HAL
open science

Caractérisation qualitative de l'effet de first-flush dans un système de récupération et utilisation de l'eau de pluie en l'aval d'une toiture

Qiao Yujie, Bernard de Gouvello, Bruno Tassin

▶ **To cite this version:**

Qiao Yujie, Bernard de Gouvello, Bruno Tassin. Caractérisation qualitative de l'effet de first-flush dans un système de récupération et utilisation de l'eau de pluie en l'aval d'une toiture. GRUTTEE 2016(Groupement de Recherche Universitaire sur les Techniques de Traitement et d'Epuration des Eaux), Oct 2016, Poitiers France. hal-01456767

HAL Id: hal-01456767

https://hal.science/hal-01456767v1

Submitted on 5 Feb 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Caractérisation qualitative de l'effet de first-flush dans un système de récupération et utilisation de l'eau de pluie en l'aval d'une toiture

Qiao Yujie[1], de Gouvello Bernard[1, 2], Tassin Bruno[1]

RESUME

Le premier volume de ruissellement pendant l'événement pluvial qui est censé contenir la plus grande partie des éléments polluants est appelé « first-flush » et les recherches ont montré qu'un déviateur de first-flush peut améliorer la qualité de l'eau de pluie stockée. Dans cette étude, un dispositif de collecte fractonnée par succession de récipients a été construit et mis en place sur des portions de toit de deux maisons situées dans différentes zones de la région Ile de France (France) et 16 évènements pluvieux ont été suivis pendant 10 mois. La qualité de l'eau de pluie a été analysée au travers des paramètres suivants: pH, conductivité, MES, turbidité, COD, Entérocoques, Escherichia *coli*, bactéries aérobies revivifiables (B.A.R.) à 22 °C et à 37 °C. Les résultats montrent des corrélations entre certains paramètres. Du point de vue physico-chimique, les valeurs de turbidité et de MES diminuent avec la hauteur de pluie collectée cumulée dans toutes les collectes réalisées, suggérant qu'elles pourraient être des paramètres pertinents pour juger d'un effet de first flush. Par contre, les valeurs des paramètres microbiologiques sont hétérogènes et l'effet de first-flush n'est pas manifeste. Cet effet de first-flush peut également être liée aux facteurs d'événements de pluie comme l'intensité de la pluie et le temps sec antécédent.

MOTS CLES

Récupération de l'eau de pluie, toiture, first-flush, qualité de l'eau

INTRODUCTION

La récupération de l'eau de pluie en aval d'une toiture consiste à collecter la pluie du toit par un système d'acheminement et un réservoir. Elle est considérée comme une source alternative d'approvisionnement en eau dans le cadre d'une gestion durable des ressources en eau.

Pendant une période de temps sec, les dépôts humides et secs peuvent s'accumuler sur la surface du toit et sont érodés et lessivés au début de chaque pluie. Les recherches ont montré qu'un déviateur de first-flush peut améliorer la qualité de l'eau stockée car il est capable d'éliminer à la fois les polluants particulaires et les polluants dissous. (Martinson et Thomas 2009[1]; Abbott et *al*. 2007[2]; Lee et *al*. 2002[3]; Schriewer et *al.* 2008[4]; Zobrist et *al*. 2000[5]).

La plupart des guides étrangers relatifs à la récupération de l'eau de pluie en aval de toiture recommandent la mise en place d'un déviateur de first-flush en amont du stockage. Cependant, ni la réglementation française actuelle (arrêté du 21 août 2008) ni la norme française (NF P 16-005) ne font mention de ce dispositif: seule la mise en place d'une filtration d'une maille d'1 mm est exigée en cas d'usage intérieur (WC). Cette recherche vise à interroger la pertinence de l'option française au regard d'une analyse des performances d'un déviateur de first-flush.

Il y a encore des questions sur le phénomène de first-flush et l'efficacité du déviateur de first-flush. D'abord, la notion de first-flush, objet de diverses définitions à l'échelle urbaine(Saget et *al.* 1996[6], Bertrand-Krajewski et *al.* 1998[7]) reste à définir clairement à l'échelle du toit. Deuxièmement, plusieurs facteurs ont une influence sur la qualité des eaux de toiture : les caractéristiques intrinsèques du toit (matériau de toiture, âge de toit…), l'événement de précipitation (intensité, vent…) et d'autres facteurs météorologiques (saison, temps sec

[1] LEESU, UMR MA 102, École des Ponts, UPEC, AgroParisTech, Paris, France
[2] CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)
Auteur correspondant: qiaoy@leesu.enpc.fr

antécédent…): le poids relatif de ces facteurs d'impact doit être approfondi. En troisième lieu, la sélection de paramètres de suivi est un point-clé pour analyser la qualité de l'eau. Des nouvelles études sur les variations de la qualité des eaux de ruissellement prenant en compte à la fois le niveau de contamination physico-chimique et le niveau de contamination microbiologique sont en effet nécessaires.
L'objectif de cette recherche sera d'évaluer le phénomène de first-flush pour la récupération de l'eau de pluie en aval de toiture, d'analyser la variation de la qualité de l'eau de pluie et d'identifier les facteurs qui en affectent la performance de first flush déviateur. Une analyse combinée selon des critères physico-chimiques et microbiologiques permettrait de réaliser une étude approfondie.

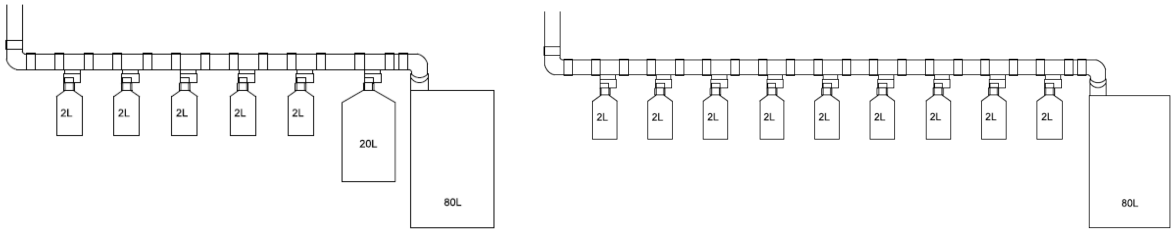
MATERIEL ET METHODE / METHODOLOGIE

- *Site d'étude*

Les dispositifs expérimentaux ont été mis en place sur le toit de deux maisons situées dans la région de l'Ile de France (Vincennes et Romainville). Le climat de cette région est de type océanique qui est assez chauds en été et doux en hiver avec des pluies fréquentes en toute saison. Les précipitations se répartissent de manière très égale durant l'année.
La première maison se situe à Vincennes, qui est une commune dans l'est de Paris. Elle se trouve à 6,7 km du centre de Paris, à 3,3 km du plus grand parc public de la ville (Bois de Vincennes) et à 2,5 km de l'autoroute. Un toit en tuile de 25 ans se situe à côté d'un petit jardin. La surface projetée est de10m^2. Le deuxième site est situé à Romainville, qui est aussi une commune dans l'est de Paris. Localisée en zone urbaine résidentielle à environ 7,2 km du centre et à 1 km de l'autoroute A3. Cette toiture est composée de tuiles mécaniques. Aucune zone industrielle ne se trouve à proximité du site. La surface projetée de ce toit est de 20m^2.
Dans les deux sites, un pluviomètre à auget basculeur (un basculement tous les 0,2mm de pluie) est installé dans le jardin du site d'étude. La quantité de précipitations, l'intensité de la pluie et le temps sec antécédent ont été enregistrés.

- *Conception expérimentale et échantillonnages*

Un dispositif fractionné par succession de récipients a donc été construit et mis en place sur la descente des maisons. Il se compose de trois parties: 1) une série de tuyaux en PVC pour le raccordement; 2) plusieurs bouteilles en verre brun. La première pluie tombe sur le toit et remplit la première bouteille. Une fois qu'une bouteille est pleine, l'écoulement peut circuler directement sur la bouteille suivante; 3) un bidon en PVC de 80 L qui récupère la dernière proportion de ruissellement pour calculer le coefficient de ruissellement. Deux équipements ont successivement été utilisés. Le premier équipement avait 6 bouteilles (Figure 1-a), constitué par cinq bouteilles de 2 L et une bouteille de 20 L. Ensuite, le deuxième équipement avait 9 bouteilles de 2 L (Figure 1-b).
Jusqu'à présent, six évènements pluvieux ont été collectés par le premier équipement et deux événements ont été collectés par le deuxième équipement à Vincennes. Ces deux systèmes peuvent récupérer respectivement 3 mm et 1,8 mm de ruissellement. 5 événements ont été collectés par le deuxième équipement à Romainville et 0,9 mm de ruissellement pourraient être collectés. Au total, il y a 89 échantillons d'eau de pluie sur une période de 10 mois (de mai 2015 à Février 2016).



(a) dispositif 6 échantillons **(b) dispositif 9 échantillons**

Figure 1. Le diagramme schématique de l'équipement

Tous les flacons stériles ont été mis en place moins d'un jour avant chaque événement pluvial. La collecte des fractions est effectuée dans les 24 h dès la première précipitation et les analyses des échantillons ont été effectuées dans les 24 h après la fin de l'événement pluvial.

- *Analyse des échantillons*

Les paramètres suivants ont été analysés pour chaque échantillon: pH, conductivité, turbidité, MES, COD, entérocoques, E.*coli*, B.A.R. à 22 °C et à 37 °C. Le choix de ces paramètres physico-chimiques et microbiologiques repose sur les études dans les autre littératures (Yaziz et *al.* 1989[8]; Lee et *al.* 2012[9]; Vialle et *al*. 2011[10]) et l'ensemble des analyses ont été effectué au laboratoire selon les normes de référence.

- *Analyse des résultats*

Trois types d'analyse statistique ont été réalisés pour caractériser la qualité de l'eau de pluie: 1)les maximums, les minimums, les moyennes et les médianes ont été utilisés pour apprécier la qualité; 2) l'analyse de corrélation pour déterminer les relations entre les paramètres; 3) les profils de la concentration des polluants en fonction de la hauteur de pluie pour décrire la variation du polluant pendant les événements, et les courbes M(V) sans dimension pour comparer la forme des distributions de pollution/volume des différents événements.

La courbe M(V) adimensionnelle, établie par la rapport de la proportion cumulative de masse M(t) et la proportion cumulative de volume V(t), est utilisée fréquemment pour décrire la dynamique des flux polluant en fonction des volumes écoulés. Les équations **(1**) et **(2**) peuvent être utilisées.

$$M(t) \quad \Sigma C(t)Q(t)\Delta t/M \qquad (1)$$

$$V(t) \quad (\Sigma Q(t)\Delta t)/V \qquad (2)$$

Où, C (t) est la concentration du polluant dans le flux(mg/L), Q (t) le débit (L / s), Δt est l'intervalle de temps entre deux mesures (s), M la masse de polluante totale (mg) et V le volume de ruissellement total (V).

RESULTATS ET DISCUSSION

- *Évaluation de la qualité.*

1) Paramètres physico-chimiques

pH. La valeur de pH de l'eau de pluie collectée à Vincennes varie entre 6,7 et 9,5, tandis qu'elle varie entre 6,7 et 9,7 à Romainville. Les valeurs moyennes sont respectivement de 7,6 et 7,9. Les valeurs dans les fractions sont légèrement plus basiques que celles rapportées dans le littérature: 5,8-8(Schriewer et *al*. 2008[4]), 6,4-7,7 (Doyle 2008[11]). Une valeur très basique (pH=10) a également été mesurée dans l'étude de Vialle et *al*. (2011)[10].

Conductivité. Les maximums de conductivité sont 211 µS/cm à Vincennes et 99 µS/cm à Romainville, tandis que les minimums sont respectivement 31 µS/cm et 12 µS/cm. Les valeurs moyennes sont 94 µS/cm et 41 µS/cm. Elles sont supérieures à celles trouvées dans l'étude de Doyle (2008)[11](22 µS/cm en aval d'un toit en tôle métallique et 14 µS/cm en aval d'un toit en tuile).

Turbidité et Matières en suspension (MES). La gamme des valeurs de turbidité varie de 2,6 NTU à 27,1 NTU avec une valeur moyenne de 6,7 NTU à Vincennes et varie de 1,2 NTU à 15,9 NTU avec une valeur moyenne de 4,3 NTU à Romainville. Les gammes de MES sont 2 mg/L à 134 mg/L à Vincennes et 1 mg/L à 123 mg/L. Les moyens de MES sont respectivement de 12 mg/L et 28 mg/L.

Carbone organique dissous (COD). Les valeurs de COD varient de 1,8 mgC/L à 44,4 mgC/L à Vincennes et varie de 9,7 mgC/L à 0,9 mgC/L à Romainville. Les concentrations de Vincennes sont beaucoup plus élevées que Romainville.

2) Paramètre microbiologiques

Entérocoques et Escherichia. coli. (E. coli). La concentration des entérocoques a montré un niveau plus haut à Vincennes avec une valeur maximale de 2900 ufc/100mL et une valeur médiane de 370 ufc/100mL. Par contre, il est non détectable ou seulement présente

rarement à Romainville avec une valeur médiane de 10 ufc/100mL. Cette différence pourrait être expliquée par des facteurs environnementaux (plus de oiseaux parce que le toit de Vincennes est proximité de Bois de Vincennes) ou saisonniers (données de Vincennes correspondant à l'été). *E.*coli. a été détecté dans 35 % des échantillons. Les valeur maximales sont de 260 ufc/100mL à Vincennes et 110 ufc/100 mL à Romainville. Les concentrations des entérocoques sont beaucoup plus élevées que celles des E. coli. Ce fait relève que l'entérocoque est un meilleur indicateur fécal que E. *coli*. pour l'eau de pluie.

Bactéries aérobies revivifiables (B.A.R.) à 22 °C et 37 °C. Les valeurs de B.A.R. à 22 °C varient de 2,7 log ufc/ml à 5,2 log ufc/mL avec une valeur médiane de 4 log ufc/mL à Vincennes et elles varient de 2,6 log ufc/mL à 4,4 log ufc/mL avec une valeur médiane de 1 log ufc/mL à Romainville. Pour B.A.R. à 37 °C, les valeurs varient de 2,3 log ufc/mL à 5,0 log ufc/mL à Vincennes et de 1,5 à 4,2 ufc log/mL à Romainville. Les valeurs médianes sont 2,3 ufc log/mL à Vincennes et 0 log ufc/mL à Romainville. Pour la plupart des résultats, les nombres de B.A.R. à 22 °C sont supérieurs que ceux de B.A.R. à 37 °C. Donc, la température plus basse favorise la croissance de B.A.R., qui est cohérent avec la conclusion de Martin et *al*. (2010)[12].

- *Analyses de corrélation*

Les analyses de corrélation peuvent détecter la relation possible entre les paramètres physico-chimiques et les paramètres microbiologiques. Sauf que pH est corrélé négativement avec turbidité, MES et E.*coli*., les autres paramètres sont corrélés positivement les uns avec les autres.

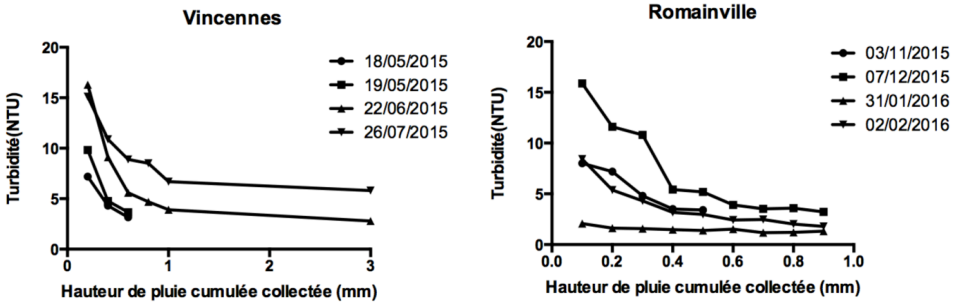
pH n'est pas corrélé significativement avec touts les paramètres microbiologiques, avec ρ = 0,11, -0,09, 0,08 et 0,22 pour entérocoques, E.*coli*, B.A.R. à 22 °C et à 37 °C. Conductivité est fortement corrélée avec COD. Le coefficient de corrélation est égal à 0,86. Pour COD, les corrélations avec les paramètres microbiologiques sont relativement importantes. Les coefficients de corrélation sont de 0,65 pour entérocoques, de 0,60 pour B.A.R. à 22 °C et de 0,63 pour B.A.R. à 37 °C. Parmi toutes ces corrélation, celle entre turbidité et MES apparaît le plus significative (ρ =0,92), indiquant que ces deux paramètres sont très liés.

La corrélation entre E.*coli* et entérocoques n'est pas significative. Le coefficient de corrélation est égal à 0,084. La différence est à souligner entre cette faible valeur et celle retrouvées dans la littérature. Cette corrélation sont très significative dans le étude de Vialle et *al*. (2011) [10] (ρ =0,989). Ce résultat peut être interprété par la faible détection de *E. coli* à Vincennes et à Romainville.

- *Changements et distribution*

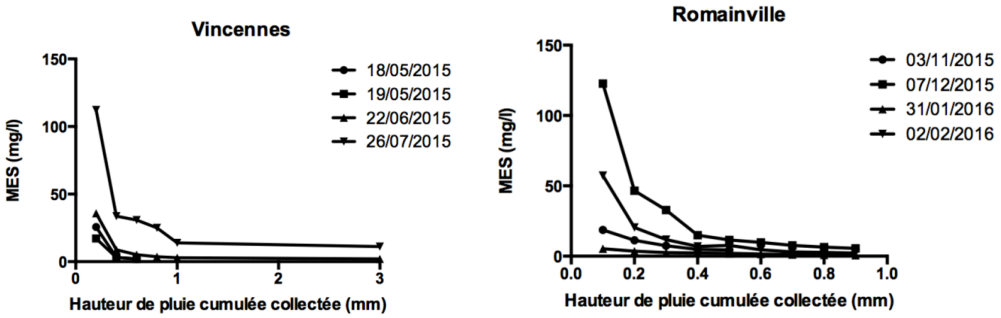
En analysant l'évolution des paramètres pour chacun événement de pluie, pour les paramètres microbiologiques, aucune observation ne pourrait prouver l'existence de l'effet de first-flush. C'est-à-dire qu'aucun résultat ne montre la décroissance régulière. Pour certains des événements de pluie, les valeurs de la dernière fraction sont plus élevées que d'autres.

D'autre part, turbidité et MES montrent les décroissances pour touts les événements de pluie. A Vincennes, les valeurs de turbidité peuvent diminuer de 55% en moyenne en enlevant la première 1mm de l'eau de pluie et diminuer de 62% en enlevant 3 mm (Figure 3-a). En ce qui concerne MES, la première 1mm de pluie peut enlever 83% des matières en suspension et 88% pour 3 mm (Figure 3-a). Dans Romainville, la turbidité diminue de 64% pour la première 0,8mm précipitations (Figure 2-b), tandis que MES diminue de 83% (Figure 3-b).



(a) collectes à Vincennes **(b) collectes à Romainville**

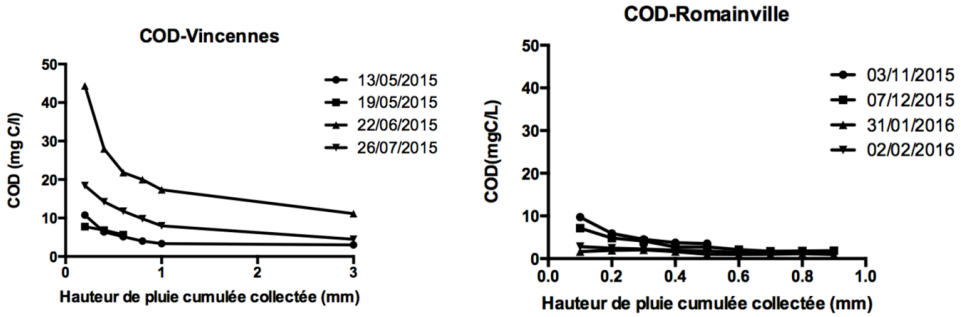
Figure 2. Profil de la Turbidité en fonction de la hauteur de pluie



(a) collectes à Vincennes **(b) collectes à Romainville**

Figure 3. Profil de la MES en fonction de la hauteur de pluie

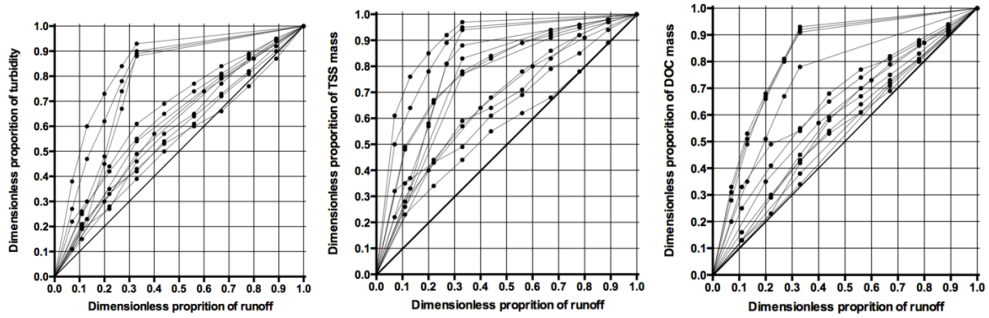
Les variations de COD montrent également une diminution à la fois à Vincennes et à Romainville (**Figure 4**). Donc la concentration de COD peut diminuer par élever la première proportion de l'eau de pluie.



(a) collectes à Vincennes **(b) collectes à Romainville**

Figure 4. Profil du paramètre COD en fonction de la hauteur de pluie

Afin de caractériser qualitativement la décroissance de polluants pour tous les événements pluviaux, les M (V) courbes adimensionnel pour la turbidité, la MES et le COD ont été constituées. Car les valeurs de des trois paramètres diminuent avec la hauteur de pluie collectée cumulée dans toutes les collectes réalisées, suggérant qu'elles pourraient être des paramètres pertinents pour juger d'un effet de first flush. Equivalence est indiquée par la première bissectrice, ce qui signifie que la concentration de polluant reste constant tout au long du processus de l'évènement pluvial.



(a) Profil de turbidité **(b) Profil de MES** **(c) Profil de COD**

Figure 5. Courbes de la proportion cumulative de mass vs. Proportion cumulative de volume du ruissellement pour 13 évènements de pluie de mai 2015 à février 2016

Figure 5 présente que toutes les courbes sont au-dessus de la première bissectrice, ce qui signifie que la première partie du ruissellement contient la majorité de polluant. Par exemple, selon la courbe de MES (**Figure 5**-b), le 30% de volume de ruissellement contenant 80% de MES. Ce résultat peut prouver l'existence de first-flush phénomène dans le système de récupération de l'eau de ruissellement de toit.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

13 évènements pluviaux ont été collectés et 89 échantillons ont été analysés pendant 10 mois (de mai 2015 à février 2016). Cet article a présenté les résultats de la qualité de l'eau de pluie en l'aval de toiture en analysant les paramètres physico-chimiques et microbiologiques. Les résultats peuvent être résumés dans les trois points suivants:

1. Turbidité, MES et COD montrent une décroissance pour touts les événements de pluie. Les évolutions de ces paramètres montre clairement qu'un déviateur de first-flush peut améliorer la qualité de l'eau de pluie. Nous pourrions utiliser ces paramètres pour définir l'effet de first-flush et établir des modèles fiables pour caractériser de ruissellement de la toiture. Les effets de l'intensité des précipitations et de la période antérieure de jours secs ont besoin d'une étude plus approfondie.
2. Aucun paramètre microbiologique ne montre pas le phénomène de first-flush. En plus, une tendance de croissance a été constatée pour quelques indicateurs microbiologiques. Certaines valeurs sont plus élevées dans les dernières fractions. Cette conclusion a été cohérente aux autres études que la contamination microbiologique rend la qualité mauvaise dans le système de récupération et utilisation de l'eau de pluie.
3. Les valeurs de résultats sont différentes dans les deux sites expérimentaux, ce qui signifie que, pour le système de récupération et utilisation de l'eau de pluie, l'environnement de la toiture ou la saison sont des facteurs d'impact.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(2) Abbott, S., B. Caughley, and A. Ward, 2007, An Evaluation of Measures for Improving the Quality of Roof-Collected Rainwater. Rainwater and Urban Design.

(7) Bertrand-Krajewski, Jean-luc, Chebbbo Ghassan, and Agnes Saget, 1998, Distribution of Pollutant Mass vs Volume in Stormwater Discharges and the First Flush Phenomenon. Water Research 32(8): 2341–2356.

(11) Doyle, Kelly C, 2008, Sizing the First Flush and Its Effect on the Storage-Reliability-Yield Behavior of Rainwater Harvesting in Rwanda.

(3) Lee, J. H., K. W. Bang, L. H. Ketchum Jr., J. S. Choe, and M. J. Yu, 2002, First Flush Analysis of Urban Storm Runoff. Science of The Total Environment 293(1–3): 163–175.

(9) Lee, Ju Young, Gippeum Bak, and Mooyoung Han, 2012, Quality of Roof-Harvested Rainwater – Comparison of Different Roofing Materials. Environmental Pollution 162: 422–429.

(12) Martin, A.R., P.J. Coombes, T.L. Harrison, and R.H. Dunstan, 2010, Changes in Abundance of Heterotrophic and Coliform Bacteria Resident in Stored Water Bodies in Relation to Incoming Bacterial Loads Following Rain Events. Journal of Environmental Monitoring (12): 255–260.

(1) Martinson, D.B., and T.H. Thomas, 2009, Quantifying the First-Flush Phenomenon: Effects of First-Flush on Water Yield and Quality. 14th International Rainwater Catchment Systems Conference, August 2009, Kuala Lumpur.

(6) Saget, Agnèes, Ghassan Chebbo, and Jean-Luc Bertrand-Krajewski, 1996, The First Flush in Sewer Systems. Water Science and Technology 33(9). Solids in Sewers Selected Proceedings of the IAWQ International Specialized Conference on Sewer Solids - Characteristics, Movement, Effects and Control: 101–108.

(4) Schriewer, A., H. Horn, and B. Helmreich, 2008, Time Focused Measurements of Roof Runoff Quality. Corrosion Science 50(2): 384–391.

(10) Vialle, C., C. Sablayrolles, M. Lovera, et al., 2011, Monitoring of Water Quality from Roof Runoff: Interpretation Using Multivariate Analysis. Water Research 45(12): 3765–3775.

(8) Yaziz, M. I., H. Gunting, N. Sapari, and A. W. Ghazali, 1989, Variations in Rainwater Quality from Roof Catchments. Water Research 23(6): 761–765.

(5) Zobrist, J., S. R. Müller, A. Ammann, et al., 2000, Quality of Roof Runoff for Groundwater Infiltration. Water Research 34(5): 1455–1462.