

Dispositif de reconstitution des données de puissances et du facteur de puissance à partir des données du Linky

Jérôme Ferrari¹, Benoit Delinchant¹, Frédéric Wurtz¹

¹Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP*, G2Elab, 38000 Grenoble, France

RESUME - Dans cet article, nous proposons un algorithme, associé à un équipement exploitant les mesures du Linky, permettant de reconstruire la puissance active, la puissance réactive et le facteur de puissance d'une installation électrique en temps réel. L'équipement permet d'une part de collecter les données de consommation à une fréquence élevée, mais également de reconstruire les trois grandeurs électriques manquantes et qui peuvent faciliter l'analyse et l'étude scientifique des usages de consommation. Ainsi il permet de réduire l'installation de capteurs dédiés qui sont généralement coûteux et nécessitent l'intervention d'un électricien.

Mots-clés— Linky, reconstitution, cosphi.

1. INTRODUCTION

La transition énergétique implique de nouvelles stratégies de monitoring basées sur une récupération de données pour permettre la désagrégation de la consommation d'électricité en vue de son analyse [1]. Les techniques actuelles nécessitent la mise en place de capteurs dépendants d'une intervention technique sur les circuits électriques (installation de tores de mesure, ajout de repiquage de tension, ...)[2]. Depuis 2015, le gestionnaire de réseau de distribution (Enedis) a débuté le déploiement du compteur communicant Linky permettant de transmettre à minuit « l'index » de consommation d'électricité (kWh) ainsi que la puissance active par pas de 15 minutes de la journée précédente pour permettre la facturation par les fournisseurs d'énergie. Ce compteur possède également une prise nommée TIC (TéléInfoClient) permettant de récupérer diverses informations (puissance apparente, index, intensité, ...) [3]. Cependant, les informations de puissance active et réactive ainsi que le facteur de puissance sont absentes de ces trames, ce qui peut s'avérer insuffisant pour une caractérisation efficace des usages de consommation. Notre but est de créer un algorithme permettant d'exploiter les données mises à disposition par la prise TIC de ce compteur communicant afin de reconstruire des informations manquantes. Au niveau de l'expérimentation, les données sont remontées par une passerelle de type Emetteur Radio Linky (ERL) développée par le G2Elab nommée Winky [4]. Dans cet article, nous présentons une méthodologie de reconstitution hybride permettant d'appliquer ou non un filtrage sur les calculs en fonction de la situation rencontrée.

2. PRESENTATION DES JEUX DE DONNEES UTILISES

Pour le développement de notre algorithme, nous allons utiliser des données provenant de deux expérimentations menées entre le G2Elab et l'Observatoire de la Transition Energétique (OTE)¹ visant à pallier aux problématiques du manque de données dans le domaine de l'énergie électrique.

2.1. Expérimentation ExpéSmarthouse

Le premier jeu de données provient de l'expérimentation nommée ExpéSmarthouse [5]. Cette expérience a pour but de publier en OpenData et sur une très grande période les données d'environ 400 points de mesures : (eau, gaz, électricité, confort, météo, ...) d'un foyer de 120 m². Les données disponibles sur le site RechercheDataGouv [6] couvrent actuellement la période de 2019 à 2024. Pour la validation de notre algorithme, nous utilisons les données de la partie électrique comme référence, car celle-ci a la particularité d'être monitorée avec une granularité de désagrégation allant du Linky jusqu'aux appareils individuellement comme le montre la figure Fig.1.

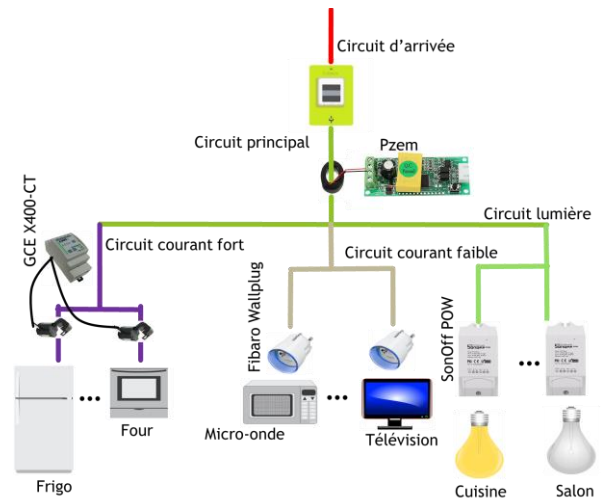


Fig. 1. Version schématique des points de mesures fournis par ExpéSmarthouse

2.2. Projet xKy

Le second jeu de données provient de l'expérimentation de type science participative dénommée projet xKy [7] où le

¹ <https://ote.univ-grenoble-alpes.fr/>

G2Elab a développé en « open-source » et « open-hardware », un Emetteur Radio Local (ERL) nommé Winky.

Cet ERL a été développé au G2Elab en partenariat avec l’OTE pour pallier la limitation imposée par Enedis sur le pas d’échantillonnage de 15 min concernant les courbes de charges envoyées vers un tiers de confiance (Fournisseurs d’électricité, agrégateurs d’énergie, laboratoires, ...).

Cet ERL une fois installé sur la prise TIC du Linky Fig.2 est capable de remonter en temps réel jusqu’à une fréquence d’échantillonnage de 20 secondes les données contenues dans les trames de celle-ci.

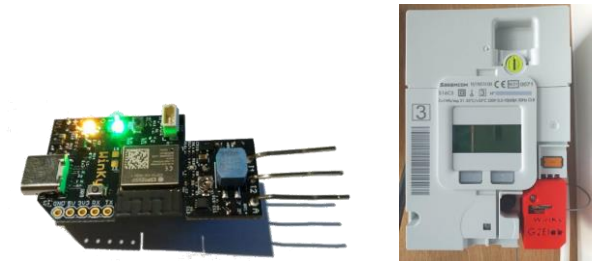


Fig. 2. ERL Winky (gauche) et ERL installé sur un compteur Linky (droit)

Le jeu de données mis à disposition sur l’entrepôt RechercheDataGouv [8] comprend les données brutes issues des trames des Linky de 150 participants pour la période de l’hiver 2023/2024 et nous servira comme terrain d’expérimentation pour l’algorithme.

3. METHODOLOGIE DE RECONSTITUTION

3.1. Cadre

Nous utilisons les données croisées entre ExpéSmarthouse et le sujet 754 du projet xKy, car ce participant est inscrit sur les deux études. Les données que nous utilisons sont illustrées dans le Tableau 1 :

Tableau 1. Nature et qualité des données utilisées

Base de données	Capteur	Données électriques fournies	Fonction dans l'étude
ExpéSmart house	PZEM004T Tore de mesure	- Puissance active - Facteur de puissance	Référence
Projet xKy	ERL Winky	- Index - Puissance apparente	Jeu de données

3.2. Méthodologie

3.3.

Pour information, les données d’entrée sont la puissance apparente en VA (Volt * Ampère) ainsi que les index en Wh (Watt * heure) et les données de sortie sont la puissance active en W (Watt), la puissance réactive en VAR (Volt*Ampère-Réactif) et le facteur de puissance sans unité. Le calcul présenté, s’effectue avec un retard de n trames en fonction du degré de filtrage utilisé. L’indice n = 0 correspond à la trame sur laquelle nous cherchons à déterminer la puissance active, réactive et le facteur de puissance.

3.3.1. Recalage temporel des données

Les données transmissent par le Winky étant horodatées à la réception dans la base de données InfluxDB. Un recalage des données est nécessaire. Comme nous pouvons le voir sur la figure Fig. 3, les temps de connexion au serveur n’étant pas réguliers et dépendants de la qualité du Wifi, nous rajoutons deux données supplémentaires à la trame envoyée :

- « Timedecode » qui correspondent respectivement au temps entre le réveil du µcontrôleur et la réussite de la lecture de la trame TIC
- « Timeconnexion » qui correspondent respectivement au temps entre le réveil du µcontrôleur et la réussite de la connexion au Wifi et aux serveurs

Nous négligeons le temps de transmission au serveur, car non quantifiable actuellement.

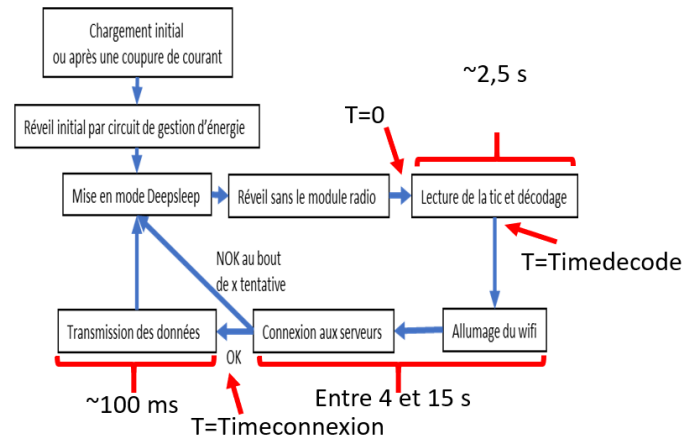


Fig. 3. Fonctionnement du Winky du point de vue temporel

Le calcul de l’horodatage corrigé est le suivant (1) :

$$datetime_0 = datimereception_0 - (Timeconnexion_0 - Timedecode_0) \quad (1)$$

3.3.2. Calcul des puissances actives provisoires

Nous commençons par calculer la puissance active provisoire de la trame traitée ainsi que des n trames précédentes et des n trames suivantes en suivant l’équation suivante (2).

for $n = -2 \rightarrow 2$:

$$P_{active} provisoire_n = 3600 \times \frac{index_{n+1} - index_n}{datetime_{n+1} - datetime_n} \quad (2)$$

3.3.3. Calcul du seuil d’incrémentation de référence

Le Linky mettant à disposition les index avec une résolution de 1Wh cela implique que l’incrémentation de l’index dans les trames envoyées est liée à la puissance et à la fréquence d’envoi des trames Fig. 4.

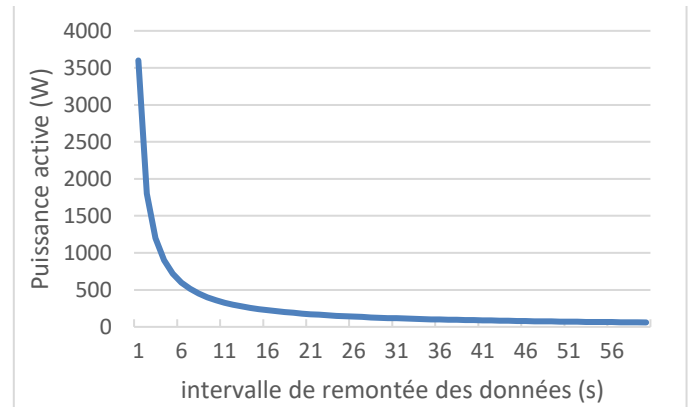


Fig. 4. Courbe de la puissance active nécessaire pour un saut d’index en fonction de l’intervalle de remontée des trames via le Winky

La fréquence d'envoi du Winky n'étant pas fixe, nous utilisons l'équation (3) pour déterminer le seuil d'incrément de référence (SIR) exprimé en W (Watt).

$$SIR = \frac{3600}{datetime_1 - datetime_0} \tag{3}$$

3.3.4. Détection d'un saut de puissance

Nous utilisons ce seuil d'incrément de référence pour déterminer si un saut de puissance est en cours ou à venir. Cette détection s'effectue avec l'algorithme (4) suivant :

$$\begin{aligned} &\text{for } n = 0 \rightarrow 2: \\ &\text{if } abs(P_{active\text{ provisoire}_{n+1}} - P_{active\text{ provisoire}_0}) > xSIR: \tag{4} \\ &\quad ndetection_0 = ndetection_0 + 1 \end{aligned}$$

Pour notre cas d'étude, nous avons fixé x à 2 afin d'avoir une marge de sécurité et éviter les fausses détections.

3.3.5. Choix du filtrage en fonction du cas rencontré

Une fois la détection faite, nous avons alors deux cas possibles où nous appliquerons un filtrage différent pour chacun.

3.3.5.1 Premier cas : Aucune détection de saut de puissance

Ce cas de figure concerne les périodes de puissances stables ainsi que les périodes de faibles charges avec la puissance totale de toutes les charges inférieures au SIR (exemple Fig 5.). Lors de ses périodes, le calcul de la puissance active basée sur la simple équation (2) renvoi des sauts Fig. 6 causé par le rattrapage d'index.



Fig. 5. Consommation relevée sur le Linky avec peu de consommation

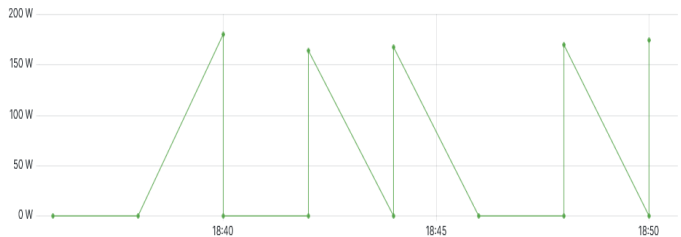


Fig. 6. Puissance reconstruite sans filtrage

Pour ce cas, une simple moyenne sur n valeur sera appliquée sur les calculs.

3.3.5.2 Second cas : Saut de puissance détecté

Ce cas de figure concerne les périodes où des sauts de puissances apparaissent. Pour cette situation, nous n'appliquons aucun filtrage et nous utilisons directement la puissance active provisoirement calculée précédemment afin de ne pas dénaturer le front montant ou descendant de la puissance active.

3.3.6. Calcul de la puissance active, réactive et du facteur de puissance

Une fois le cas déterminé, nous calculons la puissance active en suivant l'équation (5) :

$$\begin{aligned} &\text{if } ndetection > 0: \\ &\quad P_{active\text{ calculée}_0} = P_{active\text{ provisoire}_0} \\ &\text{else:} \\ &\quad P_{active\text{ calculée}_0} = \frac{(P_{active\text{ provisoire}_{-2}} + \dots + P_{active\text{ provisoire}_2})}{5} \end{aligned} \tag{5}$$

Nous calculons ensuite la puissance réactive ainsi que le facteur de puissance respectivement équations (6) et (7) à partir de la puissance active déterminée précédemment :

$$P_{réactive\text{ calculée}_0} = \sqrt{P_{apparente\text{ mesure}_0}^2 - P_{active\text{ calculée}_0}^2} \tag{6}$$

$$Facteur_{puissance\text{ calculé}_0} = \frac{P_{active\text{ calculée}_0}}{P_{apparente\text{ mesure}_0}} \tag{7}$$

3.4. Résultats

3.4.1. Résultat des calculs de la puissance active

Nous pouvons voir sur la figure Fig. 7 que la puissance active reconstruite correspond avec celle mesurée par notre capteur précis (PZEM) quelle que soit la zone (stable ou saut de puissance).

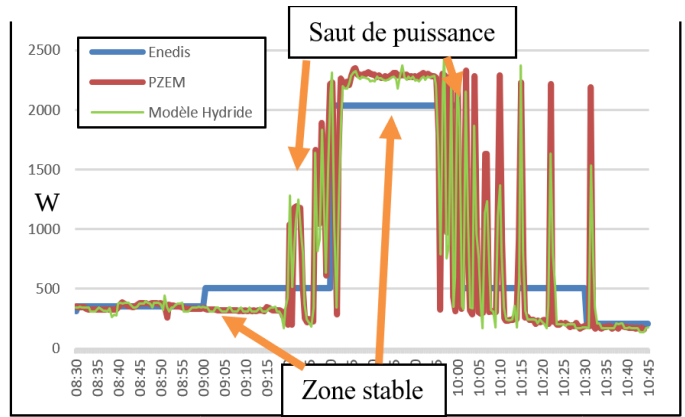


Fig. 7. Zoom (zone utilisation machine à laver) Puissances actives

Afin de quantifier l'amélioration apportée par notre méthode hybride, dans le Tableau 2, nous avons comparé l'erreur engendrée par celle-ci avec celles engendrées par les différentes méthodes de filtrage. Ces méthodes sont obtenues en modifiant l'équation du calcul de la puissance active (5) de la façon suivante :

Méthode sans filtrage (8)

$$P_{active\text{ calculée}_0} = P_{active\text{ provisoire}_0} \tag{8}$$

Méthode avec filtrage permanent (9)

$$P_{active\text{ calculée}_0} = \frac{(P_{active\text{ provisoire}_{-2}} + \dots + P_{active\text{ provisoire}_2})}{5} \tag{9}$$

Données comparées	Erreur (RMSE)
PZEM(référence)/Enedis	15902
PZEM(référence)/Recalculée avec filtrage permanent par moyenne glissante	8893
PZEM(référence)/Recalculée sans filtrage	5629
PZEM(référence)/Recalculée méthode hybride	5119

Comme nous pouvons le voir, l'ajout de la détection de situation permet d'améliorer la reconstitution. Nous pouvons également noter qu'en fonction de la journée reconstituée, l'erreur engendrée par la méthode hybride reste dans les mêmes ordres de grandeur alors que les méthodes avec filtrage permanent ou sans filtrage l'erreur va grandement osciller. Par exemple, une journée où la consommation est stable, la méthode avec filtrage permanent va devenir meilleure que la méthode sans filtrage et inversement lorsque l'on reconstruit une journée avec des fortes variations de charges (comme pour le cas actuel), la méthode sans filtrage devient la meilleure.

3.4.2. Résultat des calculs du facteur de puissance

Comme nous pouvons le voir sur la figure ci-dessous Fig. 8, le facteur de puissance reconstruit suit la même dynamique que celui mesuré par le PZEM.

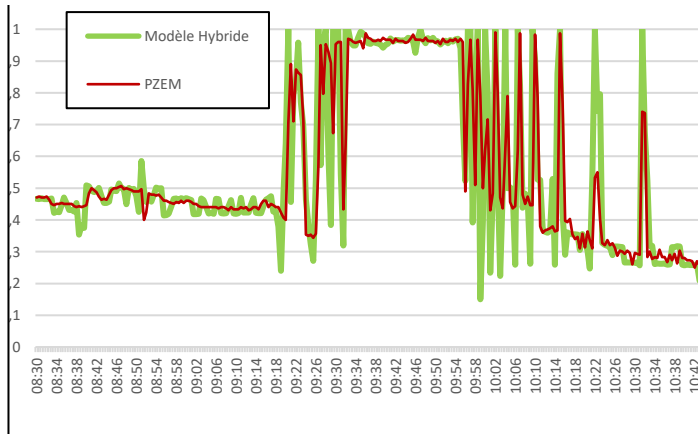


Fig. 8. Zoom (zone utilisation machine à laver) Facteur de puissance

3.4.3. Résultat des calculs de la puissance réactive

Comme nous pouvons le voir sur la figure ci-dessous Fig. 9, la puissance réactive reconstruite suit la même dynamique que celle mesurée par le PZEM.

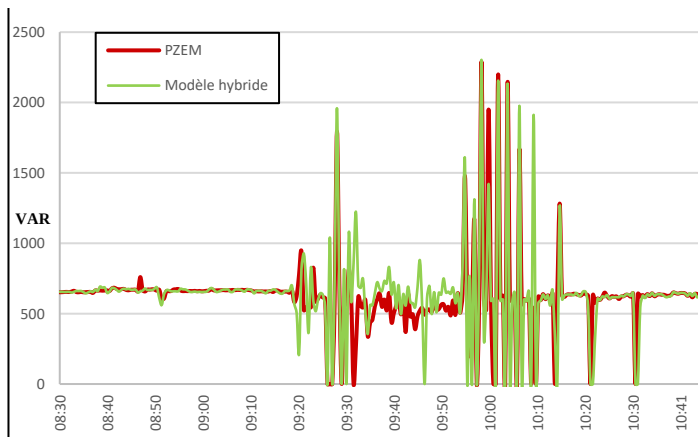


Fig. 9. Zoom (zone utilisation machine à laver) Puissance réactive

3.4.4. Résultat de reconstruction sur une journée

3.4.4.1 Choix de la journée

Comme nous avons accès aux données désagrégées via l'étude ExpéSmarthouse, nous avons choisi d'appliquer la méthodologie sur une journée où plusieurs appareils intéressants étaient en fonctionnement (micro-ondes, lave-linge, sèche-linge, lave-vaisselle, réfrigérateur et plaques de cuisson) et dont on avait à la fois la puissance Fig. 10. et l'état d'activation Fig. 11. Cela nous permet de faire une première vérification visuelle sans utiliser les données du capteur PZEM.

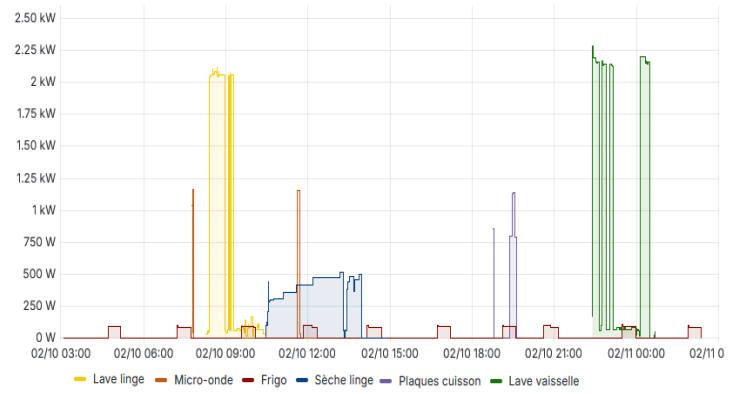


Fig. 10. Puissance active des différents appareils

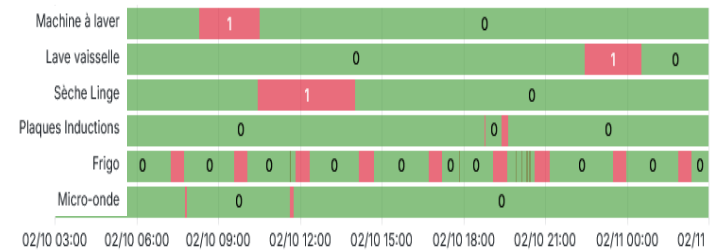


Fig. 11. Retour d'état d'activation des différents appareils

3.4.4.2 Données d'entrée de reconstruction sur une journée

Nous avons donc appliqué la méthodologie en utilisant l'index ramené à la journée Fig. 12 ainsi que la puissance apparente Fig. 13 fournis par les trames TIC. Nous pouvons déjà observer que sur les appareils de type gros consommateur sont déjà distinguables seulement avec la puissance apparente. Cependant, la signature du réfrigérateur se retrouve noyée.

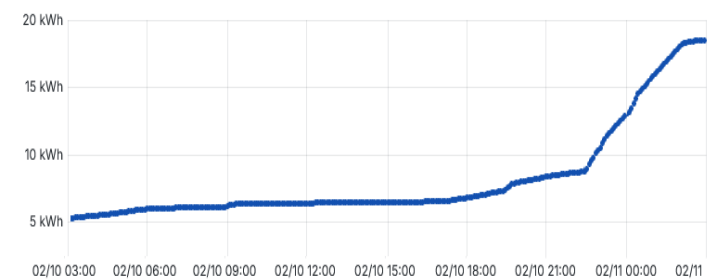


Fig. 12. Courbe de consommation journée (Données TIC Linky)

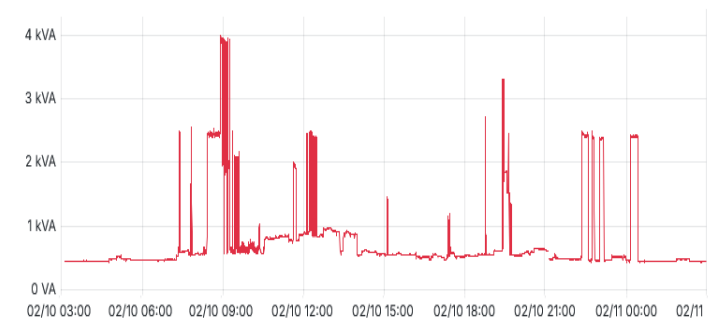


Fig. 13. Courbe puissance apparente journée (Données TIC Linky)

Suite à la reconstruction de la puissance active Fig. 14, de la puissance réactive Fig. 15 et du facteur de puissance Fig. 16, nous pouvons observer que la signature du réfrigérateur est de nouveau observable grâce au facteur de puissance Fig. 16. La puissance réactive quant à elle, nous permettra de mettre en équation la nature de la charge en cours.

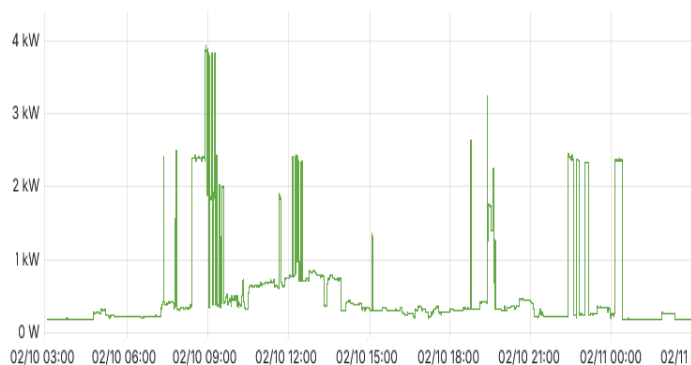


Fig. 14. Courbe puissance active journée (Données reconstruite)

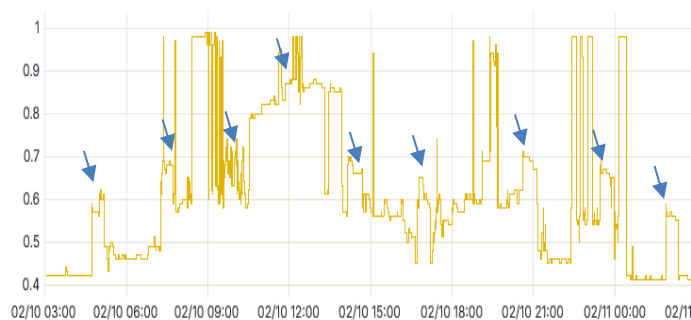


Fig. 15. Courbe facteur de puissance journée (Données reconstruite) avec cycles de frigo de nouveaux visibles (flèches bleues)

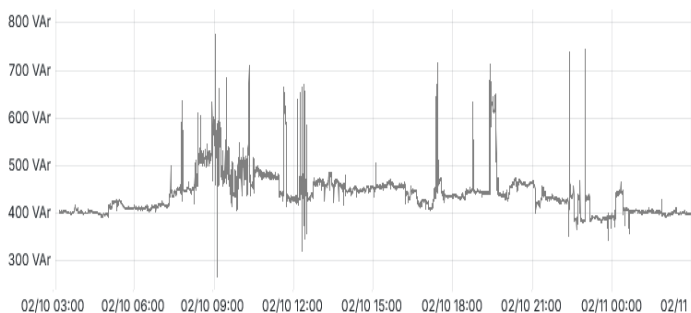


Fig. 16. Courbe puissance réactive journée (Données reconstruite)

4. APPLICATION DE LA METHODE SUR UNE MAISON AVEC UNE PARTIE PRODUCTION

Nous avons également testé cette méthode de reconstruction chez des participants possédant un système de production (panneaux photovoltaïques) et déclarés comme producteurs auprès de leur fournisseur d'énergie avec passage en mode Standard de la TIC. Ces conditions sont obligatoires car seul ce mode permet d'avoir l'index de production ainsi que la puissance apparente réinjectée dans le réseau inclus dans les trames fournies par la TIC [3].

Pour reconstituer la courbe consommation/production, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Calcul de la courbe de consommation nommée ici PactiveConso avec la méthode hybride en utilisant comme données d'entrée l'index de consommation et de la puissance apparente de consommation.
- Calcul de la courbe de production nommée ici PactiveProd en suivant la méthode hybride avec pour données d'entrée l'index de production couplé à la puissance apparente de production respectivement à la

place de l'index de consommation et de la puissance apparente de consommation.

- Calcul de la courbe totale nommée ici PactiveTotale en utilisant l'équation (10) :

$$P_{activeTotale} = P_{activeConso} - P_{activeProd} \quad (10)$$

Sur l'exemple ci-dessous Fig. 17, nous observons la reconstitution avec la mise en évidence d'une cloche de production.

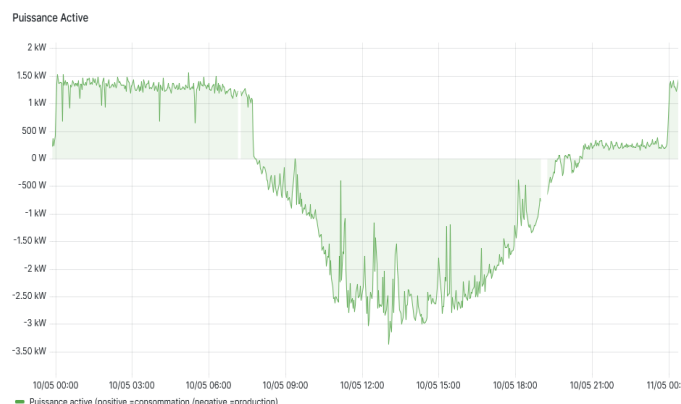


Fig. 17. Puissance active journée avec production (Données reconstruites)

Nous pouvons noter que cette équation est possible car au niveau du comptage du Linky, l'index de consommation n'augmente pas pendant une phase de production avec réinjection (production > consommation) Fig. 18 et donne par conséquence une PactiveConso nulle. Inversement lors d'une phase de consommation (consommation > production), l'index de production n'augmente pas Fig. 19 et donne alors une PactiveProd nulle.

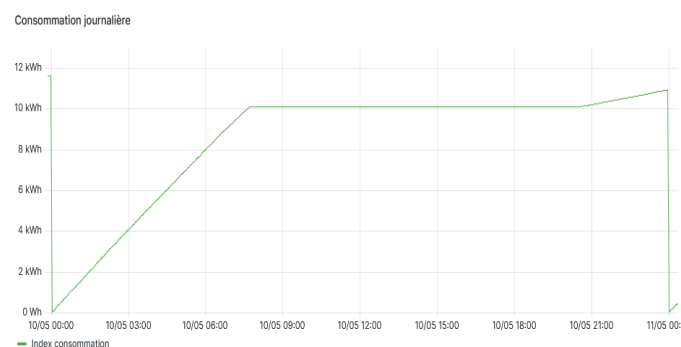


Fig. 18. Courbe de production (Données TIC Linky)

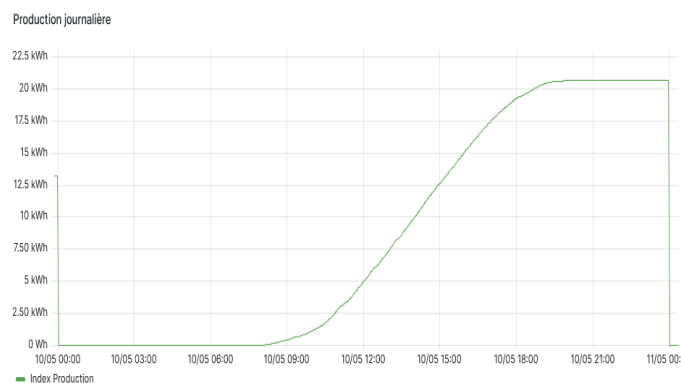


Fig. 19. Courbe de production (Données TIC Linky)

5. APPLICATION DE LA METHODE SUR LE PANEL DES PARTICIPANTS DE L'EXPERIMENTATION xKY

Actuellement, la méthode est appliquée en temps réel sur le serveur de l'étude de science participative xKy où chaque participant peut accéder à une interface Grafana personnalisée avec les informations natives et reconstruites issues des trames du Linky. La figure Fig. 19. illustre une version simplifiée de l'interface concernant les données de l'article actuel.

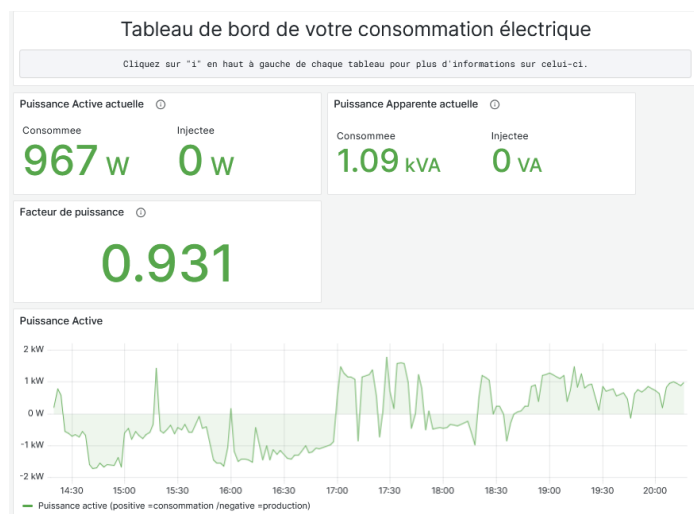


Fig. 19. Courbe puissance active journée avec production (Données reconstruite)

Une interface de démonstration complète est disponible sur la partie OpenData du serveur Grafana de l'OTE [9].

6. LIMITATION DE LA METHODE

La méthode reposant sur une partie historisation, celle-ci ne permet pas le pilotage de charge en temps réel et ne peut servir qu'à une l'analyse de la consommation ou de la production. Une modification du firmware du Linky avec un ajout de la puissance active, réactive et du facteur de puissance directement dans la trame des informations transmises par la prise TIC serait la solution idéale.

7. CONCLUSIONS

Nous pouvons conclure que la méthode présentée dans cet article permet de reconstruire la puissance active, la puissance apparente et le facteur de puissance d'une installation résidentielle équipée d'un compteur Linky au travers de la prise TéléInfoClient. L'équipement supplémentaire Winky est constitué de composants abordables, ne nécessite pas d'intervention de technicien pour être installé. Les participants de nos projets de science participative peuvent l'installer eux-mêmes et bénéficier de la collecte et de l'analyse des données en temps réel directement chez eux.

8. PERSPECTIVES

Cette méthode de reconstruction va être utilisée pour effectuer nos recherches sur la désagrégation des données de la consommation électrique où le but est d'utiliser seulement les données issues du compteur Linky.

9. REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-15-IDEX-

02 dans le cadre du projet Observatoire de la Transition Energétique.

Le projet xKy est financé par Grenoble-INP SA et soutenu par l'UGA et le CNRS.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence ANR-22-PETA-0009.

Ce projet a obtenu le soutien financier du CNRS à travers le programme interdisciplinaire « Série de longue durée » de la MITI.

10. REFERENCES

- [1] Mohammad Kaosain Akbar, Manar Amayri, Nizar Bouguila, Benoit Delinchant, Frederic Wurtz, "Evaluation of Regression Models and Bayes-Ensemble Regressor Technique for Non-Intrusive Load Monitoring", Sustainable Energy, Grids and Networks, 2024, 101294, ISSN 2352-4677, <https://doi.org/10.1016/j.segan.2024.101294>
- [2] Bansal, S.; Schmidt, M. 2017 « Energy Disaggregation Methods for Commercial Buildings Using Smart Meter and Operational Data ». AAAI Workshops Artificial Intelligence for Smart Grids and Smart Buildings, San Francisco, CA, USA
- [3] Document Enedis sur la prise TéléInfoClient- <https://www.enedis.fr/media/2035/download>
- [4] Site de l'Emetteur Radio Linky créé par le G2elab : <https://miniprojets.net/index.php/2022/02/04/winky-version-2-open-source-projet-pour-linky-avec-wifi/>
- [5] Site internet expliquant l'expérimentation ExpéSmarthouse <https://expe-smarthouse.org/>.
- [6] Ferrari, Jérôme; Osonuga, Seun; Wurtz, Frederic; Delinchant, Benoit, 2024, "ExpeSmartHouse - Données d'une maison connectée", <https://doi.org/10.57745/NJABDI>, Recherche Data Gouv, V3, UNF:6:eYGxSIzpYYOCLKuFj83xQw==
- [7] Jérôme Ferrari, Frédéric Wurtz, Benoit Delinchant, et al.. Observation et analyse des mécanismes expérimentaux impliquant la récupération des données de consommation issues du compteur Linky : des expériences Etudelec à xKy. IBPSA 2024, IBPSA, May 2024, La rochelle, France. <hal-04574849>
- [8] Ferrari, Jérôme; Imard, Vincent; Boisseau, Christophe; Osonuga, Seun; Wurtz, Frederic; Delinchant, Benoit, 2024, "Etude xKy: Données issues de compteurs linky avec échantillonnage inférieur à la minute", <https://doi.org/10.57745/SHDDTW>, Recherche Data Gouv, V2, UNF:6:MrdU3BHudurwidX1/uYyKw== [fileUNF]
- [9] Démonstration d'une interface d'un participant à l'expérimentation xKy <https://grafana-ote.univ-grenoble-alpes.fr/d/d34c75c9-f942-416c-b5a2-0971ce7d4337/xkydemo?orgId=1>