

Le compteur intelligent : Vecteur de transformation pour la maîtrise d'énergie

Smart meter: Transformation vector for an efficiency energy management

Ridha Elghoul¹, Khaled Jelassi^{1,2}

¹ Ecole Nationale d'ingénieur de Tunis (ENIT), Université Tunis EL Manar, Tunis Tunisia ridha.elghoul01@gmail.com

² Laboratoire système électrique LSE, ENIT, Université Tunis EL Manar Tunis, Tunisia khaled.jelassi@enit.utm.tn

RÉSUMÉ. L'article a pour objectif de mettre en place une solution de monitoring à distance et en temps réel de la consommation énergétique utilisant des technologies de pointes basées sur le compteur intelligent. Dans un premier temps, Nous avons exploré le système d'information énergétique en mettant en relief son rôle dans la supervision intelligente et la maîtrise d'énergie. En deuxième temps, nous avons proposé une architecture d'un système basé sur l'IoT mettant en œuvre des technologies de communications spécifiques pour les objets connectés. Et finalement, nous avons conçu et implémenté notre solution de comptage intelligent multi protocolaire pour une supervision énergétique à distance.

ABSTRACT. This paper aimed to develop a solution for a remote and Real Time monitoring for energy consumption through a smart meter technology. Firstly, we will discover the energy management system by highlighting its role in the smart supervision and energy management. Secondly, we proposed an architecture of an IoT based system implementing specific communication technologies for connected objects. Finally, we designed and implemented our multi- protocol smart metering solution for a remote energy monitoring.

MOTS-CLÉS. Compteur intelligent, IoT, MQTT, Modbus, Monitoring Temps réel, maîtrise de l'énergie.

KEYWORDS. Smart meter, IoT, MQTT, Modbus, Real Time monitoring, energy management.

1. Introduction et motivations

La quatrième révolution industrielle ou l'industrie 4.0 est considérée comme une révolution digitale dans un monde qui devient de en plus connecté. Avec l'internet des objets et l'innovation technologique, le monde connaît une transformation numérique vertigineuse dans tous les secteurs vitaux et industriels y compris le secteur énergétique. L'augmentation de nombre des objets connectés, est estimée « atteindre plus de 20 billions d'objets connectés en 2020 » [DAV 18 SAL 18a]. Ceci pose un problème de consommation énergétique polluante d'où la nécessité de chercher d'autres alternatives d'énergie propre et verte notamment l'énergie solaire et éolienne.

« Dans un contexte économique fluctuant où la demande est toujours sporadique, le souci majeur des industriels est de garantir une disponibilité maximale, sans pertes de productivité, avec un coût optimal et une moindre consommation énergétique » [ELG 17]. Avec la mise en place des solutions intelligentes basées sur les objets connectés, la maîtrise d'énergie peut être bien établie en favorisant l'optimisation de la consommation et la distribution de l'énergie électrique d'une manière efficace [ZHU 15].

Dans cet article, nous orientons notre étude vers les systèmes de monitoring et de gestion d'énergie. Nous faisons, tout d'abord, un survol rapide sur le système d'informations énergétique intelligent en mettant l'accent sur son architecture, ses compositions et son rôle dans la supervision intelligente. Ensuite, nous détaillons la conception d'une plateforme physique et logicielle basée sur l'IoT en intégrant des technologies protocolaires différents (MQTT, Modbus, AMQP...). Puis, nous nous focalisons sur la mise au point de la solution de monitoring en insistant sur le mécanisme d'échanges de

données proposé entre le compteur intelligent et les clients connectés. Nous clôturons ce papier en soulignant les grands apports et les défis futurs de nos travaux.

2. Présentation du système d'information énergétique intelligent

2.1. Système d'information énergétique

« Les Systèmes d'Information Energétiques (SIE) sont de plus en plus présents dans tous les secteurs. Ils concernent, non seulement le secteur industriel et commercial mais aussi le secteur résidentiel. L'avènement des Technologies d'Information et de Communication (TIC) ainsi que le développement significatif qu'a connu le domaine des énergies propres incitent les industriels et les chercheurs à concevoir des SIE dédiés dans un cadre réglementaire en vue de la maîtrise de la consommation ». [ELG 17, SAL 18b]

En outre, SIE est un concept récent de maîtrise d'énergie basé sur l'optimisation intelligente et rapide des grandeurs (électrique, thermique, etc.) .Il permet de collecter et d'analyser les données des consommations quotidiennes et assurer un suivi périodique de comportement énergétique de l'installation industrielle ou résidentielle. L'adoption de ce type de système favorise la diminution de dépenses énergétiques grâce à des stratégies spécifiques de contrôle de consommation qui sont rendues possibles grâce au système d'information et au compteur intelligent.

2.2. Supervision intelligente

La notion de supervision intelligente est relativement liée à la manière de contrôler à distance les objets et les équipements connectés en utilisant l'automatisation des règles des actions. Elle est capable de gérer, administrer un réseau de capteurs et/ ou des équipements afin de collecter les données sur l'état de processus en question et le transférer vers un point de collection des données. L'analyse des données acquises permet d'extraire les informations utiles à travers les techniques de Data Mining et machine Learning. Dans le secteur d'énergie, le déploiement des compteurs d'énergie intelligents favorise énormément « l'implémentation des réseaux électriques intelligents 'Smart Grid' » [ZHU 18]. Cette étape a renforcé considérablement la gestion de consommation des utilisateurs grâce à la pilotabilité des systèmes ainsi installés.

2.3. Le compteur d'énergie communicant.

Le compteur d'énergie communicant présente une nouvelle génération de compteurs qui se caractérise par des technologies avancées de communication. Cette réinvention offre la capacité de communication bidirectionnelle assurant une remontée de l'information et dématérialiser l'intervention sur le compteur. Les utilisateurs utilisant cette technologie peuvent alors suivre la consommation en électricité en temps réel et contrôler leurs équipements d'une manière optimisée et efficace.

2.4. Architecture de système de supervision énergétique basé sur l'IoT.

Un système de supervision énergétique à la base des objets connectés constitue l'ensemble des couches physiques et logicielles servant à gérer les équipements connectés, les configurations et les protocoles de communication, le centre de traitement et finalement les tableaux de bord. L'architecture de ce système est modélisée par la Figure 1 et peut être subdivisée en 4 couches :

- Couche matérielle : renfermant l'ensemble des équipements disposant d'un moyen de communication physique (UART, I2C, USB ...) ou distant (Wi-Fi, nRF, BLE, 4G, Lora...).
- Couche Middleware : composant les différentes implémentations de protocoles de transmission de données à savoir (MQTT, modbus, CoAP, AMQP,...).
- Couche de serveur d'application : constituant la partie centrale du système. C'est le module cœur de traitement de différents services comme la gestion de base de données, la gestion des données clients,

la gestion des serveurs (d'acquisition, de base de données, d'analyse des données et les algorithmes d'apprentissage,...).

- Couche terminale - utilisateur : formant la partie destinée à l'utilisateur final. Elle permet la visualisation des données, temps réel ou historisées, ainsi que la génération de rapport sur l'état de processus, les opérations effectuées et les performances de système mis en œuvre.

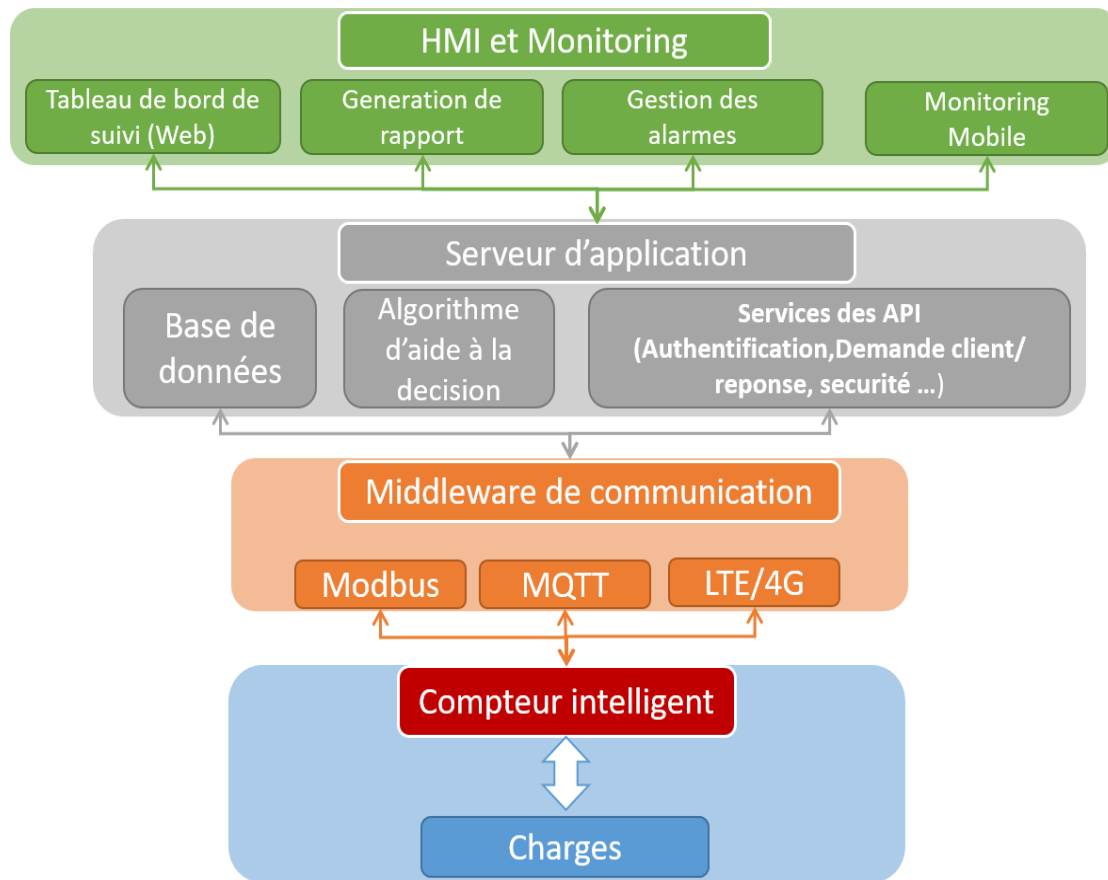


Figure 1. Architecture globale du système basé sur l'IoT

3. Système de comptage et communication intelligent proposé

Avant d'aborder le fonctionnement du système de comptage énergétique intelligent, il est judicieux de survoler quelques technologies de transmission de données pour l'IoT. La liste qui va suivre ne se veut pas exhaustive mais elle couvre les protocoles orientés données (message) sur lesquels s'appuie l'IoT.

3.1. Technologies de communication de l'IoT

3.1.1. MQTT :

MQTT « Message Queuing Telemetry Transport » est « un standard IoT [MQT 18] pour la communication M2M (Machine to machine). Il est destiné pour les transferts des messages et utilise le paradigme Publish / Subscribe. Il est utilisé pour connecter des objets intelligents pour qu'ils puissent communiquer entre eux » [ELG 17].

En effet, « le design pattern « publish / subscribe » consiste à publier un message par un client MQTT sur un sujet (topic) précis dans un serveur MQTT dit « Broker des messages ». Un autre client MQTT peut recevoir l'information publiée en s'abonnant sur le même sujet. De point de vue sécurité, MQTT possède des fonctionnalités de sécurité comme l'authentification (nom et mot de passe). Il est

impératif, pour plus de sécurité, de mettre en place des certificats de sécurité SSL / TLS pour un échange sécurisé des données »[ELG 17].

3.1.2. Modbus TCP/IP :

C'est un protocole de communication série qui fonctionne sur la couche TCP/IP ou la liaison série classique RS232C/RS485. Il se base sur le mode client – serveur où l'identifiant du serveur est son adresse IP. Ce protocole connaît beaucoup de succès depuis sa création vu sa simplicité et sa fiabilité.

3.1.3. AMQP :

AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) est un autre protocole orienté message, conçu pour l'échange des données en toute sécurité et fiabilité [BHI 18]. AMQP supporte l'architecture publish/subscribe et request/response. Un abonné (Consommateur de l'information) ou le diffuseur peut créer un « exchange » pour se synchroniser entre eux. Le message diffusé par le « publisher » se propage à travers la queue de « l'exchange ». Cette opération dite « binding ».

3.2. Caractérisation et comparaison des technologies

Dans cette sous-section, nous exposons une étude comparative de différents protocoles de communication en montrant les caractéristiques de chaque technologie. Le Tableau 1 propose un récapitulatif sur les protocoles décrits plus haut.

Protocole de communication	Architecture	Abstraction	Protocole de transport	Taille de message/ données	Méthodes	Sécurité
MQTT	Client/Broker	Publish/subscribe/ Request/Response	TCP/IP Websocket	Max 256 MB	Connect,Disconnet, PublishSubscribe, Unsubscribe, Close	TLS/SSL
Modbus	Master/Slave	Read/Write	TCP/IP	Max 256 Octet	19 fonctions proposées	TLS
AMQP	Client/Broker	Publish/subscribe	TCP/IP	Indéfini	Open,Close, PublsihGet, Delete,Consume, Deliver	TLS/SSL SASL

Tableau 1. Un récapitulatif sur les protocoles de communications.

L'analyse du tableau montre, d'une part que les deux protocoles MQTT et AMQP présentent une certaine ressemblance au niveau de l'architecture. Dans [LUZ 15], les auteurs ont prouvé la robustesse de ces deux protocoles dans la transmission de données en garantissant la réception avec succès sans perte. D'autre part, le standard Modbus, qui se caractérise par une architecture classique Maître-esclave, est très répandu dans le secteur industriel et a fait ses preuves des dizaines d'années. Sa simplicité et sa mise en œuvre facile le laisse dans la course avec les protocoles modernes.

3.3. Architecture du système de comptage proposée

Dans cette partie, nous proposons une structure d'un système d'acquisition et de traitement de données illustrée par la Figure 2 . La quantité d'électricité consommée par les charges est mesurée à

travers le système de comptage à la base d'une carte Raspberry [CHA 16]. Les grandeurs électriques (Puissance, Energie, tension, courant, facteur de puissance) sont transmises via un serveur de données (Broker MQTT, serveur Modbus). Les données seront à disposition pour un monitoring en temps réel du système grâce aux tableaux de bords et les fonctionnalités offertes (Notification, Alerte, supervision, Control).

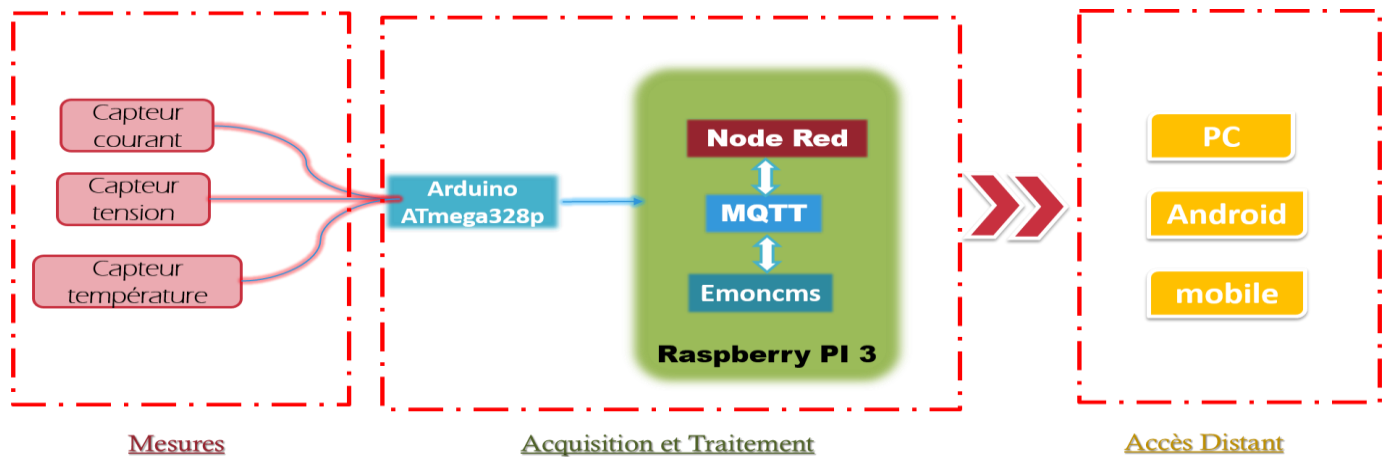


Figure 2. Architecture du système de comptage intelligent

« Du point de vue matériel, le compteur est composé de deux cartes, une carte d'acquisition basée sur un microcontrôleur ATmega 328p et une carte Raspberry PI 3 qui joue le rôle de serveur » [ELG 17].

La Carte Pilote « Raspberry Pi3 » est considérée comme un micro-ordinateur puissant capable de gérer des tâches complexes. La carte embarque un processeur ARM v8 CPU 64 bit avec 1.2 GHz de fréquence d'horloge et 1 Go de RAM. [RAS 18]. La communication avec la carte peut se faire via wifi, Bluetooth ou BLE (Bluetooth Low Energy) et également Ethernet. D'autres technologies de communication peuvent être ajoutées en tant que module d'extension.

Dans le cas de cette étude la carte Raspberry Pi est utilisée en tant que "low cost calculator". Ce calculateur à prix réduit sera le cœur du système de traitement des données énergétiques acquises qui seront diffusées par le serveur MQTT.

« La carte d'acquisition permet d'acquérir les grandeurs physiques à savoir, la tension le courant, la température. La carte utilisée dans notre cas est une carte compatible Arduino Uno.

Les capteurs utilisés sont les suivants :

Capteur de tension : Il s'agit d'un adaptateur de tension AC/AC avec une tension d'entrée de l'ordre 230 V et une tension de sortie qui vaut 9V AC.

Capteur de courant : de modèle SCT 013, il est destiné pour la mesure du courant de quelques dizaines de Hertz (Il est bien adapté pour un réseau 50/60 Hz). Le courant d'entrée peut atteindre 100 A.

Capteur de température : de modèle DS18B20, il s'agit d'un capteur digital de température encapsulé en métal muni d'un connecteur RJ45. Il peut mesurer des températures allant entre -10 C° et 85C° » [ELG 17].

4. Implémentation du système de comptage intelligent

La mise au point de notre système nécessite bien évidemment un ensemble d'outils de développement dédiés pour la plateforme énergétique. Nous avons prévu quelques fonctionnalités de gestion avancées comme la notification par SMS et par E-mail des utilisateurs au cas de dépassement de seuil ou quota définit préalablement, la génération des rapports de suivi de la consommation, le

control par SMS en cas de perte de connexion internet avec le compteur, un stockage dans une base de données local persistante pour une année.

4.1. Implémentation de l'environnement de développement

4.1.1. Node Red pour les applications IoT

« Node Red est un outil de développement et de programmation graphique qui permet de connecter des périphériques, des services web et des API entre eux » [ELG 17]. C'est un produit open source soutenu par IBM basé sur java script et déployé sur la plateforme node.js. Certaines fonctions offrent des configurations prédéfinies et d'autres pourront d'être développées avec le langage Java script. Node Red est un outil très puissant et flexible pour la création des applications types destinées pour l'internet des objets [LEK 18]. Il est disponible sur toutes les plateformes (Windows, Linux, Rasbian OS) [NOD 18].

« Dans notre cas, nous allons l'utiliser pour développer des fonctionnalités pour notre compteur selon nos besoins. Node Red s'exécute sur un ordinateur avec comme port par défaut 1880 » [ELG 17].

Nous pouvons alors tester le serveur Node Red en utilisant l'adresse 127.0.0.1:1880 (en réseau local) ou bien l'url: `http://votre_IP :1880` (Connexion sur le réseau).

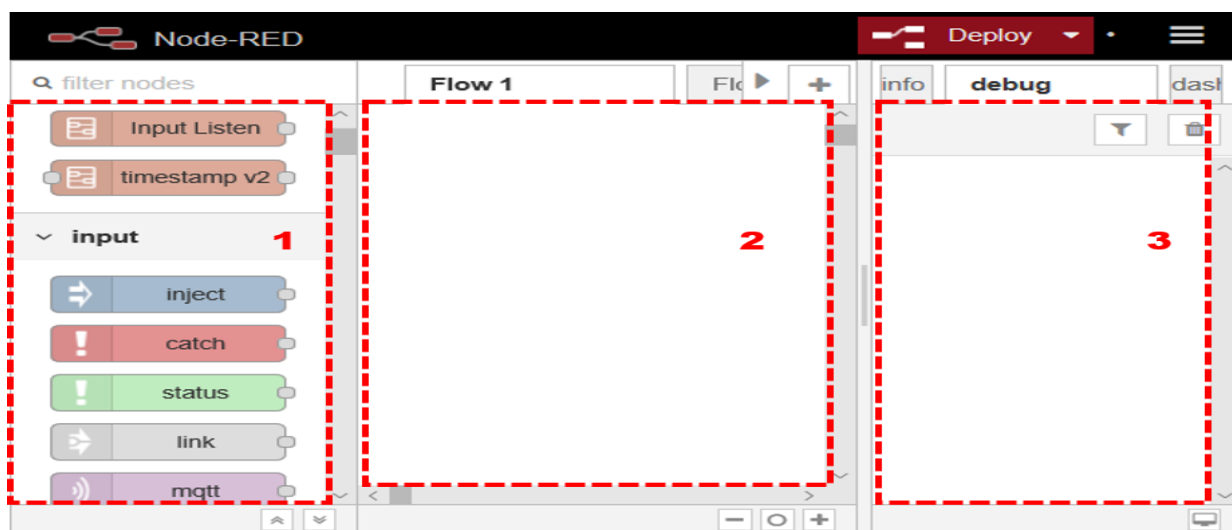


Figure 3. Editeur Node Red

La Figure 3 montre les trois composants principaux de Node Red qui sont : « 1 » le panel des nœuds, « 2 » le panel de flux, « 3 » le panel de débogage et des informations.

« La programmation se fait en liant des fonctions présentées sous la forme de brique l'une à l'autre.

Après chaque traitement le flux de données se propage d'un nœud à un autre » [ELG 17].

Pour garantir un accès légal à la plateforme et bloquer les accès non autorisés, Node Red supporte un système de sécurité SSL/TLS assurant l'authentification de l'utilisateur avant d'accéder au serveur de Node Red.

4.1.2. Plateforme de développement énergétique « Emoncms »

Emoncms est une plateforme de développement des applications web dédiée à la visualisation des grandeurs et des données énergétiques. Elle comprend :

Un serveur http Web Apache permettant un accès distant de plateforme de visualisation et des tableaux de bord.

Des outils de développement web PHP assurant la création des services liés au traitement des données et l'automatisation des actions.

Une base des données My SQL installé au niveau du compteur permettant le stockage des données énergétiques pendant une durée allant jusqu'à une année. Les données sont stockées localement sur le disque SD du Raspberry.

4.2. Implémentation de la connexion 4G

« Le déploiement de la technologie 3G/4G est de plus en plus répandu, d'où nous avons pensé à équiper notre compteur d'une communication 3G/4G en utilisant un modem 4G. Cette tâche n'est pas du tout sans difficultés, car il faudra, entre autres, s'assurer d'abord de la compatibilité du modem avec la carte choisie (Raspberry Pi).

Pour éviter de configurer la connexion de modem 3G/4G manuellement à chaque fois que le modem est branché. Nous allons développer et configurer des scripts unix et d'autres en python pour une connexion automatique au réseau mobile illustrée par Figure 4. Par la suite, nous modifions le boot pour que le modem se connecte automatiquement et nous envoie l'adresse IP par e-mail » [ELG 17].

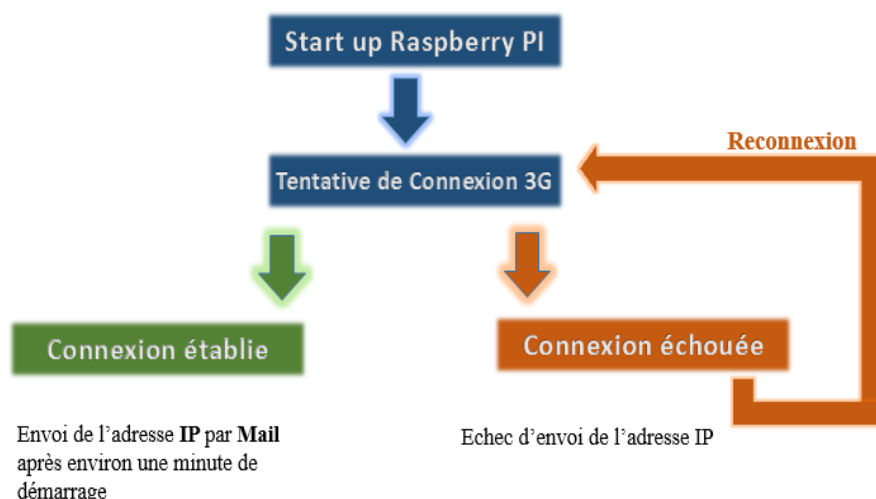


Figure 4. Diagramme d'établissement de connexion 3G/4G

Au bout de **60 secondes** le modem va se connecter et envoyer l'adresse IP de connexion. Cette adresse dépend bien évidemment de l'opérateur puisque le modem 4G est équipé d'une carte SIM qui est elle même enregistrée sur un réseau GSM existant.

4.3. Implémentation de la communication par SMS

« Un serveur sms est une solution efficace utilisée dans de nombreuses applications. Il vise à utiliser les réseaux cellulaires pour envoyer des messageries SMS. Il est utilisé dans des applications IoT pour commander, contrôler et aussi notifier les utilisateurs.

L'alternative proposée consiste à utiliser un serveur sms pour remédier aux problèmes dus à la perte ou l'inexistence de la connexion internet dans un site isolé par exemple.

De ce fait le serveur SMS permet d'envoyer les données énergétiques avec une fréquence d'envoi faible (énergie journalière par exemple).

Pour la gestion d'envoi des sms, nous avons utilisé un certain nombre de logiciels, qui sont tous open source » [ELG 17] :

Gammu : c'est un outil qui gère les modules GSM (envoi et réception des sms, création et sauvegarde des messages ...).

Gammu-smsd : Daemon de Gammu, est un service permettant le stockage, la réception et l'envoi des SMS.

Afin d'implémenter le serveur SMS, nous avons utilisé l'outil Node Red pour créer le flux de gestion de serveur SMS (Lire le message reçu, extraire le numéro de l'émetteur, envoyer la réponse selon le sujet de SMS reçu) comme le montre la Figure 5. Nous pouvons également restreindre la liste des clients approuvés pour les répondre et éviter l'aléa des réponses pour n'importe quel numéro.

Cette solution présente un intérêt certain car elle offre une redondance par rapport à la communication Ethernet. Toutefois elle a des inconvénients aussi lié essentiellement au temps de réponse presque aléatoire et dépend de la charge du réseau GSM utilisé.

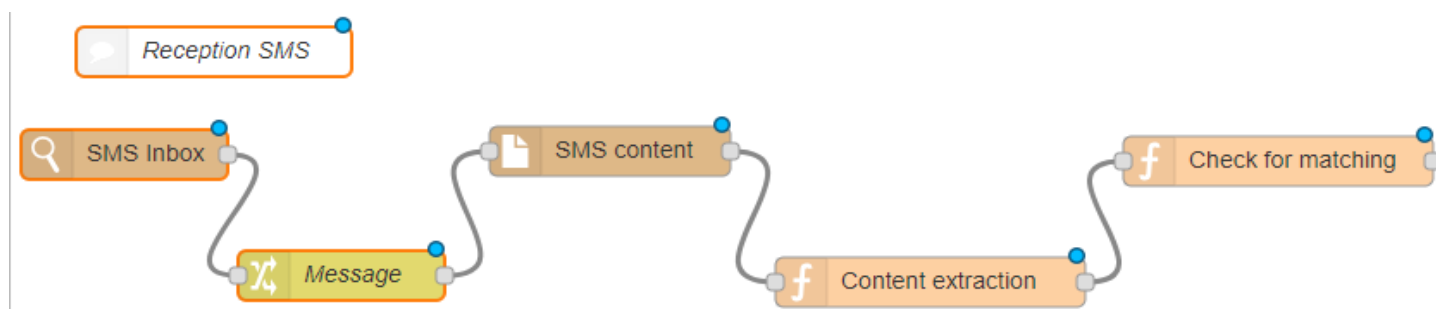


Figure 5. Nœud de traitement d'un SMS

Un exemple illustratif est présenté sur la Figure 6, sur cette figure nous essayons de montrer la chronologie d'échanges de données entre le compteur intelligent utilisant un modem GSM E3131 et un utilisateur disposant d'un smart phone. Dans ce scénario nous supposons que le modem est déjà connecté et son numéro de contact est connu.

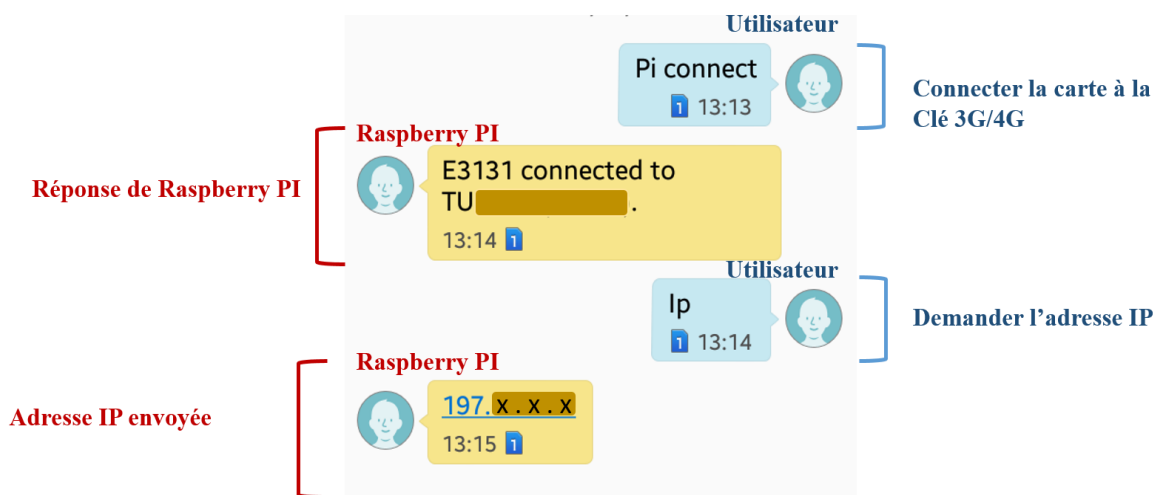


Figure 6. Exemple d'interaction Homme- Compteur via un serveur SMS

4.4. Vérification et comparaison de résultats délivrés par le compteur

Après avoir mis en place notre compteur, l'étape de vérification des résultats et de calibrage est indispensable.

La première méthode de calibrage utilisée est d’extraire les données d’acquisition du courant et de la tension sur une période et de les récupérer sous forme de tableau Excel, par la suite faire le traitement sous matlab (valeur efficace, fondamental, Puissance, facteur de puissance ...).

La deuxième méthode est en utilisant un système de comptage industriel, existant, SIEMENS SENTRON PAC 3200. Ce compteur à usage professionnel permet à la fois la vérification d’acquisition et le calcul.

Dans les deux tableaux 2 et 3 nous présentons quelques résultats dans le cas de 128 échantillons par période et dans le cas de 64 échantillons.

Les résultats obtenus sont satisfaisantes et l’erreur reste acceptable si on considère que le compteur sentron PAC 3200 comme étant un système de référence. L'erreur reste aux alentours de quelques % malgré les valeurs assez faibles du courant. Le capteur de courant utilisé est un capteur 100A. Avec un capteur plus adapté pour les faibles courants les résultats seront meilleurs. Nous avons volontairement utilisé un capteur 100A pour étudier le cas le plus défavorable.

64 points	Sentron PAC3200	Matlab	Compteur proposé	Erreur relative
Irms 1	0.64 A	0.6776A	0.68A	6.25 %
Irms 2	0.92A	0.95556A	0.97A	5.43 %
Irms 3	0.62A	0.649A	0.65A	4.84 %

Tableau 2. Cas 1 : 64 échantillons par période.

128 points	Sentron PAC3200	Matlab	Compteur proposé	Erreur relative
Irms 1	0.92 A	0.95A	0.95A	3.2 %
Irms 2	0.76A	0.77 A	0.78 A	2.63%
Irms 3	0.61A	0.6377	0.63A	3.27%

Tableau 3. Cas 2 : 128 échantillons par période.

La comparaison du compteur proposé avec le système de comptage existant de Siemens et après avoir appliqué le calibrage nécessaire de programme du calcul, nous avons pu obtenir de résultat acceptable avec une marge d’erreur très faible. La figure 7 illustre quelques grandeurs délivrées par le système de référence d’une part et d’autre par le compteur conçu.

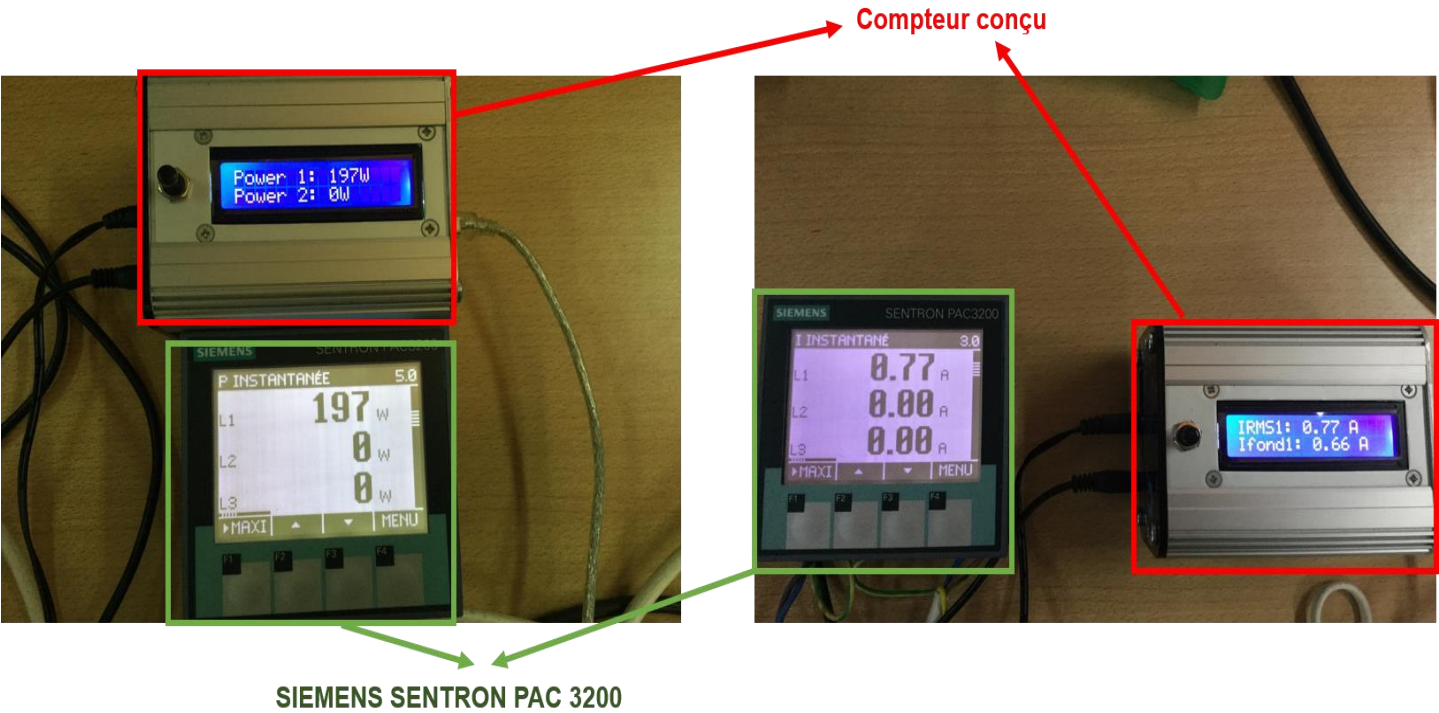


Figure 7. Comparaison entre les deux systèmes de comptage

4.5. Plateforme de monitoring énergétique

La plateforme de monitoring d'énergie «emoncms», constitue un ensemble complet de composants CMS (content management system) dédié aux applications énergétiques. Cette plateforme intègre l'affichage temps réel des courbes énergétiques ainsi que plusieurs interfaces graphiques essentiellement dédiés pour le monitoring énergétique. La base de données SQL peut être intégrée avec emoncms pour l'archivage des données persistantes comme l'énergie.

Nous présentons ci-dessous par la Figure 8 un exemple développé dans le cadre de notre prototype de smart meter. Le tableau de bord d'énergie indique les différentes grandeurs électriques à savoir le courant, la tension, l'énergie consommée, la puissance instantanée et la variation de puissance au cours du temps. La plateforme emoncms est lancée comme étant une application web déployée sur le serveur http open source «apache». Alors, l'accès sur le réseau local est disponible à travers l'adresse <http://adresseIP/emoncms> ou <http://adresseIP:80>. L'accès publique pourra être établi à travers des services cloud.

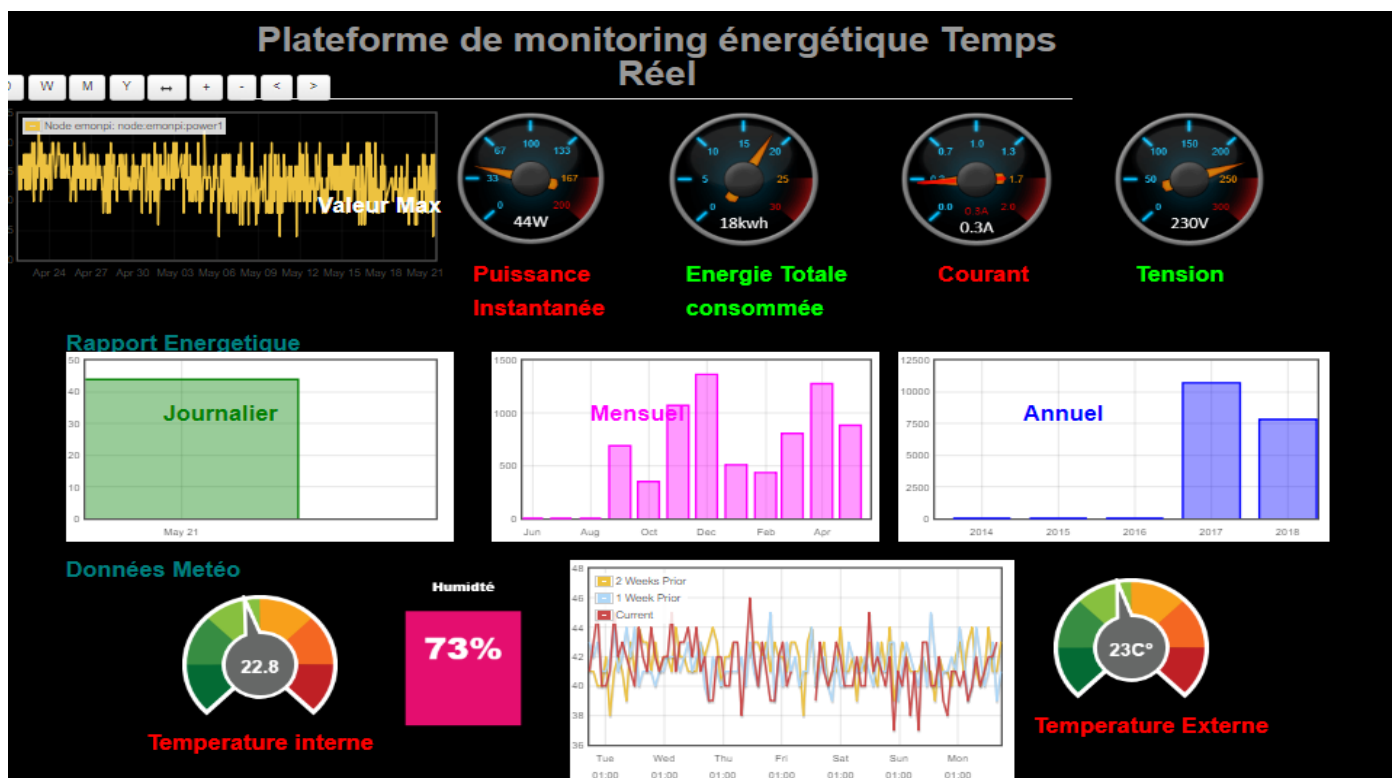


Figure 8. Tableau de bord de suivi

Pour avoir une visibilité totale sur la consommation d'énergie, nous avons créé des histogrammes comparatifs illustrant la consommation d'énergie journalière, mensuelle et annuelle comme la montre la Figure 9.

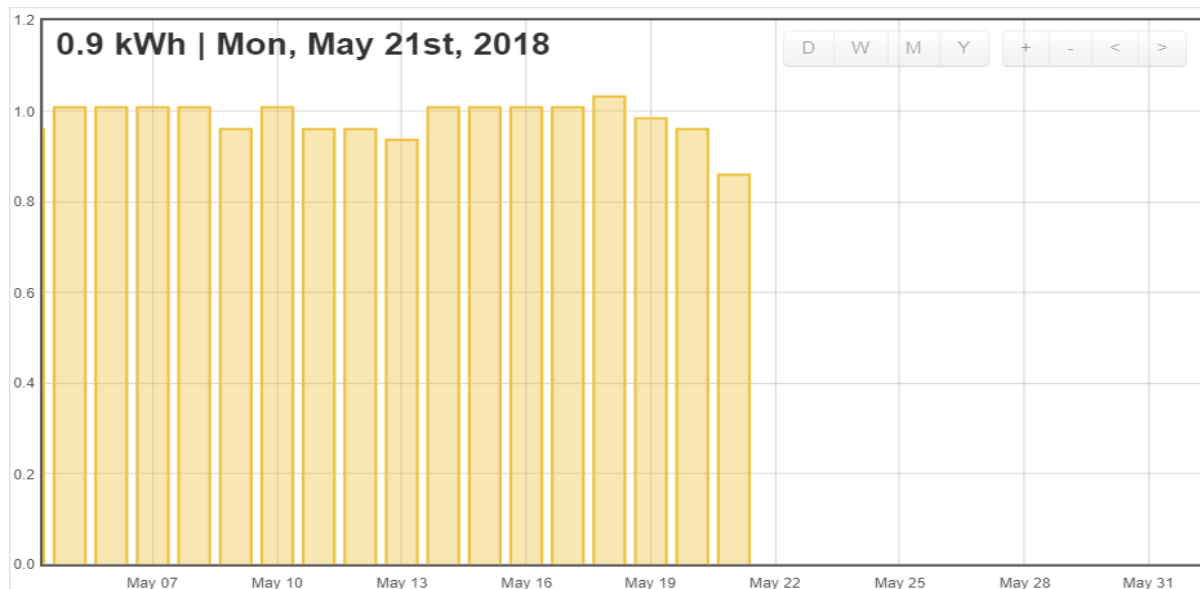


Figure 9. Consommation journalière d'énergie

« L'analyse de l'histogramme de consommation d'énergie permet de détecter une consommation anormale de l'énergie et éventuellement y remédier.

Nous pouvons aussi générer des courbes comparant la variation de la puissance sur deux ou trois semaines (avant et en cours) comme l'illustre la Figure 10 » [ELG 17].

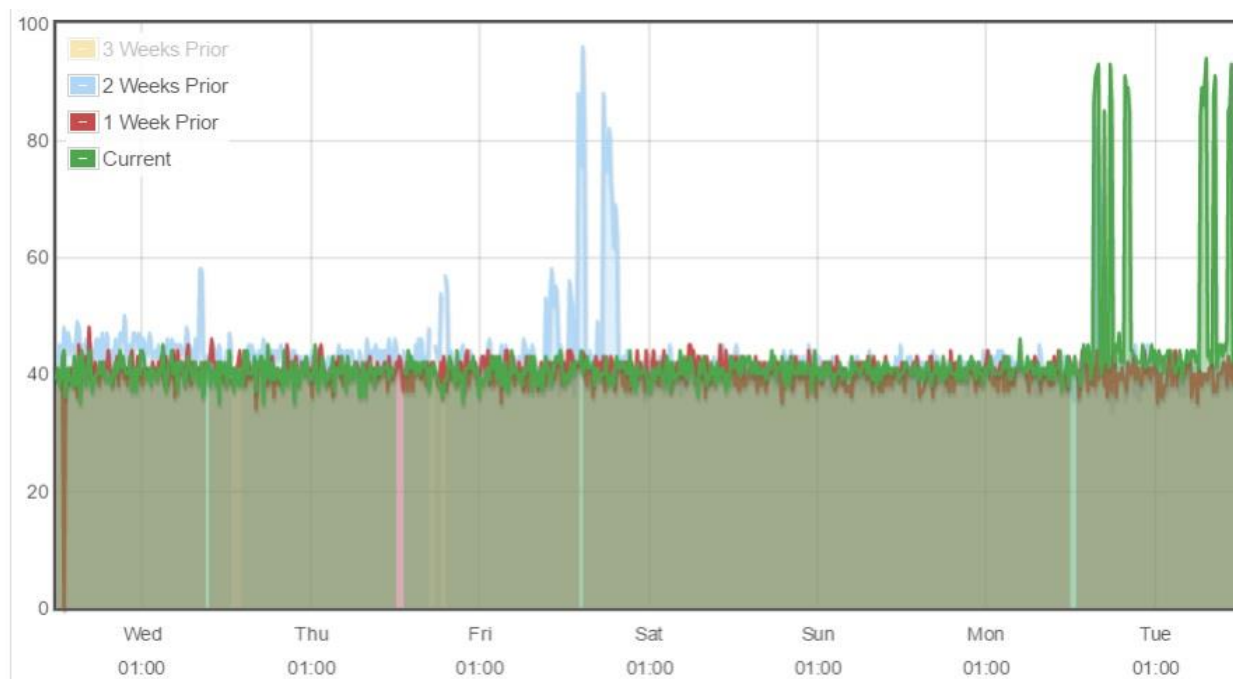


Figure 10. Comparaison d'évolution de la puissance durant 3 semaines

D'après la Figure 11, « nous avons remarqué que l'évolution de la puissance durant les trois semaines est presque stable, autour de 50 W. Ceci est normal puisque nous utilisons comme une charge, un projecteur LED de puissance 50W. Les pics de la puissance sont expliqués par les branchements des charges supplémentaires : alimentation de plusieurs PC, une perceuse, etc » [ELG 17].

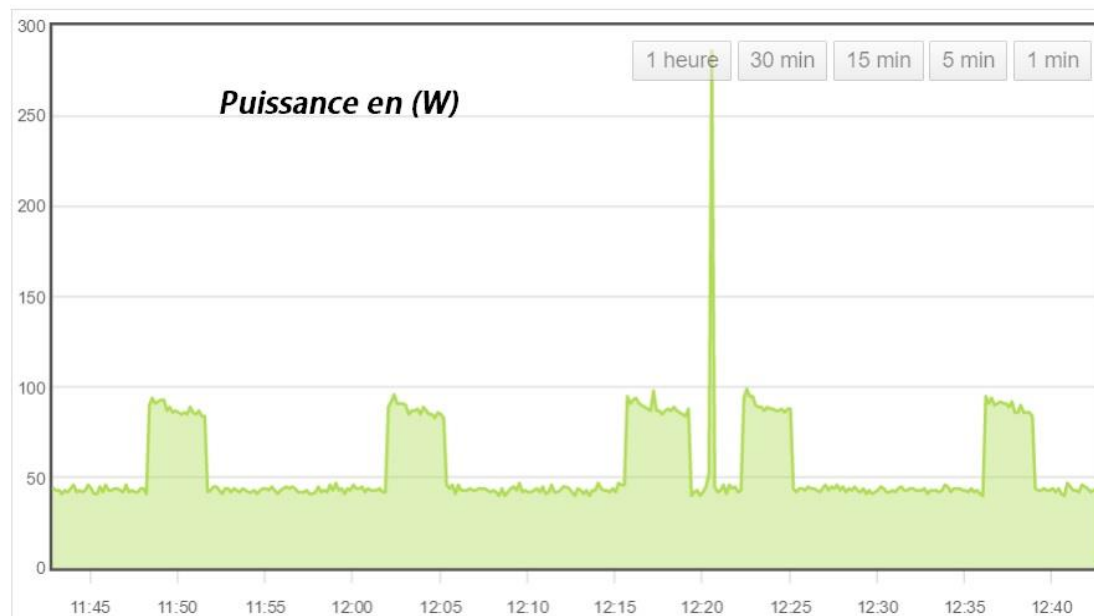


Figure 11. Courbe d'évolution de la puissance

5. Conclusions et perspectives

Dans le cadre de ce papier nous avons proposé une solution de monitoring et de comptage énergétique intelligent. Nous avons pu concevoir et implémenter notre compteur intelligent multi-protocolaire pour un monitoring temps réel distant et multiplateforme. Nous avons opté pour des ressources logicielles open source afin d'implémenter un serveur pour l'acquisition de quelques données énergétiques que ce soit via le réseau internet ou via réseau GPRS (4G) ou encore via réseau GSM.

Finalement, « nous avons proposé un exemple de tableau de bord temps réel et distant renfermant les courbes d'évolution, les mesures ainsi que les histogrammes de consommation d'énergie (journalière, mensuelle et annuelle) »[ELG 17].

Comme perspectives, « nous estimons que le compteur mis en œuvre est facilement intégrable dans l'infrastructure d'une maison intelligente (Smart Home) grâce à l'incorporation des composants connectés comme les relais Wi-Fi ou GSM par exemple communicant avec le compteur. Ceci est dans le but de parvenir à un suivi plus avancé en établissant un Gateway domotique. Nous pouvons obtenir, par ailleurs, une solution de monitoring résidentiel moderne où les objets, à savoir les capteurs sont tous connectés, intelligents et surtout gérables à distance » [ELG 17]. Il reste, bien évidemment la question de sécurité et la confidentialité des données des utilisateurs et la protection de la technologie, un sujet piquant malgré les moyens de sécurité utilisés. Il sera alors très intéressant d'exploiter la nouvelle technologie de Blockchain pour sécuriser l'échange de données et renforcer la fiabilité du système.

Bibliographie

- [BHI 18] Bhimani, P., & Panchal, G. (2018). « Message delivery guarantee and status update of clients based on IOT-AMQP ». In *Intelligent Communication and Computational Technologies* (pp. 15-22). Springer, Singapore.
- [CHA 16] Chandra, P. A., Vamsi, G. M., Manoj, Y. S., & Mary, G. I. (2016, May). « Automated energy meter using WiFi enabled raspberry Pi ». In *Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), IEEE International Conference on* (pp. 1992-1994). IEEE.
- [DAV 18] DAVIS G., McAfee, Inc., « 2020: Life with 50 billion connected devices », IEEE Conference Publication, 2018.
- [EMO 18] Plateforme d'emoncms, <https://emoncms.org/> Avril 2018.

- [ELG 17] Elghoul R. “Supervision et monitoring à distance des installations photovoltaïques” rapport du projet de fin d’étude, (p xi,p10,p19, p40-42,p46,p50-51,p56-57-58) sous la direction de M. Jelassi K. soutenu juin 2017 ENIT Tunis, Tunisie.,
- [LEK 18] Lekić, M., & Gardašević, G. « IoT sensor integration to Node-RED platform ». *17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA*, 2018.
- [LUZ 15] Luzuriaga, J. E., Perez, M., Boronat, P., Cano, J. C., Calafate, C., & Manzoni, P. (2015, January). « A comparative evaluation of AMQP and MQTT protocols over unstable and mobile networks ». In *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2015 12th Annual IEEE* (pp. 931-936). IEEE.
- [MQT 18] Site officiel de standard MQTT, <http://mqtt.org/> , Mai 2018.
- [NOD 18] Site officiel de la communauté Node Red , <https://nodered.org/>, Mai 2018.
- [POL 17] Polianytsia, A., Starkova, O., & Herasymenko, K. «Survey of the IoT data transmission protocols» . In *Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 2017 4th International* (pp. 369-371). IEEE.
- [WAM 18] site officiel de logiciel de gestion mobile Gammu, <https://wammu.eu/>, Avril 2018.
- [RAS 18] Site officiel de l’open source Raspberry PI3, <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> , Avril 2018.
- [SAL 18a] SALEH I., “Les enjeux et les défis de l’Internet des Objets (IdO)”. *Revue Internet des objets*. 17. 10.21494/ISTE.OP.2017.0133.
- [SAL 18b] I SALEH, M. AMMI & S. Szoniecky « Challenges of the Internet of Things: Technology, Use, Ethics », Co-publisher ISTE & Wiley Editions, Londres, 2018, ISBN : 9781786303615.
- [ZHU 15] Zhu, C., Leung, V. C., Shu, L., & Ngai, E. C. H. (2015). « Green internet of things for smart world ». *IEEE Access*, 3, 2151-2162.
- [ZHU 18] Zhu, L., Li, M., Zhang, Z., Du, X., & Guizani, M. (2018). « Big Data Mining of Users’ Energy Consumption Patterns in the Wireless Smart Grid ». *IEEE Wireless Communications*, 25(1), 84-89.