

## Gestion intelligente d'une station de pompage photovoltaïque située dans la région d'Agadir

### [ Smart management of a photovoltaic pumping station located in the Agadir region ]

L. Elmahni<sup>1</sup>, L. Bouhouch<sup>2</sup>, and A. Moudden<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LMTI, Département de Physique, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc

<sup>2</sup>ERTAIER, Ecole Supérieure de Technologie d'Agadir (ESTA), Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc

---

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The term Smart-Grids, literally "Smart Grid" in the case of electrical networks can be extended to smart water networks. Indeed, thanks to systems using ICT (information technology and communications), network management becomes distributed and bidirectional. In this context, this paper discusses the design and implementation of an intelligent water meter and communicating at low cost. This counter is based on Arduino type of development boards and hall effect sensors that measure water flow. The assembly communicates with a central control and data storage via common communication interfaces.

**KEYWORDS:** Photovoltaic; Arduino; flow sensor; smart meter; ZigBee.

**RÉSUMÉ:** Le terme Smart-Grids, littéralement "Réseaux Intelligents" dans le cas des réseaux électrique peut être étendu aux réseaux intelligents de l'eau. En effet, grâce à des systèmes utilisant les NTIC (Nouvelles technologies de l'information et de communication), la gestion du réseau devient répartie et bidirectionnelle. Dans ce contexte, ce papier traite la conception et la réalisation d'un compteur d'eau intelligent et communicant à faible cout. Ce compteur est à base de cartes de développement de type Arduino et des capteurs à effet hall qui mesurent le débit d'eau. L'ensemble communique avec une centrale de commande et de stockage de données via des interfaces de communication.

**MOTS-CLEFS:** Photovoltaïque ; Arduino ; Capteur de débit ; Compteur intelligent ; ZigBee.

## 1 INTRODUCTION

L'utilisation des ressources en eau de manière écologique et rationnelle est l'un des éléments clés du développement durable et de protection de l'environnement. Cependant, cette vision s'affronte à des défis comme le manque chronique endurée par notre pays, la gestion irréfléchie des populations ainsi que l'évolution prévisionnelle des besoins en eau. Pour ce dernier, les besoins en eau potable au Maroc en 2020 sont estimés à 1300 millions de m<sup>3</sup>, ce qui représente une augmentation de 20% par rapport à 2010 [1]. L'une des solutions à considérer sera l'amélioration du rendement des réseaux de distribution. Pour cela, l'Office National de l'Électricité et de l'Eau potable (ONEE) propose comme perspective l'augmentation de ce rendement à 76.5% en 2016 [1], tout en garantissant une bonne gestion de l'eau.

L'intelligence de ces réseaux d'eau est acquise, grâce aux systèmes de mesure intelligents (SMI), qui leur donnent les qualités d'être flexibles, évolutifs et interopérables. En effet, grâce à des fonctions telles que la possibilité de visualiser la consommation, les systèmes de mesure intelligents contribuent à l'efficacité énergétique et aux économies d'énergie. Les

SMI permettent également, de mieux exploiter les potentiels d'efficacité au niveau de la planification et de la production. Par ailleurs, ces systèmes ont une grande importance du point de vue économique, car leur utilisation permet de faire baisser les coûts de transaction, ce dont les clients finaux profitent à leur tour.

En fait, grâce aux récents progrès des systèmes de mesure intelligents, les opérateurs des réseaux d'eau peuvent contrôler, diagnostiquer les problèmes, prioriser et gérer en continu et à distance les opérations de maintenance. Ils ont aussi la capacité d'utiliser les données fournies par ces systèmes, pour optimiser tous les aspects de la performance des réseaux de distribution d'eau.

Ce papier est organisé comme suit : Après cette introduction, la section 2 est réservée à la description du projet et des dispositifs de mesure. La section 3 est consacrée à la présentation de la structure du système de pompage en modélisant mathématiquement ses différents constituants. Dans la section 4 nous traitons la stratégie de commande vectorielle du moteur asynchrone, suivi de la section 5 qui donne une description de l'architecture du système de mesure intelligent. Ensuite la constitution du compteur intelligent ou "Smart meter" conçu est exposée dans la section 6. Enfin la section 7 résume l'essentiel des résultats expérimentaux et simulés obtenus tout en les discutant. Une conclusion et quelques perspectives terminent ce papier.

## 2 DESCRIPTION DU PROJET ET DISPOSITIFS DE MESURE

### 2.1 DESCRIPTION DU PROJET

Le projet pilote (Figure 1), est destiné à une communauté isolée dans la région d'Agadir (Douar Tazantout), composée de 60 familles et consomme chacune, en moyenne moins de 10 m<sup>3</sup> d'eau par mois. Ce projet est composé d'un réservoir et d'un puits équipé d'un système de pompage photovoltaïque (PV) composé des éléments illustrés par la Table 1.

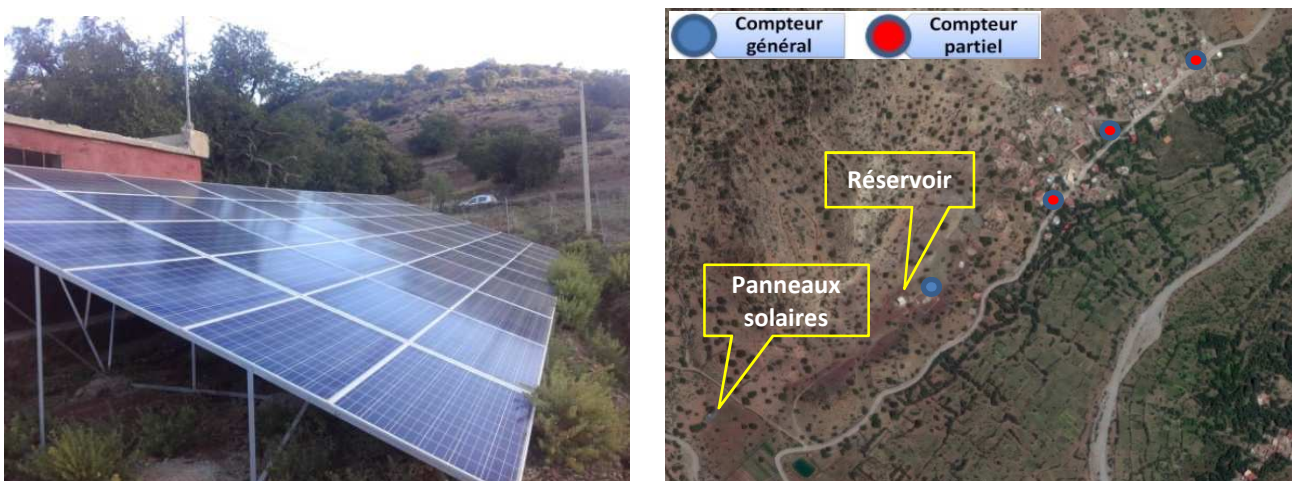


Fig. 1. Site du projet

Tableau 1. Composants de la station de pompage PV

| Désignation           | Référence                   |
|-----------------------|-----------------------------|
| 60 Modules Solaires   | REC235PE                    |
| Onduleur de fréquence | Mitsubishi FR-E740-230SC-EC |
| Motopompe             | Grundfos SP 30-9 - 13A01909 |

Le réservoir dessert 3 lignes repérées par les points rouges sur la Figure 1. A la sortie de ce réservoir est installé un compteur avec un capteur de type YF-DN50, alors que chaque ligne est équipée d'un compteur avec un capteur de type FS400A G1. De même chaque consommateur dispose d'un compteur d'eau avec un capteur de type YF-S201.

Le choix des équipements de cette station est basé sur des considérations économiques et techniques telles que le prix élevé des batteries et leur entretien. En effet, on préfère stocker de l'eau plutôt que de l'électricité.

Dans ce papier d'abord nous nous intéressons à la modélisation du système sous Matlab/Simulink. Ensuite, nous nous focalisons sur la conception d'un système de mesure intelligent (SMI) servant à mesurer le débit d'eau et permettant aussi une transmission bidirectionnelle des données avec le gestionnaire du réseau. Concernant le dimensionnement du système de pompage PV, il n'est pas abordé dans ce papier car les travaux de recherches réalisés dans ce sens, sont assez abondants dans la littérature [2], [3], [4] et [5].

## 2.2 BANC DE MESURE

Coté instruments de mesure employés durant nos travaux, nous citons le débitmètre que nous avons réalisé (Figure 2) et qui sera traité dans la suite de cet article, un débitmètre portable commercial et un appareil de mesure de l'éclairement solaire.

En fait, afin d'étalonner le compteur conçu et étudié, nous avons fait appel à un débitmètre portable ultrasonique de type PrimeFlo-T utilisant une technologie basée sur le traitement du signal numérique (DSP: Digital Signal Processing). Ce débitmètre est destiné aux applications des eaux potable et usée (Figure 3).

Concernant l'irradiation solaire, elle est mesurée à l'aide du Solarimètre SL200 de KIMO (Figure 4). Cet instrument est un outil de contrôle et d'investigation particulièrement adapté à la mesure de l'éclairement énergétique ou l'irradiation solaire pour des mesures ponctuelles en  $W/m^2$ , pendant la même journée et dans le même site.

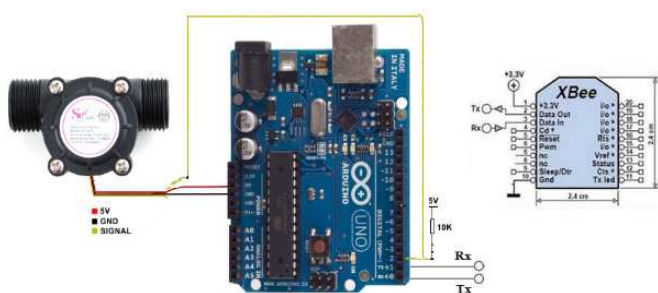


Fig. 1. Débitmètre intelligent conçu



Fig. 2. Débitmètre portable ultrasonique à temps de transit PrimeFlo-T



Fig. 3. Solarimètre SL200 de KIMO

## 3 MODÉLISATION DU SYSTÈME

De manière générale, un système de pompage PV est schématisé par la Figure 5. Sa simulation sous Matlab / Simulink a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche [6], [7], [8], [9] et [10].

Pour notre système de pompage PV sous test, le modèle du générateur photovoltaïque (GPV) et celui du convertisseur DC-DC sont traités dans nos antérieurs travaux [11]. La modélisation du GPV est également traitée dans d'autres travaux de notre équipe de recherche [12] et [13]. Dans le présent papier, nous nous limitons aux modèles de l'onduleur et du groupe motopompe.

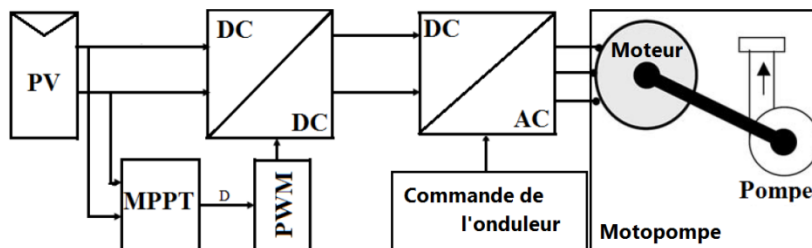


Fig. 4. Structure du système de pompage photovoltaïque

### 3.1 MODÈLE DE L'ONDULEUR

En fait, dans le cas du système sous test, l'onduleur triphasé permet de réaliser un transfert optimal de puissance entre le GPV et le groupe motopompe, sous les conditions variables de la puissance produite et de la demande en puissance. Ce transfert est contrôlé par la variation de la fréquence et de l'amplitude de la tension fournie par l'onduleur.

Généralement la technique PWM (Pulse Wave Modulation) est efficacement utilisée pour la commande de l'onduleur. Le courant est modulé sinusoidalement pour obtenir un rendement élevé. La tension de phase peut être exprimée comme suit [14] :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{E}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Avec :

$V_{an}$ ,  $V_{bn}$  et  $V_{cn}$  : Tensions de sortie de l'onduleur.

$E$  : Tension continu d'entrée.

$C_i = \{0 \text{ ou } 1\}$  pour  $i = \{1, 2, 3\}$  : Signaux de commande PWM.

### 3.2 MODÈLE DU MOTEUR

La machine équipant la motopompe du système sous test est de type asynchrone. Par conséquent, nous nous intéressons à la modélisation de cette machine asynchrone en considérant les équations des tensions de phase du stator et du rotor dans le repère  $dq$ . Ces équations sont décrites par le système suivant [15] :

$$\begin{cases} R_s i_{sd} + \frac{d\phi_{sd}}{dt} - \omega_s \phi_{sq} = V_{sd} \\ R_s i_{sq} + \frac{d\phi_{sq}}{dt} + \omega_s \phi_{sd} = V_{sq} \\ R_r i_{rd} + \frac{d\phi_{rd}}{dt} - \omega_r \phi_{rq} = 0 \\ R_r i_{rq} + \frac{d\phi_{rq}}{dt} - \omega_r \phi_{rd} = 0 \end{cases} \quad \text{Avec : } \omega_s - \omega_r = \omega = p\Omega \quad (2)$$

$$\begin{cases} L_s i_{sd} + M i_{rd} = \phi_{sd} \\ L_s i_{sq} + M i_{rq} = \phi_{sq} \\ L_r i_{rd} + M i_{sd} = \phi_{rd} \\ L_r i_{rq} + M i_{sq} = \phi_{rq} \end{cases} \quad (3)$$

À ce système d'équations s'ajoute l'expression du couple électromagnétique. Ce dernier peut être dérivé de l'équation de la co-énergie ou encore déduit du bilan de puissance [15].

$$C_e = p \frac{M}{L_r} (\phi_{rd} i_{sq} - \phi_{rq} i_{sd}) \quad (4)$$

Avec :

$p$  : Nombre de paires de pôles.

$\omega_s$  : Pulsation statorique.

$\omega_r$  : Pulsation rotorique.

$\omega$  : Pulsation mécanique.

$R_s$  et  $R_r$  : Résistances d'une phase respectives statorique et rotorique.

$L_s$  et  $L_r$  : Inductances propres respectives statorique et rotorique.

$M = \frac{3}{2} M_{sr}$  : Inductance Mutuelle cyclique du stator et du rotor avec, comme valeur maximale  $M_{sr}$  de l'inductance Mutuelle, entre la bobine rotorique et la bobine statorique).

### 3.3 MODELE DE LA POMPE CENTRIFUGE

Concernant la pompe composant la motopompe du système sous test, elle est de type centrifuge. Cette pompe applique un couple de charge  $C_R$  proportionnel au carré de la vitesse de rotation du moteur  $\Omega$  selon [16] :

$$C_R = K_{ch} \Omega^2 \quad (5)$$

Où  $K_{ch}$  désigne une constante de proportionnalité.

Connaissant les performances d'une pompe centrifuge (Débit  $Q$ , Hauteur manométrique totale  $H$  et Puissance du moteur  $P$ ) pour la fréquence de rotation  $N$ , les lois de similitude permettent de déterminer les nouvelles performances ( $Q'$ ,  $H'$  et  $P'$ ) pour une autre fréquence  $N'$ , en utilisant les relations suivantes [16] :

$$Q' = \frac{N'}{N} Q \quad ; \quad H' = H \left(\frac{N'}{N}\right)^2 \quad ; \quad P' = P \left(\frac{N'}{N}\right)^3 \quad (6)$$

### 4 STRATÉGIE DE COMMANDE VECTORIELLE DU MOTEUR ASYNCHRONE

Dans le cas de la pompe centrifuge, en supposant que les convertisseurs DC/DC et DC/AC de la figure 5 sont idéaux, la puissance de sortie  $P_M$  du GPV est donnée par l'équation suivante [17] :

$$P_M = \frac{c_1(1-s)^3}{\eta} f^3 \quad (7)$$

Avec :

$C_1$  : Constante de proportionnalité.

$\eta$  : rendement de la motopompe (%).

$f$  : Fréquence de la tension de sortie de l'onduleur (Hz).

$s$  : Glissement.

Dans le cas des conditions STC (Standard Test Conditions), les grandeurs  $P_M$ ,  $\eta$ ,  $f$  et  $s$  deviennent respectivement : La puissance optimale  $P_{MN}$ , l'efficacité optimale  $\eta_0$ , la fréquence nominale  $f_n$  (=50 Hz) et le glissement optimal  $s_0$ .

Dans le présent travail, d'après les documents du constructeur [18], le rendement nominale de la motopompe est  $\eta_0 = 0.601$  et le glissement est estimé à  $s_0 = 0.02$ .

Après analyse en introduisant ces derniers paramètres dans l'équation 7 et en faisant le rapport entre  $P_M$  et  $P_{MN}$ , la fréquence de commande de l'onduleur est donnée par :

$$f = \sqrt[3]{\frac{P_M}{P_{MN}}} f_n \quad (8)$$

D'après [17], la stratégie de commande de la machine asynchrone consiste à :

- Augmenter la fréquence du signal de commande de l'onduleur lorsque la puissance d'entrée est supérieure à sa valeur nominale, de manière à maintenir le glissement faible.
- Diminuer la fréquence du signal de commande pour maintenir le glissement à sa valeur optimale lorsque la puissance d'entrée est faible.

### 5 ARCHITECTURE DU SYSTEME DE MESURE INTELLIGENT

La structure générale d'un système de mesure intelligent est présentée sur la Figure 7 qui met en évidence certains éléments numérotés (1, 2, 3 et 4) dont découlent les définitions supplémentaires citées ci-après.

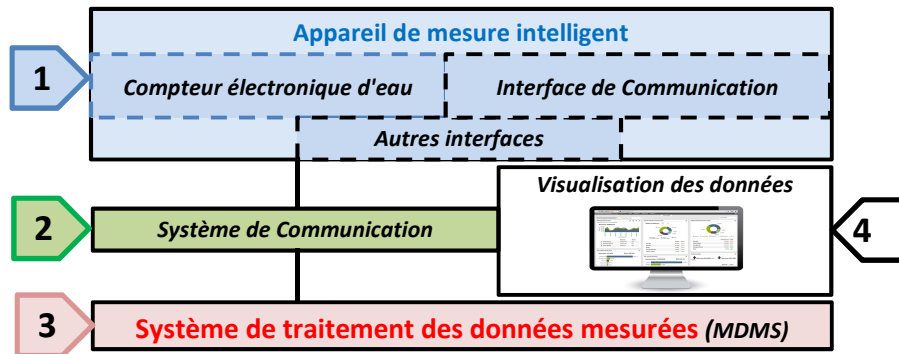


Fig. 5. Architecture générale d'un système de mesure intelligente [19]

### 5.1 APPAREIL DE MESURE INTELLIGENT

La notion d'appareil de mesure intelligent (1) correspond à un compteur d'eau électronique, également désigné par "Smart Meter" (SM). Sa principale fonction est d'obtenir des valeurs mesurées aussi bien pour la production qu'en consommation d'eau. C'est l'élément clé de notre étude dont le principe de fonctionnement est visible sur la Figure 7.

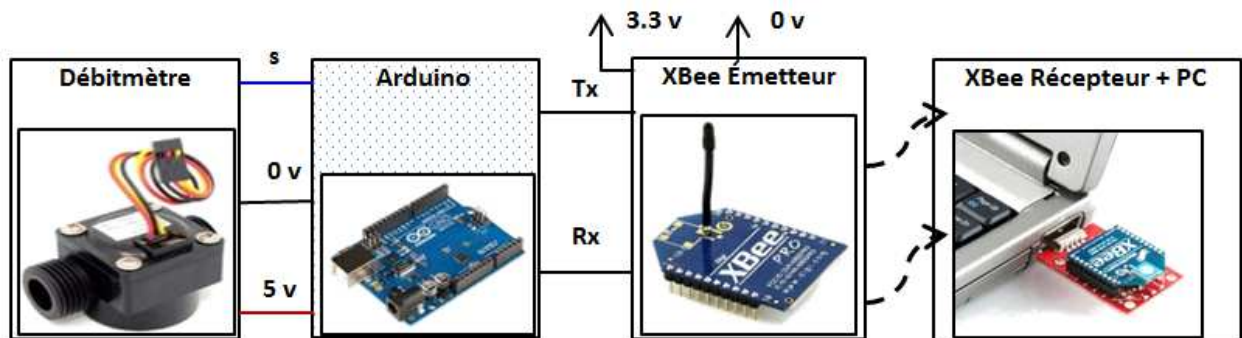


Fig. 6. Structure du compteur intelligent

### 5.2 SYSTÈME DE COMMUNICATION

Ce "Système de communication" (2), assure principalement la connexion entre les appareils de mesure intelligents et un système centralisé de traitement des données mesurées. Un tel système de communication peut recourir à diverses technologies de transmission de l'information et à d'autres équipements de transmission des données, tels des concentrateurs de données. Il peut, au moyen d'une interface adaptée, être relié à d'autres appareils, notamment d'autres appareils de mesure intelligents, d'autres agents énergétiques ou des applications clientes.

### 5.3 SYSTÈME DE TRAITEMENT DES DONNÉES MESURÉES

Ce système de traitement des données mesurées (3) (MDMS : Meter Data Management System) désigne un système qui est nécessaire à la gestion des appareils de mesure intelligents. Il est par conséquent installé chez l'exploitant du système de mesure intelligent. Ce système effectue le stockage de grandes quantités de données à long terme.

### 5.4 PLATEFORME DE VISUALISATION

Ces plateformes concernent les diverses visualisations sur des appareils mobiles ou non (4), comme les smartphones, tablettes par le biais des portails internet ou sur des écrans de PC.

## 6 DESCRIPTION DU COMPTEUR INTELLIGENT CONÇU

Le compteur intelligent réalisé est composé essentiellement, comme l'illustre la Figure 7, d'un débitmètre, d'une carte Arduino de commande et de modules XBee assurant la communication.

### 6.1 DÉBITMÈTRE

Tout traitement ultérieur dépend du débit d'eau. Ce dernier est mesuré à l'aide du débitmètre renfermant un rotor et un capteur de type à effet Hall dont la tension de sa sortie varie selon les variations d'un champ magnétique. En effet, lorsque l'eau passe dans le débitmètre, le rotor tourne à une vitesse dépendante du débit d'eau, entraînant une variation d'un champ magnétique qui sera captée par le capteur à effet Hall sous forme d'impulsions électriques de fréquence  $F$  (en Hz). Ces signaux seront traduits et convertis en débit après traitement. Les trois types de débitmètre utilisés dans ce projet (YF-DN50, FS400A G1 et YF-S201) ont les caractéristiques détaillées dans le Tableau 2.

**Tableau 2. Caractéristiques des débitmètres**

| Type du débitmètre | Voltage (V) | Débit (L/min) |             |
|--------------------|-------------|---------------|-------------|
| YF-DN50            | 5-24        | 1-200         | $= F / 5.0$ |
| FS400A G1          | 5-18        | 1-60          | $= F / 4.8$ |
| YF-S201            | 5-18        | 1-30          | $= F / 7.5$ |

### 6.2 CARTE DE GESTION ET DE COMMANDE ARDUINO

La carte de développement assurant la gestion et le développement est de type Arduino. Elle est construite autour d'un microcontrôleur de type Atmel AVR et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits.

Le logiciel de programmation des cartes Arduino est un compilateur de type C, libre et multiplateforme, servant d'éditeur de code source, de compilateur et finalement permet le transfert du firmware correspondant au code source, à travers une liaison série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module) vers le microcontrôleur de la carte Arduino.

Plusieurs catégories de cartes Arduino existent. Elles se différencient par la puissance de leur processeur ou par la taille et la consommation de la carte. Le choix du type de carte Arduino s'effectue selon les besoins d'un projet. La carte Arduino UNO est la carte la plus couramment utilisée et qui constitue un bon choix pour notre projet.

### 6.3 MODULES DE COMMUNICATION XBEE

La communication entre le PC qui assure la gestion, et le système d'acquisition et de commande est assurée par des modules, émetteur et récepteur, de type XBee sans fil. Ces derniers sont fabriqués par l'entreprise Digi International. Ils utilisent le protocole de haut niveau, dit ZigBee, permettant la communication en ondes radios à consommation réduite. La communication est basée sur la norme IEEE 802.15.4 pour les réseaux à dimension personnelle (Wireless Personal Area Networks : WPAN). Il existe plusieurs produits XBee ; notamment, XBee Série 1 (appelé 802.15.4 XBee) et XBee Znet 2,5, anciennement série 2. Cette dernière est remplacée actuellement par d'autres. Pour notre projet, nous avons choisi les modules émetteur/récepteur XBee-PRO® 802.15.4 dont les principales caractéristiques sont présentées dans la Table 3.

**Tableau 3. Principales caractéristiques du module 802.15.4 XBee-PRO®**

| Spécifications               | XBee-PRO® 802.15.4 |
|------------------------------|--------------------|
| Débit de données RF          | 250 Kbps           |
| Portée intérieure ou urbaine | 300 ft (=100 m)    |
| Portée extérieure            | 1.6 km             |
| Puissance de transmission    | 60 mW (=+18 dBm)   |

#### 6.4 INTERCONNEXION DES ÉLÉMENTS DU SYSTÈME À COMPTEUR D'EAU INTELLIGENT

Comme le montre la Figure 2, le capteur à effet hall d'un des débitmètres est relié à la carte Arduino à travers la broche 2 configurée comme entrée, tout en mettant en commun les bornes d'alimentations (0 et 5 V). Le programme implémenté dans l'Arduino permet de capter sur la broche 2, le signal délivré par le capteur. Ce signal est rectangulaire et de fréquence  $F$  (en Hz) dépendante du débit, selon le débitmètre utilisé comme le montre les expressions données dans la Table 2.

Du côté communication, la Figure 2 montre le schéma du module émetteur XBee connecté avec la carte Arduino à travers les broches de communication sérielle Tx et Rx.

Concernant la réception des données captées par la carte Arduino, comme le montre la Figure 8, elles sont envoyées par le module XBee émetteur vers un module récepteur qui est également de type XBee. Ce dernier étant relié à un PC via un circuit adaptateur (Shield) conçue pour assurer un raccordement aisé par le port USB d'un PC.

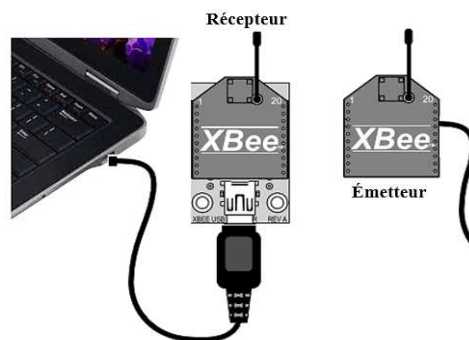


Fig. 7. Interfaçage du XBee récepteur au PC par liaison USB via un adaptateur

### 7 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Suite aux modèles traités dans la section 3, nous obtenons le schéma complet modélisé sous Matlab/Simulink présenté sur la Figure 9. En fait, ce schéma correspond à la modélisation du système sous test concernant le pompage solaire. Il s'agit de l'assemblage d'un PVG, d'un hacheur survolteur muni de sa commande MPPT, d'un onduleur, d'un moteur asynchrone et d'une pompe centrifuge.

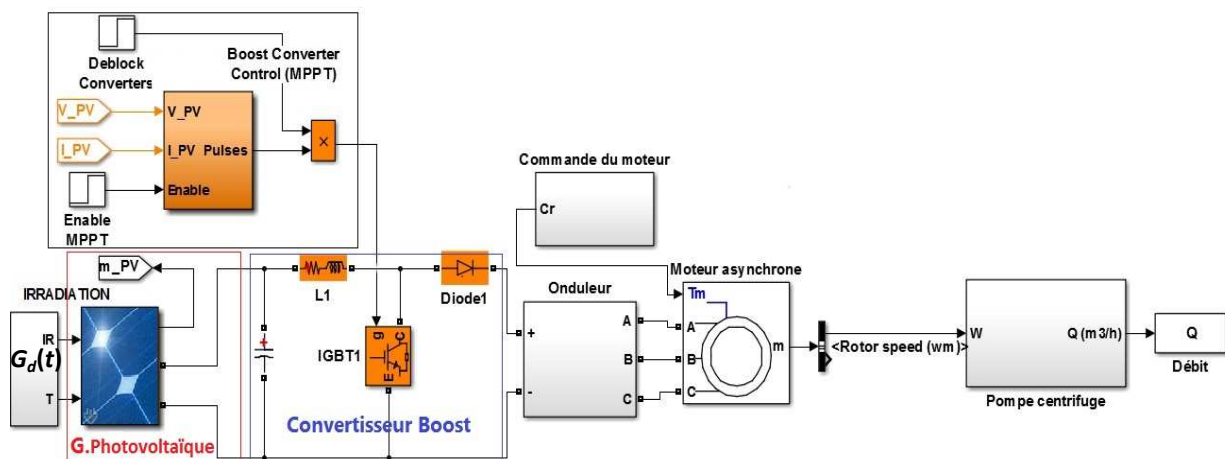


Fig. 8. Schéma complet du système de pompage solaire modélisé sous Simulink

Notre objectif étant la validation de la modélisation ci-dessus en comparant les résultats de sa simulation avec les mesures effectuées par le compteur d'eau conçu.



D'une part, pour assurer la simulation, le profil de l'irradiation  $G_d(t)$  provient des valeurs expérimentales relevées par le Solarimètre SL200. Ce profil est en fait utilisé afin de commander le PVG pour, en fin de chaîne, estimer les débits simulés  $Q(t)$  fournis par la pompe.

D'autre part, coté expérimental, afin de disposer des données de mesure, nous devons d'abord configurer les modules RF XBee®. Pour ce faire, nous utilisons la plateforme XCTU dédiée et libre conçue par l'entreprise Digi. Cet outil permet d'interagir avec ces modules RF à travers une interface graphique simple.

Après configuration, nous implémentons un programme permettant, au niveau de la carte Arduino, coté émetteur, d'effectuer l'acquisition et l'envoi de données captées auprès du débitmètre conçu. La Figure 10 illustre un exemple d'affichage sur la console série de XCTU, concernant les débits mesurés ( $4.6 \text{ m}^3/\text{h}$ , ...), toutes les 2 minutes.

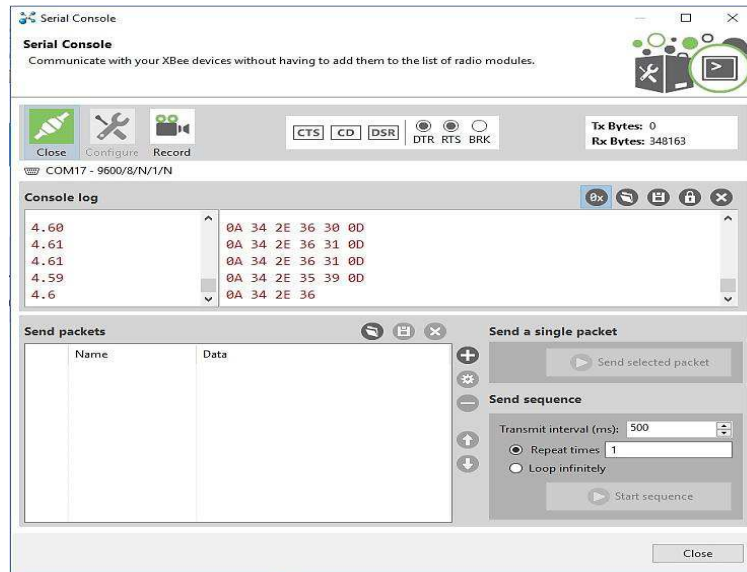


Fig. 9. Débits collectés et affichés par la console XCTU

Après traitement des données captées par le débitmètre conçu, nous aboutissons à l'évolution journalière des débits en eau. La Figure 11 montre un exemple des résultats expérimentaux concernant les débits journaliers,  $Q(t)$ , relevés dans la station de Tazantout où se trouve le projet sous test. Ces mesures de  $Q(t)$  sont prises pendant la journée du 21 Mai 2016. Nous remarquons pour ce jour type, que le profil de  $Q(t)$  est presque semblable à celui de l'irradiation solaire  $G_d(t)$ . Ils présentent une augmentation durant les premières heures de la journée puis une décroissance progressive, vers la fin de la journée, tout en passant par un maximum entre midi et 15h. Cette ressemblance entre les gabarits de  $Q(t)$  et  $G_d(t)$ , est due au fait que le débit au cours du temps est fortement lié à l'illumination des panneaux PV utilisés dans le système sous test.

La Figure 12 donne un exemple du relevé expérimental effectué durant la même journée du 21 Mai 2016. Sur cette figure nous remarquons un rapprochement acceptable entre les débits théoriques simulés sous Matlab/Simulink, et ceux mesurés à l'aide du débitmètre commercial PrimeFlo-T, ainsi que ceux mesurés à l'aide du "Smart Meter" que nous avons conçu.

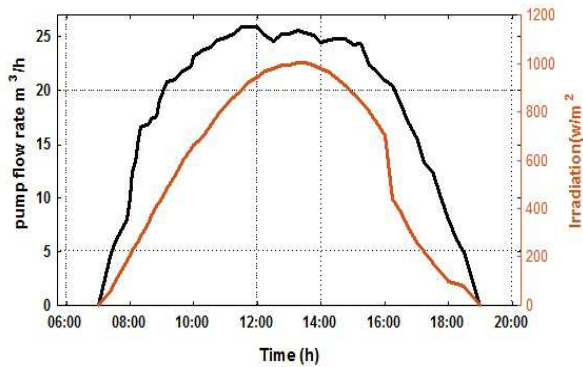


Fig. 10. Débit journalier  $Q(t)$  de la pompe et l'irradiation  $G_d$  relevés le 21/05/2016 à Tazantout-Région d'Agadir

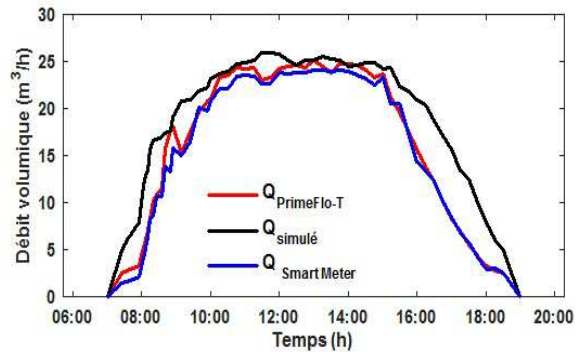


Fig. 11. Débit volumique mesuré et simulé pour l'irradiation relevé le 21/05/2016

L'acquisition des données envoyées par le compteur intelligent conçu se fait via une application web qui se charge de leur traitement et d'archivage. Cette application peut aussi interagir avec différents SM, plus précisément avec les entrées/sorties de la carte Arduino, pour une éventuelle commande de l'ouverture ou de la fermeture des électrovannes. La Figure 13 montre des exemples de captures d'écrans de l'application web assurant le contrôle et la gestion de la station de pompage PV. La capture d'écran de gauche montre la gestion des consommations d'un client type, tel que les débits mesurés journaliers, hebdomadaire et mensuels. Tandis que la capture d'écran de droite, elle présente pour le même client, la consommation instantanée avec son évolution pendant la journée en cours.

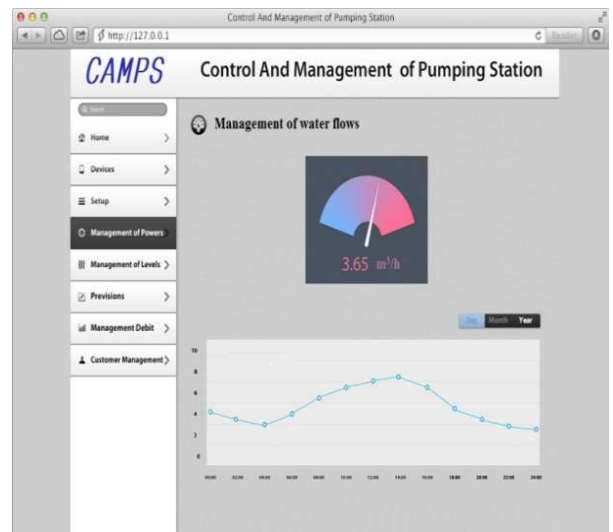
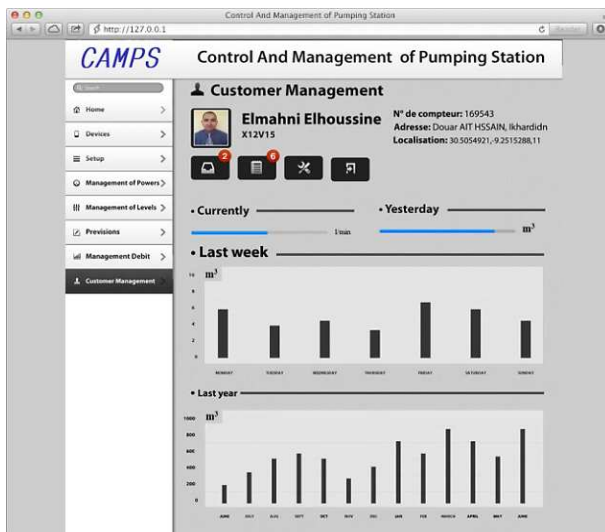


Fig. 12. Quelques captures d'écrans de l'application web permettant la gestion de la station

## 8 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conscient que la gestion des flux en temps réel de l'électricité, du gaz, de l'eau est l'un des principaux aspects des réseaux intelligents, nous avons proposé dans ce travail les résultats d'investigations concernant la gestion d'une station de pompage au fil du soleil à l'aide d'un compteur communicant. Notre objectif consiste à modéliser le système sous test et à comparer les résultats obtenus par la simulation avec les mesures effectuées, d'une part à l'aide du compteur d'eau communicant conçu et d'autre part, avec les mesures obtenues par un débitmètre commercial non communicant.

Suite aux travaux réalisés au courant de cette phase d'investigations, nous sommes arrivés à concevoir et à réaliser un compteur intelligent. Ce dernier est essentiellement constitué d'un débitmètre, d'une carte Arduino de commande et de modules XBee de communication ; l'un pour l'émission et l'autre pour la réception. Ensuite, nous avons élaboré le code émetteur résidant dans la carte Arduino.

Le "Smart meter" développé a l'avantage de permettre l'envoi de diverses données mesurées au gestionnaire de la station, tandis que le débitmètre commercial se contente de les enregistrer dans sa mémoire interne. Cependant l'un des inconvénients du compteur conçu est sa portée limitée à environ 1.6 Km et le manque de confidentialité des données des consommateurs.

En outre, afin de communiquer les diverses données au gestionnaire de la station, nous avons développé une application résidante dans son ordinateur afin d'assurer la réception et la présentation des résultats sous forme graphique.

Par ailleurs, nous avons noté, d'une part, que les résultats obtenus par simulation sont conformes aux mesures effectuées sur le terrain. D'autre part, selon le gestionnaire de cette station, le système ainsi développé dans ce travail, lui a permis de se dispenser de l'agent qui se charge des relevés des indexes des compteurs traditionnels, de faire des économies d'eau estimés à 20% et de baisser de la facture énergétique de 10%. Ces économies en eau sont dues à la minimisation des pertes et à la rationalisation de la consommation. Ce qui a entraîné, par la suite, la réduction de la consommation électrique. En conséquence, nous estimons que le déploiement des "Smart meter" devrait donc permettre de mieux connaître sa consommation en temps réel et, donc, de faire des économies substantielles.

Comme perspectives d'amélioration des travaux réalisés, nous proposons d'un côté de voir comment augmenter la portée du "Smart meter". D'un autre côté, nous procédons à l'élaboration d'une application web consultable, aussi bien sur un ordinateur que sur un smartphone. Cette application permettra de :

- détecter en temps réel les fuites d'eau et alerter un technicien par l'envoi de message à son Smartphone,
- informer le client en temps réel de sa consommation,
- envoyer à certains clients des messages d'alerte, tel le dépassement d'un seuil de leur consommation.
- ajouter des électrovannes en commandant leurs ouvertures et fermetures à volonté, afin de contrôler et de diagnostiquer les problèmes, de prioriser et de gérer en continu et à distance les opérations de maintenance.

### REFERENCES

- [1] M. Serraj, "Secteur de l'eau au Maroc et stratégie de l'ONEE", 2013.
- [2] L. An, D.D.-C. Lu, "Design of a single-switch DC-DC converter for PV-battery powered pump system", *In Future Energy Electronics Conference (IFEEC)*, Vol. 62, no. 2, pp. 359-364, 2013.
- [3] A. Meflah, T. Allaoui, "Commande d'une chaîne de pompage photovoltaïque au fil du soleil", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 15, no. 3, pp. 489-499, 2012.
- [4] S. Chikhi, M.D. Draou, F. Chikhi, A. Mammeri, A. Mehdaoui, "Etude, modélisation et réalisation d'un convertisseur DC/AC pour système de pompage photovoltaïque de 4 kVA", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 16, no. 2, pp. 201-212, 2013.
- [5] A. Hadj Arab, A. Gharbi, M. Benghanem, "Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 8, pp. 19-26, 2005.
- [6] A. Betka, "Perspectives for the sake of photovoltaic pumping development in the south", Thèse de Doctorat. Université El Hadj Lakhdar de Batna, 2005.
- [7] S. Abdourra, R. El Bachtiri, "A Novel MPPT Dual Fuzzy Logic Applied To Resistive Load and PV Pumping System", *International Review of Automatic Control (IREACO)*, Vol. 7, no 4, pp. 344-352, 2014.
- [8] M. Zahran, Y. Atia, A. Besheer, "PV pumping system characterization using virtual monitoring environment", *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, Vol 8, n. 1, pp. 182-189, 2013.
- [9] B. Mustapha, M. Ali, D. Belkacem, "Contribution to the Study of Simulation of Hybrid Systems (Wind-PV) for the Pumping of Water in Arid Areas", *International Review on Modelling and Simulations (IREMOS)*, Vol 6, n. 2, pp. 431-440, 2013.
- [10] M. Guisser, A. EL-Jouni, EL. H. Abdelmounim, "Robust Sliding Mode MPPT Controller Based on High Gain Observer of a Photovoltaic Water Pumping System", *International Review of Automatic Control (IREACO)*, Vol. 7, n. 2, pp. 225-232, 2014.
- [11] L. Elamhni, L. Bouhouch, R. Alaoui, A. Moudden, "Modeling and control of a hybrid microgrid by multi-agent system", *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, Vol. 10, n. 1, pp. 145-153, 2015.
- [12] F. Sadik, R. Alaoui, A. Kahaji, L. Bouhouch, A. Ihlal, "P&O and Incremental Conductance MPPT Implementation", *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, Vol. 10, no 1, pp. 116-122, 2015.
- [13] M. Ajaamoum, M. Kourchi, B. Bouachrine, A. Ihlal, L. Bouhouch, "Comparaison du contrôleur flou Takagi-Sugeno et de la commande P&O pour l'extraction de la puissance maximale d'un système photovoltaïque", *International Journal of Innovation and Applied Studies (IJIAS)*, Vol. 10, no 1, pp. 192-206, 2015.

- [14] N. Hamrouni, M. Jraidi, A. Cherif and A. Dhouib, "Measurements and Simulation of a PV Pumping Systems Parameters Using MPPT and PWM Control Strategies", *MELECON 2006 - 2006 IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, Malaga, pp. 885-888, 2006.
- [15] G. Seguier, *Power Electronic Converters: AC-DC Conversion*, McGraw Hill Book Company, New York, 1987.
- [16] N. Mansouri, N. Ghanmi, "Commande et analyse des performances d'une station de pompage photovoltaïque fonctionnant en régime optimal", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11, no 1, pp. 1-17, 2008.
- [17] Y. Yao, P. Bustamente, R.S. Ramshaw, "Improvement of induction motor drive systems supplied by photovoltaic arrays with frequency control", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol 9, No. 2, pp. 256-262, 1994.
- [18] [https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from\\_suid=14643061904120798704878059801&pumpsystemid=111546475&qcid=73085315](https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from_suid=14643061904120798704878059801&pumpsystemid=111546475&qcid=73085315)
- [19] Office fédéral de l'énergie (OFEN), "Bases pour l'introduction de systèmes de mesure intelligents auprès du consommateur final en Suisse Exigences techniques minimales et modalités d'introduction", *Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), OFEN, Division Economie, Section Réseaux*, 2014.