وزارةالتعليـــم العالـــي و البحـــث العلمـــــــي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعـــة فرحـات عبـاس - سطيـــف

UNIVERSITE FERHAT ABBAS — SETIF

UFAS (ALGERIE)

FACULTE DE TECHNOLOGIE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de

MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE

Option : Réseaux électriques

M^{r}.BELHOUCHET KHALED

Thème

Estimation des paramètres de l'arc de contournement des isolateurs pollués en utilisant l'approche génétique

Soutenu le ……. devant la Commission d'examen composée de :

Dr. Mabrouk HACHEMI	M. C. A. à l'université Ferhat ABBAS de Sétif	Président
Dr. Abdelhafid BAYADI	Prof. à l'université Ferhat ABBAS de Sétif	Rapporteur
Dr. Ahmed GHERBI	M. C. A. à l'université Ferhat ABBAS de Sétif	Examinateur
Dr. RABAH BOUDISSA	M. C. A. à l'université A. MIRA de Béjaia	Examinateur

Dédicaces

D'abord je remercie mon Dieu de m'avoir aidé pour terminer ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents pour sacrifice pour mes études.

A ma chère grande mère.

A toute ma famille loin ou prés.

A mescollègues «akram, mohamed, farid, yaakoub, lyamine, issam…. ».

A tous mes maitres et enseignants de ma carrière d'étude.

« Belhouchet Khaled »

Remerciements

Je remercie en premier lieu Dieu puissant pour m'avoir donné la force, le courage et la volonté d'accomplir ce travail.

Je tiens, avant tout, à exprimer ma profonde gratitude à monsieur Dr Abdelhafid BAYADI, qui a assumé la direction de ce travail. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma reconnaissance pour son »., sa patience, sa disponibilité, ses conseils et son aide constant qu'il m'a apporté tout au loin de ce travail.

Je remercie les membres de jury, chacun par son nom:(Dr Ahmed Gherbi ; Dr Mabrouk Hachmi ; Dr Rabah Boudissa, qui ont accepté de juger ce travail.

Tous les enseignants qui ont participé le long de ces années à ma formation.

J'adresse mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail

.

« Belhouchet Khaled»

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE 01GENERALITE SUR LES ISOLATEURS HAUTE TENSION ET MODELISATION

1.1. Introduction..... 1.1
1.2. Définition..... 1.2
1.2.1. Isolement..... 1.2
1.2.2. Isolation..... 1.2
1.2.3. Contournement..... 1.2
1.2.4. Ligne de contournement..... 1.2
1.2.4.1. Ligne de fuite..... 1.2
1.2.4.2. Tension de contournement..... 1.2
1.2.4.3. Tension de tenue..... 1.3
1.2.4.4. Courant de fuite..... 1.3
1.2.4.5. Courant de fuite critique..... 1.3
1.3. Facteur de forme d'un isolateur..... 1.3
1.4. Principaux types d'isolateurs..... 1.4
1.4.1. Isolateur rigide..... 1.4
1.4.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne..... 1.4
1.4.3. Isolateurs à capot et tige..... 1.5
1.4.4. Isolateur à long fût..... 1.5
1.4.4.1. Céramique..... 1.5
1.4.4.2. En matériaux synthétiques..... 1.6
1.6. Pollution des isolateurs..... 1.7
1.6.1. Sources de pollution..... 1.7
1.6.1.1. Pollution naturelle..... 1.7
1.5.1.2. Pollution marine..... 1.8
1.5.1.3. Pollution désertique..... 1.8
1.5.1.4. Pollution industrielle..... 1.8
1.5.1.5. Pollution mixte..... 1.8

1.6. Densité de dépôt de sel équivalent (DDSE)..... 1.9
1.7. Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués…… 1.9
1.8. Formation et répartition de la couche de pollution..... 1.10
1.9. Conséquences de la pollution..... 1.10
1.9.1. Arc non localisé..... 1.11
1.9.2. Arc fixe..... 1.11
1.9.3. Contournement électrique (court-circuit) 1.11
1.10. Contrainte de contournement..... 1.13
1.11.Les modèles du contournement des isolateurs sous pollution ……..…1.13
1.11.1. Modèle d'Obenaus…….. 1.13
1.11.2. Modèle de Neumarker…….. 1.15
1.11.3. Modèle de Rizk…… 1.16
1.11.4. Modèle de Claverie et Porcheron…….. 1.16
1.11.5. Modèle d'Alston et Zoledziowski…….. 1.17
1.11.6. Modèle de J. Danis…… 1.17
1.11.7. Modèle de A. Mekhaldi…….. 1.18
1.11.8. Modèle du disque circulaire…… 1.19
1.11.9. Modèles de Teguar…….. 1.20
1.11.10. Modèle Dhahbi, Beroual et Krahenbul…….. 1.21
1.11.11. Modèle de M.N.Rayes et M.Zhirh……. 1.22
1.11.12. Modèle de D. Namane……. 1.24
1.11.13. Modèle de Dhahbi et Beroual……. 1.25
1.11.14.Modèle deWilkins……..1.26
1.12. But du travail……1.27
1.12. Conclusion…….. 1.28

Chapitre 02 l'Approche des Algorithmes Génétique

2.1. Introduction……..2.1
2.2. Principe de fonctionnement des AGs…….. 2.1
2.3. Procédure d'optimisation…….. 2.2
2.4. Description de l'Algorithme génétique…….. 2.2
2.5. Structure principal d'un AG…… 2.2
2.6. Codage et décodage des variables…….. 2.3

2.6.1. Codage binaire…… 2.4
2.6.2. Codage réel…… 2.4
2.6.3. Codage de Gray…… 2.5
2.7. Initialisation de la population…… 2.6
3.8. Mécanismes et opérateurs d'un AG standard…… 2.6
2.9. Formulation du problème d'optimisation…… 2.7
2.10. La mise en échelle…… 2.8
2.11. Algorithme génétique avec codage réel…… 2.9
2.11.1. Croisement…… 2.10
3.11.2. Mutation…… 2.11
2.11.3. Taille de la population…… 2.12
2.11.4. Nombre de générations…… 2.12
2.11.5. Probabilité des operateurs génétique…… 2.13
2.12. Les organigrammes du programme en fortran…… 2.14
2.13. Conclusion…… 2.17

Chapitre 03Résultats et Interprétations

3.1.Introduction……3.1
3.2. Procédure De Simulation……3.1
3.2.1. Formulation du problème……3.1
3.2.2. Modèle généralisé du contournement……3.2
3.2.3.Données expérimentales utilisées……3.3
3.3.Procédure d'optimisation……3.4
3.4.Résultats de simulation et discussion……3.5
3.4.1.Validation de la méthode……3.5
3.4.1.1.Comparaison avec d'autres méthodes……3.5
3.4.1.2.Validité des paramètres A et n……3.7
3.4.1.3.Identification des paramètres A et n en fonction du nombre de profil……3.8
3.4.1.4.Convergence vers l'optimum de A et n……3.8
3.4.2.Courant de fuite en fonction de conductivité……3.9
3.4.3.Application aux résultats expérimentaux réalisés au laboratoire de Béjaia……3.10
3.5.Conclusion……3.12

Conclusion Générale

Liste des figures

Chapitre 1

Fig. 1.1 Isolateur rigide en verre

Fig. 1.2 Isolateurs à capot et tige

Fig. 1.3 Isolateur à long fût en porcelaine

Fig. 1.4 Isolateur composite

Fig. 1.5Arc électrique à la surface d'un isolateur

Fig. 1.6 Modèle d'Obenaus

Fig. 1.7Modèle expérimental de Claverie et Porcheron

Fig. 1.8Modèle cylindrique utilisé par Alston et Zoledowski

Fig. 1.9 Modèle de Danis

Fig. 1.10 Model d'isolateur en forme de disque conçu par McElroy et Woodson

Fig.1.11Circuit électrique équivalent du modèle de laboratoire

Fig.1.12 Modèle d'isolateur pollué avec son circuit équivalent

Fig. 1.13 Modèle de M.N.Rayes et M.Zhirh

Fig. 1.14 Modèle expérimental selon D.Namane

Fig. 1.15 Schéma électrique équivalent à la propagation de la décharge

Fig. 1.16 Modèle de Wilkins

Chapitre 2

Fig. 2.1 Schéma général d'un algorithme génétique

Fig. 2.2 Exemple de codage réel

Fig. 2.3 Représentation d'un chromosome en codage réel

Fig. 2.4 Croisement discret

Fig. 2.5 Organigramme de sélection

Fig. 2.6 Organigramme de croisement

Fig. 2.7 Organigramme de mutation

Chapitre 3

Fig. 3.1 Schéma général d'un algorithme génétique

Fig. 3.2. tension de contournement Uc en fonction de conductivité σ_s

Fig. 3.3L'erreur quadratique en fonction de nombre de génération

Fig. 3.4Comparaison avec la tension de contournement expérimentale

Fig. 3.5Variations des A etn en fonction de nombre de profile

Fig. 3.6Tension de contournement U_c en fonction de conductivité σ_s pour les 4 profils

Fig. 3.7 valeurs optimales de A et n en fonction de nombre de générations

Fig.3.8 Courant de fuite I_f en fonction de conductivité σ_s

Fig.3.9 Tension de contournement en fonction de la conductivité superficielle

Fig.3.10pollution uniforme coté HT est fortement pollué

Fig.3.11Tension de contournement en fonction de la conductivité

Listes des Symboles

Symboles	Signification
R	Répartition
Uc	tension de contournement
L	ligne de contournement
Lf	ligne de fuite
F	Facteur de forme d'un isolateur
V	volume de la suspension
A, n	constants de l'arc
X	Longueur de l'arc
Sa	la salinité
U_m	Tension de mesure
R	rayon
ε_r	Permittivité relative
σ_S	Conductivité de la couche polluée
E_{arc}	Tension d'arc
D	Diamètre
Cdb	Capacité de la bande sèche
RH	Résistance humide
R_s	Résistance de la couche de pollution
C_s	Capacité de la couche de pollution
ω	la pulsation
ρ_p	résistivité de la pollution
ε	permittivité de la pollution
Fo	fonction objectif

Pmut	probabilité de mutation
Pc	probabilité de croisement
Ng	nombre de generation
P	population.
X_i	$i^{éme}$chromosome (individu) dans la population P
Popsize	nombre de chromosomes dans la population (la taille de population)
genemax	nombre maximal de génération
P_S	probabilité de sélection
E	l'espace de recherche
F_i	fonction d'adaptation du chromosome X_i
$F_{obj}(X)$	fonction objective
max $F_{obj}(X)$	fonction objective à maximiser
F_{min}	constante positive
min $f_{obj}(X)$	fonction objective à minimiser
C	petite valeur entière
σ	déviation standard de la population
K	valeur qui varie en fonction des générations
P_i	probabilité de survie de chromosome X_i
r	nombre réel aléatoirement sur l'intervalle [0,1]
P^t	génération 't'
P^{t+1}	nouvelle generation
x_i, y_i	parametres de meme rang de deux parents
x'_i et y'_i	parametres, de rang correspondant, des deux enfants obtenus

INTRODUCTION GENERALE

Les lignes aériennes et les postes des réseaux de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes telles que la pollution des isolateurs. Celle-ci constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie.

En effet par temps de pluie ou de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes réduisent considérablement la résistivité superficielle et le contournement peut alors survenir. L'humidification des couches polluantes facilite en fait, la circulation d'un courant de fuite sur les surfaces isolantes provoquant des échauffements locaux et par la suite l'assèchement de la couche de pollution. Ainsi, la répartition du potentiel est modifiée d'une façon significative et des arcs partiels peuvent apparaître. Ces derniers peuvent évoluer jusqu'au contournement total de l'isolateur. Les conséquences du contournement vont de la détérioration de la surface de l'isolateur à la mise hors service de l'équipement haute tension et par suite la continuité de service n'est plus assurée. Ainsi, une des caractéristiques principales d'un isolateur haute tension sera donc sa tenue au contournement en fonction de l'environnement dans lequel il est utilisé**.**

Plusieurs travaux expérimentaux et théoriques ont été consacrés pour expliquer le mécanisme conduisant au contournement des isolateurs pollués. Le but de ces travaux est d'élaborer un modèle pouvant tenir compte des paramètres réels intervenant dans la génération et la propagation des arcs électriques sur les surfaces isolantes. Il s'agit en particulier de la forme des isolateurs, de la répartition des couches polluantes, de la résistivité des échanges thermiques, de la non-uniformité du mouillage, de l'intensité des arcs au voisinage de la surface isolante, de la formation d'arcs multiples et de la détermination de la tension de contournement.

Le phénomène de contournement dans les isolateurs pollués n'a pas encore été décrit avec précision par un modèle mathématique. La difficulté principale est la définition des constantes de l'arc, qui est formé dans les bandes sèches lorsque la tension est supérieure à sa valeur critique, pour la détermination des constantes de l'arc on a choisi la méthode d'optimisation qui est basée sur les algorithmes génétiques, en utilisant les résultats

expérimentaux des isolateurs artificiellement pollués qui sera donnes en littérateur. D'abord on utilise modèle de contournement d'un isolateur pollué qui est étudie par Obenhaus. Le model est écrit par des équations qui ne peuvent pas être résolus par des méthodes arithmétiques classiques. L'application d'algorithmes génétiques permet la définition des constantes de l'arc, ce qui entraîne également dans le calcul des conditions critiques au début du mécanisme de contournement d'un isolateur pollué. De cette façon, un modèle mathématique est établi, qui simule avec précision les résultats expérimentaux.

Le travail sera terminé par une conclusion générale et perspectives.

Chapitre 01

GENERALITE SUR LES ISOLATEURS HAUTE TENSION ET MODELISATION

1.1. Introduction

Les isolateurs dans les lignes aériennes et les postes de réseaux de transport d'énergie électrique sont sujet à différents incidents dus, dans la majorité des cas, au dépôt de la pollution suite à une interaction entre le vent et les poussières diverses ; une couche de pollution se dépose sur la surface de l'isolateur. Cette couche de pollution, plus ou moins conductrice, donne naissance à un courant de fuite circulant à travers la surface de l'isolateur. Le rôle des isolateurs est de relier les conducteurs aux supports en assurant leur isolation électrique. En effet, un bon choix de dimensionnement des isolateurs s'avère indispensable pour assurer la fiabilité et la qualité de l'isolement de haute tension. La pollution de ces isolateurs figure comme un vrai problème néfaste à leur bon fonctionnement. La tension de tenue des isolateurs peut diminuer considérablement à cause des dépôts polluants recouvrant leurs surfaces. Ils peuvent même conduire au contournement des isolateurs dans certains cas critiques [2].

Plusieurs travaux expérimentaux et théoriques ont été consacrés pour expliquer le mécanisme conduisant au contournement des isolateurs pollués [4]. Le but de ces travaux est d'élaborer un modèle pouvant tenir compte des paramètres réels intervenant dans la génération et la propagation des arcs électriques sur les surfaces isolantes. Il s'agit en particulier de la forme des isolateurs, de la répartition des couches polluantes (homogènes ou non homogènes), de la résistivité des échanges thermiques, du non uniformité du mouillage, de l'intensité des arcs au voisinage de la surface isolante, de la formation d'arcs multiples et de la détermination de la tension de contournement. Dans ce qui va suivre, nous allons exposer une recherche bibliographique des différents modèles statiques et dynamiques développés dans ce domaine.

1.2. Définition

1.2.1. Isolement

On appelle isolement d'un ouvrage ou d'un appareil électrique, son aptitude à supporter la tension ou plus généralement les contraintes électriques qui lui sont appliquées.

1.2.2. Isolation

L'isolation est un procédé permettant de supprimer ou de réduire la propagation de rayonnement et de vibration d'un milieu à un autre, notamment celle de la chaleur (isolation thermique) et de l'électricité (isolation électrique). Un matériau qui remplit ce rôle est dit isolant.

1.2.3. Contournement

Le contournement est dû au déplacement des charges libres accélérées par le champ électrique appliqué [5]. Il se manifeste par un arc électrique dans l'air environnant entre deux pièces conductrices. L'endommagement est superficiel à cause de l'énergie thermique dégagée par l'arc.

1.2.4. Ligne de contournement

La ligne de contournement (L) est la distance la plus courte dans un gaz entre les électrodes [6].

1.2.4.1. Ligne de fuite

La ligne de fuite (Lf) est la distance la plus courte le long de la surface d'un isolateur entre les deux électrodes [5, 6].

1.2.4.2. Tension de contournement

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes [5]. La tension de contournement dépend

- De la résistivité volumique moyenne de la pollution.
- De la répartition de la couche de pollution.
- De la longueur de l'isolateur.

- Du profil de l'isolateur.

1.2.4.3. *Tension de tenue*

C'est le niveau de tension le plus important, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive [4].

1.2.4.4. *Courant de fuite*

C'est un courant de faible amplitude, circulant à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur, son intensité devient importante lorsqu'on s'approche de la tension de contournement. Il dépend de plusieurs facteurs tels que la nature de la couche polluante et de la longueur de la ligne de fuite.

NB : Dans les conditions de forte humidité, la dissolution des sels contenus dans la couche polluante, provoque la formation d'une couche électrolytique.

1.2.4.5. *Courant de fuite critique*

C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer un contournement sur un isolateur à une tension donnée, sa valeur est obtenue dans la dernière demi-période avant le contournement.

Il est indépendant de la forme de l'isolateur et du procédé d'essai auquel il est soumis, mais il dépend du rapport entre la tension appliquée et la longueur de la ligne de fuite de l'isolateur.

1.3. Facteur de forme d'un isolateur

Le facteur de forme est déterminé par les dimensions de l'isolateur. Pour l'estimation graphique du facteur de forme, on trace la courbe de l'inverse de la circonférence (l/p) en fonction de la longueur de la ligne de fuite partielle l, calculée depuis une extrémité de l'isolateur jusqu'au point considéré. Il est donné par l'aire située sous la courbe et calculé suivant la formule (1.1) [4]:

$$\mathbf{F} = \int_0^L \frac{dl}{p(l)} \qquad (1.1)$$

- l est la longueur partielle de l'isolateur considéré (m) ;
- dl élément de la ligne de fuite ;

- p (l) le périmètre de l'isolateur.

1.4. P*rincipaux types d'isolateurs*

On peut distinguer deux principaux types d'isolateurs : les isolateurs rigides et les éléments de chaîne

1.4.1. I*solateur rigide*

Un isolateur rigide (Figure I.1) est relié au support par une ferrure fixe. Cet isolateur est principalement soumis à des efforts de flexion et de compression, lorsqu'il est placé en position verticale[2,3]. Il peut, dans certains cas, être placé horizontalement, voire à l'oblique.

Ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 kV.

Fig 1.1 : Isolateur rigide en verre

1.4.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne

Ils sont constitués par le matériau isolant et d'une pièce métallique qui sert à réaliser la liaison entre deux isolateurs et à donner une certaine flexibilité à la chaîne d'isolateurs [9]. La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (chaîne d'alignement), soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage). Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

- L'isolateur capot et tige.

- L'isolateur long fut.

1.4.3. Isolateurs à capot et tige

Chaque élément est constitué d'un capot, d'une partie isolante en forme de jupe et d'une tige. La coupe d'un tel isolateur est schématisée sur la (Figure I.2) [2]. La forme de la tête est dessinée de sorte que les efforts de traction appliqués à l'isolateur se transforment, autant que possible, en compression des diélectriques sur lesquels apparaissent, toutefois, inévitablement certaines contraintes de cisaillement [3, 7].

Fig 1.2:Isolateurs à capot et tige

1.4.4. Isolateur à long fût

1.4.4.1. Céramique

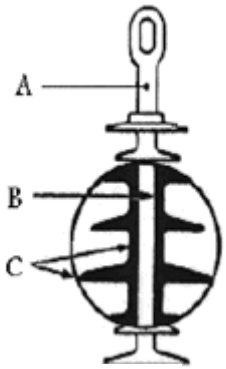
Il est constitué d'un cylindre plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques, muni d'ailettes (Figure 1.3). A chaque extrémité est fixée une pièce métallique de liaison. Celle-ci peut être enveloppante en forme de capot scellé autour des extrémités tronconiques prévues sur le cylindre, ou bien en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet [3,7]. De tels isolateurs peuvent être utilisés unitairement ou en série de plusieurs éléments en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis

Fig 1. 3 Isolateur à long fût en porcelaine

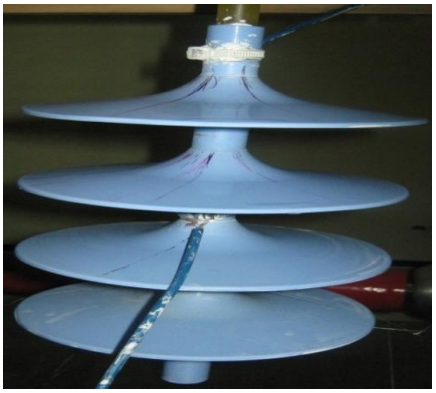
1.4.4.2. En matériaux synthétiques

L'intérêt principal de tels isolateurs est leur meilleure tenue à la pollution, leur faible encombrement, leur résistance au vandalisme et leur légèreté, en particulier lorsqu'on les compare aux chaînes d'isolateurs pour les lignes de tension électrique élevée [8]. De par leur constitution, ces isolateurs sont appelés composites. Ils sont constitués de trois parties ayant des rôles différents Fig. 1.4 :

- Un noyau en fibre de verre, imprégnées de résine, capable d'assurer l'isolement et de supporter les efforts mécaniques générés par les conducteurs ;
- Un revêtement en élastomère en EPDM (Ethylène Propylène Diène Monomère), vulcanisés à chaud qui donne le profil et la ligne de fuite tout en protégeant le noyau contre toute attaque des agents extérieurs en assurant l'étanchéité au raccordement avec les pièces métalliques d'extrémités. Son profil à ailettes alternées permet d'accroître la tenue sous pollution ;
- Des pièces métalliques, en fonte malléable ou acier forgé galvanisé à chaud, sont nécessaires au montage de l'isolateur et à la transmission des efforts mécaniques [9,10].



(a)



(b)

Isolateur en silicone

A : Pièces d'accrochage métallique.

B : noyau en fibre de verre résine.

C : Revêtement à ailettes en matériaux synthétiques

Fig. 1.4 Isolateur composite

1.5. Pollution des isolateurs

La pollution des isolateurs constitue un problème majeur dans la dégradation de l'isolement des ouvrages (postes et lignes) de haute tension [5, 9]. Portés par le vent et déposés sur la surface isolante des chaînes des isolateurs, et en présence d'humidité, les divers dépôts polluants deviennent plus ou moins conducteurs. Ce qui engendre une diminution conséquente de la tension de tenue des isolateurs. Des arcs électriques prennent naissance à la surface isolante et peuvent éventuellement, se développer en provoquant le contournement total des isolateurs.

1.5.1. Sources de pollution

Nous distinguons trois sortes de pollutions : la pollution naturelle, industrielle et mixte.

1.5.1.1. Pollution naturelle

Cette pollution peut être marine, désertique ou autre, provenant des dépôts de poussières véhiculés par les vents.

1.5.1.2. Pollution marine

Dans les installations en bordure de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui, à plus ou moins longue échéance, recouvre toute la surface de l'isolateur y compris les parties les mieux protégées. Cette couche de sel, humidifiée par les embruns eux même, ou par un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance dans certaines conditions, et se développer jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur [8].

1.5.1.3. Pollution désertique

Dans les régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sables déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs une couche de pollution contenant des sels. Une fois humidifiée, cette couche devient beaucoup plus conductrice. Un courant de fuite apparaît brusquement accompagné d'arcs partiels, dont la propagation à la surfaces de l'isolateur peut aussi conduire à un contournement total de l'isolateur [19].

1.5.1.4. Pollution industrielle

Le problème de la pollution industrielle se présente pour les lignes qui passent près des zones industrielles (les fumées des usines, raffineries, cimenteries, minerais ….. etc.), près des grandes villes (les gaz d'échappement des véhicules) ou près des terrains agricoles (les engrais utilisés en agriculture) [13].

1.5.1.5. Pollution mixte

La pollution mixte est la plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. Car elle résulte de la combinaison entre deux ou plusieurs pollutions précitées. La couche électrolytique formée par le processus d'humidification des dépôts solides accumulés progressivement sur la surface des isolateurs, engendre une diminution considérable de la rigidité diélectrique.

1.5.2. Degré de pollution

C'est la valeur qui caractérise la pollution telle que la salinité, la conductivité de la couche et la densité de dépôt de sel et donne par $S_a = \rho f$ [23].

1.6. Densité de dépôt de sel équivalent (DDSE)

La DDSE est utilisée comme un paramètre de base pour l'évaluation du comportement d'isolateur sur site. Elle est le dépôt équivalent exprimé en mg de [Na Cl] par cm2 de la surface d'un isolateur, qui a une conductivité électrique égale à celle du dépôt réel, lorsqu'il est dissous dans la même quantité d'eau [5, 13].

La densité du dépôt de sel équivalent est donnée comme suit :

$$DDSE = S_a \frac{V}{S} \qquad (1.2)$$

Telle que :

V est le volume de la suspension en cm3 ;

S est la surface nettoyée en cm2 ;

S_a est la salinité exprimé en kg/m3.

1.7. Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués

La tenue électrique d'isolateurs dépend de plusieurs facteurs météorologiques et parmi eux on distingue:

a. le Vent

Le vent joue un double rôle. Il assure d'une part le transport et la distribution des dépôts polluants formés sur les surfaces des isolateurs électriques, d'autre part il peut se comporter comme agent d'auto nettoyage lorsque sa vitesse est élevée [16].

b. la Pluie

Les fortes pluies permettent en général le nettoyage des surfaces polluées des isolateurs, ce pendant, les fines pluies peuvent mouiller les surfaces polluées, ce qui augmente le risque de contournement [8, 22].

c. l'Humidité

L'humidification est considérée comme un obstacle car elle influe négativement sur la tenue électrique des isolateurs puisqu'elle accroît la conductivité électrique des agents polluants déposés à leur surface et entraîne par conséquent la diminution de leur tenue [8].

d. la Température

Contrairement à l'humidité, l'élévation de la température favorise l'assèchement des dépôts polluants, ce qui fait augmenter leur résistivité et par conséquent la tenue des isolateurs contaminés devient plus important. Cependant, la différence de température entre le jour et la Nuit peut provoquer le phénomène de condensation et l'humidification de la couche de pollution.

1.8. Formation et répartition de la couche de pollution

La formation et la répartition de la couche de pollution sur la surface des isolateurs dépendent du profil des isolateurs, de la hauteur et de la disposition (verticale, horizontale ou inclinée) des chaînes d'isolateurs par rapport au sol et du niveau de tension qui leur est appliqué.

En général, la couche de pollution se concentre sur les éléments de la chaîne d'isolateurs situés du côté du conducteur de haute tension et dans les parties les mieux protégées contre les facteurs d'auto nettoyage (vent et pluie forte). Par conséquent, la répartition de la pollution le long des chaînes d'isolateurs n'est pas uniforme [24]. Ce non uniformité devient plus accentué lorsque la longueur des chaînes d'isolateurs augmente.

Il existe une distinction nette entre les couches formées à la surface supérieure et celles formées à la surface inférieure d'un isolateur soumis à la pollution naturelle

Le non uniformité de la pollution peut être classé en trois catégories [27].

La non-uniformité longitudinale par groupe

La non-uniformité transversale

La non-uniformité longitudinale périodique

1.9. Conséquences de la pollution

Lorsque l'isolateur est propre ou recouvert d'une couche de pollution sèche, la résistivité à la surface est très grande et le courant capacitif circulant à la surface est très faible. Par contre, et quelle que soit sa nature, le dépôt de pollution accumulé à la surface de l'isolateur provoque, en présence de l'humidité, la formation d'une couche électrolytique augmentant ainsi la conductivité superficielle. Cette couche devient, par la suite, le siège d'un courant de conduction de valeur relativement importante. Ce qui peut conduire à la formation et au développement d'arcs électriques le long de la surface de l'isolateur. Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur [10] :

L'extinction d'un arc peut être obtenue par refroidissement ou allongement, comme par exemple dans les disjoncteurs à haute tension, ou par d'autres méthodes.

Fig. 1.5 Arc électrique à la surface d'un isolateur

1.9.1. Arc non localisé

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorce à un autre endroit et ainsi de suite. Il y a apparition de courant de fuite entraînant une petite perte d'énergie, généralement supportable par l'installation.

1.9.2. Arc fixe

L'arc électrique se fixe sur la surface, soit en s'y maintenant (courant continu), soit en se réamorçant au même endroit (courant alternatif). Cet arc peut entraîner, par effet thermique, une dégradation du support isolant nécessitant le remplacement de l'élément défaillant.

1.9.3. Contournement électrique (court-circuit)

Le comportement des isolateurs sous pollution peut être décomposé en quatre étapes distinctes. Chacune de ces étapes a une importance sur la tenue ou le contournement de la chaîne isolante sous tension de service du réseau.

Étape 1 : Dépôt de la pollution

Les particules du dépôt sont apportées par le vent et se concentrent entre les nervures ou autour du capot. Les facteurs d'accumulation sont les suivants :

- La nature, le poids et la taille des particules polluantes.
- La distance de l'isolateur par rapport à la source de pollution et par rapport au sol d'où peuvent provenir les poussières.
- La vitesse du vent.
- L'orientation de la chaîne.

La forme de l'isolateur et son aptitude à l'auto nettoyage par les fortes pluies et vents.

Étape 2 : Humidification de la pollution

Le brouillard et la condensation de la petite pluie modifient graduellement et pratiquement sans délavage la surface de l'isolateur pollué. Ces conditions sont dites critiques. Les sels contenus dans le dépôt se dissolvent et créent un électrolyte conducteur sur la surface de l'isolateur. Un courant de fuite prend alors naissance.

Pendant le cycle d'humidification, le courant de fuite augmente jusqu'à une valeur maximale, mais diminue s'il y a séchage. Le niveau de courant de fuite dépend du temps, de la nature et de la quantité des sels solubles et insolubles. Ces derniers maintiennent par adsorption une certaine quantité d'eau à la surface de l'isolateur, entretenant ainsi l'humidification du dépôt.

Étape 3 : Développement des zones sèches et apparition d'arcs

La densité du courant de fuite est beaucoup plus importante prés des ferrures de l'isolateur. Par effet Joule, la température s'élève, l'eau s'évapore et le dépôt devient moins conducteur. Le courant est alors très réduit en amplitude par la présence d'une «bande sèche». La répartition de potentiel sur l'isolateur est modifiée par cette bande sèche, car la plus grande portion du potentiel électrique se trouve reportée à ses bornes. Si la largeur de cette bande sèche est insuffisante pour supporter la différence de potentiel correspondante, un arc est créé.

Étape 4 : Comportement des arcs

La résistance du dépôt humidifié non court-circuité par l'arc limite le courant et la longueur de l'arc. Si le courant est trop faible, l'arc s'éteindra, la bande sèche s'humidifiera à nouveau et le mécanisme se répétera encore. Tant que le courant de fuite n'excède pas ce que l'on appelle le «courant critique » correspondant à une «longueur critique » de l'arc, cette situation reste stable.

Dans le cas contraire, le contournement de l'isolateur peut survenir [26].

1.10. Contrainte de contournement

La contrainte de contournement d'un isolateur est la tension de contournement divisée par la longueur totale de l'isolateur. Sur site, la contrainte de contournement peut être mesurée de différentes façons [21].

Installation de chaînes d'isolateurs de même type, mais de différentes longueurs, et soumises à une tension constante. On estime les probabilités de contournement à partir des proportions d'amorçage enregistrées.

Une autre méthode consiste à disposer des fusibles sur chaque chaîne, afin que la chaîne accroisse sa longueur effective jusqu'à atteindre le niveau de tenue en tension.

1.11. Les modèles du contournement des isolateurs sous pollution

Plusieurs travaux expérimentaux et théoriques ont été consacrés pour expliquer le mécanisme conduisant au contournement des isolateurs pollués

Il s'agit en particulier de la forme des isolateurs, de la répartition des couches polluantes (homogènes ou non homogènes), de la résistivité des échanges thermiques, du non uniformité du mouillage, de l'intensité des arcs au voisinage de la surface isolante, de la formation d'arcs multiples et de la détermination de la tension de contournement.

Dans ce qui va suivre, nous allons exposer une recherche bibliographique des différents modèles statiques et dynamiques développés dans ce domaine.

1.11.1. Modèle d'Obenaus

Le premier chercheur qui était à l'origine des premières analyses quantitatives des phénomènes d'arcs se produisant sur les surfaces isolantes planes, recouvertes d'une couche polluante, est à l'origine des premières analyses quantitatives des phénomènes d'arcs se produisant sur les surfaces isolantes planes, recouvertes d'une couche polluante, sous tension continue [23]. Partant d'un modèle type circuit électrique équivalent, constitué d'un arc de longueur x en série avec une résistance $R_p$représentant la résistance de la pollution (Figure 1.3 où L représente la longueur de fuite totale), il en a déduit la tension d'arc :

$$U_{arc} = \frac{A.X}{I^n} \qquad (1.3)$$

Où I est le courant de fuite, n et Ales constantes de la caractéristique statique de l'arc.

Les valeurs des paramètres n et Adépendent du milieu dans lequel s'amorce la décharge. Selon l'auteur [21] $0 \leq n \leq 1$ et $0 \leq n$ et $A \leq 500$.

A partir de mesures expérimentales sur un canal d'électrolyte, Ghosh et Chatterjee [22] ont proposé de prendre des valeurs différentes pour n et Acaractérisant l'équation de la décharge selon la nature de l'électrolyte utilisé.

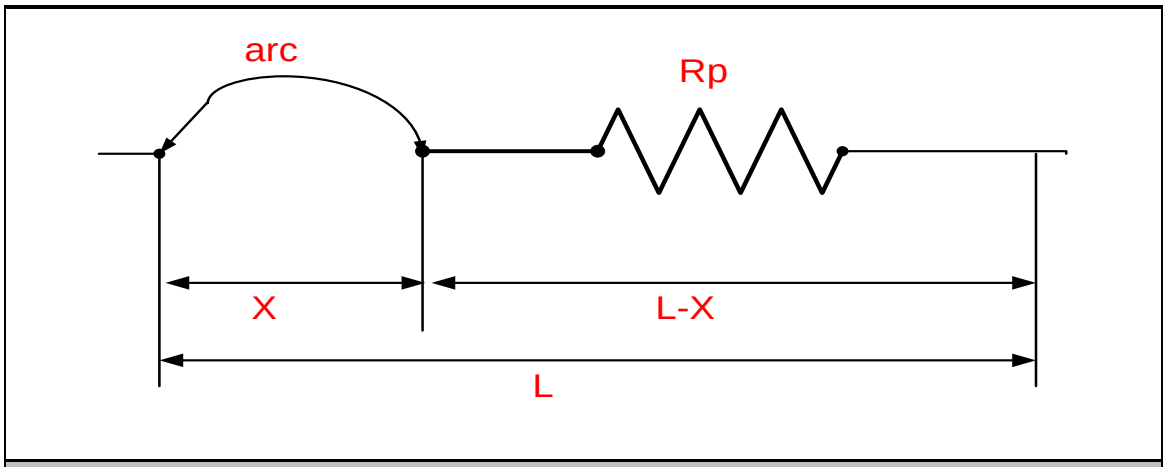


Fig 1.6 *Modèled'Obenaus*.

En effet, en appliquant la loi d'Ohm à ce circuit, on peut écrire:

$$V = V_e + V_{arc} + R_p(X)I \qquad (1.4)$$

Avec :

V : est la tension appliquée ;

Ve : la chute de tension totale aux bornes des électrodes; cette dernière dépend des conditions expérimentales.

$R_p\ (X)$: est la résistance de la couche polluée.

V_{arc} : la tension d'arc telle que :

$$V_{arc} = R_{arc}(X)I \qquad (1.5)$$

R_{arc} est la résistance d'arc par unité de longueur ;

I le courant qui traverse la couche polluée.

La décharge est caractérisée par la présence d'un champ électrique longitudinal E_a:

$$E_a = \frac{V_{arc}}{X} = A \cdot I^{-n} \tag{1.6}$$

D'où l'équation:

$$V_{arc} = A \cdot X \cdot I^{-n} \tag{1.7}$$

Ainsi, on obtient l'équation de la tension totale appliquée au système:

$$V = V_e + A \cdot X \cdot I^{-n} + R_p(X) \cdot I \tag{1.8}$$

Les valeurs des paramètres n et N dépendent du milieu dans lequel brûle la décharge.

$0.40 \le n \le 1$ et $3 \le A \le 500$

1.11.2. Modèle de Neumarker

En reprenant les travaux d'Obenaus, et en y ajoutant l'hypothèse d'une couche de pollution de résistance r_p uniforme par unité de longueur de fuite, Neumarker [30, 31, 32] a proposé l'expression suivante pour la résistance de pollution R_p :

$$R_p = r_p(L - x) \tag{1.9}$$

En introduisant cette expression dans le modèle d'Obenaus et en négligeant les chutes de tension cumulées aux électrodes, la tension V aux bornes de l'isolateur sera :

$$V = V_{arc} + r_p(L - x) \tag{1.10}$$

Ou encore :

$$V = \frac{NX}{I^n} + r_p(L - x) \tag{1.11}$$

Ainsi, Neumarker déduit le courant et la longueur d'arc critiques :

$$I_c = \left(\frac{A}{r_p}\right)^{\frac{1}{n+1}} \tag{1.12}$$

Et

$$x_c = \frac{L}{n+1} \tag{1.13}$$

L'expression de la tension critique de contournement est par conséquent :

$$U_c = A^{\frac{1}{n+1}} \; r_p{}^{\frac{n}{n+1}} \; L \tag{1.14}$$

1.11.3. Modèles de Rizk

A partir d'une analyse théorique, Rizk a décrit le phénomène d'entretien de l'arc et le mécanisme de rupture diélectrique. Il a mis en évidence l'expression de la rigidité de l'espace résiduel et établit une relation entre la tension de contournementU_c, la résistance de pollution linéique r_p et la longueur de fuite L [22]. Cette relation peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{U_c}{L} = 23.{r_p}^{0.4} \qquad (1.15)$$

1.11.4. Modèlede Claverie et Porcheron

Plusieurs modèles expérimentaux ont été proposés pour le cas d'une tension alternative. Le plus connu est celui de Claverie et Porcheron [10]. Ces auteurs ont montré que, pour un modèle d'isolateur plan (Figure 1.7), la tension d'arc est de la forme :

$$U_{arc} = 100.\frac{X}{\sqrt{I}} \qquad (1.16)$$

et la tension minimale d'entretien de l'arc :

$$U_{CX} = 800.\frac{X}{\sqrt{I}} \qquad (1.17)$$

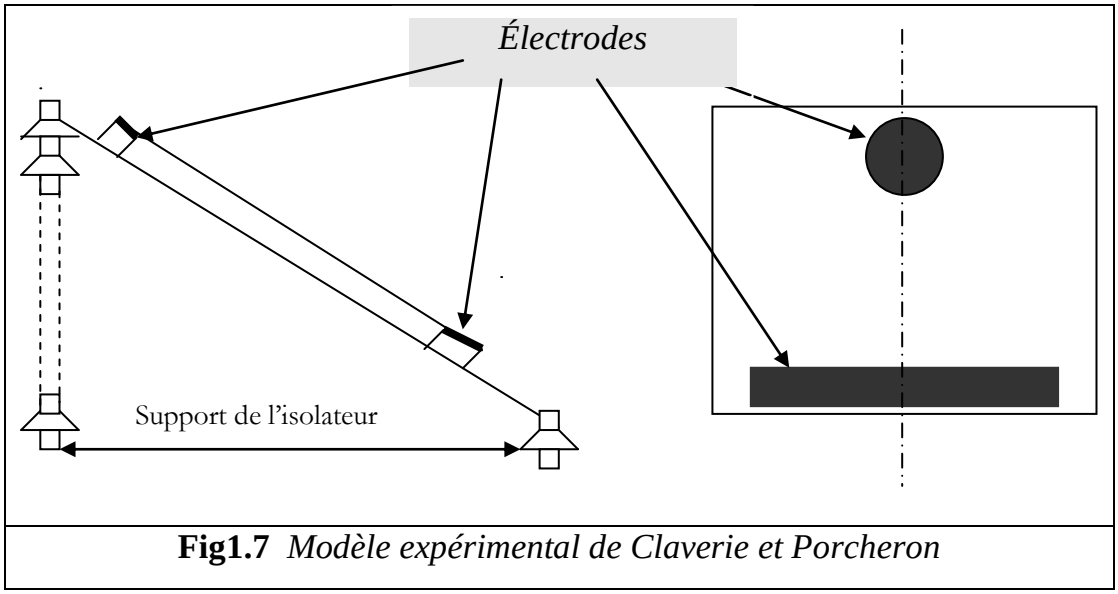


Fig1.7 *Modèle expérimental de Claverie et Porcheron*

1.11.5. Modèle d'Alston et Zoledziowski

En tenant compte de l'hypothèse de Neumarker [26] et pour une tension d'application dépassant quelques kilosvolts, Alston et Zoledziowski [17] ont déterminé la condition de maintien de l'arc électrique, dans le cas d'un isolateur cylindrique de longueur L (Figure 1.8) :

$$U_{CX} = (n+1)(A.X)^{\frac{1}{n+1}}\left(\frac{r_{p(L-X}}{n}\right)^{\frac{n}{n+1}} \qquad (1.18)$$

Avec

X : La longueur d'arc.

Aet$n$: les constantes empiriques qui caractérisent l'état statique de l'arc.

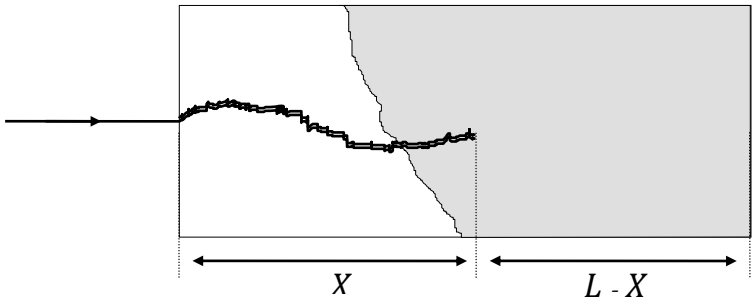


Fig1.8 *Modèle cylindrique utilisé par Alston et Zoledowski*

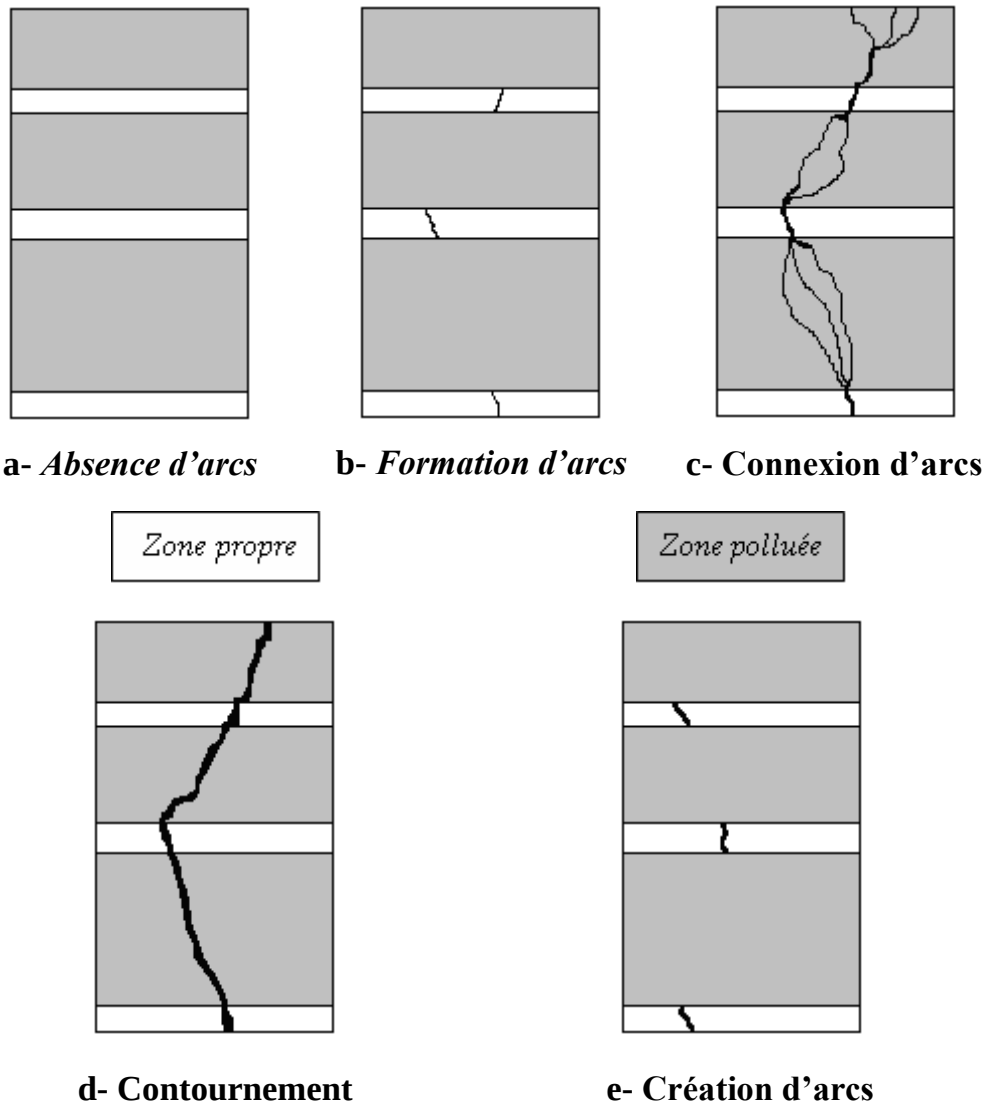
1.11.6. Modèle de J. Danis

Ce modèle est constitué d'une plaque de verre isolante, de forme géométrique simple, munie de deux électrodes rectangulaires identiques et placées aux deux extrémités de la plaque (Figure 1.9) [23].

Dans le but de reproduire des couches similaires à celles observées sur les isolateurs pollués dans les conditions naturelles, J. Danis a considéré plus d'une zone sèche (Figure 1.9). Ainsi l'auteur a abouti aux résultats suivants :

- L'arc électrique prend naissance dans les zones sèches et se déplace vers les zones humides. Cet arc commence d'une façon aléatoire le long de la zone sèche et aucune position n'est privilégiée par rapport à une autre.
- Dans le cas d'une alimentation continue, l'aspect de l'arc dépend de la polarité de l'électrode qui se trouve juste à proximité de l'arc (en cas de zone

humide). Il semblerait que l'anode provoque un arc en forme de simple décharge luminescente. La cathode, par contre, provoque un arc aux multiples ramifications fines. De plus, le développement de l'arc à proximité de la cathode est plus rapide que celui à proximité de l'anode.



a- ***Absence d'arcs*** **b-** ***Formation d'arcs*** **c- Connexion d'arcs**

d- Contournement **e- Création d'arcs**

Fig. 1.9*Modèle de Danis*

1.11.7. Modèle de A. Mekhaldi

A. Mekhaldi a utilisé un modèle plan et rectangulaire similaire à celui considéré par P. Claverie et Y. Porcheron [10]. Il s'intéresse surtout à l'évolution du courant de fuite ainsi que la longueur de l'arc électrique en fonction de la conductivité de la couche de pollution, du rayon de l'électrode de haute tension, de la distance inter-

électrodes, de l'épaisseur de la couche de pollution et de la répartition discontinue de la couche de pollution. A partir de ces études, les résultats tirés sont les suivants :

- Le courant de fuite et la largeur de l'arc diminuent avec la distance inter-électrodes, augmentent avec le rayon de l'électrode circulaire, augmentent avec la conductivité et augmentent aussi avec l'épaisseur de la couche de pollution [20].

1.11.8. Modèle du disque circulaire

Woodson et McElroy ont imaginé une configuration géométrique, illustrée à la figure (1.10), qui représenterait de façon idéale la surface d'un isolateur à disque. Ils partaient de l'hypothèse que, de façon générale, la résistance superficielle de la couche de pollution humide, pour n'importe quelle position $r_a$du point de départ de l'arc de rayonr_d, peut s'exprimer par une fonction de la forme :

$$R_P = \frac{1}{\gamma} f(r_d\ , r_a\ \ , r_0) \qquad (1.19)$$

Où r_0 est le rayon de l'électrode externe et la conductivité superficielle du polluant [25].

Si l'on néglige la dépendance de la fonction f vis-à-vis du rayon de l'arc r_d, on obtient une expression encore plus simple ayant la forme :

$$R_P = \frac{c}{\gamma_s} f(r_0 - r_a)^m \qquad (1.20)$$

Où c est une constante trouve expérimentalement égale à 1.4 pour R_P =1.6 10^{-2} Ω, et m est une constante. Ce modèle sous tension continue n'a pas donné de résultats satisfaisants. Cela a été imputé au non uniformité de la résistivité superficielle de l'isolateur.

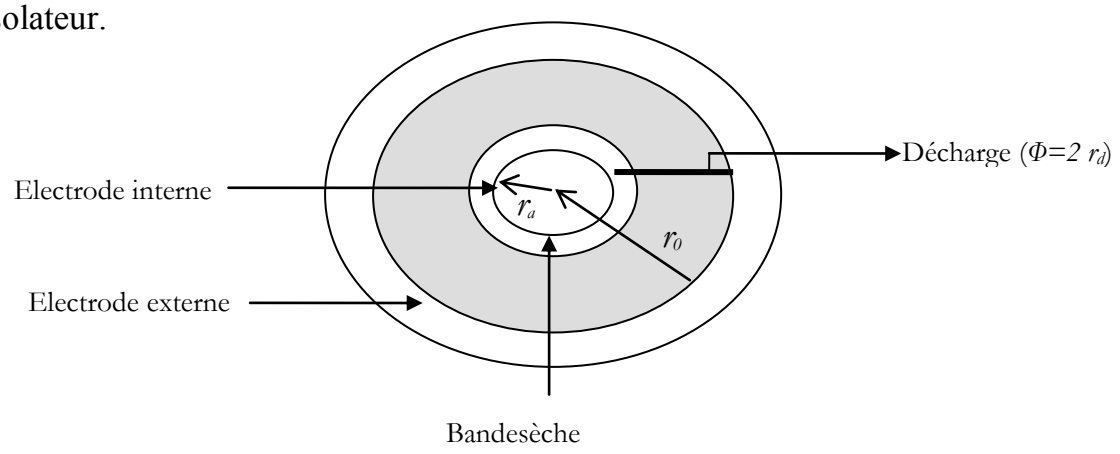


Fig1.10*Model d'isolateur en forme de disque conçu par McElroy et Woodson [25]*

1.11.9. Modèles de Teguar

A / Cas de pollution continue

Teguara élaboré un modèle statique en tension alternative [2]. Son modèle est basé sur celui d'Obenaus, et permet d'avoir les différentes caractéristiques concernant le Développement de l'arc électrique sur une surface isolante uniformément polluée.

En se basant sur l'équation du circuit et sur la condition limite de réamorçage [5, 10], il a déterminé l'expression donnant la résistance de pollution en série avec l'arc, en fonction de la tension appliquée et le courant de fuite :

$$R_p = \frac{1}{\rho}\frac{K-100}{K}\frac{U}{I} = \rho F_p \qquad (1.21)$$

Oùρ représente la résistivité de la couche de pollution et la constante$K$ de la caractéristique statique de l'arc.

Cette équation lui a permis d'évaluer la longueur critique de l'arc et par suite tous les paramètres caractérisant les phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des surfaces isolantes uniformément polluées.

Un modèle amélioré a été mis au point par Teguar [2] pour caractériser la propagation d'une décharge électrique sur des surfaces isolantes soumises à une pollution continue non uniforme.

B / Cas de pollution discontinue

Teguara élaboré un algorithme qui permet d'obtenir les différentes caractéristiques des phénomènes de conduction sur les surfaces isolantes sous pollution discontinue. Les bandes propres et polluées sont représentées pas des circuits électriques. Les composants de ces circuits sont déterminés à partir des essais effectués sur la plaque propre et celle uniformément polluée[2]. Le courant de fuite critique et la tension de contournement sont calculés à partir de la connaissance de la tension de contournement obtenue expérimentalement dans le cas où les couches de la pollution discontinue sont remplacées par du papier aluminium.

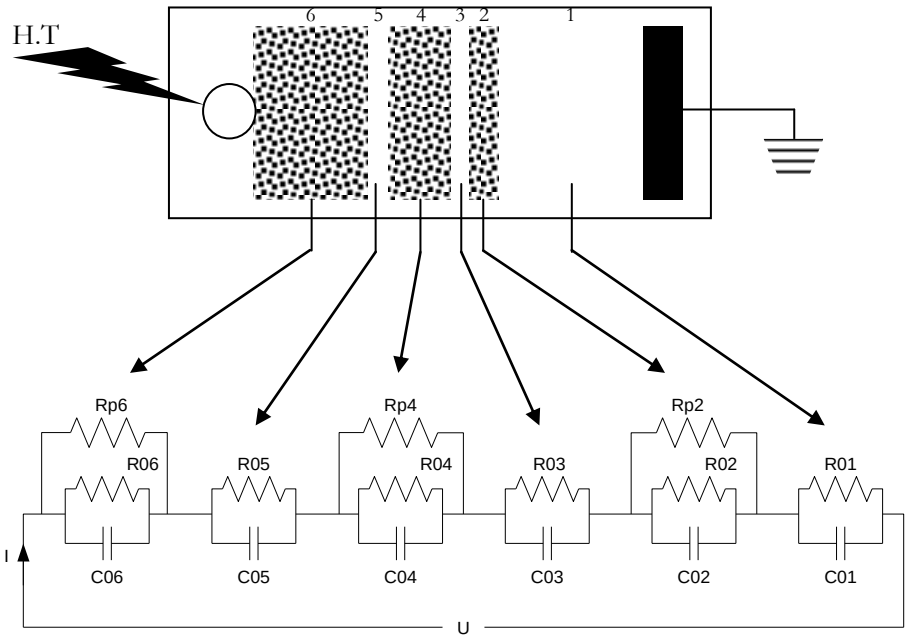


Fig1.11*Circuit électrique équivalent du modèle de laboratoire [38]*

La figure (1.11) représente le circuit électrique équivalent au modèle de laboratoire sous pollution discontinue. Dans ce circuit, chaque bande *i* (*i*=1 à 6) est constituée d'une résistance R_{0i}en parallèle avec une capacité C_{0i}. Pour chaque bande polluée *i* (*i*=2, 4, 6), ces circuits sont shuntés par une résistance R_{pi} représentant la couche de pollution (peinture semi-conductrice à base de graphite)

Le fait que les couches polluantes possèdent des formes rectangulaires et selon la recommandation de la CEI 60-1 [21], l'expression de la résistance pour chaque bande polluée *i* peut être formulée par :

$$R_{pi} = R_{sp} \int_0^L \frac{dl}{b} = R_{sp} \frac{L_i}{b} = R_p f \frac{L_i}{b} \qquad (1.22)$$

Avec *i=2, 4, 6,* R_{pi}la résistance de la couche de pollution, *dl* élément de longueur, $L_i$la longueur de la pollution, *b* la largeur de la couche de pollution et f le facteur de forme.

Les résultats simulés concordent assez parfaitement avec ceux obtenus expérimentalement pour les grandes largeurs de couches polluantes.

1.11.10. Modèle Dhahbi, Beroual et Krahenbul

Ces auteurs ont proposé un nouveau critère analytique de propagation de la décharge en

faisant intervenir l'impédance équivalente Z_{eq}d'un circuit électrique (Figure 1.12), simulant un isolateur pollué sur lequel une décharge s'est produite [27].

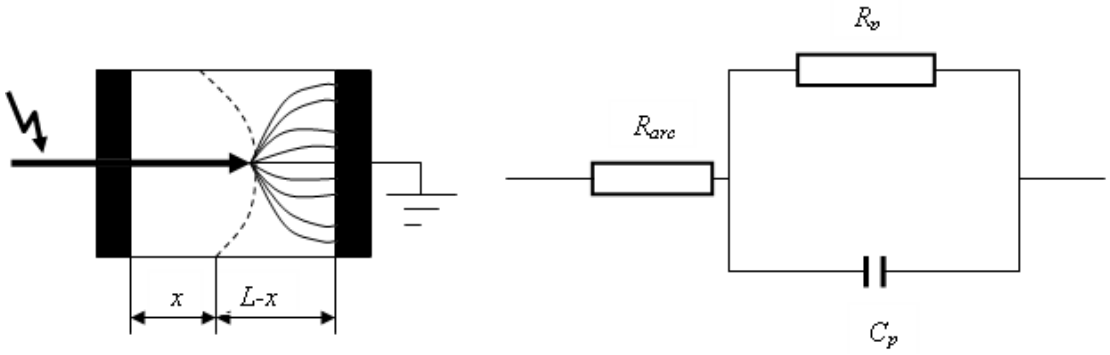


Fig1.12*Modèle d'isolateur pollué avec son circuit équivalent [27]*

En utilisant la condition nécessaire à la propagation de l'arc, donnée par ***:***

$$\frac{d|Z_{eq}|}{dx} \leq 0 \qquad (1.23)$$

Ces auteurs ont abouti à un critère qui est :

$$E_{arc} \geq \frac{E_p}{\sqrt{a}} \qquad (1.24)$$

Sous tension continue a=1, car

$$a = 1 + \omega^2 \rho_p^2 \varepsilon^2 \qquad (1.25)$$

Où

ω : la pulsation,

ρ_p : la résistivité de la pollution,

ε : la permittivité de la pollution.

1.11.11. Modèle de M.N.Rayes et M.Zhirh

Ce modèle est constitué d'une électrode placée au-dessus d'une plaque isolante, à une distance variable s, considérée égale à la largeur de la zone sèche. Cette plaque est placée sur quatre colonnes uniformément polluées et situées à une distance l-s de la terre (Fig. 1.13). Une tension alternative de fréquence 50 Hz est alors appliquée au modèle.

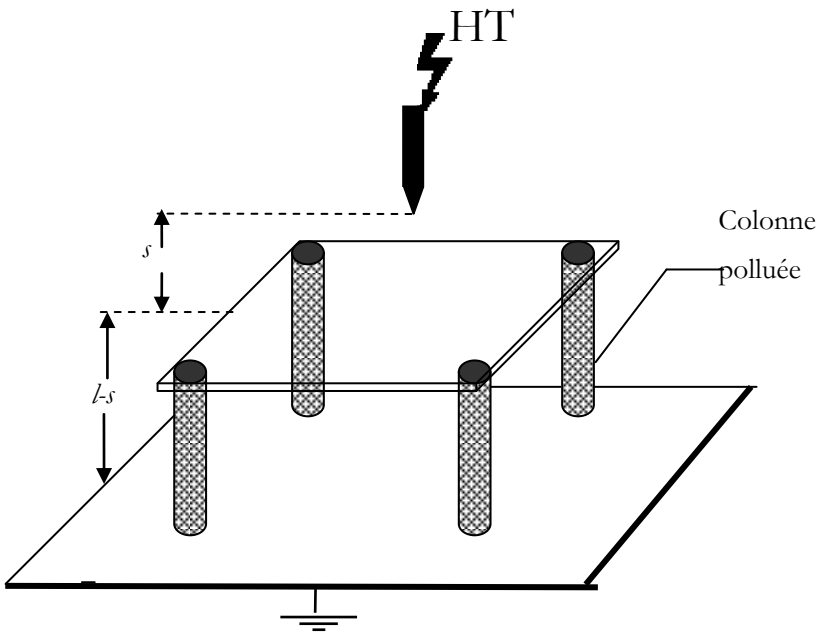


Figure 1.13 *Modèle de M.N.Rayes et M.Zhirh*

Les auteurs se sont alors intéressés à la variation de la tension de contournement en fonction de la largeur s de la zone sèche, pour plusieurs conductivités de la pollution appliquées aux colonnes.

Les auteurs ont donc abouti aux résultats suivants :

- La tension de contournement Uc en fonction de « s » atteint un minimum, correspondant à une largeur S_{min} qui se situe à environ 45-50% de la longueur totale, ce sont des courbes en forme de « V ».
- La tension de contournement, pour une même largeur de la zone sèche, diminue avec la conductivité des couches polluantes.
- La tension de contournement de l'ensemble zone sèche zone polluée semble être confondue avec celle de la zone polluée lorsque $s < S_{min}$, et avec celle de la zone sèche pour $s > S_{min}$.

Les auteurs ont conclu que :

- La tension de contournement de l'isolateur dépend du rapport des largeurs des zones sèche et polluée.

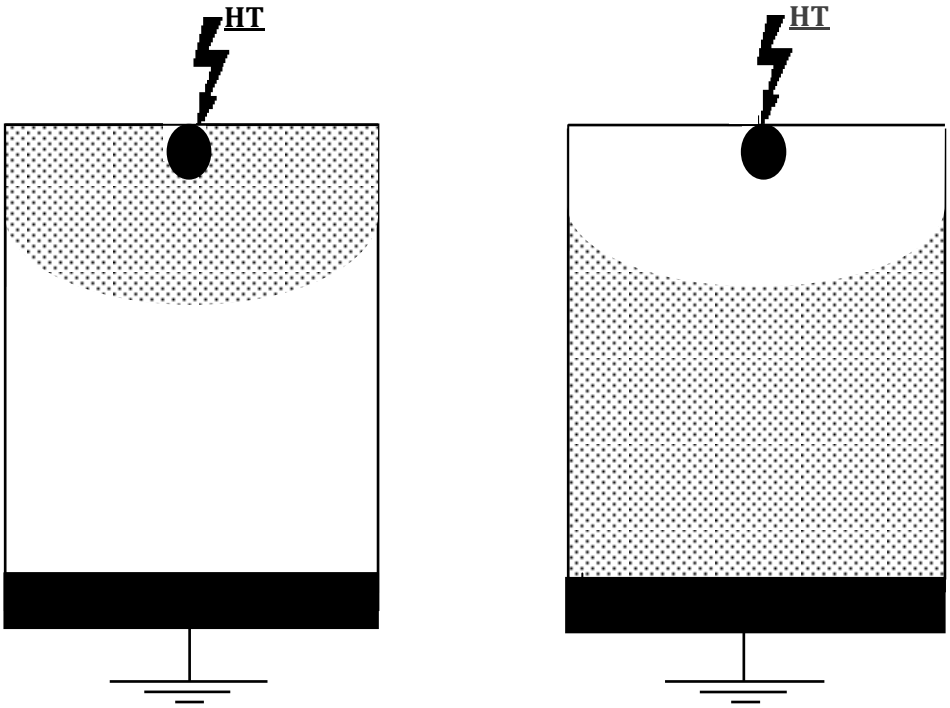
- Les courbes en forme de V des tensions de contournement totales montrent que cette dernière ne représente pas la somme des contournements partiels zone sèche-zone polluée.
- Le contournement total correspond à un des contournements partiels considérés, suivant le rapport entre les largeurs de la zone sèche et de la zone polluée.
- La rigidité diminue pour une plage précise de variation de la zone sèche. Cette plage devrait dépendre de la longueur critique d'arc, qui serait favorisée par des zones sèches préétablies.
- L'augmentation de la rigidité lorsque la largeur sèche préétablie devient supérieure à la largeur critique, où aucun arc stable ne peut être observé. Cette largeur critique dépendra du modèle utilisé [2].

1.11.12. Modèle de D. Namane

Afin d'examiner le comportement des surfaces isolantes sous pollution discontinue, D.Namanea proposé un modèle plan rectangulaire (Fig. 1.14)[19]. Les différentes contraintes sous lesquelles est soumis son modèle de laboratoire sont: la discontinuité de la pollution en variant de manière régulière la largeur de la pollution, la position de la pollution par rapport aux électrodes ainsi que la conductivité de la couche polluante appliquée sur la plaque.

L'influence de ces contraintes sur le courant de fuite, sur la tension d'entretien de l'arc électrique et sur la tension de contournement ainsi que le processus de contournement, est alors examinée.

- Le courant de fuite est toujours plus élevé lorsque la couche polluante est du côté de l'électrode rectangulaire, mise à la terre. Ceci est dû au phénomène de la conduction dans la zone sèche et à l'effet de couronne. En effet, lorsque la zone sèche est de côté haute tension, le rayon de courbure de l'électrode circulaire provoque un champ électrique, vraisemblablement plus intense que celui de l'électrode rectangulaire, par conséquent, on obtient une augmentation du courant de fuite.



(a) pollution côté haute tension **(b) pollution côté terre**

Fig 1.14 Modèle expérimental selon D.Namane

Les principaux résultats qui ont été obtenus sont les suivants :

- La position de la couche polluante vue des électrodes a peu d'influence sur la tension d'entretien de l'arc.
- La position de la pollution n'a apparemment pas d'influence sur la tension de contournement pour les conductivités utilisées.
- Une bonne corrélation a été constatée entre les résultats expérimentaux et le modèle empirique tant que la zone sèche garde les mêmes propriétés d'isolement [29]. Au delà, le modèle théorique montre ses limites et ne convient plus puisque celui-ci ne tient pas compte de la variation de l'impédance de la zone sèche avec la tension reportée à ses bornes.

1.11.13. Modèle de Dhahbi et Beroual

Ces deux chercheurs considèrent que la décharge peut être représentée par un schéma électrique équivalent comme l'indique la figure (1.15). Sachant que pour chaque saut de l'arc, on obtient une nouvelle cellule ayant les paramètres suivants :

Ri, Ci, Li et Ui.

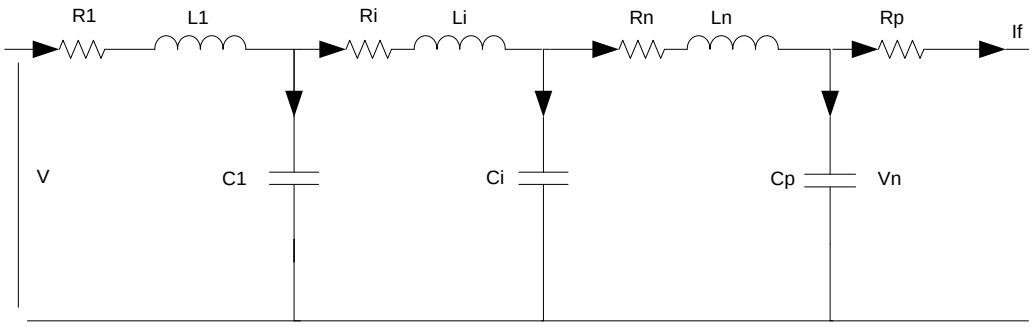


Fig 1.15 Schéma électrique équivalent à la propagation de la décharge

Rp : la résistance de la pollution,

Cp : la capacité de la couche de pollution,

Ri : la résistance de l'arc,

Ci : la capacité de la décharge,

Li : l'inductance de la décharge.

Ce modèle permet de calculer la tension de contournement, le temps au contournement ainsi que certains paramètres caractérisant la propagation de la décharge électrique le long d'une surface isolante polluée [27]. Il utilise le critère d'impédance comme critère de propagation. Ainsi, ces auteurs ont trouvé que les effets de l'inductance du canal de la décharge sont négligeables, et que la forme d'onde de la tension appliquée a une influence directe sur les paramètres régissant le phénomène de contournement.

1.11.14. Modèle deWilkins

Celui-ci est constitué d'une électrode mise sous tension et située au-dessus d'un bac rempli d'eau additionnée de sel, permettant de simuler la zone polluée. La zone sèche étant considérée comme l'espace compris entre l'électrode et l'eau (Fig1.16) [29]. Ce modèle est très utilisé pour étudier le critère de propagation de l'arc.

Tous ces modèles de laboratoire ont permis par la simplicité de leur configuration, d'examiner aisément l'influence de nombreux paramètres sur le comportement de

l'isolateur (courant de fuite, contournement, tension d'entretien de l'arc, etc.) [7].

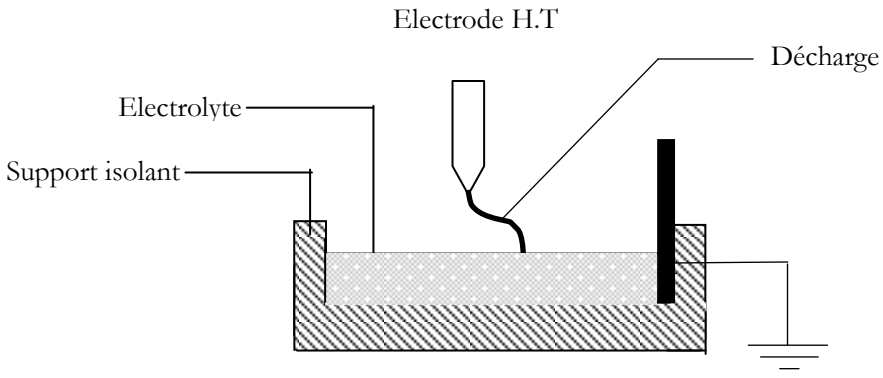


Fig. 1.16 :Modèle de *Wilkins*

1.12. But du travail

De ce qui précède, il est important de souligner que le phénomène de contournement dans les isolateurs pollués n'a pas encore été décrit avec précision par un modèle mathématique. La difficulté principale est la définition des constantes de l'arc, qui est formé dans les bandes sèche lorsque la tension est supérieure à sa valeur critique, pour la détermination des constantes de l'arc on a choisie la méthode d'optimisation qui basés sur les algorithmes génétiques, en utilisant les résultats expérimentaux des isolateurs artificiellement pollués disponibles dans la littérature. En se basant sur un modèle de contournement d'un isolateur pollué généralisé et sur un programme informatique réalisé sous environnement FORTRAN utilisant l'approche des algorithmes génétiques on pourra déterminer les constantes de l'arc et par suite définir complètement le modèle mathématique qui simule avec précision les résultats expérimentaux.

1.13. Conclusion

La pollution des isolateurs est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des lignes électriques de haute tension. Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs, il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution des sites concernés. La connaissance de cette sévérité consiste à étudier les différents paramètres

qui définissent l'état de dégradation de l'isolation. Il n'en demeure pas moins que trois années sont au minimum nécessaires pour déterminer la sévérité d'un site.

La plupart des modèles traitent le problème de manière statique et reposent sur le modèle proposé par Obenaus. Ils traitent le phénomène de contournement sous un aspect global en lui associant des critères d'extension se basant soit sur le champ électrique, soit sur l'énergie ou encore la puissance dissipée.

Cette étude propose une méthode d'optimisation des opérations arithmétiques complexes en utilisant des algorithmes génétiques qui sera traité dans le chapitre suivant.

Chapitre 02

L'APPROCHE DES ALGORITHMES GENETIQUE

2.1. Introduction

Durant les phases de conception, les méthodes d'optimisation sont très utiles. En effet, le couplage d'un algorithme d'optimisation sous contraintes avec un modèle d'analyse permet d'explorer un vaste espace des solutions pour converger ainsi vers la meilleure configuration [33].

La résolution d'un problème d'optimisation dans les réseaux électriques est très souvent complexe car de nombreux facteurs interviennent. Les algorithmes d'optimisation appliqués au domaine de l'Electrotechnique ont connu un grand développement [34].

En effet, ils permettent de résoudre des problèmes qui étaient insolubles auparavant et aboutissent à des solutions originales.

Le troisième chapitre présente d'une façon générale l'état de l'art des algorithmes évolutionnaires. Dans ce chapitre nous commençons par une description détaillée des algorithmes génétiques.

Ce chapitre propose la mise en œuvre d'un outil d'optimisation afin d'atteindre le but que l'on s'était fixé : déterminer les grandeurs géométriques et physiques de l'isolateur haut tension les mieux adaptées vis-à-vis de l'objectif défini (déterminé les constants de contournement, tension et conductivité ...) tout en respectant les caractéristiques expérimentaux.

2.2. Principe de fonctionnement des AGs

Les algorithmes génétiques développés à l'Université de Michigan (USA) par

(J. Holland 1975, Goldberg 1989, L. Davis 1991 et Michalewicz 1992). Ils ont été imaginés comme outils de modélisation de l'adaptation.

C'est les plus connus des algorithmes évolutionnaires; ils favorisent l'utilisation du croisement comme principal opérateur de recherche. Il utilise cependant la mutation avec

un faible pourcentage de probabilité, et une méthode de sélection de type probabiliste dans laquelle la probabilité de sélection est proportionnelle à la fonction d'adaptation de l'individu. La représentation des individus génotype, qui est à l'origine de type binaire, a été par la suite développée à de nombreuses autres formes de représentation [31].

2.3. Procédure d'optimisation

Le problème d'optimisation est basé sur les algorithmes génétiques (GA). Ces algorithmes utilisent le concept artificiel de Darwin dans lequel seul les individus les plus forts survivent. Pour l'identification des paramètres d'un modèle dont la structure est connue, l'individu est l'ensemble des paramètres inconnus et par conséquent chaque gène coïncide avec un paramètre. Dans la suite on présentera cet algorithme en explicitant son mode de fonctionnement.

2.4. Description de l'Algorithme génétique

Le but d'un algorithme génétique est d'optimiser une fonction *f* dite fonction objectif sur un espace de recherche. Pour cela, une population d'individus, typiquement un Puplet de points de l'espace de recherche, évolue selon un darwinisme artificiel (évaluation, sélection, reproduction) basé sur la fonction d'adaptation *F* de chaque individu [35]. La fonction d'adaptation est directement liée à la valeur de la fonction objectif *f* de cet individu (exemple, la fonction *f* elle-même). Des opérateurs appliqués à la population permettent de créer de nouveaux individus (croisement et mutation) et de sélectionner les individus de la population qui vont survivre (sélection et remplacement) [39]. Les opérateurs appliqués à un individu ne sont pas en général définis sur le même espace que celui sur lequel est défini la fonction objective, appelé espace des phénotypes, mais sur un espace de représentation appelé l'espace des génotypes. Par exemple pour un codage binaire les algorithmes génétiques simples utilisent un espace de génotypes de la forme {0, 1} n.

2.5. Structure principal d'un AG

Les AGs générant de nouveaux chromosomes a partir d'une population initiale de chromosomes. L'organigramme de la figure 2.1 donne une description générale d'un

algorithme génétique simple.

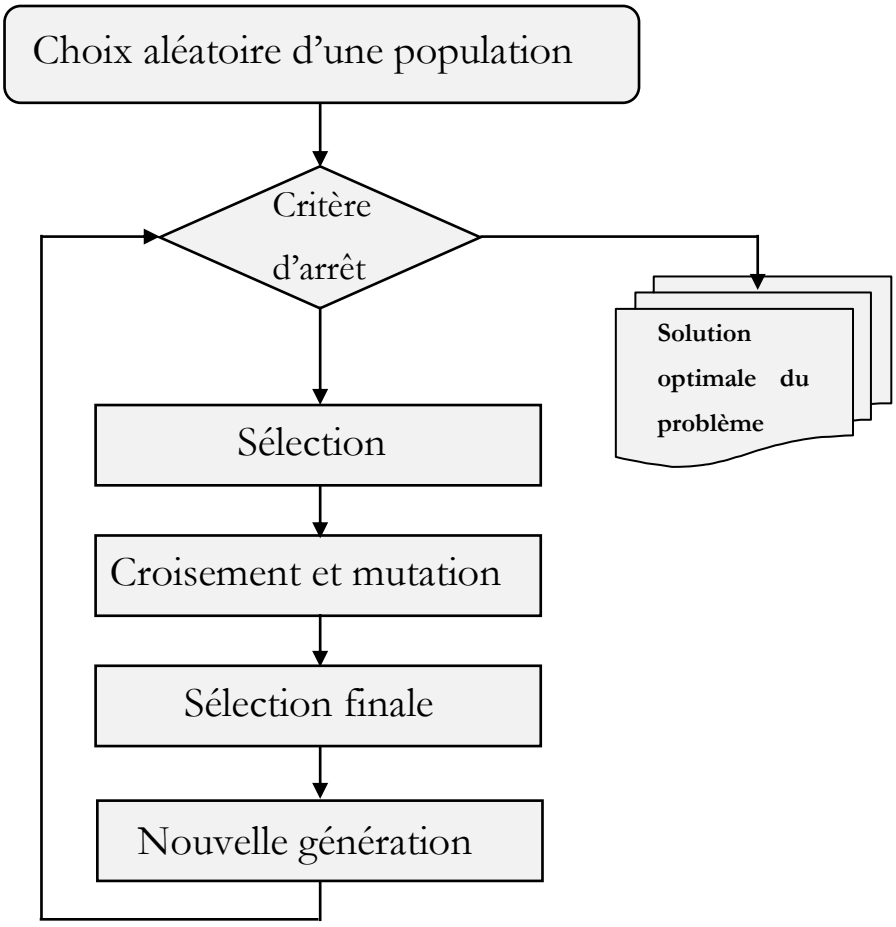


Fig. 2.1 Schéma général d'un algorithme génétique.

2.6. Codage et décodage des variables

Le codage est une partie très importante des algorithmes génétiques. Il permet de représente l'individu sous la forme d'un chromosome. Ce chromosome est constitué de gènes qui prennent des valeurs dans un alphabet binaire ou non. Certains auteurs n'hésitent pas à faire le parallèle avec la biologie et parlent de génotype en ce qui concerne la représentation binaire d'un individu, et de phénotype pour ce qui est de sa valeur réelle correspondante dans l'espace de recherche [38].

Le choix du codage est délicat. Il doit permettre de coder toutes les solutions et permettre

la mise en œuvre des opérateurs de reproduction. C'est ainsi que le bon déroulement des algorithmes génétiques sera assuré. Plusieurs type de codages sont utilisés, on citera à titre d'exemple: codage réel, codage binaire, Gray.

2.6.1. Codage binaire

Goldberg et Holland ont démontré qu'il est idéal de représenter le chromosome en une chaîne binaire. C'est pourquoi les AG utilisent généralement cette représentation Les individus sont représentés sous forme de chaînes de bits contenant toute l'information nécessaire à la description d'un point dans l'espace. Ce type de codage a pour intérêt de permettre la création d'opérateurs de croisement et de mutation simples [32].

A chaque variable d'optimisation xi correspond un gène. Un chromosome sera donc un ensemble de gènes. Chaque point est représenté par un individu doté d'un génotype constitué d'un ou de plusieurs chromosomes. La population est un ensemble de N individus qui vont évoluer d'une génération à une autre. Du point de vue informatique, un gène est un entier long de K bits. Un chromosome est un tableau de gènes. Un individu est un tableau de chromosomes. La population est un tableau d'individus [34].

Dans le codage binaire le gène est codé par un caractère binaire, 0 ou 1. C'est le plus courant et celui qui a été employé lors de la première application des algorithmes génétiques. Un des avantages du codage binaire est que l'on peut ainsi facilement coder toutes sortes d'objets : des réels, des entiers, des valeurs booléennes, des chaînes de caractères… Cela nécessite simplement l'usage de fonctions de codage et décodage pour passer d'une

2.6.2. Codage réel

Ce codage consiste simplement a la concaténation des variables Xi d'un individu X. a titre exemple un individu X (25. 31. 8) est codé 25|31|8. Ce codage présente des avantages majeurs. Il est plus précis que le codage binaire et l'espace de recherche est le même que l'espace du problème. Il à le mérite d'être simple a utiliser, l'évaluation de la fonction cout est plus rapide.

Le codage réel évite de faire le transcodage du binaire naturel ou de Gray vers les réels à chaque évaluation. Néanmoins, il possède deux inconvénients, son alphabet est infini, et

il a besoin d'operateurs appropries.

A chaque variable d'optimisation xi correspond un gène. Un chromosome sera donc un ensemble de gènes. Chaque point est représenté par un individu doté d'un génotype constitué d'un ou de plusieurs chromosomes. La population est un ensemble de N individus qui vont évoluer d'une génération à une autre.

Les auteurs ont trouvé que la représentation réelle donne de meilleurs résultats d'après leur problème à résoudre. Dans ce codage le génome est un vecteur réel et l'espace de recherche est un sous-ensemble de ***IR***. Cette représentation est aujourd'hui très utilisée dans les problèmes d'optimisation car dans de nombreuses applications du monde réel, ces problèmes sont naturellement formulés sous forme paramétrique i.e. Les premiers travaux qui ont utilisé ce type de représentation ont été ceux de Rechenberg et de Schwefel quand ils ont introduit les stratégies d'évolution [31].
Le codage réel peut-être utile notamment dans le cas où l'on recherche le maximum d'une fonction réelle.

Exemple:

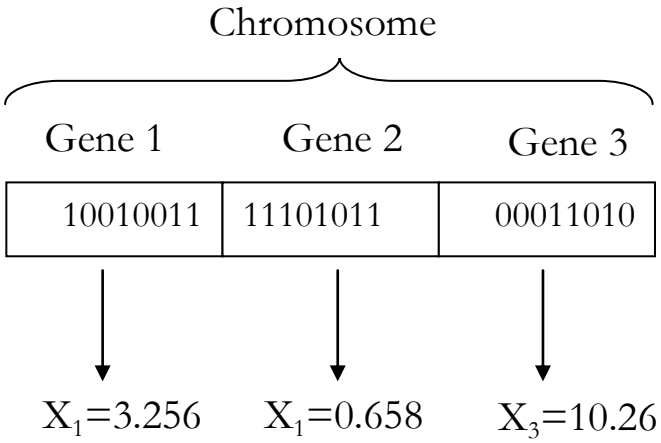


Fig. 2.2*Exemple de codage réel*

2.6.3. Codage de Gray

Dans le cas d'un codage binaire on utilise souvent la "distance de Hamming" entre les codages binaires de deux nombres réels proches, comme mesure de la dis similarité entre deux éléments de population, cette mesure compte les différences de bits de même rang de ces deux séquences. Et c'est la que le codage binaire commence à montrer ses limites.

En effet, deux éléments voisins en termes de distance de Hamming ne codent pas nécessairement deux éléments proches dans l'espace de recherche. Cet inconvénient peut être évité en utilisant un "codage de Gray" : le codage de Gray est un codage qui a comme propriété que entre un élément n et un élément n+1, donc voisin dans l'espace de recherche, un seul bit diffère [39].

2.7. Initialisation de la population

Comme dans tout problème d'optimisation, une connaissance de ``bons" points de départ conditionne la rapidité de la convergence vers l'optimum. Si la position de l'optimum dans l'espace d'état est totalement inconnue, il est naturel de générer aléatoirement des individus en faisant des tirages uniformes dans chacun des domaines associés aux composantes de l'espace d'état, en veillant à ce que les individus produits respectent les contraintes [39].

La génération de la population initiale peut se faire en prenant des individus régulièrement répartis dans l'espace. Néanmoins, une initialisation aléatoire est plus simple à réaliser. Les valeurs N(x i) des gènes est alors tirées au hasard selon une distribution uniforme.

Le choix de la population initiale peut conditionner fortement la rapidité de l'algorithme. Il doit être capable de produire une population d'individus non homogène qui servira de base pour les générations futures, et capable de rendre plus ou moins rapide la convergence vers l'optimum global.

2.8. Mécanismes et opérateurs d'un AG standard

Après l'initialisation de la population (généralement d'une façon aléatoire) l'algorithme évalue la fonction d'adaptation de chaque individu. La boucle de l'algorithme suit les étapes suivantes :

–Critère d'arrêt :

C'est un critère qui permet à l'utilisateur d'arrêter le processus. Un des critères simples souvent utilisé est lorsque le nombre maximum de générations, fixé par l'utilisateur, est atteint.

– Sélection :

Cet opérateur sélectionne parmi les parents ceux qui vont générer des enfants. La sélection est basée sur la fonction d'adaptation des individus.

– Création de nouveaux individus:

La de nouveaux individus se fait essentiellement à l'aide des opérateurs de croisement et de mutation. L'opérateur de croisement est un opérateur stochastique qui combine k parents pour créer un ou plusieurs enfants. L'opérateur de mutation est un opérateur stochastique qui modifie un individu pour en créer un autre qui lui est généralement proche.

–Mutation

Cet operateur appliqué sur chaque chromosome issu de l'opération de croisement ou appartenant a une population. L'action de l'opérateur de mutation consiste à changer ou a permuter des valeurs des gènes de chromosome X avec une probabilité P_{mut}. Cette probabilité est assez faible en pratique. La mutation permet de passe de l'exploration vers l'exploitation et de trouver un ensemble de solution. Cependant, plusieurs de technique de mutation ont été développées dans la littérature. Certaines d'entrée elles s'appliquent sur des gènes dans la représentation est binaire et d'autre sur des gènes de type réel. Pour déterminer le nombre de position dont les gènes doivent subir un changement, il suffit de connaitre la taille du chromosome L et la probabilité de mutation P_{mut} ce nombre est défini par le produit d e $L*P_{mut}$ [35].

2.9. Formulation du problème d'optimisation

En raison de son analogie avec le processus de l'évaluation naturelle, l'algorithme génétique est naturellement formulé en terme de maximisation c'est-à-dire [37] :

$$maxFobj_{X\in E}(x) \qquad (2.1)$$

Ou E désigne l'espace de recherche et $Fobj$ la fonction objective à maximiser.

Pour éviter de manipuler avec les valeurs négatives de la fonction à optimiser, il suffit d'ajouter aux valeurs de $Fobj$ une constante positive F_{min} suffisamment grande conformément à l'équivalence de (2.1) et (2.2)

$$maxFobj_{X\in E}(x) + \mathrm{F_{min}} \qquad (2.2)$$

Ou F_{min} est une constante permettant de réaliser cet objectif.

Dans de nombreux problèmes, l'objectif est exprimé sous forme de minimisation d'une

fonction$Fobj$

$$minfobj_{X\in E}(x) \quad (2.3)$$

Le passage d'un problème de minimisation à un problème de maximisation est obtenu par une transformation de la fonction $Fobj$.il est aisé de montrer par exemple que (2.3) est équivalent à (2.4) :

$$Fobj(x) = F_{max} - f_{obj}(x) \quad (2.4)$$

Ou

$$F_{max} \geq minfobj_{X\in E}(x) \quad (2.5)$$

Cela permet d'éviter que la fonction $Fobj(x)$ à maximiser prenne des valeurs négatives sur son domaine de définition.

Notons que le choix de la fonction $Fobj$ n'est pas unique. On rencontre également dans la littérature la fonction de transformation suivante :

$$Fobj(x) = \frac{1}{1 + f_{obj}(x)} \quad (2.6)$$

2.10. La mise en échelle

Il existe méthodes pour la définition des fonctions à optimiser qui dépendent du problème à résoudre. Parmi ces méthodes de fonction d'adaptation, on trouve : sans échelle (no scaling), échelle linéaire, sigma truncation, power lawscaling et ranking [39].

- Sans échelle (No scaling)

C'est la méthode la plus facile pour le calcul de la valeur de la fonction d'adaptation F_i du chromosome x_i :

$$\mathrm{F_i} = \mathrm{F_{obj}} \quad (2.7)$$

Ou $\mathrm{F_{obj}}$ est la fonction objective du chromosome x_i

- Sans linéare (linearscaling)

La valeur de la fonction d'adaptation $\mathrm{F_i}$ du chromosome x_i est en relation linéaire avec la valeur de la fonction objective$\mathrm{F_{obj}}$.

$$\mathrm{F_i} = \mathrm{aF_{obj}} + b \quad (2.8)$$

Ou a et b sont choisis en fonction des valeurs des fonctions objectives des individus [30]. Cette méthode produit une bonne solution. Cependant, cette fonction d'adaptation peut

être négative qu'il suffit de la remplacer par une valeur nulle.

- **Le sigma tronqué (sigma truncation)**

Cette méthode est utilisée lorsque la valeur de la fonction objective est négative. La valeur de F_i du chromosome x_i est calculée de la manière suivante :

$$F_i = F_{obj} - \left(moyF_{obj} - C\sigma\right) \qquad (2.9)$$

Ou C est une petite valeur entière, et $moyF_{obj}$ est la moyene des fonctions objectives. Cette moyenne correspond à la somme pondérée de toutes les valeurs de la fonction de chaque individu d'une population.

Autrement dit :

$$moyF_{obj} = \frac{\sum_{i=1}^{popsize} F_i}{popsize} \qquad (2.10)$$

σ : est la déviation standard de la population.

Popsize : la taille de la population.

- **Puissance d'échelle (power Law scaling)**

La valeur de F_i est définie par la relation suivante :

$$F_i = F_{obji}^{k} \qquad (2.11)$$

Ou K est une valeur qui varie en fonction des générations.

- **Rengement (ranking)**

La valeur de F_i ne dépend pas directement de la valeur de la fonction objective mais s'associe au rang de la fonction objective. Cette méthode permet d'éviter la convergence prématurée et d'accélérer la recherche quand la population converge vers une solution.

D'autre part, elle exige des calculs supplémentaires dans le tri des valeurs objectives des chromosomes de la population.

La technique la plus répondue est la mise à l'échelle linéaire [31].celle –ci consiste à comprimer le domaine de variation de la fonction d'adaptation tout en gardant une valeur moyenne identique .ainsi, après le réajustement, il n'y a pas de grand écart entre la plus grande et la plus petit des valeurs de la fonction d'adaptation, qui correspondent respectivement aux individus le plus fort et le plus faible de la population.

2.11. Algorithme génétique avec codage réel

Dans l'algorithme génétique simple présente précédemment, les paramètres de la fonction objectif sont codés, généralement en binaire, et ce sont leurs codes qui sont utilises au lieu des paramètres eux-mêmes. Nous orientons maintenant nos études sur les algorithmes génétiques à codage réel. Ils sont similaires à l'algorithme génétique standard, tant en ce qui concerne leur structure que leur mécanismes de sélection [35]. Par contre, ils sont caractérisés par des operateurs de recombinaison génétique qui utilisent directement les valeurs des paramètres pour évoluer vers l'optimum. Le chromosome des individus comporte N gènes dans chacun est un paramètre réel (figure.3.3).

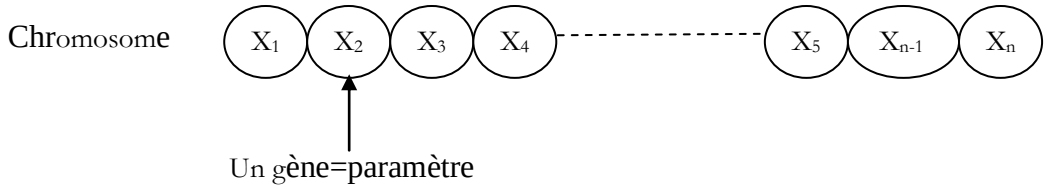


Fig.2.3*Représentation d'un chromosome en codage réel*

2.11.1. Croisement

Deux types de croisement sont employés par l'algorithme génétique à codage réel.

- Croisement discret : ce type de croisement est assez similaire aux méthodes de croisement utilisées dans l'algorithme génétique binaire. Il consiste à permuter les variables de chaque parent entre des sites du chromosome choisis aléatoirement (figure3.4). Le croisement discret peut être à un site, à multi-site ou uniforme.

Cette technique a un taux d'exploitation relativement limité car elle ne fait apparaitre aucune nouvelle valeur pour les paramètres [38].

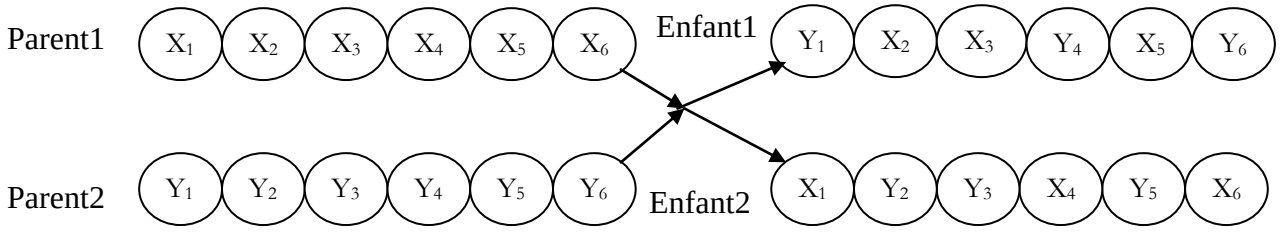


Fig.2.4*Croisement discret*

- Croisement continu : Ce type de croisement assure l'exploration de l'espace en testant de nouvelles valeurs des paramètres. Il est appliqué paramètre par paramètre en utilisant le mécanisme suivant :

$$\begin{cases} x_i' = x_i + a_1 (y_i - x_i) \\ y_i' = y_i + a_2 (x_i - y_i) \end{cases}$$

Ou

xi et yi sont des paramètres de même rang de deux parents

xi' et yi' les paramètres, de rang correspondant, des deux enfants obtenus.

a_1 et a_2 sont deux variables prises au hasard dans l'intervalle [0,1].

$$\text{Si} \begin{cases} a_1 \neq a_2 & \text{=>Croisement continu-asymétrique} \\ a_1 = a_2 & \\ a_1 = a_2 & \text{=>Croisement continu-symétrique} \end{cases}$$

Il conduit alors à un unique enfant représentant une moyenne arithmétique des parents. Dans ce cas, il est nécessaire d'effectuer un nombre de croisement deux fois plus grand afin d'obtenir autant d'enfants que de parents à chaque génération.

2.11.2. Mutation

La mutation consiste à perturber une variable du problème. Elle est généralement appliquée paramètre par paramètre, avec des probabilités plus élevées

Que pour le codage binaire standard [32]. Comme pour l'operateur de croisement, plusieurs modes de mutation sont possibles.

- Mutation uniforme (ou mutation globale) :

Ce type de mutation modifie un paramètre en choisissant une nouvelle valeur de façon uniformément aléatoire dans l'intervalle défini par les contraintes de domaines.

- **Mutation non uniforme (ou mutation locale) :**

La mutation non uniforme, ou mutation locale, consiste à perturber de façon locale

(légèrement) la valeur d'un paramètre. Il est par exemple possible d'ajouter ou de retrancher à la variable aléatoire une grandeur ΔXi dont l'amplitude diminue avec le nombre de générations [31]

$$Xi' = Xi \pm \Delta Xi$$

ΔXi peut aussi être une variable à densité gaussienne dont l'amplitude est adaptée à chaque génération.

Les operateurs de mutation locale confèrent à l'algorithme génétique à codage réel un mécanisme de recherche local. Contrairement à l'algorithme génétique à codage binaire, la mutation joue cette fois un rôle prépondérant dans l'exploration des nouvelles solutions.

2.11.3. Taille de la population

L'AG nécessite la détermination du nombre d'individus qui constituent la population P le problème qui se pose est comment fixer la taille de cette population. Une population trop petite évolue probablement vers un optimum local peu intéressant. Une population trop grande met plus de temps pour converger vers des solutions envisageables. La taille de la populationdoit être choisie de façon à réaliser un bon compromis entre le temps de calcul et la qualité du résultat. Eiben et a_l mentionnent que plusieurs chercheurs se sont penchés sur ce problème qui consiste à déterminer la taille optimale de la population pour atteindre la meilleure solution. Certains d'entre eux l'ont fixé entre 20 et 100 de manière empirique.

D'autres essayent de l'ajuster en respectant le taux d'erreur de sélection ou de la faire varier d'une population à une autre. Par contre, Bautista et al en fixé le nombre d'individus à 50 et ont mentionné qu'il peut exister une relation entre la taille de la population et le nombre de gènes [35].

2.11.4. Nombre de générations

C'est un chiffre que l'expérimentateur doit fixer. Il est préférable qu'il soit assez grand affin de mieux visualiser la convergence de la solution. Certains auteurs utilisent un nombre de 1000 générations et d'autres 10000. L'essentiel est de trouver des solutions en

un nombre réduit de générations [39].

2.11.5. Probabilité des operateurs génétique

Le choix de la probabilité de mutation Pmut et la probabilité de croisement Pc est un Problème d'optimisation non linéaire complexe à résoudre [35]. En outre, pour les fixer, ces probabilités de mutation et de croisement dépendent de la nature de la fonction objective du problème à résoudre.

La littérature mentionne quelques exemples tels que :

- Pour une population de taille grande = 100

Pmut= 0.001 Pc= 0.6

- Pour une population de taille petite = 30

Pmut= 0.01 Pc= 0.9

Cette probabilité peut être estimée à partir de la taille du chromosome selon l'équation :

$$Pmut = \frac{1}{L}$$

Ou L est la taille du chromosome en gènes.

Concernant la probabilité de croisement, les recherches n'ont pas pu déterminer la valeur optimale due au fait que la probabilité de croisement s'opère sur les gènes de chaque chromosome. Les probabilités de croisement plus couramment utilisées appartiennent à l'intervalle [0.6- 0.95].

2.12. Les organigrammes du programme en fortran

- **L'organigramme de la sélection**

La sélection consiste à choisir les paires d'individus qui vont participer à la reproduction de la population future [38]. Dans notre algorithme on a choisie deux types de sélection (la sélection par roulette) et (la sélection par reste stochastique) selon l'organigramme suivant :

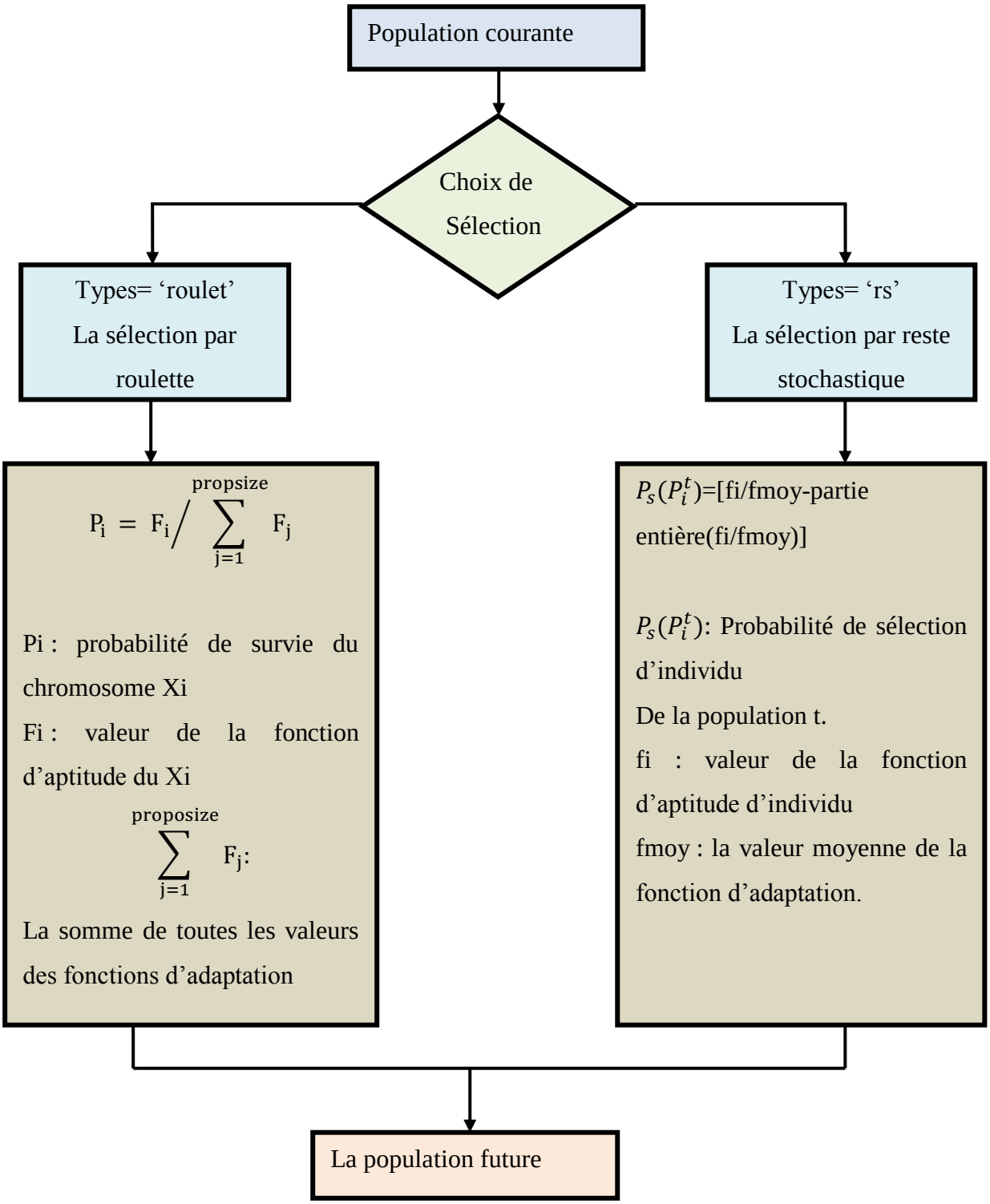


Fig.2.5*Organigramme de sélection*

L'organigramme du croisement

L'operateur de croisement permet la création de nouveaux individus, il permet donc l'échange d'information entre les chromosomes

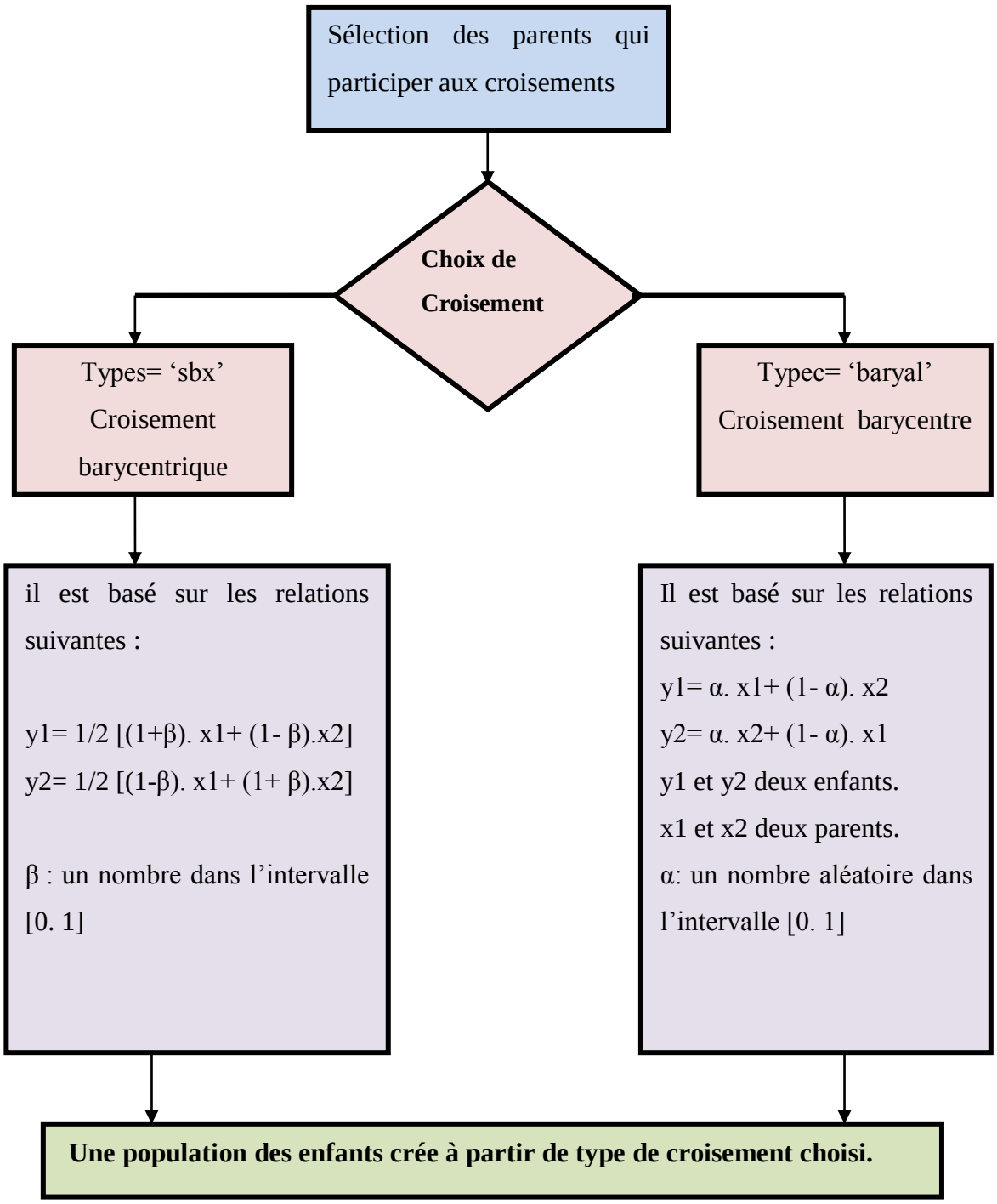


Fig.2.6*Organigramme de croisement*

L'organigramme de la mutation :

L'action de l'operateur de mutation consiste à changer ou à permuter des valeurs des gènes du chromosome.

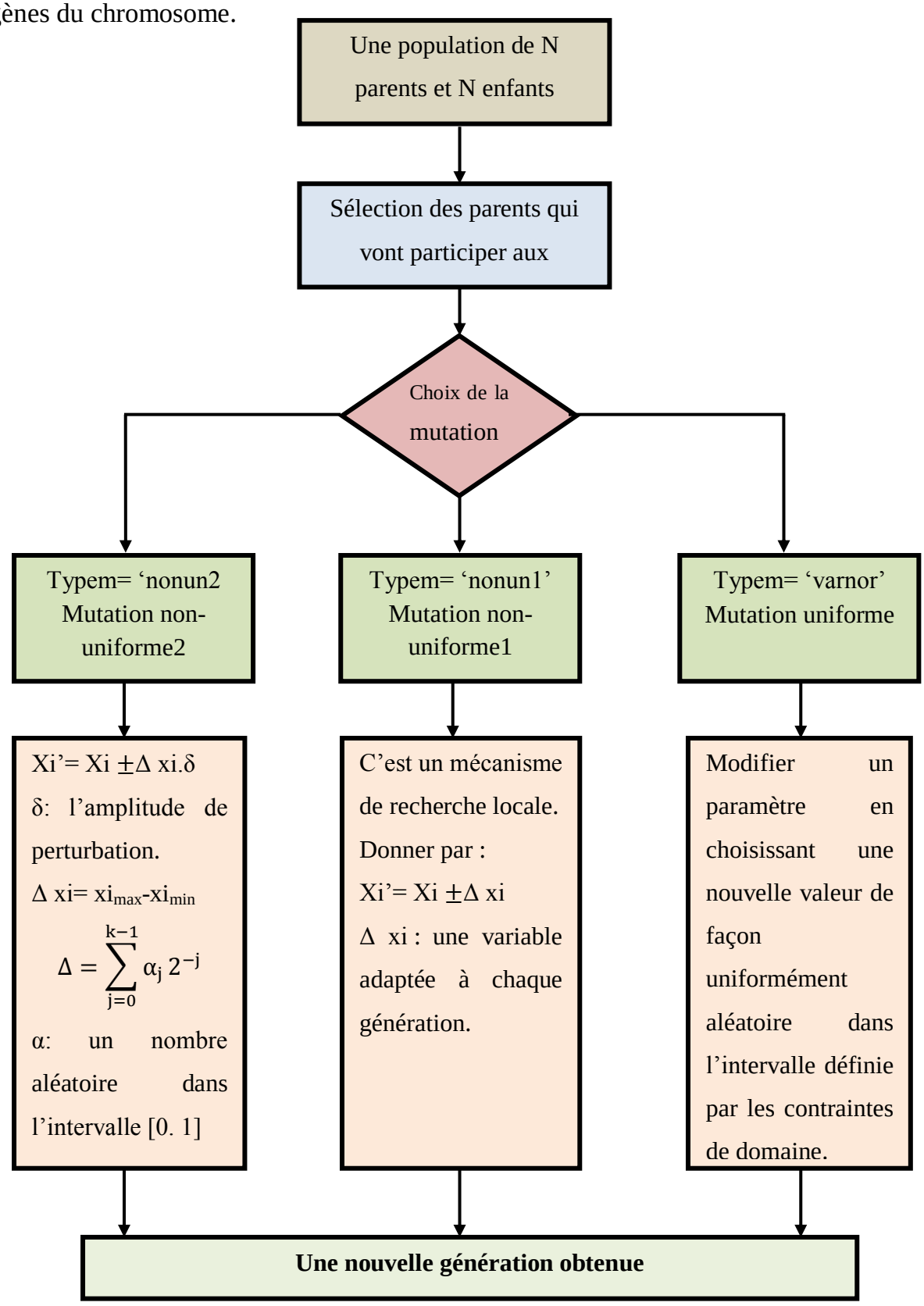


Fig.2.7*Organigramme de mutation*

2.13. Conclusion

Dans ce chapitre on a donné des notions générales sur les algorithmes génétiques qui peuvent servir de base pour une initiation au problème posé. Nous pouvons conclure que les AGs sont des algorithmes simples de conception et peuvent résoudre des problèmes assez complexes. La résolution de ces problèmes est obtenue grâce aux operateurs de reproduction [34]. Ces algorithmes sont des procédures assez robustes pour résoudre un problème d'optimisation. Néanmoins elles présentent certaines limites et des difficultés reposent sur le choix des bons paramètres tels que : la taille de la population, le nombre de génération l'espace de recherche, les probabilités de croisement et de mutation et les méthodes des operateurs de reproduction.

Chapitre 03

RESULTATS DE SIMULATION

3.1. Introduction

La reproduction des résultats expérimentaux en utilisant des modèles mathématiques est très importante dans l'analyse du comportement des isolateurs. Il a été constaté que les constantes de l'arc dépendent du type d'isolateur et de la nature de la pollution (brouillard salin ou couche solide). Cela permet une formulation d'un modèle généralisé de l'arc en utilisant uniquement les dimensions géométriques de l'isolateur, la densité de la pollution et les constantes de l'arc. La caractéristique donnant la variation de la tension de contournement en fonction de la conductivité de la couche de pollution ainsi que le type d'isolateur ont été aussi pris en considération. Dans le présent chapitre nous allons présenter les différents résultats de simulation obtenus par la présente approche en les comparants à chaque fois que c'est nécessaire avec des résultats expérimentaux disponibles dans la littérature

3.2. Procédure De Simulation

3.2.1. Formulation du problème

L'identification consiste à déterminer les paramètres d'un modèle mathématique, dont la structure est établie selon un critère donné. Les constantes optimales A et n de l'arc sont obtenues par la minimisation de l'erreur quadratique de mesure qui permettent au modèle de représenter avec précision les données expérimentales.

Un programme informatique basé sur les algorithmes génétiques a été réalisé sous environnement FORTRAN en utilisant un codage réel.

La fonction objective à minimiser est donc:

$$F = \sum_{i=1}^{n} \left[\left(U_c(i) - U_{cm}(i) \right) \right]^2 \qquad (3.1)$$

Dans cette équation

U_c : représente la tension de contournement du modèle ;

U_{cm} :représente la tension de contournement expérimentale ;

3.2.2. Modèle généralisé du contournement

Partant d'un modèle type circuit électrique équivalent déjà présenté dans la figure 1.7, la tension aux bornes d'un isolateur pollué est donnée par l'équation suivante:

$$U = x \cdot A \cdot I^{-n} + (L - x) \cdot R_P \cdot I \quad (3.2)$$

Tenant compte que la conductivité de la couche polluante est:

$$\sigma_P = \frac{1}{R_P} F_i \quad (3.3)$$

où le facteur de forme F_i s'écrit sous la forme suivante:

$$F_i = \int_0^l \frac{1}{\pi D(l)} \quad (3.4)$$

Sachant que D(l) est le diamètre extérieur de l'isolateur :

$$\frac{dl}{dx} > 0$$

La tension de contournement devient :

$$U_c = x_c \cdot A$$

Avec

$$x_c = \frac{1}{n+1} L \quad (3.7)$$

$$I_c = \left(\pi D_r \sigma_p A\right)^{\frac{1}{(n+1)}} \quad (3.8)$$

$$K = 1 + \frac{n+1}{2.\pi.F.n} \cdot \ln\left(\frac{L}{2.\pi.R.F}\right) \quad (3.9)$$

Les valeurs de la conductivité $\sigma_s$sont calculées comme suit :

$$\sigma_s = (369{,}05 \cdot C + 0{,}42)10^{-6} \quad (3.10)$$

Où C: est la concentration de la couche polluante.

La résistance Rp sera donc calculée selon l'équation 3.11 :

$$R_P = 0{,}469(\pi A D_m \sigma_s)^{\frac{1}{2(n+1)}} \quad (3.11)$$

Et enfin la tension de contournement prendra la forme suivante :

$$U_c = \frac{A}{n+1}(L + \pi n D_m F K)(\pi A D_m \sigma_s)^{-\left(\frac{n}{n+1}\right)} \quad (3.12)$$

C'est l'équation 3.12 qui intervient dans la détermination de la fonction objective décrite par l'équation (3.1). Comme on peut le voir, en examinant l'équation (3.12), que la valeur de $U_c$est fonction des paramètres géométriques de l'isolateur(L, D_m, F), des constantes de l'arc (A, n)et de la conductivité de la couche polluanteσ_s.

3.2.3. Données expérimentales utilisées

a) Géométries des isolateurs

Le tableau 3.1 donne les valeurs des paramètres géométriques de quelques isolateurs collectées de la littérature et utilisée dans la présente investigation.

Tableau 3.1.les valeurs des paramètres géométriques de quelque isolateur

Isolateur	01	02	03	04
D_m (cm)	25 ,4	25,4	25,4	22,9
L (cm)	27,9	43,2	30,5	43,2
F	0,68	0,92	0,70	1,38

b) Caractéristiques expérimentales $U_{cm}=f(\sigma_s)$

Le tableau3.2 donne les valeurs de la tension de contournement U_{cm} obtenue expérimentalement en fonction de la concentration de la pollution c pour quatre profiles d'isolateurs. La conductivité de la couche de pollution σ_s est calculée en utilisant l'équation 3.10.

Tableau 3.2*Valeurs mesurésU_{cmi} en (V) et c_i en* (mg/cm^2)

Isolateur	01	02	03	04
U_{cmi} en (kV)	22,00 16,00 13,00 11,00 10,00 9,10 8,50 7,80	28,20 25,91 19,04 15,00 13,09 12,04 10,63 9,86	26,85 22,02 15,97 13,08 11,09 10,12 8,50 8,18	25,71 23,50 19,32 16,99 15,82 14,31 12,31 13,57
c_i en (mg/cm^2)	0,02 0,05 0,10 0,16 0,22 0,28 0,30 0,37	0,017 0,021 0,049 0,101 0,160 0,219 0,301 0,368	0,010 0,020 0,049 0,101 0,160 0,220 0,300 0,369	0,016 0,021 0,039 0,051 0,101 0,121 0,182 0,200

3.3. Procédure d'optimisation

Le problème d'optimisation est basé sur les algorithmes génétiques (GA). Ces algorithmes utilisent le concept artificiel de Darwin dans lequel seuls les individus les plus forts survivent. Pour l'identification des paramètres d'un modèle dont la structure est connue, l'individu est l'ensemble des paramètres inconnus et par conséquent chaque gène coïncide avec un paramètre. Dans la suite on présentera les différents résultats obtenus en utilisant cette approche. Le programme utilisé, on rappelle, est une implémentation avec codage réel. Les types d'opérateurs développés sont ceux connus pour leur efficacité. Les paramètres que nous avons choisis pour l'algorithme sont le nombre des individus dans chaque population (Population size=10), le nombre maximale de génération (Genmax=200), la probabilité de croisement (P_c =0,75), la probabilité de mutation (P_{mut}=0,005), la sélection par reste stochastique (Types='rs'), le croisement barycentrique (Typec='sbx') et la mutation non uniforme (Typem='nonun2'). L'organigramme suivant explique d'une façon générale les étapes suivies pour l'identification des paramètres du modèle de l'arc de contournement.

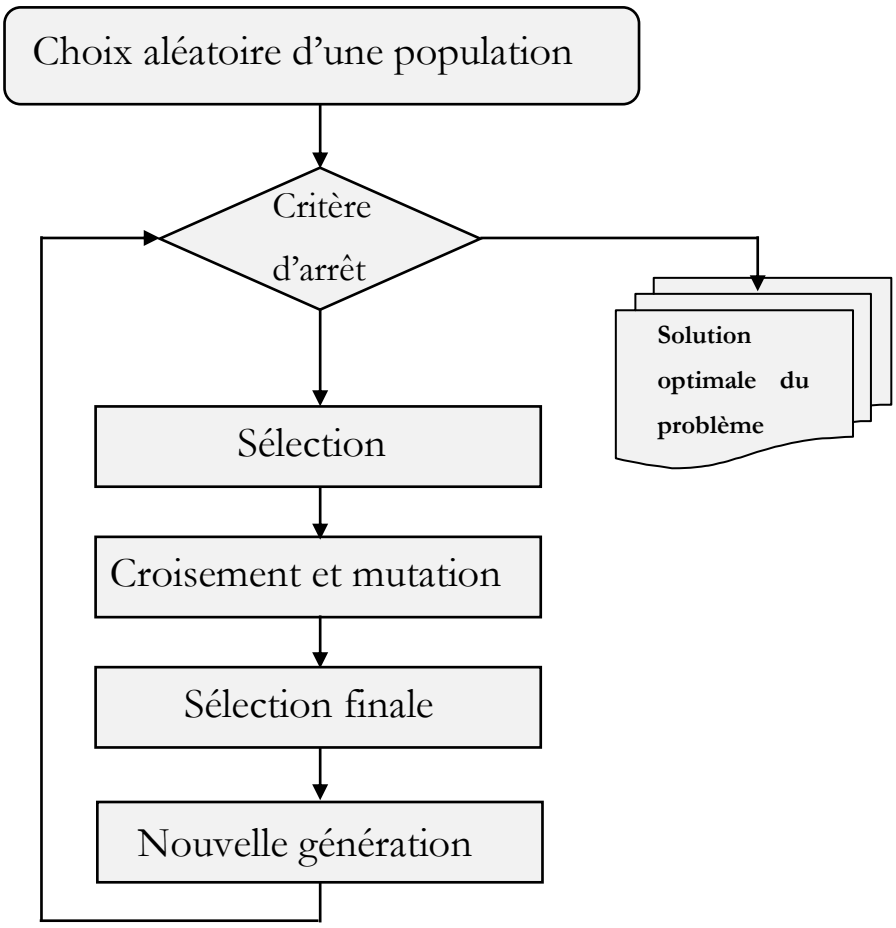


Fig. 3.1 *Schéma général d'un algorithme génétique*

3.4. Résultats de simulation et discussion :

3.4.1. Validation de la méthode

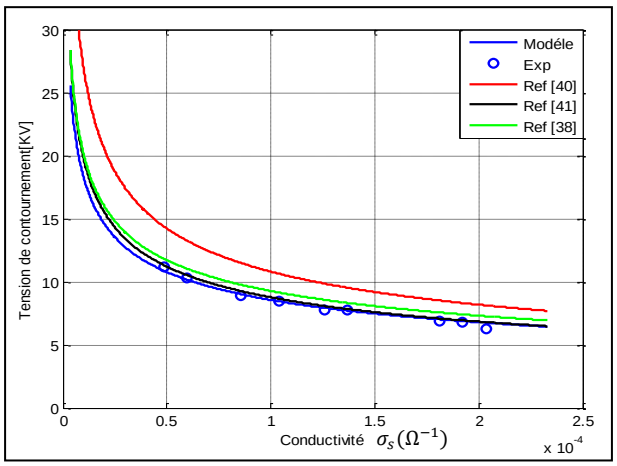
3.4.1.1. *Comparaison avec d'autres méthodes*

Une première investigation dans le présent travail consiste en une étude comparative entre la présente méthode et d'autres méthodes proposées dans le même but [38, 40, 41]. Cette étude comparative utilise les données expérimentale d'un seul profil à la fois et disponible dans la littérature. Les valeurs des paramètres A et n des quatre profils trouvées par les différents chercheurs et celles obtenues par la présente investigation sont résumés dans le tableau 3.3.

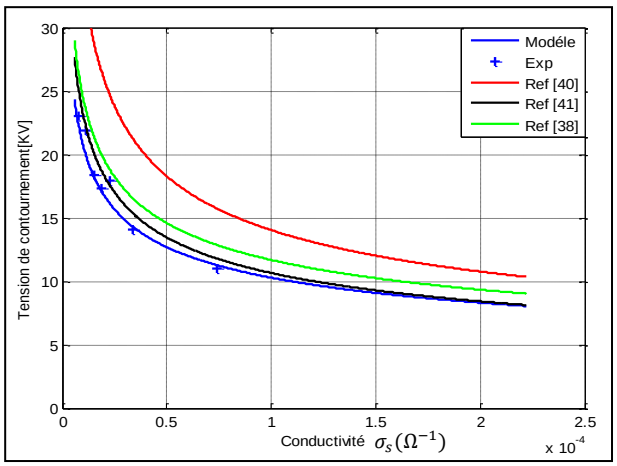
Comme on peut le voir une différence notable est enregistrée. Pour mieux voir cette différence on a tracé dans la figure 3.2 la variation de la tension de contournement calculée en fonction de la conductivité pour les différentes méthodes utilisées dans la littérature. La caractéristique expérimentale est introduite pour but de comparaison et validation de la présente approche. Un seul profil est utilisé à la fois. En examinant cette figure on constate que le modèle ayant les paramètres identifiés par l'approche génétique reproduit les données expérimentales d'une manière plus fidèle que les autres approches à savoir l'approche génétique à codage binaire [38, 41] et la méthode des moindres carrés [40]. Ceci peut être expliqué par le fait que pour le codage binaire on introduit plus d'erreurs dans les étapes de codage et de décodage tandis que dans la méthode des moindres carrées il y a le problème des minimums locaux qui peuvent faire éloigner le modèle des données expérimentales (figure 3.2).

Tableau 3.3: Comparaison entre les résultats du présent travail et ceux de la littérature

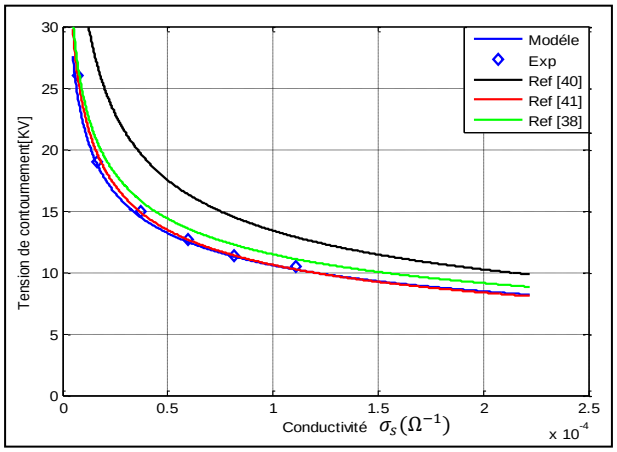
	La référence [40]		La référence [41]		La référence [38]		Présent travail	
Constantes de l'arc	A	n	A	n	A	n	A	n
Profile 1	160	0,52	112	0,46	117	0,44	110	0,45
Profile 2	175	0,48	144	0,36	141	0,39	145	0,37
Profile 3	155	0,57	129	0,42	123	0,49	132	0,47
Profile 4	158	0,42	124	0,32	129	0,30	122	0,34



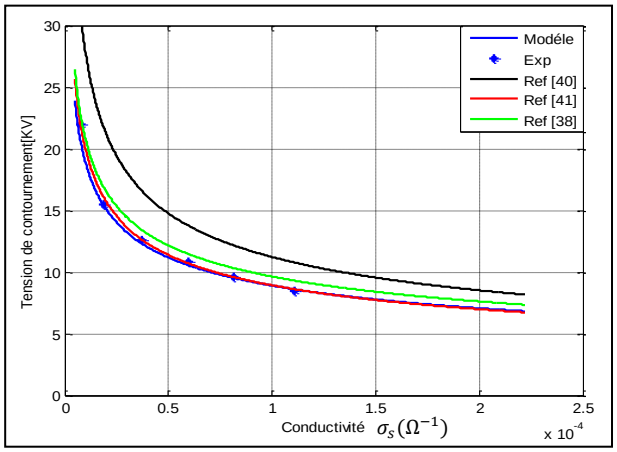
a) Cas Profile 1



b) Cas Profile 2



c) Cas Profile 3



d) Cas Profile 4

Fig. 3.2 tension de contournement Uc en fonction de conductivité σ_s

Un exemple de l'allure de la variation de la fonction objective est montré dans la figure 3.3

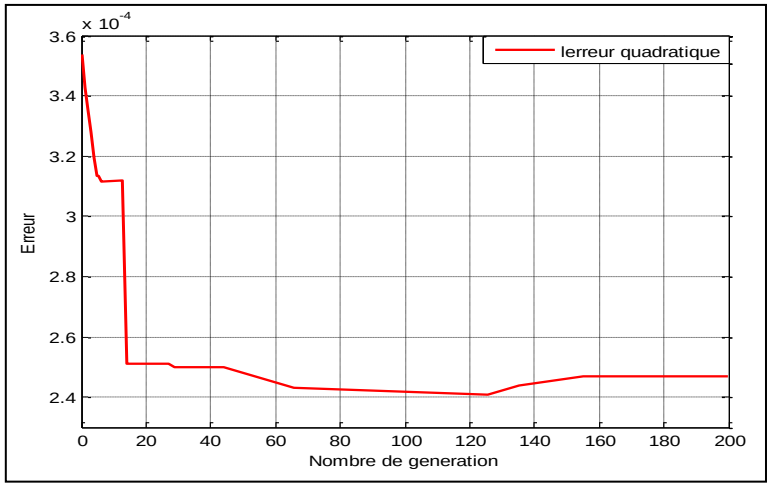
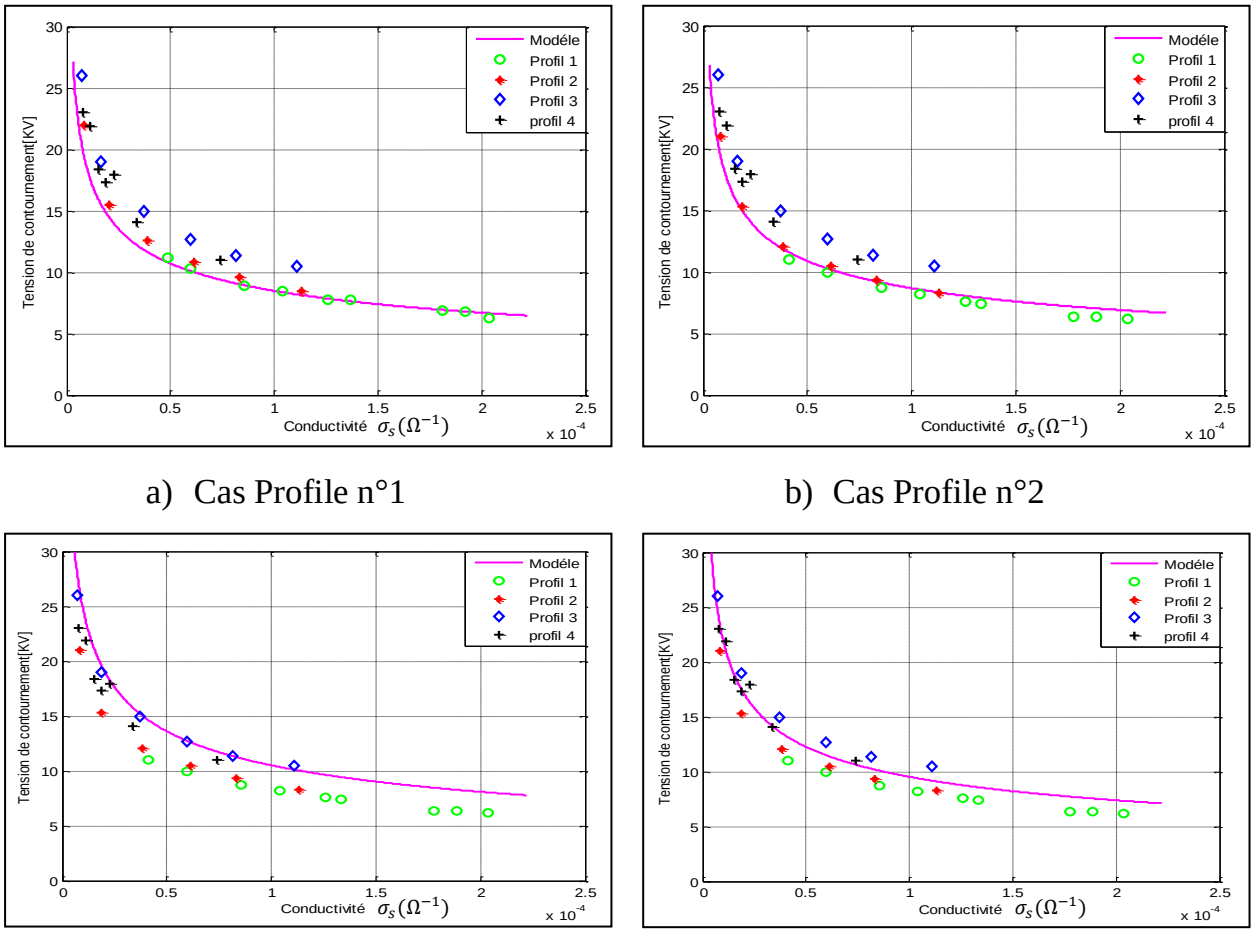


Fig3.3L'erreur quadratique en fonction de nombre de génération

3.4.1.2. *Validité des paramètres A et n*

Une seconde investigation dans le présent travail consiste à déterminer la validité des paramètres A et n obtenues par cette approche. Pour cela nous les avons déterminés pour un profil. Puis nous avons tracé la variation de la tension de contournement calculée en fonction de la conductivité du modèle obtenu. Les caractéristiques expérimentales des quatre profils disponible dans la littérature [38, 40, 41] sont introduites une fois encore pour but de comparaison comme il est montré dans la figure 3.4.

En examinant cette figure on constate que le modèle ayant les paramètres identifiés par l'approche génétique reproduit fidèlement les données expérimentales du profil en question. Par contre le modèle, avec les valeurs trouvées de A et n, ne peut pas reproduire les caractéristiques expérimentales des autres profils. Ce constat est valable quelque soit le profil choisi pour ce test (Figure 3.4).



a) Cas Profile n°1 b) Cas Profile n°2

c) Cas Profile n°3 d) Cas Profile n°4

Fig.3.4*Comparaison avec la tension de contournement expérimentale*

3.4.1.3. *Identification des paramètres A et n en fonction du nombre de profil*

Le constat précédent nous a conduit à réaliser une investigation pour déterminer l'influence du nombre de profils sur les valeurs des paramètres du modèle de l'arc de contournement. A cet effet nous avons tracé dans la figure 3.5 les valeurs de A et n en fonction du nombre de profils. Comme on peut le voir les valeurs de A et n ne sont pas les même en faisant varier le nombre de profils utilisé dans le programme informatique. Nous signalons à titre d'exemple que les paramètres A et n prennent les valeurs 126,22 et 0,36 respectivement dans le cas où les quatre profils sont utilisés simultanément.

Dans la figure 3.6 on présente l'allure de la tension de contournement en fonction de conductivité de la couche électrolytique recouvert la surface de l'isolateur pour ce cas. L'analyse de cette figure indique que le modèle reproduit d'une manière optimale tous les résultats expérimentaux des différents profils utilisé. Cela reflète que ce modèle a un caractère générale et qu'il peut être utilisé pour n'importe quel profil.

3.4.1.4. *Convergence vers l'optimum de A et n*

La figure 3.7 montre la variation des paramètres A et n en fonction du nombre de génération n. Les résultats montrent que le paramètre A converge vers son optimum 126,22 à partir de 100 générations alors que le paramètre n atteint le sien 0,36 à partir de 110générations.

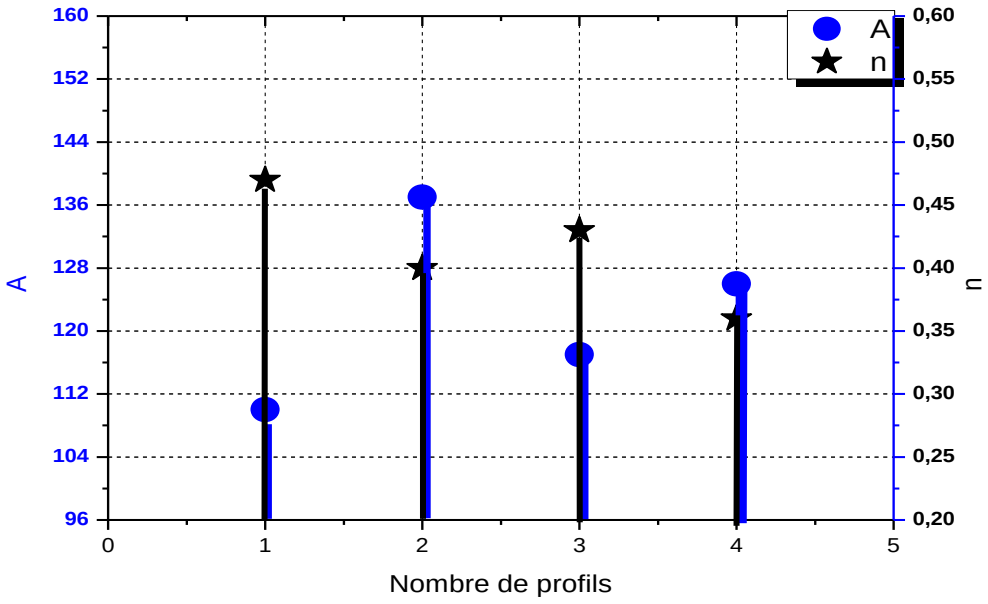


Fig3.5 Variations des A et n en fonction de nombre de profile

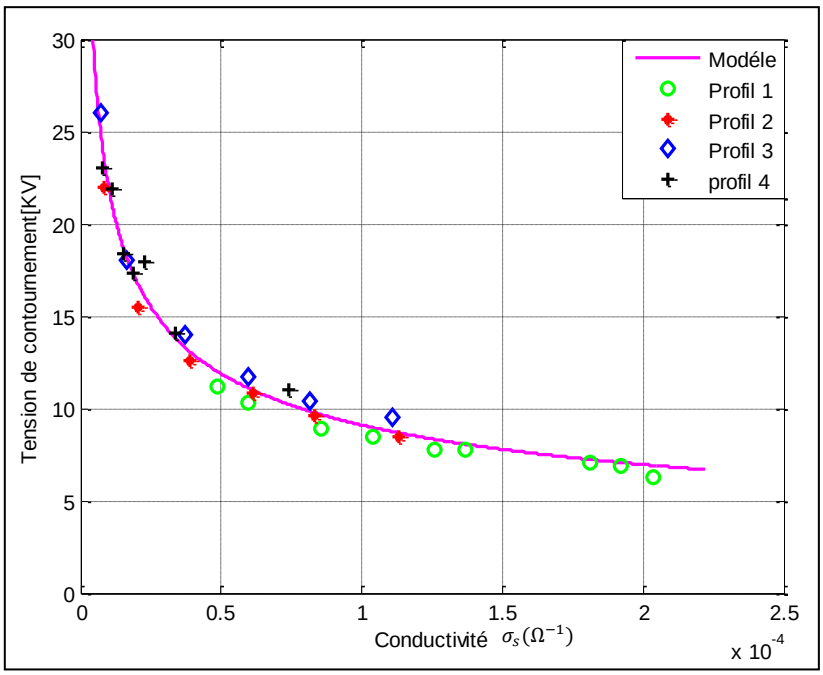


Fig. 3.6*Tension de contournement U_c en fonction de conductivité σ_s pour les 4 profils*

Ce qui nous donne une convergence globale des deux paramètres simultanément pour un nombre de génération égal à 110. Ce résultat montre que le nombre maximal de génération est un critère d'arrêt très simple et présente l'inconvénient d'augmenter le temps de calcul du programme. A cet effet un autre critère d'arrêt (une certaine précision par exemple) est indispensable pour accélérer la convergence de l'algorithme.

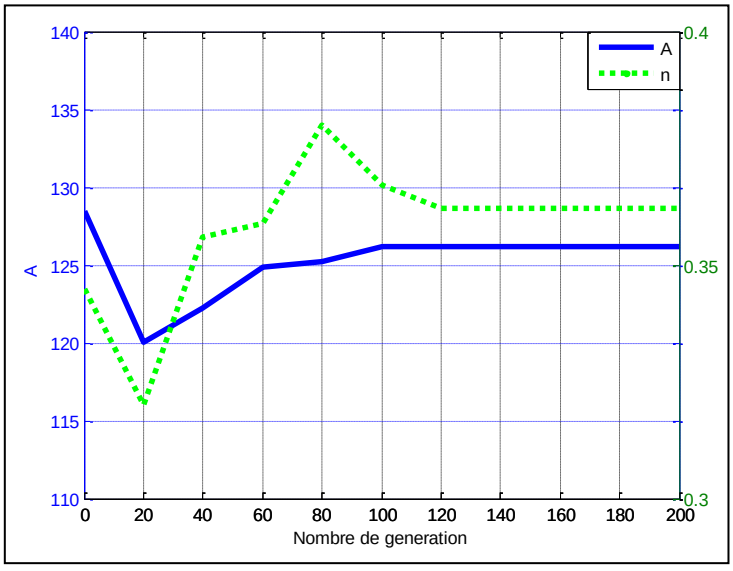


Fig. 3.7valeurs optimales de A et n en fonction de nombre de générations

3.4.2. Courant de fuite en fonction de conductivité

Les valeurs déterminées des constantes de l'arc dans l'équation (3.8) nous ont aussi permis de calculer le courant de fuite selon:

$$I = (\pi A D_m \sigma_s)^{\left(\frac{1}{n+1}\right)} \quad (3.8)$$

La figure 3.8 illustre la variation du courant de fuite en fonction de la conductivité de la couche de pollution. Une fois encore on peut facilement voir que le modèle avec les paramètres identifiés par la présente approche reproduits avec précision les résultats expérimentaux disponibles dans la littérature tandis que les méthodes dans les références [38, 40, 41] s'écartent plus ou moins de ces caractéristiques expérimentales.

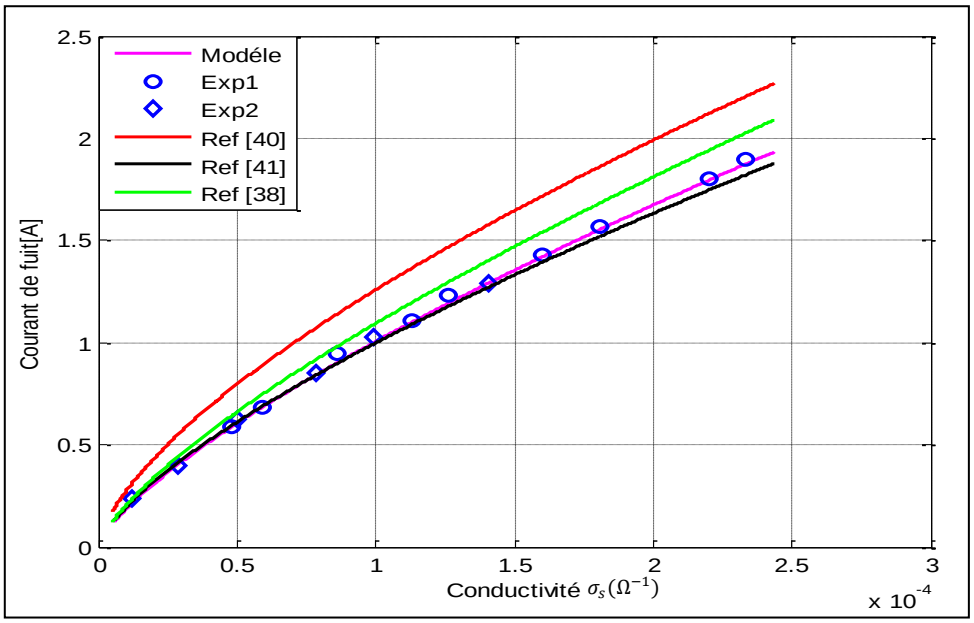


Fig. 3.8*Courant de fuite I_f en fonction de conductivité σ_s*

3.4.3. Application aux résultats expérimentaux réalisés au laboratoire de Béjaia

Dans un travail d'expérimentation réalisé au laboratoire Haute tension de l'université de Bejaia menée par AOUABED F [23], beaucoup d'essais sous différentes conditions de pollution ont été réalisés. Il résulte de cette étude que la tension de contournement diminue de manière non linéaire. Dans la présente partie du travail, on détermine les paramètres du modèle qui peut simuler l'arc de contournement et reproduire les données expérimentales obtenus.

Le programme est testé sur trois différents cas à savoir :

- le cas où le coté HT est fortement pollué ;
- cas de la pollution uniforme ;
- cas d'une répartition longitudinale périodique ;

Les valeurs de A et n sont pour les différents cas sont résumé dans le tableau 3.2.

Cas étudié	A	n
Tension de contournement en fonction de la conductivité superficielle	122.86	0.39
pollution uniforme coté HT est fortement pollué	129.5	0.35
Tension de contournement en fonction de la conductivité	128.6	0.33

En utilisant le premier cas pour lequel les valeurs de A et n sont 122.86 et 0.39 Le modèle décrivant la variation de la tension de contournement en fonction de conductivité $\sigma_s$prend la forme suivante :

$$U_c = \frac{A}{n+1}(L + \pi n D_m FK)(\pi A D_m \sigma_s)^{-\left(\frac{n}{n+1}\right)} \qquad (3.12)$$

En traçant le modèle pour différentes valeurs de la conductivité $\sigma_s$dans un même repère d'axe avec la caractéristique expérimentale obtenue au laboratoire comme montré dans la figure 3.9.

Il est clair en examinant ce résultat, que le modèle approxime convenablement les données expérimentales. Cette conclusion est aussi confirmée pour les deux cas étudié et représentée dans les figures 3.10 et 3.11

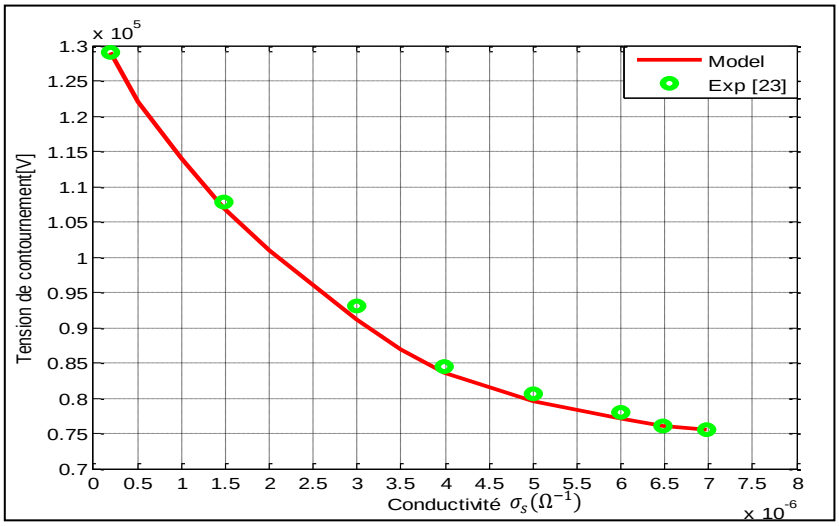


Fig. 3.9*Tension de contournement en fonction de la conductivité superficielle*

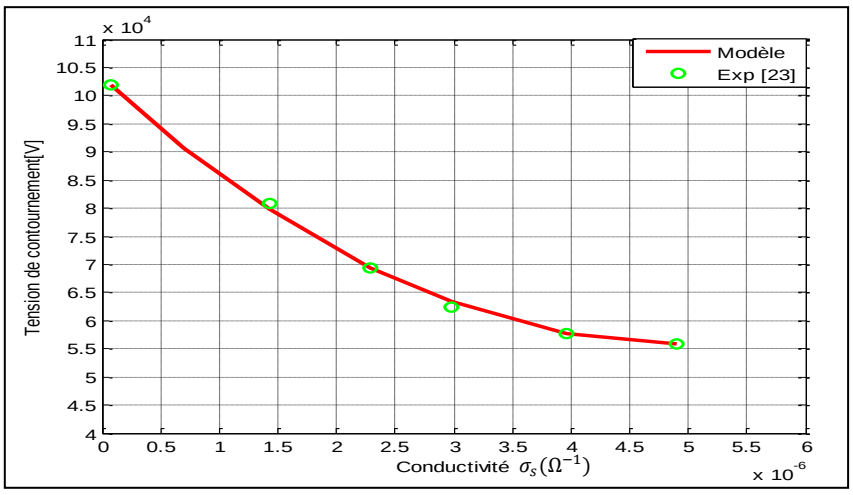


Fig. 3.10*2ème cas : pollution uniforme coté HT est fortement pollué*

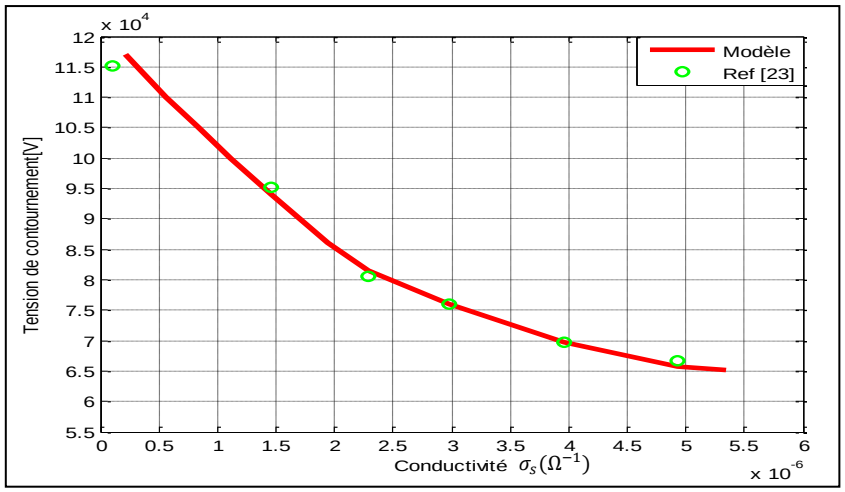


Fig. 3.11*3ème cas : Tension de contournement en fonction de la conductivité*

3.5. Conclusion

L'application du modèle mathématique ayant ses paramètres identifiés en utilisant l'approche génétique à codage réel à différents types des isolateurs montre un accord satisfaisant entre les résultats calculés et les données expérimentales. L'utilisation des valeurs dérivées des constantes de l'arc ne permet pas seulement les caractéristiques qualitatives, mais aussi la description quantitative du comportement diélectrique de l'isolateur pollué, fournissant ainsi aux utilisateurs un modèle d'isolateur pollué d'application générale.

CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

Le phénomène de pollution résulte de diverses origines ; on peut en citer trois ; naturels, industriels et mixtes. Quelle que soit la source de pollution, on observe toujours une formation d'une couche électrolytique due à l'humidification d'un dépôt de pollution accumulé progressivement sur la surface des isolateurs. Selon les contraintes auxquelles l'isolateur est soumis, trois cas essentiels peuvent se présenter :

- Arc non localisé;
- Arc fixe;
- Le contournement d'une surface isolante polluée.

La tension de contournement d'un isolateur pollué dépend essentiellement de la conductivité du dépôt polluant ainsi que de la répartition de la couche de pollution sur la surface isolante. La connaissance de ce degré de pollution est par conséquent, une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages installés sur site, en vue de dimensionner convenablement l'isolation.

Pour la détermination de la tension de contournement des isolateurs, il est important et nécessaire d'estimer le degré de sévérité de la pollution.

Après avoir examiner les concepts fondamentaux et les informations d'ordre générales sur les isolateurs et le phénomène de pollution ainsi que l'influence du milieu extérieur sur la vie des isolateurs, nous avons mené une recherche bibliographique qui nous a permis d'explorer les principaux modèles statiques et dynamiques, ainsi que de citer certains mécanismes et critères de propagation de la décharge sous tensions continue, alternative.

La plupart des modèles traitent le problème de manière statique et reposent sur modèle proposé par Obenhaus.

L'application du modèle ne nécessite que les caractéristiques géométriques de l'isolateur, la conductivité du polluant et les constantes de l'arc. Par conséquent, la détermination des

constantes de l'arc permet le calcul des conditions critiques pour l'embrasement général.
Des essais expérimentaux sur des isolateurs plusieurs montrent une très bonne concordance entre les valeurs mesurées et celles calculées.

Cette étude propose une méthode d'optimisation intelligence telle que les algorithmes génétiques, ce qui conduit à des résultats plus précis par rapport à ceux des méthodes classiques de mathématiques.
Comme perspective de ce présent travail, on propose:
Utilisation d'autre méthode d'optimisation pour converge le meilleur résultat. Optimisé d'autre paramètre qui consiste le contournement.
Une étude pour choisie un bon matériau qui consiste la construction des isolatrices hautes tensions et développement un modèle mathématique qui consiste tous les paramètres.

Annexe

```
program  MyGa
implicit  none
include 'parameter.inc'
integer k, i,j, kbest,it,  nbstag,stag,q, elit,nbmultip,niche,
$          newfx(popsize),stagtot,nbtot,ibidon,savefich,affichecran,
$          restartini,restartfin,initpop
double precisionpop(popsize,dimx),  xmin(dimx),  xmax(dimx),
$          solx(dimx),solfx,norme
double precision  alpha,  pc,pm,tm,b,kb,b0,sigmaniche,alphaniche,
$          mx(popsize)
double precision  fx,sol(dimx),best(0:genemax),bestfx
double precision  fitnesspop(popsize),  pmi(popsize),eps,temp,tmp
double precision scal,scalvar1,scalvar2,scalvarp
character*6 typeconv,typec,typem,types,RafLoc,scaling,scalingvar
logical  arret,newx
integer info
C
C          Initialaisation  desparametres
C
ibidon =  -1! time()
calluniforme(ibidon,temp)
arret =.false.
do   k=1,popsize
newfx(k)  =  1
enddo
callinitparm(affichecran,savefich,typeconv,solx,solfx,eps,xmin,
$          xmax,pc,typec,alpha,nbmultip,pm,tm,q,typem,b,nbstag,rafloc,
$          nbtot,kb,types,elit,niche,sigmaniche,alphaniche,scaling,scal,
$          scalingvar,scalvar1,scalvar2,scalvarp,restartini,restartfin,
initpop)
C          Initialaisation de la  population
if(restartini.eq.1)  then
callinit(pop,xmin,xmax)
```

```
if(initpop.ge.1) then
open(unit=3,file='initx.dat',status='unknown')
do   k=1,initpop
do   j=1,dimx
read(3,*)  pop(k,j)
enddo
enddo
close(3)
endif
else
open(unit=3,file='restart.dat',status='unknown')
do   k=1,popsize
do   j=1,dimx
read(3,*) pop(k,j)
enddo
enddo
close(3)
endif
callinitpmi(pmi,pm)
stag =  0
stagtot =  0
b0   =  b
C          Affichage  de la  population
if(niche.eq.1)  then
call  nich (pop,mx,sigmaniche,alphaniche,q,xmin,xmax)
else
do   k=1, popsizemx(k)  =  1.D0
enddo
endif
callfitnessall(pop,fitnesspop,newfx)
callbestfitness(fitnesspop,kbest)
bestfx =  fitnesspop(kbest)
best(restartini-1) =  bestfx
do   i=1,dimx
sol(i)  =  pop(kbest,i)
enddo
newx=.true.
```

```
if(typeconv.eq.'solx')  then
call normel2(solx,sol,norme)
endif
if(affichecran.ge.3)  then
write(*,*)  '************************************'
write(*,*)  '*       Generation initiale          *'
callaffichepop(pop,popsize)

write(*,*) 'Son fitness  =  ', fitnesspop
write(*,*) 'Meilleur fitness  =',fitnesspop(kbest)
if(typeconv.eq.'solx')  then
write(*,*) 'le meilleur individu se trouve a un   distance =',
$           norme,'  de la solution.'
endif
write(*,*) '*        *'
write(*,*)  '************************************'
endif
if(savefich.ge.2)  then
open(unit=2,file='bestfx.dat',status='unknown')
write(2,*) 0,'       ',bestfx
endif
do   it=restartini,restartfin
C  test d  arret
C  test  par rapport a la solution
if(typeconv.eq.'solx')  then
if(newx)  then
c           call  normel2(solx,sol,norme)
call normelinf(solx,sol,norme)
if(norme.le.eps)  then
arret=.true.
endif
endif
C  test  par rapport a la valeur de la fonction
elseif(typeconv.eq.'solfx')  then
if(abs(bestfx-solfx).le.eps) then
arret=.true.
endif
```

```
endif
if(arret)  then

goto  9999
endif
c          write(*,*)  ' ********* Selection ********* '
call selection(it,pop,fitnesspop,types,elit,niche,mx,
$          sigmaniche,alphaniche,q,xmin,xmax,scaling,scal,
$          scalingvar,scalvar1,scalvar2,scalvarp)
c          write(*,*)  ' ********* Croisement  ********* '
callcroisement(pop,fitnesspop,pc,typec,alpha,nbmultip,pmi,
$          tm,xmin,xmax,q,newfx)
c          write(*,*)  ' ********* Mutation  ********* '
call mutation(it,pop,fitnesspop,pmi,pm,typem,b,xmin,xmax,
$          newfx)
C  on   remet les  proba de mutation a leur  valeur initiales.
call initpmi(pmi,pm)
C  on   recalcule le fitness des  nouveaux individus.
callfitnessall(pop,fitnesspop,newfx)
C  on   cherche le  meilleur individu de la  population courante
callbestfitness(fitnesspop,kbest)



write(3,*)  '*       Generation  Finale          *' write(3,*)  'fitnesspop  =  ',  fitnesspop
write(3,*)  'Meilleurindividutrouve =  ',sol write(3,*) 'Son fitness =',bestfx if(typeconv.eq.'solx')  then
call normel2(solx,sol,norme)
write(3,*)  'norme par rapport a la  solution cherchee'
write(3,*) ' Norme   L2  =', norme
call normelinf(solx,sol,norme)
write(3,*) ' NormeInf =',norme
endif
write(3,*) '*         *'
write(3,*)  '***********************************'
close(3)
open(unit=3,file='restart.dat',status='unknown')
do   k=1,popsize
do   j=1,dimx
```

```
write(3,*) pop(k,j)
enddo
enddo
close(3)
endif
end
subroutinefunc(x,fx)
implicit  none
include 'parameter.inc'
double precision  x(dimx),  fx, pi, f1, f2,tmp,sigma2,x0
integerj,k,  nvalley
integeri,v,nbmesures,nbproils
parameter(nbmesures=7,nbprofils=4)
doubleprecision
c(nbmesures,nbprofils),ucm(nbmesures,nbprofils),
&z(nbmesures),sig(nbmesures),
uc(nbmesures),
&       r(nbmesures),Dm(nbprofils),L(nbprofils),F(nbprofils),  A,   n
data C/0.13,0.16,0.23,0.28,0.34,0.37,0.49,0.52,0.55,
$       0.02,0.05,0.10,0.16,0.22,0.30,
$  0.02,0.05,0.10,0.16,0.22,0.30,0.02,0.03,0.04,0.05,0.06,0.10,0.20/
dataucm/12000.0,11100.0,8700.0,9100.0,7500.0,7800.0,6200.0,
$       6800.0,6100.0,22000.0,16000.0,13000.0,11000.0,10000.0,
$       8500.0,26000.0,19000.0,15000.0,13000.0,12000.0,10500.0,
$       23500.0,20900.0,19400.0,18300.0,16900.0,15800.0,13600.0/
5       Continue
A       =  x(1)
n       =  x(2)
pi=3.14159

fx =  0.d0 goto  53

53      continue
do   v=1,nbprofils
do   i=1,nbmesures

sig(i)=(369.05*C(i,v)+0.42)*1E-6
```

```
R(i)=0.469*(pi*x(1)*Dm(v)*sig(i))**(1/(2*(x(2)+1)))
z(i)=1+((x(2)+1)/(2*pi*F(v)*x(2)))*log(L(v)/(2*pi*R(i)*F(v)))
uc(i)=(x(1)/(x(2)+1))*(L(v)+pi*x(2)*Dm(v)*F(v)*z(i))*(pi*x(1)*
$          Dm(v)*sig(i))**((x(2)/(x)+1)))
fx =  fx +  (ucm(i,v)  - uc(i))**2
enddo
enddo
goto  90
10        Continue fx = 0
do   k=1,dimx
fx =  fx +  x(k)**2
enddo
goto  90
90        Continue return end
```

Références Bibliographiques

[1] G.Talal, «Comportement d'un modèle d'isolateur sous tension impulsionnelle», mémoire de magister en génie électrique, laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger 2007.

[2] M. Teguar, ″Etude Mathématique des Mécanismes de Développement des Décharges Électriques sur des Isolateurs Installés en Régions Polluées″, Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Juillet 1993.

[3] S. Tounsi, F. Chikh "Influence du Sol sur le Comportement d'un Modèle d'Isolateur sous Tension" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2008

[4] S.satta,"contribution a l'étude de l'influence de la pollution discontinue sur le comportement des isolateurs : expérimentation et simulation ",″, Thèse de Magister, université farhat Abbes Sétif Juin 2010

[5] D.Dumora, "Matériaux isolants cramiques en électrotechnique", Techniques de l'ingénieur D275-1975.

[6] M. Slama« contribution a l'étude de l'influence de la non uniformité de la pollution basée sur la méthode de la D.D.S.E pour le dimensionnement des isolateurs des lignes THT a courant alternatif » .mémoire de magister ; promotion 2002, université Mohamed Boudiaf, Oran.

[7] R. Coello, B. Aladenize : "Les diélectriques", livre, Edition Hermès, Paris.1986

[8] http://www.hydroquebec.com/terminologie/chroniques/chro_isolateur.html.

[9] R. Bouzeroura « Etude du développement d'arcs électriques parallèles sur une surface isolante non uniformément polluée sous tension continue », Mémoire de magister, promotion 2009, Université de Bejaia

[10] Y. Porcheron, « Lignes aériennes : Matériels entrant dans la constitution d'une

ligne aérienne », Technique de l'ingénieur D4425.

[11] B. Hammoum, A. Kerbouche "Etude du Phénomène de Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région Electrique du Centre Algérien" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2007

[12] X. Ducouret " lignes aériennes : matériels" techniques de l'ingénieur D4423

[13] A. Bouarouri R. Ladjal "Comportement et Caractérisation Electriques d'un Modèle d'Isolateur sous Tension Alternative" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2006

[14] N. Khairoun, E. Abderrahmane, D. Zellouta "Essais sur isolateurs pollues et modélisation" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2007/2008

[15] A. S. Bouhadjar, M. Amokrane Caractérisation de l'état de surface d'un isolateur par technique d'ondelettes et modélisation Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2008

[16] Z. Sahli," Etude de la Non Uniformité de la Pollution sur les Caractéristiques de Contournement des isolateurs Réels sous Tension Continue', Thèse de Magister, Département d'électrotechnique, Université Abederrahmane Mira de Bédjaia.

[17] L. L.Alston, S. Zoledziowski, « Growth of discharges on polluted insulators », IEEE, Trans. PAS, Vol. 110, N°. 7, pp. 1260–1266, Juillet 1963.

[18] M. Ben alia « modélisation d'un isolateur naturellement pollue sous tension impulsionnelle utilisant des circuits électriques Equivalents » mémoire de magister en génie électrique2008, laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger.

[19] "Essais sous pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés a courant alternatif ", norme internationale CEI507, Deuxième édition ,1991

[20] A. Mekhaldi, « Etude des phénomènes de conduction et de décharges électriques sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz », Thèses de

Doctorat, ENP, Département de Génie Electrique, Laboratoire de haute tension, Septembre1999

[21] D. Namane, « Effet de la discontinuité de la couche de pollution sur le comportement d'isolateur de haute tension, sous la fréquence 50Hz », Thèse de Magister Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Département de Génie Electrique, Laboratoire de haute tension, Février 1998.

[22] P. S. Ghosh, N. Chatterjee, "Polluted Insulator Flashover Model for AC Voltage", IEEE Trans. on Diel. and Elect. Insul., vol. 2, N°. 1, pp. 128-136, February 1995.

[23] F. Aouabed,"contribution a l'étude d'un circuit équivalent des isolateurs synethiques sous pollution en utilisant l'EMTP", Thèse de Magister, université farhat Abbes Sétif Juin 2010.

[24] R. Wilkins, « Flashover voltage of high voltage insulators with Unite en Surface pollution films », Proc. IEE, 116, No3, MARS 1969.

[25] H. H. Woodson, A.J. McElroy, « Insulators with contaminated surfaces part II: modelling of discharge mechanisms », IEEE Trans., Vol. Pas-89, N°. 8. p. 858-867, November- December 1970.

[26] W.Taibi, K.Abdeli, « Modèle d'un isolateur pollué sous tension alternative 50 Hz », Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene, Bab Ezzouar, Juin 2002, Alger, Algérie.

[27] H.Streubel, « The influence of non-uniform contamination on the flashover voltage of insulators » 4th International Symposium on High Voltage Engineering, Rapport 46-10,5-9 September 1983, Athens, Greece.

[28] P. J. Lambeth, H. Auxel, M. P. Verma, "Méthode de mesure de la sévérité de la pollution compte tenu de son influence sur le comportement des isolateurs à haute tension", Electra N°. 20, pp 95-100, Janvier 1972.

[29] S. BOUAZABIA, T. CHIKHAOUI, 'Méthodes d'essais sur des isolateurs pollués

dans les conditions désertiques', département de génie électrique, laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger, 1988.

[30] R. Bouzeroura « Etude du développement d'arcs électriques parallèles sur une surface isolante non uniformément polluée sous tension continue », Mémoire de magister, promotion 2009, Université de Bejaia .

[31] Goldberg David E. 'Genetic algorithms in search, optimization and machine learning', Addition-Wesley, 1989.

[32] Benahmed Nadia, 'optimisation de réseaux de neurones pour la reconnaissance de chiffres manuscrits isoles: sélection et pondération des primitives par l'algorithme génétique', Thèse de maitrise, Ecole de technologie supérieure université du Québec, Montréal, 2002.

[33] Michalewicz Z., Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. New York: Springer Verlag, 1999.

[34] Dung Hoang, 'détermination simultanée de la résistivité et de l'épaisseur des tôles métalliques et d'alliages non magnétiques par méthode électromagnétique sans contact', thèse de doctorale, Ecole Centrale de Lyon, 2002.

[35] Bayadi Abdelhafid, 'contribution à l'etude des performances des parafoudres à base d'oxide de zinc soumis à des contraintes transitoires rapides dans les systèmeelectriques', these de doctorale, Universite de setif, 2005.

[36]] K. S. Huang, W. Kent, Q. H. Wu, D. R. Turner, Parameter identificationof induction machine using genetic algorithms, Proceeding of the 1999 IEEE International symposium on computer aided control system design, pp.510-515, 1999.

[37] B., Abdelhadi, A. Benaoudjit, N. Nait-said, Identification of induction machine parameters by genetic algorithm, Conference on electrical engineering, CEE'02, Batna, pp 166-170, 2002.

[38] F.V.Topalis,I.F.Gonos and I.A.Stathopulos,dielectricbehaviour of polluted porcelain insolators, IEE,2001.

[39] A.kacimi, identification des paramètres des modèles de parafoudres par algorithme génétique, mémoire de fin études, université Ferhat abbes, 2005.

[40] zegnini, Estimation of Arc Parameters for Pollution Flashover of High Voltage Insulators ,2008.

[41] I.A.Stathopulos, dielectricand F.V.Topalis, I.F.Gonos, Genetic algorithm approach to the modeling of polluted insulators IEE, 2002.

ملـخـص:يعرض هذا العمل دراسة لتطبيقنهجمنالخوارزمياتالجينية (الوراثية) لحساب المجاهيل المتعلقة بالقوس الكهربائي أثناء حدوث توتر الإحاطة للعوازل الملوثة. هذاالعمليحاولاستخداماالبياناتالتجريبيةالمتاحةفيالمنشورات السابقةلبناء برنامج الخوارزميات الوراثية للبحث عن المجاهيل. ويستخدمأيضابعضالخصائصالهندسيةللعازل
(القطر،والارتفاع،معامل الشكل،وكثافةالملحالسائل الملوث)هده العناصر تساعد على حدوث توتر الإحاطة للعازل.

كلمـات مفتاحيــة : العوازل ، التلوث، الخوارزمياتالجينية،نموذج، توتر الإحاطة,حساب المجاهيل.

Résumé : L'objectif principal de ce mémoire de magister est d'appliquer l'approche des algorithmes génétiques (AGs) pour estimer les paramètres de l'arc pour les isolateurs pendants le contournement. Dans Ce travail nous essayons d'utiliser les données expérimentales disponibles dans la littérature pour construire l'algorithme en question. On utilise par ailleurs quelques caractéristiques géométriques de l'isolateur à savoir le diamètre, la ligne de fuite, la hauteur, le facteur de forme et la densité de dépôt de sel équivalent (DDSE) et par suite aide à l'évaluation de la tension critique de contournement.

Mots Clés : Isolateur, Pollution, Algorithmes Génétiques, Modélisation, Contournement, Estimation des paramètres.

Abstract: The main purpose of this dissertation of magister is to use the genetic algorithms approach (GAs) to estimate the parameters of the arc for insulator polluted for flashover voltage. In this work, we try to use the experimental data available in the literature to build the algorithm in question. It also uses some geometric characteristics of the insulator that is the diameter, longuer, height, form factor and density of equivalent salt deposit (DDSE) and consequently help in the evaluation of critical flashover voltage.

Key Words: Insulator, Pollution, Genetic Algorithms, Modilisation, , Flashover,
Estimation parameters.