

Modélisation hydrologique d'une solution de toiture bleue – verte de gestion des eaux pluviales

Hydrological modelling of a blue-green roof solution designed for advanced stormwater management

Rémy Bournique^{1*}, Vienna Bassan¹, Luis Arias¹, Jean-Christophe Grimard², Jean-Luc Bertrand-Krajewski¹

1 Université de Lyon, INSA Lyon, DEEP, EA 7429, Bâtiment Carnot, 11 rue de la Physique, F-69621 Villeurbanne cedex, France

2 Le Prieuré – Vegetal i.D., 2 Place de l'Église, 41160 Moisy, France

*Corresponding author's e-mail: remy.bournique@gmail.com

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude était de mettre au point un outil de simulation du comportement hydrologique d'une solution de gestion des eaux pluviales en toiture pour une chronique climatique donnée, de visualiser les performances et de les comparer à celles d'une solution de toiture végétalisée classique pour en mesurer les bénéfices.

Le calage des paramètres du modèle a été effectué par la méthode bayésienne (algorithme Dream) grâce aux campagnes expérimentales sur pilote menées à Mions (Lyon) d'août 2015 à septembre 2017. L'étude de sensibilité du modèle a permis de simplifier le modèle initial en réduisant le nombre d'équations et de paramètres sans dégradation de la performance.

Un des enjeux du développement de l'outil logiciel était de mettre en avant les différents critères de performance du système (réduction des pointes de débit et des volumes) de différentes manières afin de mettre en relief l'information recherchée par l'utilisateur.

ABSTRACT

The aim of this study was to develop a simulation tool for evaluating the hydrological performances of a blue – green roof system designed for advanced stormwater management for given climatic time series, and to display and compare them to those of a standard green roof in order to assess its benefits.

Calibration of the model parameters was carried out by means of a Bayesian approach (Dream algorithm) with the data recorded on the experimental roof site of Mions (Lyon) from August 2015 to September 2017. The sensitivity analysis of the model allowed simplifying the initial model by reducing the number of both equations and parameters without degrading the performance.

Being able to display clearly the performances of the system (reduction of peak flows and runoff volumes) was at stake when developing the software tool to give priority to the most useful information for the user.

MOTS CLÉS

Développement logiciel, gestion des eaux pluviales, modélisation conceptuelle, toiture végétalisée, techniques alternatives.

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

L'augmentation des surfaces imperméables induite par l'urbanisation croissante implique de nombreuses conséquences pour les événements pluvieux sur le milieu aquatique et l'environnement : érosion, transfert de polluants, inondations... (Marsalek, 1998).

Pour y remédier, l'ensemble des techniques alternatives constitue une réelle solution en termes de réduction des volumes et des débits de ruissellement, que ce soit par interception, infiltration, évaporation ou stockage des eaux pluviales (Hammond *et al.*, 2013). En particulier, les toitures végétalisées sont une solution à la source sans emprise foncière qui montrent de bonnes performances hydrologiques (Mentens *et al.*, 2006 ; Czemieli Berndtsson, 2010) tout en améliorant l'aménagement paysager, en apportant de la biodiversité et en développant les écosystèmes urbains (Oberndorfer *et al.*, 2007).

Le déploiement de ces techniques alternatives nécessite l'utilisation d'outils qui permettent de quantifier et de simuler leurs performances pour un climat et une configuration donnés. L'objet de cette étude est la mise au point d'un outil permettant de simuler et visualiser la réponse hydrologique d'une toiture spécialement développée pour la gestion de l'eau, s'appuyant sur un modèle fiable, calé à partir de séries de données expérimentales.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 Le système de toiture bleue – verte OASIS

2.1.1 Description du système

Développée par la société Le Prieuré, OASIS est une solution de toiture multimodale destinée à la gestion d'eau pluviale (Figure 1). Une couche végétale (1), composée principalement de sédums, pré-cultivée ou plantée sur un substrat d'une épaisseur de 6 cm ou plus (2) est disposée dans un bac en plastique recyclé dont le fond est constitué de cellules remplies de billes d'argile expansée (3) qui permettent une première rétention puis une remontée capillaire lorsque le substrat sèche. L'excédent d'eau ruisselle par gravité vers un bac de rétention (4), est stocké temporairement, puis remonte vers les plantes via des mèches de capillarité (5).

Pour éviter le débordement du bac de rétention, celui-ci est équipé d'un régulateur de débit flottant et ajustable (6), conçu pour maintenir un débit de fuite faible (goutte à goutte) et constant. Sa flottabilité lui permet une conservation du niveau de l'eau qui le surmonte, donc de la pression hydrostatique qui pilote la vidange.

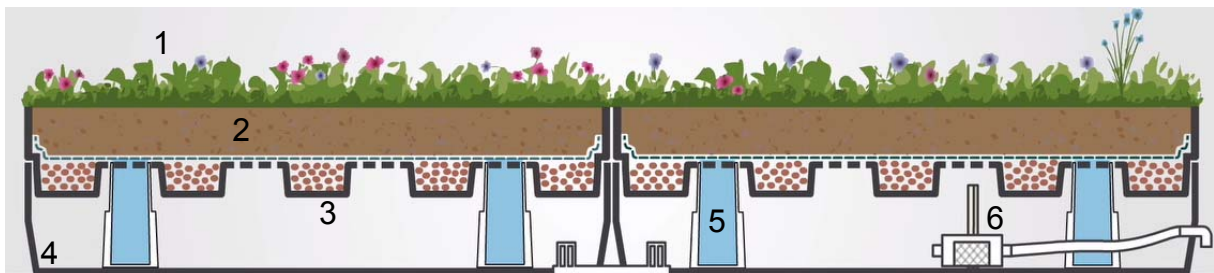


Figure 1 - Schéma de la solution de toiture OASIS, Le Prieuré.

2.1.2 Performances

Les performances de cette solution ont été mesurées pendant trois ans sur le site expérimental de Mions (Lyon). Le système a montré de très bonnes performances (Arias *et al.*, 2017), meilleures que celles d'une toiture végétalisée classique de référence, en termes de rétention des événements pluvieux (95 % de rétention pour les 96 événements de la première année de mesure) et de réduction des pics de ruissellement (réduction moyenne de 97 % des pics de débit par rapport aux pics de pluie).

2.1.3 Modélisation du système

Un modèle conceptuel du système a été développé, prenant en compte les réservoirs successifs décrits plus haut (végétation, substrat, cellules, bac de rétention), avec pour données d'entrée des séries chronologiques d'intensité de pluie et d'évapotranspiration potentielle (ETP) en mm/h. À chaque

réservoir est associé un ensemble de paramètres qui régissent les équations de remplissage et de vidange du réservoir. Les données expérimentales et les indicateurs de performances (réduction des pics et rétention) ont permis de caler, par méthode bayésienne (algorithme Dream – Vrugt, 2016) et en recherchant le meilleur indice de Nash-Sutcliffe (NS), les paramètres du modèle régissant les équations des transferts d'eau entre les différents réservoirs (Figure 2).

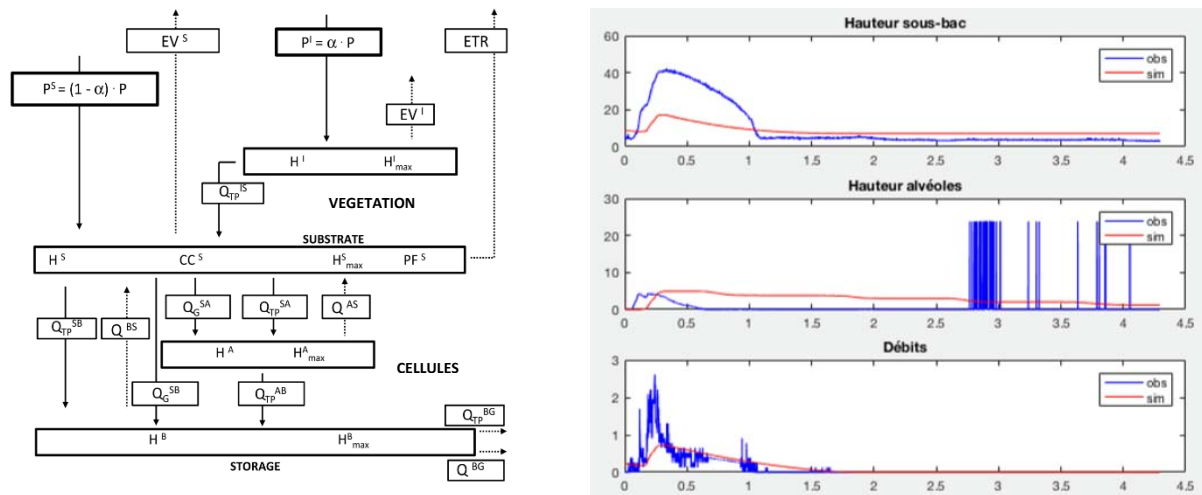


Figure 2 - Schéma conceptuel du modèle (gauche), résultat de calage des paramètres du modèle initial sur un évènement pluvieux de Mions (4 mars 2016, NS = 0,54).

3 RESULTATS

3.1 Simplification du modèle

Compte tenu de la complexité du système OASIS par rapport à une toiture végétalisée classique, le modèle développé comprend un nombre important de paramètres. On a cherché à savoir s'il était possible d'en réduire le nombre afin de simplifier le fonctionnement et la configuration du modèle par l'utilisateur. Plusieurs simplifications ont été testées, en fixant la valeur d'un paramètre et en étudiant l'évolution des critères d'information d'Akaike (AIC), bayésien (BIC), et de Nash – Sutcliffe (NS), par rapport aux calages où ce paramètre est libre.

Il a été montré que l'on pouvait simplifier le modèle en fixant la valeur de α (taux de couverture végétale) à 100 % sans altérer significativement la valeur des trois indices testés, ce qui permet de supprimer quatre équations (permettant de calculer l'évaporation de la partie du substrat non couverte par la végétation). Au contraire, le fait de fixer le paramètre β (part surfacique des cellules du bac végétalisé) n'a montré ni une amélioration ni une détérioration de la qualité du modèle.

L'utilité du réservoir « Végétation » a aussi été étudiée, car peu présente dans les modèles usuels de toitures végétalisées, notamment en raison de sa faible capacité d'interception (environ 1,3 mm pour le sédum dans notre cas). Il a été constaté que la suppression de ce réservoir réduisait significativement la qualité du modèle, prouvant sa pertinence dans la représentation de la toiture.

3.2 Logiciel GEPETO (Gestion des Eaux Pluviales en Toiture)

Sur la base du modèle simplifié, un logiciel a été développé sous Matlab pour permettre à un utilisateur de simuler et visualiser la réponse hydrologique de ce type de toiture en fonction de chroniques de pluie et d'évapotranspiration. Ce logiciel permet d'afficher différents graphiques ou tableaux facilitant l'interprétation des simulations, en les comparant parfois avec les résultats d'une toiture végétalisée classique de référence (système multicouche dépourvu de bac de rétention et de dispositif de régulation de débit simulé avec les mêmes séries de données).

Une fonctionnalité intéressante de ce logiciel est la visualisation dynamique (animation vidéo) du fonctionnement du système au cours de la simulation. On peut en effet observer (Figure 3) le niveau de

remplissage des différents réservoirs au cours du temps, ainsi que les volumes cumulés de pluie, ruissellement et évaporation, le nombre de dépassements d'un débit critique défini par l'utilisateur et le nombre d'irrigations qui auraient été nécessaires selon les critères de l'utilisateur.

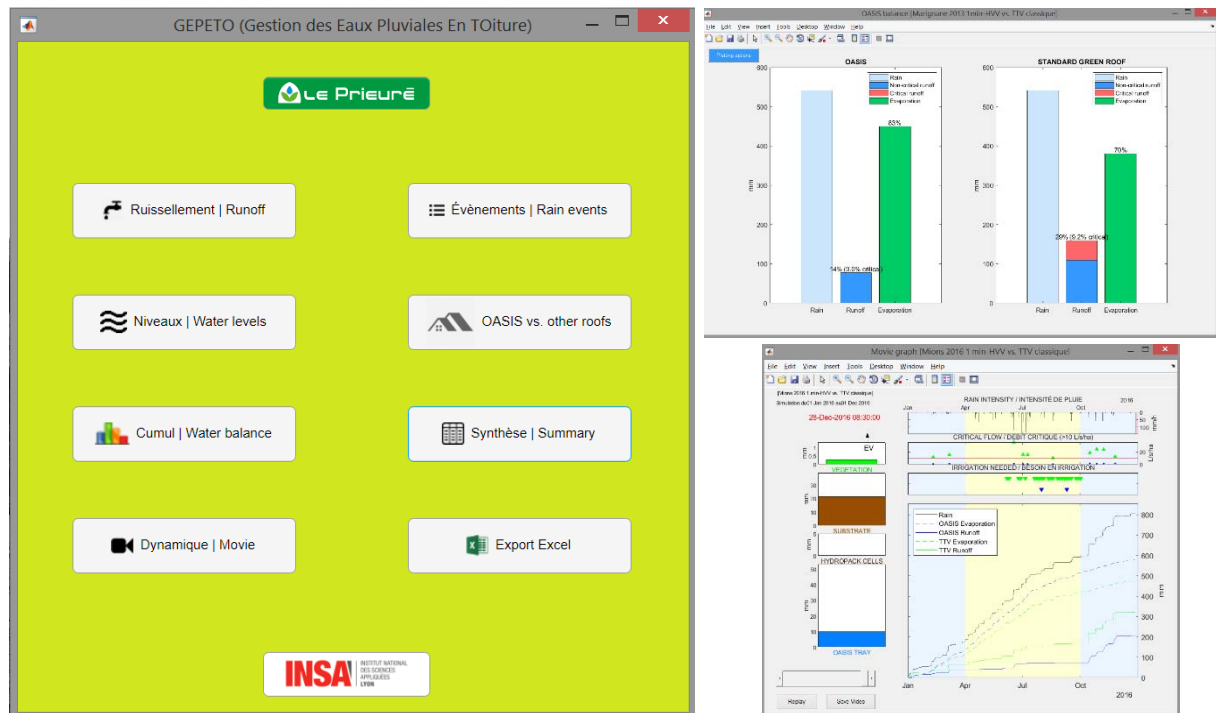


Figure 3 - Panneau de contrôle du logiciel GEPETO (à gauche), graphique montrant les volumes de pluie, ruisselés et évaporés par la toiture OASIS et une toiture conventionnelle (à droite en haut), capture d'écran de la restitution dynamique (à droite en bas).

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse pour le financement du projet GEPETO, ainsi que la société SOGARIS pour l'hébergement du site expérimental de Mions sur ses installations.

BIBLIOGRAPHIE

- Arias, L., Vacherie, S., Grimard, J.-C., Bournique, R., Bertrand-Krajewski, J.-L. (2017). One year of hydrological performances of three experimental green roofs. *Proceedings of the 14th ICUD - International Conference on Urban Drainage*, Prague, Czech Republic, 10-15 September, 862-869.
- Czemiel Berndtsson, J. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351-360.
- Hammond, M.J., Chen, A.S., Djordjevic, S., Butler, D., Mark, O. (2013). Urban flood impact assessment: a state-of-the-art review. *Urban Water Journal*, 1, 1-16.
- Marsalek, J. (1998). Challenges in urban drainage. In Marsalek J., Maksimovic C., Zeman E. & Price R (Eds) *Hydroinformatics tools for planning, design, operation and rehabilitation of sewer systems*. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher.
- Mentens, J., Raes, D., Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217-226.
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R., Doshi, H., Dunnett, N., Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57(10), 823-833.
- Vrugt, J. A. (2016). Markov chain Monte Carlo simulation using the DREAM software package: Theory, concepts, and MATLAB implementation. *Environmental Modelling & Software*, 75, 273-316. doi:10.1016/j.envsoft.2015.08.013