

Spécification, design et diffusion d'une passerelle open source software et hardware de récupération des trames du compteur Linky

Jérôme Ferrari¹, Benoit Delinchant¹, Frédéric Wurtz¹

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

RESUME - Dans cet article, nous abordons la conception open source hardware et software ainsi que la diffusion d'un Emetteur Radio Linky (ERL) permettant de lire puis de transmettre les données issues de la prise TéléInformationClient (TIC) du Linky vers un serveur dédié de recherche et/ou domotique. Au niveau hardware, deux innovations sont présentées l'un sur la démodulation des trames et l'autre sur la gestion de l'auto-alimentation à partir des 130mW mise à la disposition de la prise TIC.

Mots-clés— IOT, Linky, Démodulation, TIC, Open-source

1. INTRODUCTION

Dans le domaine de la transition énergétique, l'accès aux données réelles de consommation est nécessaire pour alimenter la communauté scientifique dans ses observations mais aussi dans la création de modèles. En France, à partir de 2015, une première avancée dans la production de données fines spatialement de la consommation des ménages a été permise grâce au déploiement par le gestionnaire de réseau ENEDIS du compteur communicant Linky. Cependant, le Linky par sa place particulière dans notre société [1] a nécessité la mise en œuvre d'une protection stricte des données produites où seuls les tiers de confiance peuvent accéder à celles-ci. Au niveau académique, l'Observatoire de la Transition Énergétique (OTE) a pu passer tiers de confiance afin de faciliter l'accès à ces données par les équipes de recherche. Une autre caractéristique limitante du système Linky pour la recherche provient de la faible résolution temporelle et non temps réel des données. Nous pouvons cependant noter une légère amélioration car avant octobre 2024, le pas de temps était de 30 minutes avec envoi des données en temps différé de 24 à 48 heures et maintenant, le pas de temps a été réduit à 15 minutes. Cette limitation technique induit un trou de données dans les études de l'OTE nécessitant l'utilisation de données fines spatialement et temporellement en temps réel (science participative, désagrégation de données...).

Afin de pallier à cette problématique, nous avons décidé d'utiliser la prise la TéléInfoClient (TIC) présente sur le Linky qui permet de récupérer les données directement depuis celle-ci [2]. Suite à une étude de l'état de l'art [3] où est apparu qu'aucun appareil de type Emetteur Radio Linky (ERL) sur le marché ne pouvait garantir à la fois une auto-alimentation depuis la prise TIC, une maîtrise de bout en bout du transfert des données vers un serveur souverain et accessible à tout le monde (financièrement ou techniquement). C'est en partant de cette problématique que l'OTE en partenariat avec le laboratoire de

génie électrique de Grenoble (G2ELAB) ont développé une passerelle Wifi dénommée xKy en open source hardware permettant de remplir toutes ses fonctions. Cet article ne se concentre que sur le développement de la passerelle en elle-même ainsi que son intégration dans différents systèmes (recherche ou/et domotique) car la structure juridique et les cas d'usages du dispositif ont déjà été traités dans une précédente publication [4]. Une partie de ce développement s'illustre principalement par la mise en place d'une étude de type science participative, où 250 participants ont été recrutés au travers de l'OTE afin de développer un framework accessible et facilement déployable afin de permettre une ouverture du champ des possibles à des chercheurs néophytes dans le domaine de l'électricité [5]. Une dernière spécificité était de rendre ouverte et simple de compréhension la solution afin d'assurer une confiance du public en leur permettant d'analyser le système et de savoir où et comment sont traitées leurs données.

2. CREATION DU DISPOSITIF

La création du dispositif a été découpée en deux phases distinctes, la première consistait à produire les plans électroniques de l'ERL et la seconde consistait à créer l'écosystème autour de ce dispositif (fabrication des ERL, micrologiciel, interopérabilité, restitution des données).

2.1. Conception de l'ERL

La partie hardware de l'ERL xKy a nécessité de résoudre deux problématiques techniques principales : la mise en forme et lecture des trames TIC et l'auto-alimentation à partir de la prise TIC. Dans cette section, nous commencerons par détailler indépendamment les solutions imaginées pour résoudre ces deux problématiques puis nous donnerons le schéma final.

2.1.1. Mise en forme et lecture des trames TIC

Pour transmettre les trames d'information sur la prise TIC, le Linky utilise une transmission binaire unidirectionnelle modulée en amplitude avec une portuse à 50kHz dont le débit de transmission est fixé soit 1200 bauds (TIC historique), soit 9600 bauds (TIC standard) [2]. Historiquement, nous retrouvons les premières traces de montage permettant la démodulation de la TIC avec la génération des compteurs électroniques non communicants précédant le Linky. Pour assurer la démodulation du signal et plus particulièrement dans le milieu des « Makers », nous retrouvons dès mars 2004 une architecture proposée par Bernard Lefrançois basée sur l'utilisation opportuniste d'un optocoupleur [6]. Ce montage poursuit son évolution jusqu'en

juillet 2015 où Charles-Henri Hallard dépose en CC-BY-NC-SA (CC-BY : Attribution - NC : NonCommercial - SA : ShareAlike) la version améliorée avec l'ajout du montage transistor pour la stabilisation du signal [7].

Cependant, ce montage par la nature de l'optocoupleur ne permet pas de respecter les conditions pour une labélisation LinkyReady, car le seuil de détection minimal du signal fixé à 0.8V par Enedis ne peut pas être respecté dans certaines conditions (Grand froid, ERL en cascade...).

Afin de remplir cette condition, l'utilisation d'un montage par détection d'enveloppe a été choisi pour permettre une démodulation du signal AM issu du Linky. Dans la littérature électronique [8], le schéma de principe de ce type de démodulation est représenté la plupart du temps par le schéma Fig. 1.

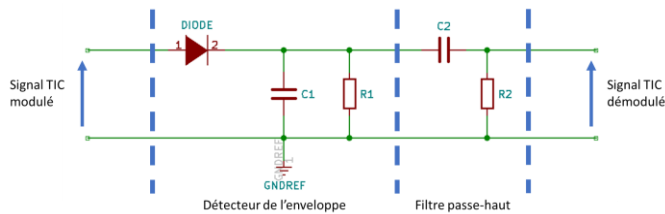


Fig. 1. Schéma de principe de la démodulation AM par détection d'enveloppe

Pour notre application, nous avons remanié le principe de base afin de pouvoir utiliser toute la plage du signal modulé. Le schéma Fig. 2 représente le montage final que nous allons vous détailler ci-après.

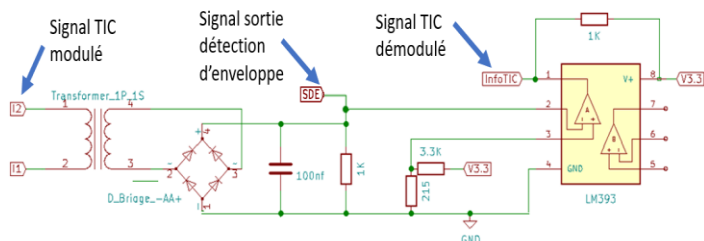


Fig. 2. Montage de démodulation AM utilisé sur la passerelle xKy

En entrée du montage, nous avons utilisé un transformateur 1:1 afin d'assurer une isolation galvanique du signal TIC d'entrée car celui-ci peut être partagé avec plusieurs ERL Fig. 3.

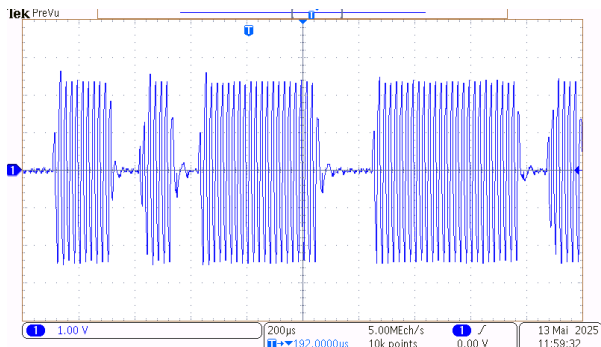


Fig. 3. Signal en sortie du transformateur

La partie détection d'enveloppe utilise le principe énoncé précédemment à l'exception de l'utilisation d'un pont de diodes à la place d'une simple diode. Cette solution permet de redresser la partie négative du signal avant le travail de détection

La détection se fait grâce à un couple RC dont le choix se base sur le compromis (1) et donne le résultat Fig. 4 :

$$f_{porteuse} \gg \frac{1}{2\pi RC} > f_{modulant} \quad (1)$$

Le couple optimal trouvé expérimentalement est R = 1ko et C = 100nF.

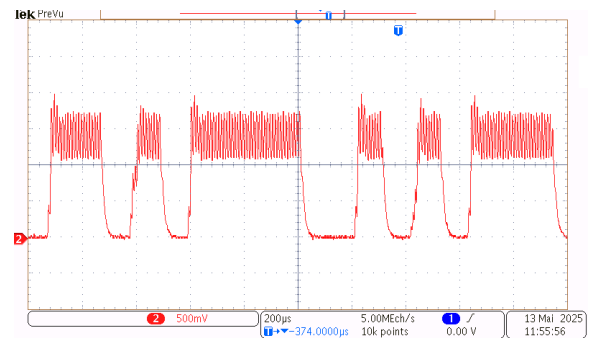


Fig. 4. Signal en sortie de la détection d'enveloppe (SDE)

En sortie de la détection d'enveloppe, étant donné que le signal de la TIC est de type binaire, nous avons choisi un montage permettant une détection de seuil pour finir la démodulation. Nous avons opté pour amplificateur opérationnel LM393 configuré en mode comparateur avec un seuil de déclenchement fixé à 0.2V. Nous avons choisi le LM393 car celui-ci est capable de fonctionner en 0-3.3V et donc de sortir un signal exploitable directement par le µcontrôleur. L'oscillogramme Fig. 5 montre le résultat obtenu par ce montage.

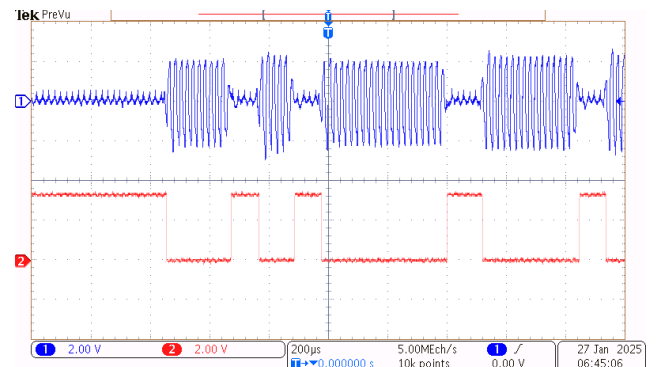


Fig. 5. Signal sortie TIC (I1I2) en bleu et signal démodulé (InfoTIC) en rouge

2.1.2. Gestion de l'énergie

Une des problématiques au sein des ERL auto-alimenté réside dans la gestion de la puissance de 130 mW mis à disposition par la prise TIC. Cette puissance disponible est alors trop faible par la comparaison à 780mW que peut nécessiter un µcontrôleur de type ESP (8266 ou 32) pour un envoi des données en Wifi en continu. Pour résoudre ce problème, nous avons opté pour une solution mélangeant hardware et software.

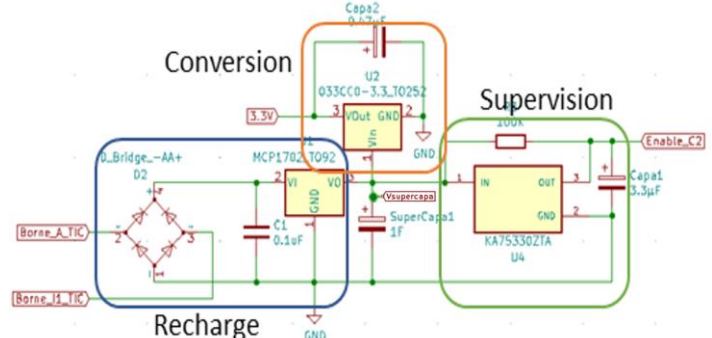


Fig. 6. Montage électronique de gestion de l'énergie

La partie hardware représentée par le schéma électronique Fig. 6 comporte 3 sous-fonctionnalités (recharge, conversion et supervision) s'articulant autour d'une supercapacité de 1F (ou 1,5F en fonction de la disponibilité) et 5,5V de tension maximale.

La recharge est assurée par un pont de diode suivi d'un régulateur LDO à faible courant de repos. Les diodes choisies sont de type Schottky BAT48, le régulateur est un MCP1702-5002E régulant à 5V.

La supervision a pour fonction d'autoriser la mise en route du μ contrôleur en appliquant une tension de 3,3V sur la patte « enable » de celui-ci. Le circuit se compose d'un détecteur de tension KA75330ZTA à 3,3V avec une hystérésis de 50mV couplé avec un circuit RC permettant de retarder la mise en route. Le couple RC est déterminé avec les valeurs suivantes $R = 100\text{ko}$ et $C = 3,3\mu\text{F}$ afin d'avoir une autorisation retardée de 330ms. Ce retard a été dimensionné pour accumuler suffisamment d'énergie pour éviter un effondrement de la tension d'alimentation lors de la première mise en route du μ contrôleur et que celui-ci se retrouve dans un état indéterminé.

La partie conversion permettant d'alimenter en 3.3V le μ contrôleur ainsi que la partie démodulation utilise un simple régulateur LDO BA033CC0FP-E2.

Cette architecture électronique est couplée à une partie logicielle dont le diagramme de décision permettant d'effectuer un « deepsleep » (endormissement profond) initial du μ contrôleur [9] afin de permettre à la supercapacité d'attendre une valeur de tension optimale pour démarrer un cycle Fig. 7.

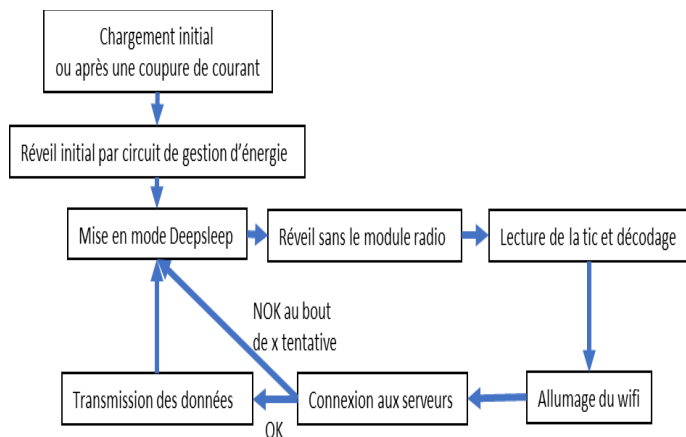


Fig. 7. Diagramme de décision de gestion de l'énergie utilisé sur la passerelle

Dans la version « makers » Fig. 10, le temps de deepsleep initial est fixé à 150 secondes, puis les temps des deepsleeps normaux sont fixés à trois fois le temps d'utilisation du module wifi. Dans la version « grand public » Fig. 11, une optimisation est proposée par l'ajout de la lecture de la tension de la supercapacité dans un premier temps à l'endormissement du μ contrôleur afin de calculer le temps optimal d'endormissement mais aussi à son réveil afin de vérifier si le niveau de tension nécessaire pour un cycle est atteint, dans le cas contraire, un endormissement de quelques secondes de plus est ordonné (ce mécanisme est implémenté afin de pallier au vieillissement des composants). Cette optimisation permet de réduire le temps entre chaque cycle. Les cycles les plus rapides enregistrés sur la version « grand public » chez les participants sont de 18 secondes entre chaque paquet de données envoyé. Le comportement logiciel de la passerelle peut être observé directement via la tension de la supercapacité Fig. 8 :

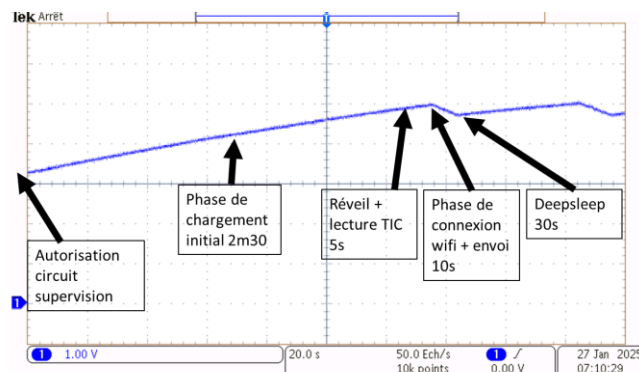


Fig. 8. Cycle vie de la passerelle observé via la tension de la supercapacité ($V_{supercapa}$)

2.1.3. Schéma électronique complet

Le schéma électronique diffusé réunissant les deux solutions est illustré par le schéma Fig. 9. avec la partie haute est dédiée à la démodulation et la partie basse à la gestion de l'énergie.

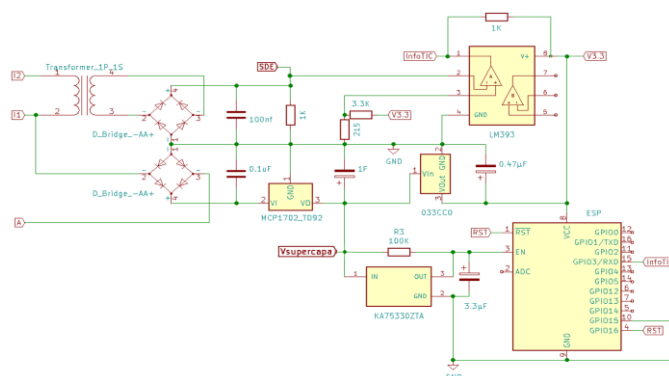


Fig. 9. Schéma électronique complet de la solution

2.1.4. Deux versions de passerelles

Deux types de passerelles Open Hardware ont vu le jour, une version « fablab » et une version « grand public »

2.1.4.1 Version « makers »

La version « makers » a été la première version développée. Créée par l'équipe du G2Elab cette version est entièrement conçue pour pouvoir être réalisée avec des composants traversants et avec des plaques simple face Fig. 10. Le but est de rendre la passerelle compréhensible, fabriquable et réparable facilement. Cette version est aussi conçue pour réduire les ressources nécessaires pour sa fabrication et sa mise en œuvre. Elle est découpée en deux parties, un corps qui supporte toute la partie détramage, gestion de l'énergie et la tête démontable qui embarque une puce de type ESP8266 réputée pour sa robustesse. Ce choix a été fait afin de pouvoir flasher plusieurs modules via un unique programmeur FTDI lors d'un déploiement d'une flotte de passerelles et ainsi réduire le nombre de composants « inutiles » sur la phase d'exploitation ou aussi de permettre de ne remplacer que la partie défectueuse. Cette version peut être fabriquée pour une dizaine d'euros.

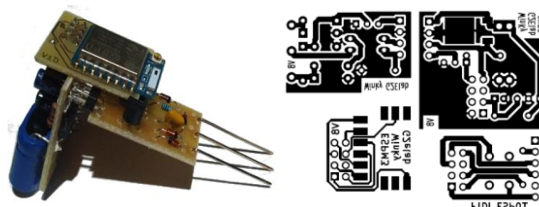


Fig. 10. Version « fablab » (gauche : version montée, droite : typon fourni)

2.1.4.2 Version « grand public »

La version « grand public » est développée au travers d'une collaboration entre l'équipe du G2Elab, Nicolas Bernaerts et Charles-Henri Hallard dans le but de rendre la passerelle accessible aux néophytes en électronique ou pour des expérimentations à grande échelle. Cette version est composée uniquement avec des composants de type CMS et possède des fonctionnalités plus avancées comme une puce ESP32C6 qui permet en plus de faire du wifi de pouvoir communiquer en zigbee, le report de la prise TIC, deux LEDs pour indiquer l'état de celle-ci ou le tarif électrique en cours ainsi que la puce de programmation USB intégrée Fig. 11. Le coût de fabrication de cette version avoisine alors la trentaine d'euros.

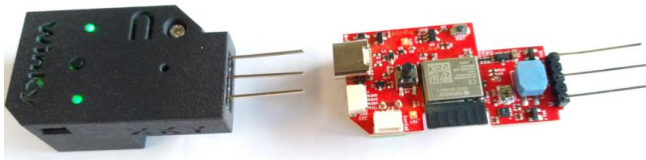


Fig. 11. Version « grand public »

En termes de robustesse, les 2 passerelles disposent d'un boîtier qui peut être fabriqué soit par un moule à injection soit par une imprimante 3D.

3. CONCEPTION DU MICROLOGICIEL

Comme pour les PCB, le micrologiciel, deux versions open-source existent une « makers » et une « grand public ». Leur principale différence réside dans l'endroit où sont traitées les données.

3.1.1.1 Version « laboratoire »

La version « laboratoire » a été développée par l'équipe du G2Elab et améliorée grâce aux participants de l'étude de science participative xKy. Cette version a pour approche de traitement de la donnée « déportée ». Elle effectue une lecture puis un transfert des données décodées de la trame issues du compteur Linky vers un serveur InfluxDB et/ou vers un broker MQTT. Le traitement des données s'effectue ensuite au niveau du serveur. Un avantage est de pouvoir corriger à posteriori d'éventuelles erreurs de calculs ou de tester de nouvelles méthodes de reconstruction, ce qui n'est pas possible avec des données prétraitées par la passerelle. Cependant, nous pouvons noter que le principal inconvénient provient du volume de données envoyées à chaque envoi (250 octets maximum pour la version tic historique et 1280 octets maximum pour la version tic standard).

3.1.1.2 Version « grand public »

La version « grand public » est elle aussi développée au travers de collaboration entre l'équipe du G2Elab, Nicolas Bernaerts et Charles-Henri Hallard. Cette version a été créée sur la base de l'extension téléinfo du micrologiciel open source Tasmota (spécialement développé pour les appareils de type ESP). Elle effectue un prétraitement des données afin de les rendre facilement lisibles et intégrables dans un serveur domotique (Jeedom, HomeAssistante ou OpenHab). Cette approche possède l'avantage d'être plug and play avec les systèmes domotiques. Le retour d'expérience de la version précédente a permis d'y intégrer de nouvelles fonctionnalités telles que la détection automatique de contrat ou le mode production photovoltaïque.

Dans un futur proche, la version « laboratoire » sera remplacée progressivement par la version « grand public » lors des expérimentations mises en place.

4. CONCEPTION DE L'INTERFACE

Pour le développement de l'interface de restitution des données, nous avons mis en place une étude de science participative. Cette étude a été découpée en trois phases (Recrutement des participants, déploiement des passerelles et co-création des interfaces)

4.1.1. Recrutement des participants

Pour la création des différentes interfaces, nous nous sommes inspirés du projet de recherche « Derrière le blob, la recherche » d'Audrey Dussutour [10] en créant un binôme chercheurs/participants.

L'étude xKy réunie 250 participants dans toute la France. La répartition est illustrée par la figure Fig. 12. Nous pouvons noter une mauvaise représentativité de notre panel en le comparant à la population INSEE 2020.

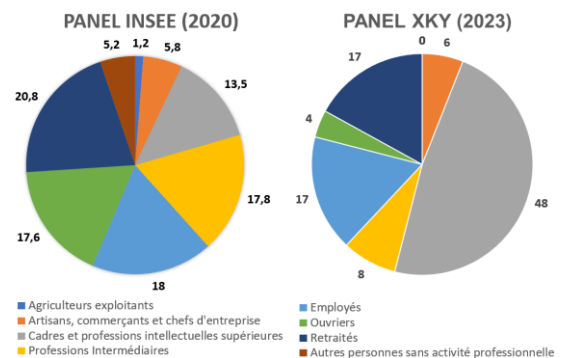


Fig. 12. Répartition du panel xKy (droite) en comparaison de la population INSEE (gauche)

Notre panel est biaisé par le fait que la catégorie socioprofessionnelle « cadres et professions intellectuelles supérieures » possède une proportion d'individus ayant des compétences plus avancées que la moyenne dans les quatre domaines du numérique (logiciels, résolution de problèmes informatiques, communication en ligne, recherche d'information), comme précisé dans l'étude fournie par l'INSEE [11].

4.1.2. Déploiement des passerelles

Pour le déploiement des passerelles, les participants devaient suivre cinq étapes :

- Faire son inscription sur le site web de l'OTE avec un questionnaire global initial puis répondre au questionnaire spécifique de l'étude xKy

- Recevoir son kit comprenant sa passerelle Winky, une lettre de remerciement, ses identifiants de connexion à son interface ainsi qu'un mode d'emploi permettant la configuration de son Winky Fig. 13 (gauche).

- Configurer sa passerelle pour se connecter au Wi-Fi de son domicile. Nous pouvons noter que pour cette étape certains cas nécessitaient un accompagnement soit par mail soit par téléphone

- Effectuer ensuite l'installation de la passerelle sur Linky Fig. 13 (droite).

- Se connecter au site web Grafana pour accéder aux interfaces de visualisation et débuter l'expérimentation

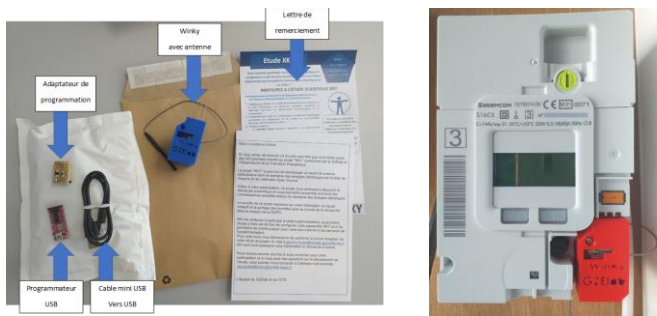


Fig. 13. Photo du kit reçu (gauche) et photo d'une passerelle installée (droite)

4.1.3. Co-création des interfaces

Une fois la phase de déploiement achev  e, nous avons pu démarrer la phase consistant à la co-création d'une interface modulaire et auto-g  n  r  e. Le but était d'identifier les éléments nécessaires pour que chaque participant puisse avoir accès à une interface personnalis  e en fonction de la caractéristique de son installation (contrat, consommation/production). Lors de la construction de l'étude, nous avons fait le choix d'utiliser plusieurs canaux de communication avec les participants :

- Utilisation par le chercheur d'une adresse mail professionnelle personnelle au lieu d'une liste générique pour communiquer avec les participants afin de renforcer le lien chercheurs/participants.
- Envoi d'une newsletter indiquant les avanc  es ainsi que les instructions sur les prochaines étapes.
- Mise à disposition d'une boite à idées directement accessible depuis l'interface des participants
- Création d'un forum d'entraide [12]

Le canal de communication qui a été le plus utilisé est celui du mail avec environ 1970 mails reçus contre 130 messages sur le forum et 33 messages reçus dans la boite à idées.

Nous pouvons noter également au travers de la figure Fig. 14 que le type de newsletters envoy  es aux participants influençait sur le taux de reconnexion aux interfaces (a).

- Newsletter « Info » : annonçant l'état d'avancement de l'expérience (b)
- Newsletter « Nouvelle fonctionnalité » : annonçant l'ajout d'une nouvelle fonctionnalité (c)
- Newsletter « Action » : demandant aux participants d'effectuer une action sur l'interface (d)

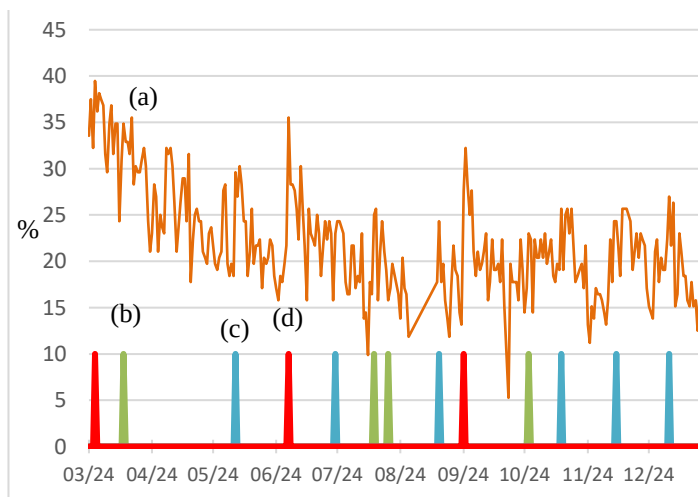


Fig. 14. Pourcentage de participants se connectant à leur interface au moins une fois par jour en orange (a), marqueurs de date d'envoi des newsletters : Infos en vert (b), Nouvelle fonctionnalité en bleu (c), Action en rouge (d)

Sur la période de mars 2024 à décembre 2024 on observe que les newsletters de type Info(b) et Nouvelle fonctionnalité(c) n'ont pas enregistré d'augmentation significative du taux de reconnexion aux interfaces, contrairement à la newsletter de type Action (d).

Au final, quatre types interfaces ont été conçues (Base, Heures Creuses/Heures Pleines, 4 Index et 6 Index) avec chacune une option d'ajout de la production photovoltaïque si elle existe chez le participant. Ces interfaces sont d  coup  es en trois parties distinctes

Une partie de données simplifi  es avec un retour d'information actualisé toutes les 30 secondes Fig. 15.

- Type de contrat
- Puissance apparente et active
- Consommation/production journalière et mensuelle
- Coût journalier et mensuel
- Prévision de la consommation du jour
- Tarification en cours appliqu  e

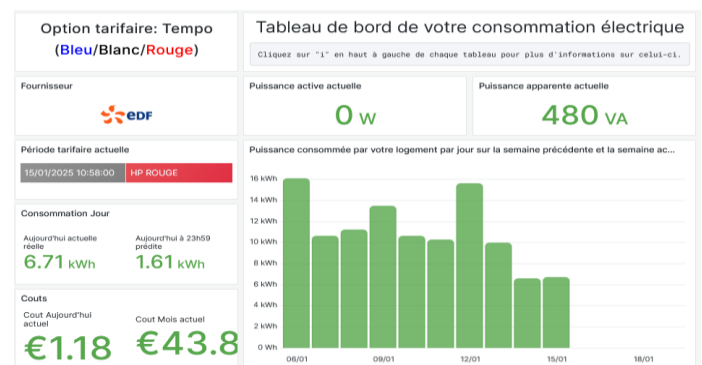


Fig. 15. Extrait de la partie simplifi  e de l'interface participant

Une partie d'historisation permettant de retrouver l'ensemble des données g  n  r  es par l'expérience, leur permettant de faire une analyse a posteriori de leur comportement Fig. 16.

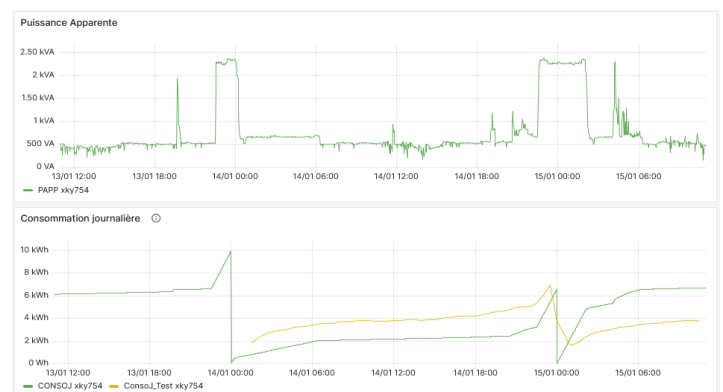


Fig. 16. Extrait de la partie historisation de l'interface participant

Une partie de réglage de l'interface, permettant au participant d'ajuster son écosystème de façon individualis  e Fig. 17 :

- Ajustement de la tarification
- Activer les alertes mails et sms
- Envoyer des idées d'amélioration à l'équipe de recherche
- Notifier leur changement de fournisseur
- Changer leur type d'interface

Une interface de démonstration est mise à la disposition des chercheurs afin de montrer les possibilités du dispositif [13].

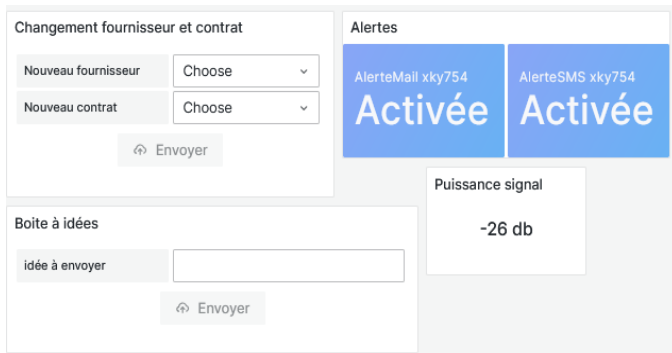


Fig. 17. Extrait de la partie réglage de l'interface participant

5. DIFFUSION DU DISPOSITIF

6.1 Accessibilité

Au-delà de l'aspect logiciel et matériel, un travail de valorisation et de diffusion du dispositif a été effectué afin de permettre à la solution de se développer et d'être accessible à tout le monde. L'étape principale a consisté à diffuser les plans ainsi que le micrologiciel de type « laboratoire » de la passerelle xKy sur un site web gitlab [14] afin qu'elle puisse être fabriquée de façon libre par des personnes fréquentant des Fablab, mais aussi par des industriels par la vente de licence.

Le micrologiciel de type « grand public » est disponible sans licence sur le github de Nicolas Bernaerts [15].

6.2 Reproductibilité

Afin de permettre aux personnes désireuses de fabriquer leur passerelle, une notice a été créée pour expliquer pas à pas toute la démarche de fabrication [16]. L'utilisation du forum mis en place lors de l'expérimentation permet de disposer de l'aide nécessaire pour la fabrication, la réparation et l'intégration du dispositif par les questions/réponses de la communauté.

6.3 Licence

La licence CC-BY-NC-ND 4.0 (CC-BY : Attribution - NC : NonCommercial – ND : NoDerivatives) a été choisie suite aux discussions avec les services de valorisation des tutelles du laboratoire. Ce choix a permis d'ouvrir les plans de la passerelle pour le grand public mais d'apporter un financement au projet via la vente de licence. La clause ND (non modifiable) pourrait être levée mais l'équipe a trouvé au mois de février 2025 sur un site de revente en ligne des versions de mauvaise qualité et après décision avec les services de valorisation, il a été décidé que la clause ND restera car les inquiétudes du public vis-à-vis du compteur Linky reste encore présentes (crainte d'incendie, espionnage, ...).

6. CONCLUSION

Pour les différents usages de la communauté, de la recherche et des partenaires économiques, la passerelle xKy est déclinée en trois protocoles de communication (Lora, Wifi et Ethernet). Le forum compte une cinquantaine de membres et a permis d'apporter plusieurs solutions logicielles avec deux firmwares adaptés aux différents cas d'usage (recherche ou grand public).

La passerelle xKy par la méthodologie open source hardware et software depuis sa conception jusqu'à sa diffusion a permis de créer un outil de remontée en temps réel des données issues du compteur Linky. L'ouverture de la solution au grand public a également permis d'améliorer la solution en termes de fonctionnalités et de cyber sécurité. La passerelle a par ailleurs été utilisée facilement par une autre équipe de recherche

travaillant sur une opération d'autoconsommation collective où le but était d'équiper 10 maisons.

7. 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 bénéficiant du label France2030 est financé par Grenoble-INP SA et soutenu par l'UGA et le CNRS.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat 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.

Nous tenons aussi à remercier les participants de l'étude xKy dont les noms ont pu être cités sur la page du projet xKy [17] ainsi que Vu Duy Bao Ho, Charles Hallard et Nicolas Bernaerts pour l'aide apportée au développement.

8. REFERENCES

- [1] Aude Danieli. La « mise en société » du compteur communicant : innovations, usages et controverses dans les mondes sociaux du compteur d'électricité Linky en France. Sociologie. Université Paris-Est, 2018. Français. (NNT : 2018PESC0003). (tel-02614235)
- [2] Document Enedis sur la prise TéléInfoClient <https://www.enedis.fr/media/2035/download>
- [3] Page internet actualisée recensant et catégorisant les différents ERL <https://miniprojets.net/index.php/2022/05/20/etat-de-lart-les-solutions-de-recuperation-des-teleinformations-sur-la-prise-tic-dun-linky/>
- [4] 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)
- [5] Plaquelette d'appel à participation <http://ote.univ-grenoble-alpes.fr/wp-content/uploads/2022/08/plaquelette-4.pdf>
- [6] Site de Bernard Lefrançois <http://bernard.lefrancois.free.fr/schema2.htm>
- [7] Site de Charles Hallard sur la TIC <https://hallard.me/pitinfov12/>
- [8] Toute la modulation et la démodulation d'amplitude sur une maquette didactique par Frédéric LAGARDE et Hélène LEYMARIE Préparation à l'agrégation de physique appliquée, Université Paul Sabatier, Toulouse
- [9] Documentation technique de l'esp32 d'Espressif https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [10] Site de l'expérience du Blob <https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/le-blob-et-la-demarche-scientifique>
- [11] Site de l'INSEE avec le sondage sur les capacités et compétences numériques <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4238593?sommaire=4238635#tableau-figure3>
- [12] Forum xKy: <https://miniprojets.net/index.php/forum/>
- [13] Interface de démonstration xKy <https://grafana-ote.univ-grenoble-alpes.fr/d/d34c75c9-f942-416c-b5a2-0971ce7d4337/xkydemo?orgId=1>
- [14] Répertoires du Gridcad respectif pour dispositif xKy <https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/ferrarij/xky>, <https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/ferrarij/winky/>, <https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/ferrarij/LoKy> et <https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/ferrarij/eky>
- [15] <https://github.com/NicolasBernaerts/tasmota/tree/master/teleinfo>
- [16] Page du site miniprojets.net expliquant les étapes de montage d'une passerelle xKy <https://miniprojets.net/index.php/projet-xky/>
- [17] Site de publication des résultats de l'étude xKy <https://ote.univ-grenoble-alpes.fr/projet-xky/>