



**HAL**  
open science

## Transferts de médicaments et biocides par les épandages de boues urbaines et de lisiers : suivi de lysimètres in situ par un dispositif low-cost

Noémie Pernin, Dominique Patureau, Jean-Luc Bertrand-Krajewski

### ► To cite this version:

Noémie Pernin, Dominique Patureau, Jean-Luc Bertrand-Krajewski. Transferts de médicaments et biocides par les épandages de boues urbaines et de lisiers : suivi de lysimètres in situ par un dispositif low-cost. 9<sup>e</sup> Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine "JDHU 2020", ENGEES, May 2021, Strasbourg, France. 4 p. hal-03386467

**HAL Id: hal-03386467**

**<https://hal.science/hal-03386467>**

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.

# Transferts de médicaments et biocides par les épandages de boues urbaines et de lisiers : suivi de lysimètres *in situ* par un dispositif low-cost

Pernin Noémie<sup>\*1</sup>, Patureau Dominique<sup>\*\*</sup>, Bertrand-Krajewski Jean-Luc<sup>\*2</sup>

\* Univ Lyon, INSA Lyon, DEEP, EA 7429, 11 rue de la physique, F-69621 Villeurbanne cedex, France, 1) [noemie.pernin@insa-lyon.fr](mailto:noemie.pernin@insa-lyon.fr); 2) [jean-luc.bertrand-krajewski@insa-lyon.fr](mailto:jean-luc.bertrand-krajewski@insa-lyon.fr)

\*\* INRAE, UR0050, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (LBE), 102, avenue des étangs, F-11 100 Narbonne, France, [dominique.patureau@inrae.fr](mailto:dominique.patureau@inrae.fr)

**Résumé :** La compréhension des processus impliqués dans le devenir des micropolluants (médicaments et biocides) après épandage de boues urbaines et de lisiers sur des parcelles agricoles permet de déterminer l'impact environnemental de ceux-ci. Dans le projet Telesphore, le suivi de lysimètres expérimentaux *in situ* apporte une meilleure connaissance des mécanismes en jeu dans le sol et dans l'eau. Différentes grandeurs (température, teneur en eau du sol, conductivité, volume d'eau infiltrée) peuvent être mesurées en continu avec des capteurs. Un suivi performant génère un coût humain et matériel élevé, mais le développement de technologies open-source et low-cost (capteurs et logiciels) ouvre des possibilités intéressantes de réduction de ce coût. Ces systèmes doivent être adaptés aux contraintes *in situ* en termes d'alimentation, de communication, et de résistance aux agressions du milieu. Telesphore s'intéresse à l'acquisition de données et à leur communication en temps réel à distance. Des tests du dispositif métrologique sont conduits en laboratoire pour le suivi du volume d'eau infiltrée par des capteurs ultrasons et de température. Des cartes de développement Node MCU sont utilisées et la connexion Wi-Fi de leurs puces permet d'envoyer les données vers un serveur local. Les résultats obtenus en laboratoire valident les capteurs low-cost testés pour une étude sur site où ils sont répliqués par des capteurs standards afin d'étudier leur fiabilité en conditions réelles. L'approche développée dans le projet Telesphore est adaptable à d'autres contextes en hydrologie urbaine, notamment le suivi des techniques alternatives.

**Mots clé :** lysimètre ; capteur low-cost ; suivi *in situ*.

## Introduction

Des résidus de médicaments et biocides sont présents dans les boues des stations d'épuration urbaines, les fumiers et lisiers d'élevage. Les épandages de ces intrants sont une entrée de ces micropolluants dans l'environnement, essentiellement le sol et l'eau. Dans le cadre du projet Telesphore<sup>1</sup>, les micropolluants étudiés sont des résidus de médicaments et biocides à usages humain et vétérinaire. Des boues d'épuration et des lisiers sont épandus à la main, en concentration connue, sur des lysimètres *in situ* qui permettent de collecter l'eau infiltrée et des carottes de sol pour analyses. Plusieurs grandeurs hydrologiques, météorologiques et du sol sont nécessaires à la compréhension et à la modélisation des phénomènes de transport et de réaction des polluants organiques. Les capteurs standards pour effectuer le suivi de ces grandeurs en continu sont onéreux ; pour réduire le coût matériel et humain, les capteurs low-cost sont une alternative possible (Montserrat et al., 2013). Intéressants pour leur prix, leurs performances dans un cadre scientifique restent à démontrer. Pour cela, une association de capteurs standards et low-cost sur un dispositif expérimental est réalisée, après étalonnage en laboratoire. Le suivi des données en temps réel est réalisé grâce à une communication adaptée et à l'accès à distance de la base de données.

## Matériels et méthodes

Les expériences visent à mesurer le volume d'eau infiltrée collectée au fond de trois lysimètres (2 m × 2 m × 1 m) *in situ*, à Scientrier, France (74). Un système d'acquisition automatisée des données, accessible en temps réel depuis Lyon, France, est requis pour suivre à distance et prélever l'eau infiltrée quand le volume est suffisant pour effectuer les analyses de micropolluants. Le volume d'eau infiltré pendant un mois de précipitation, fondé sur la moyenne mensuelle maximum de la station météorologique de Bonneville<sup>2</sup> située à 8.9 km du site expérimental, est de 68 litres en posant l'hypothèse d'un taux d'infiltration de 50 % des précipitations totales. Un bidon de 100 litres en polyéthylène haute densité est utilisé afin d'éviter l'adsorption de résidus de médicaments et de biocides sur les parois.

Une revue de composants électroniques low-cost a permis de sélectionner des capteurs, des microcontrôleurs et des puces de communication selon leur prix, le type de mesure possible, la facilité de prise en main et la disponibilité des fiches techniques. Pour le mesurage des hauteurs d'eau, une première phase d'étalonnage est

<sup>1</sup> Le projet collaboratif Telesphore, financé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et l'école universitaire de Recherche H2O, regroupe l'INSA Lyon, l'INRAE Narbonne, le CNRS ISA, le SM3A – Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents, le SRB - Syndicat des Eaux des Rocailles et de Bellecombe, la Chambre d'Agriculture Savoie Mont Blanc et le GRAIE.

<sup>2</sup> Données Météo France

réalisée en ajoutant des volumes d'eau connus mesurés par pesée au fur et à mesure dans le bidon, comme préconisé dans la littérature (Morris et Langari 2012). Les essais en laboratoire écartent les capteurs ayant des incertitudes de mesures élevées sur les intervalles d'intérêt et valident les programmes codés en Arduino ainsi que les circuits électroniques. Des essais en laboratoire et *in situ* sont nécessaires pour valider un système de mesure par capteur (Morawska et al., 2018). Les capteurs validés suite à la première phase sont ensuite mis en place pour le suivi de trois cases lysimétriques (Figure 1). Deux capteurs JSN-SR04 sont utilisés pour le mesurage des volumes d'eau infiltrée et un capteur DHT22 permet d'acquérir les données de température et d'humidité de l'air pour améliorer l'exactitude des mesurages par ultrasons (Fisher, 2012). La teneur en eau du sol et la température sont mesurées par des capteurs SHT20 et DS18B20 placés à 10, 20 et 50 cm de profondeur, au centre des lysimètres. Le microcontrôleur utilisé est une carte Node MCU de Amica, incluant une puce Wi-Fi ESP8366-12E. L'ensemble des capteurs low-cost est doublé par des capteurs traditionnels (sondes 5TM Decagon pour la teneur en eau du sol, thermocouples de type J pour la température du sol et radar VEGA pour la hauteur d'eau), avec une centrale d'acquisition CR1000X (Campbell Scientifique). Figure 1

Les programmes écrits en Arduino utilisent des bibliothèques adaptées aux capteurs choisis et permettent l'envoi en protocole MQTT des valeurs mesurées. L'interface utilisateur est gérée par la plateforme Open Source Thingsboard, installée sur un serveur local. Les données reçues par Wi-Fi sont enregistrées dans une base de données SQL. Un script analyse la hauteur d'eau reçue sur le serveur, et envoie une alerte via la messagerie Telegram (Hanan et al., 2019) afin d'informer les opérateurs de la nécessité de se rendre sur place pour réaliser un prélèvement dans les bidons de collecte.

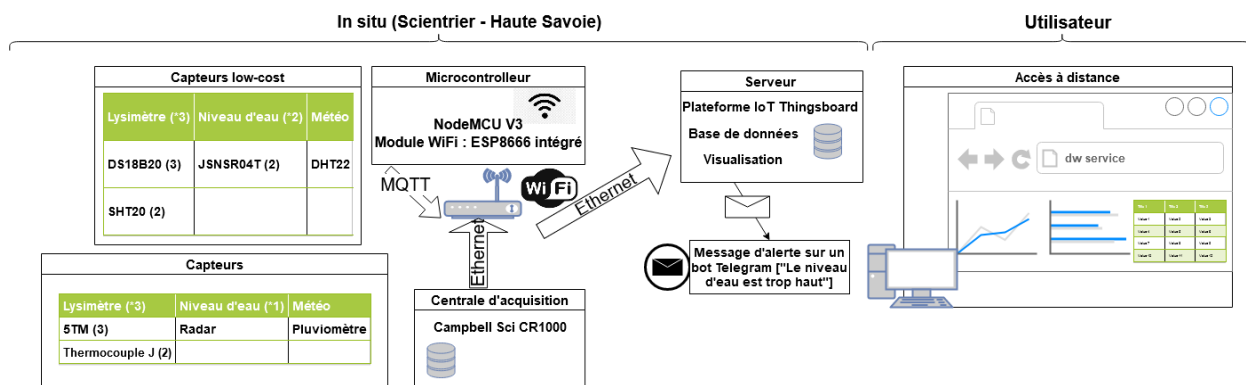


Figure 1 : Dispositif de suivi de trois cases lysimétriques *in situ*.

La méthode de conception et d'évolution du dispositif de suivi est fondée sur un principe de maintenance corrective *in situ*. En effet, étant données les informations limitées disponibles sur le fonctionnement des capteurs low-costs, les circuits sont éprouvés jusqu'au constat d'un dysfonctionnement ou d'une panne du système de mesure.

## Résultats

L'acquisition et la transmission de données ne montrent aucune erreur lors du fonctionnement des cartes de développement. Cependant, le fonctionnement de pompes d'exhaure situées à environ 50 m de distance crée des interférences électromagnétiques au niveau de l'alimentation des microprocesseurs. Des plages de valeurs aléatoires, voire hors des intervalles de mesure des capteurs, sont enregistrées lors du fonctionnement des pompes. Ces dysfonctionnements concernent particulièrement les capteurs SHT20, JSN-SR04 et DS18B20. Ils peuvent trouver leur origine dans la longueur des câbles utilisés (environ 3 mètres) : le signal est alors trop perturbé et la résistance de rappel ne permet plus de le ramener à un niveau logique. Une autre interprétation est que la variation de tension d'alimentation perturbe l'horloge de synchronisation du microcontrôleur qui est nécessaire à (i) la communication I2C utilisée par les SHT20, (ii) la communication 1-Wire utilisée par les DS18B20, (iii) l'analyse du signal reçu par les capteurs ultrasons comme les JSN-SR04. Cette deuxième hypothèse est préférée, car ni la diminution de longueur de câble, ni la modification de la valeur de la résistance de rappel n'ont permis de corriger le dysfonctionnement des DS18B20.

Les capteurs ultrasons JSN-SR04 sont utilisés pour le mesurage du volume d'eau infiltrée *in situ*, en raison de leur étanchéité et de l'absence de dérive au cours du temps. Les tests menés en laboratoire montrent que la position du capteur est un facteur impactant le mesurage. Le cône du capteur ultrason (70 °) et sa zone morte

(25 cm) sont deux caractéristiques qui, lors de son utilisation au sein d'un espace restreint comme les bidons, contraignent fortement sa mise en place et engendrent une forte sensibilité des mesurages à la position angulaire. Entre décembre 2020 et mai 2021, seuls des cycles partiels de remplissage ont pu être acquis en raison de dysfonctionnements. La comparaison avec le capteur radar de référence n'est pas pertinente en raison des fonctionnements hydrologiques différents entre les cases lysimétriques. Néanmoins, les données acquises montrent que la mise en place de ce capteur s'avère contraindre les opérateurs lors des maintenances et prélèvements de l'eau stockée dans les bidons. En effet, les essais en laboratoire ont montré que la reproductibilité des mesurages était médiocre et qu'une faible variabilité de positionnement du couvercle pouvait entraîner une réflexion des ultrasons sur les parois du bidon. Le décentrage du capteur dégrade également les conditions de mesures.

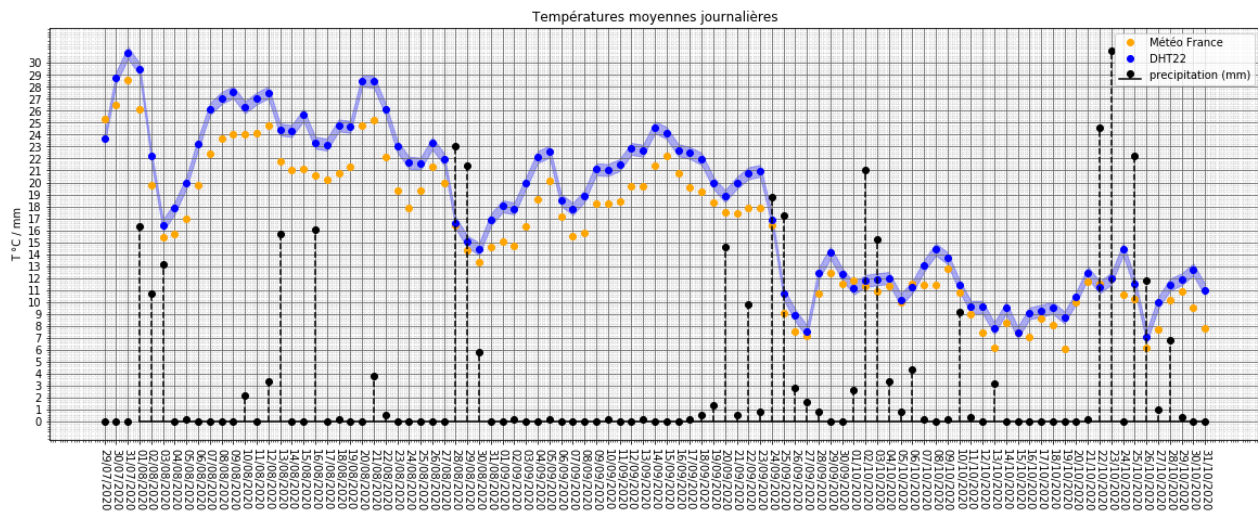


Figure 2 : Comparaison des températures moyennes journalières du capteur dht22 aux données Météo France.

Le capteur DHT22 de température et d'humidité de l'air est utilisé pour la correction des données de conversion du temps de vol des ultrasons en distance. Les données sont filtrées et corrigées a posteriori avec l'équation de Wong et Embleton (1985). Les valeurs mesurées du DHT22, moyennées sur une base journalière, sont comparées aux données de température moyenne journalière locale de Météo France. Sur la plage de température d'intérêt, ici de 0 à 30 °C, les erreurs sur les températures mesurées par le DHT22 augmentent avec la température (Figure 2). Les conditions de mesure *in situ* peuvent induire un biais dû au rayonnement solaire.

Les capteurs SHT20, encapsulés dans un boîtier étanche respirant, ont été sélectionnés pour mesurer la température et l'humidité dans l'air comme dans le sol. Ces capteurs ont montré des résultats peu pertinents pour le mesurage de la teneur en eau du sol (pas de librairie adaptée au cas du sol, mesurages binaires uniquement entre sol sec et sol humide, sensibilité limitée, mesurages *in situ* avec renvoi d'erreur lors d'une augmentation de la teneur en eau due aux précipitations, etc.). Les capteurs SHT20 mesurant également la température, les valeurs sont comparées à celles des capteurs DS18B20 et des thermocouples. Les données des capteurs sont filtrées sur la plage 0-40 °C, pour s'affranchir des interférences dues à l'alimentation des microcontrôleurs. Les valeurs moyennes sur 6 heures sont comparées (Figure 3). Les erreurs sont plus homogènes pour les capteurs placés à 10 cm que pour ceux placés à 20 cm de profondeur. Pour des températures comprises entre 0 et 10 °C, les SHT20 placés à 10 et 20 cm de profondeur montrent des erreurs élevées. Bien que la notice du constructeur donne une incertitude constante de 0.4 °C sur l'intervalle de température 5 – 60 °C pour les SHT20, il est possible que cet intervalle soit restreint et que l'exactitude de mesure soit davantage liée à la température, étant donnée l'exposition aux conditions extrêmes du capteur dans le sol. Des maintenances correctives du dispositif ont été nécessaires afin d'adapter le système aux conditions particulières du terrain, notamment la mise en place d'une alimentation autonome par panneaux solaires des cartes de développement.

A l'issue des essais de terrain, une évaluation du système complet d'acquisition low-cost (microcontrôleur et capteurs) sera réalisée sur les critères suivants : longévité, incertitudes, répétabilité, reproductibilité, résolution, temps de réponse, sensibilité à l'environnement (Cherqui et al., 2019). Des critères complémentaires seront pris en compte : (i) adaptabilité à différents contextes, (ii) facilité de mise en place, (iii) interface utilisateur.

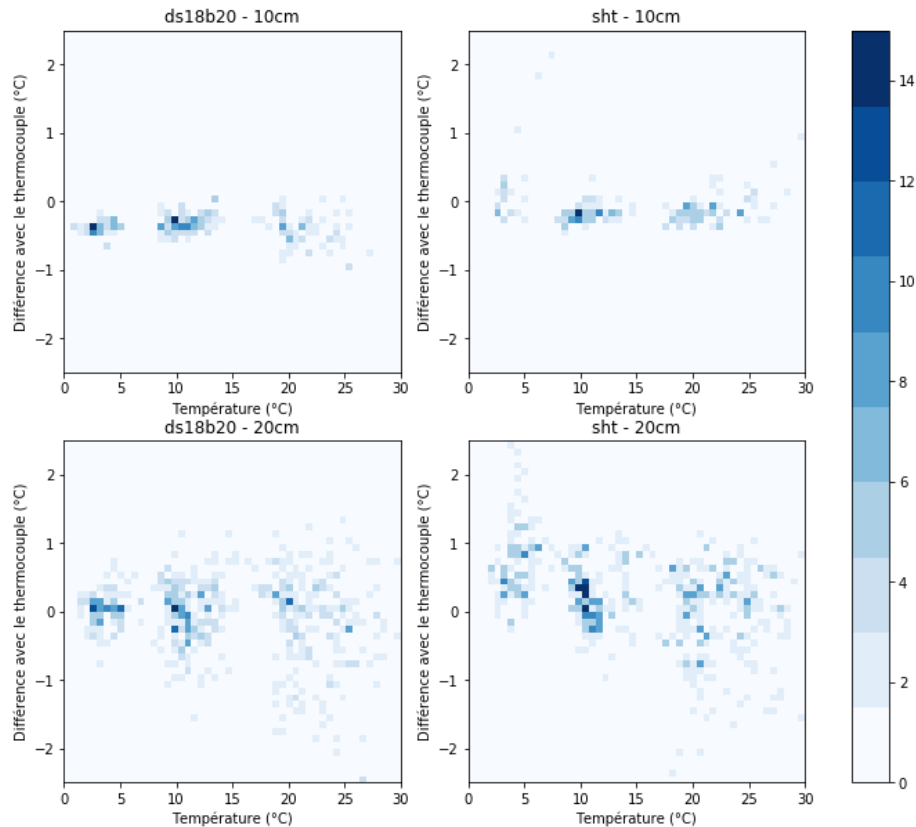


Figure 3 : Comparaison des différences de température entre les thermocouples et les capteurs DS18B20 et SHT20.

## Conclusion

Cette approche par systèmes low-cost est transposable à d'autres contextes en hydrologie urbaine, comme le suivi des ouvrages de techniques alternatives (Montserrat et al., 2013) ou la prévention du risque d'inondation (Hassan et al., 2019; Abarca et al., 2018). La gestion des données facilitée par l'interface utilisateur et la programmation d'alertes apportent des possibilités de surveillance d'ouvrage par les gestionnaires ainsi qu'une possibilité de déploiement d'un réseau de mesure à faible coût.

## Références

- Abarca, M.C., Barquero, A.R., Garita, C., and Ortiz, G. (2018). Preliminary Design of a Low-cost Water Level Monitoring System for Bridges. *Proceedings of 2018 IEEE - 38th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVIII)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CONCAPAN.2018.8596666>.
- Cherqui, F., Szota, C., James, R., Poelsma, P., Perigaud, T., Burns, M.J., Fletcher, T.D., and Bertrand-Krajewski, J.-L. (2019). Toward Proactive Management of Stormwater Control Measures Using Low-Cost Technology. *Proceedings of Novatech 2019*, Lyon, France, 01-05 July, 4 p.
- Hanan, Gunawan, A.A.N., and Sumadiyasa, M. (2019). Water Level Detection System Based on Ultrasonic Sensors HC-SR04 and ESP8266-12 Modules with Telegram and Buzzer Communication Media. *Instrumentation Mesure Métrologie* 18 (3): 305-9. <https://doi.org/10.18280/i2m.180311>.
- Hassan, W., Jidin, A.K., Che Aziz, S.A., and Rahim, N. (2019). Flood Disaster Indicator of Water Level Monitoring System. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)* 9 (3): 1694-99. <https://doi.org/10.11591/ijece.v9i3.pp1694-1699>.
- Montserrat, A., Gutierrez, O., Poch, M., and Corominas, L. (2013). Field Validation of a New Low-Cost Method for Determining Occurrence and Duration of Combined Sewer Overflows. *Science of The Total Environment* 463-464: 904-12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.010>.
- Morawska, L., Thai, P.K., Liu, X., Asumadu-Sakyi, A., Ayoko, G., Bartonova, A., Bedini, A. et al. (2018). Applications of Low-Cost Sensing Technologies for Air Quality Monitoring and Exposure Assessment: How Far Have They Gone? *Environment International* 116: 286-99. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.018>.
- Morris, A.S., and Langari, R. (2012). Chapter 17 - Level Measurement. In Morris, A.S., and Langari, R. (Eds.), *Measurement and Instrumentation*. Boston (USA): Butterworth-Heinemann, 461-75. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381960-4.00017-6>.
- Wong, G.S.K., and Embleton, T.F.W. (1985). Variation of the speed of sound in air with humidity and temperature. *The Journal of the Acoustical Society of America* 77 (5): 1710-12. <https://doi.org/10.1121/1.391918>.