

Faisabilité de la communication CPL sur le réseau basse tension de la JIRAMA

Théodore TOTOZAFINY¹, Emile RAKOTOMAHANINA RALAISSOA²

¹ Laboratoire de Physique, Faculté des Sciences, de Technologie et de l'Environnement
Université de Mahajanga, Ambondrona Mahajanga, Madagascar

² Laboratoire de Physique, Faculté des Sciences
Université d'Antananarivo, Ankatso Antananarivo, Madagascar

theodore.totozafiny@gmail.com

ralaissoaemile@yahoo.fr

Résumé : Cet article étudie de la faisabilité de transmission des données par la technologie de Courant Porteur en Line (CPL) au travers de réseau électrique basse tension de Madagascar. Nous abordons également le principe de la communication CPL. La logique floue a été proposée pour mesurer la qualité de la communication. Nous avons ensuite réalisé des expériences laboratoire pour valider notre étude.

Mots clés :- Courant Porteur en Line, Modem CPL, Réseau Basse Tension, Modulation S-FSK, Smartgrid, GSM

Abstract :This paper investigates the feasibility of data transmission using thePowerline Line Carrier (PLC) technology through low voltage grid in Madagascar. We also discuss the PLC communication basical. The Fuzzy logic has been proposed to measure the quality of communication. In order tovalidate our laboratory study,we have carried out some laboratory experiences.

Keywords : -Power Line Carrier, CPL modem, Low Voltage Network,S-FSKModulation, Smartgrid,GSM

1 Introduction

La technologie de communication de la téléphonie mobile GSM couvre presque de la totalité du territoire de Madagascar depuis quelques années. Le réseau de distribution de JIRAMA est le seul fournisseur d'électricité du pays. La JIRAMA est donc installée à Madagascar depuis longtemps. Le réseau JIRAMA est mature mais manque de stratégie pour maîtriser la gestion et la distribution de l'électricité. En effet le délestage/relestage est très fréquent dans tout Madagascar par manque de puissance. Ce problème nous a motivé à étudier la faisabilité de l'implémentation de réseau intelligent Smartgrid à Madagascar pour mieux gérer le réseau dans l'ensemble du territoire malgache de façon centralisée. L'échange d'information entre les équipements raccordés au réseau et l'organe centrale se fait au travers de la technique du CPL et du GSM.

2 Problématique

La problématique dans la communication CPL est typiquement le traitement du signal. La Fig.1 schématise pour rappel l'acheminement de messages via un support de communication. Le système physique en état *évolution* envoie un message et celui-ci doit être codé pour pouvoir être transmis et le dispositif de codage fournit le signal à transmettre. Ce signal est acheminé au moyen d'un canal de transmission en l'occurrence les câbles électriques dans notre cas, puis reçu par le récepteur qui décode le signal et fournit les données qui vont être exploitées ensuite.

Au niveau du codage, au niveau du canal de transmission, au niveau du récepteur interviennent des éléments de perturbateurs qui vont détériorer le signal en lui ajoutant du bruit.

Les techniques de communication aux courants porteurs en ligne n'échappent pas à ces problèmes de bruit. Elles sont utilisées depuis de nombreuses années. Un ensemble de contraintes en plus de bruits qui sont liées à un modèle de réseau non maîtrisé, nécessitent une fiabilité accrue.

Le canal de courants porteurs est un support très hostile. Les caractéristiques et paramètres du canal varient selon la fréquence, l'emplacement,

l'heure et le type d'équipements branchés dessus. Les régions à basses fréquences (de 10 kHz à 200 kHz, voir les plages de fréquence de CENELEC [2]) sont plus particulièrement sensibles aux interférences. Outre le bruit de fond, le canal est sujet aux bruits impulsionnels et aux interférences en bande étroite ; des retards de groupe pouvant atteindre plusieurs centaines de microsecondes ont été constatés. Ce que nous avons étudié dans le cadre du réseau de JIRAMA.

L'atténuation ou perte du signal liée à la caractéristique du câble qui est proportionnelle à sa longueur est aussi à considérer. Il est important de noter que plus un câble est long, plus l'affaiblissement, mesuré en dB, est important.

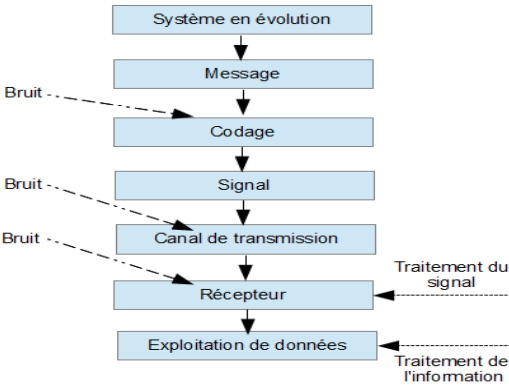


Fig.1 Traitement du signal.

3 Principe du CPL

3.1 Pourquoi?

Le CPL (Courant Porteur en Line) constitue une technique qui utilise le réseau d'énergie électrique pour transmettre tous les services de télécommunication. Celui-ci permet de faire passer de l'information numérique (Voix, Donnée, Image) sur le réseau électrique par différentes techniques de modulation/démodulation, sans aucune perturbation électrique. Il devient ainsi possible de réaliser simplement un réseau haut débit dans un local commercial, un bureau, un immeuble, un appartement, en utilisant le support du réseau de distribution d'énergie électrique.

Le signal CPL, qui est en haute fréquence (HF) et qui a une très faible puissance par rapport à celui de 50 Hz est superposé et transmis dans le réseau. Une connexion à n'importe quel endroit du réseau permettra d'accéder à ces informations, à condition que les signaux de CPL soient encore détectables. Nous pouvons citer quelques applications de CPL ci-dessous.

Pour le bas débit (10...100kbits/s)

- Automatisation dans la maison et au bureau (domotique),
- Systèmes de gestion d'énergie,
- Systèmes d'information trafic des transports ferroviaires dans les villes.

Pour le haut débit (des Mbits/s)

- Internet haut débit
- Téléphone par voix IP

Comme le réseau électrique n'est pas destiné à transmettre des informations à haute fréquence, le CPL affronte toujours une forte atténuation de signal et un environnement très bruité. Avec beaucoup de progrès dans la recherche comme l'utilisation des techniques de modulation OFDM, l'adaptation des paramètres du modem pour une meilleure réception de signal, la qualité de signal CPL s'est fortement améliorée. Le coût des équipements reste pourtant encore plus élevé que celui des concurrentes du xDSL ou du câble. Le déploiement sur un réseau plus étendu est utilisé pour le remplacement de 35 millions de compteurs en France [1].

3.2 Avantages et inconvénients des CPL

Comme tout système viable, les CPL présentent des avantages par rapport aux technologies concurrentes, mais également des inconvénients.

Principaux inconvénients des CPL :

- La difficulté relative aux produits concernant *outdoor* et *access* ;
- Le problème est essentiellement lié à la compatibilité électromagnétique et au respect des contraintes d'émission.

Principaux avantages des CPL:

- Utilisation de l'infrastructure déjà existante qui permet de couvrir des lieux de service plus large que n'importe quelle autre technologie.
- Pour les applications dans un bâtiment l'installation est très rapide et simple.
- Les technologies actuelles permettent de fournir des qualités de services et des débits équivalents aux autres services (xDSL, câbles,...).
- L'application développée plus connue aujourd'hui est notamment le système Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA).
- Utilisation d'algorithme de chiffage robuste.

4 Modem CPL

4.1 Caractéristiques

Le modem transforme les paquets de données numériques en signaux analogiques lors de l'envoi de données et inversement lors de la réception. Il est représenté par la Fig.2:

- Le transcepteur : décide quand le PC peut émettre, il crypte les informations et les encode dans une forme adaptée à leur transmission et définit ce qui sera émit sur chaque porteuse
- Le convertisseur de signaux : il déforme chaque porteuse en fonction des commandes du transcepteur.
- Circuits d'injection : ils injectent les signaux modulés sur la ligne électrique. En réception, ils retirent les signaux de la ligne dont les fréquences sont supérieures à 50Hz.
- Horloge : elle rythme la modulation de fréquences de porteuses.

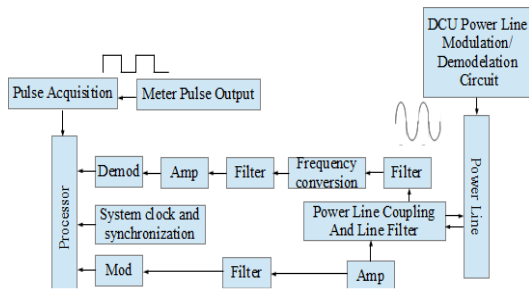


Fig.2 : Caractéristique d'un modem CPL basique.

4.2 Modulation S-FSK

S-FSK (Spread Frequency Shift Keying) est une technique de modulation et de démodulation combinant certains des avantages d'un système classique d'étalement du spectre (par exemple, immunité contre les brouilleurs de bande étroite) avec ceux d'un système FSK classique (peu complexe, implémentations bien étudiées).

L'émetteur affecte la fréquence espace f_s à donnée 0 et la fréquence marque f_M donnée 1. La différence entre le système S-FSK et le système FSK classique réside dans le fait que f_s et f_M sont désormais éloignées l'une de l'autre (étalement). En plaçant le signal pour *espace* loin de celui pour *marque*, la qualité de leurs transmissions respectives devient indépendante. Les forces des petites perturbations de bandes et les atténuations de signaux sont indépendantes d'une fréquence à l'autre.

Le récepteur effectue une démodulation FSK classique aux deux fréquences possibles (les demi-canaux), ce qui génère deux signaux démodulés d_s et d_M . Si la qualité de réception moyenne des deux demi-canaux est similaire, Fig.3, l'unité de décision opte pour le canal démodulé le plus élevé (*donnée 0* si $d_s > d_M$, *donnée 1* si $d_s < d_M$). Toutefois, si la qualité de réception moyenne de l'un des deux demi-canaux est réellement meilleure que celle de l'autre, Fig.4, l'unité de décision compare le signal démodulé du meilleur canal à un seuil T , ignorant donc l'autre canal. Les mesures de qualité et le calcul du seuil peuvent être fondés sur un

préambule prédéfini précédant la transmission de la trame de données réelles.

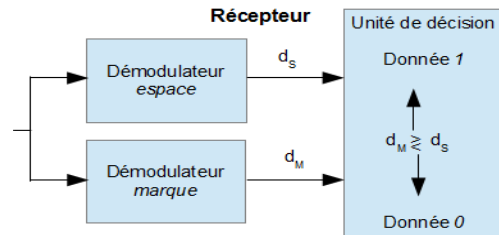
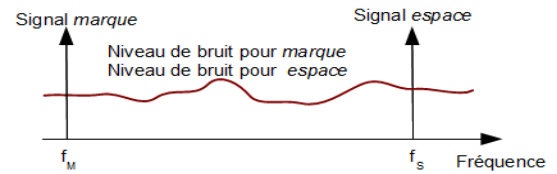


Fig.3 : Qualité *espace* similaire à qualité *marque*.

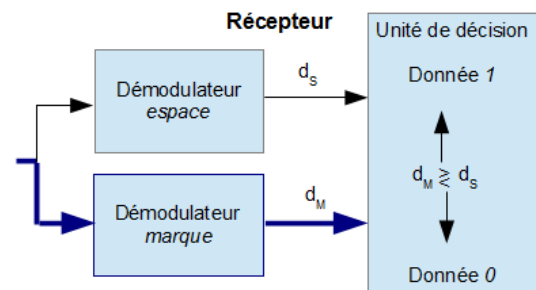
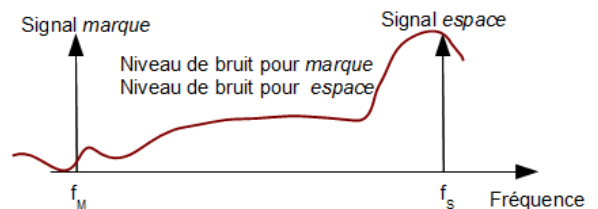


Fig.4: Qualité *marque* nettement meilleure que qualité *espace*.

Le signal modulé $m(t)$ peut s'écrire :

$$m(t) = \text{Re} [e^{j\theta(t)} \cdot e^{j(2\pi f_0 t + \theta_0)}] \quad (1)$$

Une propriété de la modulation par déplacement de fréquence est d'avoir une enveloppe constante : $e^{j\theta(t)} = Cte$

L'expression du signal modulé par déplacement de fréquence s'écrit aussi plus simplement par :

$$m(t) = \cos(2\pi f_0 t + \theta(t)) \quad (2)$$

L'expression du signal modulé :

$$m(t) = \cos \left(2\pi \left(f_0 + \frac{\Delta f}{2} a_k \right) t \right) \quad (3)$$

Où :

- Δf la différence de la fréquence instantanée correspondant à l'émission de deux symboles adjacents,
- a_k un symbole appartenant à l'ensemble $\{\pm 1, \pm 3, \dots, \pm(M-1)\}$

L'indice de modulation peut être défini par $\mu = \Delta f \cdot T$ qui conditionne la forme de la densité spectrale du signal modulé.

En pratique, on utilise globalement le schéma illustré dans la Fig.5, et la configuration du filtre est représentée par la Fig.6.

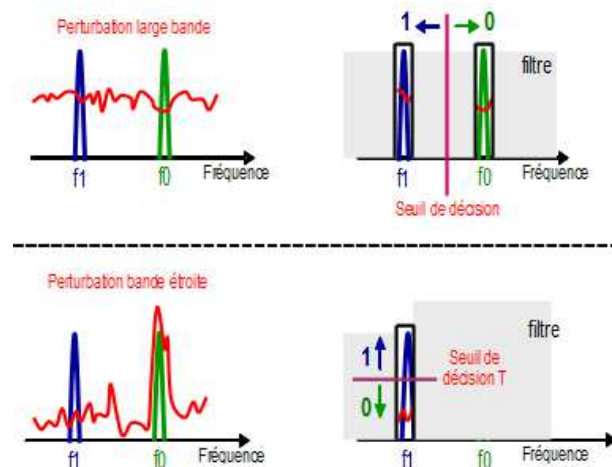


Fig.5 : Modulation S-FSK, cas pratique.

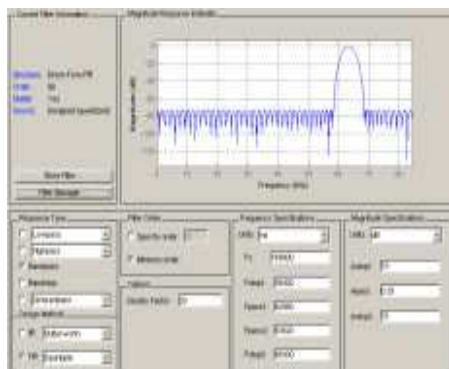


Fig.6: Configuration du filtre numérique.

5 Mesure de la qualité de

communication Qos

Les différents appareils électriques et électroniques que nous utilisons dans un contexte domestique, professionnel ou industriel produisent des émissions d'ondes radio électromagnétiques dans l'environnement proche de leur lieu de fonctionnement. Ces ondes radio électromagnétiques sont sur des fréquences pouvant perturber le fonctionnement des équipements CPL du réseau et empêcher les communications de données dans les sous-bandes de fréquences. Certains équipements produisent plus de perturbations que d'autres sur les réseaux CPL. Le marquage CE en vigueur dans la Communauté Européenne stipule les limites d'émissions radio électromagnétiques des équipements électriques et électroniques vendus dans le commerce. Réciproquement, les équipements CPL émettent, autour des câbles électriques, des ondes électromagnétiques susceptibles de perturber le fonctionnement des équipements de télécommunications environnants. Le CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectrotechniques) de la CEI (Commission Electrotechnique Internationale) indique les limites d'émission d'ondes des équipements CPL. Les technologies CPL actuelles, telles que HomePlug AV, mettent en œuvre une technique de *notching* afin de respecter ces contraintes d'émission. Tous les modems CPL se trouvant dans le commerce doivent respecter la limite autorisée d'émission *onde radio électromagnétique*. La limite de puissance étant fixée à 100 mW (équivalent à 20 dBm mesurés dans la bande 1-30 MHz) pour les équipements CPL des réseaux électriques, les performances des canaux de transmission sont fonction de la portée du signal.

6 Logique floue dans la communication CPL

La logique floue permet de donner des affirmations décrivant la réalité dans la mesure d'un certain degré de vérité. Pour ce faire, la logique floue utilise la façon de raisonner des

ordinateurs comparable à celle des humains. Cette discipline a été inventée en 1965 par Lotfi Zadeh. Le raisonnement est basé sur des données approximatives pour extraire des solutions précises.

Le concept de la logique floue est donc une généralisation de la logique classique, qui tient compte uniquement de deux événements distincts. Cette théorie considère un certain degré d'appartenance à une classe en admettant des situations intermédiaires entre le *Vrai* et le *Faux*. En conséquence des concepts de sous-ensembles flous ont été adoptés.

Ces concepts permettent d'éviter le passage brusque d'une classe à une autre. Ils autorisent une appartenance partielle à chacune des classes. La Fig.7 explique bien la différence entre sous-ensemble ordinaire et sous-ensemble flou relatif à une qualité de communication CPL.

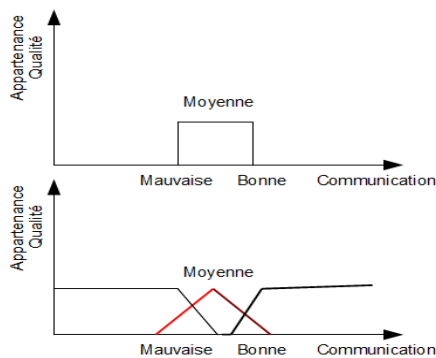


Fig.7 :Théorie de la logique floue.

6.1 Seuil autoadaptatif

Des expériences industrielles sur la technologie CPL qui utilise la modulation S-FSK démontrent que la communication CPL est de mauvaise qualité lorsque les câbles sont mal raccordés. Ces derniers provoquent non seulement des bruits de fond qui sont difficilement identifiables mais aussi des pertes du signal CPL. Nous constatons à ce sujet que le réseau JIRAMA est loin d'être un modèle en la matière. Nous pouvons d'ailleurs constater que certains raccordement de câbles vers les usagers ne sont parfois pas conformes à la norme ISO 11 801 et EN 50173.

Le bruit induit donc des harmoniques et des perturbations électromagnétiques provoquant une forte atténuation du signal. L'utilisation de la modulation/démodulation à monoporteuse S-FSK doit être conditionnée par une nouvelle logique afin d'atteindre une transmission fiable et efficace.

Il est plus que nécessaire de caractériser la qualité de communication entre le compteur communicant et l'équipement de contrôle (est aussi appelé le "concentrateur"). Cette caractéristique est réalisée à l'aide d'une décision d'injecter le signal sur une phase. Pour cela, nous introduisons un seul autoadaptatif. Celui-ci repose sur la théorie de la logique floue. Il est déterminé selon trois critères :

- Communication de mauvaise qualité ;
- Communication moyenne ;
- Communication de bonne qualité.

La difficulté consiste à évaluer la qualité de communication dans un échange de communications. Pour cela nous avons développé une méthode originale pour déterminer la qualité de communication CPL. Cette méthode que nous appelons "*Quality Coefficient*" Q_{co} où $0 \leq Q_{co} \leq 1$ fournit à la sortie l'un de ces trois résultats : *bonne, mauvaise* ou *moyenne qualité*.

La méthode Q_{co} utilise l'ensemble des statistiques de communications entre le concentrateur et le compteur. Tous les échanges sont horodatés et sont mémorisés dans le concentrateurs. Cette technique nécessite des données temporelles de communication. L'utilisation du temporel nous conduit à prendre une décision sur la qualité de communication.

Dans la norme DLSE/COSEM, le concentrateur ouvre une association avec le compteur avant de lire un objet COSEM [1], [2], [13]. Notre étude suppose qu'il y ait une association ouverte. Cela nous donne la possibilité d'utiliser les services COSEM tels que GET, SET, ACTION. La méthode Q_{co} est uniquement expérimentée sur le service GET mais peut être également appliquée sur les autres services COSEM.

Deux résultats sont obtenus lors d'un échange : *communication OK* ou *communication KO*. Pour ces deux cas, les Q_{co} leur associés sont définis comme suit :

$$Q_{co_{OK}}(t) = \begin{cases} 1 & \text{si la com est OK} \\ 0 & \text{dans le cas contraire} \end{cases} \quad (4)$$

$$Q_{co_{KO}}(t) = \begin{cases} 1 & \text{si la com est KO} \\ 0 & \text{dans le cas contraire} \end{cases} \quad (5)$$

On évalue ensuite le pourcentage de qualité de communication, en faisant une pondération :

$$Q_{co_{OK}}(t) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N Q_{co_{OK}}(t) \quad (6)$$

$$Q_{co_{KO}}(t) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N Q_{co_{KO}}(t) \quad (7)$$

où N est le nombre de communications échantillonnées ; $Q_{co}(t)$ représente le pourcentage de communications qui ont été échangées pour le nombre N . La méthode Q_{co} est définie :

- Chaque fois que $Q_{co_{KO}}$ est égal à 0, le degré de confiance qui lui est associé est augmenté C_{KO}
- Chaque fois que $Q_{co_{OK}}$ est égal à 1, le degré de confiance qui lui est associé est augmenté C_{OK}

Les paramètres C_{KO} et C_{OK} représentent entre autre un degré de confiance alloué à la qualité de communication *mauvaise* ou *bonne*. La technique est simple mais peu robuste, puisqu'il est difficile d'établir une loi optimale permettant d'accroître ou de décroître la confiance allouée.

Pour déterminer les confiances C_{KO} et C_{OK} , nous faisons appel à la logique floue d'une fonction d'appartenance μ de telle sorte que $C_{KO}=\mu(x)$ et $C_{OK}=\mu(x)$. Si l'une de confiance $C_{KO}=\mu(x)$ ou $C_{OK}=\mu(x)$ atteint un seuil, la décision est prise pour discriminer la qualité de communication. Le coefficient final de qualité est alors défini par :

$$Q_{co} = \begin{cases} 1 & \text{si la } C_{KO} > \theta \\ 0 & \text{dans le cas contraire} \end{cases} \quad (8)$$

Dans notre application le seuil est égal à $\theta=0.5$ La fonction d'appartenance μ est choisie de façon la plus simple possible telle qu'une droite : $\mu(x)=0.1t$, avec $0 \leq t \leq 5$ et t est déterminé chaque fois que

Pour expérimentation, nous avons utilisé un concentrateur et un compteur communicant, développés dans le cadre du projet Linky [1]. La Fig.8 illustre l'expérience réalisée.

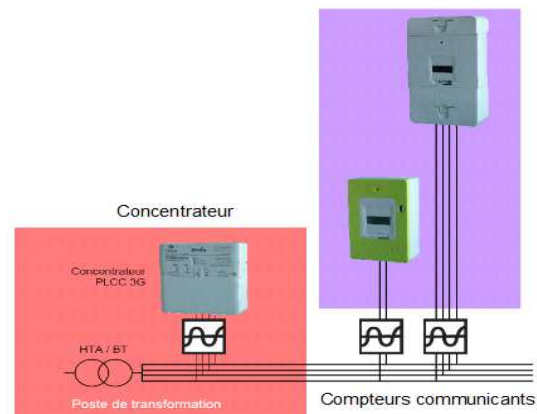


Fig.8:Schéma d'illustration de la mesure du Q_{co} .

6.2 Décision d'injection du signal

Pour rappel, la communication CPL nécessite une injection du signal. Celle-ci est réalisée par la couche physique du concentrateur. L'injection peut simultanément se faire sur les trois phases mais cela ne présente pas pour autant d'efficacité. Cela ajoute d'ailleurs des perturbations sur le réseau et des consommations d'électricité inutiles. L'idée pertinente consiste à faire une injection sélective sur les trois phases.

Nous avons déterminé par l'équation 8, comment discriminer la qualité de communication pour une seule phase. La recherche de la qualité de communication est régulièrement effectuée. Cette tâche peut être rajoutée dans une couche protocole CIASE du DLMS/COSEM [3]. C'est une contribution essentielle.

Une fois la décision prise, la couche protocole peut remonter l'information à la couche MAC et LLC afin d'indiquer qu'il faut changer la phase d'injection. Donc, l'injection commandée par logiciel est réalisée. Il est aussi possible

d'ordonner l'injection directement par composants matériels dédiés. Mais cette solution est non acceptable du point de vue industriel.

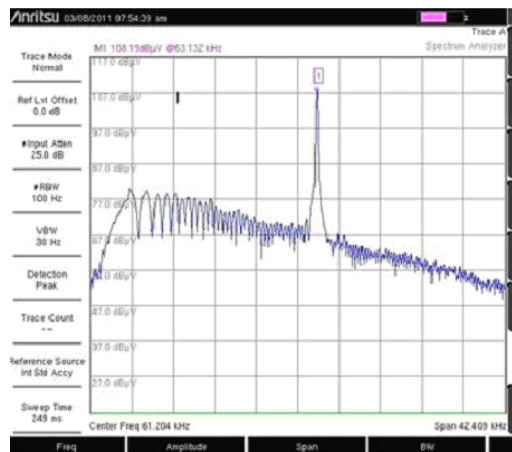


Fig.9 Emission permanente CPL - modulation S-FSK.

7 Conclusion

Le modèle du réseau de la JIRAMA mentionné dans [6] a été utilisé dans le laboratoire afin de réaliser une expérimentation minimaliste. L'expérience a toutefois montré une qualité de communication encourageante du point de vue de l'échange de données. Ces essais ne reflètent cependant pas la réalité. Il est ainsi nécessaire d'effectuer des tests *CPL terrain* pour donner un avis sur l'avenir de la technologie CPL sur le réseau du cas concret. Pour ce dernier, des expériences terrain notamment sur le réseau de distribution ERDF (France) a montré un problème persistant dans le cas de la modulation S-FSK. Cette modulation est acheminée au travers du protocole PLAN. Le problème est l'émission permanente observée dans les deux fréquences 63.3 Khz/115 dB μ V et 74 Khz/112 dB μ V. La Fig.9 représente ces deux fréquences, observées avec un analyseur de spectre. Ce phénomène perturbe le réseau en empêchant la bonne qualité de communication. Il est ainsi important de réaliser ces tests terrain sur le réseau JIRAMA. C'est la prochaine étape de notre études.

Références

- [1] ERDF, Projet Linky.
- [2] IEC EN50065-1, General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances, 2011.
- [3] IEC 62056-53, DLSSM/COSEM Application Layer.
- [4] JIRAMA, Madagascar, www.jirama.mg.
- [5] Remi RABARIVELO, Reforme du Secteur Electrique à Madagascar, Multi-year expert meeting on services, development and trade : the regulatory and institutional dimension, Geneva, 17-19 March 2010
- [6] Nicolas RATOVOMIHARINJANARY, Diminution de coupure fréquente de tension à travers la mise au point système de protection électrique au niveau du réseau haute tension, Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur IST Antananarivo, 2012.
- [7] National Energy Technology Laboratory, Sharing Smart Grid Experiences through Performance Feedback, March 31, 2011.
- [8] CEN-CENELEC-ETSI, Smart Grid Coordination Group Smart Grid Reference Architecture, Novembre 2012.
- [9] CISPR 22, Appareils de traitement de l'information – Caractéristiques des perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure, 2009.
- [10] ERGEG, An ERGEG Public Consultation Paper on Draft Guidelines of Good Practice on Regulatory Aspects of Smart Metering for Electricity and Gas, 2009.
- [11] X. Carcelle, Réseaux CPL par la pratique, Eyrolle ISBN-13 : 978-221211930, 2006.
- [12] E. Cerqueira and All, Using AMI for Network Monitoring and Control New Equipments as a Step towards a Smart Grid Implementation, CIRED, Frankfurt Germany, 6-9 June, 2011.
- [13] IEC 61334-4-32, Automatisation de la distribution à l'aide de systèmes de communication à courants porteurs – Partie 4 : Protocoles de communication de données – Section 32 : Couche liaison de données – Contrôle de liaison logique (LLC), 1996.
- [14] IEC 61334-4-41, Automatisation de la distribution à l'aide de systèmes de communication à courants porteurs – Partie 4 : Protocoles de communication de données – Section 41 : Protocoles d'application – Spécification des messages de ligne de distribution, 1996.