RSTE
Revue des Sciences, de Technologies et de l'Environnement

Stockages par la logique floue des énergies renouvelables en attente d'injection vers les réseaux électriques

Nicolas RATOVOMIHARINJANAHARY [1*], Théodore TOTOZAFINY [2], RATIARISON Adolphe[1]

[1] *Laboratoire de Dynamique de l'Atmosphère du Climat et des Océans*
Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo

[2] *Faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement,*
Université de Mahajanga

* Correspondance, courriel : *nicolas.ratovomiharinjanahary@gmail.com*

Résumé :

Cet article présente une technique basée sur la logique floue pour stocker les énergies renouvelables produites dans différents endroits avant de les réinjecter vers les réseaux électriques. Une fois que les réseaux électriques disposent des ressources suffisantes, il n'est pas nécessaire d'injecter d'énergie. Il faut les stocker dans un équipement adéquat afin d'éviter la consommation inutile. La prise de décision pour stocker ces énergies ou TTD (Time To Decision) est estimée à l'aide de la théorie de la logique floue utilisant des inférences en fonction de la consommation du côté des réseaux. Autrement dit, le TTD est activé lors qu'il n'est plus nécessaire d'injecter des énergies. La méthodologie par la simulation a été utilisée pour valider notre approche. Les données sont virtuelles qui ont été créées à l'aide d'un programme informatique. D'une part elles sont utilisées pour simuler l'état d'avancement de charge sur l'équipement de stockage et pour simuler le besoin en énergies d'autre part. Ces données servent ainsi les entrées de notre système-flou. Elles permettent donc la fuzzification afin d'établir des inférences basées sur les sous-ensembles : **Besoin en énergie faible**, **Besoin en énergie moyenne**, et **Besoin en énergie maximale**. Nous avons fait appel à des opérateurs basés sur le raisonnement du mécanisme de Sugeno. L'expérience a été faite à travers la simulation utilisant des données informatiques qui représentent la réalité. La perspective du travail consiste en application avec les systèmes réels. Pour ce faire, nous devrons avoir à la disposition trois systèmes de productions des énergies renouvelables indépendants tels que l'éolien, le solaire et hybride. Chacun de ce système produit des énergies puis les stocke dans un équipement prévu pour cet effet à la demande TTD. La problématique de priorité apparaitra en ce qui concerne le choix parmi les trois producteurs pour l'arrêt de l'injection. C'est l'objet de notre perspective de travail.

Mots-clés : énergies renouvelables, logique floue, système autonome, stockage énergie.

ABSTRACT

Storage by the fuzzy logic of renewable energies not injected into electricity networks

This article presents a technique based on fuzzy logic in order to store the renewable energies produced in different locations before re-injecting them into electricity grids. Once power grids have sufficient resources, it is not necessary to inject energy. They must be stored in adequate equipment to avoid unnecessary consumption. The decision to store these energies or TTDs (Time To Decision) is estimated using fuzzy logic theory by using consumption inferences on the network side. The TTD is activated when it is not necessary to inject energies. The simulation methodology was used to validate our approach. The data is virtual that was created using a computer science program. On the one hand they are used to simulate the state of charge on the storage equipment. It is used to simulate the need for energy on the other hand. These data serve as inputs to our fuzzy system. Thus, they allow fuzzification to derive inferences based on subsets: Low energy need, Average energy need, and Maximum energy need. We used operators based of the Sugeno mechanism. The experiment was done through simulation using computer science data that represents reality. The perspective of the work will describe of the application with real systems. To do this, we will need to have at our disposal three independent renewables energies production systems such as wind, solar and hybrid. Each of these systems produces energies and then stores them in equipment provided for that when the TTD is request. The problem of priority will appear in order to the choice among the three producers for stopping the injection. This is the purpose of our work perspective.

Key words : renewable energies, fuzzy logic, independent system, energy storage.

1. INTRODUCTION

La production d'énergie renouvelable est en forte progression à Madagascar à travers les systèmes éoliens, solaires et les hydrauliques [1, 2]. Il reste néanmoins infusant compte tenu en besoin de l'électrique sur le territoire national. L'optimisation de la production décentralisée nécessite alors une stratégie automatisée afin de gérer l'injection des énergies produites vers le réseau en fonctionnement sans l'avoir coupé. Celle-ci permet de minimiser la consommation inutile lors de stockages avant l'injection. Nous introduisons par conséquent la logique floue pour la prise de décision de la mise en stockage lors que la demande en consommation par l'usager n'est plus nécessaire.

Le stockage d'énergie électrique dans un équipement approprié et optimisé est un domaine de recherche très actif dans la littérature. On s'intéresse uniquement la TTD (Time To Decision) pour l'arrêt d'injection et en même temps activation du stockage. Il est important de prendre en compte les multiples contraintes telles que l'optimisation de la production décentralisée, la priorité et l'information temps réel de la consommation des usagers.

L'objet de cette présente étude est d'automatisation de la prise de décision pour stocker les énergies produites à l'aide différents systèmes renouvelables en attente d'injection à travers le raisonnement par la logique floue pertes issues des charges fictives.

2. METHODOLOGIE

I. 2-1. Principe

La méthodologie consiste d'une part proposer un système nouveau pour l'utilisation de la logique floue afin de prendre la décision pour déclencher le stockage et de simuler les informations en temps-réel l'état de la consommation d'énergie du côté d'usager. La Figure 1 représente les différentes couches de notre algorithme qui est connecté directement aux différentes sources d'énergies.

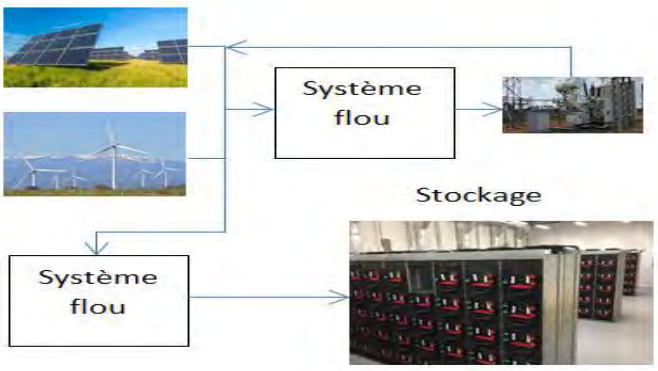

Figure 1: *Illustration du système proposé.*

II. 2-2. De la logique floue

Introduite par Lotfi Zadeh en 1965 [3], 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. 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:

$$\mu: x \in V \rightarrow \mu(x) \in [0,1] \qquad (1)$$

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.

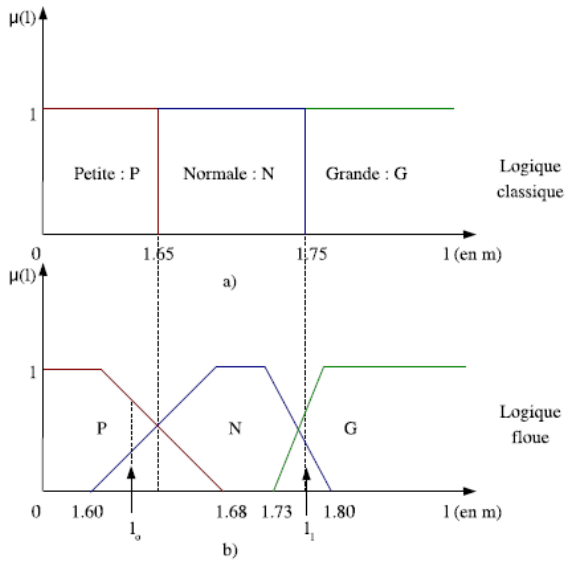

Figure 2: *Formalisation de la logique floue.*

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.

III. 2-3. Attribution de la confiance

On étudie la consommation en temps réels des usagers des réseaux électriques et qui sont rempotées à travers d'un système de contrôle floue. A cet effet, le besoin d'énergie servira l'entrée de notre système. L'attribution indique la nécessité de stocker les nouvelles énergies produites dans un équipement adéquat qui est en communication avec l'ensemble des systèmes de production. Elle permet la fuzzification afin d'établir des inférences basées sur les sous-ensembles :

- **(1) Besoin en énergie NULL : indique que l'injection des nouvelles énergies n'est plus nécessaire**
- **(2) Besoin en énergie MOYENNE : indique la consommation normale**
- **(3) Besoin en énergie FORTE : indique l'injection des nouvelles énergies vers les réseaux dans l'immédiat.**

La prise de décision de stocker ces énergies ou TTD (Time To Decision) est activée lorsque le sous ensemble de la logique floue (1) est moyennement élevé.

IV. 2-4. Time To Decision (TTD)

Pour mesurer l'état de la consommation des usagers, 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 consommations dans une intervalle bien définie. Dans notre cas, elle est de cinq minutes pour la simulation:

$$d(t) = Cons(T) - Com(T + 5) \qquad (2)$$

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

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

où *NonZero* indique le taux de communication non nul. De ce fait, *nz* représente l'état de la consommation. Chaque fois que *nz* est proche de zéro ou consommation faible, on diminue la confiance *C* pour signaler la nécessité de stockage s'impose bientôt. Ne connaissant pas la loi optimale qui permet de faire évoluer (accroître ou décroître) la confiance, une méthode basée sur l'opérateur flou de SUGENO [3] 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 définie les règles de raisonnement permettant de faire évoluer le critère :

$$\begin{cases} Si\ nz\ est\ NULL\ \ alors\ C\ est\ diminué \\ Si\ nz\ est\ POSITIF\ GRAND\ alors\ C\ est\ augmenté \end{cases} \qquad (4)$$

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 Sugeno [4,5], 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'équation (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 défi 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 l'équation (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. EXPERIMENTATION

V. 3-1. Illustration de la méthode

On fait varier le pourcentage de nz qui est défini à partir de l'équation (3).

Les variations de nz représentent les cas suivants:

- consommation faible : nz inferieur à nz0,
- diminution de la quantité de consommation: nz décroît et devient inférieur à nz0,
- augmentation de la quantité de consommation : nz devient presque nulle
- amélioration de la communication: diminution du bruit (nz augmente et devient supérieur `a nz0).

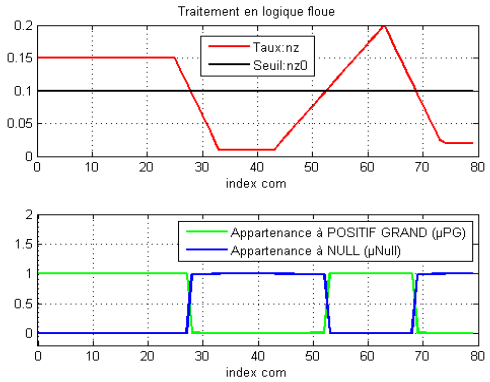

Figure 3: *Fuzzification de nz aux μ_{PG} et μ_{Null}.*

VI. 3-2. Données de simulation

Les données sont simulées à l'aide des outils informatiques. La Figure 4 représente à la fois la variation de la consommation et l'état de la consommation des usagers :

Pour la production :

- La valeur est à 1 : production maximale
- La valeur est 0 : production est minimale

Pour la consommation :

- La valeur est à 1 : consommation forte
- La valeur est 0 : consommation minimale

Productions	Variation de productions
Solaire	000011000011111100000111111111110000000000000000000000000000
Eolienne	111000000000000000000000000000000000111111100000000000000000000
Hybride	000000000011111111111111111111111111110000000000111111111111

Données reportées	Consommation des usagers des réseaux
	110000110000111110111111111111111110000000000000000000000000

Figure 4 : *Simulation des productions et de consommation.*

4. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de la simulation montrent que l'utilisation du mécanisme du Sugeno de la logique floue permet d'automatiser les stockages d'énergies à travers l'évolution de consommation. Le TTD est identifié selon la durée du besoin en consommation. La priorité relative à l'injection en ce qui concernes les producteurs est terminée à partir de la confiance attribuée au besoin en consommation.

Les données issues des réseaux électriques ont permis dans un premier temps d'établir les inférences. Dans un second temps, elles constituent les points d'entrée de notre algorithme.

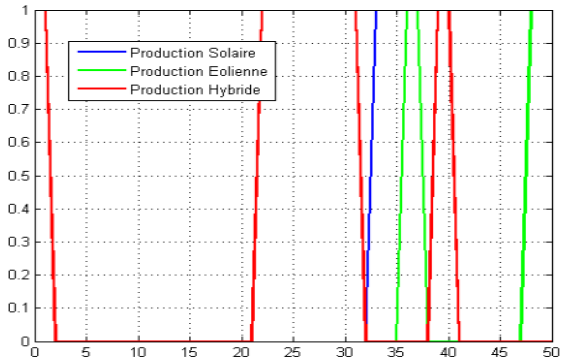

Figure 5: *Simulation des besoins en consommation en énergie.*

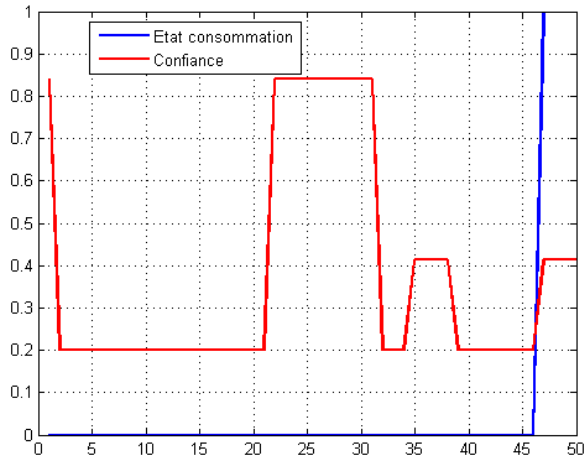

Figure 6: Confiance associée à la consommation en énergie des usagers.

La confiance (Figure 6) est maximale à partir de l'index 45. Cet instant nous indique que la décision pour déclencher le stockage n'est pas opportun puisque consommation est moyennement faible.

CONCLUSION

L'approche par la logique floue a été introduite pour quantifier le besoin en électricité des usagers. L'idée consiste à mesurer la consommation en temps réels afin de prendre une décision sur l'arrêt d'injection où les énergies seront par la suite stockées dans un système adéquat. Notre méthode permet de choisir l'instant de la mise en stockage que nous l'appelons TTD (Time To Decision).

Nous avons réalisé une expérience à l'aide des programmes informatiques pour tester notre approche. Notre modèle met en exergue l'efficacité de la logique floue pour la prise de décision. Cependant, il est nécessaire des réaliser des expériences approfondies par l'utilisation des outils de modélisation, comme par exemple Simulink pour valider notre théorie.

La perspective du travail consiste à réaliser des expériences avec des sources de production d'énergies et des systèmes de stockages. Chaque site aura son propre moyen de stockage. Notre algorithme sera implanté dans un système de control qui est raccordé aux réseaux, côté usagers afin de mesurer en temps-réel la consommation. La communication entre les sites de productions et le système de contrôle sera réalisée à l'aide des réseaux de télécommunications. Le logiciel maitre-esclave est déployé afin d'assurer la mise œuvre des actions entreprises entre les différents sites de productions.

REFERENCES

[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. Rabarivelo, Reforme du Secteur Electrique à Madagascar, Multi-year expert meeting on services, development and trade: the regulatory and institutional dimension, Geneva, (2015).

[3]-L. A. Zadeh. Fuzzy sets, Information and Control, pages 338–353 (1965).

[4]-Théodore Totozafiny, Jean Nirinarison Razafinjanka et Zo Reziky. Injection du Signal CPL avec Sélection Automatique de Phase par la Logique Floue pour Application Réseaux Electriques de Madagascar, Afrique SCIENCE, 2016.

[5]-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).