

OPUR : Observatoire des Polluants Urbains en Île de France
Thème de recherche n°7 : Efficacité des filières de traitement des eaux urbaines
Action 7.5 : Effet des bassins de rétention en eau sur les micropolluants des eaux pluviales

EFFET DES BASSINS DE RETENTION SUR LES MICROPOLLUANTS METALLIQUES DES EAUX PLUVIALES EN VILLE

Première version Juin 2015

Version révisée Mars 2017

Rapport rédigé par Brigitte Vinçon-Leite et Bruno Lemaire

Etude réalisée au LEESU

Avec la contribution scientifique de Mathilde Lauzent,

Viet Tran Khac, Martin Seidl, Gilles Varrault et Ningxin Chen

Et avec le concours financier des partenaires opérationnels d'OPUR :

AESN, SIAAP, Mairie de Paris, CG92, CG93, CG94

LEESU

Ecole des Ponts ParisTech, Université Paris-Est Créteil, Agro
ParisTech

Avant-propos

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la quatrième phase du programme OPUR. Il s'inscrit dans le Thème de recherche n°7 : Efficacité des filières de traitement des eaux urbaines et l'Action 7.5 : Effet des bassins de rétention en eau sur les micropolluants des eaux pluviales.

Le rapport s'appuie sur plusieurs rapports rédigés antérieurement par:

- Simon Gesret, 2012. "Travail préliminaire à l'établissement d'un bilan des flux de micropolluants métalliques dans un bassin de rétention en eau" Rapport de Stage scientifique de l'Ecole des Ponts ParisTech.
- Mathilde Lauzent, 2013 "Effet des bassins de rétention sur les micropolluants des eaux pluviales en ville" Rapport de Master 2 Eau spécialité contaminants et santé. Université de Montpellier.
- Ningxin Chen, 2015. "Effet des bassins de rétention en eau sur la biodisponibilité des micropolluants métalliques des eaux pluviales" Rapport de Master 1 "Environnement continentaux et hydrosciences." Université Pierre et Marie Curie, Paris.

Les résultats obtenus ont été présentés en 2015 au congrès SHF/ASTEE de Bordeaux « Influence des bassins de rétention en eau sur la biodisponibilité des micropolluants métalliques » (Lauzent M., Tran Khac V., Lemaire B.J., Varrault G., Seidl M. et Vinçon-Leite B.) et ont été publiés en 2016 (Lemaire B.J., Lauzent M., Tran Khac V., Varrault G., Seidl M., Vinçon-Leite B. "Impact of the Organic Matter Produced in Stormwater Retention Ponds on Trace Metal Speciation." Houille Blanche-Revue Internationale De L Eau, no. 3 (June): 37–43

Remerciements

Nous remercions M. Dubois, M. Saad et Mme Boudahmane, membres de la cellule technique du LEESU, pour la grande aide qu'ils nous ont apportée pour les campagnes de mesures, la mise en place du préleveur et l'analyse des échantillons récoltés.

Nous remercions la DEA 93 en particulier Mme Boulay pour sa disponibilité, le temps qu'elle nous a accordé pour nous accompagner sur le terrain, M. Bazot pour nous avoir fourni des informations sur la nappe de Saint-Ouen, M. Bovero pour les informations sur les fréquences et les volumes de remplissage du bassin de rétention de Savigny, MM. Braun, Desetables et Oudin pour les chroniques de hauteur d'eau. Nous remercions tout particulièrement M. Braun pour la mise en place de l'alerte téléphonique ainsi que M. Queinec pour la mise en place du préleveur. Enfin, nous remercions M. Vandelannoote qui nous a transmis de nombreuses études sans lesquelles ce travail n'aurait pas pu être fait.

Nous remercions également la DNPB 93 notamment MM. Gibaud et Vauray qui nous ont expliqué le fonctionnement du rô du Roideau et nous ont prêté le bateau.

Résumé

Eléments du réseau d'assainissement pluvial, les bassins de rétention en eau sont conçus pour limiter le risque d'inondation dans les bassins versants urbains. Ces bassins peuvent avoir un effet sur les micropolluants présents dans l'eau, en raison notamment de la longueur du temps de séjour de l'eau et de la présence de phytoplancton. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à l'effet du bassin de rétention en eau de Savigny, situé à Aulnay-Sous-Bois (93), sur les micropolluants métalliques apportés par les eaux pluviales. Pour cela nous avons étudié le fonctionnement hydrologique du bassin. Nous avons mis en place et réalisé des campagnes de mesures afin de permettre ultérieurement le bilan des flux de micropolluants métalliques à l'échelle d'un évènement pluvieux. Deux campagnes de temps sec ont servi de référence. Quatre campagnes de temps de pluie ont ensuite été réalisées. De plus, la mise en place d'un préleveur automatique au niveau de la zone d'arrivée des eaux pluviales nous a permis de caractériser les flux entrants et sortants du bassin de Savigny. Dans le bassin de Savigny, qui s'est avéré eutrophe, les variables environnementales indiquent une meilleure qualité dans la partie la plus éloignée de la zone d'arrivée des eaux pluviales, ceci serait dû à un long temps de séjour permettant une bonne sédimentation et à la présence du phytoplancton. Les concentrations de sept métaux, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, nickel, plomb et zinc, ont été mesurés dans le bassin de Savigny et dans le ru du Sausset qui l'alimente. Les concentrations des métaux totaux et dissous ainsi que de la fraction inerte qui donne accès à une évaluation de la biodisponibilité des métaux ont été analysées. Les résultats obtenus montrent que la majorité des concentrations métalliques sont inférieures dans le bassin par rapport à la rivière, même pour la fraction dissoute. La biodisponibilité des métaux est également plus faible dans le bassin que dans la rivière. En raison de leur impact sur l'état écologique et chimique des milieux aquatiques, les concentrations des formes dissoutes de ces métaux font l'objet de normes de qualité environnementale (NQE) dans le cadre de la Directive Cadre sur l'eau. Dans le ru du Sausset et le bassin, les concentrations mesurées sont inférieures aux NQE pour **le chrome, le plomb et le cadmium**. Les concentrations en cobalt dissous sont proches de la norme. Pour **le cuivre** la NQE (1.4µg/L) est largement dépassée dans le Sausset, mais elle est respectée dans la majorité des mesures aux points aval et centre du bassin de Savigny. Pour **le zinc**, la norme est largement dépassée dans toutes les mesures dans le Sausset et respectée dans la plupart des mesures dans le bassin. Néanmoins, pour les deux métaux qui dépassent les NQE, **le cuivre et le zinc**, une forte réduction de leurs concentrations apparaît entre la rivière et le bassin. Ces résultats montrent le rôle positif du bassin de rétention sur la réduction des concentrations en métaux totaux, mais aussi, ce qui est rarement mis en évidence sur les milieux aquatiques urbains, ils mettent en évidence la réduction de la concentration des formes dissoutes et de la fraction la plus biodisponible des métaux.

Mots clefs : bassin de rétention en eau, micropolluants métalliques, eutrophisation, biodisponibilité

Table des matières

1	Introduction.....	10
2	Matériel et méthodes.....	12
2.1	Description du site d'étude et du fonctionnement hydrologique	12
2.1.1	Fréquence de remplissage du bassin.....	14
2.1.2	Qualité des sédiments	15
2.2	Bilan des flux entrant et sortant	16
2.3	Elaboration des campagnes de mesure	19
2.3.1	Choix des points de mesures	19
2.3.2	Paramètres mesurés.....	20
2.3.3	Paramétrage du préleveur automatique.....	20
2.3.4	Placement du préleveur automatique.....	22
2.3.5	Récupération des données et mesures sur le terrain.....	22
2.4	Séparation des différentes fractions métalliques.....	22
2.4.1	Métaux totaux	23
2.4.2	Métaux dissous	23
2.4.3	Métaux inertes.....	23
2.4.4	Analyse par ICP-MS.....	23
3	Résultats.....	24
3.1	Campagnes de temps sec.....	24
3.1.1	Paramètres globaux.....	24
3.1.2	Sonde multiparamètres	25
3.1.3	Métaux.....	26
3.2	Campagnes de temps de pluie.....	30
3.2.1	Paramètres globaux.....	30
3.2.2	Profils de sonde	31
3.2.3	Métaux.....	32
3.3	Evolution temporelle des variables environnementales	34
3.4	Evolution temporelle des concentrations en métaux.....	35
3.4.1	Concentrations en métaux totaux.....	36
3.4.2	Concentrations en métaux dissous et labiles	37
3.4.3	Conclusion.....	39
3.5	Evolution spatiale des métaux dissous	39
3.6	Evolution temporelle de la biodisponibilité des métaux	40
3.7	Analyse statistique	41
4	Discussion	44
4.1	Comparaison des concentrations en métaux avec les normes environnementales	44
4.2	Variables environnementales	45
5	Conclusion	46
6	Bibliographie.....	47
6.1	Etudes Savigny	50
7	Annexes.....	51
7.1	Relations entre les variables environnementales et les concentrations en métaux.....	51
7.1.1	Chrome et Carbone organique	51
7.1.2	Cobalt et Carbone organique.....	51
7.1.3	Cuivre et Carbone organique, Nitrates, Phosphates et Phosphore total	52
7.1.4	Zinc, Nitrates et COD	53
7.2	Profils de sonde multi-paramètres et fluorimétrie.....	54
7.2.1	Sonde multi-paramètre aux 3 points de mesures, première et seconde campagne de temps sec du 21/02/13 et du 25/04/13	54

7.2.2	Première campagne de temps sec, profils de sonde fluorimétrique aux trois points du bassin	55
7.2.3	Seconde campagne de temps sec, profils de sonde fluorimétrique aux trois points du bassin	56
7.2.4	Profils de sonde multi-paramètres aux trois points du bassin, première et seconde campagne de temps de pluie du 21/05/13 et du 18/06/13	57
7.2.5	Première campagne de temps de pluie, profils de sonde fluorimétrique aux trois points du bassin	58
7.2.6	Deuxième campagne de temps de pluie, profils de sonde fluorimétrique aux trois points du bassin	59
7.3	Périmètre du bassin versant du Sausset.....	60
7.4	Occupation des sols du bassin versant du Sausset (www.iau-idf.fr)	61
7.5	Liste des études disponibles	62

Liste des figures

Figure 1 : Bassin versant du Sausset d'après une carte de la DDE 93 de 1976 et géoportail	12
Figure 2 Bassin de rétention de Savigny.....	13
Figure 3 Réseau d'eaux pluviales et usées à proximité du bassin de Savigny (DEA).....	13
Figure 4 Schéma de fonctionnement du bassin Savigny (d'après Prolog Ingénierie / Esoa, 2008)	14
Figure 5 Relation entre pourcentage de remplissage et précipitations cumulés sur 72h	15
Figure 6 Emplacement des points de mesures (Dubost environnement 2008).....	16
Figure 7 Flux de micropolluants entrant et sortant	18
Figure 8 Points de mesures	19
Figure 9 : Chroniques de hauteur dans le pré-bassin aval YEP_SEUIL (fig. 4) et le bassin de rétention (YBA_B, fig. 4) de janvier 2009 à février 2013.....	21
Figure 10 Fréquence d'évènements en fonction de la durée de remplissage ou de la durée de remplissage et vidange cumulés (du 01/01/09 au 31/12/12).....	21
Figure 11 : Schéma du positionnement du préleveur automatique et du tuyau.....	22
Figure 12 : Enregistrement de la température en trois profondeurs du 25/04 au 18/06/2013.....	26
Figure 13 : Campagne de mesure du 21/02/2013: Cd, Co et Pb total et dissous en $\mu\text{g/L}$ en fonction des points de mesures.....	27
Figure 14 Campagne de mesure du 21/02/2013: Zn total et dissous en $\mu\text{g/L}$ en fonction des points de mesures	28
Figure 15 : Campagne de mesure du 21/02/2013 : Cr, Cu et Ni, total et dissous en $\mu\text{g/L}$ en fonction des points de mesures.....	28
Figure 16 Campagne de mesure du 25/04/2013: Co, Pb, Cd dissous et inerte en $\mu\text{g/L}$ en fonction des points de mesures	28
Figure 17 : 25/04/2013: Ni, Cu dissous et inerte, Cr dissous en $\mu\text{g/L}$ en fonction des points de mesures	28
Figure 18 : 25/04/2013: Zn dissous et inerte ($\mu\text{g/L}$) en fonction des points de mesures	28
Figure 19 Résultats de la campagne du 25/04/2013 concernant les concentrations en nickel dissous et inerte et en chrome dissous, les concentrations en chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$) et en MES (mg/L).....	29
Figure 20 Pourcentage de la fraction inerte par rapport à la fraction dissoute pour le cobalt, le nickel et le plomb	29
Figure 21 Corrélations entre MES et chlorophylle a pour les deux campagnes de temps sec.....	30
Figure 22 Campagne du 21/05/2013 – Variation de la concentration totale et de sa répartition entre fractions labile, inerte et particulaire de chaque métal aux différents points de mesures du bassin de rétention.....	32
Figure 23 Campagne du 17/06/2013 – Variation de la concentration totale et de sa répartition entre fractions labile, inerte et particulaire de chaque métal aux différents points de mesures du bassin de rétention	33
Figure 24 Campagne du 29/07/2013 – Variation de la concentration totale et de sa répartition entre fractions labile, inerte et particulaire de chaque métal aux différents points de mesures du bassin de rétention.....	33
Figure 25 Campagne du 7/8/2013 : Concentration totale et fractions labile, inerte et particulaire des métaux.....	34
Figure 26 Evolution temporelle des principales variables environnementales dans le Sausset et dans le bassin.....	35
Figure 27 Variation de la concentration totale des métaux au cours du temps.....	37
Figure 28 Cobalt dissous (gauche) et rapport de la fraction labile sur dissous (droite).....	37
Figure 29 Cuivre dissous (gauche) et rapport de la fraction labile sur dissous (droite).....	38
Figure 30 Zinc dissous (gauche) et rapport de la fraction labile (droite)	38
Figure 31 Plomb dissous (gauche) et rapport de la fraction labile sur dissous (droite).....	39
Figure 32 Concentrations en métaux dissous dans le Sausset et aux points aval et centre du bassin de Savigny.....	40

Figure 33 Rapport labile/dissous dans le Sausset et le bassin pour 4 campagnes de temps de pluie..	41
Figure 34 Corrélations entre variables environnementales et métaux dans le Sausset : Concentrations (gauche) et fraction labile (droite)	42
Figure 35 Corrélations entre variables environnementales et métaux à l'aval du bassin : Concentrations (gauche) et fraction labile (droite).....	43
Figure 36 Corrélations entre variables environnementales et métaux au centre du bassin : Concentrations (gauche) et fraction labile (droite).....	43
Figure 37 Niveau trophique des lacs (d'après Vollenweider, OCDE, 1982)	46
Figure 38 : Chrome total et COP/MES (gauche) ; Chrome dissous et COD (droite)	51
Figure 39 : Cobalt total et COP (gauche) ; Fraction cobalt inerte et COD (droite).....	52
Figure 40 : Cuivre dissous et COP (gauche) ; Cuivre dissous et NO3 (droite).....	52
Figure 41 : Fraction du cuivre inerte et phosphore total (gauche) et phosphates (droite)	53
Figure 42 : Fraction du zinc inerte et NO3 (gauche) et COD (droite)	53

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des résultats d'analyses (Dubost environnement 2008) avec le bruit de fond géochimique (Thévenot et al, 2009)	16
Tableau 2 Micropolluants métalliques dans la nappe phréatique de Saint-Ouen (DEA).....	17
Tableau 3 Concentrations moyennes annuelles en micropolluants métalliques présents dans l'air et dépôts totaux (sec et humide) (EMEP domain)	17
Tableau 4 Concentration des dépôts totaux de Plomb et de Cadmium	17
Tableau 5 Dates des campagnes	19
Tableau 6 Récapitulatif des résultats des campagnes de temps sec	24
Tableau 7 : Campagne de mesures du 21/02/2013: concentrations (ppb) en métaux totaux et dissous aux différents points de mesures.....	26
Tableau 8 Campagne de mesures du 25/04/2013: concentrations (ppb) en métaux dissous et inertes sur les différents points de mesures	27
Tableau 9 Paramètres globaux pour les campagnes de temps de pluie.....	30
Tableau 10 Concentrations moyennes ($\mu\text{g/L}$) mesurées avec la sonde Fluoroprobe.....	31
Tableau 11 Variables environnementales dans le Sausset et le bassin de Savigny	34
Tableau 12 Concentration en deux points du Bassin de Savigny (Flores-Rodriguez 1989)	44
Tableau 13 Normes de qualité environnementales (MA : moyenne annuelle et CMA : concentration maximale admissible) dans le cadre de la DCE (d'après (http://www.ineris.fr/substances/)	45

1 Introduction

Durant la seconde moitié du vingtième siècle, l'extension des villes a connu une augmentation rapide en Europe, et en France. Cette nouvelle urbanisation s'accompagne de la création de villes nouvelles dans les années 1960. Ces villes nouvelles, assez éloignées des villes anciennes situées majoritairement à proximité des rivières et des fleuves, posent des problèmes de longueur et surtout de coût des canalisations qui doivent rejoindre ces rivières et fleuves pour assainir la ville. L'assainissement pluvial devient une contrainte majeure, et, c'est dans ce contexte que les aménageurs créent des bassins qui retiendront les eaux pendant la pluie et évacueront ces eaux à faible débit vers l'exutoire une fois l'évènement terminé (STU - Agences de l'eau 1994). Il existe plusieurs types de bassins (bassins de rétention en eau, bassins enterrés, bassins secs, bassins de décantation...) qui ne répondent pas aux mêmes objectifs. Certains maîtrisent seulement le ruissellement pluvial, d'autres ont des fonctions complémentaires de dépollution, de réserve écologique ou encore d'activités de loisirs (STU – Agences de l'eau 1994). Depuis longtemps, les bassins de décantation sont connus pour permettre la dépollution des eaux grâce à un long temps de séjour qui permet une bonne sédimentation des particules. Les bassins de décantation sont d'ailleurs largement utilisés pour traiter les eaux de ruissellement pluvial fortement impactées (abords d'autoroutes, d'aéroports etc.) avant leur rejet dans le milieu naturel. Ainsi de nombreuses études *in situ* et en laboratoire (Yousef *et al*, 1996, Lee *et al*, 1997, Weiss *et al*, 2006, Karlsson *et al* 2008 et 2010) se sont intéressées aux processus de sédimentation et ont montré l'importance de la sédimentation dans la dépollution des eaux pluviales dans les bassins. Lors de processus de sédimentation, les particules fines (entre 0,6 et 300 μm), entraînées par du ruissellement pluvial, servent de site d'adsorption aux micropolluants comme les ions métalliques. Ces particules sont considérées comme ayant une vitesse de sédimentation élevée (entre 0,4 et 9 mm/h), favorable à une bonne décantation (Bressy 2010). Beaucoup d'auteurs s'intéressent uniquement au contenu des sédiments et à la spéciation des métaux dans ces sédiments (Hossain *et al* 2007, Stead-Dexter *et al* 2004, El Mufleh *et al* 2010, Clozel, 2006). Mais peu d'études sur les bassins de rétention en eau se sont intéressées à la spéciation des métaux dans l'eau pour évaluer leur biodisponibilité pour les organismes vivants. La biosorption, peu étudiée dans une véritable problématique de dépollution des eaux des bassins de rétention, utilise la capacité des matériaux biologiques pour accumuler des métaux présents dans l'eau. C'est un processus passif : lors de ce phénomène, les contaminants sont adsorbés sur la structure cellulaire, contrairement au processus de bioaccumulation, où les contaminants sont absorbés sur et à l'intérieur de la surface cellulaire (Chojnacka, 2010). Une étude de 2010 de Smolyakov *et al*. Sur le lac Novosibirskoye en Russie, a montré que des communautés naturelles de phytoplancton (diatomées, dinoflagellés, chlorococcales) ont continué de croître en présence de métaux dans l'eau (concentration en cuivre 500 $\mu\text{g/L}$, en zinc 250 $\mu\text{g/L}$ et en cadmium 50 $\mu\text{g/L}$), après une période initiale d'inhibition, grâce à l'évolution des espèces tolérantes. Ce phytoplancton constituait une source de renouvellement de particules en suspension capable de biosorber les éléments métalliques présents dans l'eau. Dans cette étude, la biosorption du cuivre était plus efficace que celle du zinc et du cadmium. Etant donné que les bassins de rétention en eau ont un fonctionnement physique et écologique spécifique qui s'apparente à celui d'un étang ou d'un petit lac urbain, il est important de vérifier si les communautés naturelles de phytoplancton peuvent être une source de particules en suspension capables de biosorber les éléments métalliques présents dans le bassin.

Le rôle des bassins de rétention hormis les processus de sédimentation et de spéciation des métaux dans les sédiments n'est pas bien connu. C'est pourquoi nous avons cherché à étudier les effets des bassins de rétention en eau sur les micropolluants métalliques. Pour cela le site d'étude choisi est le bassin de rétention en eau de Savigny. Ce bassin de Savigny dont la biodiversité est devenue une priorité, en complément de sa fonction primaire de rétention des eaux de pluie, est intégré dans le

parc départemental du Sausset. Le parc départemental du Sausset fait partie du réseau Natura 2000 du département de Seine-Saint-Denis grâce à l'avifaune exceptionnelle qu'il abrite pour une zone urbaine (Inventaire national du patrimoine naturel, 2006). Ce site d'étude a été choisi en raison de l'importante base de données disponible grâce à la collaboration avec la Direction de l'Eau et de l'Assainissement (DEA) et la Direction de la Nature des Paysages et de la Biodiversité (DNPB) du Conseil Départemental de Seine-Saint-Denis (suivi en continu des hauteurs d'eau, mesures en continu en été grâce à une sonde multiparamètre (température, pH, conductivité, oxygène), études antérieures...). En outre, ce site permet de voir l'impact d'un plan d'eau eutrophe sur les micropolluants métalliques.

La spéciation des métaux dans l'eau peut être réalisée avec les disques chélatants qui permettent de séparer les métaux dissous labiles d'une part, c'est-à-dire les ions libres, les complexes minéraux, et les complexes organiques peu stables, de la fraction inerte (stable) d'autre part (Varrault, 2012). Les formes métalliques dissoutes labiles peuvent également être séparées par des échantillonneurs passifs DGT (Gradient de Diffusion en Couche Mince) (Tusseau-Vuillemin *et al*, 2004). Le travail présenté dans ce rapport s'insère dans la quatrième phase du programme OPUR (Observatoire des Polluants URbains) mené en partenariat avec des collectivités locales (conseils départementaux 92, 93 et 94, Ville de Paris) et des établissements publics (agence de l'eau, syndicat interdépartemental d'assainissement).

Notre principal objectif est d'élucider les liens qu'il peut y avoir entre la matière organique produite dans le plan d'eau lui-même, en particulier par le phytoplancton, et les micropolluants métalliques dans le bassin de Savigny.

Ainsi, les objectifs de cette étude sont les suivants :

- faire une synthèse des rapports techniques sur le bassin de Savigny pour comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin;
- mettre au point des campagnes de mesures de temps sec et de temps de pluie (choix des points de mesures, variables à analyser, mise en place d'un préleveur automatique et paramétrage) ;
- effectuer ces campagnes de mesures et analyser les échantillons récoltés.

Ceci permettra d'établir à terme le bilan des flux de micropolluants métalliques à l'échelle d'un événement pluvieux.

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la quatrième phase du programme OPUR. Le présent rapport s'appuie sur plusieurs rapports rédigés antérieurement par:

- Gesret, Simon. 2012. "Travail Préliminaire À L'établissement D'un Bilan Des Flux de Micropolluants Métalliques Dans Un Bassin de Rétention En Eau." Rapport de Stage scientifique de l'Ecole des Ponts ParisTech
- Lauzent Mathilde 2013 "Effet Des Bassins de Rétention Sur Les Micropolluants Des Eaux Pluviales En Ville." Rapport de Master 2 Eau spécialité contaminants et santé. Université de Montpellier.
- Chen, Ningxin. 2015. "Effet Des Bassins de Rétention En Eau Sur Les Micropolluants Métalliques Des Eaux Pluviales." Rapport de Master "Environnement continentaux et hydrosociences." UPMC

Les résultats obtenus ont été présentés en 2015 au congrès SHF/ASTEE de Bordeaux « Influence des bassins de rétention en eau sur la biodisponibilité des micropolluants métalliques » (Lauzent M., Tran Khac V., Lemaire B.J., Varrault G., Seidl M. et Vinçon-Leite B.) et ont été publiés en 2016 (Lemaire B.J., Lauzent M., Tran Khac V., Varrault G., Seidl M., Vinçon-Leite B. "Impact of the Organic Matter Produced in Stormwater Retention Ponds on Trace Metal Speciation." Houille Blanche-Revue Internationale De L Eau, no. 3 (June): 37-43

2 Matériel et méthodes

2.1 Description du site d'étude et du fonctionnement hydrologique

Le bassin de rétention en eaux de Savigny a été construit pour pallier l'urbanisation croissante du bassin versant du ru du Sausset en amont d'Aulnay-Sous-Bois. Les différents documents se rapportant à la surface du bassin versant ne permettent pas de connaître sa surface de façon précise. Une surface d'environ 18 km² a été calculée d'après une carte de 1976 (Géoportail) (fig. 1), une surface de 15,8 km² d'après le rapport de 2002 de Confluences Ingénieurs Conseil (annexe 1) et enfin une surface de 9,2 km² d'après un rapport de 2003 de Safège ingénieurs conseils. Le bassin versant du Sausset s'étend sur les communes de Villepinte, Sevrans, Tremblay-en-France et Gonesse, il comprend une partie de la plate-forme de l'aéroport Roissy-Charles-de-Gaulle (la zone de fret essentiellement), et encore d'importants secteurs agricoles. L'imperméabilisation des sols due à cette urbanisation, provoquait lors d'évènement pluvieux la saturation des canalisations d'eaux pluviales qui engendraient des débordements importants sur les chaussées (DDE 93, 1976).

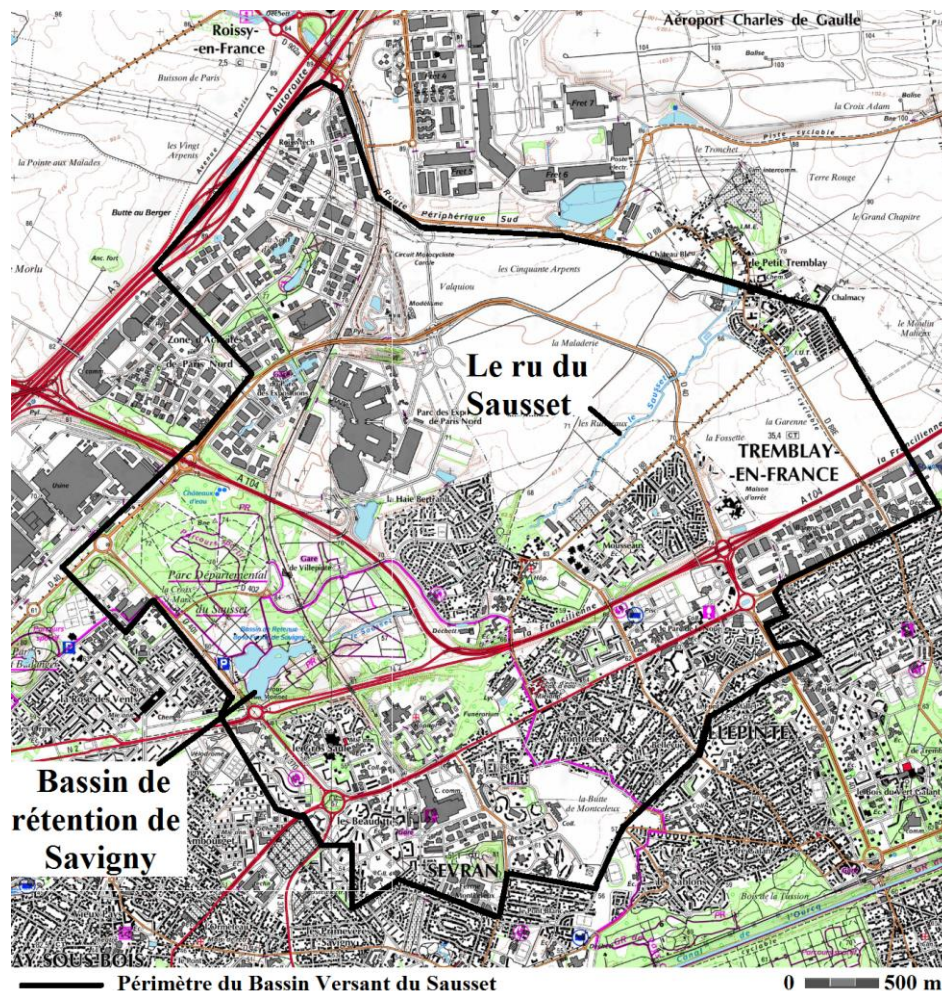


Figure 1 : Bassin versant du Sausset d'après une carte de la DDE 93 de 1976 et géoportail

Le bassin de Savigny a été mis en eau pour la première fois en 1978 (Sagefe Ingénieurs Conseils, 2003). Il est alimenté par la nappe phréatique de Saint-Ouen, le ruisseau canalisé du Sausset (fig. 1, 2) et le ru du Roideau alimenté aujourd'hui par une dérivation busée du ru du Sausset dans le parc départemental du Sausset. Ce dernier a longtemps été considéré comme une source d'eau souterraine (Service du Parc du Sausset, DNPB). Lors d'épisodes pluvieux, le ru du Sausset canalisé se met en charge et alimente le bassin de Savigny via deux déversoirs fixes nommés pré-bassin aval

dont la hauteur du seuil est de 49,84 m NGF et pré-bassin amont dont la hauteur du seuil est de 50,77 m NGF (Prolog Ingénierie / Esoa, 2008) (fig. 2). Ces pré-bassins permettent aux particules de sédimenter avant leur arrivée dans le bassin, limitant l'envasement de ce dernier. La différence de hauteur entre les deux pré-bassins explique le remplissage principal par le bassin aval, hors épisodes de pluie exceptionnels.

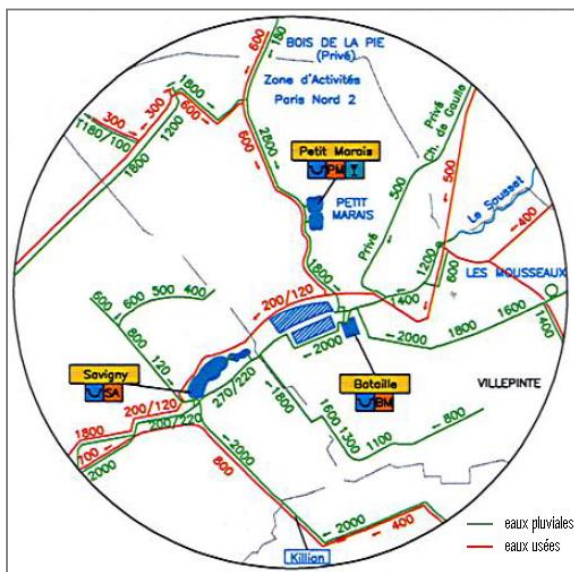


Figure 3 Réseau d'eaux pluviales et usées à proximité du bassin de Savigny (DEA)

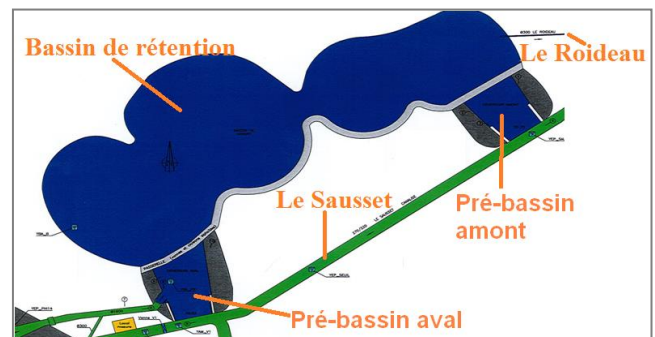


Figure 2 Bassin de rétention de Savigny

Le Roideau quant à lui alimente le bassin de Savigny lorsque l'eau dans le Sausset atteint une certaine hauteur et peut emprunter une voie secondaire qui l'alimente temporairement (Service du Parc du Sausset).

Le Sausset alimente le bassin de rétention par deux branches (fig. 4) :

- Branche 1 : branche du Sausset dont le débit est régulé par des bassins de rétention situés en amont du bassin de Savigny. Ces eaux proviennent de :

- La canalisation privée de l'aéroport Roissy Charles de Gaulle, 550 ha, soit environ 20 % de la superficie totale de la plate-forme (principalement la zone de fret) appartient au bassin versant du Sausset. Ces eaux sont régulées au niveau d'un bassin de régulation dont une partie a été aménagée en lagune (50 000 m³) et l'autre partie en bassin tampon (100 000 m³). Les eaux pluviales correspondent uniquement à celles de la plate-forme aéroportuaire : les eaux de drainage des surfaces enherbées incluses dans le périmètre de l'aéroport sont dirigées vers des bassins d'infiltration.
- L'autoroute A104, la zone d'activités comprise entre la D115 et l'A104, ainsi que celles issues du quartier des Mousseaux (quartier pavillonnaire de Villepinte). Ces surfaces sont en partie régulées (Bassins du Loup et des Mousseaux).
- La plaine agricole de Tremblay-en-France, et le centre-ville de Villepinte sont régulés par le bassin de la Ferme Bataille (fig. 3).

- Les eaux pluviales de la ZAC Paris Nord II, du parc des expositions et du circuit Carole (circuit pour motos) sont régulées par le bassin de retenue du Petit Marais (fig. 3) (Confluences Ingénieurs Conseil, 2002 ; SEPIA Conseils, 2008).

Le débit n'est pas régulé pour les eaux venant du centre hospitalier intercommunal Robert Ballanger. Ces eaux rejoignent le Sausset en amont du déversoir amont (SEPIA Conseils, 2008) (fig. 4).

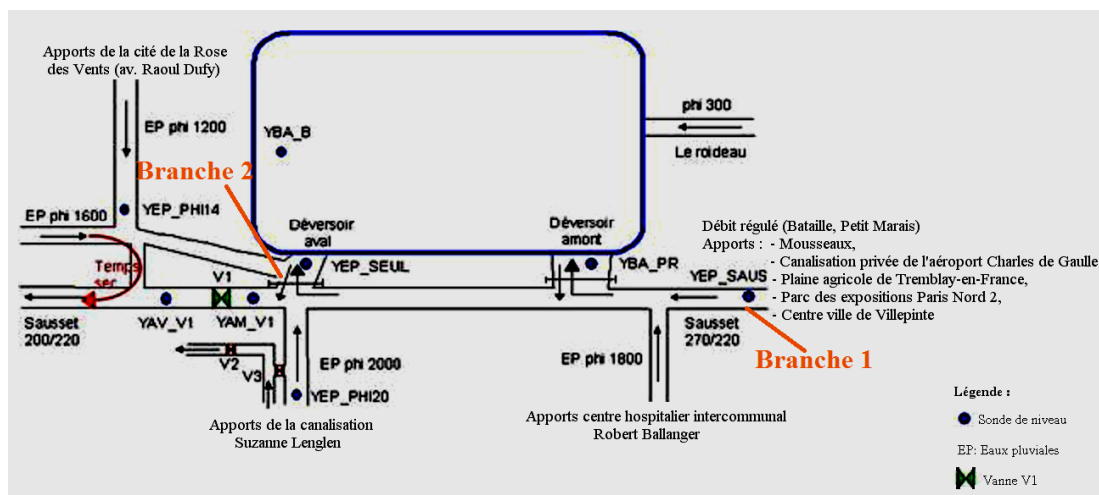


Figure 4 Schéma de fonctionnement du bassin Savigny (d'après Prolog Ingénierie / Esoa, 2008)

- Branche 2 (fig. 3, 4) : le collecteur de diamètre 2000 mm relie le ruisseau de la Morée dans sa partie amont et le ru du Sausset. Le débit arrivant par ce collecteur n'est pas régulé ; il rejoint le Sausset au droit du déversoir d'alimentation aval du bassin de Savigny. Les eaux de cette branche proviennent de la canalisation de l'avenue Suzanne Lenglen et des apports de la Cité de la Rose des Vents (appelée aussi Aulnay 3000) par l'avenue Raoul Dufy (SEPIA Conseils, 2008).

Le remplissage du bassin de Savigny à partir de ces points d'apport est réalisé en différé. En effet, les apports de la branche 1 sont retardés par les stockages amont. Ces eaux peuvent ensuite être à nouveau stockées par le bassin de Savigny. Ce sont les apports venant de la branche 2 qui interviennent en premier pour le remplissage du bassin. Une vanne manuelle verticale, V1, sur le Sausset en aval des seuils (fig. 4), permet de limiter le débit vers l'aval à 2 m³/s (Prolog Ingénierie / Esoa, 2008). Cette vanne constitue l'ouvrage de fuite du bassin de rétention de Savigny : la limitation du débit provoque le débordement du Sausset dans le bassin de Savigny et le remplissage de ce dernier.

2.1.1 Fréquence de remplissage du bassin

La surface du bassin de Savigny est de 4,3 ha. La profondeur moyenne du plan d'eau s'élève à 1,5 m, correspondant à un volume d'environ 60 000 m³ (Prolog Ingénierie / Esoa, 2008). Lors d'un remplissage, le plan d'eau peut atteindre une profondeur maximale de 2,5 m permettant de stocker jusqu'à 80 000 m³ (SEPIA Conseils, 2008).

Le bassin de rétention de Savigny a été utilisé 40 fois entre le 1^{er} janvier 2009 et le 31 décembre 2012 :

- 6 fois en 2009 dont 5 fois au printemps – été, 1 fois en hiver.
- 9 fois en 2010 dont 5 fois en printemps – été, 4 fois en automne.
- 8 fois en 2011 dont 5 fois en printemps – été, et 3 fois en automne – hiver.
- 17 fois en 2012 dont 13 fois en printemps – été, 6 fois en automne – hiver.

Le remplissage du bassin se fait le plus souvent au printemps et en été, en raison de la récurrence des pluies orageuses d'été, plus intenses. Ce sont ces pluies que nous chercherons à étudier, pour cela nous avons équipé le site d'un préleveur automatique (II. 3. c) d)).

Les précipitations ont été étudiées sur les stations pluviométriques de Roissy et du Bourget, Aulnay-sous-Bois étant situé entre ces stations. Les précipitations cumulées sur 72 h précédant l'évènement de remplissage ont été récoltées. Les évènements susceptibles d'entraîner un remplissage du bassin sont assez conséquents (de 10 mm à 48 mm environ sur 72 h). Seul un remplissage (le 18/06/2012) semble difficile à expliquer, le maximum des précipitations sur 72 h étant de 1 mm, ceci peut éventuellement s'expliquer par la présence d'un orage très localisé.

Lorsque nous essayons de corrélérer le volume stocké dans le bassin avec les précipitations cumulées sur 72h pour ces mêmes évènements, nous n'observons aucune corrélation (figure 5). Ceci peut éventuellement s'expliquer par la capacité de stockage des bassins situés en amont (Bataille et Petit Marais) (fig.3).

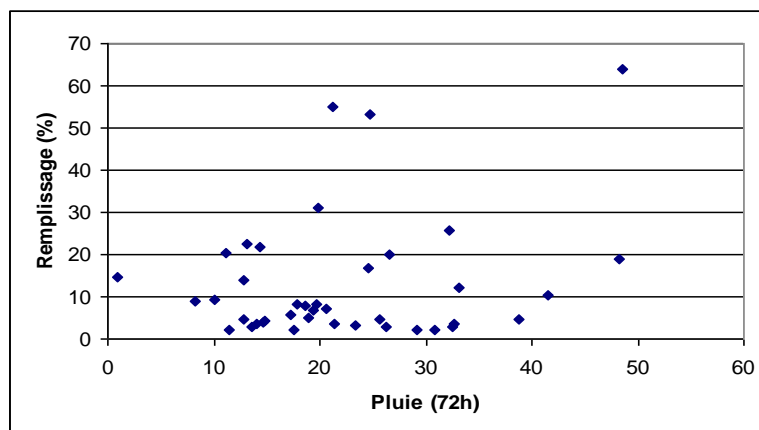


Figure 5 Relation entre pourcentage de remplissage et précipitations cumulés sur 72h (moyenne de la station du Bourget et de Roissy)

2.1.2 Qualité des sédiments

Nous avons comparé des analyses de sédiments en différents points du bassin de Savigny et des pré-bassins avec le fond géochimique du bassin versant de la Seine (Dubost Environnement 2008 ; Thévenot *et al* 2009). Le fond géochimique est constitué de métaux-traces naturellement présents dans la roche-mère et remobilisés lors de processus d'érosion, mais également lors de phénomènes naturels (volcanisme, feux de biomasse, ...). Dans le bassin versant de la Seine, le fond géochimique a été déterminé grâce à des prélèvements effectués sur un site archéologique situé près de Bercy à Paris, dont les dépôts datent de 5000 ans, avant toute influence humaine importante. La comparaison de ce fond géochimique avec les teneurs en métaux dans le bassin de Savigny permettent de quantifier les apports en éléments métalliques d'origine anthropique.

Les concentrations en cadmium, cuivre, plomb et zinc sont supérieures au niveau moyen du bruit de fond naturel du bassin de la Seine (tableau 1). Ceci peut s'expliquer par le large emploi du cuivre du fait de ses propriétés physiques et de sa conductibilité électrique et thermique qui permettent son emploi dans la fabrication de matériels électriques, d'équipements industriels et automobiles... (INERIS, 2005b). Le zinc quant à lui est impliqué dans de nombreuses activités urbaines (érosion des

toitures et gouttières, usure des pneumatiques, poussières d'incinération des ordures...) (INERIS, 2005c). Les fortes teneurs en plomb dans les sédiments, peuvent s'expliquer par la longue utilisation du plomb comme additif dans les essences. Aujourd'hui, il est utilisé dans les batteries électriques, les radiateurs d'automobiles, l'enrobage de câbles... (INERIS, 2003). Le cadmium, n'existant pas à l'état natif, est un élément relativement rare, peu présent dans les sédiments vieux de 5000 ans. Les concentrations, de 0.38 à 0.78 mg/kg, sont supérieures au fond géochimique. Le cadmium est de nos jours principalement rejeté dans l'atmosphère par des activités industrielles telles que le raffinage des métaux non ferreux, l'incinération d'ordures ménagères... (INERIS, 2011). Le mercure est utilisé dans diverses activités industrielles, batteries et équipements électriques, industrie chimique, peintures... (INERIS, 2010). La teneur en mercure dans les sédiments est inférieure à la limite de détection (tableau 1). Le nickel et le chrome, entrant tous deux dans la composition d'aciers inoxydables, d'aciers spéciaux et d'alliages (INERIS, 2005a, INERIS, 2006), ont des teneurs inférieures au bruit de fond du bassin de la Seine pour les points (1, 2, 3 et 4) situés sur la partie amont du bassin (fig. 6, tableau 1). On remarque qu'il y a une tendance à la décroissance en éléments métalliques de l'aval vers l'amont. Ceci est cohérent avec le sens de circulation de l'eau dans le bassin alimenté principalement par le déversoir aval (près du point 7) (fig. 6, tableau 1).

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	mg/kg						
Point 1 (prébassin amont)	0,6	22	72	<1	15	75	297
Point 2	0,7	19	57	<1	12	93	218
Point 3	0,6	21	62	<1	13	56	171
Point 4 (centre du bassin)	0,6	21	102	<1	15	60	182
Point 5	1	48	185	<1	28	110	374
Point 6	0,6	74	146	<1	39	91	306
Point 7 (prébassin aval)	-	-	-	-	-	-	-
Niveaux moyens du bruit de fond métallique dans les sédiments naturels du bassin de la Seine (PIREN Seine, 2009)	0,22	40	15	0,03	16	20	60

Concentrations < bruit de fond métalliques

Tableau 1 : Comparaison des résultats d'analyses (Dubost environnement 2008) avec le bruit de fond géochimique (Thévenot et al, 2009)



Figure 6 Emplacement des points de mesures (Dubost environnement 2008)

2.2 Bilan des flux entrant et sortant

Une première étape dans la caractérisation des facteurs de contrôle des flux de micropolluants dans le bassin de rétention en eau de Savigny, est d'établir un bilan des flux de micropolluants métalliques. Nous avons donc caractérisé les flux entrants et sortants du bassin de Savigny.

Les flux entrant sont les suivants :

- Flux d'eau entrant :
 - La nappe phréatique de Saint-Ouen alimente le bassin de rétention. Les fluctuations de la nappe sont faibles (environ 50 cm) et varient de la cote 49,60 à 51,50 m NGF (Laboratoire régional de l'est Parisien, 1976).
 - Les apports principaux lors d'épisode pluvieux viennent du ru du Sausset qui alimente le bassin par surverse. Le régime hydrologique du ru du Sausset présente des variations importantes entre les périodes d'étiage, où le débit peut être quasi-nul, et les périodes de crue brèves mais importantes (Confluences Ingénieurs Conseil, 2002).
 - Le ru du Roideau est alimenté par dérivation du Sausset et n'intervient que faiblement lors d'épisodes pluvieux.
- Flux de micropolluants métalliques entrant :
 - Les apports principaux en micropolluants métalliques viennent de l'eau du Sausset et de la nappe phréatique. Les micropolluants métalliques issus de la nappe phréatique sont certes sous les limites de détection, mais ces limites de détection étant très hautes (cf. tableau 2),

nous ne pouvons pas déterminer si ces concentrations sont négligeables et d'autres analyses devront être faites. Ces concentrations ont été mesurées dans le piézomètre SN117 du parc du Sausset situé en amont du bassin sur l'ancien lit de la rivière du Sausset. De plus, les seuils de détection ne sont pas toujours les mêmes, les analyses ayant été confiées à des laboratoires différents.

Tableau 2 Micropolluants métalliques dans la nappe phréatique de Saint-Ouen (DEA)

	Chrome total	Cuivre	Nickel	Plomb	Bore
	(mgCr/l)	(mgCu/l)	(mgNi/l)	(mgPb/l)	(mgB/l)
oct-07	0.02	<0,01	<0,01	<0,01	
oct-08	<0,01	<0,05	0.017	<0,005	
oct-09	<0,005	0.006	<0,01	<0,005	
oct-10	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
oct-11	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
oct-12	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05

- Les concentrations moyennes annuelles de micropolluants métalliques présents dans l'air sont présentées dans le tableau 3. Ces données sont issues de l'EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme), un programme établi dans le cadre de la « Convention on Long-range Transboundary Air Pollution » (CLRTAP) faisant appel à une coopération internationale pour résoudre les problèmes de pollution atmosphérique transfrontalière.

Tableau 3 Concentrations moyennes annuelles en micropolluants métalliques présents dans l'air et dépôts totaux (sec et humide) (EMEP domain)

Concentrations moyennes annuelles dans l'air (ng/m ³)		Dépôts totaux (sec et humide) (g/km ² /an)	
Plomb	Cadmium	Plomb	Cadmium
5 – 15	0,2 – 0,3	1000 – 3000	30 – 60

Grâce à la surface du bassin versant et aux données ci-dessus, nous avons pu calculer les dépôts secs et humides sur la surface totale du bassin versant soit environ 17,6 km². De ces valeurs nous avons déduit la concentration que l'on peut trouver dans le Sausset pour un débit de 2 m³/s lors d'un événement pluvieux (débit régulé par la vanne V1 cf. figure 3). Ce calcul nous permet d'avoir un ordre de grandeur des concentrations des dépôts atmosphériques totaux. Nous n'avons pas pris en compte le stockage de ces dépôts au niveau des sols non imperméabilisés.

En appliquant la formule ci-dessous nous obtenons la concentration des dépôts totaux :

$$\text{Concentration des dépôts totaux (ng/L)} = [\text{Mi}] * S_{BV} / (D * Q)$$

Avec : [Mi] en ng/km²/an ; S_{BV} en km² ; D en s ; Q en L/s

Les valeurs apparaissent acceptables, de l'ordre de 279 à 837 ng/L pour le plomb et de l'ordre de 8,4 à 16,7 ng/L pour le cadmium (tableau 4), en comparaison avec les concentrations trouvées dans la Seine et ses principaux affluents en plomb entre 80 et 1480 ng/L et en cadmium entre 6,7 et 74,1 ng/L (Meybeck *et al* 1998 d'après Huang et Mouchel, 1995). Un dispositif d'échantillonnage des dépôts secs et humides pourrait être placé sur le site pour connaître de façon plus précise les dépôts atmosphériques. Lors de cette première étude, nous avons en première approximation négligé ces apports.

Tableau 4 Concentration des dépôts totaux de Plomb et de Cadmium dans le Sausset pour un débit de 2 m³/s

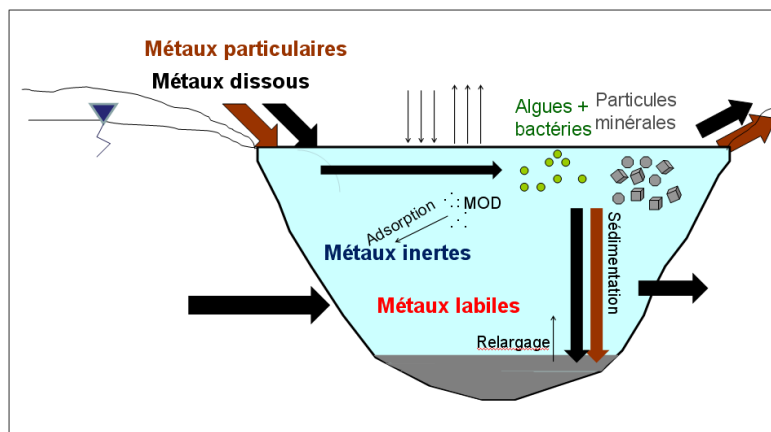
	Plomb	Cadmium
Dépôts totaux (sec et humide) ng/s	558092 - 1674277	16743 - 33486
Concentration ng/L	279 – 837	8,4 - 16,7

Les flux sortant sont les suivants:

- Flux d'eau sortant du bassin de Savigny et allant vers :
 - Le ru du Sausset par surverse lorsque celui-ci n'est plus en charge.
 - Le marais, alimenté par deux pompes. La première pompe l'eau dans la nappe de Saint-Ouen et la seconde dans le bassin de Savigny.
 - L'évaporation, il arrive que la cote du bassin descende en dessous de la cote du déversoir.
 - La nappe de Saint-Ouen. Ce flux d'eau sortant est négligeable. En effet, lors de la conception du bassin, le niveau normal (49,50 m NGF) du plan d'eau a été calé sur le niveau bas de la nappe phréatique de Saint-Ouen, en période de basses eaux sa surface piézométrique varie de 49,60 à 51,50 m NGF (préconisations faites en 1976), permettant ainsi d'éviter le risque de contamination de la nappe par les eaux du Sausset (Laboratoire régional de l'est parisien – Le Bourget, 1976)

Malgré les préconisations faites en 1976, il semblerait que la cote minimale de la nappe suive la cote du déversoir aval soit 49,84 m NGF, entraînant ainsi un risque pour la qualité de la nappe lorsque cette dernière est à l'étiage. (Prolog Ingénierie / Esoa, 2008, Safège Ingénieurs Conseils, 2003). Malgré tout, le risque de pollution de la nappe est minime, compte tenu de la brièveté des crues et de la faible perméabilité des terrains encaissants. De plus, le bassin de Savigny et le réseau d'eau pluviale sont indépendants pendant les périodes de temps sec, ce qui limite les risques de pollution (Horizon, 1976).

- Flux de micropolluants métalliques sortant du bassin de Savigny et allant vers
 - Le ru du Sausset par surverse.
 - Le marais, il pourrait être intéressant de faire des analyses dans le marais pour avoir une idée des concentrations arrivant dans cette zone humide.
 - L'évaporation, négligeable étant donné que l'on n'analyse pas le mercure.
 - La nappe de Saint-Ouen. Ce flux de micropolluants métalliques est négligeable, car le risque de pollution de la nappe est modéré compte tenu de la configuration du bassin (cf. flux d'eau sortant du bassin de Savigny et allant vers la nappe de Saint-Ouen).



Métaux dissous = Métaux labiles + Métaux inertes

Métaux particuliers

Figure 7 Flux de micropolluants entrant et sortant

Hormis les flux d'eaux et de micropolluants métalliques entrant et sortant on a un stockage d'eau dans le bassin jusqu'à la cote du déversoir aval, 49,83 m NGF, ainsi qu'un stockage d'éléments traces métalliques sous formes dissoutes ou particulières.

Les éléments traces métalliques dissous ont tendance à interagir avec les cellules phytoplanctoniques, les MES et la matière organique dissoute. Les éléments traces métalliques sous forme particulaire ont tendance à sédimenter (fig. 7).

Lors d'un remplissage du bassin de rétention, les apports principaux d'eau viennent du ru du Sausset. Grâce aux cotes de hauteur d'eau nous pouvons déterminer le débit entrant dans le bassin de Savigny, mais il nous faut déterminer les flux de micropolluants métalliques, entre le ru du Sausset et le bassin de Savigny. C'est pourquoi nous avons placé un préleveur automatique (II. 3. c) d)). Ce dernier nous permettra de quantifier les flux d'éléments traces métalliques entrant et sortant lors des phases de remplissage et de vidange du bassin.

2.3 Elaboration des campagnes de mesure

2.3.1 Choix des points de mesures

Deux campagnes de temps sec ont été réalisées afin de connaître les concentrations en éléments traces métalliques, lorsqu'il n'y a pas d'impact des eaux du Sausset sur le bassin. Afin de connaître le comportement général du bassin, lors de la première campagne, nous avons réalisé des mesures en quatre points : points AUL_AM situé dans la partie amont, AUL_C dans la partie centrale du bassin, AUL_AV situé dans la partie aval du bassin et AUL_PAV situé dans le prébassin aval. Pour la seconde campagne de mesure un point supplémentaire AUL_S point situé dans le Sausset a été choisi permettant de voir la qualité du Sausset par temps sec (fig. 8).

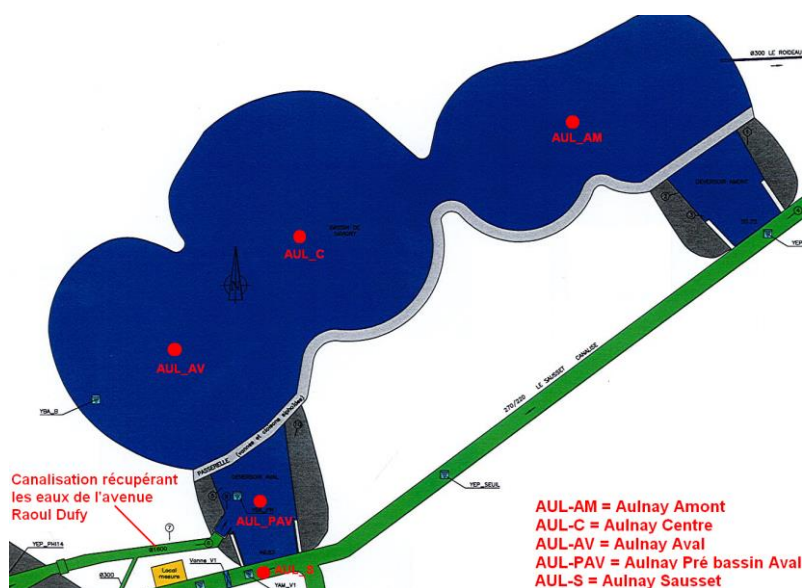


Figure 8 Points de mesures

Aucun échantillonnage n'a été réalisé dans le prébassin amont, la majorité des eaux arrivant par le prébassin aval (moins haut de 92 cm). Lors de la seconde campagne de temps sec, nous avons prélevé dans le ru du Sausset au niveau du prébassin aval afin d'estimer la qualité des eaux du Sausset par temps sec. Ce point a été choisi pour sa facilité d'accès et parce que la majorité des eaux entrant dans le bassin de Savigny passent par ce point.

Pour les quatre campagnes de temps de pluie les mesures ont été effectuées au niveau des points AUL_AV et AUL_C (fig. 8).

Les dates des campagnes de temps sec et de temps de pluie sont regroupées dans le Tableau 5.

Tableau 5 Dates des campagnes

Campagnes	Temps sec		Temps de pluie			
Dates	21/02/2013	25/04/2013	21/05/2013	17/06/2013	29/07/2013	07/08/2013

2.3.2 Paramètres mesurés

Des mesures de différents paramètres qui peuvent être en interaction avec les métaux (fig. 7) ont également été réalisées. Ces paramètres permettent également de déterminer le comportement général de l'étang. En tous les points de mesures, un prélèvement de 2 L sous la surface dans une bouteille en verre a été réalisé pour mesurer les paramètres globaux : carbone organique dissous (COD), carbone organique particulaire (COP), matières en suspension (MES), chlorophylle a. Pour l'analyse des métaux les prélèvements sont effectués sous la surface grâce à un flacon de 500 mL en polyéthylène traité pendant 1 nuit avec de l'acide nitrique à 2%. Avant le prélèvement le flacon est rincé plusieurs fois avec l'eau de l'étang. Grâce à ces échantillons, les trois fractions (métaux totaux, dissous et labiles) sont étudiés. Ont également été analysés les nitrates, phosphates, phosphore total, sur des échantillons de 500 mL prélevés sous la surface dans un flacon en polyéthylène traité pendant 1 nuit avec de l'acide sulfurique à 1% et rincé sur le terrain avec l'eau de l'étang.

Aux points de mesure AUL_AV, AUL_C et AUL_AM plusieurs profils de sonde multiparamètre ont été réalisés sur toute la profondeur de la colonne d'eau. La profondeur, la température, la concentration en oxygène dissous, la conductivité et le pH sont déterminés avec la sonde multi paramètre (Sea-Bird SBE 19-03). Les profils de concentrations en chlorophycées, cyanobactéries, diatomées, cryptophycées, « yellow substances », et la concentration totale en chlorophylle sont obtenus avec le fluorimètre (BBE-Moldaenke Fluoroprobe 3).

Les « yellow substances » représentent le carbone organique dissous absorbé dans le spectre de longueur d'onde UV et bleu. Les « yellow substances » peuvent être divisées en deux grands groupes, les substances humiques et non humiques (Beutler et al, 2000).

La transparence de l'eau est mesurée au disque de Secchi.

Afin de suivre une éventuelle stratification thermique du bassin qui aurait des conséquences sur la qualité du bassin de rétention, une ligne de capteurs de température a été mise en place le 25/04/2013. Trois capteurs ont été placés au niveau du point AUL_C (fig. 8), le premier sous la surface à 0,2 m, le second au milieu de la colonne d'eau à 0,7 m et le troisième au fond à 1,2 m. Cette ligne de température nous fournit une idée du contexte thermique et hydrodynamique du bassin de Savigny au moment des campagnes de mesures, permettant ainsi une meilleure interprétation de ces mesures.

2.3.3 Paramétrage du préleveur automatique

Le préleveur automatique a été mis en place pour quantifier les concentrations en éléments traces métalliques entrant et sortant du bassin de Savigny lors d'un remplissage du bassin. Pour paramétrer le préleveur automatique nous avons analysé les données obtenues du 01/01/2009 au 14/03/2013 (DEA 93) de deux capteurs de niveaux d'eau. Le premier est situé dans le bassin de rétention (YBA-B, fig. 4) et le second dans le pré-bassin aval (YEP_SEUIL, fig. 4). Les cotes de hauteur d'eau ont ensuite été comparées avec la cote du déversoir de 49,83 m NGF, sur la période du 01/01/2009 au 14/03/2013, pour chaque remplissage, permettant ainsi la détermination des temps de remplissage et de vidange. Des dérives importantes du capteur du pré-bassin aval ont eu lieu, (corrigées par la suite lors d'intervention de maintenance), qui ont pu engendrer des biais importants sur l'approximation des temps de remplissage et de vidange du bassin (fig. 9).

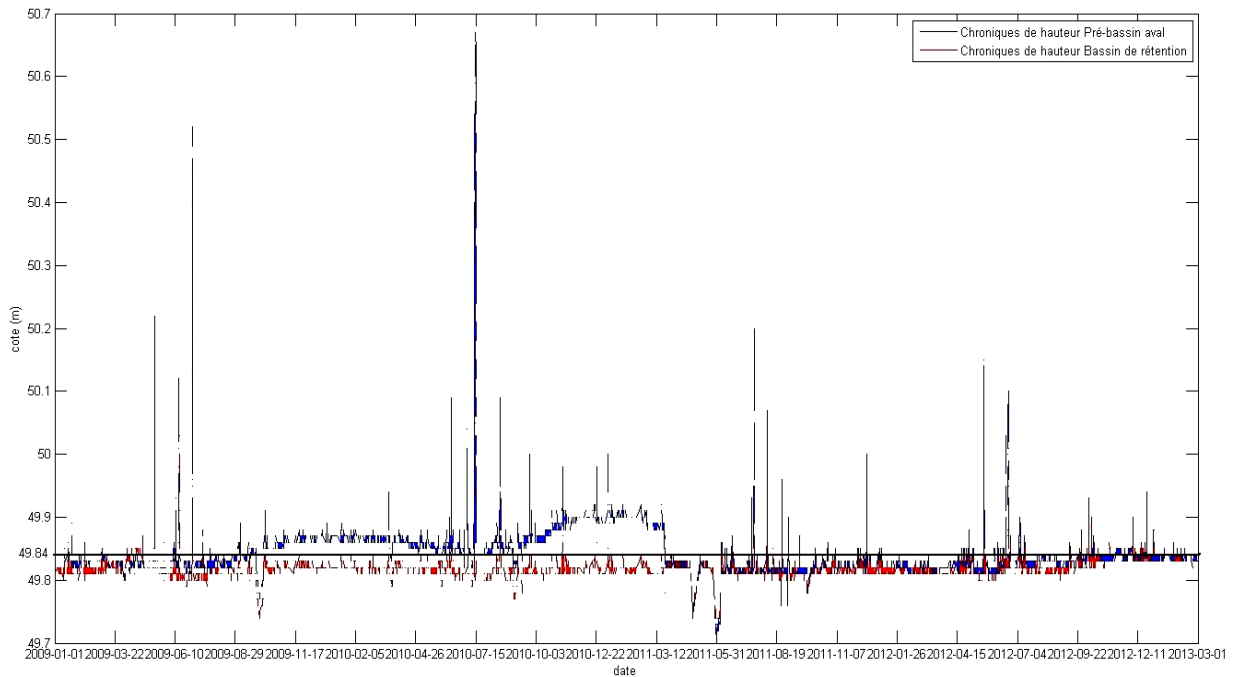


Figure 9 : Chroniques de hauteur dans le pré-bassin aval YEP_SEUIL (fig. 4) et le bassin de rétention (YBA_B, fig. 4) de janvier 2009 à février 2013

Sur les 40 évènements identifiés, la majorité des remplissages durent moins de 12 h (39 évènements dont 33 de moins de 6 h) (fig. 10). La plus grande partie (57,5 %) des cycles de remplissage et de vidange du bassin de rétention durent moins de 12 h.

Le préleveur automatique a donc été paramétré pour que les prélèvements d'un même évènement se fassent sur une durée totale de 12 h. Pour ce faire le préleveur automatique permettant le stockage de 12 flacons d'un litre à 5 °C, prélèvera 235 mL toutes les 15 min.

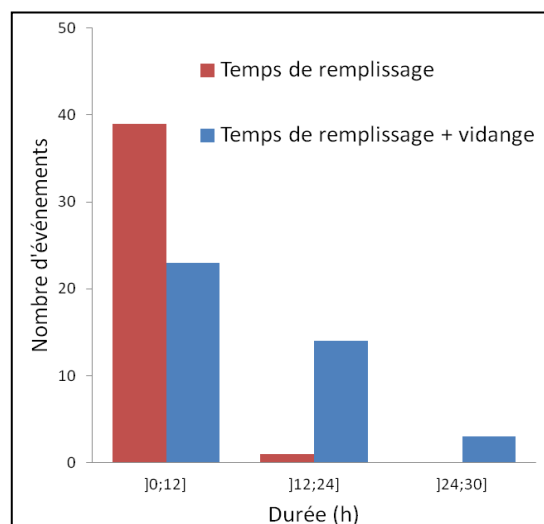


Figure 10 Fréquence d'évènements en fonction de la durée de remplissage ou de la durée de remplissage et de vidange cumulés (du 01/01/09 au 31/12/12)

Le réglage d'un préleveur automatique peut se faire par asservissement soit par rapport à une cote de hauteur d'eau. La DEA étant équipée de capteurs de niveau d'eau sur et aux alentours du bassin nous avons asservi le préleveur à une cote de hauteur d'eau. Le seuil de déclenchement a été déterminé par rapport au radier de la conduite du Sausset 48.92 m NGF et la cote du déversoir aval de 49,83 m NGF (DEA 93). Le démarrage du préleveur automatique a donc été réglé à partir de la cote 0.91 m et s'arrête à la cote 0,90 m déterminée sur le capteur de niveau d'eau YAM-V1 situé à proximité de la vanne V1 (fig. 3).

2.3.4 Placement du préleveur automatique

Le préleveur ainsi que le caisson de refroidissement se trouvent dans le local technique. Le tuyau du préleveur, d'une longueur de 15.5 m, passe au dessus de la vanne V1 (fig. 3) et est fixé sur la partie supérieure de la conduite du Sausset pour prélever l'eau au niveau du déversoir aval (fig. 11). Lors d'un remplissage du bassin, l'alerte se fait automatiquement par téléphone.

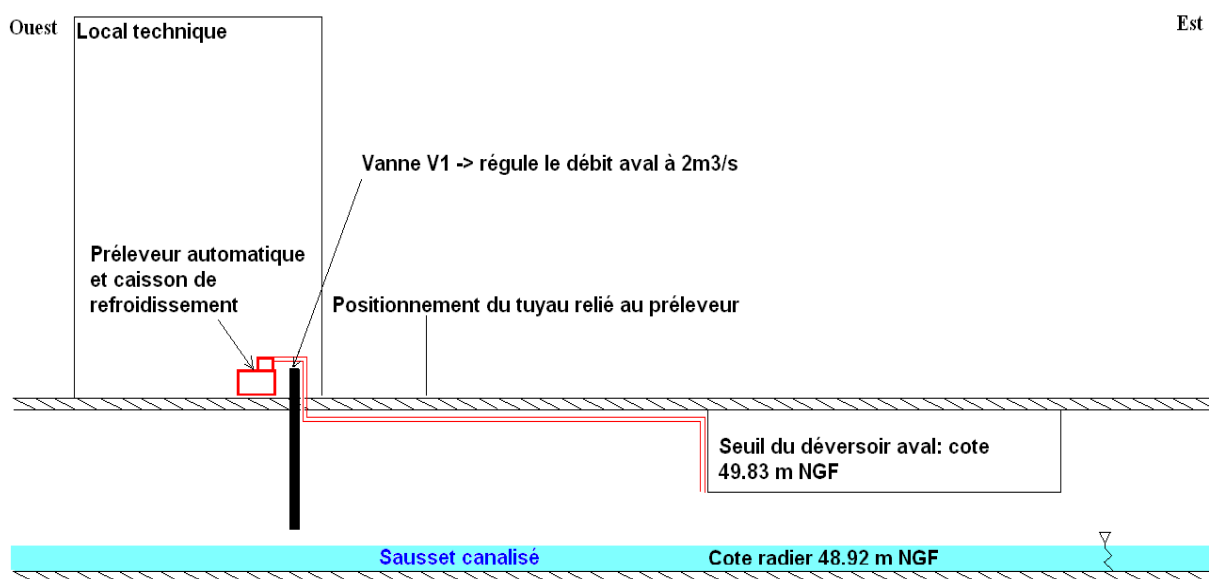


Figure 11 : Schéma du positionnement du préleveur automatique et du tuyau

2.3.5 Récupération des données et mesures sur le terrain

Une fois les échantillons prélevés par le préleveur automatique, ils sont récupérés rapidement. Des prélèvements pour les paramètres globaux, les métaux ainsi que des profils de sonde au niveau des points AUL-AV et AUL-C situés respectivement au niveau de l'aval et du centre du bassin sont également effectués (fig. 8).

2.4 Séparation des différentes fractions métalliques

Le devenir des micropolluants dans un bassin de rétention ainsi que leur toxicité dépendent de leur spéciation. Les concentrations totales dans le milieu ne reflètent que très partiellement le risque lié à un contaminant (Varrault, 2012). Il faut donc considérer la fraction biodisponible des micropolluants qui représente l'ensemble des molécules présentes dans le milieu qui sont susceptibles d'entrer en contact et / ou de contaminer les organismes (Gourlay-Francé *et al*, 2010). Pour cela il faut arriver à séparer les différentes fractions métalliques : (1) l'eau brute correspond aux métaux totaux (2) par filtration (diamètre de pore 0,45 µm) les métaux dissous sont séparés des métaux associés aux matières en suspension (particulaires). Au sein de la fraction dissoute, les disques chélatants, constitués de polymères (polystyrène divinylbenzène) portant des groupements chélatants iminodiacétiques permettent de séparer les métaux dissous labiles d'une part, c'est-à-dire les ions

libres, les complexes minéraux, et les complexes organiques peu stables, de la fraction inerte (stable) d'autre part (Varrault et al, 2012 b). Le terme de « labilité » est lié à une technique de séparation, les métaux labiles étant ceux susceptibles de se dissocier de la fraction inerte durant l'extraction (Bracmort, 2010). Les disques chélatants ont d'ailleurs été développés pour permettre la détermination des concentrations en métaux labiles et donc de la biodisponibilité.

Pour éviter toute contamination, l'ensemble du matériel utilisé pour les métaux doit suivre un protocole de lavage strict. Un lavage dans un mélange détergeant-eau est effectué pendant 24h pour permettre l'élimination d'éléments organiques. A la fin des 24 h un rinçage à l'eau ultra pure, puis un séjour dans un bac d'acide à 5 % pendant 24h permettent d'éviter des contaminations en métaux. Le matériel est rincé à l'eau ultra-pure, avant d'être rangé dans des sacs plastique scellés.

Les disques chélatants permettent d'obtenir la fraction labile. Ils peuvent être utilisés directement, mais un conditionnement est nécessaire pour mesurer de faibles concentrations en métaux, de l'ordre du microgramme par litre. Le conditionnement des disques chélatants se fait dans une salle blanche. Il consiste à faire passer successivement différents solvants, à savoir, 20 mL d' HNO_3 Optima 3 M¹, 50 mL d'eau ultrapure, 100 mL de tampon d'acétate d'ammonium présentant un pH de 5,3 et enfin plusieurs rinçages sont effectués à l'eau ultrapure. Entre chaque étape un vide d'air est effectué. A la suite du conditionnement le disque chélatant et son support sont rangés dans un sac plastique scellé (Tran Khac V., 2012).

2.4.1 Métaux totaux

La fraction totale des métaux correspond à l'eau brute du lac (50 mL), à laquelle sont ajoutés 500 μL de HNO_3 Optima 3 M.

La fraction totale des métaux doit être ensuite minéralisée pour permettre l'extraction des métaux liés aux particules et matières en suspension. Pour ce faire, il faut acidifier les échantillons contenus dans des tubes à essai à bouchon, résistants à la chaleur (SCP Science) avec 1,15 mL de HNO_3 Optima (65 %) et 0,62 mL HCl (30 %), les échantillons sont ensuite chauffés pendant 2h30 à 95 °C grâce à un bloc de digestion utilisant des réacteurs de minéralisation en polypropylène haute pureté (SCP Science). Les échantillons sont filtrés, grâce à un filtre en téflon de porosité 0,45 μm pour pouvoir être analysés par ICP-MS (spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif).

2.4.2 Métaux dissous

La fraction correspondant aux métaux dissous (20 mL) est obtenue en filtrant l'eau brute de l'étang avec un ou plusieurs filtres à 0,45 μm en acétate de cellulose. A l'aide d'une seringue l'échantillon passe à travers le filtre, les premiers millilitres ne doivent pas être conservés car ils permettent de rincer le filtre et la seringue. Le filtrat est ensuite acidifié avec 600 μL de HNO_3 Optima à 67 %, l'échantillon sera ensuite analysé par ICP- MS.

2.4.3 Métaux inertes

Les métaux inertes et labiles sont obtenus en faisant passer l'échantillon préalablement filtré à 0,45 μm (pour éviter tout colmatage) à travers un disque chélatant préalablement conditionné (annexe 6). Les premiers 80 mL permettent le rinçage de la seringue et du disque chélatant, 20 mL sont ensuite récupérés dans un tube SCP et acidifiés avec 600 μL de HNO_3 Optima à 67%.

Les métaux labiles sont déterminés par différence entre la concentration de l'échantillon dissous (somme de l'inerte et du labile) et la concentration de l'échantillon inerte analysés par ICP-MS.

2.4.4 Analyse par ICP-MS.

L'ICP-MS, spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif est une technique d'analyse reposant sur la séparation, l'identification et la quantification des éléments constitutifs d'un échantillon en

¹ Optima désigne un produit de haute pureté dont les concentrations en métaux n'excèdent pas 100 $\mu\text{g/g}$

fonction de leur masse. Cette technique est basée sur le couplage d'une torche à plasma générant des ions et d'un spectromètre de masse quadripolaire qui sépare ces ions en fonction de leur masse atomique. Les ions présentés dans la partie résultats sont le ^{52}Cr , ^{60}Ni , ^{65}Cu , ^{59}Co , ^{111}Cd , ^{208}Pb , ^{66}Zn . Les limites de quantification de l'ICP-MS sont faibles. Elles varient de 0,01 $\mu\text{g/L}$ pour Cd, Co, Pb, Ni, Cu à 0,05 $\mu\text{g/L}$ pour le Zn et 0,1 $\mu\text{g/L}$ pour le Cr.

Les analyses en ICP-MS ont été réalisées au Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement LSCE (Gif-sur-Yvette).

3 Résultats

3.1 Campagnes de temps sec

3.1.1 Paramètres globaux

L'ensemble des résultats concernant les paramètres globaux sont présentés dans le tableau 5. Les concentrations en matières en suspension (campagne du 21/02/13 et du 25/04/13) sont plus élevées dans le prébassin aval (AUL_PAV), que sur les autres points du bassin. Les concentrations en COD et COP sont homogènes sur l'ensemble des points du bassin de Savigny pour les deux campagnes de mesures. Lors de la seconde campagne on retrouve même une homogénéité entre le bassin de rétention et le pré-bassin aval.

Tableau 6 Récapitulatif des résultats des campagnes de temps sec

Echantillons	[MES] moyenne (mg/L)	COP (mgC/L)	COP (gC/gMES) (%)	[COD] moyenne (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	NO3 (mg/L)	[Pt] moyenne ($\mu\text{gP/L}$)	[PO4] moyenne ($\mu\text{gP/L}$)	Spectrophotométrie Chlorophylle a (Lorenzen) ($\mu\text{g/L}$)
AUL-AM 21/02/13	23,6	8,22	34,83	2,15	0,36	1,6	152,53	17,15	87,37
AUL-C 21/02/13	28,9	9,31	32,86	2,22	0,3	1,36	172,64	16,74	110,7
AUL-AV 21/02/13	26	10	40,2	2,25	0,28	1,22	201,78	43,19	110,05
*AUL-PAV 21/02/13	*55,9	*23,79	*40,98	*26,6	*0,11	*0,54	*1528,28	*794,83	*57,31
AUL-S 25/04/13	17,5	3,4	19,4	3,08	3,8	16,4	129,2	1,91	29,27
AUL-AM 25/04/13	39,5	11,3	29,3	4,32	0,03	0,12	321,47	11,56	106,92
AUL-C 25/04/13	38,5	11,1	29,5	4,15	0,04	0,18	241,61	8,91	108,43
AUL-AV 25/04/13	51,75	13,6	27,4	4,29	0,03	0,12	318,61	17,33	136,08
AUL-PAV 25/04/13	46	13,2	29,3	4,54	0,02	0,1	299,8	29,38	147,74

*AUL_PAV 21/02/13 échantillon prélevé au niveau du pré-bassin aval, à l'arrivée de la canalisation récupérant les eaux de l'avenue Raoul Dufy, non représentatif de qualité général dans le prébassin aval. Peut faire penser à une entrée d'eau parasite.

Durant les deux campagnes de mesures la concentration en NO_3^- est en dessous de 2 mg/L sur les points AUL_PAV, AUL_AV, AUL_C et AUL_AM. Au contraire, le 25/04/2013 les eaux du Sausset (AUL-S) apparaissent très chargées en nitrates avec 16,4 mg/L.

Les concentrations en phosphore total (phosphore lié à la matière organique, lié aux matières en suspension et dissous dans l'eau) sont très importantes sur l'ensemble des points du bassin, du prébassin et du Sausset. La concentration très élevée en phosphore total au niveau du point AUL_PAV du 21/02/2013 n'est pas représentative de la qualité du prébassin aval (cf. * tableau 5).

La concentration en chlorophylle a a évolué entre les deux campagnes dans le bassin de rétention. Les concentrations vont de 87 à 110 $\mu\text{g/L}$ le 21/02/2013 et de 107 à 136 $\mu\text{g/L}$ le 25/04/2013. Le

25/04/2013 on retrouve une faible concentration de chlorophylle a dans le Sausset (AUL_S) 29 µg/L. On observe une légère baisse de la concentration en chlorophylle a de l'aval vers l'amont du bassin de rétention lors des deux campagnes.

3.1.2 Sonde multiparamètres

Les profils de sonde effectués avec la sonde multi paramètre Sea-Bird le 21/02/2013 montrent que le lac n'est pas stratifié à cette date. Nous observons une bonne homogénéité entre les trois points de mesure. On remarque une sursaturation en oxygène de 115 à 118%, selon les points. Cette sursaturation doit être due à la présence de nombreuses algues (annexes 3, 4) produisant de l'oxygène.

La température se révèle légèrement plus basse de l'aval (environ 3,6 °C) vers l'amont (environ 4,25 °C) (annexe 2).

Le pH est élevé de l'ordre de 8.6 et traduit la présence d'une forte activité photosynthétique. Il classe l'eau du bassin de Savigny en qualité moyenne ($8.5 < \text{pH} < 9$). L'origine de ce pH relativement élevé peut s'expliquer par la présence d'une forte concentration en algues. En effet, la consommation de CO_2 libre par la biomasse augmente le pH au dessus de 8.5, le HCO_3^- constituant alors la seule source de carbone disponible (Meybeck et al, 1995) (annexe 2).

Lors de la seconde campagne du 25/04/2013, les profils réalisés avec la sonde multi paramètre Seabird révèlent une stratification de l'étang de Savigny mise en évidence également par la ligne de température placée au point central le 25/04/2013 (fig. 12). En effet, on observe une décroissance du pourcentage d'oxygène de la surface (environ 180 %) du bassin vers le fond (environ 120 %). Cette stratification est plus marquée à l'aval du bassin, visible au point central, mais presque inexistante au niveau du point amont. La température est de l'ordre de 18 °C et décroît d'environ 1,5 °C en profondeur. Les plus fortes conductivités et les plus forts pH sont observés au niveau du point aval (annexe 2).

Les résultats présentés en annexes 3 et 4 montrent une décroissance de la concentration totale en chlorophylle a de la partie aval vers la partie amont. Cette décroissance est visible pour les deux campagnes. Ceci peut éventuellement s'expliquer par la décroissance en nutriments (phosphates) entre le point AUL-AV et les points AUL-C et AUL-AM (tableau 5).

Les profils obtenus grâce à la fluoroprobe montrent que les concentrations des différentes algues le 21/02/2013 sont globalement homogènes sur toute la colonne d'eau. Même si cette homogénéité est moins marquée au niveau du point aval annexe3.

Le 25/04/2013 les profils montrent que les concentrations en chlorophylle a et diatomées ne sont pas homogènes sur toute la colonne d'eau. Les concentrations sont plus élevées en profondeur qu'en surface, ce phénomène est nettement visible pour les points amont et central. Le point situé en aval du bassin de rétention présente des concentrations en diatomées et chlorophycées globalement homogènes sur l'ensemble de la colonne d'eau (annexe 4)².

La ligne de température a été mise en place le 25/04/2013, trois capteurs ont été placés, le premier sous la surface à 0,2 m, le second au milieu de la colonne d'eau à 0,7 m et le troisième au fond à 1,2 m. La figure 12 permet de voir des alternances de stratification (du 25 au 27/04/2013 et du 2 au 9/05/2013) et de mélange de la colonne d'eau. La figure montre également la baisse des températures nocturnes. Sur la période d'enregistrement du 22/05/2013 au 18/06/2013 on observe des phases de stratification le jour et des phases de mélange la nuit. Du 5 au 9/06/2013 l'étang de Savigny est stratifié de jour comme de nuit (fig. 12).

² Lors de la campagne du 25/04/2013 une panne de la sonde n'a pas permis d'obtenir la totalité du profil correspondant au point aval

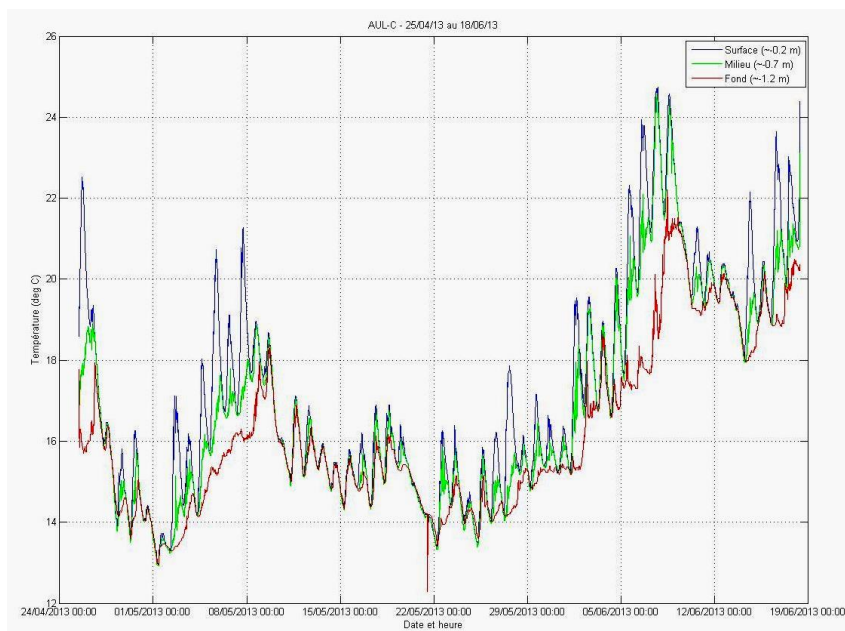


Figure 12 : Enregistrement de la température en trois profondeurs du 25/04 au 18/06/2013

3.1.3 Métaux

L'ensemble des résultats concernant la campagne du 21/02/2013 pour les fractions totale et dissoute des métaux est présenté dans le tableau 6. Les résultats de la campagne du 25/04/2013 pour les fractions dissoute et labile sont présentés dans le tableau 7. Il est à noter que lors de la première campagne la fraction labile n'avait pas été analysée. ~~Lors de la seconde campagne toutes les fractions ont été analysées, cependant les résultats de la fraction totale sont en cours d'analyse et ne seront pas présentés dans cette partie du rapport.~~

	Cr ppb	Co ppb	Ni ppb	Cu ppb	Zn ppb	Cd ppb	Pb ppb
AUL_PAV total	3,50 ± 0,70	0,87 ± 0,17	4,31 ± 0,86	16,17 ± 3,23	73,15 ± 14,63	0,07 ± 0,01	4,49 ± 0,90
AUL_PAV dissous	2,31 ± 0,46	0,62 ± 0,12	3,26 ± 0,65	3,28 ± 0,66	14,31 ± 2,86	0,02 ± 0,00	0,39 ± 0,08
AUL_AV total	2,34 ± 0,47	0,38 ± 0,08	2,97 ± 0,59	1,97 ± 0,39	9,78 ± 1,96	0,02 ± 0,00	1,36 ± 0,27
AUL_AV dissous	2,43 ± 0,49	0,28 ± 0,06	2,25 ± 0,45	1,98 ± 0,40	5,09 ± 1,02	0,03 ± 0,01	2,17 ± 0,43
AUL_C total	2,62 ± 0,52	0,40 ± 0,08	2,81 ± 0,56	2,13 ± 0,43	7,33 ± 1,47	0,02 ± 0,00	1,53 ± 0,31
AUL_C dissous	2,48 ± 0,50	0,26 ± 0,05	2,10 ± 0,42	0,89 ± 0,18	1,82 ± 0,36	< LQ	0,11 ± 0,02
AUL_AM	2,77 ± 0,55	0,39 ± 0,08	3,00 ± 0,60	2,80 ± 0,56	14,78 ± 2,96	0,02 ± 0,00	1,54 ± 0,31
AUL_AM dissous	2,46 ± 0,49	0,27 ± 0,05	2,35 ± 0,47	0,95 ± 0,19	4,90 ± 0,98	< LQ	0,13 ± 0,03

Tableau 7 : Campagne de mesures du 21/02/2013: concentrations (ppb) en métaux totaux et dissous aux différents points de mesures

Les tableaux 6 et 7 présentent les concentrations en chrome, nickel, cuivre, cobalt, cadmium, plomb et zinc. Lors du traitement des données, des interférences entre les isotopes du cuivre ^{63}Cu et ^{65}Cu ont été détectées. La concentration la plus élevée a été éliminée (^{63}Cu), cependant cela ne signifie pas qu'il n'y pas d'interférences due à des effets de matrice pour le ^{65}Cu . Les données concernant le cuivre se trouvent dans ces tableaux à titre indicatif mais doivent être considérées avec précaution. Les concentrations des éléments traces métalliques sous forme dissoute semblent relativement homogènes sur les points AUL_AV, AUL_C et AUL_AM entre le 21/02/2013 et le 25/04/2013.

	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AUL_PAV dissous	1,07 ± 0,21	0,30 ± 0,06	2,43 ± 0,49	1,79 ± 0,36	15,86 ± 3,17	0,01 ± 0,00	0,12 ± 0,02
AUL_PAV inerte	0,60 ± 0,12	0,13 ± 0,03	0,76 ± 0,15	0,57 ± 0,11	13,54 ± 2,71	0,01 ± 0,00	0,06 ± 0,01
AUL_AV dissous	1,13 ± 0,23	0,30 ± 0,06	2,34 ± 0,47	1,11 ± 0,22	5,42 ± 1,08	< LQ	0,07 ± 0,01
AUL_AV inerte	1,30 ± 0,26	0,31 ± 0,06	2,28 ± 0,46	1,15 ± 0,23	4,46 ± 0,89	< LQ	0,04 ± 0,01
AUL_C dissous	1,29 ± 0,26	0,33 ± 0,07	2,52 ± 0,50	1,26 ± 0,25	2,40 ± 0,48	< LQ	0,06 ± 0,01
AUL_C inerte	1,76 ± 0,35	0,40 ± 0,08	2,92 ± 0,58	1,54 ± 0,31	3,60 ± 0,72	< LQ	0,04 ± 0,01
AUL_AM dissous	0,46 ± 0,09	0,29 ± 0,06	2,31 ± 0,46	1,17 ± 0,23	4,46 ± 0,89	< LQ	0,07 ± 0,01
AUL_AM inerte	0,43 ± 0,09	0,17 ± 0,03	1,21 ± 0,24	0,58 ± 0,12	7,48 ± 1,50	< LQ	0,04 ± 0,01
AUL_S dissous	1,39 ± 0,28	0,42 ± 0,08	2,99 ± 0,60	2,83 ± 0,57	21,98 ± 4,40	0,03 ± 0,01	0,18 ± 0,04
AUL_S inerte	0,79 ± 0,16	0,21 ± 0,04	0,93 ± 0,19	0,90 ± 0,18	24,87 ± 4,97	0,01 ± 0,00	0,06 ± 0,01
blanc dissous	0,15 ± 0,03	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,46 ± 0,09	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
blanc inerte	0,14 ± 0,03	0,01 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	1,12 ± 0,22	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00

Tableau 8 Campagne de mesures du 25/04/2013: concentrations (ppb) en métaux dissous et inertes sur les différents points de mesures

Les concentrations en plomb total, en chrome total et en cadmium total sont plus faibles que les concentrations en dissous pour le point AUL_AV (tableau 6). Une erreur de 20 % due aux nombreuses manipulations effectuées (échantillonnage, filtrations avec utilisation de plusieurs tubes SCP...) doit être associée aux concentrations, ce qui fait que les concentrations de chrome et de cadmium peuvent être acceptables, et indiquent que ces éléments seraient majoritairement sous forme dissoute. Cependant la concentration très élevée du plomb total (2,16 µg/L) peut provenir d'une erreur ou d'une contamination lors de la filtration ou de l'échantillonnage. Les concentrations en plomb du point AUL_AV le 21/02/2013 sont donc à prendre à titre indicatif. Par ailleurs les concentrations obtenues au niveau du point AUL_PAV lors de la première campagne sont également à prendre à titre indicatif car l'échantillonnage a été réalisé au niveau de l'arrivée de la canalisation récupérant les eaux de l'avenue Raoul Dufy, le point AUL_PAV du 21/02/2013 n'est donc pas représentatif de la qualité générale du prébassin aval.

Dans le tableau 7, les concentrations de la fraction inerte du chrome, du cobalt et du cuivre pour l'échantillon AUL_AV sont supérieures à la fraction dissoute. On retrouve également des concentrations plus élevées en cobalt, en cuivre, en zinc et en nickel dans la fraction inerte plutôt que dans la fraction dissoute au niveau du point AUL_C. En tenant compte d'une incertitude de 20% sur ces concentrations ces concentrations peuvent être acceptées. Au point AUL_AM les concentrations de la fraction inerte sont également élevées et pourraient permettre de justifier que les métaux soient principalement sous la forme inerte (tableau 7).

Les figures 13 à 15 montrent une concentration plus élevée en métaux totaux (zinc, chrome, nickel, cadmium, cobalt et plomb) dans le prébassin aval (point AUL_PAV). Cette observation est à rapprocher avec la concentration élevée en MES dans le prébassin aval (55,9 mg/L) tableau 5. Les métaux sont probablement principalement adsorbés sur les matières en suspension.

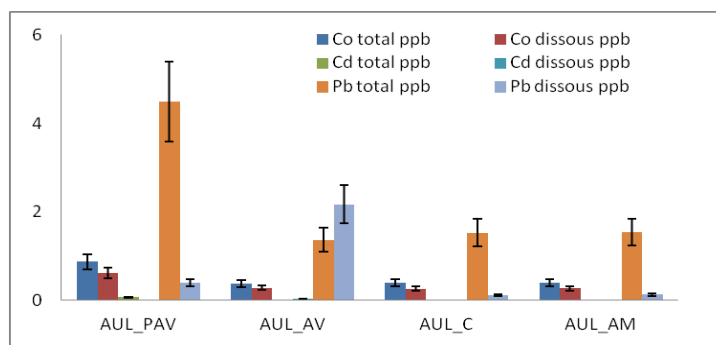


Figure 13 : Campagne de mesure du 21/02/2013: Cd, Co et Pb total et dissous en µg/L en fonction des points de mesures

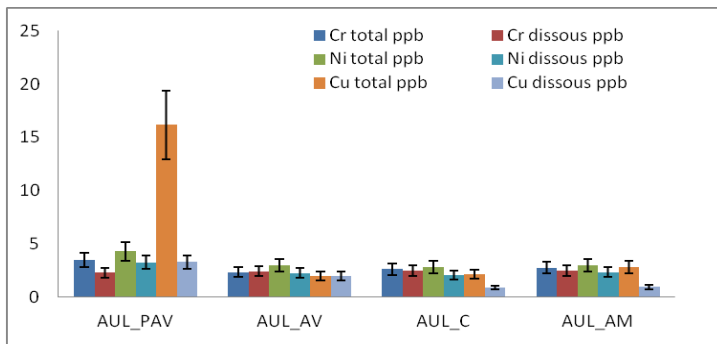


Figure 15 : Campagne de mesure du 21/02/2013 : Cr, Cu et Ni, total et dissous en µg/L en fonction des points de mesures

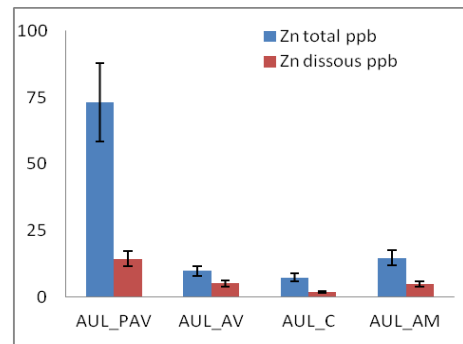


Figure 14 Campagne de mesure du 21/02/2013: Zn total et dissous en µg/L en fonction des points de mesures

Les figures 16 à 18 présentent les concentrations en métaux dissous et inertes obtenues lors de la campagne du 25/04/2013. Les plus fortes concentrations en métaux sont observées au niveau des points AUL_PAV situé dans le prébassin aval et AUL_S situé dans le Sausset. Les métaux dissous sont principalement sous forme inerte aux points AUL_AV, AUL_C et AUL_AM qui se trouvent dans le bassin de rétention.

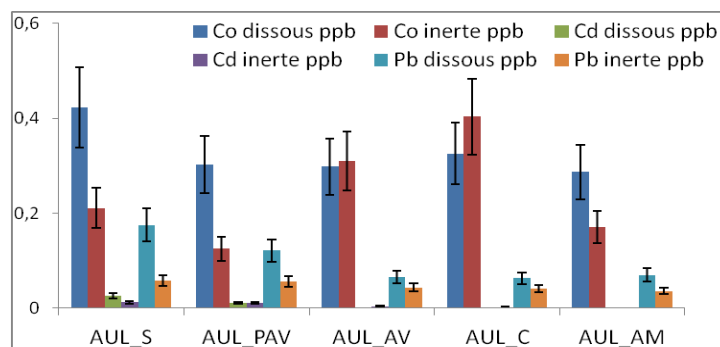


Figure 16 Campagne de mesure du 25/04/2013: Co, Pb, Cd dissous et inerte en µg/L en fonction des points de mesures

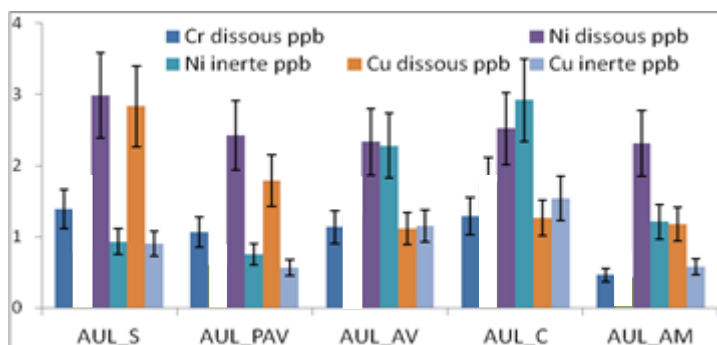


Figure 17 : 25/04/2013: Ni, Cu dissous et inerte, Cr dissous en µg/L en fonction des points de mesures

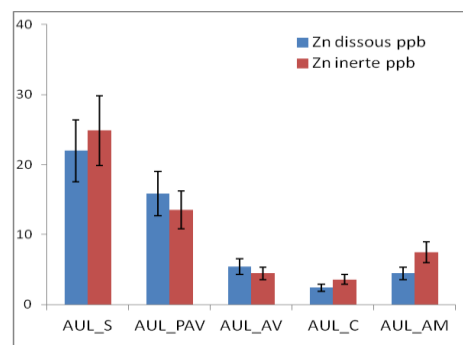


Figure 18 : 25/04/2013: Zn dissous et inerte (µg/L) en fonction des points de mesures

La figure 19 présente les concentrations en chrome dissous et nickel inerte et dissous au niveau des trois points situés dans le bassin, le ru du Sausset et le prébassin aval. Les concentrations en nickel et chrome inerte sont plus importantes dans le bassin de rétention (points aval, centre et amont) que

dans le Sausset. Les concentrations en chlorophylle a et en MES sont également plus élevées dans le bassin de rétention que dans le ru du Sausset.

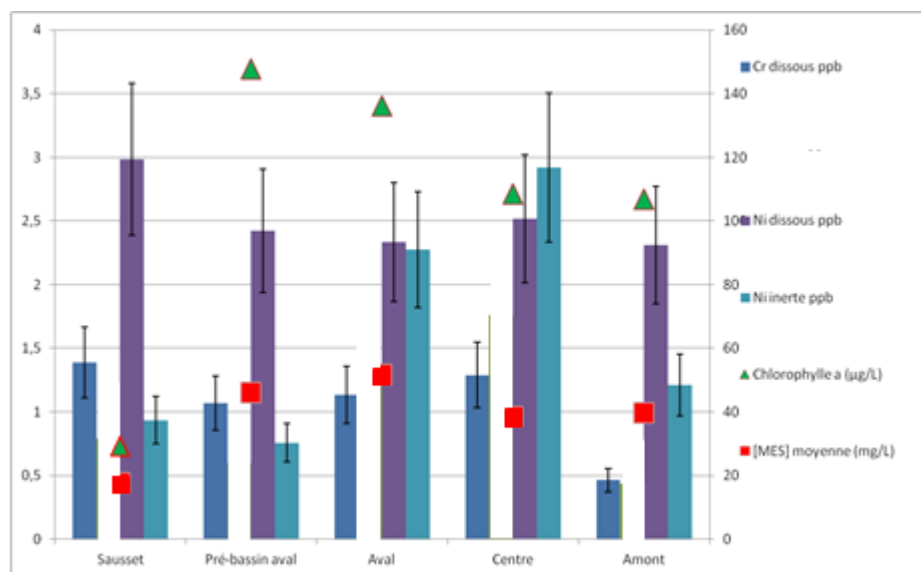


Figure 19 Résultats de la campagne du 25/04/2013 concernant les concentrations en nickel dissous et inerte et en chrome dissous, les concentrations en chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$) et en MES (mg/L)

La figure 20 présente le pourcentage de la fraction inerte par rapport à la fraction dissoute pour le nickel, le cobalt et le plomb. Ce pourcentage est beaucoup plus élevé pour les points situés dans le bassin de rétention, de l'ordre de 50 à 100 %, que dans le Sausset, entre 30 et 60 %. On peut penser que le bassin de rétention favorise la forme inerte des micropolluants métalliques et a donc un effet positif car peu se trouve sous forme labile.

La figure 21 montre, sur les deux campagnes de temps sec, une bonne corrélation ($r=0.65$) entre les concentrations en MES et chlorophylle a. Dans le bassin de Savigny, pendant ces deux campagnes, les MES sont majoritairement composées de biomasse phytoplanctonique.

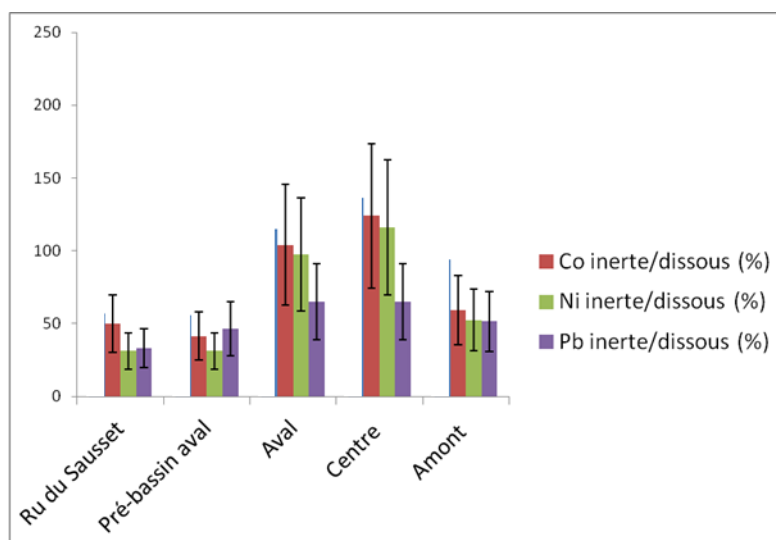


Figure 20 Pourcentage de la fraction inerte par rapport à la fraction dissoute pour le cobalt, le nickel et le plomb

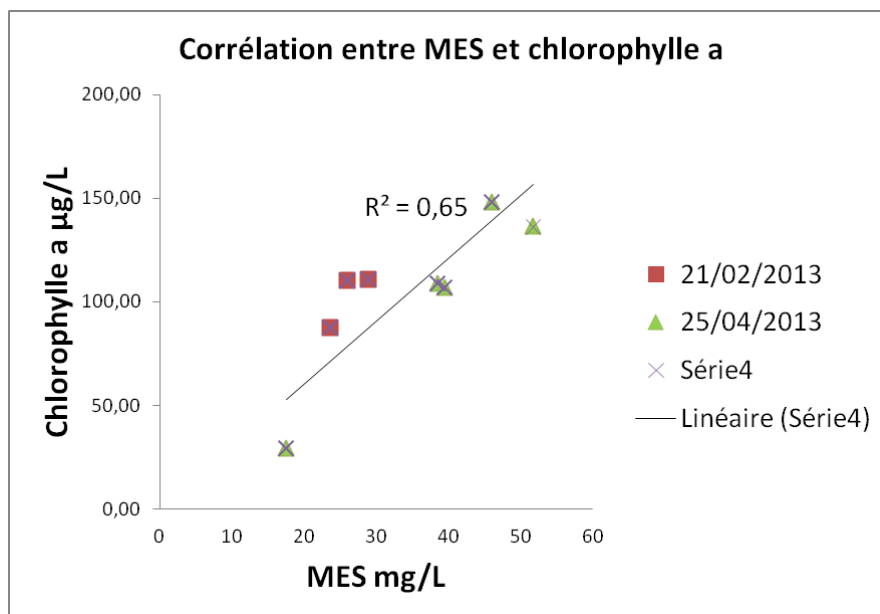


Figure 21 Corrélation entre MES et chlorophylle a pour les deux campagnes de temps sec

Nous retiendrons principalement que, durant ces campagnes de temps sec, il y a de fortes concentrations en chlorophylle a dans le bassin de rétention, qui aurait un effet bénéfique sur la biodisponibilité des éléments traces métalliques, majoritairement sous la forme inerte.

3.2 Campagnes de temps de pluie.

3.2.1 Paramètres globaux

Le 21/05/2013, seulement 1000 m³ se sont déversés dans le bassin de Savigny, ce qui correspond à 1,7 % de sa capacité de stockage. Les précipitations (12 mm dans la nuit du 20 au 21/05/2013) ont entraîné une alternance entre remplissage et vidange du bassin qui ne permettent pas de voir clairement les flux entrant et sortant du bassin. Les échantillons S1-4 et S5-8 correspondent aux échantillons obtenus grâce au préleveur. Après avoir mesuré la conductivité et la turbidité nous les avons rassemblés en deux échantillons distincts sur lesquels ont été effectuées les mesures de métaux et des paramètres globaux.

Echantillons	[MES] moyenne (mg/L)	COP (mgC/L)	COP (gC/gMES) (%)	[COD] moyenne (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	NO3 (mg/L)	[Pt] moyenne (µgP/L)	[PO4] moyenne (µgP/L)
S1-4 21/05/2013	37,3	6,3	17,3	3,18	0,29	1,28	239,29	52,53
S5-8 21/05/2013	33,3	5,5	17,2	3,11	0,02	0,08	186,06	22,29
AUL-AV 21/05/2013	47,0	12,9	26,8	4,32	0,02	0,08	271,02	3,24
AUL-C 21/05/13	48,0	12,9	27,3	4,40	0,5	2,3	277,96	3,59
Echantillons	[MES] moyenne (mg/L)	COP (mgC/L)	COP (gC/gMES) (%)	[COD] moyenne (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	NO3 (mg/L)	[Pt] moyenne (µgP/L)	[PO4] moyenne (µgP/L)
S1-4 17/06/2013	112,2			6,62	0,33	1,46	392,97	44,30
AUL-AV 17/06/2013	49,1			5,24	0,12	0,54	325,04	46,24
AUL-C 17/06/2013	39,9			5,02	0,13	0,58	256,24	29,21

Tableau 9 Paramètres globaux pour les campagnes de temps de pluie

Lors de la première campagne du 21/05/2013 les concentrations en nitrates sont élevées aux points AUL_C et S1-4. Les concentrations en MES, COP et COD dans les deux échantillons issus du préleveur sont similaires. Seules les concentrations en nitrates diffèrent. Les concentrations en phosphore total et en phosphates montrent une homogénéité pour les points AUL_AV et AUL_C. La concentration en phosphore total au point S1_4 est plus élevée que celle obtenue au point S5_8 (tableau 8).

La pluie du 17/06/2013 a entraîné un plus fort remplissage de 2900 m³ soit 4.9 % de sa capacité de stockage. L'échantillon S1_4 17/06/13 correspond à l'échantillon obtenu avec le préleveur. Cet échantillon présente une forte concentration en MES (112,2 mg/L), une forte concentration en nitrates et une plus forte concentration en phosphore total, même si les concentrations en phosphore total et phosphate sont relativement homogènes entre l'échantillon issu du préleveur et le point aval. Les points aval et central sont homogènes concernant les paramètres MES et nitrates, mais différent pour le phosphore total et les phosphates (tableau 8).

3.2.2 Profils de sonde

Le 21/05/2013, les profils effectués avec la sonde multiparamètres montrent l'absence de stratification de l'étang, la température est homogène entre les points AUL-C et AUL-AV, environ 14 et 16 °C (annexe 5). On remarque une forte baisse de la concentration d'oxygène dissous (de l'ordre de 75 – 80 %) par rapport aux campagnes de temps sec pouvant s'expliquer par l'augmentation de la concentration en matières dégradables due au déversement d'une partie des eaux du Sausset dans le bassin de rétention.

Le 18/06/2013, les profils effectués avec la sonde multiparamètres montrent une stratification du bassin de Savigny également visible sur la fig. 12. La température est de l'ordre de 23 °C en surface au point central et de l'ordre de 21 °C en profondeur en ce même point. Au point aval, une différence de température d'environ 1°C est observée entre la surface et le fond du bassin. La concentration d'oxygène dissous est élevée en surface au niveau des deux points de mesure, de l'ordre de 120 % et beaucoup plus faible en profondeur de l'ordre de 60%. La conductivité est de l'ordre de 650 – 675 µS/cm pour les deux campagnes de temps de pluie (annexe 5).

D'après la mesure des profils de concentration de la première campagne de pluie du 21/05/2013, les concentrations en algues sont homogènes sur l'ensemble de la colonne d'eau. En plus des chlorophycées, on remarque la présence de diatomées, de cyanobactéries et de cryptophycées (annexe 6). La sonde fluoroprobe a également été utilisée au laboratoire pour mesurer les différentes concentrations en algues sur les deux échantillons récupérés grâce au préleveur automatique. Les concentrations en substances jaunes et cryptophytes sont négligeables. On mesure une faible concentration en diatomées et en cyanobactéries, la concentration en chlorophycées est de l'ordre de 20 – 27 µg/L (tableau 9).

Tableau 10 Concentrations moyennes (µg/L) mesurées avec la sonde Fluoroprobe

	Chlorophycées	Cyanobactéries	Diatomées	Cryptophycées	Chl a totale
	(µg/L)				
S 1 à 4 21/05/13	20.41	2.60	5.38	0.20	28.58
S 5 à 8 21/05/13	27.25	2.79	7.08	0.92	38.03

Lors de la seconde campagne de temps de pluie du 18/06/2013, on observe une concentration homogène entre les deux points de mesures AUL_C et AUL_AV, seules les chlorophycées sont présentes avec une concentration de l'ordre de 175 µg/L (annexe 7). Le 18/06/2013 les concentrations en chlorophycées et en chlorophylle a totale sont moins élevées que lors de la campagne de temps de pluie précédente du 21/05/2013. Une panne de la sonde n'a pas permis d'obtenir la totalité du profil au point aval.

3.2.3 Métaux

Concernant les métaux, les fractions totales, dissoutes et labiles mesurées lors des campagnes de temps de pluie (21 mai, 17 juin, 29 juillet et 7 août 2013) sont présentées dans les figures ci-dessous (Chen 2015).

La concentration de cadmium est faible et toujours au-dessous des normes de qualité environnementale (NQE). La majorité des échantillons a une concentration en cadmium sous la limite de quantification.

La fraction particulaire du cobalt et du nickel est d'environ 50% et la fraction labile est faible mais par contre pour le zinc, la forme dissoute est dominante dans le bassin (Figure 22). Le cuivre et le plomb sont beaucoup plus particuliers et leur concentration totale est plus élevée dans le Sausset que le bassin.

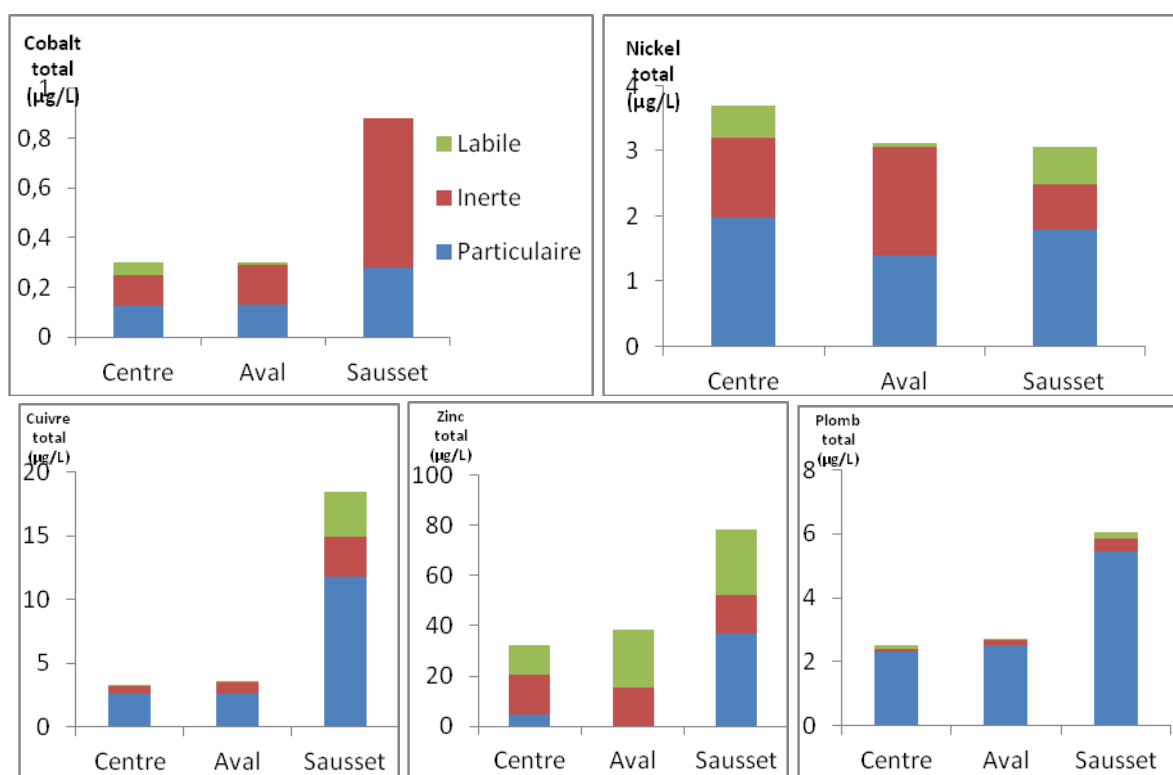


Figure 22 Campagne du 21/05/2013 – Variation de la concentration totale et de sa répartition entre fractions labile, inerte et particulaire de chaque métal aux différents points de mesures du bassin de rétention

Pour la campagne du 17/06/2013, la fraction particulaire est plus élevée pour Cu, Zn et Pb (Figure 23). Pour Co et Ni, la fraction particulaire est dominante seulement dans le Sausset. Plus de la moitié des métaux dissous sont sous forme labile.

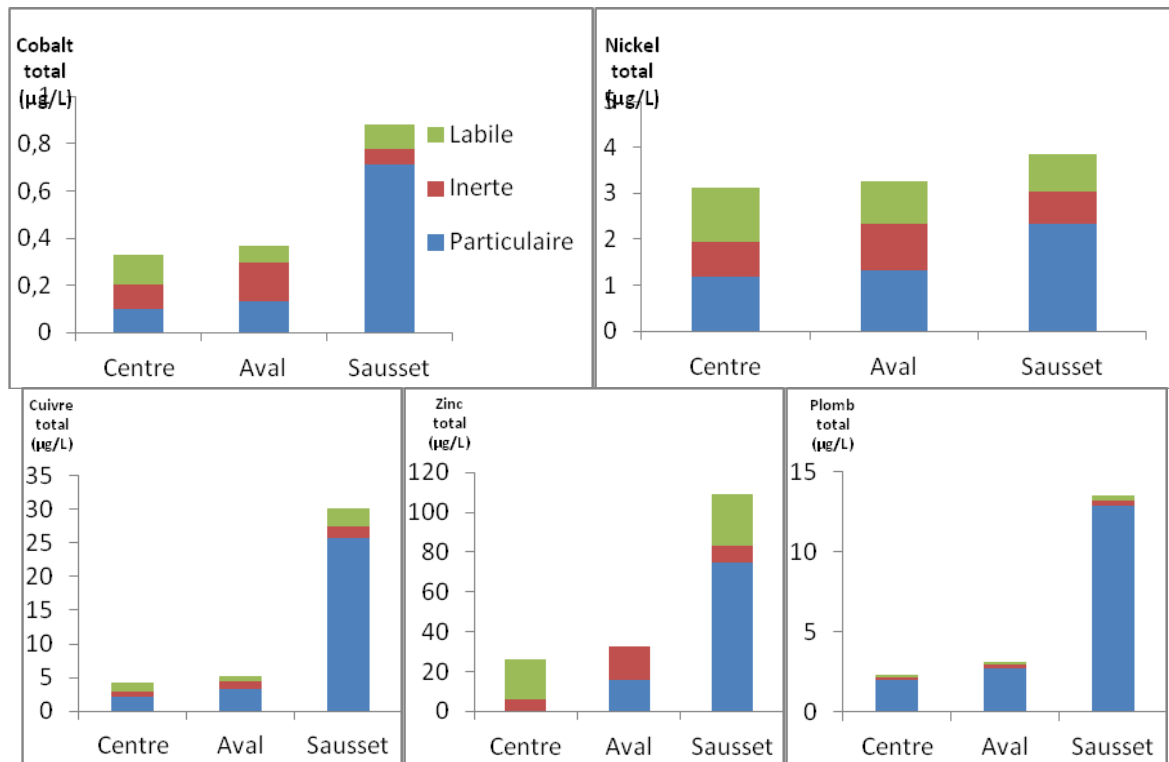


Figure 23 Campagne du 17/06/2013 – Variation de la concentration totale et de sa répartition entre fractions labile, inerte et particulaire de chaque métal aux différents points de mesures du bassin de rétention

Lors de la campagne du 29 juillet 2013, la concentration totale des métaux est beaucoup plus forte dans le Sausset que dans le bassin et tous les métaux sont très particuliers (Figure 24). En effet la pluie du 29/07/2013 étant de faible durée, il est possible que la rivière soit chargée en particules sans qu'un impact n'ait lieu dans le bassin en raison du faible volume de remplissage.

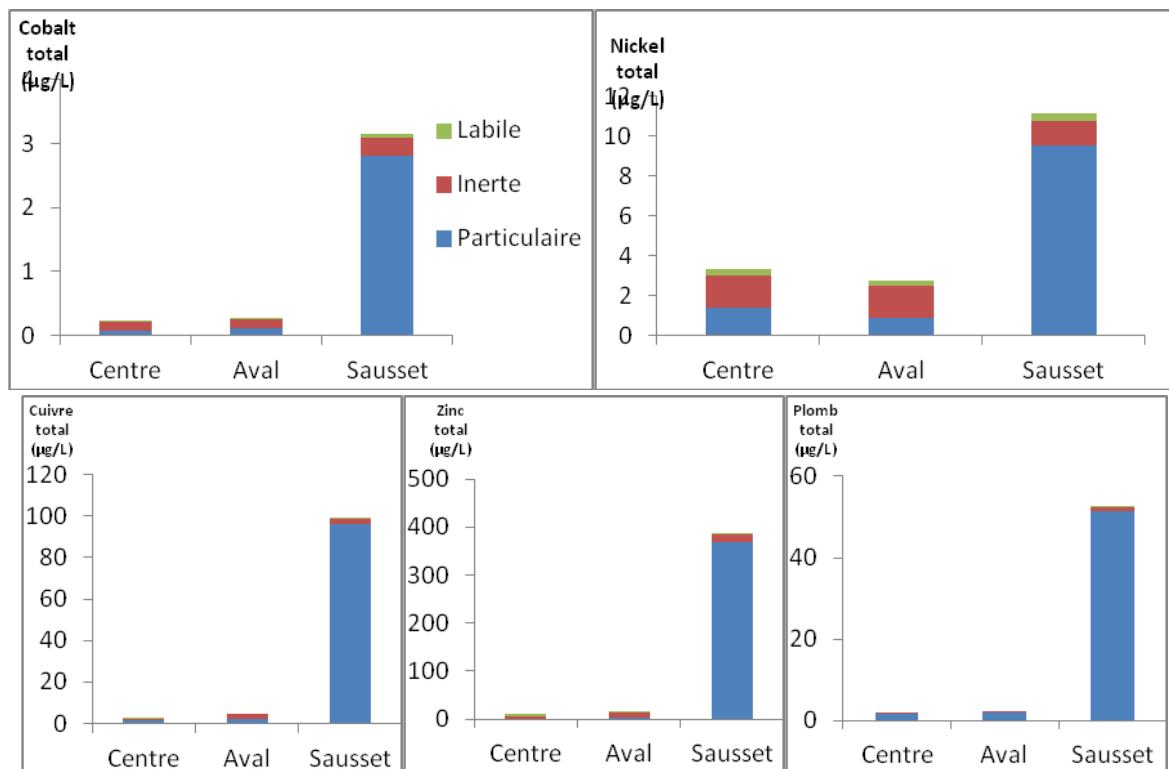


Figure 24 Campagne du 29/07/2013 – Variation de la concentration totale et de sa répartition entre fractions labile, inerte et particulaire de chaque métal aux différents points de mesures du bassin de rétention

Lors de la pluie du 9 août 2013, les concentrations en cobalt, cuivre, zinc et plomb, principalement sous forme particulaire, sont très supérieures dans le Sausset que dans le bassin (Figure 25).

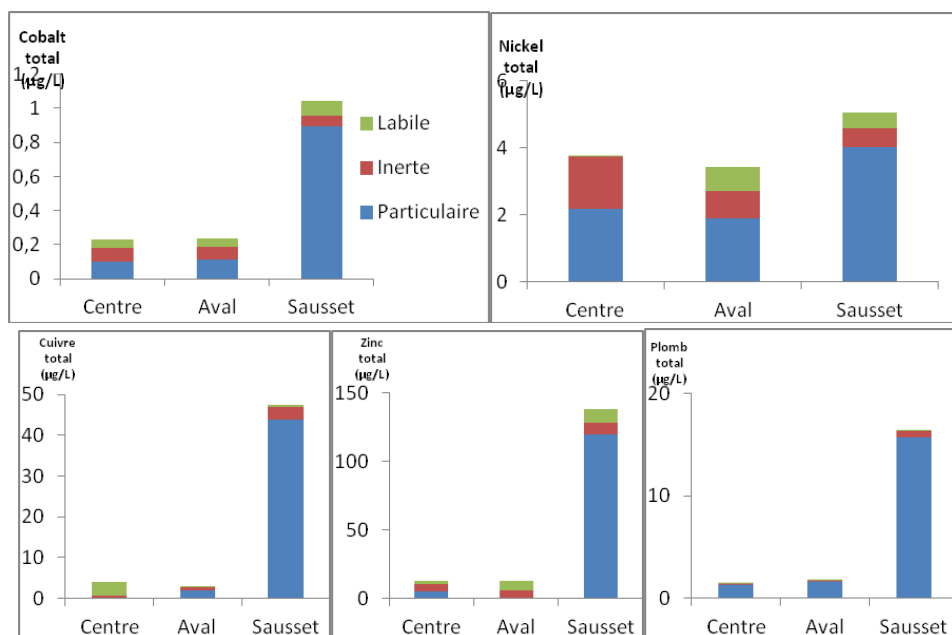


Figure 25 Campagne du 7/8/2013 : Concentration totale et fractions labile, inerte et particulaire des métaux

3.3 Evolution temporelle des variables environnementales

Les mesures des principales variables environnementales, MES, COP, COD, nitrates, phosphore total, phosphates et Chlorophylle ainsi que le rapport COP/MES, réalisées lors des campagnes de temps sec et de temps de pluie dans la rivière du Sausset et dans le bassin de Savigny sont regroupées dans le Tableau 11.

Tableau 11 Variables environnementales dans le Sausset et le bassin de Savigny

Dates	Site	MES (mg/L)	COP (mgC/L)	COP/MES (gC/gMES)	COD (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	P total (µgP/L)	PO4 (µgP/L)	Chlorophylle a (µg/L)
21/02/2013	Amont	23,6	8,22	34,83	2,15	0,36	152,53	17,15	87,4
	Centre	28,9	9,31	32,86	2,22	0,31	172,64	16,74	110,7
	Aval	26	10	40,2	2,25	0,28	201,78	43,19	110,1
	PAV	55,9	23,79	40,98	26,6	0,12	1528,28	794,83	57,3
25/04/2013	Amont	39,5	11,3	29,3	4,32	0,03	321,47	11,56	106,9
	Centre	38,5	11,1	29,5	4,15	0,04	241,61	8,91	108,4
	Aval	51,75	13,6	27,4	4,29	0,03	318,61	17,33	136,1
	PAV	46	13,2	29,3	4,54	0,02	299,8	29,38	147,7
	Sausset	17,5	3,4	19,4	3,08	3,7	129,2	1,91	29,3
21/05/2013	Centre	48	12,9	27,3	4,4	0,52	277,96	3,59	199,2
	Aval	47	12,9	26,8	4,32	0,02	271,02	3,24	201,1
	S1	37,3	6,3	17,3	3,18	0,29	239,29	52,53	-
	S2	33,3	5,5	17,2	3,11	0,02	186,06	22,29	-
17/06/2013	Centre	39,9	11,7	29,4	5,02	0,13	256,24	29,21	139,9
	Aval	49,1	12,6	26,1	5,24	0,12	325,04	46,24	140,6
	S1	112,2	14,9	14,4	6,62	0,33	392,97	44,3	-
29/07/2013	Centre	45,4	15,1	33,6	4,44	0,11	437,96	171,46	126,7
	Aval	45,4	15,7	35,1	4,38	0,07	474,49	174,93	131,8
	S1	403,7	67,4	17,2	6,63	0,31	1443,61	182,14	-
07/08/2013	Centre	45,3	16,9	36,7	4,58	0,03	304,32	21,28	179,6
	Aval	43,3	15,5	38,1	4,54	0,04	255,6	25,97	123,8
	S1	148,7	27,2	18	6,07	0,28	651,46	98,06	-
	S2	102,3	12,6	13,3	4,93	0,33	363,06	65,54	-

L'évolution temporelle des principales variables environnementales, concentrations en COP, MES, COD, phosphore total et Chlorophylle ainsi que le rapport COP/MES, dans la rivière du Sausset et aux points aval et centre du bassin de Savigny est présentée dans la Figure 26. La période étudiée comprend 6 campagnes de mesures, de février à août 2013. Les concentrations sont significativement différentes entre le Sausset et le bassin, surtout par temps de pluie. Les concentrations en COP, MES et COD sont plus élevées dans le Sausset pour les trois dernières campagnes de temps de pluie. Le rapport COP/MES est toujours plus faible dans le Sausset, indiquant une composition moins organique de la matière particulaire dans la rivière. La concentration en chlorophylle mesurée en avril 2013 dans le Sausset est très inférieure aux concentrations dans le bassin.

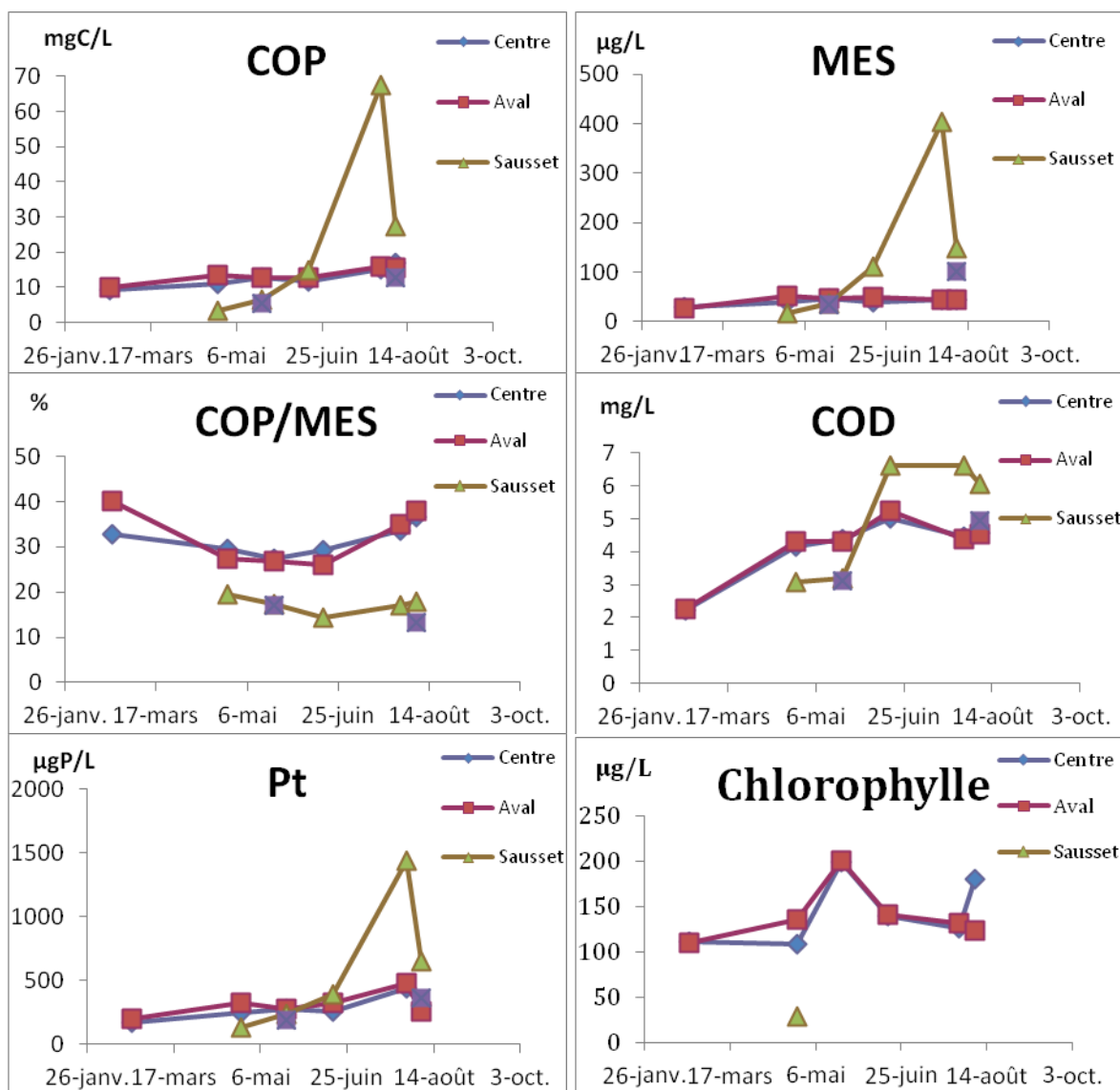


Figure 26 Evolution temporelle des principales variables environnementales dans le Sausset et dans le bassin

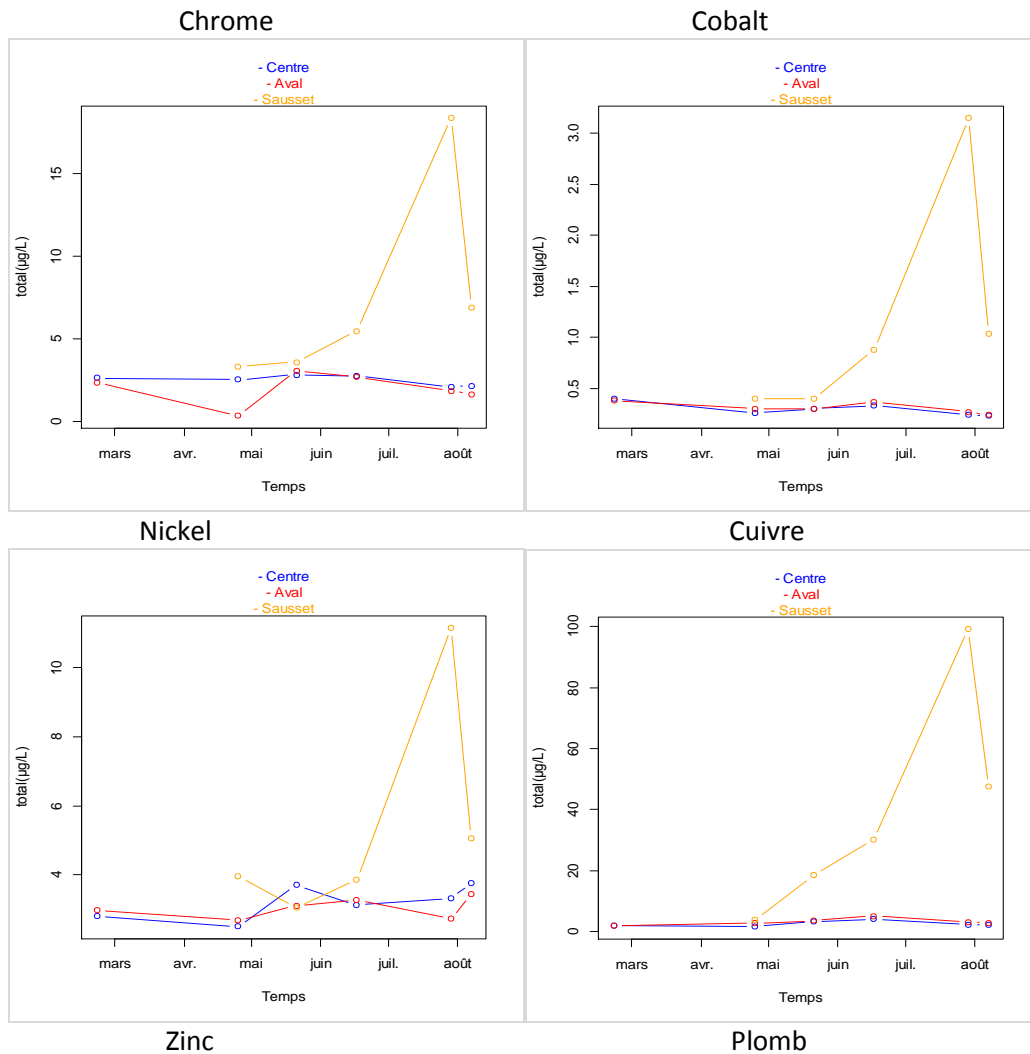
3.4 Evolution temporelle des concentrations en métaux

L'évolution temporelle des concentrations en métaux mesurées lors de cinq campagnes de terrain, la première par temps sec et les quatre suivantes par temps de pluie, est présentée ci-dessous.

3.4.1 Concentrations en métaux totaux

La concentration des métaux totaux (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) est toujours plus élevée dans le Sausset que dans le bassin de rétention de Savigny (Figure 27). Les courbes du Sausset varient toutes de la même façon. On observe toujours un grand pic le 29/07/2013, mais associé à un faible déversement, donc un faible impact sur le bassin.

Dans le bassin, les concentrations au centre et à l'aval sont généralement proches, ce qui indique que la concentration totale est plutôt homogène dans le bassin. Il faut rappeler le décalage temporel entre l'échantillonnage dans le bassin, effectué entre 6 et 12 heures après la pluie et l'échantillonnage dans le Sausset effectué automatiquement pendant la pluie.



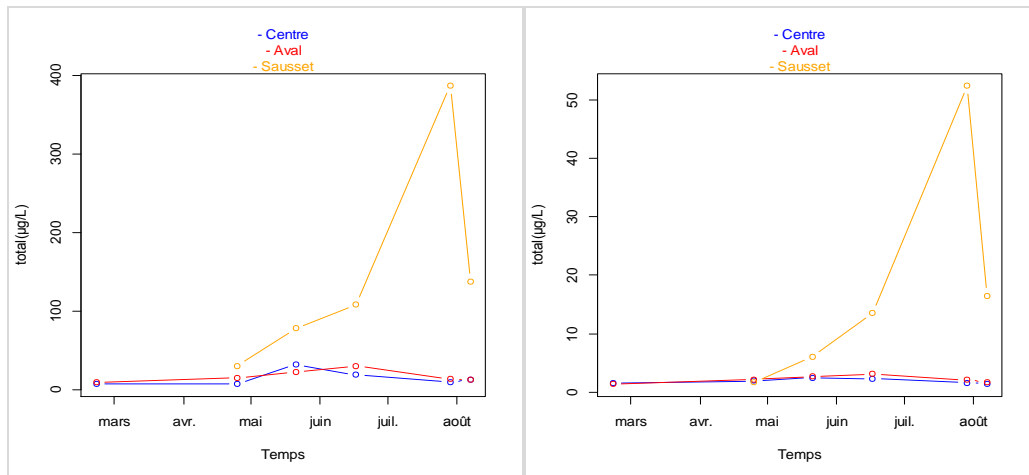


Figure 27 Variation de la concentration totale des métaux au cours du temps

3.4.2 Concentrations en métaux dissous et labiles

Les figures suivantes présentent la concentration de la fraction dissoute de chaque métal ainsi que le rapport de la concentration labile sur la concentration dissoute. Ce rapport dissous/labile permet d'évaluer l'évolution de la biodisponibilité des métaux au cours du temps.

La concentration de cobalt dissous dans le bassin est semblable aux deux points de mesures, centre et aval. Les concentrations sont beaucoup plus variables dans le Sausset. La fraction labile est toujours plus élevée dans le Sausset que dans le bassin. La fraction labile varie entre les points centre et aval du bassin.

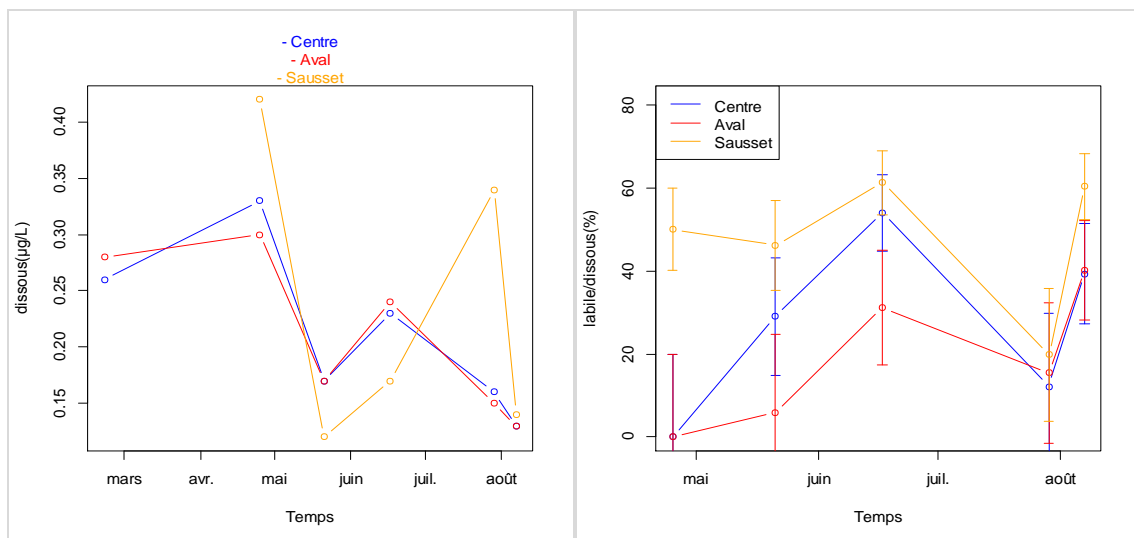


Figure 28 Cobalt dissous (gauche) et rapport de la fraction labile sur dissous (droite)

La concentration de cuivre dissous est toujours plus élevée dans le Sausset sauf pour la dernière mesure au centre du bassin. La fraction labile de Cuivre est également supérieure dans le Sausset. Dans le bassin, elle varie beaucoup au cours du temps surtout au centre du bassin, de 0 à 80%.

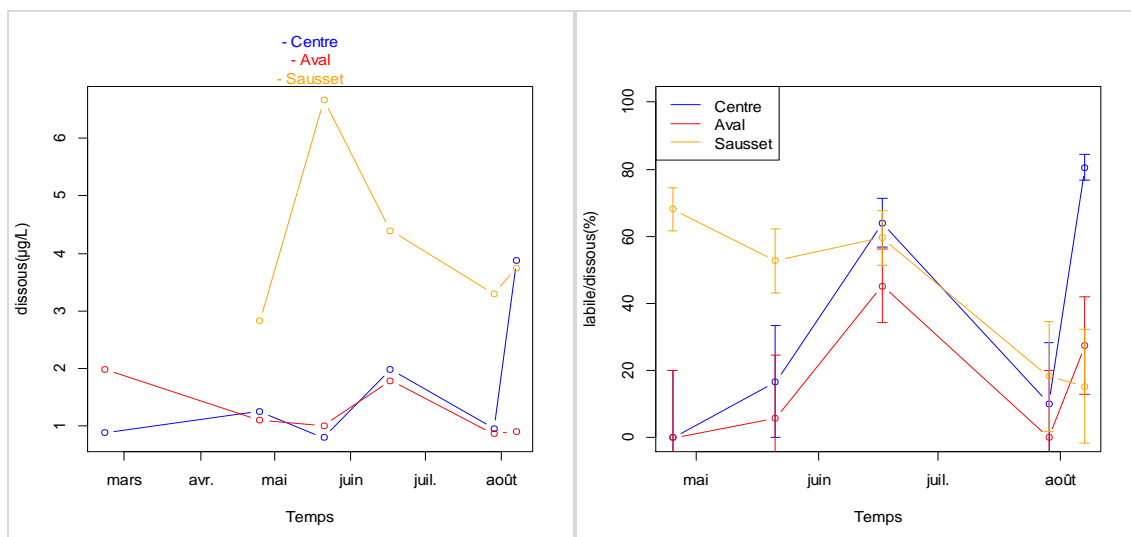


Figure 29 Cuivre dissous (gauche) et rapport de la fraction labile sur dissous (droite)

La concentration de zinc dissous dans le Sausset est toujours plus élevée que dans le bassin mais les concentrations varient dans le même sens dans la rivière et aux deux points du bassin. La fraction labile de zinc est plus élevée dans le Sausset qu'à l'aval du bassin, elle peut également être élevée au centre du bassin.

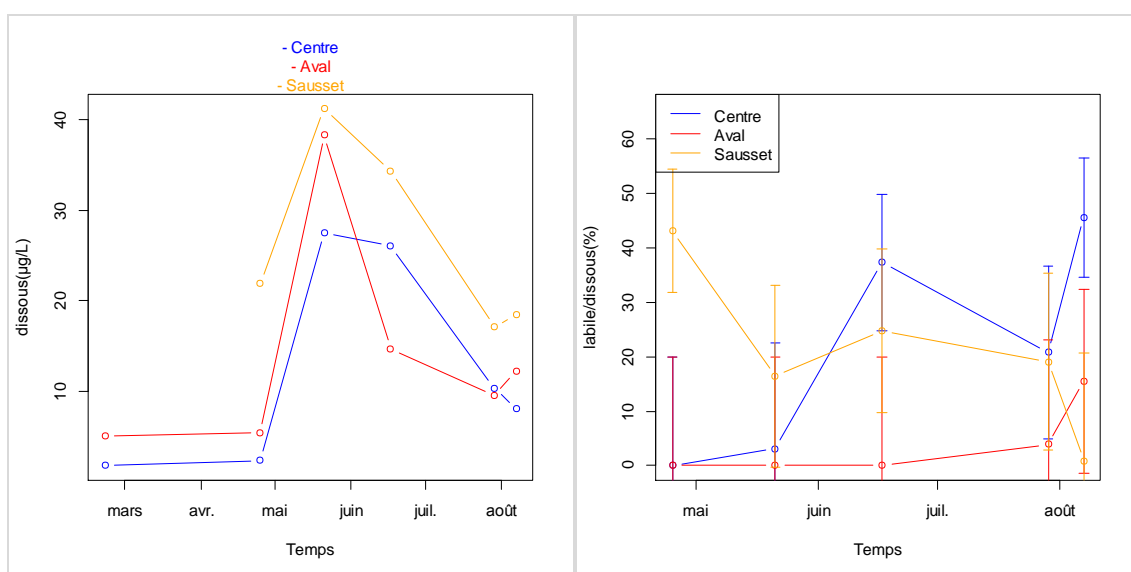


Figure 30 Zinc dissous (gauche) et rapport de la fraction labile (droite)

La concentration de Plomb dissous est toujours supérieure dans le Sausset que dans le bassin pour les campagnes de temps de pluie. Elle est la même pour le centre et l'aval du bassin. Pour les campagnes de temps de pluie, la fraction labile est semblable aux différents sites de mesure mais une grande variabilité de la fraction labile apparaît au cours du temps, entre 0 et 60%.

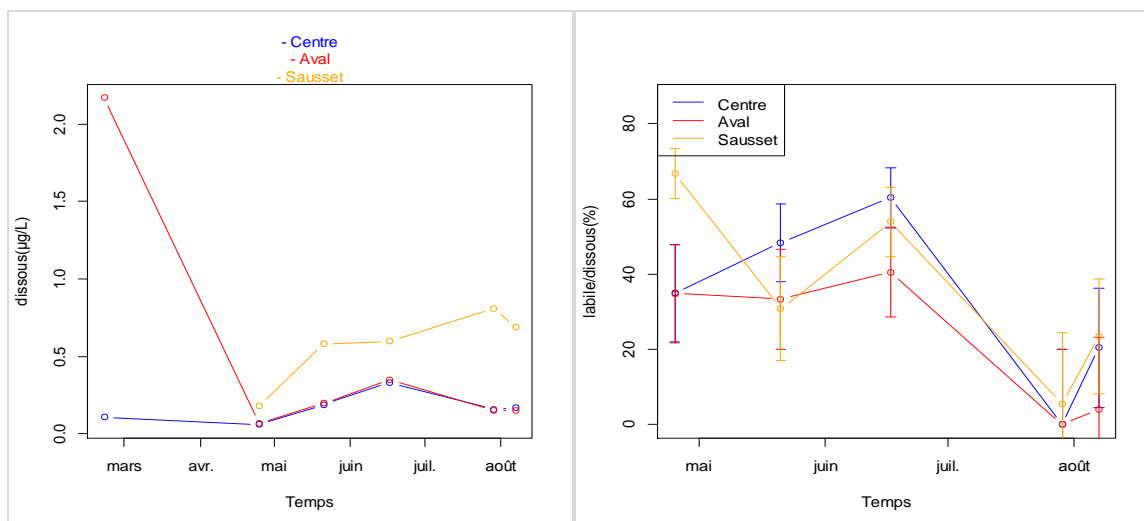


Figure 31 Plomb dissous (gauche) et rapport de la fraction labile sur dissous (droite)

3.4.3 Conclusion

La concentration des métaux dissous varie beaucoup au cours du temps dans le Sausset. Elle est plus faible et plus stable dans le bassin. La différence de concentrations entre le bassin et le Sausset est surtout visible pour le zinc, le cuivre et le plomb.

3.5 Evolution spatiale des métaux dissous

Les concentrations des métaux dissous (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb et Cd) dans le Sausset et en deux points du bassin de Savigny, le point aval et le point centre, sont présentées dans la figure ci-dessous (Figure 32).

Lors de la campagne de temps sec du 25/04/2013, les concentrations en métal dissous sont toujours supérieures dans le Sausset à celles mesurées dans le bassin. Lors de cette campagne, pour tous les métaux sauf pour le cadmium, les concentrations sont très voisines aux points aval et centre du bassin.

Pour les campagnes de temps de pluie, les résultats diffèrent selon les métaux. Les concentrations en chrome, cuivre, zinc, plomb et cadmium dissous sont toujours inférieures dans le bassin aux concentrations mesurées dans la rivière. Ce n'est pas le cas pour le cobalt et le nickel dissous mais les concentrations sont du même ordre de grandeur dans le Sausset et dans le bassin.

Les normes de qualité environnementales (NQE) prescrites par la Directive Cadre sur l'Eau Européenne (DCE) fixent les valeurs suivantes : 3.4µg/l pour le chrome, 1.4µg/L pour le cuivre, 1.2µg/L pour le plomb, 0.15µg/L pour le cadmium, 0.3µg/L pour le cobalt, 4µg/L pour le nickel et 0.15µg/L pour le cadmium.

Dans le Sausset et le bassin, les concentrations mesurées sont inférieures aux NQE pour le chrome, le plomb et le cadmium. Pour le cuivre la NQE (1.4µg/L) est largement dépassée dans le Sausset, mais elle respecte la norme aux points aval et centre du bassin de Savigny, sauf le 17/06/2013 et au centre du bassin le 7/8/2013. Pour le cobalt, la norme est dépassée dans le Sausset en deux dates. De plus pour le cobalt, la norme peut être adaptée en tenant compte du fond géochimique. En tenant compte du fond géochimique estimé à 0.12µg/L en Ile de France (Thévenot et al., 2009), la norme passe à 0.42µg/L et aucun dépassement n'est observé dans ce cas.

Pour le zinc, la norme est largement dépassée dans toutes les mesures dans le Sausset et en deux dates dans le bassin. Cependant, pour le cuivre et le zinc, une forte réduction des concentrations apparaît entre la rivière et le bassin.

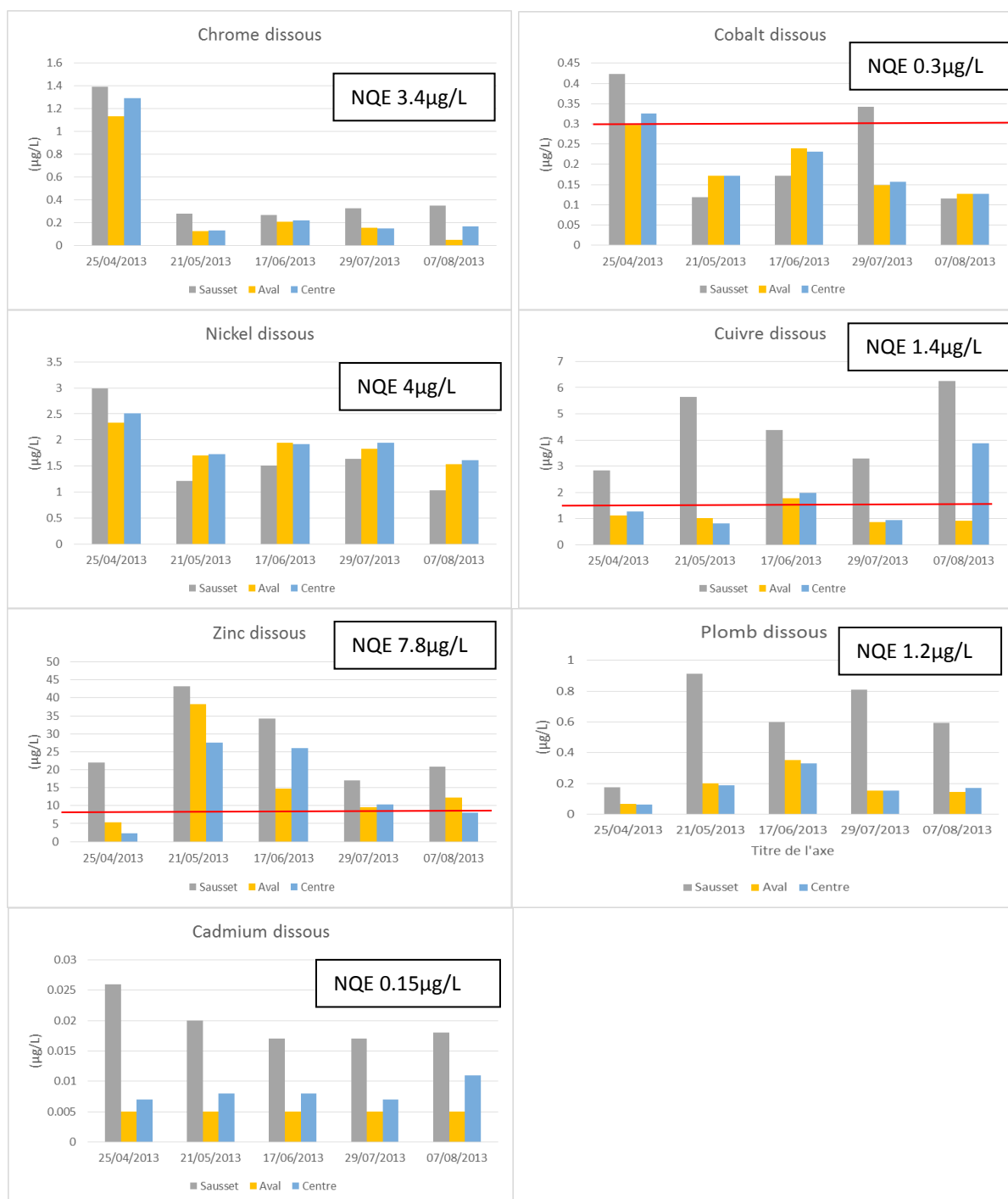


Figure 32 Concentrations en métaux dissous dans le Sausset et aux points aval et centre du bassin de Savigny

3.6 Evolution temporelle de la biodisponibilité des métaux

La fraction biodisponible des métaux est estimée par le rapport de la concentration du métal labile sur la concentration du métal dissous. Ces rapports ont été tracés pour chaque campagne de mesure, dans le Sausset et le bassin. Comme nous nous intéressons principalement à l'évolution entre le Sausset et le bassin, nous avons comparé la moyenne des concentrations au centre et à l'aval du bassin aux valeurs du Sausset pour le temps de pluie.

La fraction labile est variable en fonction des campagnes (Figure 33). Elle est toujours plus faible dans le bassin que dans le Sausset sauf pour le plomb le 21 mai et le 29 juillet et pour le cuivre le 7 août.

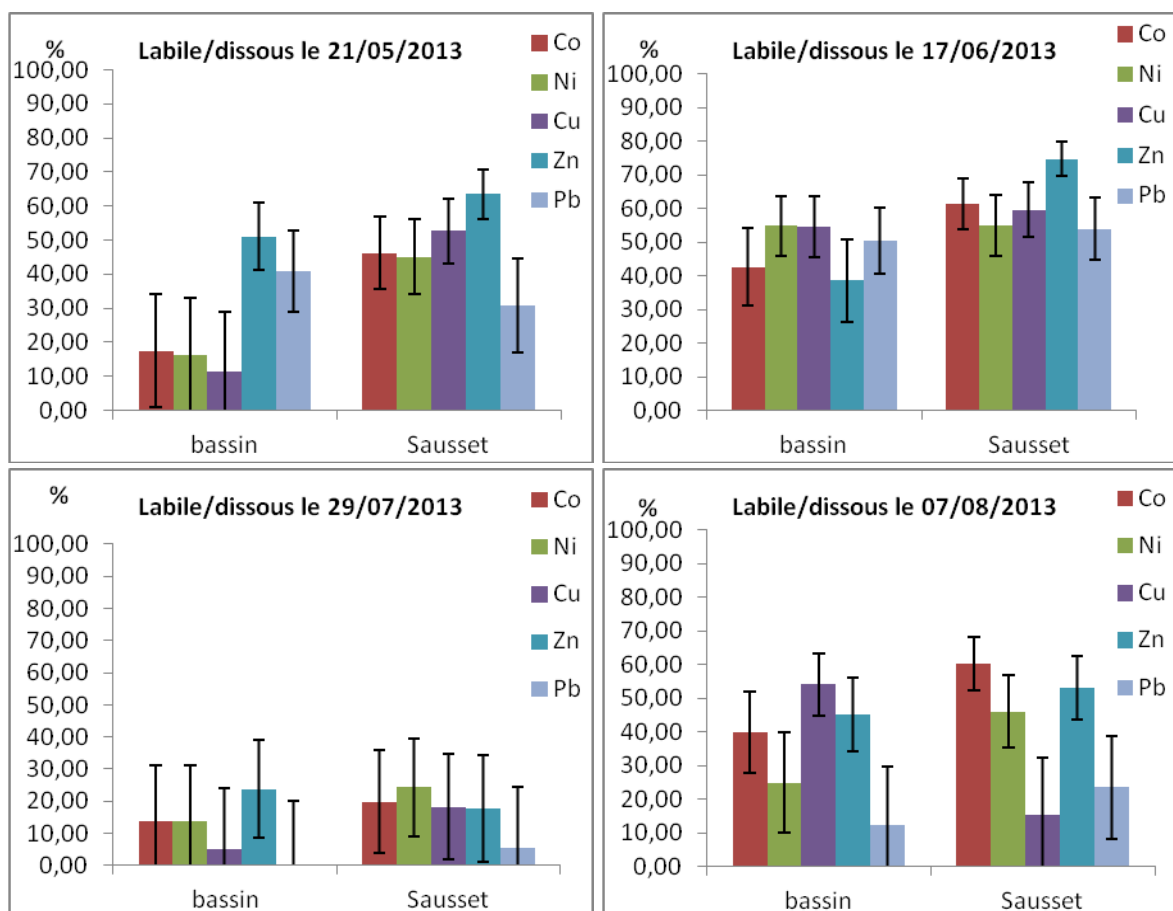


Figure 33 Rapport labile/dissous dans le Sausset et le bassin pour 4 campagnes de temps de pluie

3.7 Analyse statistique

Des corrélations entre les variables environnementales et d'une part, les concentrations en métaux (Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn), d'autre part la fraction labile (Co, Cu, Ni, Pb, Zn), ont été recherchées pour les quatre campagnes de temps de pluie en utilisant le logiciel statistique R. La fonction 'corplot' permet de visualiser les corrélations selon la valeur du coefficient de corrélation linéaire entre toutes les variables (par exemple Figure 36). Les corrélations positives sont en bleu et les négatives en rouge. De plus la taille du cercle et l'intensité de la couleur indiquent la force de la corrélation.

Les variables environnementales prises en compte dans le bassin sont les suivantes : concentrations en Matières en suspension (MES), du Carbone Organique Particulaire (COP) et Dissous (COD), le rapport COP/MES, indicateur de la fraction organique de la matière en suspension, concentrations en Nitrates (NO₃), Phosphore total (P.total), Phosphates (PO₄) et Chlorophylle (Chlorophyll). Dans le Sausset, les variables environnementales sont les mêmes sauf la chlorophylle qui n'a pas été mesurée dans la rivière.

Dans le Sausset (Figure 34), la plupart des corrélations entre les variables environnementales elles-mêmes sont positives, sauf entre NO₃ et le rapport COP/MES.

Les concentrations en Cr, Co et Pb dissous sont positivement corrélées entre elles. Les corrélations sont également positives entre Co et Ni, et entre Cu et Zn. Les corrélations sont négatives entre Cr et Ni, Cu et Zn, entre Co et Zn, entre Pb et Cu et Zn.

La plupart des concentrations en Cr, Co, Ni et Pb dissous sont positivement corrélées avec les variables environnementales. Co et Pb dissous sont fortement et positivement corrélés avec MES et COP. Cu et Zn dissous sont négativement corrélés avec les variables environnementales, en particulier avec MES, COP, COD.

Dans le Sausset, le zinc et le cuivre dissous ont un comportement différent des autres métaux.

Les fractions labiles de tous les métaux sont positivement corrélées entre elles. En ce qui concerne les variables environnementales, les fractions labiles de tous les métaux sont fortement et négativement corrélées avec MES, COP, P.total et PO4.

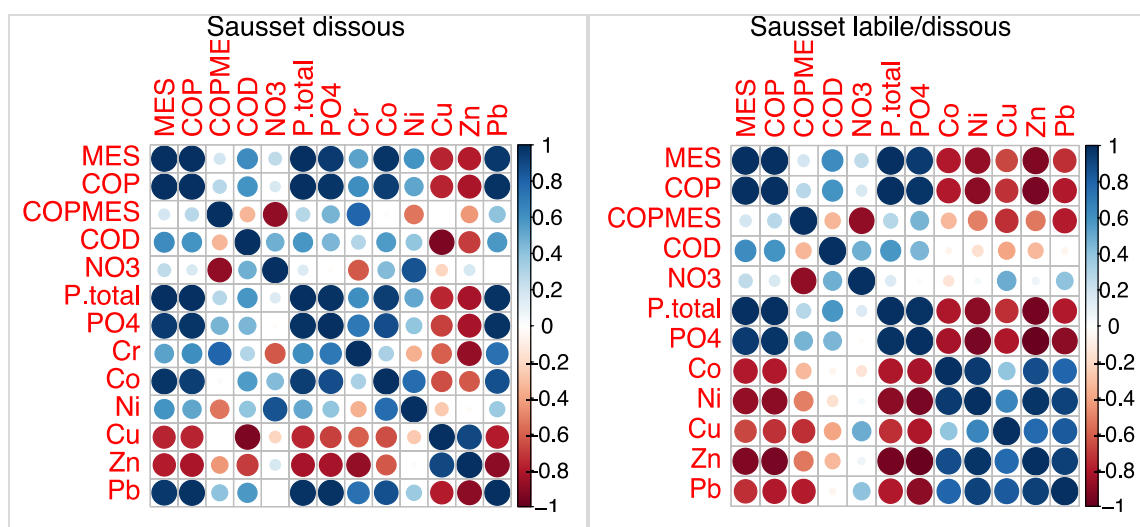


Figure 34 Corrélations entre variables environnementales et métaux dans le Sausset : Concentrations (gauche) et fraction labile (droite)

A l'aval du bassin (Figure 35), les corrélations restent assez faibles entre les variables environnementales. Une corrélation positive persiste entre les MES et la chlorophylle, mais encore plus faible qu'au centre du bassin. Une forte corrélation négative existe entre MES et COP ainsi qu'avec le rapport COP/MES, ce qui indique une nature peu organique de la matière en suspension. Les concentrations en métaux dissous sont positivement très corrélées entre elles, sauf le zinc. Toutes les concentrations en métaux dissous, sauf Zn, sont positivement corrélées avec les MES, COD et NO3. De même, les corrélations sont négatives avec COP et COP/MES. Par contre, le zinc dissous est négativement corrélé avec toutes les variables environnementales.

Le zinc dissous a un comportement différent des autres métaux.

Les fractions labiles de Co, Ni et Cu sont fortement et positivement corrélées entre elles. Elles sont faiblement corrélées avec les variables environnementales. Les fractions labiles du zinc et du plomb ont un comportement différent. Le zinc labile est négativement corrélé avec MES, COD, NO3, Ptotal et PO4, faiblement positivement corrélé avec Chlorophyll. Le plomb labile est négativement corrélé, fortement avec COP et COP/MES plus faiblement avec NO3 et PO4. Il est positivement corrélé, fortement avec MES et plus faiblement avec COD, NO3 et Chlorophyll.

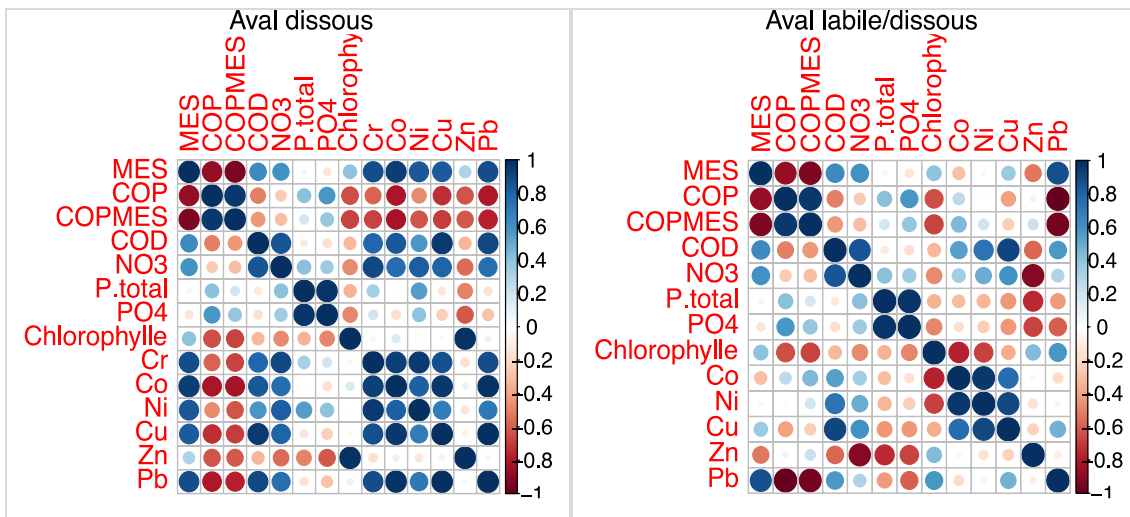


Figure 35 Corrélations entre variables environnementales et métaux à l'aval du bassin : Concentrations (gauche) et fraction labile (droite)

Au centre du bassin (Figure 36), les corrélations sont assez faibles entre les variables environnementales. Une corrélation positive, mais assez faible, apparaît entre les MES et la chlorophylle. Une corrélation négative existe entre MES et COD. Entre métaux dissous et variables environnementales, la plupart des corrélations est négative sauf pour le COD qui montre une corrélation positive avec tous les métaux, forte avec Cr, Co et Pb. La fraction labile est également positivement corrélée avec le COD pour tous les métaux, ce qui indique que, quand la concentration en COD augmente, la fraction labile augmente également.

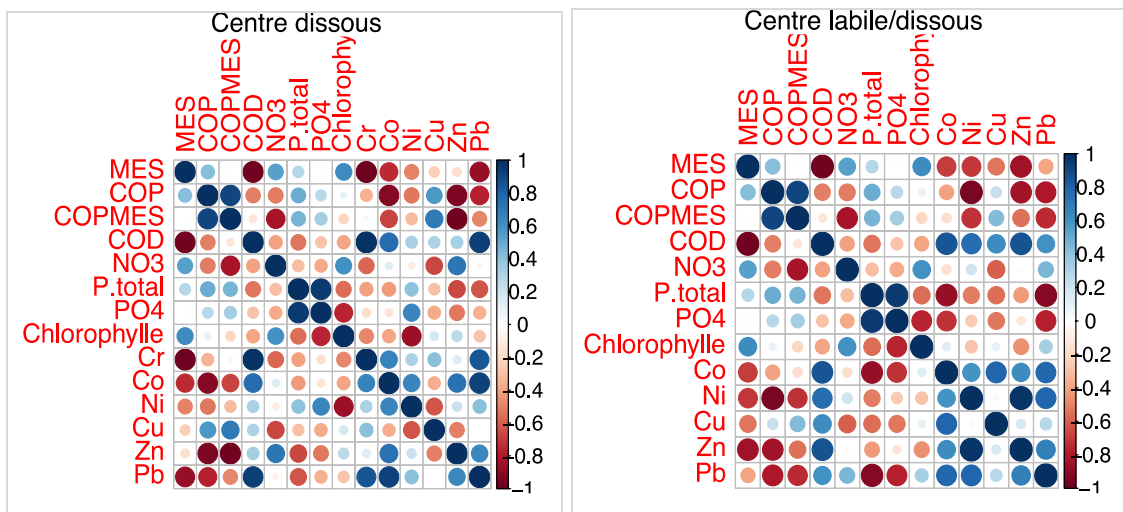


Figure 36 Corrélations entre variables environnementales et métaux au centre du bassin : Concentrations (gauche) et fraction labile (droite)

Conclusion

Dans le Sausset, Cu et Zn dissous ont un comportement différent des autres métaux, lorsque les concentrations en COP, COD et MES augmentent, les concentrations en Cu et Zn dissous diminuent. La fraction labile de tous les métaux diminue lorsque MES, COP et le rapport COP/MES augmentent.

Au centre du bassin, Chlorophylle et MES sont positivement corrélées, ce qui semble indiquer qu'une partie de la matière particulaire est de la biomasse phytoplanctonique.

Tous les métaux dissous sont négativement corrélés avec MES. Tous, sauf le cuivre, diminuent quand COP, COP/MES augmentent.

Tous les métaux dissous sauf Cu et Zn diminuent quand la chlorophylle augmente.

La fraction labile de tous les métaux sauf celle du cuivre diminuent quand MES, COP, le rapport COP/MES, P.total et chlorophylle augmentent, ce qui semble indiquer une moindre biodisponibilité des métaux lorsque la biomasse phytoplanctonique est plus abondante.

4 Discussion

4.1 Comparaison des concentrations en métaux avec les normes environnementales

En 1989, la physico-chimie du plomb, du zinc et du cadmium a été caractérisée dans les eaux transitant en réseaux séparatifs et unitaires en Ile de France (Flores-Rodriguez, 1989). Six sites d'études ont été choisis dont le bassin de Savigny intégré dans le réseau séparatif de la commune d'Aulnay-sous-Bois. Les données de plomb, zinc et cadmium obtenues en 1989 sont comparées à celles de 2013 (tableaux 6, 7 et 10). Les concentrations en plomb dissous ont nettement diminué de 3,05 µg/L en 1989 à 0,07 - 0,127 µg/L en 2013 à l'amont du bassin. Dans le pré-bassin aval, elles ont également diminué de 10,5 µg/L en 1989 à environ 0,12 µg/L en 2013. La diminution de la concentration en plomb peut s'expliquer par l'arrêt de l'utilisation du plomb comme additif dans les essences appliqué en France métropolitaine depuis le 2 janvier 2000 (Miquel, 2001). La concentration en cadmium a également baissé sur cette période, elle est maintenant en dessous des limites de quantification (0,01 µg/L) pour le point situé en amont dans le bassin et à environ 0,015 µg/L pour le point situé dans le pré-bassin aval. Par contre, le zinc a nettement augmenté de 2,4 µg/L dans le pré-bassin aval en 1989 à environ 15 µg/L en 2013. En amont du bassin de rétention en 1989 la concentration en zinc était de 2,4 µg/L ; dans nos mesures, elle se situe aux alentours de 4,5-5 µg/L. Cette augmentation peut être due à la corrosion des toitures, l'augmentation du trafic routier ou encore à un rejet particulier sur le bassin versant.

	Cd (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)
Bassin (amont)	0.7 ± 0.2	3.05 ± 0.72	3.5 ± 0.01
Pré-bassin aval	1.2	10.5	2.4

Tableau 12 Concentration en deux points du Bassin de Savigny (Flores-Rodriguez 1989)

Les concentrations en métaux dissous sont inférieures dans le bassin à celles mesurées dans le Sausset, respectivement de 40% pour le chrome, 70% pour le cuivre, 50% pour le zinc, 65% pour le cadmium et 65% pour le plomb. Les concentrations en cobalt et nickel dissous sont du même ordre de grandeur dans le Sausset et dans le bassin.

Des normes de qualité environnementale (NQE) et des valeurs guides environnementales (VGE) ont été définies dans le cadre de la Directive européenne Cadre sur l'Eau pour certains métaux. Ces valeurs portent sur les concentrations en métal dissous, analysées sur l'eau après filtration sur un filtre de porosité 0.45 µm. Elles sont exprimées en valeur moyenne annuelle (NQE-MA) et en concentration maximale admissible (NQE-CMA).

Dans le cadre de la DCE, ces normes visent d'une part à évaluer l'état chimiques des milieux aquatiques vis-à-vis des substances prioritaires et d'autre part à évaluer les concentrations des polluants spécifiques de l'état écologique (PSEE). En France, l'INERIS fait des propositions de Valeurs Guides Environnementales, ou VGE, au Ministère en charge de l'Ecologie. Ces VGE, reportées dans la base de données du Portail Substances Chimiques (<http://www.ineris.fr/substances/>) peuvent être reprises par le Ministère en charge de l'Ecologie et s'appliquer aux substances de l'état écologique dans des arrêtés de portée nationale (à ce jour, c'est l'arrêté du 27/07/2015 qui s'applique). Elles sont alors considérées comme des seuils à valeur réglementaire, c'est-à-dire des NQE.

Le tableau ci-dessous, établi d'après les valeurs indiquées par l'Ineris (<http://www.ineris.fr/substances/>), regroupe les NQE considérées pour les sept métaux, Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Pb et Zn, mesurés dans le Sausset et le bassin de Savigny.

Tableau 13 Normes de qualité environnementales (MA : moyenne annuelle et CMA : concentration maximale admissible) dans le cadre de la DCE (d'après (<http://www.ineris.fr/substances/>))

	MA (µg/L)	CMA (µg/L)
Cd	0.15	0.9
Cr	3.4	-
Co	0.3	-
Cu	1.4	-
Ni	4.0	34
Pb	1.2	14
Zn	7.8	-

Les concentrations en chrome, nickel, plomb et cadmium dissous sont très inférieures aux NQE. Les concentrations en cobalt dissous sont proches mais inférieures à la NQE. Les concentrations en cuivre dissous sont supérieures aux NQE dans le Sausset et généralement inférieures dans le bassin sauf pour trois mesures. Enfin, les concentrations en zinc dissous sont toujours largement supérieures aux NQE dans le Sausset et même si elles sont inférieures d'environ 50% dans le bassin, elles dépassent également les NQE dans la plupart des cas.

4.2 Variables environnementales

Les mesures des variables environnementales (COD, COP, MES, chlorophylle a, phosphates, phosphore total, nitrates) et les profils de sonde nous ont permis de mieux connaître le comportement général du bassin de Savigny et de rechercher des corrélations entre les concentrations en éléments-traces métalliques et ces variables.

Ceci a permis de déterminer que l'étang de Savigny était hypereutrophe selon la classification de Vollenweider largement répandue (fig. 22) : la transparence de l'eau est inférieure à 1 m, la concentration en phosphore total est supérieure à 100 µg/L, la concentration en chlorophylle est supérieure à 25 µg/L (tableau 5). Les fortes valeurs de pH (8,5 à 9,7 selon les campagnes) et les sursaturations en oxygène (115 à 180 %) correspondent à un état hypereutrophe. Suite aux campagnes de temps de pluie, une forte baisse du taux d'oxygène dissous par rapport aux campagnes de temps sec a été observée (de l'ordre de 75 – 80 % pour la 1^{ère} et 60 – 120 % pour la 2nd), pouvant s'expliquer par l'augmentation de la concentration en matières dégradables due au déversement d'une partie des eaux du Sausset dans le bassin de rétention. La présence de faibles concentrations en nitrates et en phosphates par rapport au phosphore total dans le bassin de rétention (points AUL_AV, AUL_C et AUL_AM) peut s'expliquer par la consommation des nutriments par le phytoplancton. Lors des campagnes de temps de pluie, l'abondance en nutriments dans les échantillons collectés par le préleveur peut être due à un lessivage des sols agricoles (annexe 8).

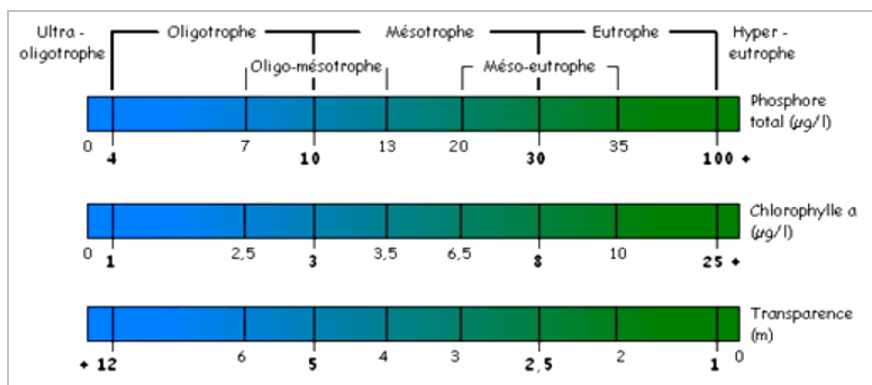


Figure 37 Niveau trophique des lacs (d'après Vollenweider, OCDE, 1982)

Les mesures de température ont montré des alternances entre phases de mélange et phases de stratification du bassin (fig. 12). La stratification du bassin de rétention est observable sur les profils de sonde du 25/04/2013 et du 18/06/2013 (en annexe 7.2.1 et 7.2.4).

L'abondance du phytoplancton observable sur les profils de la sonde fluorimétrique (annexe 7.2) peut avoir des conséquences positives sur les équilibres de solubilité des métaux. Or, lors de pics importants de phytoplancton, les MES, les métaux et le pH sont sous la dépendance du développement algal qui constitue l'essentiel des MES, lesquelles constituent des sites d'adsorption des métaux (Figure 19 et Figure 21). Par ailleurs, le phytoplancton en consommant du gaz carbonique pour la photosynthèse, entraîne une augmentation de pH qui modifie les équilibres de solubilité des métaux en favorisant la précipitation d'hydroxydes et de carbonates également sites d'adsorption des métaux (Meybeck et al 1998). De plus le phytoplancton et les bactéries excrètent de la matière organique colloïdale qui constitue la matière organique autochtone. Cette dernière a des effets sur la complexation des métaux dissous : peu de métaux se trouvent sous forme labile dans le bassin. Ces résultats sont à rapprocher de ceux de Pernet-Coudrier (2008) et Matar (2012) qui ont montré que la matière organique dissoute urbaine diminue la biodisponibilité des métaux. Ainsi, à l'échelle de la campagne de temps sec du 25/04/2013, il semble que la production phytoplanctonique a un effet sur la spéciation des métaux. Dans les échantillons prélevés lors de cette campagne, la fraction inerte est plus importante pour le nickel, le cuivre, le cobalt, le chrome, le cadmium, le zinc et le plomb dans le bassin de Savigny en comparaison au Sausset et au prébassin aval.

Nous avons vu (§ 3.1.3) qu'il y avait des possibles interférences entre l'ion cuivre et les ions majeurs dues à des effets de matrice. Pour quantifier les effets de matrice, nous pourrions constituer une solution représentant la matrice de l'échantillon à analyser avec la même composition en ions majeurs, puis faire des ajouts connus de concentration en métaux afin de quantifier ces interférences. Ceci n'a pas été réalisé dans cette étude, mais devrait l'être si les études concernant le bassin de Savigny se poursuivent.

5 Conclusion

Une synthèse des rapports techniques a été réalisée et permet de comprendre le fonctionnement du bassin de Savigny. La mise en place des campagnes de mesures et l'installation du préleveur automatique ont permis de réaliser de nombreuses analyses sur les échantillons récoltés.

Les concentrations de sept métaux, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, nickel, plomb et zinc, ont été mesurés dans le bassin de Savigny et dans le ru du Sausset qui l'alimente. Les concentrations des métaux totaux et dissous ainsi que de la fraction inerte qui donne accès à une évaluation de la biodisponibilité des métaux ont été analysées. Ces analyses ont montré que les points de mesures situés dans le bassin de rétention présentaient une meilleure qualité que les points situés dans le Sausset et le prébassin aval, tant sur les variables environnementales que sur les concentrations dans les différentes fractions des métaux.

En ce qui concerne les métaux, les résultats obtenus montrent que la majorité des concentrations métalliques sont inférieures dans le bassin par rapport à la rivière, même pour la fraction dissoute. La biodisponibilité des métaux est également plus faible dans le bassin que dans la rivière.

En raison de leur impact sur l'état écologique et chimique des milieux aquatiques, les concentrations des formes dissoutes de ces métaux font l'objet de normes de qualité environnementale (NQE) dans le cadre de la Directive Cadre sur l'eau. Dans le ru du Sausset et le bassin, les concentrations mesurées sont inférieures aux NQE pour **le chrome, le plomb et le cadmium**. Les concentrations en cobalt dissous sont proches de la norme. Pour **le cuivre** la NQE (1.4µg/L) est largement dépassée dans le Sausset, mais elle est respectée dans la majorité des mesures aux points aval et centre du bassin de Savigny. Pour **le zinc**, la norme est largement dépassée dans toutes les mesures dans le Sausset et en deux dates dans le bassin. Néanmoins, pour **le cuivre et le zinc**, une forte réduction des concentrations apparaît entre la rivière et le bassin.

Ces résultats montrent le rôle positif du bassin de rétention sur la réduction des concentrations en métaux totaux, mais aussi, ce qui est rarement mis en évidence sur les milieux aquatiques urbains, ils mettent en évidence la réduction de la concentration des formes dissoutes et de la fraction la plus biodisponible des métaux.

L'étude du rôle du bassin de rétention sur la dynamique des métaux et leur spéciation devrait être poursuivie par l'acquisition de mesures des variables environnementales et des métaux durant des campagnes consécutives de temps de pluie et de sec. Cela permettrait de mieux comprendre l'évolution spatio-temporelle des concentrations en métaux et leur biodisponibilité, les échelles de temps des échanges et de calculer les flux lors des épisodes de temps de pluie.

Enfin, pour une meilleure connaissance du fonctionnement du bassin, des analyses devraient être effectuées au niveau du piézomètre pour connaître les concentrations en métaux dans la nappe de Saint-Ouen. Il serait intéressant de quantifier les dépôts atmosphériques qu'ils soient secs ou humides sur la zone d'étude pour avoir une meilleure idée des flux entrants. Les sédiments pourraient être analysés, des échantillonneurs passifs de type DGT et des trappes à sédiments pourraient être installées. Le fonctionnement du Roideau pourrait être étudié de manière plus détaillée pour mieux quantifier les apports qui viennent de l'amont.

6 Bibliographie

- Beutler M., Wiltshire K. H., Lüring C., Moldaenke C., Fluorometric depth-profiling of chlorophyll corrected for yellow substances, Aslo, 2000, 2 pages
- Bisson M., Hulot C., Lacroix G., Lefevre J.P., Magaud H., Oberson-Geneste D., Morin A., Pépin G., Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Plomb et ses dérivés, INERIS, 2003, 90 pages.
- Bisson M., Diderich R., Houeix N., Hulot C., Lacroix G., Lefevre J.P., Leveque S., Magaud H., Pichard A., Morin A., Rose M., Pépin G., Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Chrome et ses dérivés, INERIS, 2005a, 80 pages.
- Bisson M., Houeix N., Gay G., Lacroix G., Lefevre J.P., Magaud H., Migne V., Morin A., Tissot S., Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Cuivre et ses dérivés, INERIS, 2005b, 66 pages.
- Bisson M., Diderich R., Hulot C., Houeix N., Lacroix G., Lefevre J.P., Leveque S., Magaud H., Morin A., Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Zinc et ses dérivés, INERIS, 2005c, 69 pages.

- Bisson M., Houeix N., Gay G., Jolibois B., Lacroix G., Lefevre J.P., Magaud H., Morin A., Tissot S., Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Nickel et ses dérivés, INERIS, 2006, 71 pages.
- Bisson M., Diderich R., Houeix N., Hulot C., Lacroix G., Lefevre J.P., Leveque S., Magaud H., Morin A., Pépin G., Pichard A., Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Cadmium et ses dérivés, INERIS, 2011, 82 pages.
- Bracmort, G., Détermination des métaux labiles par les disques chélatants : validation de la méthode et application sur des matrices environnementales Rapport de stage de master 2. Université Paris Est Créteil Val de Marne, 2010, 67 pages.
- Bressy A., Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines. Effets de différents modes de gestion des eaux pluviales, 2010, 332 pages. Consultable en ligne : <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/58/23/79/PDF/TH2010PEST1051.pdf>
- Chen, Ningxin. 2015. "Effet Des Bassins de Rétention En Eau Sur Les Micropolluants Métalliques Des Eaux Pluviales." Rapport de Master "Environnement continentaux et hydrosociences." UPMC.
- Chojnacka K., Biosorption and bioaccumulation – the prospects for practical applications, Environment International, 2010, 9 pages
- Clozel B., Ruban V., Durand C., Conil P., Origin and mobility of heavy metals in contaminated sediments from retention and infiltration ponds, Applied Geochemistry, 2006, 18 pages
- Développement durable, Environnement, Faune et Parc Québec, Le réseau de surveillance volontaire des lacs, 2002. Consultable en ligne : <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/rsvl/methodes.htm>
- El Mufleh A., Béchet B., Ruban V., Etude des phases porteuses des polluants métalliques dans des sédiments de bassins d'infiltration des eaux pluviales, Novatech 2010, 11 pages
- EMEP domain, Heavy metal pollution, Consultable en ligne : http://www.msceast.org/index.php?option=com_content&view=article&id=88&Itemid=29
- Flores-Rodriguez J., Les métaux toxiques dans les eaux pluviales en milieu urbain: caractéristiques physico-chimiques, 1992
- Gesret, Simon. 2012. "Travail Préliminaire À L'établissement D'un Bilan Des Flux de Micropolluants Métalliques Dans Un Bassin de Rétention En Eau." Rapport de Stage scientifique. LEESU Ecole des Ponts ParisTech, France
- Ghestem JP, Crouzet C, Girardot N. 2008. "Estimation Des Fonds Géochimiques En Éléments Traces Des Eaux de Surface Continentales et Des Eaux Souterraines : Cahier Des Charges Pour L'analyse et Le Prélèvement." BRGM/RP-56835-FR Version 0. France: BRGM.
- Gourlay-Francé C., Delmas F., Mazzella N., Tusseau-Vuillemin M-H, Que sait-on de la biodisponibilité des contaminants dissous dans le milieu aquatique ?, Sciences Eaux & Territoires IRSTEA, 2010, 6 pages. Consultable en ligne : <http://www.set-revue.fr/que-sait-on-de-la-biodisponibilite-des-contaminants-dissous-dans-le-milieu-aquatique/texte>
- Hossain M.A., Furumai H., Nakajima F., Aryal R.K., 2007., Heavy metals speciation in soakaways sediment and evaluation of metal retention properties of surrounding soil, Water Science & Technology, 9 pages
- Inventaire national du patrimoine naturel, Caractéristique de la zone Natura 2000, 2006. Consultable en ligne : <http://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR1112013>.
- Karlsson K., Viklander M., Trace Metal Composition in Water and Sediment from Catch Basins, Journal of environmental engineering, 2008. 9 pages
- Karlsson K., Viklander M., Scholes L., Revitt M., Heavy metal concentrations and toxicity in water and sediment from stormwater ponds and sedimentation tanks, Journal of Hazardous Materials, 2010, 7 pages

- Lauzent, Mathilde. 2013. "Effet Des Bassins de Rétention Sur Les Micropolluants Des Eaux Pluviales En Ville." Rapport de Master 2 Eau spécialité contaminants et santé. Université de Montpellier.
- Lee P-K., Touray J-C., Baillif P., Ildefonse J-P., Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France, *The Science of the Total Environment*, 1997, 15 pages
- Lemaire, B., Lauzent M., Tran Khac V., Varrault G., Seidl M., and Vinçon-Leite B. 2015. "Impact of the Organic Matter Produced in Stormwater Retention Ponds on Trace Metal Speciation." *Houille Blanche-Revue Internationale De L'Eau*, no. 3 (June): 37–43. doi:10.1051/lhb/20150031
- Matar Z., Influence de la matière organique dissoute d'origine urbaine sur la spéciation et la biodisponibilité des métaux dans les milieux récepteurs anthropisés, 2012, 258 pages
- Meybeck M., De Marsily G., Fustec E., La Seine en son bassin : Fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé, 1998, 749 pages
- Meybeck M., Pourriot R., *Limnologie générale*, Masson, 1995, 956 pages
- Miquel G. au nom de l'office parlementaire d'évaluation des choix scient. tech. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, 2001, 365 pages
- Orтели D., Edder P., Rapin F., Ramseier S., Métaux et micropolluants organiques dans les eaux du Léman, 2009, 13 pages
- Pernet-Coudrier B., Influence de la matière organique dissoute sur la spéciation et la biodisponibilité des métaux : cas de la Seine, un milieu sous forte pression urbaine, 2008, 292 pages.
- Smolyakov B.S., Ryzhikh A.P., Romanov R.E., The fate of Cu, Zn, and Cd in the initial stage of water system contamination: The effect of phytoplankton activity, *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 7 pages
- Stead-Dexter K., Ward N.I., Mobility of heavy metals within freshwater sediments affected by motorway stormwater, *Science of the total environment*, 2004, 7 pages
- STU - Agences de l'eau. Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales. Technique & Documentation – Lavoisier, 1994, 276 p.
- Thévenot, D.R., Lestel, L., Tusseau-Vuillemin, M.H., Gonzalez, J.L., and Meybeck, M., Les métaux dans le bassin de la Seine, 2009, Collection du programme Piren-Seine, 58 pages.
- Tran Khac V., Protocole d'échantillonnage des métaux traces dans le lac de Créteil, 2012, note technique, 6 pages.
- Tusseau-Vuillemin M-H., Buzier R., Mériadec C., Chardon I., Elbaz-Poulichet F., Seidel, J-L., Mouchel J-M et Varrault G., Du réseau à la rivière et De la Marne à Andrésy : métaux labiles, dissous et particulaires, PIREN-Seine, 2004, 19 pages.
- Varrault G., Rocher V., Bracmort G., Louis Y., Matar Z., Vers une nouvelle méthode de détermination des métaux labiles dans les milieux aquatiques, 2012, 11 pages.
- Vincent J-M., Houeix N., Diderich R., Diderich R., Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Mercure et ses dérivés, INERIS, 2010, 120 pages.
- Vonarx J., Cyanobactéries et cyanotoxines, 2008. Consultable en ligne : <http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/cyano/cyanobacteries.htm>
- Weiss J.D., Hondzo M., Semmens M., Storm Water Detention Ponds: Modeling Heavy Metal Removal by Plant Species and Sediments, *Journal of environmental engineering*, 2006, 9 pages
- Yousef Y.A., Baker D.M., Hvitved-Jacobsen T., Modelling and impact of metal accumulation in bottom sediments of wet ponds, *The Science of the Total Environment*, 1996, 6 pages.

6.1 Etudes Savigny

- Direction de l'Eau et de l'Equipeement 93, Notice hydraulique, 1976, 8 pages
- Direction des espaces verts, SEPIA Conseils, Amélioration de la qualité du plan d'eau du Sausset, Bassin de stockage des eaux pluviales Conseil Général de Seine-Saint-Denis, 2008, 53 pages.
- Dubost environnement, Mesures de la qualité des sédiments du bassin de Savigny, Commune d'Aulnay-sous-Bois, Seine-Saint-Denis, 2008, 13 pages.
- Horizon, Dimensions et fonctionnement du bassin de retenue de la ferme de Savigny à Aulnay-sous-Bois, 1976, 6 pages.
- Laboratoire régional de l'est parisien – Le Bourget, Bassin de retenue de la ferme Savigny Bassin de retenue de la ferme bataille. Etude hydrogéologique, étude géologique, étude des conditions d'exploitation, 1976, 42 pages.
- Prolog Ingénierie / Esoa, Hydrologie et fonctionnement hydraulique du réseau, Optimisation du fonctionnement du bassin de Savigny, 2008, 38 pages.
- Sagefe Ingénieurs Conseils, Etude du fonctionnement du bassin de Savigny, 2003, 98 pages.
- Service du Parc du Sausset, Département de la Seine-Saint-Denis, Un réseau de mares et de milieux humides au Parc du Sausset, 39 pages

7 Annexes

7.1 Relations entre les variables environnementales et les concentrations en métaux

Les relations significatives entre variables environnementales et concentrations en métaux sont présentées ci-dessous.

7.1.1 Chrome et Carbone organique

Les concentrations en chrome total sont corrélées avec le rapport COP/MES au centre du bassin. Les concentrations en chrome dissous sont corrélées avec le COD au centre et à l'aval du bassin.

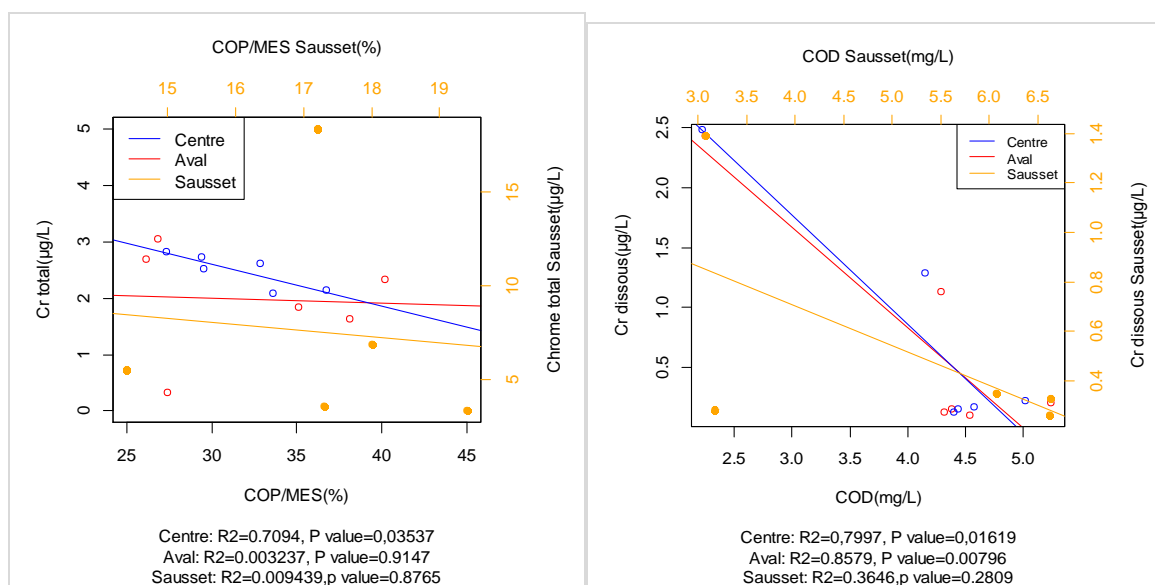


Figure 38 : Chrome total et COP/MES (gauche) ; Chrome dissous et COD (droite)

7.1.2 Cobalt et Carbone organique

Les concentrations en cobalt total sont corrélées avec COP aux deux points du bassin et dans le Sausset. La fraction inerte du cobalt est positivement corrélée avec le COD au centre du bassin.

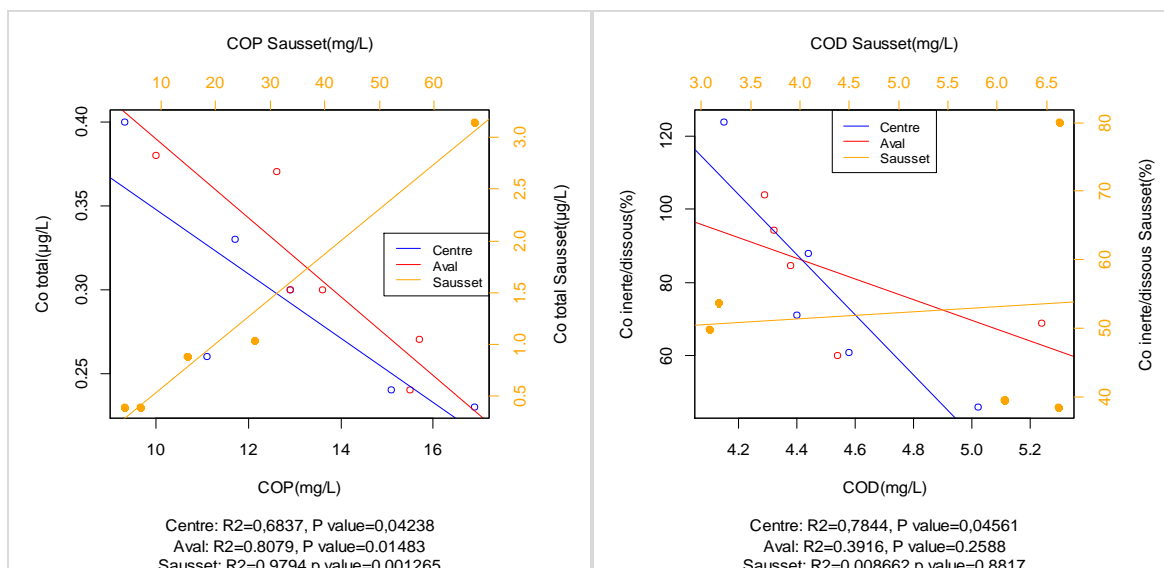


Figure 39 : Cobalt total et COP (gauche) ; Fraction cobalt inerte et COD (droite)

7.1.3 Cuivre et Carbone organique, Nitrates, Phosphates et Phosphore total

Les concentrations en cuivre dissous sont corrélées au centre du bassin avec le COP et à l'aval avec NO₃.

La fraction inerte du cuivre est positivement corrélée avec le phosphore total et les phosphates à l'aval du bassin.

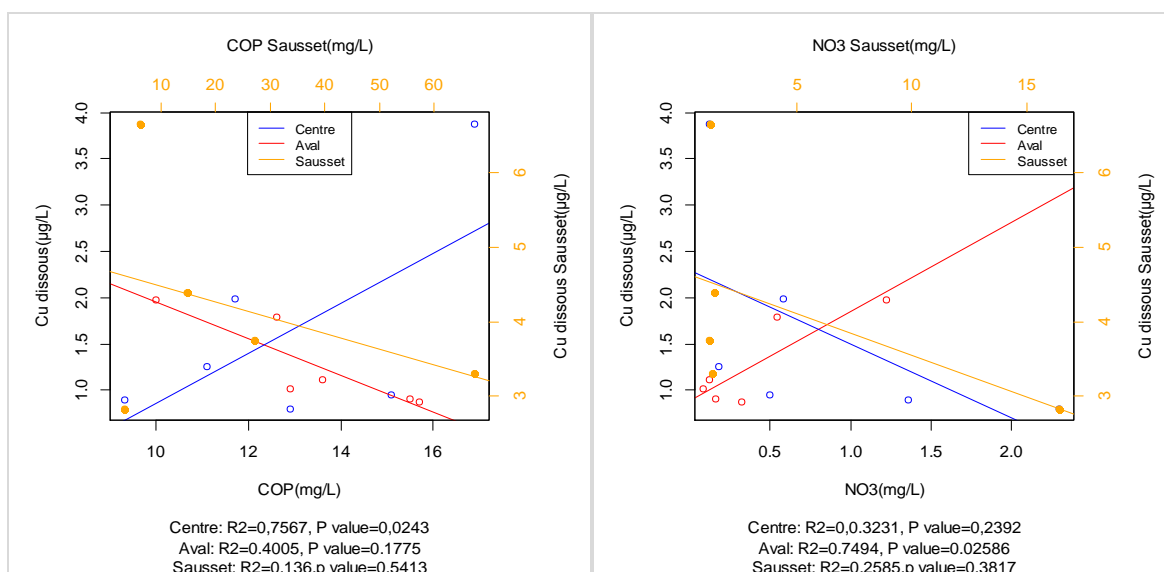


Figure 40 : Cuivre dissous et COP (gauche) ; Cuivre dissous et NO3 (droite)

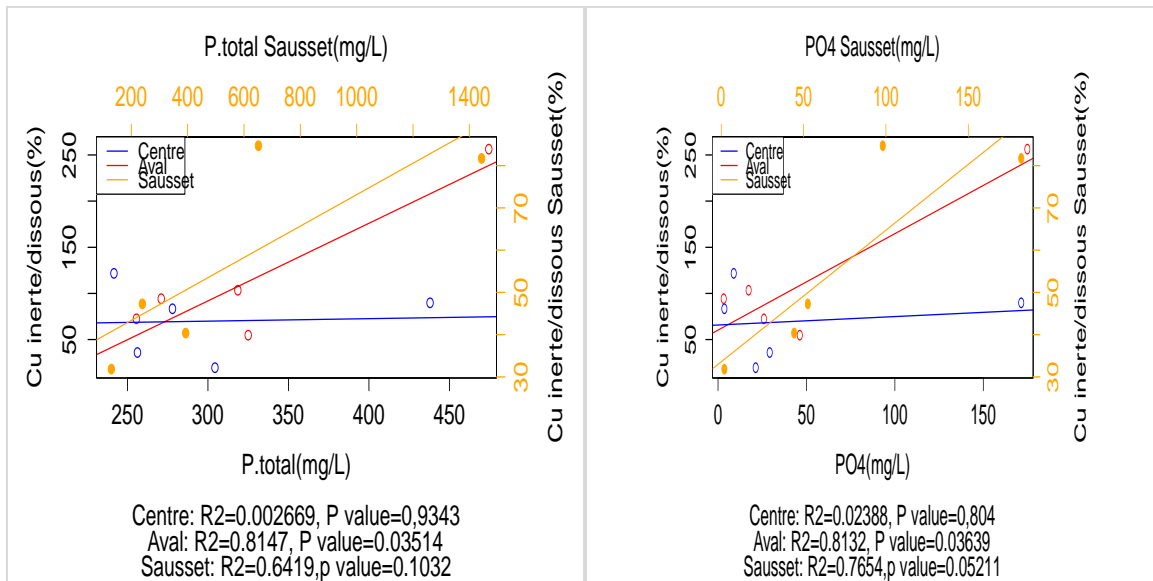


Figure 41 : Fraction du cuivre inerte et phosphore total (gauche) et phosphates (droite)

7.1.4 Zinc, Nitrates et COD

La fraction inerte du zinc est positivement corrélée avec NO₃ dans le Sausset et à l'aval du bassin. Elle est négativement corrélée avec COD au centre du bassin.

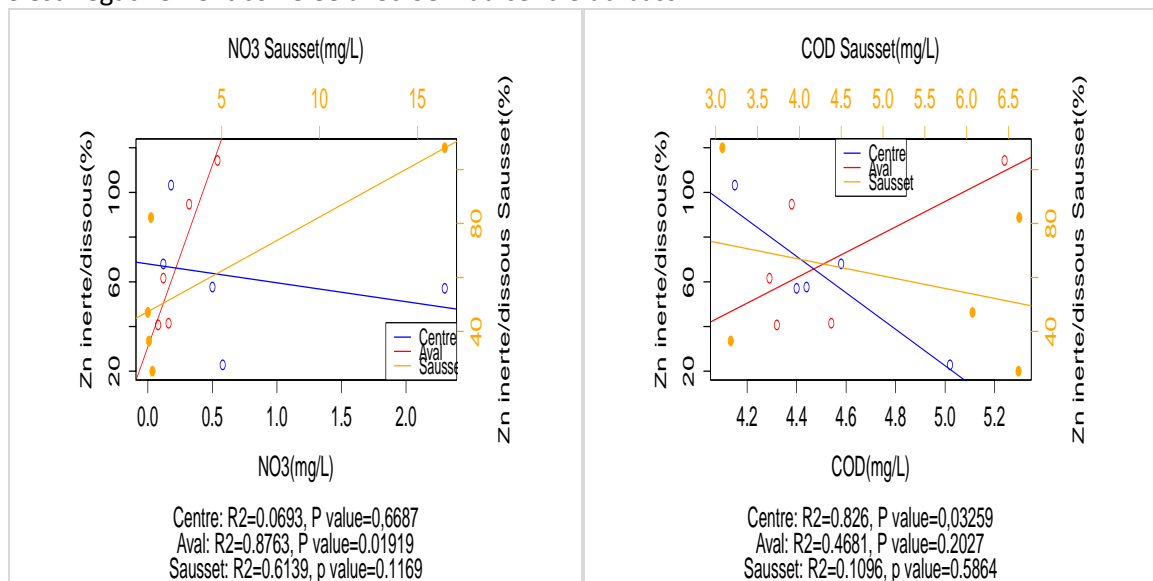
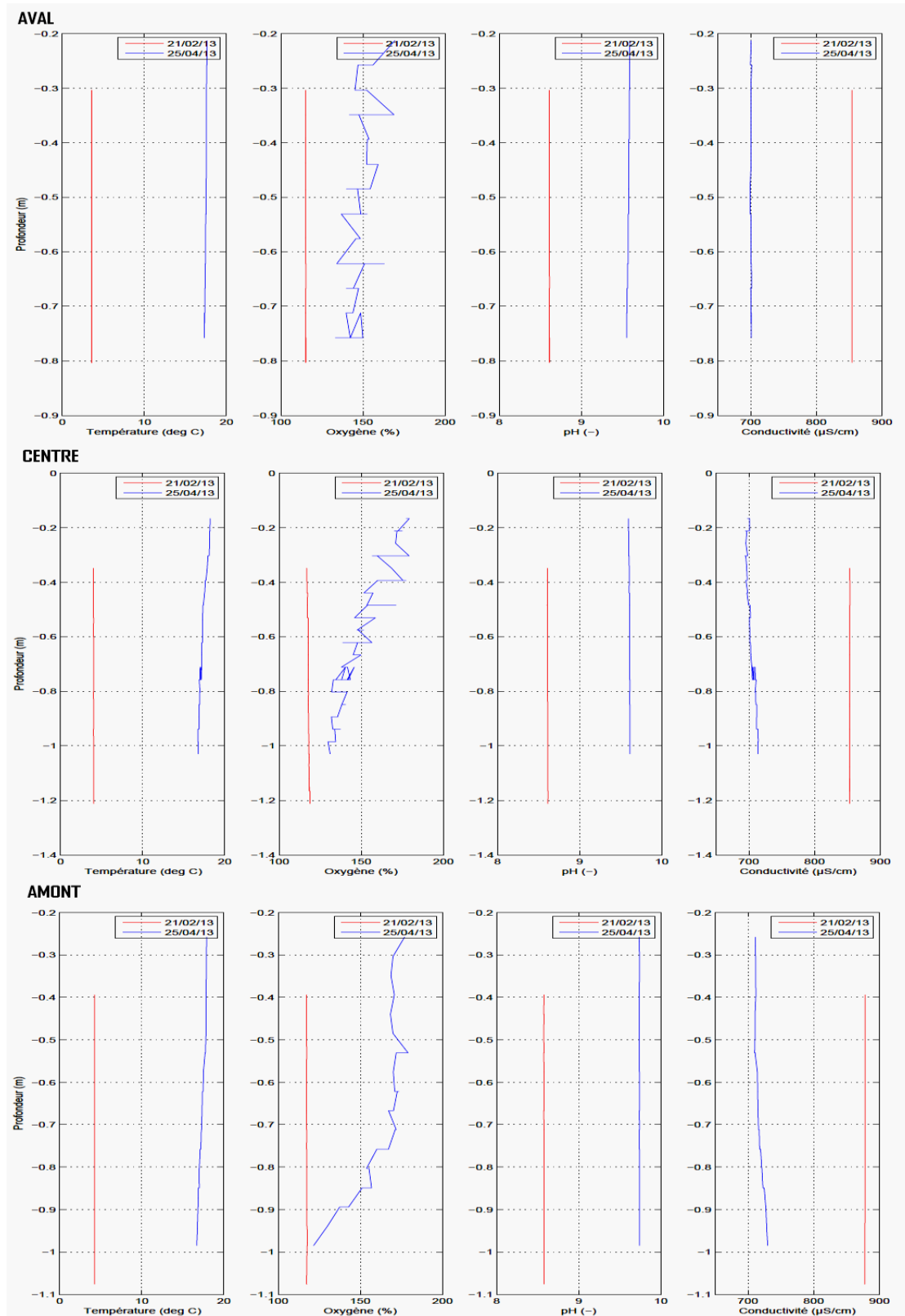


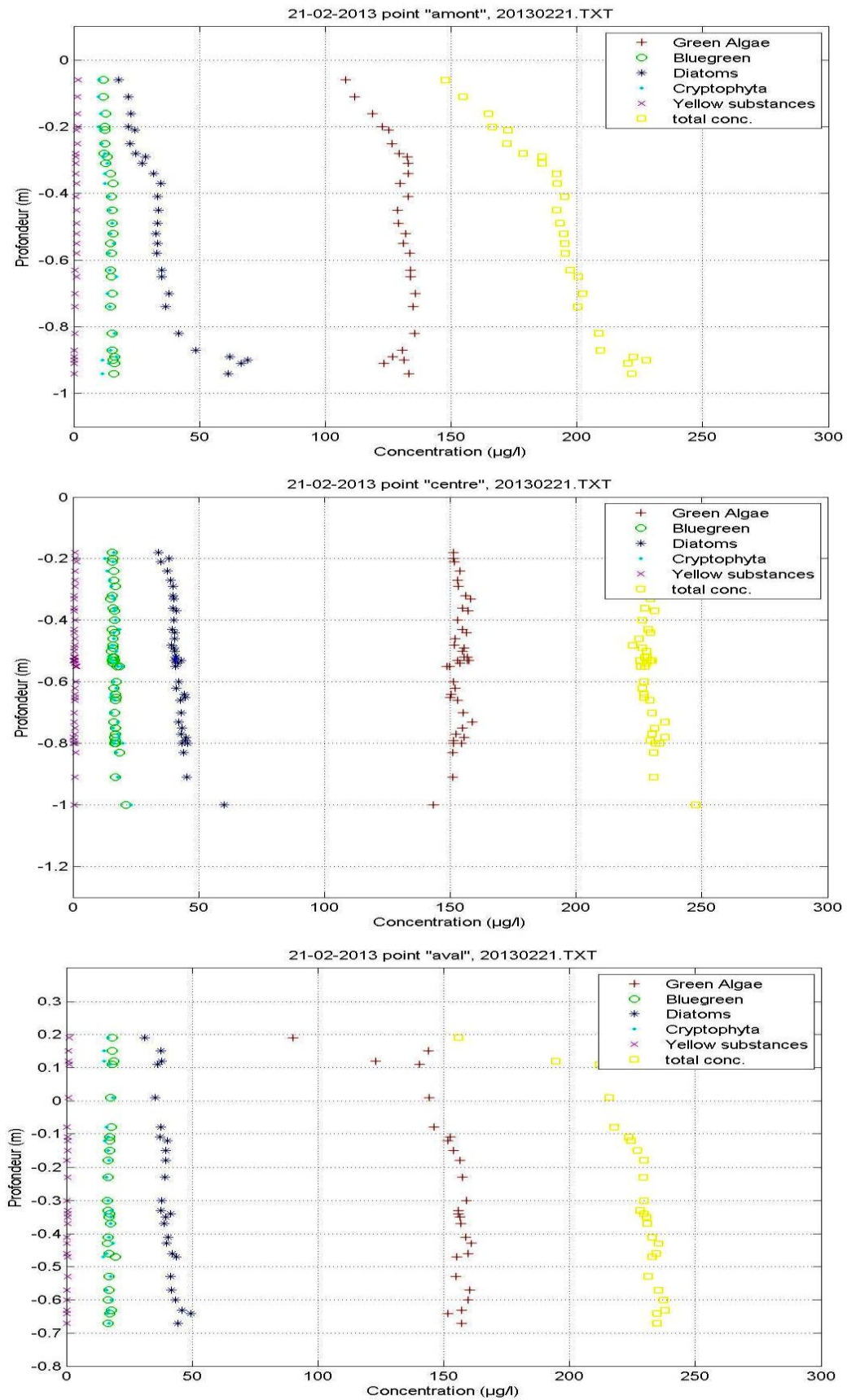
Figure 42 : Fraction du zinc inerte et NO₃ (gauche) et COD (droite)

7.2 Profils de sonde multi-paramètres et fluorimétrique

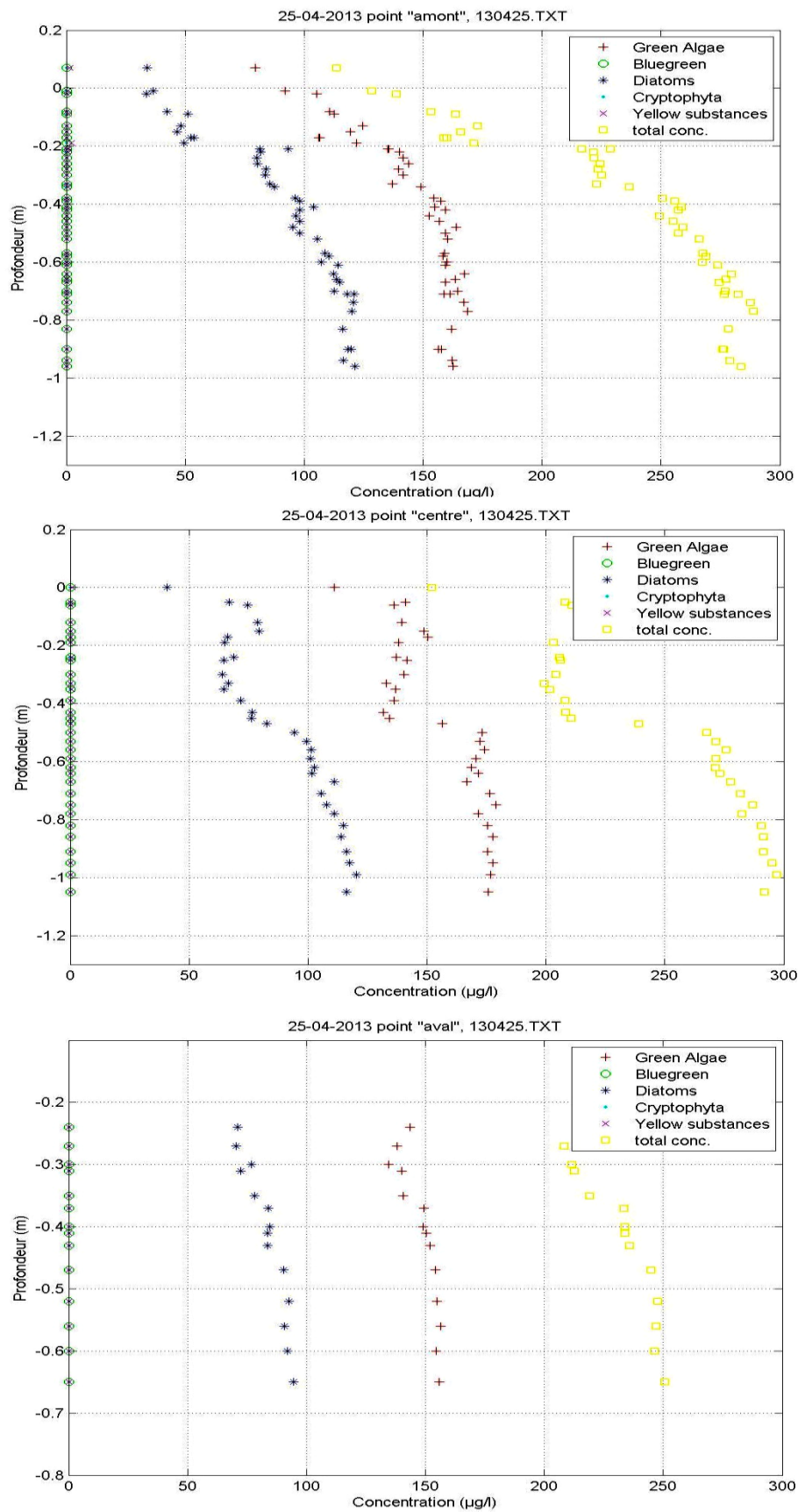
7.2.1 Sonde multi-paramètre aux 3 points de mesures, première et seconde campagne de temps sec du 21/02/13 et du 25/04/13



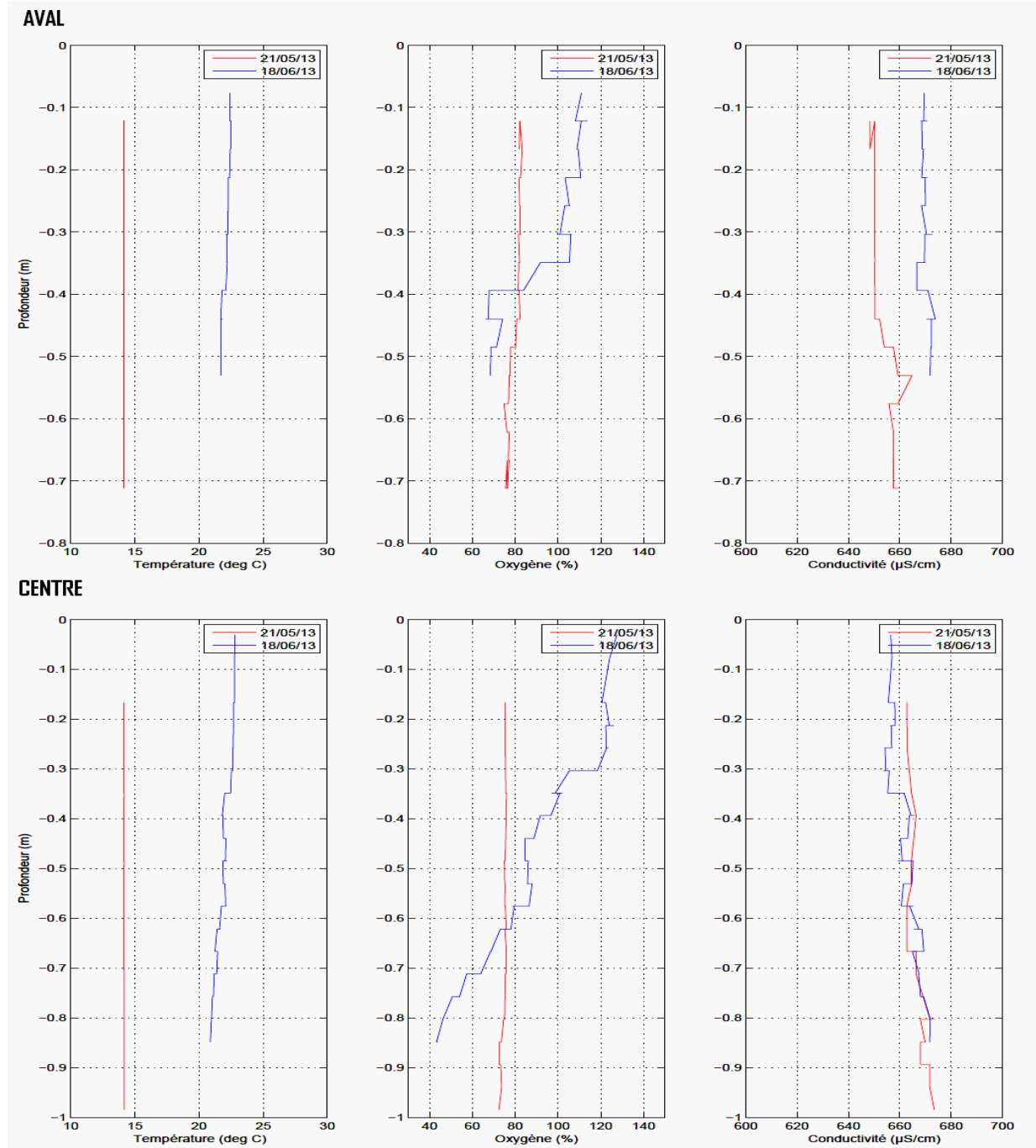
7.2.2 Première campagne de temps sec, profils de sonde fluorimétrique aux trois points du bassin



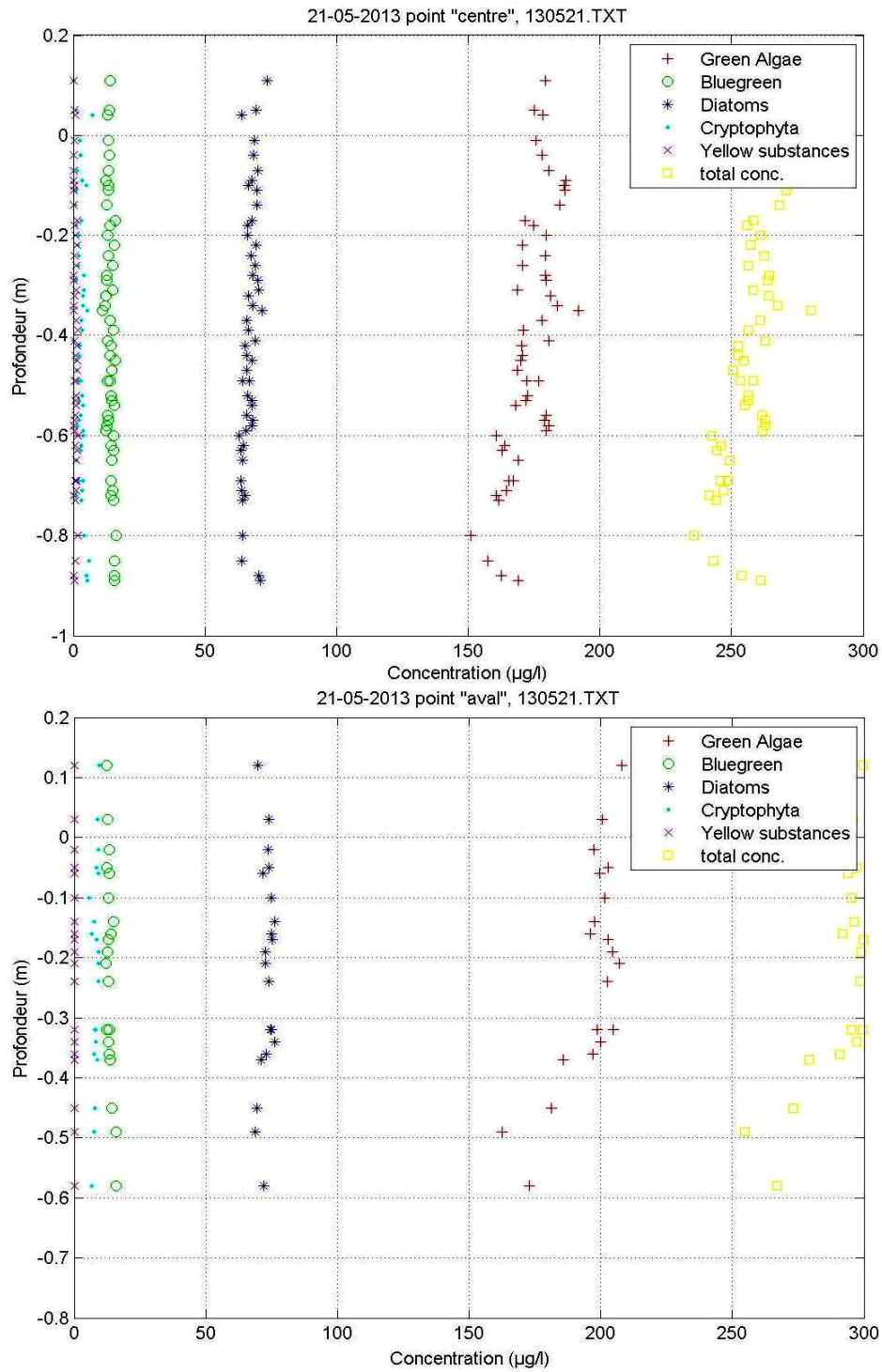
7.2.3 Seconde campagne de temps sec, profils de sonde fluorimétrique aux trois points du bassin



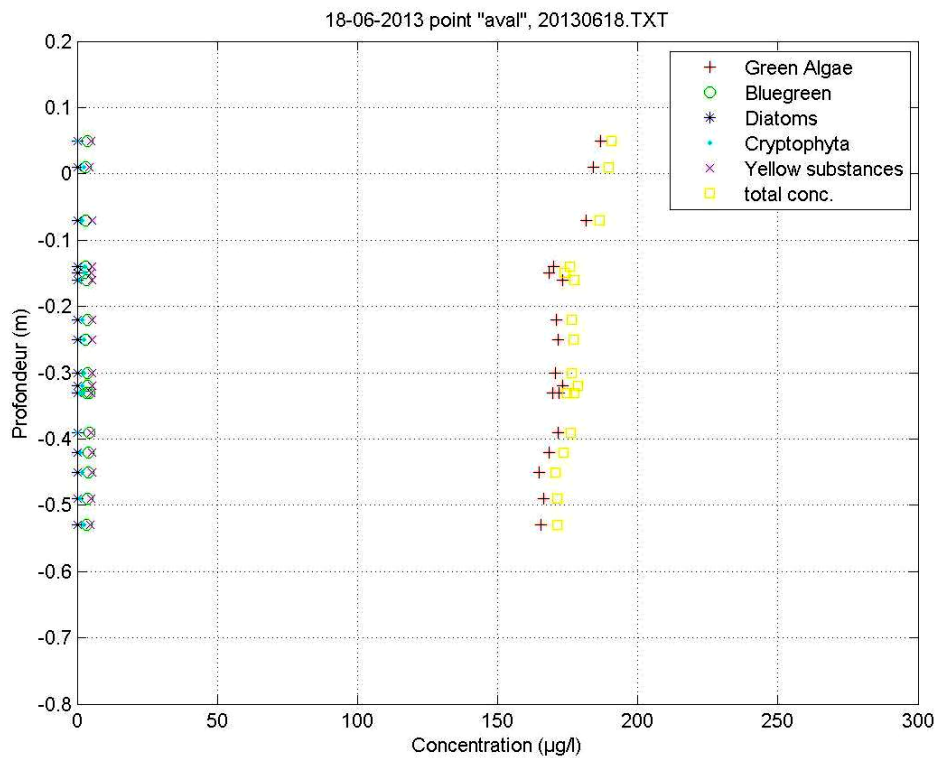
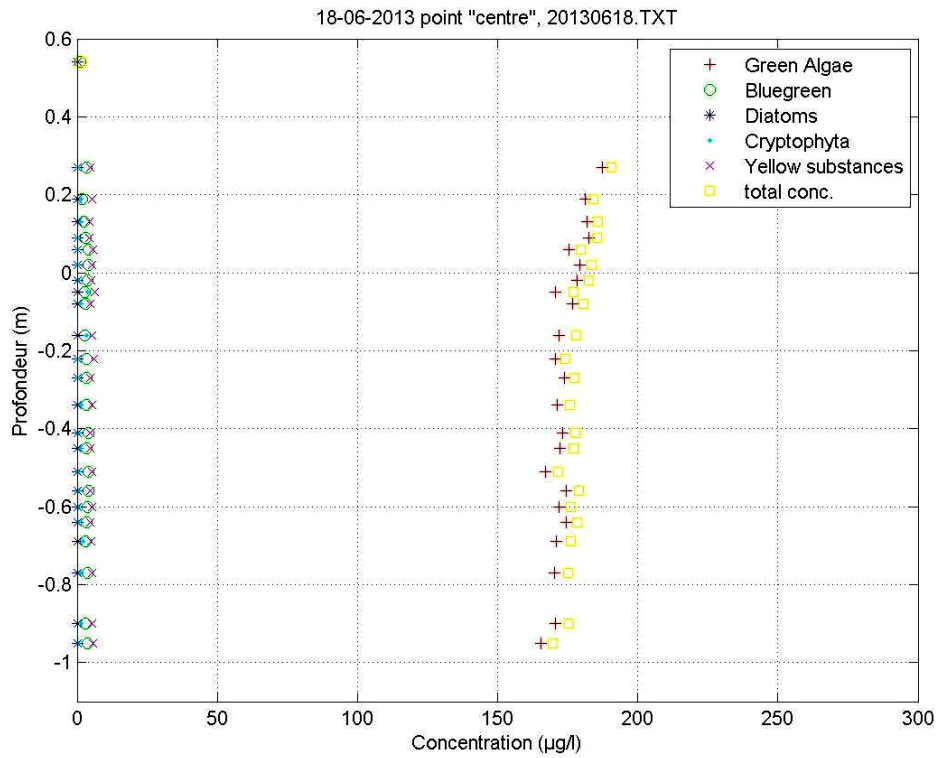
7.2.4 Profils de sonde multi-paramètres aux trois points du bassin, première et seconde campagne de temps de pluie du 21/05/13 et du 18/06/13



7.2.5 Première campagne de temps de pluie, profils de sonde fluorimétrique aux trois points du bassin

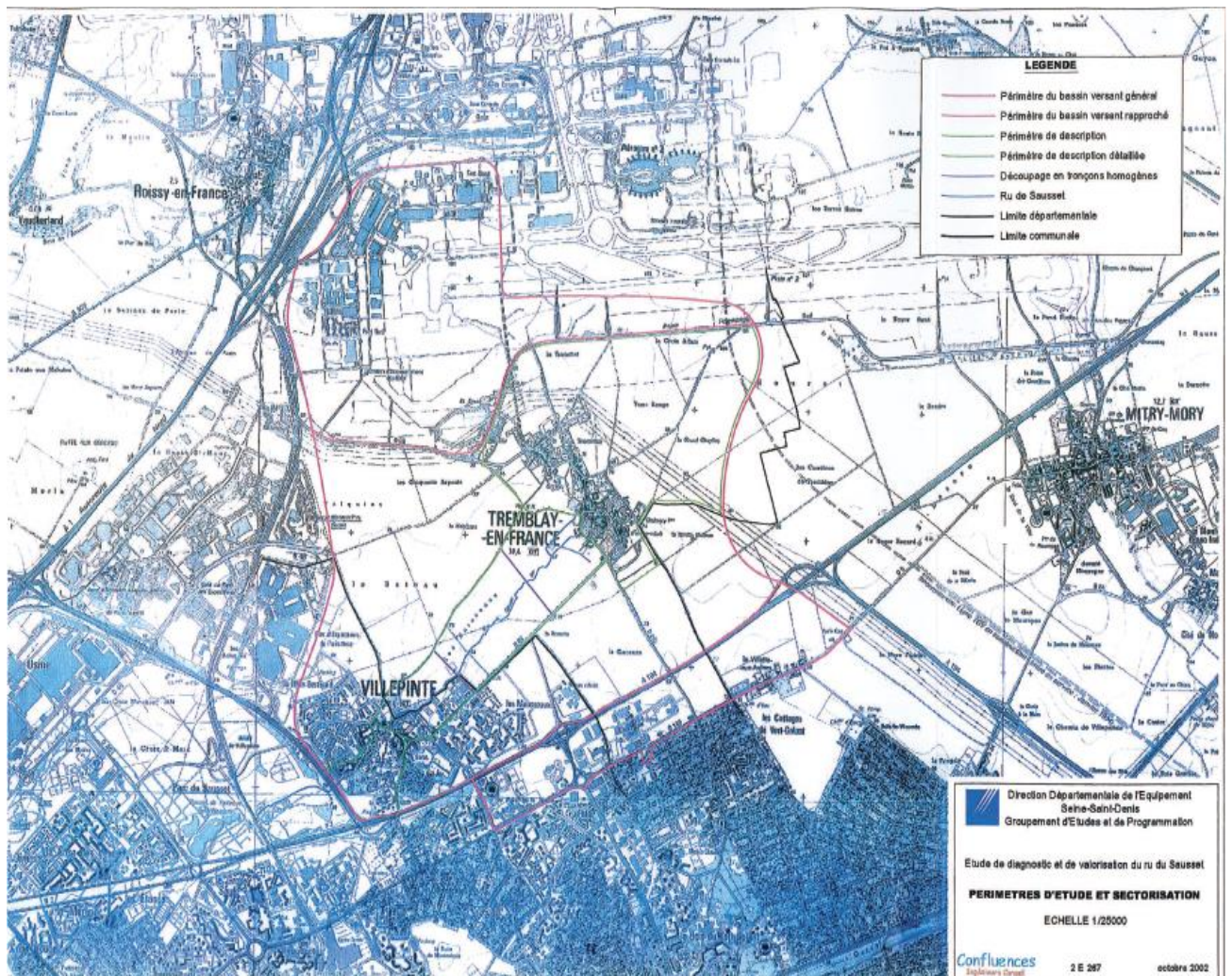


7.2.6 Deuxième campagne de temps de pluie, profils de sonde fluorimétrique aux trois points du bassin

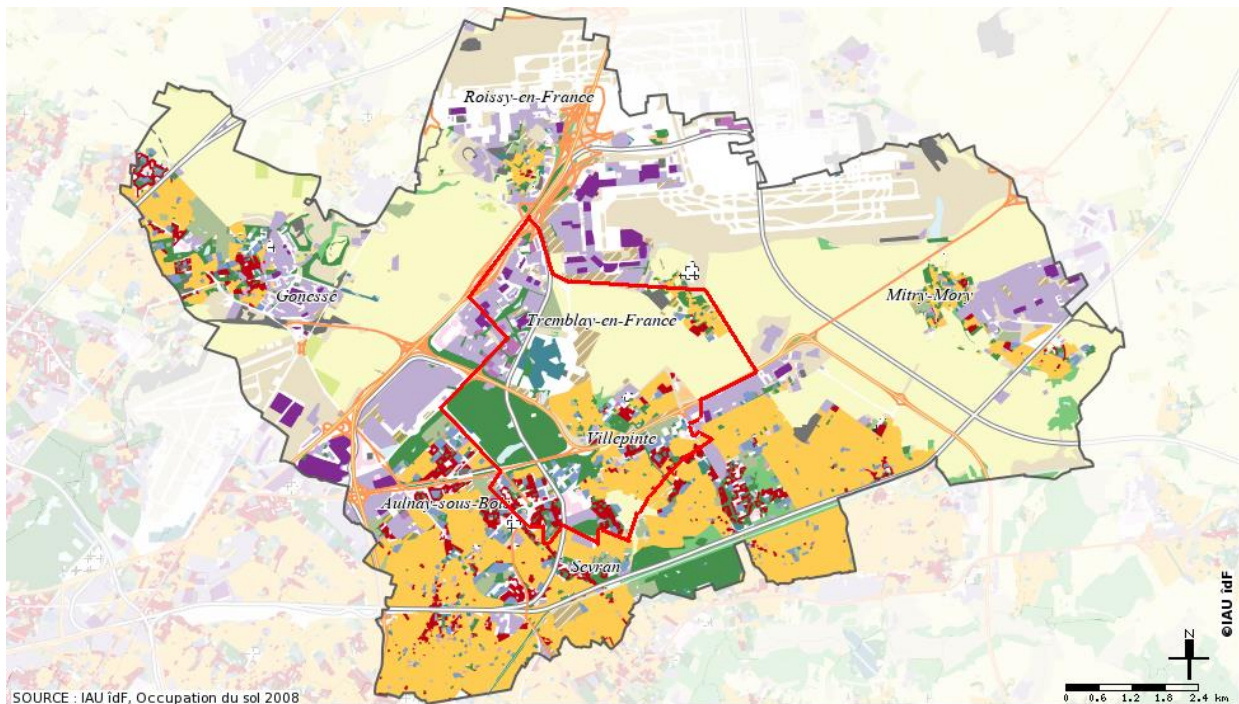


7.3 Périmètre du bassin versant du Sausset

Carte tirée de Confluences Ingénieurs Conseil (2002)



7.4 Occupation des sols du bassin versant du Sausset (www.iau-idf.fr)



SOURCE : IAU îdf, Occupation du sol 2008

Occupation du sol détaillée		Superficie (ha)	Transport	
Bois ou forêts	184.20	Activités économiques et industrielles	1 002.98	Autoroutes
Grandes cultures	3 298.54	Entrepôts logistiques	185.93	Nationales
Autres cultures	47.46	Commerces	47.88	Voies ferrées
Eau	66.49	Bureaux	36.27	Bassin versant du Sausset
Autre rural	1 491.06	Bâtiments ou installations de sport	33.35	
Parcs ou jardins	771.36	Equipements d'enseignement	162.66	
Sports (espaces ouverts)	198.18	Equipements de santé	40.30	
Tourisme et loisirs (espaces ouverts)	0.48	Cimetières	36.03	
Terrains vacants	180.65	Equipements culturels, touristiques et de loisirs	39.21	
Habitat individuel	1 990.44	Autres équipements	65.53	
Habitat collectif	313.02	Transports	1 769.33	
Habitat autre	18.75	Chantiers	119.25	

7.5 Liste des études disponibles

- Horizon, Dimensionnement et fonctionnement du bassin de retenue de la ferme de Savigny à Aulnay-sous-Bois, 1976
- DDE 93, Notice hydraulique, 1976
- Laboratoire régional de l'est Parisien Le Bourget, Bassin de retenue de la ferme de Savigny, Bassin de retenue de la ferme Bataille, Etude hydrogéologique, étude géologique, étude des conditions d'exploitation, 1978
- Département 93 parc départemental du Sausset, Parc Sausset 3^{ème} tranche mémoire, 1983
- Département 93 parc départemental du Sausset, Parc Sausset 3^{ème} tranche estimatif, 1983
- DEA, Bilan de l'utilisation du bassin de Savigny
- Safège, Diagnostic de la qualité des eaux des bassins de Savigny, Pont-Yblon et la Molette, 1998
- Aquascop, Bassins Seine-Saint-Denis, 2001
- Confluences, Diagnostic et valorisation du ru du Sausset, 2002
- Safège, Fonctionnement du bassin de Savigny, 2003
- Composante urbaine, Etude sur la valorisation du ru du Sausset, Tremblay-en-France, Villepinte, 2005
- Sepia Conseils, Amélioration de la qualité du plan d'eau, 2008
- Aquascop, Qualité écologique des bassins pluvieux du département, 2008
- Prolog / Esoa D, Hydrologie et fonctionnement hydraulique du réseau, Optimisation du fonctionnement du bassin de Savigny, 2008
- Dubost, Etude des peuplements piscicoles de l'étang de Savigny du parc du Sausset (93): échantillonnage mixte par engins passifs et pêche à l'électricité – proposition de gestion, 2008
- Dubost, Mesures de la qualité des sédiments du bassin de Savigny, Commune d'Aulnay-sous-Bois, Seine-Saint-Denis, 2008
- DEA/SHUE/BQE, Suivi de la qualité du milieu naturel, 2009
- DEA/SHUE/BQE, Suivi de la qualité du milieu naturel, 2010
- DEA/SHUE/BQE, Suivi de la qualité du milieu naturel, 2012
- Département de la Seine-Saint-Denis Service du Parc du Sausset, Un réseau de mares et de milieux humides au Parc du Sausset
- Optimisation de l'alimentation du bassin de Savigny
- DEA, Bathymétrie et contrôle : Pré-bassin aval et amont, 02/04, 07/06, 08/06, 07/08, 10/08, 07/09