

Calibration d'un modèle de toiture végétalisée grâce à l'analyse de sensibilité globale

Axelle HEGO

Institute: Université de Lorraine, CNRS, CRAN, Nancy, France

Position: PhD Student (3rd year)

Supervisor(s): Asso. Prof. Floriane COLLIN (Université de Lorraine) and Prof. Hugues GARNIER (Université de Lorraine)

Email: axelle.hego@univ-lorraine.fr

Collaborator(s): Researcher Rémy CLAVERIE (Cerema Est, Team research group, Tomblaine, France)

Résumé en français :

Depuis quelques décennies, l'imperméabilité des sols en zone urbaine est devenue une problématique importante dans le nord de l'Europe. Les événements de pluviométrie intense se multiplient, augmentant ainsi les risques de saturation des réseaux d'eaux et les risques d'inondations. Des systèmes de régulation des eaux urbaines tels que les Toitures Terrasses Végétalisées (TTV) peuvent être utilisés pour stocker et ralentir les eaux de pluies et ainsi soulager les réseaux d'eaux [2]. En effet, les toitures végétalisées sont composées de différentes couches dans lesquelles l'eau s'infiltré ce qui retarde son arrivée dans les canalisations, comme illustré sur la figure 1. La première couche correspond à la végétation (i) qui prend racine dans la couche de substrat (ii). Sous le substrat, un géotextile (iii) empêche les racines de descendre dans les couches de drainage (iv) et d'isolation (v) qui protège le bâtiment. En plus des avantages hydrologiques des TTV, ces structures apportent des avantages thermiques tels que l'isolation des bâtiments; la végétation permet également de réduire, pendant l'été, les effets "îlots de chaleur", de la pollution et favorise la biodiversité.

Ce type de toitures est donc une solution attractive pour les collectivités qui développent de plus en plus d'écoquartiers. Dans la région Grand Est (France), le Cerema¹ de Tomblaine, près de Nancy fait des préconisations aux collectivités pour l'installation de TTV. Pour faire ces recommandations, le Cerema a besoin de mieux comprendre le fonctionnement des TTV pour optimiser leurs performances hydriques.

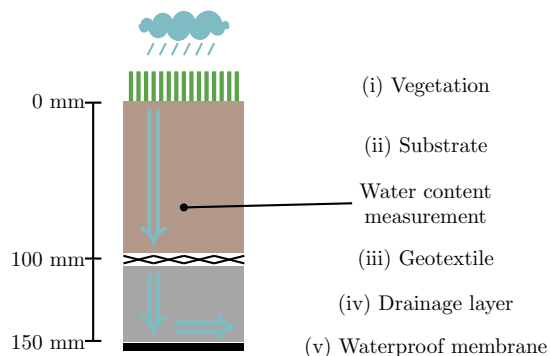


Figure 1: Profile view of a typical green roof.



Figure 2: Green roof located in the Cerema of Tomblaine, close to Nancy, France.

¹Centre d'études et d'expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, www.cerema.fr

Les performances hydriques des TTV sont dépendantes de leurs caractéristiques telles que les paramètres de sol des différentes couches, leurs dimensions, le type de végétations, etc. Le débit de sortie de la TTV est principalement lié à la teneur en eau dans les couches. Différents modèles existent pour décrire l'infiltration de l'eau dans le sol, ils sont basés sur l'équation de Richard. Cette équation non linéaire aux dérivées partielles décrit la capacité de rétention et de débit de sortie de sols poreux non saturés. Combinée avec le modèle de Van Genuchten - Mualem, cette équation est implémentée dans le logiciel Hydrus-1D[©] qui permet de simuler le comportement hydrologique des sols [4]. La structure et les conditions limites spécifiques des TTV ainsi que les variables météorologiques et de végétations peuvent être paramétrées pour reproduire au mieux les configurations réelles des TTV. Cependant, certains paramètres du modèle, comme les paramètres de sol ou de végétations, sont compliqués à déterminer car difficiles à mesurer avec précision à partir de relevés expérimentaux. Toutes les incertitudes de ces paramètres sont propagées sur la capacité de rétention d'eau simulée, qui constitue la sortie principale du modèle, et peuvent être analysées grâce à l'Analyse de Sensibilité (AS).

L'objectif de ces travaux est de calibrer le modèle de TTV sur les données réelles de rétention d'eau sur l'année 2020. Les données, les conditions limites et les données météorologiques correspondent à une toiture végétalisée localisée à Tomblaine (Figure 2). L'utilisation de l'AS pour la calibration de modèle hydrologique est répandue mais généralement une analyse locale est effectuée. Sachant que le domaine d'incertitudes des paramètres est large et que des interactions entre les paramètres peuvent influencer la sortie, une analyse de sensibilité globale semble plus adaptée. Une AS globale est donc réalisée sur les paramètres de sol et de végétations du modèle. Les indices de sensibilité sont calculés à chaque instant à partir de la méthode de décomposition en polynômes du chaos comme décrit dans [3]. Une étude précédente réalisée uniquement sur les paramètres de sol a révélé que seuls 3 paramètres du substrat sont influents sur la totalité des paramètres des différentes couches ce qui permet d'avoir un nombre réduit de paramètres de sol dans l'étude actuelle [1]. Grâce aux influences de chaque paramètre au cours du temps et aux différents phénomènes hydrologiques observés, des périodes d'intérêt sont définies. Une comparaison des simulations de l'AS globale et des mesures sur ces périodes permet de déterminer les combinaisons de paramètres qui limitent les erreurs et ainsi de réduire les intervalles d'incertitudes autour des valeurs nominales estimées des paramètres du modèle.

Abstract in english: (Green roof model calibration using global sensitivity analysis)

In the last decade, soil imperviousness has been one of the main urban issues in North Europe. In case of strong rain events, runoff can lead to the discharge of high volume of water and can cause water system saturation and floods. Among all urban-water regulation systems, Green Roofs (GR) can be used to store and delay the release of rainwater to sewers thanks to its specific layer structure [2]. Indeed, green roofs are composed of a substrate layer (ii) on top of which vegetation (i) is growing. Under the substrate, a geotextile (iii), a drainage layer (iv) and an insulating layer (v) protect the building (Figure 1). GR are also considered as a sustainable solution that offers benefits such as building insulation, urban heat island cooling during summer, air pollution control and biodiversity enhancement.

This sustainable solution is an attractive solution for cities which increase ecodistrict projects. In the "Grand Est" area in France, the mission of the French organization named Cerema² of Tomblaine, close to Nancy, is to provide recommendations about the GR characteristics (capacity of water retention, dimension, type of vegetation, etc.) to optimize its performance. To do so, the Cerema studies GR behavior with in-situ experimental GR and models.

The hydrological performances are directly associated to the GR characteristics such as soil parameters of the different layers, dimension, type of vegetation, etc. The outflow of a GR is mainly related to the water content inside the layers. Few models exist to describe the hydrological infiltration throughout soil and they are based on the Richards' equation. This highly nonlinear partial differential equation describes the water retention capacity and the outflow in unsaturated porous media. The Richards' equation combined with the Van Genuchten - Mualem model are coded in Hydrus-1D[©] software to simulate hydrological

²Centre d'études et d'expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, www.cerema.fr

behavior [4]. This software allows the set up of the green roof structure, boundary conditions, meteorological data and vegetation variables in order to reproduce the green roof real conditions. However, some of the model parameters, as soil parameters or vegetation variables, are challenging to determine as they are difficult to measure accurately through experiments. All the parameter uncertainties are propagated to the water retention capacity simulated and need to be analysed with Sensitivity Analysis (SA). SA allows to quantify the effects of the uncertain parameters, to focus of influential parameters and also to calibrate the model.

The objective of this study is to determine a high-fidelity model of a specific GR configuration based on measured data of the year 2020. Boundary conditions, meteorological data and water retention data were measured from an in-situ experimental green roof platform located in Tomblaine (Figure 2) and are used to simulate water retention with real conditions. In environmental and hydrological modelling involving nonlinear partial differential equations, SA can be a valuable tool for model calibration but local analysis are generally carried out. In this study, as a large uncertainty domain and potential interactions between parameters need to be taken into account, Global Sensitivity Analysis (GSA) is carried out. In order to calibrate the model the influence of soil and vegetation parameters on the water retention capacity is investigated over time using GSA approach based on polynomial chaos expansion [3]. A recent study has been dedicated to analyse the influence of soil parameters as saturated water content, porosity, etc. It has highlighted that three soil parameters of the substrate layer are more influential than the soil parameters of the other layers [1]. These results allow to reduce the number of uncertain soil parameters for the following studies. According to sensitivity indices of each parameter over time and the different observed hydrological phenomenon, periods of interest are defined. A comparison between GSA model evaluations and observed data during these periods allows to determine the parameters set which minimized the errors and then to reduce uncertainty interval and determine a nominal value for the model parameters.

References

- [1] A. Hégo, F. Collin, H. Garnier, and R. Claverie. Approaches for green roof dynamic model analysis using GSA. In *19th IFAC symposium on system identification: learning models for decision and control, Padova, Italy*, 2021.
- [2] Y. Li and R.W. Badcock. Green roof hydrologic performance and modeling: a review. *Water Science & Technology*, 69(4):727–738, 2014.
- [3] E.H. Sandoval, F. Anstett-Collin, and M. Basset. Sensitivity study of dynamic systems using polynomial chaos. *Reliability Engineering and System Safety*, 104:15–26, 2012.
- [4] J. Simunek, M. Sejna, H. Saito, M. Sakai, and M.Th. van Genuchten. *The HYDRUS-1D software package for simulating one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media*. Department of Environmental Sciences University of California Riverside, Riverside, California, 2008.