

Estimation de l'évapotranspiration des jardins de pluie – expérimentation sur lysimètres

Monitoring rain garden evapotranspiration - Lysimeter experimentation

Alexandre NEZEYS (1), Brigitte DURAND (1), Coline BOUZIQUE (2), Jessica KOELMANN (2), Matthis ROULAND (2), Baptiste NOUVET (2)

(1) Ville de Paris – Direction de la Propreté et de l'Eau – Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement, 27 rue du Commandeur – 75014 Paris
(brigitte.durand1@paris.fr)

(2) École du Breuil – Licence pro EcoPaysage - Route de La Ferme - 75012 Paris

RÉSUMÉ

L'évapotranspiration des jardins de pluie est un phénomène assez mal connu, souvent considérée dans les projets d'implantation, comme négligeable par rapport aux volumes infiltrés. Des études récentes tendent à prouver le contraire, au moins pour les jardins bénéficiant d'un ratio de concentration assez faible. Le Service Technique de l'eau et de l'assainissement de la Ville de Paris a adopté un programme de recherche visant à estimer l'évapotranspiration des jardins de pluie dont le premier volet repose sur des mesures sur lysimètres. Les résultats sont assez encourageants, et une réflexion a été entamée pour qu'à terme, il soit possible de modéliser précisément l'évapotranspiration d'un jardin de pluie pour fournir des prescriptions d'aide à la conception. Il sera ainsi envisageable d'implanter des jardins de pluie là où l'infiltration, même faiblement concentrée, peut poser problème.

ABSTRACT

Evapotranspiration of rain gardens is a rather unknown phenomenon. In the implementation projects of such devices, it is often considered that evapotranspired volumes are negligible compared to infiltrated volumes. Recent studies tend to prove the opposite, at least for gardens with a relatively low concentration ratio. The Water and Sanitation Department of the City of Paris is running a research program to estimate precisely the evapotranspiration of rain gardens and the first part of it consists of a measurement on lysimeters. The results are quite encouraging, and a modeling process has been started. Soon it will be possible to have an accurate modeling of evapotranspiration in rain gardens, and to give prescriptions for design. So it will be considered implanting rain gardens where even low concentrated infiltration results a problem.

MOTS CLÉS

Jardin de pluie, évapotranspiration, lysimètre, ruissellement

Figure 1 – Photo panoramique des 8 lysimètres et de la station météo.



1 CONTEXTE

Le passage progressif d'une gestion des eaux pluviales par le « tout tuyau » à une gestion durable par des techniques alternatives recourt notamment aux « jardins de pluie », définis comme espaces végétalisés, en décaissé, vers lesquels les eaux de ruissellement de surfaces plus ou moins imperméables sont orientées. Cette technique de gestion des eaux de ruissellement est considérée comme la plus efficace et celle qui apporte le plus de services écosystémiques (Grand Lyon 2017). Cependant, les acteurs du renouvellement urbain s'interrogent sur l'effet d'une concentration des eaux de ruissellement et de leur infiltration, qui pourrait compromettre la stabilité du sous-sol, notamment dans le cas d'une géologie contrainte (présence de gypse ou de vides karstiques) ou d'infrastructures (réseaux, métros, anciennes carrières etc.). Les services opérationnels aujourd'hui considèrent plutôt l'évapotranspiration dans un jardin de pluie comme négligeable par rapport aux quantités d'eau qui s'infiltrent. Si cette position a du sens pour des ratios de concentration¹ élevés il peut être utile pour des ratios faibles, d'estimer la fraction évapotranspirée et vérifier si elle est réellement négligeable.

2 ÉTAT DES CONNAISSANCES

Selon des études menées sur le milieu forestier (FISRWG-EPA 1998, Ghislain de Marsily 1995 et Moreteau 2012), entre 40% et 95% des eaux de pluie qui y tombent partent en évapotranspiration, le reste ruisselle, est stocké dans le substrat ou s'infiltré pour moins de 25% selon FISRWG-EPA 1998. Les études sur l'évapotranspiration des jardins de pluie sont plus rares. À ce jour, seules deux d'entre elles sont référencées :

L'étude Hess 2014² consistait à mesurer l'évapotranspiration pendant un an, sur 3 lysimètres recueillant des pluies réelles et simulées. Il a été constaté des volumes évapotranspirés journaliers de 3 à 6 fois supérieurs à ce que prévoit la théorie (formule de Penman-Monteith). L'étude Hess 2017 reprend le même dispositif expérimental sur 3 années supplémentaires, pour tenter d'en modéliser le comportement notamment par la formule de Hargreaves donnant de meilleurs résultats³.

Le Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement de la Ville de Paris (STEA) a entrepris il y a trois ans une démarche scientifique d'estimation de l'évaporation des jardins de pluie. La première étape de ce programme de recherche consiste à estimer l'évapotranspiration à l'aide de lysimètres simulant des jardins de pluie.

3 DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les lysimètres installés au Museum National d'Histoire Naturelle à Paris 5^{ème}, de forme cubique, ont un volume d'1 m³. Le fond est constitué d'une réserve en NidaplastTM de 20 cm d'épaisseur pouvant servir de réserve ou de drainage selon la position du trop-plein. Les 80 cm de hauteur restant sont remplis d'une terre végétale limono-argileuse représentative des espaces verts récents à Paris. Les lysimètres sont hors-sol. Pour limiter les échanges thermiques avec l'atmosphère, et ainsi se rapprocher d'une situation d'un jardin en sol, les parois sont isolées par 10 cm de polystyrène expansé. Chaque lysimètre est équipé d'un impluvium tronc-pyramidal d'une surface projetée sur le plan horizontal de 3m², permettant de simuler le comportement d'un jardin de pluie avec un ratio $R = S_{\text{impluvium}} / S_{\text{jardin}}$ de 4.

Pour les 3 premières années, les configurations sont les suivantes (**figure 1**) :

- 2 lysimètres en configuration de référence (L1 et L6), planté d'une strate herbacée constituée de 6 *Carex sylvatica* et 6 *Deschampsia cespitosa* et munis d'un trop-plein à la réserve (TPR).

¹ Pour un jardin de pluie donné, on définit le ratio de concentration $R = \frac{\text{Surface impluvium total}}{\text{Surface jardin}} = \frac{\text{Surface impluvium actif} + \text{Surface jardin}}{\text{Surface jardin}}$

² Amanda Hess (2014) Monitoring of evapotranspiration and infiltration in rain garden design - (2017) Rain garden evapotranspiration accounting

³ $ET = K_c \times SMEF \times ET_0$ où SMEF (Soil Moisture Extraction Function) est un coefficient permettant de prendre en compte la disponibilité d'eau dans le substrat. L'étude donne 5 formules pour ce coefficient qui ne dépasse jamais 1
 $SMEF = \text{humidité relative du sol (vol/vol)} / \text{capacité relative de stockage du sol (vol/vol)}$

- 2 lysimètres en configuration de base avec comme variante l'adoption d'une strate arbustive constituée de 3 plants de *Cotoneaster lacteus* par lysimètre en lieu et place de la strate herbacée, (L2 et L7).
- 2 lysimètres en configuration de base avec comme variante un drainage (drain), (L3 et L4).
- 1 lysimètre "témoin" dans lequel la végétation se développe de manière spontanée (L5).
- 1 lysimètre "témoin" non végétalisé et maintenu comme tel (L8).

Chaque lysimètre est doté de 4 pesons permettant d'en mesurer la masse en continu et d'un débitmètre permettant d'estimer les volumes d'eau sortant. Les lysimètres TPR sont équipés en supplément d'un piézomètre permettant de mesurer la quantité d'eau stockée dans la réserve.

Le site est équipé d'une station météo complète. Toutes les mesures sont faites sur un pas de temps de 2 minutes. La surface végétalisée du lysimètre étant d'1 m² il est possible d'assimiler lame, masse et volumes d'eau comme tel : 1 millimètre reçu dans le lysimètre = ¼ mm de pluie = +1 litre = +1 kg. Ce dispositif permet de faire, pour chaque lysimètre des bilans hydrologiques à l'échelle de l'évènement pluvial (**figure 2**) ou à l'échelle de l'année (**figure 3**). L'évapotranspiration est calculée selon la formule :

$$EVT_m = \text{Pluviométrie} \times 4 - S - V_r - V_s$$

où les différentes variables sont calculées de la manière suivante :

S = Sortie par le trop-plein = Cumul du volume mesuré par le débitmètre de sortie

V_r = Volume d'eau stocké dans la réserve = Min (hauteur piézométrique ; 200 mm)

V_s = Volume d'eau dans le substrat = V₀⁴ + Σpesons - Volume d'eau stocké dans la réserve

À ce jour, l'étude a couvert deux années pleines du 01/12/2016 au 30/11/2018. L'entretien horticole des lysimètres, consistant à ôter les adventices dans les lysimètres L1, L2, L3, L4, L6 et L7 et désherber totalement L8, n'a pas été réalisé en année 1 mais mené 3 fois en année 2 (février, juin, septembre).

4 RESULTATS ANNEES 1 ET 2, INTERPRETATIONS ET MODELISATION

Le premier constat est que l'évapotranspiration mesurée est bien supérieure à la théorie (formules de Turc ou de Hargreaves avec coefficients culturaux bornés à 1,2) allant jusqu'à un facteur 6, en particulier en hiver sur les lysimètres qui bénéficient du meilleur ensoleillement.

Les bilans hydrologiques annuels (tableau 1) montrent que loin d'être négligeable, l'évapotranspiration est prédominante sur tous les lysimètres TPR témoin à végétalisation spontanée (sauf L5 en année 1). Globalement, les lysimètres montrent une meilleure performance en seconde année (+30%). Comme attendu, les lysimètres drainés (L3 et L4) ont une moins bonne performance que les lysimètres TPR. L'évapotranspiration du lysimètre L8, témoin "dé-végétalisé", ne montre une différence qu'à partir de la seconde année, après l'enlèvement des adventices. Les **figures 4 à 7** montrent une évapotranspiration cumulée mesurée distinctement sur les 2 années, similaire aux courbes Hess 2017, bien que plus erratique. Ainsi, les mesures effectuées à Paris présentent des sursauts d'évapotranspiration notamment les jours de pluie, et des cumuls bien plus élevés, dépassant les 1700 mm par an.

Les formules de Hargreaves modifiées, contrairement à l'étude Hess 2017, ne donnent pas une très bonne corrélation, exceptée pour les lysimètres drainés (**figures 4 et 6**), moyennant un coefficient cultural relativement élevé (K_c=2,7 pour l'an 1 et K_c=5,4 pour l'an 2). La divergence est particulièrement marquée en hiver. Elle a fait l'objet d'une recherche de corrélation avec les différentes variables dont nous disposons. Celle qui donne le meilleur résultat est le pourcentage de volume saturé du substrat (noté τ dans la suite). Une approche par la formule suivante permet de prendre en compte cette évapotranspiration en hiver :

$$ET = K_c \times (SMEF \times ET_0 + \alpha \times \tau)$$

Ainsi cette formule composite appliquée à l'ensemble des lysimètres TPR (hors L8), pour les années 1 et 2, fournit une bonne corrélation, avec des valeurs moyennes respectives de α de 0,84 et 3,0 et des valeurs de K_c de 3,5 et 4,0 ce qui est relativement élevé (**figures 5 et 7**). La poursuite de l'étude permettra de conforter cette hypothèse, et de suivre l'évolution de K_c et α dans le temps. En outre, ces deux coefficients seront aussi calculés par couple de lysimètres en configuration identique, voire même par lysimètre.

5 PERSPECTIVES ET CONCLUSION

L'expérimentation se poursuit une 3^{ème} année (12/2018 à 11/2019) afin d'affiner la modélisation. En outre, avec le même objectif, il est prévu d'ajouter au programme de recherche la construction de jardins lysimétriques à plus grande échelle, d'un volume de 16m³ et plantés des 3 strates végétales, L'évapotranspiration serait estimée par la mesure de l'abattement volumique (incidence-sortie) et la mesure en continue de l'humidité du substrat. A plus long terme, il est envisagé l'instrumentation d'un jardin en pleine terre, avec estimation de l'évapotranspiration par mesures de la chute de température, via un processus expérimental encore à consolider. Les résultats de ces études visent in fine à établir des prescriptions quant à la conception de jardins de pluie étanches ou en pleine terre au-dessus d'un sous-sol

⁴ V₀ est un volume initial de référence choisi arbitrairement en début d'évènement ou en début d'expérience permettant de n'avoir aucune donnée négative lors de l'expérience ou de l'évènement.

sensible. À ce jour, les premiers résultats sont encourageants puisqu'ils permettent de considérer l'évapotranspiration prépondérante dès que les plantes ont accès à un sol retenant l'humidité.

Tableau 1 – Bilan hydrologique de chaque lysimètre en volume et en pourcentage de l'incidence (pluviométrie×4).

	L1		L2		L3		L4		L5		L6		L7		L8		
	vol.	%	vol.	%	vol.	%	vol.	%	vol.	%	vol.	%	vol.	%	vol.	%	
Volumes en litres (L)																	
Année 1	Sortie cumulée	973	39%	576	23%	1644	66%	1621	65%	1201	48%	744	30%	1065	43%	1015	41%
	Stockage réserve	190	8%	200	8%					178	7%	180	7%	178	7%	175	7%
	Stockage substrat	22	1%	-41	-2%	17	1%	-70	-3%	-34	-1%	-2	0%	-45	-2%	-69	-3%
	Évapotranspiration cumulée	1308	52%	1768	71%	842	34%	952	38%	1135	45%	1564	62%	1283	51%	1356	54%
Année 2	Sortie cumulée	856	34%	1004	40%	1803	72%	1921	77%	1127	45%	1112	44%	847	34%	1273	51%
	Stockage réserve	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	-9	0%	0	0%	0	0%
	Stockage substrat	-242	-10%	-214	-9%	1	0%	-20	-1%	-242	-10%	-236	-9%	-218	-9%	-232	-9%
	Évapotranspiration cumulée	1896	76%	1720	69%	706	28%	609	24%	1624	65%	1642	65%	1880	75%	1469	59%

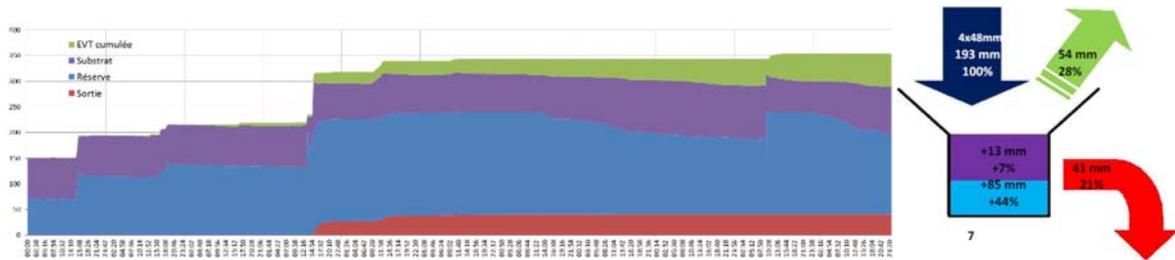


Figure 2 – Bilan Hydrologique du lysimètre L7 pour l'événement pluvial du 27 juin au 7 juillet 2017

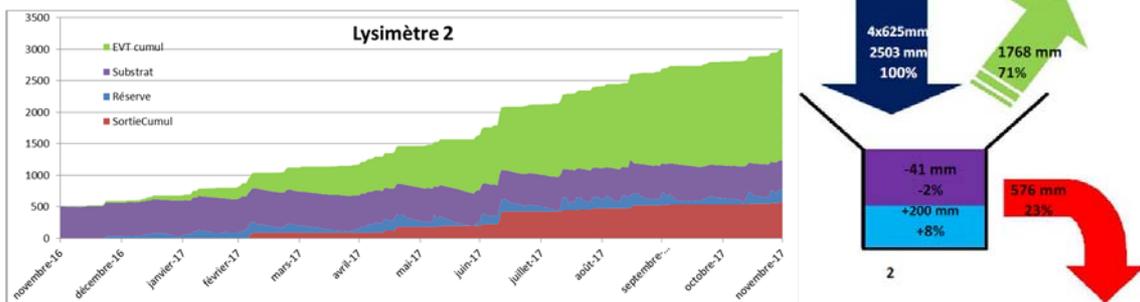


Figure 3 – Bilan hydrologique du lysimètre L2 en année 1

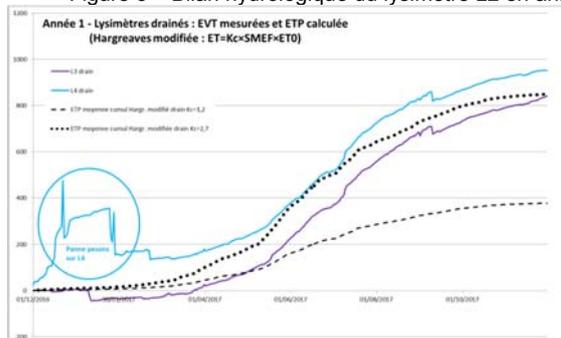


Figure 4 – EVT cumulée année 1 pour les lysimètres drainés (L3 et L4) et calculée (Hargreaves)

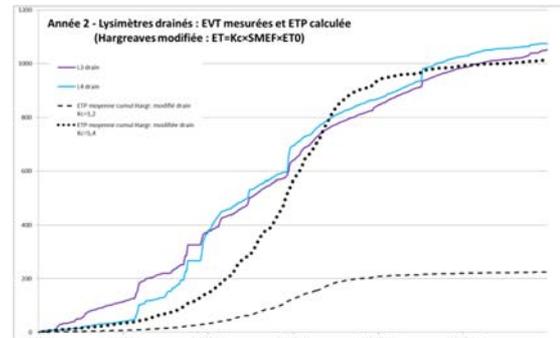


Figure 6 – EVT cumulée année 2 pour les lysimètres drainés (L3 et L4) et calculée (Hargreaves)

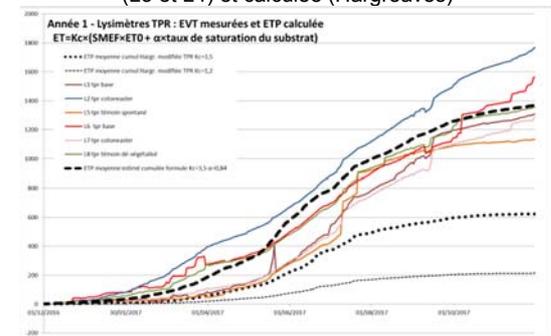


Figure 5 – EVT cumulée mesurée année 1 pour les lysimètres TPR et calculée (Hargreaves et une formule composite)

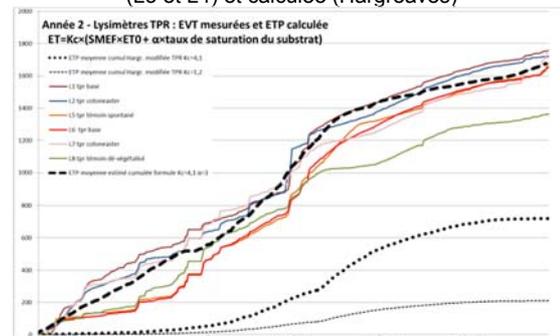


Figure 7 – EVT cumulée mesurée année 2 pour les lysimètres TPR et calculée (Hargreaves et une formule composite)

