



## The 1<sup>st</sup> International Conference on Local Resource Exploitation

[www.lorexp.org](http://www.lorexp.org) / [info@lorexp.org](mailto:info@lorexp.org)

REF: LOREXP\_2021\_A1120 Pages: 1034–1045



### Modèle Multi Agent pour la gestion d'un Smart Grid *Multi Agent model for the management of a Smart Grid*

S. Nyatte <sup>1,\*</sup>, S. Ndjakomo<sup>1,2</sup>, P. Ele<sup>1,4</sup>, S. Perabi <sup>1,3</sup>, A. Tolok<sup>1</sup>, Ghislain Mengata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Douala - Institut Universitaire de Technologie de Douala, Cameroun

<sup>2</sup> Université de Yaoundé 1 - Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique d'Ebolowa, Cameroun

<sup>3</sup> Université de Yaoundé 1 - Ecole Normale Supérieure de Bertoua, Cameroun

<sup>4</sup> Université de Yaoundé 1 - Ecole Normale Supérieure polytechnique de Yaoundé, Cameroun

\* Auteur Correspondant : [ssteyve@gmail.com](mailto:ssteyve@gmail.com)

#### RÉSUMÉ :

Cet article présente une approche innovante de modélisation de la gestion d'un Smart Grid. Sur la base de règles et de définitions prédéfinies, les SMA décident de la quantité d'énergie que chaque source doit contribuer en fonction des conditions de charge et de la coordination des opérations de chaque agent. Un contrôleur à Logique Floue associé à un algorithme AHP est conçu pour mettre en œuvre cette capacité décisionnelle des agents. Les résultats après simulation sur Matlab Simulink nous présentent une réduction de 50 % des harmoniques du réseau, une meilleure stabilité de réseau avec un temps de réponse de 0.08 secondes, une réduction des gaz à effet de serre (6,1 % en CO<sub>2</sub> et 12,7 en NO<sub>x</sub>) et l'équilibre offre demande assurée à 98 %.

**Mots clés :** Smart Grid, Logique floue, AHP, Système multi-agents, Coopération d'agents.

#### ABSTRACT:

This paper presents an innovative approach to modeling the management of a Smart Grid. Based on predefined rules and definitions, MASs decide how much energy each source should contribute based on load conditions and the coordination of each agent's operations. A Fuzzy Logic controller associated with an AHP algorithm is designed to implement this decision-making capability of the agents. The results after simulation on Matlab Simulink show a 50 % reduction of the network harmonics, a better network stability with a response time of 0.08 seconds, a reduction of greenhouse gases (6.1 % in CO<sub>2</sub> and 12.7 in NO<sub>x</sub>) and the supply-demand balance assured at 98 %.

**Keywords:** Smart Grid, Fuzzy logic, AHP, MAS (multi-agent system), Agent cooperation.

## 1. INTRODUCTION

Si 558 millions d'Africains ne disposaient pas accès à l'électricité en 2008, ce nombre est prévu augmenter à 652 millions en 2030, soit une augmentation de 18 pour cent (EDENIS, 2018). Ce déficit est un véritable frein pour la production des chaînes de valeurs et transformations intégrales des ressources locales. Dans ce contexte difficile et très contrasté d'un pays à l'autre, le développement des Smart Grid représente une solution susceptible de changer la vie de millions de personnes et de transformer le paysage économique du continent. L'interconnexion des Systèmes d'énergie distribué Intelligent ou Smart Grid est l'une des réponses techniques au défi de la distribution de l'énergie électrique aujourd'hui. Les réseaux électriques intelligents ne sont pas appelés à se diffuser que dans les pays les plus industrialisés. En effet, et dans l'optique d'améliorer la disponibilité et la stabilité de l'énergie électrique à travers une prise de décision adaptée, nous mettons sur pied une solution permettant la mise en commun intelligente des énergies distribuées.

Les questions auxquelles ce travail voudrait répondre se présentent comme suit : Quelle architecture de Smart Grid prendrait en compte le mode de vie des populations ? répond-il aux problèmes des harmoniques dues aux fluctuations du réseau et de l'environnement ?

L'objectif principal considéré dans cet article est de proposer une architecture de gestion d'un Smart Grid en associant des algorithmes de l'intelligence artificielle et de prise de décision pour la gestion de la disponibilité et de l'équilibre offre-demande en tenant compte des spécificités des populations. Ainsi, nous associons les SMA (Systèmes Multi-Agents), pour modéliser les sources et assurer leur coopération, à la logique floue (Détermination des critères de commutation) et l'AHP (Analyse Hiérarchique des Procédés) pour la hiérarchisation des sources d'énergie. Cette architecture intelligente (SMA-AHP-FLOU) à base de connaissance va gérer la distribution de l'énergie dépendante des habitudes de consommation, de la demande réelle, et de la disponibilité de l'énergie. Plusieurs travaux de recherches se sont penchés sur des solutions similaires ; Dans leur article Pedro Oliveira et al. (2017), Développent une plateforme multi-agent appelé MASGrIP (Multi-Agent Smart Grid Platform) pour faciliter la gestion d'un réseau électrique multi-distributeur et montrent que le systèmes multi-agents offrent une bonne réponse au réseau en termes de gestion des plusieurs sources. Dans la même lancée, Sambeet Mishra et al. (2019) proposent un nouveau modèle multi-agent d'optimisation méta-heuristique d'un Micro-réseau afin d'assurer des commutations intelligentes de divers sources. Mais en aucun moment ces derniers n'intègrent le temps de commutation qui est un facteur important dans la stabilité des SED (SED. Système d'Energie Distribuée). Ces dernières recherches ne prennent pas en compte les problèmes d'adaptation de fréquence qui peuvent naître des Interactions de contrôle et effets mutuels potentiels entre la tension (U) et la fréquence (F). Pour résoudre ce problème, Laaksonen et al. (2019) présentent une architecture multi-objective de gestion du réseau intelligent capable de prendre en compte cette adaptation de fréquence.

Les systèmes multi-agents n'étant pas capable d'apprentissage il est important d'y apporter des techniques d'intelligences adéquates. C'est dans cette lancée que Roche et al. (2012), complète le travail de Laaksonen et al. (2019) en ajoutant au SMA un algorithme d'apprentissage automatique mais le problème de sécurité est totalement ignoré. Ce que vient corriger Ghorbani (2014) qui propose une nouvelle approche pour sécuriser le système complet de réseau intelligent. Mais aucun algorithme de prise de décision n'est implémenté dans ces dernières recherches pour le contrôle efficient des sources dans un SED. Les travaux de Tolok Nelem et al. (2018) proposent un système de commutation qui associe un algorithme de prise de décision avec la logique Floue pouvant améliorer le temps de commutation. Mais les difficultés observées lors de l'implémentation nous ont amené à ajouter la technologie des agents dans cette recherche. D'autres travaux comme ceux de van Tonder et Lane (1996), Molderink et Bakker (2013) et Ayub et al. (2019) nous permettrons de faire une étude comparative des résultats obtenues.

## 2. APPROCHE METHODOLOGIQUE

### 2.1. Synoptique du SMART-GRID

Notre méthode consiste à modéliser les diverses sources (Solaire ; Thermique ; Batterie et Hydraulique) et les différents agents (AR : agent réseau ; AS : Agent sources ; AB : Agent batterie et AHP-FLOU) et de simuler leur fonctionnement sans agent et avec agent en temps réel afin de montrer l'efficacité d'une telle architecture dans la gestion d'un Smart Grid. La figure 1 présente le synoptique du SMART-GRID.

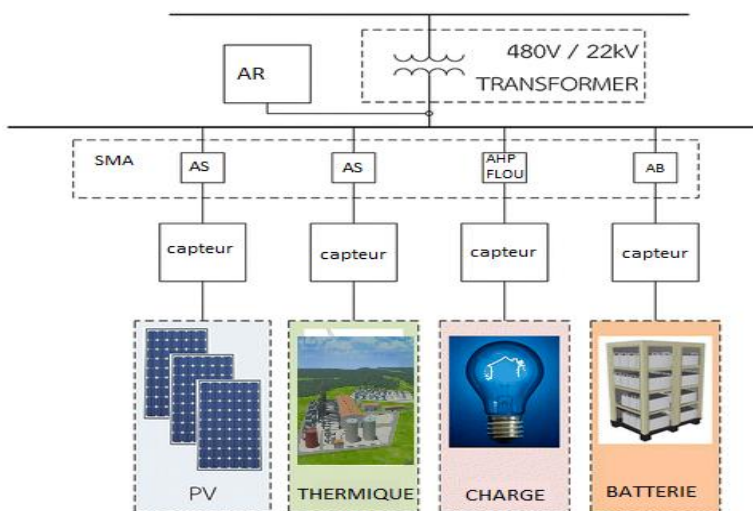


Figure 1 : Synoptique du Modèle

Ce synoptique présente l’interconnexion de nos quatre agents à leur diverse source d’énergie à travers des capteurs. Un dernier Agent intelligent (AHP-FLOU) permet de gérer la sélection de la/les source(s) prioritaire(s). Pour notre optimisation de cette sélection multicritère, nous avons défini des critères qui eux sont segmentés en sous-critères.

## 2.2. Les critères et sous-critères

Le niveau supérieur de projet a relié cinq critères C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> et C<sub>5</sub>, présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Récapitulatif des Critères de basculement

Critères	Dénomination
C1	Satisfaction du client du système de production
C2	Performance du système de Production
C3	Qualité de prédiction du système de Production
C4	Cout de production du système de Production
C5	conditions environnementales

Le critère C1 a relié les quatre sous critères SC<sub>11</sub>, SC<sub>12</sub>, SC<sub>13</sub>, et SC<sub>14</sub> (tableau 2), constituant le niveau 2

Tableau 2 : Récapitulatif des Sous Critères liés à la satisfaction du client

Sous Critères	Dénomination
SC11	Continuité de service et stabilité du système solaire :
SC <sub>12</sub>	Disponibilité du réseau publique :
SC13	Disponibilité du groupe électrogène :
SC14	Etat de charge de l’unité de stockage

Le critère C2 (Satisfaction du client) a relié les quatre sous critères SC<sub>21</sub>, SC<sub>22</sub>, SC<sub>23</sub> et SC<sub>24</sub>, présentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Récapitulatif des Sous Critères liés à la Performance du système de Production

Sous Critères	Dénomination
SC21	Performance du système solaire
SC22	Stabilité du réseau électrique publique
SC23	Performance du groupe électrogène :
SC24	Durée d’autonomie de l’unité de stockage

Le critère C3 a relié les trois sous critères SC31, SC32 et SC33, présentés dans le tableau 4.

**Tableau 4 :** Récapitulatif des Sous Critères liés à la Qualité de prédiction

Sous Critères	Dénomination
SC31	Erreur de prédiction sur système solaire
SC32	Erreur de prédiction sur groupe électrogène
SC33	Erreur de prédiction de l'unité de stockage

Le critère C4 a relié les trois sous critères SC41, SC42 et SC43, présentés dans le tableau 5.

**Tableau 1 :** Récapitulatif des Sous Critères liés au Coût de production

Sous Critères	Dénomination
SC41	Coût de production des systèmes PV
SC42	Coût de production Du générateur Diesel
SC43	Coût de production De l'unité de Stockage

Le critère C5 a relié les trois sous critères SC51, SC52 et SC53, présentés dans le tableau 6.

**Tableau 6 :** Récapitulatif des Sous Critères liés aux conditions environnementales

Critères	Dénomination
SC51	Saison climatique
SC52	Situation Géographique
SC53	Emission de GES

Chacun de ces sous critères (SC11 à SC53) sont en liaisons avec les quatre alternatives (ALT1, ALT2, ALT3, ALT4), présentés dans le tableau 7.

**Tableau 7 :** Tableau des alternatives de couplage des sources

Critères	Dénomination
ALT1	Charges-batterie sur PV
ALT2	Charges-batterie sur réseau publique,
ALT3	Charges sur batterie,
ALT4	Charges-batterie sur Centrales thermiques

Afin de faire une comparaison deux a deux des critères nous devons nous inspirer des échelles de comparaisons de Saaty.

### 2.3. Modélisation des Agents

Nous détaillons le système multi-agents proposé composé du fournisseur d'énergie verte, des consommateurs, du stockage et du réseau. Ces agents échangent des messages afin d'atteindre leurs objectifs. Nous nous concentrons sur quatre types d'agents : l'agent de réseau, l'agent de stockage (batterie), l'agent producteur (solaire et thermique) l'agent AHP-FLOU et l'agent consommateur. La communication entre ces agents peut se faire par l'échange de messages compréhensibles, la demande d'une action ou la négociation.

L'agent producteur (AS) a pour objectif de contrôler la distribution de l'énergie qu'il produit, tandis que l'agent consommateur est responsable de la négociation de l'achat d'énergie avec d'autres consommateurs et producteur. L'agent AHP-Flou assure les

meilleures commutations en un temps record afin d'assurer la qualité et la quantité d'énergie. Enfin, l'agent de stockage est responsable du contrôle de l'achat et de la distribution de l'énergie stockée. Un des rôles des agents c'est d'optimiser les pertes d'énergie causées par les lignes de transmission. Pour commencer, nous considérons que la perte d'énergie est proportionnelle à la distance. Sur la base de cette hypothèse, nous calculons la perte d'énergie entre deux noeuds  $i$  et  $j$  (par exemple, le consommateur et le producteur), conformément à l'équation (1).

$$W_{ij} = r * I^2 * T * d_{ij} \tag{1}$$

Où :

$r$ : la résistance par unité de longueur de la ligne de distribution. ;  $I$ : le courant de la ligne. ;  $T$ : le temps en heures.

$W_{ij}$ : Perte d'énergie entre deux noeuds  $i$  et  $j$  (en kWh) ;  $d_{ij}$ : distance entre deux noeuds  $i$  et  $j$  (en mètres).

### 2.3.1. L'Agent Réseau

Dans ce contexte, l'agent de réseau peut recevoir deux types de messages différents : les messages de demande et d'appel à proposition. Les messages de demande sollicitent l'énergie du réseau et sont envoyés par les consommateurs et les systèmes de stockage. La demande d'appel à proposition est envoyée aux autres sources lorsque celle-ci a besoin d'apport des unités de production du réseau. La figure 2 présente le modèle de cet agent.

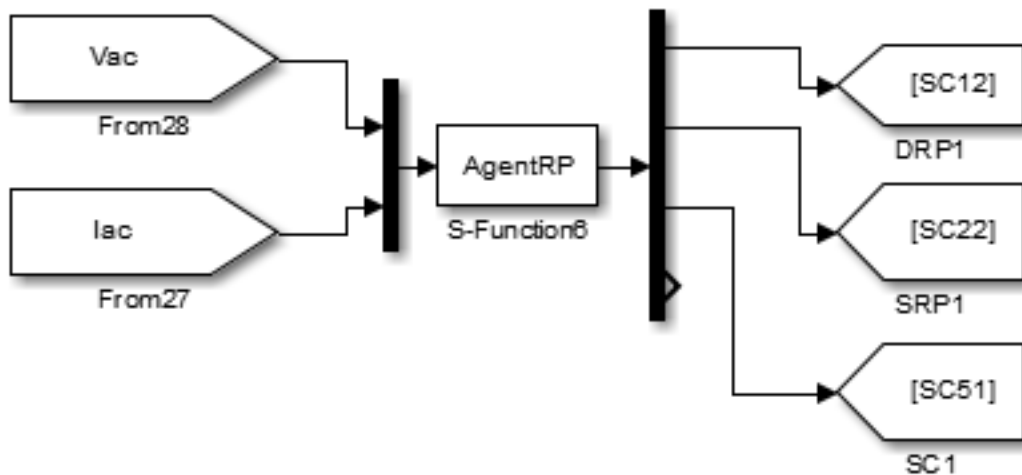


Figure 2 : Modèle Simulink de l'agent Réseau

Cet agent prend à l'entrée la tension du réseau et le courant appelé et en sortie nous avons les sous-critères de décision liés au réseau publique : SC12 (Disponibilité du réseau publique), SC22(Stabilité du réseau électrique publique), SC51 (Saison climatique).

### 2.3.2. Agents Sources secondaires (AS)

Modèle de L'Agent Source Thermique.

La fonction principale de l'agent Source thermique est de déterminer les sous critères (Tableau 2 à 6) correspondants aux générateurs Thermiques (SC13, SC23, SC32, SC42, SC53). Ces sous critères seront utilisés par le moteur d'inférence flou pour prédire les critères de sélection des sources par AHP.

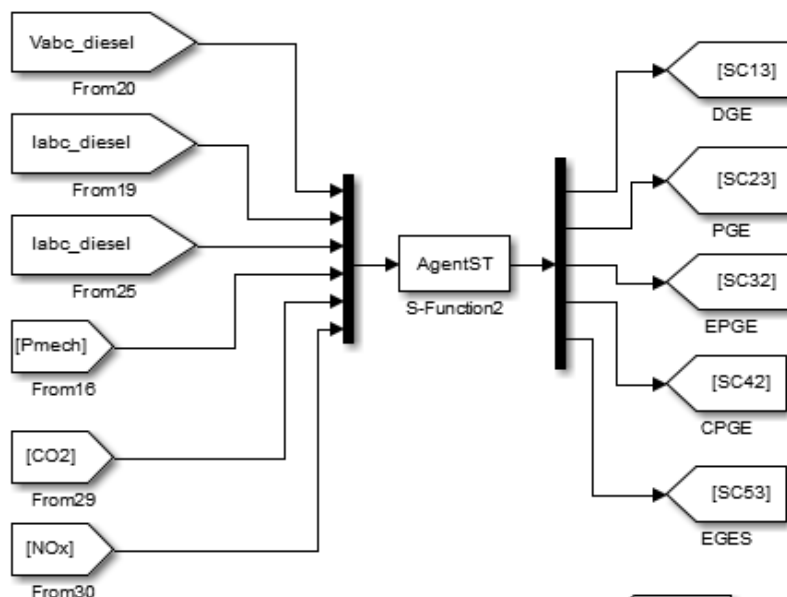


Figure 3 : Modèle de L'Agent Source Thermique

### Modèle de L'Agent Source PV (Photovoltaïque)

L'une des fonctions de l'agent Source PV est de déterminer les sous critères (SC11, SC21, SC31, SC41). Comme pour l'agent précédent, Ces sous critères seront utilisés par le moteur d'inférence flou pour prédire les critères de sélection des sources par AHP. Cet agent prend en entrée la puissance disponible du PV (Ppv), la position du soleil par rapport à la plaque (DEG) et la variation de l'Irradiance générée ici par le bloc "Signal generator" de MATLAB. La figure 4 présente la modélisation de cet agent.

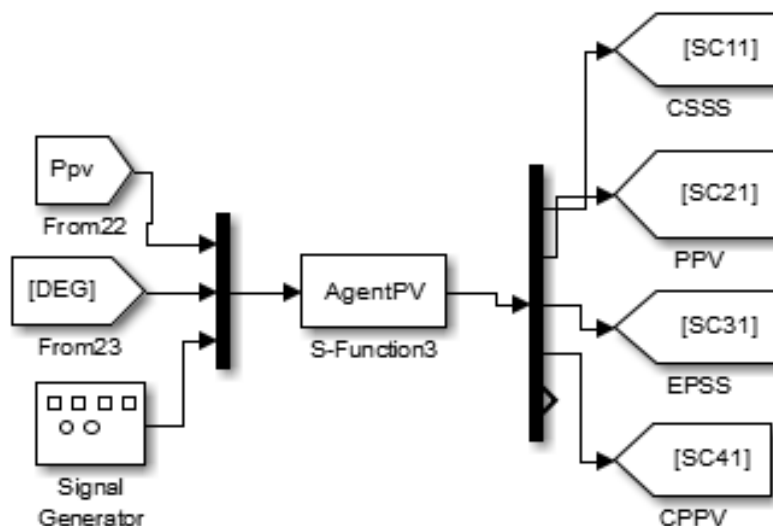


Figure 4 : Modèle de L'Agent Source PV.

### 2.3.3. Agent Batterie

L'agent de stockage devrait jouer un rôle majeur dans le réseau intelligent, car il répond aux demandes des consommateurs lorsque la production d'énergie renouvelable est insuffisante. Dans ce contexte, et en fonction des données prédites, l'agent de stockage choisit le meilleur moment pour charger sa batterie à partir du réseau. De plus, en cas d'excès de production verte, cet agent stocke l'énergie excédentaire pour une utilisation ultérieure.

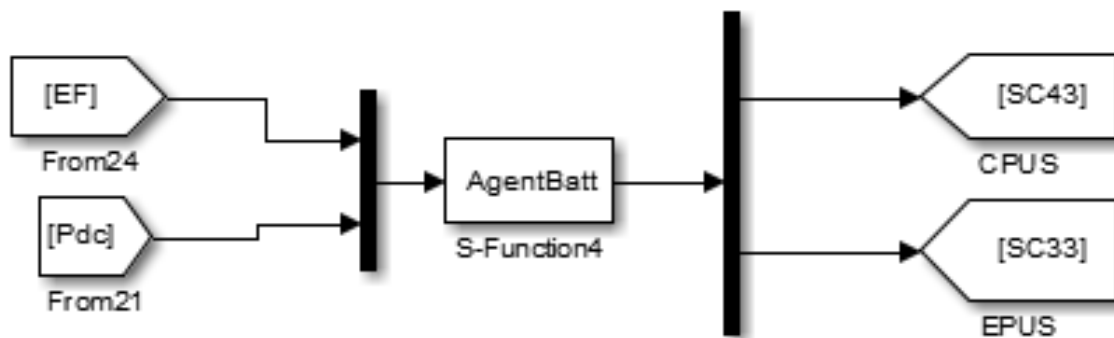


Figure 5 : Modèle de l'agent Batterie

### 2.3.4. Agent AHP-Flou

#### Systeme à logique floue

La logique floue est utile pour représenter, les connaissances dans un domaine d'application spécifique et raisonner avec ces connaissances pour des inférences ou des actions. La logique floue est de nos jours, devenue l'une des technologies les plus performantes pour développer des systèmes de contrôle sophistiqués. Il est question dans cette partie la transposition de notre moteur d'inférence selon un modèle mathématique « moins flou ». Notre contrôleur flou prend en entrée les sous critères (tableau 1 à 6) et calcul les critères (C1, C2, C3) du niveau1 pour l'algorithme AHP qui va décider des alternatives d'alimentation.

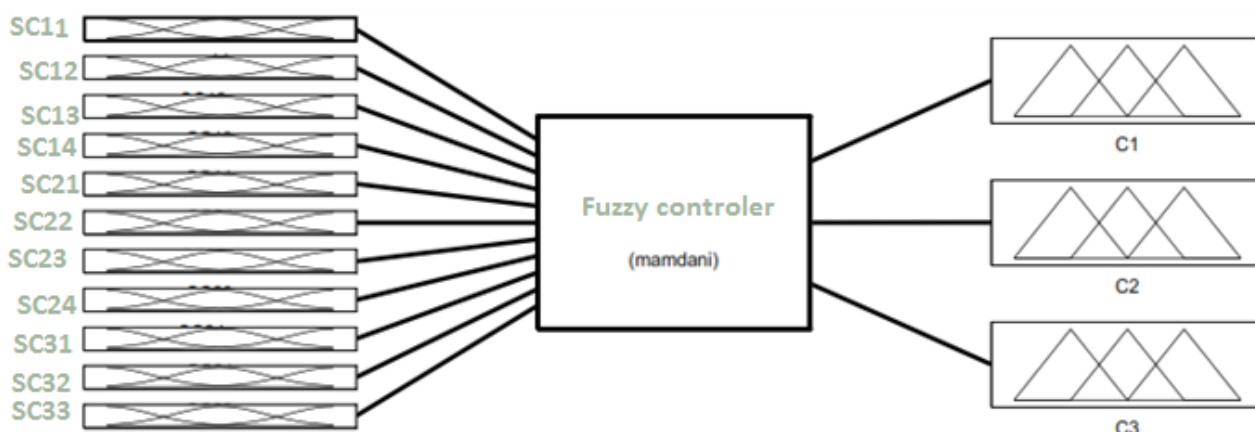


Figure 6 : Structure du contrôleur flou

#### Analyse Hiérarchique

L'algorithme de l'analyse hiérarchique est défini ci-dessous par la figure 7. Afin de choisir en toutes circonstances, l'alternative de commutation ( $Alt_1$ : Charges-batterie sur PV,  $Alt_2$ : Charges-batterie sur réseau publique,  $Alt_3$ : Charges sur batterie,  $Alt_4$ : Charges-batterie sur Centrales thermiques) qui optimise l'ensemble des critères  $C_i$  et sous-critères  $SC_i$  pour la satisfaction de l'objectif de conception de notre processus décisionnel. Il s'agit de la **Mise en œuvre en temps réel d'une démarche multicritère** qui permette **de sélectionner comme configuration optimale** du système multi-sources **l'une des possibilités de commutation** entre les sources et les différentes charges afin de **favoriser la disponibilité de l'énergie** électrique. L'objectif est d'optimiser et choisir les meilleurs critères et les alternatives, par rapport au niveau hiérarchique supérieur. La figure 7 présente l'agent AHP-FLOU avec ses entrées et ses sorties.

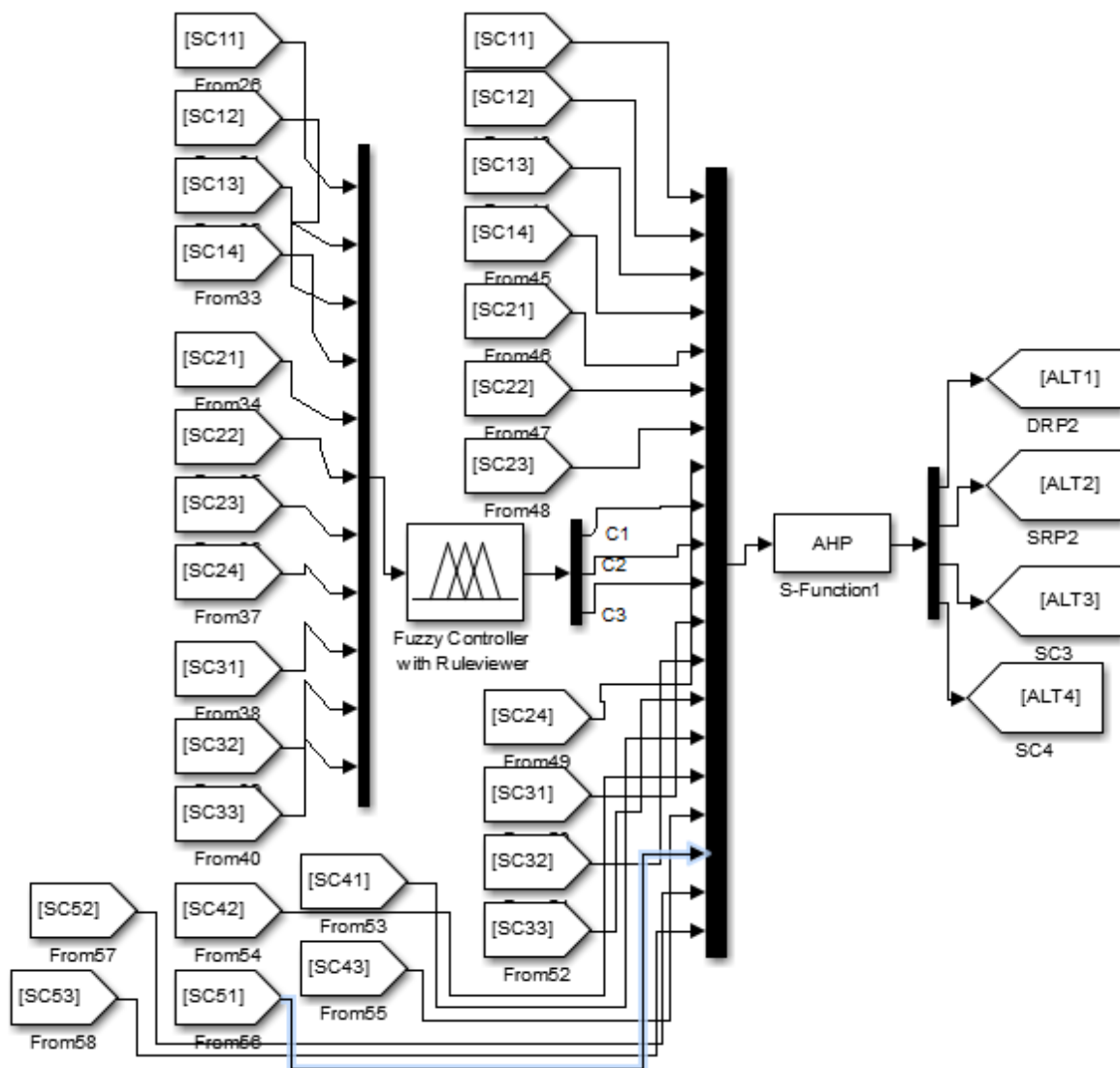


Figure 7 : Modèle Simulink de l'Agent AHP flou

A la sortie de la logique floue nous avons les critères C1, C2 et C3 déterminés à partir des Sous-critères comme l'indique la figure 8. Ces critères sont associés à tous les sous critères pour l'AHP afin de générer les alternatives de commutations des sources.

Afin de simuler notre modèle nous avons conçu sur Matlab Simulink un réseau constitué d'une source PV, une source diesel, une batterie, une source hydraulique et une charge non linéaire. Le système multi-agents est mis en oeuvre à l'aide des blocs de fonction de MATLAB Simulink. Chaque agent est modélisé par une S-fonction de Matlab. L'interconnexion des agents logiciels associés à l'agent AHP-flou est mobilisée par la figure 8 :



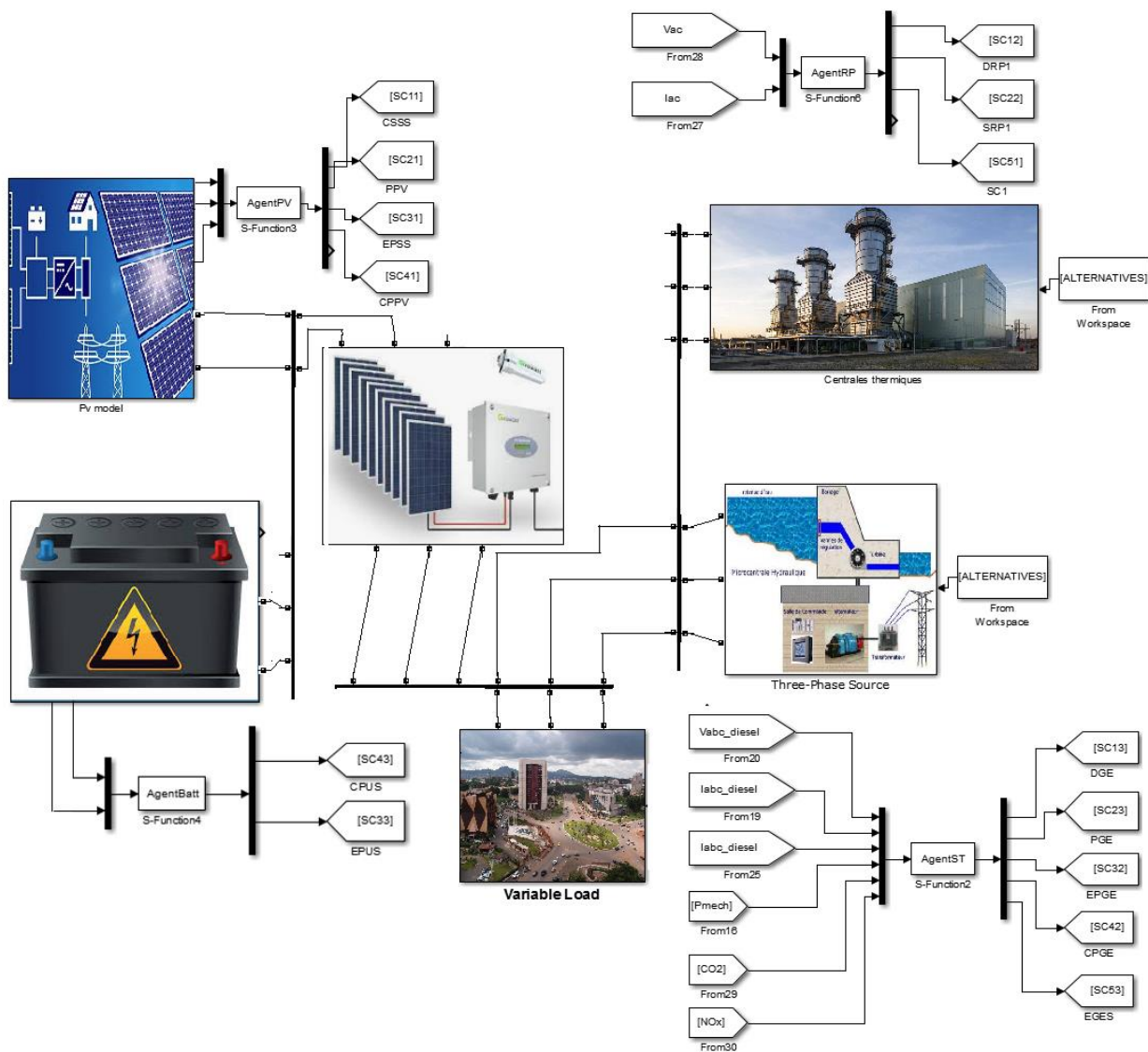


Figure 8 : Modèle Simulink du réseau.

### 3. RÉSULTATS

Afin d’effectuer des tests de l’architecture du SMA, nous allons d’abord faire une simulation du réseau sans agents ensuite avec agent pour étudier la stabilité du réseau. Ensuite nous questionnerons la qualité du réseau en termes d’harmoniques et d’environnement. La figure 9 présente la simulation du réseau sans agent. Nous observons des distorsions du réseau à l’oeil nu avec une allure quasi sinusoïdale. Dans notre modèle nous avons associé un bloc qui évalue la qualité d’énergie en déterminant le taux de gaz à effet de serre émit par notre réseau électrique intelligent.

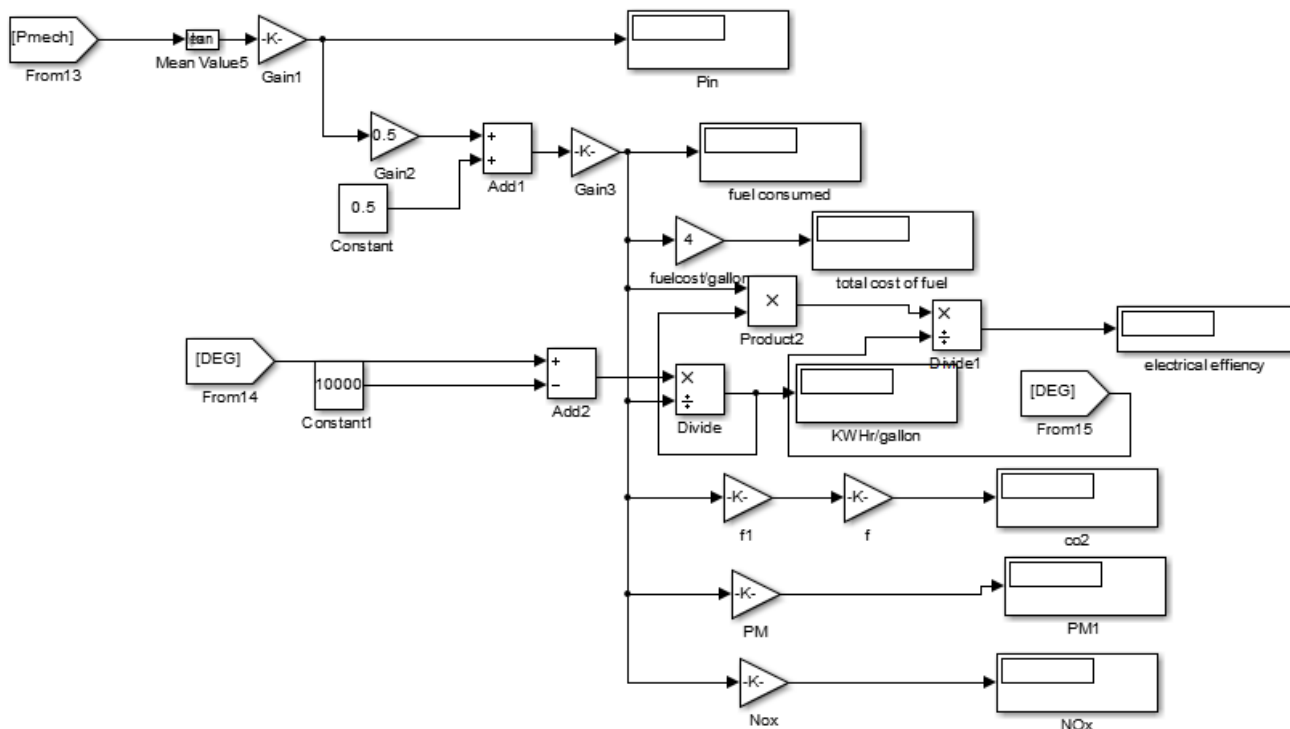


Figure 9 : Détermination des Gaz à effet de serre émit par le réseau

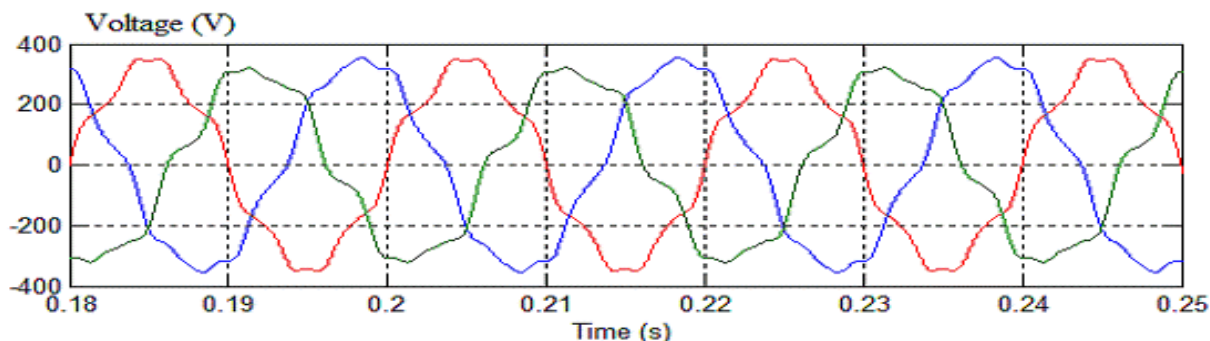


Figure 10 : Modèle sans agent

Après introduction du SMA on remarque que la tension triphasée semble meilleure.

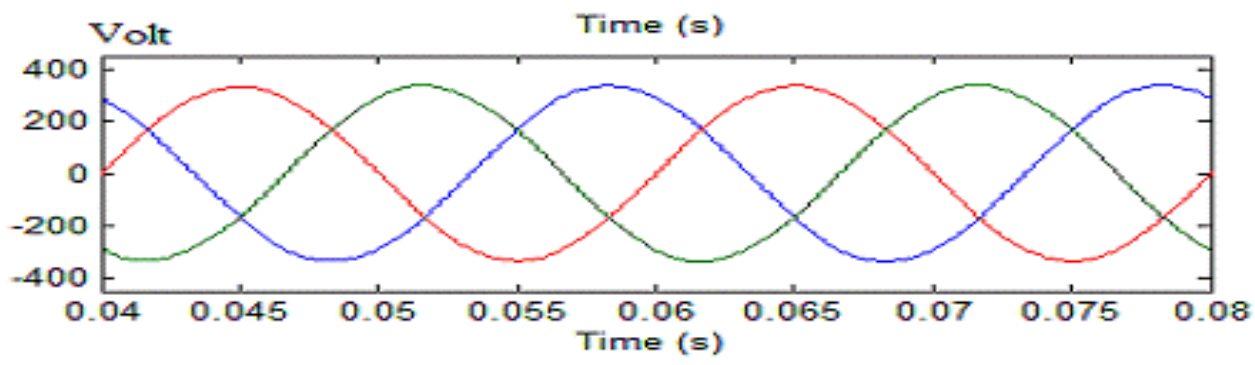


Figure 11 : Modèle avec Agent

La figure 11 semble montrer une meilleure qualité d'énergie lors de l'intégration des agents. Le tableau 1 présente les résultats récapitulatifs.

**Tableau 1** : Résultats récapitulatifs.

	Données	
	Sans SMA	Avec SMA
CO <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	64070	60110
NO <sub>x</sub> (m <sup>3</sup> )	1426	1244
Fréquence fondamentale (Hertz)	42.88	53
THD (%)	36.64	7 %

Par ailleurs, les résultats de la simulation montrent une précision de prévision de charge de 98 %.

#### 4. CONCLUSION

Ce travail de recherche vise à mettre sur pied un modèle intelligent de gestion d'un système d'énergie multi source, c'est à dire le développement d'un système de contrôle d'un réseau électrique multi-source. Le modèle d'agents logiciels a donc été choisi, assisté par un algorithme de prise de décision AHP-Flou. L'évaluation est ensuite faite sur la qualité d'énergie, l'impact environnemental et l'aspect économique. Pour ce faire, nous avons développé sur Matlab Simulink un modèle de réseau électrique constitué des sources thermiques (centrale thermique), photovoltaïques, et hydrauliques. Le développement des modèles d'agents logiciels à partir des S-fonction sur Simulink et fuzzy logic toolbox et leur intégration dans le précédent réseau nous a permis d'obtenir un Smart Grid. Les résultats issus de cette simulation montrent que la gestion des SEDest meilleure en termes de qualité d'énergie ; de stabilité et de respect de l'environnement.

#### 5. CONFLITS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu'il n'y a pas de conflits d'intérêts connus, associés à cette publication.

#### 6. RÉFÉRENCES

Ayub N., Javaid N., Mujeeb S., Zahid M., Khan W.Z., Khattak M.U., 2020. Electricity Load Forecasting in Smart Grids Using Support Vector Machine. In: Barolli L., Takizawa M., Xhafa F., Enokido T. (eds) *Advanced Information Networking and Applications. AINA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, **926**, 1–13.

ENEDIS, 2018. La Tribune Afrique de l'énergie. <https://afrique.latribune.fr/entreprises/la-tribune-afrique-de-l-energie-avec-enedis>

Ghorbani J., 2014. A Multi-Agent Design for Power Distribution Systems Automation. Thesis West Virginia university. 120p.

Imane Worighi et al "Integrating Renewable Energy in Smart Grid System: Architecture, Virtualization and Analysis. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, **18**, p100226

Laaksonen, Hannu & Sirviö, Katja & Aflecht, Samuli & Hovila, Petri., 2019. Multi-objective active network management scheme studied in sundom smart grid with mv and lv network connected der units. *International Conference on Electricity Distribution*, 75p.

Mishra Sambheet, Bordin Chiara, Tomsgard Asgeir, Palu Ivo, 2019. A multi-agent system approach for optimal microgrid expansion planning under uncertainty. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, **109**, 696–709.

- Molderink Albert and Vincent Bakker, 2013. Management and control of domestic smart grid technology. *IEEE Transactions on smart grid*, **1**(2), 109–119.
- Oliveira Pedro, Vale Zita, Morais Hugo, Pinto Tiago, Praça Isabel, 2017. A multi-agent based approach for intelligent smart grid management. \**GECAD – Knowledge Engineering and Decision-Support Research Group of the School of Engineering*. 6p.
- Roche Robin, Lhassane Idoumghar, Benjamin Blunier, Abdelkader Miraoui., 2012. Algorithmes hybrides pour la gestion intelligente de l'énergie dans les smart grids. *Journées Francophones sur la planification, la décision et l'apprentissage pour le contrôle des systèmes*, 14p.
- Tolok Nelem Aristide, Onanena Raissa, Mbele N., Perabi Steve, Ele P., Ndiaye P.A.S., 2018. Contribution à l'évaluation des caractéristiques technico-commerciales des PV en conditions de fonctionnement dans la region centre du Cameroun, *Symposium de Génie Electrique*, Université de Lorraine. 7p.
- van Tonder J.C., and Lane I.E., 1996. A load model to support demand management decisions on domestic storage water heater control strategy. *IEEE Trans. on Power Systems*, **11**(4), 1844–1849.