

Choix optimal des équipements entrant dans l'implémentation d'un réseau électrique en utilisant une des méthodes métaheuristiques: Algorithme génétique

[Optimal choice of equipment for the implementation of an electrical network using one of the metaheuristic methods: Genetic algorithm]

Ndjiya Ngasop¹⁻², Ernest Kiata²⁻³, and Dendjeu Steve Arthur¹⁻²

¹Department of Electrical Engineering, Energy and Automation, National School of Agro-Industrial Sciences, University of Ngaoundere, Cameroon

²Laboratory of Energy, Signal, Imagery and Automation (LESIA), ENSAI, University of Ngaoundere, Cameroon

³Laboratory of Information and Communication Technologies, Protestant University of Central Africa, Yaounde, Cameroon

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: With the increasing demand for electrical energy, the design of electrical networks is becoming more and more complex to operate according to standards. The choice of devices for the installation of an electrical network would lead to many consequences such as loss of power, deterioration of the line due to overvoltages, etc. As a result, there are several methods of solving difficult problems, including metaheuristic methods. These methods, which appeared in the 1980s, are inspired by natural systems such as the particle swarm (PSO), the ant colony (ACO) and the genetic algorithm method (AG). The latter is a global research and optimization technique that is based on the mechanisms of natural selection and genetics, which can simultaneously search for several possible solutions. In this work, it is a question of proposing a program based on a metaheuristic method which will make it possible to optimally choose the elements of an electrical network. To do this, we first used the parameters of the Cameroonian North Interconnected Network (RIN) the proposed a program based on a genetic algorithm that we simulated with the characteristics of the latter using the MATLAB software in order to choose the best devices (conductors, insulators, pylons) for its implementation.

KEYWORDS: electrical network, optimization, metaheuristics, genetic algorithm, implementation.

RESUME: Avec la demande croissante de l'énergie électrique, la conception des réseaux électriques devient de plus en plus complexe à opérer selon les normes. Le mauvais choix des dispositifs pour l'implantation d'un réseau électrique entraînerait de nombreuses conséquences telles que les pertes de puissances, la détérioration de la ligne due aux surtensions, etc. De ce fait, il existe plusieurs méthodes de résolution des problèmes difficiles parmi lesquelles les méthodes métaheuristiques. Ces méthodes apparues dans les années 1980 sont inspirées des systèmes naturels tels que l'essaim des particules (PSO), la colonie des fourmis (ACO) et la méthode d'algorithme génétique (AG). Cette dernière est une technique de recherche et d'optimisation globale qui est basée sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique, pouvant rechercher simultanément plusieurs solutions possibles. Dans ce travail, il est question de proposer un programme basé sur une méthode métaheuristique qui permettra de choisir de façon optimale les éléments d'un réseau électrique. Pour ce faire, nous avons d'abord utilisé les paramètres du Réseau Interconnecté Nord (RIN) Camerounais puis, proposé un programme basé sur algorithme génétique que nous avons simulé avec les caractéristiques de ce dernier à l'aide du logiciel MATLAB afin de choisir les meilleurs dispositifs (conducteurs, isolateurs, pylônes) en vue de son implémentation.

MOTS-CLEFS: réseau électrique, métaheuristique, optimisation, algorithme génétique, implémentation.

1. INTRODUCTION

Depuis plus d'une vingtaine d'années, une attention toute particulière est portée sur l'étude de réseaux électriques afin d'améliorer leur dimensionnement, leur qualité et leurs performances. L'industrialisation et la croissance de la population sont les premiers facteurs pour lesquels la consommation de l'énergie électrique augmente régulièrement [1]. Ainsi, pour avoir un équilibre entre la production et la consommation, il est nécessaire d'augmenter le nombre des centrales électriques, des lignes et de transformateurs [1]. A l'origine, le réseau électrique a été construit et dimensionné pour transporter l'énergie électrique produite par les centres de production jusqu'aux centres de consommation les plus éloignés. Les réseaux d'électricité ont été conçus dans le but de veiller à l'optimisation de la disponibilité de l'énergie électrique aux consommateurs. L'accroissement de la taille et de la complexité des réseaux est dû au développement des interconnexions et tient compte de l'amélioration de la qualité demandée par des clients plus exigeants [2]. Cependant avec la demande croissante de l'énergie électrique, la conception des réseaux électriques devient de plus en plus complexe à opérer dans les normes de la qualité énergie électrique [3]. Avec la demande croissante de l'énergie électrique, la conception des réseaux électriques devient de plus en plus complexe à opérer dans les normes de la qualité énergie électrique [3]. L'accroissement de la taille et de la complexité des réseaux est dû au développement des interconnexions et face à l'amélioration de la qualité demandée par des clients plus exigeants [2]. C'est ainsi qu'il se pose le problème de complexité du choix optimal des éléments constitutifs d'un réseau électrique. D'où l'intérêt d'opter pour les méthodes métaheuristiques dont les domaines d'application sont divers tels que l'optimisation de l'énergie électrique, la production et la gestion industrielle et la recherche opérationnelle [1], [4]. Les métaheuristiques sont des méthodes d'optimisation robustes apparues dans les années 1980 visant à résoudre des problèmes difficiles. La majorité des métaheuristiques sont inspirées de systèmes naturels, nous pouvons citer à titre d'exemple: le recuit simulé qui est inspiré d'un processus métallurgique, les algorithmes génétiques (AG) qui sont inspirés des principes de l'évolution Darwinienne et de la biologie, la recherche tabou qui s'inspire de la mémoire des êtres humains, les algorithmes basés sur l'intelligence par essaim comme l'algorithme d'optimisation par essaim de particules (PSO), l'algorithme de colonies de fourmis (ACO) qui s'inspirent du comportement social de certaines espèces évoluant en groupe [5]. C'est ainsi que Bouktir et Slimani en 2005 ont fait une étude théorique afin de minimiser le coût total en carburant des unités de production thermique et de conserver une performance du système acceptable en termes de limites sur le générateur réel et sorties de puissance réactive, tensions de bus et flux de puissance des lignes de transmission. Il ressort de ce travail que la méthode ACO donne des meilleurs résultats avec un temps réduit qu'avec l'algorithme génétique, soit respectivement 1815,7 dollars et 1937,1 dollars. De même que les travaux de Gahmousse en 2018 a fait une étude théorique afin de minimiser à l'aide des méthodes métaheuristiques (PSO, AG) le temps total de déclenchement des relais à courant maximum de courant directionnels afin d'assurer une meilleure exploitation du réseau électrique et une continuité de service. Les résultats de leur étude montrent que le temps total de déclenchement des relais primaire obtenu par PSO est le meilleur par rapport à l'AG, mais pour le cas d'augmentation du courant de court-circuit, l'AG donne le meilleur temps de déclenchement par rapport à l'algorithme PSO. Les travaux de Benyaza en 2016 portant sur une étude théorique afin d'optimiser la répartition optimale des puissances, en minimisant les coûts de génération à l'aide de l'algorithme génétique présentant la variation du paramètre de mutation donne des meilleurs résultats par rapport à la variation du paramètre de sélection et celui de croisement. Or, l'étude de Bansal en 2005, sur les méthodes d'optimisation pour le système d'alimentation électrique montre que les méthodes métaheuristiques sont meilleures que les méthodes d'optimisation mathématiques et les techniques hybrides d'intelligence artificielle du fait de leur convergence rapide vers l'optimum global mais ressort la difficulté du choix de la fonction d'évaluation. Au vu de l'importance de l'énergie dans la vie de l'homme et les moyens technologiques de son exploitation limités, et compte tenu de la littérature, on peut se poser la question suivante: comment choisir les éléments constitutifs d'un réseau de transport électrique à l'aide d'une méthode métaheuristique à savoir l'algorithme génétique ? L'objectif principal de cette étude est de proposer un programme d'algorithme génétique permettant le choix efficace des éléments d'un réseau électrique de transport. De manière spécifique caractériser chaque dispositif d'un réseau de transport; simuler à l'aide de la méthode algorithme génétique; et comparer les résultats obtenus. La méthodologie de ce travail consistera à établir dans un premier temps les relations (fonctions adaptatives) caractérisant chaque dispositif (conducteurs, isolateurs, pylônes) d'un réseau électrique de transport à l'instar du Réseau Interconnecté Nord du Cameroun, ensuite optimiser ces dispositifs avec les paramètres associés à l'aide méthode métaheuristique (Algorithme Génétique), et puis comparer ces dispositifs obtenus à ceux présent sur le RIN, et enfin faire varier les paramètres de croisement et de mutation et comparer les résultats. Dans ses articulations, cet article présente en détail le développement d'une méthode de choix optimal des équipements entrant dans l'implémentation d'un réseau électrique en utilisant une des méthodes métaheuristiques dans le titre Matériels et Méthodes. De même, nous aborderons ensuite la partie discussion des résultats et terminerons par la conclusion.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. MATÉRIEL

Pour mener à bien cette étude, nous avons utilisé:

- Un ordinaire portable de marque Hewlett-Packard HP 110-3800, processeur Intel® Atom™ CPU N455 @ 1,66GHz 1,67 GHz; RAM de 4 Go;
- Un logiciel de simulation des données et de calcul numérique MATLAB R2010a;
- Un logiciel d'édition de Grafset CFCEdit version 1.37 pour la réalisation du GRAFCET;
- Le Réseau Interconnecté Nord.

Les caractéristiques des lignes HTB du RIN sont données par le tableau 1 suivant.

Tableau 1. Caractéristiques ligne HTB du RIN

Lignes	Long. (km)	Tension (kV)	Nature conducteur	Section (mm ²)	Puissance Max. de transit (MW)	Nombre de pylône
Lagdo - Garoua I	49,84	110	Alu-Acier	150	34	138
Lagdo-Garoua II	49,98	110	Alu-Acier	150	34	137
Lagdo - Ngaoundéré	237,83	110	Almélec (Aster)	228	77	728
Garoua - Guider	101,15	90	Almélec (Aster)	228	63	275
Guider - Maroua	99,33	90	Almélec (Aster)	228	63	269

2.2. MÉTHODES

Dans cette partie, nous présenterons les relations et expressions des différentes fonctions adaptatives utilisés pour implémenter un algorithme d'optimisation; de même que les expressions et critères utilisées pour déterminer la section d'un conducteur, la chute de tension dans une ligne, le nombre d'assiette de verre ainsi que la longueur d'une chaîne d'isolateurs, la hauteur et la portée des pylônes dans un réseau électrique.

2.2.1. CHOIX DU CONDUCTEUR

2.2.1.1. CRITÈRE DU COURANT NOMINAL

Le courant nominal circulant dans la ligne est déterminé par la relation (1) suivante [6], [7]:

$$I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3}U \cos \varphi} \quad (1)$$

Le courant admissible par le câble de section S (mm²) est donné par l'expression (2) [1], [7]:

$$I_{ad} = KS^{0,62} \quad (2)$$

Le tableau 2 ci-dessous donne les coefficients K pour quelques matériaux [9], [10]:

Tableau 2. Valeurs du coefficients K pour quelques matériaux

Matériau	Almélec	Alu-Acier	Cuivre
K	17,1	16,4	21

2.2.1.2. CRITÈRE DU COURANT DE COURT-CIRCUIT

On vérifie que le câble pourra supporter le courant de court-circuit I_{cc} transmis sans que la ligne soit abimée pendant un certain temps t . Le courant de court-circuit est donné par la relation (3) suivante [7], [8]:

$$I_{cc\max} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3}U} \quad (3)$$

La section est donnée par l'équation (4) [6], [9], [10]:

$$S = \frac{I_{cc\max} \times \sqrt{t}}{a} \quad (4)$$

2.2.1.3. CRITÈRE DE CHUTE DE TENSION

La chute de tension engendrée par le câble tout au long de la ligne doit être inférieure à 8% [11]. Elle est donnée par la relation (5) ci-après [8]:

$$\Delta U = \sqrt{3}I_N (R_{70^\circ C} \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (5)$$

2.2.2. CHOIX DES ISOLATEURS

2.2.2.1. DÉTERMINATION DE LA LONGUEUR DE FUITE DES ISOLATEURS

La ligne de fuite L_f est la distance la plus courte, le long de la surface d'un isolant solide, entre deux parties conductrices. Sa longueur est donnée par l'équation (6) [6], [7]:

$$L_f = 1,1 \times U_M \times \beta \quad (6)$$

2.2.2.2. CHOIX DE LA CHAÎNE D'ISOLATEURS

Nous déterminons le nombre N_2 en vérifiant que la longueur de la ligne de fuite est suffisante [6].

$$N_2 = \frac{L_f}{\text{longueur de fuite effective d' une assiette}} \quad (7)$$

2.2.3. CHOIX DES PYLÔNES

La flèche des conducteurs, noté f est représenté clairement par le schéma de la figure 1.

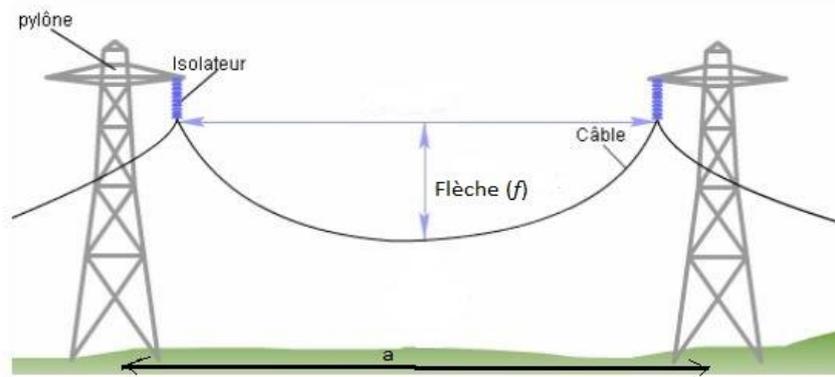


Fig. 1. Représentation de la flèche

L'expression de la flèche d'un conducteur est donnée par l'équation (8) suivante:

$$f = \frac{P.a^2}{8.T} \quad (8)$$

Le nombre total de supports est donnée par la formule de l'équation (9):

$$N_s = \frac{L}{a} + 1 \quad (9)$$

2.2.4. OPTIMISATION PAR ALGORITHME GÉNÉTIQUE

Au regard des méthodes présentées dans la littérature, nous avons opté pour l'algorithme génétique comme outil d'optimisation des éléments du réseau de transport, dû au fait qu'il offre un bon compromis exploitation/exploration de l'espace de recherche. Il élimine les solutions non-valides, il a une capacité de calcul parallèle intéressante, de plus la qualité de solution est relative selon le degré de précision demandé [3], [4].

2.2.4.1. STRATÉGIE D'OPTIMISATION

La stratégie d'optimisation est représentée par la figure 2 ci-dessous.

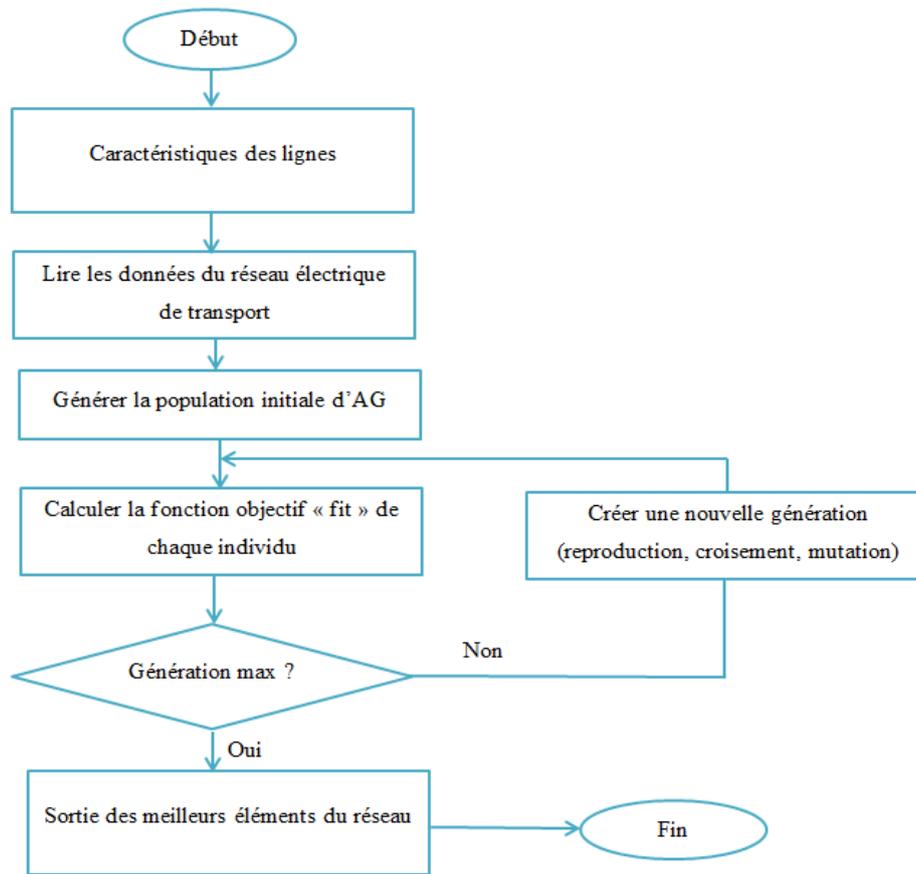


Fig. 2. Organigramme d'optimisation par l'algorithme génétique

2.2.4.2. PARAMÈTRES DE RÉGLAGE UTILISÉS POUR L'ALGORITHME GÉNÉTIQUE

Le tableau 3 indique les valeurs typiques de réglage de l'algorithme génétique.

Tableau 3. Valeurs typiques des paramètres de réglage de l'AG

Paramètres de réglage de l'AG	Valeurs typiques
Génération	100
Taille de la population	75
Croisement	0.8
Mutation	0.01
Limite de la fonction fitness	10^{-9} - 10^{-2}
Limite de temps	infinie

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. CHOIX DES CONDUCTEURS

De tous les matériaux utilisés dans la réalisation des réseaux HTB, nous porterons notre attention sur l'almélec (AAAC) ou Aster à cause de:

- Sa résistance mécanique supérieure à celle de l'aluminium;
- Sa légèreté par rapport à l'alliage aluminium-acier;
- Son coût bas par rapport à celui du cuivre.

La Norme NF EN 50182 [12], nous permet de faire le choix de la section de câble en fonction des tensions suivant que la zone soit givrée ou non. Ainsi, pour les tensions 90 kV et 110 kV, notre choix se portera en premier lieu sur le câble **Aster 228** dont les caractéristiques sont répertoriées dans le tableau 4 suivant:

Tableau 4. Caractéristiques électriques du câble Aster 228

Caractéristiques électriques	Valeurs
Température maximale régime permanent (°C)	75
Résistance électrique à 20°C (Ω/km)	0,146
Coefficient de température de la résistance (K ⁻¹)	0,0036
Réactance électrique linéique X (Ω/km)	0,4

Nous allons opter pour un câble **Phlox 94,1** comme câble de garde de section **51,95mm²**.

Par la suite, il est question de s'assurer que la section du câble est optimale par l'algorithme génétique.

En utilisant les paramètres suivants : *génération* = 100, *taille population* = 75, *probabilité croisement* = 0,8, *probabilité mutation* = 0,01, $t < 5$ s, $S_{cc} = 8000$ MVA, $K = 17,1$, $a = 76,4$, $\cos \varphi = 0,9$; l'algorithme génétique nous donne les résultats suivants.

3.2. COURANT NOMINAL, COURANT ADMISSIBLE ET COURANT DE COURT-CIRCUIT

Le tableau 5 présente les résultats des courants sur les différentes lignes du RIN obtenus par simulation.

Tableau 5. Courant nominal, courant admissible et courant de court-circuit obtenus par algorithme génétique

Lignes	I_N (A)	I_{ad} (A)	I_{cc} (kA)
Lagdo - Garoua I	198,28	495,35	41,989
Lagdo - Garoua II	198,28	495,35	41,989
Lagdo - Ngaoundéré	448,76	495,35	41,989
Garoua - Guider	449,05	495,35	51,32
Guider - Maroua	449,05	495,35	51,32

De ce tableau, on se rend compte que les courants admissibles dans les câbles pour chaque ligne sont supérieurs aux courants nominaux, ce que veut dire que l'almélec Aster 228 est capable de supporter les différents courants nominaux.

3.3. SECTION DES CONDUCTEURS

La figure 3 présente le processus de recherche de l'optimum de la fonction par algorithme génétique pour la section des câbles des lignes Lagdo-Garoua I, Lagdo-Garoua II, Lagdo-Ngaoundéré. On note que de ce graphe que la minimisation de la section s'arrête à la 51^{ème} génération.

La section optimale trouvée est de **173,795 mm²**. Donc l'almélec Aster 228 de section **228 mm²** est optimal pour les lignes Lagdo-Garoua I, Lagdo-Garoua II, Lagdo-Ngaoundéré.

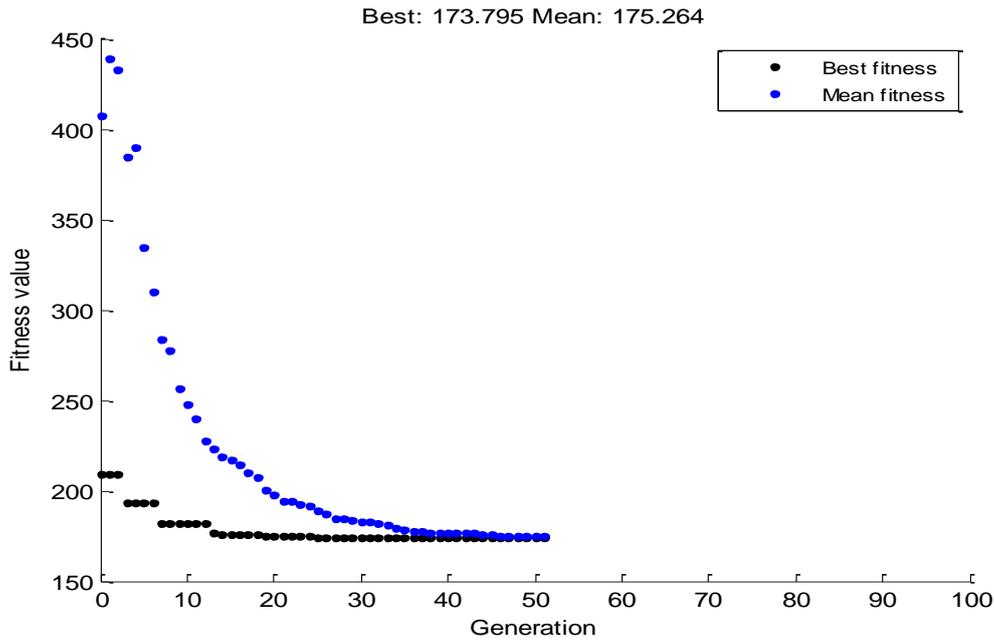


Fig. 3. Valeur optimale des sections pour les lignes Lagdo-Garoua I, Lagdo-Garoua II, Lagdo-Ngaoundéré

La figure 4 présente le processus de recherche de l'optimum de la fonction par algorithme génétique pour la section des câbles des lignes Garoua-Guider et Guider-Maroua. Ici, la minimisation de la section s'arrête à la 51^{ème} génération. La section optimale trouvée est de 212,419 mm². Donc l'almélec Aster 228 de section 228 mm² est optimal pour les lignes Garoua-Guider et Guider-Maroua.

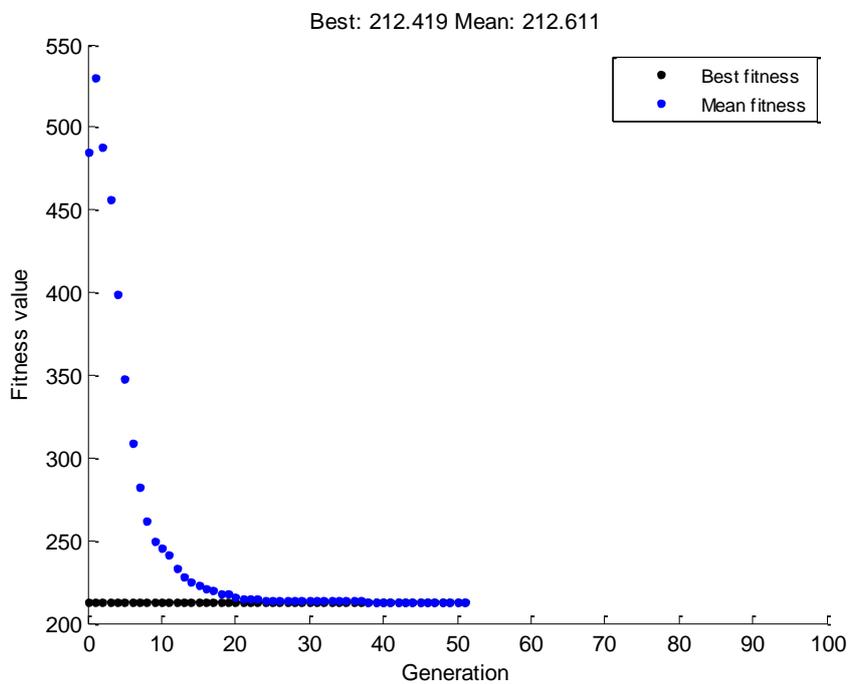


Fig. 4. Valeur optimale des sections pour les lignes Garoua-Guider et Guider-Maroua

3.4. CHUTE DE TENSION

La figure 5 montre le résultat de recherche pour la section des câbles de la ligne Lagdo-Garoua I. La chute de tension trouvée est de **0.0512**, soit **5.12 %**.

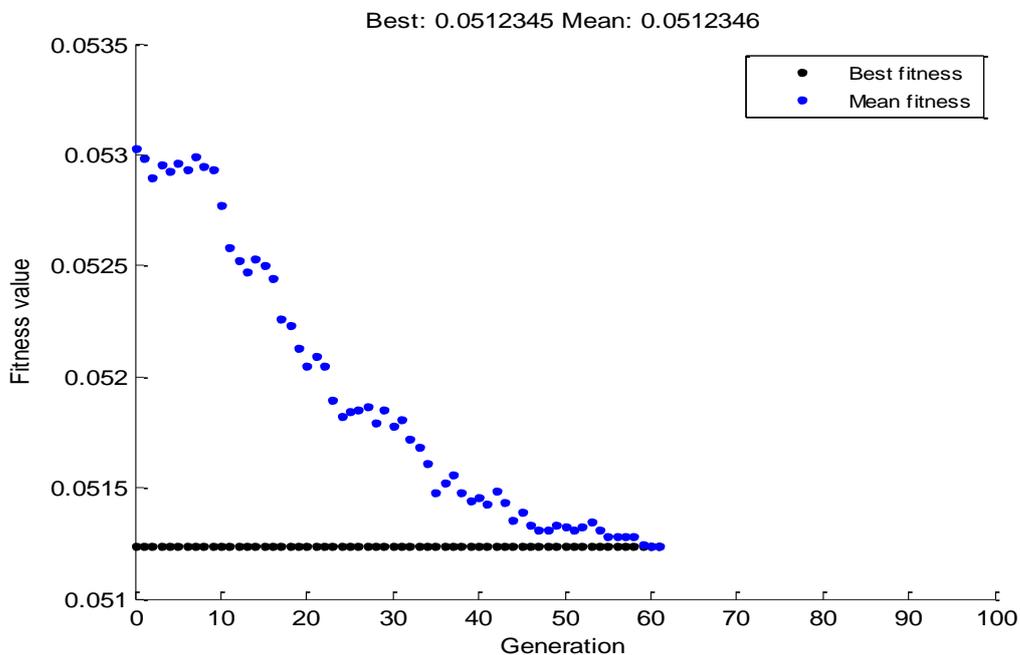


Fig. 5. Valeur optimale de la chute de tension pour la ligne Lagdo-Garoua I

Le tableau 6 récapitule les chutes de tension obtenues pour les autres lignes du RIN.

Tableau 6. Chutes de tension obtenues par simulation

Lignes	Chute de tension
Lagdo - Garoua I	5,12 %
Lagdo - Garoua II	5,14 %
Lagdo - Ngaoundéré	5,54 %
Garoua - Guider	5,06 %
Guider - Maroua	5,28 %

De ce tableau, on constate que les chutes de tensions sur toutes les lignes du RIN sont strictement inférieures à 8 %, seuil prévu par la norme. Le câble **Aster 228** de ce fait respecte tous les critères, et par conséquent sera maintenu sans la suite de notre étude.

3.5. CHOIX DES ISOLATEURS

Au regard de la littérature faite sur les isolateurs, nous porterons notre choix sur les isolateurs céramiques, car ces derniers semblent plus avantageux que les autres types d'isolateurs. En utilisant les caractéristiques de la tension de contournement en fonction de la zone de pollution, de la tension nominale de tenue aux chocs de foudre, des caractéristiques d'assiettes standard, du BIL et nombre d'assiettes (standard) et les paramètres suivants: génération=100, taille population=75, probabilité croisement=0,8, probabilité mutation=0.01, $U_M=123$ kV, $\beta=1.48$ cm/kV; l'algorithme génétique nous présente les résultats suivant. La figure 6 montre le résultat de recherche du nombre optimal d'assiettes d'une chaîne d'isolateurs sur les lignes du RIN. Le nombre assiette trouvé est **6.29698**, soit **7 assiettes**.

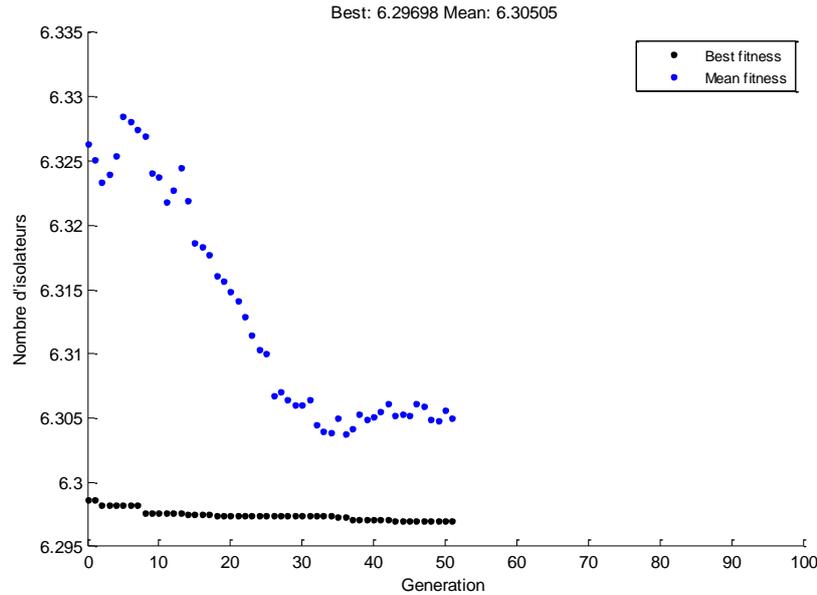


Fig. 6. Nombre optimal d'assiettes d'une chaine d'isolateurs des lignes du RIN

Le tableau 7 résume les caractéristiques de la chaine d'isolateurs sur chaque ligne du RIN:

Tableau 7. Caractéristiques de la chaine d'isolateurs des lignes du RIN

Lignes	Caractéristiques d'une assiette	Nombre d'assiettes	Longueur de la chaine d'isolateur [mm]	Masse de la chaine d'isolateurs [kg]
Lagdo - Garoua I	F120/127	7	889	26,6
Lagdo - Garoua II	F120/127	7	889	26,6
Lagdo - Ngaoundéré	F120/127	7	889	26,6
Garoua - Guider	F100/127	7	889	25,9
Guider - Maroua	F100/127	7	889	25,9

3.6. CHOIX DES PYLÔNES

D'après la littérature, les pylônes chat et les pylônes à trois triangles peuvent supporter jusqu'à 225 kV [13]. De ce fait, nous choisirons pour les lignes 110 kV les pylônes chat et pour les lignes 90 kV les pylônes triangles. Par la suite, nous allons déterminer la flèche minimale des conducteurs et le nombre de pylônes optimal des lignes du RIN. En utilisant les caractéristiques des câbles ALMELEC (NFEN 50182) et les paramètres suivants: génération=100, taille population=75, probabilité croisement=0.8, probabilité mutation=0.01, $m=627\text{kg/km}$, $g=9.81\text{N/kg}$, $500\text{m} \leq a \leq 1500\text{m}$, $T=74050\text{ N}$; l'algorithme génétique nous donne le résultat de recherche de l'optimum de la flèche. La flèche optimale obtenue est **2,59274 m** comme la montre à la figure 7.

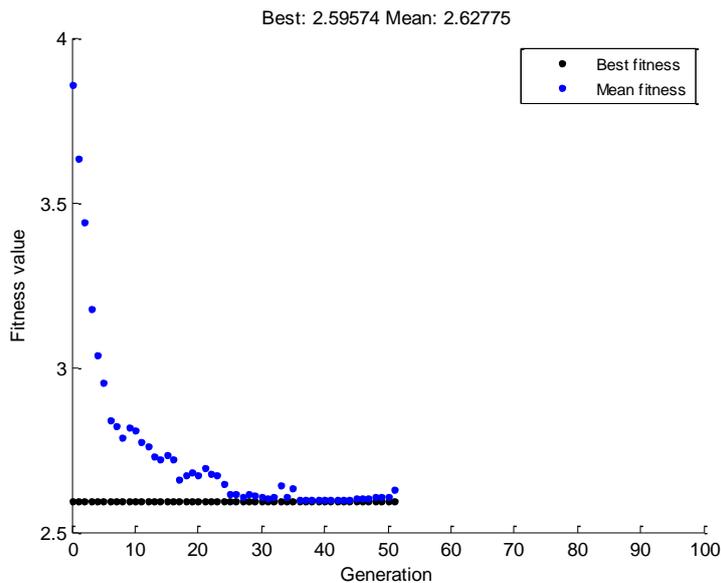


Fig. 7. Flèche optimale des câbles

La figure 8 montre le résultat de recherche de l'optimum du nombre pylônes pour la ligne Lagdo-Garoua I pour une portée comprise entre 500m et 1500 m. Le nombre pylônes pour la ligne Lagdo-Garoua I est de **99.6549**, soit **100 pylônes**.

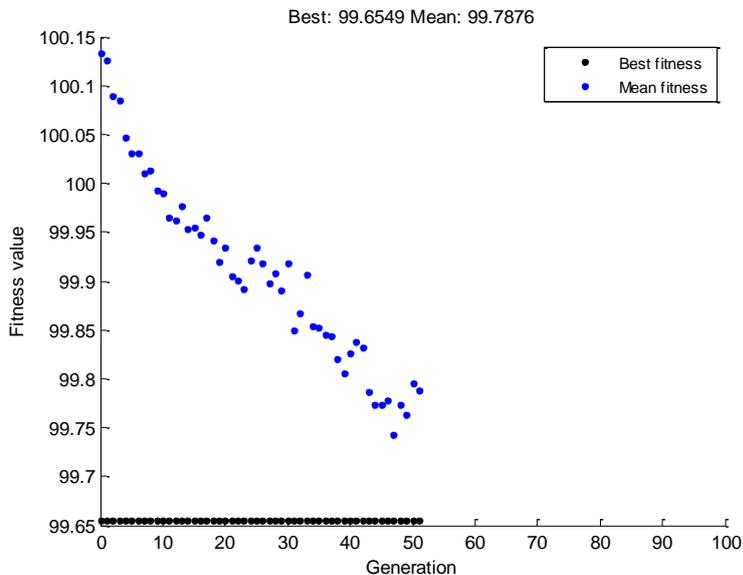


Fig. 8. Nombre optimal de pylônes sur la ligne Lagdo-Garoua I

Le tableau 8 récapitule le nombre de pylônes optimal obtenu pour les autres lignes du RIN.

Tableau 8. Nombre optimal des pylônes obtenu pour les lignes du RIN

Lignes	Nombre de pylônes
Lagdo - Garoua I	100
Lagdo - Garoua II	100
Lagdo - Ngaoundéré	472
Garoua - Guider	203
Guider - Maroua	198

3.7. RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS DE LA SIMULATION

Le tableau 9 résume les résultats des sections, la nature des conducteurs, les nombres d’assiettes de la chaîne d’isolateurs et le nombre de pylônes obtenus par l’algorithme génétique pour les différentes lignes du RIN.

Tableau 9. Récapitulatif des résultats de la simulation

Lignes	Nature		Nombre assiette chaîne d’isolateurs	Section [mm ²]		Nombre de pylônes
	Conducteur	Câble de garde		Conducteur	Câbles de garde	
Lagdo - Garoua I	Aster 228	Phlox 94,1	7	228	51,95	100
Lagdo - Garoua II	Aster 228	Phlox 94,1	7	228	51,95	100
Lagdo - Ngaoundéré	Aster 228	Phlox 94,1	7	228	51,95	472
Garoua - Guider	Aster 228	Phlox 94,1	7	228	51,95	203
Guider - Maroua	Aster 228	Phlox 94,1	7	228	51,95	198

Le tableau 10 résume les résultats des sections, la nature des conducteurs, les nombres d’assiettes de la chaîne d’isolateurs et le nombre de pylônes obtenus par l’algorithme génétique pour les différentes lignes du RIN comparés à ceux du réseau existant.

Tableau 10. Comparaison des résultats avec les données du RIN existantes

LIGNES	Section [mm ²]		Nature des conducteurs		Nombre de pylônes	
	Existante	AG	Existante	AG	Existant	AG
Lagdo - Garoua I	150	228	Alu-acier	Almélec (Aster)	138	100
Lagdo - Garoua II	150	228	Alu-acier	Almélec (Aster)	137	100
Lagdo - Ngaoundéré	228	228	Almélec (Aster)	Almélec (Aster)	728	478
Garoua - Guider	228	228	Almélec (Aster)	Almélec (Aster)	275	203
Guider - Maroua	228	228	Almélec (Aster)	Almélec (Aster)	269	198

Du tableau 3 au tableau 7, on remarque que les sections et nature des conducteurs obtenues par algorithme génétique sont identiques à celles existantes pour les lignes Lagdo-Ngaoundéré, Garoua-Guider, Guider-Maroua et différentes pour les lignes Lagdo-Garoua I, Lagdo-Garoua II, car les concepteurs du RIN ont optés pour l’aluminium-acier pour les lignes courtes. Néanmoins le dimensionnement de la section des câbles conducteurs reste correct. Par ailleurs, on constate que le nombre de pylônes existant est surdimensionné par rapport au nombre déterminé par algorithme génétique, ceci dû au choix d’une portée assez faible.

3.8. INFLUENCE DES PROBABILITÉS DE CROISEMENT ET DE MUTATION

Dans cette partie, nous allons faire varier les probabilités de croisement et de mutation afin de s’assurer de la qualité optimale des solutions.

3.8.1. INFLUENCE DE LA PROBABILITÉ DE CROISEMENT

Le tableau 11 résume les résultats optimaux des sections de conducteurs, nombres d'assiettes de la chaîne d'isolateurs, nombre de pylônes en prenant $P_c=0,7$ et $P_c=0,9$.

Tableau 11. Influence des probabilités de croisement $P_c=0,7$ et $P_c=0,9$

LIGNES	Section [mm ²]		Nb d'assiettes de la chaîne d'isol.		Nombre de pylônes	
	$P_c=0,7$	$P_c=0,9$	$P_c=0,7$	$P_c=0,9$	$P_c=0,7$	$P_c=0,9$
Lagdo - Garoua I	173, 78	173, 81	6,29	6,29	99,64	99,64
Lagdo - Garoua II	173, 78	173, 81	6,29	6,29	99,27	99,27
Lagdo - Ngaoundéré	173, 78	173, 81	6,29	6,29	471,38	471,38
Garoua - Guider	212,425	212,422	6,29	6,29	202,24	202,24
Guider - Maroua	212,425	212,422	6,29	6,29	197,62	197,62

On observe que malgré la variation du paramètre de croisement, les résultats ne varient pas, ce qui signifie que ces résultats obtenus sont optimaux, ce qui est en parfait accord avec les propos de [7], [10], [14].

3.8.2. INFLUENCE DE LA PROBABILITÉ DE MUTATION

Le tableau 12 résume les résultats optimaux des sections de conducteurs, nombres d'assiettes de la chaîne d'isolateurs, nombre de pylônes en prenant $P_m=0,005$ et $P_m=0,007$.

Tableau 12. Influence des probabilités de mutation $P_m=0,005$ et $P_m=0,007$

Lignes	Section [mm ²]		Nb d'assiettes de la chaîne d'isol.		Nombre de pylônes	
	$P_m=0,005$	$P_m=0,007$	$P_m=0,005$	$P_m=0,007$	$P_m=0,005$	$P_m=0,007$
Lagdo - Garoua I	173, 78	173, 81	6,29	6,29	99,64	99,64
Lagdo - Garoua II	173, 78	173, 81	6,29	6,29	99,27	99,27
Lagdo - Ngaoundéré	173, 78	173, 81	6,29	6,29	471,38	471,38
Garoua - Guider	212,425	212,422	6,29	6,29	202,24	202,24
Guider - Maroua	212,425	212,422	6,29	6,29	197,62	197,62

On constate que, tout comme dans le cas de la variation du paramètre de croisement, les résultats ne varient presque pas lorsqu'on varie le paramètre de mutation, ce qui signifie que ces résultats obtenus sont optimaux, ce qui est en accord avec les propos de [7], [10] et [14].

4. CONCLUSION

En somme, il était question dans ce travail de recherche de proposer un programme basé sur une méthode métaheuristique à savoir l'algorithme génétique permettant le choix optimal des éléments entrant dans l'implémentation d'un réseau électrique. Pour y parvenir, nous avons dans un premier temps élaboré une revue de la littérature sur les réseaux électriques, sur les composantes d'une ligne électrique très haute tension, sur les méthodes métaheuristiques. Dans un deuxième temps, nous avons choisi comme matériel d'étude le Réseau Interconnecté Nord Camerounais, et comme méthode métaheuristique l'algorithme génétique; puis nous avons ressorti les fonctions adaptatives de chaque dispositif. Par la suite, nous avons élaboré un programme d'optimisation qui prend en compte les fonctions adaptatives de chaque élément du réseau (conducteurs, isolateurs, pylônes), les caractéristiques du réseau ainsi que les paramètres d'algorithme génétique que nous avons fixé. Enfin, nous avons simulé notre programme sur le logiciel MATLAB en faisant varier les paramètres de croisement et de mutation et de croisement. Les résultats nous donnent la section des conducteurs adéquats pour chaque ligne, une chute de tension acceptable, ainsi que le nombre d'assiettes de la chaîne d'isolateurs et le nombre total de pylônes pour chaque ligne. Ainsi, on peut conclure que les résultats nous donnent les meilleurs dispositifs pour l'implantation du RIN du fait qu'ils restent constants malgré les variations des paramètres de croisement et de mutation.

REFERENCES

- [1] B.Hadji, Contribution à l'amélioration de l'efficacité des réseaux électriques par l'intégration et le contrôle flexible de l'énergie éolienne et des systèmes FACTS, Thèse de Doctorat en Génie Electrique, Université Mohamed Khider-Biskra, Algérie, p.99-165, 2017.
- [2] Tran-Quoc, *Modélisation et amélioration des performances des réseaux électriques*, Habilitation à diriger les recherches, institut national polytechnique de Grenoble, France, p.100-107, 2000.
- [3] Mezaache M, *Contribution à l'étude du choix optimal de l'emplacement du dispositif UPFC dans les réseaux électriques en utilisant une des méthodes artificielles*, Thèse de doctorat, Université de Batna 2, p.99-104, 2016.
- [4] Bansal, "Optimization methods for electric power systems: An overview", International Journal of Emerging Electric Power Systems, Vol 2, Issue 1, 2005.
- [5] A. Gherboudj. (2013), *Méthodes de résolution de problèmes difficiles académiques*, Thèse de doctorat, Faculté des Technologies de l'Information et de la Communication, Algérie, p.200-216 p, 2013.
- [6] M. Bougue, *Calcul d'une liaison aérienne, Transport et distribution de l'énergie électrique*, Manuel de travaux pratiques, p.40-46, 2006.
- [7] M. Madeca, *Etudes techniques d'alimentation de postes HTA/BTA sur portique dans la ville de Ouagadougou: cas du poste 122 à NONSIN*, mémoire ingénieur, Institut International d'Ingénierie, Burkina Faso, p.25-30, 2019.
- [8] V. Tefeguim, *Etude de la construction d'une ligne électrique haute tension 90 kV PA-WONA*, Mémoire de Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, Institut international d'Ingénierie 2IE, p.50-53, 2014.
- [9] D. Houssamatou, *Etude de la construction d'une ligne haute tension catégorie A (20 kV) et la conception d'un Réseau HTA/BT pour l'alimentation en énergie Électrique de la cité Maourey*, mémoire ingénieur, Institut International d'Ingénierie, Burkina Faso, p.45-93, 2018.
- [10] Taouche R, *Prévision du comportement mécanique d'alliages biphasés par algorithmes génétiques et réseaux des neurones: Application aux systèmes WC-Co*, Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Mentouri de Constantine, Algérie, p.55-64, 2010.
- [11] I. Chiali, *Détection multi-utilisateurs MUD dans un système multi-antennes et à modulation multi-porteuses MIMO-OFDM par des approches métaheuristiques*, Thèse de Doctorat, Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, p.77-83, 2017.
- [12] *Conducteurs pour lignes aériennes-conducteurs à brins circulaires, câblés en couche concentriques*, NF EN 50182, 2001.
- [13] S. Hadi, *Analyse de la stabilité des pylônes à treillis*, mémoire de master, Université Badji Mokhtar-Annaba, p.88-94, 2016.
- [14] H. Alkhatib, *Etude de la stabilité aux petites perturbations dans les grands réseaux électriques: optimisation de la régulation par une méthode métaheuristique*, Thèse de Doctorat en Génie Electrique, Université Paul Cézanne d'Aix-Marseille III, France, 2008.