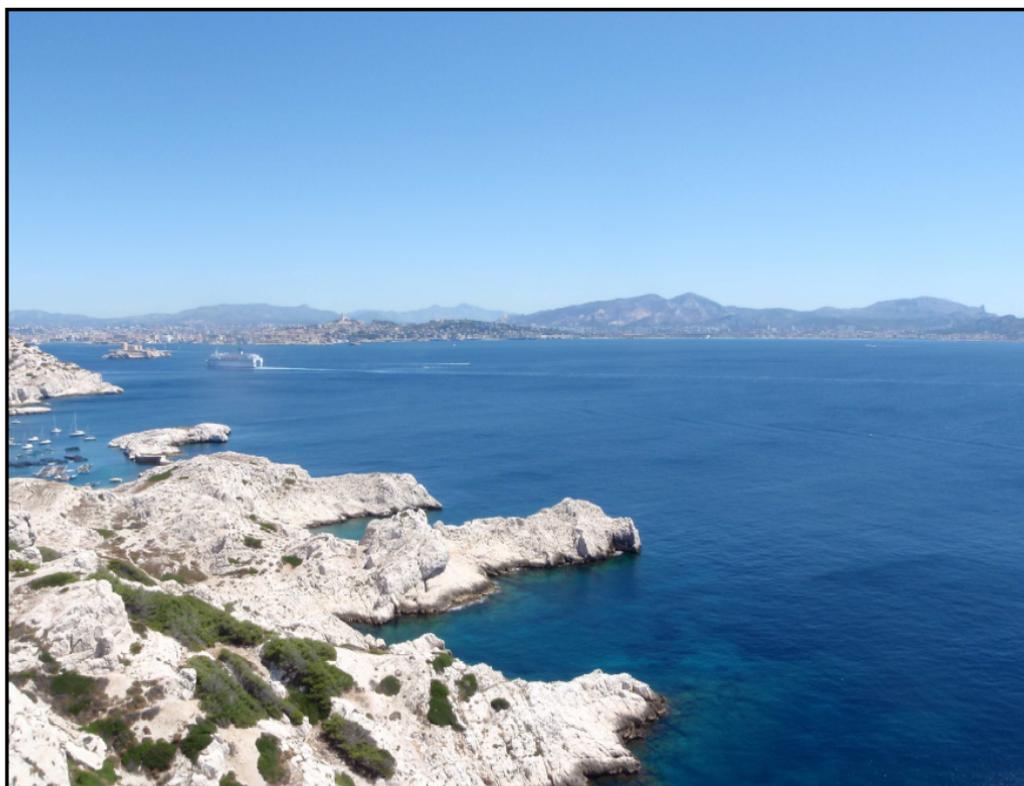


METROC : évaluation des apports de contaminants chimiques de la métropole marseillaise au milieu marin



METROC : évaluation des apports de contaminants chimiques de la métropole marseillaise au milieu marin

Convention AERM&C / Ifremer n° 2009-0351

Fiche documentaire

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Numéro d'identification du rapport : RST.ODE/LER/PAC/12-02 | | date de publication : Janvier 2012 |
| Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> | | nombre de pages : 140 |
| Validé par : Bruno Andral | | bibliographie : oui |
| Adresse électronique : bruno.andral@ifremer.fr | | illustration(s) : oui |
| langue du rapport : français | | |
| Titre de l'article : METROC : évaluation des apports de contaminants chimiques de la métropole marseillaise au milieu marin | | |
| <i>Convention AERM&C / Ifremer n° 2007 1745</i> Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Auteur principal : | Organisme / Direction / Service, laboratoire | |
| Cassandra Jany, Mathilde Zebracki | Ifremer/LER/PAC | |
| Contributeurs : Sauzade Didier (Ifremer), Cossa Daniel (Ifremer), Thouvenin Benedicte (Ifremer), Pairaud Ivane (Ifremer), Djellali Zora (DEA-MPM), Mounier Stéphane (Protée, USTV), Garnier Cédric (Protée, USTV), Andral Bruno (Ifremer). | | |
| Cadre de la recherche : Convention cadre Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse et Ifremer | | |
| Destinataire : Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse | | |
| Résumé | | |
| <p>Le projet METROC (part du programme MEDICIS pour l'étude de l'état et du devenir de la contamination chimique en Méditerranée Occidentale) s'intéresse aux sources et apports des grandes métropoles avec comme site pilote l'agglomération marseillaise. Ce rapport présente les résultats des prélèvements mis en place à Marseille sur différents sites (fluvial et urbain) et pour plusieurs types de contaminants (métaux, HAP, PCB, PBDE) dans les phases dissoutes et particulaires par temps sec et en période de pluie. Les résultats obtenus en terme de concentrations montrent que la rivière des Aygalades présente les plus fortes concentrations en métaux et polluants organiques et que ces mêmes polluants organiques sont présents dans l'Emissaire 2, les déversoirs d'orage et les torrents. Sur la base de ces analyses et des mesures de débit fournies par la DEA l'estimation partielle des flux a été réalisée. Ces résultats indicatifs montrent que la contribution principale est due à l'Emissaire 2 en raison du volume plus important d'eau rejeté. Le second contributeur est l'Huveaune. Les Aygalades ne se distinguent plus, ni même les déversoirs d'orage. Des conseils sont aussi donnés, tirés de l'expérience de ce projet, si une poursuite de l'étude des rejets et de leur devenir devait être envisagée.</p> | | |
| Abstract | | |
| <p>METROC program (part of the MEDICIS program about study and fate of the chemical contamination in Western Mediterranean Sea) focuses on sources and wastes issued by large metropolis, with the agglomeration of Marseille as a pilot site. This report presents the results of a sampling campaign in rivers and urban discharges in Marseille and on different types of contaminants (metals, PAH, PCB and PBDE) in dissolved and particulate phases, in dry and rain periods. Results show that concentrations of pollutants are greater in Aygalades river (metals and organic contaminants) and in Emissaire 2, sewer overflows and torrents. From the results of the analysis and discharge given by the DEA, we estimated partially the flows of pollutants which show that the first contributor is the Emissaire 2 (mainly because of the amount of water discharge). The second contributor is the Huveaune river. The Aygalades are not relevant anymore, neither the sewer outflows. Advice are given, based on this project experience, if the campaign should be pursued.</p> | | |
| Mots-clés : Mer Méditerranée – Littoral – Apports urbains – Marseille – Contamination chimique – Métaux – HAP – PCB – PBDE – Concentrations | | |
| Keywords : Mediterranean Sea – Coast – Urban waste – Marseilles – Chemical contamination – Metals – PAH – PCB – PBDE – Concentration. | | |

Sommaire

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Fiche documentaire | 5 |
| 1. Introduction : contexte et objectifs | 19 |
| 2. Présentation du secteur d'étude | 21 |
| 2.1 Le réseau d'assainissement | 21 |
| 2.2 Le réseau hydrographique | 24 |
| 2.3 Bilan des apports à la mer | 24 |
| 2.4 Choix des sites et de la période d'échantillonnage..... | 29 |
| 3. Stratégie d'échantillonnage et méthodologie associée | 31 |
| 3.1. Stratégie d'échantillonnage | 31 |
| 3.2. Localisation des points de prélèvements et des capteurs hydriques | 33 |
| 3.2.1. Les cours d'eaux | 33 |
| 3.2.2. Les torrents (par temps de pluie) | 35 |
| 3.2.3. L'Émissaire 1 (par temps de pluie) et l'Émissaire 2..... | 37 |
| 3.2.4. Les déversoirs d'orages (par temps de pluie) | 38 |
| 3.2.5. Récapitulatif | 41 |
| 3.3. Les méthodes de prélèvement | 41 |
| 3.3.1. Prélèvements d'eau | 41 |
| 3.3.2. Matières en suspension seules | 43 |
| 3.3.3. Membranes | 43 |
| 3.4. Les méthodes de prélèvement | 44 |
| 3.4.1. Les cours d'eau..... | 44 |
| 3.4.2. Les rejets issus du réseau d'assainissement | 45 |
| 3.4.3. Le ruissellement diffus en milieu urbain | 46 |
| 3.4.4. Les laisses de crue | 46 |
| 3.5. Protocoles de prélèvement et traitement des échantillons | 46 |
| 3.6. Méthodes analytiques..... | 49 |
| 4. Bilan des prélèvements | 51 |
| 5. Résultats | 61 |
| 5.1. Concentrations | 61 |
| 5.1.1. Contaminants organiques | 61 |
| 5.1.2. Contaminants métalliques..... | 71 |
| 5.2. Chemogrammes..... | 79 |
| 5.2.1. Contaminants organiques | 79 |
| 5.2.2. Contaminants métalliques..... | 79 |
| 5.3. Estimations des flux..... | 100 |
| 5.3.1. Contaminants organiques | 102 |
| 5.3.2. Contaminants métalliques..... | 114 |
| 5.3.3. Cas particuliers des déversoirs d'orage et des torrents..... | 119 |
| 6. Synthèse | 125 |
| 6.1. Concentrations | 125 |
| 6.2. Résumé des concentrations en fonction du débit (chemogrammes)..... | 128 |
| 6.3. Flux..... | 129 |
| 7. Conclusions et perspectives | 135 |
| 8. Communications | 139 |
| 9. Références bibliographiques | 140 |



Liste des figures

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Carte du réseau d'assainissement de Marseille. Source : http://www.seram-marseille.fr/ | 22 |
| Figure 2: Schéma du fonctionnement d'un réseau unitaire. Source : http://www.seram-marseille.fr/ | 23 |
| Figure 3 : Schéma du fonctionnement d'un réseau séparatif. Source : http://www.seram-marseille.fr/ | 23 |
| Figure 4: Situation géographique des points de prélèvements à Marseille. | 30 |
| Figure 5: Schéma du piège à sédiments. Source : Phillips et al., 2000 | 43 |
| Figure 6 : Concentration moyenne pour les HAP dissous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec..... | 63 |
| Figure 7 : SUITE - Concentration moyenne pour les HAP dissous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec. | 63 |
| Figure 8 : Concentration moyenne pour les HAP particuliers. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec..... | 64 |
| Figure 9 : SUITE - Concentration moyenne pour les HAP particuliers. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec. | 65 |
| Figure 10 : Concentration moyenne pour les PCB dissous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec, (2) Cossa et al., 1994..... | 67 |
| Figure 11 : Concentration moyenne pour les PCB particuliers. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec, (2) Cossa et al., 1994, ; (3) Tronczynski et Moisan, 1996. | 68 |
| Figure 12 : Concentration moyenne pour les PBDE dissous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite..... | 69 |
| Figure 13 : Concentration moyenne pour les PBDE particuliers. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques du Rhône : Tronczynski et al., 2012. | 70 |
| Figure 14 : Concentration moyenne pour les métaux dissous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMC) ; (2) Gobeil et al., 2005..... | 73 |
| Figure 15 : Concentration moyenne pour les métaux particuliers. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMC) ; (2) Gobeil et al., 2005. | 76 |
| Figure 16 : Concentration moyenne pour les métaux particuliers. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMC) ; (2) Gobeil et al., 2005. | 77 |
| Figure 17 : Variations des concentrations en métaux dissous dans l'Huveaune en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). | 82 |



| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 18 : Variations des concentrations en métaux dissous dans le Jarret en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). | 83 |
| Figure 19 : Variations des concentrations en métaux dissous dans les Aygalades en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). Les encarts permettent de visualiser la valeur de concentration correspondant à un débit de $8\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. | 85 |
| Figure 20 : Variations des concentrations en métaux dissous dans l’Emissaire 2 en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). | 86 |
| Figure 21 : Variations des concentrations en métaux particulaires dans l’Huveaune en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). | 89 |
| Figure 22 : SUITE - Variations des concentrations en métaux particulaires dans l’Huveaune en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). | 90 |
| Figure 23 : Variations des concentrations en métaux particulaires dans le Jarret en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). | 92 |
| Figure 24 : SUITE - Variations des concentrations en métaux particulaires dans le Jarret en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). | 93 |
| Figure 25 : Variations des concentrations en métaux particulaires dans les Aygalades en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). Les encarts permettent de visualiser la valeur de concentration correspondant à un débit de $8\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. | 95 |
| Figure 26 : SUITE - Variations des concentrations en métaux particulaires dans les Aygalades en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). Les encarts permettent de visualiser la valeur de concentration correspondant à un débit de $8\text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. | 96 |
| Figure 27 : Variations des concentrations en métaux particulaires dans l’Emissaire 2 en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). | 98 |
| Figure 28 : SUITE - Variations des concentrations en métaux particulaires dans l’Emissaire 2 en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). | 99 |
| Figure 29 : Débit de l’Emissaire 2 pour l’année 2009. Source : DEA | 101 |
| Figure 30 : Flux de HAP dissous dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (\blacksquare), valeurs maximum et minimum (I). | 103 |
| Figure 31 : SUITE - Flux de HAP dissous dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (\blacksquare), valeurs maximum et minimum (I). | 104 |
| Figure 32 : Flux de HAP particulaire dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (\blacksquare), valeurs maximum et minimum (I). | 106 |
| Figure 33 : SUITE - Flux de HAP particulaire dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (\blacksquare), valeurs maximum et minimum (I). | 107 |
| Figure 34 : Flux de PCB dissous dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (\blacksquare), valeurs maximum et minimum (I). | 109 |
| Figure 35 : Flux de PCB particulaire dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (\blacksquare), valeurs maximum et minimum (I). | 110 |
| Figure 36 : Flux de PBDE dissous dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (\blacksquare), valeurs maximum et minimum (I). | 112 |
| Figure 37 : Flux de PBDE particulaire dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (\blacksquare), valeurs maximum et minimum (I). | 113 |
| Figure 38 : Flux de métaux dissous dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2), par temps sec (TS) et par temps de pluie (TP). Moyenne (\blacksquare), valeurs maximum et minimum (I). | 115 |



| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 39 : Flux de métaux particulaire dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2), par temps sec (TS) et par temps de pluie (TP). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I). | 116 |
| Figure 40 : SUITE - Flux de métaux particulaire dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2), par temps sec (TS) et par temps de pluie (TP). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I). | 118 |
| Figure 41 - Concentration moyenne en Hg et Pb dissous et particulaire. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMC) ; (2) Gobeil et al., 2005. | 126 |
| Figure 42 - Concentration moyenne en fluoranthène dissous et particulaire. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMC) ; (2) Gobeil et al., 2005. | 127 |
| Figure 43 - Concentration moyenne en PCB 138 et BDE 47 dissous et particulaire. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec ; (2) Cossa et al., 1994 ; (3) Tronczynski et Moisan, 1996..... | 128 |
| Figure 44 - Flux de Hg et Pb dissous et particulaire dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2), par temps sec (TS) et par temps de pluie (TP). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I). | 131 |
| Figure 45 - Flux de fluoranthène dissous et particulaire dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I). | 132 |
| Figure 46 : Flux de PCB 138 et BDE 47 dissous et particulaire dans l’Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l’Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I). | 133 |



Liste des tableaux

| | | |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 1 : | Liste des cours d'eau traversant l'agglomération marseillaise du nord au sud ; hormis ceux dotés d'un astérisque, les autres sont considérés comme des torrents. Sources des données : Michel (1998) pour le littoral Nord, et Le Masson (1998) pour le littoral Sud. | 24 |
| Tableau 2 : | Caractéristiques des déversements d'eau, de particules (MES) et de plomb (Pb) en mer à Marseille. Sources des données : (1) Michel (1998), (2) Le..... | 26 |
| Tableau 3 : | Bilan des déversements à la mer provenant du réseau de Marseille. Source : DDE..... | 28 |
| Tableau 4 : | Liste des sites de prélèvements à Marseille par temps sec et temps de pluie ; les exutoires en mer sont indiqués entre parenthèses. | 29 |
| Tableau 5 : | Statistiques sur la période 1971-2000 de la hauteur moyenne des précipitations à Marseille. Données METEO FRANCE..... | 30 |
| Tableau 6 : | Plan d'échantillonnage associé à la détermination des apports en contaminants à la rade de Marseille en fonction de la période d'échantillonnage, de la nature de l'effluent et des contaminants étudiés. <i>Les abréviations désignent : TS = temps sec, TP = temps pluie, MES = matières en suspension, orga (d) = contaminants organiques dissous, orga (p) = contaminants organiques particulaires, Hg = mercure, métaux (p) / (d) = métaux dissous / particulaires, orga (mb) = contaminants organiques prélevés avec les membranes.</i> | 32 |
| Tableau 7 : | Sources d'apports faisant l'objet de prélèvements avec situation de leurs exutoires et mesures de débit correspondantes..... | 41 |
| Tableau 8 : | Protocoles de prélèvement et traitement des échantillons (A à Ebis)..... | 47 |
| Tableau 9 : | Protocoles de prélèvement et traitement des échantillons (F à J) | 48 |
| Tableau 10 : | Éléments analysés et méthodes | 49 |
| Tableau 11 : | Bilan des prélèvements. <i>Les abréviations désignent : TS = temps sec, TP = temps pluie, MES = matières en suspension, orga (d) = contaminants organiques dissous, orga (p) = contaminants organiques particulaires, Hg = mercure, métaux (p) / (d) = métaux dissous / particulaires, orga (mb) = contaminants organiques prélevés avec les membranes. La numérotation en exposant à des explications données dans le texte.</i> | 52 |
| Tableau 12 : | Liste des échantillons et type de prélèvements | 53 |
| Tableau 13 : | Liste des échantillons et type de prélèvements | 54 |
| Tableau 14 : | Liste des échantillons et type de prélèvements | 55 |
| Tableau 15 : | Liste des échantillons et type de prélèvements | 56 |
| Tableau 16 : | Liste des échantillons et type de prélèvements | 57 |
| Tableau 17 : | Liste des échantillons et type de prélèvements | 58 |
| Tableau 18 : | Liste des échantillons et type de prélèvements | 59 |
| Tableau 19 : | Liste des échantillons et type de prélèvements | 60 |
| Tableau 20 : | Tableau du calcul des débits pour la STEP et les eaux fluviales pour les années 2007 à 2011. Qs ₁ et Qs ₂ représentent respectivement les débits de l'émissaire 1 et de l'Émissaire 2. ... | 80 |
| Tableau 21 : | Résumé des comportements des métaux en fonction du débit : ↑tendance à l'augmentation de la concentration en fonction du débit ; → constance de la concentration en fonction du débit ; ↓ diminution de la concentration en fonction du débit ; st : sans tendance particulière. | 87 |
| Tableau 22 : | Volumes annuels et flux de MES par temps sec et temps de pluie dans les Aygalades, le Jarret, l'Huveaune, l'Émissaire 2. <i>Source des données (d'après tableau 2) : (2) Le Masson (1995), (4) Le Masson (1998).</i> | 101 |



| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 23 : Volumes annuels et flux de MES dans les déversoirs d'orage du Prado (PRA), de Montricher (MON) et de Canebière (CAN) et les torrents Bonneveine et Pelouque. | 119 |
| Tableau 24 : Flux pour les HAP dissous et particuliers dans les déversoirs d'orage du Prado (PRA), de Montricher (MON) et de Canebière (CAN) et les torrents Bonneveine et Pelouque. | 121 |
| Tableau 25 : Flux pour les PCB dissous et particuliers dans les déversoirs d'orage du Prado (PRA), de Montricher (MON) et de Canebière (CAN) et les torrents Bonneveine et Pelouque..... | 122 |
| Tableau 26 : Flux pour les PBDE dissous et particuliers dans les déversoirs d'orage du Prado (PRA), de Montricher (MON) et de Canebière (CAN) et les torrents Bonneveine et Pelouque. | 122 |
| Tableau 27 : Flux pour les métaux dissous et particuliers dans les déversoirs d'orage du Prado (PRA), de Montricher (MON) et de Canebière (CAN) et les torrents Bonneveine et Pelouque. (*) les flux sont déterminés à partir de la concentration particulaire calculée avec $K_d = 10^5$ | 123 |
| Tableau 28 : Concentration minimale C_{min} , concentration maximale C_{max} , concentration moyenne C_{moy} , écart-type sd et nombre de valeurs (entre parenthèse) dans le Hg et le Pb dissous et particulaire. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMC) ; (3) Nicolau et al., 2006. | 125 |
| Tableau 29 : Concentration minimale C_{min} , concentration maximale C_{max} , concentration moyenne C_{moy} , écart-type sd et nombre de valeurs (entre parenthèse) pour le fluoranthène dissous et particulaire. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec ; (2) Cossa et al., 1994. | 126 |
| Tableau 30 : Concentration minimale C_{min} , concentration maximale C_{max} , concentration moyenne C_{moy} , écart-type sd et nombre de valeurs (entre parenthèse) pour le fluoranthène dissous et particulaire. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec ; (2) Cossa et al., 1994 ; (3) Tronczynski et Moisan, 1996. | 127 |



Liste des photos

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Photo 1: Localisation du site | 33 |
| Photo 2 : Accès aux Aygalades | 33 |
| Photo 3: Prélèvement bouteille..... | 33 |
| Photo 4: Accès par temps de pluie | 33 |
| Photo 5: Vue depuis le pont du boulevard Briançon | 33 |
| Photo 6: Exutoire des Aygalades dans le Port de Commerce (bassin d'Arenc). | 33 |
| Photo 7: Confluence Jarret (à gauche) et Huveaune (à droite)..... | 34 |
| Photo 8: Point d'accès..... | 34 |
| Photo 9: Accès par échelle..... | 34 |
| Photo 10: Prélèvement bouteille dans le Jarret | 35 |
| Photo 11: Prélèvement bouteille..... | 35 |
| Photo 12: Huveaune et Jarret en crue..... | 35 |
| Photo 13: Prélèvement depuis le pont | 35 |
| Photo 14: Prélèvement au seau | 35 |
| Photo 15: Accès par le tampon | 36 |
| Photo 16: Prélèvement au seau | 36 |
| Photo 17: Accès par le tampon | 36 |
| Photo 18: Tampon Pelouque..... | 36 |
| Photo 19: Passerelle ruisseau..... | 36 |
| Photo 20: Ruisseau de Farenc..... | 36 |
| Photo 21: Prélèvement | 37 |
| Photo 22: Accès au Puits 1 | 37 |
| Photo 23: Préleveur | 37 |
| Photo 24: Coursive d'accès à l'Emissaire 2 | 37 |
| Photo 25: Préleveur | 38 |
| Photo 26: Passerelle Vieux Port | 38 |
| Photo 27: Exutoire DO Prohibé..... | 38 |
| Photo 28: Localisation du regard..... | 39 |
| Photo 29: Regard d'accès au DO Montricher | 39 |
| Photo 30: Localisation du regard..... | 39 |
| Photo 31: Regard d'accès au DO Canebière | 39 |
| Photo 32: Localisation du regard..... | 40 |
| Photo 33: Regard d'accès..... | 40 |
| Photo 34: Prélèvement par temps de pluie | 40 |
| Photo 35: Localisation du DO Prado..... | 40 |
| Photo 36: Prélèvement par temps de pluie au seau..... | 40 |
| Photo 37: Pompe Asti et tuyaux d'entrée et de sortie en Téflon | 42 |



| | |
|------------------------------------------------|----|
| Photo 38: Piège à sédiment en acier inox | 43 |
| Photo 39: Piège immergé | 43 |
| Photo 40: Support de membranes..... | 44 |
| Photo 41: Membranes immergées | 44 |



LISTE DES ABREVIATIONS

| | |
|-------|----------------------------------------------------------------|
| Al | Aluminium |
| AYG | Ruisseau des Aygalades |
| CAN | Canebière (déversoir d'orages) |
| CAT | Catalans (déversoir d'orages) |
| Cd | Cadmium |
| Co | Cobalt |
| Cr | Chrome |
| CR | Crue |
| Cu | Cuivre |
| (d) | Dissous |
| DEA | Direction de l'Eau et de l'Assainissement |
| DO | Déversoir d'orages |
| E1 | Emissaire 1 |
| E2 | Emissaire 2 |
| Fe | Fer |
| HAP | Hydrocarbures polycycliques aromatiques |
| Hg | Mercure |
| HUV | Huveaune |
| JAR | Jarret |
| Li | Lithium |
| Mb | Membrane |
| MES | Matières en suspension |
| MON | Montricher (déversoir d'orages) |
| Mn | Manganèse |
| ND | Non déterminé |
| (p) | Particulaire |
| Pb | Plomb |
| PBDE | Polybromodiphényléthers |
| PCB | Polychlorobiphényles |
| PRA | Prado (déversoir d'orages) |
| PRO | Prohibé (déversoir d'orages) |
| sd | Ecart-type (standard deviation) |
| SERAM | Société d'exploitation du réseau d'assainissement de Marseille |
| TP | Temps de pluie |
| TS | Temps sec |
| V | Vanadium |
| Zn | Zinc |



1. Introduction : contexte et objectifs

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'action METROC - volet du programme MEDICIS piloté par l'Ifremer. Le projet METROC a pour objectif l'évaluation de la contribution des grandes métropoles à la contamination chimique multi échelles de la Méditerranée Occidentale, en particulier l'étude méthodologique des apports pour une sélection de contaminants d'une grande métropole (Marseille), retenue comme site pilote de recherche (processus) et développement (modèles, méthodes). Le travail présenté ici traite l'évaluation des flux bruts de la métropole vers le champ proche. Le but est d'estimer les principaux apports en fonction de la diversité des sources (réseau d'assainissement, cours d'eau côtiers) et dans des conditions hydriques suffisamment variées pour être représentatives des conditions météorologiques les plus fréquentes (temps sec, temps de pluie).

La quantification des flux bruts repose sur l'utilisation des données hydriques disponibles auprès des gestionnaires de réseaux (débits) et sur la détermination des concentrations en contaminants dans les écoulements à la mer à partir de prélèvements sur le terrain.

Le gestionnaire du réseau (Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole, Direction de l'Eau et de l'Assainissement) et l'exploitant du réseau (Service d'Exploitation du Réseau d'Assainissement de Marseille) ont été sollicités. Nous avons ainsi pu bénéficier de leurs compétences (connaissance et d'instrumentation des réseaux) et convenir des modalités d'accès aux différents sites de prélèvements.

Un plan d'échantillonnage a été défini avec l'Ifremer (Pairaud et Andral, 2010) ; il repose sur des prélèvements d'eau et de particules, dans le réseau hydrographique et le réseau d'assainissement de Marseille, pendant les périodes sèches et humides (orages de fin d'été en particulier).

Après l'identification, l'acquisition, l'optimisation et le déploiement des méthodes de prélèvements sur site ainsi qu'au laboratoire, les prélèvements ont pu commencer en mai 2009 et se sont poursuivis jusqu'en mars 2011. Le laboratoire Protee de l'Université de Toulon a contribué à l'effort de prélèvement, de mesure des paramètres physico-chimiques (pH, Eh, oxygène dissous, turbidité, etc...), d'analyse (carbone in-/organique, fluorescence de la matière organique), ainsi qu'au traitement et à la valorisation des résultats. L'analyse des contaminants inorganiques a été réalisée à l'Ifremer (LBCM), tandis que les contaminants organiques ont été analysés au Laboratoire de Rouen, et aux laboratoires Deltares (Pays-Bas) et MEL-AIEA (Monaco).

Une grande partie du travail a été consacrée à la mise en place des circuits donnant accès aux informations sur le fonctionnement des réseaux, au développement des méthodes sur site et au laboratoire, à la recherche des laboratoires de prestations analytiques et à la coordination entre les différentes structures concernées.

Les limites géographiques du secteur d'étude ont été définies auparavant (Sauzade et al., 2007) et correspondent à la portion de littoral délimitée par le Cap Méjean à l'Ouest et par la Pointe Castelvieu à l'Est. Bien que cette définition du secteur d'étude soit en accord avec les besoins des modèles de simulation du devenir des contaminants chimiques dans la rade de Marseille, elle correspond moins aux modalités pratiques liées à la stratégie d'échantillonnage.

Dans l'étude des apports de la ville de Marseille à la mer, les effluents issus du réseau d'assainissement et du réseau hydrographique dont les exutoires sont localisés et pour lesquels les débits sont connus ont été prioritairement échantillonnés. Les apports issus du ruissellement diffus n'ont pas été pris en compte pour le calcul des flux et ont néanmoins fait l'objet d'une caractérisation chimique.

Les flux de polluants dans le dissous et le particulaire ont été déterminés pour les contaminants suivants :

- pour les éléments métalliques : l'argent (Ag), le mercure (Hg) et le plomb (Pb) ;
- pour les composés organiques hydrophobes : les hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) et leurs dérivés alkylés, les polychlorobiphényles (PCB) et leurs dérivés ;
- pour les composés organiques émergents : les polybromodiphényléthers (PBDE).

Cette introduction a permis d'aborder l'objectif général du travail et le contexte de l'étude. Le Chapitre 1 donne des éléments d'informations sur le fonctionnement hydrique du secteur d'étude. Le Chapitre 2 décrit la stratégie d'échantillonnage mise en œuvre, les sites de prélèvements sélectionnés et les méthodes déployées sur sites. Le Chapitre 3 présente le bilan des prélèvements effectués. Les résultats de concentration, les relations concentration-débit et le calcul des flux sont présentés dans le Chapitre 4. Enfin, la conclusion reprend les résultats importants et propose des pistes de travail découlant des résultats obtenus et des expériences de terrain, et se voulant utiles pour une éventuelle poursuite de l'étude.



2. Présentation du secteur d'étude

Lorsque l'on s'intéresse aux apports côtiers à la mer, la stratégie d'échantillonnage à mettre en œuvre sur site repose avant tout sur une bonne connaissance du fonctionnement hydrique du secteur d'étude. Bien que ce dernier ait été défini en premier lieu par une portion de littoral, l'intérêt de cette portion géographique est de considérer l'agglomération marseillaise comme une source d'apport en contaminants. Marseille a été retenue comme site atelier dans l'étude des apports à la mer d'une métropole côtière en Méditerranée Occidentale (PIM MEDICIS). Les rejets à l'échelle d'une agglomération telle que Marseille sont de nature différente : rejets urbains type réseau d'assainissement et exutoires des cours d'eau en milieu urbain.

Ainsi, dans un premier temps, il est nécessaire de collecter l'ensemble des informations permettant de comprendre le fonctionnement hydrique du système étudié. Les écoulements d'eau (d'origine domestique, industrielle, fluviale/pluviale) étant souvent artificialisés en milieu urbain, et en particulier à proximité de leurs exutoires en mer, il est nécessaire de consulter les gestionnaires des réseaux.

A Marseille, des échanges fructueux ont donc été établis avec la Direction de l'Eau et de l'Assainissement (DEA) de la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole (CUMPM), le Service d'Exploitation du Réseau d'Assainissement de Marseille (SERAM), la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) de Marseille, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse (AERM&C) et le Port Autonome de Marseille (PAM).

L'agglomération marseillaise se caractérise par la présence d'un réseau hydrographique artificialisé et d'un réseau d'assainissement dense et complexe. Ces deux réseaux sont imbriqués l'un dans l'autre en raison du caractère très urbanisé des bassins versants et de la gestion du traitement des eaux usées. La gestion des écoulements répond en premier lieu à une logique de préservation de la qualité des eaux du littoral :

- depuis les années 1970, par temps sec, l'Huveaune est dévié de son exutoire naturel (situé au droit des plages du Prado) vers l'Emissaire 2 dont l'exutoire est situé dans la Calanque de Cortiou ;
- l'effluent en sortie de station d'épuration est, depuis 2009, mélangé aux eaux de l'Huveaune dans l'Emissaire 2.

2.1 Le réseau d'assainissement

La station d'épuration de l'agglomération marseillaise a été créée en 1987 (1 600 000 équivalent habitants) et constitue actuellement la plus grande station enterrée d'Europe. Elle est située sous le stade Delort (Boulevard Michelet).

Le réseau d'assainissement de l'agglomération marseillaise collecte les eaux usées de Marseille et de quinze autres villes périphériques ; ce qui correspond à une surface d'environ 520 km² et 1 million d'habitants. Le réseau d'assainissement comprend (figure 1) :

- un réseau unitaire en centre ville,
- un réseau séparatif situé en périphérie.



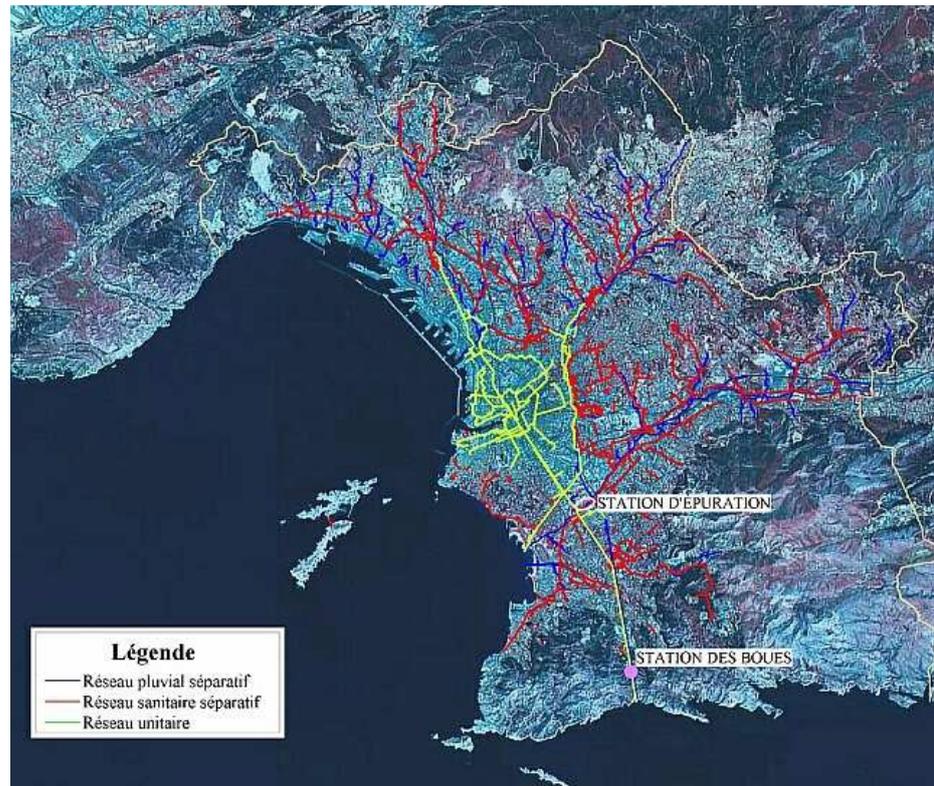


Figure 1 : Carte du réseau d'assainissement de Marseille. Source : <http://www.seram-marseille.fr/>

Le réseau d'assainissement est dit unitaire lorsqu'un ouvrage unique collecte et transporte les eaux pluviales, les eaux usées domestiques et éventuellement les eaux industrielles autorisées (figure 2). A Marseille, le réseau unitaire collecte les effluents du centre-ville ; il est constitué d'une vingtaine de collecteurs dont le débit par temps sec est de 100 à 200 000 m³.j⁻¹.

En régime séparatif, les eaux usées et pluviales sont récupérées dans des ouvrages distincts (figure 3). Le réseau séparatif draine les eaux usées de la périphérie de Marseille, ainsi que les effluents déversés par les quinze communes limitrophes raccordées. Les collecteurs pluviaux permettent de refouler les eaux de pluie vers leurs exutoires naturels (cours d'eau typiquement).

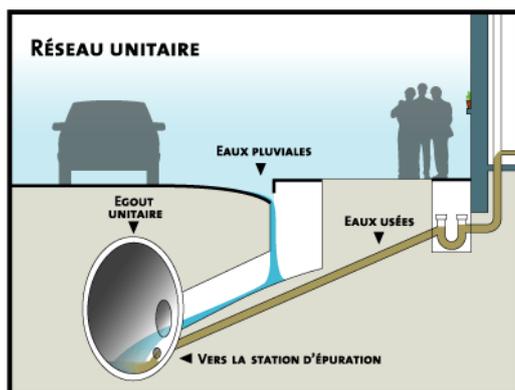


Figure 2 : Schéma du fonctionnement d'un réseau unitaire. Source : <http://www.seram-marseille.fr/>

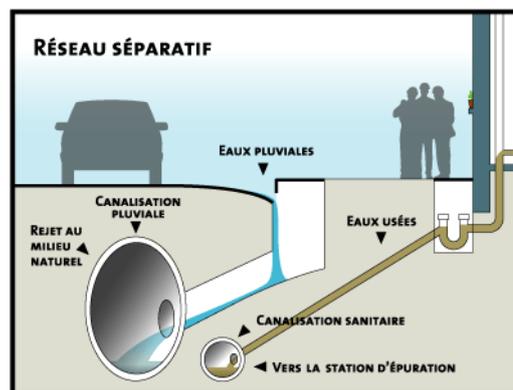


Figure 3 : Schéma du fonctionnement d'un réseau séparatif. Source : <http://www.seram-marseille.fr/>

Lorsque les eaux usées de l'unitaire et du sanitaire (en régime séparatif) atteignent la station d'épuration des eaux, les principales étapes du traitement des eaux sont les suivantes : pré-traitement (dégrillage, désablage, déshuilage), décantation primaire, coagulation (injection de chlorure ferrique), floculation (injection de polymères), décantation lamellaire.

Au cours du premier trimestre 2008, la station d'épuration s'est équipée d'un étage biologique.

Jusqu'en 2008, l'effluent en sortie de station d'épuration était rejeté dans l'Emissaire 1, tandis que l'Huveaune était repris après déviation dans l'Emissaire 2. Les émissaires 1 et 2 ont pour exutoire en mer la Calanque de Cortiou. Depuis 2009, la station d'épuration rejette dans l'Emissaire 2 et les eaux traitées se mélangent donc à celle de l'Huveaune avant de rejoindre la mer. Toutefois, par temps sec, bien que l'Emissaire 1 ne soit pas sollicité, l'ouvrage n'est pas totalement sec en raison notamment de la présence d'eaux claires parasites (e.g. eaux de nappes).

Le volume annuel moyen déversé par la station en mer dans la Calanque de Cortiou s'élève à 100 millions de m³.

Par temps de pluie, les déversements se font dans le milieu marin, avec ou sans traitement préalable. Les déversoirs d'orages (DO) sont des ouvrages permettant de rejeter une partie des effluents dans le milieu naturel, ou dans un bassin de rétention, sans passer par la station d'épuration. En cas de fortes pluies, la capacité de la station ne permet pas toujours de traiter l'ensemble des effluents produits. Il est alors nécessaire de dévier ces flux afin d'éviter l'encombrement des conduites et l'inondation de l'agglomération : c'est le rôle du déversoir d'orage.

A Marseille, au-delà de 6 m³.s⁻¹ pour le réseau séparatif et 12 m³.s⁻¹ pour le réseau unitaire, la station de traitement des eaux est isolée, et les surverses des effluents unitaires et séparatifs se font directement dans le milieu naturel (réseau pluvial et mer).

Le déversoir d'orage situé en tête de station permet aux eaux du sanitaire (séparatif) et de l'unitaire de contourner la station. Les eaux non traitées sont alors déversées directement en mer (via les émissaires jusqu'à Cortiou).

Pour le réseau séparatif, les surverses sanitaires se font préférentiellement dans l'Emissaire 2 pour le collecteur du tronc commun, et dans l'Emissaire 1 pour le collecteur du bassin sud. Pour le réseau unitaire, une soixantaine de déversoirs



d'orages se situent tout le long du Collecteur 1 (en amont de la station d'épuration) et permettent de rejeter à la mer les eaux excédentaires du réseau unitaire (mélange d'eaux usées et de pluie). Les déversements se font alors le long du littoral marseillais : dans le Port Autonome de Marseille, le Vieux-Port, et au droit des plages du Prado.

2.2 Le réseau hydrographique

Au cours de cette étude, un recensement des cours d'eau traversant l'agglomération marseillaise à partir d'une littérature grise s'est révélé nécessaire et a permis d'évaluer l'importance relative des apports par les cours d'eau. Les cours d'eau sont nombreux et différents selon la nature des écoulements (permanents ou torrents) et se répartissent selon deux bassins versants principaux (tableau 1). A noter que la plupart des cours d'eau côtiers sont artificialisés et canalisés dans leur tracé le plus en aval. Certains cours d'eau sont repris dans le schéma général du réseau d'assainissement de Marseille (réseau pluvial) et sont soumis à un traitement physique (dégrillage) ; c'est le cas pour l'Huveaune et le ruisseau des Aygaldes.

| Bassin versant | Cours d'eau | Exutoire en mer | Surface bassin versant (ha) |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Littoral Nord | Ruisseau de Riaux | Entre Corbières et l'Estaque | 358 |
| | Ruisseau de Farenc | Port de l'Estaque | 224 |
| | Ruisseau de la Vente | Pointe Saumaty | 40 |
| | Ruisseau de Favant | Port de Saumaty | 380 |
| | Ruisseau Monsegur | Avant-port | 65 |
| | Ruisseau de la Pelouque et Ruisseau de Grawitz | Bassin Mirabeau (Port Autonome) | 1319 |
| | Ruisseau Belvédère | Bassin Mirabeau (Port Autonome) | 133 |
| | Ruisseau Mirabeau | Bassin Mirabeau (Port Autonome) | 87 |
| | Ruisseau Santi, Ruisseau fossé Santi et Ruisseau Cap Janet | Bassin Gouret (Port Autonome) | 194 |
| | Ruisseau Impasse Cap Janet | Bassin du Président Wilson (Port Autonome) | |
| | | Ruisseau des Aygaldes* | Bassin d'Arenc (Port Autonome) |
| <i>TOTAL Bassin versant du littoral Nord sans les Aygaldes</i> | | | <i>2 800</i> |
| <i>TOTAL Bassin versant du littoral Nord avec les Aygaldes</i> | | | <i>7 258</i> |
| Littoral Sud | L'Huveaune* | Calanques et/ou au Prado | Huveaune* 40 130 Jarret* 10 190 |
| | Ruisseau de Bonneveine | Au Prado | 1 044 |
| <i>TOTAL Bassin versant du littoral Sud</i> | | | <i>51 544</i> |

Tableau 1 : Liste des cours d'eau traversant l'agglomération marseillaise du nord au sud ; hormis ceux dotés d'un astérisque, les autres sont considérés comme des torrents. Sources des données : Michel (1998) pour le littoral Nord, et Le Masson (1998) pour le littoral Sud.

2.3 Bilan des apports à la mer



A Marseille, les apports à la mer se distinguent selon les conditions météorologiques et la nature de l'apport. Par temps sec, il y a les cours d'eau côtiers (Aygaldes, Huveaune) et le rejet de la station d'épuration (Emissaire 2). Par temps de pluie, il y a les cours d'eau côtiers (Aygaldes, Huveaune, torrents), le rejet de la station d'épuration (Emissaire 2), les surverses du réseau d'assainissement (émissaires 1 et 2, déversoirs d'orages) et les eaux de ruissellement (apports diffus).

Les données présentées dans le tableau 2 ont été obtenues à partir d'un travail de recherche bibliographique. L'ensemble des documents sous format papier a été fourni par les gestionnaires ou les exploitants des écoulements d'eau dans le cadre d'un accord tacite (DDE, SERAM, PAM). Les données ont été acquises :

- pour les cours d'eau :
 - * par les gestionnaires ou leur fermier (DDE, SERAM, PAM) en vue de mesurer les apports en polluants chimiques associés aux cours d'eau lors de campagnes spécifiques de mesures de pollution ;
 - * dans le cadre des réseaux de surveillance de la qualité des cours d'eau (Réseau National de Bassin, AE RM&C);
- pour les rejets du réseau d'assainissement dans le cadre de l'auto-surveillance liée à la réglementation concernant la gestion et le traitement des eaux usées (DDE, SERAM).

Le tableau 2 présente les caractéristiques des déversements d'eau et de particules (MES) en mer à l'échelle de l'agglomération marseillaise (hors ruissellement diffus) ; le plomb (Pb) étant pris comme indicateur de pollution métallique (mesuré dans l'eau brute).



| Rejet | Nature | Par temps sec | | | Par temps de pluie | | |
|---------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | | Volume moyen (m ³ /an) | Flux MES (t/an) | Flux Pb (kg/an) | Volume moyen (m ³ /an) | Flux MES (t/an) | Flux Pb (kg/an) |
| Effluent réseau | Eaux usées traitées en sortie de station d'épuration | 95 600 000 ⁽³⁾ | 3 200 ⁽³⁾ | | ~ 4 100 000 ⁽³⁾ | 700 ⁽³⁾ | |
| | | 95 600 000 ⁽⁴⁾ | 3 154 ⁽⁴⁾ | 478 ⁽⁴⁾ | | | |
| | | 102 000 000 ⁽⁵⁾ | 5 150 ⁽⁵⁾ | | 3 000 000 ⁽⁵⁾ | 50 ⁽⁵⁾ | |
| | | | 3 100 ⁽⁶⁾ | | | | |
| | Surverses du RU | 156-265 875 ⁽⁵⁾ | 1-51 ⁽⁵⁾ | | 0,2-3 millions ⁽⁵⁾ | 26-394 ⁽⁵⁾ | |
| | Surverses RS | | | | | | |
| Pluvial | 0 | 0 | 0 | 8-16 000 ⁽³⁾ | 1.8-4,5 ⁽³⁾ | 0.5-1.2 ⁽³⁾ | |
| Cours d'eau côtiers | L'Huveaune (avec Jarret) | 79 500 000 ⁽³⁾ | 400 ⁽³⁾ | | 9 000 000 ⁽³⁾ | 11 400 ⁽³⁾ | |
| | | 70 000 000 ⁽⁵⁾ | 1 350 ⁽⁵⁾ | | 9 000 000 ⁽⁵⁾ | 1 250 ⁽⁵⁾ | |
| | | 80 409 500 ⁽⁴⁾ | 510 ⁽⁴⁾ | 157 ⁽⁴⁾ | 10 034 394 ⁽⁴⁾ Prado : 1 114 933 ⁽⁴⁾ | 6 137 ⁽⁴⁾ Prado : 682 ⁽⁴⁾ | 369 ⁽⁴⁾ Prado : 41 ⁽⁴⁾ |
| | | | | | | 2 300 ⁽⁶⁾ | |
| | | 78 000 000 ⁽⁷⁾ | 2 150 ⁽⁷⁾ | | 18 000 000 ⁽⁷⁾ | 2 400 ⁽⁷⁾ | |
| | Huveaune seul | 54 640 500 ⁽⁴⁾ | 258 ⁽⁴⁾ | <114 ⁽⁴⁾ | 6 312 384 ⁽⁴⁾ | 4 686 ⁽⁴⁾ | 199 ⁽⁴⁾ |
| | Jarret seul | 25 769 000 ⁽⁴⁾ | 252 ⁽⁴⁾ | <51 ⁽⁴⁾ | 3 384 663 ⁽⁴⁾ | 1 654 ⁽⁴⁾ | 104 ⁽⁴⁾ |
| | Les Aygalades (avec Plombières) | 6 023 000 ⁽²⁾ | 193 ⁽²⁾ | 25 ⁽²⁾ | 3 090 000 ⁽²⁾ | 3 188 ⁽²⁾ | 588 ⁽²⁾ |
| | | 6 233 000 ^(3,4) | 355 ^(3,4) | 23 ^(3,4) | 2 889 000 ^(3,4) | 3 671 ^(3,4) | 702 ^(3,4) |
| | | | 52 ⁽¹⁾ | | | 3 530 ⁽¹⁾ | 704 ⁽¹⁾ |
| | Aygalades seul | 3 650 000 ⁽²⁾ | 131 ⁽²⁾ | 19 ⁽²⁾ | 2 011 300 ⁽²⁾ | 2 770 ⁽²⁾ | 383 ⁽²⁾ |
| | Bonneveine | 365 000 ⁽²⁾ | 2.9 ⁽²⁾ | 1.8 ⁽²⁾ | 367 700 ⁽²⁾ | 55 ⁽²⁾ | 28.9 ⁽²⁾ |
| Pelouque | 376 000 ⁽²⁾ | 2.3 ⁽²⁾ | 1.1 ⁽²⁾ | 298 300 ⁽²⁾ | 155 ⁽²⁾ | 18.3 ⁽²⁾ | |
| Emissaires 1 et 2 | Assainissement et pluvial (Huveaune, Jarret) | 175 100 000 ⁽³⁾ | 3 600 ⁽³⁾ | | 13 100 000 ⁽³⁾ | 12 100 ⁽³⁾ | |

Tableau 2 : Caractéristiques des déversements d'eau, de particules (MES) et de plomb (Pb) en mer à Marseille. Sources des données : (1) Michel (1998), (2) Le Masson (1995), (3) Le Masson (1997), (4) Le Masson (1998), (5) Rapports d'auto-surveillance, (6) Données AE RMC (1994), (7) SIEE, (8) Charry.

La liste des rejets présentée n'est pas exhaustive. Elle permet néanmoins de donner un ordre de grandeur pour les volumes d'eau écoulés et la quantité de matières en suspension (MES) apportée au milieu marin.

Par temps sec, on peut hiérarchiser les voies d'apport de manière relativement simple. Le rejet de la station d'épuration et la déviation de l'Huveaune à Cortiou constituent les principales sources d'apports en mer avec des volumes d'eau équivalents (i.e. ~90 millions de m³) : au total, en moyenne à l'année par temps sec, c'est plus de 180 millions de m³ d'eau et 10 à 20 tonnes de MES qui se déversent à Cortiou.

Toutefois, depuis l'installation d'un étage biologique au premier trimestre 2008, la quantité de particules rejetées en mer après traitement des eaux a diminué : le seuil réglementaire est abaissé à 25 mg.L⁻¹ en moyenne à l'année (alors qu'il était de 35 mg.L⁻¹ avec le traitement physico-chimique seul).

Dans la partie nord de la ville, le ruisseau des Ayalades est la principale source d'apports à la mer.

Par temps sec, les apports sont permanents et ont des points de rejets identifiés.

Par temps de pluie, la hiérarchisation des sources est rendue plus difficile en raison de la multiplicité des sources et du caractère aléatoire des paramètres quantitatifs qui varient d'une année à l'autre. D'après le macro-bilan établi par la SERAM sur les mesures de pollution par temps de pluie à Marseille, les rejets annuels à Cortiou représentent plus de 96% en volume par temps sec, et, par temps de pluie, environ 55% du bilan global (Le Masson, 1997).

Bien qu'à l'échelle de l'année, certaines sources paraissent négligeables devant d'autres - c'est le cas pour les Ayalades, Bonneveine et Pelouze en comparaison avec l'Huveaune - les apports spécifiques par temps de pluie peuvent représenter la majorité de la charge polluante apportée à l'année (e.g. MES, Pb). Bien que les volumes d'eau apportés à la mer par les Ayalades restent inférieurs à ceux de l'Huveaune, les flux polluants peuvent être du même ordre de grandeur (Le Masson, 1995).

Le tableau 3 présente le bilan des déversements à la mer d'eaux provenant du réseau d'assainissement. Les valeurs ont été obtenues à partir de mesures directes, ou à partir d'estimations.

Par temps de pluie, le recours aux déversoirs d'orages multiplie les voies d'apports en polluants (ici MES) à la mer. A l'année, en comparaison avec le rejet de la station d'épuration, le déversoir d'orage en tête de station apporte 13 à 34 % des MES ; le contournement de la station par temps de pluie peut fournir jusqu'à un tiers des MES arrivant à Cortiou. Les autres déversoirs d'orages représentent entre 6 et 33 % des apports en MES par rapport au déversoir en tête de station : par temps de pluie, jusqu'à un tiers des MES des eaux n'arrivant pas à la station est susceptible d'être rejeté en mer via les déversoirs d'orages répartis sur le littoral.



| Bilan des déversements d'eaux non-traitées provenant du réseau de Marseille (hors DO en tête de station) en temps sec et temps de pluie | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|--|
| | 2001 | | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | | 2007 | | |
| | Volume, m ³ | MES, t | Volume, m ³ | MES, t | Volume, m ³ | MES, t | Volume, m ³ | MES, t | Volume, m ³ | MES, t | Volume, m ³ | MES, t | Volume, m ³ | MES, t | |
| Temps sec | 10 700 | 2 | 92 500 | 32 | 4 055 | 1 | 204 214 | 43 | 265 875 | 51 | 26 988 | 5 | 156 | 0 | |
| Déversoir CARAVELLE | 0 | 0 | 43 | 0 | 91 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 26 | 0 | 724 | 0 | |
| Déversoir BEAL MAGNAN | 141 582 | 21 | 226 313 | 33 | 253 772 | 38 | 33 261 | 5 | 124 908 | 18 | 121 590 | 18 | 69 066 | 10 | |
| Déversoir d'ARENCH | 67 367 | 10 | 153 868 | 23 | 173 329 | 26 | 56 689 | 8 | 105 462 | 16 | 92 239 | 14 | 43 423 | 6 | |
| Déversoir MONTRICHER | 98 560 | 15 | 317 002 | 47 | 208 468 | 31 | 52 300 | 8 | 35 039 | 5 | 63 917 | 9 | 24 207 | 4 | |
| Déversoir CANEBIERE | 35 505 | 5 | 73 897 | 11 | 148 916 | 22 | 28 571 | 4 | 40 401 | 6 | 4 415 | 1 | 17 942 | 3 | |
| Déversoir PRADO | 49 132 | 7 | 229 661 | 34 | 628 814 | 93 | 75 150 | 11 | 167 891 | 25 | 12 276 | 2 | 763 | 0 | |
| Station MIRABEAU | 1 099 | 0 | 11 065 | 3 | 9 575 | 2 | 5 392 | 1 | 11 786 | 3 | 22 931 | 6 | 733 | 0 | |
| Station ARENCH | 72 828 | 11 | 260 456 | 39 | 334 279 | 49 | 67 438 | 10 | 54 430 | 8 | 330 | 0 | 834 | 0 | |
| Station PROHIBE | 90 296 | 13 | 428 275 | 63 | 855 094 | 127 | 104 040 | 15 | 55 737 | 8 | 11 011 | 2 | 9 276 | 1 | |
| Station MUETTE | 526 | 0 | 212 | 0 | 4 044 | 1 | 801 | 0 | 1 322 | 0 | 0 | 0 | 73 | 0 | |
| Station TOURETTE | 2 905 | 0 | 23 357 | 4 | 27 546 | 4 | 7 239 | 1 | 13 151 | 2 | 3 299 | 0 | 5 714 | 1 | |
| Total temps de pluie | 560 000 | 83 | 1 724 000 | 257 | 2 643 930 | 393 | 430 683 | 63 | 610 147 | 92 | 332 036 | 51 | 172 756 | 26 | |
| Total réseau | 570 700 | 85 | 1 816 500 | 289 | 2 647 985 | 394 | 634 897 | 106 | 876 022 | 143 | 359 024 | 56 | 172 912 | 26 | |

| Bilan des déversements d'eaux non-traitées provenant du déversoir d'orage en tête de station | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------|----------------------------------------|--------------|----------------------------------------|------------|----------------------------------------|------------|----------------------------------------|------------|----------------------------------------|------------|----------------------------------------|------------|--|
| | 2001 | | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | | 2007 | | |
| | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | |
| Total DO | 2 300 | 495 | 5 100 | 1 160 | 4 243 | 806 | 2 583 | 485 | 2 381 | 644 | 2 573 | 595 | 1 398 | 430 | |

| Bilan des déversements d'eaux traitées provenant de la STEP | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------|----------------------------------------|--------------|----------------------------------------|--------------|----------------------------------------|--------------|----------------------------------------|--------------|----------------------------------------|--------------|----------------------------------------|--------------|--|
| | 2001 | | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | | 2007 | | |
| | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | Volume, 10 ³ m ³ | MES, t | |
| Total STEP | 89 000 | 2 482 | 87 700 | 2 227 | 87 300 | 2 373 | 85 200 | 2 416 | 84 669 | 2 446 | 81 866 | 2 529 | 76 854 | 2 980 | |

Récapitulatif

| Année | Volume, 10 ³ m ³ | | | | MES, t/an | | | |
|-------|----------------------------------------|-------|--------------------|--------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| | réseau de temps de | | DO tête | | réseau de temps de | | DO tête | |
| | sec | pluie | réseau de temps de | STEP | sec | pluie | réseau de temps de | STEP |
| 2001 | 11 | 560 | 2 300 | 89 000 | 2 | 85 | 495 | 2 482 |
| 2002 | 93 | 1 724 | 5 100 | 87 700 | 32 | 257 | 1 160 | 2 227 |
| 2003 | 4 | 2 644 | 4 243 | 87 300 | 1 | 393 | 806 | 2 373 |
| 2004 | 204 | 431 | 2 583 | 85 200 | 43 | 63 | 485 | 2 416 |
| 2005 | 266 | 610 | 2 381 | 84 669 | 51 | 92 | 644 | 2 446 |
| 2006 | 27 | 332 | 2 573 | 81 866 | 5 | 51 | 595 | 2 529 |
| 2007 | 0 | 173 | 1 398 | 76 854 | 0 | 26 | 430 | 2 980 |

Tableau 3 : Bilan des déversements à la mer provenant du réseau de Marseille. Source : DDE.

2.4 Choix des sites et de la période d'échantillonnage

Les sites de prélèvements (tableau 4) ont été choisis selon différents critères : l'importance relative des apports par temps sec et temps de pluie, la représentativité par rapport à la nature de l'écoulement (cours d'eau, torrents, surverses unitaires, ruissellement diffus), les caractéristiques des bassins versants urbains (industrialisé au nord, résidentiel au sud), l'instrumentation préexistante (limnimétrie), l'accessibilité des sites, les moyens mis à disposition (humains et matériels) et la sécurité.

| <i>Apport</i> | <i>Par temps sec</i> | <i>Par temps de pluie (exutoire)</i> |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cours d'eau | Les Aygalades (Arenc) L'Huveaune (Emissaire 2) Le Jarret (Emissaire 2) | Les Aygalades (Arenc) L'Huveaune (Emissaire 2 et/ou Prado) Le Jarret (Emissaire 2 et/ou Prado) Pelouque (nord) Bonneveine (sud) |
| Réseau d'assainissement | Emissaire 2 (Calanques) | Emissaire 2 (Calanques) Emissaire 1 (Calanques) Surverses unitaires : Prohibé (Vieux-Port), Montricher (Arenc), Canebière (Vieux-Port), Catalans (Catalans), Prado (Prado) |
| Ruissellement diffus | | Farenc (nord) Ouvrage pluvial (sud) |

Tableau 4: Liste des sites de prélèvements à Marseille par temps sec et temps de pluie ; les exutoires en mer sont indiqués entre parenthèses.

Par temps sec, les cours d'eau permanents (Huveaune, Jarret, Aygalades) et le rejet de la station d'épuration (Emissaire 2) sont les principales voies d'apport en contaminants dans la rade. La station d'épuration rejette l'effluent traité dans l'Huveaune après déviation dans l'Emissaire 2. Le prélèvement distinct de l'Huveaune et du Jarret permet d'étudier les contributions relatives de l'Huveaune, du Jarret et de la station d'épuration.

Par temps de pluie, les voies d'apports en contaminants à la mer sont multiples et variées. Le but du présent travail n'étant pas de quantifier l'ensemble des apports en contaminants à la mer, les sites ont été sélectionnés en fonction de leur importance (volume déversé) et en tenant compte de l'hétérogénéité des voies d'apport (cours d'eau, surverses unitaires).

La principale difficulté est liée au caractère aléatoire de l'événement pluvieux au cours duquel la réponse hydrique de l'écoulement va dépendre (par exemple, un torrent situé au nord ne va pas s'écouler si un orage n'affecte que le sud de la ville). C'est ainsi que d'un événement pluvieux à l'autre, l'importance relative des voies d'apport varie. Le choix dans les apports non continus (torrents, surverses) a bénéficié des observations de terrain des organismes impliqués dans la gestion et la surveillance des réseaux (DEA, SERAM).

Nous nous sommes également intéressé aussi aux apports diffus liés au ruissellement des surfaces urbaines afin de mettre en évidence les éventuelles sources de contamination pour deux bassins versants différents (industrialisé au nord et résidentiel au sud).



Le but de ce travail n'étant pas d'échantillonner toutes les crues, il a fallu choisir des périodes caractéristiques. D'après les données statistiques de pluie à Marseille (tableau 5), les pluies de début de printemps (avril), d'automne (septembre-octobre), et d'hiver (janvier) sont les plus importantes, avec une hauteur moyenne de précipitations supérieure à 55 mm. L'effort de prélèvement par temps de pluie a donc été programmé durant ces périodes.

Le prélèvement est d'autant plus représentatif des apports à la mer qu'il se fait le plus à l'aval possible. Ce critère a conditionné la localisation des points de prélèvement.

| Mois | Hauteur, mm |
|--------------|----------------|
| Janvier | 63.3 |
| Février | 39.5 |
| Mars | 45.5 |
| Avril | 55.2 |
| Mai | 41.0 |
| Juin | 26.8 |
| Juillet | 8.8 |
| Août | 32.8 |
| Septembre | 63.3 |
| Octobre | 91.6 |
| Novembre | 53.3 |
| Décembre | 52.3 |
| ANNEE | 550-600 |

Tableau 5: Statistiques sur la période 1971-2000 de la hauteur moyenne des précipitations à Marseille. Données METEO FRANCE

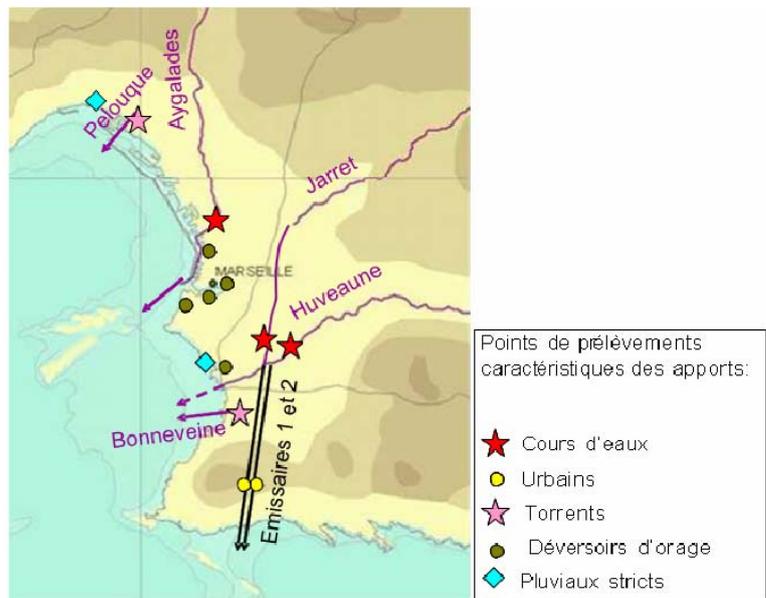


Figure 4: Situation géographique des points de prélèvements à Marseille.

3. Stratégie d'échantillonnage et méthodologie associée

A Marseille, le régime hydrique est constitué d'une alternance de périodes sèches, pouvant durer plusieurs mois, et d'épisodes pluvieux, pouvant être très intenses (forte pluviométrie pendant une courte durée). L'objectif n'est pas de quantifier avec exactitude les flux bruts de contaminants au milieu marin, ce qui demanderait nettement plus de moyens (humains et financiers) et de temps, mais d'estimer les apports principaux dans des conditions hydriques suffisamment variées pour être représentatives des scénarii climatiques les plus fréquents.

Les échanges avec la Direction de l'Eau et de l'Assainissement de la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole (DEA) et l'exploitant du réseau (SERAM) ont permis de connaître le fonctionnement hydrique du réseau et de convenir d'une stratégie d'échantillonnage et des modalités d'accès aux sites de prélèvements (3.1).

Le plan d'échantillonnage ainsi défini vise à étudier les apports à la mer sous différentes conditions météorologiques : la stratégie d'échantillonnage repose sur des prélèvements d'eau et de particules pendant des périodes de temps caractéristiques (temps sec/pluie).

3.1. Stratégie d'échantillonnage

La stratégie d'échantillonnage (tableau 6) a été définie en accord avec l'objectif de l'étude (détermination des principaux apports dans certaines conditions météorologiques) et tient compte des ressources disponibles (personnel, équipement, coût analytique).

La stratégie d'échantillonnage proposée se décline selon différents critères, car on ne prélève pas de la même manière :

- selon que le milieu échantillonné est à ciel ouvert (cours d'eau, ruissellement diffus) ou souterrain (réseau d'assainissement) : on privilégiera l'échantillonnage automatique dans les espaces confinés ;
- selon la variabilité temporelle hydrique de l'effluent : saisonnière pour les cours d'eau, horaire/hebdomadaire pour les effluents d'origine sanitaire ;
- selon que les contaminants analysés sont organiques ou métalliques : de manière courante, le flaconnage utilisé n'est pas compatible avec les deux familles (excepté le Téflon) et l'analyse des contaminants organiques nécessite une quantité d'échantillon (volume dissous et masse particulaire) plus importante que pour l'analyse des métaux ;
- selon que la fraction analysée est dissoute ou particulaire : pour l'analyse des contaminants organiques dans l'eau, le volume de prélèvement nécessaire à l'analyse dans le dissous ne suffit pas nécessairement à l'analyse dans le particulaire (surtout quand la charge particulaire est faible).



| SOURCE D'APPORTS | OU? | QUOI? | COMMENT? | PARAMETRE | TEMPS SEC (TS) | | | | TEMPS DE PLUIE (TP) | | | | TOTAL TS+TP | | |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------|----------------|------------------------|---------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------------------|------|------------------------|
| | | | | | FREQUENCE DE PRELEVEMENT | | DUREE | NOMBRE DE PRELEVEMENTS | | FREQUENCE DE PRELEVEMENTS | | DUREE | NOMBRE DE PRELEVEMENT | | NOMBRE DE PRELEVEMENTS |
| cours d'eau permanents et torrents | Huveaune, Jarret, Aygatades | (eau+MES) | discret | MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | 1 | / semaine | 8 | 8 | / an | 7 | / pluie | 1 pluie | 7 | / an | 15 |
| | | "eau" | membrane | orga (mb) Hg (p) métaux (p) | 1 | / mois | 2 mois | 2 | / an | 1 | / pluie | 1 pluie | 1 | / an | 3 |
| | | MES | piège | orga (p) Hg (p) métaux (p) | 1 | / 15 jours | 1,5 mois | 3 | / an | 1 | / pluie | 4 pluies | 4 | / an | 7 |
| | Bonneveine, Pelouque | (eau+MES) | discret | MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) orga (p) orga (d) | | | | | | 5 | / pluie | 1 pluie | 5 | / an | 5 |
| | | (eau+MES) | préleveur automatique PE | MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | 1 | / heure | 1 jour (24x1L) | 24 | / an | 5? | / heure | 1 pluie | 24 | / an | 48 |
| | | (eau+MES) | prél. auto verre | orga (p) orga (d) MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | 6 | / 4h | 1 jour (6x4L) | 6 | / an | 5? | / heure | 1 pluie | 10 | / an | 16 |
| réseau d'assainissement | Emissaire 2 | (eau+MES) | préleveur automatique PE | MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | 1 | / jour | 7j (7x1L) | 7 | / an | | | | | | 7 |
| | | (eau+MES) | prél. auto verre | orga (p) orga (d) MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | 1 | / jour | 7j (7x1L) | 7 | / an | | | | | | 7 |
| | | (eau+MES) | préleveur automatique PE | MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | | | | | | 5? | / heure | 1 pluie | 20 | / an | 20 |
| | | (eau+MES) | prél. auto verre | orga (p) orga (d) MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | | | | | | 5? | / heure | 1 pluie | 10 | / an | 10 |
| | émissaire 1 | (eau+MES) | préleveur automatique PE | MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | | | | | | 5? | / heure | 1 pluie | 10 | / an | 10 |
| | | (eau+MES) | prél. auto verre | orga (p) orga (d) MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | | | | | | 5? | / heure | 1 pluie | 10 | / an | 10 |
| déversoirs d'orages | (eau+MES) | discret | MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | | | | | | 5 | / pluie | 1 pluie | 5 | / an | 5 | |
| | (eau+MES) | discret | orga (p) orga (d) MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | | | | | | 1 | / pluie | 1 pluie | 1 | / an | 1 | |
| ruissellement urbain | ouvrages pluviaux | (eau+MES) | discret | MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | | | | | | 5 | / pluie | 1 pluie | 5 | / an | 5 |
| | | (eau+MES) | discret | orga (p) orga (d) MES métaux (p) métaux (d) Hg (p) Hg (d) | | | | | | 1 | / pluie | 1 pluie | 1 | / an | 1 |
| diffus réseau | avaloirs | boues | pelle | métaux (p) Hg (p) orga (p) | | | | | | 20 | / semaine | 1 semaine | 20 | / an | 20 |

Tableau 6: Plan d'échantillonnage associé à la détermination des apports en contaminants à la rade de Marseille en fonction de la période d'échantillonnage, de la nature de l'effluent et des contaminants étudiés. Les abréviations désignent : TS = temps sec, TP = temps pluie, MES = matières en suspension, orga (d) = contaminants organiques dissous, orga (p) = contaminants organiques particulaires, Hg = mercure, métaux (p) / (d) = métaux dissous / particulaires, orga (mb) = contaminants organiques prélevés avec les membranes.

On propose dans les paragraphes suivants de détailler le tableau 6 en décrivant les points de prélèvements et la localisation des capteurs de la DEA pour la mesure des débits hydriques, le type de prélèvements effectué en fonction des sources d'apports, les méthodes de prélèvements associées et le circuit analytique emprunté par les échantillons.



3.2. Localisation des points de prélèvements et des capteurs hydriques

Dans la mesure du possible, le site de prélèvement sélectionné est situé le plus en aval avant exutoire en mer et pour lequel il existe un accès relativement sécurisé. Le choix des sites repose avant tout sur un travail de reconnaissance sur le terrain et sur la connaissance du schéma de fonctionnement des réseaux d'assainissement et hydrographique.

Le réseau hydrographique et le réseau d'assainissement de la ville de Marseille sont équipés d'un réseau de capteurs hydriques appartenant à la DEA. Le débit des écoulements est déterminé à partir d'une mesure par ultra-sons de la hauteur d'eau dans les cours d'eau et par capteurs piézorésistifs dans les déversoirs d'orages, toutes les 6 minutes. Les caractéristiques des mesures, les coupes des ouvrages et la localisation des capteurs dans la ville sont précisées en Annexe E.

3.2.1. Les cours d'eaux

3.2.1.1. Le ruisseau des Aygalades (AYG)

Par temps sec, le ruisseau est accessible depuis le boulevard Briançon, l'accès se faisant depuis le terrain situé sous le pont du métro (avant le terminus Bougainville), à proximité de la cité Bellevue (photos 1 et 2). Le prélèvement se fait alors à la main avec un flacon (photo 3). Par temps de pluie, lorsque la montée des eaux est très importante, les prélèvements se font depuis l'ouverture dans le grillage de la station de lavage des véhicules (photos 4 et 5) située à proximité du pont du boulevard Briançon (croisement rue Roger Salengro) et à l'aide d'un seau.



Photo 1: Localisation du site



Photo 2 : Accès aux Aygalades



Photo 3: Prélèvement bouteille



Photo 4: Accès par temps de pluie

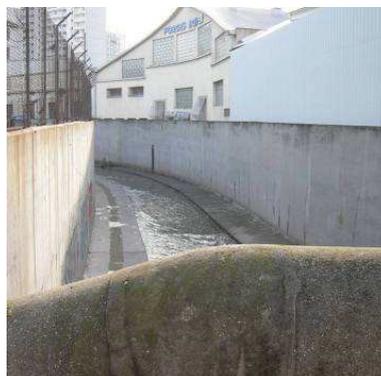


Photo 5: Vue depuis le pont du boulevard Briançon



Photo 6: Exutoire des Aygalades dans le Port de Commerce (bassin d'Arenc).



Le site de prélèvement se situe dans les Aygalades environ 500 m à l'amont de son exutoire dans le Port de Commerce (photo 6). Ce site de prélèvement n'intègre pas deux effluents pouvant exister par temps de pluie et dont les confluences se trouvent à l'aval du point de prélèvement sélectionné : le ruisseau des Plombières et le déversoir d'orages Beal Magnan. Le site de prélèvement se trouve dans la dernière partie découverte juste avant que le cours d'eau ne redevienne souterrain jusqu'à la mer ; c'est donc la facilité d'accès et la sécurité des biens et des personnes qui ont prévalu dans le choix du site de prélèvement.

Le capteur de la DEA est situé environ 1 km à l'amont du point de prélèvement (Aygalades, station n°36, capteur LI2). Pour avoir le débit total arrivant en mer, il faudrait donc sommer les débits des Aygalades, du déversoir d'orages Beal Magnan et du ruisseau des Plombières.

3.2.1.2. Le Jarret (JAR) et l'Huveaune (HUV)

On rappelle que l'Huveaune (après confluence avec le Jarret) est dévié dans l'Emissaire 2 (exutoire Cortiou) par temps sec et qu'une partie du débit par temps de pluie peut rejoindre le lit naturel (exutoire Prado). En principe, pour caractériser les apports de l'Huveaune, il suffirait donc de prélever uniquement à l'aval de la confluence : par temps sec, on obtiendrait la contribution de l'Huveaune à Cortiou et par temps de pluie, on obtiendrait la contribution de l'Huveaune à Cortiou et les apports au Prado. Or, la confluence du Jarret et de l'Huveaune se situant juste avant la bifurcation (Emissaire 2, lit naturel), on observe que par temps de pluie les eaux se mélangent mal. Ainsi, il faudrait donc prélever à l'aval de la bifurcation et juste avant que l'Huveaune ne devienne souterrain. Or, pour des raisons pratiques d'accès et de ressources disponibles pour les prélèvements, nous avons prélevé distinctement les eaux de l'Huveaune et du Jarret juste avant la confluence ; ce qui permet en outre d'étudier leurs différentes contributions.

Le Jarret et l'Huveaune sont facilement accessibles au niveau de leur confluence située sous le pont de la rue Teisseire (photos 7 et 8). Par temps sec, il suffit de descendre l'échelle (photo 9) pour ensuite prélever dans le Jarret (photo 10) et il suffit de traverser le Jarret pour ensuite prélever dans l'Huveaune (photo 11) ; les prélèvements se faisant directement à la main avec un flacon. Par temps de pluie, les prélèvements se font à l'aide d'un seau depuis le pont (photos 13 et 14).



Photo 7: Confluence Jarret (à gauche) et Huveaune (à droite)



Photo 8: Point d'accès



Photo 9: Accès par échelle





Photo 10: Prélèvement bouteille dans le Jarret



Photo 11: Prélèvement bouteille



Photo 12: Huveaune et Jarret en crue



Photo 13: Prélèvement depuis le pont



Photo 14: Prélèvement au seau

En l'état actuel des connaissances, le débit est connu :

- dans l'Emissaire 2 (Bonnaude, station n°62, LI2), soit à l'aval de la déviation de l'Huveaune et du rejet de la station d'épuration (depuis 2009), au niveau du rond-point de Mazargues (Puits 7) ;
- dans le lit naturel de l'Huveaune (Ramon, station n°507, LI1) ;
- dans la Gouffone qui s'écoule par temps de pluie et qui se jette dans l'Huveaune quand il a rejoint son lit naturel (Bonnaude, station n°62, LI1) ;
- dans le Jarret à l'amont de la confluence (station La Bégude, LI1).

Par temps sec, pour déterminer le débit dans l'Huveaune seul, il faut soustraire au débit mesuré dans l'Emissaire 2, le débit du rejet de la station d'épuration et celui du Jarret. Pour le rejet de la station d'épuration dans l'Emissaire 2, les données disponibles sont des volumes d'eau quotidiens. Par temps de pluie, pour déterminer le débit de l'Huveaune au Prado, il faut ajouter le débit de la Gouffone au débit mesuré dans le lit naturel de l'Huveaune.

3.2.2. Les torrents (par temps de pluie)

3.2.2.1. Le ruisseau de Bonneveine (BON)

Les prélèvements s'effectuent à l'aide d'un seau dans le regard situé au début de la rue Bonneveine sur la Place Louis Bonnefon (photos 15 et 16). Le débit du ruisseau de Bonneveine est déterminé juste à proximité (Hamburg, station 505, LI1).



Photo 15: Accès par le tampon



Photo 16: Prélèvement au seau

3.2.2.2. Le ruisseau de La Pelouque (PEL)

Les prélèvements se font à l'aide d'un seau dans le tampon situé sur le rond point au croisement du Chemin du Littoral et du boulevard Grawitz environ 600 m avant rejet en mer (photos 17 et 18). Le débit est déterminé juste à proximité (Figurier, station n°63, LI2).



Photo 17: Accès par le tampon



Photo 18: Tampon Pelouque

3.2.2.3. Le ruisseau de Farenc (FAR)

L'exutoire du ruisseau de Farenc se trouve sur le littoral nord de la ville (industrialisé). Les prélèvements s'effectuent à l'aide d'un seau depuis la passerelle dans le port de l'Estaque (Saumaty) (photos 19 et 20). Les eaux de ruissellement diffus sont rejetées à la mer et le débit n'est pas connu.



Photo 19: Passerelle ruisseau



Photo 20: Ruisseau de Farenc

3.2.2.4. Ouvrage pluvial sud (OP CMV)



Photo 21: Prélèvement au seau.

L'ouvrage pluvial sud est un exutoire se trouvant sur le littoral sud de la ville (à caractère résidentiel). Les prélèvements s'effectuent à l'aide d'un seau depuis la grille d'accès de l'ouvrage pluvial situé dans l'enceinte du Club Municipal de Voile (photo 21) sur la Promenade Georges Pompidou. Les eaux de ruissellement diffus sont rejetées à la mer et le débit n'est pas mesuré.

3.2.3. L'Emissaire 1 (par temps de pluie) et l'Emissaire 2

L'accès aux deux émissaires le plus en aval possible dans le réseau d'assainissement se fait par le Puits 1 de l'Emissaire 1, situé dans l'impasse de l'Aspic dans les Calanques (photo 22). L'accès aux émissaires se fait grâce à un monte-charge qui descend à une centaine de mètres en profondeur pour atteindre le niveau de la mer. L'accès étant plus contraignant (l'accompagnement de la SERAM est indispensable), et le milieu confiné, le site a été équipé en juin 2009 d'un préleveur automatique fixe (photo 23) qui permet de prélever alternativement dans l'Emissaire 2 (photo 24) et dans l'Emissaire 1 (par temps de pluie). L'accès est interdit en cas de précipitations.



Photo 22: Accès au Puits 1



Photo 23: Préleveur



Photo 24: Coursive d'accès à l'Emissaire 2

L'accès au préleveur automatique a malheureusement été condamné depuis la panne du monte-charge survenue en juin 2010. En attendant la réparation, il a fallu identifier un autre site de prélèvement dans l'Emissaire 2. Dans le Puits 4 situé à l'amont du Puits 1,



Photo 25: Préleveur automatique dans le Puits 4

1, l'accès est possible à l'aide d'un monte-charge qui permet d'atteindre les émissaires à environ 50 m sous terre. L'accès est également interdit en cas de précipitations. Un préleveur automatique portable de location y a été installé entre mars et avril 2011 (photo 25) et a permis de prélever les eaux de l'Emissaire 2 uniquement.

Le débit est mesuré dans l'Emissaire 1 à proximité du site de prélèvement (Puits 1, station n°54, LI1). Le débit de l'Emissaire 2 est mesuré à l'amont, au niveau du Puits 7 (rond-point de Mazargues).

3.2.4. Les déversoirs d'orages (par temps de pluie)

Les déversoirs d'orage (DO) sont susceptibles d'être en charge lors des pluies intenses. Le choix des sites de prélèvement est d'autant plus difficile que les déversoirs d'orage se trouvent en ville et que les accès les plus en aval peuvent se trouver dans des enceintes privées.

3.2.4.1. Déversoir d'orage Prohibé (PRO)

Le prélèvement s'effectue à la bouteille à la surface de la mer dans le Vieux Port (photo 26), l'exutoire se trouvant à proximité du Cercle Nautique situé Quai de Rive Neuve (photo 27). Le débit est mesuré à proximité (Prohibé, station n°17, LI1).



Photo 26: Passerelle Vieux Port



Photo 27: Exutoire DO Prohibé

3.2.4.2. Déversoir d'orage Montricher (MON)

Le prélèvement s'effectue à l'aide d'un seau depuis le regard d'accès situé au croisement du boulevard des Dames et de la rue Mazenod (photos 28 et 29), une centaine de mètres avant rejet en mer. Le débit est mesuré à moins d'1 km à l'amont du site de prélèvement (Guesde, station n°50, LI4).



Photo 28: Localisation du regard



Photo 29: Regard d'accès au DO Montricher

3.2.4.3. Déversoir d'orage Canebière (CAN)

Les prélèvements s'effectuent à l'aide d'un seau depuis le regard d'accès situé face au n°11bis de la rue Canebière (photos 30 et 31). L'exutoire en mer se situe environ 100 m en aval. Le débit est mesuré environ 200 m plus en amont (Belsunce, station n°51, LI5).



Photo 30: Localisation du regard



Photo 31: Regard d'accès au DO Canebière

3.2.4.4. Déversoir d'orage Catalans (CAT)

Les prélèvements s'effectuent à l'aide d'un seau depuis le regard d'accès situé à l'entrée du Cercle des Nageurs, rue des Catalans (photos 32-34), une centaine de mètres avant rejet en mer. Les caractéristiques de la mesure de débit n'ont pas été renseignées.



Photo 32: Localisation du regard



Photo 33: Regard d'accès DO Catalans



Photo 34: Prélèvement par temps de pluie.

3.2.4.5. Déversoir d'orage Prado (PRA)

Le prélèvement se fait au croisement de l'avenue du Prado et de la rue de la Riante, soit environ 1 km avant rejet en mer. Les prélèvements s'effectuent à l'aide d'un seau depuis le regard d'accès (photos 35 et 36). Le débit est mesuré un peu en amont, environ 2 km avant rejet en mer (Prado, station n°53, LI3).



Photo 35: Localisation du DO Prado

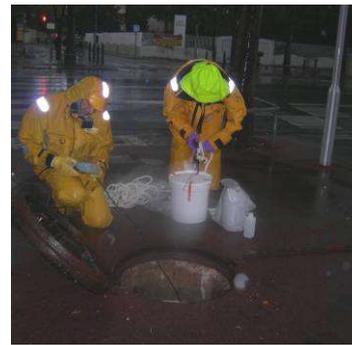


Photo 36: Prélèvement par temps de pluie au seau

3.2.5. Récapitulatif

Afin de simplifier la compréhension (notamment pour les utilisateurs des données fournies par la DEA), le tableau 7 reprend la liste des sources d'apports étudiées, leurs exutoires et les mesures de débit correspondantes.

| Source d'apport | Exutoire | Débit Q (voir Annexe E) |
|-----------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Huveaune (HUV) +Jarret (JAR) | Cortiou | $Q_{\text{Bonnaude LI2}} - Q_{\text{Station d'épuration}}$ (avant 2009) $Q_{\text{Bonnaude LI2}}$ (après 2009) |
| Huveaune (HUV) +Jarret (JAR) + Gouffone | Prado | $Q_{\text{Ramon}} + Q_{\text{Bonnaude LI1}}$ |
| Huveaune seul (HUV) | Cortiou et/ou Prado | Non communiqué |
| Jarret seul (JAR) | Cortiou et/ou Prado | $Q_{\text{La Bégude}}$ |
| Aygalades (AYG) | Bassin d'Arenc | $Q_{\text{Aygalades}}$ |
| Bonneveine (BON) | Prado sud | Q_{Hamburg} |
| Pelouque (PEL) | Bassin Mirabeau | Q_{Figuier} |
| Farenc (FAR) | Port de l'Estaque | Non renseigné |
| Ouvrage pluvial sud (CMV) | Prado nord | Non mesuré |
| Emissaire 1 | Cortiou | $Q_{\text{Puits 1}}$ |
| Emissaire 2 (E2) | Cortiou | $Q_{\text{Bonnaude LI2}}$ |
| DO Prohibé (PRO) | Vieux Port | $Q_{\text{Prohibé}}$ |
| DO Montricher (MON) | Vieux Port | Q_{Guesde} |
| DO Canebière (CAN) | Vieux Port | Q_{Belsunce} |
| DO Catalans (CAT) | A renseigner | Non communiqué |
| DO Prado (PRA) | Prado | Q_{Prado} |

Tableau 7: Sources d'apports faisant l'objet de prélèvements avec situation de leurs exutoires et mesures de débit correspondantes.

3.3. Les méthodes de prélèvement

Lorsque les grandes lignes du plan d'échantillonnage ont été définies, l'étape suivante a consisté à identifier, développer et optimiser les méthodes nécessaires à déployer sur le terrain (prélèvements) et au laboratoire (traitement des échantillons). Par rapport à l'ampleur du travail à réaliser, il a fallu découpler la mise en œuvre de la stratégie d'échantillonnage pour l'étude des métaux de celle pour l'étude des contaminants organiques.

3.3.1. Prélèvements d'eau

Le laboratoire LER-PAC dispose d'une pompe Asti (photo 37) prévue pour faire les prélèvements et répondre à la question des apports bruts issus de Marseille.

Une pompe Asti est faite entièrement de Téflon (tuyaux aussi) et permet donc d'exclure tout risque de contamination au moment de l'échantillonnage. Une pompe Asti, à fonctionnement pneumatique, est actionnée sous l'effet d'un gaz sous pression



(air ou CO₂). L'échantillon est alors prélevé dans la pompe puis récupéré dans un flacon.

L'expérience tirée des premiers prélèvements effectués dans METROC le 27/5/2009 ont mis fin à l'utilisation de la pompe : encombrant, lourd et coûteux (consommation de gaz), le dispositif de prélèvement n'est pas adapté aux prélèvements de petits volumes d'eau pour des missions de terrain où les prélèvements ont lieu en différents endroits.



Photo 37: Pompe Asti et tuyaux d'entrée et de sortie en Téflon

Les prélèvements ont donc été réalisés à l'aide d'un flacon de récupération plongé directement dans l'eau. On procède de cette manière dans l'Huveaune, le Jarret et les Aygalades par temps sec. Lorsque l'accès est rendu difficile par les conditions météorologiques (pluies), les prélèvements se font à l'aide d'un seau. Le prélèvement est ensuite réparti entre les différents flacons de récupération. Dans les déversoirs d'orages (Montricher, Prohibé, Canebière, Catalans, Prado) et dans les cours d'eau souterrains (Bonneveine, Pelouque), pour des raisons de sécurité il n'est pas possible de descendre lorsqu'ils sont en charge, aussi il est nécessaire d'utiliser un seau de prélèvement puis de répartir le prélèvement entre les différents flacons. Enfin l'accès aux ouvrages pluviaux sud et nord (Farenc) n'étant pas aisé, les prélèvements se font également à l'aide d'un seau. Le seau utilisé est en polypropylène.

Le préleveur automatique installé dans le Puits 1 du réseau d'assainissement de Marseille est de type Bühler 4010 multi-flacons réfrigérés (photo 23). Il est équipé de 24 flacons de 1 L stockés dans un compartiment réfrigéré à 4°C. Le volume de prélèvement est réglable. Les flacons sont en verre ou en polyéthylène. Le tuyau de prélèvement est téflonné à l'intérieur (Tygon SE200) et mesure environ 22 m. Le dénivelé entre la hauteur du préleveur et la surface de l'eau est d'environ 3 m. Le prélèvement se fait par aspiration à l'aide d'une pompe à membranes. Le préleveur fonctionne sur secteur.

La panne du monte-charge (juin 2010) dans le Puits 1 a compromis l'accès au préleveur automatique. Il a donc fallu installer un deuxième préleveur pour prélever l'eau de l'Emissaire 2 en vue de l'analyse des organiques. Un préleveur portable réfrigéré multi-flacons en location (Hydreka) de marque Sigma a été installé pendant 2 mois (février-mars 2011) dans le Puits 4. Le préleveur est muni de 24 flacons verre de 350 mL. Le volume de prélèvement est réglable. Les prélèvements se font à volume et pas de temps constants. Le pompage se fait à l'aide d'une pompe péristaltique. Le tuyau de prélèvement est en polyéthylène et mesure environ 17 m. Le dénivelé entre le préleveur et la surface de l'eau est estimée à 1,5 m. Le préleveur est branché sur batterie.



3.3.2. Matières en suspension seules

L'analyse des contaminants organiques nécessitant une grande quantité de particules (seuil de détection analytique bas), un dispositif permettant la récupération d'une plus grande quantité de matière a été utilisé : le piège à sédiment. Le piège à sédiment est un dispositif de prélèvement intégré pour les matières en suspension en transit dans l'eau. Trois pièges à sédiments de type horizontaux et compatibles avec les écoulements à faible hauteur d'eau présents dans l'Huveaune, le Jarret et les Aygalades ont été aussi fabriqués (Phillips *et al.*, 2000 ; Hutchinson et Rothwell, 2008). Deux pièges à sédiments (photo 38) ont été placés en immersion dans l'Huveaune (photo 39) et le Jarret. A titre d'exemple, dans l'Huveaune, le piège à sédiment placé courant juin 2010 a permis d'échantillonner jusqu'à 50 g secs de matières en suspension. Le rendement de prélèvement est surtout limité par la présence de macro-déchets qui viennent obstruer l'entrée du piège.

Le tube cylindrique mesure 1 m et son diamètre est de 10 cm environ (figure 5). Le tube est bouché par une tête conique et un bouchon plat tous les deux percés en leurs centres d'un trou de 4 mm de diamètre. Lorsque le piège est placé en immersion, l'eau pénètre dans le préleveur en continu à une vitesse proportionnelle à la vitesse d'écoulement ambiante. Dans la partie centrale et cylindrique du préleveur, la diminution de la vitesse d'écoulement d'un facteur 600 par rapport à l'écoulement ambiant (augmentation de la section de surface) va induire une décantation des particules.

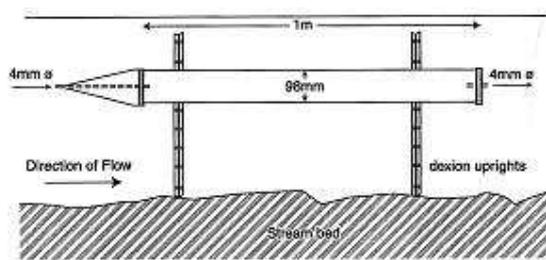


Figure 5: Schéma du piège à sédiments. Source : Phillips *et al.*, 2000



Photo 38: Piège à sédiment en acier inox



Photo 39: Piège immergé

3.3.3. Membranes

L'analyse des contaminants organiques hydrophobes dans l'environnement étant difficile (seuil de détection bas), il est préférable d'utiliser des méthodes de prélèvements intégratifs pour augmenter la capacité de détection analytique.

L'utilisation des échantillonneurs passifs dans les environnements marins en vue d'analyser les contaminants hydrophobes dans l'eau date des années 90 (Huckins *et al.*, 1990). L'utilisation des échantillonneurs passifs type membrane dans les eaux usées des réseaux d'assainissement urbain constitue une démarche innovante et relativement récente (Augulyte et Bergqvist, 2007 ; Gourlay-Francé *et al.*, 2008).

Dans les cours d'eau de Marseille, l'échantillonnage des contaminants organiques dissous a reposé sur l'utilisation de membranes en silicone (photo 40). Les membranes permettent d'échantillonner la fraction biodisponible (dissous vrai) des contaminants organiques hydrophobes présents dans l'eau par diffusion (*e.g.* Smedes, 2007). Les membranes sont initialement dopées en composés organiques dits « de référence » qui vont permettre, par la détermination de facteurs de correction, de

s'affranchir de la variabilité du taux de rétention des substances sur la membrane due au milieu (conditions d'écoulement, température, biofilm...).

La durée d'immersion des membranes varie de un à deux mois. La vitesse de diffusion vers la membrane dépendant du composé organique, la membrane reste immergée plus longtemps pour échantillonner les composés les plus hydrophobes.

Plusieurs membranes ont été immergées dans l'Huveaune et le Jarret (photo 41) à partir de juin 2010.



Photo 40: Support de membranes



Photo 41: Membranes immergées

3.4. Les méthodes de prélèvement

Le tableau 6 décrit la stratégie d'échantillonnage adoptée fin 2009. Le nombre de prélèvements et d'analyses a été fixé en accord avec l'objectif de l'étude et les ressources disponibles. Cependant, la fréquence de prélèvement par temps de pluie peut être modifiée en fonction de l'aléa météorologique (durée et intensité des pluies). Lors des pluies, le nombre d'échantillons, le volume et la fréquence de prélèvement sont des paramètres qui sont déterminés au moment de la pluie à partir des observations sur le terrain et des informations obtenues auprès de la DEA qui suit « en direct » l'impact des précipitations sur le réseau d'assainissement. Compte tenu de la dispersion géographique des sites de prélèvement, de l'aléa climatique et des moyens mobilisables, et du degré d'avancement de la mise en place des méthodes sur site et au laboratoire, les prélèvements n'ont pu avoir lieu simultanément sur l'ensemble des sites (une dizaine de sites par temps de pluie, un seul préleveur automatique). Différentes campagnes ont donc été programmées selon la nature des contaminants analysés (organiques/métalliques), selon la situation géographique des sites de prélèvements (nord/sud) et selon les ressources disponibles sur le terrain (une équipe de deux personnes minimum par site de prélèvement).

3.4.1. Les cours d'eau

Par temps sec, les prélèvements ponctuels (ou discrets) sont concomitants pour le Jarret, l'Huveaune et les Aygalades : l'accès aux sites de prélèvements est relativement aisé et les sites ne sont pas très éloignés les uns des autres.

Pour déterminer les concentrations en métaux dans le dissous et le particulaire en période d'étiage, l'Huveaune, le Jarret et les Aygalades ont fait l'objet de prélèvements discrets en juillet et août 2009 à raison d'une fois par semaine. Par temps de pluie, les cours d'eau ont fait l'objet d'un prélèvement composite. Un échantillon composite se compose de plusieurs prélèvements ponctuels effectués au



cours du temps ; un échantillon composite permet donc d'avoir une information intégrée dans le temps. L'échantillonnage composite permet de réduire la quantité d'échantillon (et donc le coût analytique) et d'accéder à une information moyenne. Les échantillons composites prélevés dans METROC ont été effectués à volume constant. Le pas de temps a été adapté à l'observation du niveau de l'eau et de la météo : pas de temps plus serré en début et fin de crue, pas de temps plus grand pendant la crue et entre deux crues. Pendant les pluies, les prélèvements n'ont pas lieu simultanément sur l'ensemble des sites compte tenu des moyens mobilisables.

Des échantillonneurs passifs ont été déployés en vue de l'analyse des contaminants organiques dans le dissous (membranes) et le particulaire (pièges à sédiments) à raison d'un prélèvement une fois par mois (pièges et membranes) et/ou tous les deux mois (membranes).

Dans les cours d'eau n'existant que par temps de pluie (Bonneveine, Pelouque), les prélèvements sont ponctuels. Il est plus difficile de prélever des échantillons par temps de pluie dans les petits torrents que dans les cours d'eau permanents (Huveaune, Jarret, Aygaldes) car le niveau d'eau varie très rapidement et fortement. La stratégie d'échantillonnage prévoit d'étudier la variabilité temporelle des apports (pour les métaux) pour au moins un événement pluvieux.

3.4.2. Les rejets issus du réseau d'assainissement

L'installation d'un préleveur automatique dans le Puits 1 du réseau d'assainissement permet d'échantillonner le rejet de l'Emissaire 2 par temps sec et l'effluent de l'Emissaire 1 par temps de pluie.

Le préleveur automatique permet aisément de prélever des échantillons composites et d'étudier la variabilité temporelle des apports sur une échelle de temps journalière et hebdomadaire. Les prélèvements se font à volume constant et à pas de temps fixe. Le suivi du rejet sur 24 h a été effectué à partir de 24 flacons de 1 L avec dans chaque flacon 6 prélèvements de 150 mL toutes les 10 min. Par temps de pluie, le programme de prélèvement est adapté aux prévisions météorologiques : pour un nombre de flacons donné, une pluie prévue pendant 24 disposant d'un seul préleveur dans lequel est placé un seul jeu de flacons (polyéthylène ou verre), par temps de pluie, les prélèvements se font alternativement dans l'Emissaire 1 ou l'Emissaire 2, pour les contaminants organiques ou métalliques.

Par temps de pluie, lorsque les déversoirs d'orages sont en charge, les surverses du réseau unitaire sont prélevées ponctuellement. Il est d'autant plus difficile de prélever dans un déversoir d'orage que ce dernier est en charge pendant une courte période - qui va dépendre de l'impact de l'événement pluvieux sur le réseau d'assainissement - et que tous les prélèvements se font à la main. La stratégie d'échantillonnage prévoit d'étudier la variabilité temporelle des apports (pour les métaux) pour au moins un événement pluvieux.



3.4.3. Le ruissellement diffus en milieu urbain

Les apports diffus liés au ruissellement des surfaces urbaines ont été échantillonnés ponctuellement afin de mettre en évidence les éventuelles sources de contamination pour deux bassins versants différents (industrialisé au nord et résidentiel au sud) et on tente d'étudier la variabilité temporelle des apports (pour les métaux) pour au moins un événement pluvieux.

3.4.4. Les laisses de crue

La qualité chimique des laisses de crue déposées dans le réseau d'assainissement et le réseau hydrographique ont été caractérisées afin de mettre en évidence les sources potentielles de pollution pour le milieu marin (Cornelissen *et al.*, 2008). Les boues déposées dans les ouvrages pluviaux situés sur le littoral (à l'interface terre-mer) sont alors considérées comme matrices solides dont la contamination est représentative de ce qui est susceptible d'être apporté au milieu marin par temps de pluie, les avaloirs se comportant alors comme des pièges à particules (Jartun *et al.*, 2008). De manière plus générale, la caractérisation chimique des boues dans le réseau d'assainissement peut donner des informations sur les sources de contamination susceptibles d'être transférée à la mer (après une remise en suspension typiquement). Les laisses de crue ont été échantillonnées sur les banquettes des cours d'eau et des émissaires 1 et 2 entre deux crues.

3.5. Protocoles de prélèvement et traitement des échantillons

Les protocoles de prélèvement et de traitement des échantillons sont présentés dans les tableaux 8 et 9. Toutes les précautions liées à l'échantillonnage en vue de l'analyse de contaminants ont été respectées dans la mesure du possible, exceptés les cas où :

- le prélèvement est rendu difficile par les conditions météorologiques : l'utilisation du seau en polypropylène n'étant pas adapté à l'échantillonnage des éléments traces dans l'eau (code protocole G) ;
- le matériel de série fourni est difficilement remplaçable : le tuyau en silicone présent dans le préleveur Bühler (sortie du godet de récupération de l'échantillon) et dans le préleveur Sigma (dans la pompe péristaltique) n'est pas adapté à l'analyse des métaux, ni des organiques (codes C et F).



| Code protocole | Type de prélèvement | Contaminant analysé | Réceptacle de prélèvement | Prétraitement | Traitement de l'échantillon | Filtres | Prétraitement | Traitement dissous | Traitement particulière | Laboratoire d'analyse |
|----------------|---------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A | Eau | Métaux autres que mercure et matières en suspension | Bouteille HDPE | Lavage à l'acide HNO ₃ 30% et 10% v/v | Filtration avec une unité en polysulfone Nalgene® | Membrane polycarbonates Millipore®, porosité 0,45 µm, diamètre 47 mm | Solution acide HNO ₃ 10% | Récupération dans flacons HDPE prétraités à l'acide Acidification HNO ₃ SP 0,2% m/v | Séchage sous hotte à flux laminaire Conservation dans des boîtes de Pétri en polystyrène Millipore® prétraitées à l'acide | LBCM, Ifremer, Nantes |
| Abis | Eau | Métaux | Pompe Asti Bouteille HDPE | Lavage à l'acide HNO ₃ 30% et 10% v/v | Filtration avec une unité en polysulfone Nalgene® | | | | | |
| B | Eau | Mercurure | Bouteille Téflon | Lavage à l'acide HCl 10% v/v | Filtration avec une unité en polysulfone Nalgene® | Téflon®, porosité 0,45 µm, diamètre 47 mm | Aucun | Récupération dans flacons Téflon prétraités à l'acide et au BrCl Acidification HCl SP 0,4% v/v Ajout de BrCl 2M 0,2% v/v | Séchage sous hotte à flux laminaire | LBCM, Ifremer, Nantes |
| C | Eau | Tous les métaux et charge particulière | Préleveur automatique Bühler® Bouteille HDPE | Lavage à l'acide HNO ₃ 30% et 10% v/v | Filtration avec une unité en polysulfone Nalgene® | Membrane polycarbonates Millipore®, porosité 0,45 µm, diamètre 47 mm | Solution acide HNO ₃ 10% | Récupération dans flacons HDPE prétraités à l'acide Acidification HNO ₃ SP 0,2% m/v | Séchage sous hotte à flux laminaire Conservation dans des boîtes de Pétri en polystyrène Millipore® prétraitées à l'acide | LBCM, Ifremer, Nantes |
| D | Eau | Contaminants organiques | Jerrycan acier inox | Lavage au méthanol ou à l'éthanol | Filtration avec une unité en inox reliée à une pompe Asti Téflon® | Filtres en fibres de verre, porosité 0,7 µm, diamètre 90 mm | Calcination 450°C | Extraction liquide-liquide : 50 mL d'hexane pour 1 L d'eau filtrée | Séchage sous hotte à flux laminaire Conservation dans des boîtes de Pétri en polystyrène Millipore® prétraitées à l'acide | Laboratoire de Rouen |
| E | Eau | Contaminants organiques | Bouteille verre ambrée | Lavage à l'acide HCl 10% v/v puis au méthanol ou éthanol Calcination 450°C | Filtration avec une unité en inox reliée à une pompe Asti Téflon® | | | | | |
| Ebis | Eau | Contaminants organiques | Bouteille verre ambrée avec pompe Asti | Lavage à l'acide HCl 10% v/v puis au méthanol ou éthanol Calcination 450°C | Filtration avec une unité en inox | Filtres en fibres de verre, porosité 0,7 µm, diamètre 45 mm | Calcination 450°C | Aucun | Séchage sous hotte à flux laminaire Conservation dans des boîtes de Pétri en polystyrène Millipore® prétraitées à l'acide | MEL, AIEA, Monaco |

Tableau 8: Protocoles de prélèvement et traitement des échantillons (A à Ebis).

| Code protocole | Type de prélèvement | Contaminant analysé | Réceptacle de prélèvement | Prétraitement | Traitement de l'échantillon | Filtres | Prétraitement | Traitement dissous | Traitement particulière | Laboratoire d'analyse | |
|----------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--|
| F | Eau | Contaminants organiques | Préleveur automatique Sigma Bouteille verre | Lavage à l'acide HCl 10% v/v puis au méthanol ou éthanol Calcination 450°C | Filtration avec une unité en inox reliée à une pompe Asti Téflon | Filtres en fibres de verre, porosité 0,7 µm, diamètre 90 mm | Calcination 450°C | Extraction liquide-liquide : 50 mL d'hexane 99% pour 1 L d'eau filtrée | Séchage sous hotte à flux laminaire Conservation dans des boîtes de Pétri en polystyrène Millipore® prétraitées à l'acide | Laboratoire de Rouen | |
| G | Eau | Métaux et organiques | Seau polypropylène puis protocole A et/ou B et/ou E | Lavage à l'acide HNO ₃ 30% v/v et HNO ₃ /HCl 10% v/v | Suite protocole : A, B, E selon le contaminant à analyser | | | | | | |
| H | Matières en suspension dans les pièges à sédiments | Métaux et organiques particuliers | Piège en inox | Lavage à l'acide HCl/HNO ₃ 10% | Récupération dans un jerrycan HDPE 8 L prétraité Décantation 'Siphonnage' | Aucun | Aucun | Aucun | Lyophilisation | LBCM, Ifremer, Nantes Laboratoire de Rouen | |
| I | Laisses de crue | Métaux et organiques particuliers | Pelle PTFE puis récupération dans un sachet Fisherbrand | Lavage à l'acide HCl 10% v/v | Séchage à l'étuve | Aucun | Aucun | Aucun | Broyage Tamisage (fraction < 63 µm) | LBCM, Ifremer, Nantes Laboratoire de Rouen | |
| J | Membranes | Contaminants organiques dissous | Pilulier verre | Aucun | Nettoyage au méthanol Congélation | Aucun | Aucun | Aucun | Aucun | Laboratoire Deltares, Pays-Bas | |

Tableau 9: Protocoles de prélèvement et traitement des échantillons (F à J)

3.6. Méthodes analytiques

Le tableau 10 présente pour l'ensemble des éléments analysés les laboratoires d'analyse et leurs méthodes. Lorsque les données pour les HAP, PCB et PBDE sont exprimées en $\mu\text{g.L}^{-1}$ dans les particules (analyses du laboratoire de Rouen), il faut tenir compte de la concentration solide (mg.L^{-1}) pour déterminer les concentrations dans les particules ($\mu\text{g.g}^{-1}$).

| Paramètre | Fraction analysée | Laboratoire | Méthode | Seuil de détection | Unité |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| PCB 28, 52 | dissous | Laboratoire de Rouen | NF EN ISO 6468 | 0,0005 | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| PCB 101, 118, 138, 153, 180 | dissous | Laboratoire de Rouen | NF EN ISO 6468 | 0,0002 | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| PCB 28, 52 | particulaire | Laboratoire de Rouen | GC/ECD | 0,0005 | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| PCB 101, 118, 138, 153, 180 | particulaire | Laboratoire de Rouen | GC/ECD | 0,0002 | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| BDE 47, 99, 100, 153, 209 | dissous | Laboratoire de Rouen | GC/MS-CInégative | 0,0015 | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| BDE 47, 99, 100, 153, 209 | particulaire | Laboratoire de Rouen | GC/MS-CInégative | 0,0015 | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| Naphtalène, Fluorène, Pyrène | dissous | Laboratoire de Rouen | NF EN ISO 17993 | 0,020 | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| Acénaphthylène | dissous | Laboratoire de Rouen | NF EN ISO 17993 | 0,10 | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| Acénaphtène | dissous | Laboratoire de Rouen | NF EN ISO 17993 | 0,005 | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| Phénanthrène, Anthracene, Fluoranthene, Benz(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b+j)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Indeno(123cd)pyrene, Benzo(ghi)perylene, Dibenz(ah)anthracene | dissous | Laboratoire de Rouen | NF EN ISO 17993 | 0,005 | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benz(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b+j)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Indeno(123cd)pyrene, Benzo(ghi)perylene, Dibenz(ah)anthracene | particulaire | Laboratoire de Rouen | HPLC/Fluo. | 0,0001 | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 BDE 47, 99, 100, 153, 209 Naphthalene, Fluorène, Pyrène, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benz(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b+j)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Indeno(123cd)pyrene, Benzo(ghi)perylene, Dibenz(ah)anthracene | dissous | Deltares, Pays-Bas | GC/ECD | | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Ag | dissous | LBCM, Ifremer, Nantes | ICP-MS | | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Ag | particulaire | LBCM, Ifremer, Nantes | ICP-MS | | $\mu\text{g.g}^{-1}$ |
| Hg | dissous | LBCM, Ifremer, Nantes | CVAFS | | $\mu\text{g.L}^{-1}$ |
| Hg | Particulaire sur filtres Téflon® | LBCM, Ifremer, Nantes | CVAFS | | $\mu\text{g.g}^{-1}$ |
| Hg | particulaire | Ifremer, La Seyne s/mer | CVAAS, AMA 254 | | $\mu\text{g.g}^{-1}$ |

Tableau 10: Eléments analysés et méthodes

4. Bilan des prélèvements

Le tableau 11 présente le bilan des prélèvements avec comparaison du nombre de prélèvements effectués et prévus (tableau 6). Les différences entre le nombre de prélèvements prévus et le nombre de prélèvements effectués ont différentes origines (renvoi sous forme de numéro en exposant dans le tableau).

- (1) Le site de prélèvement des Aygalades étant trop exposé au passage, il n'a pas été jugé prudent d'y installer un piège à sédiment et des membranes. Les prélèvements dans les Aygalades sont donc exclusivement des prélèvements discrets.
- (2) La panne du monte-charge du Puits1 (juin 2010) a compromis l'accès au préleveur automatique (Bühler). Le deuxième préleveur automatique (Sigma) installé dans le Puits4 (mars 2011) prélève dans l'Emissaire 2 uniquement. Pour les organiques (flaconnage verre), le volume de récupération des échantillons étant passé de 24x1 L (Bühler) à 24x350 mL (Sigma), il a fallu regrouper plusieurs échantillons au laboratoire afin de récupérer une quantité suffisante pour l'analyse ; ce qui a eu pour conséquence de diminuer le nombre d'échantillons prélevés.

Les tableaux 12 à 19 présentent la liste des échantillons prélevés ainsi que les informations liées au type de prélèvement. La différence entre les échantillons temps sec/de temps de pluie se fait à partir des observations de terrain (météo et niveau de l'eau) au moment du prélèvement : (a) pendant une pluie ou juste avant/après une crue échantillonnée = temps de pluie (TP), (b) il ne pleut pas = temps sec (TS). Les échantillons pour lesquels les conditions météorologiques n'ont pas été renseignées sont annotés 'ND'. Le code protocole renvoie au code présenté dans les tableaux 8 et 9.



| STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE METROC : BILAN DE PRELEVEMENTS | | | | | PRELEVEMENTS PREVUS | | | PRELEVEMENTS EFFECTUES | | | | |
|------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|------------|------------------------|----------------|-------------|------------------------|----------------|------------------|------------------|-------------------|
| SOURCE D'APPORTS | OU? | QUOI? | COMMENT? | PARAMETRE | NOMBRE DE PRELEVEMENTS | | | NOMBRE DE PRELEVEMENTS | | | | |
| | | | | | TEMPS SEC TS | TEMPS PLUIE TP | TOTAL TS+TP | TEMPS SEC TS | TEMPS PLUIE TP | TOTAL (TS+TP) | | |
| cours d'eau permanents et torrents | Huveaune, Jarret | (eau+MES) | discret | MES | 8 | / an | 7 | / an | 15 | 17 | 13 | 30 |
| | | | | métaux (p) | | | | | | | | |
| | | | | métaux (d) | | | | | | | | |
| | | "eau" | membrane | Hg (p) | 2 | / an | 1 | / an | 3 | | | 10 ⁽¹⁾ |
| | | | | orga (mb) | | | | | | | | |
| | | | | MES | | | | | | | | |
| | MES | piège | Hg (p) | 3 | / an | 4 | / an | 7 | | | 8 | |
| | | | métaux (p) | | | | | | | | | |
| | | | orga (p) | | | | | | | | | |
| | Aygalades | (eau+MES) | discret | MES | 8 | / an | 7 | / an | 15 | 17 | 11 | 28 ⁽¹⁾ |
| | | | | métaux (p) | | | | | | | | |
| | | | | métaux (d) | | | | | | | | |
| "eau" | | membrane | Hg (p) | 2 | / an | 1 | / an | 3 | | | 0 ⁽¹⁾ | |
| | | | orga (mb) | | | | | | | | | |
| | | | MES | | | | | | | | | |
| MES | piège | Hg (p) | 3 | / an | 4 | / an | 7 | | | 0 ⁽¹⁾ | | |
| | | métaux (p) | | | | | | | | | | |
| | | orga (p) | | | | | | | | | | |
| Bonneveine, Pelouque | (eau+MES) | discret | MES | | | 5 | / an | 5 | | 3 | 3 | |
| | | | métaux (p) | | | | | | | | | |
| | | | métaux (d) | | | | | | | | | |
| | | | Hg (p) | | | | | | | | | |
| | | | Hg (d) | | | | | | | | | |
| | | | orga (p) | | | | | | | | | |
| orga (d) | | | | | | | | | | | | |
| réseau d'assainissement | Emissaire 2 | (eau+MES) | préleveur automatique PE | MES | 24 | / an | 24 | / an | 48 | 24 | 24 | 48 |
| | | | | métaux (p) | | | | | | | | |
| | | métaux (d) | | | | | | | | | | |
| | | Hg (p) | | | | | | | | | | |
| | (eau+MES) | prél. auto verre | Hg (d) | 6 | / an | 10 | / an | 16 | 4 | 2 | 6 ⁽²⁾ | |
| | | | orga (p) | | | | | | | | | |
| | (eau+MES) | préleveur automatique PE | MES | 7 | / an | | | 7 | 0 | | 0 ⁽²⁾ | |
| | | | métaux (p) | | | | | | | | | |
| | métaux (d) | | | | | | | | | | | |
| | Hg (p) | | | | | | | | | | | |
| | (eau+MES) | prél. auto. verre | Hg (d) | 7 | / an | | | 7 | 0 | | 0 ⁽²⁾ | |
| | | | orga (p) | | | | | | | | | |
| orga (d) | | | | | | | | | | | | |
| émissaire 1 | (eau+MES) | préleveur automatique PE | MES | | | 20 | / an | 20 | | 0 | 0 ⁽²⁾ | |
| | | | métaux (p) | | | | | | | | | |
| métaux (d) | | | | | | | | | | | | |
| Hg (p) | | | | | | | | | | | | |
| (eau+MES) | prél. auto. verre | Hg (d) | | | 10 | / an | 10 | | 0 | 0 ⁽²⁾ | | |
| | | orga (p) | | | | | | | | | | |
| orga (d) | | | | | | | | | | | | |
| déversoirs d'orages | (eau+MES) | discret | MES | | | 5 | / an | 5 | | 2 | 2 | |
| | | | métaux (p) | | | | | | | | | |
| | métaux (d) | | | | | | | | | | | |
| | Hg (p) | | | | | | | | | | | |
| (eau+MES) | discret | Hg (d) | | | 1 | / an | 1 | | 1 | 1 | | |
| | | orga (p) | | | | | | | | | | |
| orga (d) | | | | | | | | | | | | |
| ruissellement urbain | ouvrages pluviaux | (eau+MES) | discret | MES | | | 5 | / an | 5 | | 3 | 3 |
| | | | | métaux (p) | | | | | | | | |
| métaux (d) | | | | | | | | | | | | |
| Hg (p) | | | | | | | | | | | | |
| (eau+MES) | discret | Hg (d) | | | 1 | / an | 1 | | 1 | 1 | | |
| | | orga (p) | | | | | | | | | | |
| orga (d) | | | | | | | | | | | | |
| diffus réseau | avaloirs | boues | pelle | métaux (p) | | | 20 | / an | 20 | | 11 | 11 |
| | | | | Hg (p) | | | | | | | | |
| orga (p) | | | | | | | | | | | | |

Tableau 11: Bilan des prélèvements. *Les abréviations désignent : TS = temps sec, TP = temps pluie, MES = matières en suspension, orga (d) = contaminants organiques dissous, orga (p) = contaminants organiques particulaires, Hg = mercure, métaux (p) / (d) = métaux dissous / particulaires, orga (mb) = contaminants organiques prélevés avec les membranes. La numérotation en exposant à des explications données dans le texte.*



| DATE ET HEURE DE PRELEVEMENT | NOM ECHANTILLON | SITE DE PRELEVEMENT | TYPE D'ECHANTILLON | TEMPS SEC TS ou TEMPS PLUIE TP | METHODE D'ECHANTILLONNAGE | DATE ET HEURE POUR LES PRELEVEMENTS COMPOSITES ou INTEGRES | | FRACTION LIQUIDE L ou SOLIDES | CONTAMINANTS ORGANIQUES CO ou CONTAMINANTS METALLIQUES CM | CODE PROTOCOLE |
|------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|
| | | | | | | DEBUT | FIN | | | |
| 27/05/2009 10:00 | HUV-1 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CO+CM | Abis+Ebis |
| 16/07/2009 15:00 | HUV-2 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 22/07/2009 11:00 | HUV-3 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 29/07/2009 10:00 | HUV-4 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 05/08/2009 10:00 | HUV-5 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 12/08/2009 12:20 | HUV-6 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 19/08/2009 10:00 | HUV-7 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 24/11/2009 10:15 | HUV-8 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CO+CM | A+E |
| 02/06/2010 11:30 | HUV-9 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CO+CM | A+E |
| 29/06/2010 00:00 | HUV-10 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 07/07/2010 14:45 | HUV-11 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 21/07/2010 09:25 | HUV-12 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 04/08/2010 09:45 | HUV-13 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 18/08/2010 10:10 | HUV-14 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 02/09/2010 00:00 | HUV-15 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 22/09/2010 10:15 | HUV-16 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 06/10/2010 10:15 | HUV-17 | HUVEAUNE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 17/09/2009 20:00 | CR1-HUV-0 | HUVEAUNE | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | A |
| 18/09/2009 08:00 | CR1-HUV-1 | HUVEAUNE | EAU | TP | Composite: 4 x 1prél./15min | 08:00 | 09:00 | L+S | CM | G+A,B |
| 18/09/2009 09:10 | CR1-HUV-2 | HUVEAUNE | EAU | TP | Composite: 4 x 1prél./10min | 09:10 | 10:00 | L+S | CM | G+A,B |
| 18/09/2009 10:10 | CR1-HUV-3 | HUVEAUNE | EAU | TP | Composite: 4 x 1prél./10min | 10:10 | 11:00 | L+S | CM | G+A,B |
| 18/09/2009 11:10 | CR1-HUV-4 | HUVEAUNE | EAU | TP | Composite: 4 x 1prél./10min | 11:10 | 12:00 | L+S | CM | G+A,B |
| 18/09/2009 12:20 | CR1-HUV-5 | HUVEAUNE | EAU | TP | Composite: 4 x 1prél./20min | 12:20 | 14:00 | L+S | CM | G+A,B |
| 18/09/2009 14:20 | CR1-HUV-6 | HUVEAUNE | EAU | TP | Composite: 4 x 1prél./20min | 14:20 | 16:00 | L+S | CM | G+A,B |
| 18/09/2009 17:20 | CR1-HUV-7 | HUVEAUNE | EAU | TP | Composite: 4 x 1prél./10min | 17:20 | 18:10 | L+S | CM | G+A,B |
| 18/09/2009 18:20 | CR1-HUV-8 | HUVEAUNE | EAU | TP | Composite: 4 x 1prél./10min | 18:20 | 19:10 | L+S | CM | G+A,B |
| 18/09/2009 19:20 | CR1-HUV-9 | HUVEAUNE | EAU | TP | Composite: 4 x 1prél./10min | 19:20 | 20:20 | L+S | CM | G+A,B |

Tableau 12: Liste des échantillons et type de prélèvements

| DATE ET HEURE DE PRELEVEMENT | NOM ECHANTILLON | SITE DE PRELEVEMENT | TYPE D'ECHANTILLON | TEMPS SEC TS ou TEMPS PLUIE TP | METHODE D'ECHANTILLONNAGE | DATE ET HEURE POUR LES PRELEVEMENTS COMPOSITES ou INTEGRES | | FRACTION LIQUIDE L ou SOLIDES | CONTAMINANTS ORGANIQUES CO ou CONTAMINANTS METALLIQUES CM | CODE PROTOCOLE |
|------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|
| | | | | | | DEBUT | FIN | | | |
| 21/09/2009 09:00 | CR1-HUV-10 | HUVEAUNE | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | A |
| 21/10/2009 18:00 | CR2-HUV-1 | HUVEAUNE | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | A |
| 23/10/2009 09:15 | CR2-HUV-2 | HUVEAUNE | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | A |
| 02/06/2010 | HUV-Mb-1 | HUVEAUNE | MEMBRANE | ND | Intégré | 02/06/2010 | 29/06/2010 | L | CO | J |
| 02/06/2010 | HUV-Mb-2 | HUVEAUNE | MEMBRANE | ND | Intégré | 02/06/2010 | 04/08/2010 | L | CO | J |
| 29/06/2010 | HUV-Mb-3 | HUVEAUNE | MEMBRANE | ND | Intégré | 29/06/2010 | 04/08/2010 | L | CO | J |
| 04/08/2010 | HUV-Mb-4 | HUVEAUNE | MEMBRANE | ND | Intégré | 04/08/2010 | 06/10/2010 | L | CO | J |
| 04/08/2010 | HUV-Mb-5 | HUVEAUNE | MEMBRANE | ND | Intégré | 04/08/2010 | 02/09/2010 | L | CO | J |
| 02/09/2010 | HUV-Mb-6 | HUVEAUNE | MEMBRANE | ND | Intégré | 02/09/2010 | 06/10/2010 | L | CO | J |
| 06/10/2010 | HUV-Mb-7 | HUVEAUNE | MEMBRANE | ND | Intégré | 06/10/2010 | 17/11/2010 | L | CO | J |
| 06/10/2010 | HUV-Mb-8 | HUVEAUNE | MEMBRANE | ND | Intégré | 06/10/2010 | 08/12/2010 | L | CO | J |
| 17/11/2010 | HUV-Mb-9 | HUVEAUNE | MEMBRANE | ND | Intégré | 17/11/2010 | 08/12/2010 | L | CO | J |
| 08/12/2010 | HUV-Mb-10 | HUVEAUNE | MEMBRANE | ND | Intégré | 08/12/2010 | 20/01/2011 | L | CO | J |
| 08/12/2010 | HUV-Mb-11 | HUVEAUNE | MEMBRANE | ND | Intégré | 08/12/2010 | 10/02/2011 | L | CO | J |
| 02/06/2010 | HUV-MES-1 | HUVEAUNE | PIEGE | ND | Intégré | 02/06/2010 | 29/06/2010 | S | CO+CM | H |
| 29/06/2010 | HUV-MES-2 | HUVEAUNE | PIEGE | ND | Intégré | 29/06/2010 | 04/08/2010 | S | CO+CM | H |
| 04/08/2010 | HUV-MES-3 | HUVEAUNE | PIEGE | ND | Intégré | 04/08/2010 | 02/09/2010 | S | CO+CM | H |
| 02/09/2010 | HUV-MES-4 | HUVEAUNE | PIEGE | ND | Intégré | 02/09/2010 | 06/10/2010 | S | CO+CM | H |
| 06/10/2010 | HUV-MES-5 | HUVEAUNE | PIEGE | ND | Intégré | 06/10/2010 | 17/11/2010 | S | CO+CM | H |
| 17/11/2010 | HUV-MES-6 | HUVEAUNE | PIEGE | ND | Intégré | 17/11/2010 | 08/12/2010 | S | CO+CM | H |
| 08/12/2010 | HUV-MES-7 | HUVEAUNE | PIEGE | ND | Intégré | 08/12/2010 | 20/01/2011 | S | CO+CM | H |
| 20/01/2011 | HUV-MES-8 | HUVEAUNE | PIEGE | ND | Intégré | 20/01/2011 | 10/02/2011 | S | CO+CM | H |
| 27/05/2009 10:00 | JAR-1 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CO+CM | Abis+Ebis |
| 16/07/2009 15:00 | JAR-2 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 22/07/2009 10:30 | JAR-3 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 29/07/2009 10:00 | JAR-4 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 05/08/2009 10:00 | JAR-5 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |

Tableau 13: Liste des échantillons et type de prélèvements

| DATE ET HEURE DE PRELEVEMENT | NOM ECHANTILLON | SITE DE PRELEVEMENT | TYPE D'ECHANTILLON | TEMPS SEC TS ou TEMPS PLUIE TP | METHODE D'ECHANTILLONNAGE | DATE ET HEURE POUR LES PRELEVEMENTS COMPOSITES ou INTEGRES | | FRACTION LIQUIDE L ou SOLIDES | CONTAMINANTS ORGANIQUES CO ou CONTAMINANTS METALLIQUES CM | CODE PROTOCOLE |
|------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|
| | | | | | | DEBUT | FIN | | | |
| 12/08/2009 12:20 | JAR-6 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 19/08/2009 10:30 | JAR-7 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 24/11/2009 10:00 | JAR-8 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CO+CM | A+E |
| 02/06/2010 11:30 | JAR-9 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CO+CM | A+E |
| 29/06/2010 00:00 | JAR-10 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 07/07/2010 11:30 | JAR-11 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 21/07/2010 09:15 | JAR-12 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 04/08/2010 09:30 | JAR-13 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 18/08/2010 10:00 | JAR-14 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 02/09/2010 10:30 | JAR-15 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 22/09/2010 10:00 | JAR-16 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 06/10/2010 10:00 | JAR-17 | JARRET | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 17/09/2009 20:00 | CR1-JAR-0 | JARRET | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | A |
| 18/09/2009 08:00 | CR1-JAR-1 | JARRET | EAU | TP | Composite: 1prél./15min | 08:00 | 09:00 | L+S | CM | G |
| 18/09/2009 09:00 | CR1-JAR-2 | JARRET | EAU | TP | Composite: 1prél./10min | 09:10 | 10:00 | L+S | CM | G |
| 18/09/2009 10:00 | CR1-JAR-3 | JARRET | EAU | TP | Composite: 1prél./10min | 10:10 | 11:00 | L+S | CM | G |
| 18/09/2009 11:00 | CR1-JAR-4 | JARRET | EAU | TP | Composite: 1prél./10min | 11:10 | 12:00 | L+S | CM | G |
| 18/09/2009 12:20 | CR1-JAR-5 | JARRET | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 12:20 | 14:00 | L+S | CM | G |
| 18/09/2009 14:20 | CR1-JAR-6 | JARRET | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 14:20 | 16:00 | L+S | CM | G |
| 18/09/2009 17:20 | CR1-JAR-7 | JARRET | EAU | TP | Composite: 1prél./10min | 17:20 | 18:10 | L+S | CM | G |
| 18/09/2009 18:20 | CR1-JAR-8 | JARRET | EAU | TP | Composite: 1prél./10min | 18:20 | 19:10 | L+S | CM | G |
| 18/09/2009 19:20 | CR1-JAR-9 | JARRET | EAU | TP | Composite: 1prél./10min | 19:20 | 20:20 | L+S | CM | G |
| 20/09/2009 08:30 | CR1-JAR-10 | JARRET | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | A |
| 21/10/2009 18:10 | CR2-JAR-1 | JARRET | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | G+A,B |
| 23/10/2009 09:00 | CR2-JAR-2 | JARRET | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | G+A,B |
| 02/06/2010 | JAR-Mb-1 | JARRET | MEMBRANE | ND | Intégré | 02/06/2010 | 29/06/2010 | L | CO | J |
| 02/06/2010 | JAR-Mb-2 | JARRET | MEMBRANE | ND | Intégré | 02/06/2010 | 04/08/2010 | L | CO | J |

Tableau 14: Liste des échantillons et type de prélèvements

| DATE ET HEURE DE PRELEVEMENT | NOM ECHANTILLON | SITE DE PRELEVEMENT | TYPE D'ECHANTILLON | TEMPS SEC TS ou TEMPS PLUIE TP | METHODE D'ECHANTILLONNAGE | DATE ET HEURE POUR LES PRELEVEMENTS COMPOSITES ou INTEGRES | | FRACTION LIQUIDE L ou SOLIDES | CONTAMINANTS ORGANIQUES CO ou CONTAMINANTS METALLIQUES CM | CODE PROTOCOLE |
|------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|
| | | | | | | DEBUT | FIN | | | |
| 29/06/2010 | JAR-Mb-3 | JARRET | MEMBRANE | ND | Intégré | 29/06/2010 | 04/08/2010 | L | CO | J |
| 04/08/2010 | JAR-Mb-4 | JARRET | MEMBRANE | ND | Intégré | 04/08/2010 | 06/10/2010 | L | CO | J |
| 04/08/2010 | JAR-Mb-5 | JARRET | MEMBRANE | ND | Intégré | 04/08/2010 | 02/09/2010 | L | CO | J |
| 02/09/2010 | JAR-Mb-6 | JARRET | MEMBRANE | ND | Intégré | 02/09/2010 | 06/10/2010 | L | CO | J |
| 06/10/2010 | JAR-Mb-7 | JARRET | MEMBRANE | ND | Intégré | 06/10/2010 | 17/11/2010 | L | CO | J |
| 06/10/2010 | JAR-Mb-8 | JARRET | MEMBRANE | ND | Intégré | 06/10/2010 | 08/12/2010 | L | CO | J |
| 17/11/2010 | JAR-Mb-9 | JARRET | MEMBRANE | ND | Intégré | 17/11/2010 | 08/12/2010 | L | CO | J |
| 08/12/2010 | JAR-Mb-10 | JARRET | MEMBRANE | ND | Intégré | 08/12/2010 | 20/01/2011 | L | CO | J |
| 02/06/2010 | JAR-MES-1 | JARRET | PIEGE | ND | Intégré | 02/06/2010 | 29/06/2010 | S | CO+CM | H |
| 29/06/2010 | JAR-MES-2 | JARRET | PIEGE | ND | Intégré | 29/06/2010 | 04/08/2010 | S | CO+CM | H |
| 04/08/2010 | JAR-MES-3 | JARRET | PIEGE | ND | Intégré | 04/08/2010 | 02/09/2010 | S | CO+CM | H |
| 02/09/2010 | JAR-MES-4 | JARRET | PIEGE | ND | Intégré | 02/09/2010 | 06/10/2010 | S | CO+CM | H |
| 06/10/2010 | JAR-MES-5 | JARRET | PIEGE | ND | Intégré | 06/10/2010 | 17/11/2010 | S | CO+CM | H |
| 17/11/2010 | JAR-MES-6 | JARRET | PIEGE | ND | Intégré | 17/11/2010 | 08/12/2010 | S | CO+CM | H |
| 08/12/2010 | JAR-MES-7 | JARRET | PIEGE | ND | Intégré | 08/12/2010 | 20/01/2011 | S | CO+CM | H |
| 20/01/2011 | JAR-MES-8 | JARRET | PIEGE | ND | Intégré | 20/01/2011 | 10/02/2011 | S | CO+CM | H |
| 27/05/2009 10:00 | AYG-1 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CO+CM | Abis+Ebis |
| 16/07/2009 15:00 | AYG-2 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 22/07/2009 09:30 | AYG-3 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 29/07/2009 10:00 | AYG-4 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 05/08/2009 10:00 | AYG-5 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 12/08/2009 11:30 | AYG-6 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 19/08/2009 11:00 | AYG-7 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 24/11/2009 11:00 | AYG-8 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CO+CM | A+E |
| 02/06/2010 12:00 | AYG-9 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CO+CM | A+E |
| 29/06/2010 00:00 | AYG-10 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 07/07/2010 09:30 | AYG-11 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |

Tableau 15: Liste des échantillons et type de prélèvements

| DATE ET HEURE DE PRELEVEMENT | NOM ECHANTILLON | SITE DE PRELEVEMENT | TYPE D'ECHANTILLON | TEMPS SEC TS ou TEMPS PLUIE TP | METHODE D'ECHANTILLONNAGE | DATE ET HEURE POUR LES PRELEVEMENTS COMPOSITES ou INTEGRES | | FRACTION LIQUIDE L ou SOLIDE S | CONTAMINANTS ORGANIQUES CO ou CONTAMINANTS METALLIQUES CM | CODE PROTOCOLE |
|------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|
| | | | | | | DEBUT | FIN | | | |
| 21/07/2010 08:30 | AYG-12 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 04/08/2010 08:30 | AYG-13 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 18/08/2010 09:30 | AYG-14 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 02/09/2010 00:00 | AYG-15 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 22/09/2010 09:30 | AYG-16 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 06/10/2010 09:30 | AYG-17 | AYGALADES | EAU | TS | Discret | | | L+S | CM | A |
| 17/09/2009 20:30 | CR1-AYG-0 | AYGALADES | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | G+A,B |
| 18/09/2009 11:00 | CR1-AYG-1 | AYGALADES | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | G+A,B |
| 18/09/2009 18:10 | CR1-AYG-2 | AYGALADES | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | G+A,B |
| 20/09/2009 08:00 | CR1-AYG-3 | AYGALADES | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | G+A,B |
| 22/12/2010 19:45 | CR5-AYG-av.crue | AYGALADES | EAU | TP | Discret | | | L+S | CO+CM | G+A,B,E |
| 22/12/2010 23:35 | CR5-AYG-A | AYGALADES | EAU | TP | Composite: 1 prél./5min | 23:35 | 23:50 | L+S | CO+CM | G+A,B,E |
| 22/12/2010 23:55 | CR5-AYG-B | AYGALADES | EAU | TP | Composite: 1 prél./5min | 23:55 | 00:10 | L+S | CO+CM | G+A,B,E |
| 23/12/2010 00:22 | CR5-AYG-C | AYGALADES | EAU | TP | Composite: 1 prél./10min | 00:22 | 00:52 | L+S | CO+CM | G+A,B,E |
| 23/12/2010 01:02 | CR5-AYG-D | AYGALADES | EAU | TP | Composite: 1 prél./10min | 01:02 | 01:23 | L+S | CO+CM | G+A,B,E |
| 23/12/2010 01:33 | CR5-AYG-E | AYGALADES | EAU | TP | Composite: 1 prél./5min | 01:33 | 01:48 | L+S | CO+CM | G+A,B,E |
| 28/12/2010 11:30 | CR5-AYG-ap.crue | AYGALADES | EAU | TP | Discret | | | L+S | CO+CM | G+A,B,E |
| 22/07/2009 | HUV-3 | HUVEAUNE | LAISSES DE CRUE | APRES TP | Discret | | | S | CO+CM | I |
| 05/08/2009 | HUV-5 | HUVEAUNE | LAISSES DE CRUE | APRES TP | Discret | | | S | CO+CM | I |
| 05/08/2009 | JAR-5 | JARRET | LAISSES DE CRUE | APRES TP | Discret | | | S | CO+CM | I |
| 18/09/2009 | CR1-JAR-4 | JARRET | LAISSES DE CRUE | APRES TP | Discret | | | S | CO+CM | I |
| 22/07/2009 | AYG-3 | AYGALADES | LAISSES DE CRUE | APRES TP | Discret | | | S | CO+CM | I |
| 21/10/2009 17:30 | CR2-BON | BONNEVEINE | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | G+A,B |
| 09/09/2010 05:45 | CR3-BON | BONNEVEINE | EAU | TP | Discret | | | L+S | CO+CM | G+A,B,E |
| 09/09/2010 03:00 | CR3-PEL | PELOUQUE | EAU | TP | Discret | | | L+S | CO+CM | G+A,B,E |
| 18/09/2009 11:40 | CR1-CMV-1 | OUVRAGE PLUVIAL SUD | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | G+A,B |
| 18/09/2009 17:20 | CR1-CMV-2 | OUVRAGE PLUVIAL SUD | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | G+A,B,E |

Tableau 16: Liste des échantillons et type de prélèvements

| DATE ET HEURE DE PRELEVEMENT | NOM ECHANTILLON | SITE DE PRELEVEMENT | TYPE D'ECHANTILLON | TEMPS SEC TS ou TEMPS PLUIE TP | METHODE D'ECHANTILLONNAGE | DATE ET HEURE POUR LES PRELEVEMENTS COMPOSITES ou INTEGRES | | FRACTION LIQUIDE L ou SOLIDE S | CONTAMINANTS ORGANIQUES CO ou CONTAMINANTS METALLIQUES CM | CODE PROTOCOLE |
|------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|
| | | | | | | DEBUT | FIN | | | |
| 09/09/2010 03:30 | CR3-FAR | FARENC | EAU | TP | Discret | | | L+S | CO+CM | G+A,B,E |
| 24/08/2009 06:00 | E2-1-1 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 06:00 | 06:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 07:00 | E2-1-2 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 07:00 | 07:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 08:00 | E2-1-3 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 08:00 | 08:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 09:00 | E2-1-4 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 09:00 | 09:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 10:00 | E2-1-5 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 10:00 | 10:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 11:00 | E2-1-6 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 11:00 | 11:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 12:00 | E2-1-7 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 12:00 | 12:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 13:00 | E2-1-8 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 13:00 | 13:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 14:00 | E2-1-9 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 14:00 | 14:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 15:00 | E2-1-10 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 15:00 | 15:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 16:00 | E2-1-11 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 16:00 | 16:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 17:00 | E2-1-12 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 17:00 | 17:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 18:00 | E2-1-13 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 18:00 | 18:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 19:00 | E2-1-14 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 19:00 | 19:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 20:00 | E2-1-15 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 20:00 | 20:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 21:00 | E2-1-16 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 21:00 | 21:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 22:00 | E2-1-17 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 22:00 | 22:50 | L+S | CM | C |
| 24/08/2009 23:00 | E2-1-18 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 23:00 | 23:50 | L+S | CM | C |
| 25/08/2009 00:00 | E2-1-19 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 00:00 | 00:50 | L+S | CM | C |
| 25/08/2009 01:00 | E2-1-20 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 01:00 | 01:50 | L+S | CM | C |
| 25/08/2009 02:00 | E2-1-21 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 02:00 | 02:50 | L+S | CM | C |
| 25/08/2009 03:00 | E2-1-22 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 03:00 | 03:50 | L+S | CM | C |
| 25/08/2009 04:00 | E2-1-23 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 04:00 | 04:50 | L+S | CM | C |
| 25/08/2009 05:00 | E2-1-24 | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./10min | 05:00 | 05:50 | L+S | CM | C |
| 18/09/2009 07:00 | E2-2-1 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 07:00 | 08:40 | L+S | CM | C |
| 18/09/2009 09:00 | E2-2-2 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 09:00 | 10:40 | L+S | CM | C |

Tableau 17: Liste des échantillons et type de prélèvements

| DATE ET HEURE DE PRELEVEMENT | NOM ECHANTILLON | SITE DE PRELEVEMENT | TYPE D'ECHANTILLON | TEMPS SEC TS ou TEMPS PLUIE TP | METHODE D'ECHANTILLONNAGE | DATE ET HEURE POUR LES PRELEVEMENTS COMPOSITES ou INTEGRES | | FRACTION LIQUIDE L ou SOLIDES | CONTAMINANTS ORGANIQUES CO ou CONTAMINANTS METALLIQUES CM | CODE PROTOCOLE |
|------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|
| | | | | | | DEBUT | FIN | | | |
| 18/09/2009 11:00 | E2-2-3 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 11:00 | 12:40 | L+S | CM | C |
| 18/09/2009 13:00 | E2-2-4 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 13:00 | 14:40 | L+S | CM | C |
| 18/09/2009 15:00 | E2-2-5 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 15:00 | 16:40 | L+S | CM | C |
| 18/09/2009 17:00 | E2-2-6 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 17:00 | 18:40 | L+S | CM | C |
| 18/09/2009 19:00 | E2-2-7 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 19:00 | 20:40 | L+S | CM | C |
| 18/09/2009 21:00 | E2-2-8 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 21:00 | 22:40 | L+S | CM | C |
| 18/09/2009 23:00 | E2-2-9 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 23:00 | 00:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 01:00 | E2-2-10 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 01:00 | 02:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 03:00 | E2-2-11 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 03:00 | 04:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 05:00 | E2-2-12 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 05:00 | 06:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 07:00 | E2-2-13 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 07:00 | 08:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 09:00 | E2-2-14 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 09:00 | 10:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 11:00 | E2-2-15 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 11:00 | 12:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 13:00 | E2-2-16 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 13:00 | 14:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 15:00 | E2-2-17 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 15:00 | 16:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 17:00 | E2-2-18 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 17:00 | 18:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 19:00 | E2-2-19 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 19:00 | 20:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 21:00 | E2-2-20 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 21:00 | 22:40 | L+S | CM | C |
| 19/09/2009 23:00 | E2-2-21 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 23:00 | 00:40 | L+S | CM | C |
| 20/09/2009 01:00 | E2-2-22 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 01:00 | 02:40 | L+S | CM | C |
| 20/09/2009 03:00 | E2-2-23 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 03:00 | 04:40 | L+S | CM | C |
| 20/09/2009 05:00 | E2-2-24 | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./20min | 05:00 | 06:40 | L+S | CM | C |
| 03/03/2011 08:20 | E2-P4-1-5-A | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./30min | 08:20 | 12:50 | L+S | CO | F |
| 03/03/2011 13:20 | E2-P4-6-10-A | EMISSAIRE 2 | EAU | TS | Composite: 1prél./30min | 13:20 | 17:50 | L+S | CO | F |
| 04/03/2011 09:40 | E2-P4-1-6-B | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./30min | 09:40 | 15:10 | L+S | CO | F |
| 04/03/2011 15:40 | E2-P4-7-12-B | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./30min | 15:40 | 21:10 | L+S | CO | F |
| 04/03/2011 21:40 | E2-P4-13-18-B | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./30min | 21:40 | 03:10 | L+S | CO | F |

Tableau 18: Liste des échantillons et type de prélèvements

| DATE ET HEURE DE PRELEVEMENT | NOM ECHANTILLON | SITE DE PRELEVEMENT | TYPE D'ECHANTILLON | TEMPS SEC TS ou TEMPS PLUIE TP | METHODE D'ECHANTILLONNAGE | DATE ET HEURE POUR LES PRELEVEMENTS COMPOSITES ou INTEGRES | | FRACTION LIQUIDE L ou SOLIDES | CONTAMINANTS ORGANIQUES CO ou CONTAMINANTS METALLIQUES CM | CODE PROTOCOLE |
|------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|
| | | | | | | DEBUT | FIN | | | |
| 05/03/2011 03:40 | E2-P4-19-24-B | EMISSAIRE 2 | EAU | TP | Composite: 1prél./30min | 03:40 | 09:10 | L+S | CO | F |
| 27/05/2009 10:00 | ET-1 | SORTIE STATION | EAU | TS | Discret | | | L+S | CO+CM | Abis+Ebis |
| 27/05/2009 10:00 | RU-1 | RESEAU UNITAIRE | EAU | TS | Discret | | | L+S | CO+CM | Abis+Ebis |
| 21/10/2009 17:10 | CR2-PRA | DO PRADO | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | G+A,B |
| 04/10/2010 17:30 | CR4-PRA | DO PRADO | EAU | TP | Discret | | | L+S | CO+CM | G+A,E |
| 21/10/2009 19:10 | CR2-CAT | DO CATALANS | EAU | TP | Discret | | | L+S | CM | G+A,B |
| 04/10/2010 18:10 | CR4-CAT | DO CATALANS | EAU | TP | Discret | | | L+S | CO+CM | G+A,E |
| 09/09/2010 04:15 | CR3-MON | DO MONTRICHER | EAU | TP | Discret | | | L+S | CO+CM | G+A,E |
| 09/09/2010 05:00 | CR3-CAN | DO CANEBIERE | EAU | TP | Discret | | | L+S | CO+CM | G+A,E |
| 11/05/2009 | E1 | EMISSAIRE 1 | LAISSES DE CRUE | APRES TP | Discret | | | S | CO+CM | I |
| 18/02/2010 | E1 | EMISSAIRE 1 | LAISSES DE CRUE | APRES TP | Discret | | | S | CO+CM | I |
| 11/05/2009 | E2 | EMISSAIRE 2 | LAISSES DE CRUE | APRES TP | Discret | | | S | CO+CM | I |
| 12/08/2009 | E2 | EMISSAIRE 2 | LAISSES DE CRUE | APRES TP | Discret | | | S | CO+CM | I |
| 24/11/2009 | E2 | EMISSAIRE 2 | LAISSES DE CRUE | APRES TP | Discret | | | S | CO+CM | I |
| 18/02/2010 | E2 | EMISSAIRE 2 | LAISSES DE CRUE | APRES TP | Discret | | | S | CO+CM | I |

Tableau 19: Liste des échantillons et type de prélèvements

5. Résultats

Toutes les données acquises sont fournies dans le fichier Excel joint au rapport intitulé «apports METROC ». La présente section comprend :

- une comparaison des concentrations dans les exutoires de la station d'épuration et des cours d'eau avec celles d'études semblables ou approchantes ;
- les relations concentrations-débits (chemogrammes);
- une évaluation des flux (bruts) de contaminants chimiques à la mer sur la base des concentrations obtenues.

5.1. Concentrations

Lorsque les valeurs mesurées sont inférieures à la limite de quantification, elles sont considérées comme égales à la moitié de cette valeur. Dans le fichier Excel récapitulatif des données, ces valeurs limites sont en couleur orange.

En annexe D sont présentés les tableaux complets des valeurs de concentrations des rejets. Les tableaux présentent les valeurs minimales, maximales, les moyennes ainsi que les écart-types et le nombre de mesures sur lesquels ont été fait les mesures. Dans ce rapport, nous ne présenterons que des histogrammes sur les moyennes par souci de facilité de lecture.

Dans l'annexe D, quelques gammes de concentrations minimales et maximales sont disponibles sur la Seine pour certains HAP et sur l'Eygoutier pour certains métaux.

5.1.1. Contaminants organiques

Les concentrations en HAP, PCB et PBDE dans les phases dissoute et particulaire ont été obtenues à partir de prélèvements effectués par temps de pluie : dans certains torrents (Bonneveine, Pelouque et Farenc) et dans certains déversoirs d'orages (DO). Viennent s'ajouter les valeurs dans les cours d'eau Huveaune, Jarret et Aygaldes ainsi que dans l'Emissaire 2 par temps sec et par temps de pluie.

La comparaison des données obtenues dans ce travail avec d'autres valeurs de la littérature est d'autant plus délicate qu'en général les contaminants sont analysés dans l'eau brute (eau non filtrée) et dans des milieux aquatiques dont le fonctionnement hydrique n'est pas soumis aux grandes variations observées en climat méditerranéen (pluies très intenses).

Quelques données disponibles dans les fleuves traversant de grandes agglomérations sont présentées dans les figures de cette section et en annexe D et sont comparées à celles de la présente étude. Le calcul de la moyenne est associé à des écart-types importants car le nombre d'échantillons analysés est faible et les concentrations hétérogènes. Toutefois, l'analyse des données a permis de dégager les points suivants :

a) Pour les HAP :

En phase dissoute : Sur les 16 HAP analysés, l'acénaphthylène, l'anthracène, et le dibenz(ah)anthracène n'ont pas été détectés (sauf dans l'Huveaune et le Jarret). Le naphthalène, le fluorène, le fluoranthène, le phénanthrène, l'anthracène et le chrysène sont présents dans tous les effluents échantillonnés. Les autres HAP ne sont pas détectés partout.



On peut noter, d'après la Figure 6 et la Figure 7, que la concentration en fluorène est entre 20 (Emissaire 2 – 15,7 ng/L) et 500 (torrents – 348 ng/L) fois plus élevée dans nos échantillons que dans le Saint-Laurent (0,7 ng/L), celle en phénanthrène jusqu'à 130 fois plus (DO – 132,5 ng/L), celle en fluoranthène jusqu'à 50 fois plus (DO – 47,5 ng/L), en benzo(a)pyrène 20 fois (DO – 4 ng/L) et en benzo(ghi)perylène jusqu'à 100 fois plus (DO – 4 ng/L). Les concentrations maximales sont présentes le plus souvent dans les DO et/ou les torrents.

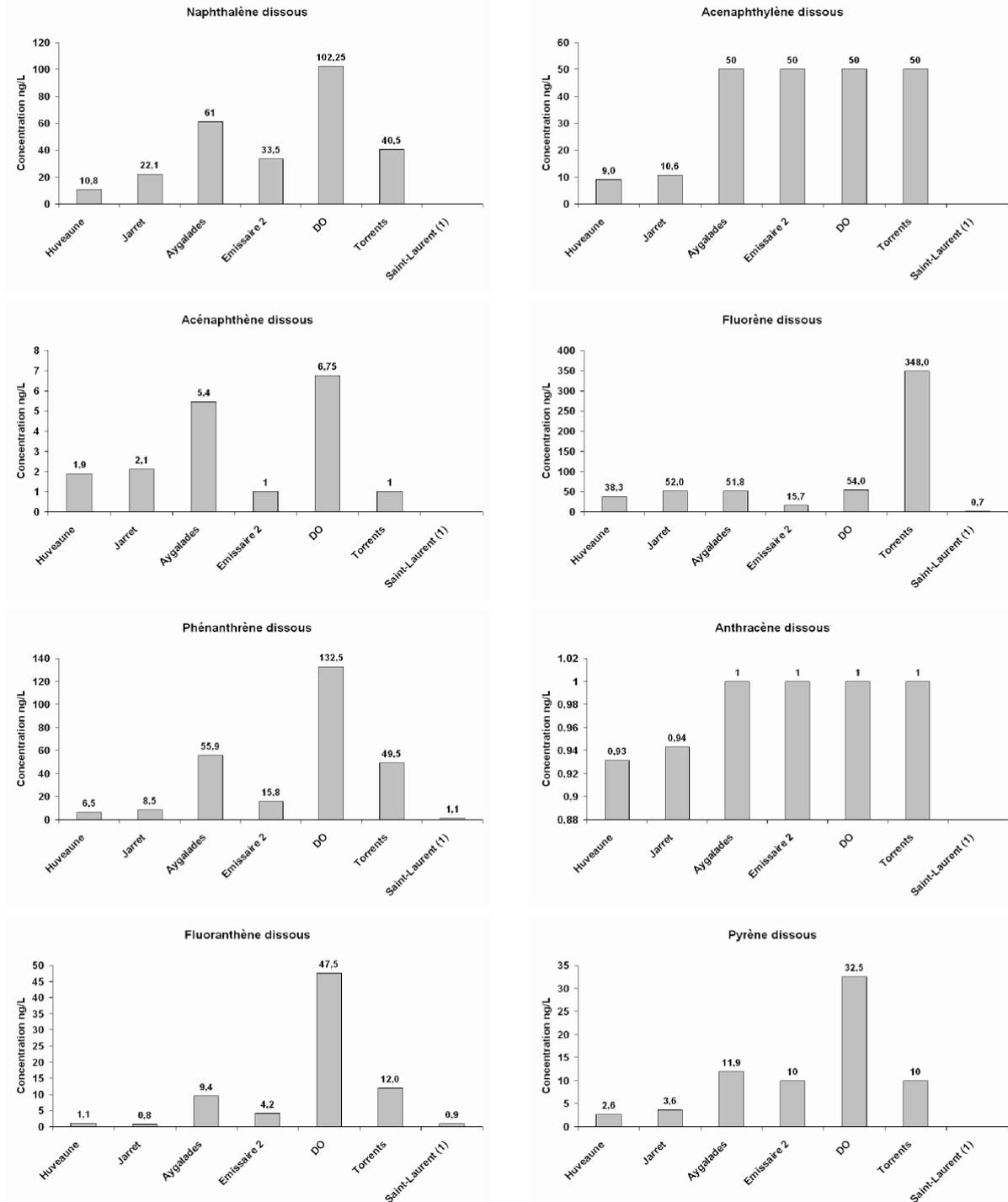


Figure 6 : Concentration moyenne pour les HAP dissous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec.

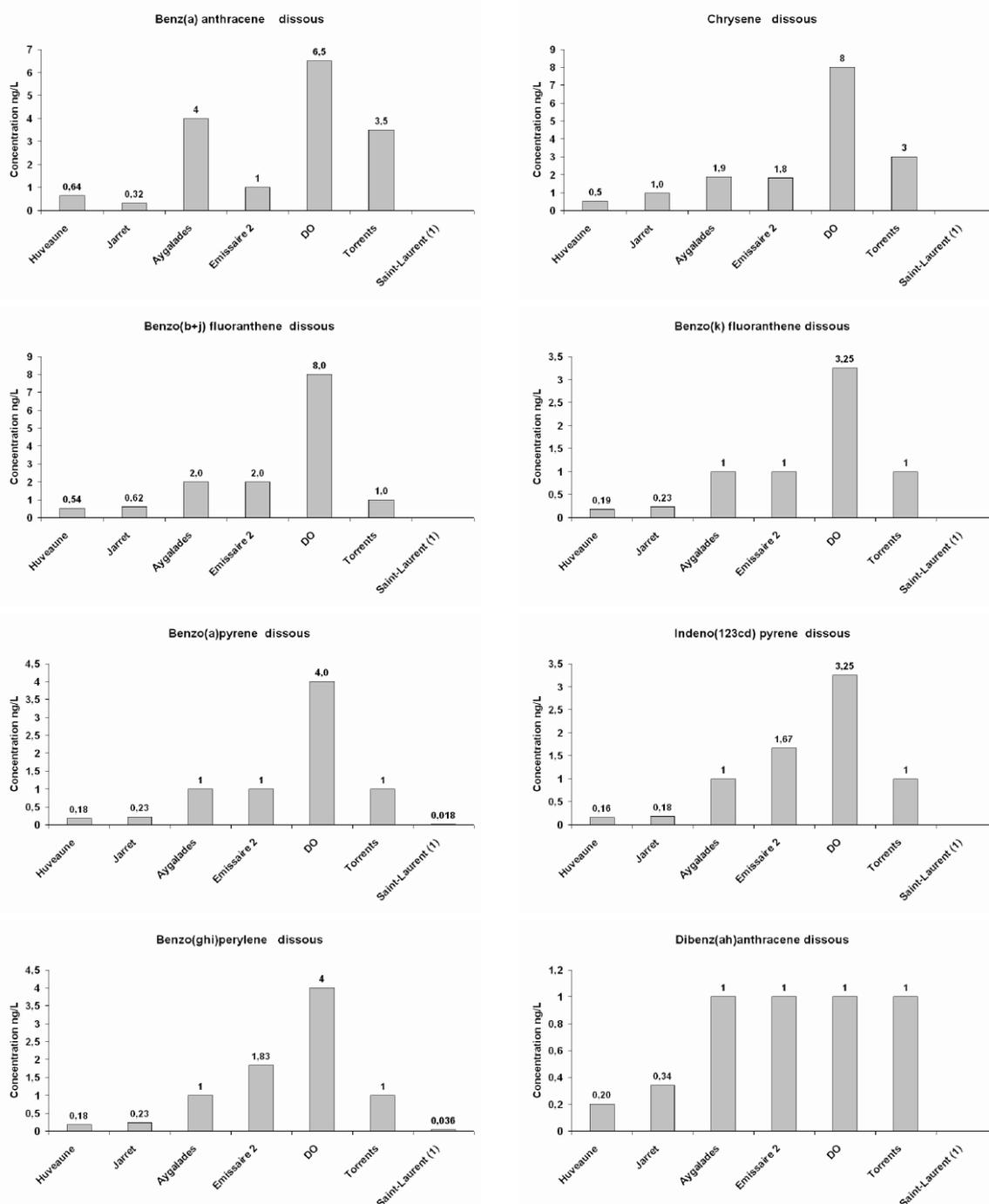


Figure 7 : SUITE - Concentration moyenne pour les HAP dissous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec.

- Particulaire : Sur les 16 HAP analysés, tous les composants ont pu être détectés, avec des concentrations généralement les plus élevées (sauf naphthalène, acénaphthylène, acénaphthène et dibenzo(ah)anthracène) dans les DO et supérieures à celles rencontrées dans la Seine (sauf dibenzo(ah)anthracène). Les valeurs de l'Emissaire 2 (cf. Figure 8 et Figure 9) sont équivalentes à celles des



DO et des Aygalades pour le naphthalène, l'acénaphthylène, l'acénaphthène et le fluorène. Pour les autres composés, les valeurs de l'Emissaire 2 sont inférieures à celles des DO et des Aygalades d'un facteur allant de 4 (dibenzo(ah)anthracène : DO - 19,4 ng/g et Emissaire 2 - 5,5 ng/g, mais aussi indéno(123-cd)pyrène Aygalades - 169 ng/g et Emissaire 2 - 41,8 ng/g) à environ 45 pour le phénanthrène (DO - 2704,1 ng/g et Emissaire 2 - 58,8 ng/g).

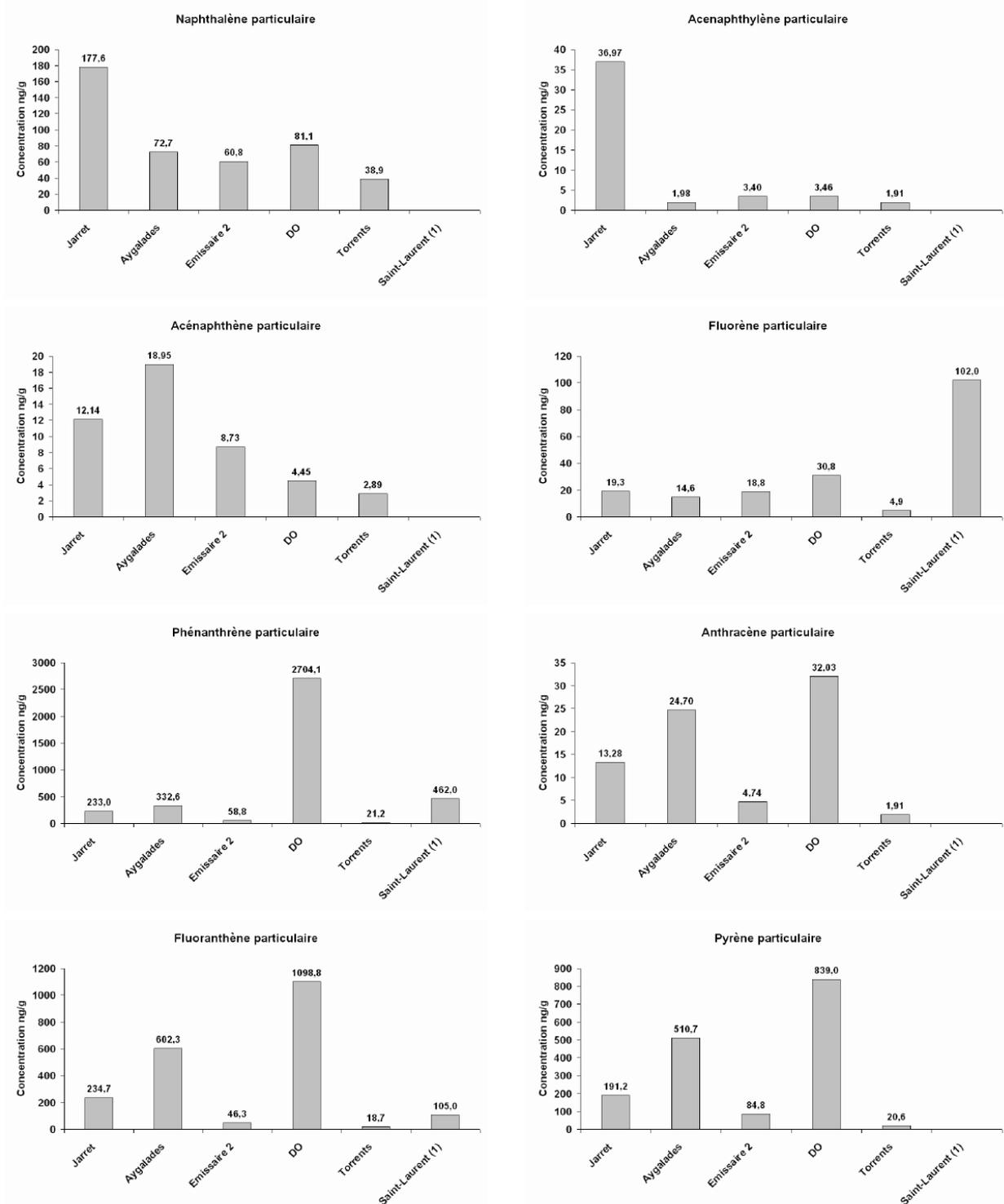


Figure 8 : Concentration moyenne pour les HAP particulaire. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec.



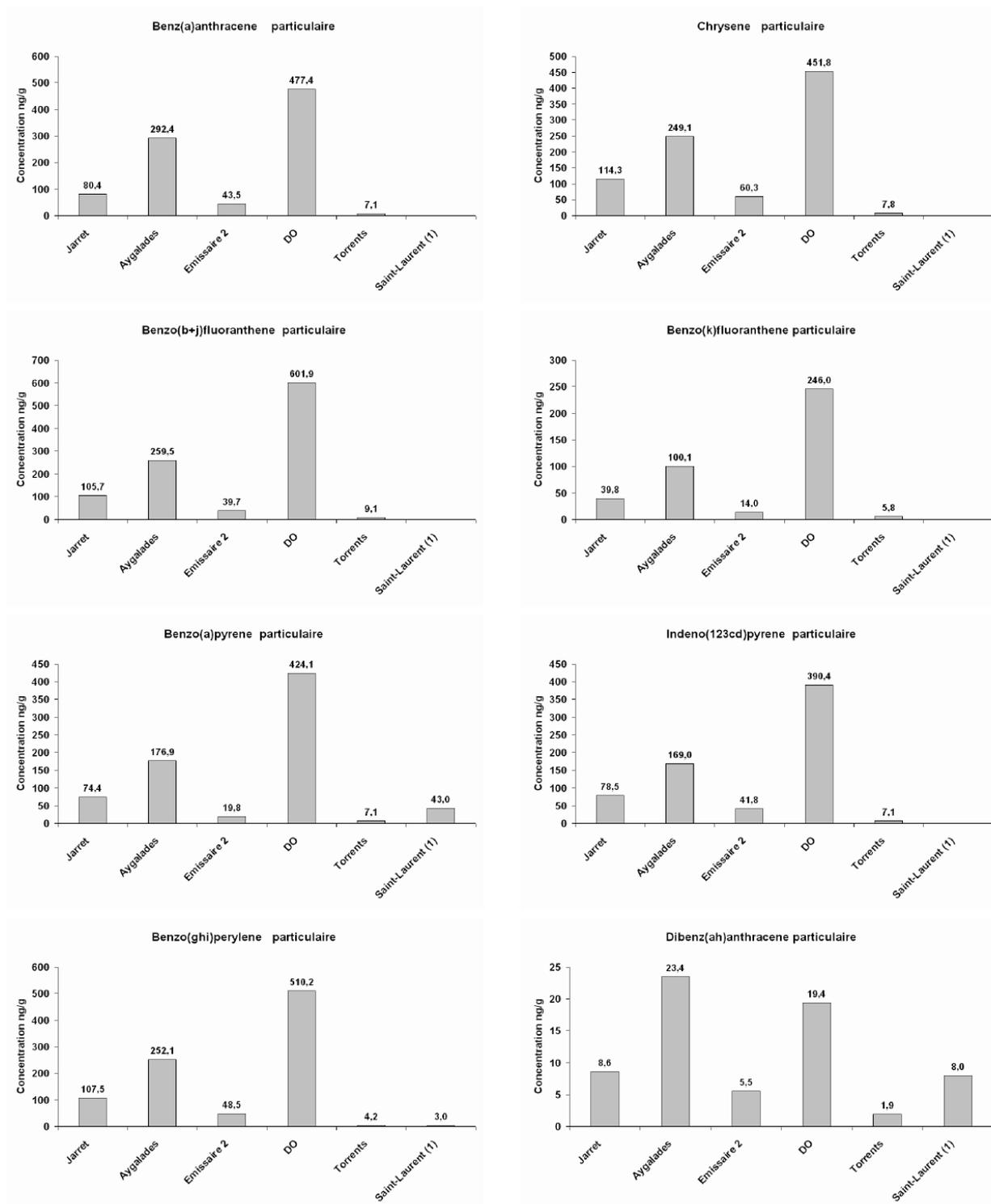


Figure 9 : SUITE - Concentration moyenne pour les HAP particulaires. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec.



b) Pour les PCB :

- En phase dissoute (cf. Figure 10) : Les déversoirs d'orages se caractérisent par la présence de tous les PCB (excepté le CB 28 dans les DO et torrents et le 52 dans les torrents) avec les concentrations les plus fortes, équivalentes (CB 101) ou supérieures (CB 138, CB 153, CB 180) à celles de la Seine et jusqu'à un ordre de grandeur supérieur aux valeurs du Saint-Laurent (CB 118, CB 138, CB 153). On peut noter une valeur très forte de 5,83 ng/L (10 fois plus élevée que dans la Seine) en CB101 dans l'Emissaire 2. Les DO présentent aussi des valeurs assez élevées pour les composés plus lourds que le CB118 allant de 1,13 ng/L à 4,40 ng/L.

- Particulaire (cf. Figure 11): Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées dans les déversoirs d'orages et les torrents (effluents temps de pluie) et les Aygalades (par temps sec), avec des valeurs supérieures à celles du Rhône (CB 52 à CB 180) et inférieures ou équivalentes à celles de la Seine. Pour l'Emissaire 2, les valeurs du CB 101 au CB 180, sont équivalentes à l'Huveaune et/ou au Jarret et inférieures au DO et aux Aygalades d'un facteur 3 en moyenne jusqu'à un facteur 7 pour le CB 153 (9,6 ng/L pour l'Emissaire et 69,3 ng/L pour les Aygalades).



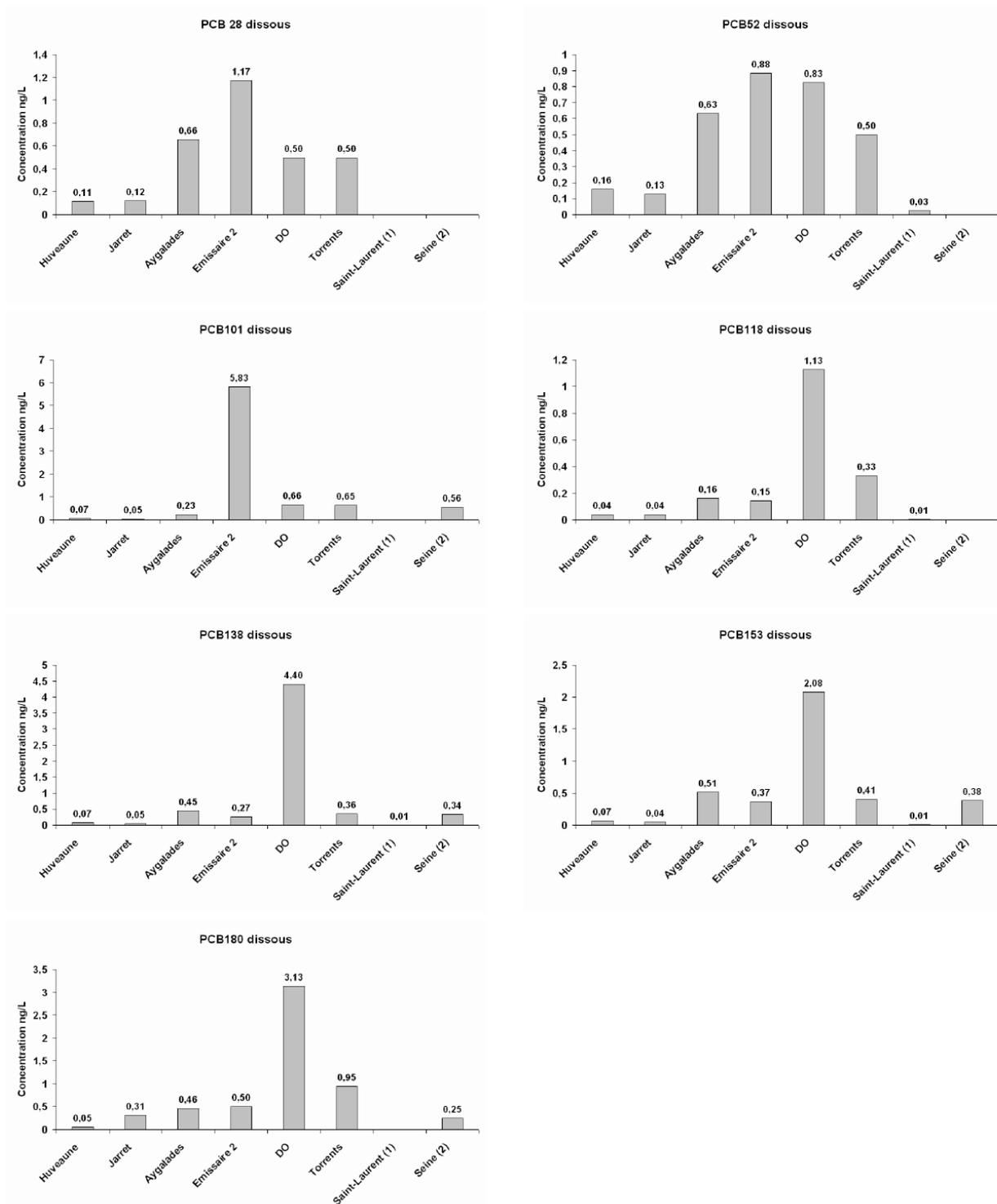


Figure 10 : Concentration moyenne pour les PCB dissous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec, (2) Cossa et al., 1994.



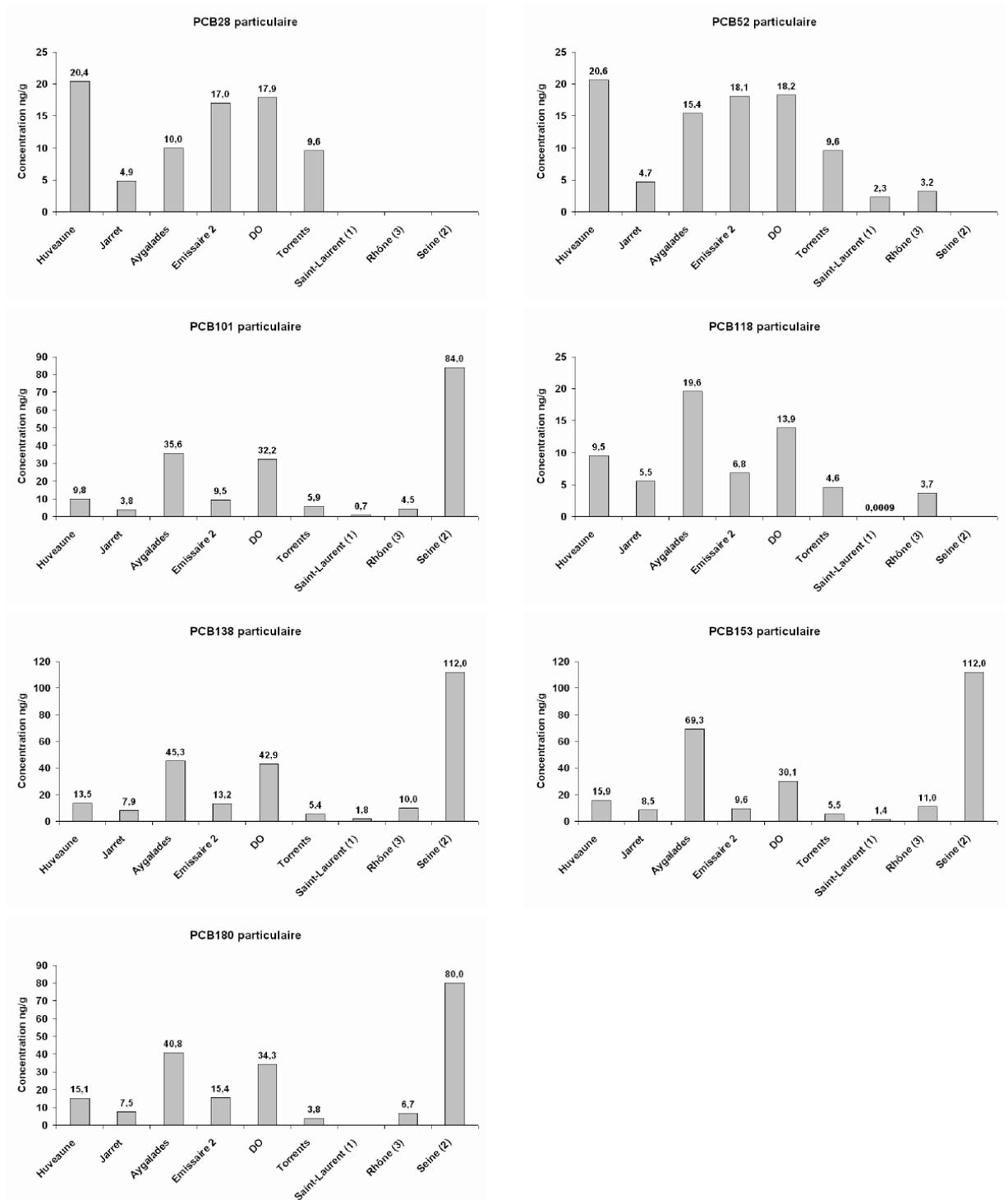


Figure 11 : Concentration moyenne pour les PCB particuliers. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec, (2) Cossa et al., 1994 ; (3) Tronczynski et Moisan, 1996.



c) Pour les PBDE :

- En phase dissoute (cf. Figure 12): Seul le BDE 209 n'a pas été détecté quel que soit l'effluent. Aucun PBDE n'a été détecté dans les effluents caractéristiques du temps de pluie (déversoirs d'orages et torrents, sauf le BDE 100 pour les DO). Dans les cours d'eau par temps sec, la présence de PBDE semble plus fréquente dans les Aygalades en comparaison avec l'Huveaune et le Jarret (BDE 47, BDE 99, BDE 100).

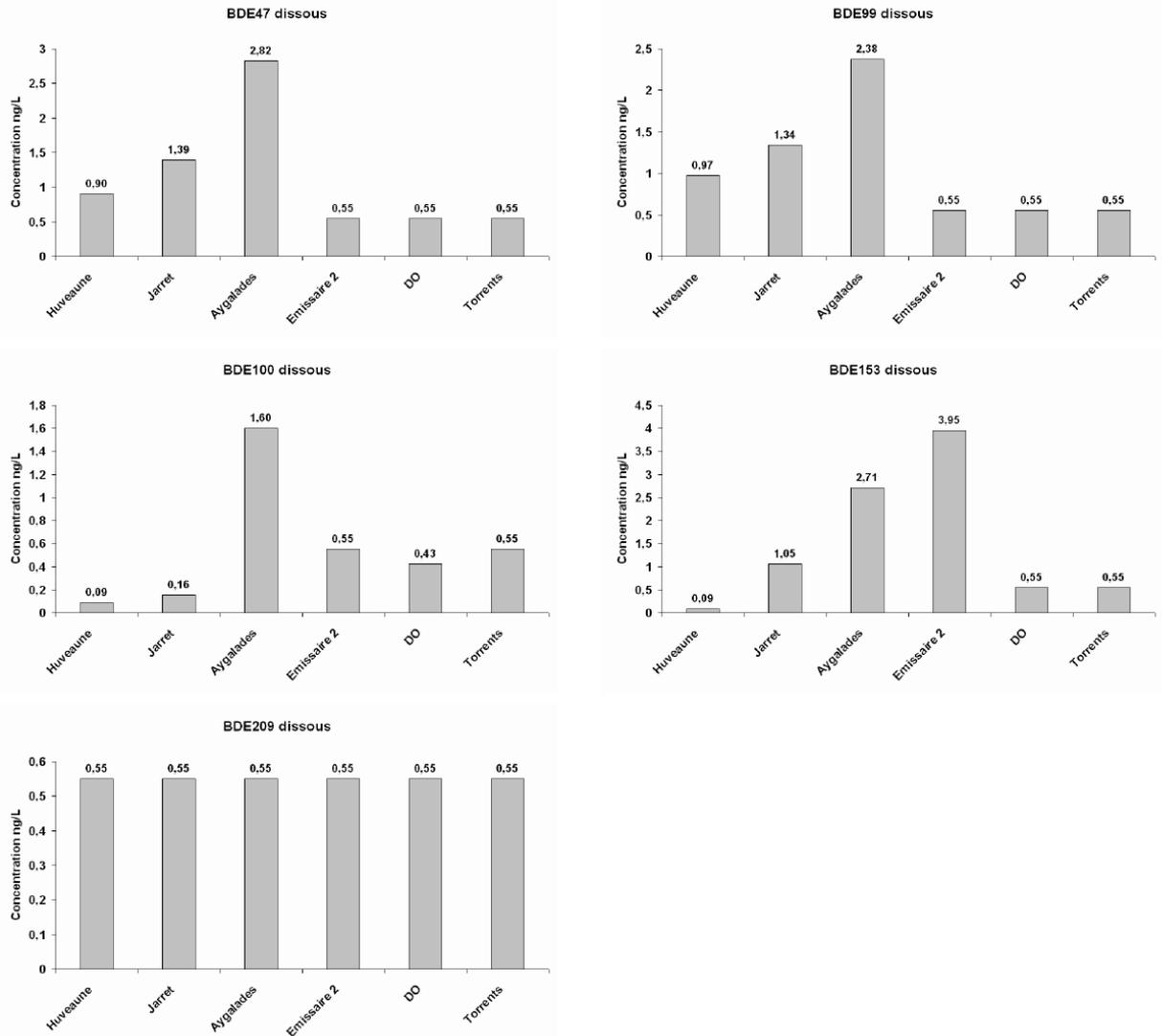


Figure 12 : Concentration moyenne pour les PBDE dissous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite.

- Particulière (cf. Figure 13): Pour les DO, les torrents, et l'Emissaire 2 (sauf 1 échantillon pour le BDE 153) toutes les mesures en $\mu\text{g/L}$ obtenues par analyse sont inférieures à la limite de détection (parce qu'il n'y a soit pas assez de contaminant soit pas assez de MES). On rappelle que nous avons pris comme convention de choisir la moitié de la valeur limite de détection lorsque les mesures étaient données comme inférieures à un seuil. Chaque échantillon dans les DO et les torrents ayant des concentrations différentes en MES, différentes valeurs sont retrouvées dans les tableaux pour ces trois rejets mais sont seulement dues aux variations de MES.



Dans l'émissaire 2, l'un des échantillons présentait des limites de détection différentes des autres (respectivement : 0,5 µg/L pour les BDE 47, 99, 100 et 153 et 12,5 µg/L pour le BDE 209) ce qui donne des concentrations aberrantes pour la phase particulaire. Les valeurs sont donc calculées à partir de 5 échantillons pour l'Emissaire 2. On peut tout de même observer que les concentrations sont plus fortes dans le Jarret pour le BDE 99, dans les Aygalades pour le BDE 47 et le 100 et dans l'Huveaune pour le BDE 153 et le BDE 209. Les valeurs obtenues par Tronczynski et al. (2012) dans le Rhône sont nettement inférieurs à celles que nous avons obtenus sauf pour le BDE 209 dont la valeur est équivalente à celle des Aygalades (74,7 ng/L).

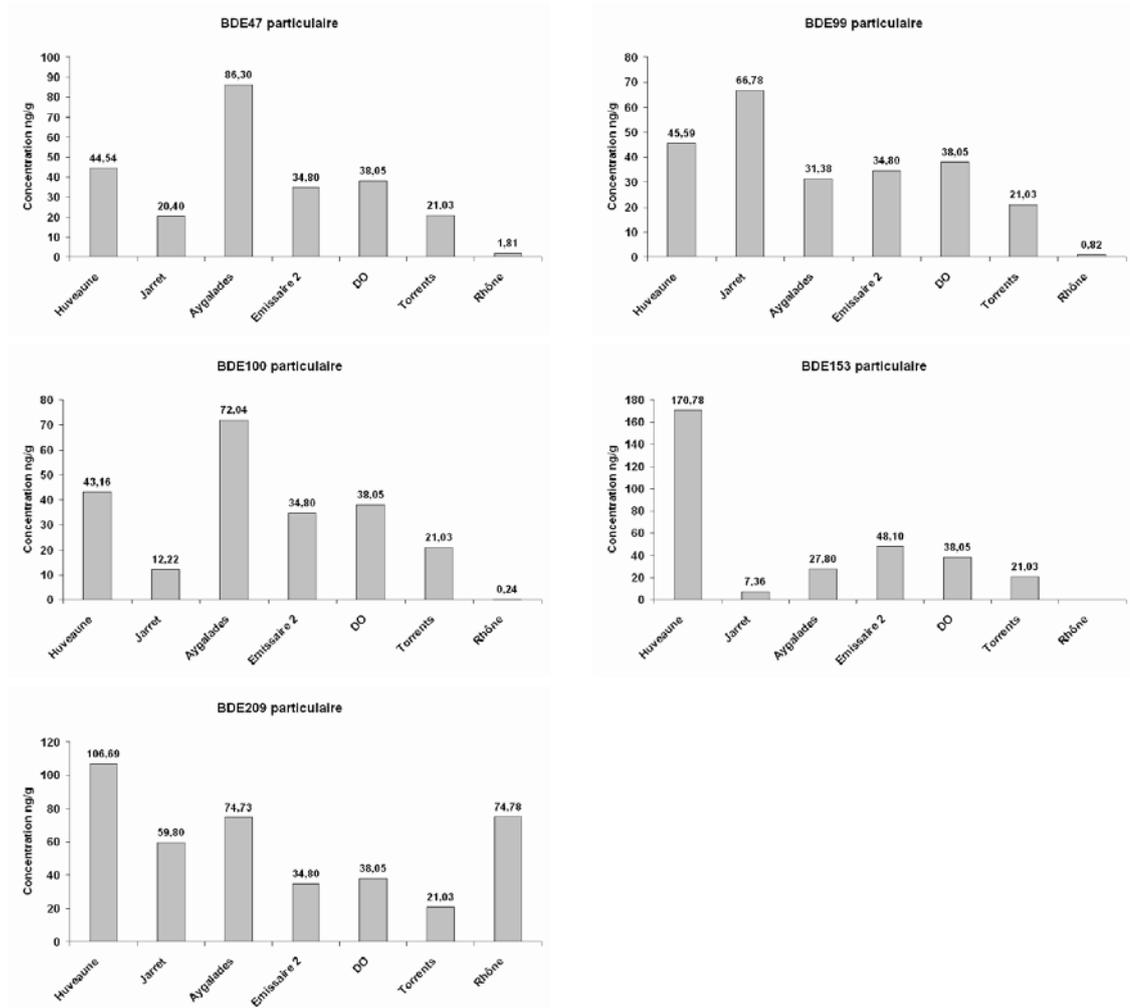


Figure 13 : Concentration moyenne pour les PBDE particulaires. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques du Rhône : Tronczynski et al., 2012.

5.1.2. Contaminants métalliques

Les métaux recherchés dans cette étude sont :

- cobalt (Co), nickel (Ni), cuivre (Cu), zinc (Zn), argent (Ag), cadmium (Cd), plomb (Pb) particuliers (dans les matières en suspension) et dissous ;
- mercure (Hg) total dissous et particulaire¹ ;
- lithium (Li), vanadium (V), chrome (Cr), manganèse (Mn), aluminium (Al) et fer (Fe) particuliers.

Les données ont été obtenues pour le dissous et le particulaire dans les échantillons prélevés dans l'Huveaune, le Jarret et les Aygalades ainsi que dans l'Emissaire 2, les déversoirs d'orages (DO) et les torrents (Bonneveine, Pelouque, Farenc) par temps sec et par temps de pluie. Les valeurs minimales, maximales, moyennes, en comparaison avec les données de la littérature sont fournies dans l'annexe D. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de détection, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. En phase dissoute, le cas se présente pour plusieurs valeurs d'Ag et une valeur de Cd ; en phase particulaire, le cas se présente pour plusieurs valeurs de Li, V, Cr, Co et pour le Ni.

Des boîtes à moustaches qui renseignent sur la distribution des données et présentant les apports dissous et particuliers de l'Huveaune, du Jarret et des Aygalades ainsi que l'Emissaire 2 par temps sec et par temps de pluie viennent illustrer les résultats et sont présentées en annexe A.

- a) Dans le dissous (cf. Figure 14) :
 - a. Tous les métaux sont présents dans des quantités mesurables dans l'ensemble des effluents.
 - b. Les trois principaux cours d'eau et l'Emissaire 2 présentent une contamination en mercure (jusqu'à 62 ng/L dans les Aygalades) avec des concentrations moyennes supérieures à celles du Rhône.
 - c. Les Aygalades enregistrent les concentrations les plus fortes en métaux dissous par temps sec, excepté pour l'Ag (concentrations plus élevées dans l'Huveaune et l'Emissaire 2). Pour le Cd et le Pb les valeurs des Aygalades sont nettement supérieures aux valeurs de l'Emissaire 2 respectivement 0,053 µg/L et 0,014 µg/L (Cd) ainsi que 1,61 µg/L et 0,24 µg/L (Pb). Par temps de pluie le Co, le Ni et le Cd présentent les concentrations les plus fortes.
 - d. Les concentrations en Pb, Zn, Cu, Cd sont plus élevées dans l'Huveaune par rapport au Jarret et à l'Emissaire 2, avec des valeurs en moyenne plus élevées que celles rencontrées dans le Rhône ou le Saint-Laurent. Les eaux du Jarret et le rejet de la station semblent donc contribuer à diluer l'apport en contaminants de l'Huveaune dans l'Emissaire 2.

¹ Le mercure particulaire a été calculé à partir d'un Kd de 10⁵.



- e. Les concentrations en Co et Ag sont plus fortes dans l'Emissaire 2 (respectivement 0,52 µg/L et 9 ng/L) par rapport à l'Huveaune (respectivement 0,39 µg/L et 4,4 ng/L) et au Jarret (respectivement 0,23 µg/L et 2,6 ng/L) ; la station agirait donc comme une source de contamination dans l'Emissaire 2 (bien qu'en temps de pluie, les valeurs pour l'Ag ont tendance à se rapprocher).
- f. Les concentrations de Ni sont généralement supérieures à celles du Rhône et du Saint-Laurent (avec un maximum de 4,1 µg/L pour l'Emissaire 2 contre 1,77 µg/L pour le Saint –Laurent et 0,86 µg/L pour le Rhône).



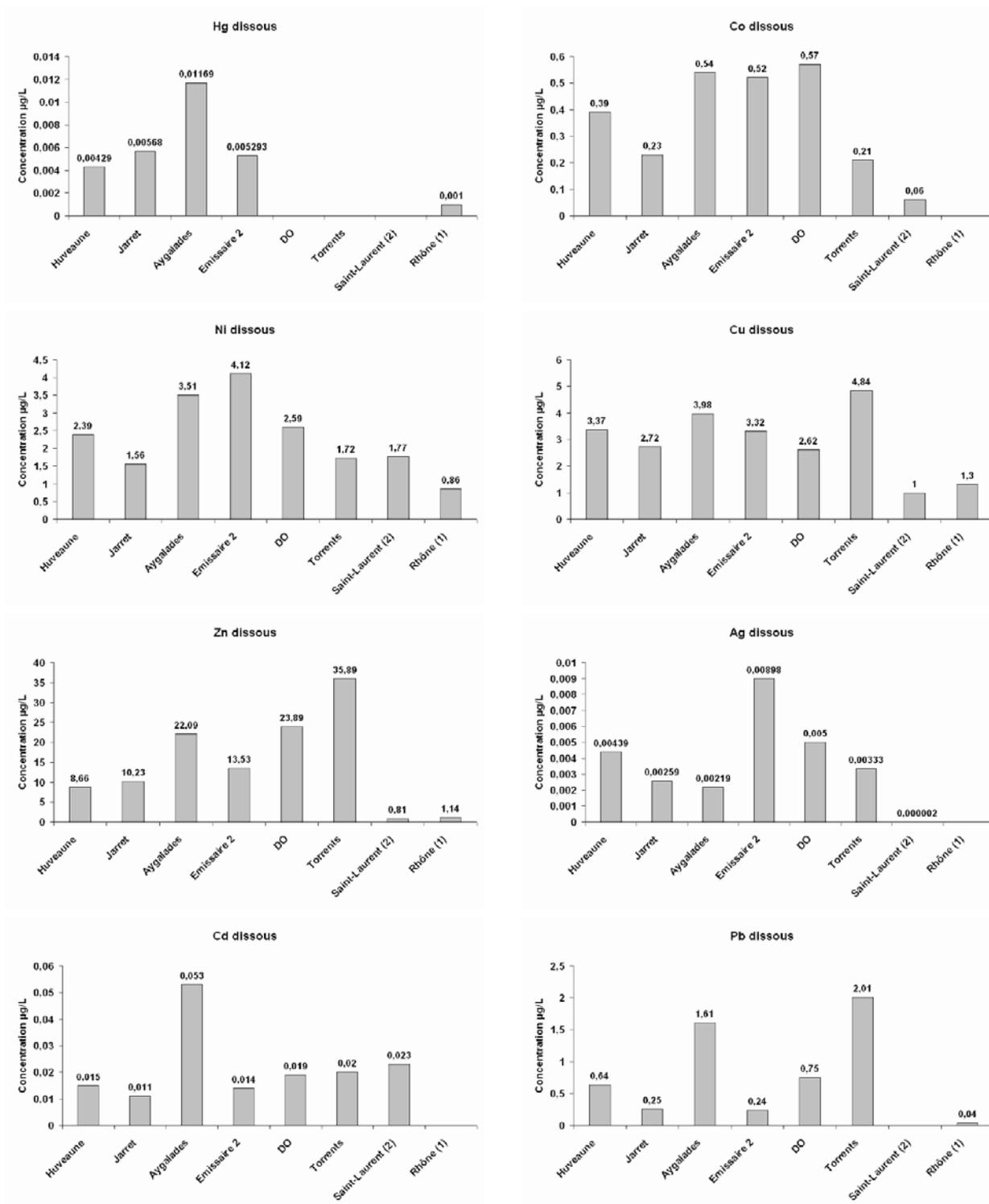


Figure 14 : Concentration moyenne pour les métaux dissous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMIC) ; (2) Gobeil et al., 2005.



b) Dans le particulaire (cf. Figure 15 et Figure 16) :

- a. Nous ne possédons pas les résultats des mesures qui ont été faites sur le Hg particulaire. Cependant nous présentons ici une estimation à partir d'un Kd de 10^5 , soit $Kd = \frac{\text{Concentration_Particulaire_}(pg/g)}{\text{Concentration_Dissoute_}(pg/ml)} = 10^5$.

On fait l'hypothèse que $1\text{ g} = 1\text{ ml}$.

- b. Les Aygalades ont les teneurs en métaux les plus élevées, sauf pour l'Ag pour lequel l'effluent de l'Emissaire 2 est plus contaminé avec $3,06\ \mu\text{g/g}$ et des valeurs supérieures à celles rencontrées dans le Rhône et le Saint-Laurent pour tous les métaux analysés excepté le Co pour lequel les teneurs sont comparables et pour le Li, le V et le Mn (le Jarret et l'Huveaune présentent des concentrations supérieures, ainsi que l'Emissaire 2 pour Li et V).
- c. Les teneurs en Cu, Zn et Pb sont plus élevées dans l'Huveaune, le Jarret, les Aygalades et l'Emissaire 2, en comparaison avec le Saint-Laurent ou le Rhône.
- d. Les teneurs en Co dans l'Huveaune et le Jarret sont en moyenne supérieures à celles de l'Emissaire 2 ; ainsi le rejet de la station d'épuration contribue à diminuer la contamination particulaire par l'apport de particules moins contaminées.
- e. Les teneurs en Cd et Ni sont comparables dans l'Huveaune, le Jarret et l'Emissaire 2 et restent équivalentes à celles rencontrées dans le Rhône, autour de $30\ \mu\text{g/g}$ le Ni et de $0,7\ \mu\text{g/g}$ pour le Cd.
- f. Les teneurs en Ag, Zn et Cu dans l'Huveaune (resp. $1,27\ \mu\text{g/g}$, $377\ \mu\text{g/g}$ et $134\ \mu\text{g/g}$) et le Jarret (resp. $1,08\ \mu\text{g/g}$, $307\ \mu\text{g/g}$ et $125\ \mu\text{g/g}$) sont inférieures à celles de l'Emissaire 2 (resp. $3,06\ \mu\text{g/g}$, $521\ \mu\text{g/g}$ et $300\ \mu\text{g/g}$). La station d'épuration semble donc se comporter comme une source de contamination dans l'effluent de l'Emissaire 2. Le principal rôle d'une station d'épuration est d'abattre la quantité de particules et la quantité de carbone organique. Or, le fractionnement particulaire en faveur des fines lors des procédés d'épuration peut induire un enrichissement en contaminants réactifs vis-à-vis des particules. Les teneurs en Ag dans l'Emissaire 2 sont en moyenne supérieures à celles du Saint-Laurent ($1,2\ \mu\text{g/g}$).
- g. Tous les effluents présentent des teneurs en Pb supérieures à celles du Rhône ($33\ \mu\text{g/g}$). L'Huveaune ($150\ \mu\text{g/g}$) présente des teneurs en Pb supérieures à celles du Jarret ($65\ \mu\text{g/g}$) et de l'Emissaire 2 ($100\ \mu\text{g/g}$). Les eaux provenant du Jarret et de la station d'épuration contribuent donc à diminuer l'apport de Pb particulaire issu de l'Huveaune par l'apport de particules moins contaminées.
- h. Les teneurs dans les DO sont très proches des concentrations maximales ou les dépassent. Pour le Ni, le Cu, l'Ag et le Pb les valeurs dépassent celles du Rhône et du Saint-Laurent.



Les Aygalades enregistrent la contamination généralement la plus élevée, en raison de l'utilisation de cet exutoire par les activités humaines et industrielles. Les résultats obtenus dans l'Huveaune, le Jarret et l'Emissaire 2 permettent de discuter l'influence des différentes contributions.

On peut aussi voir cette forte concentration des Aygalades sur les figures présentées en Annexe B. Les courbes présentent des histogrammes des concentrations de l'Huveaune, du Jarret et des Aygalades en fonction des dates de prélèvements. Elles indiquent un fort pic pour plusieurs espèces de métaux dissous et particulaire principalement autour du 5 août 2009.

Après étude des débits des Aygalades en août 2009 (non présenté ici), nous avons remarqué un fort pic de débit en date du 2 août dans la matinée qui a pu entraîner le pic de concentration en contaminant. Un processus d'adsorption et/ou de précipitation au cours du transfert des particules dans le milieu induisant une augmentation de la teneur sur les particules peut constituer une explication.



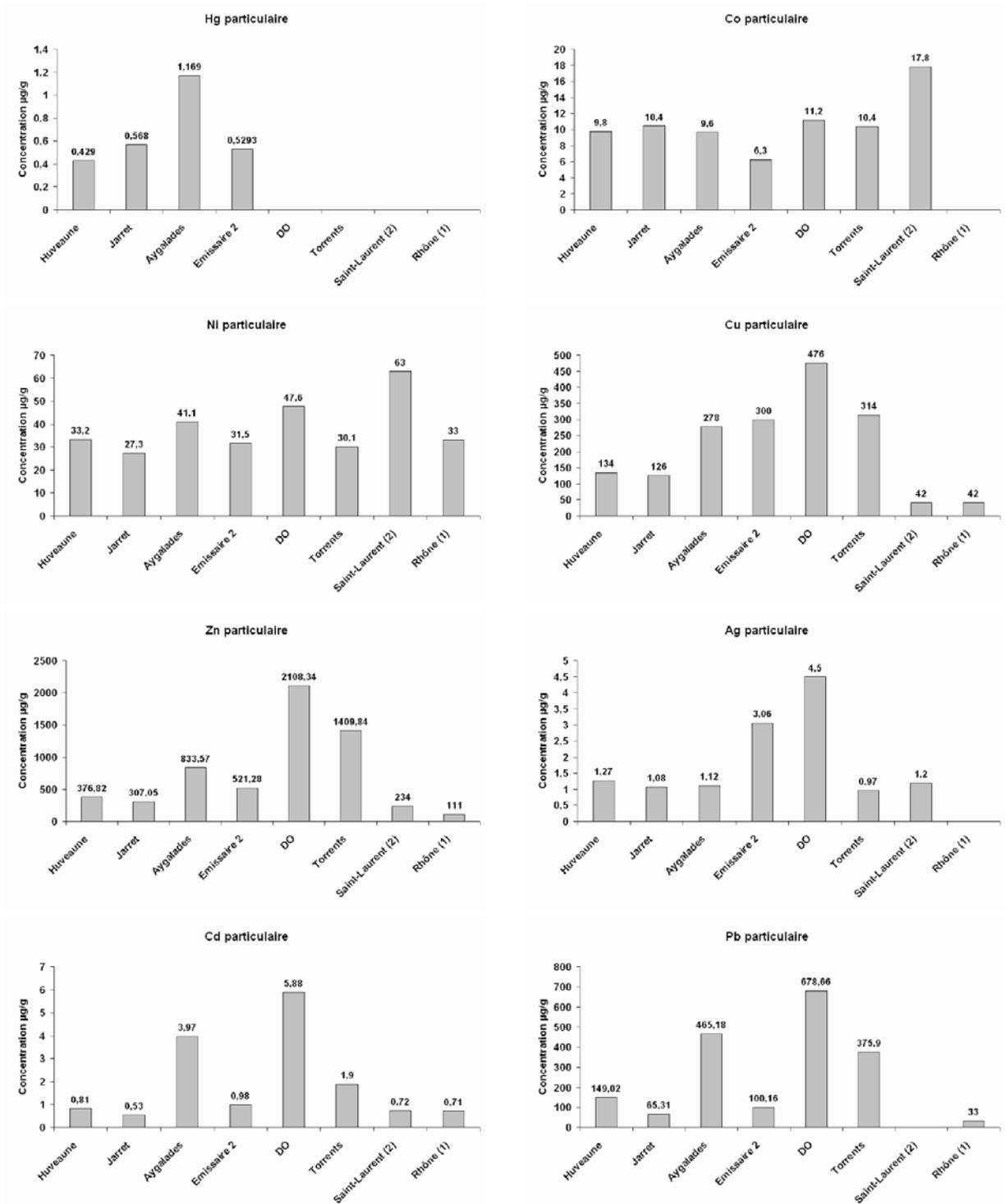


Figure 15 : Concentration moyenne pour les métaux particulaires. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMC) ; (2) Gobeil et al., 2005.



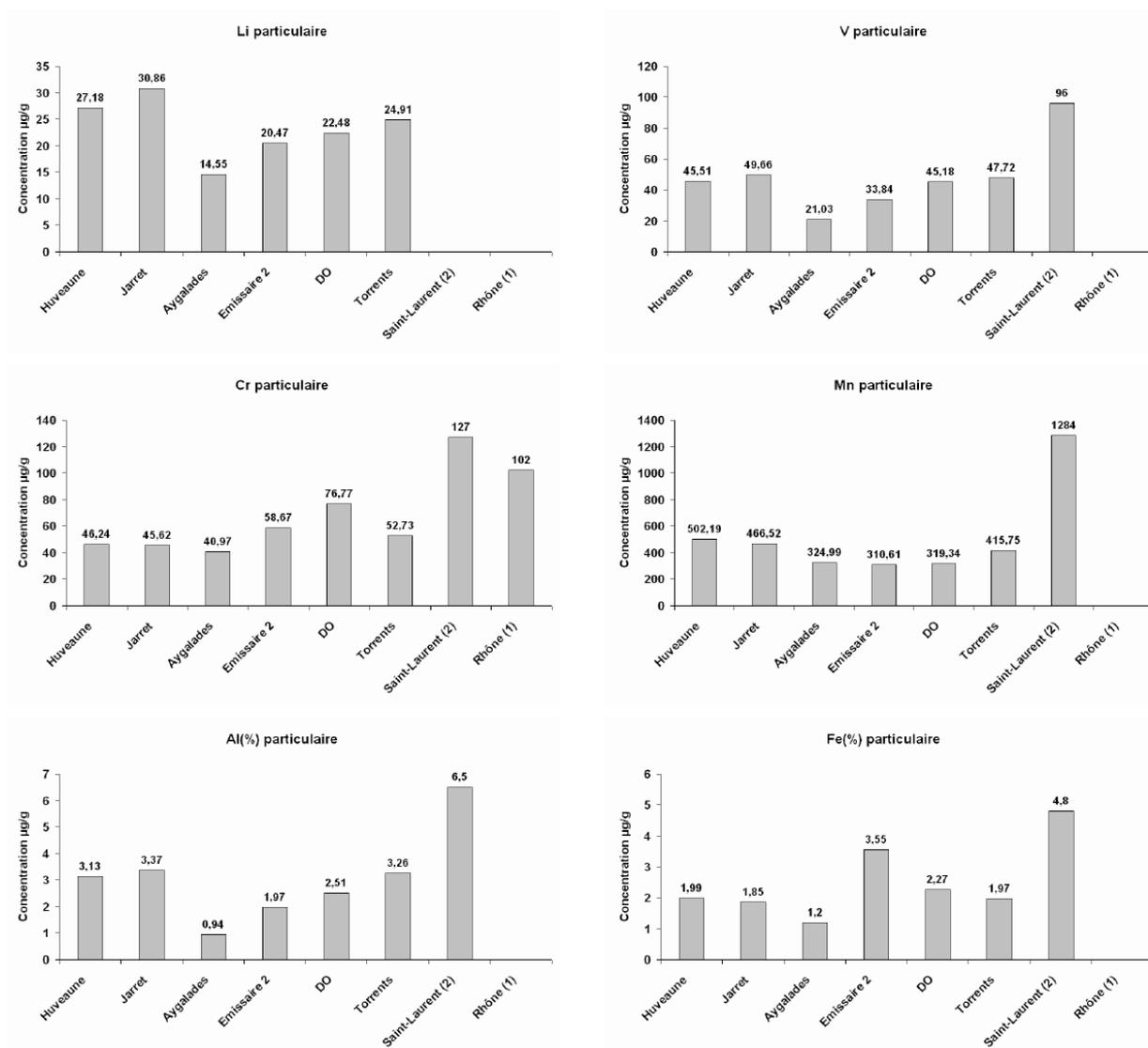


Figure 16 : Concentration moyenne pour les métaux particulaires. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMC) ; (2) Gobeil et al., 2005.



5.2. Chemogrammes

Les chemogrammes permettent d'étudier les relations entre la concentration d'une espèce donnée et le débit hydrique (données fournies par les gestionnaires de réseau). La mise en évidence des relations concentrations-débits facilite la compréhension des apports en contaminants et donne des informations pertinentes pour la quantification des flux.

5.2.1. Contaminants organiques

La plupart des mesures sur les contaminants organiques ont été effectuées avec des membranes ou des pièges à sédiments. Ces deux types de dispositifs utilisent des méthodes dites intégratives et restent immergés pendant plusieurs jours ou plusieurs semaines sous l'eau. Pour cette raison, il nous semble erroné d'associer la mesure effectuée avec la moyenne des débits sur la plage de temps de la mesure et nous ne tracerons donc pas de chemogrammes pour les contaminants organiques.

5.2.2. Contaminants métalliques

Le débit est connu pour l'année 2009 dans l'Emissaire 2 à l'aval du rejet de la station, dans le Jarret et les Aygalades, avec une valeur de débit toutes les 6 min. Pour les prélèvements ponctuels, le débit $Q_{(1)}$ est déterminé au moment du prélèvement, avec une incertitude estimée à ± 12 min ; le débit correspond à la moyenne des débits instantanés Q_i encadrant le moment du prélèvement ($n = 5$) :

$$Q_{(1)} = \frac{\sum_{t-12\text{min}}^{t+12\text{min}} Q_i}{n}$$

Pour les prélèvements composites, le débit $Q_{(2)}$ correspond à la moyenne des débits instantanés entre le début t_0 et la fin t_f des prélèvements pour un échantillon donné :

$$Q_{(2)} = \frac{\sum_{t_0}^{t_f} Q_i}{n}$$

Les fichiers de mesure du Jarret pour les années 2010 et 2011 n'étant pas disponibles, les débits de l'Emissaire 2 ont été retenus. Les débits sont donc surestimés et entachés d'erreur puisque le débit dans l'émissaire varie en fonction du débit du Jarret mais aussi des débits de l'Huveaune et de la station d'épuration.

Les débits n'ont pas été mesurés directement dans l'Huveaune mais ils l'ont été dans l'Emissaire 2 à la station Bonnaude (Q_{Bonnaude}). En l'absence de données plus précises sur les débits relatifs à l'Huveaune, des hypothèses ont été posées afin de disposer d'une évaluation, même grossière, des débits dans chacune des rivières.



Rappel des hypothèses faites sur les débits dans l'Emissaire 2 :

En 2007, on fait l'hypothèse que le débit dans l'Emissaire 2 représente les eaux de l'Huveaune et du Jarret plus certaines eaux du réseau fluvial bypassées (par temps de pluie).

En 2008 et 2009, le fonctionnement de la répartition entre les deux émissaires est variable. On suppose que lorsque le débit dans l'émissaire 1 est très faible, le rejet de la station a été dirigé vers l'Emissaire 2. Dans l'Emissaire 2, en dehors de ces périodes, on considère que tout le débit représente les eaux de l'Huveaune et du Jarret plus certaines eaux du réseau fluvial bypassées (par temps de pluie).

En 2010 et 2011, le débit dans l'Emissaire 2 doit être partagé en rejet d'eaux traitées et d'eaux fluviales et bypassées (par temps de pluie). Etant donnés les débits plus importants dus à l'Huveaune et au Jarret, il est plus difficile de discriminer le rejet de la STEP comme dans l'émissaire 1. Le débit est donc ici pris en général égal à la moyenne max = $2.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (donc parfois surestimé ou sous estimé selon les cas).

D'où le tableau suivant :

| Années \ Type eaux | 2007 | 2008/06-2009 | 07-2009/2011 |
|------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| STEP | 0 | $Q_{s2} = 0$ sauf si $Q_{s1} < 0.5$ alors $Q_{s2} = \text{MIN}[Q_{\text{Bonnaude}} - 0.4, 3.5]$ | $Q_{s2} = \text{MIN}[Q_{\text{Bonnaude}} - 0.4, 2.8]$ |
| Eaux bypassées ou fluviales | $Q = Q_{\text{Bonnaude}}$ | $Q = Q_{\text{Bonnaude}} - Q_{s2}$ | $Q = Q_{\text{Bonnaude}} - Q_{s2}$ |

Tableau 20 : Tableau du calcul des débits pour la STEP et les eaux fluviales pour les années 2007 à 2011. Q_{s1} et Q_{s2} représentent respectivement les débits de l'émissaire 1 et de l'Emissaire 2.

On a donc dans l'Emissaire 2, les rejets de l'Huveaune et du Jarret plus en temps de pluie un débit provenant des rejets bypassés. On estime que le rejet bypassé est négligeable et on a donc

$$Q_{\text{émiss2}} = Q_{\text{Jarret}} + Q_{\text{Huveaune}}$$

Pour tracer les chemogrammes, on a, sur les années antérieures à 2010, soustrait au débit de l'Emissaire 2, le débit mesuré dans le Jarret. Lorsqu'on possède les fichiers débits correspondant aux dates de prélèvement, on enlève ces valeurs ci. Pour les dates que nous ne possédons pas, on prend comme débit du Jarret la moyenne des valeurs que nous avons utilisées précédemment (avec distinction des dates en crue et hors crue).

Par temps de pluie, l'Emissaire 2 contient aussi les eaux bypassées. Nous n'avons pas retranché les débits correspondants puisque nous ne les connaissons pas exactement. Il est donc possible que le débit de l'Huveaune soit surestimé en temps de pluie.

a) Dans le dissous

Certaines valeurs étant hors gamme par rapport au reste des mesures et ne permettant pas de bien voir la répartition des autres points, elles ont été représentées dans des encarts insérés dans les graphes correspondant. Il s'agit principalement de :

- la valeur du Pb à $9,7 \mu\text{g.L}^{-1}$ dans l'Huveaune en crue (débit $11,3 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) probablement dû à un processus de lessivage ou de remobilisation (les autres valeurs étant en moyenne 20 fois inférieures) (Figure 17) ;
- des valeurs correspondant à un débit de $8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ dans les Aygaldes, seule valeur de débit élevée que nous ayons et qui est donc considérée séparément (Figure 19, Figure 25 et Figure 26).

- Dans l'Huveaune (Figure 17)

Le débit ne semble pas constituer un facteur de contrôle pour le Hg et l'Ag : les concentrations restent relativement constantes par temps de pluie, et par temps sec, les valeurs sont hétérogènes. D'autres facteurs contrôlent la variabilité des concentrations par temps sec. Il faut noter que beaucoup de mesures d'Ag donnent des valeurs égales à la limite de détection ($0,002 \mu\text{g.L}^{-1}$). Les concentrations en Co et Ni ont tendance à diminuer lorsque le débit augmente ce qui traduit un processus de dilution par l'apport d'eau de ruissellement moins chargée en contaminants dans le cours d'eau ou des processus d'adsorption/précipitation des espèces dissoutes sur les particules dans le milieu.

Les concentrations en Cd et en Cu ont tendance à augmenter avec le débit ce qui traduit l'occurrence d'un processus de lessivage des bassins versants au moment des pluies, ou de la remobilisation des contaminants au cours du transfert dans le milieu. On voit aussi une tendance à l'augmentation pour le Zn bien que les valeurs des mesures en temps de pluie soient assez hétérogènes.

Il est difficile à ce stade de déterminer la nature des fonctions qui lient les concentrations avec le débit.

- Dans le Jarret (Figure 18)

Les concentrations en Hg total dissous sont hétérogènes par temps sec sans tendance par rapport à celles rencontrées par temps de pluie. Par temps de pluie, l'augmentation de la concentration avec le débit traduit l'occurrence d'un processus de lessivage des bassins versants au moment des pluies, ou de la remobilisation des contaminants au cours du transfert dans le milieu.

Les concentrations sont généralement plus fortes pour le Co, le Ni par temps sec tandis que celles du Zn, Cu, Cd et Pb sont plus faibles, par rapport au temps de pluie. La diminution est liée à l'apport d'eau de ruissellement moins chargée en contaminants dans le cours d'eau ou de processus d'adsorption/précipitation des espèces dissoutes sur les particules, tandis que l'augmentation serait liée au lessivage des bassins versants au moment des pluies ou de la remobilisation des contaminants au cours de leur transfert dans le milieu.



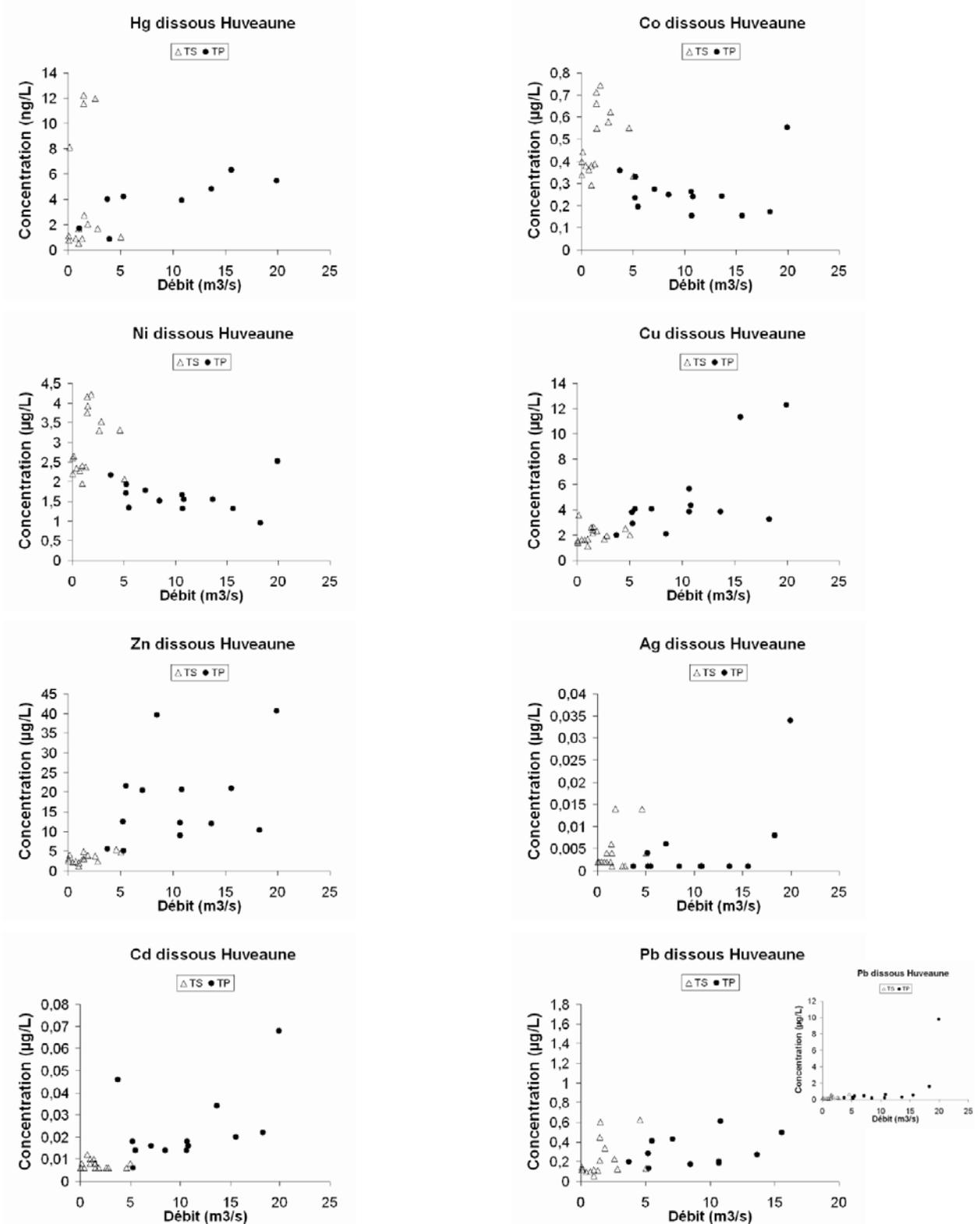


Figure 17 : Variations des concentrations en métaux dissous dans l'Huveaune en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (●).



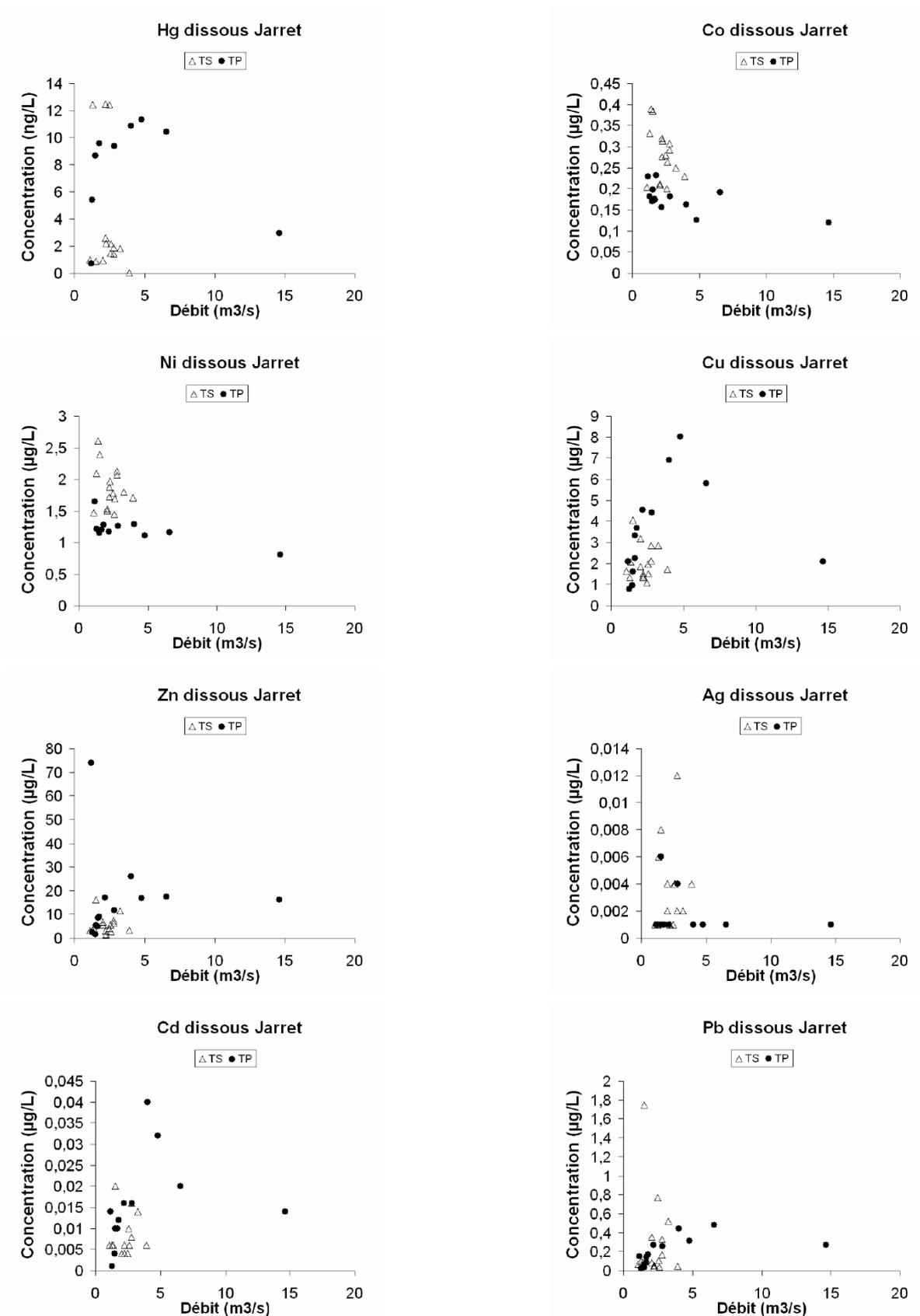


Figure 18 : Variations des concentrations en métaux dissous dans le Jarret en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (●).



- Dans les Aygalades (Figure 19)

Les concentrations sont fortement hétérogènes pour tous les contaminants analysés, par temps sec et par temps de pluie. Les concentrations ne semblent pas contrôlées par le débit, sauf pour le Co et Ni, dont les concentrations ont l'air de diminuer avec le débit. Des facteurs autres que le débit contrôlent la dispersion des valeurs de concentrations dans les particules (nature, taille, origine des particules).

- Dans l'Emissaire 2 (Figure 20)

Par temps sec, les concentrations en Hg restent relativement constantes quel que soit le débit. Les valeurs mesurées en temps de pluie sont nettement inférieures. La diminution est liée à l'apport d'eau de ruissellement moins chargée en contaminants dans le cours d'eau ou de processus d'adsorption/précipitation des espèces dissoutes sur les particules. Les profils du Co, du Ni, de l'Ag montrent une diminution des concentrations lorsque le débit augmente avec une variabilité des concentrations plus forte par temps sec que par temps de pluie. La contamination est diluée par l'apport d'eaux de ruissellement moins contaminées.

Les profils du Zn, du Cu et du Cd ne présentent pas de tendance claire. Les concentrations sont hétérogènes par temps sec et par temps de pluie.

La concentration en Pb reste généralement inférieure à $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ quel que soit le débit, hormis quelques valeurs ponctuelles probablement liées à des apports d'origine différente.



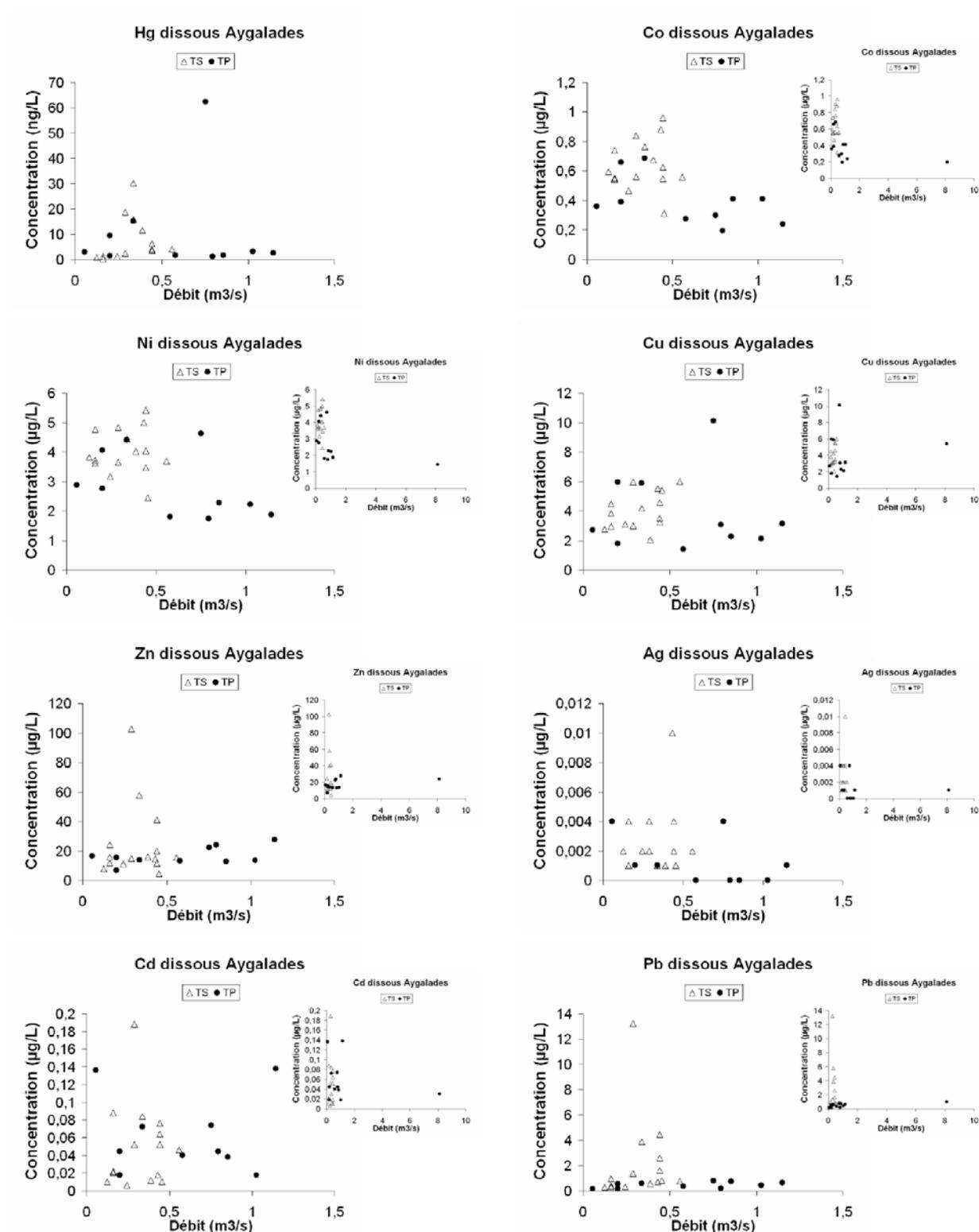


Figure 19 : Variations des concentrations en métaux dissous dans les Aygalades en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (●). Les encarts permettent de visualiser la valeur de concentration correspondant à un débit de 8m³.s⁻¹.



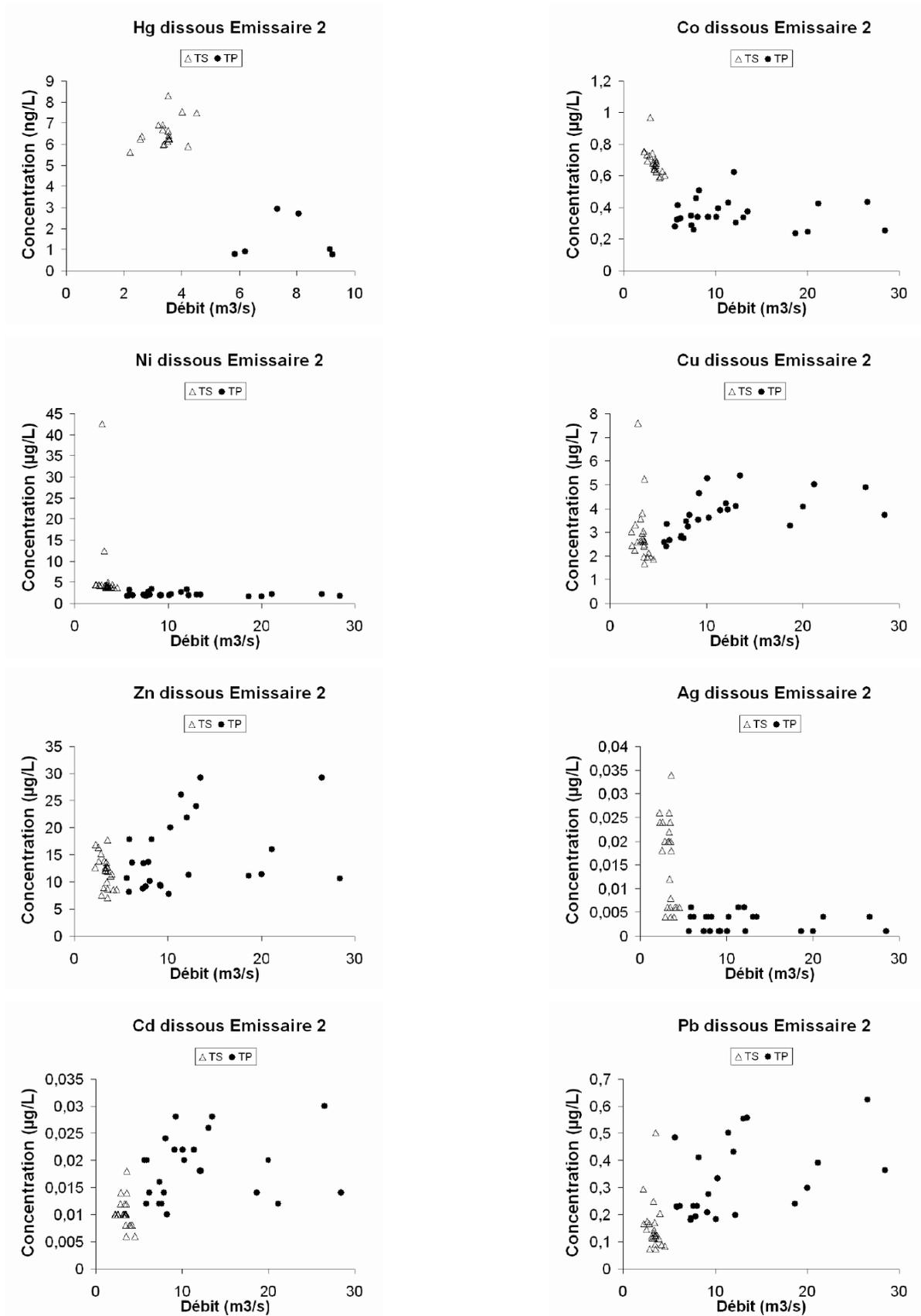


Figure 20 : Variations des concentrations en métaux dissous dans l'Emissaire 2 en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet).



Nous présentons dans le Tableau 21 un résumé des tendances observées sur les courbes par rivières et par espèces.

| | Hg | Co | Ni | Cu | Zn | Ag | Cd | Pb |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| HUV | → | ↓ | ↓ | ↑ | ↑ | st | ↑ | → |
| JAR | st | ↓ | ↓ | ↑ | ↑ | st | ↑ | → |
| EMISS2 | ↓ | ↓ | ↓ | st | st | ↓ | st | ↑ |
| AYG | st | ↓ | ↓ | st | st | st | st | st |

Tableau 21 : Résumé des comportements des métaux dans le dissous en fonction du débit : ↑tendance à l'augmentation de la concentration en fonction du débit ; → constance de la concentration en fonction du débit ; ↓ diminution de la concentration en fonction du débit ; st : sans tendance particulière.

b) Dans le particulaire

Pour le particulaire, différents types de courbes ont été tracés. Elles ne seront pas toutes commentées ici mais sont présentées en annexe. Nous avons tracés :

- concentration particulaire en $\mu\text{g/g}$ en fonction du débit liquide (Figure 21 à Figure 28)
- concentration particulaire en $\mu\text{g/L}$ en fonction du débit liquide (Annexe C3)
- concentration particulaire en $\mu\text{g/g}$ en fonction du débit solide (Annexe C4)
- concentration particulaire en $\mu\text{g/g}$ en fonction de la teneur en Al (Annexe C5)

La relation concentration particulaire en $\mu\text{g/g}$ en fonction du débit permet de voir si l'augmentation de la pollution est dû à l'augmentation de la contamination par particules alors que celle en $\mu\text{g/L}$ indique que la contamination provient plus d'un accroissement du nombre de particules dans l'écoulement. La teneur en aluminium, quant à elle, est un proxy de la granulométrie des particules. En effet, en règle générale plus la teneur en aluminium est grande et plus la particule est considérée comme fine.

- Dans l'Huveaune (Figure 21 et Figure 22)

Les profils de concentration particulaire en $\mu\text{g/g}$ en fonction du débit liquide (Figure 21 et Figure 22) montrent généralement une grande dispersion des valeurs de concentrations en cas de faibles débits ($< 8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Lorsque les débits sont plus forts, les concentrations ont tendance à rester relativement constantes ou ne suivent pas de tendance claire. Le débit n'aurait donc pas ou peu d'influence sur la contamination des particules. En général, les concentrations rencontrées par temps de pluie sont comprises dans la gamme de variation des valeurs rencontrées par temps sec. Les concentrations par temps de pluie sont supérieures à celles obtenues par temps sec pour le Li, V, Co, Zn, Cd et Cr. Cette augmentation peut être associée à l'apport de particules plus contaminées issues de l'érosion des bassins versants.

Le profil de la concentration solide (Figure 22) montre une relation linéaire positive avec l'existence d'un point de forte concentration par fort débit ($R^2=0,35$). L'augmentation de la quantité de particules semble liée à l'apport d'eau de ruissellement et de particules issues de l'érosion des bassins versants.

En effet, en regardant les profils de concentration particulaire en $\mu\text{g/L}$ en fonction du débit liquide (Annexe C3 p60 et p61), il semble que l'apport de contaminants soit bien lié à l'apport d'eau supplémentaire et non pas d'une concentration plus forte sur les



particules déjà existantes.

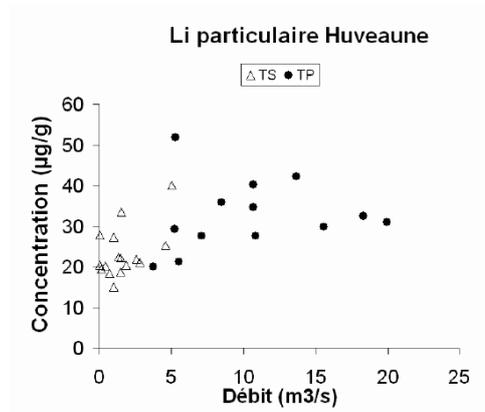
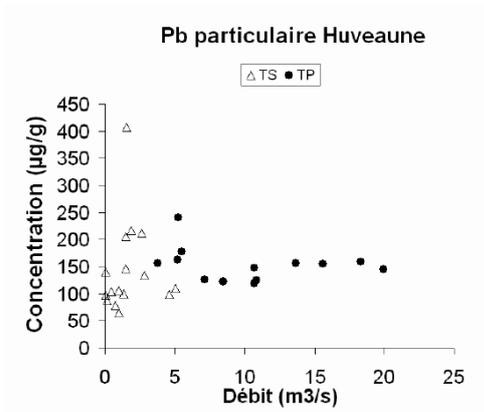
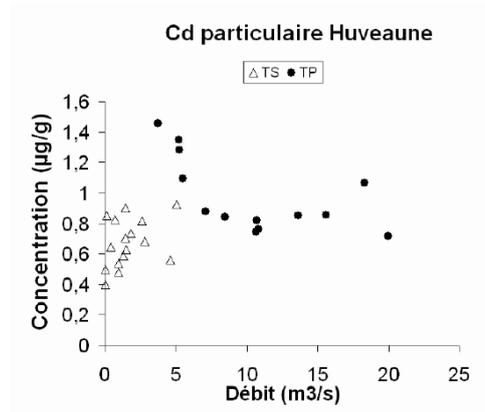
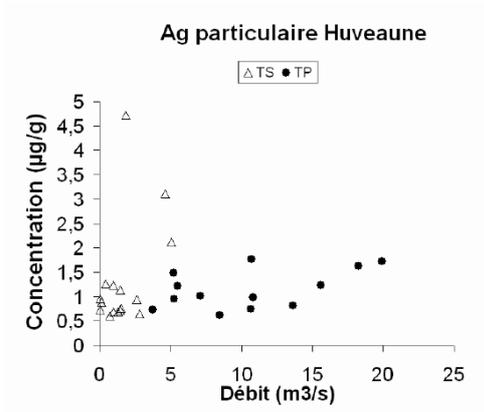
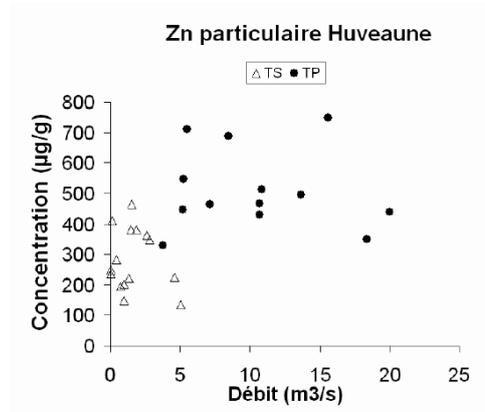
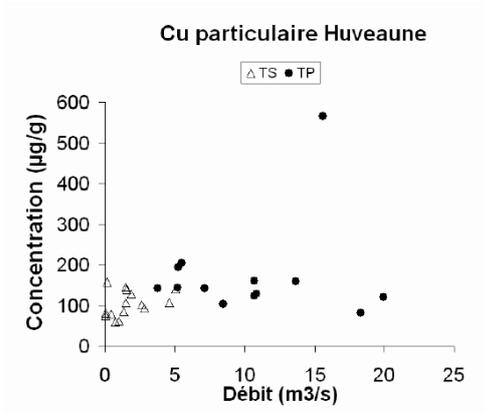
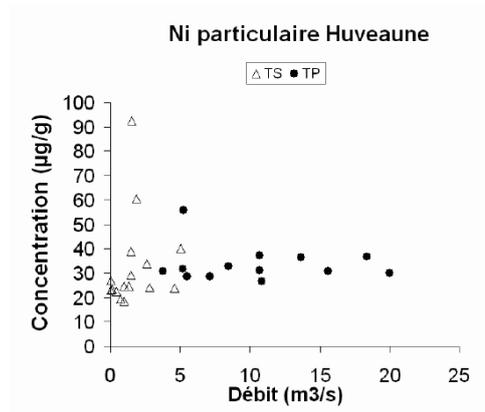
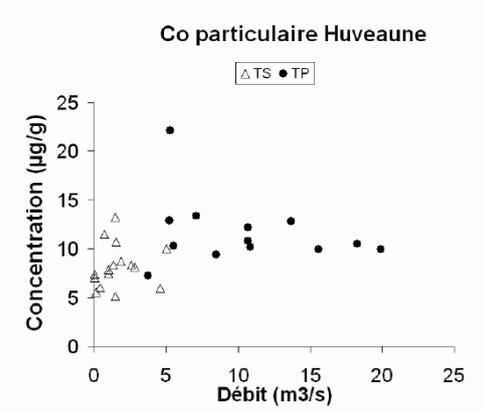


Figure 21 : Variations des concentrations en métaux particuliers dans l'Huveaune en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet).



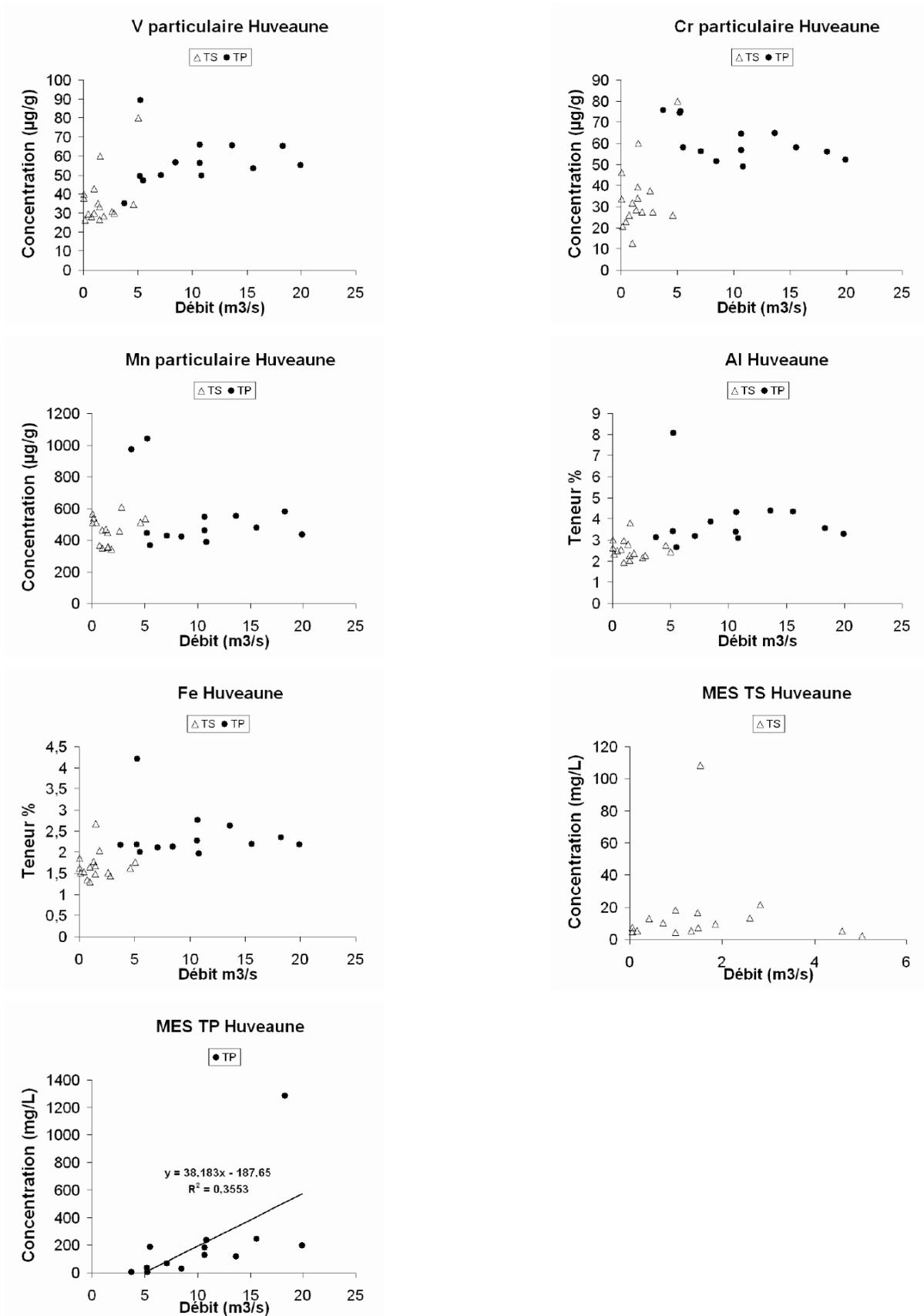


Figure 22 : SUITE - Variations des concentrations en métaux particuliers dans l'Huveaune en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet).



- Dans le Jarret (Figure 23 et Figure 24)

Les profils (Figure 23 et Figure 24) de métaux montrent généralement une grande dispersion des valeurs de concentrations lorsque les débits sont relativement faibles ($< 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Lorsque le débit augmente, les concentrations de Li, V, Ni, Co, Mn, Cr, Fe, et Al auraient tendance à rester constantes et inférieures à celles rencontrées par temps sec. Le peu de points disponibles à haut débit incite cependant à rester prudent sur cette conclusion. Le débit n'aurait donc pas ou peu d'influence sur les concentrations rencontrées et l'apport d'eaux de ruissellement contribuerait à diminuer la charge polluante.

En revanche, pour le Zn, Cu, Cd, Ag et Pb, les concentrations dans les particules diminuent avec le débit. Cette diminution pourrait traduire l'apport de particules moins contaminées avec des débits plus forts.

La concentration solide est bien corrélée avec le débit liquide par temps de pluie selon une relation linéaire ($R^2 = 0,96$). L'augmentation de la quantité de particules est directement liée à l'apport d'eau de ruissellement chargée en particules érodées, ce qui se retrouve tout à fait dans les profils de concentration particulaire en $\mu\text{g/L}$ en fonction du débit liquide (Annexe C3 p62 et p63).



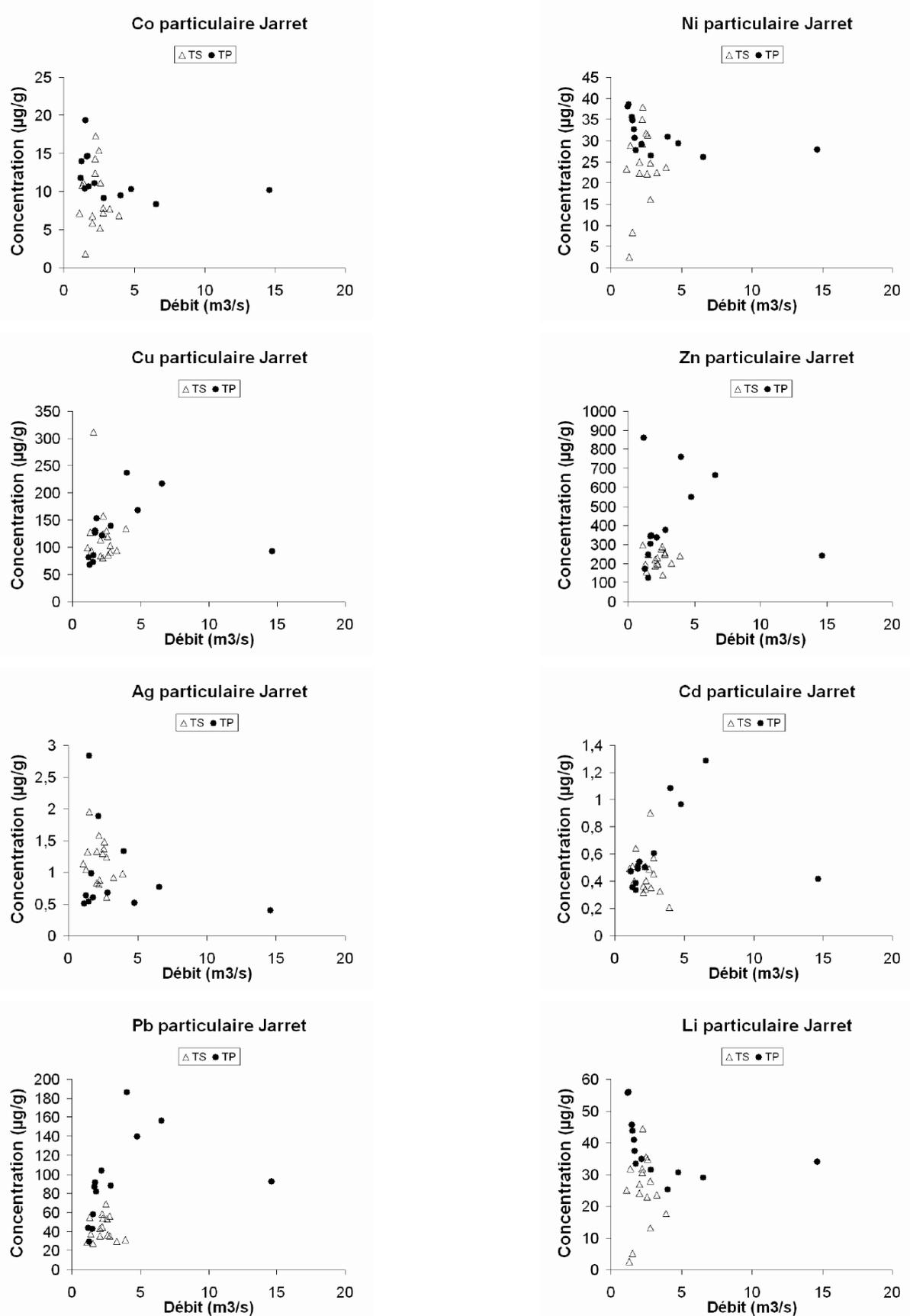


Figure 23 : Variations des concentrations en métaux particuliers dans le Jarret en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet).



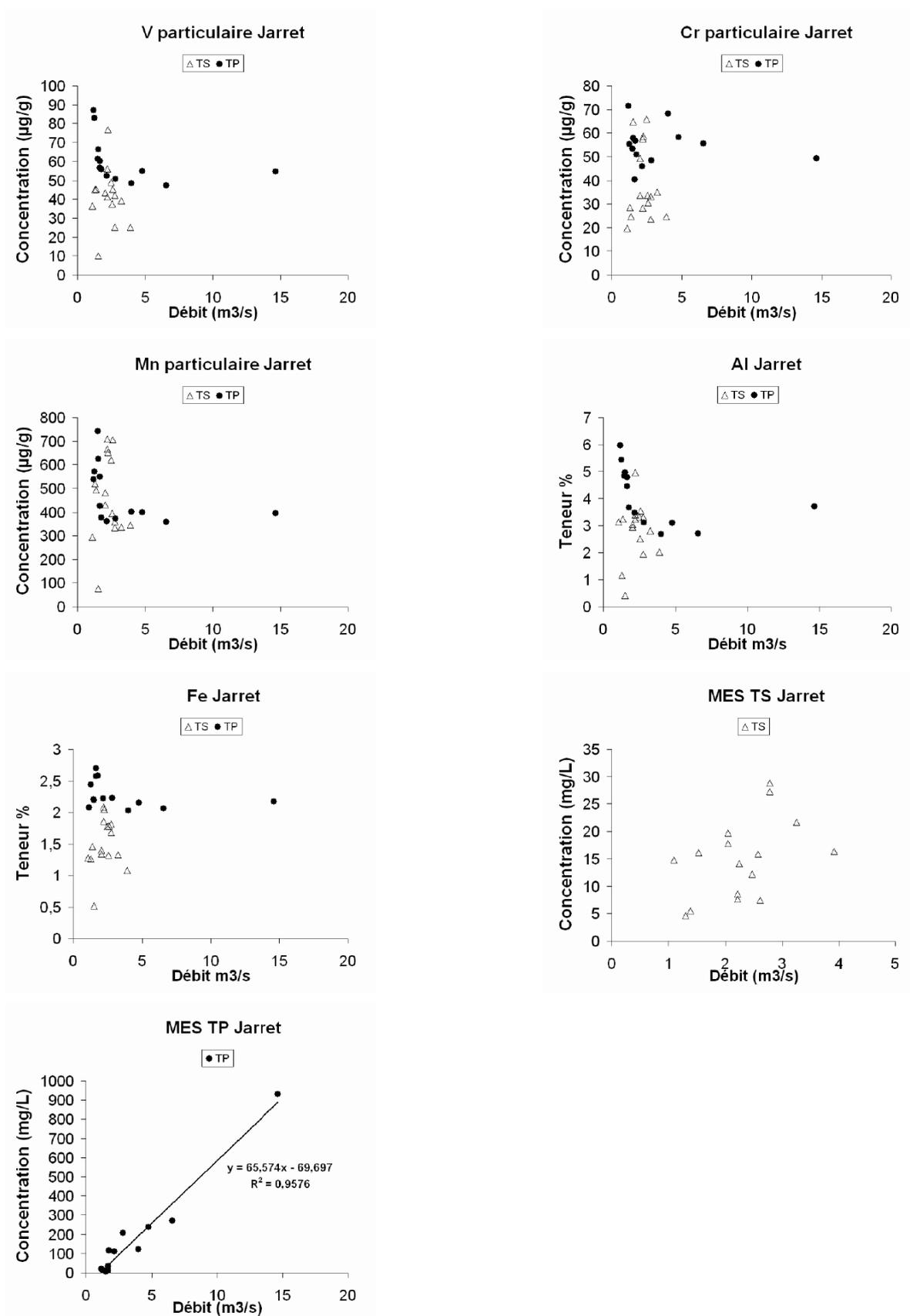


Figure 24 : SUITE - Variations des concentrations en métaux particuliers dans le Jarret en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (●).



- Dans les Aygalades (Figure 25 et Figure 26)

Tous les métaux présentent des teneurs variables par temps sec et par temps de pluie sans lien évident avec la variation de débit (Figure 25 et Figure 26). Les apports en contaminants dans les Aygalades sont très hétérogènes en raison probablement de l'utilisation de ce cours d'eau comme exutoire pour certains rejets industriels. En général, les concentrations par temps sec sont plus fortes que par temps de pluie (sauf Mn, Al), en raison de l'effet de dilution provoqué par l'apport d'eaux de ruissellement moins contaminées.



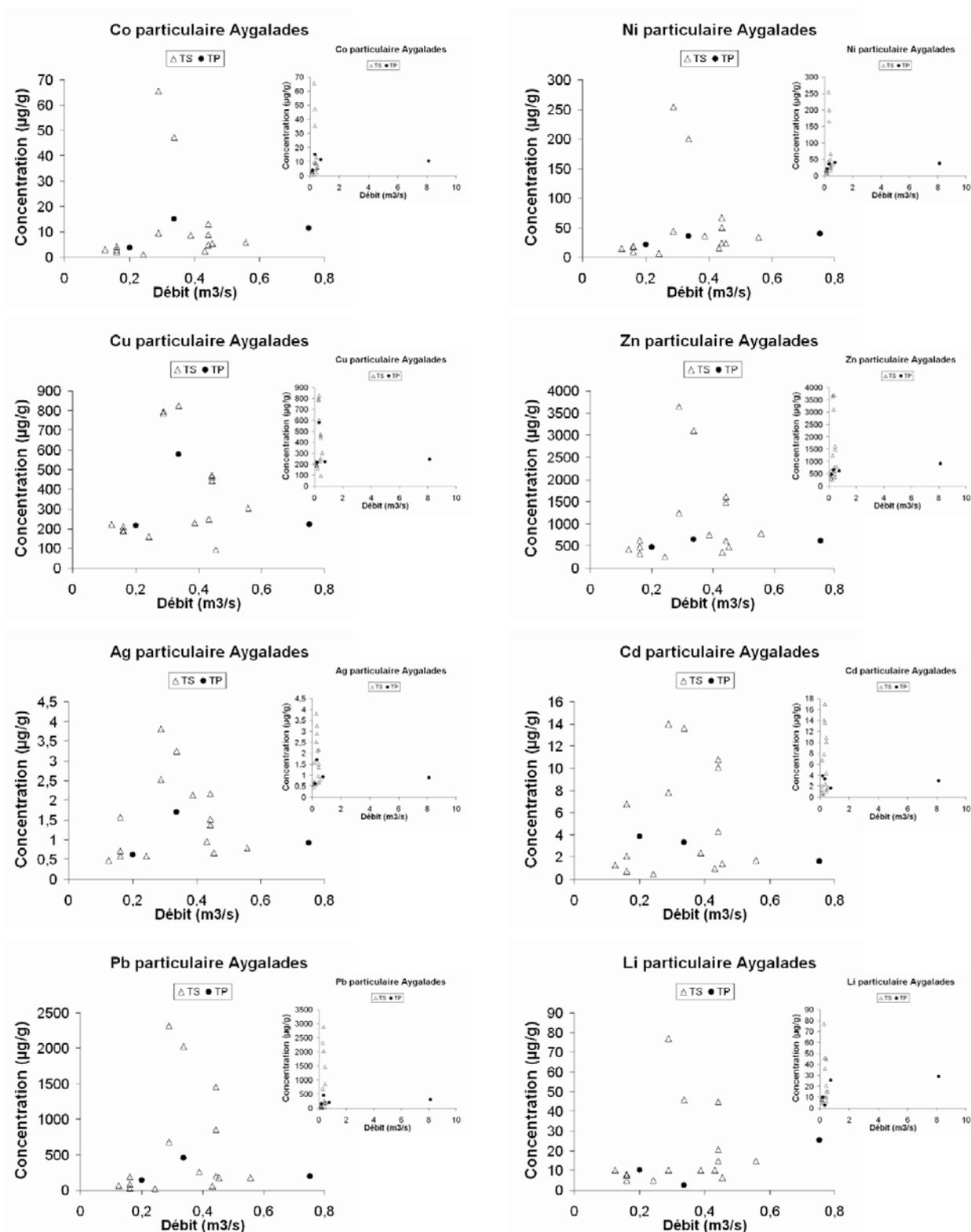


Figure 25 : Variations des concentrations en métaux particuliers dans les Aygalades en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet). Les encarts permettent de visualiser la valeur de concentration correspondant à un débit de $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



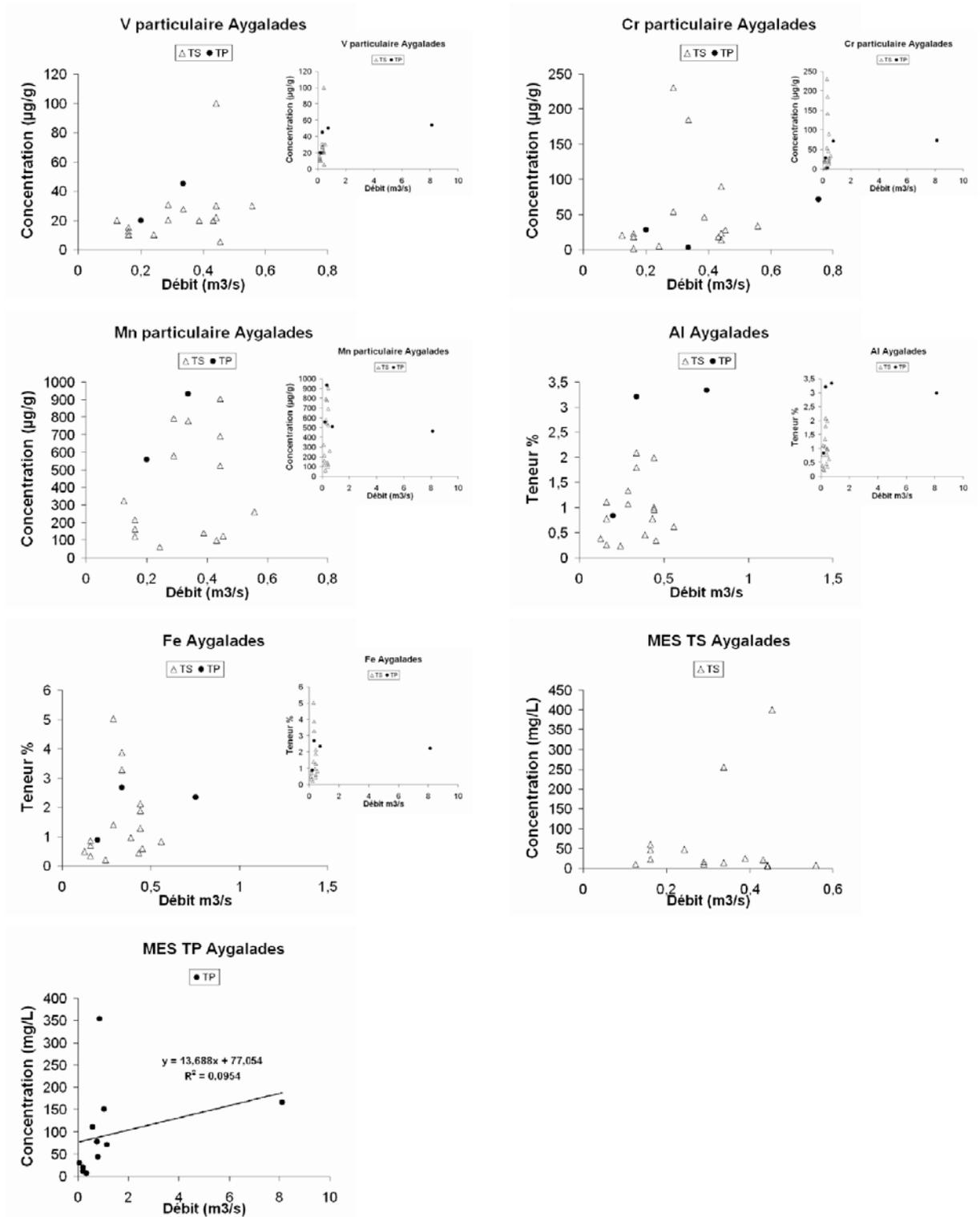


Figure 26 : SUITE - Variations des concentrations en métaux particuliers dans les Aygalades en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (●). Les encarts permettent de visualiser la valeur de concentration correspondant à un débit de $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



- Dans l'Emissaire 2 (Figure 27 et Figure 28)

On retrouve un peu tous les types de comportements dans l'Emissaire 2 (Figure 27 et Figure 28). Les profils de Co, Li, V montrent une augmentation de la concentration sur les particules avec l'augmentation du débit. Cette augmentation peut être associée à l'apport de particules plus contaminées issues de l'érosion des bassins versants. Au contraire, les concentrations en Cd, Zn, Ag et Fe sur les particules ont tendance à diminuer avec le débit ce qui serait expliqué avec un effet de dilution par l'apport d'eaux de ruissellement qui contribueraient à diminuer la charge polluante.

Les concentrations en Pb, Cd, Ni et Cr restent constantes avec le débit.

En revanche, les profils de concentration en $\mu\text{g/L}$ en fonction du débit liquide (Annexe C3 p66 et p67) semblent suggérer une relation directe et positive avec le débit, puisque tous les profils (sauf le Fe) montrent une forte augmentation de la concentration, malgré un coefficient de relation MES-débit faible ($R^2 < 0,4$) (Figure 28).



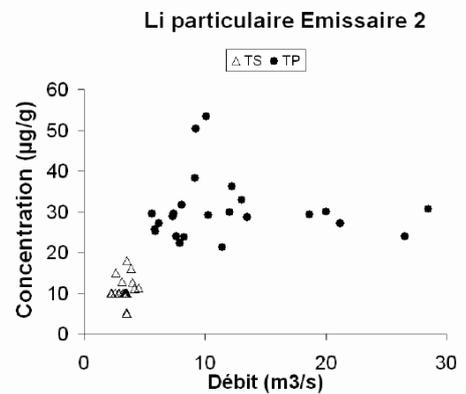
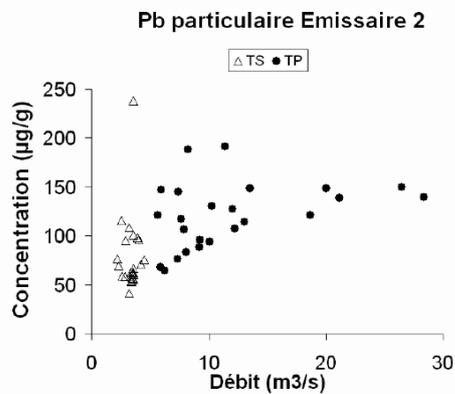
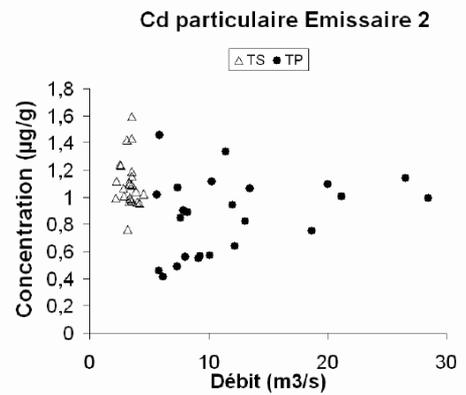
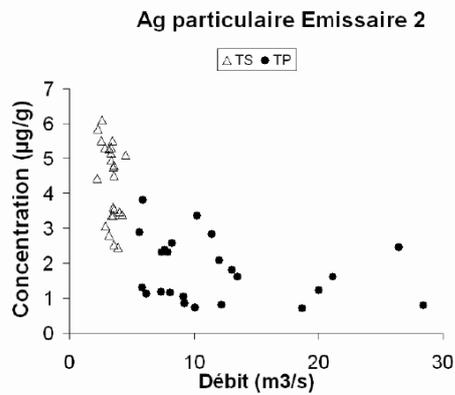
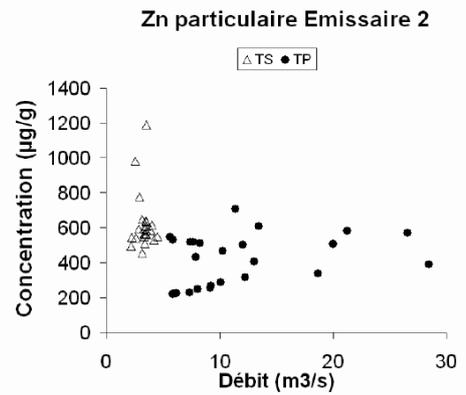
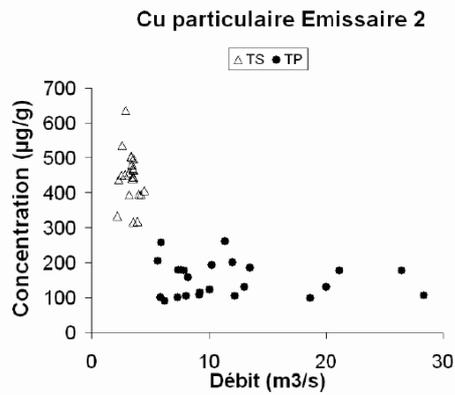
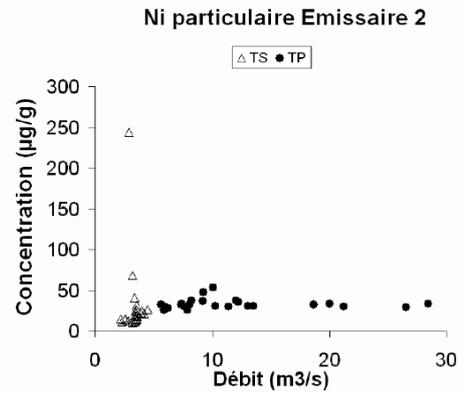
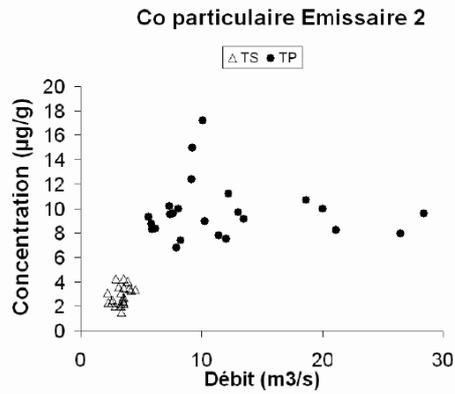


Figure 27 : Variations des concentrations en métaux particuliers dans l'Emissaire 2 en fonction du débit par temps sec TS (△) et par temps de pluie TP (●).



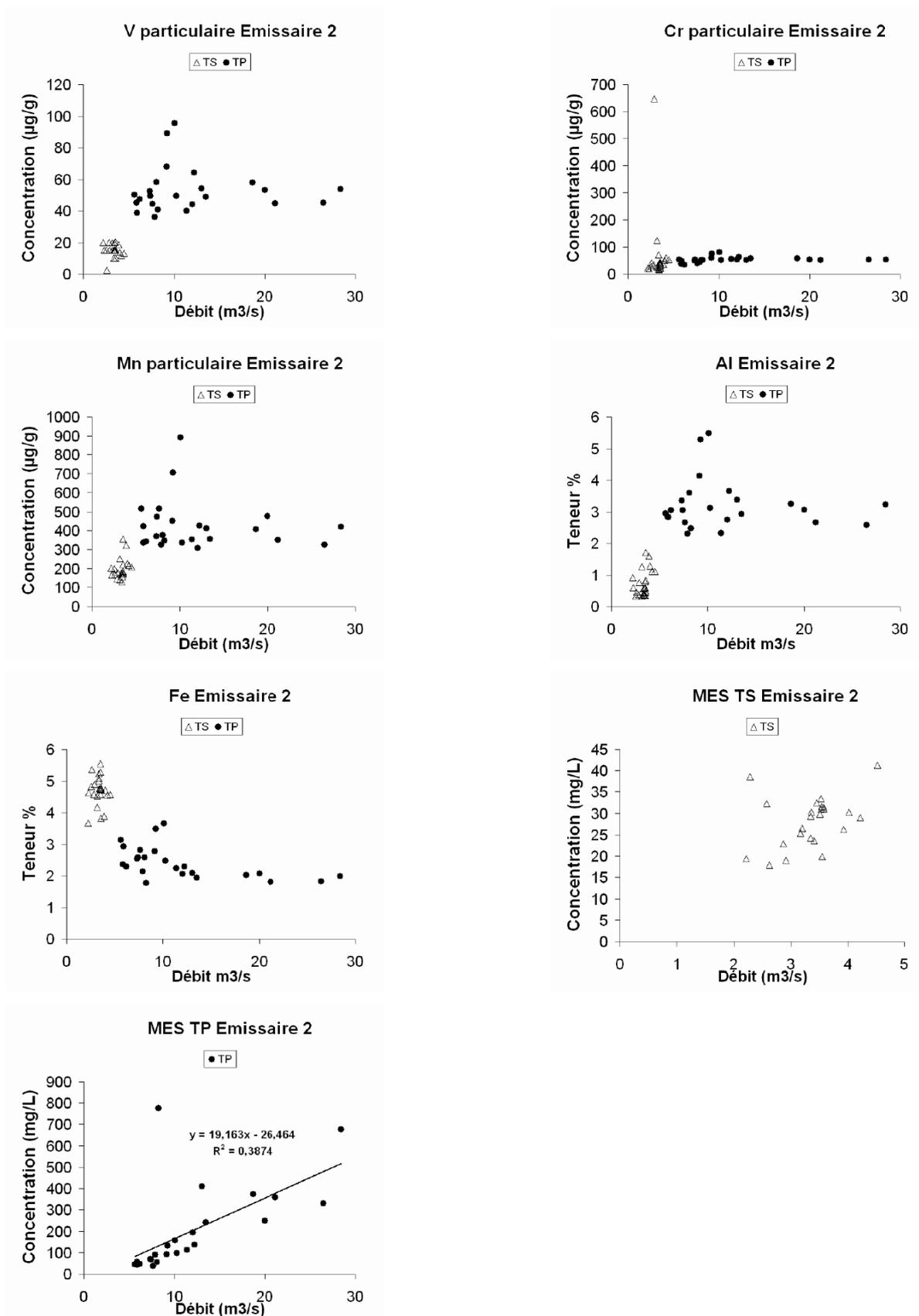


Figure 28 : SUITE - Variations des concentrations en métaux particuliers dans l'Emissaire 2 en fonction du débit par temps sec TS (Δ) et par temps de pluie TP (\bullet).



5.3. Estimations des flux

De nombreuses méthodes sont proposées dans la littérature pour déterminer les flux dans les cours d'eau à partir des concentrations et des débits (Walling et Webb, 1981 ; Meybeck *et al.*, 1996 ; Phillips *et al.*, 1999). Les méthodes d'interpolation reposent sur l'hypothèse que la concentration mesurée dans un échantillon d'eau est représentative des conditions du milieu entre deux périodes d'échantillonnage. Les méthodes d'extrapolation sont basées sur les relations entre concentrations et débits au moment de l'échantillonnage et appliquées à un enregistrement fin du débit afin d'estimer les flux pour une période d'intérêt donnée.

Dans les études environnementales de quantification des flux de contaminants dans les fleuves, la méthode généralement utilisée est celle des flux pondérés par les débits. Cette méthode consiste à multiplier la somme des flux instantanés des métaux dissous pondérée par les débits, par le volume annuel d'eau (pour les métaux particuliers il faut tenir compte de la concentration solide). Dans la présente étude, l'enregistrement détaillé du débit est connu mais l'information sur les concentrations est limitée par le faible nombre de prélèvements et des périodes d'échantillonnage trop courtes. A Marseille, la taille des bassins versants est faible ($\leq 400 \text{ km}^2$) et le régime hydrique irrégulier (les petits fleuves méditerranéens ont un flux annuel réparti sur moins de 20% du temps). Il est donc plus difficile d'appliquer des méthodes globales d'évaluation des flux (Meybeck *et al.*, 1994 ; Meybeck *et al.*, 2003).

Les travaux de Miller *et al.* (2003) dans les petits cours d'eau (bassin versant d'environ 16-200 km^2) suggèrent de distinguer les flux annuels de métaux dissous et particuliers en deux composantes liées au régime hydrique : le flux en période d'étiage et le flux en période de crue. La distinction étiage-crue repose sur un traitement numérique des valeurs de débit. Cette méthode est basée sur une solide compréhension des gammes de variation des concentrations et des facteurs de variabilité. Dans le présent travail, la compréhension des paramètres responsables de la variabilité des paramètres doit être approfondie ; elle est actuellement limitée par la qualité de la base de données : période échantillonnée courte et faible nombre de crues échantillonnées.

Toutefois, on peut estimer l'ordre de grandeur et les gammes de variation des flux de contaminants métalliques par temps sec et par temps de pluie et des contaminants organiques tous temps confondus à partir des concentrations déterminées par le présent travail. On s'appuie sur les flux annuels moyens liquides et solides obtenus auprès des gestionnaires (Tableau 22 repris du tableau 2) pour les trois cours d'eau. Pour l'Emissaire 2, le fonctionnement ayant changé en 2008-2009, nous avons recalculé les débits à partir des fichiers donnés par les gestionnaires afin d'avoir un volume d'eau annuel actualisé. A la vue de la courbe de débit de l'année 2009 (Figure 29), nous avons choisi comme critère pour le temps de pluie un débit seuil de $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Les débits inférieurs permettent le calcul du volume d'eau annuel par temps sec et le reste sert à calculer le volume d'eau annuel en temps de pluie. Les résultats sont présentés dans le Tableau 22.



| Apport | Par temps sec | | Par temps de pluie | |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | Volume moyen (m ³ /an) | Flux MES (t/an) | Volume moyen (m ³ /an) | Flux MES (t/an) |
| Huveaune seul | 54 640 500 ⁽⁴⁾ | 258 ⁽⁴⁾ | 6 312 384 ⁽⁴⁾ | 4 686 ⁽⁴⁾ |
| Jarret seul | 25 769 000 ⁽⁴⁾ | 252 ⁽⁴⁾ | 3 384 663 ⁽⁴⁾ | 1 654 ⁽⁴⁾ |
| Aygalades seul | 3 650 000 ⁽²⁾ | 131 ⁽²⁾ | 2 011 300 ⁽²⁾ | 2 770 ⁽²⁾ |
| Emissaire 1 et 2 (assainissement et pluvial) | 122 100 636 | 2 453 | 25 988 396 | 4 335 |

Tableau 22: Volumes annuels et flux de MES par temps sec et temps de pluie dans les Aygalades, le Jarret, l'Huveaune, l'Emissaire 2. Source des données (d'après tableau 2) : (2) Le Masson (1995), (4) Le Masson (1998).

Les flux minimum, maximum et moyens sont représentés de la Figure 30 à la Figure 40 pour les principaux cours d'eau et l'Emissaire 2, par temps sec et temps de pluie. Pour les flux dissous par temps de pluie, on a fait l'hypothèse que les concentrations obtenues dans l'Emissaire 2 sont représentatives des apports dans la Calanque de Cortiou (émissaires 1 et 2).

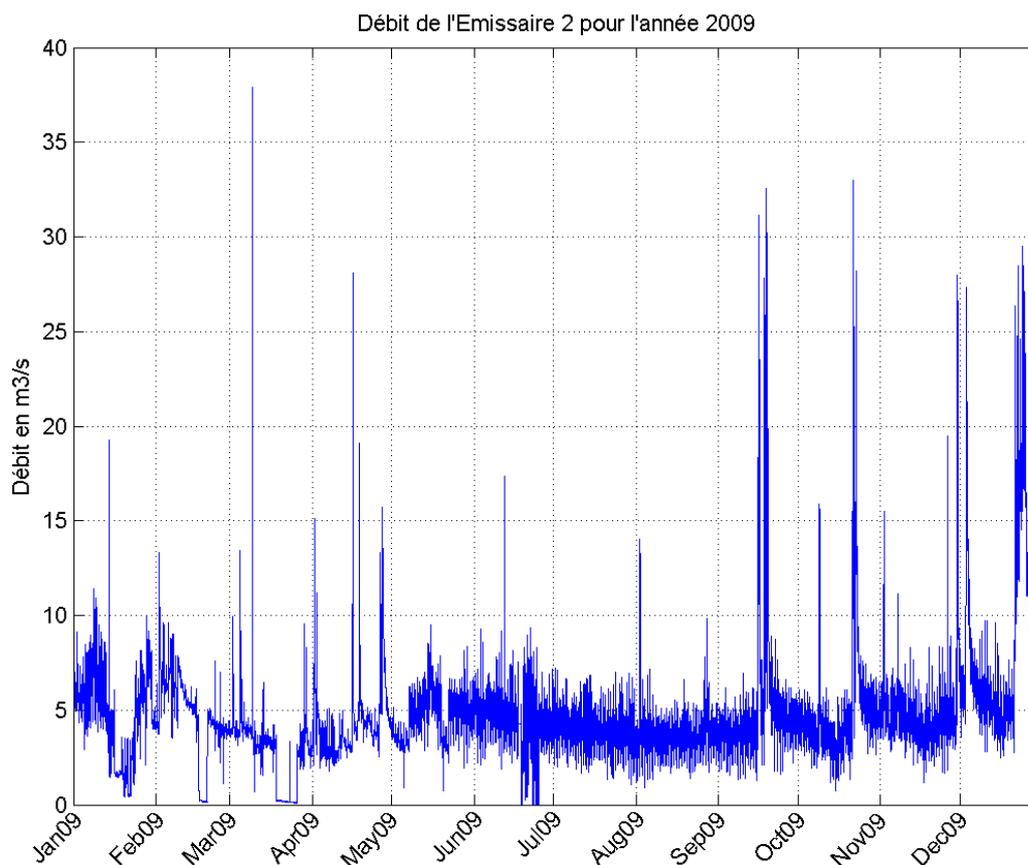


Figure 29 : Débit de l'Emissaire 2 pour l'année 2009. Source : DEA



5.3.1. Contaminants organiques

Pour les composés organiques, les mesures ont été faites avec des membranes pour le dissous et avec des pièges à sédiments pour le particulaire. Les périodes échantillonnées sont souvent longues et mélangent des périodes de temps secs avec des périodes de temps de pluie. Nous avons donc décidé de ne pas distinguer le temps sec du temps de pluie : en effet, les différences qui seraient observées ne seraient liées qu'à la différence de volume d'eau relative aux différentes périodes.

a. Pour les HAP

Pour le dissous (Figure 30 et Figure 31), n'ont pas été détectés l'acénaphthylène, l'acénaphthène, l'anthracène, le pyrène, le benz(a)anthracène, le benzo(k)fluorantène, le benzo(a)pyrène et le dibenzo(a)anthracène. Les valeurs observées sur les courbes sont les valeurs de flux correspondant aux concentrations limites (moitié de la limite de détection). Pour les autres HAP, l'Emissaire 2 constitue la source majeure de polluant en terme de flux. L'Emissaire 2 domine assez nettement tous les autres rejets sauf pour le Fluorène dont le flux est assez proche de celui de l'Huveaune (environ 2,3 kg/an).

Pour l'acénaphthène, le fluorène et le benz(a)anthracène, on peut observer une forte variabilité sur les valeurs de l'Huveaune et/ou du Jarret (la valeur maximale pouvant aller jusqu'à 10 fois la valeur moyenne; pour l'Huveaune : moyenne à 115 g/an et maximum à 500 pour le premier composé, 2337 g/an et environ 27 000 g/an pour le fluorène et 39 g/an et 350 g/an pour le dernier composé).

L'acénaphthylène, l'anthracène, le benzo(bj)fluorantène, le benzo(k)fluorantène, le benzo(a)pyrène, l'indeno(1,2,3-cd)pyrène, le benzo(ghi)perylène et le dibenzo(ah)anthracène n'ont pas été détectés dans les Aygalades, le flux est donc calculé avec la concentration limites (moitié de la limite de détection).



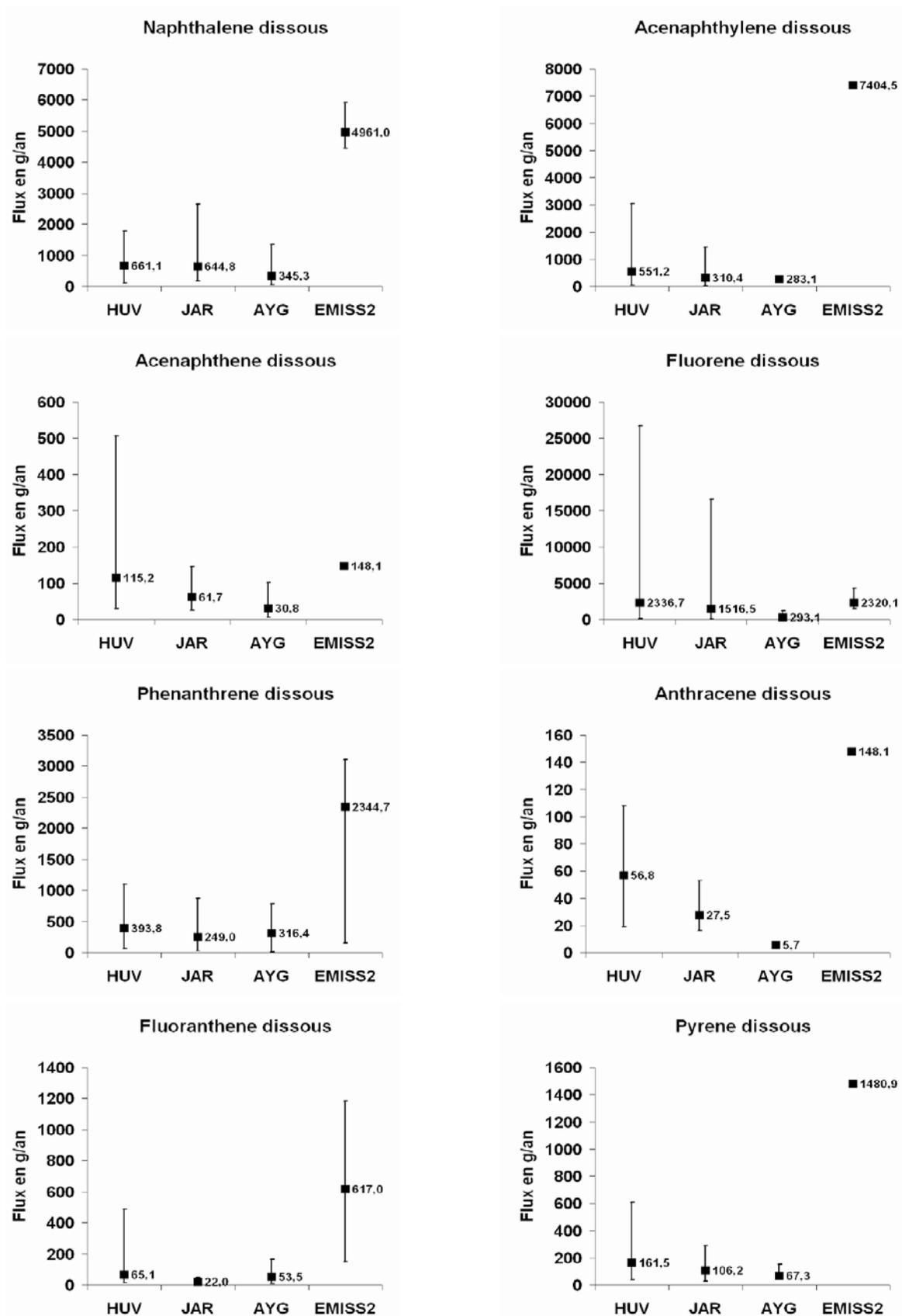


Figure 30 : Flux de HAP dissous dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).



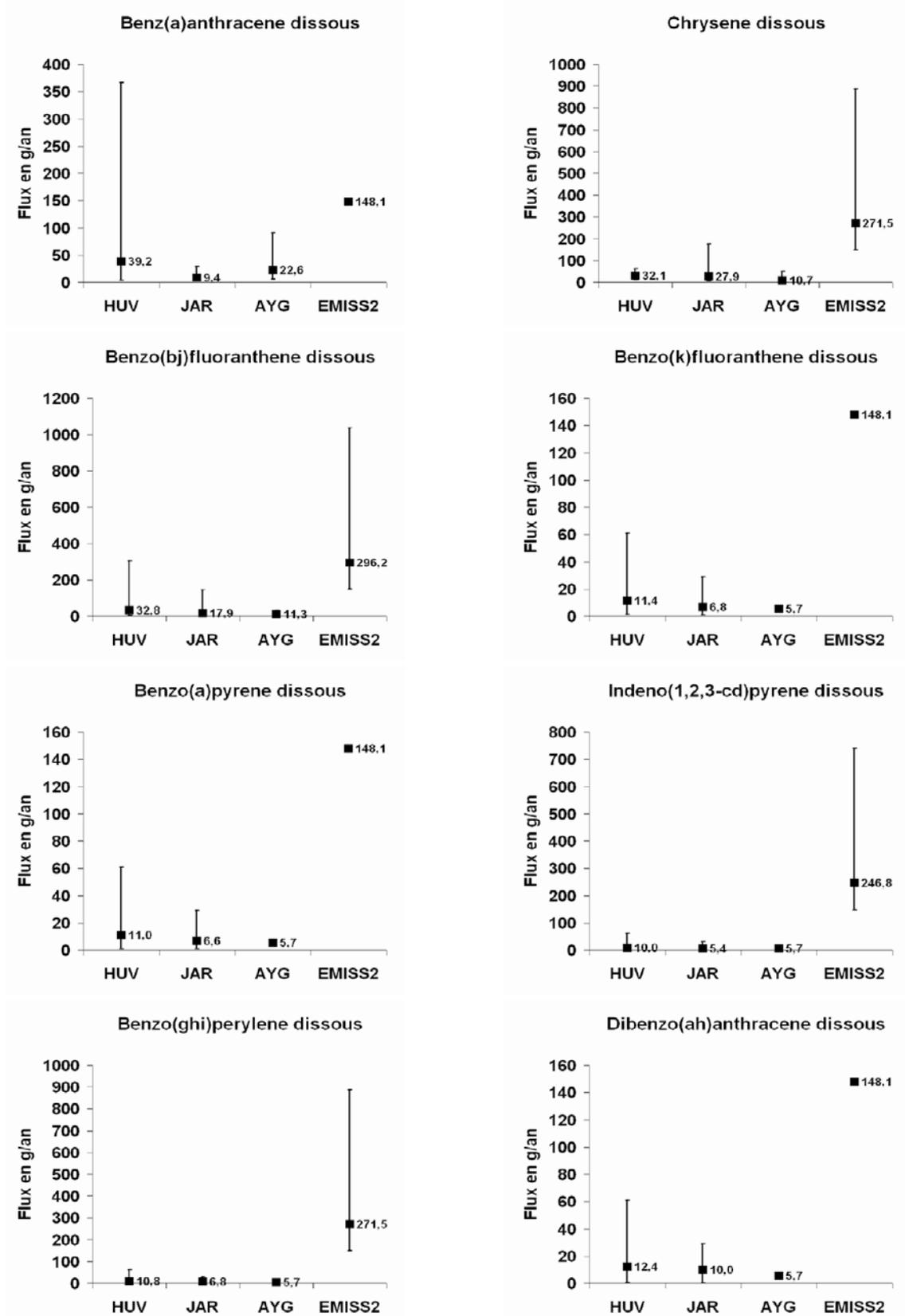


Figure 31 : SUITE - Flux de HAP dissous dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).



Pour le particulaire (Figure 32 et Figure 33), certains composés n'ont pas été détectés dans l'Huveaune et le Jarret (voir partie précédente sur les concentrations) et donnent donc des flux faibles correspondant au produit du volume d'eau annuel et de la moitié de la limite de détection de la concentration.

L'acénaphthylène n'a été détecté dans aucun des rejets. Dans l'ensemble, on note que les flux sont plus importants dans les Aygalades et dans l'Emissaire 2 pour tous les composés (par exemple, pyrène 0.3 kg/an, anthracène 15 g/an, Indeno(1,2,3-cd)pyrène 150 g/an) sauf pour le naphthalène, l'acénaphthylène, l'acénaphthène et le fluorène.

De plus, dans les autres rejets, la variabilité des mesures est relativement forte entre la valeur moyenne et le maximum (autour d'un facteur 5 ou 6 pour les Aygalades et d'un facteur 3 ou 4 pour l'Emissaire 2).



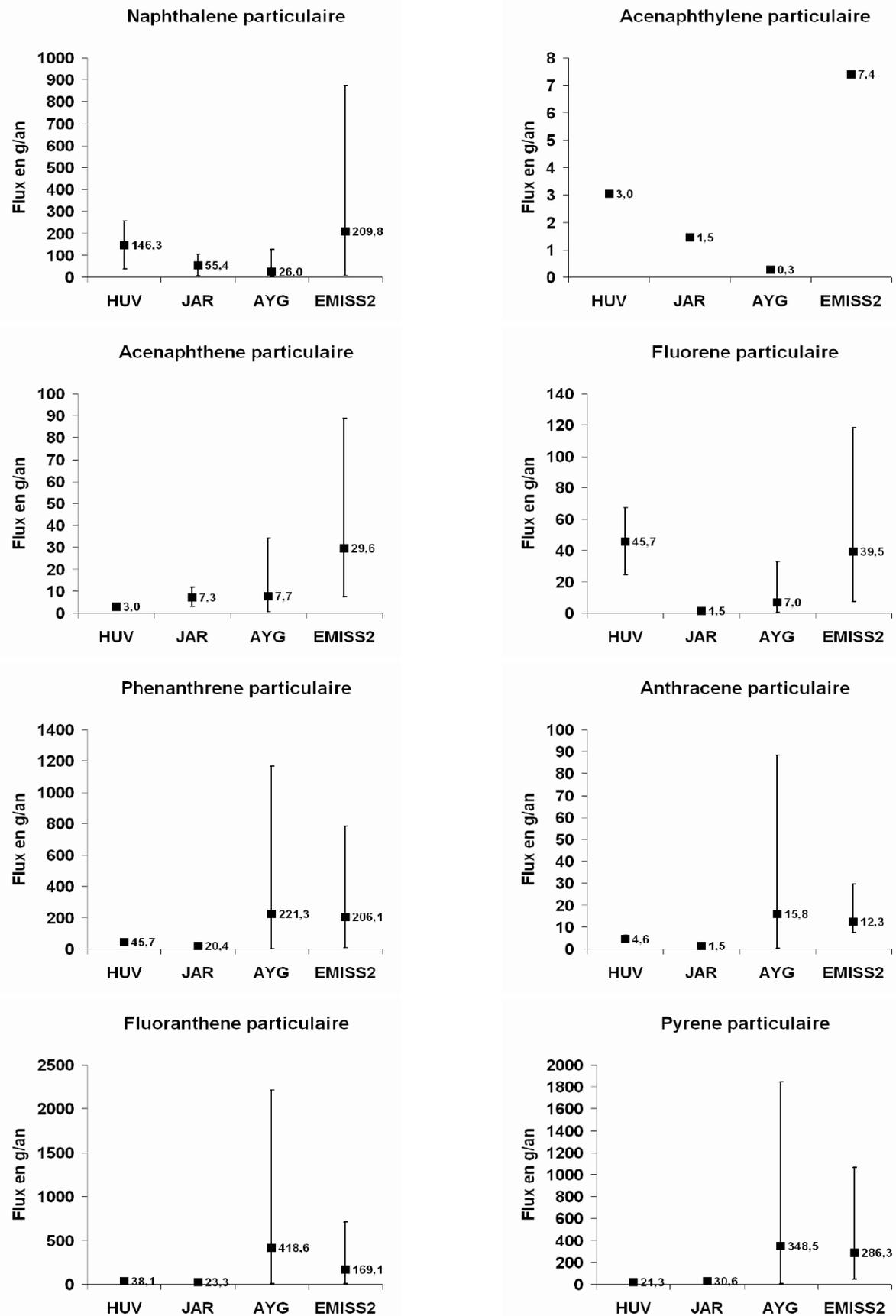


Figure 32 : Flux de HAP particulaire dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).



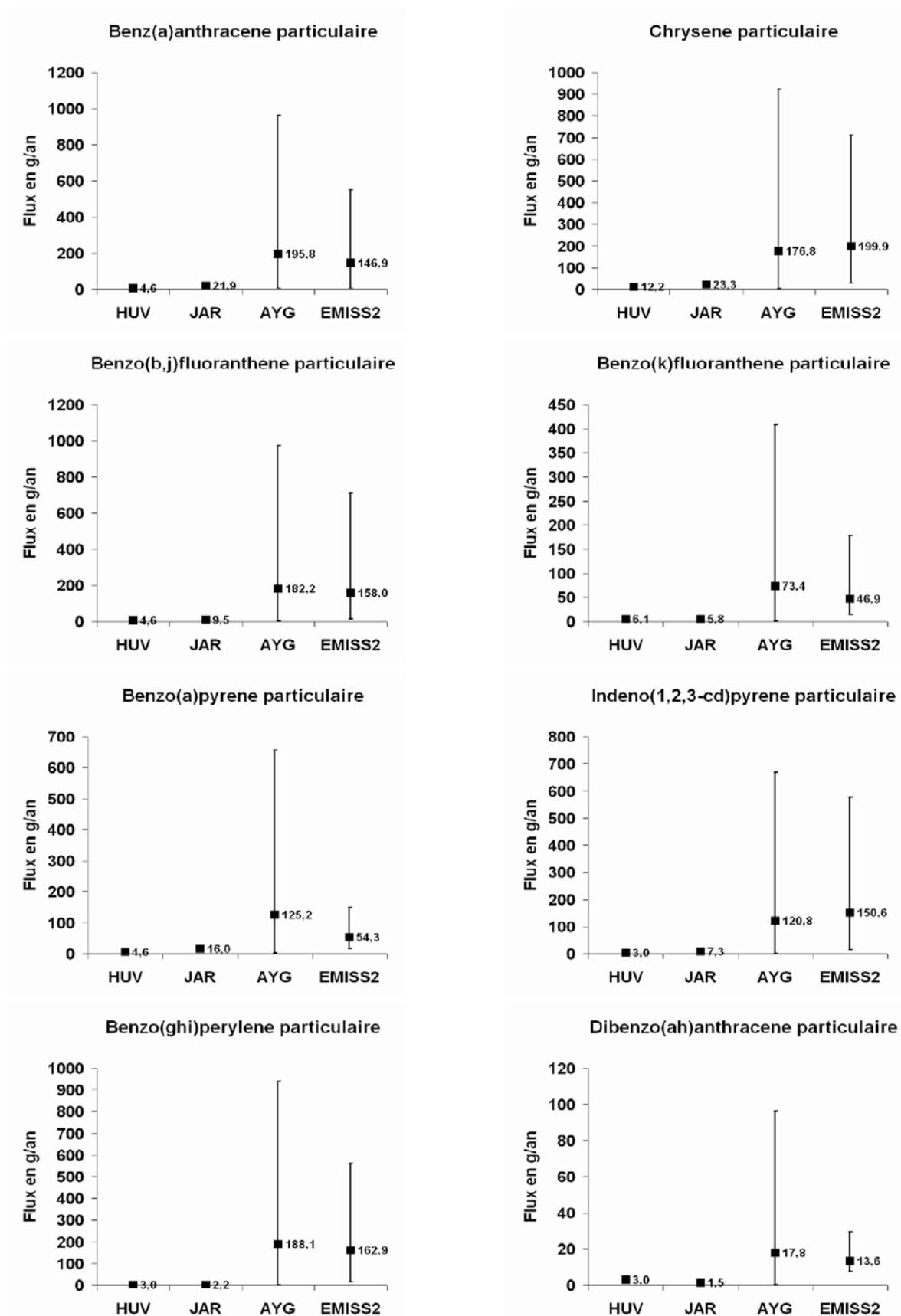


Figure 33 : SUITE - Flux de HAP particulaire dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).



b. Pour les PCB

Pour les PCB dissous (Figure 34), l'Emissaire 2 constitue la principale source de rejet : pour les PCB 28, 52 et 180, l'Emissaire 2 présente respectivement des flux de 174 g/an, 131 g/an et 75 g/an contre des valeurs <10 pour l'Huveaune, le Jarret et les Aygalades ; pour les PCB 101, 118, 138 et 153 les valeurs de flux de l'Emissaire 2 sont respectivement de 862 g/an, 21 g/an, 40 g/an et 55 g/an contre des valeurs <5 g/an pour les rejets fluviaux.

Le Jarret présente aussi un flux notable de PCB 180 avec 9 g/an en moyenne mais avec un maximum d'environ 90 g/an.

Pour le particulaire (Figure 35), les Aygalades et l'Emissaire 2 sont tous deux sources de contamination.

Pour les PCB 138, 153 et 180, les valeurs de flux de l'Emissaire 2 et des Aygalades sont comprises entre 20 et 40 g/an. On observe aussi une forte variabilité pour les Aygalades puisque le flux maximum pour ces trois PCB monte autour de 100 g/an. Les valeurs de l'Huveaune et du Jarret restent inférieures à 7 g/an.



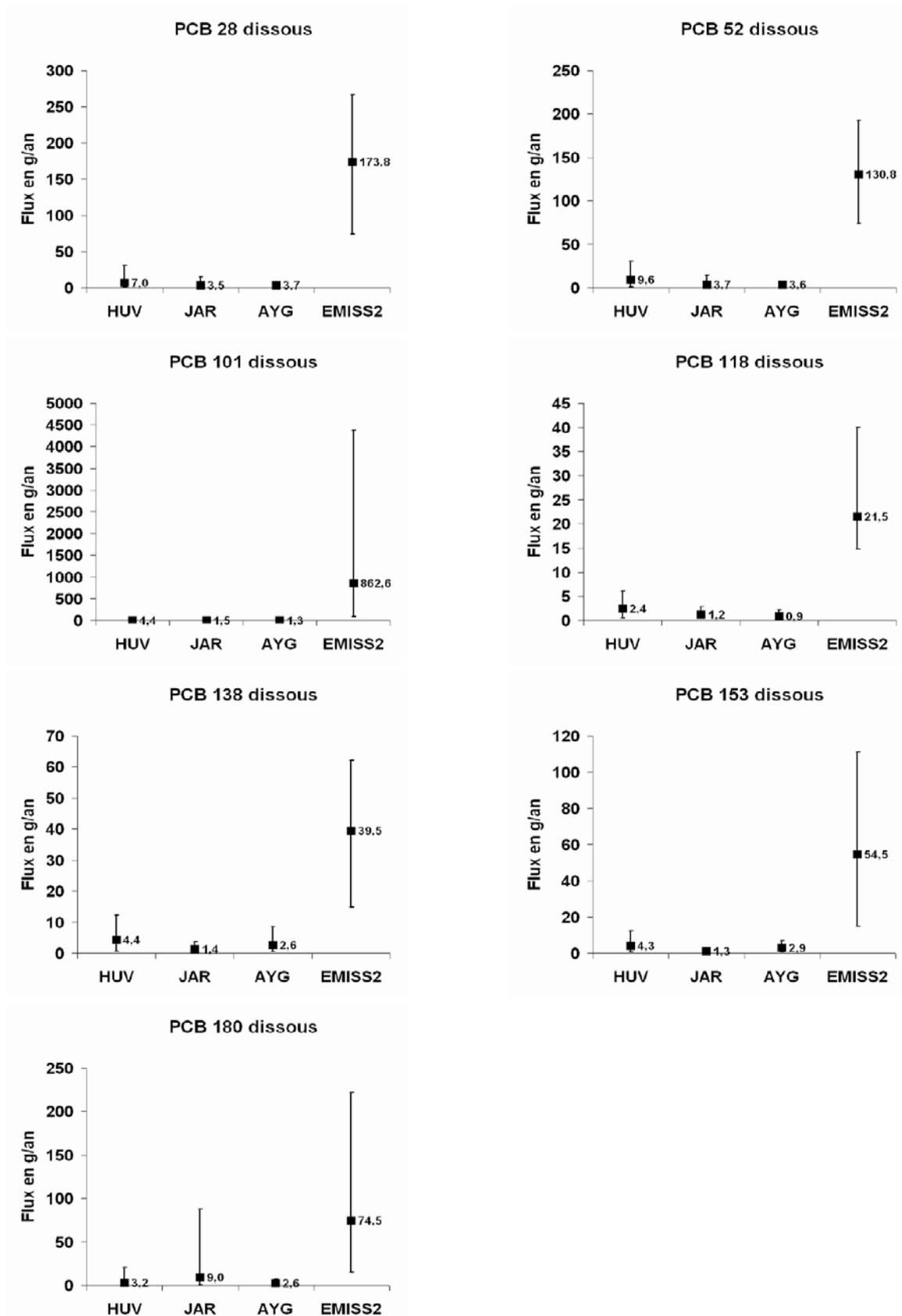


Figure 34 : Flux de PCB dissous dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).



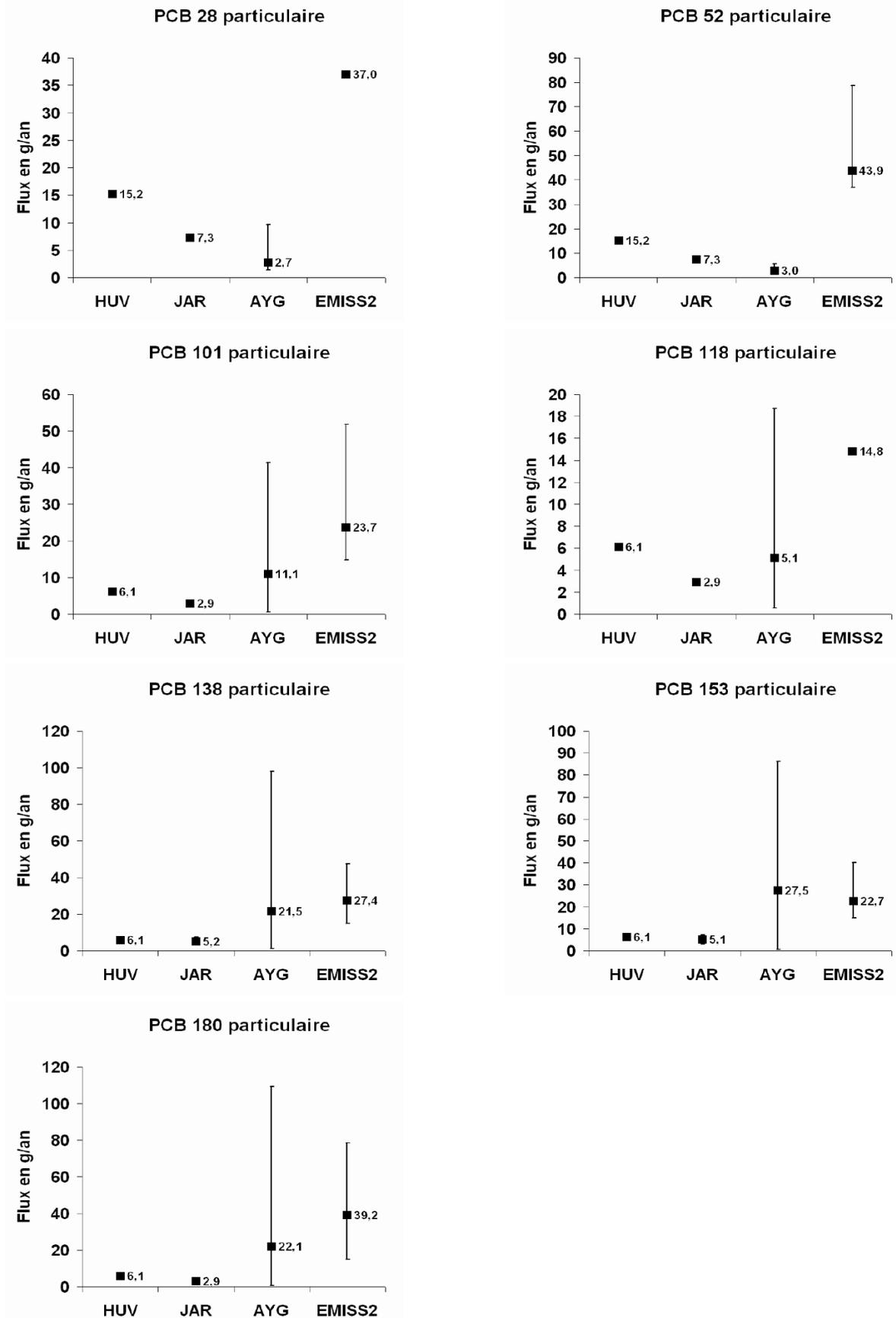


Figure 35 : Flux de PCB particulaire dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).



c. Pour les PBDE

Pour le dissous (Figure 36), on rappelle que le BDE 209 n'a été détecté dans aucun des rejets, les valeurs de flux présentées dans la figure suivante sont donc les valeurs données par la moitié de la limite de détection de la concentration. Les BDE 47 et 99 sont principalement rejetés par l'Huveaune (respectivement, 55 g/an et 59 g/an) et les Aygalades (resp. 41 et 39 g/an), il n'est pas détecté dans l'Emissaire 2.

Le BDE 153 est, lui, rejeté plutôt par l'Emissaire 2 (585 g/an). Quant au BDE 100, il n'a pas été détecté dans l'Emissaire 2 mais les valeurs de flux dans l'Huveaune, le Jarret et les Aygalades donnent des valeurs inférieures à 10 g/an.

Pour le particulaire (Figure 37), les PBDE n'ont pas été détectés dans l'Emissaire 2 et dans les Aygalades. Les valeurs de ces deux rejets correspondent donc au flux donné par la moitié de la valeur limite de concentration. Il a été détecté des PBDE dans l'Huveaune et le Jarret mais les valeurs obtenues sont faibles devant les valeurs limites de l'Emissaire 2.



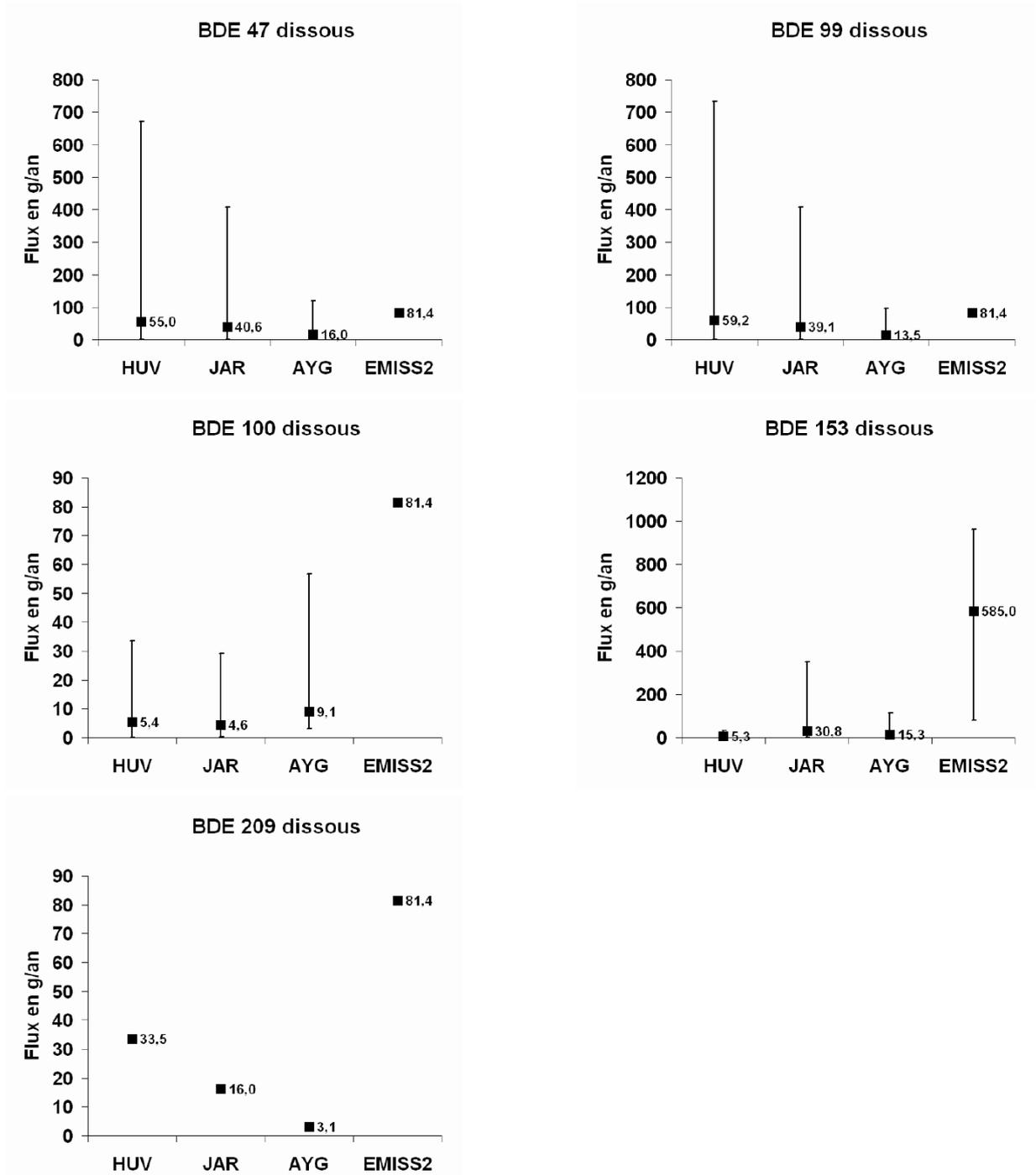


Figure 36 : Flux de PBDE dissous dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).

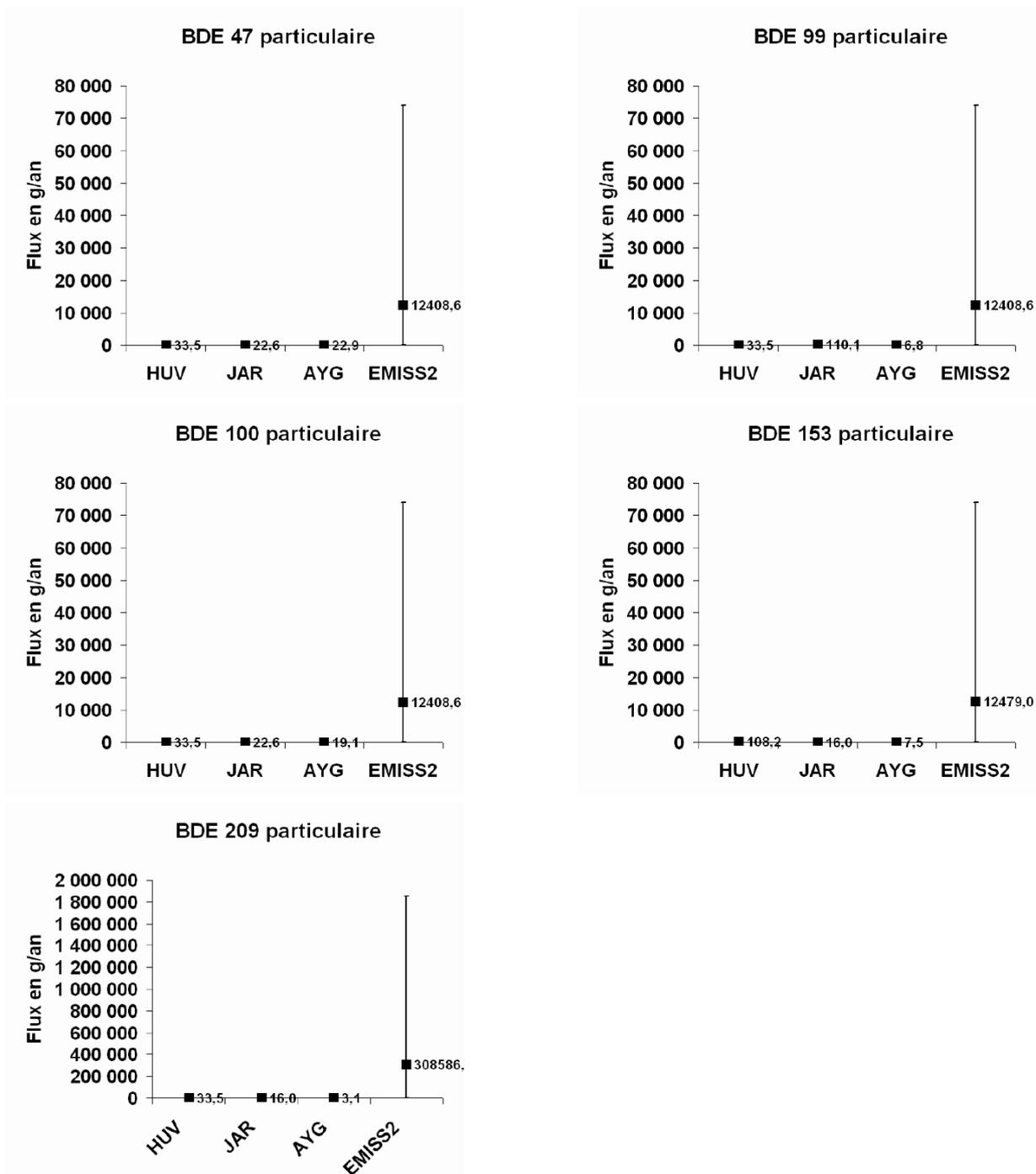


Figure 37 : Flux de PBDE particulaire dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).



5.3.2. Contaminants métalliques

Pour les flux dissous (Figure 38), l'Emissaire 2 constitue la principale source de contamination métallique par temps sec (pour tous les contaminants). L'Huveaune est la seconde source de contamination en temps sec. Par temps de pluie, les sources de contamination deviennent multiples. L'Emissaire 2 reste la source polluante majeure même si le flux de contaminant est inférieur à celui par temps sec. Pour le Zn et le Cu, les valeurs de l'Emissaire 2 (TP), respectivement 390 et 0.5 kg/an sont supérieures à tous les autres rejets tout temps confondu. On peut noter que le flux de Pb est très présent dans tous les rejets sauf dans le Jarret en temps de pluie.

Pour les flux particulaires (Figure 39 et Figure 40), l'Emissaire 2 reste la principale source de contamination. Cette fois par contre, il est plus polluant par temps de pluie que par temps sec sauf pour Cu (respectivement 762 et 1538 kg/an), Ag (8.7 et 15.1 kg/an) et Hg calculé (0.3 et 2.3 kg/an). Les valeurs de temps sec de l'Emissaire 2 sont supérieures aux valeurs des autres rejets tout temps confondu pour Ni (94 kg/an), Zn (2144 kg/an), Cr (193 kg/an), Cd (3.8 kg/an) et Pb (272 kg/an). Par rapport au dissous, les valeurs de flux de l'Emissaire 2 sont nettement plus proches des valeurs des flux des autres rejets.

L'Huveaune constitue aussi un contributeur important en temps sec et en temps de pluie. Les Aygalades sont surtout contributrices en temps sec pour le Co, le Ni, le Zn, le Cd et le Pb.



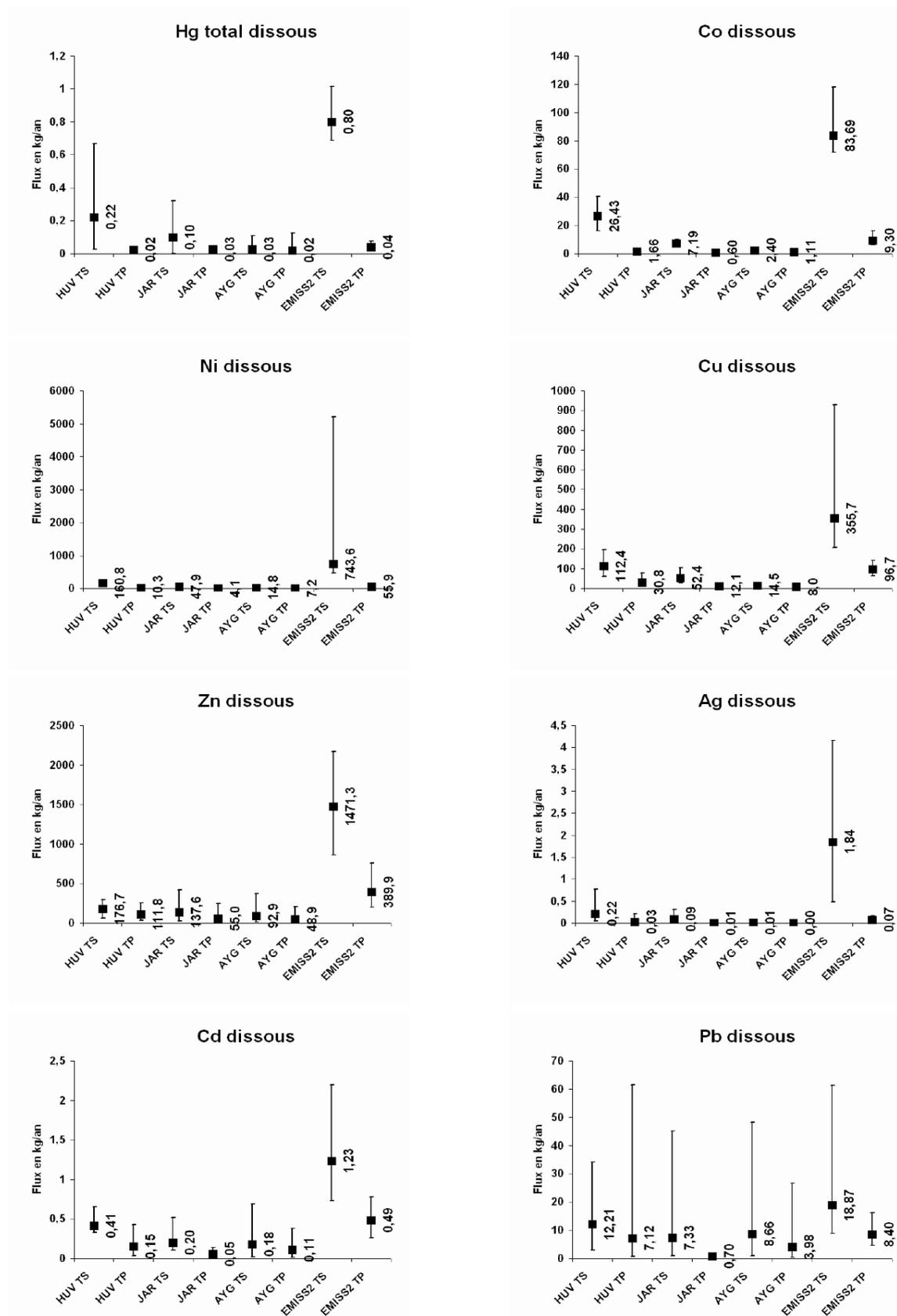


Figure 38 : Flux de métaux dissous dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Ayalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2), par temps sec (TS) et par temps de pluie (TP). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I)

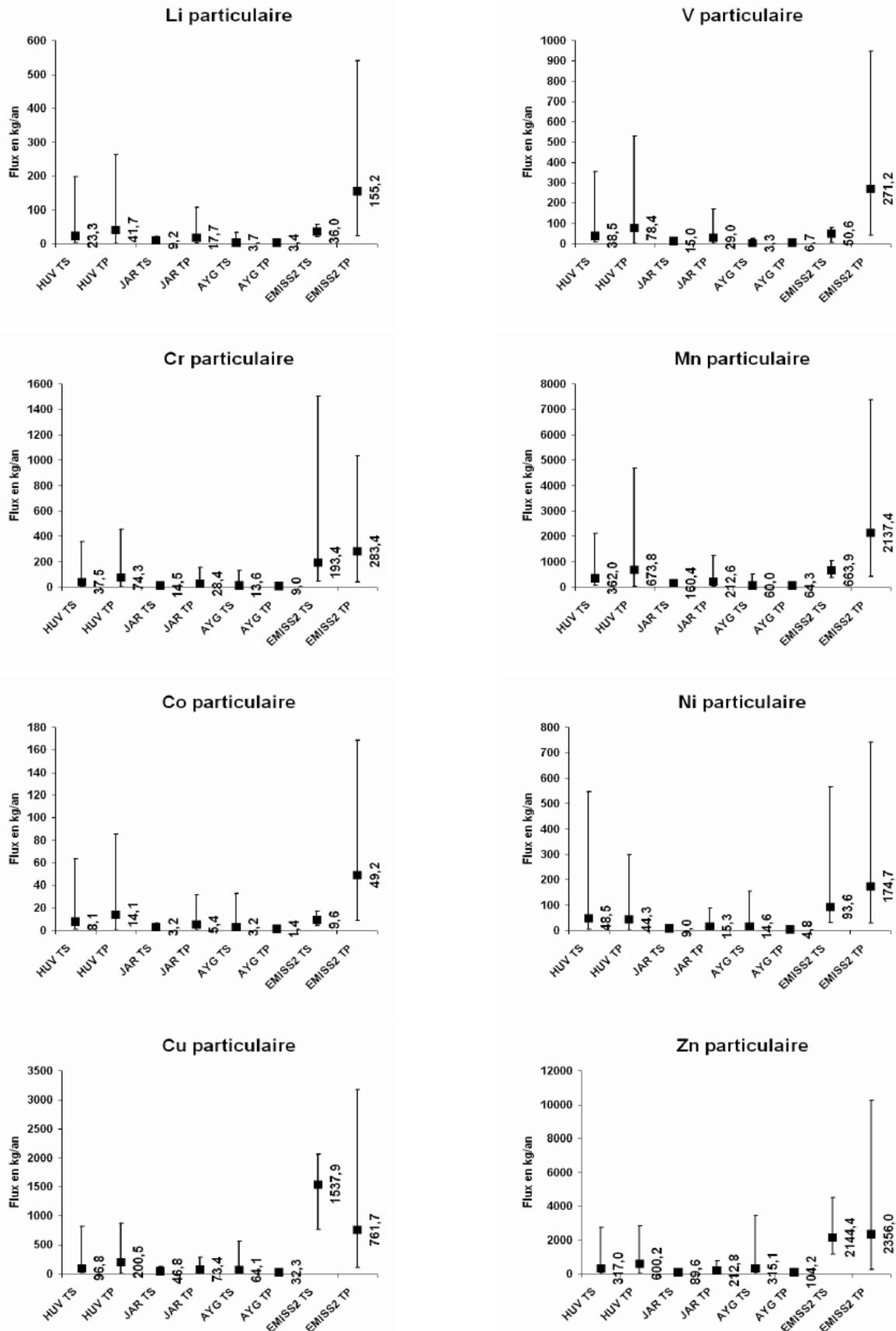


Figure 39 : Flux de métaux particulaire dans l'Huveane (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2), par temps sec (TS) et par temps de pluie (TP). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum



minimum (I).



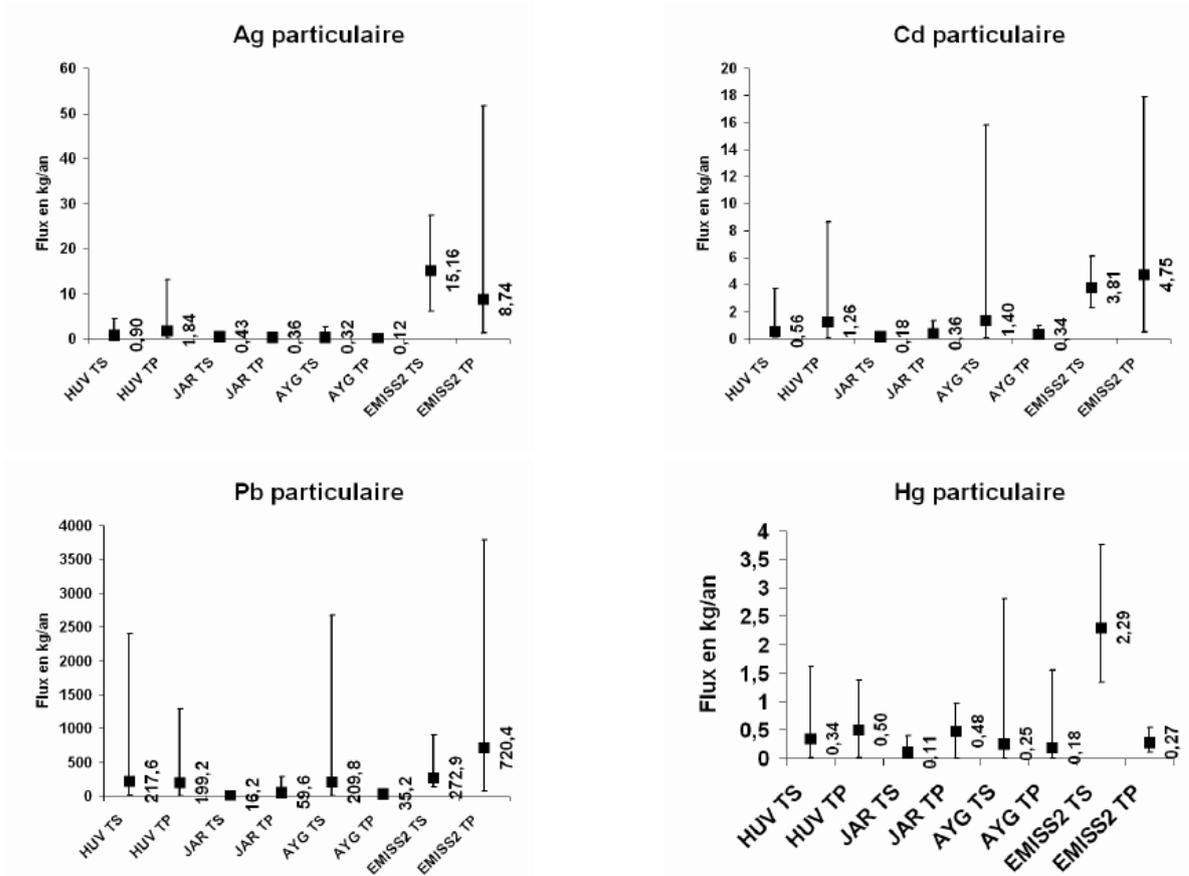


Figure 40 : SUITE - Flux de métaux particulaire dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2), par temps sec (TS) et par temps de pluie (TP). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).

5.3.3. Cas particuliers des déversoirs d'orage et des torrents

Les déversoirs d'orage et les torrents n'ont fait l'objet que d'une mesure chacun par temps de pluie. Nous n'avons cependant pas de débits associés à toutes les mesures pour plusieurs raisons : pour le DO Catalans par exemple nous ne connaissons pas l'exutoire précis donc nous ne savons à quelle station nous référer pour le débit (même chose pour le torrent du Farenc). L'autre cas est lorsque nous avons le fichier de débit mais que la date de la mesure (qui a été faite en temps de pluie) correspond à une plage de $0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ autour de la date qui nous intéresse dans le fichier de débit. Nous ne savons pas s'il s'agit d'une erreur du capteur ou du fait que la pluie n'était pas assez forte. Il nous semble intéressant, si d'autres mesures doivent être faites dans l'avenir de réaliser une mesure du débit conjointement aux prélèvements.

Pour les DO et les torrents dont nous avons les fichiers de mesures de débits, nous allons donner un flux indicatif en fonction du volume d'eau annuel que nous avons tiré des fichiers de débits sur la période 2007-2010.

Le Tableau 23 récapitule les volumes d'eau annuels et les flux de MES associés des DO et des torrents.

| | Volume d'eau annuel m^3/an | Flux MES (t/an) |
|----------------------|--------------------------------------------|-----------------|
| DO PRADO | 372 905 | 56 |
| DO MON et CAN | 60 580 | 9 |
| BONNEVEINE | 923 817 | 46 |
| PELOUQUE | 1 721 505 | 801 |

Tableau 23: Volumes annuels et flux de MES dans les déversoirs d'orage du Prado (PRA), de Montricher (MON) et de Canebière (CAN) et les torrents Bonneveine et Pelouque.

Bien que les concentrations dans les DO et les torrents soient souvent fortes (voir la partie concentration), les flux restent nettement inférieurs aux flux des rejets fluviaux et urbains en raison du faible volume d'eau (relatif aux autres rejets) qui transite (cf. tableaux 24 à 27).

On note quand même que certains flux atteignent les flux les plus bas des rejets fluviaux, notamment le torrent de Pelouque pour les métaux :

- Cu dissous : 13 kg/an à Pelouque alors qu'on a un flux de 8 kg/an aux Aygalades TP et 12.1 kg/an pour le Jarret.
- Zn dissous : 51 kg/an à Pelouque contre 49 kg/an pour les Aygalades TP.
- Pb dissous : 0.81 kg/an à Pelouque contre 0.70 kg/an pour le Jarret TP.
- Li particulière : 4.7 kg/an à Pelouque contre respectivement 3.7 et 3.4 kg/an pour les Aygalades TS et TP.
- V particulière : 8.4 kg/an à Pelouque contre respectivement 3.3 et 6.7 kg/an pour les Aygalades TS et TP.
- Mn particulière : 81 kg/an à Pelouque contre respectivement 60 et 64 kg/an pour les Aygalades TS et TP.
- Co particulière : 1.6 kg/an à Pelouque contre respectivement 1.4 pour les Aygalades TP.



De même, le déversoir d'orage du Prado pour les organiques (et le torrent de Boneveine, pour une valeur) montre des flux atteignant les flux des plus bas des rejets fluviaux :

- Fluorène dissous : 633 g/an à Bonneveine contre 293 g/an pour les Aygalades.
- Fluoranthène dissous : 58 g/an au Prado contre 22 g/an et 54 g/an respectivement pour le Jarret et les Aygalades.
- Chrysène dissous : 10.8 g/an au Prado contre 10.7 g/an pour les Aygalades.
- PCB 138 dissous : 5.8 g/an au Prado contre 4.4, 1.4 et 2.6 g/an respectivement dans l'Huveaune, le Jarret et les Aygalades.
- PCB 180 dissous : 3.8 g/an au Prado contre 3.2 g/an et 2.6 g/an pour l'Huveaune et les Aygalades.

Pour les deux composés suivants, la valeur du déversoir d'orage du Prado s'approche de celles de rejets fluviaux les moins forts sans pour autant les dépasser :

- Benz(a)anthracène dissous : 8.6 g/an au Prado contre 9.4 g/an pour le Jarret.
- Benzo(bj)fluoranthène dissous : 10.8 g/an au Prado contre 11.3 aux Aygalades.



| | Site | Flux HAP dissous en g/an | Flux HAP particulaire en g/an | | Site | Flux HAP dissous en g/an | Flux HAP particulaire en g/an |
|----------------|------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------|--------------------------|-------------------------------|
| Naphthalene | PRA | 38,78 | 1,79 | Benzo(a) anthracene | PRA | 8,58 | 1,16 |
| | MON | 11,51 | 0,05 | | MON | 0,06 | 0,34 |
| | CAN | 6,36 | 0,06 | | CAN | 0,06 | 0,42 |
| | Bonneveine | 65,59 | 1,48 | | Bonneveine | 0,92 | 1,02 |
| | Pelouque | - | 1,89 | | Pelouque | - | 1,03 |
| Acenaphthylene | PRA | 18,65 | 0,019 | Chrysene | PRA | 10,81 | 1,49 |
| | MON | 3,03 | 0,003 | | MON | 0,06 | 0,26 |
| | CAN | 3,03 | 0,003 | | CAN | 0,06 | 0,4 |
| | Bonneveine | 46,19 | 0,046 | | Bonneveine | 0,92 | 1,02 |
| | Pelouque | - | 0,086 | | Pelouque | - | 1,21 |
| Acenaphthene | PRA | 0,37 | 0,019 | Benzo(b+h) fluoranthene | PRA | 10,81 | 1,6 |
| | MON | 1,45 | 0,03 | | MON | 0,06 | 0,21 |
| | CAN | 0,06 | 0,003 | | CAN | 0,06 | 0,55 |
| | Bonneveine | 0,92 | 0,046 | | Bonneveine | 0,92 | 1,11 |
| | Pelouque | - | 0,344 | | Pelouque | - | 1,55 |
| Fluorene | PRA | 3,73 | 0,02 | Benzo(k) fluoranthene | PRA | 3,73 | 0,56 |
| | MON | 5,82 | 0 | | MON | 0,06 | 0,08 |
| | CAN | 6,06 | 0,04 | | CAN | 0,06 | 0,22 |
| | Bonneveine | 633,74 | 0,05 | | Bonneveine | 0,92 | 0,46 |
| | Pelouque | - | 0,86 | | Pelouque | - | 0,69 |
| Phenanthrene | PRA | 50,72 | 3,88 | Benzo(a) pyrene | PRA | 4,85 | 0,37 |
| | MON | 19,69 | 0,53 | | MON | 0,06 | 0,06 |
| | CAN | 3,57 | 3,51 | | CAN | 0,06 | 0,39 |
| | Bonneveine | 69,29 | 1,02 | | Bonneveine | 0,92 | 0,92 |
| | Pelouque | - | 2,24 | | Pelouque | - | 1,03 |
| Anthracene | PRA | 0,37 | 0,019 | Indeno(123cd) pyrene | PRA | 3,73 | 0,37 |
| | MON | 0,06 | 0,036 | | MON | 0,06 | 0,06 |
| | CAN | 0,06 | 0,042 | | CAN | 0,06 | 0,35 |
| | Bonneveine | 0,92 | 0,092 | | Bonneveine | 0,92 | 0,83 |
| | Pelouque | - | 0,086 | | Pelouque | - | 1,03 |
| Fluoranthene | PRA | 58,17 | 6,6 | Benzo(ghi) perylene | PRA | 4,85 | 2,39 |
| | MON | 0,91 | 0,56 | | MON | 0,06 | 0,06 |
| | CAN | 1,09 | 0,81 | | CAN | 0,06 | 0,32 |
| | Bonneveine | 8,31 | 0,92 | | Bonneveine | 0,92 | 0,37 |
| | Pelouque | - | 2,41 | | Pelouque | - | 0,69 |
| Pyrene | PRA | 37,29 | 4,47 | Dibenz(ah) anthracene | PRA | 0,37 | 0,0186 |
| | MON | 0,61 | 0,51 | | MON | 0,06 | 0,003 |
| | CAN | 0,61 | 0,65 | | CAN | 0,06 | 0,0182 |
| | Bonneveine | 9,24 | 1,39 | | Bonneveine | 0,92 | 0,0462 |
| | Pelouque | - | 2,93 | | Pelouque | - | 0,0861 |

Tableau 24: Flux pour les HAP dissous et particuliers dans les déversoirs d'orage du Prado (PRA), de Montricher (MON) et de Canebière (CAN) et les torrents Bonneveine et Pelouque.



| | Site | Flux PCB dissous en g/an | Flux PCB particulaire en g/an | | Site | Flux PCB dissous en g/an | Flux PCB particulaire en g/an |
|---------|------------|--------------------------|-------------------------------|---------|------------|--------------------------|-------------------------------|
| PCB 28 | PRA | 0,19 | 0,093 | PCB 138 | PRA | 5,82 | 0,559 |
| | MON | 0,03 | 0,032 | | MON | 0,11 | 0,025 |
| | CAN | 0,03 | 0,015 | | CAN | 0,01 | 0,006 |
| | Bonneveine | 0,46 | 0,231 | | Bonneveine | 0,28 | 0,092 |
| | Pelouque | - | 0,43 | | Pelouque | - | 0,585 |
| PCB 52 | PRA | 0,19 | 0,093 | PCB 153 | PRA | 1,83 | 0,373 |
| | MON | 0,11 | 0,041 | | MON | 0,19 | 0,026 |
| | CAN | 0,03 | 0,015 | | CAN | 0,01 | 0,006 |
| | Bonneveine | 0,46 | 0,231 | | Bonneveine | 0,32 | 0,092 |
| | Pelouque | - | 0,43 | | Pelouque | - | 0,603 |
| PCB 101 | PRA | 0,15 | 0,343 | PCB 180 | PRA | 3,28 | 0,485 |
| | MON | 0,12 | 0,038 | | MON | 0,18 | 0,008 |
| | CAN | 0,01 | 0,015 | | CAN | 0,04 | 0,006 |
| | Bonneveine | 0,18 | 0,092 | | Bonneveine | 0,64 | 0,092 |
| | Pelouque | - | 0,706 | | Pelouque | - | 0,172 |
| PCB 118 | PRA | 0,23 | 0,119 | | | | |
| | MON | 0,22 | 0,023 | | | | |
| | CAN | 0,01 | 0,006 | | | | |
| | Bonneveine | 0,33 | 0,092 | | | | |
| | Pelouque | - | 0,379 | | | | |

Tableau 25: Flux pour les PCB dissous et particulaires dans les déversoirs d'orage du Prado (PRA), de Montricher (MON) et de Canebière (CAN) et les torrents Bonneveine et Pelouque.

| | Site | Flux PBDE dissous en g/an | Flux PBDE particulaire en g/an | | Site | Flux PBDE dissous en g/an | Flux PBDE particulaire en g/an |
|---------|------------|---------------------------|--------------------------------|---------|------------|---------------------------|--------------------------------|
| BDE 47 | PRA | 0,21 | 0,21 | BDE 153 | PRA | 0,21 | 0,21 |
| | MON | 0,03 | 0,03 | | MON | 0,03 | 0,03 |
| | CAN | 0,03 | 0,03 | | CAN | 0,03 | 0,03 |
| | Bonneveine | 0,51 | 0,51 | | Bonneveine | 0,51 | 0,51 |
| | Pelouque | - | 0,95 | | Pelouque | - | 0,95 |
| BDE 99 | PRA | 0,21 | 0,21 | BDE 209 | PRA | 0,21 | 0,21 |
| | MON | 0,03 | 0,03 | | MON | 0,03 | 0,03 |
| | CAN | 0,03 | 0,03 | | CAN | 0,03 | 0,03 |
| | Bonneveine | 0,51 | 0,51 | | Bonneveine | 0,51 | 0,51 |
| | Pelouque | - | 0,95 | | Pelouque | - | 0,95 |
| BDE 100 | PRA | 0,21 | 0,21 | | | | |
| | MON | 0,03 | 0,03 | | | | |
| | CAN | 0,003 | 0,03 | | | | |
| | Bonneveine | 0,51 | 0,51 | | | | |
| | Pelouque | - | 0,95 | | | | |

Tableau 26: Flux pour les PBDE dissous et particulaires dans les déversoirs d'orage du Prado (PRA), de Montricher (MON) et de Canebière (CAN) et les torrents Bonneveine et Pelouque.



| | Site | Flux métaux dissous en kg/an | Flux métaux particulaire en kg/an | | Site | Flux métaux dissous en kg/an | Flux métaux particulaire en kg/an |
|----|------------|------------------------------|-----------------------------------|----|------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Hg | PRA | 0,00149 | 0,000149* | Cd | PRA | 0,007 | 0,045 |
| | MON | 0,00006 | 0,000006* | | MON | 0,001 | 0,109 |
| | CAN | 0,00005 | 0,000005* | | CAN | 0,002 | 0,001 |
| | Bonneveine | 0,00107 | 0,000107* | | Bonneveine | 0,022 | 0,058 |
| | Pelouque | 0,0009 | 0,00009* | | Pelouque | 0,038 | 0,085 |
| Co | PRA | 0,08 | 0,20 | Pb | PRA | 0,46 | 8,85 |
| | MON | 0,08 | 0,12 | | MON | 0,03 | 9,19 |
| | CAN | 0,02 | 0,00 | | CAN | 0,04 | 0,19 |
| | Bonneveine | 0,11 | 0,58 | | Bonneveine | 0,35 | 7,93 |
| | Pelouque | 0,30 | 1,64 | | Pelouque | 0,81 | 15,43 |
| Ni | PRA | 0,32 | 0,73 | Li | PRA | - | 0,55 |
| | MON | 0,35 | 0,57 | | MON | - | 0,16 |
| | CAN | 0,13 | 0,01 | | CAN | - | 0,01 |
| | Bonneveine | 0,60 | 1,67 | | Bonneveine | - | 1,44 |
| | Pelouque | 3,16 | 4,32 | | Pelouque | - | 4,75 |
| Cu | PRA | 1,11 | 6,79 | V | PRA | - | 0,96 |
| | MON | 0,07 | 3,78 | | MON | - | 0,34 |
| | CAN | 0,18 | 0,21 | | CAN | - | 0,01 |
| | Bonneveine | 3,64 | 8,33 | | Bonneveine | - | 2,64 |
| | Pelouque | 13,13 | 19,53 | | Pelouque | - | 8,38 |
| Zn | PRA | 17,64 | 35,53 | Cr | PRA | - | 1,47 |
| | MON | 0,27 | 23,99 | | MON | - | 0,69 |
| | CAN | 1,29 | 0,59 | | CAN | - | 0,02 |
| | Bonneveine | 15,29 | 33,40 | | Bonneveine | - | 2,94 |
| | Pelouque | 50,92 | 85,01 | | Pelouque | - | 7,76 |
| Ag | PRA | 0,003 | 0,081 | Mn | PRA | - | 6,93 |
| | MON | 0,000 | 0,036 | | MON | - | 1,69 |
| | CAN | 0,000 | 0,002 | | CAN | - | 0,12 |
| | Bonneveine | 0,004 | 0,055 | | Bonneveine | - | 22,53 |
| | Pelouque | 0,003 | 0,071 | | Pelouque | - | 81,06 |

Tableau 27: Flux pour les métaux dissous et particulaires dans les déversoirs d'orage du Prado (PRA), de Montricher (MON) et de Canebière (CAN) et les torrents Bonneveine et Pelouque. (*) les flux sont déterminés à partir de la concentration particulaire calculée avec $K_d = 10^5$.



6. Synthèse

Dans cette partie nous récapitulerons les résultats obtenus pour le mercure (Hg), le plomb (Pb) ainsi que pour les contaminants organiques suivants : Fluoranthène, PCB 138 et PBDE 47.

6.1. Concentrations

a) Hg et Pb

On présente ci-dessous un extrait des tableaux présentés en annexe D pour le Hg et le Pb (Tableau 28) ainsi qu'un rappel (Figure 41) des figures de la partie 5.1.2.

La concentration en Hg dissous est la plus forte dans les Aygalades avec une teneur de 11.7 ng/L. Les concentrations dans l'Huveaune, le Jarret et l'Emissaire 2 sont sensiblement équivalentes autour de 5 ng/L (un peu moins pour l'Huveaune autour de 4.2 ng/L). On note que ces valeurs sont tout de même 4 à 12 fois plus élevées que la valeur du Rhône. La concentration en Hg particulaire connaît la même répartition puisque nous l'avons calculé (cf. Tableau 28). On remarque une pollution au mercure dans les Aygalades la valeur maximale valant 62 ng/L.

Pour le Pb dissous, les valeurs sont plus fortes dans nos prélèvements que dans le Rhône. On remarque que les Eygoutiers (rivière varoise) présentent une valeur maximale qui n'est pas atteinte par nos rejets. De même, pour le Pb particulaire, nos prélèvements présentent une concentration 2 à 20 fois supérieure à la valeur du Rhône.

| | Dissous µg/L (sauf Hg, ng/L) | | | | | | Particulaire µg/g | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------------------------------|------|-------|------|-------|------|-------------------|----|--------|---|----|---|------|--------|------|--------|------|-------|----|------|---|------|---|
| | [| Cmin | - | Cmax |]; | Cmoy | ± | sd | (| n |) | [| Cmin | - | Cmax |]; | Cmoy | ± | sd | (| n |) | |
| Hg | Huveaune | [| 0,49 | - | 12,22 |]; | 4,29 | ± | 3,89 | (| 20 |) | [| 0,049 | - | 1,222 |]; | 0,429 | ± | 0,39 | (| calc |) |
| | Jarret | [| 0,04 | - | 12,48 |]; | 5,68 | ± | 4,77 | (| 21 |) | [| 0,004 | - | 1,248 |]; | 0,568 | ± | 0,48 | (| calc |) |
| | Aygalades | [| 0,22 | - | 62,35 |]; | 11,69 | ± | 15,84 | (| 16 |) | [| 0,022 | - | 6,235 |]; | 1,169 | ± | 1,58 | (| calc |) |
| | Emissaire 2 | [| 0,754 | - | 8,3 |]; | 5,293 | ± | 2,3534 | (| 24 |) | [| 0,0754 | - | 0,83 |]; | 0,529 | ± | 0,24 | (| calc |) |
| | DO | | | | | | | | | (| 0 |) | | | | | | | | (| 0 |) | |
| | Torrents | | | | | | | | | (| 0 |) | | | | | | | | (| 0 |) | |
| | Rhône (1) | [| 0,3 | - | 3,3 |]; | 1,1 | ± | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pb | Huveaune | [| 0,05 | - | 9,74 |]; | 0,64 | ± | 1,81 | (| 28 |) | [| 63,77 | - | 406,71 |]; | 149 | ± | 66,5 | (| 28 |) |
| | Jarret | [| 0,02 | - | 1,75 |]; | 0,25 | ± | 0,34 | (| 29 |) | [| 27,17 | - | 186,11 |]; | 65,31 | ± | 40 | (| 29 |) |
| | Aygalades | [| 0,15 | - | 13,22 |]; | 1,61 | ± | 2,71 | (| 27 |) | [| 0 | - | 2881,4 |]; | 465,2 | ± | 780 | (| 27 |) |
| | Emissaire 2 | [| 0,07 | - | 0,62 |]; | 0,24 | ± | 0,14 | (| 48 |) | [| 41,49 | - | 237,95 |]; | 100,2 | ± | 42,1 | (| 48 |) |
| | DO | [| 0,46 | - | 1,23 |]; | 0,75 | ± | 0,34 | (| 4 |) | [| 394,46 | - | 1333 |]; | 678,7 | ± | 440 | (| 4 |) |
| | Torrents | [| 0,38 | - | 5,18 |]; | 2,01 | ± | 2,75 | (| 3 |) | [| 117,36 | - | 825,42 |]; | 375,9 | ± | 391 | (| 3 |) |
| | Eygoutier(3) | [| 0,5 | - | 40 |]; | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rhône (1) | [| 0,02 | - | 0,08 |]; | 0,04 | | | | | | [| 9,8 | - | 74,1 |]; | 33 | | | | | | |

Tableau 28 - Concentration minimale Cmin, concentration maximale Cmax, concentration moyenne Cmoy, écart-type sd et nombre de valeurs (entre parenthèse) dans le Hg et le Pb dissous et particulaire. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMC) ; (3) Nicolau et al., 2006.



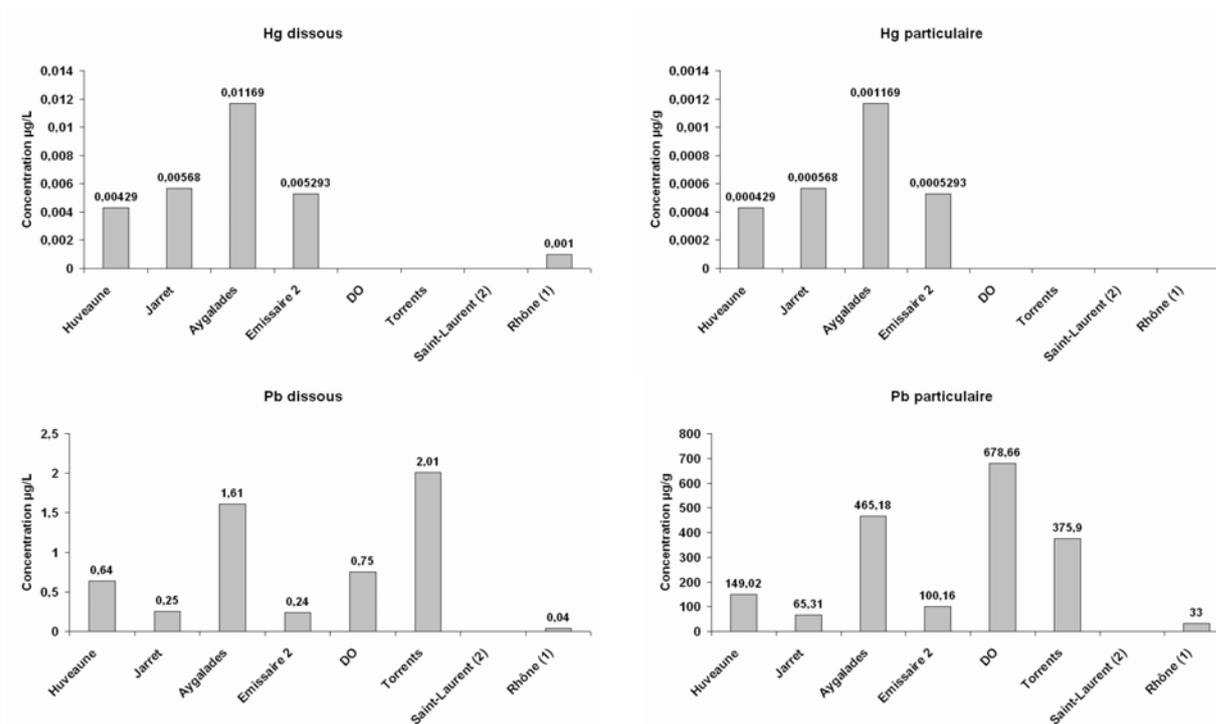


Figure 41 - Concentration moyenne en Hg et Pb dissous et particulaire. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMC) ; (2) Gobeil et al., 2005.

b) Fluoranthène

On présente ci-dessous un extrait des tableaux présentés en annexe D pour le fluoranthène (Tableau 29) ainsi qu'un rappel (Figure 41) des figures de la partie 5.1.2.

| Site | Dissous ng/L | | | | Particulaire ng/g | | | | |
|--------------|-------------------|------------------|------|--------|-------------------|---------------------|--------|----------|--------|
| | [Cmin - Cmax]; | Moy | ± sd | (n) | [Cmin - Cmax]; | Moy | ± sd | (n) | |
| Fluoranthène | Huveaune | [0.21 - 8]; | 1.1 | ± 2.1 | (13) | [11.4 - 562.7]; | 235.2 | ± 156.7 | (9) |
| | Jarret | [0.22 - 1.73]; | 0.8 | ± 0.5 | (12) | [27.1 - 544.0]; | 234.7 | ± 166.6 | (9) |
| | Aygalades | [1 - 29]; | 9.4 | ± 8.9 | (9) | [34.8 - 2599.2]; | 602.3 | ± 854.7 | (10) |
| | Emissaire 2 | [1 - 8]; | 4.2 | ± 3.5 | (6) | [4.2 - 112.0]; | 46.3 | ± 39.9 | (6) |
| | DO | [1 - 156]; | 47.5 | ± 72.7 | (4) | [81.8 - 2256.0]; | 1098.8 | ± 1104.5 | (4) |
| | Torrents | [9 - 15]; | 12.0 | ± 4.2 | (2) | [18.3 - 19.0]; | 18.7 | ± 0.5 | (2) |
| | Saint-Laurent (1) | | 0.9 | ± 0.3 | (15) | | 105.0 | ± 37.0 | (33) |
| | Seine (2) | | | | | [540.0 - 1430.0]; | | | |

Tableau 29 - Concentration minimale Cmin, concentration maximale Cmax, concentration moyenne Cmo, écart-type sd et nombre de valeurs (entre parenthèse) pour le fluoranthène dissous et particulaire. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec ; (2) Cossa et al., 1994.

La valeur moyenne de fluoranthène est très élevée dans les déversoirs d'orage que ce soit pour le dissous (47,5 ng/L, 50 fois plus que dans le Saint-Laurent) ou dans le particulaire (1098 ng/g, 100 fois plus). En prenant le Saint-Laurent comme référence, dans le dissous les valeurs des torrents et des Aygalades sont assez fortes aussi (environ 10 fois supérieures) et les valeurs de l'Huveaune et du Jarret sont équivalentes. L'Emissaire 2 se situe entre les deux. Pour le particulaire, les concentrations dans les Aygalades sont encore très supérieures (environ 6 fois), l'Huveaune et le Jarret



présentent des concentrations plus élevées d'un ordre deux et l'Emissaire 2 et les torrents présentent des valeurs inférieures (respectivement 2 et 5 fois inférieures).

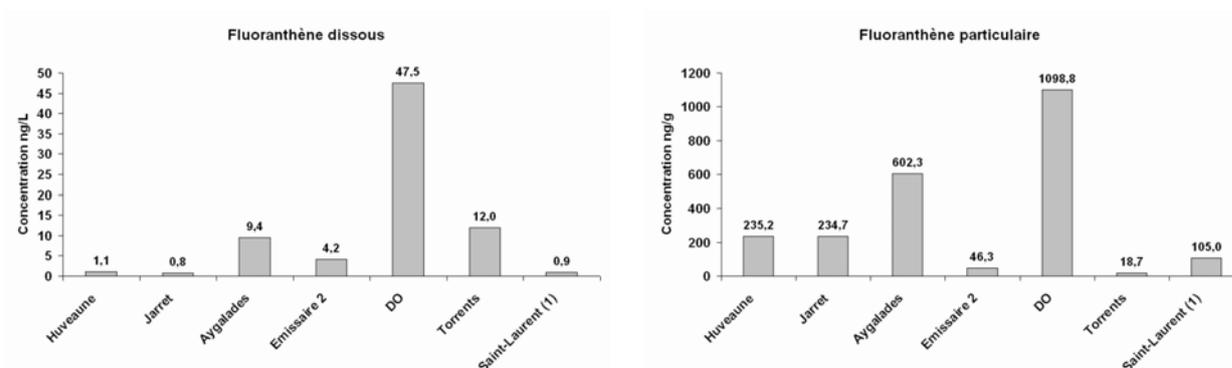


Figure 42 - Concentration moyenne en fluoranthène dissous et particulaire. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) suivi à Arles de juin 1994 à mai 1995 (étude AERMC) ; (2) Gobeil et al., 2005.

c) PCB 138 et BDE 47

On présente ci-dessous un extrait des tableaux présentés en annexe D pour le fluoranthène (Tableau 30) ainsi qu'un rappel (Figure 43) des figures de la partie 5.1.2.

| Site | Dissous ng/L | | | | | Particulaire ng/g | | | | |
|-----------|-------------------|-------------------|---------|---------|-----------------|-------------------|--------|---------|--------|--|
| | [Cmin - Cmax] | Moy | ± sd | (n) | [Cmin - Cmax] | Moy | ± sd | (n) | | |
| PCB 138 | Huveaune | [0.0101 - 0.2] | 0.07 | ± 0.047 | (13) | [6.2 - 46.9] | 13.5 | ± 13.6 | (9) | |
| | Jarret | [0.021 - 0.124] | 0.05 | ± 0.038 | (12) | [3.7 - 12.0] | 7.9 | ± 2.6 | (9) | |
| | Aygalades | [0.1 - 1.5] | 0.45 | ± 0.506 | (9) | [6.1 - 115.0] | 45.3 | ± 41.1 | (10) | |
| | Emissaire 2 | [0.1 - 0.42] | 0.27 | ± 0.112 | (6) | [4.2 - 27.0] | 13.2 | ± 10.8 | (6) | |
| | DO | [0.1 - 15.6] | 4.40 | ± 7.510 | (4) | [3.6 - 131.7] | 42.9 | ± 59.6 | (4) | |
| | Torrents | [0.3 - 0.42] | 0.36 | ± 0.085 | (2) | [4.5 - 6.3] | 5.4 | ± 1.3 | (2) | |
| | Saint-Laurent (1) | | 0.01 | ± 0.004 | (16) | | 1.8 | ± 0.8 | (31) | |
| Rhône (3) | | | | | | 10.0 | ± 6.0 | | | |
| Seine (2) | | 0.34 | ± 0.320 | | | 112.0 | ± 73.0 | | | |
| BDE 47 | Huveaune | [0.01 - 11] | 0.90 | ± 3.038 | (13) | [1.4 - 257.9] | 44.5 | ± 89.7 | (9) | |
| | Jarret | [0.0147 - 14] | 1.39 | ± 3.973 | (12) | [5.4 - 67.8] | 20.4 | ± 18.6 | (9) | |
| | Aygalades | [0.55 - 21] | 2.82 | ± 6.817 | (9) | [1.6 - 674.4] | 86.3 | ± 207.7 | (10) | |
| | Emissaire 2 | [0.55 - 0.55] | 0.55 | ± 0.000 | (6) | [12.8 - 50.8] | 34.8 | ± 16.2 | (5) | |
| | DO | [0.55 - 0.55] | 0.55 | ± 0.000 | (4) | [4.8 - 92.6] | 38.1 | ± 41.3 | (4) | |
| | Torrents | [0.55 - 0.55] | 0.55 | ± 0.000 | (2) | [7.2 - 34.9] | 21.0 | ± 19.6 | (2) | |

Tableau 30 - Concentration minimale Cmin, concentration maximale Cmax, concentration moyenne Cmoj, écart-type sd et nombre de valeurs (entre parenthèse) pour le fluoranthène dissous et particulaire. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec ; (2) Cossa et al., 1994 ; (3) Tronczynski et Moisan, 1996.

Les valeurs du Saint-Laurent pour le PCB en phase dissoute 138 sont du même ordre de grandeur que celles de l'Huveaune et du Jarret (< 0.1 ng/L) et celles de la Seine sont équivalentes à celles des Aygalades, de l'Emissaire 2 et des torrents (0.3 ng/L). Seule la valeur des DO est nettement supérieure avec 4.4 ng/L. Pour le particulaire, la valeur de la Seine est supérieure à tout ce que nous avons mesuré (112 ng/g). Les DO et les



Aygalades sont équivalents entre eux et supérieurs au Rhône (10 ng/g) dont les concentrations se rapprochent de celles de l'Huveaune et du Jarret.

Le BDE 47 n'a pas été détecté en phase dissoute dans l'Emissaire 2, les DO et les torrents. La valeur présentée est la valeur égale à la moitié de la limite de détection. L'Huveaune, le Jarret et les Aygalades présentent des valeurs croissantes allant respectivement de 0.9 ng/L à 2.8 ng/L. De même dans le particulaire, seuls des valeurs dans l'Huveaune et le Jarret ont été mesurées. Les autres correspondent au produit entre la limite de détection en ng/L et à la teneur en MES en mg/L afin d'obtenir une concentration particulaire en ng/g. L'Huveaune présente une concentration deux fois plus importante que le Jarret (40 ng/g contre 20 ng/g).

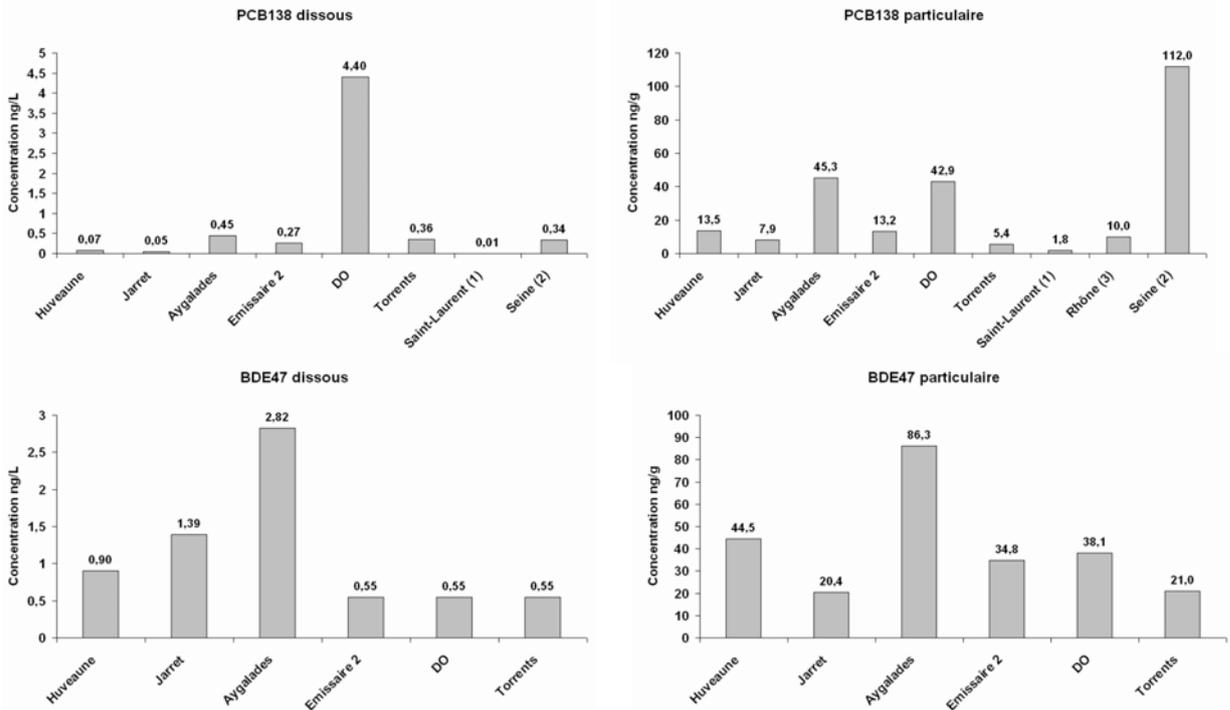


Figure 43 - Concentration moyenne en PCB 138 et BDE 47 dissous et particulaire. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de quantification, elles sont prises égales à la moitié de la valeur limite. Données bibliographiques : (1) Données non publiées dans le Saint-Laurent à Québec ; (2) Cossa et al., 1994 ; (3) Tronczynski et Moisan, 1996.

6.2. Résumé des concentrations en fonction du débit (chemogrammes).

L'étude des chemogrammes § 5.2 permet de distinguer plusieurs types de comportement :

- En phase dissoute :
 - l'augmentation de la concentration avec le débit concerne le Pb dans l'Emissaire 2. Cette augmentation peut être due à un apport de particules contaminées arrachées aux bassins versant lors des événements de pluie.



- la diminution de la concentration avec le débit concerne le Hg dissous dans l'Emissaire 2. Cette diminution peut être due à un apport d'eau de ruissellement moins chargée ou à un phénomène d'adsorption/précipitation des espèces dissoutes sur les particules.
 - les concentrations en Hg dans l'Huveaune et le Pb dans l'Huveaune et le Jarret restent constantes avec l'augmentation du débit. Il doit exister d'autres facteurs régissant ces concentrations.
 - les concentrations en Hg dans le Jarret et les Aygalades et le Pb dans les Aygalades ont une répartition hétérogène par rapport au débit.
- En phase particulaire :
 - les mesures de Hg particulaire ayant été calculées, nous ne présentons pas de résultats pour les chemogrammes.
 - l'augmentation de la concentration avec le débit concerne le Pb dans l'Emissaire 2. Cette augmentation peut être due à une remobilisation des contaminants en cours de transfert dans le milieu ou encore à un lessivage des bassins versant au moment des pluies (il aurait pu s'agir d'une contamination plus fortes des particules déjà existantes mais l'analyse des profils de contaminants particulaires en $\mu\text{g/L}$ nous fait écarter cette hypothèse).
 - la diminution de la concentration avec le débit ne concerne pas les contaminants de cette synthèse mais le cas s'est présenté dans l'étude pour d'autres métaux. Cette diminution peut être due à un apport de particules moins contaminées avec les débits les plus forts.
 - les concentrations en Pb dans l'Huveaune et les Aygalades restent constantes avec l'augmentation du débit. Il doit exister d'autres facteurs régissant ces concentrations.
 - les concentrations en Pb dans le Jarret ont une répartition hétérogène par rapport au débit.

6.3. Flux

Afin de se faire une idée de ce que représente les flux que nous avons obtenus, nous les avons comparés :

- soit à des flux issus de la littérature lorsque nous en avons trouvé,
- soit à des flux calculés issus de données de concentrations et de flux hydriques ou flux de MES trouvés dans la littérature.

Ainsi pour le Saint-Laurent, nous avons pris un débit de $400.10^9 \text{ m}^3/\text{an}$. Pour la Seine, une valeur basse de 1 mg/L pour la teneur en MES d'après Cossa et al. (1994).

a) Hg et Pb

Dans la Figure 44, le contributeur le plus important en terme de flux pour le Hg dissous est l'Emissaire 2 par temps sec avec une valeur de 0.80 kg/an . Le second contributeur est l'Huveaune également par temps sec avec une valeur de 0.22 kg/an . Vient ensuite le Jarret toujours par temps sec avec 0.10 kg/an . Les autres rejets sont équivalents. Ces valeurs peuvent être comparées aux valeurs obtenues dans la Seine par Cossa et al.



(1994) qui obtient un flux entre 20 et 50 kg/an.

Nos valeurs de flux sont faibles comparativement à celle de la Seine, cependant en prenant en compte le fait que la Seine a un débit d'environ 490 m³/s soit environ 15,4.10⁹ m³/an (entre 100 et 4200 fois plus que nos rejets), on explique aisément ces différences. C'est cette même différence de débit qui explique pourquoi la forte concentration en Hg dans les Aygalades ne se retrouve pas sur les diagrammes de flux.

Pour le Hg particulaire, les résultats ont été calculés en fonction des valeurs obtenues dans le dissous et de la teneur en MES des échantillons. L'Emissaire 2 en temps sec est le premier contributeur avec 2.3 kg/an. Les autres rejets sont tous dans la même gamme de mesure 0.10 – 0.50 kg/an. On peut noter une valeur maximale assez élevée pour les Aygalades en temps sec d'environ 3 kg/an. Cossa et al. (1994) obtient comme résultats pour la Seine des flux compris entre 45 et 216 kg/an pour le Hg particulaire.

Pour le Pb dissous, les principales contributions se distinguent moins nettement en raison d'une forte variabilité des flux minimum et maximum. L'Emissaire 2 est toujours le premier contributeur (18.9 kg/an) si l'on regarde les valeurs de flux moyennes, mais le maximum de ce rejet est égal au maximum de l'Huveaune par temps de pluie (environ 60 kg/an). Dans l'étude de Cossa et al. (1994) les valeurs de la Seine se situent entre 3500 et 8000 kg/an.

Pour le Pb particulaire, c'est l'Emissaire 2 par temps de pluie qui devient le premier contributeur (720 kg/an). Les valeurs de flux maximum sont assez élevées pour ce rejet ainsi que pour les Aygalades et l'Huveaune par temps sec (2500 à 3500 kg/an). Les autres rejets donnent des valeurs allant de 15 kg/an à environ 300 kg/an, les rejets les plus pollués étant alternativement ceux par temps sec (Huveaune, Aygalades) ou ceux par temps de pluie (Jarret, Emissaire 2) Les valeurs de flux du rapport de Cossa et al. pour la Seine sont compris entre 36 et 77 T/an.



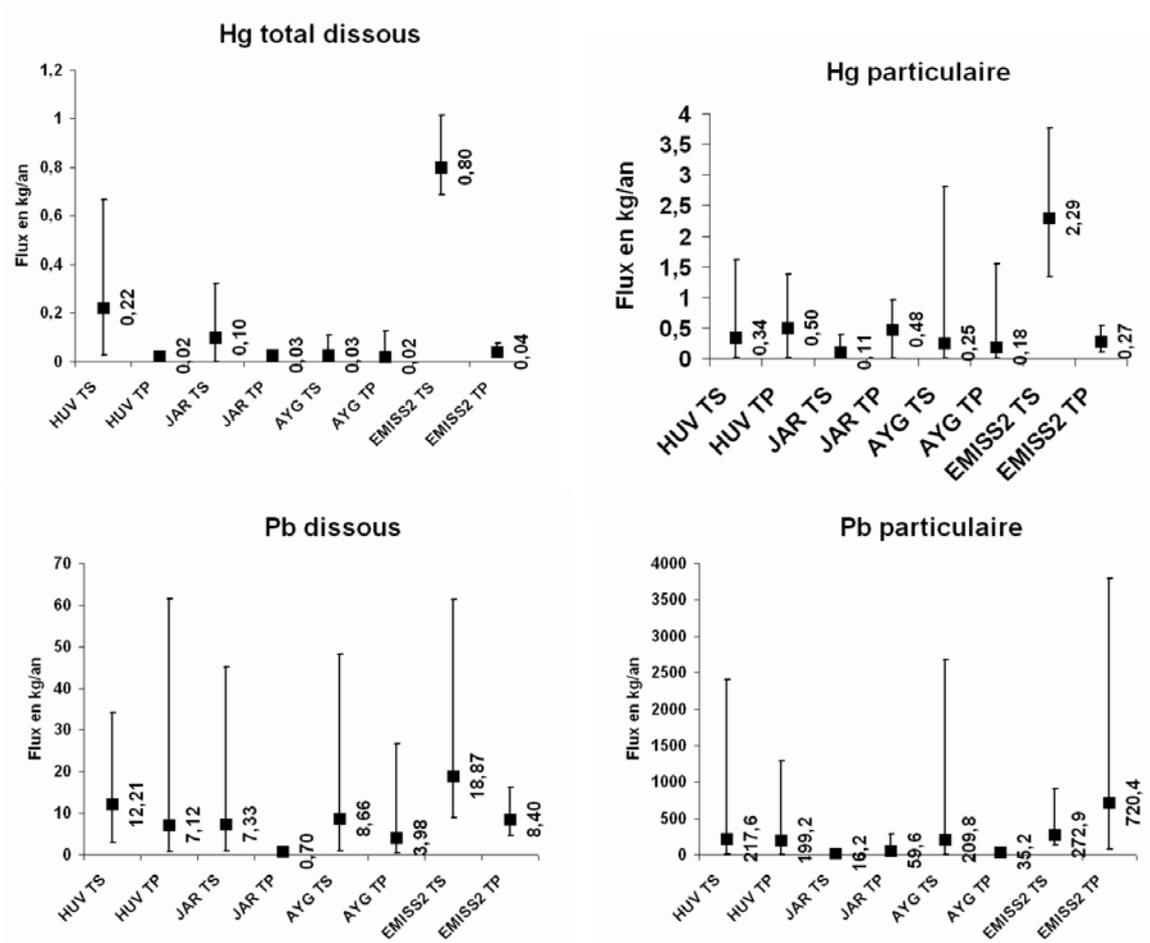


Figure 44 - Flux de Hg et Pb dissous et particulaire dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2), par temps sec (TS) et par temps de pluie (TP). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).

b) Fluoranthène

Pour le fluoranthène dissous, les trois rejets fluviaux sont à peu près équivalents en terme de flux (entre 20 et 60 g/an) (cf. Figure 45). L'Emissaire 2 est le premier contributeur avec une valeur beaucoup plus élevée à 617 g/an.

D'après nos calculs, on obtient pour le Saint-Laurent un flux indicatif d'environ 360 kg/an.

Pour le fluoranthène particulaire, l'Huveaune et le Jarret sont équivalents (respectivement 38 et 23 g/an). Les Aygalades sont première contributrice avec 418 g/an et une valeur maximale forte à environ 2250 g/an). L'Emissaire 2 est le second contributeur avec 169 g/an.

Pour la Seine, on obtient par calcul un flux compris entre : 216 et 572 kg/an.



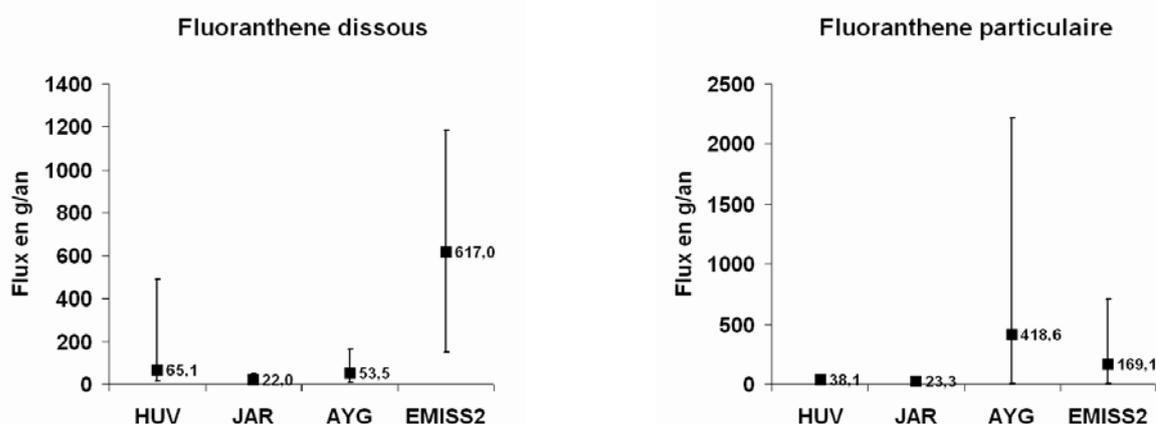


Figure 45 - Flux de fluoranthène dissous et particulaire dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).

c) PCB 138 et BDE 47

Le PCB 138 a la même tendance que le fluoranthène (cf. Figure 46) : pour le dissous les trois rejets fluviaux sont à peu près équivalents en terme de flux (entre 1 et 4 g/an). L'Emissaire 2 est le premier contributeur avec une valeur beaucoup plus élevée à 39.5 g/an. Pour le PCB dissous, on obtient par calcul environ 4kg/an dans le Saint-Laurent et environ 5kg/an dans la Seine en partant des concentrations énoncées dans la partie précédente et des valeurs moyennes de débit annuel de ces deux fleuves.

Pour le PCB 138 particulaire, l'Huveaune et le Jarret sont équivalents (respectivement 6 et 5 g/an). L'Emissaire 2 est le premier contributeur avec 27 g/an et les Aygalades sont la seconde avec une 21.5 g/an et une valeur maximale forte à environ 100 g/an). Tronczynski et Moissan (1996) donnent une valeur de PCB 138 particulaire d'environ 65 kg/an dans le Rhône.

Le BDE 47 est l'un des plus représentatif des PBDE (avec le 99 et le 100, ils représentent à eux trois 80 à 90 % des PBDE). Le PBDE 209 particulaire est représentatif de tous les rejets urbains. On rappelle que les PBDE particuliers n'ont pas été détectés et que les valeurs de concentrations données correspondent à la moitié de la valeur limite de détection.

Les PBDE dissous n'ont pas été détecté dans l'Emissaire 2 et c'est la moitié de la limite de détection qui donne une valeur de flux élevée. Pour les trois autres rejets, les PBDE 47 et 99 donnent des valeurs extrêmement proches et 10 fois plus élevées que le BDE 100 (2 fois pour les Aygalades). Ne regarder que le BDE 47 donne une bonne indication des tendances des PBDE.

L'Huveaune est premier contributeur pour le BDE 47 avec environ 55 g/an mais présente de fortes valeurs maximales (environ 650 g/an). On trouve ensuite le Jarret à peu près dans le même ordre de grandeur (40 g/an) puis les Aygalades avec 16 g/an.



Par comparaison, en estimant grossièrement le flux de MES du Rhône à 10 millions de tonnes par an d'après la bibliographie, on trouve une flux de BDE 47 pour le Rhône de 18 kg/an (d'après la valeur de concentration de Tronczynski et *al.*, 2012). Cette forte valeur (par rapport à nos mesures) est due à l'apport considérable de MES par le Rhône.

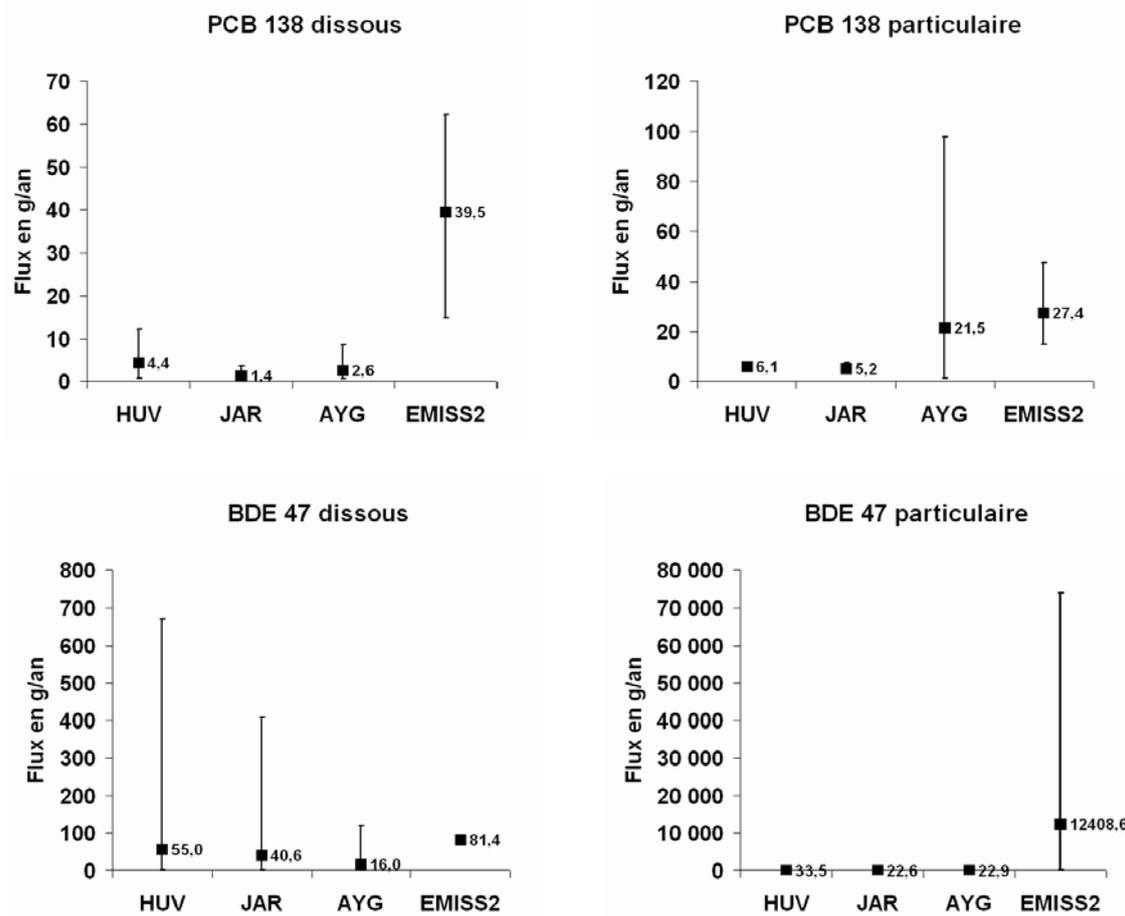


Figure 46 : Flux de PCB 138 et BDE 47 dissous et particulaire dans l'Huveaune (HUV), le Jarret (JAR), les Aygalades (AYG) et l'Emissaire 2 (EMISS2). Moyenne (■), valeurs maximum et minimum (I).



7. Conclusions et perspectives

Les apports polluants à la mer ont différentes origines. En Méditerranée Occidentale, la contribution des grandes métropoles côtières est mal connue car difficile à estimer en raison notamment de la multiplicité des sources (rejets directs, apports diffus) et des caractéristiques du climat méditerranéen. Aussi, les études sur la détermination des flux sont peu documentées.

Les apports en eau à la Méditerranée sont soumis à un régime hydrique irrégulier, constitué d'une alternance de périodes sèches, pouvant durer plusieurs mois, et d'épisodes pluvieux, pouvant être très intenses. Les petits cours d'eau méditerranéens ont un flux annuel réparti sur moins de 20% du temps. A Marseille, le fonctionnement hydrique du système est d'autant plus compliqué qu'il combine réseau hydrographique (cours d'eau) et réseau d'assainissement avec des dynamiques influencées par des facteurs différents (saison, usage domestique).

Le projet METROC de l'Ifremer a pour objectifs (1) l'évaluation de la contribution des grandes métropoles à la contamination chimique de la Méditerranée Occidentale avec pour site atelier l'agglomération de Marseille, (2) l'estimation des flux bruts de contaminants de la métropole vers le champs proche, (3) l'estimation des flux nets du champs proche vers le champs lointain, et (4) le devenir des contaminants dans le champs proche.

Dans l'objectif de quantifier et hiérarchiser les flux polluants issus du réseau hydrographique et du réseau d'assainissement de Marseille, la caractérisation des apports polluants est passée par l'établissement d'une stratégie d'échantillonnage. La stratégie d'échantillonnage adoptée a consisté en une série de prélèvements d'eau et de particules dans le réseau hydrographique (Huveaune, Jarret, Aygalades) et le réseau d'assainissement (émissaires, déversoirs d'orages) de Marseille, pendant les périodes sèches et humides (orages de fin d'été en particulier). Les débits liquides et solides sont connus grâce à l'appui des gestionnaires de réseau (DEA/MPM) qui gèrent tout un réseau de capteurs hydriques. Le présent travail a permis une première caractérisation des apports en contaminants chimiques et s'est appuyé sur l'expertise des gestionnaires en matière de débits pour estimer les flux polluants arrivant à la mer.

Le choix des sites de prélèvements résulte d'une concertation avec l'exploitant du réseau (SERAM). De nouveaux outils de prélèvements ont été déployés sur sites, les laboratoires d'analyses ont été mis à contribution et les méthodes de traitement des échantillons mises en place au laboratoire. Les méthodes de prélèvements associent des préleveurs discrets et passifs. Pour la première fois à Marseille, nous avons installé un préleveur automatique dans les émissaires, des pièges à sédiments et des membranes dans les cours d'eau. Certains dispositifs sont depuis mis à contribution pour des projets scientifiques connexes (GIRAC-PACA et MARSECO).

Le projet a permis de mettre en avant la difficulté du travail de terrain et l'organisation nécessaire afin de suivre le plan d'échantillonnage. La prévision météorologique étant aléatoire par nature, les prélèvements par temps de pluie exigent une grande



disponibilité et réactivité du personnel. Si les prélèvements à Marseille devaient être poursuivis pour affiner les évaluations faites dans la présente étude, nous conseillons de mettre en place davantage de préleveurs automatisés. Les préleveurs automatiques couplés à des capteurs hydriques (mesures de débit) permettent de prélever des échantillons proportionnels au volume d'eau écoulé et sont donc plus adaptés à l'estimation des flux polluants. Leur utilisation permet en plus de palier au manque de ressources disponibles et de diminuer les risques encourus par le personnel lorsque les orages sont violents. De plus, l'utilisation de capteurs hydriques permettrait de fournir encore plus de précision sur les données de débits associées aux mesures.

La distinction des échantillons entre « temps sec » et « temps de pluie » tient compte des observations de terrain (météo et niveau de l'eau). Pour améliorer cette distinction, il serait intéressant d'utiliser des paramètres supplémentaires tels que la conductivité et/ou la lame d'eau.

La présente étude a permis de caractériser les différents apports polluants à Marseille (métaux et composés organiques hydrophobes). Pour les contaminants métalliques, les Aygalades présentent les concentrations les plus fortes en comparaison avec le Jarret, l'Huveaune et l'Emissaire 2. Par temps sec, la variabilité des concentrations est généralement forte, en raison probablement de l'utilisation faite de ces cours d'eau pour certaines activités humaines (en particulier les Aygalades). Par temps de pluie, lorsque les débits sont relativement élevés, les concentrations ont tendance à rester constantes avec des valeurs plus faibles que celles rencontrées par temps sec. Cette diminution des concentrations traduit l'importance des processus de dilution par les eaux de ruissellement moins chargées. Pour les contaminants organiques, les concentrations les plus élevées se retrouvent dans les Aygalades et l'Emissaire 2 mais également dans les déversoirs d'orage et les torrents (Pelouque, Farenc).

Sur la base des résultats obtenus et des données collectées, nous avons pu établir un ordre de grandeur des flux annuels de contaminants. Par temps sec, l'Emissaire 2 constitue la principale source de contamination par la présence de contaminants sous forme dissoute. Par temps de pluie, l'Emissaire 2 reste la principale source de contamination par la présence de contaminants sous forme particulaire. L'Huveaune semble être le second contributeur en terme de flux, même si les valeurs ne sont pas comparables avec l'Emissaire 2. Les Aygalades et les déversoirs d'orages qui se distinguaient en raison de leurs concentrations élevées dans certains rejets deviennent secondaires en terme de flux en raison du volume d'eau nettement inférieur qu'ils rejettent.

Sur la base des données disponibles sur certains fleuves (Saint-Laurent, Seine et Rhône), cette étude permet de constater que :

- la tendance générale donne des concentrations dans nos rejets équivalentes ou supérieures à celles observées dans les trois fleuves cités ci-dessus. Il y a quelques exceptions (la liste ci-après n'est pas exhaustive) : le fluorène, le phénanthrène et le fluoranthène (particulaire) ainsi que quelques métaux (particulaires) (Co, Ni, V, Cr, Mn) pour le Saint-Laurent, les rejets de l'Huveaune et du Jarret pour les PCB en phase dissoute et les concentrations de toutes les rejets pour les PCB particuliers pour la Seine ainsi que les rejets urbains de BDE 209



(particulaire) pour le Rhône.

- d'après les comparaisons faites dans la partie synthèse (cf. 1), les flux que nous trouvons sont en moyenne 100 à 1000 fois moins élevés pour le Hg et le Pb que ceux des fleuves que nous avons pris pour comparaison. Pour le fluoranthène, les flux que nous avons calculés sont de quelques centaines à 10 000 fois moins élevés que dans la bibliographie. Enfin, pour le PCB 138 et le BDE 47, les valeurs de flux sont entre 100 à 5000 fois plus élevées pour la phase dissoute et 360 à 10000 fois plus élevées (particulaire) pour les rejets du Saint-Laurent et du Rhône que dans notre étude.

Pour optimiser l'estimation des flux polluants, une meilleure compréhension des facteurs influençant la variabilité des concentrations, des périodes échantillonnées plus longues et un nombre de crues échantillonnées plus élevé sont nécessaires. Pour mieux comprendre la variabilité des concentrations de contaminants et les apports caractéristiques par temps de pluie, il faudrait également travailler sur les sources de contamination. Une étude plus approfondie et un relevé plus spécifiques aux rejets étudiés serait aussi d'une grande aide pour le calcul des flux de contaminants. Compte tenu de l'ampleur des objectifs (quantification de flux) et de la difficulté d'échantillonner en même temps les métaux et les contaminants organiques, dans le dissous et dans le particulaire, une poursuite éventuelle des travaux, devra nécessairement hiérarchiser les priorités (choix des polluants, voies d'apports). La pérennité des installations et des ressources disponibles est également un gage de qualité dans le suivi des paramètres.

Lorsque l'on s'intéresse aux apports polluants à la mer en milieu côtier à l'échelle de la Méditerranée Occidentale, il faudrait également considérer la contribution des apports diffus (lame d'eau sur les surfaces urbaines), celle des apports atmosphériques et celle des apports en provenance du réseau karstique. Bien que peu documentés, ces apports peuvent constituer une part significative des flux polluants à la mer.

Cette étude nous a permis d'estimer des flux bruts de contaminants de la métropole vers le champ proche. Le travail à mener par la suite sur la base de ces données est l'estimation des flux nets du champ proche vers le champ lointain, et le devenir des contaminants dans le champ proche grâce à l'utilisation de modèles numériques reproduisant la dynamique de la baie de Marseille. L'étude des flux nets (sortant vers le large) de contaminants se fera en fonction des hypothèses du modèle (ceci à travers des études de sensibilité) et en fonction des différents scénarii (hydro-sédimentaires et apports) rencontrés dans la zone.

Ces connaissances devraient apporter des éléments quant aux choix technologiques à effectuer en matière d'épuration et/ou de limitation des apports. Elles sont indispensables pour appréhender l'effet de l'urbanisation sur les écosystèmes côtiers, un des axes de recherche important dans le cadre de la mise en place de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin.



8. Communications

B. Oursel, C. Garnier, G. Durrieu, M. Zebracki, B. Thouvenin, S. Mounier, Y. Lucas, Dynamic of contaminant inputs to the sea from large coastal cities: the case of Marseille (France), *The 11th European Meeting on Environmental Chemistry, Portoroz, Slovénie, 8-11 décembre 2010. Poster*

M. Zebracki, C. Garnier, B. Oursel, D. Cossa, J.-F. Chiffolleau, S. Mounier, P. Robert, I. Pairaud, B. Andral, Contaminant inputs from large coastal cities into the sea : the case of Marseille (SW France), *The 11th European Meeting on Environmental Chemistry, Portoroz, Slovénie, 8-11 décembre 2010. Poster*

M. Zebracki, B. Oursel, C. Garnier, C. Lecalard, G. Durrieu, S. Mounier, P. Robert, B. Andral, I. Pairaud, Y. Lucas. Détermination des apports de contaminants chimiques d'une grande métropole côtière à la mer : cas de Marseille. *22^{ème} Journée de la Chimie SCF-PACA, Toulon, Var, 11 mars 2011. Poster*

B. Oursel, C. Garnier, M. Zebracki, G. Durrieu, S. Mounier et Y. Lucas. Caractérisation des rejets (urbains et naturels) de l'agglomération Marseillaise sous différentes conditions climatiques. *22^{ème} Journée de la Chimie SCF-PACA, Toulon, Var, 11 mars 2011. Oral*



9. Références bibliographiques

Augulyte et Bergqvist (2007) Estimation of water sampling rates and concentrations of PAHs in municipal sewage treatment plant using SPMDs with performance reference compounds. *Environment Science Technology*, **41**, 5044-5049.

Cadiou J.-F., Dugelay F., Andral B. (2008) Etude bibliographique sur les apports en contaminants du Rhône à la mer. Réf : R.INT.DOPL/LER/PAC/08-11, 45 p.

Cornelissen G., Pettersen A., Nesse E., Eek E., Helland A., Breedveld G.D. (2008) The contribution of urban runoff to organic contaminant levels in harbour sediments near two Norwegian cities. *Marine Pollution Bulletin*, **56**, 565-573.

Cossa D., Meybeck M., Idlafkih Z., Bombled B. (1994) Etude pilote des apports en contaminants par la Seine. *Ifremer DEL/94.3/Nantes*. 151p.

Gobeil C., Rondeau B., Beaudin L. (2005) Contribution of municipal effluents to metal fluxes in the Saint-Lawrence River. *Environmental Science and Technology*, **39**, 456-464.

Gourlay-Francé C., Lorgeaux C., Tusseau-Villemin M.-H. (2008) Polycyclic aromatic hydrocarbon sampling in wastewaters using semipermeable membrane devices : accuracy of time-weighted average concentration estimations of truly dissolved compounds. *Chemosphere*, **73**, 1194-1200.

Huckins J.N., Tubergen M.W., Manuweera G.K. (1990) Semipermeable membrane devices containing model lipid: a new approach to monitoring the bioavailability of lipophilic contaminants and their biocentration potential. *Chemosphere*, **20**, 533-552.

Hutchinson S.M. et Rothwell J.J. (2008) Mobilisation of sediment-associated metals from historical Pb working sites on the River Sheaf, Sheffield, UK. *Environmental Pollution*, **155**, 61-71.

Jartun M., Ottesen R.T., Steinnes E., Volden T. (2008) Runoff of particle bound pollutants from urban impervious surfaces studied by analysis of sediments from stormwater traps. *Science of The Total Environment*, **396**, 147-163.

Le Masson J. (1995 ; 1997 ; 1998) Mesures de pollution par temps de pluie à Marseille. *Rapport SERAM*.

Marsalek et Ng (1989) Evaluation of pollution loadings from urban nonpoint sources : methodology and applications. *Journal of Great Lakes Research*, **15**, 444-451.

Marsalek (1990) Evaluation of pollutant loads from urban nonpoint sources. *Water and Science of Technology*, **10/11**, 23-30.

Meybeck M., Pasco A., Ragu A. (1994) Evaluation des flux polluants dans les rivières : Pourquoi, comment et à quel prix ? Cahier Techniques n°28, Etude des Agences de l'eau, 23p.

Meybeck M., Ragu A., Pasco A (1996). Etablissement des flux polluants dans les eaux superficielles : Tome 1 : Introduction, paramètres classiques et méthodologie de calcul des flux, Tome 2 : Micropolluants organiques et minéraux, Tome 3 :



Traitements statistiques, points forts, points critiques, recommandations et annexes générales. *Etude Inter-Agences n°28*.

Meybeck M., Laroche L., Dürr H.H., Syvitski J.P.M. (2003) Global variability of daily total suspended solids and their fluxes in rivers. *Global and Planetary Change*, **39**, 65-93.

Millera C.V., Fosterb G.D., MajediaMiller B.F. (2003) Baseflow and stormflow metal fluxes from two small agricultural catchments in the Coastal Plain of the Chesapeake Bay Basin, United States. *Applied Geochemistry*, **18**, 483-501.

Nicolau R., Galera-Cunha A., Lucas Y. (2006) Transfer of nutrients and labile metals from the continent to the sea by a small Mediterranean river. *Chemosphere*, **63**, 469-476.

Pairaud I., Andral B. (2010) Metroc : les apports par les grandes métropoles. Evaluation des apports et modélisation hydrosédimentaire de la Baie de Marseille. *RST.DOPLER/PAC/10-13*, AERM&C/Ifremer n° 2007 1745, 83p.

Phillips J.M., Web B.W., Walling D.E. et Leeks G.J.L. (1999) Estimating the suspended loads of rivers in the LOIS area using infrequent samples. *Hydrological Processes*, **13**, 1035-1050.

Phillips J.M., Russell M.A., Walling D.E. (2000) Time-integrated sampling of fluvial suspended sediment: a simple methodology for small catchments. *Hydrological Processes*, **14**, 2589-2602.

Sauzade D., Andral B., Gonzalez J.L., Galgani F., Grenz C., Budzinski H., Togola A., Lardy S. (2007). Synthèse de l'état de la contamination chimique du golfe de Marseille. *Rapport Ifremer DOP/LER-PAC/07-05* – Agence de l'eau RM&C- Vol 1 : 118p. **Vol 2**, 86p.

Tronczynski et Moisan (1996) Contaminants organiques organo-azotés et organochlorés dissous et particuliers dans le Rhône ; suivi annuel juin 1994 – août 1995 à Arles : niveaux des concentrations et évaluation des flux bruts du Rhône à la Méditerranée. *Ifremer Del/CCM*. 96p.

Tronczynski et al. 2012, Niveaux moyens en BDE dans les matières en suspensions dans le Rhône aval, Projet Arc-Med.

Smedes (2005) Monitoring of chlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons by passive sampling in concert with deployed mussels. *Comprehensive Analytical Chemistry*, **48**,407-448.

Walling D.E. et Webb B.W. (1995) Estimating the discharge of contaminants to coastal waters by rivers: some cautionary comments. *Marine Pollution Bulletin*, **16**, 488-4.

