

Injection du signal CPL avec sélection automatique de phase par la logique floue pour application sur les réseaux électriques de Madagascar

Théodore TOTOZAFINY^{1*}, Jean Nirinarison RAZAFINJAKA² et Zo REZIKY¹

¹ Institut Supérieur des Sciences et Technologies de Mahajanga, Université de Mahajanga, Bâtiment Ex-LOLO Mahajanga be, Madagascar

² Département d'Electricité, Ecole Supérieure Polytechnique, BP 0 201 Université d'Antsirananana, Madagascar

* Correspondance, courriel : theodore.totozafiny@gmail.com

Résumé

Cet article développe une technique originale basée sur la logique floue afin de sélectionner une phase sur laquelle la communication par Courant Porteur en Ligne (CPL) est plus performante par rapport aux deux autres. L'algorithme de la prise de décision pour le basculement vers injection du courant d'une seule phase et l'arrêt de l'injection sur les deux autres est présenté. Nous avons réalisé deux modes d'expériences pour valider notre approche. Le premier consiste à tester notre algorithme sans équipement de perturbateur connecté sur le réseau. Le deuxième mode d'expérience concerne les tests avec un appareil de perturbateur (moteur électrique) branché sur le réseau. Au vu des résultats, notre technique permet d'apprécier la qualité de communication par CPL sur chacune de trois phases évitant ainsi de polluer les réseaux électriques en injectant inutilement le signal sur les deux autres phases. L'expérience avec plusieurs modules (concentrateur, compteur et modem CPL) est en cours de réalisation en accord avec les pouvoirs publics et la Société d'Etat qui gère le réseau électrique à Madagascar. C'est notre perspective de travail pour valider cette étude.

Mots-clés : *réseau électrique, CPL, injection courant, logique floue, sélection automatique.*

Abstract

Injection PLC signal with automatic phase current selection by fuzzy logic application for the electrical network of Madagascar

This paper describes an original technique based on fuzzy logic to select a phase on which the communication by Power Line Carrier (PLC) is more powerful compared to the other phases. The algorithm of the decision for switching on only one phase and ignoring of injection on the other two phases is presented. We carried out two modes of experiments in order to validate our approach. The first one is testing our approach by no device connected to the network. The second one is testing our approach by a device that makes noises and connected to the network. Our technique allows us to distinct the quality of communication by PLC on the three phases avoiding the additional noise on power systems. We will carry out experiences using several modules (concentrator, meter and PLC modem) with public authorities and the Company that manages the electricity network in Madagascar. That is our next step of work in order to validate this study.

Keywords : *grid, PLC, current injection, fuzzy logic, automatic selection.*

1. Introduction

L'arrivée des producteurs décentralisés d'énergie renouvelable sur les réseaux de distribution électrique moyenne tension existants à Madagascar [1] qui sont gérés par la société d'Etat JIRAMA [2] et l'apparition du Smart grid (réseau intelligent) nécessitent des études approfondies sur des multiples contraintes telles que la détection et la localisation de défaut de lignes aériennes, l'optimisation de la production décentralisée et la propagation des signaux de commande par le Courant Porteur en Ligne (CPL) pour paramétrer à distance les équipements connectés sur le réseau [3]. Ces équipements sont principalement les concentrateurs, compteurs communicants, disjoncteurs, ou les modems CPL. La technologie CPL utilise le réseau électrique pour transmettre des informations comme la voix, la vidéo ou les données de commande pour configurer un équipement connecté sur le réseau afin que celui-ci se mette dans un état demandé (Arrêt, Réinitialisation, Fonctionnement nominal, etc.). Le canal de transmission câble électrique récolte cependant des bruits et perturbations électromagnétiques dus au démarrage et à l'arrêt des appareils électriques connectés sur le réseau. Il est nécessaire d'installer des filtres au plus près des équipements perturbateurs afin de bloquer les fréquences générant les perturbations. Ces filtres ne suffisent pas pour autant d'empêcher l'atténuation du signal vers les appareils qui sont très éloignés de l'émetteur du signal CPL. L'injection de signal permet de connecter un équipement CPL directement sur le câble électrique. Il est préférable de faire l'injection sur le câble neutre pour un réseau monophasé et sur une des phases pour un réseau triphasé. Les performances sont meilleures en injectant sur un seul câble que sur plusieurs en même temps [4]. On s'intéresse au choix de la meilleure phase pour injecter le signal CPL sans rajouter de perturbation sur les deux autres phases ce qui constitue une problématique majeure dans notre étude.

2. Méthodologie

2-1. Principe

La propagation du signal CPL sur le réseau électrique rencontre de différents obstacles qui sont principalement des appareils connectés sur le réseau : compteur, disjoncteur, multiprises, moteur électrique, etc. Il est nécessaire de répéter le signal afin d'atteindre les équipements éloignés de celui qui envoie la requête. L'efficacité d'injection est prouvée sur l'une des trois phases. La difficulté est de trouver cette phase dans laquelle l'injection du signal CPL sera faite ce qui évite de polluer le réseau avec l'injection inutile sur les deux autres pour le réseau triphasé. Les industriels spécialisés dans la fabrication des équipements CPL ont opté pour le choix arbitraire de sélection manuelle de phase [5, 6]. Notre étude propose une technique basée sur la logique floue afin de sélectionner la meilleure phase pour l'injection de signal CPL. La sélection se fait automatiquement en fonction de la qualité de la communication sur les trois phases. L'idée consiste à caractériser la qualité de communication entre l'émetteur et le récepteur de la requête CPL pendant une période définie ce qui constitue entre autre une prise de connaissance du comportement de réseau avant l'injection permanente sur une phase. Il est indispensable pour le réseau électrique à Madagascar d'avoir une telle fonctionnalité car le comportement du réseau électrique est difficilement maîtrisable dans ce pays dus aux raccordements de câbles vers les usagers qui ne sont pas faits dans les règles de l'art.

2-2. Approche par la logique floue

Introduite par Lotfi Zadeh en 1965, la logique floue permet contrairement à la logique booléenne d'obtenir de différentes valeurs entre 1 et 0. En effet, la logique booléenne ne fournit que deux états distincts: vrai ou faux correspondant à la valeur 1 ou 0. On associe la variable globale du système physique à une variable floue [7].

Cette formalisation est réalisée avec des opérations que l'on appelle sous-ensembles flous qui sont caractérisés par une fonction d'appartenance μ telle que :

$$\mu: x \in V \rightarrow \mu(x) \in [0,1] \tag{1}$$

où V est un référentiel. Pour mieux illustrer cette définition, prenons l'exemple d'une mesure de taille d'une personne, représentée par la **Figure 1**.

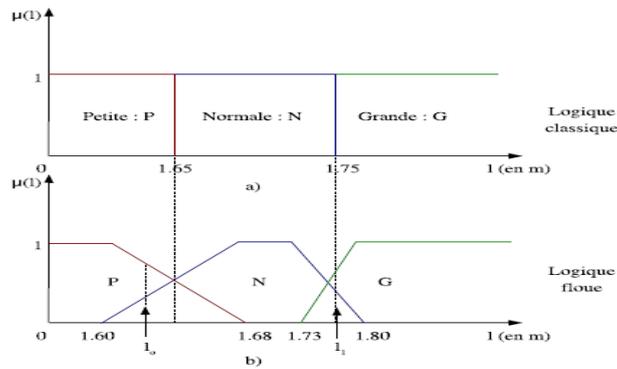


Figure 1 : Formalisation de la logique floue

Dans la logique classique, pour chaque plage de mesure, toutes personnes qui ont une taille inférieure de 1.65 m sont considérées comme de petite taille, ainsi que pour celles qui ont une taille entre de 1.65 et 1.75 m sont considérés comme de taille normale. Tandis que pour toutes personnes dont la taille est supérieure de 1.75 m, sont considérées comme de grande taille. En revanche pour la logique floue, on peut dire qu'une personne dont la taille est comprise entre 1.60 et 1.68 m, peut être considérée comme de petite ou de normale taille. De même pour la mesure, qui est comprise entre 1.73 et 1.80 m, on considère que la taille peut être normale ou grande. On constate que la logique floue représente mieux la réalité. La logique floue est donc très utilisée dans l'informatique, automatique et traitement des données. On retrouve les différentes propriétés de logique booléenne dans la logique floue, comme les ET, OU, Addition, etc. [7].

2-3. Attribution de la confiance

On étudie le réseau triphasé en supposant que l'injection de signal est faite sur les trois phases. On alloue une confiance de communication sur chacune des trois phases afin de mesurer la qualité d'échange entre deux équipements communicants (serveur et client) connectés sur le réseau. Cette attribution de confiance indique la performance de la communication du signal CPL à travers le réseau. Elle permet ainsi de prendre une décision s'il est toujours utile d'injecter de nouveau le signal CPL sur la même phase dont la confiance est jugée moindre. La nation de confiance est divisée en trois catégories pour une phase :

- la Confiance NULLE : indique qu'aucun échange n'a abouti entre le serveur et le client ;
- la Confiance MOYENNE : indique qu'il y a de la perturbation sur la communication mais il existe quand même des échanges ;
- la Confiance MAXIMALE : toutes communications entre deux équipements sur le réseau ont été réussies.

Si la confiance sur une phase demeure NULLE ou est en dessous d'un seuil pendant une durée qu'on peut fixer, il n'est plus nécessaire de continuer à injecter le signal sur cette phase. C'est le principe de basculement que nous allons développer dans le paragraphe ci-après.

2-4. Sélection d'une phase pour injecter le signal

Pour sélectionner automatiquement une phase sur laquelle la communication est considérée meilleure, on définit un critère de confiance C de telle sorte que $0 \leq C \leq 1$ et qui sera évaluée en faisant la différence entre deux communications successives :

$$d(t) = Com(t) - Com(t - 1) \quad (2)$$

On évalue ensuite le pourcentage de changement temporel constaté à l'aide d'opérateur flou :

$$nz = NonZero(d(t)) \quad (3)$$

où *NonZero* indique le taux de communication non nul. De ce fait, *nz* représente le pourcentage de communication qui a changé. Pour notre expérience, nous prenons une série de 250 échanges. Chaque fois que *nz* est proche de zéro, on diminue la confiance C . Ne connaissant pas la loi optimale qui permet de faire évoluer (accroître ou décroître) la confiance, une méthode basée sur la logique floue est proposée. Cette stratégie permet de mettre en place un raisonnement calqué sur l'approche humaine. Pour le domaine de variation de *nz*, on définit deux sous-ensembles flous :

- *nz* appartient au sous-ensemble : « NULL » ;
- *nz* appartient au sous-ensemble : « POSITIF GRAND ».

On définit les règles de raisonnement permettant de faire évoluer le critère :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } nz \text{ est NULL alors } C \text{ est diminué} \\ \text{Si } nz \text{ est POSITIF GRAND alors } C \text{ est augmenté} \end{array} \right. \quad (4)$$

La construction de l'appartenance de la confiance est représentée par la **Figure 2**.

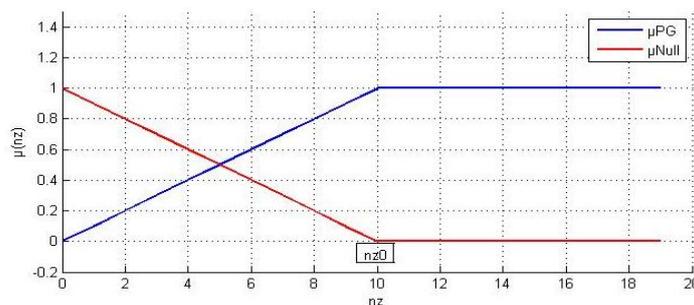


Figure 2 : Construction de l'appartenance de la confiance C

Nous faisons donc appel à des opérateurs de la logique floue pour augmenter ou diminuer la confiance C . Le raisonnement utilisé dans le cadre de cette étude est basé sur le mécanisme de [8], lequel son tour est fondé sur la moyenne pondérée des sorties des règles. La prémisse « *nz* est NULL » est caractérisée par l'appartenance μ_{Null} de *nz* au sous-ensemble « NULL ». De même, μ_{PG} représente l'appartenance de *nz* au sous-ensemble « POSITIF GRAND ».

Les conclusions de la première règle de l'Equation (4) sont définies par α_{Null+} pour « *C* est diminué fortement » et α_{Null-} pour « *C* est diminué faiblement ». La valeur de sortie β_{Null} suit la règle suivante :

$$\beta_{Null} = \frac{\mu_{Null} \times \alpha_{Null+} + \mu_{PG} \times \alpha_{Null-}}{\alpha_{Null+} + \alpha_{Null-}} \quad (5)$$

où $\alpha_{Null+} = 0.9$ et $\alpha_{Null-} = 0.1$ pour l'expérimentation.

Comme on souhaite diminuer la confiance, l'opérateur le mieux adapté est l'opérateur OU optimiste qui est défini comme suit :

$$C_{NULL} = \beta_{Null} + C - \beta_{Null} \times C \quad (6)$$

En effet, le OU neutre ne permet pas d'obtenir une diminution de C si β_{Null} est égal à C car il donne la valeur maximale. Dans ce cas, l'information contenue dans β_{Null} n'est pas prise en compte.

Les conclusions de la seconde règle de **'Equation (4)** sont définies par α_{PG+} pour « *C est augmenté fortement* » et α_{PG-} pour « *C est augmenté faiblement* ». La valeur de sortie β_{PG} suit la règle suivante :

$$\beta_{PG} = \frac{\mu_{Null} \times \alpha_{PG+} + \mu_{PG} \times \alpha_{PG-}}{\alpha_{PG+} + \alpha_{PG-}} \quad (7)$$

$\alpha_{PG+} = 0.1$ et $\alpha_{PG-} = 0.9$ pour l'expérimentation.

Comme, on souhaite augmenter la confiance, l'opérateur mieux adapté est l'opérateur ET pessimiste ("And connective") qui est défini comme suit :

$$C_{PG} = \beta_{PG} * C \quad (8)$$

En effet, le ET neutre ne permet pas d'obtenir une augmentation de C si β_{PG} est égal à C car il donne la valeur minimale. Dans ce cas, l'information contenue dans β_{PG} n'est pas prise en compte.

La valeur de C est déterminée à partir du raisonnement utilisant les sorties vraies :

- Si C_{Null} est vraie alors la sortie est " Diminuer " soit - 1
- Si C_{PG} est vraie alors la sortie est " Augmenter " soit + 1

La valeur de C est obtenue à l'aide de la **Formule** suivante :

$$C = \frac{C_{Null} \times (-1) + C_{PG} \times (+1)}{C_{Null} + C_{PG}} \quad (9)$$

3. Expérimentation

3-1. Illustration de la méthode

Nous représentons dans les **Figures 3 et 4** l'illustration de l'obtention du raisonnement. On fait varier le pourcentage de nz qui est défini à partir de l'**Equation (3)**.

Les variations de nz représentent respectivement :

- la communication perturbée : présence de bruit (nz inférieur à $nz0$) ;

- diminution de la qualité de la communication : augmentation du bruit (nz décroît et devient inférieur à $nz0$) ;
- dégradation de la communication : forte présence des bruits sur le réseau (nz devient presque nulle), par exemple branchement d'un appareil perturbateur (moteur électrique) ;
- amélioration de la communication: diminution du bruit (nz augmente et devient supérieur à $nz0$).

La **Figure 3(a)** représente l'étape de fuzzification : passage d'une valeur réelle aux valeurs floues. Cette étape est caractérisée par la notion d'appartenance aux sous-ensembles flous respectivement NULL et POSITIF GRAND. L'axe des abscisses correspond à l'index de communication. En mettant en œuvre le raisonnement propos à l'évolution de nz implique celles de C_{Null} et de C_{PG} .

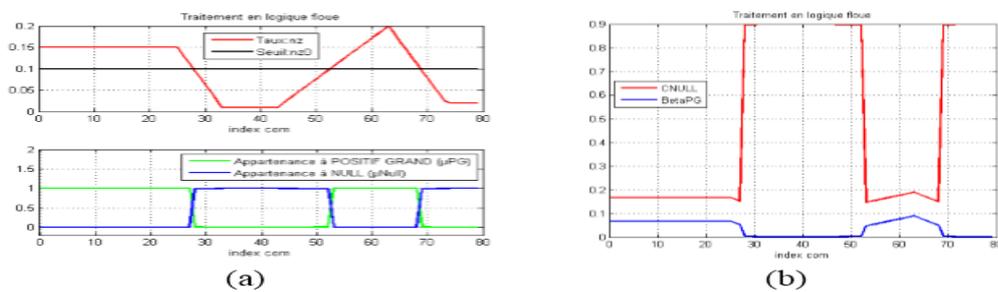


Figure 3 : Fuzzification de nz aux μ_{PG} et μ_{Null}

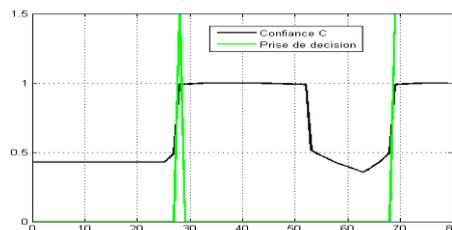


Figure 4 : Variation de la confiance

Lorsque C dépasse le seuil 0.80, la communication est alors considérée comme fiable ce qui nous indique la décision à prendre pour la qualité de la communication sur cette phase. La possibilité de décision est visible sur la **Figure 4** par le passage à 1 du drapeau « Prise de décision ». Après cet instant, les valeurs de C supérieures au seuil sont ignorées. Il faut attendre la diminution et le passage de C en dessous du seuil de réarmement 0.2 pour réactiver la possibilité à nouveau de choisir la meilleure phase pour injecter le signal. Le passage sous le seuil de réarmement indique que de grands changements sont intervenus dans les communications (dans notre simulation : branchement d'un appareil perturbateur sur le réseau). De ce fait dès que C passera de nouveau au-dessus du seuil de 0.8 la sélection automatique d'une phase doit être réalisée.

3-2. Protocole expérimental

Nous disposons de deux modems CPL qui utilisent la modulation Spread Frequency Shift Keying (SFSK) [9] pour réaliser notre expérience : le premier modem constitue le serveur et le deuxième représente celui du client. Le serveur envoie une requête au client. Ce dernier la reçoit et envoie à son tour une confirmation au serveur. Les définitions précises de ces deux fonctionnalités sont développées dans la norme DLMS/COSEM [10]. Les services utilisés pour établir la communication sont CONNECT, GET, et RELEASE, comme l'indique la norme DLMS/COSEM. Cette expérience sert à mesurer la qualité d'échange.

Les données obtenues sont ensuite utilisées dans notre algorithme pour sélectionner la meilleure phase parmi les trois où le courant sera injecté.

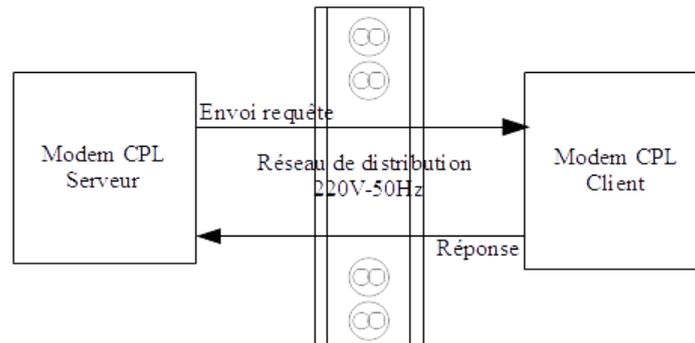


Figure 5 : Synoptique de l'expérience

La procédure de la mesure est effectuée en deux scénarios :

Scenario 1 : Aucun appareil perturbateur n'est branché sur la prise multiple où sont branchés les modems CPL le serveur et le client. Les étapes pour établir la communication sont :

- Ouverture d'une association entre le serveur et le client à travers le service CONNECT ;
- Lecture d'un objet COSEM et qui sera répétée autant nécessaires utilisant le service GET ;
- Le résultat de chaque lecture est sauvegardé dans un fichier dont les valeurs sont :
 - ✓ 1 : indique lecture réussie ; ce qui signifie que la confirmation a été bien reçue par le serveur ;
 - ✓ 0 : indique lecture en échec ; pas de confirmation de la requête envoyée ;
- Fermeture de communication par le service RELEASE.

Scenario 2 : Même procédure du scénario 1 sauf qu'on branche un appareil perturbateur (moteur électrique) sur la prise multiple où sont branchés les modems CPL le serveur et le client.

4. Résultats et discussion

Nous avons mesuré la qualité de communication. La **Figure 6** représente les confiances attribuées aux trois phases pour l'expérience avec le scénario 1. On constate que la méthode distingue bien les qualités de la communication sur chaque phase car la confiance suit la variation de l'opérateur flou μ (représenté par la courbe rouge). La confiance attribuée C (représentée par la courbe noire) à la phase 1 présente une moyenne de pondération la plus élevée (0.4637). Elle est le proche du seuil de décision. Cette phase indique la meilleure qualité de communication. Les confiances attribuées respectivement à la phase 2 et la phase 3 restent en dessous du seuil de la décision. Pour conclusion, la meilleure phase pour injecter le signal est la phase 1 car elle donne la moyenne des sorties de règle la plus grande.

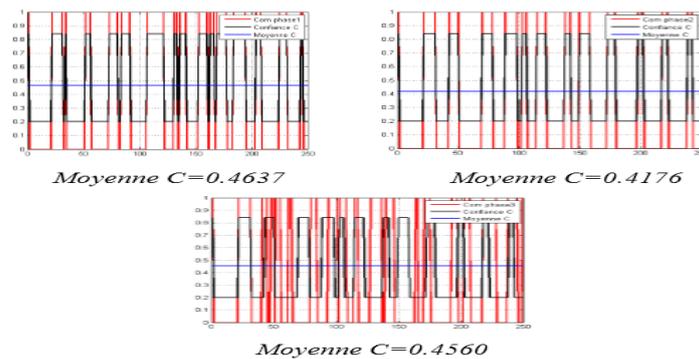


Figure 6 : *Confiances attribuées aux 3 phases sans appareil perturbateur*

La **Figure 7** représente les confiances attribuées aux trois phases pour l'expérience avec le scénario 2. La méthode identifie que les qualités de la communication sont très perturbées, compte de la variation confiance obtenue. Les nombres de 0 sont très élevés pour les trois **Figures**. La confiance attribuée C (représentée par la courbe noire) à la phase 1 présente une moyenne de pondération la plus élevée (0.2998). Elle est le proche du seuil de décision. Cette phase indique la meilleure qualité de communication. Les confiances attribuées respectivement à la phase 2 et la phase 3 restent en dessous du seuil de la décision. Pour conclusion, la meilleure phase pour injecter le signal est la phase 1 car elle donne la moyenne des sorties de règle la plus grande.

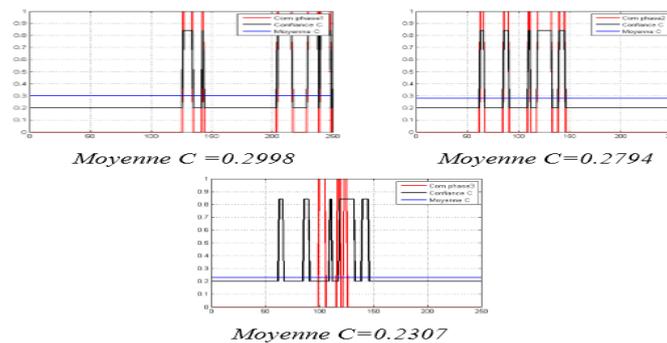


Figure 7 : *Confiances attribuées aux 3 phases avec appareil perturbateur*

5. Conclusion

L'approche par la logique floue a été introduite pour apprécier la qualité de la communication par le Courant Porteur en Ligne à travers le réseau électrique de Madagascar. L'idée consiste à mesurer l'efficacité de la communication sur les trois phases pendant un intervalle de temps avant de sélectionner automatiquement une phase où la communication est considérée comme performante. Notre méthode permet de choisir la meilleure phase pour injecter le signal. Elle présente un avantage considérable car les injections du courant sur les deux autres phases ne sont plus nécessaires ce qui réduit la perturbation sur le réseau. Le raisonnement utilisé est fondé sur le mécanisme de la moyenne pondérée des sorties des règles. Nous avons réalisé deux modes d'expériences (sans et avec un appareil perturbateur connecté sur le réseau) pour tester notre approche. Notre modèle met en exergue la dégradation de qualité de communication quand un équipement perturbateur est connecté sur le réseau permettant d'ignorer l'injection du signal CPL sur les autres phases. La perspective du travail consiste à réaliser des expériences sur terrains avec plusieurs équipements communicants qui sont connectés à distance sur le réseau en accord avec les pouvoirs publiques et la Société d'Etat JIRAMA qui gère les réseaux de distribution électrique à Madagascar.

Références

- [1] - JIRAMA, Projet d'Amélioration de la Gouvernance et des Operations dans le Secteur de l'Electricité de Madagascar, www.jirama.mg, (Février 2016).
- [2] - R. RABARIVÉLO, Reforme du Secteur Electrique à Madagascar, Multi-year expert meeting on services, development and trade: the regulatory and institutional dimension, Geneva, (2015).
- [3] - E. CERQUEIRA, P. BLADIN AND O. DEVAUX, Using AMI for Network Monitoring and Control: New Equipment As a Step Towards a Smart grid Implementation, 21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, (2011).
- [4] - X. CARCELLE, Réseaux CPL par la pratique, Ed. Groupe Eyrolles, (2006).
- [5] - SENDIN ALBERTO and al., Strategies for PLC signal injection in electricity distribution grid transformers, IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications, Glasgow, Scotland, (2011).
- [6] - S. GALLI, K. J. KERPEZ and H. MARIOTTE, Statistical modeling of PLC-to-DSL interference. IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications, Austin, Texas, USA, March, (2015).
- [7] - L. A. ZADEH, Fuzzy sets, Information and Control, 8 (1965) 338 - 353.
- [8] - T. TAGAKI, M. SUGENO, Fuzzy Identification of systems and its applications to Modelling and control, IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, vol. SMC-15, (1985).
- [9] - IEC 61334-5-1, Automatisation de la distribution à l'aide de systèmes de communication à courants porteurs, Profil SFSK, 2001.
- [10] - DLMS, Green Book Objets Cosem, 7ème edition, (2009).