



**HAL**  
open science

## **Suivi en continu d'un système photovoltaïque de pompage pour l'accès à l'eau potable au Burkina Faso**

Ange Sahuquet, Simon Meunier, Judith A. Cherni, Arouna Darga, Séverin Darga, Matthias Heinrich, Thomas Vezin, Loïc Quéval

### ► **To cite this version:**

Ange Sahuquet, Simon Meunier, Judith A. Cherni, Arouna Darga, Séverin Darga, et al.. Suivi en continu d'un système photovoltaïque de pompage pour l'accès à l'eau potable au Burkina Faso. Conférence des Jeunes Chercheurs en Génie Electrique (JCGE 2024), Jun 2024, Le Croisic, France. <hal-05018020>

**HAL Id: hal-05018020**

**<https://hal.science/hal-05018020v1>**

Submitted on 2 Apr 2025

**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.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

# Suivi en continu d'un système photovoltaïque de pompage pour l'accès à l'eau potable au Burkina Faso

Ange Sahuquet<sup>1,2</sup>, Simon Meunier<sup>1,2</sup>, Judith A. Cherni<sup>3</sup>, Arouna Darga<sup>1,2</sup>,  
Séverin Darga<sup>4</sup>, Matthias Heinrich<sup>5</sup>, Thomas Vezin<sup>6</sup>, Loïc Quéval<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, GeePs, 91192 Gif-Sur-Yvette, France

<sup>2</sup>Sorbonne Université, CNRS, GeePs, 75252 Paris, France

<sup>3</sup>Centre for Environmental Policy, Imperial College London, London SW7 2AZ, United Kingdom

<sup>4</sup>DargaTech SARL, Ouagadougou, Burkina Faso

<sup>5</sup>COSYS-GRETTIA, Université Gustave Eiffel, Marne-la-Vallée, France

<sup>6</sup>Institut Photovoltaïque d'Ile de France, UMR-IPVF 9006, CNRS, Ecole Polytechnique IPP, ENSCP PSL, Palaiseau, France  
*ange.sahuquet@centralesupelec.fr*

**RESUME** – Cette étude présente l'application d'un système d'acquisition de données (DAS) dans le village de Gogma au Burkina Faso. Le DAS est utilisé pour le suivi en continu d'un système photovoltaïque de pompage d'eau potable (PVWPS). Le DAS a permis une collecte continue de données (irradiance, températures, débits, courant et tension des modules photovoltaïques) sur une période de cinq ans. L'implémentation de systèmes de suivi permet d'évaluer les performances des PVWPS et d'assurer un suivi détaillé de l'accès à l'eau potable dans un contexte rural isolé. Cependant, des problèmes de logistique et des coûts élevés liés à cette méthode de suivi ont été détectés. Ainsi, bien que ce système de suivi en continu permette des bénéfices clairs en termes de recherche scientifique, il se peut qu'il ne soit pas adapté à un suivi plus pratique et opérationnel des PVWPS. En réponse, une approche alternative, basée sur une campagne de mesure par intervalle par un technicien spécialisé formé avec des actions concrètes à réaliser, a été envisagée pour continuer à suivre l'état de santé des PVWPS tout en réduisant les coûts et les contraintes logistiques.

**ABSTRACT** – This study presents the application of a data acquisition system (DAS) in the village of Gogma in Burkina Faso. The DAS is used for continuous monitoring of a photovoltaic water pumping system (PVWPS) for domestic water use. The DAS was deployed in the village of Gogma, enabling continuous data collection (irradiance, temperatures, flow rates, current and voltage of photovoltaic modules) over five years. The implementation of monitoring systems allows for the evaluation of PVWPS performance, and detailed monitoring of access to clean water in a remote rural context. However, logistical and financial challenges related to the continuous operation of the DAS have been highlighted. Thus, while this continuous monitoring system offers clear benefits in terms of scientific research, it may not be suitable for a more practical and operational monitoring of PVWPS. Therefore, an alternative approach, based on periodic interventions by a trained operator, has been considered to ensure monitoring while reducing costs and logistical constraints.

**MOTS-CLES** – système photovoltaïque de pompage d'eau ; système d'acquisition de données ; monitoring à long terme ; accès à l'eau potable ; soutenabilité

## 1. Introduction

En 2015, l'ONU a adopté les 17 objectifs de développement durable, le sixième visant à assurer un accès universel à une eau salubre d'ici 2030 [1]. Malgré les efforts déployés, en 2022, près de 300 millions de personnes continuent de puiser leur eau à partir de sources à risque, telles que des puits non protégés ou des sources de surface exposées [2]. Ce phénomène est réparti de manière inégale à travers le monde. En Afrique subsaharienne, le taux d'accès à une source d'eau salubre est en moyenne plus de deux fois inférieur à celui observé dans le reste du monde [3]. De plus, cette problématique concerne principalement les zones isolées, 80% des personnes sans accès à une source d'eau salubre vivant en milieu rural [3]. Dans ce contexte, les systèmes photovoltaïques de pompage d'eau (PVWPS) sont une solution pertinente pour améliorer l'accès à l'eau salubre pour un usage domestique (eau potable, cuisine, hygiène et lessive) [4]. Les PVWPS présentent un coût sur cycle de vie compétitif [5], nécessitent peu de maintenance et possèdent une durée de vie importante (~20 ans) [6].

Le suivi de ce type de système constitue un enjeu majeur. La collecte de données techniques sur un système permet notamment de mesurer ses performances, de garantir son bon fonctionnement et de détecter d'éventuels défauts, sans compromettre l'accès à l'eau potable pour ses utilisateurs. Idéalement, le coût du monitoring ne doit présenter qu'une petite fraction du coût total du système. La solution majoritairement adoptée pour réaliser le suivi d'un PVWPS (lorsque celui-ci est effectué) est la mise en place d'un système d'acquisition de données (DAS) lors de l'installation du PVWPS et la collecte de données en continu sur ce PVWPS [7][8][9][10]. Cependant, à notre connaissance, aucune étude ne présente d'informations sur le monitoring des PVWPS au-delà de quelques jours et ne fait un retour d'expérience pratique sur l'implémentation et le fonctionnement des DAS.

Dans le cadre de cet article, nous présentons le DAS déployé sur le PVWPS du village de Gogma au Burkina Faso en janvier 2018. Cette étude représente une première, avec des mesures expérimentales recueillies sur une période supérieure à 5 ans, pour un PVWPS destiné à l'accès à l'eau domestique dans un village rural d'Afrique sub-saharienne. Les objectifs de cet article sont de :

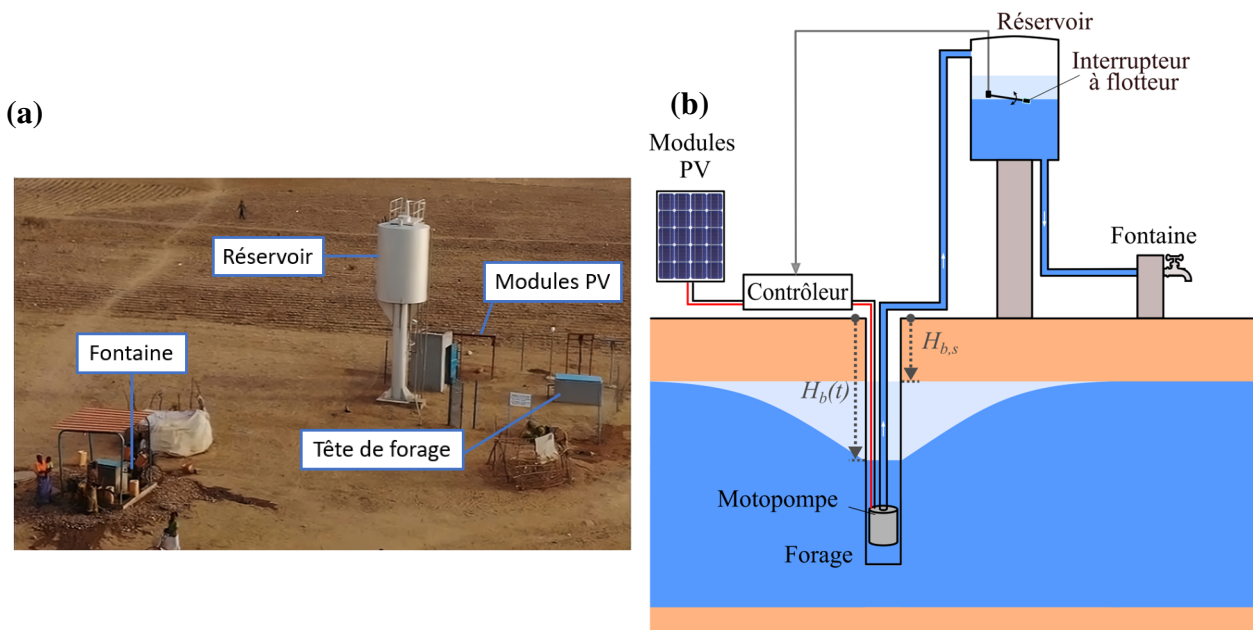
- faire un retour d'expérience, après plusieurs années d'opération, sur la mise en place d'un système d'acquisition de données sur un système de pompage solaire réel (voir section 2).
- montrer ce que de telles données collectées peuvent permettre du point de vue de la recherche académique (voir section 3).
- avoir un regard critique et ouvrir la réflexion sur la difficulté et l'utilité de mettre en place un tel système de monitoring en continu pour des systèmes de pompage en zones rurales isolées, dans une perspective opérationnelle et non de recherche (voir section 4).

## 2. Mise en place d'un système d'acquisition de données sur un PVWPS réel.

Dans la section 2.1, nous présentons le cas d'étude du PVWPS de Gogma, sur lequel nous avons implémenté un système d'acquisition de données (DAS) décrit dans la section 2.2. Enfin, dans la section 2.3, nous rendons compte de notre retour d'expérience.

### 2.1. Cas d'étude : le PVWPS de Gogma

Au sein du village isolé de Gogma (Lat. : 11,73, Lon. : -0,58) au Burkina Faso, peuplé de 1100 habitants, un système de pompage solaire d'eau (PVWPS) a été inauguré en janvier 2018. La Figure 1a montre l'implémentation réelle du système. Une vidéo du village et du PVWPS est aussi disponible au lien suivant : <https://youtu.be/VrjM0edKVsl>. Ce système comprend des modules photovoltaïques polycristallins d'une puissance totale de 620 W<sub>c</sub>, une motopompe SQFlex 5A-7 de Grundfos, et un réservoir d'une capacité de 11,4 m<sup>3</sup>. Chaque jour, environ 7 m<sup>3</sup> d'eau sont consommés sur ce site [6][11]. Le forage, d'un diamètre de 0,11 m, a une profondeur de 56 m, et la pompe est positionnée à une profondeur de 30 m. La Figure 1b présente un schéma de l'architecture du système installé. Les modules PV alimentent la motopompe dont l'onduleur est contrôlé avec une stratégie de Maximum Power Point Tracking (MPPT) afin d'extraire l'eau du forage. Cette eau est ensuite stockée dans le réservoir, et rendue accessible aux utilisateurs via une fontaine.



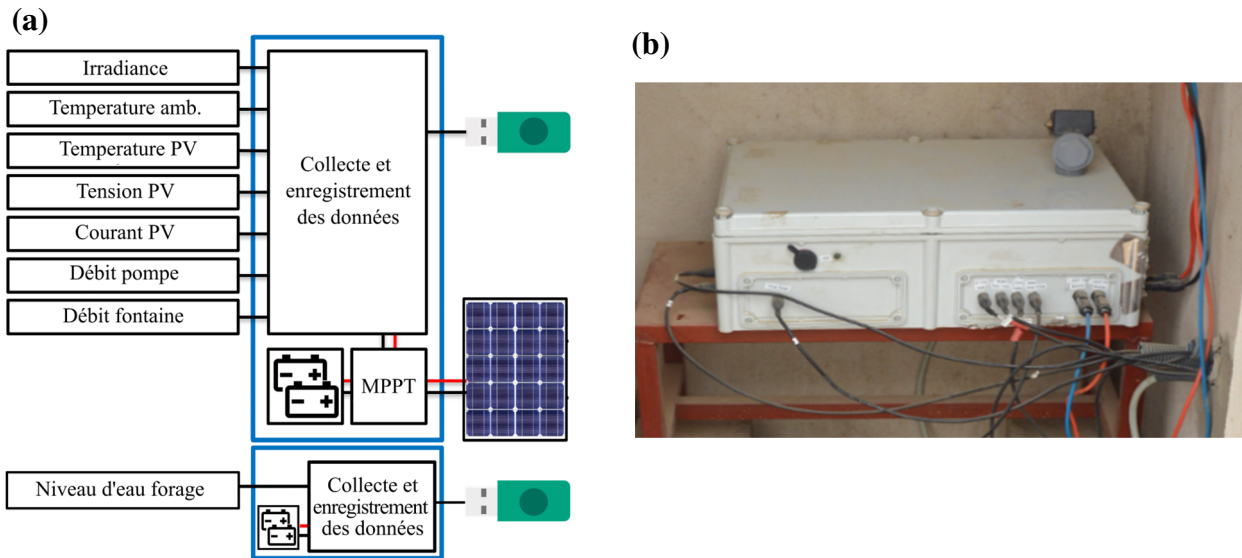
### 2.2. Système de monitoring et données

Un DAS a été installé en décembre 2017 lors de la phase d'installation du PVWPS de Gogma. Son architecture est présentée sur la Figure 2. Il est composé de 7 capteurs comprenant un capteur d'irradiance, un capteur de courant, un capteur de tension, deux capteurs de température et deux capteurs de débit (voir Tableau 1 en annexe). Ces capteurs sont connectés à un Raspberry Pi 3 Model B. Il est alimenté par deux batteries au plomb de 12 Ah chacune et de modules photovoltaïques d'une puissance totale de 100 W<sub>c</sub>, le tout contrôlé par un convertisseur MPPT. Cela permet une alimentation continue du DAS, indépendante du PVWPS. Les composants du DAS ont été sélectionnés selon des critères de prix, de disponibilités sur le lieu d'installation et de performance technique (fiabilité, précision, fréquence d'acquisition, etc.). Ce DAS nous permet de collecter et d'enregistrer des données avec un pas de temps de ~2,2 s. Le système d'acquisition de données enregistre les données transmises par les différents capteurs sur une clé USB.

En février 2019, un capteur de pression hydrostatique indépendant a été ajouté pour mesurer le niveau d'eau dans le forage. C'est un capteur autonome avec batterie et interface de collecte de données intégrés. Le niveau d'eau dans le forage est mesuré avec

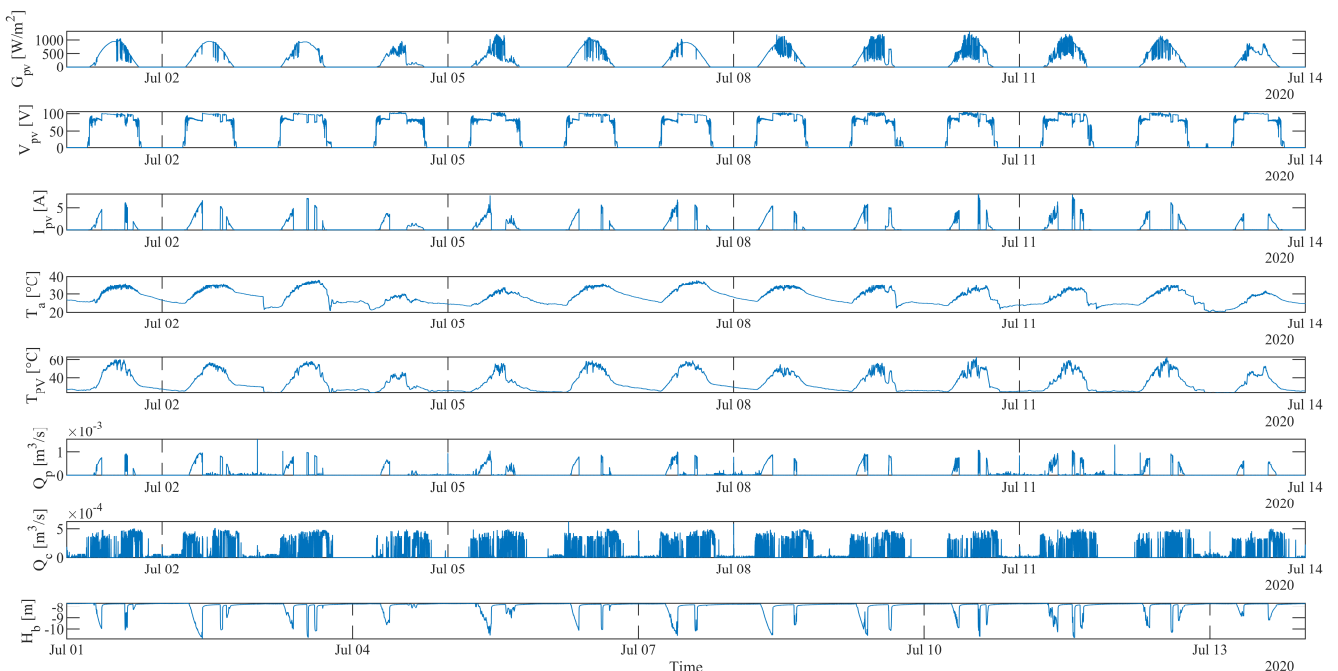
un pas de temps de 1 minute. Toutes les deux semaines, un opérateur se déplace à Gogma pour récupérer les données du DAS et du capteur hydrostatique, puis les transmet à notre équipe de recherche. La raison de ce choix est discutée dans la section 2.3.

Dans le cadre de cet article nous considérons un jeu de données allant de la date d'installation des capteurs (14 janvier 2018 ou 8 février 2019 selon les capteurs) au 22 décembre 2022. Le Tableau 1 en annexe récapitule pour chaque quantité mesurée : le capteur utilisé, la date de début de la collection de données, le taux de disponibilité des données ainsi que le coût du capteur. Pour des raisons de commodité, toutes les données mesurées ont été ramenées à une résolution temporelle de 1 minute par interpolation au plus proche voisin.



**Figure 2 (a) Architecture du système d'acquisition de données et (b) son implémentation**

Sur la Figure 3, nous présentons un exemple de jeu de données sur une période de 14 jours, entre le 1<sup>er</sup> et le 14 juillet 2020. Nous pouvons observer l'évolution des différentes grandeurs mesurées grâce au DAS : l'irradiance  $G_{pv}$ , la tension  $V_{pv}$ , le courant  $I_{pv}$ , la température ambiante  $T_a$ , la température des modules PV  $T_{pv}$ , le débit de pompage  $Q_p$ , le débit de la fontaine  $Q_c$  et le niveau d'eau dans le forage  $H_b$ . À partir de ces données, des informations intéressantes sur le fonctionnement du PVWPS peuvent être extraites. Cette base de données unique, fournit des informations pour d'étudier la performance, la durabilité et l'impact socio-économique du pompage d'eau photovoltaïque en Afrique subsaharienne et pour l'accès à l'eau pour un usage domestique. En outre, cette base de données peut également être utile pour d'autres études liées aux systèmes photovoltaïques dans les villages ruraux d'Afrique subsaharienne (voir par exemple [12]).



**Figure 3 – Exemple de jeu de données collecté via le DAS**

## 2.3. Retour d'expérience

### 2.3.1 Conception, fabrication, tests et installation du système d'acquisition de données

Pour assurer une conception adaptée du système d'acquisition de données (DAS) à son environnement d'implémentation, il a fallu effectuer plusieurs choix de conception importants, dont nous présentons ici quelques exemples. Il a fallu choisir l'architecture et dimensionner le système d'alimentation, avec notamment pour objectif de trouver une solution économique, avec une technologie disponible sur place. Le DAS a aussi été conçu pour assurer une étanchéité maximale et répondre aux contraintes locales en température. Les caractéristiques d'acquisition telles que la résolution temporelle et le choix des capteurs en fonction de leur fréquence d'acquisition ont été d'une importance cruciale pour répondre aux exigences du cahier des charges. La phase de conception et fabrication du système d'acquisition de données a duré trois mois et a nécessité l'implication à temps plein d'une personne au sein du laboratoire GeePs, ainsi que la contribution de plusieurs personnes pour certains aspects spécifiques tel que la conception des circuits imprimés, par exemple.

Une fois la fabrication du DAS achevée, nous avons ensuite calibré les capteurs et effectué une série de tests au laboratoire pour identifier d'éventuels défauts. Cela a duré 4 jours. Nous avons aussi développé un protocole d'installation et de mise en service avant l'implémentation du DAS sur le PVWPS de Gogma.

Le matériel a été transporté sur le site du village de Gogma, en prenant en compte pragmatiquement les périodes propices à l'installation du DAS sur le PVWPS. Par exemple, l'installation des capteurs de débit (intrusifs) ne pouvait se faire que lors de la pose des tuyaux d'eau du système (entre la motopompe et le réservoir et entre le réservoir et la fontaine). Après l'installation du PVWPS et du DAS, de nouveaux tests ont été réalisés et comparés aux résultats obtenus en laboratoire. Des ajustements, tant matériels que logiciels, ont dû être effectués à ce moment-là. Le DAS a été mis en service en janvier 2018, juste après la mise en service du PVWPS de Gogma.

### 2.3.3 Collecte et traitement des données

Afin d'assurer un suivi régulier du PVWPS de Gogma, une procédure de collecte et de traitement des données du DAS a été mise en place. La méthode de transmission de données a été une étape importante à prendre en compte dans cette procédure. Nous avons choisi une méthode de transmission manuelle (USB) parmi les méthodes existantes (ex : GSM) considérant que les réseaux de télécommunication sont trop instables à Gogma, rendant l'envoi de données par internet ou le réseau téléphonique trop incertain. La procédure de transmission de données se décompose de la manière suivante :

- Les données collectées par les différents capteurs sont enregistrées toutes les ~2,2 s sur l'espace de stockage du DAS. Les données du capteur de pression hydrostatique sont enregistrées de manière indépendante toutes les minutes.
- Toutes les deux semaines, un opérateur se déplace sur site depuis le village voisin afin de récolter les données avec une clé USB et les transférer sur son ordinateur. Un indicateur lumineux placé près du port USB du DAS indique lorsque les données sont correctement chargées sur la clé afin d'éviter une erreur de manipulation à cette étape.
- L'opérateur dépose ensuite ces données sur un espace de stockage partagé accessible en ligne par notre équipe de recherche.
- Un membre de notre équipe lance alors un code Matlab pour effectuer le pré-traitement des données et détecter d'éventuels problèmes (ex : trous de données, valeurs incohérentes). Les données sont alors mises à disposition pour des analyses approfondies dans le cadre de nos recherches.

En pratique, la chaîne de transmission des données, depuis leur acquisition jusqu'à leur analyse, peut rencontrer diverses difficultés. En particulier, les multiples interventions humaines sont sources d'erreurs. Les données sont parfois collectées de façon irrégulière, les ressources humaines dédiées au pré-traitement et à l'analyse des données ne sont pas toujours constantes, et le temps nécessaire à ces tâches est significatif. Dans ce contexte, simplifier davantage la procédure reste toutefois difficile.

### 2.3.4 Maintenance

Depuis son lancement en janvier 2018, le système d'acquisition de données (DAS) a connu plusieurs défauts : trois défauts d'alimentation et trois pannes de capteurs. À noter que l'identification des défauts n'est pas automatique, et se fait en pratique lors de la phase d'analyse des données. Une fois un défaut caractérisé, la procédure de maintenance suit les étapes suivantes :

- L'opérateur est dépêché sur site pour le défaut identifié.
- La réponse technique est préparée à distance afin de corriger le défaut en limitant le nombre d'opérations nécessaires.
- Un technicien spécialisé se rend sur place pour résoudre le problème.
- Une phase de test et d'analyse de données est effectuée pour valider le bon fonctionnement du système.

Le laps de temps entre la détection du défaut et sa correction varie de quelques jours à quelques semaines. Les périodes d'indisponibilité des capteurs sur le DAS de Gogma (cf. Tableau 1 en annexe) s'expliquent par cette période de latence, parfois prolongée en raison de contraintes logistiques. Afin de minimiser les pertes de données, des procédures de maintenance préventives ont été instaurées, comme le changement régulier des batteries.

### 2.3.5 Coût global du DAS

La répartition des coûts associés au système d'acquisition de données sont présentés dans la Figure 4. Au total, sur la période de 5 ans (janvier 2018 - décembre 2022), le DAS installé sur le PVWPS de Gogma aura coûté 6100 € (35% pour la fabrication

et l'installation, 45% pour assurer la collecte et 20% pour la maintenance), soit 17,2% du coût sur cycle de vie du PVWPS [6]. Malgré nos efforts afin de limiter le coût du DAS, la part qu'il représente sur le coût global du PVWPS reste élevé. Cet aspect peut représenter un frein pour l'implémentation de ce type de système de suivi par un acteur local (ex : ONG). Il est à noter que le coût de conception n'est pas comptabilisé dans ce total, mais pourrait être estimé à ~45000 €. Il faut cependant considérer que dans la réalité d'une mise en place de ce type de système sur plusieurs PVWPS, une économie d'échelle permettrait de lisser ce coût. C'est pour cela que nous avons décidé de ne pas le comptabiliser dans le coût total du DAS rapporté ici.

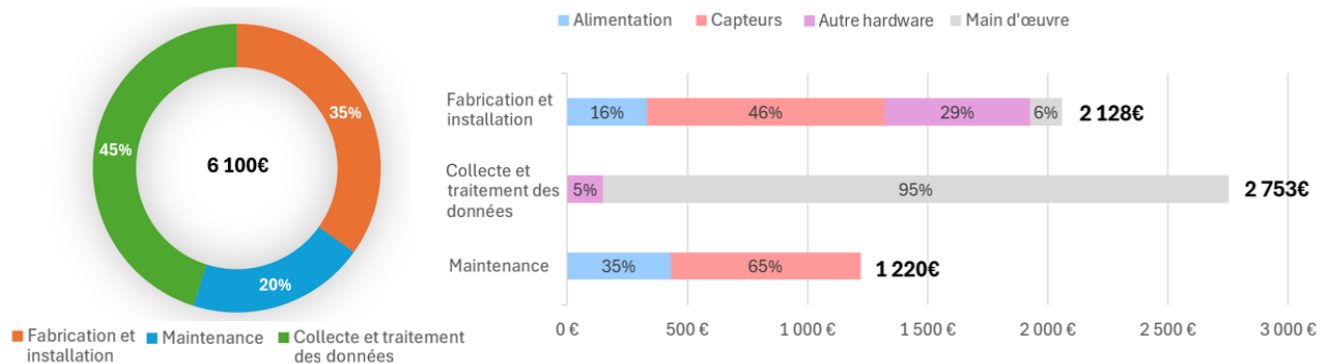


Figure 4 - Répartition des coûts associés au DAS

### 3. Utilisation du système d'acquisition de données à des fins de recherche scientifique

#### 3.1 Exemples d'exploitation scientifique des données collectées

La grande disponibilité et la qualité des données collectées par le système d'acquisition de données (DAS) de Gogma nous ont permis de réaliser de nombreux travaux de recherche sur les systèmes photovoltaïques de pompage d'eau et leur durabilité (ex : [4][12][13]). Par exemple, ces données nous ont aidés à développer un outil de détection du nettoyage des modules photovoltaïques par *machine learning* [12], une routine de maintenance essentielle pour assurer la pérennité des PVWPS. Les signaux de tension, courant et température des modules étaient utilisés pour détecter les nettoyages et quatre algorithmes de *machines learning* ont été testés (*Logistic regression*, *Support vector machines*, *Artificial neural networks* et *Random forest*). *Random forest* fournissait les meilleures performances, permettant de détecter les nettoyages avec une précision de 97% [12].

Aussi, les données collectées de débit et de niveau d'eau au sein du forage nous ont permis de proposer un protocole de diagnostic de l'état de santé du forage des PVWPS [13]. En effet, la mesure de tels paramètres sur un système réel nous a permis de valider l'idée qu'un protocole réaliste pouvait être proposé afin d'évaluer à moindre coût l'évolution de la dynamique hydraulique du forage, sans interrompre le fonctionnement du système, et ainsi prévenir une sur-extraction des ressources en eau souterraine.

Nous effectuons actuellement des travaux basés sur les données collectées par le DAS, qui permettent d'étudier l'évolution du volume d'eau quotidien consommé par les utilisateurs du PVWPS et de corrélérer ces données avec les résultats des études socio-économiques (enquêtes ménages) que nous menons en parallèle. L'étude de l'évolution du volume sur le long terme (plusieurs années) est notamment essentielle pour évaluer la faisabilité d'une adaptation progressive du dimensionnement des PVWPS en fonction des besoins en eau, tout en respectant la soutenabilité des ressources.

#### 3.2 Pertinence des choix de conception effectués pour le système d'acquisition de données dans un objectif de recherche.

L'examen des décisions de conception prises pour le système d'acquisition de données, dans le contexte d'un objectif de recherche scientifique, nous permet de formuler les conclusions suivantes :

- Le **choix des capteurs** s'est révélé pertinent et exhaustif. Bien que l'ajout d'un capteur de niveau d'eau dans le réservoir puisse être envisagé, il n'est pas indispensable, car ce niveau d'eau peut être calculé à partir des débits pompés  $Q_p$  et collectés  $Q_c$ , tous deux mesurés.
- Le **pas de temps d'acquisition** de 2.2 secondes s'est avéré suffisant et pertinent. A date, il n'a en effet jamais constitué une limitation et a permis la détection de phénomènes subtils, tels que le nettoyage des panneaux, qui ne dure que quelques minutes [12].
- Concernant la **disponibilité des données**, même si nous avons dû faire face à certaines interruptions (voir section 2), elle nous a tout de même permis de travailler sur des périodes continues de plusieurs semaines sans interruption. Comparativement aux autres études scientifiques, notre suivi sur une période aussi prolongée d'un PVWPS en zone rurale isolée est unique, bien que le maintien de cette disponibilité à long terme soit un défi notamment logistique.
- Enfin, malgré le **coût** non négligeable du système (voir section 2.3.5), celui-ci reste abordable dans le cadre du budget d'un laboratoire. Il est cependant nécessaire de toujours s'assurer d'avoir un fond de roulement pour pouvoir financer la collecte régulière des données.

## 4. Discussion sur l'utilisation du monitoring en continu pour des problématiques pratiques (hors recherche) et perspective d'une solution alternative

Les systèmes d'acquisition de données mis en place lors de la phase d'installation du PVWPS semblent être la solution adoptée « par défaut » pour le monitoring des systèmes photovoltaïques de pompage d'eau, lorsque ceux-ci sont monitorés. Certes ils offrent des avantages indéniables pour évaluer les performances sur une période donnée, notamment dans le cadre de travaux de recherche ou de rapports d'expertise. Cependant, leur mise en œuvre sur le long terme pose des défis logistiques, financiers et de ressources humaines, en particulier dans les zones rurales isolées.

Néanmoins, la remontée de données de terrain pour les PVWPS est primordiale afin d'assurer la continuité d'opération du système pour l'accès à l'eau domestique et la soutenabilité des ressources en eau souterraines. Il peut donc être pertinent d'envisager une solution de monitoring alternative. Dans cette perspective, une approche pourrait être la mise en place d'un monitoring par intervalle, avec des interventions annuelles ou bi-annuelles effectuées sur site par un technicien spécialisé. Il serait spécifiquement formé à cette procédure. Cet opérateur pourrait d'ailleurs assurer le monitoring de plusieurs PVWPS dans la même zone géographique, permettant ainsi la mutualisation des équipements et des procédures, générant des économies d'échelle. La durée d'intervention pourrait être de l'ordre de la journée [13]. Durant cette journée, il serait possible de collecter des données souvent directement disponibles sur place (ex : informations disponibles issues des motopompes de certains constructeurs, relevé de compteur d'eau). Des données additionnelles pourraient aussi être collectées par l'intermédiaire d'un DAS portable et de capteurs peu ou pas invasifs (ex : capteurs de courant de type pince ampèremétrique, capteur de tension de type résistif, débitmètre de type ultrasonique). Ce DAS devrait être adaptable à une large gamme de PVWPS.

Il est aussi nécessaire que les données collectées soient implémentées dans un algorithme permettant de calculer des indicateurs de santé simples à interpréter par l'opérateur. On pourrait notamment penser à des indicateurs spécifiques pour la partie hydraulique et d'autres pour la partie électrique du système. Un tel protocole permettrait potentiellement de répondre aux problématiques rencontrées sur un système de monitoring en continu usuel tout en fournissant des informations pertinentes sur l'état de santé du PVWPS. Cette nouvelle approche possible constituera l'objet de futurs travaux de recherche afin notamment d'étudier sa faisabilité à large échelle.

## 5. Conclusion

Cette étude a présenté l'application d'un système d'acquisition de données (DAS) pour le monitoring d'un système photovoltaïque de pompage d'eau (PVWPS) potable au Burkina Faso. À travers l'implémentation du DAS sur le PVWPS du village de Gogma, des données techniques ont été collectées sur une période de cinq ans, représentant une avancée significative dans la compréhension du fonctionnement de tels systèmes en contexte rural africain. Les résultats ont permis d'évaluer les performances du PVWPS et d'assurer le suivi continu de l'accès à l'eau potable dans le village.

Cependant, malgré l'intérêt d'un tel système dans un cadre de recherche scientifique, la mise en place et le maintien du DAS ont révélé des défis logistiques, financiers, et humains, soulignant la complexité du suivi en continu à long terme dans des environnements isolés. Des défauts tels que des pannes de capteurs ont nécessité une maintenance proactive, impliquant des déplacements sur site et des temps d'indisponibilité du DAS. Le coût global du DAS a été évalué à 17,2% du prix total du PVWPS sur la période considérée.

Dans le but de continuer à suivre l'état de santé des PVWPS (dans un cadre opérationnel et non de recherche scientifique) tout en minimisant les contraintes, une perspective alternative a été envisagée. En effet, une approche basée sur des interventions annuelles ou bi-annuelles par un opérateur formé pourrait permettre la collecte périodique de données et le calcul régulier d'indicateurs de santé du PVWPS, tout en réduisant les coûts et les complexités associés à un monitoring en continu. Dans nos futurs travaux, nous allons davantage investiguer cette possible approche.

## 6. Remerciements

Nous remercions l'association EFDS et la communauté de Gogma pour leur collaboration significative dans le cadre de ces travaux de recherche.

## Références

- [1] United Nation, "Développement Durable : Garantir l'accès de tous à l'eau," 2023. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/water-and-sanitation/> (accessed: Feb. 19, 2024).
- [2] WHO, "Eau potable.," 2023. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water> (accessed: Feb. 21, 2024).
- [3] UN-Water, "UN-Water, 2021: Summary Progress Update 2021 – SDG 6 – water and sanitation for all. Version: July 2021. Geneva, Switzerland.," 2021. [https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/12/SDG-6-Summary-Progress-Update-2021\\_Version-July-2021a.pdf](https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/12/SDG-6-Summary-Progress-Update-2021_Version-July-2021a.pdf) (accessed: Feb. 16, 2024).
- [4] S. Meunier et al., "Modelling and Optimal Sizing of Photovoltaic Water Pumping Systems – Sensitivity Analysis." 2019 Fourteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), May 2019, MonteCarlo, France. doi: 10.1109/EVER.2019.8813580ff.

- [5] A. Nikzad et al., “Technical, economic, and environmental modeling of solar water pump for irrigation of rice in Mazandaran province in Iran: A case study,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 239, art. 118007, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118007.
- [6] S. Meunier, “Optimal design of photovoltaic water pumping systems for rural communities – a technical, economic and social approach,” PhD thesis, Université Paris Saclay, 2019.
- [7] G. Merino et al., “Monitoring and Evaluation of a Direct Coupled Photovoltaic Pumping System,” *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 24, May 2008, doi: 10.13031/2013.24495.
- [8] O. Ahmed et al., “Remote Monitoring, Control and Data Visualization for a Solar Water Pumping System,” *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 7, Oct. 2023, doi: 10.24018/ejece.2023.7.5.552.
- [9] G. Li, Y et al., “Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system – A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 79, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.055.
- [10] A. Mahjoubi et al., “Data Acquisition System for Photovoltaic Water Pumping System in the Desert of Tunisia,” *Procedia Engineering*, vol. 33, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.proeng.2012.01.1204.
- [11] C. Soenen et al., “Comparison of Tank and Battery Storages for Photovoltaic Water Pumping,” *Energies*, vol. 14, art. 2483, Apr. 2021, doi: 10.3390/en14092483.
- [12] M. Heinrich et al., “Detection of cleaning interventions on photovoltaic modules with machine learning,” *Applied Energy*, vol. 263, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114642.
- [13] A. Sahuquet et al., “Essais de pompage photovoltaïque : un outil de surveillance des systèmes photovoltaïques de pompage d'eau”, Symposium de Génie Electrique (SGE), Lille, France, July 2023.

## 7. Annexe

**Tableau 1 – Informations sur le système d'acquisition de données de Gogma**

Quantité mesurée	Référence du capteur utilisé	Date de début de la collection de données	Disponibilité des données*	Coût du capteur
Irradiance dans le plan des modules PV $G_{pv}$ [W/m <sup>2</sup> ]	Solems RG100	14 Jan. 2018	89%	60 €
Tension des modules PV $V_{pv}$ [V]	LEM LV 25P	14 Jan. 2018	89%	60 €
Courant des modules PV $I_{pv}$ [A]	LEM LA 55P	14 Jan. 2018	89%	21 €
Température ambiante $T_a$ [°C]	RS Pro PT1000	14 Jan. 2018	77%	9 €
Température des modules PV $T_{pv}$ [°C]	RS Pro PT1000	14 Jan. 2018	89%	9 €
Débit de pompage $Q_p$ [m <sup>3</sup> /s]	HaiLuilai YF-DN40	14 Jan. 2018	89%	20 €
Débit de la fontaine $Q_c$ [m <sup>3</sup> /s]	HaiLuilai YF-DN40	14 Jan. 2018	89%	20 €
Niveau d'eau dans le forage $H_b$ [m]	DCX-22-SG	08 Fév. 2019	53%	790 €

\* : pour chaque capteur, la disponibilité a été calculé sur une période allant de la date de début de la collection de données au 17 décembre 2022