à la source. Les quantités en sortie restent importantes pour ce site notamment pour Cu et Zn dont les médianes sont 20 fois plus élevées que la NQE ou Benzo(g,h,i)pérylène (SPD) dont la médiane est trois fois plus grande que la NQE.

Les rejets des dispositifs à la source sont en concentrations faibles sauf pour certains métaux ou métalloïde. L'arsenic est présent en sortie de la noue (médiane 2,5 fois la NQE) ainsi que le chrome (médiane 2 fois la NQE). Le chrome est également présent en sortie de tranchée et de la CSR. Pour tous les sites à la source, le zinc présente des concentrations médianes autour de la NQE avec des valeurs élevées (jusqu'à une valeur maximale 10 fois supérieure à la NQE pour la noue). C'est également le cas du cuivre (médiane 8 fois plus élevée que la NQE).

Les valeurs de la littérature sont beaucoup moins fournies qu'en entrée et concernent beaucoup moins de types d'ouvrages et de MP. Pour ce qui existe, on constate que le bassin de retenue rejette à des concentrations dans la fourchette basse des données de la littérature sauf pour le chrome et le zinc. Le cuivre y est très variable et couvre une large gamme de concentrations.

Pour les dispositifs à la source, les concentrations observées sont également dans la fourchette basse. Certains MP présentent des concentrations très variables et couvrent donc une large gamme de valeurs. C'est le cas de l'atrazine tant pour la noue que pour la tranchée, le 4-Tert-Octylphénol pour la noue ou 4-Nonylphénol pour la tranchée.

Les gammes des concentrations en sortie sont en grande majorité plus faibles qu'en entrée si l'on raisonne en médiane. Nous analyserons par la suite les abattements évènementiels pour mieux qualifier l'efficacité de chaque système. Elles sont plutôt plus élevées en sortie du bassin de retenue de Django Reinhardt qu'à l'exutoire des dispositifs à la source. C'est notamment marqué pour les métaux, sauf pour le chrome et le métalloïde arsenic plus élevé pour la noue dont les apports sur la surface de référence étaient déjà élevés. Django Reinhardt présente aussi des concentrations supérieures ou égales à la NQE en médiane pour Benzo(g,h,i)pérylène (SPD).

Globalement, les valeurs sont dans la fourchette basse des valeurs de la littérature quand elles existent ou couvrent la gamme de ce qui est observé quand la variabilité est grande, mais elles ne sont jamais en dehors des gammes observées.

### E3.4. Illustration des principaux résultats pour la comparaison des concentrations totales des « entrées » et « sorties » sur les sites de gestion à la source et centralisé

La Figure 20 à la Figure 25 donnent pour les différentes familles de MP les graphes présentant la gamme des concentrations (la médiane et les valeurs du 1<sup>er</sup> et 9<sup>ème</sup> décile Q10 et Q90) ainsi que la valeur de NQE quand elle existe. Elles illustrent et synthétisent les principales conclusions sur les niveaux de concentrations vues aux paragraphes précédents (E3.2.1 et E3.3.1).

#### Matières en suspension

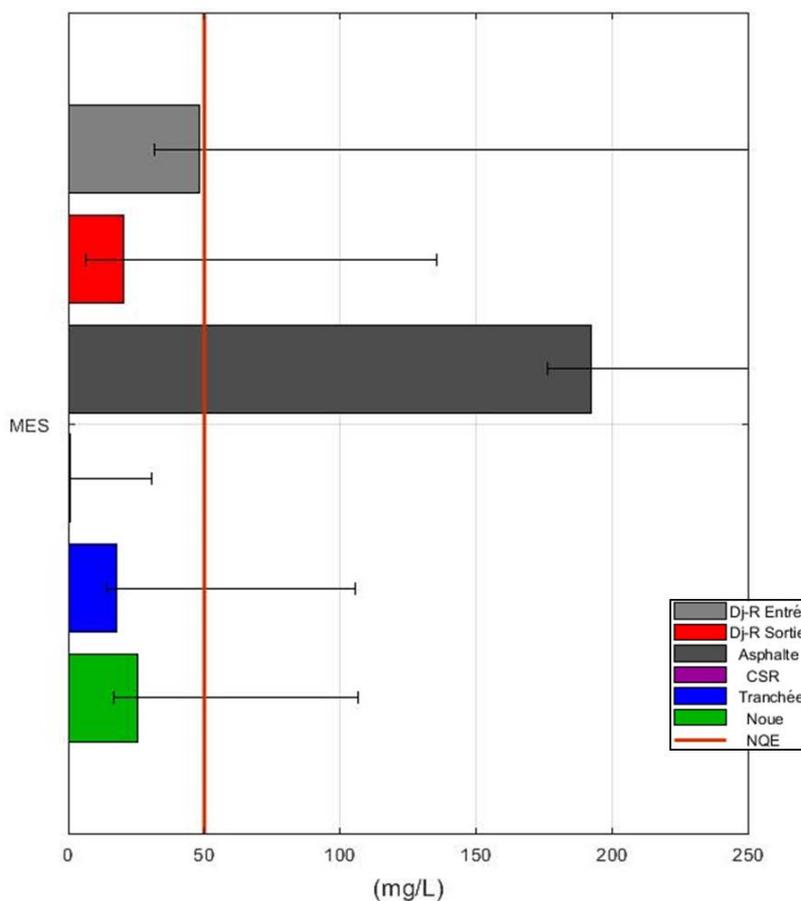


Figure 20. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en MES. Les barres autour des médianes donnent le 10<sup>ème</sup> et 90<sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90)

On note que de tous les sites, la référence Asphalté est le site le plus chargé en MES, loin devant l'autre référence DjR Entrée (4 fois plus). Une explication possible pour expliquer ce phénomène est que le site Asphalté n'est constituée que de voiries (fortement productrices de MES) alors que le bassin versant de Chassieu est lui constitué de différentes surfaces hétérogènes qui seraient moins contributrices en MES car peut-être plus sujettes à décantation ou piégeage au cours de l'écoulement de l'eau (stockage en conduites par exemple). La deuxième explication est aussi que les eaux de ruissellement passent par un regard qui permet potentiellement la décantation et qui a pu pour certains événements relarguer des MES même si le regard est périodiquement nettoyé. La Figure 20 nous informe cependant que l'ensemble des sites de gestion des eaux pluviales (en « sortie ») sont efficaces pour gérer les MES.

## Métaux

La Figure 21 illustre des fourchettes de concentrations élevées en entrée et parfois même en sortie. Les eaux en entrée ou en sortie de dispositifs centralisés ou décentralisés sont très chargées en zinc et cuivre

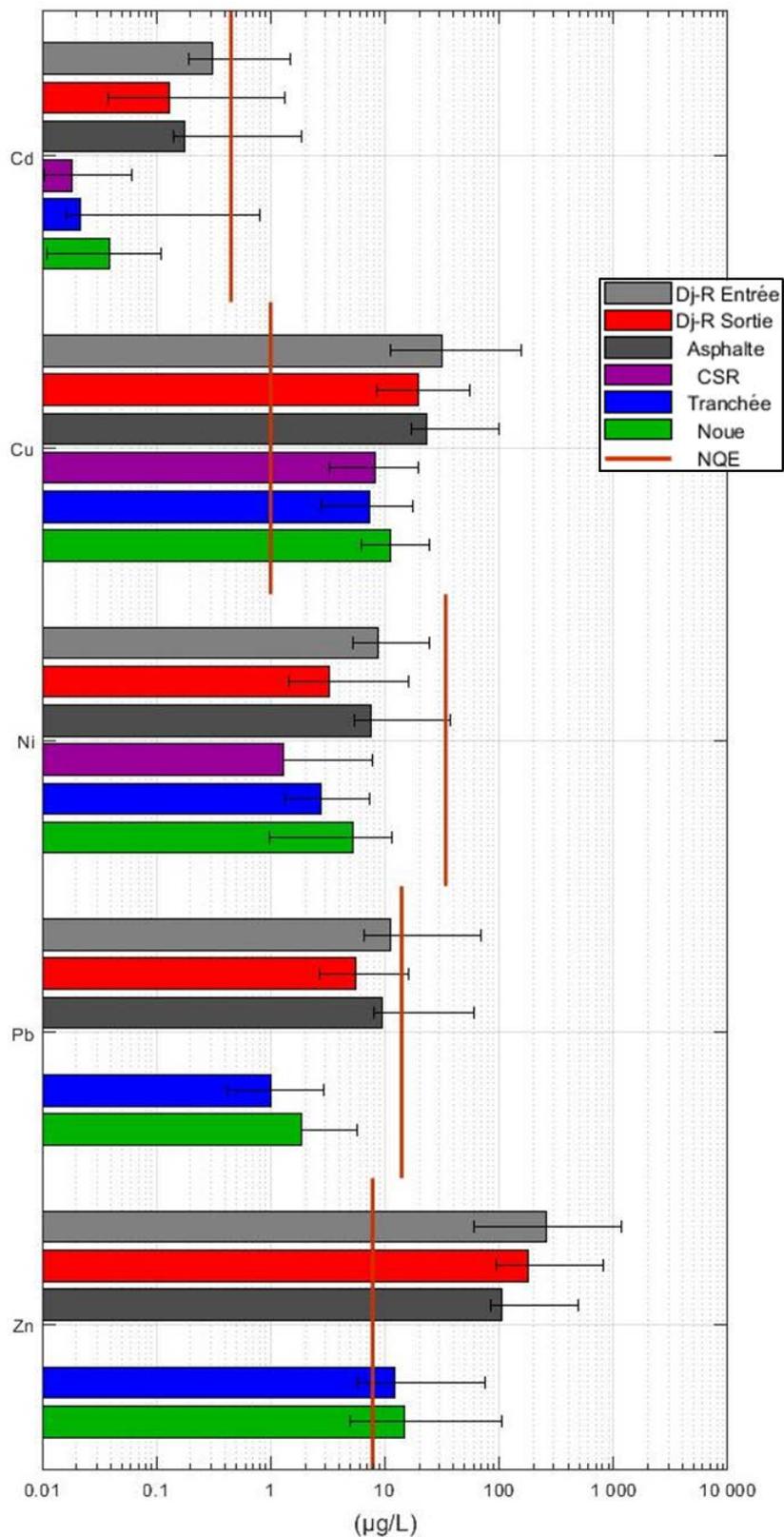


Figure 21. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en ETM. Les barres autour des médianes donnent le 10<sup>ème</sup> et 90<sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90)

## Pesticides

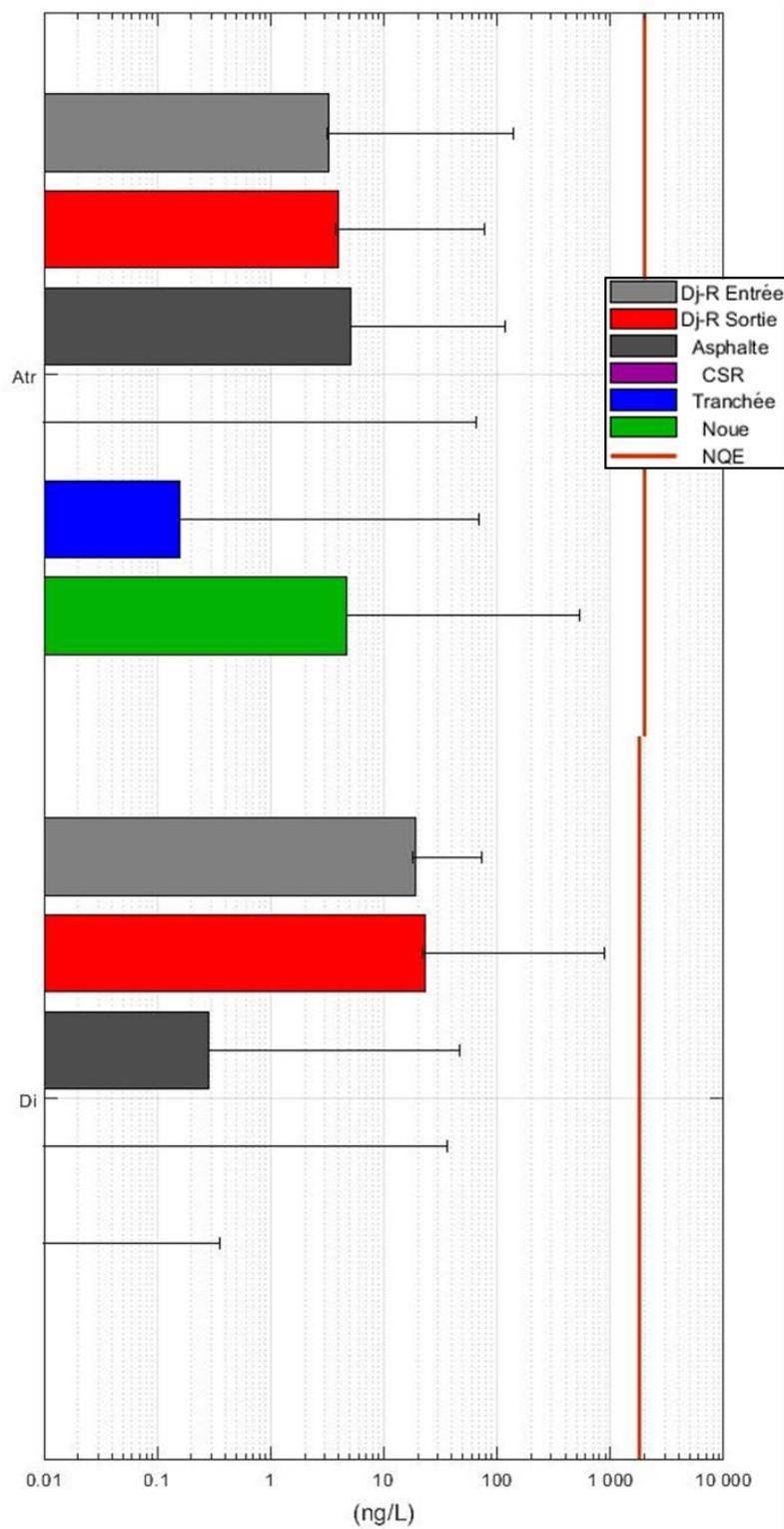


Figure 22. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en pesticides.  
Les barres autour des médianes donnent le 10<sup>ème</sup> et 90<sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90)

La Figure 22 illustre de faibles concentrations en pesticides quand ceux-ci sont quantifiés.

## Bisphénol A et alkylphénols

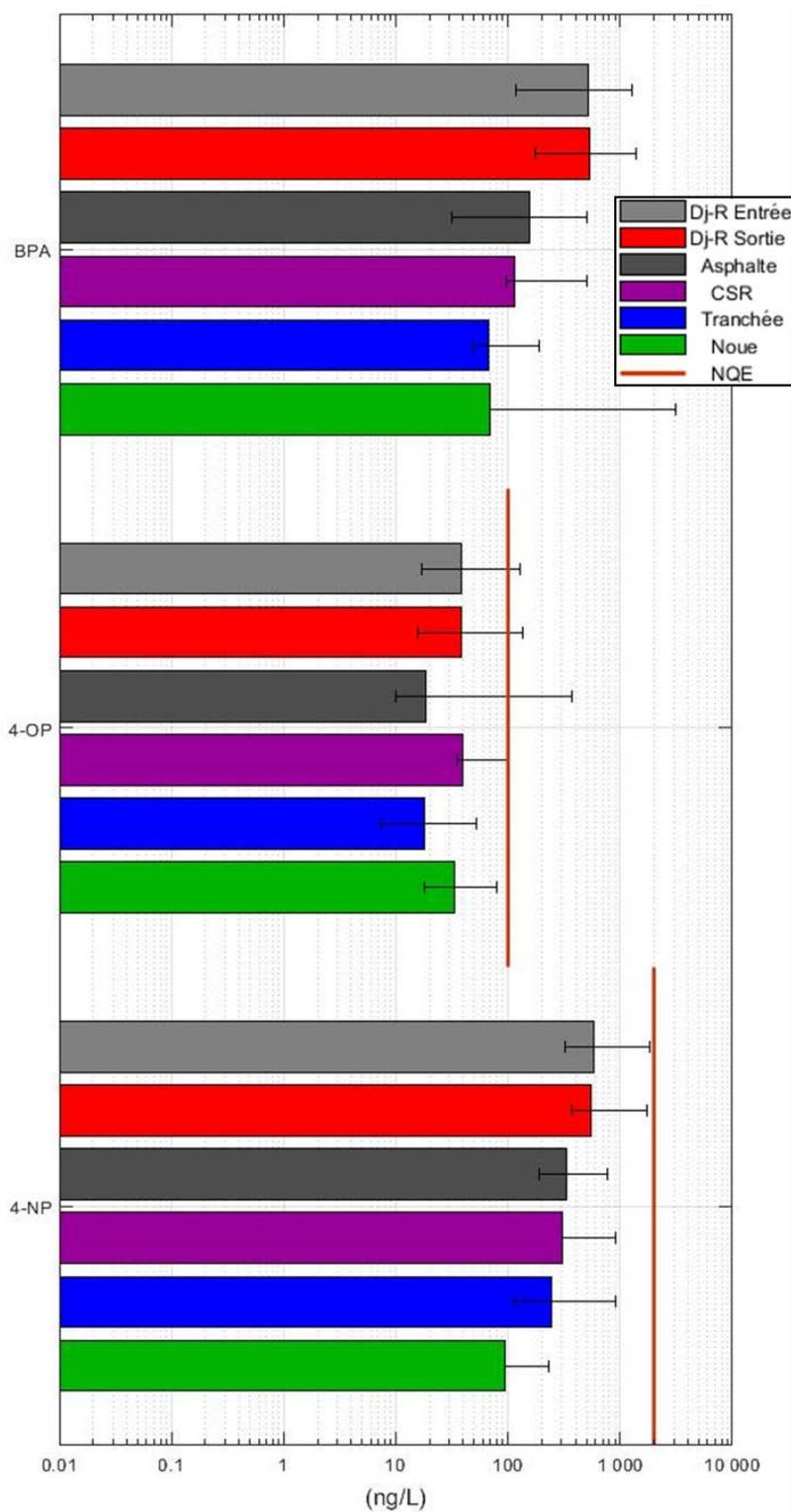


Figure 23. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en Bisphénol A et Alkylphénols. Les barres autour des médianes donnent le 10<sup>ème</sup> et 90<sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90)

Pour ces composés, on observe (Figure 23) des concentrations pouvant être du même niveau que la NQE.

## Hydrocarbures aromatiques polycycliques

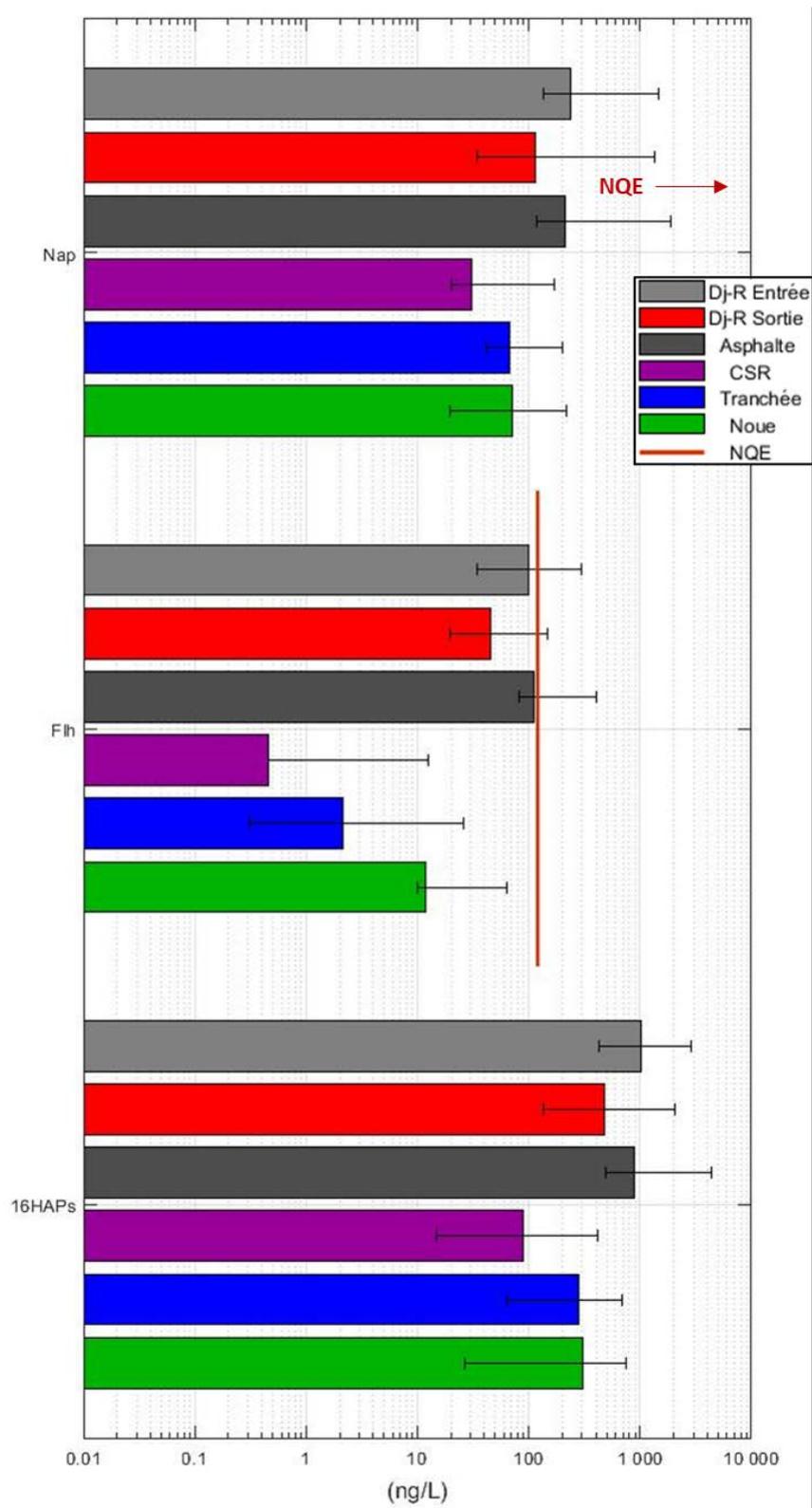


Figure 24. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en HAP.  
Les barres autour des médianes donnent le 10<sup>ème</sup> et 90<sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90)

La Figure 24 illustre des concentrations parfois importantes pour les HAP (cas du fluoranthène par exemple).

## PBDE

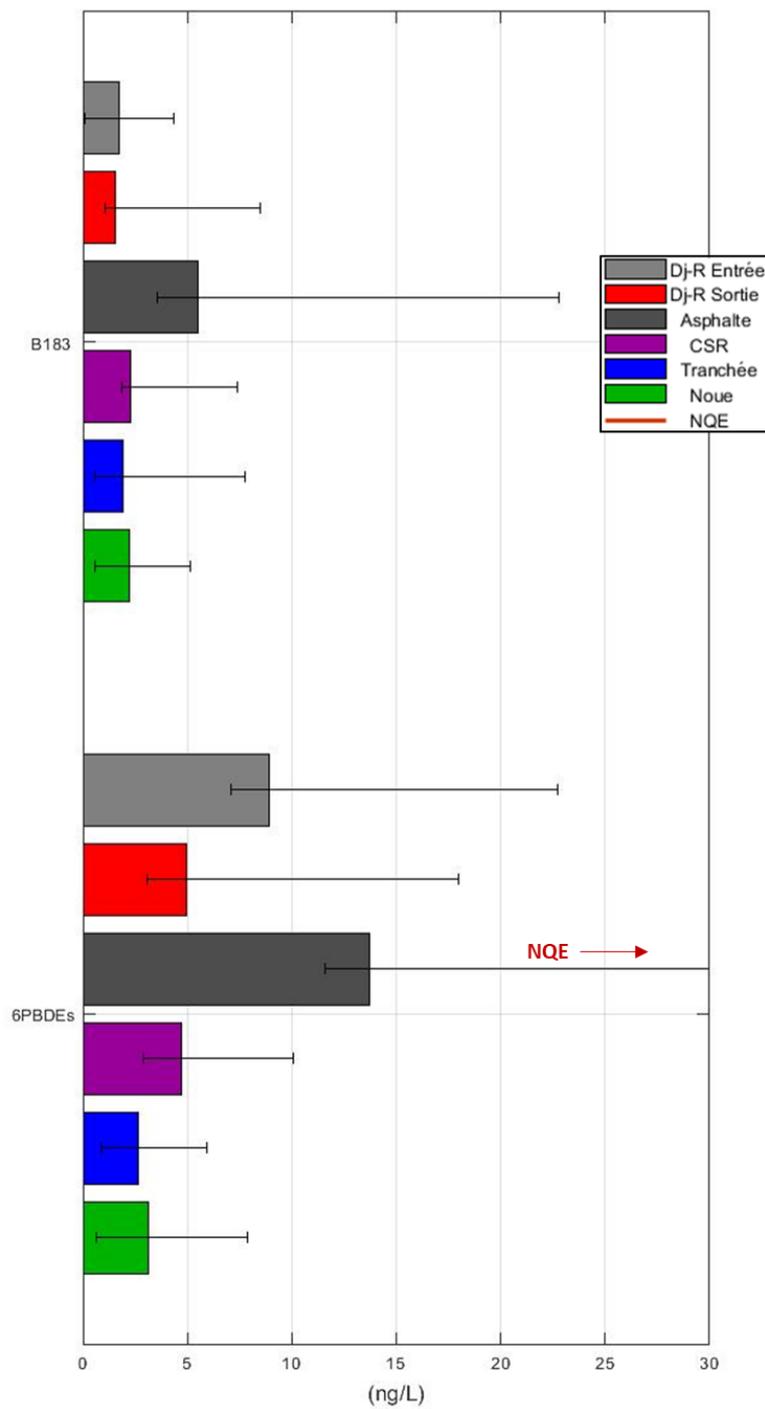


Figure 25. Niveaux de concentrations médianes sur l'ensemble des sites en PBDE. Les barres autour des médianes donnent le 10<sup>ème</sup> et 90<sup>ème</sup> percentile (Q10 et Q90)

La Figure 25 montre que les PBDE sont en faibles concentrations.

### E3.5. Partition phases dissoute et particulaire

#### E3.5.1. Analyse des proportions dissoutes sur le site de référence des dispositifs décentralisés et en entrée du site centralisé

Le Tableau 15 présente les statistiques ainsi que les résultats du test de Wilcoxon associé aux proportions dissoutes pour les sites de DjR Entrée et du site Asphalte, représentant les entrées respectivement du site centralisé et des sites décentralisés. Il donne pour chacun des sites :

- la valeur  $Q10$  du 10<sup>ème</sup> percentile ;
- la valeur  $Med$  de la médiane (plus la valeur est proche de 100 %, plus la case bleuit) ;
- la valeur  $Q90$  du 90<sup>ème</sup> percentile ;
- la valeur  $CV$  du coefficient de variation (écart type/moyenne) ;
- la valeur de la  $Pvalue$  issue du test de Wilcoxon testant si les distributions sont significativement différentes ou non au seuil de 5 %. Pour rappel une  $Pvalue < 0,05$  indique que les distributions sont statistiquement différentes (cases grises) ;
- si elles ne sont pas statistiquement différentes, la valeur de la médiane  $Med_{réfs}$  de la distribution issue de la fusion des deux distributions des sites de référence DjR Entrée et Asphalte ;

On constate que 29 composés sur 41 (61 %) montrent des distributions semblables entre l'entrée du bassin Django Reinhardt et la référence Asphalte ( $Pvalue < 0,05$ ). 16 substances présentent des distributions significativement différentes.

Sans surprise, les métaux sont principalement en phase particulaire (hormis le molybdène et le strontium connus pour être davantage dissous) et de manière plus marquée pour le parking avec une variabilité plus grande. Les HAPs sont également majoritairement particuliers notamment les lourds.

Il en est de même pour les PBDE B183 et surtout B209 le plus répandu dans l'environnement, le 205 étant le moins particulaire.

Les plus dissous sont les pesticides, le bisphénol A et les alkylphénols, et ce sur les deux sites. Les variabilités sont plus importantes sur le parking.

Les grandes tendances en termes de spéciation en entrée de Django Reinhardt sont celles déjà observées sur ce site (Becouze-Lareure, 2010; Sébastien, 2013) ou sur des sites de même nature (Birch, 2012 ; Gasperi *et al.*, 2014; Zgheib, 2009) et pour les sites de petites tailles (Colandini, 1997 ; Flanagan, 2018 ; Ladislav, 2011).

Ce travail montre clairement que les sites à la source reçoivent des eaux chargées de polluants dont la variabilité en phase dissoute est plus importante sur la référence des sites à la source, ce qui peut avoir un impact sur la capacité de piégeage des dispositifs qui en sont alimentés.

Tableau 15. Données statistiques des proportions dissoutes pour les sites DjR Entrée et Asphalte

			DjR Sortie				CSR				Tranchée				Noue				Pvalue KW Sorties	Med Sorties	Pvalue KW Sources	Med Sources
			Q10	Med	Q90	CV	Q10	Med	Q90	CV	Q10	Med	Q90	CV	Q10	Med	Q90	CV				
ETM	As	(%)	37.5	52.4	57.1	15%	89.1	96.4	100.0	5%	42.7	62.1	79.1	21%	53.3	74.0	95.0	26%	0.000	-	0.001	-
	Cd	(%)	22.4	62.5	91.9	42%	21.2	59.9	100.0	52%	18.1	51.2	100.0	53%	29.3	44.6	58.8	32%	0.680	53.6	0.527	52.4
	Co	(%)	0.0	14.9	60.3	110%	26.3	49.1	100.0	48%	10.0	21.2	31.3	39%	16.0	33.2	47.7	54%	0.028	-	0.008	-
	Cr	(%)	18.4	27.6	42.4	31%	14.7	32.3	71.5	62%	5.0	15.7	29.2	56%	13.4	22.8	47.9	62%	0.069	24.3	0.065	20.5
	Cu	(%)	29.7	42.7	60.2	25%	87.1	93.1	100.0	5%	35.1	70.4	87.2	30%	67.4	72.6	87.5	13%	0.000	-	0.001	-
	Mn	(%)	5.2	15.2	29.9	58%	9.9	18.3	63.2	102%	2.0	6.4	21.0	92%	0.9	2.6	3.2	54%	0.003	-	0.003	-
	Mo	(%)	20.2	78.2	95.4	43%	-	-	-	-	63.3	100.0	100.0	18%	100.0	100.0	100.0	0%	0.005	-	0.181	100.0
	Ni	(%)	24.7	42.9	64.3	36%	13.0	29.0	41.6	44%	7.9	15.5	36.0	64%	18.6	49.9	74.7	60%	0.014	-	0.079	19.4
	Pb	(%)	5.3	8.4	16.4	45%	-	-	-	-	2.7	5.4	16.3	73%	1.3	4.8	10.5	84%	0.199	7.0	0.540	5.0
	Sr	(%)	87.4	92.4	95.8	3%	92.7	99.6	99.9	4%	80.1	95.8	97.9	8%	89.7	97.1	99.3	5%	0.003	8%	0.005	-
	Ti	(%)	0.0	1.2	8.4	121%	2.0	8.1	100.0	114%	1.3	3.9	77.7	187%	0.4	3.4	6.9	75%	0.080	4.4	0.188	4.9
	V	(%)	25.0	43.4	66.0	33%	91.5	96.6	100.0	3%	24.9	51.5	60.9	30%	38.9	62.9	93.5	40%	0.000	-	0.001	-
	Zn	(%)	30.0	51.6	83.2	35%	48.6	72.8	78.5	24%	8.0	26.0	72.1	74%	15.4	36.4	97.0	81%	0.178	50.5	0.231	46.1
Ba	(%)	40.5	49.3	87.2	36%	56.0	100.0	100.0	22%	39.5	61.8	100.0	38%	53.9	67.0	100.0	29%	0.030	-	0.129	100.0	
pest.	Car	(%)	66.8	99.3	100.0	16%	99.8	100.0	100.0	0%	0.0	0.0	99.9	138%	0.0	100.0	100.0	87%	0.060	99.7	0.044	-
	Atr	(%)	99.9	100.0	100.0	0%	0.0	99.5	100.0	56%	0.0	94.4	99.9	78%	0.0	96.1	99.0	67%	0.013	-	0.195	98.7
	Di	(%)	29.7	94.8	99.9	38%	0.0	100.0	100.0	56%	0.0	0.0	99.8	200%	0.0	0.0	0.0	-	0.107	94.8	0.125	49.9
Bis	BPA	(%)	83.2	94.0	98.3	7%	61.3	97.1	99.9	18%	88.9	95.2	99.0	5%	92.8	93.7	100.0	4%	0.686	94.9	0.748	96.0
AP	NPEC1	(%)	0.0	98.6	99.2	67%	51.9	80.6	97.3	23%	54.7	79.4	93.3	19%	59.5	85.2	99.3	20%	0.493	84.1	0.699	83.7
	4-OP	(%)	50.4	71.0	95.5	24%	3.2	35.5	94.0	83%	6.1	15.3	72.8	90%	27.4	47.8	91.9	51%	0.059	49.1	0.385	35.5
	OP1EO	(%)	61.0	93.8	99.6	22%	35.3	89.4	97.8	35%	57.8	74.9	91.3	19%	62.3	78.9	87.3	16%	0.687	82.6	0.806	79.9
	OP2EO	(%)	36.4	83.3	96.0	31%	27.6	78.0	100.0	49%	52.1	89.5	92.7	22%	34.0	51.1	93.5	44%	0.839	83.3	0.768	78.0
	4-NP	(%)	17.3	55.6	97.2	50%	48.9	65.6	98.9	34%	71.1	84.7	94.0	11%	72.9	75.6	92.0	13%	0.587	75.9	0.769	81.8
	NP2EO	(%)	64.8	83.1	98.5	15%	-	-	-	-	81.3	92.9	96.3	7%	97.2	97.8	98.5	1%	0.154	91.8	0.046	-
HAP	NP1EO	(%)	68.1	82.1	97.0	14%	29.7	57.5	91.0	52%	76.6	78.4	81.3	2%	63.8	75.0	86.1	21%	0.552	78.4	0.727	78.3
	Nap	(%)	3.1	32.7	92.2	87%	11.7	100.0	100.0	48%	11.7	100.0	100.0	48%	14.9	28.6	62.6	63%	0.020	-	0.201	100.0
	Ace	(%)	25.0	53.7	100.0	54%	77.7	100.0	100.0	13%	77.7	100.0	100.0	13%	54.8	62.6	73.4	14%	0.003	-	0.002	-
	Flu	(%)	29.3	57.7	90.4	42%	55.0	100.0	100.0	27%	55.0	100.0	100.0	27%	25.0	25.0	25.0	0%	0.001	-	0.002	-
	Phe	(%)	9.7	40.5	55.8	47%	35.8	100.0	100.0	36%	35.8	100.0	100.0	36%	2.8	5.1	9.6	52%	0.001	-	0.020	-
	Fih	(%)	3.3	14.9	53.4	94%	61.4	100.0	100.0	23%	61.4	100.0	100.0	23%	0.9	13.6	25.0	102%	0.000	-	0.004	-
	Pyr	(%)	3.2	20.1	58.6	88%	83.2	100.0	100.0	10%	83.2	100.0	100.0	10%	2.2	25.0	35.7	64%	0.000	-	0.002	-
	BaA	(%)	0.0	0.0	18.8	189%	55.0	100.0	100.0	27%	55.0	100.0	100.0	27%	25.0	25.0	25.0	0%	0.000	-	0.002	-
	Chr	(%)	0.0	1.4	14.5	137%	55.0	100.0	100.0	27%	55.0	100.0	100.0	27%	5.2	25.0	25.0	49%	0.000	-	0.001	-
	BbF	(%)	0.0	0.0	18.4	176%	55.0	100.0	100.0	27%	55.0	100.0	100.0	27%	25.0	25.0	25.0	0%	0.000	-	0.002	-
	BkF	(%)	0.0	0.0	25.0	137%	55.0	100.0	100.0	27%	55.0	100.0	100.0	27%	25.0	25.0	25.0	0%	0.000	-	0.002	-
	BaP	(%)	0.0	12.5	25.0	110%	55.0	100.0	100.0	27%	55.0	100.0	100.0	27%	25.0	25.0	25.0	0%	0.000	-	0.002	-
	IP	(%)	0.0	25.0	25.0	91%	55.0	100.0	100.0	27%	55.0	100.0	100.0	27%	25.0	25.0	25.0	0%	0.000	-	0.002	-
	Bper	(%)	0.0	18.2	62.0	121%	55.0	100.0	100.0	27%	55.0	100.0	100.0	27%	25.0	25.0	25.0	0%	0.000	-	0.002	-
	ZHAP légers	(%)	6.1	32.3	78.8	72%	38.4	100.0	100.0	33%	14.3	29.4	49.3	42%	13.8	25.5	43.6	48%	0.009	-	0.012	-
	ZHAP Lourds	(%)	5.6	11.1	32.1	76%	55.8	100.0	100.0	27%	18.8	25.0	31.3	20%	19.1	22.1	25.0	15%	0.000	-	0.001	-
	Z16HAP	(%)	8.1	25.9	53.8	62%	47.0	100.0	100.0	31%	17.3	28.7	33.7	23%	16.3	22.8	33.2	29%	0.005	-	0.007	-
PBDE	B183	(%)	0.0	0.1	92.0	199%	7.9	44.7	96.3	71%	18.4	32.6	84.5	65%	24.5	41.3	88.7	58%	0.269	33.3	0.865	39.6
	B205	(%)	4.0	21.6	51.7	94%	2.1	24.6	94.3	109%	3.7	34.3	62.5	88%	3.1	64.1	82.5	71%	0.814	34.8	0.651	35.2
	B209	(%)	1.0	2.7	45.8	153%	0.3	13.7	82.8	137%	2.6	38.9	83.5	91%	4.5	18.2	67.2	103%	0.396	13.4	0.903	17.9
	Z6PBDE	(%)	10.9	24.6	53.1	60%	3.1	9.8	57.6	113%	8.9	20.9	39.0	56%	11.4	26.7	37.7	51%	0.509	20.1	0.462	16.7

### E3.5.2. Comparaison « entrée » / « sortie » pour les sites décentralisés et centralisé

L'étude de la proportion en phase dissoute des polluants à l'exutoire des sites de gestion des eaux pluviales (les « sorties ») en comparaison de leurs références respectives (les « entrées ») nous permet de mettre en avant certains comportements vis-à-vis de groupes de micropolluants spécifiques.

Les Figure 26 à Figure 30 montrent la comparaison entre la répartition de la fraction dissoute (rapport concentration en phase dissoute / concentration en phase totale) entre les effluents issus des références à l'entrée du bassin de rétention (DjR Entrée) et du parking traditionnel (noté Asphalte) et celle obtenue respectivement à la sortie du bassin et aux systèmes munis de la CSR et de la tranchée et de la noue. Sur ces graphiques figure également la première bissectrice. Les points au-dessus de cette 1<sup>ère</sup> bissectrice montre par exemple que les MP en sortie sont davantage en phase dissoute qu'en « entrée ».

Pour les ETM comme pour les HAPs et les PBDE, on observe que les phases en sortie des ouvrages de gestion à la source sont plutôt plus dissoutes que celles à l'exutoire du parking traditionnel. Les points sont en effet majoritairement au-dessus de la 1<sup>ère</sup> bissectrice. C'est particulièrement vrai pour les HAPs à l'exutoire de la CSR et de la Tranchée. C'est un peu moins vrai pour le bassin de retenue dont les points restent en majorité dans le quart inférieur du graphe et qui sont également plus proche de la 1<sup>ère</sup> bissectrice indiquant des entrées et des sorties particulières.

Deux phénomènes sont alors possibles pour expliquer ces différences de phases :

- Une rétention des polluants en phase particulaire importante pour les sites à la source par filtration (filtration mécanique, adsorption sur les substrats, ...). La pollution majoritaire à l'exutoire des systèmes est alors issue de la portion dissoute liée aux apports. Cette explication est rendue plus plausible car on respecte ici la hiérarchie des sites à gérer les MES observée dans le sous-chapitre précédent.
- Un changement de phase des composés peut s'opérer lors du transit de l'eau par les systèmes, passant alors de phase particulaire à phase dissoute. Cette possibilité pourrait être envisagée pour tous les sites notamment ceux qui ont des temps de séjour pouvant être longs (voir les lag-times). Mais nous n'avons pas de possibilité de vérifier cette hypothèse en l'état de nos données.

On remarque que le bisphénol A et dans une moindre mesure les alkylphénols, sont majoritairement en phase dissoute en entrée et restent en phase dissoute. A nouveau, le bassin de rétention montre des proportions dissoutes proches de la bissectrice indiquant moins de changement de phase en proportion.

Les pesticides ont un comportement plus erratique : tantôt très particulaire en sortie tantôt très dissous comme en entrée. Les concentrations sont cependant faibles rendant la partition dissous - particulaire peut-être peu fiable notamment en sortie.

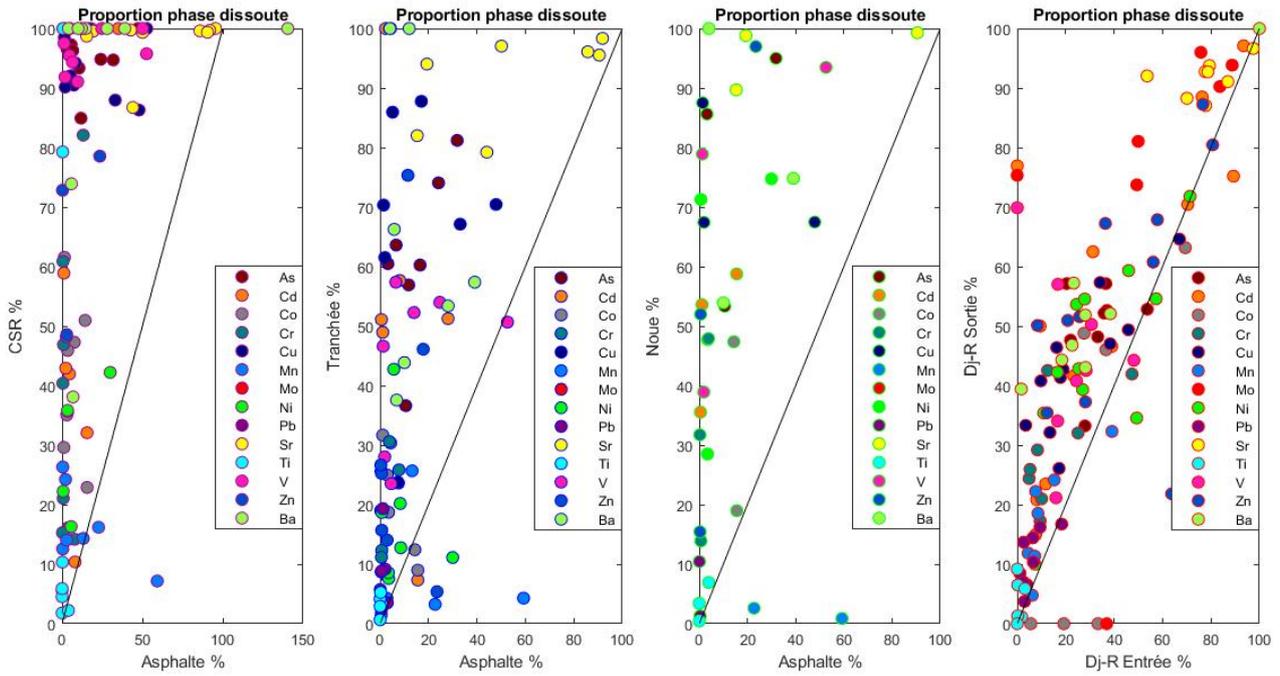


Figure 26. Fraction dissoute (en %) pour les ETM pour tous les sites

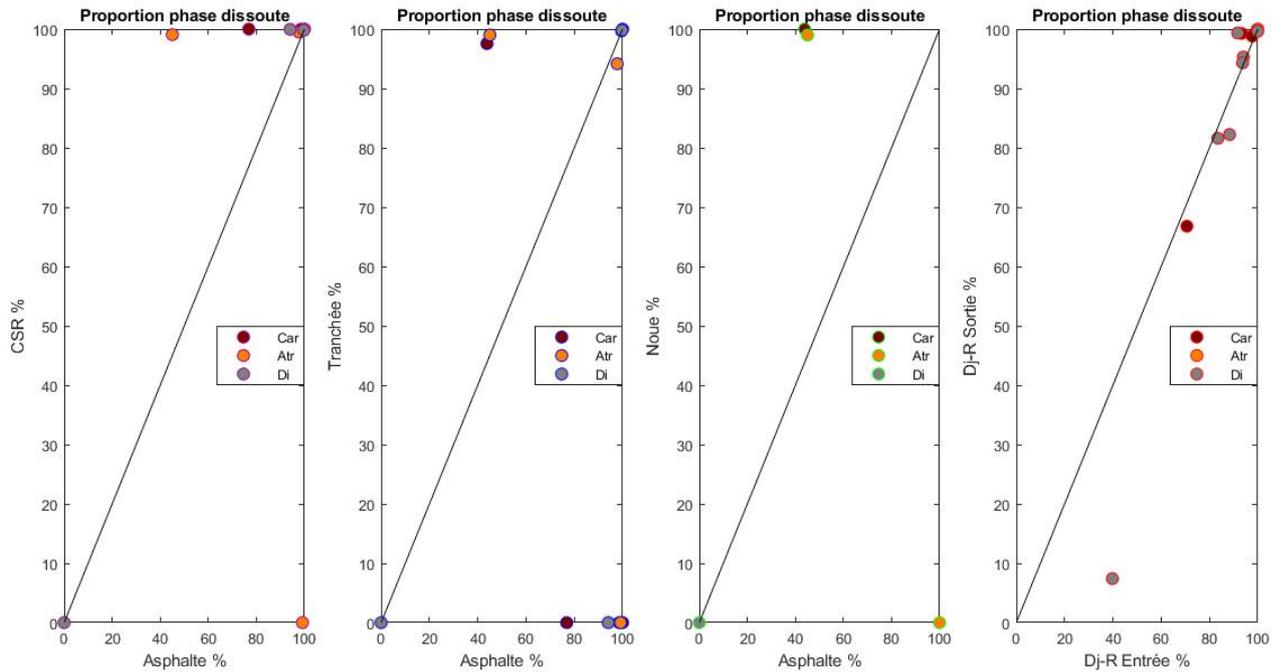


Figure 27. Fraction dissoute (en %) pour les pesticides pour tous les sites

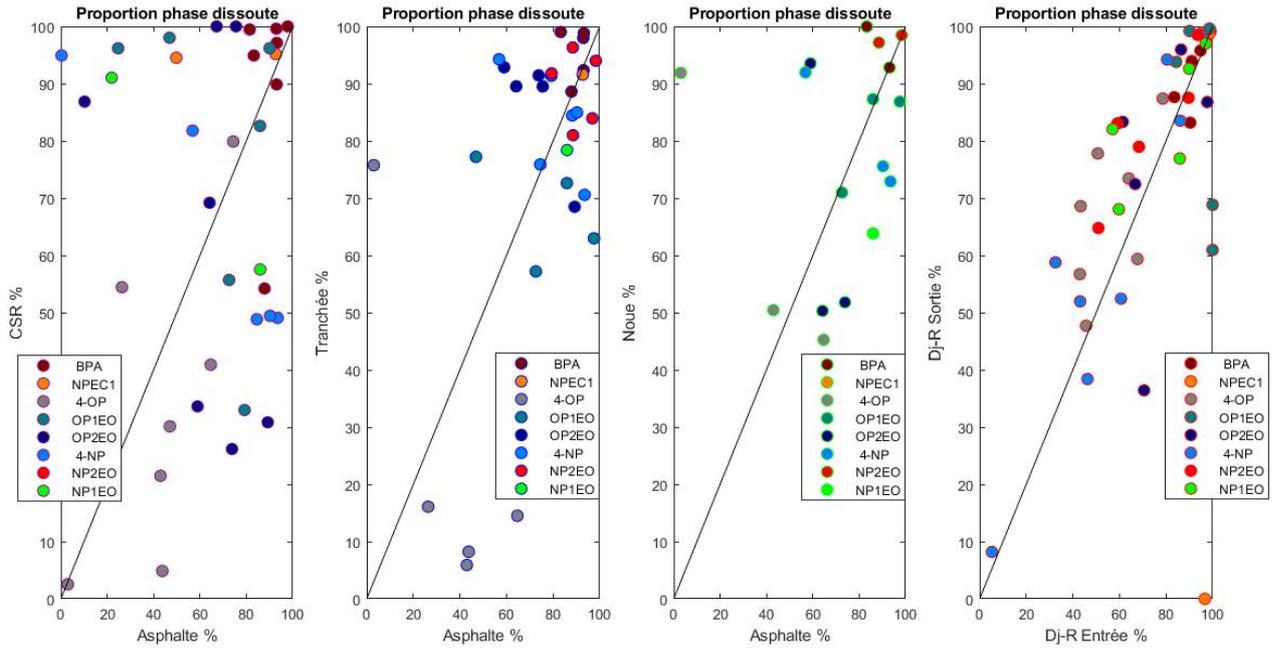


Figure 28. Fraction dissoute (en %) pour le bisphénol A et les alkylphénols pour tous les sites

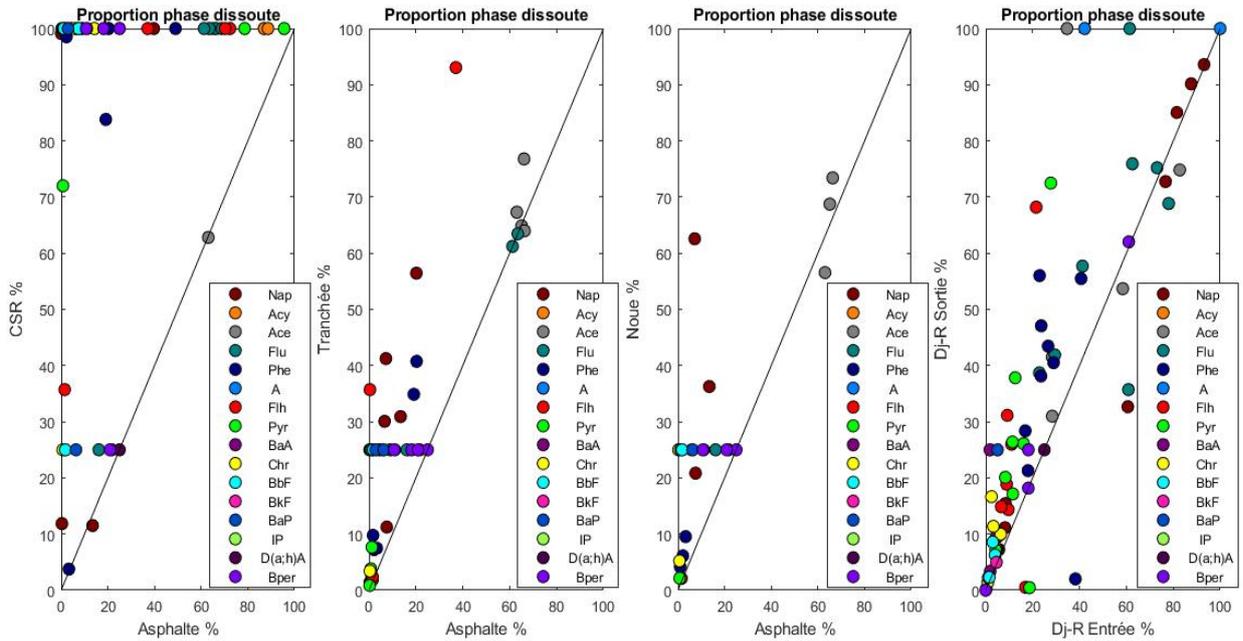


Figure 29. Fraction dissoute (en %) pour les HAPs pour tous les sites

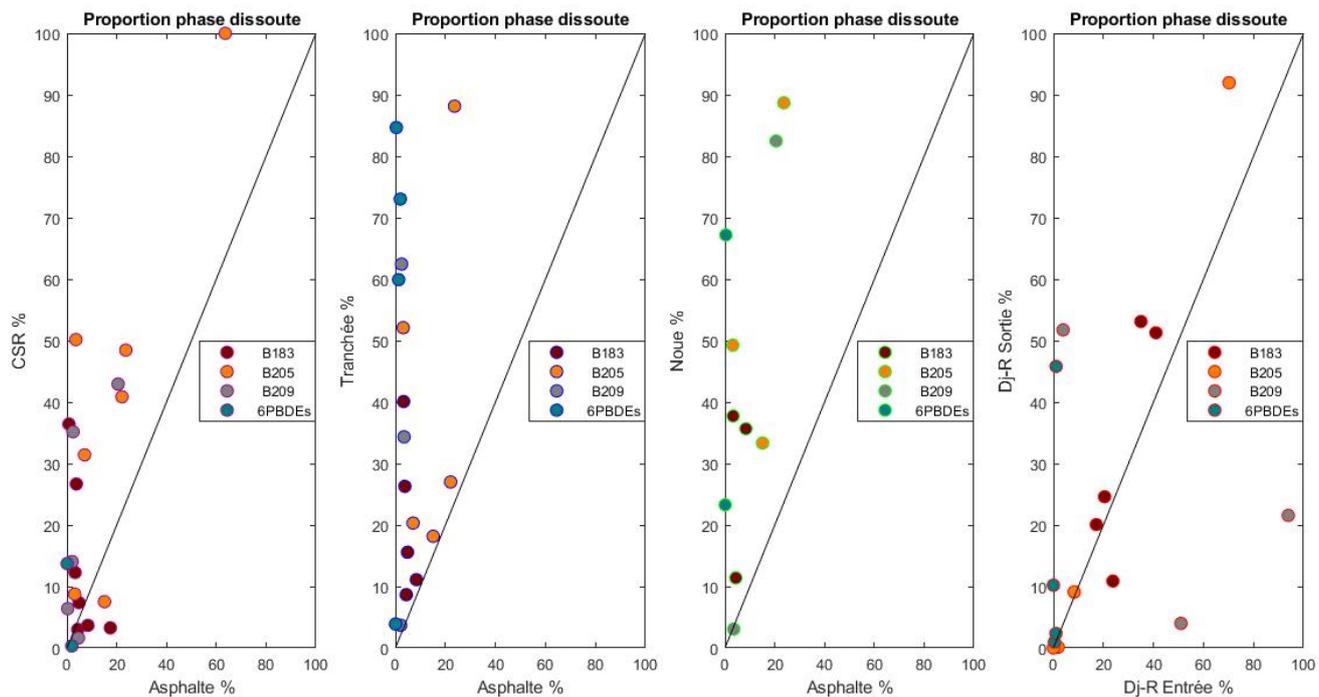


Figure 30. Fraction dissoute (en %) pour les PBDEs pour tous les sites

### E3.4. Abatement des micropolluants en concentration et en masse (en phase totale)

Les Figures 31 à 51 donnent les boxplots des efficacités en concentration et en masse des différents MP sur les différents sites. La ligne magenta indique la limite 50 % et la bleue 0 %, matérialisant la limite relargage / abattement de polluants.

#### MES

Les abattements en masse sont meilleurs en masse qu'en concentration (Figure 31). Le bassin de retenue qui n'abat pratiquement rien en termes de volumes restent autour 50 % en médiane, mais toujours positif. Nous savons que le bassin de retenue voit son efficacité en matière de piégeage de MES décroître au cours du temps. Cela a été démontré sur le long terme via le suivi en continu des MES sur le site Django Reinhardt par Gonzalez-Merchan (2012). Le bassin reste cependant ici, trois à quatre ans après curage, à un bon niveau d'efficacité pour le piégeage des matières solides.

Les abattements des systèmes à la source sont meilleurs aussi bien en concentration qu'en masse et atteignent des valeurs proches des 100 %. Ils filtrent très bien les matières en suspension au passage dans les ouvrages (béton drainant pour la CSR puis corps en granulats, corps en granulats pour la tranchée et en terre végétale pour la noue).

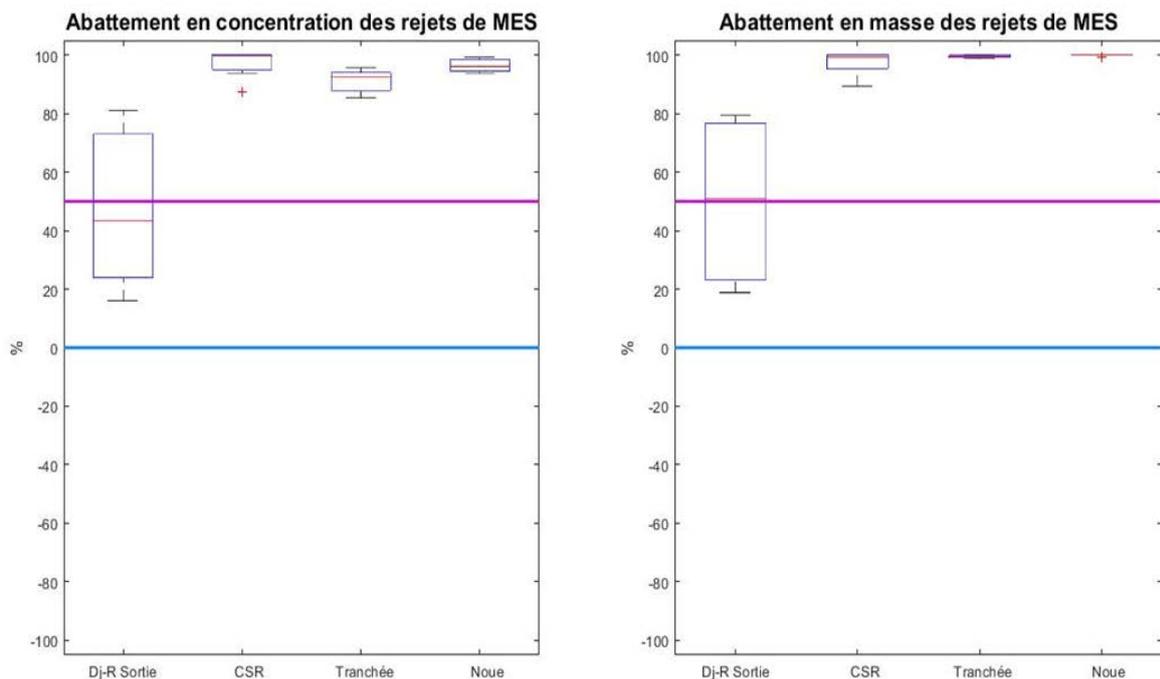


Figure 31. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les MES et pour tous les sites

## Métaux

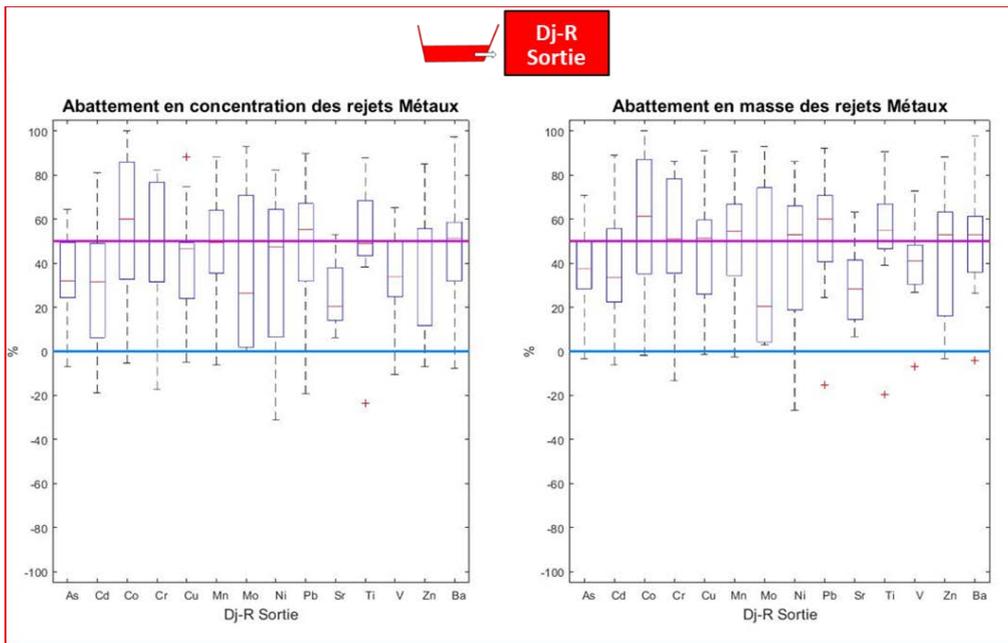


Figure 32. Abatements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les métaux et métalloïde pour le site centralisé (Bassin Django Reinhardt)

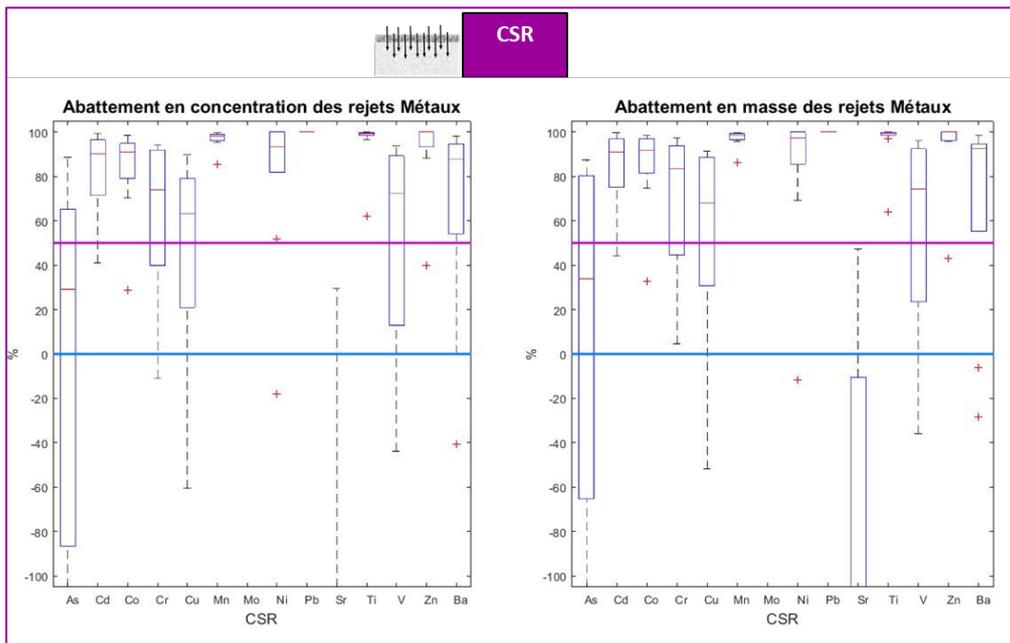


Figure 33. Abatements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les métaux et métalloïde pour la CSR

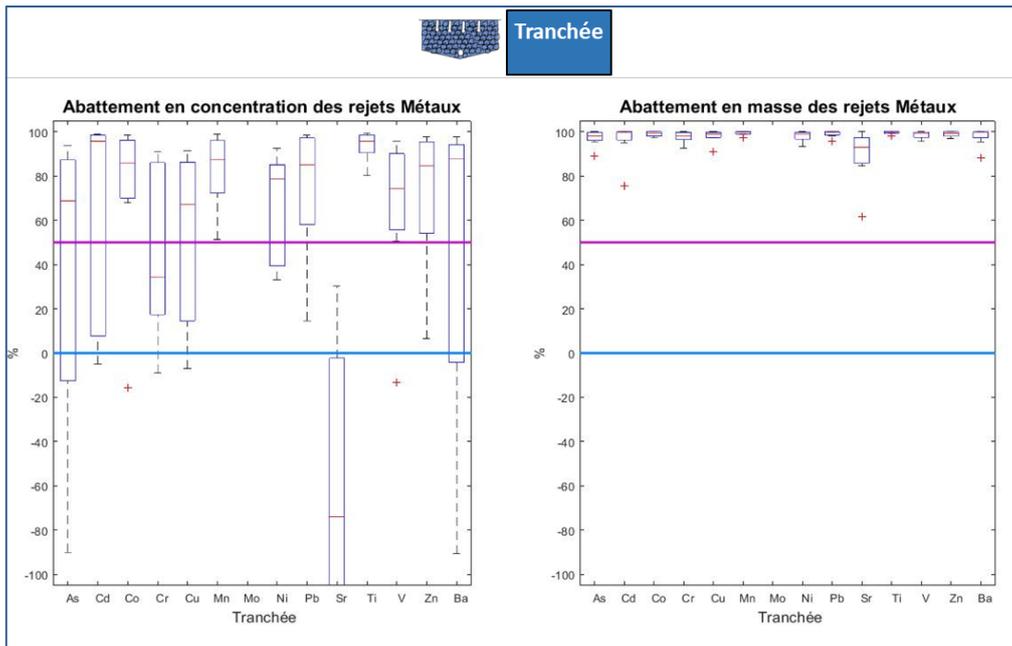


Figure 34. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les métaux et métalloïde pour le système muni de la tranchée

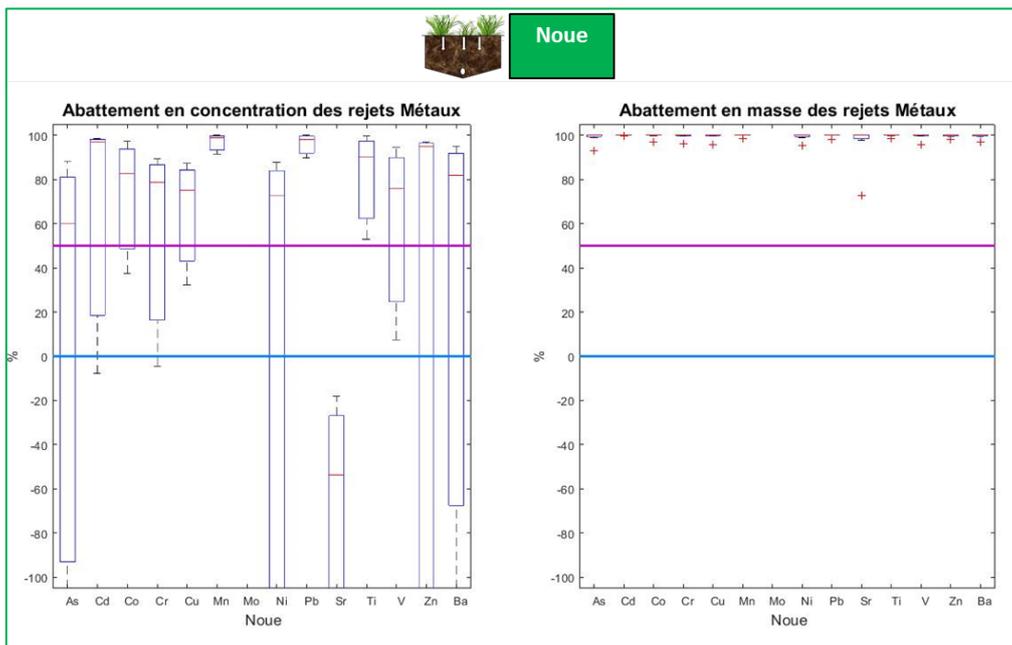


Figure 35. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les métaux et métalloïde pour le système muni de la noue

Là encore, les efficacités en masse sont meilleures pour les dispositifs qui abattent les volumes d'eau (tranchée, noue notamment).

Pour la majorité des métaux (y compris ceux pointés comme présentant des concentrations fortes comme Cr, Cu, Pb, Zn – cf. E3.2), les abattements médians en masse sont supérieurs ou égaux à 50 %

quels que soient les sites. L'ensemble des dispositifs sont donc assez efficaces. On peut constater également une grande variabilité par polluant.

Les abattements de la tranchée et de la noue sont très forts (> 80 %) et principalement lié à leur aptitude à abattre les volumes alors même qu'ils ont été étanchés en fond pour des raisons expérimentales.

Remarquons que la CSR et la tranchée relarguent en concentration du strontium très lié au calcaire format les substrats. La CSR qui n'abat pas beaucoup de volume comparé aux autres sites à la source relargue de l'arsenic tant en concentration qu'en masse. Il faudrait identifier les sources. On sait que l'arsenic provient des apports, mais on ne sait pas si la CSR stocke et relargue l'arsenic ou s'il provient aussi de sa composition (adjuvant au béton drainant par exemple).

L'arsenic qui avait été identifié comme présentant des concentrations notables en entrée quels que soient les systèmes, est abattu en masse avec une efficacité moyenne (médiane entre 30 et 40 %) pour le bassin et la CSR et très bien abattus pour les systèmes noue et tranchée. Il en est de même pour le cadmium pour le bassin de retenue dont l'efficacité en masse est > à 50 %.

## Pesticides

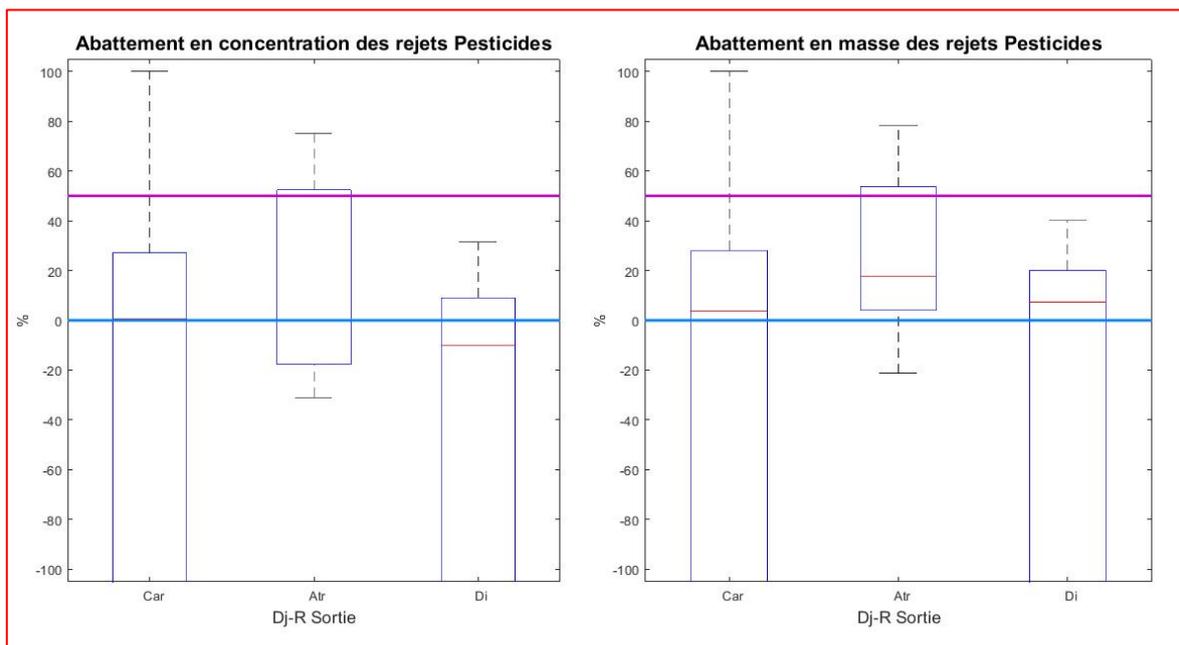


Figure 36. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les pesticides et pour le site centralisé (Bassin Django Reinhardt)

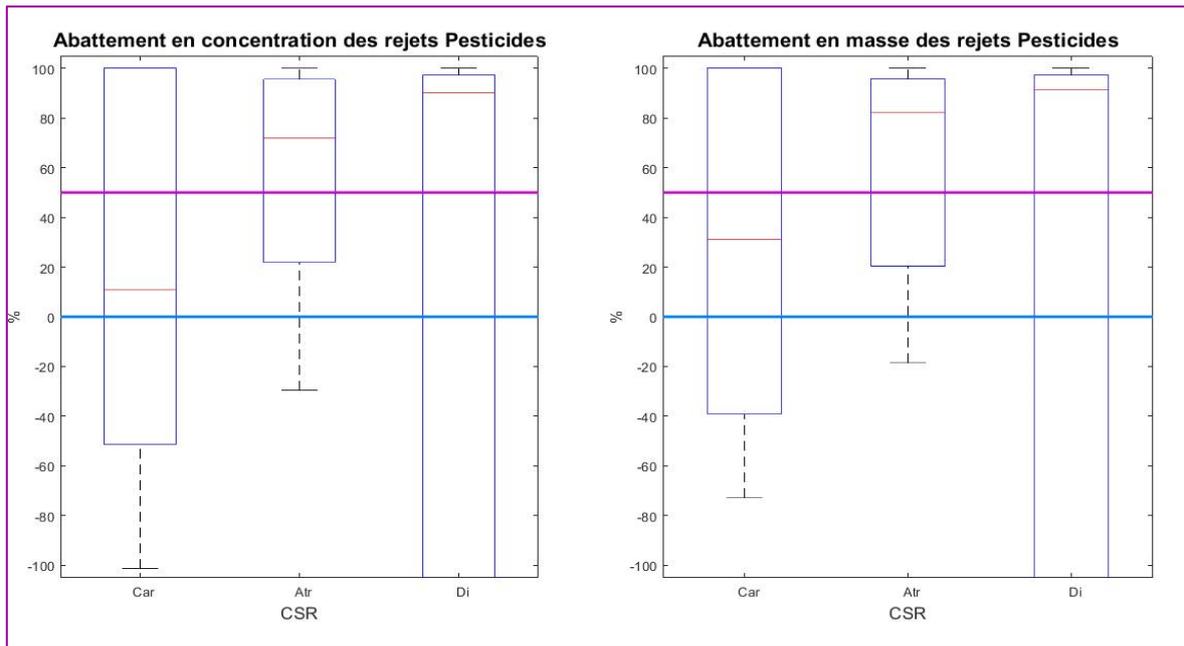


Figure 37. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les pesticides et pour la CSR

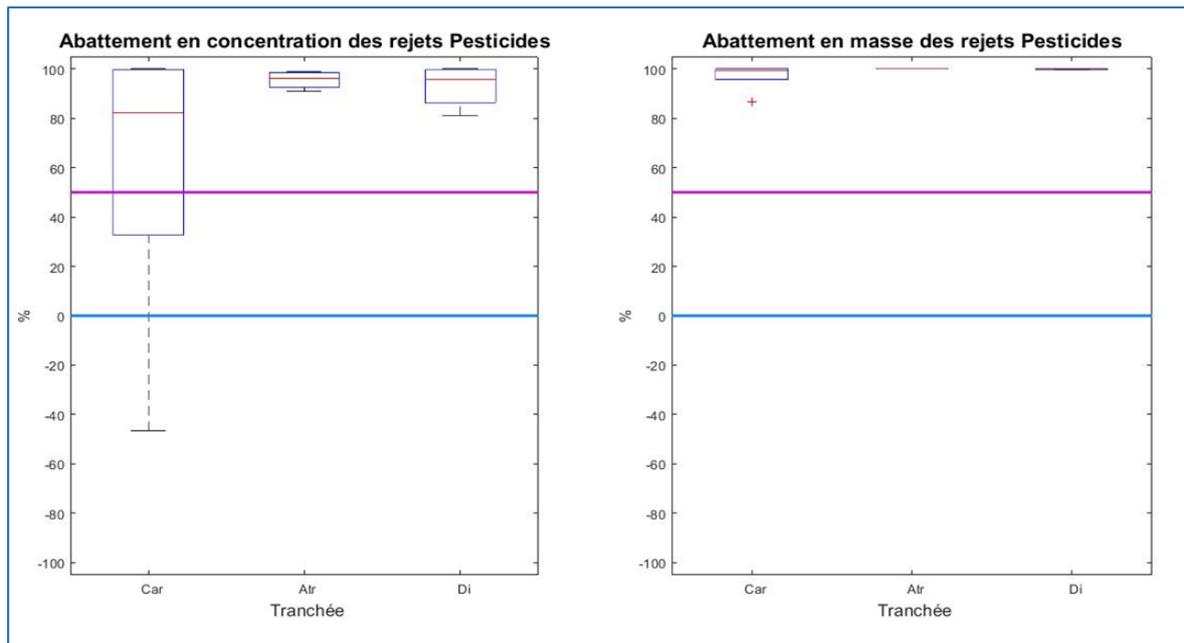


Figure 38. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les pesticides et pour le système muni de la tranchée

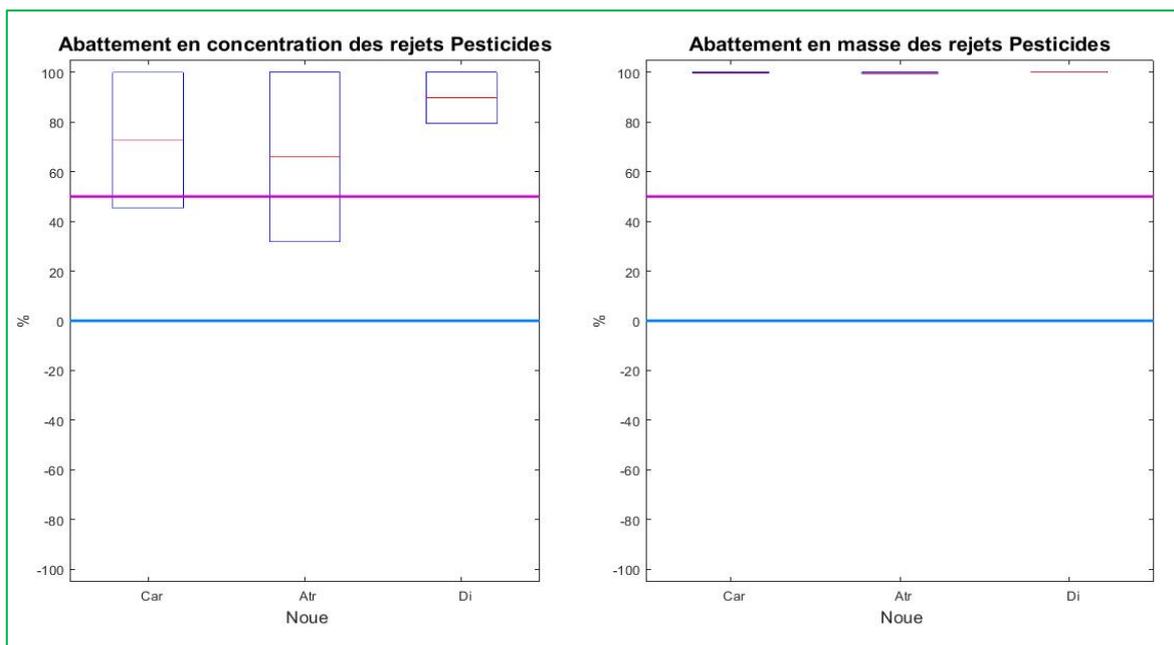


Figure 39. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les pesticides et pour le système muni de la noue

Pour le bassin de retenue, les efficacités sont très mauvaises (au mieux une efficacité médiane en masse <20 % pour l’atrazine) et extrêmement variables. Cela corrobore les travaux de Sébastien (2013) qui avait pointé les faibles capacités de ce bassin de retenue à piéger les pesticides. Leur forme est essentiellement dissoute, la décantation n’a pas d’influence sur leur piégeage.

Pour la CSR, les efficacités sont meilleures mais restent variables avec des cas de relargage.

En revanche, les dispositifs à la source piègent bien les pesticides, là encore en raison de l’abattement des volumes d’eau mais pas seulement. Les abattements de concentrations sont aussi plus élevés pour la noue et la tranchée que pour la CSR, la noue étant la plus efficace. L’effet filtration par un sol en terre végétale est probablement la cause principale.

## Alkylphénols et BPA

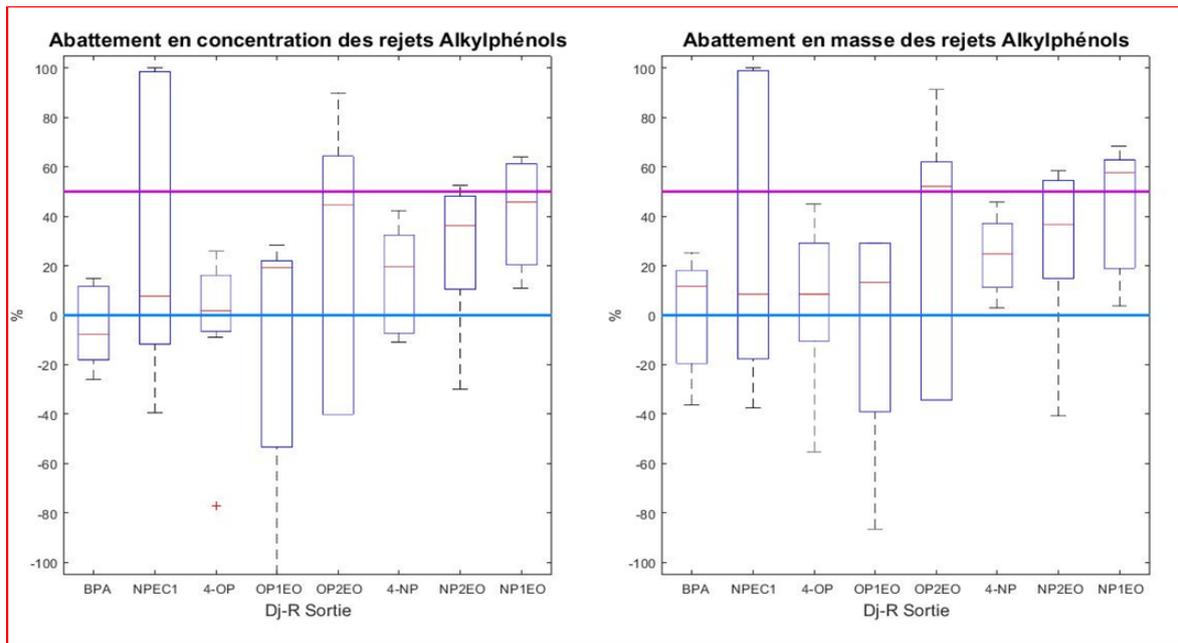


Figure 40. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour le BPA et les alkylphénols et pour le site centralisé (Bassin Django Reinhardt)

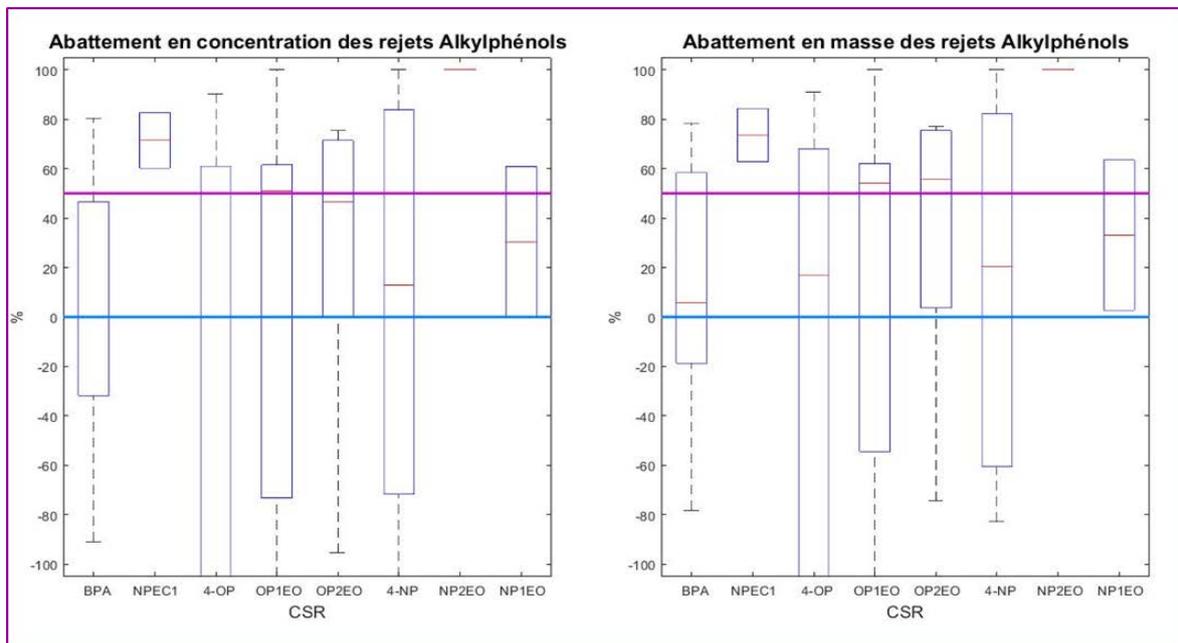


Figure 41. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour le BPA et les alkylphénols et pour la CSR

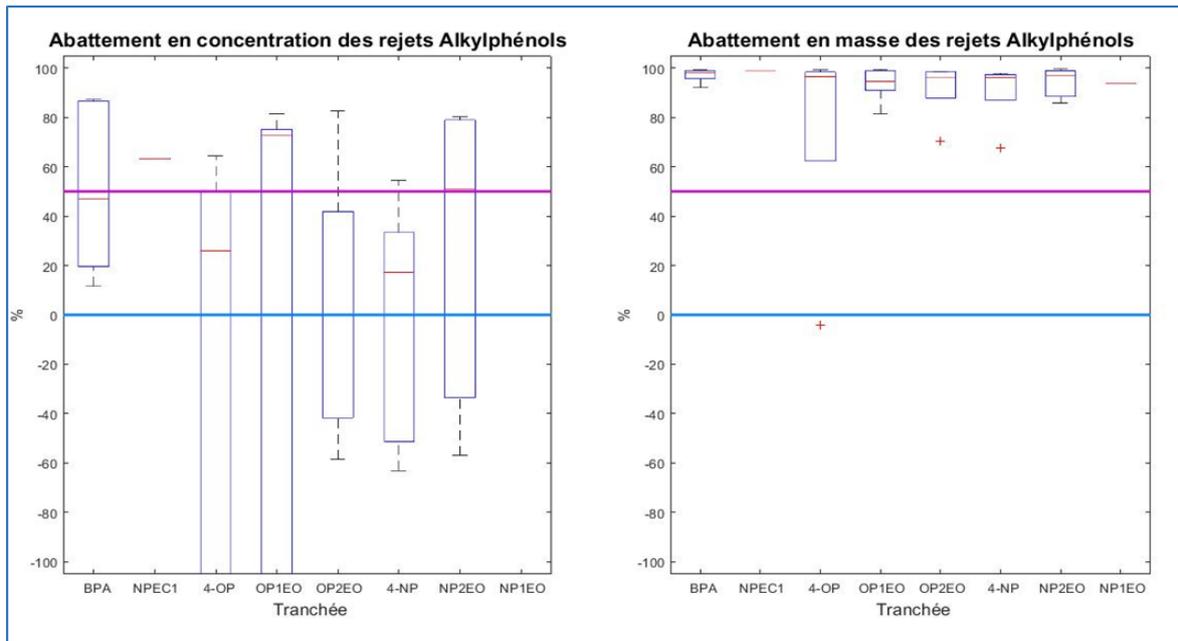


Figure 42. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour le BPA et les alkylphénols et pour le système muni de la tranchée

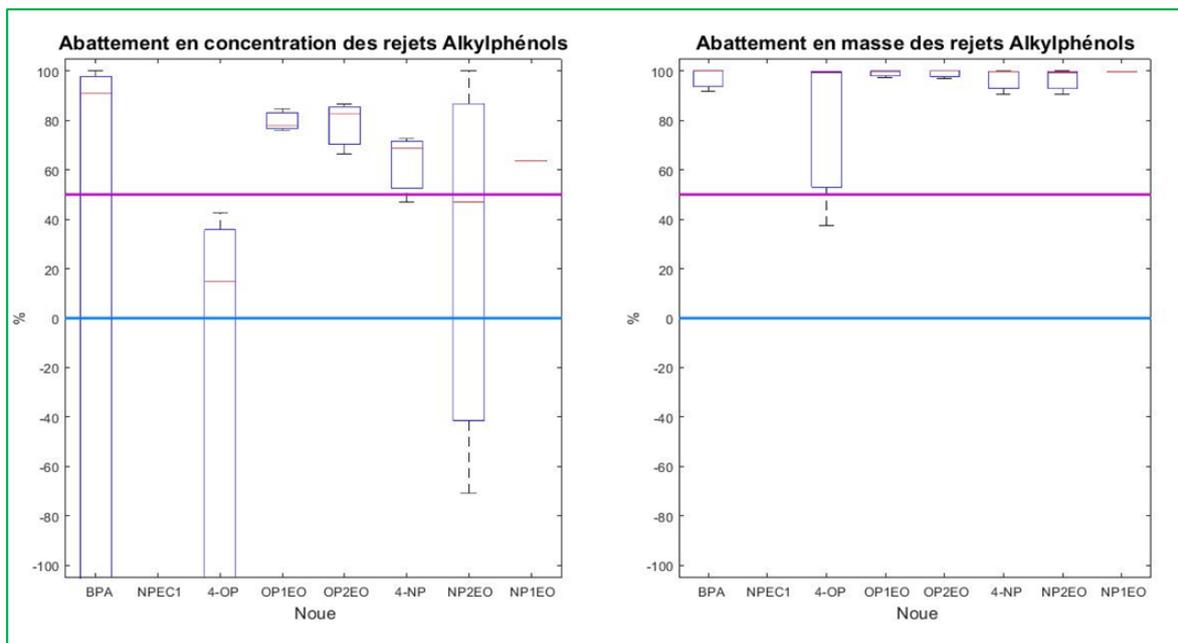


Figure 43. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour le BPA et les alkylphénols et pour le système muni de la noue

Les abattements médians, pour le bassin de retenue, sont positifs ou nuls mais peu élevés (en majorité inférieurs à 50 % en masse). C'est notamment le cas pour l'octylphénol-mono-éthoxylé ou 4-tert-octylphénol pointés comme pouvant présenter des concentrations élevées en entrée par rapport aux NQE (Cf. E3.2).

Pour la CSR les abattements médians sont variables d'un MP à l'autre (quelques pourcents à 70 %) avec une variabilité grande pour chaque polluant.

Là encore, les systèmes munis de la noue et de la tranchée ont des efficacités en masse supérieures à 80 %.

## HAP

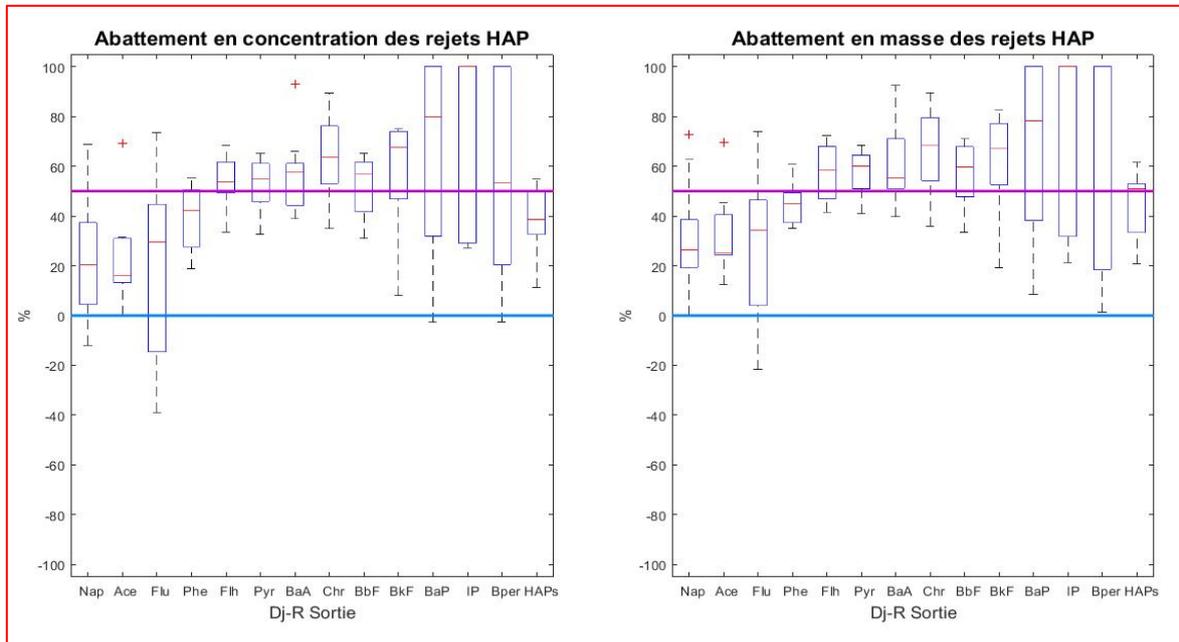


Figure 44. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les HAP et pour le site centralisé (Bassin Django Reinhardt)

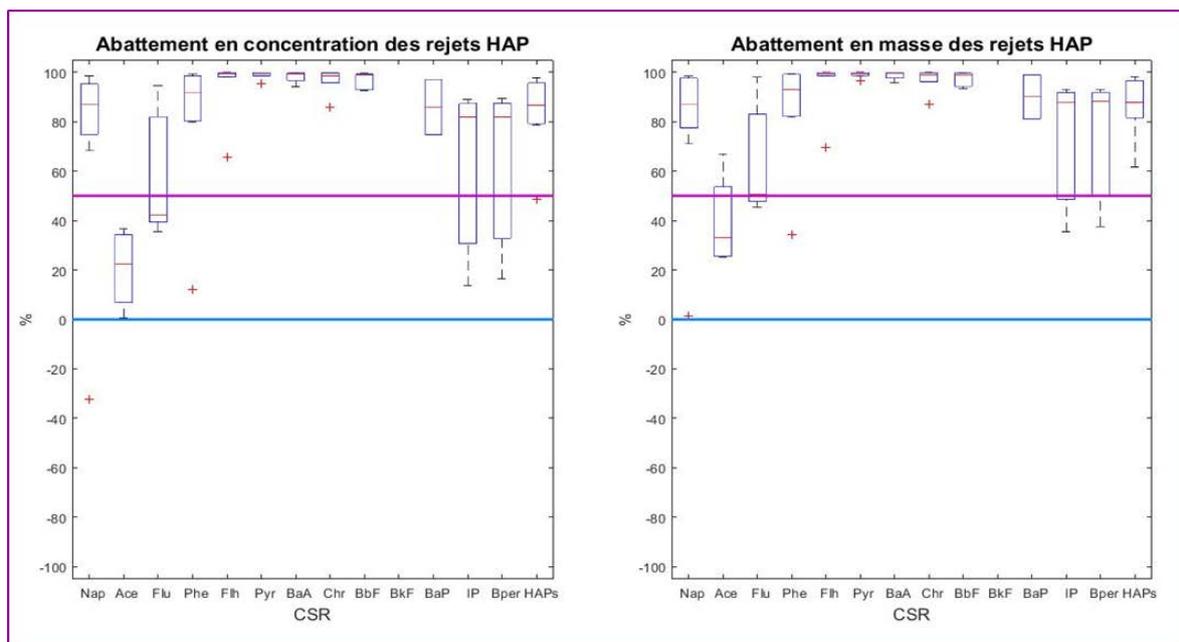


Figure 45. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les HAP et pour la CSR

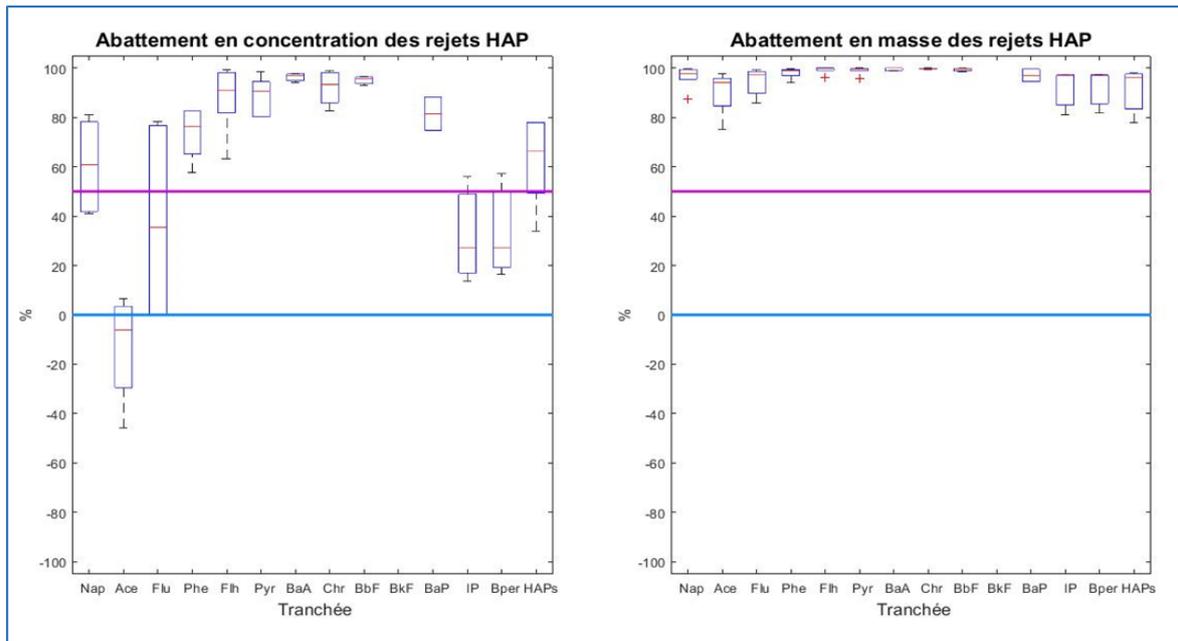


Figure 46. Abatements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les HAP et pour le système muni de la tranchée

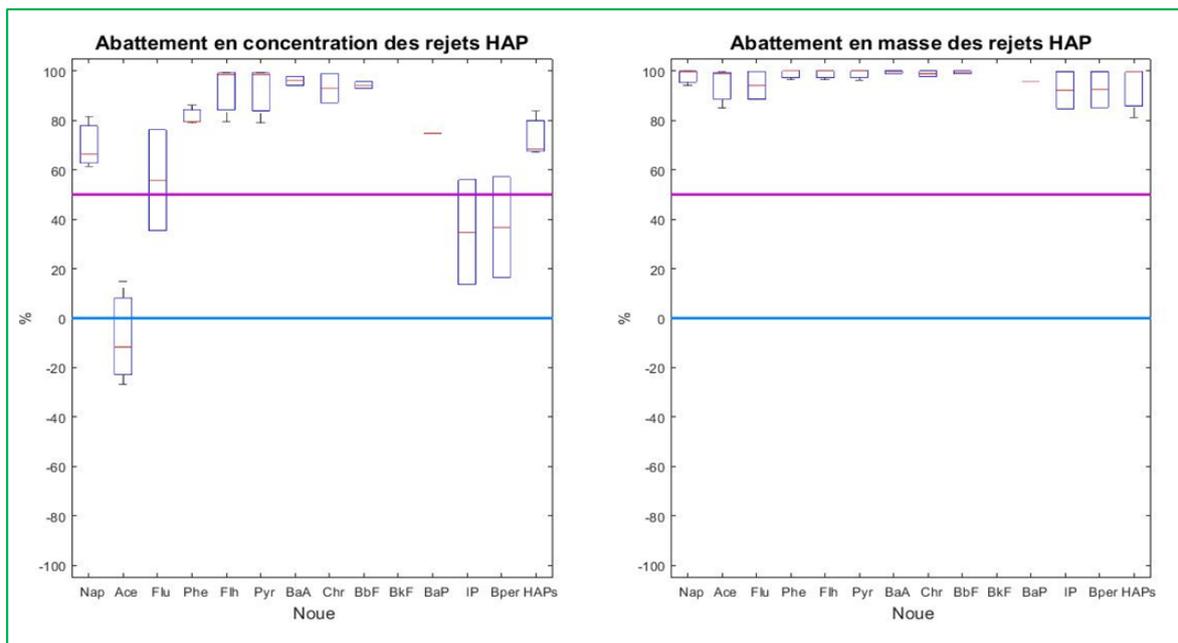


Figure 47. Abatements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les HAP et pour le système muni de la noue

On a pour les HAP les mêmes tendances. Les substances pointées comme pouvant présenter des concentrations élevées comme le fluoranthène, le benzo(b)fluoranthène ou le benzo(k)fluoranthène montrent, quels que soient les sites, des abatements supérieurs à 50 % et même très supérieurs pour tous les sites à la source (>80 %). En outre, pour le bassin de retenue, les HAPs légers sont moins bien abattus que les lourds qui sont davantage particulières et donc plus facilement piégeable par décantation. Le fluoranthène qui était en forte concentration en entrée est bien abattu (~60 % en médiane avec une faible variabilité).

**PBDE**

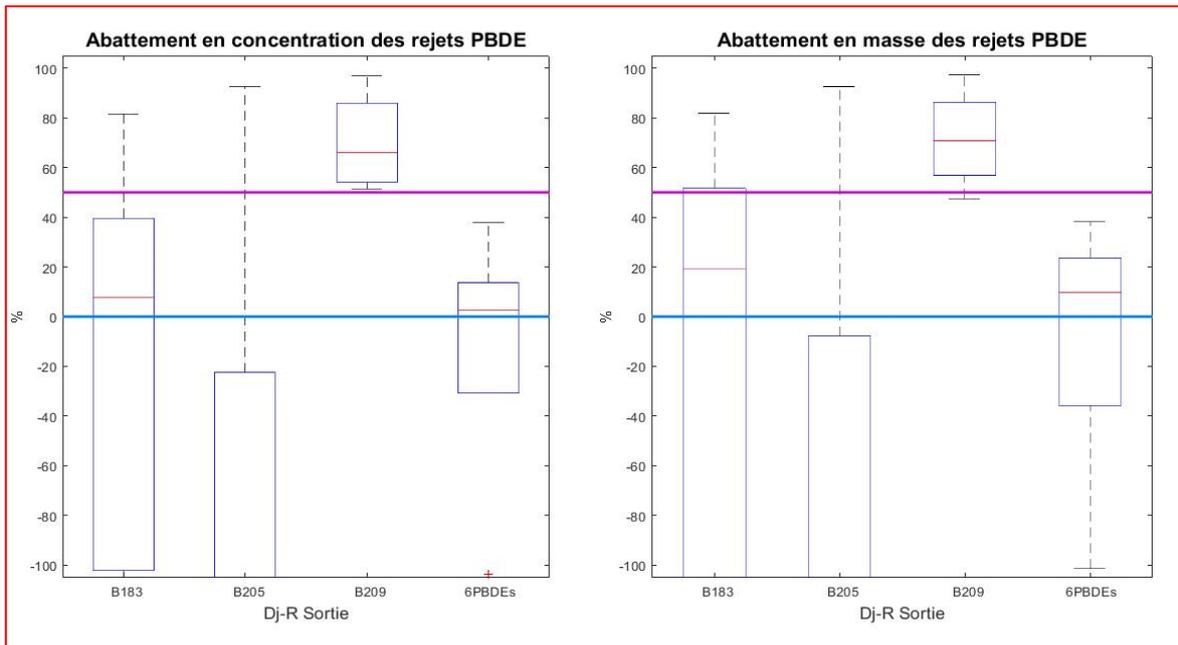


Figure 48. Abatements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les PBDE et pour le site centralisé (Bassin Django Reinhardt)

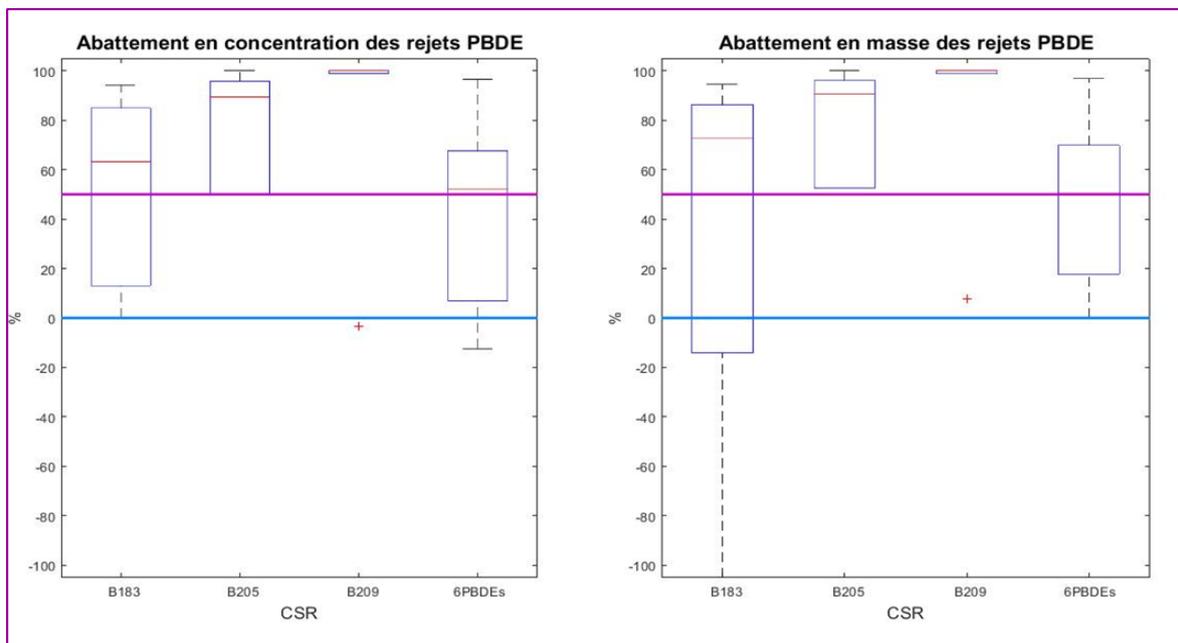


Figure 49. Abatements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les PBDE et pour la CSR

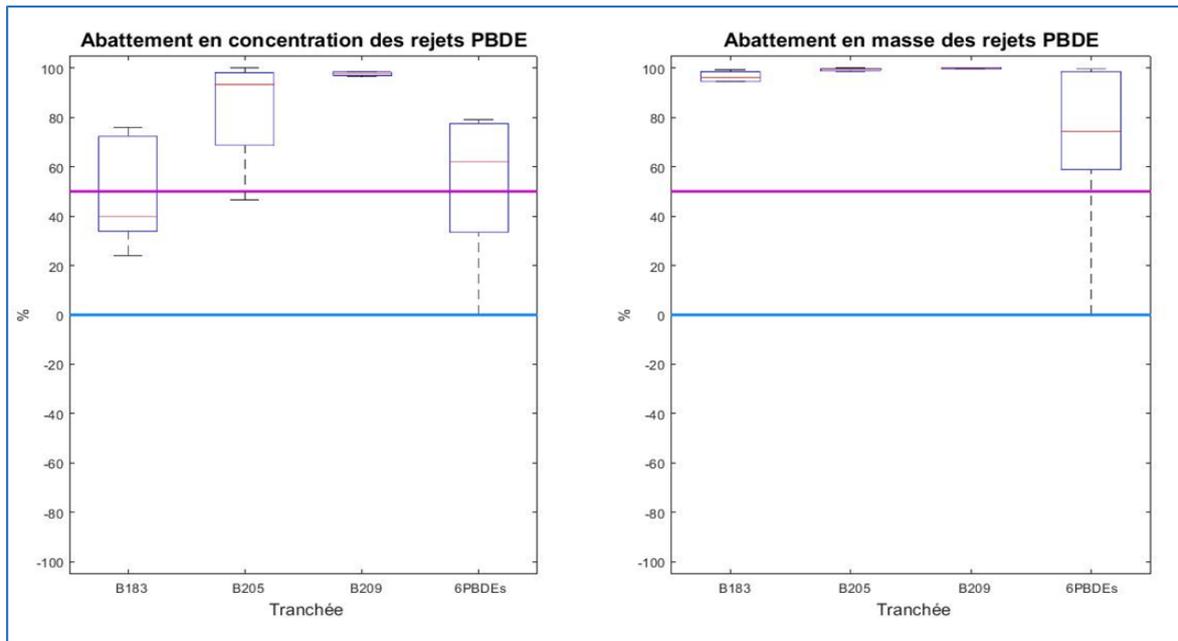


Figure 50. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les PBDE et pour le système muni de la tranchée

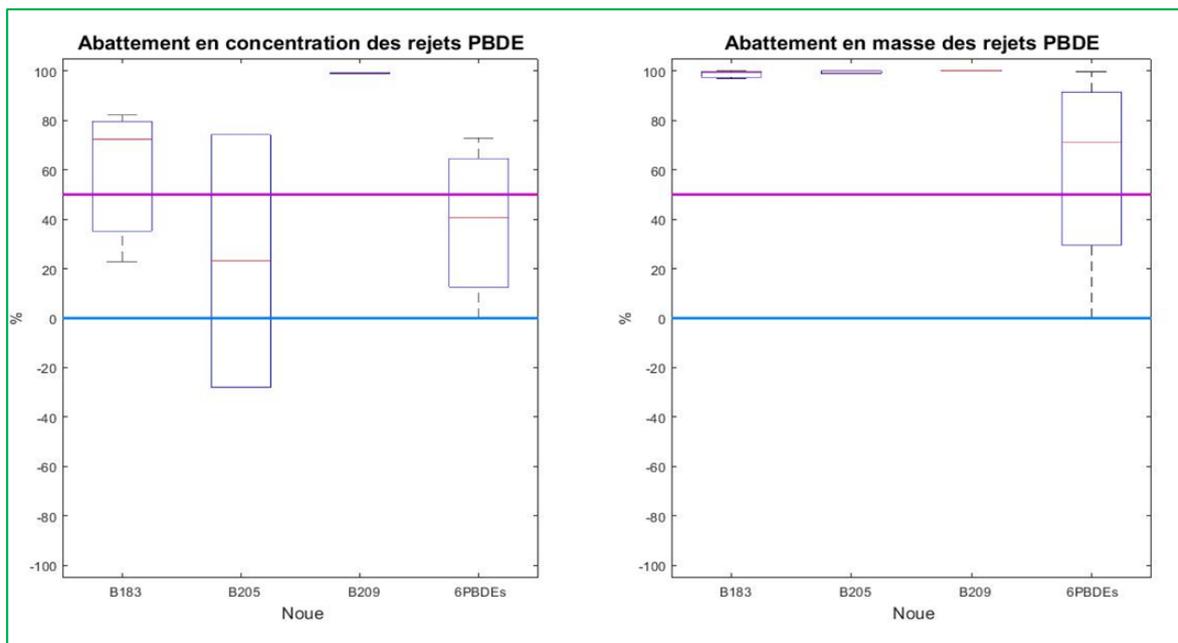


Figure 51. Abattements en concentration (à gauche) et masse (à droite) pour les PBDE et pour le système muni de la noue

Pour les PBDE, les mêmes tendances sont observables. Les abattements sont les meilleurs pour les dispositifs qui abattent du volume.

Sur le bassin de retenue, les PBDE sont très particulières pour le B183 et le B209 et les efficacités médianes sont meilleures que pour le B205 qui l'est à 50 %. La décantation joue son rôle.

## F. Campagnes photographiques et suivi visuel des usages

---

Une campagne photographique avait été effectuée au mois de février 2016 pour caractériser les usages des différents sites comportant des systèmes de gestion des eaux de pluies décentralisés. Cette campagne avait notamment permis de déterminer quelle noue « d'apport » à proximité des sites « Noue » et « Tranchée » allait être potentiellement la plus adaptée pour une instrumentation en entrée.

Le compte rendu de la première campagne est disponible à l'Annexe H. Cette même annexe fournit aussi un ensemble d'observations de la vie des dispositifs.

## G. Synthèse

---

L'abattement des MP montre que les dispositifs à la source réduisant les volumes sont plus efficaces que les systèmes qui n'en abattent pas ou moins. Les stratégies de limitation des volumes (comme par exemple gérer *in situ* les 15 premiers mm de pluie comme proposé par la métropole de Lyon) est une bonne pratique qui va dans le bon sens pour la gestion des polluants.

Les ouvrages à la source basés sur la filtration sont plus efficaces. Cela est corroboré par les résultats des autres programmes (Matriochkas et Roulépur) dont une synthèse croisée est donnée dans Gromaire et al. (2019).

Les substrats végétalisés, comme celui de la noue, donnent de très bons résultats en matière de piégeage des MP. Vient ensuite le système muni de la tranchée puis, la CSR.

Les dispositifs centralisés bien que moins efficaces, mais le sont malgré tout pour les métaux et les HAP. Leur efficacité est plus discutable sur les alkylphénols et le BPA et davantage encore pour les pesticides.

## H. Références bibliographiques

---

- Abbott, C. L., and L. Comino-Mateos (2003). In-situ hydraulic performance of a permeable pavement Sustainable Urban Drainage System. *Water and Environmental Management Journal* 17(3): 187-190
- Agence de l'eau Seine-Normandie, Aquascop, 2008. Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du bassin Seine-Normandie. Éd. AESN, Nanterre.
- Australian Government, 2011. Diuron - Environment assessment. Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority, Australia.
- Balades, J. D., Berga P. and Bourgogne P. (1998). Impact d'une tranchée drainante par temps de pluie. Third International Conference on Innovative Technologies in Urban storm Drainage, Novatech 1998, 4-6 may 1998, Lyon., France.
- Barbosa, A.E., Fernandes, J.N., David, L.M., 2012. Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water Res., Special Issue on Stormwater in urban areas* 46, 6787-6798. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.029>
- Barraud, S., Perrodin, Y., Le Coustumer, S., Delolme, C., Winiarski, T., Bedell, J.-P., Gibert, J., Malard, F., Mermillod-Blondin, F., Gourdon, R., Desjardins, V., Brelot, E., Bacot, L., 2006. Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain (Guide technique), MGD Infiltration.

- Becouze-Lareure, C., 2010. Caractérisation et estimation des flux de substances prioritaires dans les rejets urbains par temps de pluie sur deux bassins versants expérimentaux (Thèse de Doctorat). Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon.
- Belizario, P., Scalize, P., Albuquerque, A., 2016. Heavy Metal Removal in a Detention Basin for Road Runoff. *Open Eng.* 6. <https://doi.org/10.1515/eng-2016-0060>
- Bergue, J.-M., Ruperd, Y., 1995. Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales. Tec & Doc-Lavoisier, Paris.
- Bertrand-Krajewski, Chebbo G., Joannis C. (2000) Mesure en hydrologie urbaine et assainissement. Tech & Doc editions, Lavoisier, Paris, 774 p.
- Birch, H., 2012. Monitoring of priority pollutants in dynamic stormwater discharges from urban areas (Thèse de Doctorat). Technical University of Denmark (DTU), Danmark.
- Booth, D.B., Leavitt, J., 1999. Field Evaluation of Permeable Pavement Systems for Improved Stormwater Management. *J. Am. Plann. Assoc.* 65, 314–325. <https://doi.org/10.1080/01944369908976060>
- Brattebo, B.O., Booth, D.B., 2003. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water Res.* 37, 4369–4376. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00410-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00410-X)
- Bressy, A., 2010. Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines : effets de différents modes de gestion à l'amont (phdthesis). Université Paris-Est.
- Carpenter, J.F., Vallet, B., Pelletier, G., Lessard, P., Vanrolleghem, P.A., 2014. Pollutant removal efficiency of a retrofitted stormwater detention pond. *Water Qual. Res. J.* 49, 124–134. <https://doi.org/10.2166/wqrjc.2013.020>
- Cachard N. (2019). Comparaison des flux annuels de micropolluants produits en temps de pluie à l'exutoire de bassins versants munis ou non de solutions à la source -L'exemple du campus Lyon-Tech La Doua. Projet d'Initiation à la Recherche & Développement – Département Génie Civil et Urbanisme – INSA Lyon. 70 p.
- Chocat, B., 1997. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Technique & Documentation-Lavoisier, Paris.
- Chocat, B., Bertrand-Krajewski, J.-L., Barraud, S., 2007. Eaux pluviales urbaines et rejets urbains par temps de pluie. *Tech. Ing. Gest. Eaux Par Collectiv. Territ. base documentaire : TIB444DUO.*
- Clary, J., Leisenring, M., Poresky, A., Earles, A., and Jones, J. (2011) BMP Performance Analysis Results for the International Stormwater BMP Database. *World Environmental and Water Resources Congress*, 441-449.
- Colandini, V., 1997. Effets des structures reservoirs a revêtement poreux sur les eaux pluviales : Qualité des eaux et devenir des métaux lourds. Université de Pau et des Pays de l'Adour, Pau.
- Davis, A.P., Hunt, W.F., Traver, R.G., Clar, M., 2009. Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs. *J. Environ. Eng.* 135, 109–117. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2009\)135:3\(109\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:3(109))
- De Becdelièvre, L., Clozel, B., Gaboriau, H., Seron, A., Come, J.-M., Kaskassian, S., Verjat, J.-L., Bedell, J.-P., Delolme, C., Perrodin, Y., Winiarski, T., Bacot, L., Soares, I., Barraud, S., Bertrand-Krajewski, J.-L., Cherqui, F., Desjardin-Blanc, V., Lipeme-Kouyi, G., Gibert, J., Herbreteau, B., Malard, F., Mermillod-Blondin, F., 2008. Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain. (Guide Technique), Programme ECOPLUIES.
- Dechesne, M., 2002. Connaissance et modélisation du fonctionnement des bassins d'infiltration d'eaux de ruissellement urbain pour l'évaluation des performances technique et environnementale sur le long terme (thesis). Lyon, INSA.
- Dierkes, C., Lucke, T., Helmreich, B., 2015. General Technical Approvals for Decentralised Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)—The Current Situation in Germany. *Sustainability* 7, 3031–3051. <https://doi.org/10.3390/su7033031>

- Ellis, J.B., Revitt, D.M., 1982. Incidence of heavy metals in street surface sediments: Solubility and grain size studies. *Water, Air, Soil Pollut.* 17, 87–100. <https://doi.org/10.1007/BF00164094>
- Flanagan, K., 2018. Evaluation de la rétention et du devenir d'un panel diversifié de micropolluants dans un ouvrage de biofiltration des eaux de ruissellement de voirie (Thèse de Doctorat). Université Paris-Est.
- Fletcher, T.D., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P.S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., Viklander, M., 2015. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water J.* 12, 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Gaspero, J., Sébastien, C., Ruban, V., Delamain, M., Percot, S., Wiest, L., Mirande, C., Caupos, E., Demare, D., Kessoo, M.D., Saad, M., Schwartz, J.J., Dubois, P., Fratta, C., Wolff, H., Moilleron, R., Chebbo, G., Cren, C., Millet, M., Barraud, S., Gromaire, M.-C., 2017. Contamination des eaux pluviales par les micropolluants : avancées du projet INOGEV. *Tech. Sci. Méthodes* 51–70. <https://doi.org/10.1051/tsm/201778051>
- Gaspero J., Sebastian C., Ruban V., Delamain M., Percot S., Wiest L., Mirande C., Caupos E., Demare D., Diallo Kessoo M., Saad M., Schwartz J.-J., Dubois P., Fratta C., Wolff H., Moilleron R., Chebbo G., Cren C., Millet M., Barraud S., Gromaire M.-C. (2014) Micropollutants in urban stormwater: occurrence, concentrations and atmospheric contribution for a wide range of contaminants on three French catchments. *Environmental Science and Pollution Research*. 21(8), 5267-5281. DOI: 10.1007/s11356-013-2396-0
- GeoSyntec Consultants, Urban Drainage and Flood Control District, Urban Water Resources Research Council of ASCE, 2009. Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. <http://www.bmpdatabase.org/Docs/2009%20Stormwater%20BMP%20Monitoring%20Manual.pdf> (consulté le 25/07/2019)
- Gonzalez-Merchan (2012). Amélioration des connaissances sur le colmatage des systèmes d'infiltration d'eaux pluviales. Thèse de doctorat. INSA de Lyon, France
- Grand Lyon (2008). Guide Pratique : Aménagement et eaux pluviales sur le territoire du Grand Lyon. [https://www.grandlyon.com/fileadmin/user\\_upload/media/pdf/eau/assainissement/20081021\\_gl\\_guidepratique\\_amenagementeauxpluviales.pdf](https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/assainissement/20081021_gl_guidepratique_amenagementeauxpluviales.pdf) (consulté le 10 mai 2018).
- Gromaire MC, Barraud S., Rodriguez F., Bak A., Branchu Ph, Castebrunet H., Flanagan K, Garnier R., Neveu P, Paupardin J, Ramier D., Ruban V., Seidl M, Thomas E, Varnède L.9(2019). How efficient are SUDS for micropollutant management? Feedback from Matriochkas, MicroMegas and Roulépur projects. *10<sup>th</sup> international conference NOVATECH*, 1-5 july 2019, 4 pages.
- Hatt, B.E., Fletcher, T.D., Deletic, A., 2009. Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale. *J. Hydrol.* 365, 310–321. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.001>
- Hoffman, E.J., Mills, G.L., Latimer, J.S., Quinn, J.G., 1984. Urban runoff as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons to coastal waters. *Environ. Sci. Technol.* 18, 580–587. <https://doi.org/10.1021/es00126a003>
- Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J., Haaning Nielsen, A., 2010. Urban and highway stormwater pollution: concepts and engineering. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Koch, P., 1967. Les Réseaux d'égouts : données d'établissement et de calcul, Dunod. ed. Dunod.
- Ladislav, S., 2011. Transfert de polluants au sein d'un ouvrage de traitement des eaux issues du ruissellement urbain - Mise au point d'un procédé de traitement complémentaire (thesis). Nantes, Ecole des Mines.
- Lampréa, D., 2009. Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains (Thèse de Doctorat). Ecole Centrale de Nantes (ECN).
- Le Bihanic, F., 2013. Effets des hydrocarbures aromatiques polycycliques sur les stades précoces de poissons modèles : développement de bioessais et étude comparée de mélanges. Université de Bordeaux 1.
- Le Coustumer, S.-M., 2008. Colmatage et rétention des éléments traces métalliques dans les systèmes d'infiltration des eaux pluviales (Thèse de Doctorat). Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

- Li, B., Sun, S.-J., Huo, C.-Y., Li, W.-L., Zhu, N.-Z., Qi, H., Kong, L.-J., Li, Y.-F., Ma, W.-L., 2016. Occurrence and fate of PBDEs and novel brominated flame retardants in a wastewater treatment plant in Harbin, China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 19246–19256. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7142-y>
- Lucke, T., Nichols, P.W.B., 2015. The pollution removal and stormwater reduction performance of street-side bioretention basins after ten years in operation. *Sci. Total Environ.* 536, 784–792. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.142>
- Markiewicz, A., Björklund, K., Eriksson, E., Kalmykova, Y., Strömvall, A.-M., Siopi, A., 2017. Emissions of organic pollutants from traffic and roads: Priority pollutants selection and substance flow analysis. *Sci. Total Environ.* 580, 1162–1174. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.074>
- Marsalek, J., Marsalek, P.M., 1997. Characteristics of sediments from a stormwater management pond. *Water Sci. Technol.* 36, 117–122. <https://doi.org/10.2166/wst.1997.0653>
- M.E.E.M, 2016. Guide technique - Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales.
- Miller, J.D., Kim, H., Kjeldsen, T.R., Packman, J., Grebby, S., Dearden, R., 2014. Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *J. Hydrol.* 515, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.011>
- Moura, P., 2008. Méthode d'évaluation des performances des systèmes d'infiltration des eaux de ruissellement en milieu urbain (Thèse de Doctorat). Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- Moy, F., Crabtree, R.W., Simms, T., Environment Agency, British Geological Survey, 2003. The long term monitoring of pollution from highway runoff: final report (No. P2- 038/TR1). Environment Agency, Bristol.
- Pagotto, C., Legret, M., Le Cloirec, P., 2000. Comparison of the hydraulic behaviour and the quality of highway runoff water according to the type of pavement. *Water Res.* 34, 4446–4454. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00221-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00221-9)
- Percot, S., 2012. Contribution des retombées atmosphériques aux flux de polluants issus d'un petit bassin versant urbain: Cas du Pin Sec à Nantes.
- Picon, M., 1987. La fixation du baryum et du strontium par les céramiques. *ArchéoSciences Rev. Archéom.* 11, 41–47. <https://doi.org/10.3406/arsci.1987.1236>
- Pitt, R., Clark, S., Field, R., 1999. Groundwater contamination potential from stormwater infiltration practices. *Urban Water* 1, 217–236. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(99\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(99)00014-X)
- Poszwa, A., 2000. Utilisation des isotopes du strontium pour évaluer la dynamique des éléments minéraux dans des écosystèmes forestiers sous climat boréal, tempéré et tropical (thesis). Nancy.
- Rossi L., Rumley L., Ort C., P. Minkkinen, Barry D. A., Chèvre N. (2011). Sampling helper a web-based tool to assess the reliability of sampling strategies in sewers and receiving waters. *Water Science and Technology.* 63(12):2975.
- Roy-Poirier, A., Champagne, P., Fillion, Y., 2010. Review of Bioretention System Research and Design: Past, Present, and Future. *J. Environ. Eng.* 136, 878–889. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000227](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000227)
- Sabin, L.D., Lim, J.H., Stolzenbach, K.D., Schiff, K.C., 2005. Contribution of trace metals from atmospheric deposition to stormwater runoff in a small impervious urban catchment. *Water Res.* 39, 3929–3937. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.07.003>
- Sage, J., 2016. Concevoir et optimiser la gestion hydrologique du ruissellement pour une maîtrise à la source de la contamination des eaux pluviales urbaines. Université Paris-Est.
- Scholes, L., Revitt, D.M., Ellis, J.B., 2003. Review of the use of stormwater BMPs in Europe, Daywater. Daywater project funded under EU FWTP5 contract no. EVK1-CT-2002-00111.

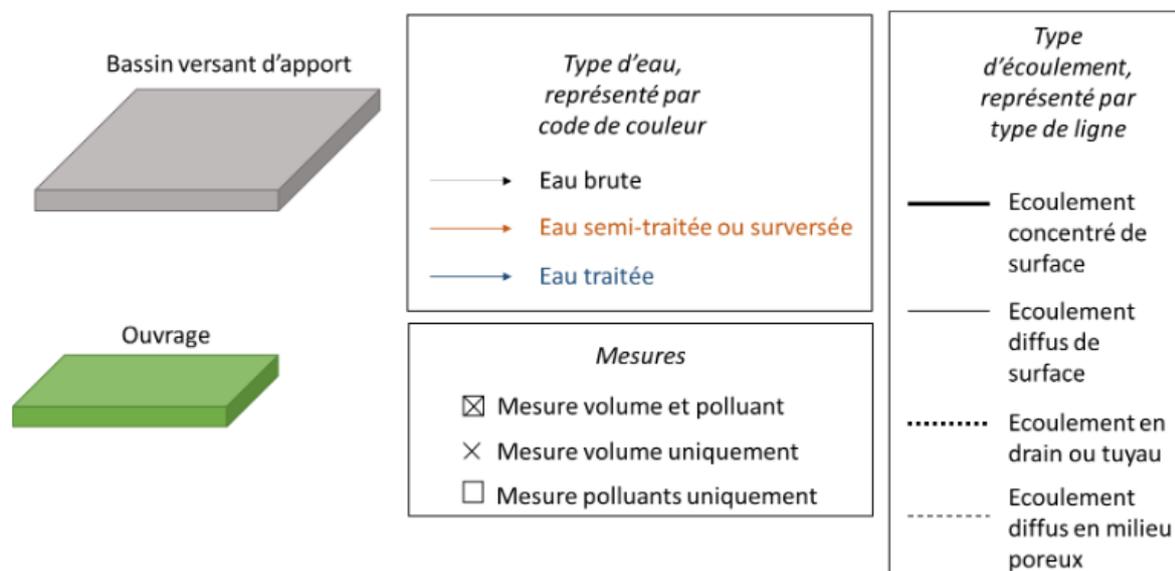
- Scholes, L., Revitt, M., Gasperi, J., Donner, E., 2008. Score PP - Priority pollutant behaviour in stormwater Best Management Practices (BMPs) (Deliverable No. Deliverable D5.1), Source Control Options for Reducing Emissions of Priority Pollutants.
- Sébastien, C., 2013. Bassin de retenue des eaux pluviales en milieu urbain : performance en matière de piégeage des micropolluants (Thèse de Doctorat). Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale (LGCIE).
- Sébastien C., Ruban V., Moilleron R., Barraud S., Chebbo G., Gromaire M-C., Lorgeoux C., Gasperi J., Cren C., Wiest L., Demare D., Millet M., Saad M., Percot S., Maro D. 2011. INOGEV project – an original French approach in micropollutant characterization assessment in urban wet weather effluents and atmospheric deposits. 12nd International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil, 10-15 September 2011 - 8 p.
- S.I.B.A, 2016. Présentation du Plan d'Aménagement et de Gestion Durable du Bassin d'Arcachon.
- Silva, A., Nascimento, N., Seidl, M., Vieira, L., 2010. SWITCH in Belo Horizonte, Brazil: infiltration and detention systems for more sustainable stormwater control in Belo Horizonte. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 9, 7–13. <https://doi.org/10.1007/s11157-010-9196-5>
- Sorin, C., 2015. RAPPORT DE PHASES I I ET III CAMPAGNE DE MESURES ET DIAGNOSTIC PLUVIAL (No. EAL 14 13-E). Balaruc les Bains.
- Stagge, J.H., Davis, A.P., Jamil, E., Kim, H., 2012. Performance of grass swales for improving water quality from highway runoff. *Water Res., Special Issue on Stormwater in urban areas* 46, 6731–6742. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.02.037>
- Straif, K., Baan, R., Grosse, Y., Secretan, B., Ghissassi, F.E., Coglianò, V., 2005. Carcinogenicity of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Lancet Oncol.* 6, 931–932. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(05\)70458-7](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(05)70458-7)
- Tedoldi, D., 2017. Mesure et modélisation de la contamination du sol dans les ouvrages de gestion à la source du ruissellement urbain (phdthesis). Université Paris-Est.
- Urbonas, B., 1994. Assessment of Stormwater BMPs and their Technology. *Water Sci. Technol.* 29, 347–353. <https://doi.org/10.2166/wst.1994.0682>
- Valiron, F., Tabuchi, J.-P., Agence Financière de Bassin Seine-Normandie, 1992. Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie: état de l'art. Tec & Doc - Lavoisier, Paris.
- Vandenberg, L.N., Colborn, T., Hayes, T.B., Heindel, J.J., Jacobs, D.R., Lee, D.-H., Shioda, T., Soto, A.M., vom Saal, F.S., Welshons, W.V., Zoeller, R.T., Myers, J.P., 2012. Hormones and Endocrine-Disrupting Chemicals: Low-Dose Effects and Nonmonotonic Dose Responses. *Endocr. Rev.* 33, 378–455. <https://doi.org/10.1210/er.2011-1050>
- Wałęga, A., Wachulec, K., 2018. Effect of a Retention Basin on Removing Pollutants from Stormwater: A Case Study in Poland. *Pol. J. Environ. Stud.* 27, 1795–1803. <https://doi.org/10.15244/pjoes/76797>
- Walcker N., Bertrand-Krajewski J.-L., Vacherie S., Lepot M., Castebrunet H., Barraud S. et Lipeme Kouyi G. (2018). Une nouvelle station de mesure pour l'acquisition de séries chronologiques en hydrologie urbaine, *TSM*, 3(2018), 55-64. DOI : <https://doi.org/10.1051/tsm/201803055>.
- Zgheib, S., 2009. Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire (Thèse de Doctorat). Ecole des Ponts ParisTech.
- Zhang, K., Randelovic, A., Page, D., McCarthy, D.T., Deletic, A., 2014. The validation of stormwater biofilters for micropollutant removal using in situ challenge tests. *Ecol. Eng.* 67, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.004>
- Zhou, Q., 2014. A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Water* 6, 976–992. <https://doi.org/10.3390/w6040976>



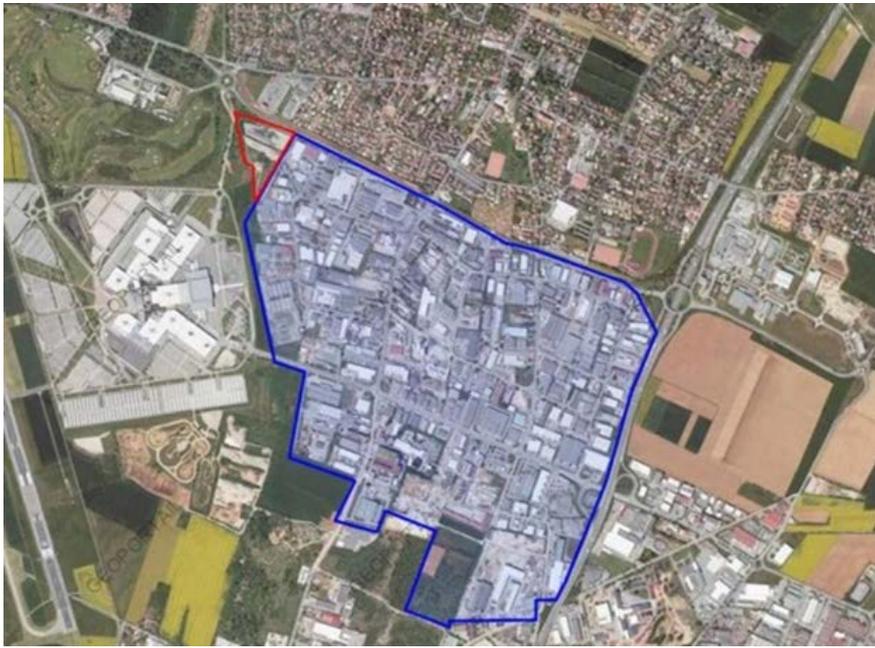
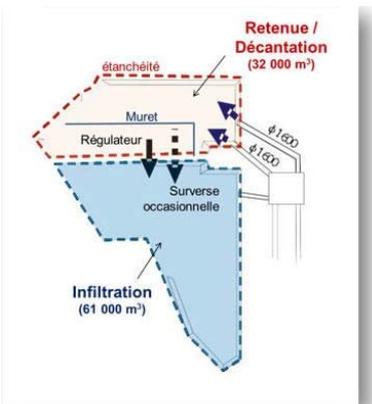
# Annexes

## Annexe A. Fiches détaillées de présentation des sites

Éléments pour la représentation des schémas fonctionnels présentés dans l'ensemble des fiches de présentation des sites



## Fiche de Site : Bassin de retenue – Django Reinhardt (Chassieu)

<p>Site</p>	<p>LIEU : Chassieu (69), Métropole de Lyon</p> <p>MAITRE D'OUVRAGE : Métropole de Lyon</p> <p>EQUIPES SCIENTIFIQUES : DEEP, EVS</p> <p>DATE DE MISE EN SERVICE : 1975 réaménagements en 1985 puis réhabilité en 2002 et 2004</p> <p>TYPE BASSIN VERSANT: bassin versant urbain dense à forte composante industrielle muni d'un réseau séparatif pluvial</p> <p>ENVIRONNEMENT: industriel et agricole</p> <p>TYPE OUVRAGE: bassin de retenue étanché</p>  <p>Figure 1. Vue aérienne du site de Chassieu : (Bassin versant en bleu) – Ouvrage (en rouge)</p>
	 <p>Figure 2. Site d'étude – schéma de principe. Le bassin étudié est le compartiment de retenue décantation uniquement.</p>

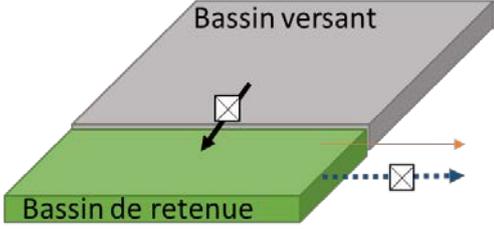
<p><b>Schéma fonctionnel</b></p>	 <p><b>Figure 3. Schéma fonctionnel du site de Chassieu</b></p>
<p><b>Bassin versant d'apport</b></p>	<p><b>SURFACES</b> : bassin versant 185 ha, bassin de retenue : surface de fond : 11 300m<sup>2</sup></p> <p><b>COEFFICIENT D'IMPERMEABILISATION</b> : environ 75 %</p> <p><b>PARTICULARITES</b> : les activités du bassin versant concernent surtout l'industrie légère avec notamment des activités logistiques, traitement des déchets papier et carton ou encore fabrique d'enrobés routiers. Etant donné le renouvellement très régulier des entreprises sur le site, il n'est pas possible de proposer un recensement exhaustif et fiable permanent. En plus de l'activité industrielle, les espaces verts aménagés, les zones agricoles et naturelles représentent respectivement 20 %, 4% et 4% de la surface totale. Enfin la zone est maillée de rues et routes typiques d'un milieu urbain. D'après les comptages du Grand Lyon en 2014, la circulation moyenne est d'environ de 10 000 véhicules / jour (avec en moyenne approximativement 1700 poids lourds) si l'on inclut la voie rapide qui borde le bassin versant.</p> <p>Des eaux de refroidissement ou de lavage « propres » issues d'activités du bassin versant peuvent rejoindre le bassin de retenue par le réseau séparatif pluvial. Ces débits se sont amenuisés au fil du temps suite à une campagne d'information menée par la collectivité.</p>
<p><b>Référence eaux brutes</b></p>	<p>Les eaux brutes sont ici les eaux d'entrée dans le bassin pompée dans la conduite Ø1600.</p>
<p><b>Ouvrage</b></p>	<p><b>Description</b> : Le bassin a une capacité de stockage de 32 200 m<sup>3</sup>. Il présente une entrée principale ainsi qu'une entrée secondaire, condamnée par un batardeau et seulement utilisée lors d'opérations sur le bassin (curage par exemple). Par temps de pluie, les effluents arrivent donc dans l'ouvrage par un collecteur circulaire de 1.6 m de diamètre. Le fond est constitué d'un radier bitumineux étanche et les talus sont recouverts d'une géomembrane étanche. Une cunette dite « de temps sec » permet la circulation des faibles débits jusqu'à la sortie de l'ouvrage. Deux fosses de décantation sont également localisées dans le bassin. Le bassin de retenue-décantation a régulièrement subi des modifications avec notamment la construction d'un muret muni de trois orifices en 2004 et destiné à améliorer la décantation. Les eaux supposées être moins chargées en MES après décantation s'écoulent à travers de ces 3 orifices percés dans le muret. Enfin, les eaux sont rejetées dans un bassin d'infiltration via un régulateur pour être vidangées vers le bassin d'infiltration via un système de régulation (Hydroslide®) limitant les débits à 350L/s. Les mesures débitmétriques réalisées montrent une régulation plutôt autour de 500 L/s.</p>



Figure 4. Photo du bassin de retenue

### SUIVIS METROLOGIQUES

**Objectifs de la mesure**

Mesurer les flux d'eau et de polluants en entrée et en sortie de l'ouvrage

**Mesures hydriques**

**Pluie** - Pluviomètre : pluviomètre à pesée OTT-LOG V2.18 au pas de temps de 1 min  
**Débitmétrie en continu** à pas de temps de 2 min en entrée et en sortie du bassin.  
En entrée : mesure hauteur / vitesse (Flodar) : hauteur par capteur à ultrasons émergé en voute de la conduite, vitesse par capteur radar.



Figure 5. Débitmètre en entrée

En sortie : mesure hauteur / vitesse (Flo-Pro) : hauteur par capteur à ultrasons immergé, vitesse via un capteur doppler



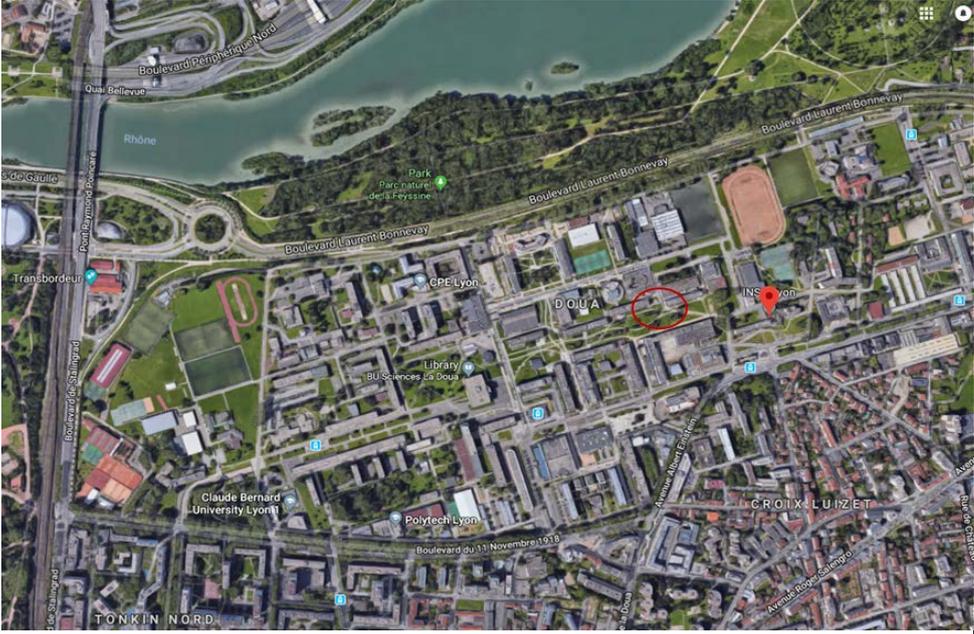
Figure 6. Débitmètre en sortie

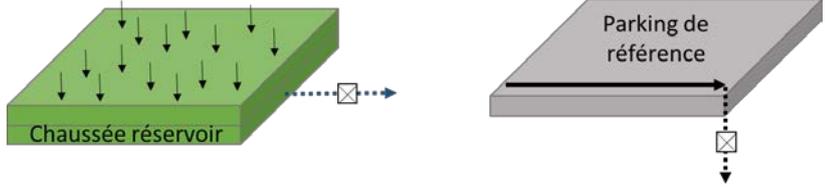
<p><b>Mesures de pollution</b></p>	<p><b>En entrée comme en sortie du bassin de retenue</b></p> <p>Mesures en continu du pH, de la conductivité, de la température et de la turbidité doublée. Les eaux sont pompées dans la conduite d'entrée ou de sortie puis transitent dans un canal enfermé dans un bungalow. Dans le canal plonge l'ensemble des capteurs de mesures en continu.</p> <p>Prélèvement d'échantillons par préleveurs échantillonneurs (échantillon moyen proportionnel au débit) – deux préleveurs : un avec 24 flacons en verre l'autre avec 24 flacons en plastique (PEHD).</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;"><b>Figure 7. Dispositif de mesure des polluants</b></p>
<p><b>Entretien du dispositif métrologique</b></p>	<p><b>A une fréquence régulière (2/3 fois par mois)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nettoyage des sondes et du canal de dérivation</li> <li>▪ Contrôle du fonctionnement global de l'installation</li> </ul> <p><b>A une fréquence régulière (2 fois par an)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vérifications et étalonnages des sondes</li> <li>▪ Mises à jour des ordinateurs</li> <li>▪ Entretien des pompes</li> </ul> <p><b>Avant chaque campagne d'échantillonnage d'eau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nettoyage des équipements d'échantillonnage pouvant être en contact avec l'eau</li> <li>▪ Mise en place du dispositif d'échantillonnage</li> <li>▪ Programmation des préleveurs et des ordinateurs</li> </ul> <p><b>Après chaque campagne d'échantillonnage d'eau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Récupération des échantillons</li> <li>▪ Nettoyage et rangement du dispositif</li> </ul>

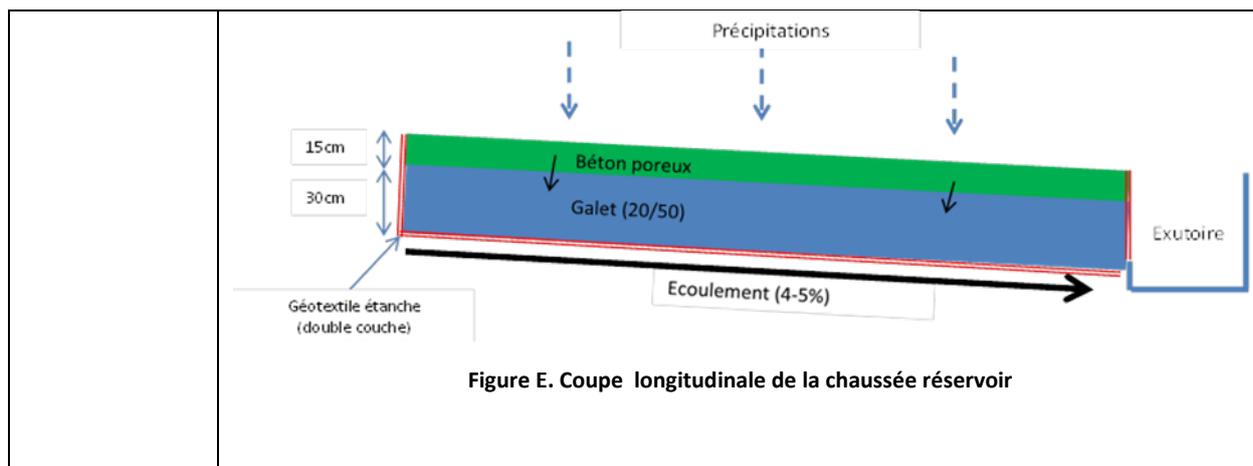
## RETOURS D'EXPERIENCE

<b>Problèmes rencontrés et résolutions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vandalisme (tir de carabine sur les bungalows, visites et jeux d'enfants venant du camp des gens du voyage à proximité dans les compartiments rétention et infiltration)</li> <li>▪ A l'origine le dispositif recevait des débits d'eau de temps sec assez constants qui permettaient aux capteurs de fonctionner en continu par temps sec comme par temps de pluie. Maintenant ils ne fonctionnent en continu que par temps de pluie et se déclenchent sur hauteurs d'eau en réseau. Les capteurs de température, de conductimétrie et de pH peuvent manquer de temps pour se stabiliser.</li> <li>▪ Disjonction de l'armoire électrique lors d'orages importants. Mise en place d'un onduleur pour protéger le matériel le plus sensible.</li> <li>▪ Instabilité de l'accès ADSL (panne modem, problème fourreaux télécom). Redémarrage manuel et occasionnel du modem.</li> <li>▪ Le disjoncteur de protection du compresseur d'air saute de façon aléatoire. Ce compresseur permet de piloter la vidange du bac pour assurer son nettoyage automatique.</li> <li>▪ Gel du groupe extérieur du climatiseur réversible en hiver. Les températures les plus basses nécessitent l'usage de convecteurs électriques.</li> <li>▪ Pannes aléatoires du matériel fonctionnant en continu (groupe froid des préleveurs, sondes, transmetteurs, rupture de tube de pompe, électrovannes, informatique). Maintenances préventives et curatives nécessaires.</li> <li>▪ Multiplicité des équipes (chercheurs de différents projets, opérationnels) conduit à des dysfonctionnements aléatoires.</li> </ul>
<b>Objectifs abandonnés</b>	Mesure en continu des débits de temps sec
<b>Et si c'était à refaire ?</b>	Le bungalow a été optimisé au cours du temps et complètement refait en 2015 après plus de 10 ans de fonctionnement.
Pour en savoir plus	Walcker N., Bertrand-Krajewski J.-L., Vacherie S., Lepot M., Castebrunet H., Barraud S. et Lipeme Kouyi G. (2018). Une nouvelle station de mesure pour l'acquisition de séries chronologiques en hydrologie urbaine, TSM, 3(2018), 55-64. DOI : <a href="https://doi.org/10.1051/tsm/201803055">https://doi.org/10.1051/tsm/201803055</a> .

## Chaussée à structure réservoir de l'éco-campus Lyon Tech La Doua (CSR)

<p>Site</p>	<p>LIEU : Ecocampus Lyon Tech La Doua - Villeurbanne (69)</p> <p>MAITRE D'OUVRAGE : INSA Lyon</p> <p>EQUIPE SCIENTIFIQUE : DEEP-INSA, EVS</p> <p>DATE DE MISE EN SERVICE : septembre 2010</p> <p>TYPE BASSIN VERSANT: parking de bâtiments (bureaux, salles de cours, restaurant universitaire) il est aujourd'hui réservé au restaurant universitaire et à des personnels permanents</p> <p>ENVIRONNEMENT: campus</p> <p>TYPE OUVRAGE: Chaussée à structure réservoir</p>  <p>Figure A. Vue aérienne de l'environnement du site d'étude</p>
	 <p>Figure B. Le site d'étude</p>

<p><b>Schéma fonctionnel</b></p>	 <p><b>Figure C. Schéma fonctionnel du site, le système étudié à gauche, la zone de référence pour les eaux brutes à droite</b></p>
<p><b>Bassin versant d'apport</b></p>	<p>SURFACES du bassin d'apport = SURFACE de l'ouvrage : 93.96 m<sup>2</sup>          COEFFICIENT D'IMPERMEABILISATION: 100%          PARTICULARITES : ouvrage à revêtement drainant en béton drainant</p>
<p><b>Référence eaux brutes :</b></p>	<p>Pour l'estimation des abattements de micropolluants, les concentrations en sortie sont comparées à celles ayant ruisselé sur un parking classique de même dimensions en béton bitumineux (BB) contigu à la CSR (Figure D).</p> <p>Ce parking présente une pente de 2 à 3% qui conduit les eaux de ruissellement vers un avaloir situé à l'entrée d'un puits de mesure dédié.</p>  <p><b>Figure D. Le bassin versant de référence contigu à la partie en CSR</b></p> <p>Le parking dans sa globalité permet en théorie de recevoir 6 véhicules en stationnement ; trois places sont réservées aux handicapés sur la partie de référence (Figure D). Mais des voitures ou camionnettes se garent souvent derrière les places de parkings. Les places pour handicapés ne sont pas respectées.</p>
<p><b>Ouvrages</b></p>	<p>La chaussée réservoir est composée en surface d'un revêtement drainant de 0,15 m (béton drainant Hydromedia™ utilisable pour les revêtements routiers sur une couche de gravier 20/50 de 0.30 m. La capacité d'infiltration du béton drainant est de 880 L/min/m<sup>2</sup> soit environ 1,5 cm/s.</p> <p>Le fond de fouille a été étanché par une géomembrane. Un drain a été installé à l'exutoire pour récupérer les eaux. Une sous-couche de gravier roulé 20/50 de 30 cm a ensuite été mise en place et le béton poreux a été coulé en 4 bandes successives d'une largeur de 1,8 m avec une épaisseur de 15 cm. Afin d'assurer la continuité entre les bandes, un joint en ciment a été coulé entre chacune d'entre elles. Le fond de fouille présente une pente de 4 à 5 % de façon à récupérer dans une chambre de mesure l'ensemble des eaux qui s'infiltrent à travers le matériau ou ruissellent.</p>



## SUIVIS METROLOGIQUES

<b>Objectifs de la mesure</b>	Mesurer les flux d'eau et de micropolluants en sortie des ouvrages pour comparaison avec un ouvrage centralisé et d'autres ouvrages à la source du campus. Les familles de micropolluants étudiés sont les métaux et metalloïdes, des pesticides, les HAPs, les alkyphénols et dérivés et les PBDE.
<b>Mesures hydriques</b>	<p><b>Pluie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pluviomètre à auget basculant</li> </ul> <p><b>Bassin versant de référence et sortie de la CSR</b></p> <p>Une première instrumentation a été réalisée en 2010 : des mesures de débit (pas de temps : 30 s) <i>via</i> un débitmètre électromagnétique alimenté via le lampadaire en bordure du parking et des échantillonnages des eaux pluviales avec un bidon de 60 L. La pluviométrie était représentée par les quantités de pluie tombée sur la partie de référence (parking imperméable).</p> <p>Dans le cadre de MicroMegs, la même instrumentation que celle mise en place sur la noue et la tranchée a été implémentée également dans les deux chambres de mesure reliées à la partie de parking imperméable. L'installation nouvelle a été terminée début 2016. L'ensemble était alimenté par panneaux solaires ; en mai 2017, un panneau solaire plus puissant est mis en place. Début 2018, le site est raccordé au secteur.</p> <p>L'instrumentation est la suivante (Figure F)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 6px; display: inline-block; text-align: center; width: 20px; height: 20px; line-height: 20px;">1</span> les effluents en sortie du drain arrivent dans la chambre et subissent une mesure de conductivité électrique et de température ; les capteurs sont placés dans une cellule cylindrique en PVC ;</li> <li>▪ <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 6px; display: inline-block; text-align: center; width: 20px; height: 20px; line-height: 20px;">2</span> une mesure de débit par un double débitmètre - débitmètre électromagnétique (EM) + débitmètre massique à auget (20 g) - est ensuite effectuée. Les petits débits de la gamme [0 ; 100 L/h] sont mesurés par le débitmètre à auget tandis que le mesurage des débits plus importants de la gamme [75 ; 2000 L/h] est assuré par le débitmètre EM. Le mesurage de l'un comme de l'autre est une valeur moyennée de l'ensemble des débits sur le pas de temps de mesure ;</li> </ul>

- 3
 une centrale d'acquisition recueille en continu et au pas de temps de 2 minutes les données des débitmètres, du conductimètre et de la sonde de température. Les deux signaux issus des débitmètres subissent un traitement en ligne pour ne fournir en fin de compte qu'un seul débit présentant l'incertitude la plus faible. Les deux informations sont néanmoins archivées.

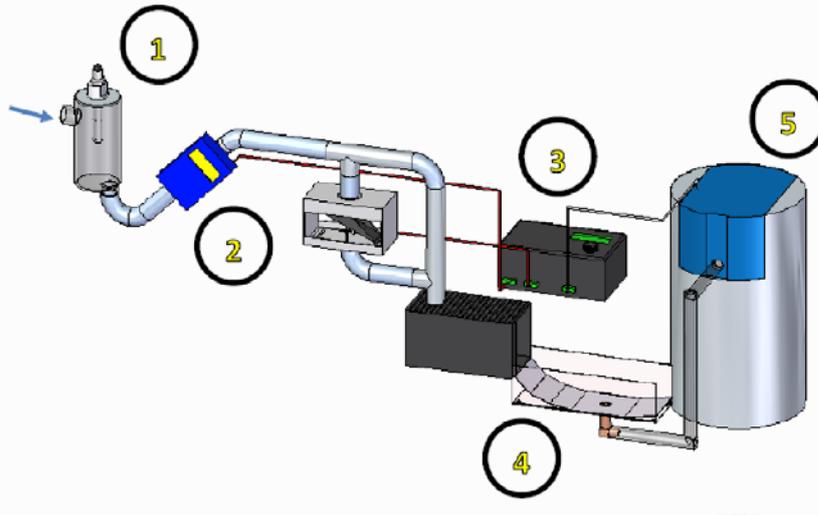


Figure F. Schéma de principe de l'instrumentation situé dans la chambre de mesure

Les premières données de débit datent de mai 2016.

Une station météo Campbell est installée sur un bâtiment du campus depuis 4 novembre 2016 (Bât Coulomb 1) (pluviomètre à auget, température, vitesse du vent, ...). En pratique, les données de pluviométrie du Grand Lyon (pluviomètre situé au transbordeur) sont utilisées.

### Mesures de pollution

4
 Les eaux sont ensuite récupérées dans un bac de prélèvement en inox dont la forme a été étudiée pour assurer une bonne mise en suspension de la phase particulaire et plus généralement une bonne homogénéité de la section de prélèvement, et donc des polluants associés, dans le volume d'eau au moment du prélèvement.

Le système de prélèvement : en fonction de la hauteur de pluie attendue et des aléas métrologiques, les eaux sont soit (i) recueillies intégralement dans un bidon de 16 L et la représentativité de l'échantillon est ensuite analysée, soit (ii) prélevées proportionnellement au débit par un préleveur portable dans un mono flacon (le plus inerte possible en plastique teflonné). Ce mono-flacon recueille une quantité d'eau suffisante pour les analyses des micropolluants et fournit un échantillon dont la concentration est représentative d'une concentration moyenne événementielle.

Le bidon de 16 L est toujours installé pour pallier les problèmes potentiels du préleveur.

Avant les premières campagnes, des blancs de l'ensemble du système de prélèvement ont été réalisés le 15 février 2017.

<b>Entretien du dispositif métrologique</b>	<p><b>A une fréquence régulière (toutes les semaines)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Changement de batteries quand il y avait des batteries même en présence du panneau solaire (problématique en hiver)</li> <li>▪ Téléchargement manuel de données enregistrées en continu et vérification de mesures</li> <li>▪ Nettoyage des sondes de conductivité, de température et du système de débitmétrie (auget, tuyaux)</li> </ul> <p><b>Avant chaque campagne d'échantillonnage d'eau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nettoyage des équipements d'échantillonnage pouvant être en contact avec l'eau (tuyaux, goulotte, bidons et préleveur)</li> <li>▪ Teflonnage réguliers des bidons (les tuyaux étant teflonnés de base)</li> <li>▪ Mise en place de flacons d'échantillonnage</li> <li>▪ Programmation des préleveurs</li> </ul>
<b>RETOURS D'EXPERIENCE</b>	
<b>Problèmes rencontrés et résolutions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Panneau solaire inadapté (40W), changement en mai 2017 pour un panneau solaire plus puissant (100W). Mais insuffisance en automne/ hiver (ombres et rayonnement solaire insuffisant et batteries inadaptées aux températures basses), début 2018, le site est raccordé au secteur.</li> <li>▪ Problèmes liés au chantier. Une partie latérale a été ouverte pour le passage d'une chaussée provisoire. Bien que le site expérimental et sa nécessaire « sanctuarisation » aient été signalés à l'entreprise coordonnatrice et au maître d'ouvrage des travaux du campus, les sous-traitants n'en ont pas été informés.</li> <li>▪ Débordement du bidon lorsque le préleveur n'a pas fonctionné</li> <li>▪ Inondation dû à une mauvaise évacuation du surplus d'eau dans le puits de mesure lors d'un orage. Retournement du préleveur qui a été noyé et endommagé</li> </ul>
<b>Objectifs abandonnés</b>	Aucun
<b>Et si c'était à refaire ?</b>	Chambre plus grande, alimentée de manière propre au réseau électrique et drainée par le fond ce qui a été amélioré sur les chambres à l'exutoire de la noue et de la tranchée.
<b>Pour en savoir plus</b>	<p>Garnier R., Barraud S., Castebrunet H., Vacherie S. (2016). Mesure d'efficacité des systèmes alternatifs de gestion des eaux pluviales en matière d'abattement de micropolluants et comparaison systèmes à la source / systèmes centralisé : Métrologie hydraulique et stratégie de prélèvements. 7eme Journées Doctorales de l'Hydrologie Urbaines, Nantes, 11-12 octobre 2016, 4 p.</p> <p>Barraud S., Garnier R., Castebrunet H. (2018). Rapport de suivis des sites (compte rendu et exploitation des résultats). Livrable L2B. Projet Micromegas pour le compte de l'AFB.</p> <p>Garnier R. (2020). Systèmes alternatifs de gestion des eaux pluviales : Contribution à l'analyse de performances conjointes en matière d'hydrologie quantitative et de piégeage de micropolluants. Comparaison systèmes à la source – système centralisé. Thèse de doctorat de l'INSA de Lyon. 318 p</p>

## Noe de l'Eco-campus Lyon Tech La doua

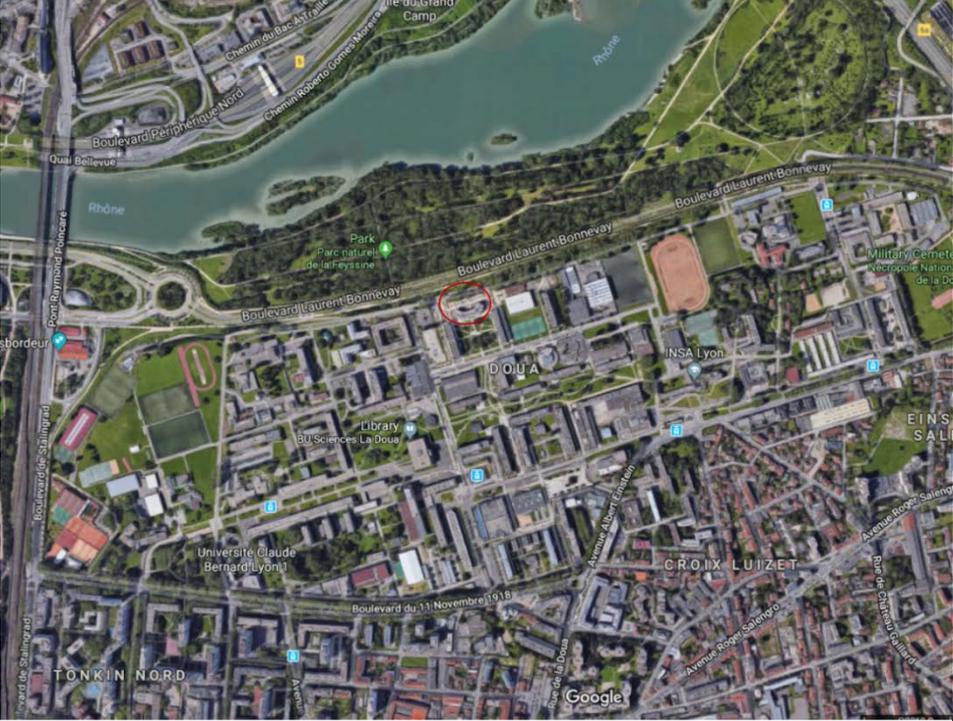
<p>Site</p>	<p>LIEU : Ecocampus Lyon Tech La Doua - Villeurbanne (69)</p> <p>MAITRE D'OUVRAGE : Université de Lyon</p> <p>EQUIPE SCIENTIFIQUE : DEEP-INSA, EVS</p> <p>DATE DE MISE EN SERVICE : été 2013</p> <p>TYPE BASSIN VERSANT: parking de résidences universitaires</p> <p>ENVIRONNEMENT: campus</p> <p>TYPE OUVRAGE: noe</p> 
-------------	---

Figure A. Vue aérienne de l'environnement du site d'étude



Figure B. Le site d'étude en hiver et vue de la noue au printemps après plantation

Schéma fonctionnel

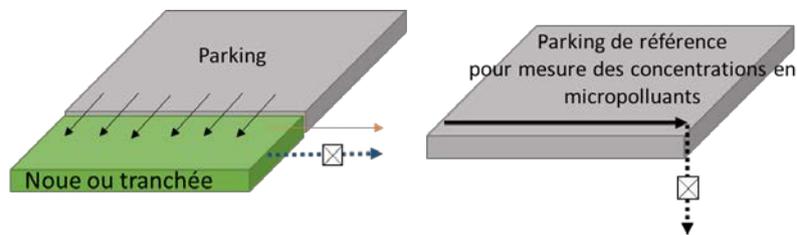


Figure C. Schéma fonctionnel du site, le système étudié à gauche, la zone de référence pour les eaux brutes à droite

Bassin versant d'apport

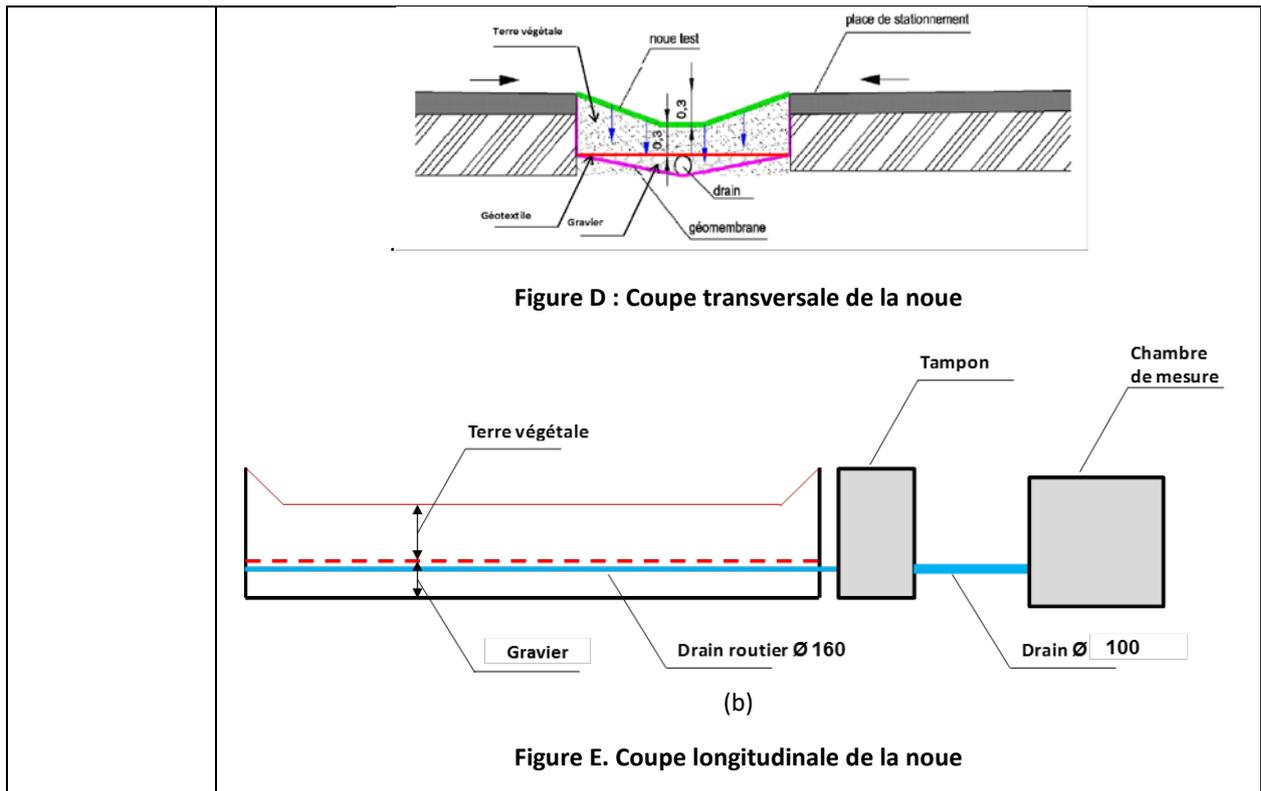
SURFACES: 271,5 m<sup>2</sup> (parking seul), 30,8 m<sup>2</sup> d'ouvrage  
 COEFFICIENT D'IMPERMEABILISATION: ~45% (en prenant en compte la surface de noue) et ~50% (Sans prise en compte de l'ouvrage)  
 COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT : ~10% (pour des pluies <24 mm)  
 PARTICULARITES : la surface du parking est revêtue de de 136,5 m<sup>2</sup> de stabilisé et de 135 m<sup>2</sup> de revêtement en béton bitumineux.

Référence eaux brutes :

Idem CSR

Ouvrage

La noue est tapissée d'une géomembrane étanche sur le fond et les parois, et remblayés avec de la terre végétale (25% Argile, 46% Limons, 29% Sables). Cette noue a été plantée fleurie en 2017 (jachère avec système racinaire superficiel).  
 Les eaux de ruissellement sont collectées par un drain routier (Ø 160 mm) disposé au fond de la noue, protégé par un géotextile et des galets calibrés. Les eaux collectées sont ensuite acheminées dans un regard puis dans la chambre de mesure par un tube polyéther polyuréthane pur pour le milieu alimentaire souple de Ø 100 mm placé dans un fourreau de Ø 200 mm correspondant au drain avant réfection (Cf. problèmes rencontrés).



SUIVIS METROLOGIQUES	
<b>Objectifs de la mesure</b>	Mesurer les flux d'eau et de micropolluants en sortie des ouvrages pour comparaison avec un ouvrage centralisé et d'autres ouvrages à la source du campus. Les familles de micropolluants étudiés sont les métaux et metalloïdes, des pesticides, les HAPs, les alkyphénols et dérivés et les PBDE.
<b>Mesures hydriques</b>	<p><b>Pluie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pluviomètre à auget basculant</li> </ul> <p><b>Bassin versant de référence et sortie du système Parking + noue</b></p> <p>L'instrumentation est la suivante (Figure 6)</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;"><b>Figure F : Schéma de principe de l'instrumentation situé dans la chambre de mesure</b></p>

	<p>Les effluents de sortie arrivent dans une chambre de mesure où ils sont soumis à différentes mesures dans l'ordre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>1</b> une mesure de conductivité électrique et de température. Les capteurs sont placés dans une cellule cylindrique en PVC ;</li> <li>▪ <b>2</b> une mesure de débit par un double débitmètre - débitmètre électromagnétique (EM) + débitmètre massique à auget (20 g). Les petits débits de la gamme [0 ; 100 L/h] sont mesurés par le débitmètre à auget tandis que le mesurage des débits plus importants de la gamme [75 ; 2000 L/h] est assuré par le débitmètre EM. Le mesurage de l'un comme de l'autre est une valeur moyennée de l'ensemble des débits sur le pas de temps de mesure (2 min).</li> <li>▪ <b>3</b> une centrale d'acquisition recueille en continu et au pas de temps de 2 minutes les données des débitmètres, du conductimètre et de la sonde de température. Les deux signaux issus des débitmètres subissent un traitement en ligne pour ne fournir en fin de compte qu'un seul débit présentant l'incertitude la plus faible. Les deux informations débitométriques sont néanmoins archivées.</li> </ul>
<p><b>Mesures de pollution</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>4</b> les eaux sont ensuite récupérées dans un bac de prélèvement en inox dont la forme a été étudiée pour assurer un bon mélange des polluants dans le volume d'eau au moment du prélèvement.</li> </ul> <p>Le système de prélèvement : en fonction de la hauteur de pluie attendue et des aléas météorologiques, les eaux sont (i) recueillies intégralement dans un bidon de 16 L et la représentativité de l'échantillon est ensuite analysée, ou (ii) prélevées proportionnellement au débit par un préleveur portable dans un mono flacon (le plus inerte possible en plastique teflonné). Ce mono-flacon recueille une quantité d'eau suffisante pour les analyses des micropolluants et fournit un échantillon dont la concentration est représentative d'une concentration moyenne événementielle.</p> <p>Le bidon de 16 L est toujours installé pour pallier les problèmes potentiels du préleveur.</p> <p>Avant les premières campagnes, des blancs de l'ensemble du système de prélèvement ont été réalisés le 15 février 2017.</p>
<p><b>Entretien du dispositif métrologique</b></p>	<p><b>A une fréquence régulière (toutes les semaines)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Téléchargement manuel de données enregistrées en continu et vérification de mesures</li> <li>▪ Nettoyage des sondes de conductivité et température et du système de débitmétrie (auget, tuyaux)</li> </ul> <p><b>Avant chaque campagne d'échantillonnage d'eau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nettoyage des équipements d'échantillonnage pouvant être en contact avec l'eau (tuyaux, goulotte, bidons et préleveur)</li> <li>▪ Teflonnage réguliers des bidons (les tuyaux étant teflonnés de base)</li> <li>▪ Mise en place de flacons d'échantillonnage</li> <li>▪ Programmation des préleveurs</li> <li>▪ Pour la noue d'apport (évaluation du coefficient volumétrique de ruissellement) nettoyage des caniveaux collecteurs</li> </ul>

## RETOURS D'EXPERIENCE

### Problèmes rencontrés et résolutions

Problèmes de réalisation. L'entreprise d'exécution à implanter un regard inutile entre la chambre de mesure et l'exutoire de la noue. Comme la connexion des tuyaux dans le regard était défectueux (mauvaise étanchéité) tout le dispositif de connexion a été refaite



**Figure G. Connexion refaite dans le regard**

- L'arrivée des eaux dans la chambre a été implantée au bas de la chambre. Il a donc fallu creuser pour installer le dispositif de mesure et le préleveur
- Un des butoirs en bois a été défoncé arrachant la géomembrane qui a dû être réparée



**Figure H. Basculement du madrier servant de butoir pour le parking**

- Géomembrane non soudée en des points particuliers solidarisant deux parties par simple pression
- Drain posé sans soin

### Objectifs abandonnés

Il était prévu au départ d'étudier la performance de la noue. Pour évaluer son efficacité et son comportement vis-à-vis des flux d'eau et de micropolluants il aurait été nécessaire de faire des mesures entrée/sortie de la noue. Or ce n'était pas possible car toute interception des eaux d'entrée aurait faussé les quantités de sortie qui sont déjà statistiquement assez faibles.

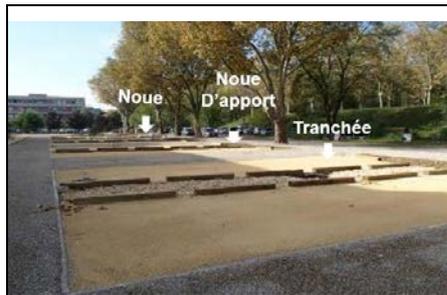
Il avait alors été envisagé de réaliser les mesures en entrée sur un parking contigu exactement de même composition que celui du parking drainé par la noue (une partie en stabilisé et une partie en BB).

Nous l'avons fait pour estimer les conditions de ruissellement du parking (coefficient de ruissellement, pertes initiales)

Les eaux du parking sont collectées par des caniveaux tout autour de la « noue dite d'apport » – Cf.figure I b) et c). Cependant le dispositif se colmate souvent (feuilles mortes, débris, encrassement très rapide des grilles ...) et demande donc un entretien lourd. Dans ces conditions peu de mesures sont fiables.

Ce dispositif fonctionne pour la description du bassin versant réel alimentant la noue mais n'est pas utilisé pour la mesure des concentrations en micropolluants ni des flux d'eau en entrée de noue.

Le dispositif évalué n'est donc pas la noue mais le système parking + noue.



a)



c)



b)



d)

**Figure I. Système de mesure permettant d'évaluer les débits et volumes d'eau en entrée des systèmes drainés par la noue et la tranchée. a) montre la localisation et la similitude du site de référence, b) montre la noue de référence avec installation à la périphérie des caniveaux, c) et d) la connexion des caniveaux au système de mesure (double mesure 1/par auget basculant et 2/par mesure électromagnétique)**

La deuxième raison qui a conduit à prendre pour référence un parking traditionnel est que l'on a cherché à harmoniser les comparaisons entre les différents dispositifs étudiés (système muni d'une noue, d'une tranchée et chaussée à structure réservoir).

**Et si c'était à refaire ?**

- Nous choisirions un site plus traditionnel encore (parking en BB) se déversant dans la noue. Ceci dit le dispositif parking partiellement formé de stabilisé est une solution assez répandue sur la métropole.
- Nécessité d'assister à toutes les étapes du chantier

<p>Pour en savoir plus</p>	<p>Garnier R., Barraud S., Castebrunet H., Vacherie S. (2016). Mesure d'efficacité des systèmes alternatifs de gestion des eaux pluviales en matière d'abattement de micropolluants et comparaison systèmes à la source / systèmes centralisé : Métrologie hydraulique et stratégie de prélèvements. 7eme Journées Doctorales de l'Hydrologie Urbaines, Nantes, 11-12 octobre 2016, 4 p.</p> <p>Barraud S., Garnier R., Castebrunet H. (2018). Rapport de suivis des sites (compte rendu et exploitation des résultats). Livrable L2B. Projet Micromegas pour le compte de l'AFB.</p> <p>Garnier R. (2020). Systèmes alternatifs de gestion des eaux pluviales : Contribution à l'analyse de performances conjointes en matière d'hydrologie quantitative et de piégeage de micropolluants. Comparaison systèmes à la source – système centralisé. Thèse de doctorat de l'INSA de Lyon. 318 p</p>
----------------------------	---

## Tranchée drainante de l'éco-campus Lyon Tech La Doua

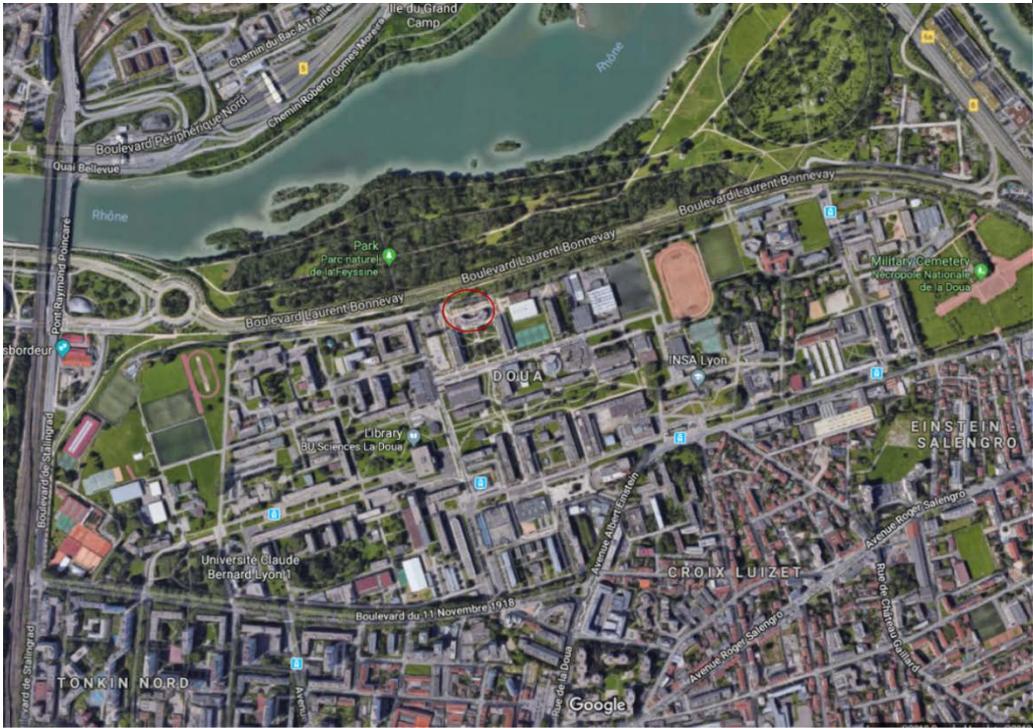
<p><b>Site</b></p>	<p>LIEU : Ecocampus Lyon Tech La Doua - Villeurbanne (69)</p> <p>MAITRE D'OUVRAGE : Université de Lyon</p> <p>EQUIPE SCIENTIFIQUE : DEEP-INSA, EVS</p> <p>DATE DE MISE EN SERVICE : été 2013</p> <p>TYPE BASSIN VERSANT: parking de résidences universitaires</p> <p>ENVIRONNEMENT: campus</p> <p>TYPE OUVRAGE: tranchée</p>
	
	<p><b>Figure A. Vue aérienne de l'environnement du site d'étude</b></p>



Figure B. Le site d'étude

Schéma fonctionnel

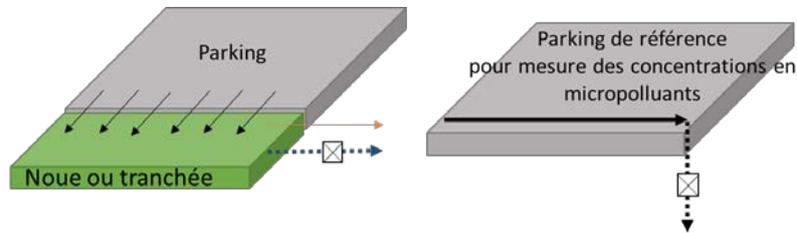


Figure C. Schéma fonctionnel du site, le système étudié à gauche, la zone de référence pour les eaux brutes à droite

Bassin versant d'apport

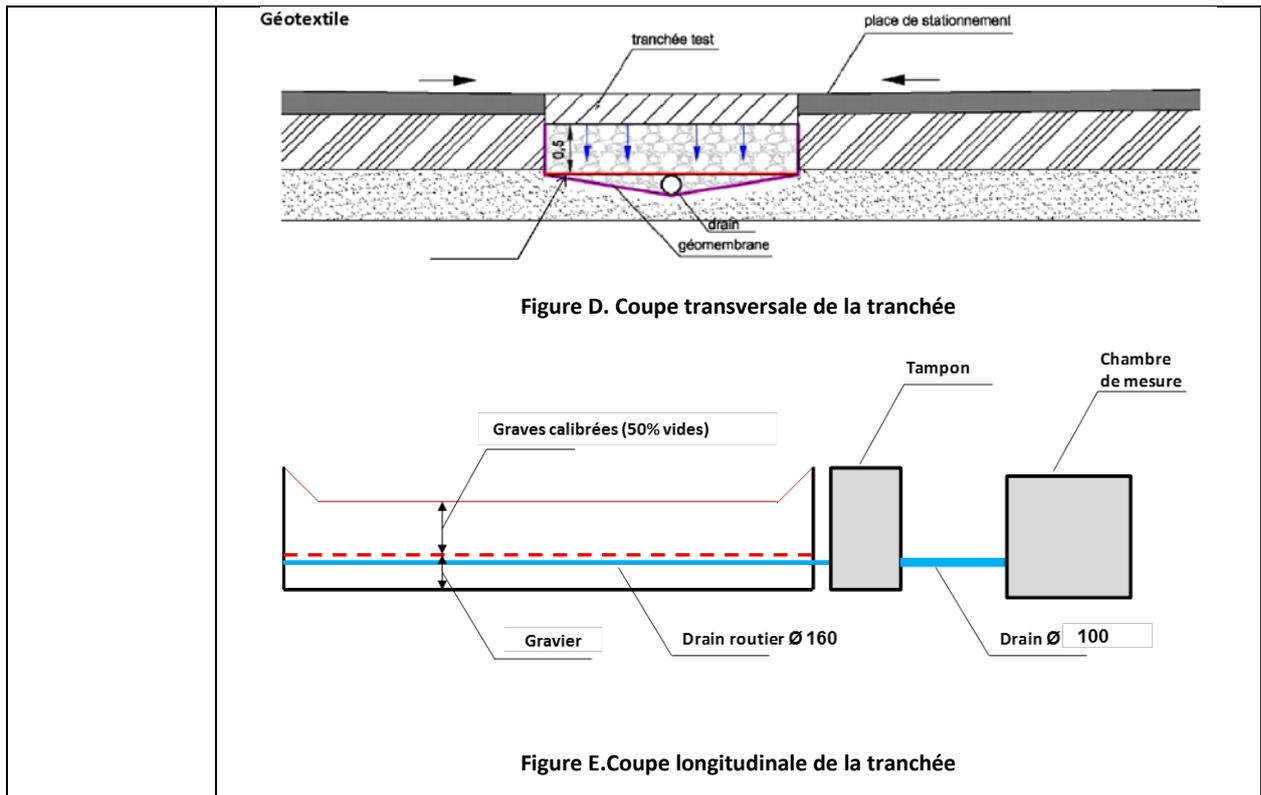
SURFACES: 234,1 m<sup>2</sup> (parking), 26 m<sup>2</sup> d'ouvrage  
 COEFFICIENT D'IMPERMEABILISATION: 46,4 % (en prenant en compte la surface de noue) et 48,5 % (Sans prise en compte de l'ouvrage)  
 COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT : 10% (pour des pluies <24 mm)  
 PARTICULARITES : la surface du parking est revêtue de 111,5 m<sup>2</sup> de stabilisé et de 122,6 m<sup>2</sup> de revêtement en béton bitumineux.

Référence eaux brutes :

Idem CSR et Noue

Ouvrage

La tranchée drainante, constituée de graves, est tapissée d'une géomembrane étanche sur le fond et les parois, et remblayés avec de la grave (50% de vide).  
 Les eaux de ruissellement sont collectées par un drain routier (Ø 160 mm) disposé au fond, protégé par un géotextile et des galets calibrés. Les eaux collectées sont ensuite acheminées dans un regard puis dans la chambre de mesure par un tube polyéther polyuréthane pur pour le milieu alimentaire souple de Ø 100 mm placé dans un fourreau de Ø 200 mm correspondant au drain avant réfection (Cf. problèmes rencontrés).



SUIVIS METROLOGIQUES	
<b>Objectifs de la mesure</b>	Mesurer les flux d'eau et de micropolluants en sortie des ouvrages pour comparaison avec un ouvrage centralisé et d'autres ouvrages à la source du campus. Les familles de micropolluants étudiés sont les métaux et metalloïdes, des pesticides, les HAPs, les alkylphénols et dérivés et les PBDE.
<b>Mesures hydriques</b>	<p><b>Pluie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pluviomètre à augets basculants</li> </ul> <p><b>Bassin versant de référence et sortie du système Parking + tranchée</b></p> <p>L'instrumentation est la suivante (Figure 6)</p> <p><b>Figure F : Schéma de principe de l'instrumentation situé dans la chambre de mesure</b></p>

	<p>Les effluents de sortie arrivent dans une chambre de mesure où ils sont soumis à différentes mesures dans l'ordre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>1</b> une mesure de conductivité électrique et de température. Les capteurs sont placés dans une cellule cylindrique en PVC ;</li> <li>▪ <b>2</b> une mesure de débit par un double débitmètre - débitmètre électromagnétique (EM) + débitmètre massique à auget (20 g). Les petits débits de la gamme [0 ; 100 L/h] sont mesurés par le débitmètre à auget tandis que le mesurage des débits plus importants de la gamme [75 ; 2000 L/h] est assuré par le débitmètre EM. Le mesurage de l'un comme de l'autre est une valeur moyennée de l'ensemble des débits sur le pas de temps de mesure (2 min).</li> <li>▪ <b>3</b> Une centrale d'acquisition recueille en continu et au pas de temps de 2 minutes les données des débitmètres, du conductimètre et de la sonde de température. Les deux signaux issus des débitmètres subissent un traitement en ligne pour ne fournir en fin de compte qu'un seul débit présentant l'incertitude la plus faible. Les deux informations débitométriques sont néanmoins archivées.</li> </ul>
<p><b>Mesures de pollution</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>4</b> Les eaux sont ensuite récupérées dans un bac de prélèvement en inox dont la forme a été étudiée pour assurer une bonne mise en suspension de la phase particulaire et plus généralement une bonne homogénéité de la section de prélèvement dans le volume d'eau au moment du prélèvement.</li> </ul> <p>Le système de prélèvement : en fonction de la hauteur de pluie attendue et des aléas météorologiques, les eaux sont soit (i) recueillies intégralement dans un bidon de 16 L et la représentativité de l'échantillon est ensuite analysée, soit (ii) prélevées proportionnellement au débit par un préleveur portable dans un mono flacon (le plus inerte possible en plastique teflonné). Ce mono-flacon recueille une quantité d'eau suffisante pour les analyses des micropolluants et fouu échantillon dont la concentration est représentative d'une concentration moyenne événementielle.</p> <p>Le bidon de 16 L est toujours installé pour pallier les problèmes potentiels du préleveur.</p> <p>Avant les premières campagnes, des blancs de l'ensemble du système de prélèvement ont été réalisés le 15 février 2017.</p>
<p><b>Entretien du dispositif métrologique</b></p>	<p><b>A une fréquence régulière (toutes les semaines)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Téléchargement manuel de données enregistrées en continu et vérification de mesures</li> <li>▪ Nettoyage des sondes de conductivité et température et du système de débitmétrie (auget, tuyaux)</li> </ul> <p><b>Avant chaque campagne d'échantillonnage d'eau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nettoyage des équipements d'échantillonnage pouvant être en contact avec l'eau (tuyaux, goulotte, bidons et préleveur)</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teflonnage réguliers des bidons (les tuyaux étant teflonnés de base)</li> <li>▪ Mise en place de flacons d'échantillonnage</li> <li>▪ Programmation des préleveurs</li> <li>▪ Pour la noue d'apport (évaluation du coefficient volumétrique de ruissellement) nettoyage des caniveaux collecteurs</li> </ul>
<b>RETOURS D'EXPERIENCE</b>	
<b>Problèmes rencontrés et résolutions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Problèmes de réalisation. L'entreprise d'exécution à implanter un regard inutile entre la chambre de mesure et l'exutoire de la tranchée. Comme la connexion des tuyaux dans le regard était défectueuse (mauvaise étanchéité) tout le dispositif de connexion a été refait.</li> </ul>  <p style="text-align: center;"><b>Figure 8. Connexion refaite dans le regard</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'arrivée des eaux dans la chambre a été implantée au bas de la chambre. Il a donc fallu creuser pour installer le dispositif de mesure et le préleveur</li> <li>▪ Géomembrane non soudée en des points particuliers solidarissant deux parties par simple pression</li> <li>▪ Drain posé sans soin présentant un point haut au milieu de la tranchée repéré par géoradar</li> </ul>
<b>Objectifs abandonnés</b>	Idem Noue
<b>Et si c'était à refaire ?</b>	Nous choisirions un site plus traditionnel encore (parking en BB) se déversant dans la noue. Ceci dit le dispositif parking partiellement formé de stabilisé est une solution assez répandue sur la métropole.
<b>Pour en savoir plus</b>	<p>Garnier R., Barraud S., Castebrunet H., Vacherie S. (2016). Mesure d'efficacité des systèmes alternatifs de gestion des eaux pluviales en matière d'abattement de micropolluants et comparaison systèmes à la source / systèmes centralisé : Métrologie hydraulique et stratégie de prélèvements. 7eme Journées Doctorales de l'Hydrologie Urbaines, Nantes, 11-12 octobre 2016, 4 p.</p> <p>Barraud S., Garnier R., Castebrunet H. (2018). Rapport de suivis des sites (compte rendu et exploitation des résultats). Livrable L2B. Projet Micromegas pour le compte de l'AFB.</p> <p>Garnier R. (2020). Systèmes alternatifs de gestion des eaux pluviales : Contribution à l'analyse de performances conjointes en matière d'hydrologie quantitative et de piégeage de micropolluants. Comparaison systèmes à la source – système centralisé. Thèse de doctorat de l'INSA de Lyon. 318 p</p>

## Annexe B : Méthodes analytiques

Tableau 16. Analyse des éléments traces métalliques et éléments majeurs en phases dissoute et totale

Phases dissoute et totale		
	Extraction	Méthode analytique
As	HNO <sub>3</sub>	ICP-MS
Cd	HNO <sub>3</sub>	ICP-MS
Cr	HNO <sub>3</sub>	ICP-MS
Cu	HNO <sub>3</sub>	ICP-MS
Ni	HNO <sub>3</sub>	ICP-MS
Pb	HNO <sub>3</sub>	ICP-MS
Zn	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
Pt	HNO <sub>3</sub>	ICP-MS
Co	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
Mo	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
Sr	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
V	HNO <sub>3</sub>	ICP-MS
Ba	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
Ti	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
Al	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
Fe	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
Mn	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
Ca	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
Na	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
K	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
Mg	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES
P	HNO <sub>3</sub>	ICP-OES

Tableau 17. Analyse des HAPs en phases dissoute et particulaire

	Extraction (phase dissoute)	Extraction (phase particulaire)	Méthode analytique
Nap	SPE	QuEChERS	GC-ToF
Acy	SPE	QuEChERS	GC-ToF
Ace	SPE	QuEChERS	GC-ToF
Flu	SPE	QuEChERS	GC-ToF
Phe	SPE	QuEChERS	GC-ToF
A	SPE	QuEChERS	GC-ToF
Flh	SPE	QuEChERS	GC-ToF
Pyr	SPE	QuEChERS	GC-ToF
BaA	SPE	QuEChERS	GC-ToF
Chr	SPE	QuEChERS	GC-ToF
BbF	SPE	QuEChERS	GC-ToF
BkF	SPE	QuEChERS	GC-ToF
BaP	SPE	QuEChERS	GC-ToF
IP	SPE	QuEChERS	GC-ToF
D(a,h)A	SPE	QuEChERS	GC-ToF
Bper	SPE	QuEChERS	GC-ToF

**Tableau 18. Analyse des APs, APEOs, Bisphénol A et PBDEs en phases dissoute et particulaire**

	<b>Extraction (phase dissoute)</b>	<b>Méthode analytique</b>	<b>Extraction (phase particulaire)</b>	<b>Méthode analytique</b>
BPA	SPE	LC-MSMS	micro-ondes	LC-MSMS
NPEC1	SPE	LC-MSMS	micro-ondes	LC-MSMS
4-OP	SPE	LC-MSMS	micro-ondes/QuEChERS	LC-MSMS
OP1EO	SPE	LC-MSMS	micro-ondes	LC-MSMS
OP2EO	SPE	LC-MSMS	micro-ondes	LC-MSMS
4-NP	SPE	LC-MSMS	micro-ondes/QuEChERS	LC-MSMS
NP1EO	SPE	LC-MSMS	micro-ondes	LC-MSMS
NP2EO	SPE	LC-MSMS	micro-ondes	LC-MSMS
B28	SPE	GC-MS	micro-ondes	GC-MS
B47	SPE	GC-MS	micro-ondes	GC-MS
B99	SPE	GC-MS	micro-ondes	GC-MS
B100	SPE	GC-MS	micro-ondes	GC-MS
B153	SPE	GC-MS	micro-ondes	GC-MS
B154	SPE	GC-MS	micro-ondes	GC-MS
B183	SPE	GC-MS	micro-ondes	GC-MS
B205	SPE	GC-MS	micro-ondes	GC-MS
B209	SPE	GC-MS	micro-ondes	GC-MS

**Tableau 19. Analyse des pesticides en phases dissoute et particulaire**

	<b>Extraction (phase dissoute)</b>	<b>Méthode analytique</b>	<b>Extraction (phase particulaire)</b>	<b>Méthode analytique</b>
24M	SPME	GC-MSMS	ASE	GC-MSMS
Mec	SPME	GC-MSMS	ASE	GC-MSMS
Car	SPME	GC-MSMS	ASE	GC-MSMS
Sim	SPE	LC-MSMS	QuEChERS	LC-MSMS
DCPMU	xx	xx	xx	xx
Isop	SPME/SPE	LC-MSMS	ASE/QuEChERS	LC-MSMS
Atr	SPE	LC-MSMS	QuEChERS	LC-MSMS
Di	SPE	LC-MSMS	ASE/QuEChERS	LC-MSMS
Dif	SPME	GC-MSMS	ASE	GC-MSMS
AM	Liq-Liq	LC-Fluo	US	LC-Fluo
GIA	Liq-Liq	LC-Fluo	US	LC-Fluo
Gly	Liq-Liq	LC-Fluo	US	LC-Fluo

## Annexe C : Taux de couverture des évènements

### ***Principe***

Chacun des sites étudiés dans cette thèse (Référence ASP, CSR, Tranchée, Noue, Entrée et Sortie du bassin de retenue) est instrumenté par un dispositif débitmétrique servant à l'asservissement d'un ou plusieurs préleveurs automatiques (prélèvement proportionnel au volume ou au débit suivant les sites).

L'échantillon final composé doit être représentatif au maximum de la concentration moyenne en polluant sur l'évènement. Les sources d'incertitudes sont nombreuses. Elles sont rappelées et analysées dans le contexte du temps de pluie par Rossi *et al.* (2011) et rappelé dans le cas de l'analyse de performances de systèmes de retenue par Sébastien (2013). Parmi celles-ci figure la mauvaise couverture des évènements essentiellement liée à l'impossibilité de prédire avec exactitude durée et quantité de pluie. Cela est complexifié par le fait que chaque site a des dynamiques différentes (assez mal connues pour les dispositifs à la source) donc des consignes de prélèvements propres.

C'est pour toutes ces raisons que nous tentons ici de mieux appréhender le contexte réel dans lequel les échantillons ont été acquis et notamment celui de la couverture de l'évènement.

Nous définissons le taux de couverture comme le ratio entre le volume au sein duquel les prélèvements ont été effectués (appelés ici volume prélevé équivalent) et le volume total écoulé :

$$T = 100. V_{pe}/V_{tot}$$

$T$  : taux de couverture de l'évènement en pourcentage

$V_{tot}$  : volume total mesuré à l'exutoire du système

$V_{pe}$  : volume prélevé équivalent

La figure a) ci-dessous illustre le déroulement d'un prélèvement hypothétique proportionnel au débit où chaque trait noir représente le prélèvement d'un sous-échantillon. Les prélèvements s'arrêtent lorsque le remplissage du monoflacon est complet alors que l'évènement n'est pas terminé.

La Figure b) montre le volume d'eau correspondant au volume total observé par l'instrumentation ( $V_s$ ) (partie en rouge + partie en jaune) et le volume prélevé équivalent observé ( $V_{pe}$ ) (en rouge) ayant conduit à l'échantillon complet.

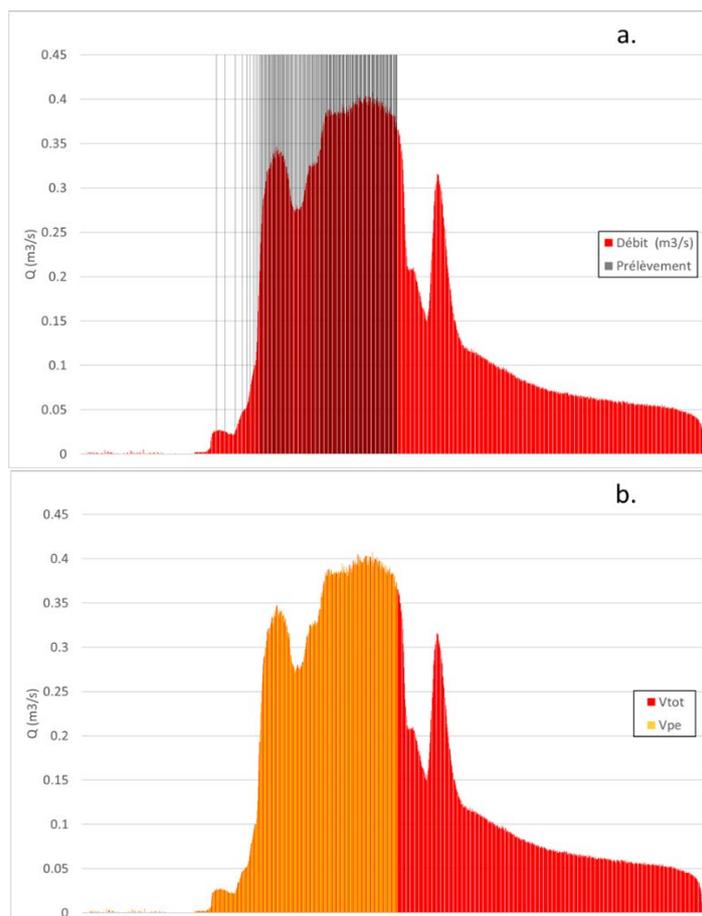


Figure 52. Schémas d'illustration du principe de calcul du taux de couverture

Tableau 20. Récapitulatif des échantillons analysés ainsi que leur méthode d'obtention (les zones hachurées correspondent à des évènements sans rejet d'eau à l'exutoire des sites). Les couleurs des cases différencient visuellement les sites

Campagnes	Date de l'évènement	Dj-R Entrée			Dj-R Sortie			ASP			CSR			Tranchée			Noüe								
		21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.	ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.				
1	05/11/2017	P	P	P	P	P	P	P	P																
2	11/11/2017									B	B	P	B	B	P	B									
3	28/11/2017	P			P	P			P	B	B	B	B	B	P	B									
4	16/01/2018	P	P	P	P	P	P	P	P	B	B	P	B	B	P	B	T	T	T	T					
5	03/03/2018																								
6	16/03/2018									P	P	P	P	B	B	B	B	B	B	B	B				
7	04/04/2018									B	B	B	B	B	B	B	P	P	P	P					
8	14/05/2018									P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	T	T	T	T	
9	29/05/2018									B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	T	T	T	T	
10	05/06/2018									B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
11	15/06/2018	P	P	P	P	P	P	P	P					P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
12	08/11/2018									B	B	B	B	B*	B*	B*	B*	T	T	T	T				

P : Echantillon obtenu par prélèvement complètement fonctionnel couvrant tout ou partie de l'évènement (cas1).

B : Echantillon obtenu grâce au bidon de récupération (cas 2).

T : Echantillon obtenu par récupération de l'intégralité du volume à l'exutoire du site (cas particulier du précédent).

B\* : Evènement analysé grâce à une récupération d'échantillon par bidon, mais dont les données de débit sont inexploitable

## Résultats

Les Tableaux 21 et 22 présentent les taux de couverture des évènements, pour le site centralisé et les sites à la source.

Les stratégies de prélèvements sont construites à partir de prévisions météorologiques. Il est donc possible d'observer un biais entre les stratégies prévues et les échantillons effectivement obtenus (pluies plus courtes/longues, gammes de volume attendues trop/pas assez importantes par rapport à la réalité, etc.).

On constate ici que les prélèvements entrée – sortie pour le bassin de rétention de Django-Reinhardt présentent des taux de couverture constants et bien plus importants que ceux des dispositifs à la source. Les taux de couverture pour ce site (entrée et sortie confondues) sont en moyenne de plus de 84 % (écart type de 11 %) et toujours supérieurs à 60 %. Ces taux élevés s'expliquent par le fait que malgré les incertitudes sur la prévision de pluie, les dynamiques sont bien maîtrisées sur ce bassin et les consignes de prélèvement y sont éprouvées.

C'est moins le cas pour les sites à la source, pour lesquels la méthodologie de prélèvement n'est pas encore fiabilisée. En effet, 55 % des prélèvements sont réalisés dans des bidons de récupération pour pallier la mise en défaut des systèmes de prélèvement et/ou des stratégies de prélèvement, au-delà du biais lié aux prévisions de pluie. Le prélèvement par bidon de récupération n'étant pas basé sur une proportionnalité du débit, la qualité de ces échantillons est de fait moins bonne. Les faibles valeurs de couverture proviennent aussi des temps longs de ré-essayage de ces dispositifs.

Les taux de couverture peuvent varier grandement d'un évènement à l'autre : de l'ordre de 10 % à 100 % pour les sites à la source et la référence ASP. Ceci est lié à la sensibilité de la réponse de chacun des sites par rapport à la pluie. En effet, l'échelle réduite des sites à la source les rend très vulnérables à la moindre variation de précipitation. Cette sensibilité met à mal toute programmation des préleveurs automatiques sur les sites de l'Ecocampus car le moindre écart entre la pluie réelle et les prévisions météorologiques utilisées pour la programmation (volumes d'eau plus/moins importants que prévu ou ponctuels au lieu de diffus dans le temps) entraînent des variations de quantité d'eau trop importantes par rapport à la marge de manœuvre accordée aux préleveurs. De ce fait nous avons dû nous résoudre à l'utilisation de bidons de récupération à l'exutoire des sites de l'Ecocampus afin d'avoir à coup sûr un échantillon analysable quitte à diminuer la qualité des taux de couvertures.

Tableau 21. Valeurs des taux de couverture pour chacun des échantillons du site centralisé et des sites à la source.

Campagnes	Date de l'évènement	Dj-R Entrée				Dj-R Sortie			
		21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BisA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BisA	9 pest.
1	05/11/2017	73%	73%	73%	73%	62%	62%	62%	62%
3	28/11/2017	93%			93%	96%			96%
4	16/01/2018	96%	96%	96%	96%	98%	98%	98%	98%
11	15/06/2018	100%	100%	100%	100%	86%	86%	86%	86%

Campagnes	Date de l'évènement	ASP				CSR				Tranchée				Noüe			
		21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BPA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BisA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BisA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BisA	9 pest.
2	11/11/2017	46%	46%	94%	46%	76%	76%	78%	76%			99%					
3	28/11/2017	76%	76%	76%	76%	77%	77%	51%	77%								
4	16/01/2018	59%	59%	98%	59%	73%	73%	66%	73%	100%	100%	100%	100%				
6	16/03/2018	99%	99%	99%	99%	50%	50%	50%	50%	39%	39%	39%	39%				
7	04/04/2018	9%	9%	9%	9%	67%	67%	67%	67%	99%	99%	99%	99%				
8	14/05/2018	98%	98%	98%	98%	88%	88%	88%	88%	99%	99%	99%	99%	100%	100%	100%	100%
9	29/05/2018	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	22%	22%	22%	22%	100%	100%	100%	100%
10	05/06/2018	7%	7%	7%	7%	66%	66%	66%	66%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%
11	15/06/2018					75%	75%	75%	75%	36%	36%	36%	36%	65%	65%	65%	65%
12	08/11/2018	30%	30%	30%	30%					100%	100%	100%	100%				

Tableau 22. Valeurs des taux de couvertures pour chacun des échantillons (site à la source). Les couleurs des cases différencient visuellement les sites

Campagnes	Date de l'évènement	ASP				CSR				Noüe				Tranchée			
		21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BisA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BisA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BisA	9 pest.	21 ML & MES	16 HAP	9 PBDE, 9 AP & BisA	9 pest.
1	05/11/2017																
2	11/11/2017	46%	46%	94%	46%	76%	76%	78%	76%							99%	
3	28/11/2017	76%	76%	76%	76%	77%	77%	51%	77%								
4	16/01/2018	59%	59%	98%	59%	73%	73%	66%	73%					100%	100%	100%	100%
5	03/03/2018																
6	16/03/2018	99%	99%	99%	99%	50%	50%	50%	50%					39%	39%	39%	39%
7	04/04/2018	9%	9%	9%	9%	67%	67%	67%	67%					99%	99%	99%	99%
8	14/05/2018	98%	98%	98%	98%	88%	88%	88%	88%	100%	100%	100%	100%	99%	99%	99%	99%
9	29/05/2018	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	100%	100%	100%	100%	22%	22%	22%	22%
10	05/06/2018	7%	7%	7%	7%	66%	66%	66%	66%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%
11	15/06/2018					75%	75%	75%	75%	65%	65%	65%	65%	36%	36%	36%	36%
12	08/11/2018	30%	30%	30%	30%									100%	100%	100%	100%

On constate ici que les prélèvements entrée – sortie pour le bassin de rétention Django-Reinhardt présentent un taux de couverture bien plus importants et constants que ceux des dispositifs à la source. Les taux de couvertures pour ce site (entrée et sorties confondues) sont en moyenne à plus de 84 % (écart type de 11 %) et toujours supérieure à 60 %. Les consignes de prélèvement y sont donc éprouvées, car les dynamiques sont bien maîtrisées au-delà des incertitudes sur la prévision de pluie.

On peut constater que cette maîtrise n'est pas au rendez-vous pour les sites à la source. Le premier élément attestant cet état de fait est la quantité d'échantillons non intégrale obtenus par bidon de récupération (55 % de tous les échantillons) qui, même si leurs taux de couverture peuvent s'avérer élevés, démontre la mise en défaut des systèmes de prélèvement et/ou des stratégies de prélèvement au-delà des prévisions de pluie. Le prélèvement par bidon de récupération n'étant pas basé sur une proportionnalité du débit, la qualité de ces échantillons est de fait inférieure.

Les valeurs faibles de couverture proviennent aussi des temps longs de re-essayage de ces dispositifs.

De plus, les taux de couverture peuvent varier grandement d'un événement à l'autre de l'ordre de 10 % à 100 % pour le parking imperméable (ASP), la noue et la tranchée notamment que la noue et la tranchée. La variabilité est plutôt moins grande sur la CSR dont les dynamiques sont mieux maîtrisées. Les valeurs faibles sur le parking imperméable, dont les flux d'eau à l'exutoire sont très prévisibles sont liées principalement aux dysfonctionnements du préleveur.

Il est également nécessaire de garder à l'esprit que les stratégies de prélèvements sont tirées de prévisions météorologiques incertaines et peu précises. Connaissant la variabilité existante entre les prévisions et la réalité, il est peu surprenant d'observer un décalage entre les stratégies prévues et les échantillons effectivement obtenus (préleveurs mis en défaut trop tôt, gamme de volumes attendus trop/pas assez importante par rapport au réel,...).

A titre indicatif, les tableaux 23 à 25 répertorient les différents volumes nécessaires aux calculs du taux de couvertures.

Tableau 23. Récapitulatif des différents volumes observés ou calculés nécessaires à l'obtention du taux de couverture pour le site Django Reinhardt (Vtot : volume total mesuré à l'exutoire du système, Vpe : volume prélevé équivalent, Vout : volume total mesuré à l'exutoire du système pendant la durée d'échantillonnage)

Campagnes	Date de l'évènement	Dj-R Entrée				Dj-R Sortie			
		Vtot (m3)	Vpe Préleveur (m3)	Vpe Bidon (m3)	Vout (m3)	Vtot (m3)	Vpe Préleveur (m3)	Vpe Bidon (m3)	Vout (m3)
1	05/11/2017	21915.1	15904.2	-	21915.1	19205.0	11891.9	-	19205.0
2	11/11/2017								
3	28/11/2017	2710.5	2531.1	-	2559.0	2619.4	2520.4	-	2553.9
4	16/01/2018	4236.0	4060.4	-	4080.8	4179.0	4082.0	-	4094.1
5	03/03/2018								
6	16/03/2018								
7	04/04/2018								
8	14/05/2018								
9	29/05/2018								
10	05/06/2018								
11	15/06/2018	4608.9	4590.4	-	4644.1	4984.8	4305.0	-	4316.7
12	08/11/2018								

Tableau 24. Récapitulatif des différents volumes observés ou calculés nécessaires à l'obtention du taux de couverture pour le parking imperméable (ASP) et la chaussée réservoir (CSR) (Vtot : volume total mesuré à l'exutoire du système, Vpe : volume prélevé équivalent, Vout : volume total mesuré à l'exutoire du système pendant la durée d'échantillonnage)

Campagnes	Date de l'évènement	ASP				CSR			
		Vtot (L)	Vpe Préleveur (L)	Vpe Bidon (L)	Vout (L)	Vtot (L)	Vpe Préleveur (L)	Vpe Bidon (L)	Vout (L)
1	05/11/2017								
2	11/11/2017	393.4	368.9	180.4	393.4	367.3	287.7	278.2	349.5
3	28/11/2017	214.1	-	162.3	214.1	195.3	100.3	150.1	195.3
4	16/01/2018	336.2	330.0	198.6	336.2	300.2	199.0	220.0	323.0
5	03/03/2018								
6	16/03/2018	413.5	407.8	-	413.5	355.3	-	176.7	355.3
7	04/04/2018	730.8	-	62.6	730.8	278.1	-	185.7	278.1
8	14/05/2018	2019.2	1981.3	-	2003.7	1907.3	1686.0	-	1701.7
9	29/05/2018	1036.5	-	189.5	1036.4	1140.4	-	209.4	922.5
10	05/06/2018	567.9	-	37.3	566.0	424.1	-	280.5	346.8
11	15/06/2018					2110.3	1561.6	-	2110.3
12	08/11/2018	652.7	-	194.6	652.7				

Tableau 25. Récapitulatif des différents volumes observés ou calculés nécessaires à l'obtention du taux de couverture pour le système tranchée et noue (Vtot : volume total mesuré à l'exutoire du système, Vpe : volume prélevé équivalent, Vout : volume total mesuré à l'exutoire du système pendant la durée d'échantillonnage)

Campagnes	Date de l'évènement	Tranchée				Noue			
		Vtot (L)	Vpe Préleveur (L)	Vpe Bidon (L)	Vout (L)	Vtot (L)	Vpe Préleveur (L)	Vpe Bidon (L)	Vout (L)
1	05/11/2017								
2	11/11/2017	45.5	45.1	-	45.5	0%	-	-	-
3	28/11/2017	0%	-	-	-	0%	-	-	-
4	16/01/2018	24.0	-	24.0	24.0	0%	-	-	-
5	03/03/2018								
6	16/03/2018	103.8	-	40.0	103.8				
7	04/04/2018	82.5	82.0	-	82.5	0%	-	-	-
8	14/05/2018	133.2	131.9	-	133.2	28.1	-	28.1	28.1
9	29/05/2018	183.7	-	40.0	183.7	26.8	-	26.8	26.8
10	05/06/2018	345.0	-	40.0	345.0	324.2	-	40.0	324.2
11	15/06/2018	1930.4	689.1	-	1930.4	1667.8	1087.9	-	1667.8
12	08/11/2018	9.7	-	9.7	9.7	0%	-	-	-

## Annexe D : Analyse des blancs et impacts sur les concentrations mesurées

Le Tableau 26 présente pour chaque polluant la proportion du nombre d'échantillons qui n'a pas été impacté par une possible contamination des dispositifs métrologiques. Ces résultats n'intègrent que les prélèvements de cette étude, ceux réalisés par Sébastien (2013) dans le cadre d'INOGEV ayant été déjà traités et de la même façon.

**Tableau 26. Proportion du nombre d'échantillons non impactés par une possible contamination des dispositifs métrologiques**

		Asphalte	CSR	Tranchée	Noue	Dj-R E	Dj-R S	
ETM	As	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Cd	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Co	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Cr	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Cu	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Mo	0%	0%	100%	100%	100%	100%	
	Ni	100%	60%	100%	100%	100%	100%	
	Pb	100%	0%	100%	75%	100%	100%	
	Sr	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Ti	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	V	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Zn	100%	30%	100%	100%	100%	100%	
	Ba	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	HAP	Nap	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<u>Acv</u>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Ace		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<u>Flu</u>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<u>Phe</u>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
A		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<u>Flh</u>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<u>Pvr</u>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<u>BaA</u>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Chr		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<u>BbF</u>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<u>BkF</u>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<u>BaP</u>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
IP		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<u>D(a,h)A</u>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
<u>Bper</u>		100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Pesticides		24M (MCPA)	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		Mec	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		Car	100%	80%	100%	100%	100%	100%
	Sim	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	DCPMU	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	<u>Isop</u>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	<u>Atr</u>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Di	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	<u>Dif</u>	100%	90%	100%	100%	100%	100%	
	AMPA	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	GIA	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	<u>Glv</u>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	BP	BPA	100%	75%	83%	50%	100%	100%
	Alkylphénols	NPEC1	29%	100%	100%	75%	33%	33%
		4-OP	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		OP1EO	100%	63%	83%	100%	100%	100%
		OP2EO	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		4-NP	100%	75%	100%	100%	100%	100%
		NP2EO	71%	0%	100%	75%	67%	67%
		NP1EO	29%	13%	33%	25%	100%	100%
PBDE	B28	71%	100%	83%	100%	67%	67%	
	B47	100%	100%	100%	25%	0%	0%	
	B100	86%	100%	100%	100%	100%	100%	
	B99	86%	88%	100%	50%	100%	100%	
	B154	100%	38%	33%	50%	100%	100%	
	B153	43%	63%	50%	25%	100%	100%	
	B183	86%	100%	100%	100%	100%	100%	
	B205	86%	100%	100%	100%	100%	100%	
	B209	100%	63%	100%	100%	67%	100%	
	Nombre Echantillons		544	610	478	264	222	222

Globalement les échantillons réalisés sur les blancs ne montrent aucune contamination en HAP et un faible impact sur les pesticides.

Ils montrent peu de relargage de métaux. Les relargages concernent Pb, Ni, Sr, Ti, Zn et Mo. Quand ils sont observés, les concentrations des blancs impactent peu les mesures car elles sont faibles (inférieures au µg/L) et proches la plupart du temps des limites de quantification. Le Zn présente quelques concentrations de blancs plus élevées mais inférieure à 9 µg/L bien en dessous des concentrations habituellement observées dans les eaux de ruissellement. Il en est de même pour le Mo.

Ainsi, dans le Tableau 27 lorsque des échantillons sont impactés par une possible contamination métallique ( % non nul) il s'agit de contamination faible agissant sur des concentrations elles-mêmes faibles.

Des relargages sont plus fréquents pour les alkylphénols, et les retardateurs de flamme bromés.

Pour les dispositifs métrologiques présentant des parties métalliques et en matière plastique, les relargages ne sont pas étonnants et sont faibles. Ils ne sont pas homogènes sur les différents dispositifs car ceux-ci ne sont pas exactement les mêmes pour s'adapter au mieux aux sites.

On peut estimer après ces tests que les différents dispositifs métrologiques n'ont finalement que peu d'impact sur les concentrations exceptés pour certains polluants bien ciblés et dont les niveaux de concentrations sont faibles.

Après cette étape, les concentrations et les masses tirées de l'étude du projet INOGEV par Sébastien (2013) ont été intégrées aux valeurs de concentrations obtenues sur le bassin de rétention de Django Reinhardt car acquises dans les mêmes conditions et sur le même site.

**Tableau 27: Proportion du nombre d'échantillons à concentrations prises égale à zéro suite aux blancs réalisés sur les dispositifs métrologiques**

	Asphalte	CSR	Tranchée	Noue	Dj-R E	Dj-R S
Cd	0%	30%	38%	25%	0%	0%
Co	0%	20%	0%	0%	0%	0%
Mn	0%	0%	0%	25%	0%	0%
Mo	100%	100%	13%	0%	0%	0%
Ni	11%	60%	0%	0%	0%	0%
Pb	0%	50%	0%	25%	0%	0%
Zn	0%	80%	0%	0%	0%	0%
Ba	11%	50%	13%	0%	0%	0%
Fe	0%	10%	0%	0%	0%	0%
Na	11%	0%	0%	0%	0%	0%
P	11%	20%	13%	0%	0%	50%
Ace	50%	22%	57%	75%	0%	33%
Flu	63%	22%	29%	0%	33%	33%
Phe	0%	11%	0%	0%	0%	0%
Pyr	0%	11%	0%	0%	0%	0%
Chr	13%	0%	0%	0%	0%	0%
Bper	0%	0%	0%	0%	33%	33%
Car	0%	10%	0%	0%	0%	0%
Isop	0%	0%	0%	0%	0%	33%
Di	0%	0%	13%	0%	0%	0%
AMPA	0%	10%	13%	0%	0%	0%
GIA	11%	10%	13%	0%	0%	0%
Gly	11%	0%	13%	0%	25%	0%
BPA	0%	25%	17%	50%	0%	0%
NPEC1	71%	0%	0%	25%	67%	67%
4-OP	0%	25%	0%	0%	0%	0%
OP1EO	0%	38%	17%	0%	0%	0%
OP2EO	0%	13%	0%	0%	0%	0%
4-NP	0%	25%	0%	0%	0%	0%
NP2EO	29%	100%	0%	25%	33%	33%
NP1EO	57%	75%	67%	75%	0%	0%
B28	14%	0%	0%	0%	0%	33%
B47	0%	13%	0%	50%	100%	100%
B99	0%	0%	17%	0%	67%	0%
B154	14%	0%	50%	0%	67%	33%
B153	0%	0%	33%	25%	33%	0%
B209	0%	25%	33%	0%	33%	0%

## Annexe E : Analyse des occurrences

Les figures de 53 à 57 présentent pour chaque site et pour les différents micropolluants le nombre d'échantillons dont la concentration a pu être quantifiée (> LOQ), seulement détectée ( $\in [LOD ; LOQ]$ ) ou ni détectée ni quantifiée (<LOD).

### Asphalte – Exutoire du parking imperméable

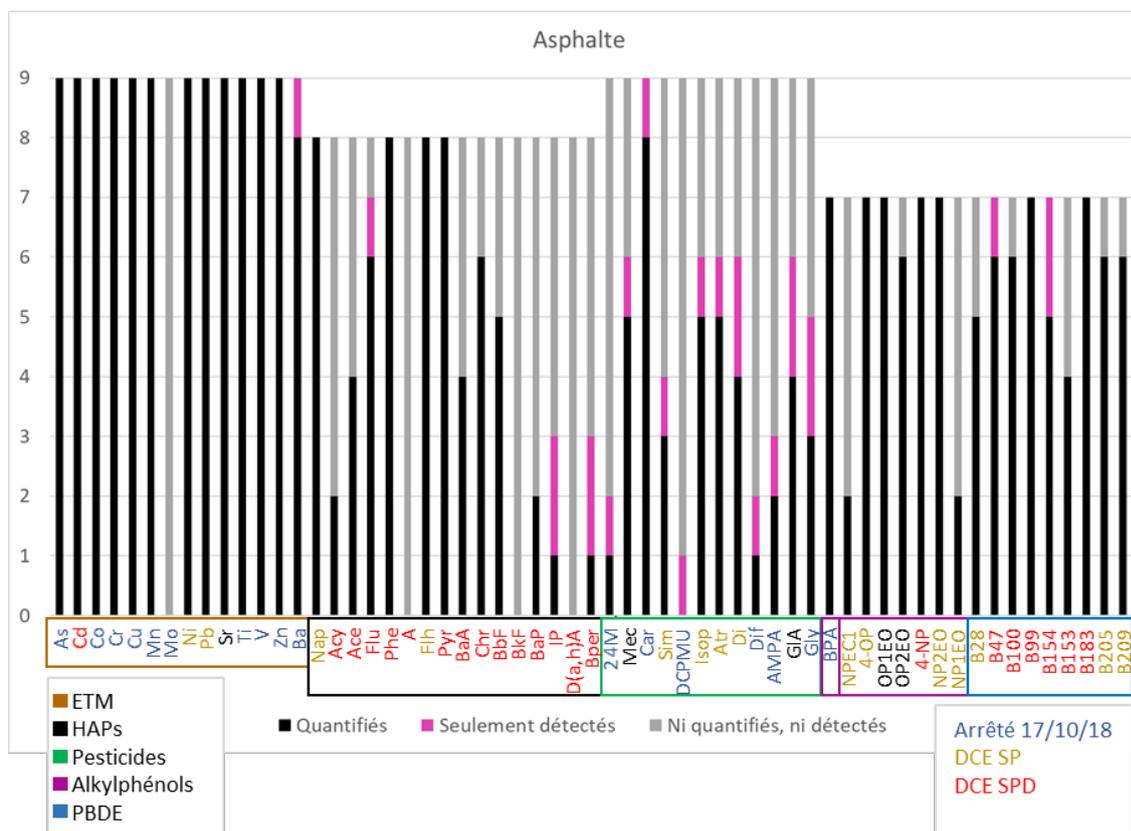


Figure 53. Par micropolluant, nombre d'échantillons dont la concentration a pu être quantifiée (en noir), seulement détectée (en mauve) ; ou ni détectée ni quantifiée (en gris). La hauteur totale des barres donne le nombre total d'échantillons analysés – Cas du parking imperméable de référence (Asphalte).

On observe pour la **référence Asphalte** que les polluants de 317 analyses sur 481 (soit 66 %) ont été quantifiés.

Les **ETM** le sont systématiquement à l'exception d'un échantillon pour le baryum et de tous les échantillons de molybdène. Cette absence totale de quantification et même de détection pour le molybdène est due au traitement des données par rapport aux blancs présentés précédemment et à leur faible concentration.

Les **HAPs** sont en majorité moins souvent quantifiés ou détectés (63 échantillons sur 128 présentent une quantification (soit 49 %) et 5 sur 128 une détection (4 %). On observe une quantification et/ou une détection plus marquée pour les HAPs légers (resp. 58 % quantifiés et 2 % détectés) que pour les lourds (resp. 44 % et 5 %). Quatre HAPs sont toujours quantifiés : le naphthalène, le fluoranthène (substances prioritaires (SP) de la DCE), le phénanthrène et le pyrène (substances prioritaires dangereuses (SPD) de la DCE). L'anthracène, le benzo(k)fluoranthène et le dibenzo(a,h)anthracène, trois substances prioritaires dangereuses, ne sont en revanche jamais détectés.

Les pesticides sont quantifiés à 38 % (41 fois sur 108). Le carbendazime qui est un fongicide répandu est toujours quantifié ou détecté. Le mécoprop, glufosinate ammonium, et les trois substances prioritaires (isoproturon, atrazine et diuron) sont détectés ou quantifiés au moins 6 fois sur 9, le glyphosate et la simazine (SP, DCE) sont quantifiés et/ou détectés respectivement 5 et 4 fois sur 9.

Les alkylphénols sont quantifiés à 80 % (45 fois sur 56). Le 4-nonylphénol (seul SPD, DCE de cette famille de polluants) et les nonylphenol-1-carboxylé, nonylphénol-di éthoxylé et nonylphénol-mono-éthoxylé (SP, DCE), sont quantifiés respectivement 9/9, 2/9, 5/9 et 2/9 fois. Le Bisphénol A et les octylphénols sont eux systématiquement quantifiés (sauf le OP2EO quantifié 6/7).

On note aussi la quantification systématique ou fréquente de tous les PBDE (tous SP ou SPD, DCE).

Globalement, la totalité des familles de micropolluants est présente sur le site Asphalte : les métaux surtout sont très présents ainsi que les alkylphénols, BPA et PBDE. Certains HAPs et pesticides sont également présents mais de manière moins systématique. Certaines substances prioritaires ou prioritaires dangereuses sont systématiquement ou en majorité quantifiées (e.g. le cadmium, le nickel et le plomb, le naphthalène, le fluoranthène, le benzo(b)fluoranthène, l'atrazine, le diuron, l'isoproturon, le bisphénol A, 4-tert-octylphénol, 4-nonylphénol et les BDE 28, 47, 100, 183, 205 et 209).

### CSR – Exutoire de la chaussée réservoir

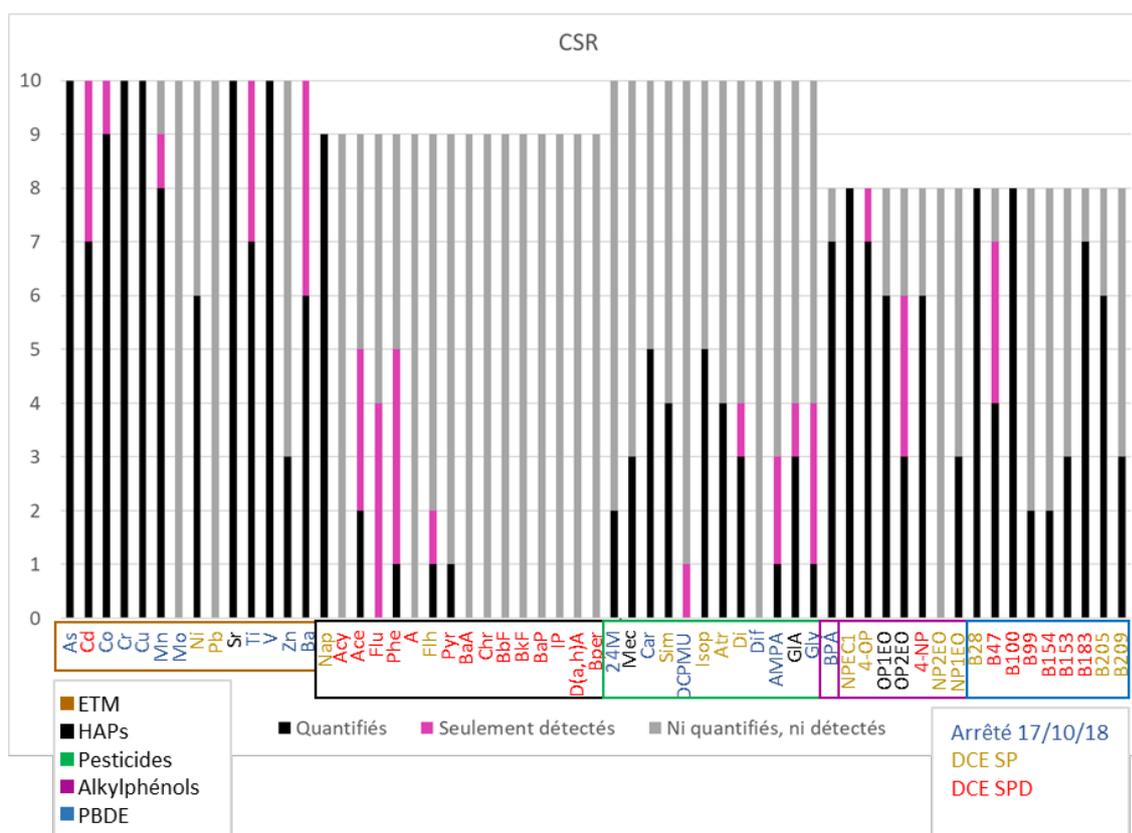


Figure 54. Par micropolluant, nombre d'échantillons dont la concentration a pu être quantifiée (en noir), seulement détectée (en mauve) ; ou ni détectée ni quantifiée (en gris). La hauteur totale des barres donne le nombre total d'échantillons analysés – Cas de la chaussée à structure réservoir (CSR)

**A l'exutoire de la CSR**, les polluants de 224 analyses sur 540 (soit 41 % contre 66 % pour l'Asphalte) ont été quantifiés : les polluants sont donc moins souvent quantifiés et/ou détectés sur la CSR que sur l'Asphalte.

Une baisse de la quantification par rapport à l'Asphalte est à souligner pour la majorité des métaux (-23 %), notamment pour le nickel (SP, DCE) et le zinc (respectivement quantifiés 6 et 3 fois sur 10). En revanche le cuivre, le chrome, l'arsenic, le strontium et le vanadium sont eux toujours systématiquement quantifiés. Le cadmium (SPD, DCE) reste majoritairement quantifié et systématiquement détecté. Le plomb (SP, DCE) n'est lui plus du tout quantifié ni détecté.

Les HAPs et les pesticides sont moins souvent quantifiés et/ou détectés que pour la référence Asphalte. Seulement 10 % des échantillons de HAPs sont quantifiés (contre 49 % pour l'Asphalte) et 8 % ont fait l'objet d'une détection. 26 % des échantillons de pesticides sont quantifiés (contre 38 % pour l'Asphalte) et 7 % ont fait l'objet d'une détection. Le naphtalène (SP, DCE) reste quantifié dans la totalité des cas et le carbendazime et l'isoproturon (SP, DCE) dans la majorité des cas. On remarque que 8 HAPs lourds (SPD, DCE) ne sont pas détectés et le pyrène (SPD, DCE) n'est quantifié qu'une fois.

Les alkylphénols sont majoritairement quantifiés : 63 % de quantification de polluants contre 79 % pour l'Asphalte. Les NPEC1 et 4-OP (SP, DCE) sont quantifiés quasi-systématiquement tandis que le NP2EO (SP, DCE) ne l'est jamais. Le bisphénol A est quantifié 8 fois sur 9.

Les PBDE ne sont quant à eux quantifiés que pour 49 % des échantillons contre 83 % pour l'Asphalte. On remarque une quantification systématique ou quasi-systématique pour les BDE 100, 183 (SPD, DCE), 28 et 205 (SP, DCE).

Le nombre de polluants quantifiés et/ou détectés à l'exutoire de la CSR est nettement inférieur à celui de l'Asphalte, notamment pour les HAPs et métaux usuellement trouvés en phase particulaire (Ellis et Revitt, 1982 ; Hoffman *et al.*, 1984). Ceci laisse supposer une potentielle efficacité de cet ouvrage en termes d'abattement des flux particulaires que nous étudierons ultérieurement.

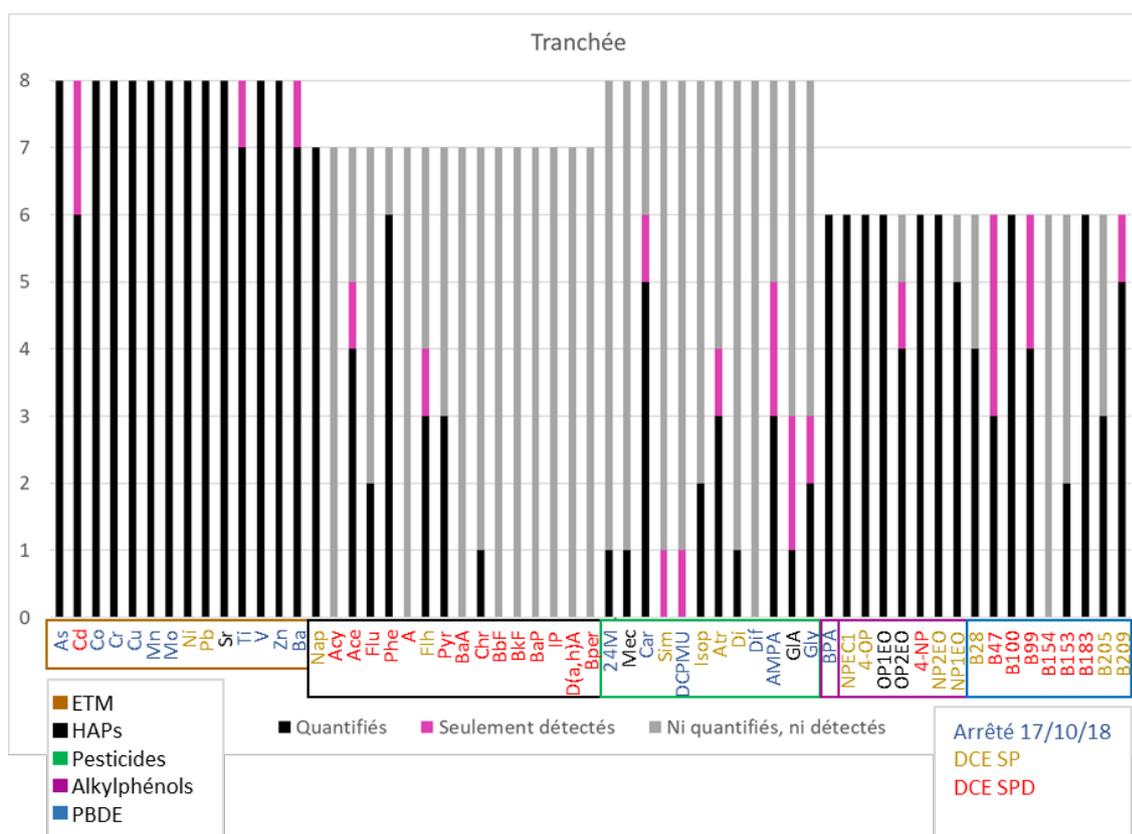


Figure 55. Par micropolluant, nombre d'échantillons dont la concentration a pu être quantifiée (en noir), seulement détectée (en mauve) ; ou ni détectée ni quantifiée (en gris). La hauteur totale des barres donne le nombre total d'échantillons analysés – Cas de la tranchée

**Pour le système muni de la Tranchée**, les polluants de 231 analyses sur 422 (55 %) ont été quantifiés.

On constate une quantification importante des métaux (96 % et 100 % de détection). Le molybdène est quantifié systématiquement, contrairement à la CSR et l'Asphalte. Le cadmium (SPD, DCE), bien que détecté systématiquement, est le composé le moins quantifié (6/8).

On note une diminution de quantification des HAPs et des pesticides par rapport à la référence Asphalte (respectivement -26 % et -28 %) mais elle est moindre que pour la CSR. Au total, si le naphthalène (SP, DCE) est encore une fois systématiquement quantifié, 9 HAPs (SPD, DCE) ne le sont jamais, et 3 autres (dont le fluoranthène SP, DCE) moins de la moitié du temps.

Une quantification importante des alkylphénols (94 %) est observée. Tous les composés de cette famille sont systématiquement quantifiés exceptés pour les OP2EO et NP1EO qui sont quantifiés et/ou détectés 5 fois sur 6. La forte occurrence des alkylphénols devra être investiguée dans le chapitre suivant quand seront analysés les niveaux de contamination des rejets.

Les PBDE sont quantifiés 33 fois pour 54 échantillons (61 %). Les BDE 100 et 183 (SPD, DCE) sont toujours quantifiés et les BDE 47, 99 (SPD, DCE) et 209 (SP, DCE) sont eux toujours au moins détectés (quantifiés respectivement 3/6, 4/6 et 5/6 fois).

On observe une baisse globale des quantifications des polluants à l'exutoire de la Tranchée par rapport à l'Asphalte, notamment en ce qui concerne les HAPs. Cette tendance est cependant moins prononcée que pour la CSR.

## Exutoire de la Noue

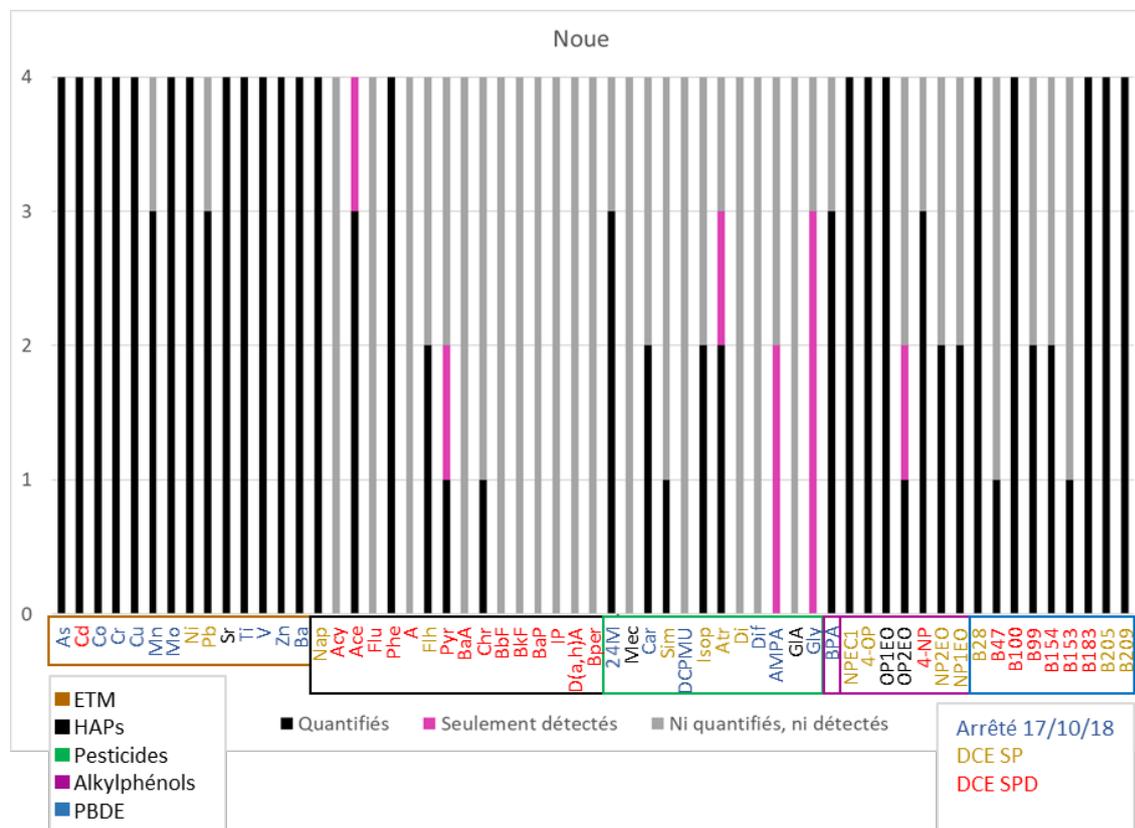


Figure 56. Par micropolluant, nombre d'échantillons dont la concentration a pu être quantifiée (en noir), seulement détectée (en mauve) ; ou ni détectée ni quantifiée (en gris). La hauteur totale des barres donne le nombre total d'échantillons analysés – Cas de la noue

**Le site muni de la Noue**, bien que pauvre en résultats d'analyses, montre 128 quantifications sur 236 analyses (54 %) et tend à se comporter de la même manière que la Tranchée.

96 % des métaux sont quantifiés avec là aussi la présence du molybdène. 10 HAPs (SPD, DCE) ne sont jamais quantifiés et 3 (dont le fluoranthène : SP, DCE) le sont au plus 1 fois sur deux. On note là encore une quantification systématique du naphthalène (SP, DCE).

Etonnamment, 5 pesticides n'apparaissent pas à l'exutoire de la noue contrairement aux autres sites (mécoprop, DCPMU, diuron (SP), diflufenicanil, glufosinate ammonium).

Si 28 % des échantillons d'alkylphénols et de PBDE ne sont pas quantifiés, nombreux sont ceux qui le sont systématiquement ou presque : le Bisphénol A, les NPECl, 4-OP et BDE 28, 205 et 209 (SP, DCE) ainsi que les 4-NP et BDE 100 et 183 (SPD, DCE).

Globalement, on observe une moindre quantification des polluants à l'exutoire des sites à la source par rapport à la référence Asphalte, ce qui laisse supposer une bonne performance de ces ouvrages en termes d'abattement de la contamination en micropolluants.

## Entrée et sortie du bassin de retenue Django Reinhardt

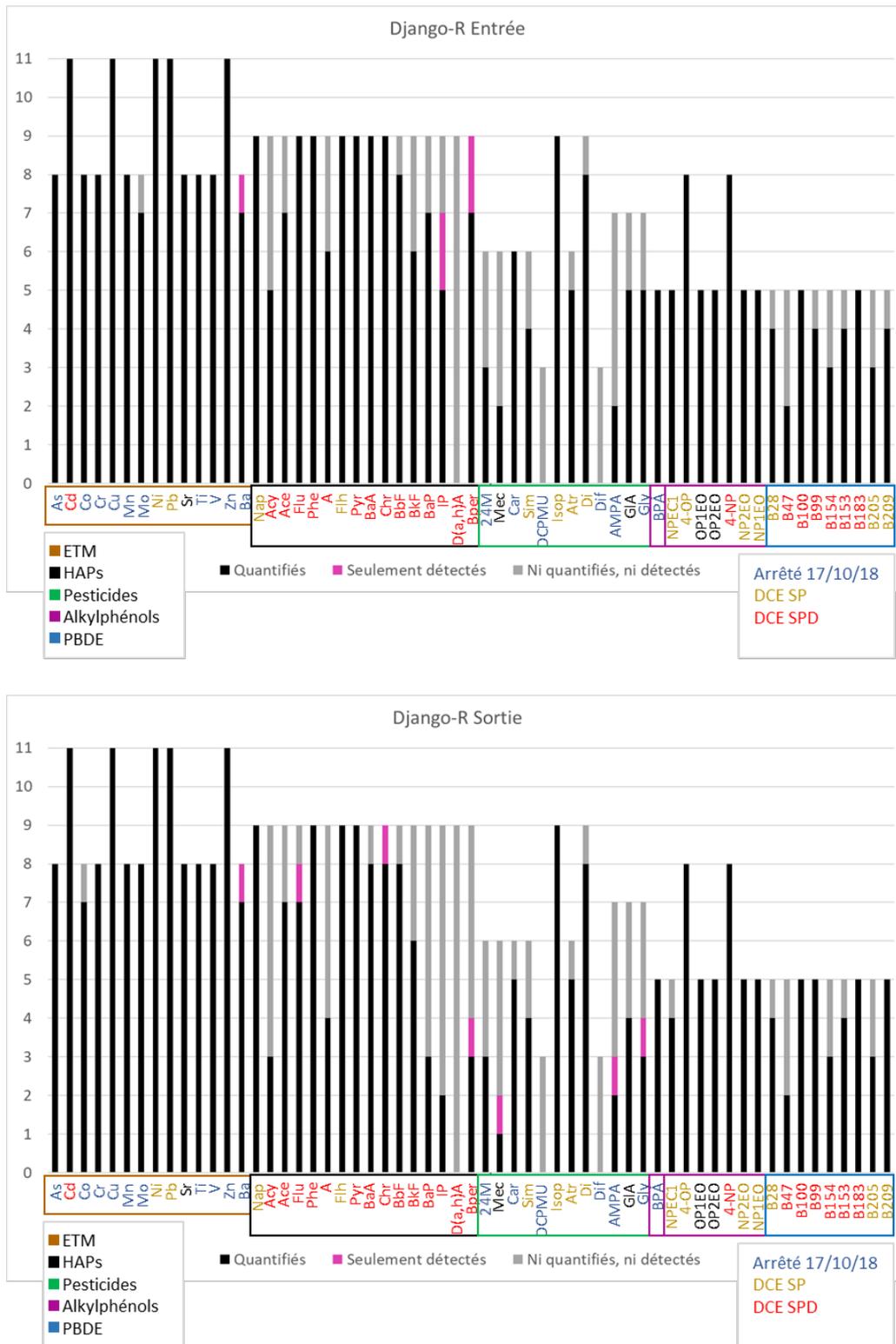


Figure 57. Par micropolluant, nombre d'échantillons dont la concentration a pu être quantifiée (en noir), seulement détectée (en mauve) ; ou ni détectée ni quantifiée (en gris). La hauteur totale des barres donne le nombre total d'échantillons analysés – Cas de l'entrée (en haut) la sortie (en bas) du bassin de retenue Django Reinhardt

On constate une forte proportion d'échantillons quantifiés et/ou détectés à l'entrée comme à la sortie du **bassin de rétention de Django Reinhardt** (368 quantifiés et 5 détectés sur 437 (resp. 84 % et 1 %)

à l'entrée et 345 quantifiés et 7 détectés sur 437 à la sortie soit (79 % et 2 %). Une quantification à l'entrée du bassin entraîne quasi systématiquement une quantification à la sortie pour la majorité des composés : à quelques occurrences près, l'entrée et la sortie du bassin Django-Reinhardt montrent les mêmes tendances, et diffèrent des sites à la source de l'Ecocampus.

Les métaux et les alkylphénols sont tous quantifiés ou détectés en entrée et en sortie dans les mêmes proportions à l'exception d'un échantillon pour le molybdène en entrée et un pour le cobalt et le NPEC1 en sortie (non détectés)).

Une moindre quantification des HAPs et des pesticides est observée en sortie de bassin par rapport à l'entrée (respectivement 79 % et 65 % en entrée pour 66 % et 59 % en sortie). Seul le dibenzo(a,h)anthracène (SPD, DCE) n'est jamais quantifié ni détecté. On peut noter que, comme pour les sites décentralisés, les HAPs lourds tendent à être moins quantifiés et/ou détectés que les HAPs légers (77 % contre 83 % pour l'entrée du bassin et 62 % contre 72 % en sortie).

Un taux de quantification de 76 % des PBDE est observé pour l'entrée du bassin contre 80 % en sortie. Un échantillon de BDE 99 et un de BDE 209 ont en effet été quantifiés à la sortie mais pas à l'entrée du bassin de rétention. On observe par ailleurs une quantification et/ou détection systématique ou quasi systématique pour les BDE 100, 99, 153, 183 (SPD, DCE), les BDE 28 et 209 (SP, DCE) à l'entrée du bassin de rétention comme à la sortie.

Les occurrences en termes de quantification sont plus élevées en entrée et sortie du bassin que sur les sites à la source.

## Annexe F : Comparaison des masses par m<sup>2</sup> de surface active en entrées de bassin de retenue et sur la référence des sites à la source

Le tableau ci-dessous présente les résultats en matière de masses totales par m<sup>2</sup> de surface active pour les sites de DjR Entrée et du site Asphalte, représentant les entrées respectivement du site centralisé et des sites décentralisés. Il présente plus particulièrement :

- la valeur *Q10* du 10<sup>ème</sup> percentile ;
- la valeur *Med* de la médiane ;
- la valeur *Q90* du 90<sup>ème</sup> percentile ;
- la valeur *CV* du coefficient de variation (Ecart type/moyenne) ;
- la valeur de la *Pvalue* issue du test de Wilcoxon testant si les distributions sont significativement différentes ou non au seuil de 5 %. Pour rappel une *Pvalue* < 0.05 indique que les distributions sont statistiquement différentes (cases grises) ;
- si elles ne sont pas statistiquement différentes, la valeur de la médiane *Med\_réfs* de la distribution issue de la fusion des deux distributions des sites de référence DjR Entrée et Asphalte ;
- la valeur de la NQE ou de la concentration assurant le bon état écologique des milieux ;
- le rapport entre la concentration médiane et la NQE (*Med / NQE*) et entre parenthèse le rapport de la concentration *Q90 / NQE*. Si les distributions sont statistiquement différentes, les rapports sont relatifs à chaque distribution. Si elles ne le sont pas, les rapports sont issus de la fusion des deux distributions. Si ces rapports sont > 1 la case est en rouge, si seul le rapport de *Q90/NQE* est > 1 la case est en orange, sinon la case est verte ;
- des éléments de comparaison avec la littérature qui permettent :
  - de visualiser par une représentation schématique si les concentrations obtenues sont dans la fourchette basse, haute, dans toute la gamme ou hors des gammes de valeurs fournies par la littérature ;
  - de donner les valeurs minimales et maximales trouvées dans la littérature sur des eaux pluviales ou autres lorsque l'information sur les eaux pluviales manque et les références associées.

Tableau 28. Données statistiques des masses par m<sup>2</sup> de surface active (MSa) totales pour les sites de référence DJR Entrée et Asphalte

			DJR Entrée				Asphalte				Pvalue WCX	Med_réfs
			Q10	Med	Q90	CV	Q10	Med	Q90	CV		
ETM	As	( $\mu\text{g}$ )	4.84	22.13	46.64	68%	1.65	10.95	101.59	158%	0.423	16.93
	Cd	( $\mu\text{g}$ )	0.82	4.63	15.75	90%	0.11	1.39	14.08	150%	0.149	2.26
	Co	( $\mu\text{g}$ )	4.72	62.49	285.25	118%	0.77	5.57	67.92	154%	0.059	17.67
	Cr	( $\mu\text{g}$ )	27.11	190.73	316.60	64%	7.88	89.85	443.70	138%	0.277	108.36
	Cu	( $\mu\text{g}$ )	56.37	579.15	2096.06	100%	19.18	155.30	736.63	130%	0.058	243.94
	Mn	( $\mu\text{g}$ )	147.25	1282.20	3731.43	91%	51.61	445.92	6981.03	166%	0.423	1052.40
	Mo	( $\mu\text{g}$ )	2.33	20.66	776.53	169%	0.00	0.00	0.00	-	0.001	-
	Ni	( $\mu\text{g}$ )	16.11	150.99	253.28	75%	9.93	35.32	283.01	130%	0.287	80.96
	Pb	( $\mu\text{g}$ )	17.63	215.58	763.86	104%	5.93	41.85	484.01	159%	0.171	79.98
	Sr	( $\mu\text{g}$ )	425.90	1187.64	2607.72	67%	93.73	342.88	1379.67	112%	0.015	-
	Ti	( $\mu\text{g}$ )	232.64	1031.43	2918.59	85%	177.06	1848.51	14562.30	146%	0.606	1057.92
	V	( $\mu\text{g}$ )	17.46	74.29	190.12	73%	7.98	44.45	465.34	145%	0.815	63.64
	Zn	( $\mu\text{g}$ )	723.35	4854.05	13343.94	87%	70.82	438.05	3693.69	137%	0.005	-
Ba	( $\mu\text{g}$ )	162.75	1090.35	10996.60	176%	39.70	310.74	2745.04	149%	0.139	559.62	
pest.	Car	(ng)	106.00	440.40	1291.13	79%	8.06	100.62	1117.15	157%	0.145	225.99
	Atr	(ng)	0.35	10.39	1435.30	158%	0.00	18.03	1252.70	174%	0.769	11.40
	Di	(ng)	4.97	124.52	691.65	115%	0.00	3.17	179.93	214%	0.042	-
Bis	BPA	(ng)	3740.22	5631.48	21323.08	77%	366.57	780.21	4057.34	102%	0.005	-
AP	NPEC1	(ng)	1155.75	4195.16	7586.28	71%	0.00	0.00	218.13	171%	0.003	-
	4-OP	(ng)	72.04	464.09	1159.73	84%	47.87	76.54	1736.72	143%	0.463	206.85
	OP1EO	(ng)	142.65	772.01	5811.55	137%	56.35	220.59	1172.17	103%	0.202	458.99
	OP2EO	(ng)	28.59	116.79	378.89	89%	10.69	31.53	184.46	113%	0.268	52.07
	4-NP	(ng)	1399.73	4212.15	20139.15	102%	469.03	1277.50	8345.48	122%	0.072	2761.26
	NP2EO	(ng)	323.28	1984.74	4050.80	72%	56.40	222.64	1737.99	107%	0.048	-
	NP1EO	(ng)	357.08	3950.91	8224.12	84%	0.00	0.00	508.41	177%	0.005	-
HAP	Nap	(ng)	223.39	2332.77	54802.37	183%	276.68	1606.54	8701.37	110%	0.606	2275.19
	Ace	(ng)	20.56	117.39	1247.56	134%	10.11	31.57	150.36	105%	0.036	-
	Flu	(ng)	29.97	243.89	1098.98	92%	51.01	78.99	363.97	85%	0.236	181.42
	Phe	(ng)	131.37	1149.49	3881.34	87%	125.18	903.43	3133.79	97%	0.673	1149.49
	Flh	(ng)	134.79	1466.57	3802.90	82%	91.87	969.62	2799.11	94%	0.370	1102.51
	Pyr	(ng)	143.90	1640.14	3425.01	76%	68.37	753.51	2443.05	99%	0.200	1084.85
	BaA	(ng)	62.85	491.82	2443.38	96%	9.39	218.49	1510.89	126%	0.167	446.02
	Chr	(ng)	53.78	700.67	1511.56	73%	11.03	329.84	2490.77	143%	0.370	602.26
	BbF	(ng)	54.23	1138.89	2491.61	88%	26.40	366.05	1677.43	108%	0.321	725.22
	BKF	(ng)	33.86	233.70	1372.72	130%	18.42	36.05	126.67	82%	0.046	-
	BaP	(ng)	22.23	395.66	783.94	79%	31.18	90.16	626.03	126%	0.277	251.12
	IP	(ng)	20.52	391.49	2206.59	111%	106.68	227.80	958.30	89%	0.423	373.78
	Bper	(ng)	131.17	493.32	2085.81	96%	106.68	232.54	977.51	89%	0.236	391.49
	$\Sigma$ HAP légers	(ng)	471.02	3165.62	61244.15	164%	555.51	3669.92	11381.24	95%	0.541	3165.62
	$\Sigma$ HAP Lourds	(ng)	689.54	7184.81	19654.99	83%	629.74	4865.86	12914.38	91%	0.370	5890.31
	$\Sigma$ 16HAP	(ng)	1160.56	9672.27	80056.87	130%	1198.82	10061.96	20207.10	83%	0.606	9672.27
PBDE	B183	(ng)	10.99	22.62	87.26	82%	5.35	41.39	157.16	108%	1.000	32.01
	B205	(ng)	5.13	13.31	55.56	110%	3.51	63.77	445.20	156%	0.267	45.60
	B209	(ng)	0.00	1769.96	2884.19	84%	8.28	178.92	6226.54	188%	0.455	564.76
	$\Sigma$ GPBDE	(ng)	0.00	0.00	63.14	307%	0.00	0.00	184.14	278%	0.539	0.00
MES	(mg)	69.77	538.53	1543.36	96%	53.30	2580.53	13342.93	145%	0.330	1020.46	

Les mêmes tendances sont observables pour les masses au m<sup>2</sup> actif que pour les concentrations.

On constate que 31 composés sur 41 (75 %) montrent des distributions semblables entre l'entrée du bassin Django Reinhardt et la référence Asphalte (*Pvalue* < 0,05), là encore principalement dû à la variabilité inter-événementielle (coefficients de variation en grande majorité supérieurs à 100 %).

Dix substances présentent des distributions significativement différentes. En majorité ce sont les mêmes substances que pour les concentrations, sauf pour le diuron, le strontium et le nonylphénol-diéthoxylé. Toutes montrent des masses au m<sup>2</sup> actif sur l'entrée de Django Reinhardt bien supérieures à celles du parking Asphalte.

### 1. Objet

Pour s'assurer que les parkings servant à mesurer les apports sont sollicités de manière similaire (en termes de stationnement), des campagnes de photos ont eu lieu sur une semaine à plusieurs moments dans la journée (entre le 1<sup>er</sup> et le 7 février 2016). D'autres campagnes ont été menées (du 14 au 20 novembre 2016) pour vérifier les tendances. La campagne de photographies est également réalisée sur d'autres ouvrages du campus par temps de pluie pour comparer au moins visuellement les différences de comportement (aptitude à l'absorption de l'eau, à la bonne tenue mécanique et à leur dégradation dans le temps).

### 2. Acquisition des données

Chaque jour, du lundi 1<sup>er</sup> au dimanche 7 février, des photographies ont été prises aux points indiqués sur les plans des sites (Cf. plans ci-dessous – figure A) permettant d'avoir accès à la fréquentation (principalement le stationnement). Les photos ont été prises le matin entre 7h30 et 8h30, en milieu de matinée (10h), en début d'après-midi (13h) et le soir entre 18h et 19h.

Des photos supplémentaires ont été prises chaque fois que le photographe a détecté des anomalies ou lorsque la photo a été réalisée pendant une pluie. Des commentaires à chaque prise ont pu être collectés.

Pour le site « Noues/tranchée », on appelle :

- noue de sortie : la noue sur laquelle les mesures en sortie sont réalisées (celle qui est placée entre les points de vue 5 et 8 (Figure A) ;
- tranchée de sortie : la tranchée sur laquelle les mesures en sortie sont réalisées (celle qui est placée entre les points de vue 2 et 10 (Figure A) ;
- les deux noues du milieu qui pouvait servir à mesurer les apports (l'une ou l'autre). On les appelle respectivement Noue Apport 1 (Point 4' et 8') et noue Apport 2 (Point 4 et 9).

Le site dit « CSR » est le parking en pied du bâtiment Coulomb du Campus qui comprend une partie en enrobé classique nommée partie imperméabilisée et une partie en chaussée réservoir. Les photos de ce site sont prises du premier étage du bâtiment Coulomb qui offre une vue plongeante sur le parking.

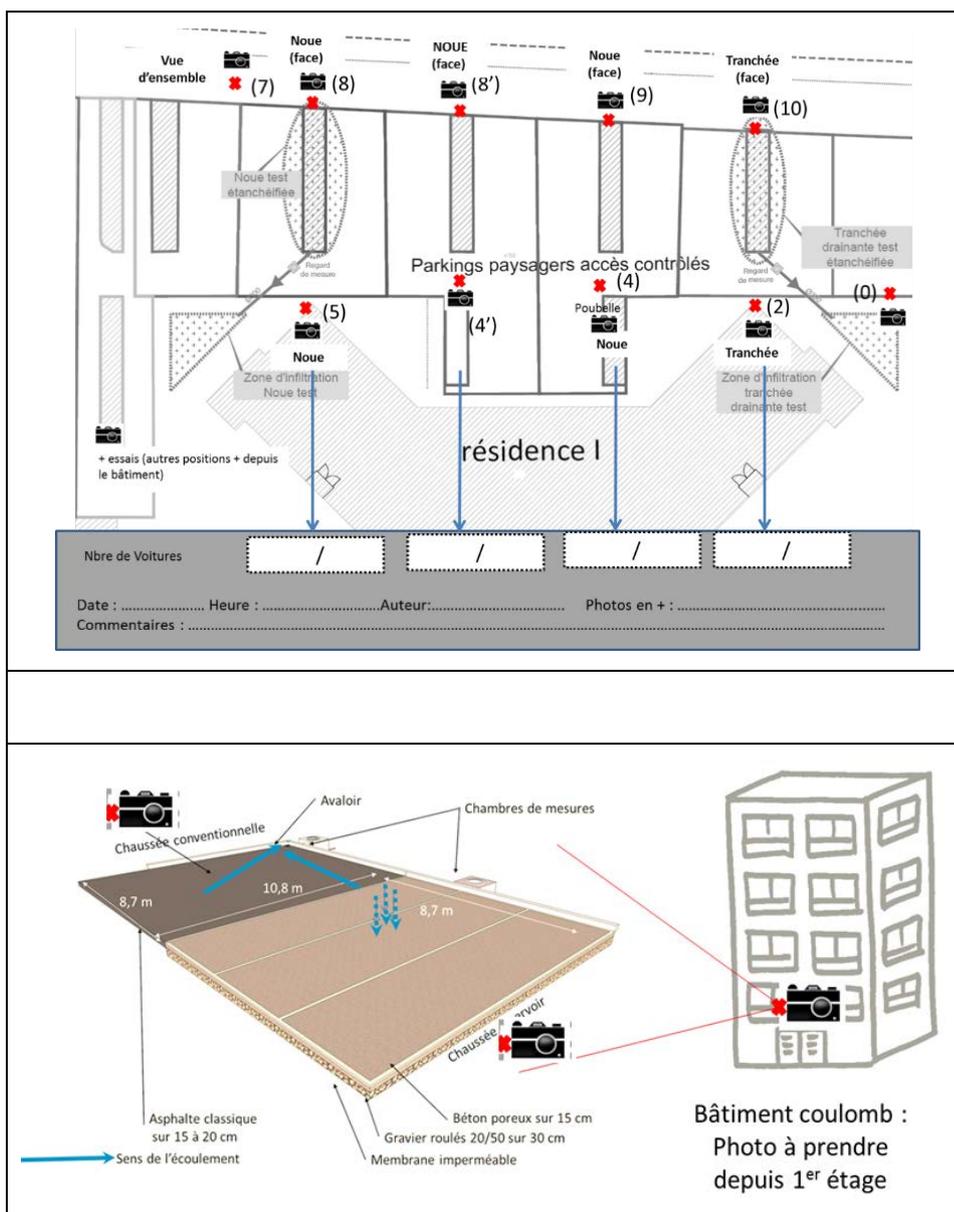


Figure A. Rappel des points de vue des photos sur le site a) « Noues /tranchée » et b) CSR

### 3. Comparaison de l'occupation moyenne des parkings liés aux ouvrages

Les graphiques des figures B et C montrent l'occupation des véhicules pour les différents sites.

- On voit sans surprise que le parking CSR, que ce soit sur sa partie imperméabilisée ou en chaussée réservoir est moins utilisé que ceux des noues et des tranchées (Figure B et C).
- Pour le site « Noues /tranchée », il y a une hétérogénéité entre les différents ouvrages notamment entre la tranchée de sortie et la noue de sortie (quasiment 2 fois plus autour de la tranchée). Les noues du milieu qui pouvaient servir à mesurer les apports (Apport1 ou Apport2) sont également hétérogènes. A voir pour le choix du site de mesure le plus adapté.
- Pour le site « CSR », la partie « chaussée réservoir » est plus utilisée. Cependant, l'ordre de grandeur entre les deux parties n'est pas si éloigné. Les véhicules se garent indûment sur des

zones réservées à la livraison et aux personnes handicapées. Les véhicules de livraison se garent au milieu du parking par manque de place.

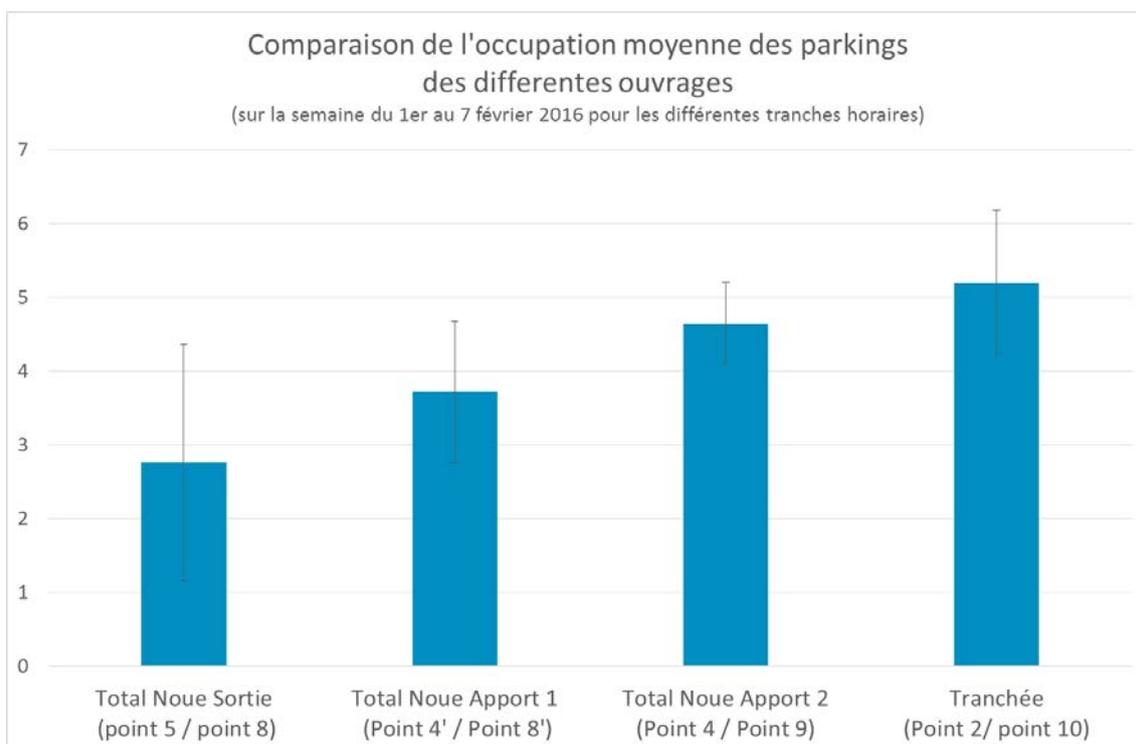


Figure B. Résultats de comparaison de l'occupation moyenne des parkings liés aux noues et tranchées

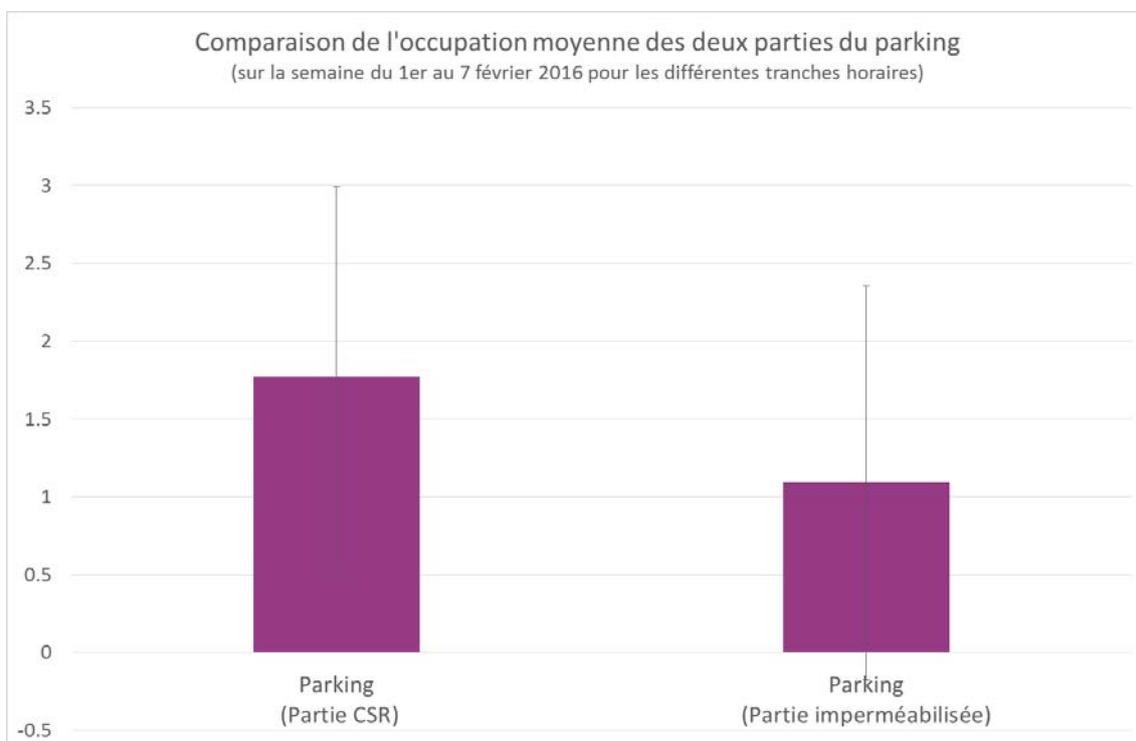


Figure C. Résultats de comparaison de l'occupation moyenne du parking muni de la chaussée à structure réservoir (CSR)

#### 4. Comparaison des fréquentations au cours de la semaine

Cette comparaison est donnée à la figure D pour le site « Noues/tranchée » et Figure E pour le site « CSR ». Les fluctuations sont plus importantes pour le site « CSR » (ce qui est normal vu qu'il est utilisé plutôt en journée) et pour le parking de la noue de sortie.

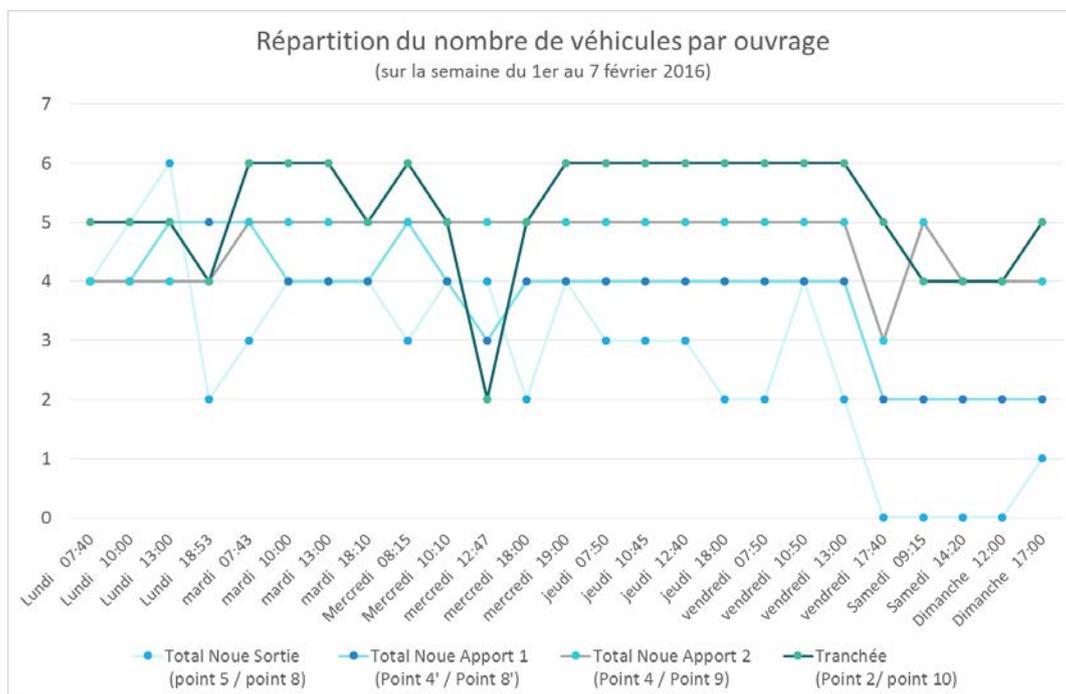


Figure D : Résultats de comparaison de la fréquentation au cours du temps pour les parkings liés aux noues et tranchées

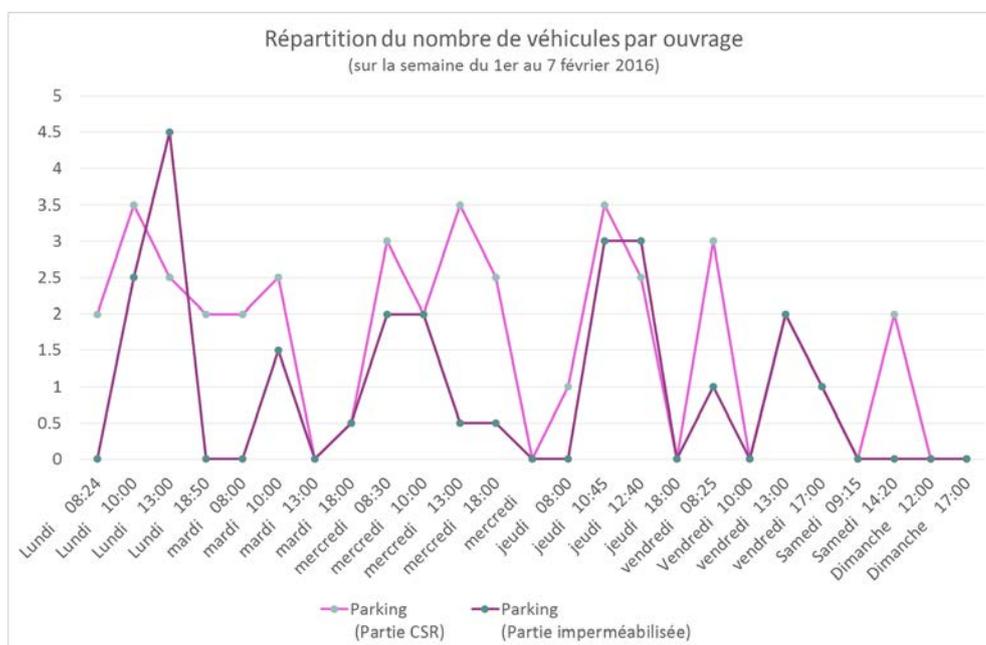


Figure E : Résultats de comparaison de la fréquentation au cours du temps pour le parking du site « CSR »

5. Commentaires sur les photos et rapport d'observation (les termes rapportés sur les fiches sont rapportés tels quels dans le tableau)

Jour		Heure	Commentaires	Questions / réactions	Photos associées
Lundi	01/02/2016	07:40	un chien dans la noue	Peut-il venir y faire ses besoins ?	
Mardi	02/02/2016	07:43	re chien dans la noue + bouteille		 <p>Photo F. Déchet bouteille</p>
Mardi	02/02/2016	18:10	Le photographe mentionne beaucoup de circulation sur le boulevard Niels Bohr en bordure des parkings	Penser à récupérer la circulation si disponible. Il peut y avoir une influence sur les retombées atmosphériques et la pollution du site	

Mercredi	03/02/2016	08:15	Rajout d'une photo de l'intérieur du bâtiment pour voir si une prise de vue de ce point pourrait suffire	Finalement on ne voit pas si bien que ça tous les parkings	 <p>Photo G. Vue du bâtiment</p>
Mercredi	03/02/2016	18:00	croisé un chien ...	Encore !  le même ?	
Jeudi	04/02/2016	18:00	Pluie		

Vendredi	05/02/2016	17 :00	<p>Constat qu'une planche de la partie chaussée réservoir est très verdie. Même constat par le photographe du week-end</p>	<p>Voir si cette partie est moins infiltrante à terme</p> <p>On voit sur la photo au parapluie rouge que la partie CSR est sèche alors que la partie imperméabilisée ne l'est pas ....</p>	 <p><b>Photo H. Mousse sur la partie poreuse</b></p>  <p><b>Photo I. Zones perméable et imperméable par temps de pluie</b></p>
----------	------------	--------	--	--	---

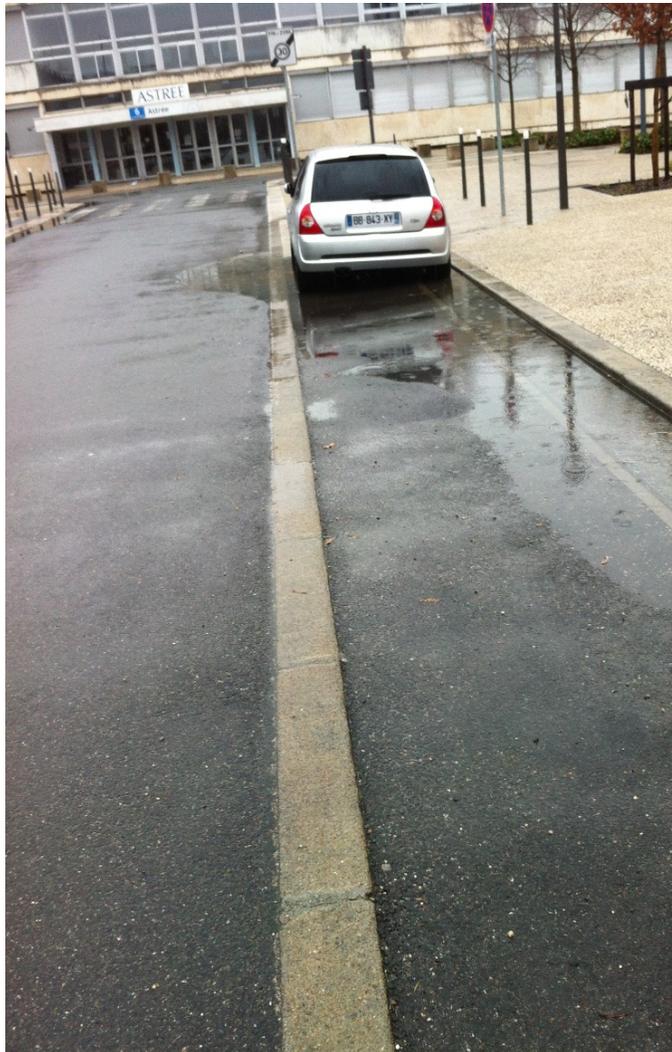
Samedi	06/02/2016	14:20	Beaucoup de vent	Du coup quelques déchets le lendemain dans les noues	
Dimanche	07/02/2016	12:00	Pluie abondante les noues, tranchées et CSR sèches alors que beaucoup d'éléments sur le campus ne l'était pas	<p>Déchets mouchoirs papier, un gobelet et une cagette dus au vent</p> <p>De plus</p> <p>Les noues et tranchées et CSR se comportent bien (Cf photo ci-dessous des autres systèmes)</p>	 <p><b>Photo J. Déchets (gobelets en haute à gauche), cagette (en bas à gauche), mouchoir (à droite)</b></p>

Globalement les sites sont propres (peu de déchets sur une semaine un gobelet, une cagette, un mouchoir après une journée de grand vent et un week-end une bouteille trouvée le mardi matin).

## Annexe H. Observations visuelles sur les dispositifs du campus et problèmes rencontrés



Photo K. A gauche des dalles gazon qui sont colmatées à droite le revêtement perméable est plus efficace bien que moins facilement praticable par les piétons (pluie 07/02/2016)



**Photo L. Le Nidagravel® se colmate et n'infiltré pas l'eau Rappelons qu'il a été placé car le bureau d'étude avait peur du colmatage des noues selon M. Lauze. La surface est faible pour l'infiltration et les roues tassent la surface donc sans surprise cela ne fonctionne pas très bien (Pluie du 07/02/2016)**



**Photo M. Globalement les surfaces imperméables présentent du stockage dans les dépressions plus important que sur les surfaces en gore. Les surfaces en gore s'imperméabilisent petit à petit (photo de gauche) sous les effets des voitures (Pluie du 07/02/2016)**



Photo N. Les ouvrages noues (à gauche) et tranchées (à droite) pendant le même temps sont secs (Pluie du 07/02/2016)

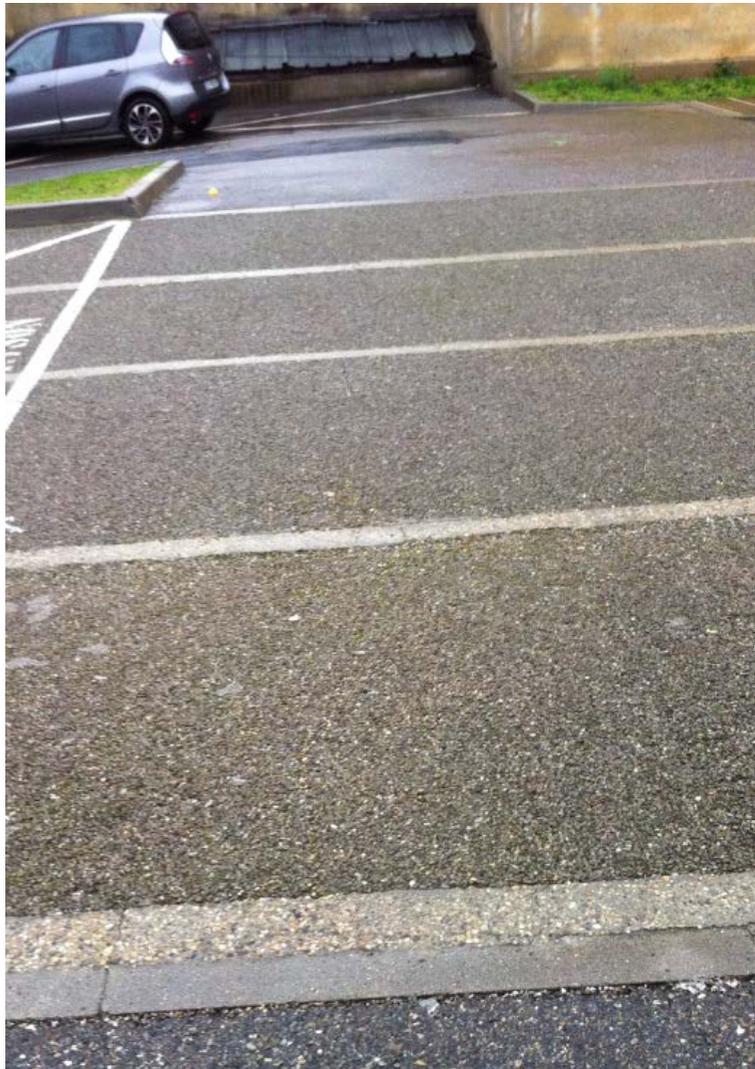


Photo O. A gauche partie perméable, à droite parking classique au même endroit au même moment (Pluie du 07/02/2016)



Photo P. La noue a été fleurie



Photo Q. Par temps de pluie l'idée de l'eau en surface n'est pas encore assimilée par les usagers (Cf questionnaire SHS) mais aussi témoignage de technicien du campus qui prennent l'eau en surface comme un dysfonctionnement des systèmes pourtant neufs ...



Photo R. Les travaux du campus montrent la difficulté des équipes travaux à considérer les noues enherbées sans indication visuelle particulière comme des ouvrages. Quand la noue est formée de galets en fond, les équipes travaux contournent la noue (Photo de gauche) quand la noue est juste enherbée les camions traversent sans la noue et l'endommagent.



**Photo S. Pendant les travaux : passage des engins dans les noues enherbés mais aussi endommagement (08/11/2018) de la chaussée réservoir pour pratiquer une voie d'accès provisoire malgré les avertissements des chercheurs.**