



OPUR : Observatoire des Polluants Urbains en Île de France

Thème de recherche n°8

Action de recherche n°8.4 – Caractérisation quantitative et qualitative de dispositifs de « first flush » dans les systèmes de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie en aval de toiture

**EFFET DE « FIRST FLUSH » DE L'EAU DE PLUIE
RECUPEREE A L'AVAL DE TOITURE**

Rapport d'étude

*Qiao Yujie (LEESU), Bernard de Gouvello (LEESU/CSTB), Bruno Tassin (LEESU)
Octobre 2016*



Effet de first-flush de l'eau de pluie récupérée à l'aval de toiture

Qiao Yujie¹, de Gouvello Bernard^{1,2}, Tassin Bruno¹

¹LEESU, UMR MA 102, École des Ponts, UPEC, AgroParisTech, Paris, France

²CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)

84, avenue Jean Jaurès – Champ sur Marne

77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

Auteur correspondant: yujie.qiao@enpc.fr

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 fractionnée 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 à 22 ° C et à 36 ° 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

Actuellement, la pénurie d'eau est un problème important pour les humains. Bien que de nombreuses solutions aient été proposées, il y a un grand intérêt de récupérer l'eau de pluie en aval d'une toiture. Ce système consiste à collecter la pluie du toit par un système d'acheminement et un réservoir. Les eaux de toit sont considérées comme une source alternative d'approvisionnement de l'eau dans le cadre d'une gestion durable des ressources. La valeur de cette pratique a été clairement reconnue (Hatibu et *al.* 2006; Sturm et *al.* 2009).

La qualité des eaux de toiture est influencée par 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 antécédent...). La pollution de l'eau de pluie peut être provoquée par des émissions constituant dans l'atmosphère, la combustion de fossiles dans les véhicules et les activités humaines. En outre, d'autres constituants déposés sur la toiture peuvent affecter la qualité de l'eau de pluie collectée, comme des solides inertes, des poussières et des dépôts de matières d'oiseaux. Ils peuvent s'accumuler sur la surface du toit pendant une période de temps sec et sont érodés et lessivés au début de chaque pluie. Donc, le premier volume de ruissellement pendant l'événement pluvial qui est censé contenir le plus grande partie des éléments polluants est appelé « first-flush ». 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; Abbott et *al.* 2007; Lee et *al.* 2002; Schriewer et *al.* 2008; Zobrist et *al.* 2000). Bien que cette solution soit intéressante, il est nécessaire de mesurer la qualité de l'eau de pluie collectée pour éviter le risque potentiel des contaminations physico-chimiques et microbiologiques.

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 afin de garantir une bonne qualité d'eau récupérée. 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.

L'objectif de cette recherche sera de comparer la qualité de l'eau de pluie récupérée avec les normes françaises, 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 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

- *Sites d'étude*

Les dispositifs expérimentaux ont été mis en place sur les toits de deux maisons situées dans la région de l'Ile de France (Vincennes et Romainville), présentés dans la **Figure 1**. Le climat de cette région est de type océanique: assez chaud 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, commune de 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 de 10m². Le deuxième site est situé à Romainville, autre commune de 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 aussi de tuiles mécaniques. Aucune zone industrielle ne se trouve à proximité du site. La surface projetée de ce toit est de 20m².

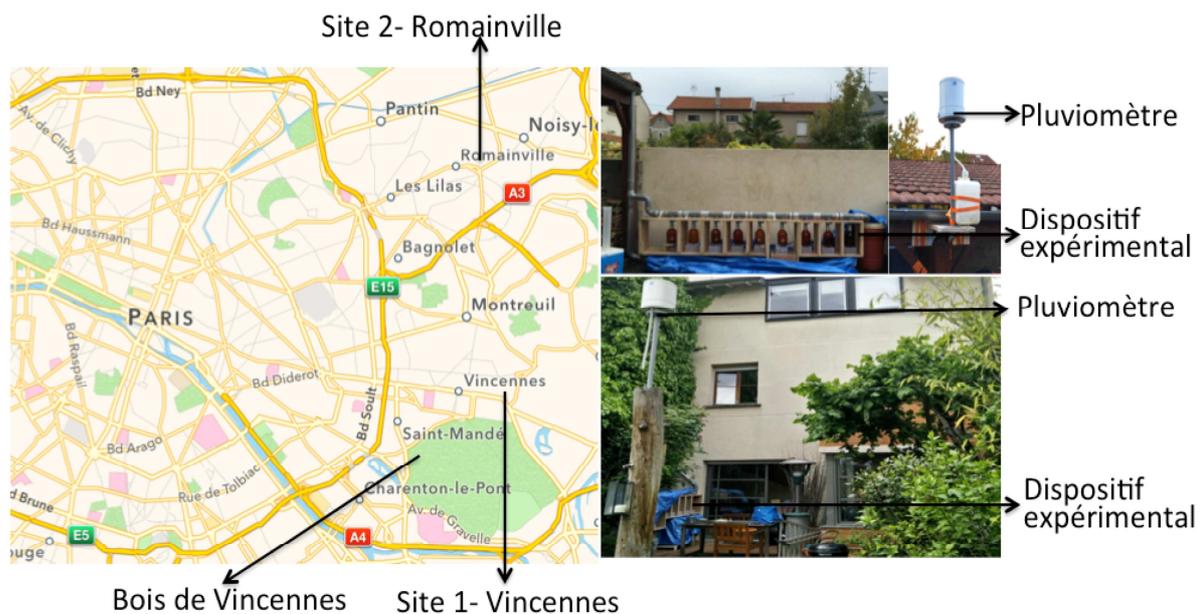


Figure 1. Localisation des sites expérimentaux

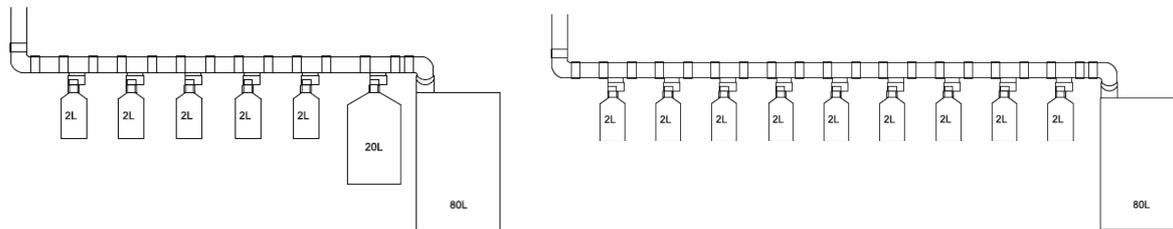
Dans les deux sites, un pluviomètre à auget basculeur (un basculement tous les 0.2mm de pluie) est installé dans le jardin du site d'étude. La quantité de précipitations, l'intensité de la pluie et le temps sec antécédent ont été enregistrés.

- *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 SCHOTT DURAN qui peuvent être stérilisées facilement en autoclave. Une contre-pente de 5° a

été appliquée à cette partie pour empêcher l'eau de pénétrer dans les bouteilles. 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 2-a), constitué par cinq bouteilles de 2L et une bouteille de 20L. Ensuite, ce dispositif a été optimisé. Ensuite, le deuxième équipement avait 9 bouteilles de 2 L (Figure 2-b).

Jusqu'à présent, six événements pluvieux ont été collectés par le premier équipement et deux événements ont collectés par le deuxième équipement à Vincennes. Pour 10 m² de surface projetée, les hauteurs de pluie acceptables des deux systèmes sont respectivement 3 mm et 1.8 mm de ruissellement. Et ensuite, 5 événements ont été collectés par le deuxième équipement à Romainville et 0.9mm de ruissellement pourraient être collectés (la surface projetée est égale à 20 m²). Au total, il y a 89 échantillons d'eau de pluie sur une période de 10 mois. (Du 13 mai 2015 au 21 septembre 2015 à Vincennes et du 03 novembre 2015 au 02 février 2016 à Romainville)



(a) dispositif 6 échantillons

(b) dispositif 9 échantillons

Figure 2. 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 suivants la première précipitation et les analyses des échantillons ont été effectuées dans les 24 h après le prélèvement.

- *Analyse des échantillons*

Les paramètres, les méthodes d'analyse et les appareils ont résumées dans le Tableau 1. Le choix de ces paramètres physico-chimiques et microbiologiques s'est basé sur la littérature scientifique (Yaziz *et al.* 1989; Lee *et al.* 2012 ; Vialle *et al.* 2011) et l'ensemble des analyses a été effectué au laboratoire selon les normes de référence.

- *Analyse des résultats*

Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant des tests non paramétriques, parce que la majorité des données n'a pas respecté l'hypothèse de normalité. Trois types d'analyse ont été réalisés pour caractériser la qualité de l'eau de pluie: 1) le test de Mann-Whitney U a été utilisé pour déterminer les différences de concentrations entre les deux sites et évaluer les comparaisons, les statistiques descriptives pour l'ensemble de données ont été utilisés pour apprécier la qualité et comparer avec les limites de qualité des eaux destinée à consommation humaine; 2) le coefficient de corrélation de Spearman a été utilisé pour déterminer l'association entre les paramètres physico-chimiques et microbiologiques; 3) les profils de la concentration des polluants en fonction de la hauteur de pluie pour décrire les variations du polluant pendant les événements.

Tableau 1. Résumé des méthodes d'analyse

Paramètre	Méthode d'analyse et appareil de mesure	Norme de référence
Paramètre physico-chimique		
pH	Sonde (Multi 340iWT®)	NF T 90-008
Conductivité (µS/ cm)	Sonde (Multi 340iWT®)	NF EN 27888
Turbidité (NTU)	Turbidimètre (2100P Turbidimeter HACH®)	NF EN ISO 7027
MES (mg/ L)	Filtration GF/F (Verrerie Sartorius® et filtre)	NF EN 872
COD (mgC/ L)	COT-mètre (TOC-Vcsn SHIMADZU®)	NF EN 1484
Paramètres microbiologique		
Entérocoques (ufc/100mL)	Microplate MUG/EC BIORAD®	NF EN ISO 7899-1
<i>E. coli</i> (ufc/100mL)	Microplate MUG/SF BIOerRAD®	NF EN ISO 9308-3
B.A.R. à 22°C (log ufc/mL)	Culture sur gélose PCA	NF EN ISO-6222
B.A.R. à 37°C (log ufc/mL)	Culture sur gélose PCA	NF EN ISO-6222

RESULTATS ET DISCUSSION

- *Les différences de qualité de l'eau de pluie récupérée dans les deux sites*

Le test de Mann-Whitney U a indiqué que les différences de la qualité d'eau de pluie collectée entre les deux sites sont significatives pour tous les paramètres ($p < 0,05$) (

Tableau 2). Il est proposé que, pour la qualité de l'eau de pluie récupérée, la condition locale de l'emplacement

	pH	Conductivité	Turbidité	MES	COD	Entérocoques	<i>E. coli</i>	B.A.R.
Valeur de p	0.0099	< 0.0001	< 0.0001	0.0003	< 0.0001	< 0.0001	0.03	< 0.00

du système soit un facteur plus important par rapport au matériau de construction de toiture. L'impact à *E.coli* est relativement faible par rapport aux les autres paramètres ($p=0.03$). Ce fait peut être interprété comme *E.coli* est très faible détecté à Vincennes et à Romainville.

- *Statistiques descriptives des paramètres.*

On a utilisé les statistiques des paramètres pour comparer les valeurs mesurées avec les limites de qualité des eaux brutes destinée à la consommation humaine (arrêté du 11 janvier 2007).

Tableau 3 résume les maximums, les minimums, les moyennes, les médianes et les écart-types des tous les paramètres à Vincennes et à Romainville.

1) Paramètres physico-chimiques

Les valeurs moyennes de température ont varié selon la saison. Les valeurs de pH ne montrent pas de variation manifeste. Les écart-types sont respectivement 0,8 et 0,7 à Vincennes et à Romainville. Les valeurs de pH à Vincennes varient entre 6,7 et 9,5, tandis qu'elles varient entre 6,7 et 9,7 à Romainville. Les valeurs moyennes sont respectivement de 7,6 et 7,9 et il n'y a pas de différence apparente entre les deux sites. Bien que les valeurs moyennes du pH soient dans le cadre des limites de qualité (6,5-9,5), certaines valeurs dépassent les limites (La valeur maximum à Romainville est égale à 9,7). Les valeurs de pH sont légèrement plus basiques que celles

rapportées dans le littérature: 5,8-8(Schriewer et al. 20084), 6,4-7,7 (Doyle 2008). Toutefois, une valeur très basique (pH=10) a également été mesurée dans l'étude de Vialle et al. (2011).

Les maximums de conductivité sont 211 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Vincennes et 99 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Romainville, tandis que les minimums sont respectivement 31 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 12 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les valeurs moyennes sont 94 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 41 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Toutes les valeurs de conductivité sont inférieures que celles représentées dans les limites de qualité et ces faibles valeurs traduit la faible minéralisation des eaux de pluie. Et elles sont supérieures à celles trouvées dans l'étude de Doyle (2008)(22 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aval d'un toit en tôle métallique et 14 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aval d'un toit en tuile).

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. Toutes les valeurs à Vincennes sont supérieures à celles mentionnées dans les limites de qualité, mais il existe des valeurs qui sont inférieures 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 moyennes de MES sont respectivement de 12 mg/L et 28 mg/L. 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 valeurs mesurées à Vincennes sont beaucoup plus élevées que celles mesurées à Romainville.

1) 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, ce paramètre est non détectable ou seulement présent rarement à Romainville avec une valeur médiane de 10 ufc/100mL. Cette différence pourrait être expliquée par des facteurs environnementaux (plus d'oiseaux parce que le toit de Vincennes est en proximité de Bois de Vincennes) ou saisonniers (données de Vincennes correspondant à l'été). *E.coli.* a été détecté dans 35 % des échantillons. Les valeurs 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 plus sensible 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., ce qui est cohérent avec la conclusion de Martin et al. (2010)

Les paramètres microbiologiques n'ont pas été précisés dans les limites de qualité françaises. On peut comparer les valeurs obtenues avec les valeurs dans la directive européenne 98/83/CE (3 novembre 1998). Cette directive exige une eau potable pour les « usages domestiques ». On peut observer que la qualité microbiologique de l'eau de pluie collectée ne correspond pas à la directive d'eau potable européenne. C'est-à-dire que le système de first-flush ne peut pas enlever les contaminations microbiennes. Les systèmes de désinfection doivent être mis en œuvre pour attendre la qualité d'eau potable.

2) Les relations entre les paramètres

Les corrélations de Spearman ont été appliquées aux toutes les données physico-chimiques et microbiologiques. 89 échantillons et 848 valeurs sont utilisées pour établir ces corrélations.

Mis à part le pH, qui est corrélé négativement avec turbidité, MES et *E.coli.*, les autres paramètres sont corrélés positivement les uns avec les autres. Le pH n'est pas corrélé significativement avec tous les paramètres microbiologiques, avec $\rho = 0,11, -0,09, 0,08$ et $0,22$ pour entérocoques, *E.coli*, B.A.R. à 22 °C et à 37 °C. Le 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 corrélations, celle entre turbidité et MES apparaît la plus significative ($\rho = 0,92$), 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) ($\rho = 0,989$). Ce résultat peut être interprété par la faible détection de *E. coli* à Vincennes et à Romainville.

Tableau 2. Les résultats de test de Mann-Whitney U pour les deux sites

	pH	Conductivité	Turbidité	MES	COD	Entérocoques	<i>E. coli</i>	B.A.R. à 22°C	B.A.R. à 37°C
Valeur de <i>p</i>	0.0099	< 0.0001	< 0.0001	0.0003	< 0.0001	< 0.0001	0.03	< 0.0001	< 0.0001

Tableau 3. Les statistiques descriptives pour l'ensemble de données.

		pH	Conductivité (µS /cm)	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	COD (mg C/l)	Entérocoques (ufc/100ml)	<i>E. coli</i> (ufc/100ml)	B.A.R. à 22°C (log ufc/ml)	B.A.R. à 36°C (log ufc/ml)
Vincennes	Maximum	9,5	211	27,1	134	44,4	2900	260	5,2	5,0
	Minimum	6,8	31	2,6	2	1,8	32	0	2,7	2,3
	Médiane	7,7	105	6,7	14	6,2	370	0	4,0	3,9
	Moyenne	7,9	94	8,7	28	9,2				
	Ecart-types	0,8	39	6,0	34	8,1	669	63	0,63	0,68
Romainville	Maximum	9,7	99	15,9	123	9,7	1900	110	4,4	4,2
	Minimum	6,7	12	1,2	1	0,9	0	0	1,0	0,0
	Médiane	7,4	39	3,5	6	1,9	10	0	2,6	1,5
	Moyenne	7,6	41	4,3	12	2,6				
	Ecart-types	0,7	20	3,1	21	1,9	365	19	0,78	1,12
Limites de qualité de l'eau à la consommation humaine		6,5 9,5	180-1000	2	-	2 mg C/L	-	0/100mL 0/250mL ^a	- 100/mL ^a	- 20/mL ^a

Arrêté du 11 janvier 2007 (les limites de qualité des eaux brutes destinée à la consommation humaine); -: n'été pas mentionné. ^a: Directive européenne 98/83/CE.

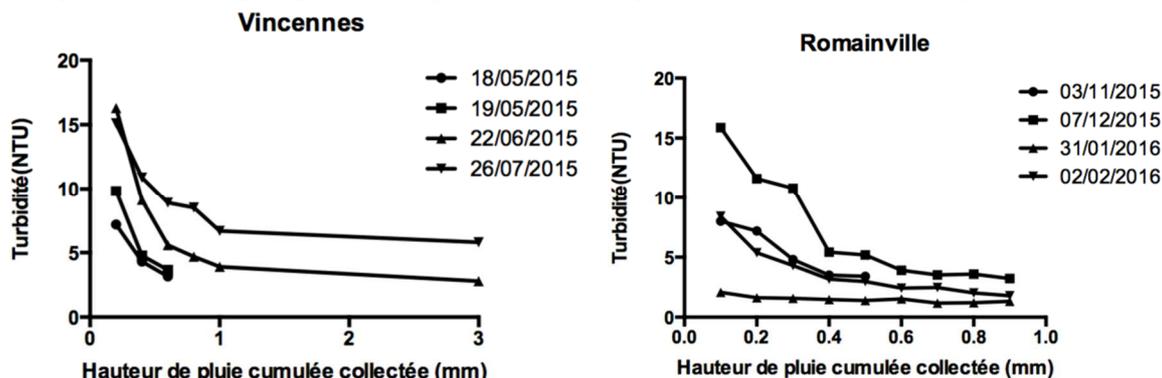
Tableau 4. Corrélation entre les différents paramètres mesurés dans les fractions collectées

	pH	Conductivité	Turbidité	MES	COD	Entérocoques	<i>E. coli</i>	B.A.R. à 22°C
Conductivité	0.412							
Turbidité	-0.240	0.503						
MES	-0.311	0.352	0.919					
COD	0.207	0.861	0.632	0.458				
Entérocoques	0.113	0.551	0.438	0.250	0.654			
<i>E. coli</i>	-0.091	-0.020	0.267	0.249	0.055	0.084		
B.A.R. à 22°C	0.081	0.407	0.552	0.479	0.597	0.519	0.235	
B.A.R. à 37°C	0.218	0.474	0.526	0.448	0.634	0.636	0.268	0.850

- *Changements et distribution*

Pour raconter les variations des paramètres de chacun événement de pluie, on a créé les courbes où les valeurs des paramètres varient en fonction de la hauteur de pluie cumulée. Pour les paramètres microbiologiques, les variations sont irrégulières. Pour certains des événements de pluie, les valeurs de la dernière fraction sont plus élevées que d'autres. Aucune observation ne pourrait prouver l'existence de l'effet de first-flush.

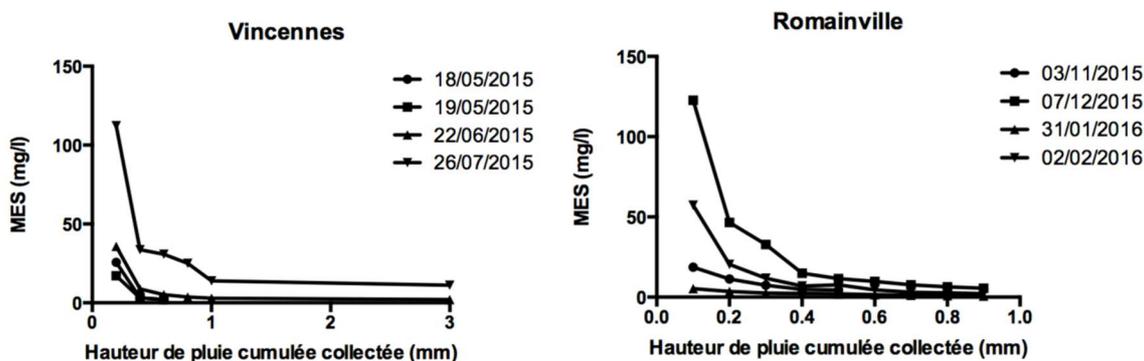
D'autre part, turbidité et MES montrent les décroissances pour tous les événements de pluie. A Vincennes, les valeurs de turbidité peuvent diminuer de 55% en moyenne en enlevant la première 1mm de l'eau de pluie et diminuer de 62% en enlevant 3 mm (Figure 3-a). En ce qui concerne MES, la première 1mm de pluie peut enlever 83% des matières en suspension et 88% pour 3 mm (Figure 4-a). Dans Romainville, la turbidité diminue de 64% pour la première 0.8mm précipitations (Figure 3-b), tandis que MES diminue de 83% (Figure 4-b).



(a) collectes à Vincennes

(b) collectes à Romainville

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



(a) collectes à Vincennes

(b) collectes à Romainville

Figure 4. Profil de 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 5). Donc la concentration de COD peut diminuer par élever la première proportion de l'eau de pluie.

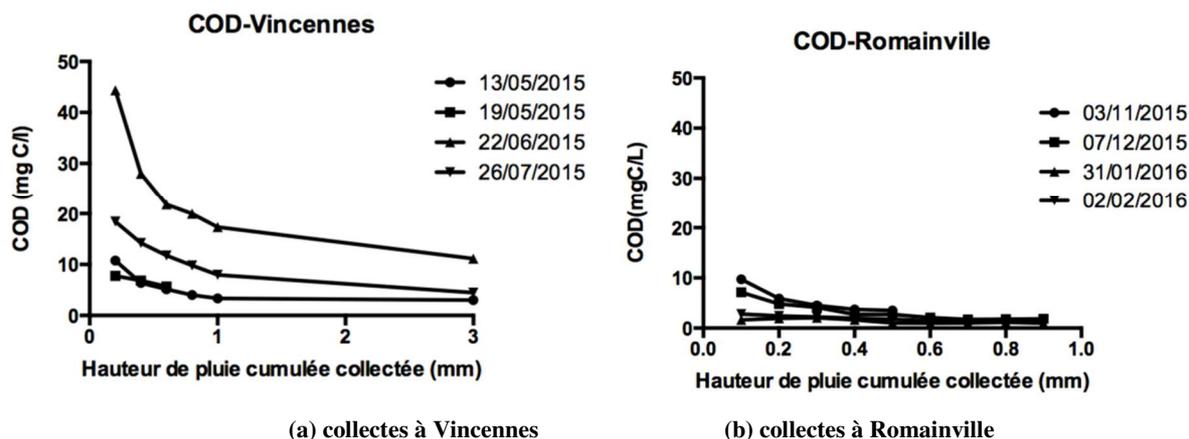


Figure 5. Profil de COD en fonction de la hauteur de pluie

En conclusion, pour les paramètres physico-chimiques, il est évident qu'on peut améliorer la qualité de l'eau collectée en utilisant le déviateur de first-flush. Le volume de first-flush est important dans la qualité de l'eau. En outre, les diminutions des valeurs de turbidité, MES et COD sont substantielles, ce qui indique que la turbidité, MES et COD sont créés à partir des matières accumulées sur le toit que de l'eau de pluie.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Pendant 10 mois (de mai 2015 à février 2016), 89 échantillons provenant de 13 événements pluviaux ont été collectés et analysés. 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. Le test de Mann-Whitney U a indiqué que les différences entre les deux sites sont significatives pour tous les paramètres mesurés. Pour un système de récupération de l'eau de pluie, les matériaux, l'état de toit et la condition locale du système sont les facteurs importants;
2. Turbidité, MES et COD montrent une décroissance pour tous 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 pour les paramètres physico-chimiques. Nous pourrions utiliser ces paramètres pour définir l'effet de first-flush et établir des modèles fiables pour caractériser de ruissellement de la toiture dans l'étude après. Les effets de l'intensité des précipitations et de la période antérieure de jours secs ont besoin d'une étude plus approfondie;
3. Aucun paramètre microbiologique ne montre pas le phénomène de first-flush. 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.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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

Doyle, K. C. (2008). *Sizing the First Flush and Its Effect on the Storage-Reliability-Yield Behavior of Rainwater Harvesting in Rwanda*. MIT, 151p

Hatibu, N., Mutabazi, K., Senkondo, E. M., Msangi, A. S. K. (2006). Economics of Rainwater Harvesting for Crop Enterprises in Semi-Arid Areas of East Africa. *Agricultural Water Management* 80(1-3). *Special Issue on Water Scarcity: Challenges and Opportunities for Crop Science* Selected Plenary and Symposia Papers from the theme "Crop Science Addressing Water Scarcity" presented at the Fourth International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, 26 September to 1 October 2004: 74-86.

Le conseil de l'union européenne. *Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine*. Journal officiel des communautés européennes, le 3 novembre 1998. 23p.

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

Lee, J. Y., Bak, G., Han, M. (2012). Quality of Roof-Harvested Rainwater – Comparison of Different Roofing Materials. *Environmental Pollution* 162: 422–429.

Martin, A.R., Coombes, P.J., Harrison, T.L., Dunstan, R.H. (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.

Martinson, D.B., Thomas, T.H. (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.

Ministère de la santé et des solidarités. *Arrêté du 11 janvier 2007 relatif au limites et références de qualité de eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées au articles R.1321-2,R.1321-3, R.1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique*. Journal officiel de la république française, le 11 janvier 2007.

AFNOR (1999). *Qualité de l'eau-Dénombrement des micro-organismes revivifiables-comptage des colonies par ensemencement dans un milieu de culture nutritif gélosé*. NF EN ISO-6222. Paris: AFNOR,

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

Sturm, M., Zimmermann, M., Schütz, K., Urban, W., Hartung, H. (2009). Rainwater Harvesting as an Alternative Water Resource in Rural Sites in Central Northern Namibia. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 34(13–16). *9th WaterNet/WARFSA/GWP-SA*. Symposium: Water and Sustainable Development for Improved Livelihoods: 776–785.

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

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

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