



**HAL**  
open science

## Station météorologique à bas coût pour le suivi de toitures végétalisées

Qingchuan Zhu, Frederic Cherqui, Jean-Luc Bertrand-Krajewski, J.-L  
Bertrand-Krajewski

► **To cite this version:**

Qingchuan Zhu, Frederic Cherqui, Jean-Luc Bertrand-Krajewski, J.-L Bertrand-Krajewski. Station météorologique à bas coût pour le suivi de toitures végétalisées. 9<sup>e</sup> Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine (JDHU 2020), ENGEES, May 2021, Strasbourg, France. hal-03384905

**HAL Id: hal-03384905**

**<https://hal.science/hal-03384905>**

Submitted on 19 Oct 2021

**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.

# Station météorologique à bas coût pour le suivi de toitures végétalisées

Q. Zhu\*, F. Cherqui et J.-L. Bertrand-Krajewski

Univ Lyon, INSA Lyon, DEEP, EA 7429, F-69621 Villeurbanne, France

(E-mail: [qingchuan.zhu@insa-lyon.fr](mailto:qingchuan.zhu@insa-lyon.fr), [frederic.cherqui@insa-lyon.fr](mailto:frederic.cherqui@insa-lyon.fr), [jean-luc.bertrand-krajewski@insa-lyon.fr](mailto:jean-luc.bertrand-krajewski@insa-lyon.fr))

\*Auteur correspondant

**Résumé :** Le suivi météorologique et hydrologique de toitures végétalisées utilisées pour la gestion des eaux pluviales urbaines est nécessaire pour mieux comprendre leur fonctionnement et améliorer les modèles. Mais la généralisation des stations de mesure classiques est coûteuse. L'article présente la mise en place d'une station météorologique à bas coût, l'étalonnage du pluviographe, et les premiers résultats obtenus pour diverses grandeurs (pluie, température, humidité, vent, rayonnement solaire, etc.). L'objectif est d'évaluer les performances et la fiabilité de cette instrumentation à bas coût par comparaison avec une instrumentation classique installée sur le même site.

**Mots-clés :** eaux pluviales, instrumentation à bas coût, métrologie, pluviographe, station météorologique, toitures végétalisées.

## Introduction

Les toitures végétalisées ont montré leurs nombreux bénéfices pour la gestion des eaux pluviales et l'environnement urbain (Berardi *et al.*, 2014). La connaissance des grandeurs météorologiques sur site, dont la pluviométrie (Nawaz *et al.*, 2015) ainsi que l'estimation de l'évapotranspiration potentielle locale, couplées à des mesurages des volumes stockés et des débits évacués, peuvent contribuer à optimiser leur fonctionnement (régulation du débit, gestion du volume stocké, gestion des arrosages). Les coûts des instruments météorologiques classiques limitent leur généralisation aux toitures végétalisées (Farhat *et al.*, 2017). Les avancées technologiques en métrologie ont conduit à la miniaturisation des systèmes, à une forte réduction des coûts et au développement de la programmation open source (Delaine *et al.*, 2019). Ces avancées offrent de nouvelles perspectives pour le suivi en temps réel des ouvrages de gestion des eaux pluviales. Ce travail vise à adapter une station météorologique à bas coût au contexte spécifique du suivi des toitures végétalisées, avec mesurage des paramètres suivants : température, humidité, pression, vitesse du vent, pluviométrie et rayonnement solaire. Les données obtenues seront comparées à celles fournies par une station classique dont les performances sont connues.

## Matériels et méthodes

### Site

Le site expérimental est le banc test de toitures végétalisées GROOF installé sur le toit d'un bâtiment du campus de l'INSA Lyon à Villeurbanne. La Figure 1 montre la station à bas coût avec en arrière-plan une des plateformes qui sera équipée d'un pilote de toiture végétalisée.

### Capteurs

Les capteurs de la station météorologique à bas coût sont un pluviomètre à augets WH-SP-RG, un anémoscope WH-SP-WD, un anémomètre WH-SP-WS01 (Misol Electronics, Province de Guangdong, Chine), un capteur de température, d'humidité et de pression BME280 (BOSCH, Stuttgart, Allemagne) recommandé pour ses performances, et un pyranomètre JXBS-3001-ZFS (JXCT Electronics, Weihai, Chine). Une station classique est également installée sur le même site. Le Tableau 1 indique pour chaque grandeur mesurée les modèles de capteurs de référence et à bas coût utilisés et leurs prix respectifs.



Figure 1. Station météorologique à bas coût installée sur la plateforme expérimentale GROOF avec (de gauche à droite et de haut en bas) : anémoscope, anémomètre, pluviomètre (à l'arrière), pyranomètre, et capteur de température, d'humidité et de pression de l'air.

Tableau 1. Capteurs traditionnels et à bas coût installés sur la plateforme expérimentale GROOF.

| Paramètre mesuré                 | Capteurs classiques                       | Gamme de prix | Capteurs à bas coût  | Gamme de prix |
|----------------------------------|---|---------------|----------------------|---------------|
| Pluviométrie                     | <a href="#">OTTPluvio2L</a>               | ~ 4250 €      | WH-SP-RG             | ~ 15 €        |
| Vitesse et direction du vent     | <a href="#">Campbell Scientific 03002</a> | ~ 750 €       | WH-SP-WS01, WH-SP-WD | ~ 15-20 €     |
| Température et humidité de l'air | <a href="#">Campbell Scientific CS215</a> | ~ 280 €       | BME280               | < 5 €         |
| Pression barométrique            | Non                                       | Non           | BME280               | < 5 €         |
| Rayonnement solaire              | <a href="#">Campbell Scientific CS300</a> | ~ 300 €       | JXBS-3001-ZFS        | ~ 100 €       |

#### Acquisition des données

Un microcontrôleur Arduino Nano (Arduino, New York, NY, États-Unis) est utilisé pour la communication avec les différents capteurs. Il est directement connecté par liaison USB à un ordinateur qui acquiert les données au pas de temps d'une minute.

#### Étalonnage du pluviographe

Un étalonnage dynamique du pluviographe WH-SP-RG a été effectué sur la gamme de 20 à 140 mm/h (Figure 2). La réponse du capteur est linéaire :  $I_m = b \cdot I_t$  avec  $I_m$  et  $I_t$  respectivement les intensités mesurée et d'étalonnage (mm/h) et  $b$  la pente de la droite d'étalonnage :  $b = 0.9764$  avec une incertitude type  $u(b) = 0.0039$ .

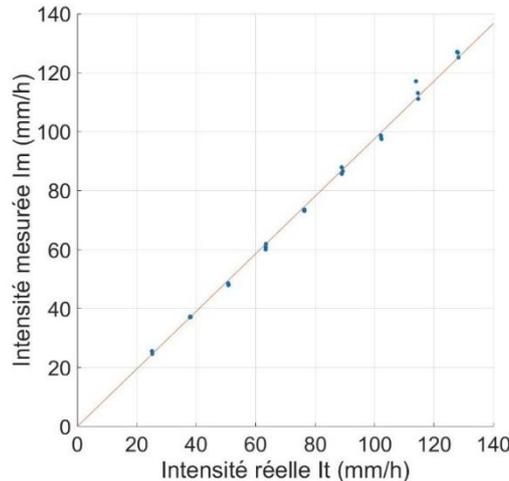


Figure 2. Étalonnage dynamique du pluviographe WH-SP-RG.

#### Premiers résultats

La station météorologique à bas coût a été installée à la mi-mars 2021. A titre d'exemple, les résultats du 16 au 29 avril 2021 sont illustrés Figure 3 pour les capteurs de température, humidité, rayonnement solaire et vitesse du vent, en comparaison avec les capteurs traditionnels, et Figure 4 pour le capteur de direction du vent. L'analyse comparative par régression entre les quatre capteurs à bas coût de la Figure 3 et les capteurs traditionnels est illustrée Figure 5.

Globalement, les données fournies par les capteurs à bas coût sont cohérentes avec celles fournies par les capteurs traditionnels. Une analyse plus détaillée montre que le capteur de température BME280 tend à fournir des valeurs supérieures à celles du capteur traditionnel lors des périodes d'accroissement de la température (gradient positif), en raison semble-t-il de l'auto-échauffement du capteur. Les deux capteurs n'étant pas installés exactement au même point, il est possible également que d'autres facteurs interviennent dans cette légère différence de comportement. Une correction automatique des données du capteur à bas coût est tout à fait envisageable si nécessaire en fonction du gradient de température. Le capteur d'humidité BME280 fonctionne de manière satisfaisante.

Le pyranomètre à bas coût JXBS-3001-ZFS fournit des valeurs plus élevées que celles du capteur traditionnel CS300. Nous pensons que cette différence est due en grande partie à la plage de longueur d'onde des mesurages. En effet, le capteur à bas coût mesure le rayonnement reçu entre 300 et 3000 nm, alors que la plage de mesure du capteur CS300 est moins étendue, de 360 à 1120 nm. D'autres points sont en cours d'évaluation en vue d'une correction éventuelle des données du capteur à bas coût.

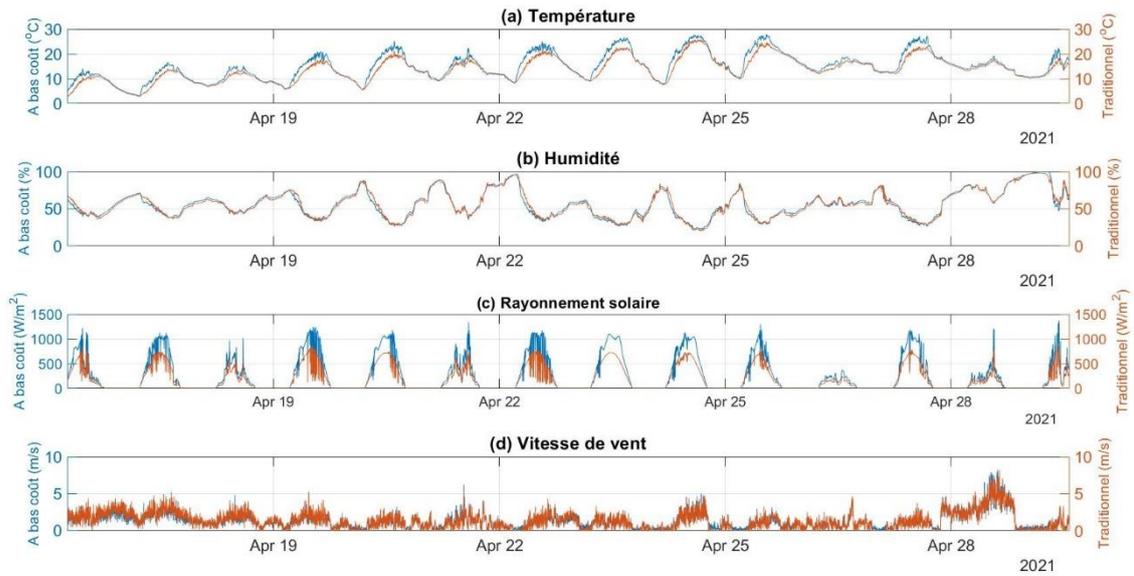


Figure 3. Données du 16 au 29 avril 2021 de la station météorologique à bas coût (en bleu), comparées aux données de la station traditionnelle (en orange), pour la température, l'humidité, le rayonnement solaire et la vitesse du vent.

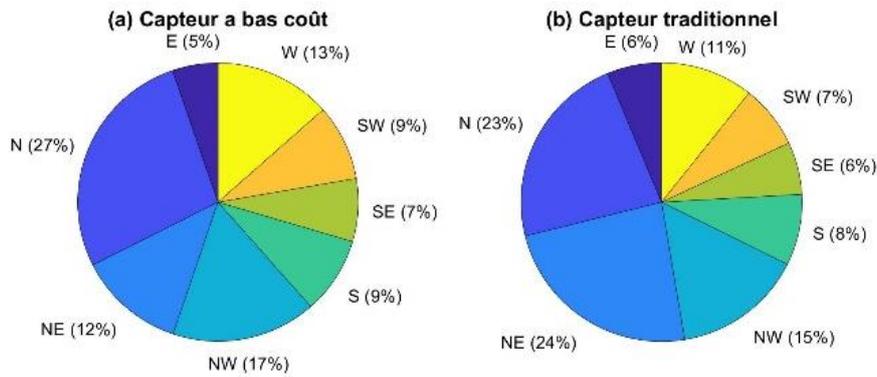


Figure 4. Données obtenues du 16 au 29 avril 2021 avec la station météorologique à bas coût (à gauche), comparées aux données fournies par la station traditionnelle (à droite) pour la direction du vent.

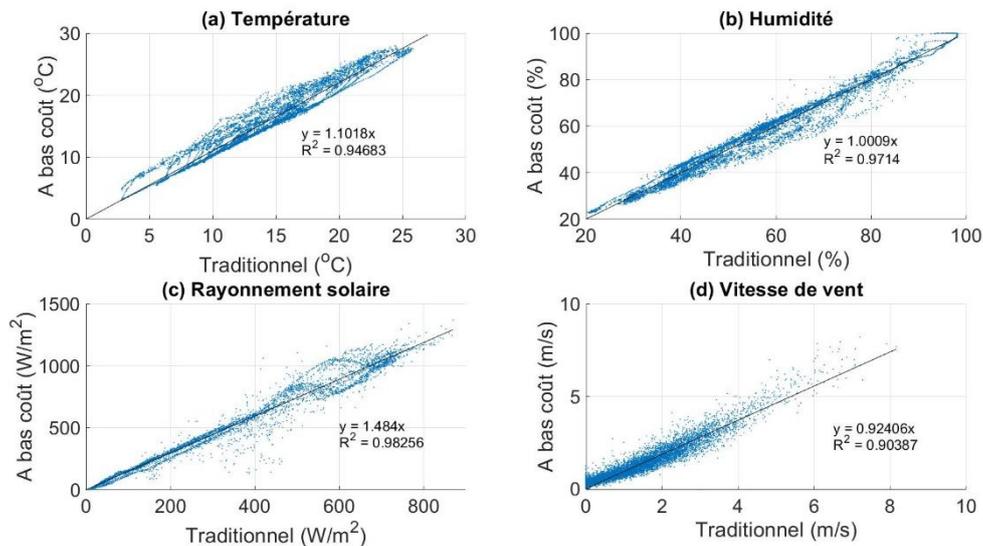


Figure 5. Analyses comparées par régression entre capteurs à bas coût et capteurs traditionnels (température, humidité, rayonnement solaire et vitesse du vent).

L'anémomètre à bas coût WH-SP-WS01 est fondé sur le mesurage des rotations discrétisées du capteur, avec une vitesse de vent de 1 m/s pour 45 rotations par minute selon les informations du constructeur. Un réétalonnage spécifique est nécessaire pour une meilleure corrélation avec les valeurs un peu plus élevées du capteur traditionnel. La direction du vent n'est pas mesurée de la même manière par le capteur à bas coût et par le capteur traditionnel : les valeurs sont distribuées sur huit secteurs angulaires discrétisés pour le premier, les angles sont mesurés directement pour le second. La comparaison directe des valeurs n'est donc pas possible. Les données du capteur traditionnel sont regroupées par secteur avant comparaison avec le capteur à bas coût (Figure 4). Globalement, la concordance des données des deux capteurs est satisfaisante pour nos besoins, les écarts pouvant être également en partie expliqués par des emplacements non identiques des capteurs et des effets locaux (nombreux obstacles sur la toiture).

La Figure 6 montre les données obtenues avec le pluviographe à bas coût WH-SP-RG et avec le capteur de pression BME280. Les capteurs traditionnels équivalents n'étant pas encore opérationnels, la comparaison n'est pas possible sur ces premières données.

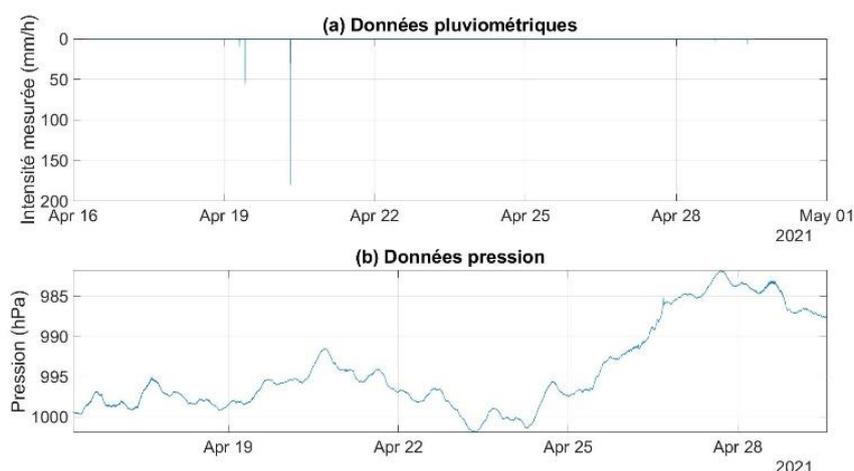


Figure 6. Exemple de premières données obtenues avec le pluviographe WH-SP-RG et le baromètre BM280.

### Premier retour d'expérience

Après deux mois de test *in situ*, la station météorologique à bas coût montre un fonctionnement stable et globalement satisfaisant. Pour la conception du système, une lecture approfondie de la littérature et des documents des constructeurs des capteurs à bas coût est nécessaire. Il est indispensable d'équiper l'Arduino d'une horloge en temps réel et d'un stockage de données local car la transmission par câble USB reliant l'Arduino à l'ordinateur a montré des défaillances entraînant des pertes de données. Les spécifications des capteurs à bas coût et des capteurs traditionnels ne sont pas toujours identiques : la comparaison des valeurs nécessite certains pré-traitements des données (cas du pyranomètre et de l'anémomètre par exemple). Avant utilisation, les capteurs à bas coût doivent être étalonnés et les informations fournies par les fabricants doivent être scrupuleusement vérifiées, car les manuels peuvent parfois être inexacts. Il est donc indispensable de systématiquement tout vérifier et contrôler (principe de mesure, fonctions de conversion et de correction, etc.).

### Poursuite des recherches

Pour enrichir les comparaisons et mieux évaluer la fiabilité des capteurs à bas coût, une deuxième station à bas coût est en cours d'installation à côté de la première, complétée avec un pluviomètre optique et un pyranomètre utilisant des phototransistors et des luxmètres. L'évaluation et la qualification de la station météorologique à bas coût est prévue sur une durée minimale d'une année complète, avec comparaison avec les données de la station classique. Les données permettront de caractériser les conditions climatiques locales auxquelles sont exposées les toitures végétalisées de la plateforme expérimentale GROOF et de déterminer des valeurs de l'évapotranspiration potentielle.

### Remerciements

La bourse de thèse de Qingchuan Zhu est financée par le China Scholarship Council (Dossier 201806560056). Les recherches sont financées par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée-Corse (projet Cheap'eau) et le programme européen Horizon 2020 (Grant Agreement no. 786566 - <https://mind4stormwater.org>), et sont conduites dans le cadre de l'OTHU (Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine) et de l'EUR H2O<sup>2</sup>Lyon (ANR-17-EURE-0018).

### Références

- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A.H., GhaffarianHoseini, A., 2014. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Appl. Energy* 115, 411–428. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>.
- Delaine, F., Lebental, B., Rivano, H., 2019. In Situ Calibration Algorithms for Environmental Sensor Networks: A Review. *IEEE Sens. J.* 19, 5968–5978. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2910317>.
- Farhat, M., Abdul-Niby, M., Abdullah, M., Nazzal, A., 2017. A Low Cost Automated Weather Station for Real Time Local Measurements. *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.* 7, 1615–1618. <https://doi.org/10.48084/etasr.1187>.
- Nawaz, R., McDonald, A., Postoyko, S., 2015. Hydrological performance of a full-scale extensive green roof located in a temperate climate. *Ecol. Eng.* 82, 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.061>.