

La modélisation et l'optimisation des systèmes de production complexes ; application aux réseaux énergétiques: Etat de l'art et Comparaison de modèles.

Ismail El Kafazi
Laboratoire Génie des Systèmes
ENSA, Université IBNTOFAIL-Kenitra-Maroc
elkafazi.ism@gmail.com

Rachid Bannari
Laboratoire Génie des Systèmes
ENSA, Université IBNTOFAIL-Kenitra-Maroc
rachid.bannari@gmail.com

Abdellah ABOUABDELLAH
Laboratoire Génie des Systèmes
ENSA, Université IBNTOFAIL-Kenitra-Maroc
A.abouabdellah2013@gmail.com

Résumé : Actuellement le transport et le stockage d'énergie est un défi de taille qui nécessite plus d'attention afin d'aider à réduire la dépendance énergétique des pays et à préserver l'environnement.

La modélisation et l'optimisation des réseaux électriques en intégrant les moyens de production aléatoires tels que les fermes éoliennes et photovoltaïques est un sujet d'actualité qui peut améliorer le gain de fonctionnement du réseau tout en respectant les contraintes imposées, augmenter l'efficacité, prédire et informer sur l'impact des énergies renouvelables sur les réseaux ce qui peut aider à prévenir les problèmes liés à l'évolution de ces énergies et analyser des résolutions convenables.

Dans cet article, notre travail consiste à faire une étude d'impact de l'assimilation des énergies renouvelables dans le réseau électrique ainsi que l'optimisation et la modélisation de la consommation, le transport et le stockage de l'énergie électrique.

La première partie de l'article montre l'intérêt de l'intégration des énergies renouvelables sur le réseau électrique et aussi qu'un état d'art sur les modèles mathématiques.

La deuxième partie est une étude comparative entre quelques modèles mathématiques utilisées pour l'intégration des énergies renouvelables dans le réseau électrique.

Nous terminons le travail par une conclusion et des perspectives.

Mots clés : Éolien, Photovoltaïques, Modélisation, Optimisation.

I. INTRODUCTION

L'augmentation de la population et de l'industrialisation, a redoublé la consommation de l'énergie électrique.

Actuellement, il est impossible de vivre sans électricité. En effet, celle-ci est nécessaire à la progression économique, sociale et industrielle dans tous les pays du monde.

C'est pour cela, on est toujours demandé de développer toutes les types d'énergies pour produire de manière propre et sûre afin d'améliorer l'efficacité énergétique.

L'emploi des nouvelles sources d'énergie renouvelables aide à atténuer les émissions de gaz à effet de serre et la

dépendance sur les énergies centralisées faucilles.

Les difficultés des systèmes électriques basés sur les énergies renouvelables sont que leurs productions ne sont pas contrôlables et risquent de ne pas satisfaire l'augmentation de la demande d'énergie.

II. L'EVOLUTION DU RESEAU ELECTRIQUE

À partir les années 90, la production de l'électricité par les énergies renouvelables a été encouragé dans un certain nombre de pays pour augmenter la production. En 2004, les combustibles fossiles (pétrole, gaz) expriment 56 % de la production mondiale d'électricité et le nucléaire 6%.

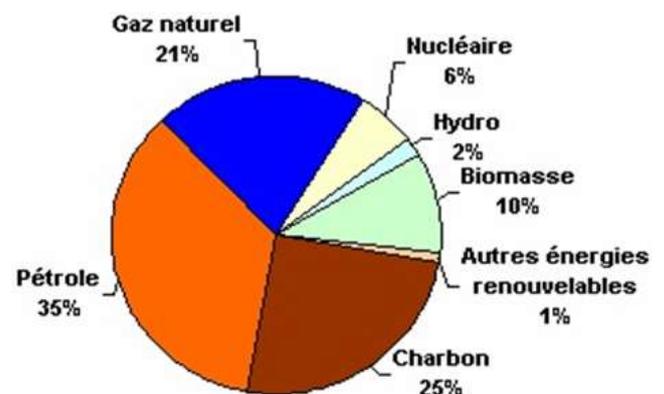


Figure 1: Répartition par source de la production mondiale en 2004 (Observ'ER, 2005)

Les ressources de création d'énergie électrique classiques (centrales thermiques et nucléaires) sont accordé au fonctionnement des systèmes électriques puisque leurs production est manœuvrable, mais ils adoptent les énergies qui disposent plusieurs aléa liés aux raisons environnementales [6]:

- émissions de gaz à effet de serre,
- Les déchets nucléaires.

Ces raisons ont en partie dirigé le mouvement des systèmes électriques vers une fusion des moyens de production compliqués et surtout de l'éolien et du photovoltaïque.

La portion d'énergie renouvelable dans la production mondiale est passée de 1,1% en 2004 (figure 1) à plus de 2% en 2012 (figure 2).

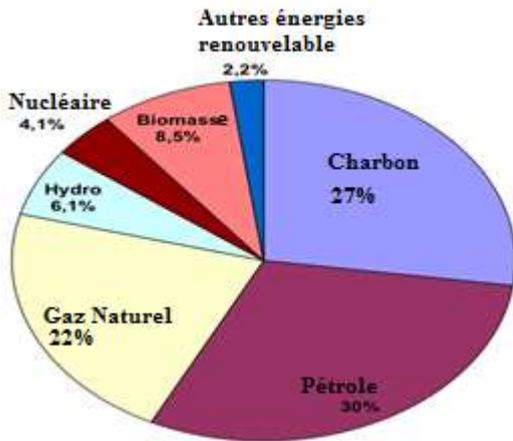


Figure 2: Distribution par origine de la production mondiale en 2012 (Observ'ER, 2005)

Plusieurs recherches ont été entrainées ces dernières années sur la gestion de l'énergie électrique qui nous a amené à nous pencher sur l'impact de l'intégration des éolien et des photovoltaïques sur l'ordre de la production et de la consommation.

L'auteur (L.Styanov et al. 2007) à pris en charge l'impact du photovoltaïque dans la production globale de l'énergie électrique, ainsi une étude économique pour la configuration optimale du système hybride. D'autres tels que, (B.Paris et al. 2010) s'est intéressée à la gestion de l'énergie électrique produite par les photovoltaïques et les éoliens raccorder avec un réseau d'achat en stockant l'énergie tout en minimisant le coût. Cependant (Tilovska et al. 2012) s'est basé sur l'examen de la consommation de l'énergie électrique en utilisant des modèles mathématiques pour obtenir les meilleures performances dans le réseau électrique avec une minimisation des coûts. Le travail (C.T.M Clack et al. 2014) est articulé autour des techniques de la programmation linéaire pour développer un système de transmission à haute tension à courant continu avec le stockage de l'énergie électrique ainsi que les techniques de minimisation des coûts par cette méthode. L'impact de l'association des énergies renouvelables dans le réseau électrique sur l'équilibre de production-consommation mènent le système de plus en plus complexe, ce qui nécessite à faire une recherche de nouvelle solution pour la combinaison entre les différentes sources d'énergie. Le raccordement d'un système éolien ou photovoltaïque sur le réseau électrique entraine des problèmes liées à : la fréquence, la tension, le courant de court-circuit.

Notre travail consiste à faire La Gestion Du Réseau Electrique, ainsi que la synchronisation entre les différentes sources d'énergie électrique.

A. Le système électrique:

D'après la **figure 3** le réseau électrique est formé de moyens de production classique (thermique, nucléaire, hydraulique), de moyens de production moderne (éolien et photovoltaïque), des réseaux de transport et de distribution.

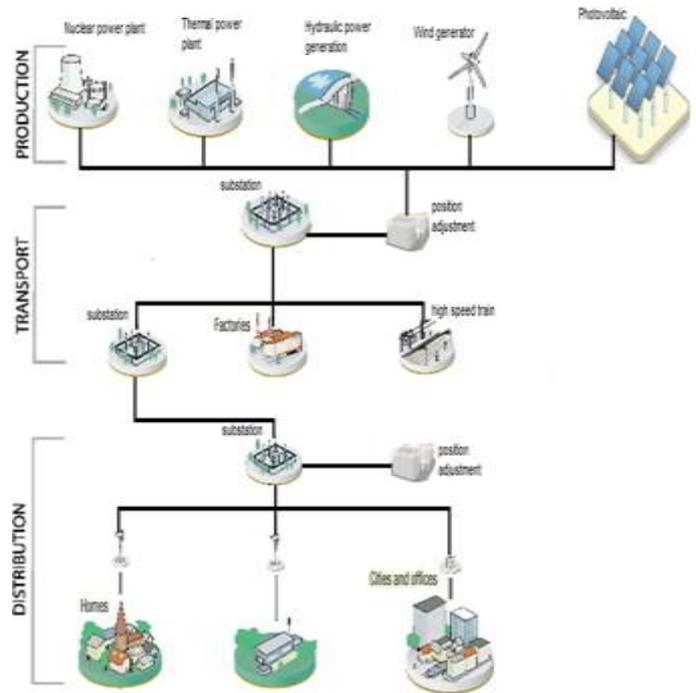


Figure 3: Description d'un réseau électrique.

Selon les différentes sources d'énergie, comment peut-on gérer la contribution de chacune des sources d'énergie ?

III. REVUE DE LITTÉRATURE

Les méthodes d'optimisation sont celles utilisées dans plusieurs domaines industriels notamment: automobile, aéronautique..... Elles cherchent à modéliser, analyser et à résoudre les problèmes qui consistent à déterminer les solutions satisfaisantes.

Dans la littérature, on peut trouver deux méthodes utilisées pour la combinaison des énergies renouvelable notamment (l'éolien et le photovoltaïque) dans les réseaux électriques,

(Dessante. P, 2012), **la méthode déterministe** qui se base sur l'analyse d'une quantité réduite de positions estimées a priori comme incertain pour lesquelles on examine la tenue du système électrique. Et **la méthode probabiliste** qui considère tous les cas possible avec leur probabilité de circonstance afin d'apprécier le danger de ne pas respecter une contrainte du système. Il faut noter qu'actuellement, les études de

raccordement se basent sur des cas déterministes en introduisant une détermination probabiliste des moyens de production et de la consommation.

Parmi les outils utilisés, on trouve la programmation linéaire comme l'article :

(*C.T.M. Clack et al, 2013*), il a appliqué les techniques de la programmation linéaire pour développer un système électrique optimale y compris le système HVDC (courant continu à haute tension) pour le transport ainsi que la transmission et le stockage de l'énergie. Les résultats obtenus par cette méthode sont satisfaisants.

(*B. Paris et al, 2010*) résoudre le problème de la gestion de l'énergie d'un habitat par la programmation linéaire via l'algorithme de simplexe pour assurer la contribution entre chacune des sources (photovoltaïque, l'éolien) ainsi que le stockage de l'énergie, tout en minimisant le coût. Néanmoins, les résultats ne correspondent qu'à une seule semaine. L'auteur a indiqué que : une étude par le processus Stochastique de l'amélioration dynamique des consommations est en cours.

(*S. HOUNDEDAKO et al, 2014*) a utilisé le système HVDC (courant continu à haute tension) pour la synchronisation entre deux réseaux différents aussi que le transport de l'énergie électrique. Avec une simulation sous le logiciel Matlab/SimPowerSystems, l'auteur a confirmé que la faisabilité de cette synchronisation fiable et robuste pour la stabilité du réseau électrique.

Les travaux de (*L. Styanov et al, (2007)*) a proposé des configurations des systèmes multi-source ainsi que le stockage de l'énergie électrique :

Système hybride PV - Diesel série

- Diesel commuté

- Diesel parallèle

Leur travail se base sur la configuration Système hybride PV - Diesel série.

Pourtant, il n'a pas proposé un modèle d'optimisation.

D'autre part, on trouve d'autres articles qui traitent la difficulté de la consommation de l'énergie dans le réseau électrique :

(*S. Tilvoska et al, 2012*) par d'autres modèles mathématiques que l'auteur a confirmé que ces modèles sont utilisés pour la première fois pour la modélisation de la consommation de l'énergie électrique.

(*K. Kavaklioglu, 2010*) à employer la méthode de Régression de vecteur de soutien pour modéliser et prédire la consommation d'électricité de la Turquie. Les résultats indiquent que la consommation d'électricité peut être modélisée et peut être utilisée pour prédire la consommation d'électricité en futur.

(*K. Kavaklioglu, 2013*) à utiliser la méthode de décomposition en valeurs singulières pour modéliser la consommation d'électricité de la Turquie. Les résultats obtenus affirment que la consommation d'électricité peut être modélisée en utilisant la décomposition en valeurs singulières. (B. O'Neill et al) ont étudié les projections de la consommation d'énergie des États-Unis pour analyser les erreurs. (Y. Chang et al) ont évalué et comparées les projections de la consommation d'énergie en

future de huit pays notamment : la Chine, l'Inde, le Mexique, le Brésil, le Japon, le Canada, la Corée et les États-Unis avec les prédictions d'Administration d'information d'énergie (EIA) de les États-Unis.

IV. LES MODELES

Il existe actuellement plusieurs modèles et systèmes de gestion de l'énergie électrique :

A. Pour le transport de l'énergie électrique :

En premier lieu, le problème de minimisation modélisé dans (*C.T.M. Clack et al, 2013*) est conçu pour les systèmes éoliens et photovoltaïques, cependant la méthodologie peut être utilisée en principe pour l'optimisation de tout système de production d'électricité. Il est déjà bien connu que tous les problèmes de programmation linéaire peuvent être écrits dans la norme :

$$\text{Minimise } f(x) \triangleq C^T X, \quad (1)$$

$$\text{Subject to } Ax=b, x \geq 0 \quad (2)$$

D'après la référence de la programmation linéaire nous a permis de montrer que cette méthode sera réalisable face à d'autres contraintes.

Les techniques de la programmation linéaire utilisées pour le développement d'un système HVDC (courant continu à haute tension) pour la transmission et le stockage de l'énergie électrique afin de minimiser les coûts, en ajoutant les charges électriques optimales.

Le modèle :

$$\text{Min } X = \sum_{\tau} \left(\sum_{\mu} g_{\mu\tau} + C_{\mu\tau} + \int_{\mu}^{ts} S_{\mu\tau}^o - \int_{\mu}^{fs} S_{\mu\tau}^i + \frac{1}{2} \sum_{\alpha} \sum_{\beta} \int_{\alpha\beta}^{tr} D_{\alpha\beta} \cdot T_{\alpha\beta\tau} \right) \quad (3)$$

Subject to:

$$\sum_{\emptyset} (b_{\emptyset\mu} \cdot \sum_k X_{\emptyset k} \cdot r_{\emptyset k\tau}) + g_{\mu\tau} + t_{\mu\tau} - C_{\mu\tau} + S_{\mu\tau}^i \cdot (1 - \int_{\mu}^{fs})$$

$$-S_{\mu\tau}^o \cdot (1 + \int_{\mu}^{ts}) = L_{\mu\tau}, \quad \forall \mu, \tau; \quad (4)$$

$$t_{\mu\tau} = \sum_{\alpha} T_{\alpha\beta\tau} \cdot (1 - \int_{\alpha\beta}^{tr} D_{\alpha\beta}) |_{\beta=\mu} - \sum_{\beta} T_{\alpha\beta\tau} |_{\alpha=\mu} \quad \forall \mu, \tau (\alpha \neq \beta); \quad (5)$$

$$T_{\hat{\alpha}\hat{\beta}} \geq T_{\alpha\beta\tau} |_{\alpha,\beta=\hat{\alpha},\hat{\beta}} \geq 0, \quad \forall \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \tau (\hat{\alpha} > \hat{\beta}); \quad (6)$$

$$\hat{S}_{\mu\tau} = [S_{\mu\tau}^o - S_{\mu\tau}^i] + \hat{S}_{\mu(\tau-1)} \cdot (1 - \int_{\mu}^{rs}), \quad \forall \mu, \tau \geq 1; \quad (7)$$

$$C_{\mu}^s \geq (1 + R_{\mu}^s) \cdot S_{\mu\tau}^0 \geq 0 \geq , \quad \forall \mu, \tau; \quad (8)$$

$$0 \leq S_{\mu\tau}^0 \leq S_{\mu}^D \cdot C_{\mu}^s \quad \forall \mu, \tau; \quad (9)$$

$$0 \leq S_{\mu\tau}^i \leq S_{\mu}^c \cdot C_{\mu}^s, \quad \forall \mu, \tau; \quad (10)$$

$$C_{\mu}^s \geq (1 + R_{\mu}^s) \cdot g_{\mu\tau} \geq 0 \geq , \quad \forall \mu, \tau; \quad (11)$$

$$0 \leq g_{\mu\tau} \leq g_{\mu(\tau-1)} + g_{\mu}^u \cdot C_{\mu}^g \quad \forall \mu, \tau \geq 1; \quad (12)$$

$$g_{\mu\tau} \geq g_{\mu(\tau-1)} + g_{\mu}^d \cdot C_{\mu}^g \geq 0, \quad \forall \mu, \tau \geq 1; \quad (13)$$

$$0 \leq X_{\phi k} \leq X_{\phi k} \quad \forall \phi, k; \quad (14)$$

$$\sum_{\phi} [b_{\phi\mu} \cdot \sum_k (X_{\phi k} \cdot \sum_{\tau} r_{\phi k\tau})] \geq P_{\mu} \sum_{\tau} L_{\mu\tau}, \quad \forall \mu; \quad (15)$$

$$\alpha, \hat{\alpha}, \beta, \hat{\beta}, \mu \in N, \phi \in B, K \in V, \tau \in Q$$

Les équations (3) - (16) sont mathématiquement équivalentes aux équations (1) et (2),

En ajoutant trois équations (17)-(19) pour déterminer la transmission et le stockage de l'énergie électrique. (Tous les paramètres des équations sont définis dans les tableaux de 1 à 6).

Ce modèle est utilisé pour l'optimisation de tout systèmes de production de l'électricités en tenant compte les systèmes éoliens et photovoltaïques. Ce modèle permettant la transmission et le stockage de l'énergie électrique.

Ainsi qu'en deuxième lieu (S. HOUNDEDAKO et al, 2014) à utiliser le système HVDC (courant continu à haute tension) pour la synchronisation entre deux réseaux différents aussi que le transport de l'énergie électrique.

De ce qui précède la programmation linéaire, nous permet de développer un système pour la transmission et le stockage de l'énergie électrique.

B. Pour la consommation de l'énergie électrique :

En premier lieu, l'article (S. Tilvoska et al, 2012) à utiliser quatre modèles mathématiques pour analyser la puissance consommée dans le réseau électrique. Les résultats obtenus confirment que le proposé de la distribution Gamma avec l'Intergroupe caractéristique :

$$R_{X_i, X_i}(m) = \begin{cases} e^{-\lambda_i m}, & m \leq K_i \\ Lm^{-\beta_i}, & m > K_i \end{cases}$$

C'est un modèle très efficace pour décrire les processus réels de la consommation d'énergie dans le réseau électrique avec un faible niveau de divergence calculé.

Dans le prochain point calculé après la dernière valeur calculée, possibilité d'avoir une évolution globale du facteur

et est donc un excellent modèle pour la consommation d'énergie dans le réseau électrique.

Il est caractérisé avec la vitesse nécessaire des changements d'un point à un autre avec prédéfinie du facteur de tendance, possibilité de changer les valeurs supérieures ou inférieures

En deuxième lieu, l'article (K. Kavaklioglu, 2010) a proposé le modèle de Régression de vecteur de soutien pour la modélisation de la consommation et la prédiction, la consommation d'électricité de la Turquie est modélisée comme une fonction de quatre variables d'entrée, à savoir la population, la production national brut, les importations et les exportations. Un aperçu de la technique Régression de vecteur de soutien est donné ici. Supposons que l'on cherche à modéliser une seule sortie (y) en fonction de variables n d'entrée (x) est donné un ensemble de données d'entraînement de longueur

$$N: \mathbf{T} = \{(\mathbf{x}_1, y_1), (\mathbf{x}_2, y_2), \dots, (\mathbf{x}_N, y_N)\}$$

Avec $X_k \in \mathbb{R}^n$ et $y_k \in \mathbb{R}$, $K=1,2,\dots,N$

En substance, ce sont \mathbf{X}_k 'S et \mathbf{n} vecteurs dimensions portant les valeurs de chaque entrée au moment de l'étape \mathbf{K} et \mathbf{y}_k 'S de scalaires sont porteuses des valeurs de la variable de sortie au moment de l'étape k. Dans la formulation originale de Régression de vecteur de soutien, un modèle linéaire est proposé :

$$\hat{y}(x) = \langle w, x \rangle + b$$

Où \hat{y} est la sortie estimée du modèle, w est un vecteur de poids, b est un terme de polarisation et $\langle \cdot, \cdot \rangle$ dénote vecteur produit interne. Le vecteur w est en fait un élément de l'espace de caractéristiques du problème. Le tableau 7 dans l'annexes énumère toutes les variables utilisées, et la figure 2 présente la forme définitive du modèle de consommation d'électricité.

Ce modèle permet la modélisation de la consommation de l'énergie électrique, ainsi que la prédiction de l'énergie à consommer en futur.

En troisième lieu, le même auteur (K. Kavaklioglu, 2013) traite l'obstacle de la consommation de l'énergie électrique par une autre méthode: c'est la méthode de décomposition en valeurs singulières :

$$A = U \Sigma V^T$$

$$\begin{aligned} \text{Avec: } U &= [U_1 \ U_2 \ \dots \ \dots \ U_m] \\ V &= [V_1 \ V_2 \ \dots \ \dots \ V_n] \\ \Sigma &= \text{diag}(\sigma_1 \ \sigma_2 \ \dots \ \dots \ \sigma_r) \end{aligned}$$

Les principaux éléments de la diagonale de $\Sigma(\sigma_i/S)$ son appelé, les valeurs singulières de A . Ils sont tous positifs et commandés de telles sortes que :

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \dots \dots \geq \sigma_r$$

En utilisant les règles de la multiplication de matrices, la décomposition en valeurs singulières peut également être

présenté sous la forme suivante, où la matrice A , est écrite comme une somme ou r un rang matrices :

$$A = \sum_{i=1}^r \sigma_i u_i v_i^T$$

valeurs singulières est :

$$x = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4]^T$$

T désignes la transposition de fonctionnement.

Le tableau 7 énumère toutes les variables utilisées et fig. 1 présente la forme générale du modèle de consommation d'électricité.

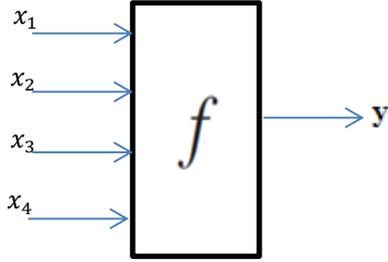


Figure 1: La forme générale du modèle de consommation d'électricité.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \frac{1}{2} x^T \beta_2 x + \varepsilon$$

Où y est la consommation d'électricité, $x = [x_1 x_2 x_3 x_4]^T$ est le vecteur d'entrée, ε est le terme d'erreur et $\beta^T S$ sera définie en termes de scalaire forme du modèle ci-dessous.

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_1 x_2 + b_6 x_1 x_3 + b_7 x_1 x_4 + b_8 x_2 x_3 + b_9 x_2 x_4 + b_{10} x_3 x_4 + b_{11} x_1^2 + b_{12} x_2^2 + b_{13} x_3^2 + b_{14} x_4^2 + \varepsilon$$

Où $\beta_0 = b_0, \beta_1 = [b_1 b_2 b_3 b_4]^T$ et β_2 est défini comme suit:

$$\beta_2 = \begin{bmatrix} b_{11} & b_5 & b_6 & b_7 \\ b_5 & b_{12} & b_8 & b_9 \\ b_6 & b_8 & b_{13} & b_{10} \\ b_7 & b_9 & b_{10} & b_{14} \end{bmatrix}$$

D'après les résultats obtenus par ces trois modèles mathématiques, on constate que le modèle de Régression de vecteur de soutien, nous permettrons la modélisation et la prédiction de l'énergie dans le réseau électrique, ce qui n'était pas présent dans les autres modèles.

C. Pour le stockage de l'énergie électrique :

On trouve plusieurs systèmes de stockage comme il a indiqué (A. Hina Fathima et al, 2015). Ils ont cité huit systèmes pour le stockage d'énergie électrique :

- Stockage d'électricité par hydro-pompe.

L'auteur indique que la consommation d'électricité de la Turquie est modélisée comme une fonction de quatre variables d'entrée, à savoir la population, la production nationale brute, les importations et les exportations. Cela signifie que le vecteur d'entrée x de la méthode robuste de décomposition en

- Systèmes de Batterie de stockage d'énergie.
- Stockage d'énergie par Air compressée.
- Débit du système de batterie de stockage d'énergie.
- Système de stockage d'énergie à base d'hydrogène.
- Systèmes de stockage d'énergie à volant d'inertie.
- Stockage de l'énergie magnétique supraconducteur.
- Systèmes de stockage d'énergie super condensateurs.

Ils ont présenté un exemple de modélisation d'un système de stockage de la batterie plomb-acide, le modèle est donné ici. À un moment donné, il existe certaines limitations à l'état de charge du système de batterie au plomb-acide qui peuvent être exprimées en tant que :

$$SOC_{min} \leq SOC_t \leq SOC_{max}$$

Où SOC max est la limite supérieure, et SOC min est la limite inférieure pour les limites batterie. Le SOC est un des paramètres les plus importants pour les batteries. En général, l'état de charge d'une batterie est défini comme la relation de sa capacité actuelle ($Q(t)$) à la capacité nominale ($Q(n)$). La capacité nominale est donnée par le fabricant et représente le montant maximum de la charge qui peut être stockée dans la batterie. Le SOC peut être défini comme

suit :
$$SOC(t) = \frac{Q(t)}{Q(n)}$$

De même pour la puissance de sortie de la batterie au plomb-acide peut être exprimée en tant que :

$$P_{ch-max} \leq P_{bat} \leq P_{disch-max}$$

Où P_{ch-max} et $P_{disch-max}$ sont le maximum autorisé de charge-décharge et la puissance de la batterie, P_{bat} est positif lors de la décharge, et négatif pour la recharge. La valeur de SOC au moment $t + \Delta t$ est liée à la valeur de SOC à l'instant t par l'équation suivante :

$$SOC_{t+\Delta t} = SOC_t - \frac{P_{bat,t} * \Delta t}{C_{bat}}$$

$P_{bat,t}$ est la puissance de la batterie au cours de la période d'échantillonnage et C_{bat} donne la capacité de charge de la batterie.

(SOC (t)) est l'état de charge de la batterie qui donne un compte rendu de l'énergie stockée dans le système de stockage de l'énergie à un moment d'échantillonnage t et peut être calculée avec l'expression donnée ci-dessous :

$$SOC_{(t+1)} = SOC_{(t)} * \sigma + I_{bat(t)} * \Delta t * \eta (I_{bat(t)})$$

Où σ est le taux de la banque de la batterie auto décharge, $I_{bat(t)}$ est le courant de charge, Δt est la période de temps par échantillon, et $\eta (I_{bat(t)})$ est l'efficacité du courant de charge.

Énergie attendue non fourni (Expected Energy Not Supplied (EENS)) est un indice probabiliste pour mesurer la fiabilité du système. Lorsque la charge est supérieure à la disponibilité du système énergétique. (EENS) donne une mesure de l'énergie attendue qui n'a pas été fournie. Pour une charge électrique (L), et la puissance générée par HRES (Ph), EENS peut être calculée comme suit :

$$EENS(L, P_h) = \begin{cases} L - \int_{P_{hmin}}^{P_{hmax}} P_h \int P_h(P_h) dP_h & L > P_{hmax} \\ \int_{P_{hmin}}^L (L - P_h) \int P_h(P_h) dP_h & P_{hmin} \leq L \leq P_{hmax} \\ 0 & L < P_{hmin} \end{cases}$$

Où $f_{ph}(P_h)$ la fonction de densité de probabilité de la puissance générée, P_{hmax} est la puissance maximale générée, P_{hmin} est l'énergie générée par le minimum des systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelable.

V. LES OUTILS

Parmi les outils utilisés dans les articles étudiés sont :

Outils	Avantages	Inconvénients
La programmation Linéaire	-Compte pour la fiabilité -Considère investissement et les coûts d'exploitation	Génération et prévision de la demande ne sont pas sur une base en temps réel
Algorithme de Simplex	- Utilisable Pour des problèmes complexes impliquant de nombreuses variables. -Beaucoup plus rapide que les autres algorithmes de résolution de systèmes linéaires	Se réduit à la résolution des problématiques de nature quantitative et non qualitative. Exemple: système d'aide à la decision multicritères
Algorithme de gradient	Considère tous les paramètres système simultanément.	Nécessite une bonne supposition pour le démarrage des résultats vecteur de régression sont très variables en fonction des données d'entrée.

La programmation dynamique	l'intelligibilité d'un modèle de connaissance avec la souplesse d'un modèle comportant des paramètres ajustables.	Elles aboutissent généralement à des réseaux largement surdimensionnés, donc non parcimonieux.
----------------------------	---	--

Le tableau montre les différents modèles utilisés dans la revue de littérature ainsi que leurs avantages et inconvénients.

VI. CONCLUSION

Le but de cette recherche est de faire une étude sur la gestion du réseau électrique ainsi que l'impact des énergies renouvelables dans ce réseau pour analyser ces contraintes et anticiper les problèmes, et rechercher des solutions pour la contribution de chaque source d'énergie dans le réseau.

L'objectif principal est d'accroître des solutions afin de gérer au mieux la contribution entre les sources d'énergie électrique, est d'offrir une méthode explicite et spécifique afin d'assurer complètement la demande tout en minimisant un critère de coût économique.

Notre perspective est de trouver les moyens de détermination des conditions de raccordement des moyens de production aléatoire, afin d'appliquer les méthodes probabilistes et déterministes aux études d'impact de l'éolien et du photovoltaïque sur le système électrique, on compare entre les deux méthodes. On conclut par une application sur un logiciel de simulation.

Références

- [1] Djellali, A, (2003), « *Optimisation technico-économique d'un réseau d'énergie électrique dans un environnement déréglé* » à Paris 11.
- [2] Khodja, F, « *Développement de stratégies d'optimisation Combinatoire appliquées à un réseau électrique* ». Université El Djilali Liabès de Sidi Bel Abbés.
- [3] Snezana Tilvoska et al, (2012). « Power consumption analyzes with mathematical models into the overall electrical network ». University "St. Kiril and Metodij", Skopje, the Former Yugoslav Republic of Macedonia.
- [4] C.T.M. Clack et al, (2013). « Linear programming techniques for developing an optimal electrical system including high-voltage direct-current transmission and storage ». Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES), University of Colorado, Boulder, CO 80305, United States. Earth Systems Research Laboratory (ESRL), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Boulder, CO 80305. United States.
- [5] K. Kavaklioglu, (2013). « *Robust electricity consumption modeling of Turkey using Singular Value*

Decomposition ». Pamukkale University, Computer Science Department, Denizli, Turkey

[6] Herman Bayem, (2009). «*Apport des méthodes probabilistes aux études d'intégration des énergies renouvelables aux systèmes électriques*». Electric power. Université Paris Sud - Paris XI.

[7] B. O'Neill et al, (2005). «*Accuracy of past projections of US energy consumption* ». International Institute for Applied Systems Analysis, Schlossplatz 1, Laxenburg A-2361, Austria.

[8] S. HOUNDEDAKO et al, (2014). «*Étude pour synchronisation des réseaux électriques de la communauté électrique du Bénin (CEB) : cas de la Volta River Authority (VRA) et de la transmission Company of Nigeria (TCN)* ». Laboratoire d'Electrotechnique, de Télécommunication et d'Informatique Appliquée (LETIA). Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin. FEMTO-ST Département Energie, Université de Franche-Comté, France.

[9] J.M.G de Durana et al, (2014). «*Agent based modeling of energy networks* ». University College of Engineering, University of the Basque Country, Nieves Cano 12, 01006 Vitoria-Gasteiz, Spain. European Institute for Energy Research, Electricité de France et Karlsruhe Institute of Technology, Emmy-Noether-Strasse 11, 76131 Karlsruhe, Germany.

[10] K. Kavaklioglu, (2010). «*Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Support Vector Regression* ». Pamukkale University, Computer Science Department, Denizli, Turkey

[11] A.Hina Fathima et al, (2015). «*Optimization in micro grids with hybrid energy systems* ». School of Electrical Engineering, VIT University, Vellore, India.

[12] Y. Chang et al, (2012). «*Alternative projection of the world energy consumption-in comparison with the 2010 international energy outlook*». KDI school of Public Policy and Management 87 hoeigro, Dongdaemun-gu, Seoul 130 - 868 Republic of Korea.

[13] B. Paris et al, (2010) «*Programmation linéaire pour la gestion de l'énergie électrique d'un habitat* ». IBPSA. Moret-sur-Loing, France. Pp. C14.

[14] C.T.M. Clack et al, (2013). «*Linear programming techniques for developing an optimal electrical system including high-voltage direct-current transmission and storage*». Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES), University of Colorado, Boulder, CO 80305, United States. Earth Systems Research Laboratory (ESRL), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Boulder, CO 80305. United States.

[15] L.Styanov et al, (2007). «*Optimisation des systèmes multi-sources de production d'électricité à énergies renouvelable* » Equipe Energies Renouvelables, Laboratoire SPE UMR, CNRS 6134, Université de Corse, Centre Scientifique de Vignola, Route des sanguinaires, 2000 Ajaccio, France.

Tableau 1:

Symboles utilisés dans les fonctions objectives contenues dans les équations(3) et (20).

Symbole	Description
$X_{\phi\kappa}$	La capacité installée de chaque génération variable (en MW) à chaque site de ressources
C_{μ}^g	La capacité installée de génération (en MW) au sein de chaque nœud
C_{μ}^s	La capacité installée de stockage (en MW) au sein de chaque nœud
$T_{\hat{\alpha}\hat{\beta}}$	La capacité installée de transmission (en MW) entre chaque nœud de transmission
$g_{\mu\tau}$	la quantité d'énergie requise (en MW) de chaque pas de temps au sein de chaque nœud
$T_{\alpha\beta\tau}$	Le flux d'énergie au sein du réseau de transmission (en MW) entre chaque nœud de transmission à chaque pas de temps
$s_{\mu\tau}^o, s_{\mu\tau}^i$	La puissance transmise (et de) stockage à l'intérieur de chaque nœud à chaque pas de temps
$C_{\mu\tau}$	La quantité d'énergie produite qui est réduite (en MW) au sein de chaque nœud à chaque pas de temps
$\mathcal{L}_{\alpha\beta}^T$	Les pertes fractionnaires électriques de puissance (% par mile) lorsque la transmission est effectuée entre chaque nœud de transmission
$D_{\alpha\beta}, D_{\hat{\alpha}\hat{\beta}}$	La distance géodésique entre chaque centre de nœud de transmission (en miles)
$\mathcal{L}_{\mu}^{ts}, \mathcal{L}_{\mu}^{fs}$	Les pertes électriques fractionnaires (en%) en raison de l'envoi de pouvoir (et de) stockage dans chaque nœud
$C_{\phi\tau}^v, C_{\mu}^g, C_{\mu}^s$	Les coûts amortis en capital (actuellement en USD \$) des générateurs (variable classique, et le stockage) par MW installé, y compris le fonctionnement fixe et de maintenance (O / M)
$C_{\hat{\alpha}\hat{\beta}}^T$	Les coûts amortis en capital (actuellement en USD \$) des lignes de transmission par MW-mile, y compris fixés O / M
C_{μ}^f	Le coût (actuellement en USD \$) du combustible pour la production par MWh
$C_{\mu}^c, \mathcal{H}_{\mu}, \mathcal{F}$	le coût (actuellement en USD \$) de carbone par tonne, le taux de la flotte de chaleur, et la teneur en carbone du combustible au sein de chaque nœud

Tableau 2:

Résumé des symboles pour les équations (3) - (5), ainsi que les principales combinaisons de définition de terme.

Symbole	Description
$t_{\mu\tau}$	Le flux de transmission de puissance pour chacun des nœuds (en MW). Le terme agit comme un lien essentiel entre l'optimisation de la capacité du réseau de transport, les équations. (5) et (6), et la contrainte de réalisation de charge, Eq. (4). Il est ce qui permet à terme un fonctionnement efficace de l'optimisation simultanée des générateurs et la transmission
$b_{\phi\mu}$	Le terme de masque binaire qui désigne les sites de ressources qui appartiennent à nœud
$\Gamma_{\phi\kappa\tau}$	La puissance de réalisation électrique (%) pour chaque générateur variable à chaque site de ressources à chaque pas de temps. Le terme le plus important dans l'optimisation quand le temps compte tenu entraînée énergie renouvelable.

$L_{\mu\tau}$	La charge électrique (en MW) à remplir dans chaque nœud à chaque pas de temps, qui dépend de l'activité humaine. Les signaux contradictoires de la météo et la charge électrique sont ce que la cause la conception optimale d'un système électrique avec l'énergie renouvelable si difficile
$\sum_{\phi} \sum_{\kappa} (b_{\phi\mu} \cdot X_{\phi\kappa} \cdot r_{\phi\kappa\tau}) + g_{\mu\tau}$	La production totale (en MW) à chaque pas de temps au sein de chaque nœud
$s_{\mu\tau}^i \cdot (1 - \mathcal{L}_{\mu}^{fs}) - s_{\mu\tau}^o$	La contribution nette (en MW) en génération en raison de stockage dans chaque nœud à chaque pas de temps
$\sum_{\alpha} \mathcal{T}_{\alpha\beta\tau} \cdot (1 - \mathcal{L}_{\alpha\beta}^T \cdot \mathcal{D}_{\alpha\beta}) \Big _{\beta=\mu}$	La somme nette de toutes les transmissions de puissance entrant (en MW) à chaque nœud à chaque pas de temps
$\sum_{\beta} \mathcal{T}_{\alpha\beta\tau} \Big _{\alpha=\mu}$	La transmission de puissance sortant (en MW)

Tableau 3:

Résumé des symboles pour les équations. (7) - (13).

Symbole	Description
$\hat{S}_{\mu\tau}$	La quantité d'énergie (en MWh) disponible dans le réservoir de stockage au sein de chaque nœud
\mathcal{L}_{μ}^{fs}	Les pertes électriques fractionnaires (en%) à partir du réservoir de stockage au sein de chaque nœud par pas de temps
$\mathcal{R}_{\mu}^s, \mathcal{R}_{\mu}^g$	La marge de réserve pour le stockage et le gaz (%)
$\mathcal{S}_{\mu}^D, \mathcal{S}_{\mu}^C$	Le taux de décharge ou la charge pour le stockage dans les nœuds (% de la capacité)
$\mathcal{G}_{\mu}^d, \mathcal{G}_{\mu}^u$	Le taux de rampe le bas et le haut au sein de chaque nœud (% de la capacité)

Tableau 4:

Résumé des symboles pour les équations. (14) - (19).

Symbole	Description
$X_{\phi\kappa}$	Les limites supérieures pour les générateurs variables. Il spécifie le MW maximale de la capacité autorisée dans chaque site de ressources
\mathcal{P}_{μ}	La fraction en (%) de la charge électrique qui doit être comblée par la production de variable
$\mathcal{U}_{\mu}^s, \mathcal{U}_{\mu}^t$	Les limites supérieures pour le stockage et la transmission (en MW) pour chaque nœud. Ces termes ne sont prescrits pour l'optimisation d'adaptation de charge

Tableau 5:

Résumé des indices et des ensembles utilisés dans les équations.

Symbole	Description
\mathcal{N}	L'ensemble de tous les nœuds
\mathcal{B}	L'ensemble des sites de ressources d'énergie renouvelables
\mathcal{V}	L'ensemble de tous les types de générateurs variables
\mathcal{Q}	L'ensemble de toutes les étapes de temps au sein de l'optimisation

α, β	Les indices pour la tête et la queue des arcs de flux de puissance de transmission
$\hat{\alpha}, \hat{\beta}$	Les indices dénotant la tête et la queue de chaque nœud de transmission
μ	Indices pour le pouvoir produire / consommer nœuds
ϕ	Index des sites de ressources d'énergie renouvelables
κ	Définit chacun des types de générateur de variables
τ	L'indice pour les pas de temps

Tableau6:

Brève description des équations utilisées dans les optimisations.

Equation	Description
3	La fonction objective de l'optimisation d'adaptation de charge. Il permet de minimiser la somme de la génération consommée, la puissance électrique réduite, les pertes électriques aller-retour pour le stockage, les pertes électriques et la transmission.
4	La charge suivant les contraintes. La contrainte la plus fondamentale dans l'optimisation. Il combine la production variable, la génération, le flux net de stockage, le flux de transmission, et la réduction de la production variable de sorte que la charge électrique est exactement réunie à chaque pas de temps dans chaque nœud à travers l'optimisation.
5	La transmission de flux. L'équation qui permet l'optimisation simultanée du réseau de transport et de production. Il calcule le flux net pour chaque nœud, lors de la prise en compte des pertes électriques pour chaque arc. Il est un courant continu (CC) rapprochement direct.
6	La contrainte de capacité de transmission. On détermine la capacité de chaque ligne de transmission en étant toujours supérieur au débit d'alimentation dans les lignes.
7	Le réservoir de stockage. L'équation qui conserve la trace de l'énergie stockée dans chaque nœud. On calcule le flux net de stockage avec l'addition de la valeur de temps de réservoir de l'étape précédente en tenant compte de la perte d'énergie pendant l'entreposage.
8	La contrainte de capacité de stockage. On détermine la capacité de stockage de chaque nœud en étant toujours supérieure à la puissance dans le stockage multiplié par une marge de réserve.
9 et 10	La charge et le décharge des contraintes de stockage. Il limite le taux de charge et de décharge pour les installations de stockage dans chaque nœud à chaque pas de temps.
11	La contrainte de capacité. On détermine la capacité des générateurs de chaque nœud en étant toujours supérieure à la puissance requise à tout intervalle de temps multiplié par la marge de réserve.
12 et 13	Les contraintes de taux de rampe. Il restreint le haut et le bas taux de rampe pour les installations appelables dans chaque nœud à chaque taux d'étape de temps est liée à la capacité du stockage et de la puissance générée précédente.
14	Les générateurs de variable limites supérieures. Contraint la taille du générateur

	variable (en MW) à chaque site de ressources pour être en dessous d'une limite définie, généralement définie par des limites sur l'espace Contrainte.
15	Assure l'optimisation fournit un pourcentage pré-désigné de la charge électrique de génération de variable.
16	Les éléments et les ensembles. Décrit les éléments et ensembles utilisés dans les autres équations.
17 et 18	Stockage et de transmission des limites supérieures. Seulement utilisé dans l'optimisation d'adaptation de charge. Il limite le stockage et la transmission qui peut être construit.
19	La fonction de l'objectif d'optimisation des coûts. Il minimise le coût total de l'installation de la capacité de production, l'installation de stockage, l'installation de l'infrastructure de transmission, et le carburant consommé par les générateurs (avec l'inclusion éventuelle d'une taxe sur le carbone)
20	La fonction objective d'une optimisation hybride. Il minimise un mélange des optimisations de coûts et de la charge correspondant, régularisée par

Tableau7:

Liste de toutes les variables utilisées.

Variable	Description
t	Années
x_1	Population
x_2	Production national brut par habitant
x_3	Imports
x_4	Exports
y	Total de l'électricité consommé