

Modélisation et optimisation de l'architecture des réseaux de distribution électrique par graphe planaire en Guinée :Cas de la Zone Rurale de Wonkifon-prefecture de Coyah

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

Mohamed Lamine KOUROUMA

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

Mohamed FOFANA

Enseignant chercheur à l'Université Gamal Abdel Nasser de Conakry
Département Génie Mécanique

Salifou TOURE

Enseignant chercheur à l'Université Gamal Abdel Nasser de Conakry,
Doctorant au CERESCOR-GUINEE

Kabine CAMARA

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

Idrissa DIABY

Codirecteur de these responsable de Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en
Energétique Appliquée (I.E.R.E.A) à l'université Gamal Abdel Nasser de Conakry
(U.G.A.N.C)

Maxime HENARDE

Directeur de thèse responsable à FIEP
Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Energétique Appliquée (I.E.R.E.A) à
l'université Gamal Abdel Nasser de Conakry (U.G.A.N.C)

Date de soumission : 15/08/2024

Date d'acceptation : 22/10/2024

Pour citer cet article :

KOUROUMA. M.L. & al. (2024) «Modélisation et optimisation de l'architecture des réseaux de distribution électrique par graphe planaire en Guinée :Cas de la Zone Rurale de Wonkifon-prefecture de Coyah», Revue Internationale du chercheur «Volume 5 : Numéro 4» pp : 56-77

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 par le graphe planaire ; sur l'étude des outils et méthodes de résolution afin d'optimiser l'architecture des réseaux de distribution électrique. Elle s'appuiera également sur la conception des réseaux électriques fiables basée sur la formulation du problème, l'algorithme itératif 2 Approximation, les modèles de l'architecture représentant les réseaux électriques de distribution de longueur minimale, aussi les modèles de l'architecture représentant des réseaux de distribution électriques des pertes minimales (algorithme de conception des pertes minimales), modèle de l'architecture (union des arborescences à coût linéaire). Ainsi nous avons obtenu des résultats numériques des différents réseaux de distributions électriques (Longueur minimale (Modèle_{ARLM}), des pertes minimum (Modèle_{ARPM}), union des arborescences (Modèle_{UAFCLM}). Avec des analyses des résultats obtenus afin nous avons retenus la méthode de distribution électrique avec pertes minimum à travers une architecture qui contient 12 sommets de charge qui représentent une puissance active totale de 2100kW, de 10 nœuds d'intersection, 29 sections de rues, un poste source HT /MT. Le graphe du réseau potentiel est constitué de 30 sommets et 35 arêtes.

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

Summary

This study is based on the development of different architectural models of the electrical distribution network in the rural commune of Wonkifong, prefecture of Coyah-Guinea using the planar graph; on the study of resolution tools and methods in order to optimize the architecture of electrical distribution networks. It will also be based on the design of reliable electrical networks based on the formulation of the problem, the iterative algorithm 2 Approximation, the architectural models representing the electrical distribution networks of minimum length, also the architectural models representing the distribution networks electrical minimum losses (minimum loss design algorithm), architectural model (union of linear cost flow trees). Thus we obtained numerical results of the different electrical distribution networks (minimum length (Modèle_{ARLM}), minimum losses (Modèle_{ARPM}), union of trees (Modèle_{UAFCLM}). With analyzes of the results obtained in order we retained the method of electrical distribution with minimal losses through an architecture which contains 12 load vertices which represent a total active power of 2100kW, 10 intersection nodes, 29 street sections, an HT/MV source station. The graph of the potential network is made up of 30 vertices. And 35 edges.

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

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 a 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 par le graph planaire. »**

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 par graph planaire 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 par graph planaire 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.

• Questions de recherche

Modéliser et Optimiser l'architecture des réseaux de distribution électrique en zone rurale par le graphe planaire ?

• 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 par le graphe planaire assurerait la qualité de connexion et la sécurité électrique en milieu rural.

1. Matériel et Méthodes

1.1 Matériel

1.1.1 Zone d'étude

La sous prefecture de Wonkifong est dans la prefecture 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 63,4 hab /km², à comparer à la densité dans la totalité du pays , de 49,2 hab/km². Les principales ressources sont l'agriculture, l'extraction du sel et de la pêche.

Fig. 1.1 La carte de la Guinée (La sous-préfecture de wonkifong) [Wikipédia]



La sous-préfecture de wonkifong.

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 par le graphe planaire 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

Pour tester l'efficacité des méthodes proposées sur la conception des architectures de réseaux de distribution électrique, nous avons développé un ensemble de réseaux de test. Et supposé les graphes planaires maximaux comme les instances de test. Les données sont l'ensemble des points représentant le poste source HT/MT et les charges (postes HT/BT) avec les coordonnées géographiques sur un plan les reliant d'une manière efficace (optimale) par des arêtes en respectant l'ensemble des contraintes. Pour ce cas, il n'y a pas de prescription sur le placement des lignes et on est libre dans le choix de la topologie du réseau (sous le respect des contraintes). Nous représentons le réseau sous forme d'un graphe planaire maximal appelé " graphe initial " contenant toutes les lignes potentielles du réseau représentées par des arêtes du graphe. Pour sa construction, nous utilisons l'algorithme de la triangulation de Delaunay [47], [14].

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. L'application du modèle $PLNE_{SNBP}$ pour un graphe planaire contenant 25 sommets dont deux postes sources, 5 sommets de charge ayant l'exigence de connexité 2 et des nœuds d'intersection sans une charge ayant l'exigence de connexité 0. Ainsi toutes arrêtes ont une même longueur. Les arrêtes bleues représentent la solution optimale qui est un chemin entre deux postes sources passant par les sommets des charges et par les sommets intermédiaire (nœuds d'intersection) voir la figure ci-dessous :

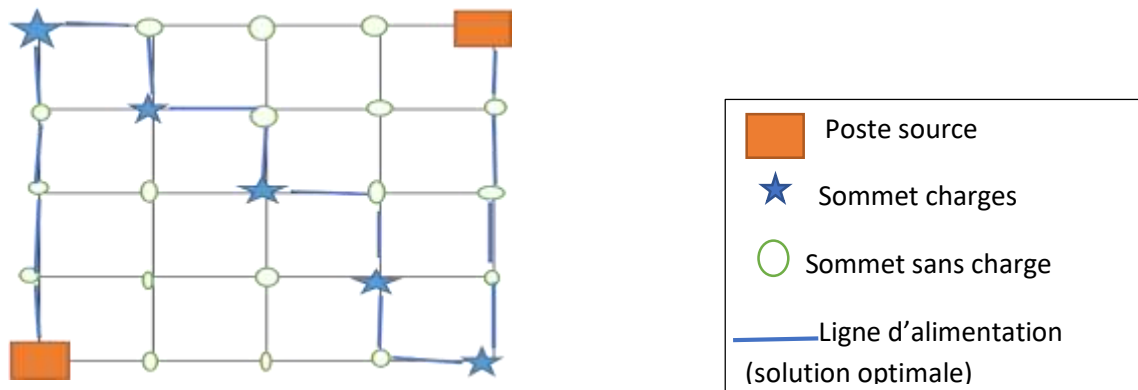


Fig. 2.1 Représentation de la solution optimale du modèle $PLNE_{SNDP}$ dans un graphe avec 2 postes sources et 5 sommets de charges et 18 sommets sans charge.

Modèles de l'architecture : Réseau électrique de distribution des pertes minimales :

Pour les modèles de l'architecture d'un réseau électrique de distribution des pertes minimales, nous montrons une méthode de la conception de l'architecture de réseau électrique ayant pour objectif de la minimisation des pertes. Ainsi nous avons les pistes générales de cette approche à savoir :

- Augmenter, formuler et résoudre un modèle du problème de la recherche d'une structure arborescente optimale pour la minimisation des pertes dans un réseau électrique existant
- Augmenter, formuler et résoudre un modèle pour le problème de la conception d'une nouvelle architecture de réseau électrique où les pertes sont minimales. Nous avons le modèle convexe exact [104] du problème de reconfiguration. Nous avons y présenté une formulation exacte en termes de programmation quadratique en nombres entiers, ainsi que les différents algorithmes heuristiques.

Ainsi, pour le modèle de conception de l'architecture du réseau des pertes minimales (ARPM), le choix de la méthode (exacte ou heuristique) de la recherche d'une structure arborescente minimisant les pertes dépendra de la taille de l'instance des données. Pour les réseaux électriques de petite taille moins de 200 nœuds de charge, nous utilisons une formulation convexe exacte du problème de reconfiguration ; pour les grands réseaux électriques, nous cherchons une configuration par un des algorithmes heuristiques parmi (AH1-AH3).

Pour cette raison, l'idée de l'algorithme AARPM est fondée sur la recherche dans le graphe du réseau électrique envisageable d'un sous-graphe 2-connexe complément pour l'arborescence des pertes minimales. C'est-à-dire que quelle que soit la défaillance d'une ligne dans le réseau

électrique exploité en régime normal en configuration radiale de pertes minimales, il existe une autre configuration minimisant les pertes dans le réseau électrique telle que les contraintes technologiques du problème sont authentifiées.

Algorithme de conception de l'architecture du réseau des pertes minimales

Pour algorithme de conception de l'architecture du réseau électrique des pertes minimales, un réseau électrique de distribution contenant toutes les lignes réalisables matérialiser par un graphe planaire non orienté pondéré $G' = (X, E)$. Ainsi nous le transformons en un graphe orienté $G = (X, A)$ symétrique (une arête est remplacée par deux arcs opposés). Puis on ajoute un sommet particulier s (nœud fictif – une “super source”) relié aux postes sources. S’il n’y a qu’un seul poste source dans le réseau, on l’appelle s (sans ajouter le nœud fictif). On relie à chaque arc de A deux valeurs fixes : la résistance r_{ij} et la réactance x_{ij} de la ligne (i, j) , qui sont identiques pour les deux sens. Les demandes fixes de la puissance active p_i et réactive q_i sont définies sur les sommets de X . Avec l’octroi des variables au graphe G , nous faisons pour le problème OPF-cr : à chaque arc de A on relie les variables de la puissance active P_{ij} et réactive Q_{ij} et le module carré du courant l_{ij} ; à chaque sommet de X nous associons les variables de la tension v_i ; les variables de la génération de la puissance active et réactive dans le sommet de source s sont définies par p_0 et q_0 .

Pour les variables de la puissance active P_{ij} et réactive Q_{ij} et du courant l_{ij} passant par les arcs (i, j) et (j, i) , on autorise $P_{ij} \neq P_{ji}$, $Q_{ij} \neq Q_{ji}$ et $l_{ij} \neq l_{ji}$, mais au plus un des deux arcs (i, j) ou (j, i) sera dans le graphe de la solution. On introduit les variables binaires e_{ij} qui signifient que l’arc (i, j) appartient à la solution si $e_{ij} = 1$ et 0 excepter. Estimons dans G le sous-graphe 2-connexe F qui est l’union des sous-graphes ci-dessous :

- Pour les arborescences des pertes minimales et son graphe symétrique correspondant $H = (X_H, A_H)$, où $X_H \subseteq X$ et $A_H \subseteq A$;
- Pour les arborescences des pertes minimales et leurs graphes symétriques correspondants

$H' = (X_H, A'_H)$, où $A'_H = (A_H \setminus \{e_{u,v}^i, e_{v,u}^i\}) \cup W^i$, $W^i \subseteq A \setminus A_H$, $e_{u,v}^i, e_{v,u}^i \in A_H$, $i = 1, \dots, m = |A_H|$.

En considérant la Substitution des arcs de ces graphes par des arêtes non orientées et en appelant F l’union de ces sous-graphes. Ainsi pour la construction F est 2-connexe. Pour trouver une arborescence des pertes minimales nous utilisons, en fonction de la taille de l’instance, une des méthodes de résolution du problème de reconfiguration. A la première itération ($i = 0$) de l’algorithme, nous posons $F = \emptyset$ et nous cherchons dans G une arborescence avec son graphe symétrique correspondant H qui a les valeurs des pertes minimales. En ajoutant

on a dans le graphe de la solution F les arêtes correspondantes de cette arborescence on a, à chaque itération $i=1, \dots, m$, nous supposons qu'une ligne représentée par une paire d'arcs $e_{u,v}^i, e_{v,u}^i \in A_H$ entre les nœuds u et v est tombée en panne. Nous cherchons donc une autre arborescence de pertes minimales avec son graphe symétrique correspondant $H^i = (X_H, A_H^i)$ qui contient l'ensemble d'arcs $A_H \setminus \{e_{u,v}^i, e_{v,u}^i\}$ dans le graphe $G^i = (X, A \setminus \{e_{u,v}^i, e_{v,u}^i\})$ et modifions le graphe du réseau final comme $F = F \cup H^i$. L'ensemble d'arcs W^i représente des nouvelles lignes ajoutées dans le réseau à l'itération i . Les organes de manœuvre pourront donc être placés sur les arcs de l'ensemble $\bigcup_{i=1}^{A_H} W^i$. On répète la procédure pour toutes les paires d'arcs $\{e_{u,v}^i, e_{v,u}^i\} \in A_H$ de l'arborescence des pertes minimales H . Le graphe F du réseau de la solution finale va contenir l'union des arborescences de pertes minimales.

Il apparaîtra dans la partie des résultats numériques que l'application de la méthode exacte pour la recherche d'une arborescence des pertes minimum demeure énorme plus coûteuse par rapport aux algorithmes heuristiques AH1 et AH2. Ainsi pour l'algorithme AH3, il repose sur la résolution du programme en nombres entiers. A titre d'exemple : la solution acquise par l'algorithme AARPM est justifiée voir ci-dessous la figure : On donne un graphe planaire symétrique contenant 25 sommets, dont deux sommets de postes source, 5 sommets bleus représentent les sommets de charge (en PQ) ayant les mêmes valeurs et les sommets blancs sont des sommets intermédiaires sans charges. Les mêmes valeurs de résistance et de réactance sont attribuées à tous les arcs. Les arcs bleus représentent la structure radiale optimale pour la minimisation des pertes (en régime d'exploitation normal) ayant 2 composants connexes connectés aux postes sources. Sur la figure b) le graphe du réseau final est affiché où les lignes jaunâtres représentent des lignes avec des organes de manœuvre normalement ouverts en régime d'exploitation normal. Il contient l'union des structures radiales optimales construites par l'algorithme AARPM. Ainsi nous obtenons dans cet exemple, le réseau final de la solution va contenir toutes les arêtes du graphe.

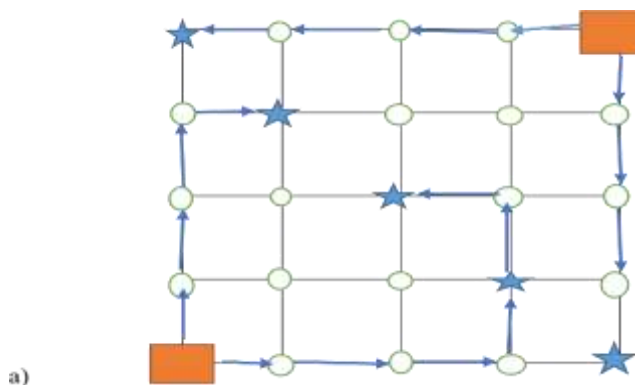


Fig. 2.2 Représentation d'une architecture radiale optimale pour la minimisation des pertes trouvée par la résolution du modèle convexe exact du problème de reconfiguration.

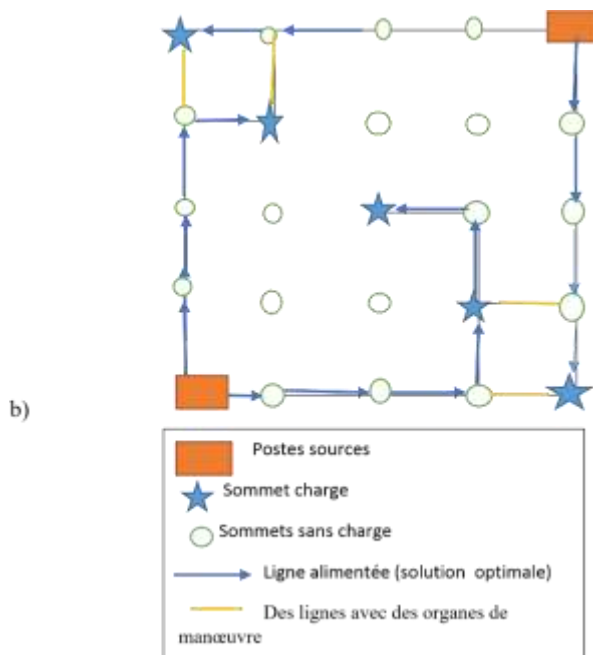


Fig. 2.3 Représentation de l'architecture du réseau final trouvé par l'algorithme **AARPM**.

Nous avons obtenus une architecture du réseau optimal par l'algorithme de conception de l'architecture du réseau des pertes minimales (**AARPM**) à travers notre exemple avec des données suivantes : contenant 25 sommets , dont deux sommets de postes source, 5 sommets de charge ainsi nous aborderons le modèle de l'architecture d'union des arborescences de flot de couts linéaire minimum.

Modèle de l'architecture : Union des arborescences de flot de cout linéaire minimum

Pour le modèle de l'architecture union des arborescences de flot de cout linéaire minimum ainsi dans ce sous chapitre, nous afficherons un modèle linéaire pour estimer une architecture du réseau électrique où les produits $P \times L$ (*puissance $\times$ longueur*) seront égalisés. Cette égalisation est un critère de qualité de service. Nous exposons de repartir le réseau électrique en zones (*l'ensemble de sous-graphes arête-disjoints*) avec la somme des demandes de la puissance multipliée par la somme des longueurs des lignes équivalentes. Nous avançons une déclaration fondée sur le modèle de flot de coût minimum.

Considérons un graphe planaire, orienté, symétrique et connexe $G = (V, A)$ qui représente le réseau électrique de distribution contenant des lignes envisageables. L'ensemble V contient l'ensemble de sommets représentant les nœuds de charge ($S \subseteq V$), les postes sources HTB/HTA

$(H \subseteq V)$ et les nœuds sans charge. Nous avons les intersections des lignes $(X \subseteq V)$ comme les croisements des rues sur le plan géographique par exemple. L'ensemble A contient toutes les paires d'arcs (i, j) et (j, i) entre des sommets i et j pour tout $i, j \in X$. Tous les arcs (i, j) sont pondérés par des distances euclidiennes entre les nœuds i et j (longueurs de la ligne électrique (i, j)), i.e.

La fonction des coûts est définie sur l'ensemble des arcs du graphe comme $c : A \rightarrow \mathbb{R}^+$ ainsi nous attribuons à chaque sommet de charge $j \in X$ les demandes positives constantes de la puissance active p_j . Pour cette idée clé de l'algorithme est la suivante : développement de l'architecture nommée *Union des arborescences de flot de coût linéaire minimum* (AAFCLM). Nous résolvons k ($k=|H|$) problèmes indépendants de la recherche du flot de la puissance de coût minimum envoyé depuis le poste source $s_i \in H$ ($i = 1, \dots, |H|$), vers les sommets de charge. Ainsi le support de la solution de chaque problème est une arborescence avec la racine dans le sommet du poste source $s_i \in H$ ($i = 1, \dots, |H|$). Avec l'union des arbres couvrants correspondant à ces arborescences sera la solution finale de l'algorithme de la conception de l'architecture de réseau électrique. Un sous problème de la recherche d'un flot de coût linéaire minimum pour la source définie dans le sommet $s_i \in H$ ($i = 1, \dots, |H|$) est déterminé par l'expression ci-dessous :

$$\min \sum_{a \in A} c_a f_a$$

$$a) \sum_{a \in \delta^-(v)} f_a - \sum_{a \in \delta^+(v)} f_k = d_i \quad \forall v \in V \setminus s_i \quad (2.1)$$

$$b) f_a \in \mathbb{R}^+, c_a > 0, \forall a \in A$$

C'est ainsi nous pouvons décrire les contraintes du programme linéaire de flot de coût linéaire minimum de notre expression ci-dessus comme suit :

a) les contraintes de conservation de flot envoyé depuis le sommet poste sources s_i écrites pour tous les sommets $v \neq s_i$

b) un domaine de définition des variables de flot f_a et les bornes sur les coûts fixes c_a . Ainsi le support de la solution du programme (2.1) est une s_i -arborescence A_i . Le support de la solution de l'algorithme sera l'union des arbres couvrants correspondant aux arborescences A_i . Nous présentons la description formelle de l'algorithme comme ci-dessous.

Instance

- La Graphe symétrique $G = (V, A)$ du réseau potentiel, $|V|=n$, l'ensemble de sommets représentant les postes sources $H \subseteq V$, avec $|H| = k$, la fonction de coût (la distance) sur les arcs $c : A \rightarrow \mathbb{R}^+$, le vecteur $p = (p_1, p_2, \dots, p_{n-k}) \in \mathbb{R}^+$ des demandes constantes de la puissance active définies sur les sommets de $V \setminus (SUH)$.

Objectif

- Pour Trouver un sous-graphe connexe F de G contenant l'union de k arborescences de flot de coût linéaire minimum.

Algorithme AAFCLM

- Initialisation $F = \emptyset$
Lorsque $i = 1, \dots, k$ répéter :
 - Pour trouver le flot de coût minimum envoyé depuis le sommet de source s_i . A^i est le support de la solution dans le graphe G à l'itération i ; il faudrait résoudre le programme de notre expression (4.7).
 - Pour modifier le graphe de la solution finale $F = F \cup A^i$. Pour Retourner F .

Le fonctionnement de l'algorithme **AAFCLM** est représenté sur les figures ci-dessous. Nous utilisons les mêmes données comme dans nos exemples précédents : le graphe planaire symétrique contenant 25 sommets, dont deux sommets de postes source, 5 sommets bleus étoilés avec la demande de la puissance active non nulle de même valeur et les sommets blancs sont des sommets intermédiaires sans charges (demande nulle). À tous les arcs, on a attribué les mêmes coûts fixes par des longueurs d'arcs. Sur les figures ci-dessous sont représentées les arborescences de flot de coût linéaire minimum envoyé depuis les racines des postes sources.

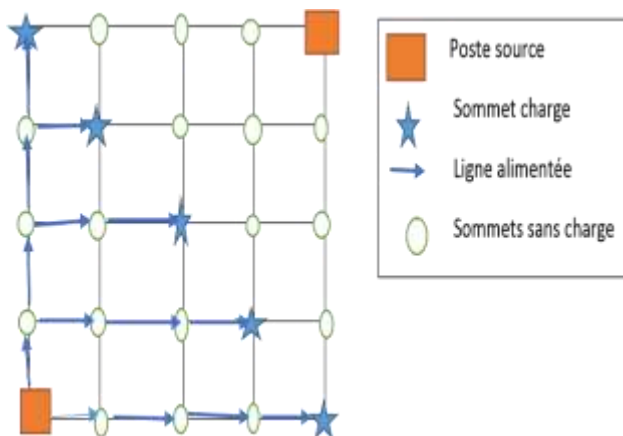


Fig.2.4 Représentation d'une arborescence de la solution du flot de cout linéaire minimum avec le sommet de la première poste de source .

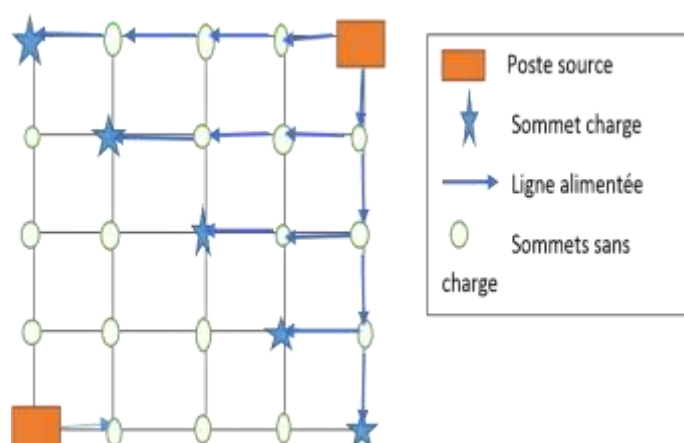


Fig. 2.5 Représentation d'une arborescence de la solution du flot de cout linéaire minimum avec le sommet de la seconde poste de source.

Alors nous obtenons le graphe du réseau électrique de la solution de l'algorithme AAFCLM regroupant les sommets de la première et des secondes postes de source représentant d'une arborescence de la solution du flot de cout linéaire minimums voir figure ci-dessous :

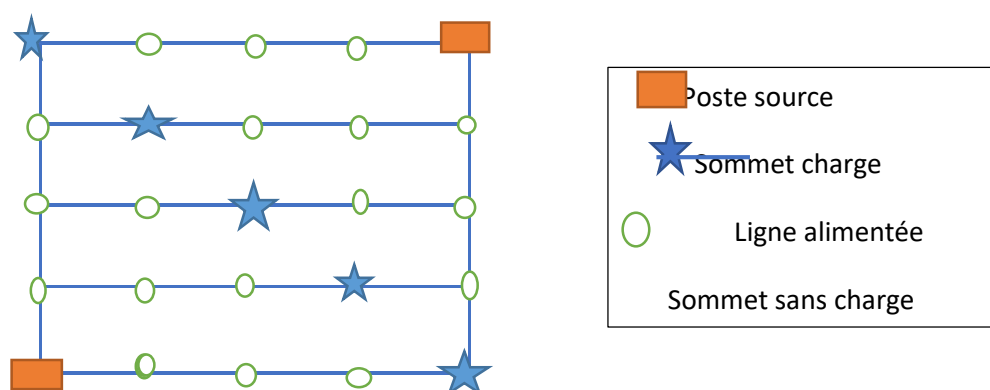


Fig. 2.6 Représentation du graphe de la solution obtenue par l'algorithme AAFCLM

Les inconvénients de programme de l'algorithme AAFCLM par ce qu'il ne garantit pas la 2-connexité du graphe de la solution. l'exemple ci-dessous nous édifie montrant l'intersection des ensembles d'arcs des deux flots de cout linéaire minimum ayant les valeurs différent de zéro aussi non vide peut être .

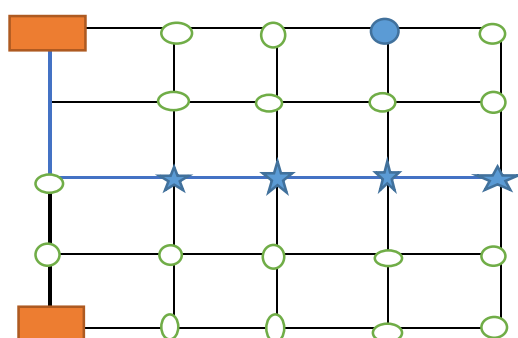


Fig.2.7 Représentation une Arborescence de la solution du flot de coût linéaire minimum avec la racine dans le sommet du premier poste source.

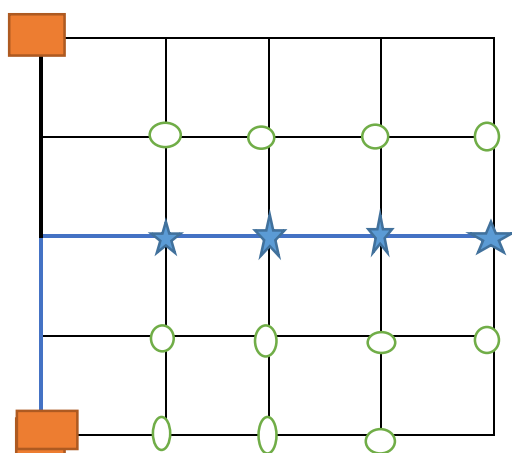


Fig.2.8 Représentation une Arborescence de la solution du flot de coût linéaire minimum avec la racine dans le sommet du second poste source.

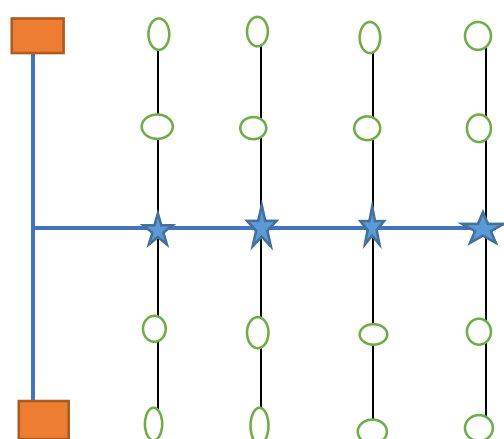


Fig.2.9 Représentation du sous-graphe connexe de la solution de l'union de deux flots de coût linéaire minimum trouvés par l'algorithme AAFCLM.

Alors dans les cas où le support de la solution de l'algorithme **AAFCLM** est un graphe 1-connexe, nous pouvons le compléter jusqu'à un graphe 2-connexe par un sous-ensemble d'arêtes du graphe initial en appliquant le modèle de la conception d'un graphe 2-connexe de poids minimum. Pour cela, il faut ajouter dans le modèle du réseau de Steiner de poids minimum les contraintes supplémentaires $x_e = 1, \forall e \in F$, où F est l'ensemble d'arêtes du graphe de la solution **AAFCLM**. La solution finale dans ce cas sera un graphe 2-connexe. Elle est montrée sur la figure ci-dessous.

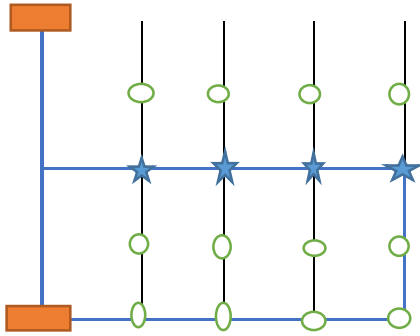


Figure 2.10 : Représentation du Graphe de la solution AAFCLM complété jusqu'à un graphe 2-connexe en utilisant le modèle du problème de réseau de Steiner de poids minimum.

Modèle de l'architecture : pertes minimum dans le réseau de distribution de longueur minimale

Pour le modèle de l'architecture des pertes minimum dans le réseau de distribution de longueur minimale, nous présentons le modèle d'architecture du réseau de distribution électrique ayant comme objectif la minimisation de la longueur totale des lignes électriques, ainsi que la minimisation des pertes. Ce chemin consiste à examiner le problème initial en deux problèmes mono-objectif et à utiliser le support de la solution du premier problème pour la résolution du deuxième problème. Pour la construction d'un réseau électrique de longueur minimale, nous présentons le modèle dans le graphe symétrique comme pour le $\text{Modèle}_{\text{ALM}}$ avec les mêmes notations. Ainsi nous présentons le modèle $\text{PLNE}_{\text{SNDP}}$ (pour la résolution optimale en nombre entier, et PL_{SNDP} pour la résolution approximative) en augmentant les contraintes sur la distribution du courant électrique dans les lignes électriques, i.e. les contraintes de capacité des lignes. Après nous cherchons dans ce graphe 2-connexe obtenu une configuration radiale qui minimise les pertes dans le réseau électrique en utilisant le modèle convexe pour le problème de reconfiguration.

Pour la conception de l'architecture du réseau de distribution de la longueur totale et des pertes minimum, nous avons proposé le $\text{Modèle}_{\text{APLM}}$. Il est décomposé en deux problèmes monoobjectifs – minimisation de la longueur avec les contraintes sur la distribution du courant ($\text{Modèle}_{\text{ALMC}}$) et minimisation des pertes. Le support de la solution du $\text{Modèle}_{\text{ALMC}}$ est graphe 2connexe dans lequel nous cherchons une configuration radiale qui minimise les pertes dans le réseau en utilisant le modèle convexe pour le problème de reconfiguration.

La solution du $\text{Modèle}_{\text{APLM}}$ 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 de la solution est à 0.24% mieux par rapport de coût du réseau existant.

Conclusion

Pour cette conclusion, il a été développé différents modèles d'architectures de réseaux de distribution électrique (*de la commune rurale de Wonkifon*) . 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_{SNBP}), 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 Modèle_{APM}. 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_{UAFCLM} 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-connexe 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_{UAFLMC} 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_{UAFLMC} 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 rurales en République de Guinée ; ce qui justifie le nonaccès des communautés rurales à une qualité de l'énergie électrique.

Il s'agit enfin d'orienter le choix du modèle : Architecture du Réseau de Distribution de Pertes Minimum dans le Réseau de Longueur Minimum (Modèle_{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 réduction 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/EUR23234EN.pdf.
- 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 1*, 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://realisegrid.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.