

La gestion de la dynamique de la demande électrique d'un système multi-sources d'énergie

Abdoul K. MBODJI*, Mouhamadou F. NDIAYE, Mamadou L. NDIAYE et Papa A. NDIAYE

*Laboratoire Centre International de Formation et de Recherche en Energie Solaire (CIFRES),
Ecole Supérieure Polytechnique (ESP), Université Cheikh Anta Diop (UCAD), BP 5085, Sénégal*

* Correspondance, courriel : abdoukarim.mbodji@ucad.edu.sn

Résumé

L'objectif de ce papier est la mise en œuvre d'un système de gestion de l'énergie, qui est capable de trouver dynamiquement une politique de consommation de l'énergie tout en prenant en compte des services demandés par les usagers, les contraintes diverses des équipements et la disponibilité des sources d'énergie. Cette modélisation permet d'optimiser les différents flux d'énergie échangés entre l'ensemble des entités du système. Elle rend aussi la gestion du système plus flexible. La stratégie de contrôle développée a été appliquée sur un système multi-sources d'énergie solaire-éolien-batterie et trois (3) profils de charge ont été considérés dans les simulations. Les résultats des simulations ont montré un ajustement de la consommation par rapport à la production. L'application de la stratégie de contrôle a permis en une journée d'obtenir un gain d'énergie de 27 kWh pour le profil 1, 11 kWh pour le profil 2 et 22 kWh pour le profil 3.

Mots-clés : *énergie, modélisation, systèmes complexe, systèmes multi-agents, optimisation, système multi-sources.*

Abstract

Electrical demand dynamic management of energy multi-sources system

The aim of this paper is the implementation of an energy management system, which is able to dynamically find an energy consumption policy while taking into account the services requested by users, various constraints of the equipment and availability of energy sources. This modelling optimizes the different flows energy exchanged between all system entities. It also makes more flexible management system. The control strategy developed was applied to an energy multi-source system solar-wind-battery and three (3) load profiles were considered in the simulations. The simulation results showed a consumption adjustment with to the production. The application of the control strategy made it possible in one day getting an energy gain of 27 kWh for the profile 1, 11 kWh for the Profile 2 and 22 kWh for the profile 3.

Keywords : *energy, modification, complex system, multi-agents system, optimization, multi-sources system.*

1. Introduction

La maîtrise de la consommation est un enjeu majeur dans le contexte actuel où les ressources énergétiques deviennent de plus en plus rares. Les systèmes multi-sources d'énergie (SMSE) intègrent de plus en plus des sources d'énergie renouvelable tels que l'éolien et le solaire caractérisés par une forte intermittence et une demande fluctuante. C'est dans ce contexte que la maîtrise de la demande énergétique prend toute son importance. L'augmentation du nombre d'utilisateurs dotés de dispositifs capables d'adapter la demande participe à la maîtrise de la consommation globale et aide les fournisseurs d'énergie électrique à réduire la demande particulièrement durant les périodes de pointe. Ce papier aborde la maîtrise de la demande qui est l'une des préoccupations les plus importantes du contrôle des systèmes multi-sources d'énergie [1 - 3]. Plusieurs techniques et méthodes visant à maîtriser la consommation sont expérimentées dans des applications industrielles, commerciales ou résidentielles. Elles peuvent être regroupées en quatre (4) principales techniques [2 - 4] (**Figure 1**):

- Réduction de la consommation ;
- Réduction de la pointe de consommation ;
- Déplacement de la consommation ;
- Remplissage des creux.

Les techniques de réduction de la consommation et / ou de la pointe sont axées sur la diminution de la différence entre la consommation et de la production. Elles s'appuient sur le délestage des charges de faibles priorités durant les périodes de déficit de production et privilégient leur alimentation durant les périodes de surproduction [1, 4]. La technique de déplacement de la charge [1, 4] est largement abordée dans les travaux de recherche et c'est la technique de gestion de la demande la plus efficace dans les systèmes multi-sources d'énergie actuels, du fait qu'elle intègre un autre paramètre qui est la flexibilité des sources de consommation. La technique de déplacement de la charge se complète avec la technique de remplissage des creux. Ceci permet de construire une nouvelle forme du profil de charge plus adapté au profil de la production. Son principe est basé sur un déplacement du surplus de la charge vers les périodes de surproduction. La technique de déplacement de la charge repose sur la priorité et la flexibilité des charges qui dépendent de la catégorie de la charge. La section 2 aborde ces aspects catégorisation des sources de consommation. Elle présente aussi une modélisation de la dynamique de la demande énergétique du SMSE. La section 3 présente les résultats et discussions à travers une analyse comportementale du système.

2. Matériel et méthodes

2-1. Flux énergétiques et flux d'informations

Le mot flux désigne en général un ensemble d'éléments (informations, données, énergie, matière, etc.) évoluant dans un sens donné [1, 7]. Un flux peut donc être entendu comme un déplacement (quelle qu'en soit sa nature) caractérisé par une origine, une destination et un trajet. Dans ce contexte de la gestion des SMSE, on distingue deux types de flux : les flux énergétiques et les flux d'informations. Les flux énergétiques sont les transferts d'énergie. Ils comprennent d'une manière générale les flux thermiques et les flux électriques. On appelle flux de chaleur la quantité de chaleur qui traverse une surface, pendant une unité de temps. Cette définition s'applique aussi aux flux d'énergie électrique qui correspondent aux courants électriques. Les flux d'information sont des échanges d'information entre les différentes entités du système (**Figure 2**). Les informations échangées peuvent être liées au contrôle / commande et aux demandes d'accès à l'énergie.

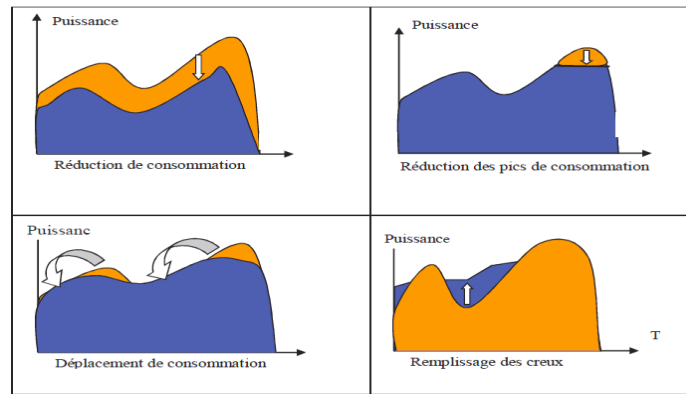


Figure 1 : Objectifs du système de gestion de la demande d'un SMSE [5 - 6]

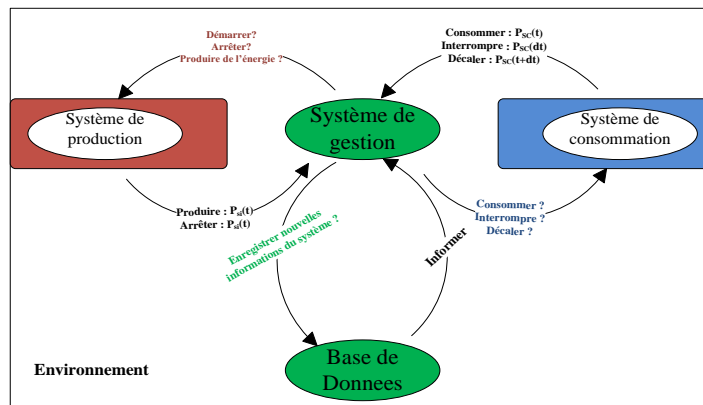


Figure 2 : Les différents flux échangés par les entités du système de contrôle

Les flux d'information permettent au système de gestion d'énergie de coordonner les différents transferts d'énergies afin de trouver la part convenable de toutes les entités du système. Pour le contrôle des sources de consommation, l'idée première est de contrôler séparément chaque équipement du système électrique (contrôle décentralisé). Ce contrôle devrait permettre de démarrer, d'interrompre, d'arrêter le service énergétique offert par les entités [1, 7]. Compte tenu de la grande diversité des équipements et de leurs technologies, il est assez difficile, de définir un modèle par équipement. La notion de service, permet de regrouper un ensemble de sources de consommation selon le service offert. Elle permet de réduire la complexité de la gestion de notre système et de rendre le système plus modulaire et plus souple pour le contrôle.

2-2. Services énergétiques

Un service (i) (noté Servi) est le résultat d'une transformation d'énergie par un ou plusieurs équipements pour répondre à un besoin du demandeur, il est représenté par la **Figure 3**.

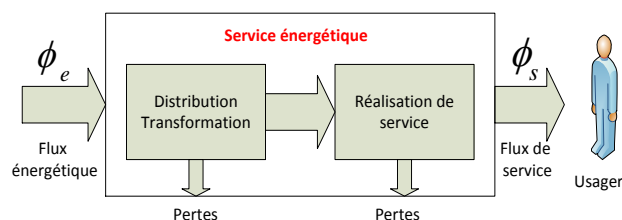


Figure 3 : Service énergétique

Un service peut être temporaire ou permanent. Une source de consommation peut donc être classifiée selon le service qu'elle offre. Tous les services, permanents et temporaires, sont soit pilotables ou non pilotables. Les services pilotables peuvent être (**Figure 4**):

- « Décalable » : la possibilité de décaler temporairement certains services et de les redémarrer plus tard. Certains services peuvent être décalés mais le décalage doit respecter certaines contraintes qui sont souvent liées à la capacité physique de l'équipement :
 - ✓ Contrainte de fenêtre de temps : on peut déléster un service mais celui-ci doit finir dans une fenêtre de temps donnée ;
 - ✓ La durée du décalage ne doit pas dépasser une durée maximale d'interruption ;
 - ✓ Entre deux décalages, il peut exister une contrainte qui détermine qu'entre deux décalages du service, il faut un temps d'attente minimal fixé ;
- « Modifiable » : la possibilité de modifier le profil énergétique d'un service en réduisant ou en augmentant la puissance des sources de consommation qui délivrent ce service à un moment donné.

Un service est temporaire s'il est caractérisé temporellement par la durée et la date de fin d'exécution souhaitée. La flexibilité de ce type service vient de la possibilité de le décaler dans le temps : avancer ou retarder le service dans le temps. Par contre, il est permanent s'il est caractérisé par une quantité d'énergie consommée ou produite sans possibilité d'interruption. La flexibilité de ce dernier vient de la possibilité de modifier les quantités énergétiques consommées / produites sur toutes les périodes (diminution ou augmentation de la consommation ou de la production d'énergie à un moment donné).

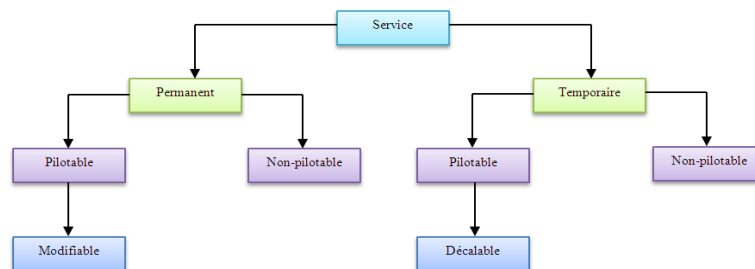


Figure 4 : Catégorisation des services

2-3. Modèles d'adaptation de la demande par rapport à la production

L'idée générale dans cette proposition est de maximiser la consommation de l'énergie produite par les sources renouvelables. Autrement dit, il s'agit de minimiser l'écart entre la production des sources renouvelables et la consommation en modifiant le profil de charge (**Équation (1)**). La modification du profil de charge s'appuie sur la flexibilité et le niveau de priorité de certaines sources de consommation.

$$\text{Ecart}(t) = P_{PV}(t) + P_{Eol}(t) + P_{Bat}(t) - P_{Sc}(t) \quad (1)$$

avec, $P_{PV}(t)$ est la puissance fournie par le générateur photovoltaïque, $P_{Eol}(t)$ celle produite par l'aérogénérateur, $P_{Bat}(t)$ celle produite ou consommée par la batterie. $P_{Bat}(t)$ est positive si la batterie est génératrice d'énergie et $P_{Bat}(t)$ est négative si la batterie est réceptrice d'énergie, $P_{Sc}(t)$ est l'énergie demandée par les sources de consommation.

La stratégie de contrôle développée pour la maîtrise de la consommation d'énergie est modélisée mathématiquement par un problème d'optimisation sous contraintes [2]. Il s'agit de la minimisation de la

norme de la distance entre la production et la demande énergétique (**Équation (2)**) sous les deux (2) contraintes suivantes :

- Le nombre de sources de consommation déplacées est toujours positif ;
- Le nombre de sources déplacées est toujours inférieur au nombre de sources contrôlables (**Équation (3)**).

$$\sqrt{\sum_{t=1}^N (P_{SC}(t) - Production(t))^2} \tag{2}$$

avec, *Production (t)* est la puissance fournie par l'ensemble des sources de production d'énergies renouvelables du système.

L'objectif est de consommer la totalité de la production instantanée en faisant tendre la consommation $P_{SC}(t)$ vers la *Production (t)* (**Équations 2 et 3**). L'adaptation des sources de consommation comme la montre **l'Équation (3)**, est basée sur trois (3) concepts : la prévision, la connexion et la déconnexion.

$$P_{SC}(t) = Prevision(t) + Connexion(t) - Deconnexion(t) \tag{3}$$

- La prévision représente la consommation prévue à l'instant t ;
- La connexion représente la quantité d'énergie qui s'ajoute à la consommation et qui est due aux nouvelles sources de consommation connectées à l'instant t ;
- La déconnexion représente la quantité d'énergie qui se soustrait de la consommation et qui est due à la déconnexion de sources de consommation à l'instant t.

Le concept de Connexion est divisé en deux (2) parties (**Équation (4)**):

- Une partie due à l'augmentation de la charge des sources de consommation nouvellement connectées à l'instant t ;
- Une partie due à l'augmentation de la charge des sources connectées à des instants qui précèdent t.

$$Connexion(t) = \sum_{i=1}^{t-1} \sum_{k=1}^C X_{kit} \cdot P_{1k} + \sum_{l=1}^{j-1} \sum_{i=1}^{t-1} \sum_{k=1}^C X_{ki(t-l)} \cdot P_{(l+1)k} \tag{4}$$

où, X_{kit} est le nombre de sources offrant le service de type k qui ont été déplacées d'un intervalle de temps de i à t ; C est le nombre de sources de consommation ; P_{1k} et $P_{(l+1)k}$ sont respectivement la puissance consommée aux instants 1 et (l + 1) ; j est la durée totale de consommation de la source offrant le service de type k.

Le concept de Déconnexion est constitué aussi de deux parties (**Équation (5)**):

- Une partie due au délestage de la charge des sources de consommation initialement prévues à l'instant t et qui ont été déplacées à l'instant q ;
- Une partie due au délestage de la charge des sources de consommation initialement prévues aux instants qui précèdent t et qui ont été déplacées à l'instant q.

$$Deconnexion(t) = \sum_{q=t+1}^{t+m} \sum_{k=1}^C X_{ktq} \cdot P_{1k} + \sum_{l=1}^{j-1} \sum_{q=t+1}^{t+m} \sum_{k=1}^C X_{k(t-l)q} \cdot P_{(l+1)k} \tag{5}$$

où, X_{ktq} est le nombre de sources offrant le service de type k qui ont été déplacées de t à q et m est le temps maximum de déplacement permis.

Le problème d'optimisation est soumis aux contraintes présentées par **l'Équation (6)**. Le nombre de sources de consommation déplacé est toujours positif ou nul. Le nombre de sources déplacé d'un instant t donné ne peut pas être supérieur aux sources de consommation disponibles pour le contrôle de ce même instant.

$$\begin{aligned} X_{kit} &\geq 0 && \forall k, i, t \\ X_{kit} &\leq Ctrlable(i) \end{aligned} \quad (6)$$

avec, $Ctrlable(i)$ est le nombre d'équipements offrant le service de type k disponibles (flexibles) pour le contrôle de l'instant i .

L'algorithme de la stratégie de contrôle de la demande est donné par la **Figure 5**.

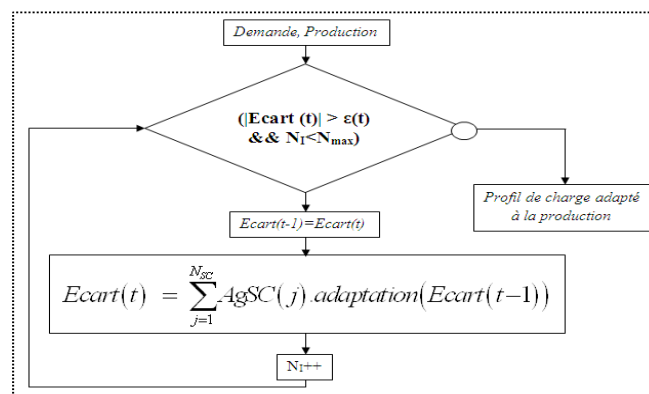


Figure 5 : Ordigramme de la gestion de la demande d'un SMSE

Avec $\varepsilon(t)$ la valeur de $Ecart(t)$ au-delà de laquelle la fonction adaptation des agents sources de consommation est déclenchée, N_i et N_{max} sont respectivement le nombre d'itération effectué dans la boucle et le nombre d'itération maximale. La valeur N_{max} permet d'éviter une boucle infinie au cas où le système ne converge pas. Un système multi-agents (SMA), où chaque source de production et de consommation est modélisée par un agent, est proposé pour représenter le système électrique. Ces agents coopèrent et prennent conjointement des décisions pour optimiser la gestion du système tant au niveau énergétique qu'économique tout en tenant compte les contraintes technologique et la disponibilité des ressources. Les spécifications techniques des agents utilisées sont basées sur un environnement de développement et de programmation orientée agents et sur les services à offrir [1, 8]. Les modèles agents sont les mêmes que ceux utilisés dans nos travaux antérieurs [1, 8].

3. Résultats et discussion

La **Figure 6** présente une vision globale de la plateforme générale du contrôle de la demande d'un SMSE proposée. Elle est composée de deux couches : une couche supérieure ou couche cognitive et une couche inférieure réactive [1, 8]. La couche cognitive est contrôlée par les agents cognitifs tels que l'agent manager, l'agent facilitateur et l'agent service quant à la couche réactive, elle est contrôlée par les agents réactifs tels que les agents sources de production, les agents sources de consommation, l'agent base de données. Le système multi-sources d'énergie étudié est composé d'un parc photovoltaïque de 16,5 kWc constitué de 110 modules de 0.15 kWc, d'un parc éolien de 20,5 kW constitué de 41 aérogénérateurs de 0.5 kW, d'un système de stockage de 7200 Ah constitué de 160 batteries de 180 Ah, 12 V et d'un groupe électrogène de puissance

nominale 4.5 kW. La tension du bus continu est de 48 V. Trois profils de charges sont étudiés dans ce travail (*Figure 7*). Le premier profil de charge correspond à l'utilisation d'équipements suivants : réfrigérateurs, moulins, pompage, radios, télévisions, ventilateurs et ordinateurs. L'énergie totale de la demande est de 104.3 kWh / j, la puissance maximale observée vers 22 h est de 20 kW et est répartie comme suit :

- 27 % consommée par les réfrigérateurs ;
- 20 % consommée par les moulins à arachide et à mil ;
- 15 % consommée par les appareils électroménagers tels que les télévisions, les radios et ventilateurs ;
- 10 % consommée par les ordinateurs (fixe et laptop) ;
- 22 % consommée par la machine à lavée et la machine à coudre ;
- 6 % consommée par la lumière.

Les sources de consommation du système électrique sont composées 21 % de charges non pilotables et 79 % de charges pilotables. Les différentes sources de consommation du système électrique sont données dans le *Tableau 1*. Ce dernier présente la consommation des différentes charges du système électrique durant l'intervalle de temps entre 18 h et 22 h. Plus de 42 % de la consommation d'énergie des charges électriques sont effectuées dans l'intervalle de temps entre 18 h et 22 h. Le deuxième profil est caractérisé par une légère variation entre 6 h et 17 h. Cela correspond à l'utilisation d'un système de pompage et de filtrage de l'eau, de réfrigérateurs et d'autres équipements domestiques. L'énergie totale de la demande est de 96.3 kWh / j et le pic de la demande (11 kW) est observé à 20 h correspondant l'utilisation d'équipements domestiques (éclairage, réfrigérateurs, télévisions, etc.). Le troisième profil de charge correspond à l'utilisation des équipements suivants : réfrigérateurs, moulins, pompage, radios, télévisions, ventilateurs, ordinateurs, etc. L'énergie totale de la demande est de 107.9 kWh / j, la puissance maximale est de 10 kW et elle est observée entre 20 h et 21 h.

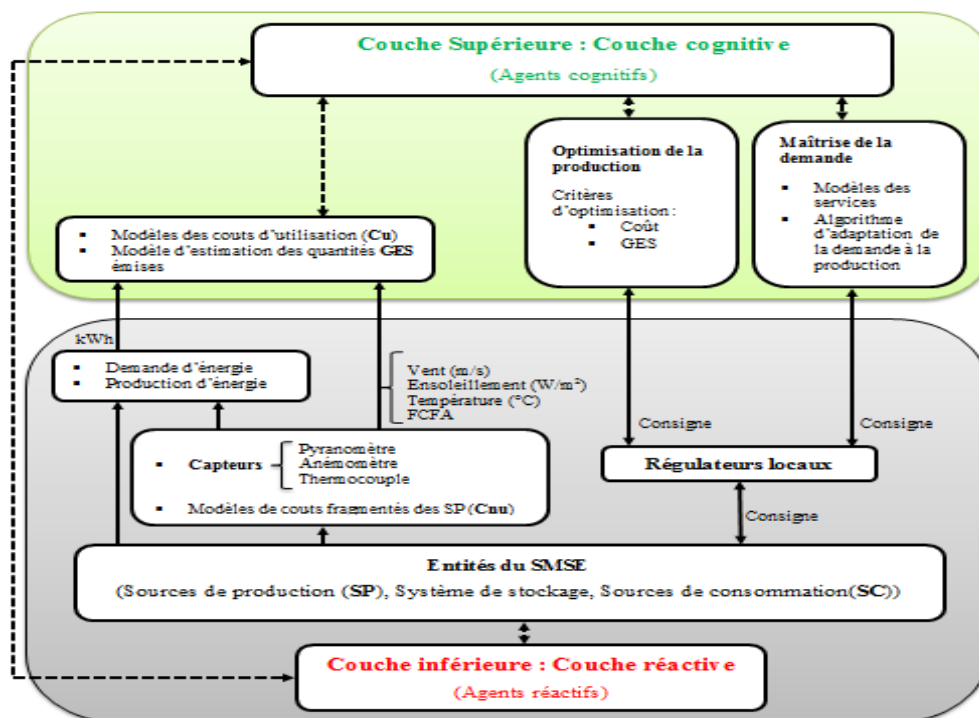


Figure 6 : Plateforme globale de pilotage multicouche pour le contrôle de l'énergie d'un SMSE

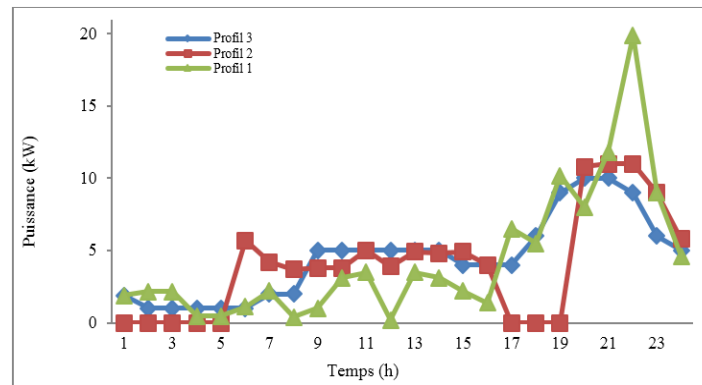


Figure 7 : Profils de charge des sources de consommation

3-1. Présentations des scénarii de simulation

Les simulations sont effectuées suivant deux scénarii et deux types de journées. Une journée de type I où la batterie est pleinement chargée à l'état initial et une journée de type II où le niveau de décharge de la batterie est à 30 % à l'état initial. Ces deux types de journées nous permettent de mieux évaluer les performances et la robustesse du système de contrôle proposé. Dans le premier scénario (S_1) de simulation, aucune stratégie de contrôle n'est appliquée sur les sources de consommation et les sources de production sont choisies aléatoirement pour satisfaire la charge. Dans le deuxième scénario (S_2), le modèle de contrôle de la maîtrise de la consommation est appliqué. Les deux simulations sont par la suite comparées.

3-2. Analyse et discussion des résultats

La **Figure 8** illustre les résultats de la stratégie de contrôle de la dynamique de la demande énergétique à travers une analyse du comportement des profils de la production et de la consommation avec et sans application du modèle de contrôle proposé. Pour bien illustrer cette adaptation du profil de la consommation au profil de la production, deux zones temporelles pour une meilleure analyse des résultats ont été identifiées sur la **Figure 8** :

- La zone notée (z1) qui s'étend de 00 h 00 mn à 06 h 00 mn plus 18 h 00 mn à 23h 59 mn. Cette zone représente le moment de la journée où l'irradiation solaire est nulle (le jour). Dans cette zone z1, plus de 78 % de l'énergie totale des charges matérialisée par le profil 1 sans application de la stratégie sont consommées alors que pour le profil 1 avec application de la stratégie seule les 42 % de l'énergie totale sont consommées ;
- La zone notée (z2) qui s'étend de 06 h 00 mn à 18 h 00 mn. Cette zone représente le moment de la journée où l'irradiation solaire est supérieure à zéro (la nuit). Dans cette zone z2, plus de 57 % de l'énergie totale des charges matérialisée par le profil 1 avec application de la stratégie est consommée alors que pour le profil 1 sans application de la stratégie seule les 21 % de l'énergie totale sont consommée.

L'application de la stratégie sur le profil 1 a fait déplacer plus de 36 % de l'énergie totale des charges de la zone z1 à la zone z2. Cela permet d'adapter la consommation à la production des sources d'énergie renouvelable.

Tableau 1 : Sources de consommation contrôlables dans le système électrique entre 18 h et 22h (profil 1)

Type de charges	Profil de consommation (kW)					Nombre de charges
	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	
Lumière	0,01	0,3	0,45	0,45	0,9	40
Ordinateur fixe	1	1	0,5	0,5	1	13
Ordinateur portable	1	1	0,3	0,3	1	11
Pompe à eau	0	0	0	0	0	2
Moulin à mil	0	1,5	0	1,5	2,25	3
Moulin à arachide*	0	0	0	1	1,8	2
Machine à coudre*	1,5	0,9	0,9	1	1,5	3
Télévision	0,9	1,8	1,8	1,8	2,05	18
Radio	0,45	0,45	0,45	0,2	0,2	34
Machine à lavage	0	0	0	1,5	3	3
Aspirateur	0	0	0	0	0	1
Machine à café	0	0	0	0	0	2
Ventilateur	0,6	1,5	1,8	1,8	0,8	26
Réfrigérateur	0	1,8	1,8	1,8	5,4	36
Total	5,46	10,25	8	11,85	19,9	194

SC^* = source de consommation non pilotables

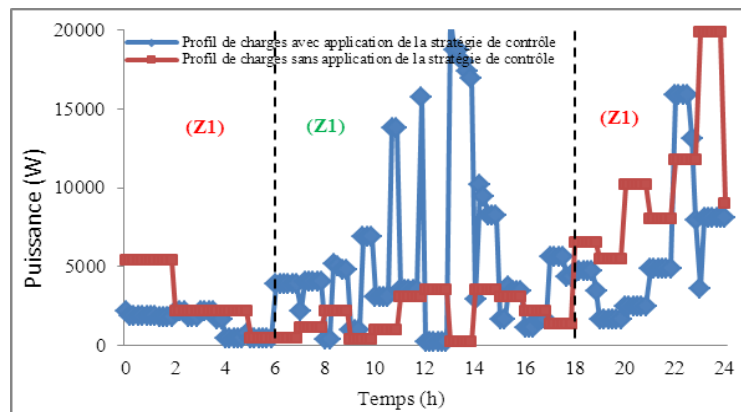


Figure 8 : Résultat de la modification du profil de charge 1

La **Figure 9** montre une adaptation (modification) du profil 1 par rapport à la production des sources d'énergie renouvelable lorsque la stratégie est appliquée. Sans application de la stratégie de contrôle, on note un décalage entre la disponibilité de l'énergie et la demande d'où une perte de production lorsque les dispositifs de stockage sont pleins. La quantité d'énergie perdue a été évaluée avec et sans application de la stratégie. Elle représente ici l'écart de puissance en un même instant t entre la production des sources d'énergie renouvelable ($P_{ren}(t)$) et la consommation sans et avec application de la stratégie. Elle est maximale entre 23 heures et 24 heures et est égale à 19.9 kW lorsque la stratégie n'est pas appliquée. Par contre lorsque la stratégie est appliquée sa valeur maximale est à 18.5 kW et elle est obtenue vers 13 heures. Ainsi, l'évaluation de l'écart entre la production ($P_{ren}(t)$) et la consommation, à l'aide de **l'Équation (1)**, intégrée sur toute la journée (24 h) de fonctionnement du système donne une énergie perdue égale à :

- une valeur de 101 445 Wh sans application de la stratégie de contrôle ;
- une valeur de 74 012 Wh avec application de la stratégie de contrôle.

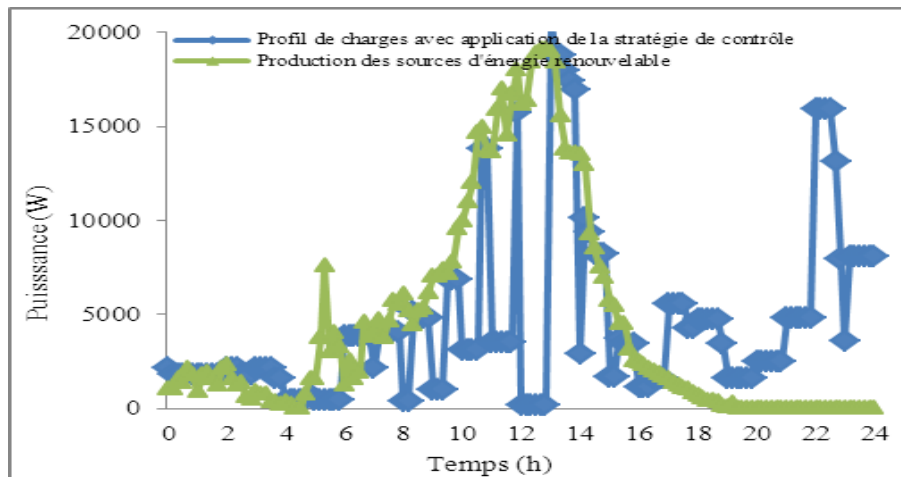


Figure 9 : *Adaptation du nouveau profil à la production des sources renouvelables*

L'application de la SCESE sur le profil 1 a fait réduire de 27 389 Wh en moyenne par journée l'écart entre la consommation et la production de sources d'énergie renouvelable. Elle est permise de gagner en moyenne plus de 26 % en une journée sur l'énergie qui devait être perdue. La **Figure 10** illustre la portion de la production d'énergie journalière (en %) du système de stockage et des sources renouvelables (PV et aérogénérateur) dans la production totale du système pour la satisfaction de la demande énergétique en une journée. Elle montre que les batteries sont moins sollicitées lorsque la SCESE est appliquée pour tous les trois profils. La réduction de la sollicitation des batteries est de 3 % pour le profil 1, de 5 % pour le profil 2 et de 6 % pour le profil 3. Ce résultat aura comme conséquence le prolongement de la durée de vie des batteries qui sont le maillon faible du système multi-sources d'énergie. Le **Tableau 2** présente une comparaison des performances du système avec et sans application de la stratégie proposée. Nous avons ainsi noté plus de 101 kWh d'énergie perdue par jour avec le profil 1 lorsque la stratégie n'est pas appliquée. Cette perte est évaluée à plus 80 kWh par jour avec le profil 2 et à plus de 92 kWh par jour avec le profil 3. Lorsque la stratégie (SCESE) est appliquée ces pertes sont ramenées à moins de 74 kWh avec le profil 1, à environ 69 kWh pour profil 2 et à 70 kWh pour le profil 3. L'application de la stratégie proposée a ainsi fait gagner en une journée (24 h) environ 27 kWh pour le profil 1, 11 kWh pour le profil 2 et 22 kWh pour le profil 3. Sur le plan économique la stratégie appliquée sur le profil 1 a permis des gains de plus de 3 236 FCFA par jour soit plus de 1 181 410 FCFA par an soit plus de 23 628 200 FCFA sur la durée de vie du projet fixée à 20 ans. La même tendance est observée avec les profils 2 et 3.

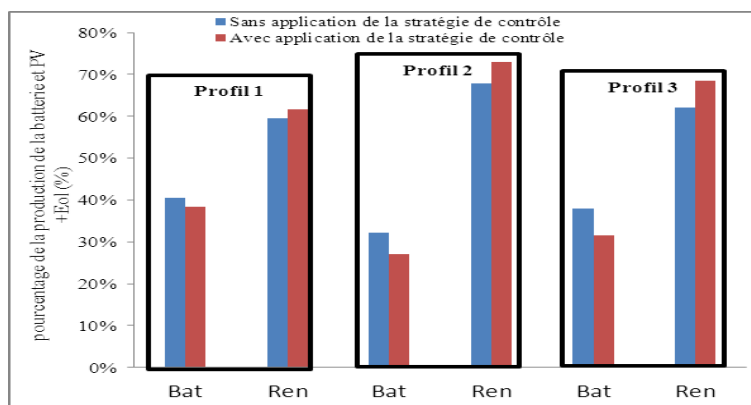


Figure 10 : *Pourcentage de l'énergie produite (%) du système de stockage (Bat) par rapport à la somme de la production des sources renouvelables (Ren) PV et aérogénérateur*

Tableau 2 : Comparaison des performances énergétique et économique de la proposition

	Profil 1	Profil 2	Profil 3
Energie perdue sans application de la stratégie en kWh	101.44	80.91	92.58
Energie perdue avec application de la stratégie en kWh	74.01	69.63	70.41
Energie gagnée avec l'application de la stratégie n kWh	27.43	11.28	22.17

4. Conclusion et perspectives

Le travail présenté dans ce papier propose un modèle de contrôle capable d'adapter la consommation des charges à l'énergie produite par les sources de production plus particulièrement la production des sources renouvelables. Cela est possible grâce au caractère flexible de certaines charges. La flexibilité d'une source est caractérisée par la possibilité de décaler, d'interrompre ou de modifier la consommation d'énergie de la source. Les résultats obtenus avec le contrôle de la consommation ont montré une adaptation de la consommation par rapport à la production : la courbe de consommation suit la courbe de la production lorsque la stratégie est appliquée sur les trois profils de charge étudiés dans ce document. La stratégie de contrôle proposée a permis d'obtenir un gain de 26 % sur par jour pour le profil 1, de 14 % par jour pour le profil 2 et de 24 % par jour pour le profil 3, sur l'énergie perdue sans application de la stratégie de contrôle. Les perspectives de ce travail porteront sur l'évaluation de cette approche par rapport à d'autres approches heuristiques telles que les algorithmes génétiques, les réseaux de neurones dans la recherche des solutions optimales. Il serait intéressant aussi d'intégrer une méthode de prévision de la production dans la recherche d'adaptation de la consommation par rapport à la production.

Références

- [1] - A. K. MBODJI, M. L. NDIAYE, M. NDIAYE, P. A. NDIAYE, Operation Optimal Dynamics of a Hybrid Electrical System : Multi-Agent Approach. *Procedia Computer Science*, 36 (2014) 454 - 461.
- [2] - T. LOGENTHIRAN, D. SRINIVASAN, AND T. Z. SHUN, Demand Side Management in Smart Grid using Heuristic Optimization. *IEEE Transactions on Smart grid*, (07 Juin 2012).
- [3] - M. A. SOFLA, R. KING, Control Method for Multi-Microgrid Systems in Smart Grid Environment-Stability, Optimization and Smart Demand participation. *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, (2012) 1 - 5.
- [4] - H. N. AUNG, A. M. KHAMBADKONE, D. SRINIVASAN, T. LOGENTHIRAN, Agent-based intelligent control for real-time operation of a microgrid. *Joint International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems*, (2010) 1 - 6.
- [5] - L. KY, Gestion optimale des consommations d'énergie dans les bâtiments, Thèse de l'Ecole Doctorale « Electronique, Electrotechnique, Automatique, Télécommunications, Signal », Institut Polytechnique de Grenoble et Université de Danang, (2008).
- [6] - H. K. GROVER and M. W. PRETORIUS, The technology assessment of demand side bidding within the South African context, *AFRICON*, Windhoek, Namibia, (2007).
- [7] - T. LOGENTHIRAN, D. SRINIVASAN, A. M. KHAMBADKONE, and H. N. AUNG, "Multi-Agent System for Real-Time Operation of a Microgrid in Real-Time Digital Simulator," *IEEE Transactions on Smart grid, Special Issue on Applications of Smart Grid Technologies on Power Distribution Systems*, Vol. 3, N°2, (2012) 925 - 933.
- [8] - A. K. MBODJI, M. L. NDIAYE, P. A. NDIAYE, Decentralized management of a multi-source electrical system : A multi-agent approach. *IJPS*, Vol. 8, N°22, (2013) 1256 - 1265 ISSN 1992 - 1950.