

Modélisation et optimisation de l'architecture des réseaux de distribution électrique en Guinée : cas de la zone rurale de Wonkifon-prefecture de Coyah.

Modeling and optimization of the architecture of electricity distribution networks in Guinea: case of the rural area of Wonkifon-Coyah prefecture.

Mohamed Lamine KOUROUMA

Enseignant chercheur, Université Gamal Abdel Nasser de Conakry
Doctorant à la Fédération Internationale des Études Professionnelles FIEP (Paris)
Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Énergétique Appliquée

Maxime HENARDE

Directeur de these
Responsable à la Fédération Internationale des Etudes Professionnelles

Idrissa DIABY

Codirecteur de thèse
Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Energétique Appliquée
Université Gamal Abdel Nasser de Conakry

Kabine CAMARA

Enseignant chercheur à l'Université Gamal Abdel Nasser de Conakry
Doctorant à la Fédération Internationale des Etudes Professionnelles FIEP (Paris)

Date de soumission : 22 /04 /2024

Date d'acceptation : 01/06/2024

Pour citer cet article :

KOUROUMA M. L. & al. (2024) «Modélisation et optimisation de l'architecture des réseaux de distribution électrique en Guinée : cas de la zone rurale de Wonkifon-prefecture de Coyah.», Revue Internationale du Chercheur «Volume 5 : Numéro 2» pp : 715 - 733



Résumé

La présente étude s'appuie sur le développement des différents modèles d'architecture de réseau de distribution électrique dans la commune rurale de Wonkifong, préfecture de Coyah-Guinée. Chaque modèle est formulé sous forme d'un problème d'optimisation combinatoire pour avoir un modèle choisi et l'atteinte des résultats probants. La méthode retenue est l'architecture du réseau de distribution des pertes minimales dans le réseau à longueur minimale aboutissant aux résultats numériques de résolution des modèles. Les tests ont été faits sur le cas d'étude d'un réseau réel. Pour l'architecture du réseau de la longueur minimale a montré des solutions appréciables sur les données du réseau réel (0.5% de l'optimum), ainsi que sur les instances de graphes planaires maximums (0.6% de l'optimum). Le Modèle_{ARPM} minimise des pertes et a la plus grande longueur des lignes par rapport à Modèle_{ALM}. Pour le réseau réel, le rapport de la longueur des deux réseaux est environ 2.81 et du Modèle_{UAFCLM} par rapport au Modèle_{ALM} est 2.73. La solution du Modèle_{APLM} sur l'instance de données du réseau réel a été obtenue sur le support de la solution approximative de PL_{SNDP} . Le coût total du réseau est à 0.24% par rapport au coût du réseau existant qui était de 0.50%.

Mots clés : «Modélisation ; Optimisation ; l'Architecture ;Distribution électrique ; Zone Rurale »

Summary

This study is based on the development of different models of electricity distribution network architecture in the rural commune of Wonkifong, prefecture of Coyah-Guinea. Each model is formulated in the form of a combinatorial optimization problem to have a chosen model and the achievement of convincing results. The method chosen is the architecture of the distribution network of minimum losses in the minimum length network leading to the numerical results of model resolution. The tests were carried out on the case study of a real network. For the minimum length network architecture showed appreciable solutions on the real network data (0.5% of the optimum), as well as on the maximum planar graph instances (0.6% of the optimum). Model_{ARPM} minimizes losses and has the longest line length compared to Model_{ALM}. For the real network, the ratio of the length of the two networks is approximately 2.81 and of Model_{UAFCLM} to Model_{ALM} is 2.73. The solution of Model_{APLM} on the real network data instance was obtained on the support of the approximate solution of PL_{SNDP} . The total cost of the network is 0.24% compared to the cost of the existing network which was 0.50%.

Keywords : « Modelization ; Optimization ; Architectures; Electrical distribution ; Area Rural »

Introduction

L'avènement des barrages hydroélectriques à travers le monde en 1832 (cas de la France du barrage Zola, terminé en 1854 (**Wikipédia**) a permis aux chercheurs scientifiques de mettre au point une conception d'équipements électriques , de transport et de distribution de l'énergie issue des barrages . Depuis lors, cette situation a permis de mettre en place un système électroénergétique qui a connu une profonde mutation.

Suite à cela, ces acteurs scientifiques ont mis en évidence un système d'architecture permettant de transporter de l'énergie électrique de la source de production jusqu'au lieu de distribution pour alimenter les consommateurs en assurant une gestion de qualité et des conditions optimales de sécurité.

Malgré le succès atteint dans le domaine de la construction des moteurs à courant continu, l'énergie électrique était utilisée pour les éclairages. Le système de courant continu qui existait ne permettait pas de transmettre l'énergie à une grande distance et de la distribuer convenablement (M. TCHILIKINE(1972) « cours de commande électrique »).

Après la découverte du moteur asynchrone triphasé par l'Allemand Michael DOLIVO-DOBROWOLSKI en 1889 (Bernard Multon (1995) « Historique des machines électriques ») , le transport de l'énergie électrique est rendu possible à travers une architecture de réseaux électriques. Cette architecture du système électroénergétique est exploitée au plus près de ses limites physiques. Ce qui n'avait pas de poids lorsqu'on procédait au surdimensionnement des ouvrages. À cet effet, la nécessité de modélisation du réseau s'impose pour procéder à une simulation de son fonctionnement.

La modélisation de l'architecture de réseau électrique permettra d'étudier la stabilité (*effet de perte de synchronisme , suivi de l'évolution des écroulements de tensions , la limitation de transfert de puissance sur les lignes ...*), de planifier les modifications existantes , d'effectuer l'analyse post-mortem de réseau , de valider les modèles mathématiques , mettre en place des protocoles de défense pour une situation particulière en procédant à la relance du réseau dans la mesure du possible et procéder aux analyses de sécurité en temps réel pour le dispatching.

L'optimisation de l'architecture des réseaux de distribution électrique en zone rurale permet de minimiser les pertes ohmiques sur les réseaux électriques, réduire le coût de la construction des réseaux électriques et d'assurer la puissance nécessaire en cas d'anomalie partielle sur ces réseaux. Dans le cadre des productions d'énergie électrique , des incertitudes majeures sont relevées au niveau du profil de production de l'énergie électrique et du lieu de raccordement . Ces difficultés se reposent essentiellement sur l'évaluation de la capacité maximale de connexion d'un réseau.

Aujourd'hui la présence massive de la production décentralisée appelée «la Génération d'Énergie Distribuée (GED) » au sein des réseaux électriques et en particulier la distribution de l'énergie électrique, a apporté des changements profonds dans l'exploitation et la planification des réseaux électriques. L'épanouissement de cette production est dû à plusieurs facteurs parmi lesquels les incitations réglementaires en faveur des Énergies Renouvelables, à l'arrivée de nouveaux acteurs à la suite de l'ouverture des marchés de l'énergie, la possibilité d'installer ces formes de production au plus près des consommateurs de l'énergie électrique.

Le contexte de modélisation et d'optimisation de l'architecture des réseaux de distribution électrique en zone rurale demeure une activité de la sécurité et de l'amélioration des performances desdits réseaux électriques et requiert un enjeu majeur pour l'État.

La République de Guinée est dotée de ressources énergétiques diversifiées : d'un immense hydroélectrique estimé dans le cadre de l'étude de développement d'un atlas du potentiel hydroélectrique à plus de 6000 MW pour une énergie garantie de 19300kw/h (*dont 6 % seulement exploités*), des ressources forestières estimées à 30 millions de m³ de bois par an, d'un potentiel solaire de 4,8kwh/m²/jour, d'un gisement éolien dont la moyenne annuelle de la vitesse moyenne du vent varie entre 2 et 4m/s. En ce qui concerne le gisement pétrolifère, l'absence d'études exhaustives ne permet pas de donner une situation exacte de ce potentiel. Tandis que les études sismiques effectuées en mer et sur le plateau continental guinéen ont montré que 63000km² de terres sédimentaires sont jugées prometteuses pour le gisement pétrolifère. Ainsi, le bilan énergétique national se présente comme suit : 78% pour le bois et le charbon de bois, 20% pour les produits pétroliers importés 2% pour l'électricité. Ce pays enregistre à cet effet un taux d'électrification inférieur à 20% et atteint moins de 5% en zones rurales. Contenu de cette situation de précarité à l'accès à l'électricité en Guinée s'est inscrit dans le cadre du Plan National de Développement et Social (PNDS). Cet accès à l'électrification contribuera particulièrement à la synergie d'action entre les réseaux interconnectés à échelle nationale (transnationale) d'une part et d'autre part entre la Guinée et quelques pays de la sous-région. C'est dans ce cadre que les projets de lignes d'interconnexions sont en cours de réalisation tels que : l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Gambie (OMVG), de la Côte d'Ivoire-Liberia-Sierra Leone-Guinée (CLSG), l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) et l'Autorité du Bassin du Niger(ABN). L'intégration de la Guinée aux réseaux de distribution des nouvelles technologies d'information et de la communication permettra à court terme de prendre en compte les actions des acteurs du système électrique tout en assurant une livraison d'électricité plus efficace et viable économiquement. Ainsi, le système électrique sera piloté de manière flexible pour gérer les

contraintes telles que : l'intermittence des énergies ayant pour effet de faire évoluer le système mis en place pour assurer l'équilibre en temps réel en adaptant la production à la consommation vers un système d'ajustement avantageux par rapport à la demande , et faisant du consommateur un véritable acteur du système .

A travers ce processus, la République de Guinée passera de 5% à 85% d'électrification dans les prochaines années en raccordant ses réseaux d'interconnexions aux réseaux de distribution d'électricité en zone rurale. C'est pourquoi, il est important de souligner que l'investissement dans la construction des réseaux électriques flexibles en milieu rural basé sur des nouvelles architectures des réseaux électriques et des solutions techniques innovantes permettront de pérenniser la sécurité énergétique et de renforcer la réponse à la demande et l'efficacité énergétique. Par ailleurs l'intégration des différentes sources d'Energies Renouvelables réduira la demande accrue en stabilisant la production d'électricité.

C'est dans cette optique que nous avons porté le choix de nos travaux de recherche sur le thème **«Modélisation et Optimisation de l'Architecture des Réseaux de Distribution Electrique en Guinée : Cas de la Zone Rurale de Wonkifon-Préfecture de Coyah.»**

L'objectif général de ce travail de recherche est d'établir un modèle d'architecture des réseaux de distribution électrique ayant un rendement optimal en zones rurales de la Guinée.

Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes fixés les objectifs spécifiques suivants:

- Procéder à la modélisation des réseaux de distributions électriques en milieu rural ;
- Faire un choix possible d'avoir un rendement optimal dans les conditions les plus favorables ;
- Proposer un plan de réhabilitation des réseaux de distributions électriques en zone rurales de la guinée ;
- Mettre en extension des nouvelles localités de la guinée ;
- Mettre en liaison ces réseaux d'électrification rurale aux réseaux d'interconnexion sous régionale.
- Améliorer la qualité de la fourniture d'électricité ;
- Augmenter le taux d'électrification prévisionnelle ; vision 2025 en zone rurale par le Gouvernement.

• **Question de recherche**

Modéliser et Optimiser l'architecture des réseaux de distribution électrique en zone rurale ?

• **Hypothèses**

- La minimisation des pertes ohmiques contribue à la réduction du coût de construction des réseaux distributions électrique flexible permettrait d’assurer la puissance énergétique nécessaire aux besoins des consommateurs en cas d’anomalies
- La modélisation et optimisation de l’architecture des réseaux électriques assurerait la qualité de connexion et la sécurité électrique en milieu rural.

1. Matériel et Méthodes

1.1 Matériel

La sous-préfecture de Wonkifong est dans la préfecture de Coyah dans la région administrative de Kindia. Elle est située à proximité de Conakry et du littoral Guinéen, elle bénéficie de l’accroissement de population de cette zone : 23676 habitants en 1996 , 36583 habitants en 2014 lors du dernier recensement de la population et d’habitation . La superficie de la localité est 577 Km² soit une densité de 63, 4hab /km², à comparer à la densité dans la totalité du pays , de 49,2hab/km². Les principales ressources sont l’agriculture, l’extraction du sel et de la pêche.

Fig. 1. La carte de la Guinée (La sous-préfecture de wonkifong)



● La sous-préfecture de wonkifong.

Source : Wikipédia

La compréhension de l'architecture des réseaux de distribution électriques nécessite une bonne évaluation des problèmes liés aux différentes connexions des infrastructures électriques avec les sources de production d'énergies électriques. Ainsi, à l'état actuel de connaissance, très peu d'études de l'architecture des réseaux de distribution électrique en milieu rural ont été réalisées en Guinée. Face à cette situation, il est nécessaire de mettre en place un modèle de développement de l'architecture des réseaux de distribution électrique dans la sous-préfecture de Wonkifon-préfecture de Coyah. Dans cette localité, ce modèle sera basé sur une analyse approfondie de l'offre et de la demande des enjeux de distribution électrique ainsi qu'une analyse variable des acteurs en milieu rural.

1.2 Méthode

La méthode utilisée pour mener une enquête afin de réaliser cet article, nous avons distribué 1000 questionnaires auprès des responsables du projet pour objectif global de 800 questionnaires retournés pour traiter :

- Réalisation des questionnaires
- Réalisation des enquêtes auprès des acteurs du projet par des questionnaires
- Traitement des données des enquêtes
- Première rédaction

Les tests numériques ont été faits sur les données d'un réseau physique réel, ainsi que sur les réseaux fictifs générés aléatoirement représentés sous forme de graphes planaires.

2. Résultats et Discussions

Les résultats numériques de résolution des modèles de la conception de l'architecture de réseau électrique de distribution. Les tests numériques ont été faits sur les données d'un réseau physique réel, ainsi que sur les réseaux fictifs générés aléatoirement représentés sous forme de graphes planaires. Ils contiennent les valeurs suivantes obtenues dans la solution à savoir :

- Le courant maximal (I_{max}) à la pointe dans le réseau électrique en cas de panne du poste source HT/MT (110kv /20kv) déterminé dans la structure arborescente du réseau électrique par la résolution du modèle convexe du problème de répartition de charges évaluées à l'année 30 (les paramètres technico-économique).
- La tension minimale (V_{min}) dans le réseau électrique en régime d'exploitation normal déterminé dans la structure arborescente du réseau électrique par la résolution du modèle convexe du problème de répartition de charges à l'année 0.
- La longueur totale des câbles dans le réseau électrique de distribution.

Le nombre d'organes de manœuvre fixé dans le réseau électrique sur des lignes de secours des liaisons entre des feuilles de la structure arborescente qui minimise les pertes trouvée par l'algorithme heuristique AH2.

- Les pertes techniques à la pointe dans le réseau électrique en régime d'exploitation normal déterminé dans la structure arborescente du réseau par la résolution du modèle convexe du problème de répartition de charges à l'année 0 .

Les tableaux ci-dessous résument les résultats issus de ses calculs.

Tableau 1 : Résultats numériques de tests des Modèle_{ALM}, Modèle_{ARP} et Modèle_{UAFCLM} sur les instances de test de réseau réel.

N	Valeur des paramètres de la solution obtenus	Modèle _{ALM}		Modèle _{ARP} M	Modèle _{UAFCLM}
		PLNE _{SN} DP	ARSCM		
1	Longueur (km)	3.128	3.284	8.795	8.979
2	I _{max} (p.u)	0.061	0.071	0.063	0.0442
3	V _{min} (p.u)	0.149	0.155	0.024	0.177
4	Pertes à la pointe de l'année	42.27	48.75	36.26	33.177
5	Nombre OMT	2	4	16	25
6	Temps d'exécution	374.82	15.195	87.855	1

Source : Nos enquêtes, 2023

Il est important de souligner que toutes les comparaisons des résultats pour les modèles présentés sont faites uniquement pour des réseaux électriques particuliers comme le réseau de la distribution électrique de la commune rurale de Wonkifon. Sur les données du réseau physique (réel), les résultats de résolution des modèles proposés sont les suivants. L'architecture du réseau ayant la longueur minimale des câbles ont été obtenue par le Modèle_{ALMC} en formulation du programme linéaire en nombres entiers avec la fonction d'exigence de la connexité $r(u, v)$. La valeur de sa fonction objectif est 3,128 km. La solution approximative trouvée par l'algorithme ARCSM est 0.5% plus grande par rapport à l'optimum. Le troisième résultat par rapport de la longueur totale

des câbles donné par le Modèle_{ARPM} la longueur totale des câbles est 8.795km. Ainsi le critère d'optimisation de ce modèle a été la minimisation des pertes, mais AARPM est un algorithme heuristique et on ne peut pas garantir l'optimalité de la solution. La somme des pertes dans la structure radiale à la pointe à l'année 0 dans la solution du Modèle_{ARPM} est 36.26KW ce qui est 25 % de moins par rapport de la somme des pertes dans la structure radiale dans le support de la solution optimale du Modèle_{ALM}. L'architecture du réseau ayant la plus grande longueur des câbles a été obtenue par le Modèle_{UAFCLM}. Sa longueur est 7.979km. Par contre, la somme des pertes dans la structure radiale dans le support de la solution du modèle est plus petite par rapport aux pertes dans les autres architectures. Elle est égale à 33.177kW. Le fait que les pertes dans les architectures de réseau des Modèle_{ARPM} et Modèle_{UAFCLM} sont moindres par rapport des architectures du Modèle_{ALM} s'explique par les différentes topologies des réseaux obtenus les deux premières est plus ramifié et elles contiennent plus de boucles. Par conséquent le nombre des organes de manœuvre est plus grand dans ces topologies 16 OM dans le réseau du Modèle_{ARPM} et 25 dans le réseau du Modèle_{UAFCLM}. Tandis que, dans les architectures de réseau du Modèle_{ALM} le nombre d'OM est 2 pour la solution optimale et 4 pour la solution approximative du modèle respectivement. Les valeurs du courant maximal et de la tension minimale sont cohérentes avec les valeurs des pertes pour les modèles présentés. Le courant maximal dans la structure arborescente qui minimise les pertes trouvée par l'algorithme AH2 dans le support de solution approximative du Modèle_{ALM} est égal à 0.071 p.u. Sa solution possède les plus grandes pertes parmi les solutions des modèles présentés. Le temps du calcul des solutions des modèles présentés varie dans l'intervalle entre 1 s et 374.82 s (≈ 6 min). Ceci est dû au fait que les méthodes utilisées pour la résolution des modèles et leur complexité sont différentes. Puisque la formulation PLNESNDP du Modèle_{ALM} est un programme linéaire en nombres entiers, pour sa résolution optimale le logiciel CPLEX exploitant la méthode exponentielle "Séparation et évaluation" [107] a été utilisé. Le temps de résolution du modèle est 374.82 s. La résolution des autres modèles présentés repose sur les méthodes avec la complexité polynomiale. L'algorithme itératif ARSCM qui fournit la solution approximative du Modèle_{ALM} à chaque itération résout un programme linéaire PL_{SNDP}. La méthode de résolution des problèmes de programmation linéaire intégrée dans le logiciel CPLEX est une méthode du point intérieur ayant une complexité polynomiale [108]. La complexité de l'algorithme AARPM dans le Modèle_{ARPM} est polynomiale. Soit m est le nombre d'arcs dans l'arborescence qui minimise les pertes trouvées par l'algorithme AH2 dans le réseau contenant toutes les lignes potentielles. L'algorithme AARPM exécute $m+1$ fois l'algorithme heuristique AH2 qui résout une fois le programme quadratique en nombres réels en un temps polynomial. La

méthode de résolution des problèmes en programmation quadratique (comme pour la programmation linéaire) intégrée dans le logiciel CPLEX est la méthode du point intérieur ayant la complexité polynomiale [108]. La solution du Modèl_{ARPM} a été trouvée en 87.855s. Le Modèl_{UAFCLM} fournit une méthode polynomiale moins coûteuse au niveau du temps de résolution pour la conception de l'architecture de réseau par rapport des autres modèles présentés. Sur l'instance de données de réseau réel, l'algorithme AAFCLM du modèle trouve une solution en un temps inférieur à une seconde. Il résout trois fois le programme linéaire. Dans les trois modèles présentés pour calculer les valeurs des pertes, du courant et de la tension dans une structure arborescente trouvée par l'algorithme heuristique AH2, nous avons utilisé le modèle convexe du problème de répartition de charges. Il a été formulé sous la forme d'un programme quadratique et il a été résolu en un temps polynomial en utilisant le logiciel CPLEX. Le développement des instances de test des réseaux fictifs représentés sous forme de graphes planaires maximaux avait pour but de tester l'efficacité des algorithmes proposés sur les données générées aléatoirement et de généraliser les résultats. Dans le tableau 2.2, nous présentons les valeurs moyennes des caractéristiques de solutions de Modèl_{ALM}, Modèl_{ARPM} et Modèl_{UAFCLM} obtenues sur 3 instances.

Tableau 2 : Résultats numériques de tests des Modèl_{ALM}, Modèl_{ARPM} et Modèl_{UAFCLM} sur les instances de test des graphes planaires

N	Valeur des paramètres de la solution obtenus	Modèl _{ALM}		Modèl _{ARPM}	Modèl _{UAFCLM}
		PLNE _{SNDP}	ARSCM		
1	Longueur (km)	1.313	1.372	3.418	4.101
2	I _{max} (p.u)	0.039	0.040	0.024	0.0172
3	V _{min} (p.u)	0.149	0.155	0.009	0.0688
4	Pertes à la ponte de l'année	12.42	13.61	16.427	12.894
5	Nombre OMT	4	4	22	28
6	Temps d'exécution	1070	50.64	188	1

Source : Nos enquêtes, 2023

Nous constatons la cohérence de ces résultats avec les résultats sur l'instance de test du réseau réel. L'architecture du réseau avec la longueur minimale des câbles a été obtenue par le Modèle_{ALM} en formulation du programme linéaire en nombres entiers avec la fonction d'exigence de la connexité $r(u, v)$. La valeur moyenne de sa fonction objectif est de 1.313 km.

La solution approximative trouvée par l'algorithme ARCSM est à 0.6% plus grande par rapport de l'optimum. Le troisième résultat par rapport de la longueur totale des câbles a été donné par le Modèle_{ARPM} – la longueur totale moyenne des câbles est de 8.795 km. La somme moyenne des pertes dans la structure radiale à la pointe à l'année 0 dans la solution du Modèle_{ARPM} est de 36.26 kW ce qui est inférieur à 50 % de la somme des pertes dans la structure radiale, dans le support de la solution optimale du Modèle_{ALMC}. L'architecture du réseau ayant la plus grande longueur des câbles a été obtenue par le Modèle_{UAFCLM}. La longueur moyenne est de 8.979 km, ce qui est trois fois plus grand par rapport de la solution optimale du Modèle_{ALM}.

Par contre, la somme des pertes dans la structure radiale dans le support de la solution du modèle est plus petite par rapport aux pertes dans les autres architectures. Elle est égale à 12.894 kW. Le nombre moyen d'organes de manœuvre dans le réseau du Modèle_{UAFCLM} est 28 OM, dans le réseau du Modèle_{ARPM} c'est 121. Dans les architectures de réseau du Modèle_{ALM} le nombre d'OM est 4 pour la solution optimale et 5 pour la solution approximative du modèle respectivement. Le temps du calcul moyen de la solution optimale du Modèle_{ALM} est de 1070 s (≈ 17.83 mn). On voit qu'avec l'augmentation de la taille des instances le temps du calcul augmentent significativement. C'est pourquoi il est plus avantageux d'utiliser en pratique l'algorithme ARSCM pour le Modèle_{ALM} qui fournit la solution en moyenne à 0.6% de l'optimum sur les réseaux particuliers. Le temps moyen d'exécution de l'algorithme est égal à 50.64 s. Pour les Modèle_{ARPM} et Modèle_{UAFCLM} le temps moyen de la recherche de la solution est égal à 188 s et 1 s respectivement. Après avoir fait l'analyse des résultats des modèles proposés pour la conception de l'architecture de réseau de distribution électrique, nous avons vu que les réseaux obtenus ne respectent pas la contrainte du courant maximal. C'est pourquoi nous avons retenu le Modèle_{ALMC} qui tient compte de cette contrainte. Dans la section suivante, nous présentons le Modèle_{APLM} qui repose sur le Modèle_{ALM} et qui a la fonction économique des coûts comme fonction objectif. Les résultats numériques sont établis sur le cas de test du réseau réel.

Méthode Retenue : Architecture du Réseau de Distribution de Pertes Minimum dans le Réseau de Longueur Minimum (Modèle_{APLM}).

Pour la méthode retenue il a été présenté les résultats numériques de la résolution du Modèle_{APLM} (Architecture du réseau de distribution de pertes minimales dans le réseau de longueur minimale) sur les données du réseau physique (réel). Ainsi dans le graphe partiel de support de solution approximative du Modèle_{ALMC}, nous cherchons une configuration radiale qui minimise les pertes dans le réseau en utilisant le modèle convexe. Pour cette raison nous ne présentons pas les résultats du Modèle_{ALMC} en formulation optimale formulée par **PLNE_{SNDP}** sur les données du réseau physique (réel) car au bout de CV24h d'exécution du programme l'optimum n'a pas été atteint. C'est ainsi la comparaison des réseaux obtenus avec le réseau existant se fait sur le coût économique $C_{total act}$ dont les coûts sont affichés ci-dessous :

- Le Coût des organes de manœuvre (fermeture et ouverture). Leur nombre et leur emplacement dépend de la configuration radiale choisie afin de minimiser les pertes dans le réseau électrique.
- Le Coût des câbles qui dépend de la longueur : nous avons choisi 54.5 mm².
- Le Coût des tranchées dépend de la longueur et du nombre de câbles dedans.
- Le Coût des pertes actualisées sur la période de vie du projet.

Cela dépend de type des câbles ainsi que des charges. Il est calculé avec l'hypothèse qu'aucune nouvelle charge n'apparaît. Les charges existantes augmentent chaque année de $\delta A\%$ pendant la période A et puis de $\delta B\%$ pendant la période B. Les valeurs des paramètres économiques et techniques que l'on utilise dans le Modèle_{APLM} sont présentées dans ci-dessous le Tableau :

Tableau 3 : Les valeurs des paramètres économiques et techniques que l'on utilise dans le ModèleAPLM

N	Activités	Caractéristiques	Valeurs
1	Durée de vie du projet (an)	Année	25
2	Période A (an)	A (année)	5
3	Période B (an)	B (année)	20
4	Taux d'actualisation	(%)	5
5	Augmentation de la care sur la période A – δB (%)	A – δB (%)	1
6	Augmentation de la care sur la période B – δB (%)	B – δB (%)	0.5
7	Le cout du câble	54.5mm ² Alu(k€/km)	4.57
8	Résistance	54.5mm ² Alu (Ω /km)	0.028
9	Réactance	54.5mm ² Alu (Ω /km)	0.023
10	Courant maxima admissible	54.5mm ² Alu (A)	95.23
11	Cout de tranchée de Câble 3cables	(k€/km)	35.5
13	Cout des pertes techniques	(k€/kW)	0.041
14	Cout d'un organe de manœuvre	(k€)	182

Source : Nos enquêtes, 2023

Ainsi, le support de solution du Modèle_{APLM} est l'union des arborescences $A(ARSCM)$ de graphe partiel de support de solution du Modèle_{ALMC} $G(ARSCM)$ approximative. L'ensemble d'arêtes SW sélectionnées pour l'installation des organes de manœuvre dans le réseau est l'ensemble $E(G \setminus A)$ où G et A sont les supports de solutions des Modèle_{ALMC} et Modèle_{APLM}.

Nous montrons la comparaison de la longueur totale des câbles, des tranchées et les proportions du nombre de câbles par tranchée, le temps de résolution des modèles, ainsi que la comparaison de différents types de coûts entre la solution du Modèle_{APLM} et du réseau réel dans le tableau 3.4 Ainsi les paramètres technico-économiques du réseau sont présentés dans la colonne 3. Les colonnes 4, 5 montrent les paramètres des réseaux électriques obtenus par la résolution du Modèle_{APLM} sur les supports des solutions optimales du Modèle_{ALMC}. Ainsi dans les deux dernières colonnes sont présentés les paramètres des réseaux obtenus avec l'utilisation de l'algorithme approximatif de facteur 2 de la recherche d'un graphe 2-connexe de poids minimum,

alors les résultats numériques de la résolution du ModeleAPLM sur les données du réseau électrique physique (réel) voir le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Résultats numériques de résolution du ModèLeAPLM sur les données du réseau réel.

N	Les éléments	Réseau Physique réel	ModeleAPLM Support de solution approximative (ARSCM)	
1	Câbles tranchées km	6.50	5.29	
		3.81	4.12	
	Le nombre moyen de câbles par tranchée	0.25	0.24	
2	Nombre de départs	Totaux	1	
		Par poste	1	
		Source	1	
3	Temps de résolution	ModeleALMC	2557	
		ModeleAPLM	52.77	
		Total	2610	
4	Pertes à la pointe en année 0	KW	16.29	15.80
5	Câbles		125.19	106.35
	Tranchées		448.90	456.09
	Coût de pertes K€		35.93	34.76
	OM		20.16	13.44
	coût total		630.18	610.64

Source : Nos enquêtes, 2023

Ainsi nous avons la solution approximative du ModèLeALCM (PLSNDP) fournit le réseau électrique de longueur totale des câbles de 5.29km, et de longueur des tranchées de 4.12km. Ce qui a le

rapport avec le réseau réel de +2.97% pour la longueur des câbles et de -1.36% pour la longueur des tranchées. Le nombre moyen des câbles par tranchée est égal à 0.24 pour la solution approximative du ModèleAPLM. Le nombre de départs dans la solution du ModèleAPLM est : 1 total et 1 par PS. Le temps de recherche de la solution approximative du ModèleALCM est environ 2557s pour ARSCM. Le temps de recherche d'une configuration radiale optimale qui minimise les pertes (ModèleAPLM) est 52.77s pour le ModèleAPLM sur le support de la solution approximative du ModèleALCM. Le nombre d'organes de manœuvres placés dans le réseau du ModèleAPLM est 4 et la somme des pertes de puissance est égale à 15.80kW. Le coût total qui comprend le coût d'investissement (coût de câbles, tranchées, OM) plus le coût des pertes techniques de puissance sur la période de 25ans fournit par la solution optimale du ModèleAPLM : 610.64k€. Par rapport du réseau réel, ce coût est inférieur de 1.03% qui est 630.18 k

Conclusion

Pour cette conclusion, il a été développé différents modèles d'architectures de réseaux de distribution électrique (*de la commune rurale de Wonkifon*) dans ce chapitre 4. C'est ainsi chaque modèle a été formulé sous forme d'un problème d'optimisation combinatoire pour nous permettre de retenir un modèle. Ce sont les modèles suivants :

- Le Modèle de l'architecture du réseau de distribution de longueur minimale (Modèle_{ALM});
- Le Modèle de l'architecture du réseau de distribution des pertes minimales (Modèle_{ARPM}) ;
- Le Modèle de l'architecture du réseau de distribution de l'union des arborescences de flot de coût linéaire minimum (Modèle_{UAFCLM}) ;
- Modèle de l'Architecture de réseau de distribution de pertes minimales dans le réseau de distribution de longueur minimale (Modèle_{APLM}).

Il faut noter bien que les trois premiers (Modèle_{ALM}, Modèle_{APM}, Modèle_{UAFCLM}) sont des modèles d'optimisation mono-objectif et le Modèle_{APLM} a pour objectif la minimisation de la longueur et des pertes dans les réseaux électriques. Le Modèle_{ALM} a été formulé comme un cas particulier du problème de réseau de Steiner de poids minimum avec la fonction de l'exigence de la connexité ayant les valeurs 2 pour les sommets de charge et postes source. Ceci garantit la redondance de l'architecture du réseau, i.e. en cas d'une défaillance d'une centrale ou d'une ligne électrique tous les consommateurs restent connectés à la source d'énergie électrique. Pour la résolution du Modèle_{ALM} nous avons proposé une méthode de résolution optimale par la programmation linéaire en nombres entiers (PLNE_{SNDP}), ainsi qu'un algorithme d'approximation garantie de facteur 2 développé par Jain [102] (ARSCM).

Pour la conception de l'architecture du réseau de pertes minimales nous avons développé le

ModèleAPM. Il repose sur le problème de la recherche d'une configuration radiale qui minimise les pertes dans le réseau. Les méthodes de résolution présentées sont les suivantes : méthode optimale par la programmation quadratique en nombres mixtes et méthodes heuristiques par un des algorithmes AH1-AH2.

Le Modèle_{UAFLM} est formulé pour la conception du réseau équilibré par des produits P_xL en version linéaire. Il repose sur le modèle de flot de coût linéaire minimum. Le réseau recherché est l'union des arborescences de flot de coût minimum ayant les racines dans les postes source.

Pour la conception de l'architecture du réseau de distribution de longueur totale et de pertes minimales, nous avons proposé le Modèle_{APLM}. Il est décomposé en deux problèmes mono-objectif – minimisation de la longueur avec les contraintes sur la distribution du courant

(Modèle_{ALMC}¹) et minimisation des pertes. Le support de la solution du Modèle_{ALMC} est un graphe 2-connexé dans lequel nous cherchons une configuration radiale qui minimise les pertes dans le réseau en utilisant le modèle convexe pour le problème de reconfiguration.

Les résultats numériques de résolution des modèles présentés ont été décrits dans la section .Les tests ont été faits sur le cas d'étude d'un réseau réel d'une ville du sud-est de la France, ainsi que sur les instances de test générés aléatoirement. La solution de l'algorithme approximatif de la recherche du réseau de Steiner minimum (ARSCM) pour l'architecture du réseau de longueur minimum sur les données de réseau réel est à 0.5% de l'optimum, ainsi que sur les instances de graphes planaires maximaux sa solution est à 0.6% de l'optimum en moyenne.

Les architectures de réseaux de distribution construites avec les Modèle_{ARPM} et Modèle_{UAFLM} fournissent les solutions ayant les pertes totales inférieures aux solutions du Modèle_{ALM}, mais ayant la longueur totale des lignes qui est plus grande par rapport à la solution du Modèle_{ALM}. Sur le cas du réseau réel, le rapport de la longueur des réseaux du Modèle_{ARPM} et Modèle_{ALM} est environ 2.81 et du Modèle_{UAFLM} par rapport de Modèle_{ALM} est 2.73 C'est pourquoi le Modèle_{APLM} fondé sur le Modèle_{ALMC} a été retenu comme la méthode la plus performante pour la minimisation de la fonction économique de coût pour la conception de l'architecture de réseau de distribution électrique.

La solution du Modèle_{APLM} sur l'instance de données du réseau réel a été obtenue sur le support de la solution approximative de PL_{SNDP}. La solution obtenue pour les charges évaluées à l'année 25 vérifie les contraintes de la tension et du courant maximal. Le coût total du réseau de la solution est de 1.03% meilleur par rapport au coût du réseau existant. Le réseau obtenu contient au total 4 organes de manœuvre. La somme des pertes à la pointe à l'année 0 est égal 15.80kw

Ainsi, à travers une approche rétrospective et prospective, la présente étude montre que les réformes dans le secteur de l'énergie ne répondent pas aux attentes de la communauté des zones



rurale en République de Guinée ; ce qui justifie le nonaccès des communautés rurales a une qualité de l'énergie électrique .

Il s'agit enfin d'orienté le choix du modèle : Architecture du Réseau de Distribution de Pertes Minimum dans le Réseau de Longueur Minimum (Modele_{APLM}) en République de Guinée pour une production de qualité d'énergie électriques et l'accès facile à cette production dans les communes rurales. Cet accès à l'électricité contribuera à la reduction de la pauvreté et mettra fin à l'exode rurale.



BIBLIOGRAPHIE

- A. L'Abbate, G. Fulli, F. Starr & S. Peteves, (2008) «European Commission, JRC Report. Distributed Power Generation in Europe: Technical Issues for Further Integration, ». [En ligne]. Available: http://ie.jrc.ec.europa.eu/publications/scientific_publications/2008/EUR23234E N.p df.
- B. Enacheanu, (2007) «Outils d'aide à la conduite pour les opérateurs des réseaux de distribution, » Grenoble.
- B. Korte & J. Vygen, (2010) Optimisation combinatoire Théorie et algorithmes, Paris Berlin: Springer.
- C. Rapine, (2011) Théorie des Graphes, Grenoble: INPG,.
- CRE, «Réseaux publics d'électricité, Description générale,» [En ligne]. Available: <http://www.cre.fr/reseaux/reseaux-publics-d-electricite/description-generale>.
- D. B. M. M. Fontes, (2007) «Optimal flow trees for networks with general nonlinear arc costs,» *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 40, n° 3, pp. 321-340,.
- ElCom, (2011) «Qualité de l'approvisionnement électrique en 2010,» Commission fédérale de l'électricité.
- ERDF, (2012.) «Dossier de presse : Smart Grids les Réseaux Electriques Intelligents,» [En ligne]. Available: www.erdf.fr/medias/dossiers_presse/DP_ERDF_260612.pdf.
- (ENTSO-E), « European Network of Transmission System Operators for Electricity,» [En ligne]. Available: <http://entsoe.eu>.
- European Commission,(2008) . «Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Second Strategic Energy Review,» *An EU Energy Security and Solidarity Action Plan*, n° COM(2008) 781,
- European Commission, (2009) «Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, Report on progress in creating the internal gas and electricity market, COM (2009) 115, ».
- ERDF, «Fonctionnement du réseau électrique,» [En ligne]. Available: http://www.erdf.fr/fonctionnement_du_reseau. [24] ERDF, «Histoire du réseau de distribution de l'électricité,» [En ligne]. Available: http://www.erdf.fr/ERDF_Histoire.
- G. Thompson & D. Wall, (1981) «A Branch and Bound Model for Choosing Optimal Substation Locations, » *IEEE Trans PAS*, vol. 100, n° 5.
- H. M. Kodr, Z. Vale & C. Ramos, (2009) «Optimization Techniques for Power Distribution Planning with Uncertainties: A Comparative Study, » chez *Power & Energy Society General Meeting, IEEE, PES 09*,.
- International Energy Agency, (2011) «Technology Roadmap Smart Grids,» IEA, Paris,.



- J. Zhu & H. Ren, (2010) «Improved ant colony algorithm for Power Distribution Network Planning, » chez Advanced Computer Control (ICACC), 2010 2nd International Conference, Shenyang.
- J. A. Taylor & F. S. Hover, (2012) «Convex Models of Distribution System Reconfiguration,» IEEE Transactions on Power Systems,.
- L. C. Lau, R. Ravi & M. (2011) Singh, Iterative Methods in Combinatorial Optimization, Cambridge University Press.
- M. C. Alvarez-Hérault, (2009) «Architectures des réseaux de distribution du futur en présence de production décentralisée,» Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- M. M. Gondran Michel, Graphes & algorithmes, Tec & Doc Lavoisier; (2009) Édition : 4e édition.
- M. Grötschel, L. Lovász & A. Schrijver, (1981) «The ellipsoid method and its consequences in combinatorial optimization,» *Combinatorial I*, pp. 70-89,.
- P. Carrive & A. Doulet, «Réseaux de distribution,» Ed. Techniques Ingénieur. [En ligne].
- RTE,(2014) «Séminaire de presse. Les enjeux européens: "Les réseaux électriques à l'heure de la transition énergétique",» Service de presse de RTE, La Défense, Commission de régulation de l'énergie (CRE), «Smart grids - CRE,» [En ligne]. Available: www.smartgrids-cre.fr.
- REALISEGRID, «FP7 Project,» [En ligne]. Available: <http://realisegridd.cesiricerca.it>.
- S. Khuller & U. Vishkin, (1994) «Biconnectivity approximations and graph carvings,» *J. ACM*, vol. 41, n° 2, p. 214–235.
- Schneider Electric, «les réseaux de distribution publique MT dans le monde,» [En ligne]. Available:www2.schneiderelectric.com/documents/technicalpublications/fr/shared/electrotechnique/reseauxelectriques/haute-tension-plus-1kv/.
- S. Ray, (2006) *Electrical Power Systems: Concepts, Theory and Practice*, PHI Learning Pvt. Ltd.,.
- S. Drewes, (2009)«Mixed Integer Second Order Cone Programming,» Ph.D. dissertation Darmstadt,.
- T.R.Brooking, N.Janse Van Rensburg, R.J.Fourie, (1992) « The improved utilisation of existing rural networks with the use of intermediate voltage and single wire earth return systems » IEEE
- Technique de l'ingénieur, Condensateurs de puissance (d4 710), 1996.
- Technique de l'ingénieur, Postes à moyenne tension (d 4600), 1996.
- V. Kekatos, W. Gang & G. Giannakis, (2014)«Stochastic loss minimization for power distribution networks,» chez *North American Power Symposium (NAPS, Pullman, WA,*.
- V. L. Boyd Stephen, (2004) *Convex Optimization,*: Cambridge University Press.
- Y. Crama, (2005) «Compléments de RO - Graphes & Optimisation Combinatoire,» HEC - Ecole de Gestion de l'Université de Liège.