

Comparaison de l'évaluation de la performance d'épuration de systèmes de traitement des eaux par turbidimétrie en continu et par prélèvement ponctuels.

Comparing the evaluation of the purification performance of runoff water treatment systems using continuous turbidimetry or point sampling.

Manuel Froidevaux* ; Bruno Spahni*, Fabienne Favre Boivin*

* Institut des Technologies de l'Environnement Construit, Haute École d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg, Université des sciences appliquées et d'art de Suisse Occidentale (HES-SO) (correspondance : fabienne.favre@hefr.ch)

RÉSUMÉ

La gestion adéquate des systèmes de traitement des eaux de chaussées (SETEC) repose sur une estimation robuste et représentative de leur performance de traitement. L'Office fédéral des routes en est responsable en Suisse et propose une méthode de mesure par prélèvements ponctuels (ASTRA 2016). L'objectif de cette étude est d'analyser la performance de traitement (η) d'un SETEC à l'aide de la méthode par prélèvements ponctuels (OFROU) et d'une méthode de mesure en continu par turbidimétrie (Turbi). L'étude calcule les incertitudes liées aux deux méthodes et discute l'impact de choix opérationnels : saisons d'échantillonnage, choix des volumes prélevés et durée des campagnes de prélèvement selon la méthode OFROU. Les deux méthodes calculent des η satisfaisants, dans les mêmes ordres de grandeur (79% et 93% selon la méthode OFROU ou Turbi respectivement) et des incertitudes similaires. Avec la méthode Turbi, l'erreur d'estimation d' η est de à 3.4%. η_{estival} est supérieur à η_{hivernal} en raison d'une forte évapotranspiration d'un bassin de laminage végétalisé. Un échantillonnage de 50% des pluies produit avec la méthode OFROU une erreur de $-13\% \pm 28\%$ sur la concentration moyenne, qui augmente à $-13\% \pm 54\%$ pour 20% des pluies échantillonnées. Avec un prélèvement tous les 100 m³, l'erreur est de 13 % et passe à 41% et 73% avec un prélèvement tous les 300 ou 1000 m³ respectivement.

ABSTRACT

Runoff water treatment systems (SETEC) rely on a strong and representative analysis capacity of their treatment performance. The federal roads office being responsible for this task suggest a measurement method based on point sampling (ASTRA 2016). The aim of the present study is to analyze the treatment performance (η) of a SETEC with the point sampling method (i.e., the OFROU method), combined with continuous turbidity measurements (i.e., Turbi method). Uncertainties estimations are carried out for both methods. The various operational choices are discussed, namely sampling season, volumes sampled, and sampling campaign duration. Both methods offer satisfying η with similar values (79% and 93% with OFROU method and Turbi method, respectively) and comparable uncertainties over. With Turbi method, η estimation error is equal to 3.4%. As expected, η_{summer} is larger than η_{winter} due to massive evapotranspiration in a retention basin. Sampling 50% of rain events produces an error of $13\% \pm 28\%$ that increases to $13\% \pm 54\%$ with 20% of rain sampled. Sampling every 100 m³ produces a 13% error that increases to 41% and 73% with sampling every 300m³ and 1000 m³ respectively.

MOTS CLÉS

Analyse d'incertitudes, eaux de chaussées, efficacité de traitement, turbidité, prélèvements ponctuels

1 INTRODUCTION

Entretien et gérer de façon adéquate les installations de traitement des eaux de chaussées (SETEC) nécessite pour l'instance qui en a la charge de pouvoir prioriser les interventions, étant donné les coûts en jeu et le niveau de protection des eaux de surfaces exigée par les législations. Pour cela, des méthodes de mesure robustes et fiables des performances des SETEC et des différents organes qui les composent, sont nécessaires. De plus, les instances de surveillance doivent souvent mandater des entreprises privées pour la réalisation de ces contrôles. La question des modes d'évaluation se pose alors du fait de la qualité variable des eaux de ruissellement de chaussée, et de la fluctuation de leur composition dans le temps. Malgré de nombreuses études (Tsihrintzis et Hamid 1997, Obropta et Kardos 2007, Bai et Li 2013), la prédiction des teneurs en polluants des eaux de ruissellement de chaussée n'est toujours pas possible. Metadier et Bertrand-Krajewski (2012) établissent néanmoins une relation forte entre quantités de MES dans le ruissellement et volume d'eau d'un événement pluvieux. L'élaboration des méthodes quantitatives de suivi de performance d'installation est donc difficile à réaliser et des indications sur les choix d'échantillonnages, de méthodes d'analyse et leur impact sur la précision des résultats sont nécessaires.

La méthode de suivi de la qualité des eaux de ruissellement par turbidimétrie a maintenant fait ses preuves (Memon et al. 2015, Sun et al. 2015). De plus, les erreurs qui lui sont associées ont bien été décrites (Ruban et al. 2006, Joannis et al. 2008, Metadier et Bertrand-Krajewski 2011). Une manière habituelle de caractériser l'erreur d'estimation d'une charge polluante est la simulation Monte Carlos (Lacour et al. 2009, Hannouche et al. 2016). La méthode de suivi par turbidimétrie reste cependant peu adoptée par les bureaux d'étude ou les organes de contrôle des installations de traitement qui lui préfèrent la traditionnelle méthode de prélèvement asservis au temps ou au débit et d'analyse chimique des lots ainsi collectés.

La représentativité temporelle des périodes étudiées influence grandement la qualité des résultats, que ce soit par échantillonnage ponctuel (Coynel et al. 2004, Moatar et al. 2006, McCarthy et al. 2008) ou par turbidimétrie (Lacour et al. 2009). La variabilité saisonnière des flux de polluants peut aussi significativement influencer les résultats.

2 MATERIEL ET METHODES

L'étude caractérise le fonctionnement du SETEC du Praz-des-Vernes, aux abords du lac de Neuchâtel en Suisse. Ce SETEC traite les eaux de ruissellement d'un tronçon autoroutier de 4.290 km de long constitué d'un viaduc et d'un tunnel. Il est principalement composé d'un bassin de décantation (BD), et d'un bassin de laminage de crue (BALA). Les mesures sont étendues sur une année entre novembre 2015 et novembre 2016. Afin d'estimer l'efficacité de dépollution de chaque bassin, 3 points de mesure ont été disposés : l'un en entrée et en sortie du BD (équivalent à l'entrée du BALA), et le dernier en sortie de BALA.

Les flux de MES sont estimés selon 2 méthodes différentes. La première, la méthode OFROU, consiste à prélever des échantillons automatiquement selon un asservissement au volume (ASTRA 2016). Durant les événements pluvieux, un échantillon est prélevé en chaque point de mesure tous les 80m³. 24 échantillons sont collectés et recomposés en un échantillon moyen. En parallèle, une méthode de suivi en continu par turbidité (Turbi) a été mise en œuvre. Les concentrations en MES sont estimées par régression avec des mesures de MES sur échantillons. L'entretien des installations et la récolte des échantillons se fait tous les dix jours.

Les débits sont calculés à partir de mesures de hauteur d'eau dans le BD (loi de déversoir à seuil large) et dans le BALA (loi de déversoir à paroi mince). En chaque point de mesure, un turbidimètre et un préleveur automatique ont été placés.

L'efficacité de traitement est calculée ainsi :

$$\eta_{\text{polluant,totale}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{entrée},i} \cdot \delta t \cdot [MES]_{\text{entrée},i} - \sum_{i=1}^n Q_{\text{sortie},i} \cdot \delta t \cdot [MES]_{\text{sortie},i}}{\sum_{i=1}^n Q_{\text{entrée},i} \cdot \delta t \cdot [MES]_{\text{entrée},i}}$$

Où $Q_{\text{entrée},i}$ et $Q_{\text{sortie},i}$ sont les débits du système au temps i , δt et l'intervalle de mesure, $[MES]_{\text{entrée},i}$ et $[MES]_{\text{sortie},i}$ sont les concentrations en MES du système au temps i et n est le nombre total de mesures.

Pour estimer les incertitudes sur les calculs d'efficacité de la méthode Turbi, des modélisations de Monte Carlo ont été réalisées sur les lots de données hivernales. L'incertitude représentée par la couverture temporelle partielle de la méthode OFROU a été estimée par permutations. L'influence sur η de l'ajustement TU/MES, de la mesure du zéro de la hauteur d'eau et des imprécisions liées à la mesure de turbidité est évaluée en simulant tour à tour l'absence de ces sources d'incertitudes.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Conditions météorologiques

L'année pluviométrique suivie (2015-1016) présente un excédent de précipitations de 10% par rapport à une année moyenne mais rassemble des événements et séquences d'événements pluvieux de tout type. 48 événements pluvieux ont été mesurés par turbidimétrie en continu durant la période hivernale, 35 parmi ceux-ci ont fait l'objet d'un prélèvement ponctuel par la méthode OFROU.

3.2 Efficacités de traitement mesurées

Les méthode OFROU et Turbi indiquent une efficacité annuelle du SETEC de 79% et de 93% respectivement. Cette performance est satisfaisante selon les standards OFROU. En hiver, η vaut 71% et 57% et passe à 96 et 97% pour la période estivale selon la méthode Turbi et OFROU respectivement. Cette variation s'explique par la diminution des débits sortants du BALA causée par la forte évapotranspiration de la végétation qui le couvre.

3.3 Incertitudes du résultat d'efficacité selon la méthode Turbi

La simulation de Monte Carlo indique une incertitude de 3.4 sur η du SETEC. L'influence sur η de la qualité de l'ajustement MES/TU est le facteur le plus influent : si seule cette source d'incertitude est prise en compte, l'incertitude sur η est de 2.8%. En prenant seulement l'incertitude de la mesure de turbidité, l'incertitude sur η est de 2%. Les incertitudes de la mesure de hauteur d'eau et des MES contribuent à moins de 1% de l'incertitude sur η .

3.4 Représentativité temporelle et volumique de la méthode par prélèvement ponctuel (OFROU)

Le prélèvement en continu a permis de saisir 73% des événements pluvieux hivernaux enregistrés. Ce nombre influence grandement l'erreur d'estimation de la performance de traitement.

Avec 50% des pluies échantillonnées, l'erreur est de $-13\% \pm 28\%$. Avec 20% des pluies échantillonnées, l'erreur passe à $-13\% \pm 54\%$ puis $-45\% \pm 105\%$ avec 6% des événements couverts (Figure 1). Ceci s'explique aisément par l'importance de l'extrapolation qui est faite à partir d'un petit nombre de mesures sur le grands nombres d'événements de ruissellement.

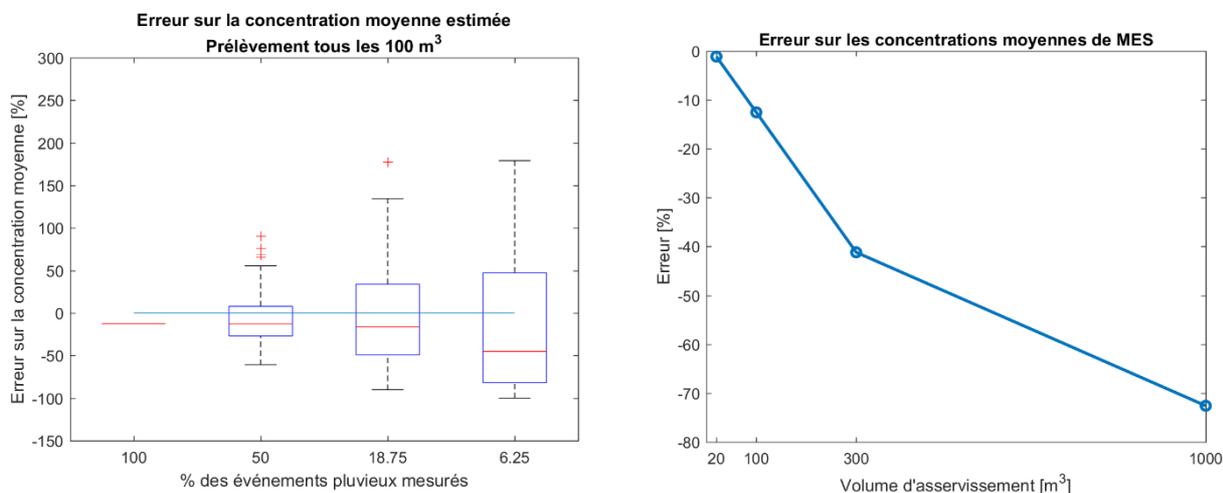


Figure 1 : À gauche, Estimation de l'incertitude en fonction du pourcentage de pluie échantillonnées. À droite, Erreurs de représentativité temporelle de la méthode OFROU en fonction du volume d'asservissement, avec toutes les pluies échantillonnées.

Selon la fréquence d'échantillonnage au sein d'un événement pluvieux, imposée par l'asservissement au volume, les erreurs varient fortement. Pour un volume d'asservissement de 20m³, une faible erreur de 1% est constatée. Elle atteint 12% et 41% pour des prélèvements tous les 100m³ ou 300 m³ respectivement. (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, droite). Si une haute fréquence d'échantillonnage assure sans surprise une faible erreur d'estimation des concentrations moyennes de MES, en revanche, elle nécessite une présence accrue sur le terrain pour recharger l'échantillonneur automatique, et donc augmente les coûts du monitoring.

Ces résultats illustrent l'impact de choix opérationnels faits pour rationaliser les coûts : quelle durée de campagne de terrain, quels volumes d'asservissement choisir, quelles ressources nécessitent-ils ? Pour une même durée de suivi ainsi qu'un nombre de prélèvements élevés, les méthodes Turbi et OFROU offrent des précisions similaires. En revanche, dans le cas où l'on réduit la couverture temporelle de la méthode OFROU, avec une réduction des durées de campagne, on observe une importante perte de précision. La conclusion est identique en utilisant un volume d'asservissement du prélèvement inadéquat. Dans le cas de cette étude, cette erreur d'estimation conduirait à ne pas permettre d'indiquer si le système respecte les exigences légales ou est un système défaillant. Enfin, la variabilité saisonnière des événements impose un suivi couvrant les saisons estivales et hivernales quelle que soit la méthode utilisée.

4 CONCLUSION

Cette étude souligne la variabilité saisonnière du fonctionnement d'un SETEC, et l'importance d'une durée de mesures et de volumes d'asservissement adaptés. Elle montre également qu'avec un suivi annuel, les imprécisions liées aux mesures sont très basses. Pour la méthode Turbi, la précision d'estimation d' η dépend principalement de la précision de l'ajustement MES-turbidité. Pour la méthode OFROU, des choix de volumes adaptés ainsi qu'une couverture temporelle suffisante sont nécessaires afin d'obtenir des incertitudes sur η inférieures à 10%.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTRA, B. f. S. (2016). *Technisches Merkblatt Bauteil Entwässerung und Strassenabwasserbehandlung Leistungsprüfung neuer Verfahren*. V. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Energie und Kommunikation UVEK.
- Bai, B. and J. Li (2013). *Sediment Wash-Off from an Impervious Urban Land Surface*. Journal of Hydrologic Engineering 18(5): 488-498.
- Coynel, A., J. Schafer, J. E. Hurtrez, J. Dumas, H. Etcheber and G. Blanc (2004). *Sampling frequency and accuracy of SPM flux estimates in two contrasted drainage basins*. Science of the Total Environment 330(1-3): 233-247.
- Hannouche, A., C. Joannis and G. Chebbo (2016). *Assessment of total suspended solids (TSS) event load and its uncertainties in combined sewer system from continuous turbidity measurements*. Urban Water Journal 14(8): 789-796.
- Joannis, C., G. Ruban, M. C. Gromaire, J. L. Bertrand-Krajewski and G. Chebbo (2008). *Reproducibility and uncertainty of wastewater turbidity measurements*. Water Science and Technology 57(10): 1667-1673.
- Lacour, C., C. Joannis and G. Chebbo (2009). *Assessment of annual pollutant loads in combined sewers from continuous turbidity measurements: sensitivity to calibration data*. Water Res 43(8): 2179-2190.
- McCarthy, D. T., A. Deletic, V. G. Mitchell, T. D. Fletcher and C. Diaper (2008). *Uncertainties in stormwater E. coli levels*. Water Research 42(6-7): 1812-1824.
- Memon, S., M. C. Paule, B. Y. Lee, R. Umer, C. Sukhbaatar and C. H. Lee (2015). *Investigation of turbidity and suspended solids behavior in storm water run-off from different land-use sites in South Korea*. Desalination and Water Treatment 53(11): 3088-3095.
- Metadier, M. and J. L. Bertrand-Krajewski (2011). *From mess to mass: a methodology for calculating storm event pollutant loads with their uncertainties, from continuous raw data time series*. Water Science and Technology 63(3): 369-376.
- Metadier, M. and J. L. Bertrand-Krajewski (2012). *The use of long-term on-line turbidity measurements for the calculation of urban stormwater pollutant concentrations, loads, pollutographs and intra-event fluxes*. Water Research 46(20): 6836-6856.
- Moatar, F., G. Person, M. Meybeck, A. Coynel, H. Etcheber and P. Crouzet (2006). *The influence of contrasting suspended particulate matter transport regimes on the bias and precision of flux estimates*. Science of the Total Environment 370(2-3): 515-531.
- Obropta, C. C. and J. S. Kardos (2007). *Review of urban stormwater quality models: Deterministic, stochastic, and hybrid approaches*. Journal of the American Water Resources Association 43(6): 1508-1523.
- Ruban, G., J. L. Bertrand-Krajewski, G. Chebbo, M. C. Gromaire and C. Joannis (2006). *Accuracy and reproducibility of turbidity measurements in urban waste water*. Houille Blanche-Revue Internationale De L Eau(4): 129-135.
- Sun, S. A., S. Barraud, H. Castebrunet, J. B. Aubin and P. Marmonier (2015). *Long-term stormwater quantity and quality analysis using continuous measurements in a French urban catchment*. Water Research 85: 432-442.
- Tshirintzis, V. A. and R. Hamid (1997). *Modeling and Management of Urban Stormwater Runoff Quality: A Review*. Water Resources Management 11(2): 137-164.