

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI-BEL-ABBES
Faculté de Génie Electrique
Département d'Electrotechnique

Thèse présentée par :

CHAKER ABDELKRIM

Pour l'obtention du diplôme de :

Doctorat en Sciences
Spécialité : Electrotechnique

Option : RESEAUX ELECTRIQUES

Intitulé de la thèse :

ALLOCATION OPTIMALE DE LA FIABILITE DES COMPOSANTS ELECTRO-ENERGETIQUE UTILISANT L'ALGORITHME DES CHAUVES-SOURIS

Présentée devant le jury composé de :

Abid Mohamed	Professeur (U.D.L. Sidi Bel-Abbés)	Président
Benaissa Abdelkader	Professeur (U.D.L. Sidi Bel-Abbés)	Rapporteur
Meziane Rachid	Professeur (U.T.M. Saida)	Examineur
El Kebir Abdelkader	MC A (U.M.S. Mascara)	Examineur
Zebelah Abdelkader	Professeur (U.D.L. Sidi Bel-Abbés)	Invité

Année Universitaire 2021 / 2022

Remerciements

Je remercie **Allah**, le tout puissant, le miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout dont je necessitais pour l'accomplissement de cette thèse de doctorat.

J'en profite de cette occasion pour exprimer ma sincère gratitude à mon directeur de thèse : Professeur **Abdelkader BENAÏSSA** (Université de SIDI BEL ABBES) pour ses précieux conseils, ses encouragements, ses discussions techniques novatrices et m'avoir fourni toutes les facilités nécessaires tout au long de ce travail sans oublier le professeur **Aala Edine BELAFDAL** du département informatique.

J'adresse également mes sincères remerciements à monsieur le président le Professeur M.Abid, et aux membres de jury le Professeur R.Meziane et le Professeur A.El Kbir qui ont acceptés d'examiner cette thèse malgré leurs nombreuses occupations.

Je remercie aussi, tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à ma formation du primaire à la post-graduation.

Résumé

Le secteur de l'énergie électrique connaît un développement sans précédent. Les exigences des clients sont de plus en plus élevées, les conditions économiques exigent plus d'effort et de nouveaux concurrents apparaissent chaque jour. Tout cela induit des effets qui sont sans doute plus importants que les potentiels économiques.

Face à cette mutation et où l'offre dépasse parfois la demande, les concepteurs du système de production doivent mettre des organisations de techniques adaptées afin d'atteindre les objectifs assignés.

Une exploitation judicieuse d'un système de production dépend de sa configuration. Elle se doit d'offrir une continuité de service à moindre coût. Cela ne peut se réaliser que sur une méthodologie de conception hiérarchique basée sur la modélisation comportementale de chaque élément du système.

L'objectif de notre travail consiste à optimiser un système de production parallèle-série sous contraintes (fiabilité et coût) dont la demande se distingue par des niveaux différents de composants. L'évaluation de la structure fait appel aux méta-heuristiques puisque notre système comporte une variété d'éléments et on se retrouve dans une situation combinatoire de choix d'éléments.

Mots-clés : Optimisation combinatoire, Méta-heuristique, Algorithme des chauves-souris, Fiabilité, Système multi- états, parallèle- série.

Abstract

The electric power sector is experiencing unprecedented development. The demands of customers are more and more high, economic conditions demand more effort and new competitors appear every day. All this induces effects which are undoubtedly more important than the economic potentials.

Faced with this change and where the supply sometimes exceeds the demand, the designers of the production system must set up appropriate technical organizations in order to achieve the assigned objectives.

Successful operation of a production system depends on its configuration. It must offer continuity of service at a lower cost. This can only be achieved on a hierarchical design methodology based on behavioral modeling of each element of the system.

The objective of our work is to optimize a system of parallel-series production under constraints (reliability and cost) whose demand is distinguished by different levels of components. The evaluation of the structure calls upon meta-heuristics since our system comprises a variety of elements and we find ourselves in a combinatorial situation of choice of elements.

Keywords: Combinatorial optimization, Meta-heuristic, Bat algorithm, Reliability, Multistate system, parallel-series.

ملخص:

يشهد قطاع الطاقة الكهربائية تطوراً غير مسبوق. تزداد طلبات العملاء، وتتطلب الظروف الاقتصادية مزيداً من الجهد ويظهر منافسون جدد كل يوم. كل هذا يؤدي إلى تأثيرات هي دون شك أهم من الإمكانيات الاقتصادية في مواجهة هذا التغيير وحيث يتجاوز العرض أحيانا الطلب، وعليه يجب على مصممي نظام الإنتاج إنشاء منظمات فنية مناسبة من أجل تحقيق الأهداف المحددة. يعتمد التشغيل الناجح لنظام الإنتاج على تكوينه. يجب أن توفر استمرارية الخدمة بتكلفة أقل. ال يمكن تحقيق ذلك إلا من خلال منهجية تصميم هرمي تعتمد على النمذجة السلوكية لكل عنصر من عناصر النظام. الهدف من عملنا هو تحسين نظام إنتاج متوازي تسلسلي في ظل قيود (الموثوقية والتكلفة) التي يتميز طلبها بمستويات مختلفة من المكونات. يستدعي تقييم الهيكل الاستدلالية الفوقي أن نظامنا يشتمل على مجموعة متنوعة من العناصر ونجد أنفسنا في موقف اندماجي لاختيار العناصر.

الكلمات الرئيسية: التحسين التجميعي، خوارزمية الخفافيش، الموثوقية، النظام متعدد الحالات، متوازي تسلسلي.

Problématiques et Objectifs

L'avancée spectaculaire de la technologie que le monde a connu durant ces dernières années et la demande en énergie électrique a suscité une grande avancée dans la recherche de la production de l'énergie électrique afin de satisfaire non seulement l'industrie et ses infrastructures mais aussi l'accroissement démographique des populations et l'agrandissement des villes en alimentant sans interruption ses demandeurs. Pour résoudre le problème de la continuité et de l'efficacité de l'énergie, plusieurs recherches ont été effectuées. Dans ce domaine, la méta-heuristique a beaucoup contribué en effet, elle a fait ses preuves dans la configuration des structures des systèmes électriques. Appliquée à beaucoup de problèmes de références, l'algorithme des chauves-souris s'est avéré robuste et efficace. C'est alors que par l'intermédiaire de la mise en œuvre de cette heuristique que nous allons construire notre réseau pour essayer de répondre en temps réel à la demande d'une énergie fiable et moins coûteuse.

L'amélioration de l'efficacité énergétique globale implique une importance à l'étude des systèmes électriques dans les processus de configuration des systèmes ou encore dans la reconfiguration. Notre problème dans ce mémoire c'est d'abord le problème de redondances des composants qui constitue notre système puisque chaque élément est caractérisé par le niveau de fiabilité de sa performance et de son coût. L'algorithme fera alors différentes combinaisons pour atteindre un seul objectif, sous contrainte de fiabilité, d'un coût minimal et une fiabilité maximale. C'est alors de cette hypothèse que la structure de notre réseau prendra forme.

Plan de Présentation

La thèse est composée de cinq chapitres :

Chapitre 1 : Introduction aux réseaux électriques et description des différents éléments de chaque sous-système et leurs fonctionnements.

Chapitre 2 : Présentation des concepts généraux de la fiabilité des systèmes parallèle- série.

Chapitre 3 : Formulation mathématique du problème d'optimisation de la fiabilité dans un système parallèle-série par la méthode d'Ushakov,

Chapitre 4 : Présentation de la méta-heuristique employée pour résoudre le problème de l'optimisation de notre structure.

Chapitre 5 : Simulation pour une fiabilité maximale et un coût minimal sous des contraintes exigées.

Conclusion générale et perspectives

La thèse sera finalisée par un ensemble de simulation où l'on dégagera les éventuelles perspectives qui pourront être développées dans le futur, ouvrant de nouvelles voies et propositions dans le but d'améliorer ce travail.

Tables de matieres

...Introduction générale.....

Introduction Générale.....	2
----------------------------	---

Chapitre 1

I-Introduction.....	6
I.1-Définition du réseau électrique.....	6
I.2-Organisation du réseau électrique.....	7
I.3-Les composants d'un réseau électrique	9
I.4 -L'industrie de la production d'énergie électrique.....	10
I.5-Les centrales de production.....	11
I.6 -Les sous-systèmes de transformation.....	12
I.7-Les moyens d'acheminement de l'électricité.....	12
I.7.1-Le réseau de transport d'électricité.....	13
I.7.2 -Les réseaux de distribution	13
I.8-Réseau radial (simple dérivation)	14
I.9-Réseau boucle ouverte.....	15
I.10-Schéma double dérivation.	16
I.11-Conclusion	19
Bibliographies.....	20

Chapitre 2

II-Introduction.....	22
II.1- Les systèmes.....	22

II.2- Différentes structures du système.....	22
II.2.1-Système série.....	22
II.2.2-Système parallèle.....	23
II.2.3-Système série-parallèle.....	24
II.2.4-Système parallèle- série.....	24
II.3- Mesure de l'efficacité des systèmes.....	24
II.3.1- La fiabilité.....	25
II.3.1.1- Historique.....	25
II.3.1.2-Définition.....	26
II.3.1.3-La Disponibilité.....	27
II.3.1.4- La Maintenabilité.....	28
II.3.1.5- Défaillance.....	28
II.4- Estimation des indices de Fiabilité.....	30
II.4.1- L'indice de performance	30
II.4.2-Analyse de la fiabilité des systèmes.....	31
II.5-Le Modèle binaire simple (Simple binary model).....	31
II.5.1-Le Modèle Binaire Étendu.....	31
II.5.2- Les méthodes d'évaluations	31
II.5.2.1- La methode classique	31
II.5.2.2- Configuration Série.....	32
II.5.2.3-Configuration Parallèle.....	32

II.5.2.4-Configuration série-Parallèle.....	33
II.5.2.5-Configuration Parallèle-série.....	33
II.6-Exemple de la méthode classique.....	34
II.7-Fiabilité du système électrique.....	35
II.8- La Sécurité du système électrique.....	35
II.9-Structuration du système électrique dans l'évaluation de la fiabilité des systèmes Electriques.....	35
II.10-La Méthode numérique.....	37
II.11-Conclusion.....	38
Bibliographies.....	39

Chapitre 3

III.1 Introduction.....	45
III.2 Estimation des systèmes multi-états.....	45
III.3 Evaluation de la fiabilité par la méthode (UMGF)	46
III.3-1 Système de production électro-énergétique	46
III.3.1-1 Système en parallèle.....	48
III.3.1-2 Système en séries.....	49
III.3.1.3- Fiabilité du modèle de la demande.....	50
III.3.1.4- Fiabilité jumelée à la charge.....	51
III.3.2- Exemple illustratif de la méthode (UMGF)	52
III.3.2.1-Cas de deux états.....	52
III.4-Model de charge	53

III.5-Cas de systèmes multi-états.....	54
III.6-Algorithmes d'Ushakov.....	58
III.7-Conclusion.....	62
Bibliographies.....	63

Chapitre 4

IV.1-Introduction	66
IV.2-Technique d'optimisation en utilisant l'algorithme des chauves-souris.....	66
Historique.....	66
IV.3-Processus de l'écholocation des chauves-souris.....	67
IV.4-Interprétation mathématiques de l'écholocation.....	69
IV.5-Algorithmes des chauves-souris.....	70
IV.6-Exemple de conception d'un système de puissance	72
IV.7-Discussions des résultats	75
IV.8-Conclusion.....	76
Bibliographies.....	77

Chapitre 5

V.1-Introduction.....	82
V.2-Exemple Illustratif d'un Système.....	82
V.2.1-Présentation du réseau électrique.....	82
V.2.2-Description de la demande	83

V.2.3-Caractéristiques globales du réseau à optimiser.....	84
V.3-Simulation pour un système hétérogène.....	87
V.3.1-Variations des paramètres du logiciel.....	88
V.3.2-Cas d'un système à caractéristiques hétérogènes.....	88
V.3.2.1-Variation de la fréquence à intensité constante.....	88
V.3.2.1.a-Interprétation des résultats :	90
V.3.2.1.b-Interprétation des résultats :	92
V.3.2.1.c-Interprétation des résultats :	94
V.3.2.1.d-Conclusion :	95
V.3.2.2-Variation de l'intensité à fréquence constante.	95
V.3.2.2.a-Interprétation des résultats :	97
V.3.2.2.b-Interprétation des résultats :	98
V.3.2.2.c-Interprétation des résultats :	100
V.3.2.2. d- Interprétation des résultats :	101
V.3.2.2.e-Interprétation des résultats :	103
V.3.2.2.f-Interprétation des résultats :	104
V.3.2.2.g-Interprétation des résultats :	106
V.3.2.2.h-Interprétation des résultats :	107
V.3.2.2.i- Conclusion :	108
V.4- Simulation pour un système homogène.....	108
V.4.1- Cas d'un système avec performance homogène	108
V.4.1.1-Variation de la fréquence à intensité constante.....	108
V.4.1.1.a- Interprétation des résultats :	111
V.4.1.1.b- Interprétation des résultats :	114

V.4.1.1.c-Interprétation des résultats :	116
V.4.1.1.d-Conclusion :	117
V.4.1.2-Variation de l'intensité à fréquence constante.	117
V.4.1.2.a-Interprétation des résultats :	119
V.4.1.2.b-Interprétation des résultats :	120
V.4.1.2.c-Interprétation des résultats :	122
V.4.1.2.d-Interprétation des résultats :	123
V.4.1.2.e-Interprétation des résultats :	125
V.4.1.2.f-Interprétation des résultats :	126
V.4.1.2.g- Interprétation des résultats :	128
V.4.1.2.h-Interprétation des résultats :	129
V.4.1.2.i-Conclusion.....	130
V.4.2-Cas d'un système avec fiabilité homogène	130
V.4.2.1-Variation de la fréquence à intensité constante.....	130
V.4.2.1.a-Interprétation des résultats :	132
V.4.2.1.b-Interprétation des résultats :	134
V.4.2.1.c-Interprétation des résultats :	136
V.4.2.1.d-Conclusion.....	137
V.4.2.2-Variation de l'intensité à fréquence constante.	137
V.4.2.2.a- Interprétation des résultats :	139
V.4.2.2.b-Interprétation des résultats :	140
V.4.2.2.c-Interprétation des résultats :	142
V.4.2.2.d-Interprétation des résultats :	143
V.4.2.2.e-Interprétation des résultats :	145

V.4.2.2.f- Interprétation des résultats :	146
V.4.2.2.g-Interprétation des résultats :	147
V.4.2.2.h-Interprétation des résultats :	149
V.4.2.2.i-Conclusion.....	149
V.4.3-Cas d'un système avec coût homogène	149
V.4.3.1-Variation de la fréquence à intensité constante.	149
V.4.3.1.a- Conclusion.....	154
V.4.3.2-Variation de l'intensité à fréquence constante.	155
V.4.3.2.a- Conclusion.....	160
Bibliographies.....	161

Conclusion Générale

Conclusion générale et Perspectives.....	163
Bibliographies.....	167

Introduction

générale

Introduction Générale

Introduction Générale

L'avancée spectaculaire de la technologie que le monde a connue durant ces dernières années est la demande en énergie. Celle-ci a suscité une grande avancée dans la recherche de la production de l'énergie électrique afin de satisfaire non seulement l'industrie et ses infrastructures mais aussi les villes par l'accroissement de leurs populations.

Toutefois, le secteur énergétique est conditionné en grande partie par une contrainte très forte. En effet, l'énergie électrique étant très difficilement stockable, elle doit être acheminée en temps réel des centres de production vers les consommateurs finaux, industriels ou domestiques.

Ce besoin accru en énergie touche profondément la performance et la capacité des systèmes de production par des défaillances d'équipements qui affecte la performance.

Dans ce contexte d'environnement d'affaires où la compétition à augmenter la demande pour une plus grande efficacité et productivité, les exigences à respecter sur le plan des coûts, fiabilité, rendement, qualité et sécurité deviennent de plus en plus contraignantes.

Pour une plus grande efficacité et productivité, il est impératif de porter un regard sur la conception de structures fiables efficaces et moins coûteuses.

Face à ce défi, des techniques, des méthodes et des outils nouveaux ont émergé pour maintenir un niveau élevé de qualité des produits, optimiser et rationaliser l'utilisation des équipements et réduire les coûts de conception et d'exploitation de l'ensemble du système.

Plusieurs techniques ont permis d'augmenter la robustesse du réseau mais au détriment de coûts très importants utilisées dans la conception. On peut citer à ce titre l'installation de nouveaux équipements de production pour satisfaire aux besoins de puissance, de nouvelles

Introduction Générale

lignes de transport pour accéder aux équipements de production des réseaux voisins, l'ajout de redondance au réseau.

Néanmoins, de nouvelles approches méta-heuristiques ont vit le jour, leur objectif consiste à trouver la configuration qui offre le meilleure compromis autrement dit la solution optimale. En effet, une configuration optimale évite des dépenses excessives puisque dans le contexte d'ingénierie coût et performance sont des variables de décision les plus importants pour l'optimisation d'un processus.

Pour une fiabilité maximale et un moindre coût, nous avons opté dans cette thèse la construction d'un réseau électrique sur la base de l'algorithme des chauves-souris qui s'avère intéressant du point de vu robustesse et efficacité.

Conception du mémoire

Le mémoire est répartie sur 5 chapitre + conclusions générale.

Chapitre 1 Introduction au réseau électrique

Chapitre 2 Fiabilité des systèmes

Chapitre 3 Technique d'Ushakov

Chapitre 4 Algorithme des chauves-souris

Chapitre 5 Simulation

Conclusion générale

Chapitre 1

Introduction

Fu

Réseau

Electrique

I-Introduction

Les progrès avancent de façon exponentielle. En effet, les nouvelles technologies sont exploitées dans tous les domaines : l'industrie, l'économie et l'agriculture. Tout ça pour relever le défi de pouvoir améliorer la qualité de vie que ce soit matériels, des finances et encore des produits de consommation.

Plusieurs technologies sont mises à jour et se heurtent pour trouver les moyens de moderniser et faciliter les tâches quotidiennes du citoyen. Cependant le besoin accru en énergie électrique devient un événement considérable, et la production touche profondément la performance et la capacité des systèmes de production. Ainsi la répercussion des défaillances et la dégradation d'équipements affecte la performance et la rentabilité du système.

Tous ces projets ne sont réalisables que si la qualité de l'énergie électrique est sans doute meilleure pour faire fonctionner les infrastructures.

Nous intervenons nous, les électrotechniciens pour concrétiser l'objectif de ce progrès grâce à la mise en place d'un réseau électrique fiable, mettre en place de nouvelles technologies afin d'optimiser la production, le transport et la distribution et du coup réduire les frais d'exploitation.

I.1-Définition du réseau électrique

Le réseau électrique est composé de plusieurs millions d'éléments (câbles électriques, disjoncteurs, sectionneurs,...etc.) interconnectés entre eux de manière à remplir chacun d'eux un rôle. L'ensemble des fonctions de ces composants est de permettre d'acheminer l'énergie électrique au consommateur dans les meilleures conditions, tout en garantissant la continuité

pour la transporter sur de longues distances, et la transformer sous des formes spécifiques soumises à des contraintes bien déterminées.

I.2-Organisation du réseau électrique

L'architecture des réseaux électrique n'a pas changé depuis des décennies, en effet la conversion électro-énergétique de la puissance se fait à partir d'une source naturelle (hydraulique, diesel, nucléaire ...etc.), transformée par des transformateurs de puissance, et acheminée au consommateur les lignes THT, HT et MT.

Dans notre cas nous avons opté pour un système parallèle-série puisque la spécificité de cette configuration répond largement aux performances souhaitées.

Ces blocs représentent l'organisation du réseau électrique de la production à la distribution figure (1-1).

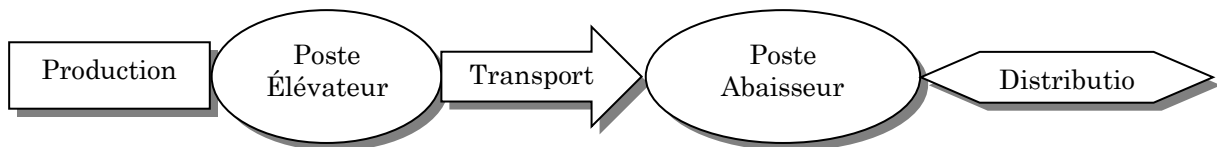


Fig. (1-1) : Structure générale d'un réseau électrique

Le 1^{er} bloc représente le groupe de production de l'énergie électrique, qui n'est autre qu'un alternateur (groupe électrogène) qui produit de l'électricité grâce à la force de l'eau, du vent, ou gaz (diesel).

Le 2^{ème}, et le 4^{ème} sont des transformateurs et permettent d'élever ou d'abaisser la tension du secondaire.

Le 3^{ème} bloc représente les lignes qui assurent le transport de cette énergie.

Le 5^{ème} bloc n'est autre que le consommateur.

Les clients potentiels tel que l'ENIE, SONACOM, les HOPITAUX,...etc. sont de grands consommateurs d'énergie, il est cependant nécessaire d'assurer une continuité de l'énergie électrique et minimiser les défaillances. De là, pour rendre le système électrique fiable à long terme, l'investissement devient capital.

De là, les éléments du système doivent répondre aux exigences suivantes:

- La continuité de fourniture de l'énergie électrique en assurant la fonctionnalité de toutes les unités de production figure (1-1).
- La disponibilité de l'énergie électrique aux consommateurs.
- L'acheminement de l'énergie électrique produite par des sources décentralisées vers les points de consommation.
- La fiabilité de la fourniture de l'énergie électrique ainsi que le confort de l'exploitation.

L'objectif d'un réseau électrique est d'assurer la demande des clients (Consommateurs), toutefois l'énergie électrique économiquement ne peut être stockée en grande quantité, il faut alors maintenir en permanence l'équation suivante :

$$production = consommation + pertes$$

En outre, la qualité de service est la préoccupation principale des opérateurs, il est alors nécessaire de maintenir la tension et la fréquence dans les plages contractuelles.

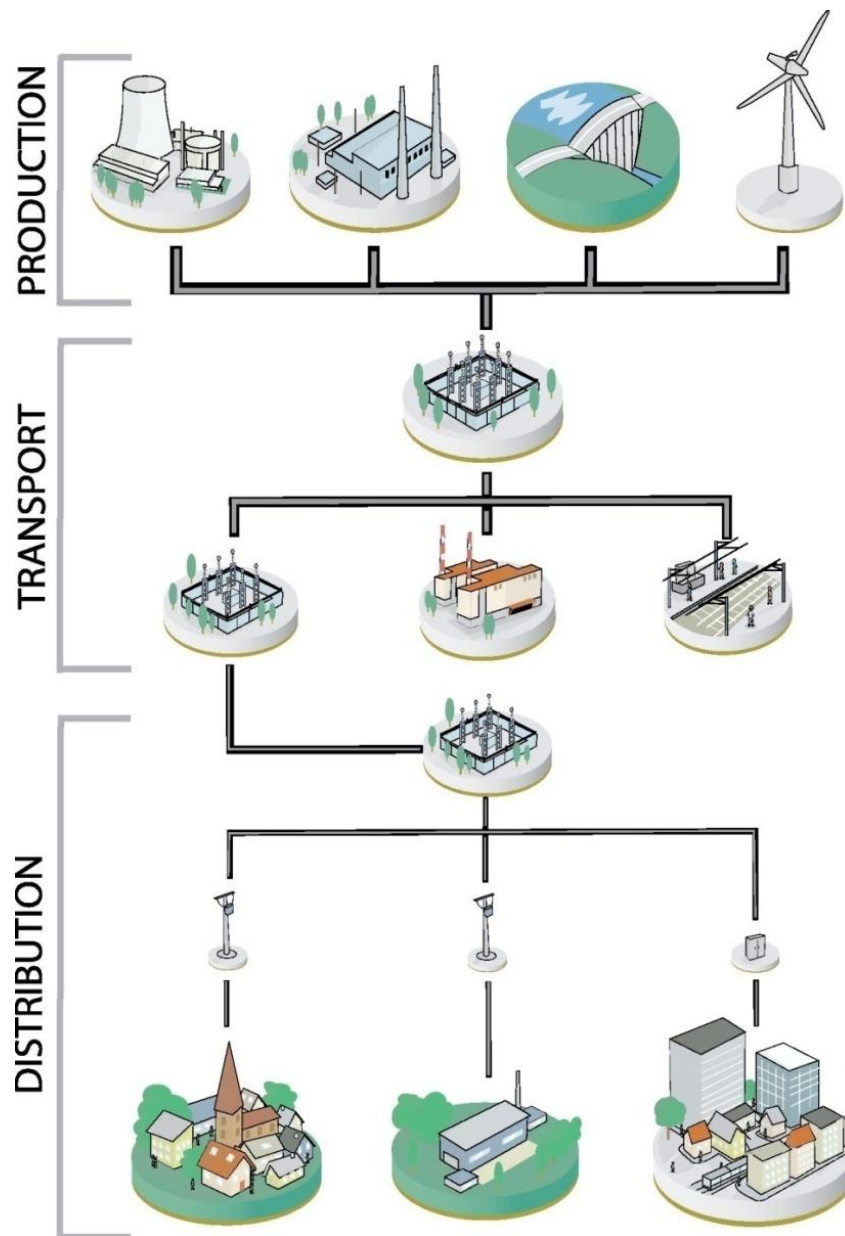


Fig. (1-2). Réseau électrique avec ces différentes production, le transport et la distribution.

I.3-Les composants d'un réseau électrique

A notre regard, le processus de l'acheminement de l'énergie électrique de sa production à sa distribution, nous paraît simple, mais au contraire le procédé représente tout un ensemble de composants interconnectés entre eux où chaque

élément doit remplir une ou plusieurs tâches bien définies pour pouvoir délivrer cette énergie.

Le réseau est composé de plusieurs sous-systèmes fig(1.3). Les sous-systèmes sont constitués de composants bien déterminés. En pratique la maintenance se fait sur ces composants et non sur le système, car ils sont composés d'un ensemble de pièces élémentaires et sur ceux-là que s'effectuera l'opération de changement de pièce car ces éléments font l'objet d'un échange standard [1].

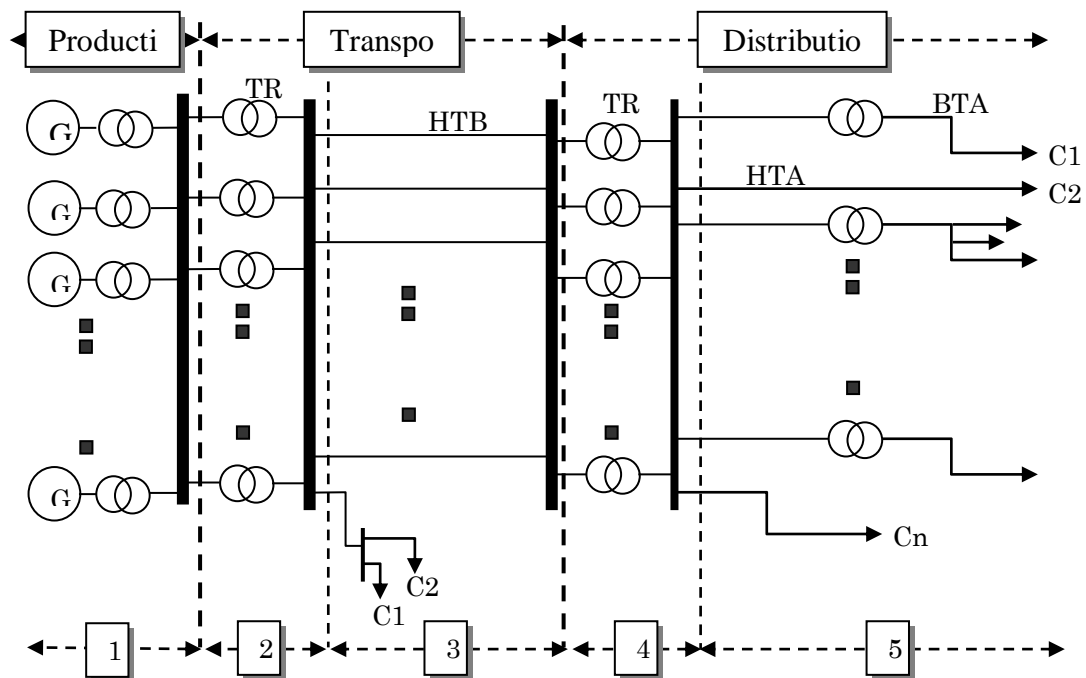


Fig. (1-3). Réseau électrique structure parallèle- série

I.4 -L'industrie de la production d'énergie électrique

Sans électricité la vie quotidienne serait invivable, par conséquent, il devient nécessaire de la produire de manière efficace et en continue. La production doit toujours répondre à la demande du consommateur ainsi, dans le cas d'un pic de la demande, on doit prévoir des moyens de production pour couvrir cette pointe même si cette dernière

ne dure que quelques minutes par an.

Composée de groupes et d'éléments de commande en interaction entre eux, la centrale de production de l'énergie électrique est la pièce maîtresse dans ce processus. Sur un même site, elle peut regrouper plusieurs unités de production fréquemment de même technologie et de même puissance [2].

Les sous-systèmes sont voués à produire de l'électricité par l'intermédiaire d'alternateurs entre 5Kv et 24Kv. Pour un transport économique, elle sera élevée par des transformateurs au voisinage direct de l'usine à une valeur entre 63 Kv et 400Kv.

Afin de faire face à la consommation de l'énergie électrique toujours croissante, il est nécessaire d'inventer et de construire des centrales capables de produire une grande quantité d'énergie électrique. En Algérie on exploite à 99% le gaz naturel pour la production de cette énergie.

I.5-Les centrales de production

La turbine et l'alternateur sont les deux pièces principales de ces générateurs. Dans le cas d'une centrale thermique, la turbine est entraînée par la vapeur produite dans la chaudière à combustible, tandis que dans le cas d'une centrale hydroélectrique, la turbine est entraînée par la force de l'eau. La turbine est reliée à un alternateur où les bobines du stator couplées soit en triangle ou en étoile vont produire un courant alternatif [4].

Une fois que l'électricité est produite, elle doit être délivrée aux consommateurs [4].

Les moyens mis en œuvre sont diversifiés, et dépendent de plusieurs facteurs :

- Le coût des matières premières,
- La production nécessaire,
- Le rendement possible,
- Les technologies existantes et leurs fiabilités.

Les unités de production engendrent divers degrés de fiabilité et d'incertitude. Le degré de fiabilité est interprété comme le degré la précision de la prévision de la production de l'énergie électrique d'une centrale.

L'erreur de prédiction de capacité peut être causée soit par un manque de prévision de la force motrice, soit par un manque de débit d'eau, ou une faible vitesse du vent, qui peut fausser tous les calculs. On retrouve les exemples les plus typiques au moment des sécheresses en effet le niveau d'eau diminue puisque la production dépend de la force motrice de l'eau, et au niveau des centrales éoliennes puisque la production dépend de la vitesse du vent. Ces phénomènes climatiques difficiles à prévoir avec exactitude empêchent d'atteindre le niveau de production souhaitée. D'autres facteurs également comme les défaillances techniques peuvent aussi empêcher d'atteindre le niveau de production normal. Les cas les plus extrêmes est quand l'alternateur n'arrive pas à démarrer au moment voulu ou un arrêt total [1, 2,3].

I.6 -Les sous-systèmes de transformation

Ces sous-systèmes sont constitués d'un ensemble de transformateurs mis en parallèle dont la capacité est la somme de différentes versions et types de transformateurs. Ils sont chargés d'élever la tension au départ pour une solution plus rentable pour ensuite l'abaisser au point d'utilisation.

Les transformateurs élévateurs placés juste après la centrale de production sont conçus pour supporter jusqu'à 140% de leurs capacités réelles. Alimentés sous une tension de 63Kv, la sortie est élevée jusqu'à 420Kv pour le transport.

I.7- Les moyens d'acheminement de l'électricité.

La production de l'électricité doit s'adapter à tout instant à la consommation puisque cette dernière ne peut être stockée en grande quantité. En conséquence, l'énergie doit être transportée en temps réel jusqu'aux consommateurs. Pour assurer cet acheminement, on distingue deux types de réseaux : le réseau de transport et les réseaux de distribution.

I.7.1- Le réseau de transport d'électricité

Situé en amont des réseaux de distribution, il se compose de deux sous-ensembles :

* Le réseau de grand transport et d'interconnexion :

Destiné à transporter des quantités importantes d'énergie sur de longues distances. Il constitue l'armature principale pour l'interconnexion des grands centres de production. Ce réseau peut être assimilé au réseau autoroutier.

* Les réseaux de répartition régionale ou locale :

Sont voués à répartir l'énergie en quantité moindre sur des distances plus courtes. Le transport est assuré en très haute tension (225 Kv) et en haute tension (90 Kv et 63 Kv). Ils sont réalisés sur la base d'une configuration arborescente de même niveau de tension, les lignes sont alors placées en parallèle. Quant à sa structure, elle est généralement du type aérien. Ce type de réseau est l'équivalent des routes nationales dans le réseau routier (avec des flux importants, de nombreux carrefours et croisements...).

I.7.2 -Les réseaux de distribution

Ils sont destinés à acheminer l'électricité à l'échelle locale, c'est-à-dire directement vers les consommateurs de plus faible puissance. La distribution est assurée en moyenne tension (20 Kv) et en basse tension (400 et 230 volts) Fig. (1-4). C'est l'équivalent des routes départementales et des voies communales dans le réseau routier (des flux locaux, la desserte des villages...) [2].

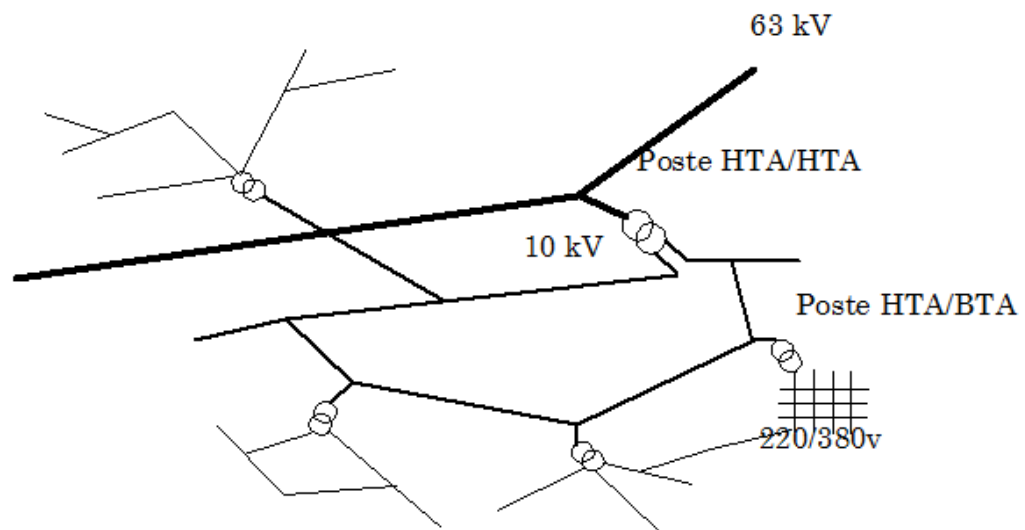


Fig. (1-4). Schéma d'un réseau de distribution

Les éléments d'une conception d'une distribution sont fixés par le choix de la topologie. La topologie est dictée par le niveau de fiabilité recherchée, la flexibilité et la maintenance, ainsi que le coût d'investissement. Les différentes topologies qu'on trouve usuellement sont :

I.8-Réseau radial (simple dérivation)

Ce schéma est aussi appelé en antenne. Son principe de fonctionnement est un chemin d'alimentation unique. Ce schéma est particulièrement adapté à la

distribution HTA dans les zones rurales. En effet, il permet facilement et à un moindre coût d'accéder à des points de consommation de faible densité de charge. Très souvent un schéma radial est lié à une distribution de type aérien; de plus, un incident ou une coupure pour réparation entraîne la mise hors tension d'une partie du réseau sans possibilité de réalimentation de secours fig(1-6).

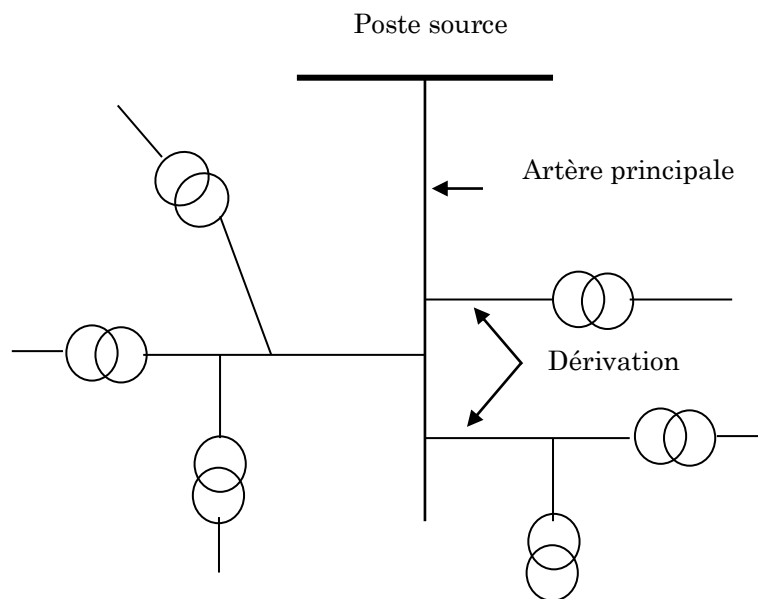


Fig. (1-6). Exemple de réseau simple dérivation.

- Avantage : Coût minimal
- Inconvénient : Disponibilité faible

I.9-Réseau boucle ouverte.

Il est aussi appelé coupure d'artère. Son principe de fonctionnement est d'alimentation bidirectionnelle. En temps normal, les boucles sont ouvertes. Cela facilite la protection et le fonctionnement. Ce réseau est un peu plus compliqué que le précédent, un peu plus coûteux et un peu plus difficile à exploiter, mais il assure

une meilleure construite du service. Ce schéma est généralement lié à la distribution de l'énergie électrique souterraine comme le montre la figure (1-5).

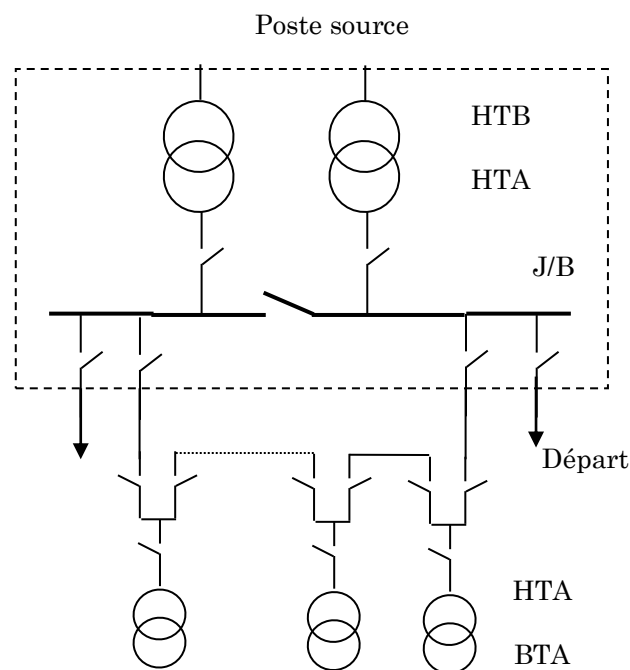


Fig. (1-7) : Représentation d'un réseau HTA en boucle

- **Avantage :**
 - bonne disponibilité, tant que chaque alimentation peut alimenter l'ensemble du réseau.

- possibilité de la maintenance possible du jeu de barres, exploitation partielle de ce dernier.
- Inconvénients :
 - solution plus coûteuse par rapport à l'alimentation simple antenne.
 - ne permet qu'un fonctionnement partiel du jeu de barres en cas de maintenance.

I.10-Schéma double dérivation.

La distribution en double dérivation (fig. 1-6) permet dans les zones de forte densité de maintenir un haut niveau de disponibilité de l'énergie électrique (grandes villes). Tous les postes de distribution sont reliés à deux lignes d'arrivées. Le poste de livraison est desservi par deux câbles posés en parallèle, l'un de fonctionnement normal et l'autre de secours.

S'il se produit un défaut sur une ligne, les postes qui sont en aval sont alimentés rapidement par la deuxième ligne fonctionnant comme une ligne de secours.

La permutation de la ligne normale à la ligne de secours peut s'effectuer par une intervention directe, ou par commande à distance.

- Avantages : bonne disponibilité d'alimentation et une grande flexibilité dans l'utilisation et la maintenance des jeux de barres.
- Inconvénients : solution plus coûteuse (réseau enterré).

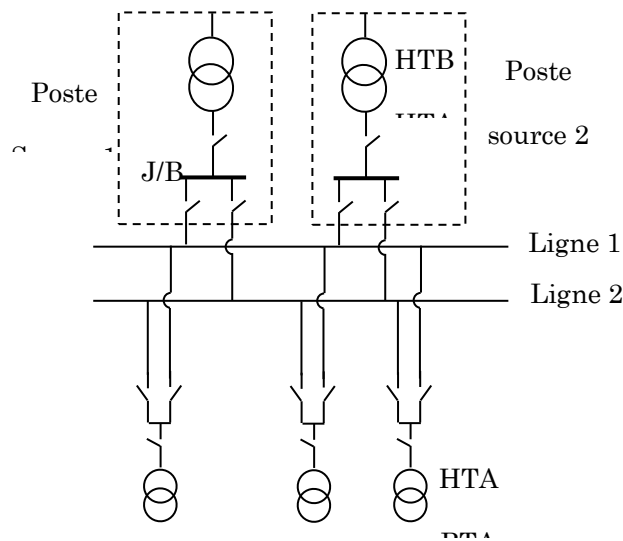


Fig. (1-8) : Réseau HTA en double dérivation.

La répartition géographique des charges est l'une des contraintes qu'il faut prendre en compte lors du choix d'une architecture. En effet, un milieu urbain, est caractérisé par une densité de charge élevée avec des longueurs de conducteurs faibles et des puissances importantes

sans oublier les problèmes qui peuvent intervenir dans les conducteurs et qui sont liés aux courants admissibles. Les architectures rencontrées habituellement en milieu urbain sont bouclées (parfois radiales) avec des dérivations double ou en coupure d'artère.

Par contre, le milieu rural se caractérise par une densité de charge faible répartie sur une grande zone. Les conducteurs sont de grandes longueurs et souvent aériens. Ainsi, les problèmes qui peuvent intervenir dans les réseaux ruraux sont principalement liés aux chutes de tension admissibles en bout de ligne. Les réseaux ruraux ont des architectures arborescentes bouclées mais souvent exploitées en radial.

I.11-Conclusion

Dans ce chapitre on a défini les différents composants et rôle des éléments qui constituent un réseau électrique. On a déterminé aussi les différents moyens d'acheminement de l'énergie électrique pour pouvoir assurer une bonne continuité. En effet, La qualité de service est primordiale à cause des infrastructures sensibles comme les hôpitaux, usines . . . etc.

Une étude rigoureuse et une bonne planification permet non seulement de garantir une fourniture de l'électricité en continu au consommateur à moins pertes mais aussi de définir la topologie adéquate, fiable et à moindre coût.

Bibliographies

- [1] G. Habchi, «Conceptualisation et Modalisation pour les simulations de production», UNIVERSITE DE SAVOIE Document de Synthèse L.F. Escudero, An inexact algorithm for the sequential ordering problem. European Journal of Operational Research 37 (1988), 232–253 2001
- [2] Réseau Electrique, Encyclopédie Encarta, 2006.
- [3] G.J. Anders, Probability concepts in electric power system, Wiley Publication, New York, 1996.
- [4] S. Bouri, “Optimisation de la Production et la Structure d’Energie Electrique par les Colonies de Fourmis“, Thèse de Doctorat en science, Université de Sidi Bel Abbés, Encadreur professeur A.Zablah. 2007

Chapitre 2

Fiabilité

Des

Systemes

II-Introduction

Plus une société se développe, et plus elle dépend de son alimentation en électricité, tant du point de vue de la quantité que de la qualité : [1]

- L'électricité contribue de plus en plus largement à la sécurité publique, à l'activité économique et au confort domestique,
- L'utilisation d'appareils de plus en plus sophistiquée par la clientèle donne une grande importance à la question de la qualité de l'alimentation en électricité. Selon les cas, ces appareils peuvent être soit perturbateurs, soit au contraire très sensibles (ordinateurs, automates) à la qualité de l'alimentation.

Ceci explique l'intérêt croissant porté à la fiabilité du système électrique.

La mise en œuvre de la fiabilité d'un système d'énergie électrique est son indice, il est d'autant plus important lors de la conception, ce qui engendre un coût d'investissement conséquent pour une fiabilité maximale. Le rapport coût fiabilité est souvent une relation complexe ou encore une contrainte qui peut conduire à des décisions de gestion difficiles [2]. Toutes ces questions posent des débats en matière d'appréciation de la fiabilité du système électrique [3,4].

II.1-Les systèmes

Un système est une unité d'éléments indépendants destiné à l'accomplissement d'un objectif. Autrement dit, le système est constitué d'un ensemble d'éléments cohérent formant des structures soit en série, en parallèle ou mixtes pour réaliser un but en commun et où la fonction diffère d'un composant à un autre [5].

II.2- Différentes structures du système

II.2.1-Système série

Le système est constitué de n éléments Figure. (2.1). Il est dit en série si le bon fonctionnement du système nécessite le bon fonctionnement des tous ses composants simultanément. Autrement dit si un seul des composants est en panne, le système est en panne.

La fiabilité du système est égale au produit des fiabilités de chaque composant.

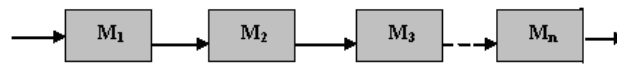


Figure. (2.1) : Système à structure série

II.2.2-Système parallèle

Dans un système parallèle, tous les éléments fonctionnent en permanence (redondance active) Figure. (2.2). Il garde sa bonne fonctionnalité si au moins un de ses composants est non défaillant.

Dans le cas général, on considère que dans un système parallèle la défaillance d'un ou de plusieurs éléments est sans conséquence sur l'ensemble de l'installation. L'installation ne peut tomber en panne que si l'ensemble des éléments tombe en panne.



Figure. (2.2): Système à structure parallèle

II.2.3-Système série- parallèle

La structure série- parallèle est formée de n blocs montés en parallèle, et chaque bloc constitue un système série de i éléments figure (2.3).

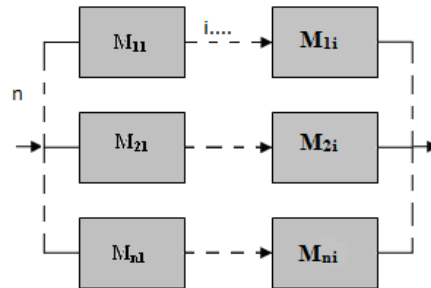


Figure. (2.3) : système à structure série- parallèle

II.2.4-Système parallèle- série

Un système parallèle-série est formé de n blocs montés en série, et chaque bloc constitue un système parallèle de i éléments figure (2.4).

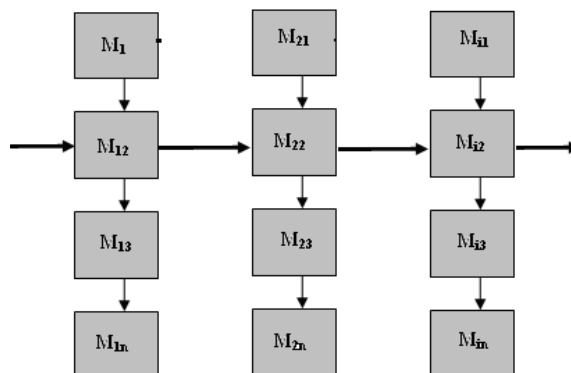


Fig. (2.4) système à structure parallèle- série

II.3- Mesure de l'efficacité des systèmes

Différents outils sont utilisés pour évaluer l'efficacité d'un système [6, 7, 8, 5], autrement dit, la manière dont l'objectif a été réalisé. Le plus usuel est la fiabilité, nous trouvons également d'autres à savoir la disponibilité ou encore la maintenabilité.

II.3.1-La Fiabilité

II.3.1.1-Historique

La fiabilité a sans doute pris son développement depuis la dernière guerre mondiale. Elle est vite devenue une science à part entière dans les applications appartenant à de nombreux

domaines. Elle a pour fondements mathématiques la statistique et le calcul des probabilités qui sont nécessaires à la compréhension et à l'analyse des données de fiabilité.[2]

Les problèmes d'optimisation de la fiabilité sont classés en trois catégories en fonction des types de variables de décision :

1. L'allocation de la fiabilité,
2. l'allocation de la redondance,
3. et l'allocation de la redondance de la fiabilité.

Si la fiabilité des composants est la seule variable, alors le problème est appelé l'allocation de la fiabilité [9, 10,11].

Si le nombre d'éléments redondants sont les seules variables, le problème est appelé problème d'allocation de la redondance (RAP) Kim [12], Coit [13,14], Prasad [15], Liang [16], Ramirez [17] et Nourelfath [18], Aggarwal [19], Coit [20], Ha [21], Tian [22], Liang [23], Nahas [24]. D'autre part, si à la fois la fiabilité et la redondance des composants sont des variables du problème alors, il sera appelé problème d'allocation de la redondance de la fiabilité Federowicz [25], Tillman [26], Chen [27], Kim [28] et d'autres ont résolu le problème d'allocation de la redondance de la fiabilité. Gordon [29], Zhao [30], Yu [31], la fiabilité du système multi-état, Ramirez [32], Meziane [33], Tian [34] et Li [35].

Pour résoudre ces problèmes, différentes méthodes d'optimisation ont été mise au point à savoir : les méthodes exactes, les méthodes approximatives, heuristiques, méta-heuristiques,

heuristiques hybrides, les techniques d'optimisation mono-objective et multi-objective, etc. Une étude détaillée des différentes approches d'optimisation sont présentées chez Tillman [36,37], Sakawa [38, 39], et Kuo [40, 41] pour déterminer la solution optimale.

L'heuristique et la méta- heuristique ont été utilisés pour résoudre l'optimisation de la fiabilité des problèmes complexes. Ils peuvent fournir une solution optimale ou quasi optimale en temps de calcul raisonnable. L'algorithme génétique, recuit simulé, recherche tabou, l'optimisation de colonie de fourmis et l'optimisation par essaim de particules sont des approches utilisées pour résoudre les problèmes d'optimisation. Pour plus de détails, on peut se référer aux travaux de Zhao [42], Liang [43], Coelho [44] et d'autres. Bellman [45, 46] a utilisé la programmation dynamique pour maximiser la fiabilité sous contrainte coût. Dans leurs travaux, le problème était d'identifier les niveaux optimaux de la redondance pour un seul composant dans chaque sous-système. En 1968, Fyffe [47] a résolu le problème d'optimisation de la fiabilité par l'approche de la programmation dynamique, correspondant à un système ayant 14 sous-systèmes avec deux contraintes à la fois coût et poids [48].

II.3.1.2-Définition

Par définition la fiabilité (Reliability en anglais) caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné.. [3]

Pour un système électrique, elle devient son aptitude à satisfaire la demande de l'électricité de tous les clients du système, en quantité et en qualité. C'est-à-dire que la demande doit être satisfaite dans la quantité requise, la fréquence et la tension restant à des valeurs acceptables [3] [4]

Construire plus fiable augmente les coûts de conception et de production, en pratique, le coût total d'un produit prend en compte ces deux tendances.

La fiabilité est exprimée par la probabilité $R(t)$ que le système S réalise une ou plusieurs fonctions pour laquelle il a été conçu dans des conditions données pendant l'intervalle $[0,t]$ sachant que l'entité « S » n'est pas en panne à l'instant 0.

$$R(t) = \text{Probabilité } \{ S \text{ non défaillant pendant l'intervalle } [0,t] \} \quad (2.1)$$

II.3.1.3-La Disponibilité

La disponibilité (Availability en anglais) est une notion opérationnelle par opposition à la fiabilité qui est une notion technique. La disponibilité est l'aptitude d'un dispositif à être en état de fonctionner dans des conditions données. On dit qu'un dispositif est dit disponible s'il peut remplir la mission ou la fonction pour laquelle il a été conçu.

Le concept de disponibilité permet de mettre en évidence l'aptitude à la réparation d'une installation en mesurant l'efficacité de sa maintenance. Elle est caractérisée par la probabilité $A(t)$ S soit en état, à l'instant t , d'accomplir ses fonctions sachant que l'entité était en panne que l'entité à l'instant 0.

$$A(t) = P\{ S \text{ est réparée sur } [0,t] \} \quad (2.2)$$

$A(t)$ est connu comme disponibilité instantanée (« pointwise availability ») : Probabilité pour que le système soit apte à remplir sa mission à un instant donné.

La disponibilité dépend à la fois de la structure du système (redondance, divers modes de fonctionnement) ; de la fiabilité des composants du système (MTBF / nombre de défaillances), de maintenabilité (MTTR / rapidité pour réparer ou remettre en état) et de la logistique de maintenance (procédures d'entretien et de réparation, moyens en personnel, gestion des stocks de rechange ...).

L'équation (2.2) montre que la disponibilité fait intervenir la fiabilité (via les temps moyens de bon fonctionnement – MUT pour *Mean Uptime*) et la maintenabilité (via les durées

moyennes de réparation – *MTTR* pour *Mean Time To Repair*), avec le *MTBF* (*Mean Time Between Failure*). [4]

$$UTR = \frac{MUT}{MUT+MTTR} = \frac{MUT}{MTBF} \quad (2.3)$$

II.3.1.4-La Maintenabilité

La maintenabilité (Maintainability en anglais) $M(t)$ est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est réalisée dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits.

Elle est caractérisée par la probabilité $M(t)$ que l'entité S soit en état, à l'instant t d'accomplir ses fonctions, sachant que le dispositif était en panne à l'instant 0.

$$M(t) = P\{S \text{ est réparé sur } [0, t]\} \quad (2.4)$$

La maintenabilité $M(t)$ est l'inverse de la probabilité pour que le système ne soit pas réparé sur l'intervalle $[0, t]$ sachant qu'il est défaillant à l'instant $t = 0$

$$M(t) = \frac{1}{\text{Probabilité}} \quad (2.5)$$

II.3.1.5-Défaillance

La qualité du service délivré par un système est déterminée par l'efficacité des moyens assurant sa sûreté de fonctionnement. Ainsi, la mise en œuvre de la sûreté de fonctionnement d'un système conduit à lutter contre les phénomènes susceptibles d'entraver son fonctionnement. Les principales entraves de la sûreté de fonctionnement sont la défaillance, la faute et l'erreur.

La défaillance c'est l'impossibilité d'un dispositif à remplir son rôle pour accomplir une tâche qui lui a été attribué, ou l'apparition d'un trou dans un équipement qui le rend inefficace dans les limites spécifiques par ses paramètres de performances à sa conception [27]. Une défaillance survient lorsque, qu'une propagation d'un phénomène influe sur la qualité de service délivré par le

système [51]. La répercussion de cette défaillance sur l'un des composants est un obstacle pour le système cela s'explique par le fait que tous les composants qui interviennent dans la structure du système sont affectées.

La défaillance d'un composant est donc une faiblesse pour le système ou pour les composants qui interviennent dans sa structure. La défaillance peut, par exemple être causée dans des fils de connexion d'un moteur, à l'intérieur du bobinage qui rend le fonctionnement inactif jusqu'à ce que cette dernière soit réparée. Dès que l'activation est établie, cette erreur se transforme en confusion. Si cette confusion affecte le fonctionnement, on parle de défaillance (panne).

La fonction du taux de défaillance, notée $R(t)$, d'un équipement est déterminée par le nombre d'occurrence de défaillances de ces équipements dans un intervalle de temps donné. Le graphe représenté sur la figure 2.5 reflète cette fonction [49].

Comme l'indiquent certaines sources, il est possible de prévoir et de définir pour la plupart des éléments qui constitue un système les indices de contraintes par leurs propres taux de défaillances relatives [27].

L'exemple du graphe de la figure (2.5) montre que le taux de défaillance est trop élevé lors de la mortalité infantile, ceci peut être la cause de défauts de conception, de qualité, de contrôle et au rodage de l'équipement. On remarque que compte tenu de l'usure de l'équipement, le taux de défaillance augmente avec le temps lors de la période de vieillissement [49], par contre entre les deux périodes on constate une stabilité de la courbe ceci représente un état stable et une vie active.

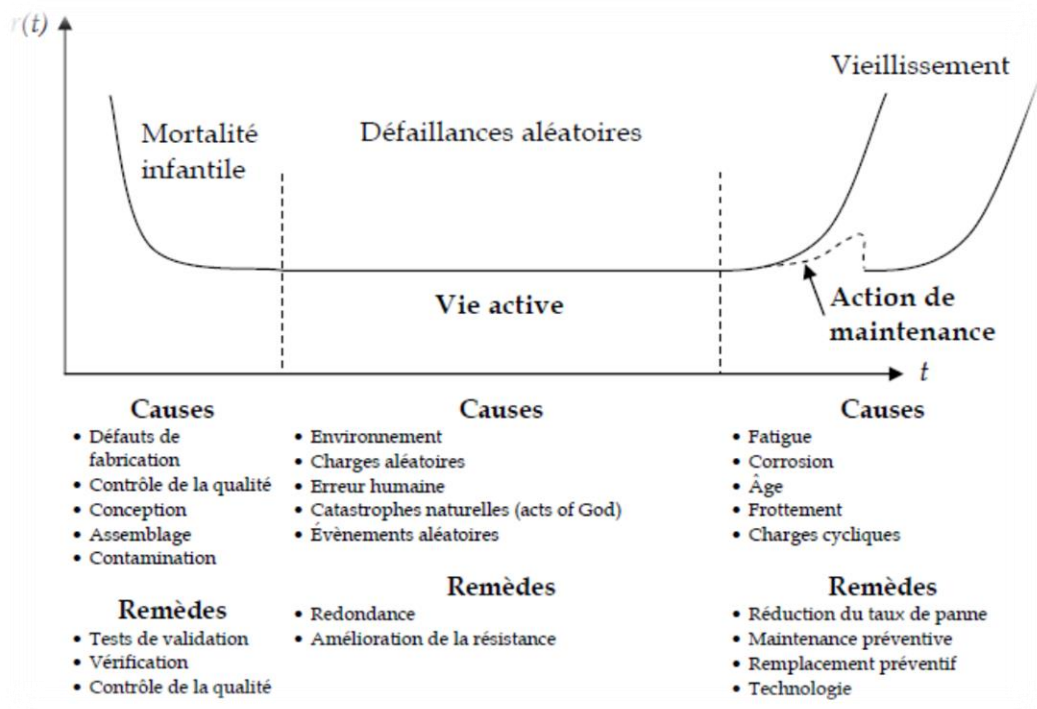


Figure. (2.5) : Allure de la fonction de taux de défaillance $X(t)$

II.4-Estimation des indices de fiabilité

Pour mesurer la fiabilité, il faut disposer d'informations sur les durées de vie. Celles-ci peuvent être issues d'historiques d'exploitation ou d'expériences sur des prototypes. Si on soumet à l'essai N éléments identiques, dans les mêmes conditions, à l'instant t où les essais se terminent, on a $Ns(t)$ éléments qui auront survécus et $Nf(t)$ qui auront échoués

($Ns(t) + Nf(t) = N$) car il n'y a pas de remplacement à la panne). A l'issue de ces essais, on sera en mesure de déterminer le taux de panne et la fonction de densité de probabilité, la fiabilité et la probabilité de défaillance ainsi que les autres caractéristiques de la fiabilité [4].

II.4.1-L'indice de performance

Les caractéristiques physiques de performances d'un système dépendent souvent de sa nature au niveau de la charge. Dans le cas du réseau électrique, l'indice de performance caractérise sa capacité de production (centrale de production de l'énergie électrique) ou bien de transport (réseau électrique).

II.4.2-Analyse de la fiabilité des systèmes

Au cours de ces dernières années, l'analyse de la fiabilité a été largement appliquée dans différents secteurs, tel que : les réseaux informatiques, de communication, et de transport ou encore de transport et de distribution de l'énergie électrique. Elle est devenue le principal sujet durant la conception, la planification et le contrôle des systèmes. L'évaluation de la fiabilité exploite une variété de modèles pour la modélisation et le calcul des indices de fiabilité. Le modèle discret fait partie de ces modèles et il comporte [5]:

- ◆ Modèle binaire simple.
- ◆ Modèle binaire étendu.

II.5-Le Modèle binaire simple (Simple binary model)

Ce modèle est basé sur la logique du système puisqu'il considère que le système et ses composants ne peuvent avoir que deux états possibles soit un fonctionnement parfait ou la panne totale.

II.5.1-Le Modèle Binaire Etendu

Ce modèle a l'avantage de la prise en considération des performances partielles du système et ses composants. La disponibilité du système s'étale sur une gamme bornée par la présence totale (disponibilité de 100%) à l'absence totale (disponibilité de 0%). Deux approches sont utilisées pour ce modèle :

- a. La logique multi valeurs (Multiple Valued Logic **MLV**).
- b. Les systèmes multi états (Multi State System **MSS**).

II.5.2-Les Méthodes d'évaluations

II.5.2.1-La méthode classique

Bien que cette méthode soit simple à réaliser puisqu'elle utilise des modèles binaires

correspondant à deux états logiques 0 et 1 dédiés à deux modes de fonctionnements, elle présente la faiblesse de ne pas s'adapter aux systèmes présentant des performances partielles.

Dans cette méthode, la probabilité de fonctionnement visant la mesure de la fiabilité du système complet est décrite par les états logiques associés aux variables binaires.

La structure des composants dans un système définit sa fiabilité ainsi, les composants sont soit en série, en parallèle ou une combinaison de système série et parallèle [50].

II.5.2.2-Configuration Série

Cette configuration est composée de « n » éléments en série, si l'un des éléments est défaillant alors on aura une défaillance totale de tout le système. Si on note par $P_r(A_i)$ comme probabilité de l'évènement A_i , r_i fiabilité du composant i et R_s fiabilité du système, alors, la fiabilité d'un système série est :

$$R_S = \prod_{i=1}^n P_r(A_i) \quad (2.6)$$

- Pour un système homogène la fiabilité du système série est :

$$R_S = \prod_{i=1}^n r_i \quad (2.7)$$

II.5.2.3-Configuration Parallèle

La somme de « m » éléments en parallèles n'affecte guère sur le fonctionnement d'un système à condition que l'un au moins ne soit pas affecté, donc la défaillance est totale si tous les « m » composants sont affectés. De ce fait, la fiabilité d'un système parallèle est:

$$R_S = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_r(A_j)) \quad (2.8)$$

- Pour un système homogène la fiabilité du système parallèle est:

$$R_S = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - r_j) \quad (2.9)$$

II.5.2.4-Configuration série-Parallèle

Considérons un système qui se compose de k sous-systèmes connectés en parallèle. Chaque sous-système i est constitué de n_i composants en série ($i = 1, \dots, k$). Un tel système est appelé un système série-parallèle [50].

La fiabilité du sous-système i est R_i , et r_{ij} est la fiabilité du composant j du sous-système i. La fiabilité du système est:

$$R_S = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - \prod_{j=1}^{n_j} r_{ij}) \quad (2.10)$$

Lorsque les composants de chaque sous-système sont identiques, la fiabilité du système peut être écrite comme suit:

$$R_S = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - r_i^{n_j}) \quad (2.11)$$

où r_i est la fiabilité de chaque composant dans le sous-système.

II.5.2.5-Configuration Parallèle-série.

Considérons un système composé de k sous-systèmes en série, le sous-système i, $1 < i < k$, à son tour se compose de n_i composants en parallèle. Un tel système est appelé système parallèle-série [47] et sa fiabilité est:

$$R_S = \prod_{i=1}^k \left[1 - \prod_{j=1}^{n_j} (1 - r_{ij}) \right] \quad (2.12)$$

Lorsque les composants de chaque sous-système sont identiques, la fiabilité du système peut être écrite comme suit:

$$R_S = \prod_{i=1}^k (1 - q_i^{n_i}) \quad (2.13)$$

où $q_i = 1 - r_i$ est la probabilité de défaillance d'un composant dans le sous-système i. Lorsque r_{ij} est grande, la fiabilité du système dans l'équation (2.13) est approximée par:

$$R_S = 1 - \sum_{i=1}^k q_i^{n_i} \quad (2.14)$$

II.6-Exemple de la méthode classique

Considérons un système électrique de petite taille constitué de deux sous-systèmes.

- Sous-système 1 : Deux alternateurs connectés en parallèles.
- Sous-système 2 : Un transformateur.

Tableau 2.1 Paramètres du système électrique .

	Sous système 1				Sous système 2	
	Unité 1		Unité 2		Unité 3	
Etat	1	2	1	2	1	2
Capacité G (%)	0	60	0	80	0	150
Probabilité	0.10	0.90	0.05	0.95	0.05	0.95

Pour l'évaluation de la fiabilité d'un système multi état, on utilise l'équation (2.10).

$$R_S = \prod_{i=1}^k \left[1 - \prod_{j=1}^{n_j} (1 - r_{ij}) \right]$$

$$R_S = \prod_{i=1}^2 \left[1 - \prod_{j=1}^2 (1 - r_{ij}) \right]$$

$$R_S = [1 - (1 - r_{11})(1 - r_{12})]. [1 - (1 - r_{21})]$$

$$R_S = [1 - (1 - 0.1)(1 - 0.05)]. [1 - (1 - 0.05)]$$

$$R_S = [1 - 0.9 \cdot 0.95]. [1 - 0.95]$$

Alors : $R_S = 0.00725$.

II.7-Fiabilité du système électrique

La fiabilité du système électrique constitue la préoccupation majeure des régulateurs des marchés électriques après la restructuration et l'ouverture à la concurrence de l'industrie.

Assurer la fiabilité implique une mixité de règles ayant diverses implications économiques et techniques. Le *National Electric Reliability Council* (NERC) définit la fiabilité par la performance du système électrique à satisfaire la demande en consommation électrique et le respect du coût d'investissement. La fiabilité couvre deux attributs : la sécurité et l'adéquation.

La sécurité décrit la capacité du système à faire face aux perturbations. L'adéquation représente la capacité du système à satisfaire la demande d'énergie à chaque instant [51, 52], elle touche plutôt des questions de long terme à savoir les investissements en capacités de production d'électricité, les décisions de retrait ou d'extension des capacités existantes ainsi que les décisions d'exploitation de long terme affectant la disponibilité d'une unité de production pour répondre aux besoins du système à un moment donné.

II.8-La sécurité du système électrique

La sécurité du système électrique est une problématique de court terme. Elle concerne les opérations visant à assurer la stabilité du système. Ces opérations sont appelées les services auxiliaires qui incluent la prise en compte des pertes en ligne, les besoins des réserves tournantes, les réserves non tournantes, etc.

II.9-Structuration du système électrique dans l'évaluation de la fiabilité des systèmes électriques

L'évaluation de la fiabilité du système électrique se décompose en trois niveaux. Le premier niveau (HL-I) correspond à la production, le deuxième (HL-II) le réseau de transport (y compris les interconnexions) et le troisième (HL-III) le système global intégrant le réseau de distribution [52].

Niveau HL-I : l'adéquation de la faculté de production

Dans l'analyse de la fiabilité au niveau HL-I, on vise à déterminer les besoins en capacité installée pour satisfaire la demande future et pour fournir une marge suffisante permettant une maintenance préventive, ainsi que de garantir des situations aléatoires de la production et de la demande. A ce niveau, on ne tient pas compte de la capacité du système pour transporter l'énergie depuis les unités de production jusqu'aux consommateurs finaux. La marge de capacité est déterminée en fonction d'un pourcentage de la demande ou de la production, ou d'une combinaison des deux. Ceux-ci peuvent être remplacés par des critères probabilistes qui sont plus adaptés pour représenter les facteurs stochastiques dans l'analyse de fiabilité.

Niveau HL-II : l'adéquation et la sécurité du système intégré (production et transport)

L'analyse de la fiabilité au niveau HL-II évalue la capacité du système pour transporter l'énergie provenant des unités de production. A la différence de l'évaluation au niveau HL-I, on prend en compte (en plus de déterminer les besoins en capacité installée) le réseau de transport et les interconnexions. L'analyse de la fiabilité du système intégré est plus complexe, car elle doit tenir compte des effets de chaque sous-système (production et transport).

Niveau HL-III : la fiabilité du système global (production, transport et distribution)

A ce niveau, on tient compte de la production, du transport (y compris les interconnexions) et de la distribution pour évaluer le niveau de fiabilité du système. Les méthodes basées sur des analyses par découpage de zones permettant une analyse simplifiée du système global, sont souvent les plus utilisées pour évaluer la fiabilité de fourniture dans ce niveau hiérarchique [51].

Elles permettent une analyse simplifiée du système global,

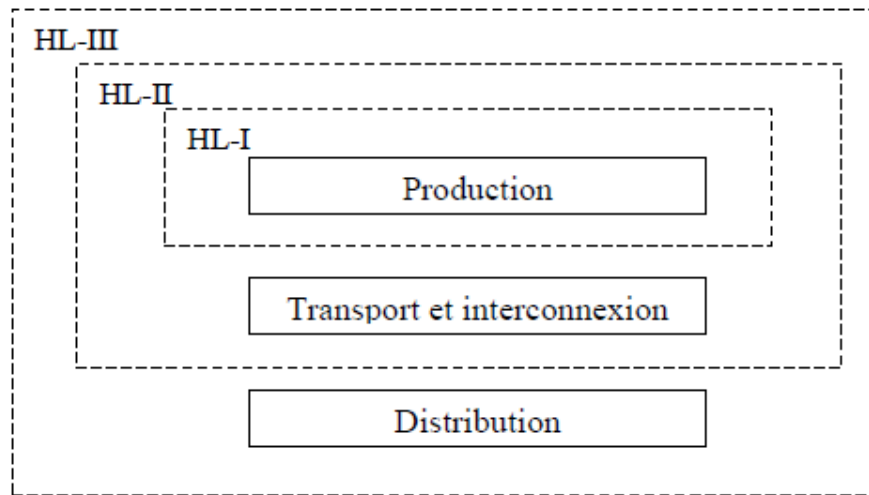


Figure. (2.6) : Hiérarchisation du système électrique [3]

II.10-La Méthode numérique

Elle permet de déterminer la fiabilité des systèmes décrits par le modèle binaire étendu [5, 6, 7], elle prend en charge les performances partielles du système et ses éléments.

II.11-Conclusion

Les méthodes d'analyse de la conception de la fiabilité, disponibilité et la maintenabilité des systèmes dépendent de leurs configurations. En effet, chaque fois un modèle de base du système est introduit. De plus, chaque élément intégré dans la structure du système peut connaître soit un fonctionnement parfait ou une défaillance totale. Ces systèmes sont appelés multi-états. L'évaluation de la fiabilité des composants dans un système est déterminée pour les modèles binaires simples par les méthodes classiques qui donnent une évaluation quantitative, toutefois le comportement des composants peut être en dégradation. Par contre les méthodes d'évaluation numériques déterminent la fiabilité des modèles binaires simples et étendus.

Dans le chapitre qui suit, on présentera les concepts de base des systèmes multi-états et on essaiera d'évaluer l'efficacité de la fiabilité du système par la méthode de la fonction universelle appelée technique d'Ushakov.

Bibliographie

- [1] (Conférence internationale des grands réseaux électriques à haute tension :Fiabilité du système électrique : l'approche du planificateur juin 1987 Jacques BATUT)
- [2] (FIABILITE MAINTENABILITE DISPONIBILITE Pr. Ahmed BELLAOUAR M.A. Salima BELEULMI UNIVERSITE Constantine 1 Année Académique 2013-2014
- [3] [MODELISATION ET EVALUATION DE LA FIABILITE DES SYSTEMES MECATRONIQUES : APPLICATION SUR SYSTEME EMBARQUE THÈSE DE DOCTORAT Spécialité : Sciences de l'ingénieur ÉCOLE DOCTORALE D'ANGERS Présentée et soutenue publiquement Le 17 décembre 2007 À l'Institut des Sciences et Techniques de l'Ingénieur d'Angers Par Alin Gabriel MIHALACHE]
- [4] R. Billinton et R. N. Allan, "Power-System Reliability in Perspective", IEE Journal on Electronics and Power, Vol. 30, No. 3, pp. 231-236, Mars. 1984.
- [5] R. Billinton et R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", second edition, Plenum Press, New York, 1996.
- [6] D. Huang, "Bulk Electric System Reliability Evaluation Incorporating Wind Power and Demand Side Management", Thèse de Doctorat, Université de Saskatchewan, 2010.
- [7] X. Zwingmann, "Modele d'Évaluation de la Fiabilité et de la Maintenabilité au Stade de la Conception", Thèse de Doctorat, Université de Laval Québec, 2005.
- [8] S. Bouri, "Optimisation de la Production et la Structure d'Énergie Electrique par les Colonies de Fourmis", Thèse de Doctorat en science, Université de Sidi Bel Abbés, 2008.
- [9] R. Meziane, "Optimisation de la Structure d'un Réseau de Production d'Énergie Electrique et Amélioration de sa Performance", Thèse de Doctorat, USTO 2007.
- [10] F. Allella, E. Chiodo et D. Lauria, "Optimal Reliability Allocation Under Uncertain Conditions with Application to Hybrid Electric Vehicle Design", International Journal of Quality and Reliability Management, PP. 626-641, 2005.

- [11] A. Yalaoui, E. Chatelet et C. Chu, "A New Dynamic Programming Method for Reliability and Redundancy Allocation in a Parallel-Series System", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 54, pp. 254-261, 2005.
- [12] D. Salazar, C. M. Rocco et B. J. Galvan, "Optimization of Constrained Multiple Objective Reliability Problems Using Evolutionary Algorithms", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, pp. 1057-1070, 2006.
- [13] J. Kim et B. Yum, "A Heuristic Method for Solving Redundancy Optimization Problems in Complex Systems", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 42, pp. 572-578, 1993.
- [14] D. W. Coit et A. E. Smith, "Reliability Optimization of Series-Parallel System Using a Genetic Algorithm", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 52, pp. 254-260, 1996.
- [15] D. W. Coit et A. E. Smith, "Redundancy Allocation to Maximize a Lower Percentile of the System Time to Failure Distribution", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 47, pp. 79-87, 1998.
- [16] V. R. Prasad et W. Kuo, "Reliability optimization of coherent systems", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 49, pp. 323-330, 2000.
- [17] Y. Liang et A. E. Smith, "An Ant Colony Optimization Algorithm for the Redundancy Allocation Problem", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 53, pp. 417-423, 2004.
- [18] J. E. Ramirez-Marquez et D. W. Coit, "A Heuristic for Solving the Redundancy Allocation Problem for Multi-State Series- Parallel Systems", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 83, pp. 341-349, 2004.
- [19] M. Nourelfath et N. Nahas, "Artificial Neural Networks for Reliability Maximization Under Budget and Weight Constraints", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 11, pp. 139-151, 2005.
- [20] M. Aggarwal et R. Gupta, "Genetic Search for Redundancy Optimization in Complex Systems", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 12, pp. 338-353, 2006.

- [21] D. W. Coit et A. Konak, "Multiple Weighted Objectives Heuristic for the Redundancy Allocation Problem", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 55, pp. 551-558, 2006.
- [22] C. Ha et W. Kuo, "Multi-Path Heuristic for Redundancy Allocation the Tree Heuristic", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 55, pp. 37-43, 2006.
- [23] Z. Tian et Zuo M. J, "Redundancy Allocation for Multi-State Systems Using Physical Programming and Genetic Algorithms", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, pp. 1049-1056, 2006.
- [24] Y. Liang et Y. Chen, "Redundancy Allocation of Series-Parallel Systems Using a Variable Neighborhood Search Algorithm", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 92, pp. 323-331, 2007.
- [25] N. Nahas, M. Nourelfath et D. Ait Kadi, "Computing Ant Colony and the Degraded Ceiling Algorithm for the Redundancy Allocation Problem of Series-Parallel System", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 92, pp. 211-222, 2007.
- [26] A. J. Federowicz et M. Mazumder, "Use of Geometric Programming to Maximize Reliability Achieved by Redundancy", Operations Research, Vol. 19, pp. 948-954, 1968.
- [27] F. A. Tillman, C. L. Hwang et W. Kuo, "Determining Component Reliability and Redundancy for Optimum System Reliability", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 26, pp. 162-165, 1977b.
- [28] T. Chen, "IA Based Approach for Reliability Redundancy Allocation Problems", Applied Mathematics and Computation, Vol. 182, pp. 1556-1567, 2006.
- [29] H. Kim, C. Bae et D. Park, "Reliability Redundancy Optimization Using Simulated Annealing Algorithms", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 12, pp. 354-363, 2006.
- [30] K. Gordon, "Optimum Component Redundancy for Maximum System Reliability", Operations Research, Vol. 5, pp. 229-243, 1957.

- [31] R. Zhao et K. Song, "A Hybrid Intelligent Algorithm for Reliability Optimization Problems", IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol. 2, pp. 1476-1481, 2003.
- [32] H. Yu, F. Yalaoui, E. Chatelet et C. Chu, "Optimal design of a Maintainable Cold-Standby System", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 92, pp. 85-91, 2007.
- [33] J. E. Ramirez-Marquez et D. W. Coit, "A Heuristic for Solving the Redundancy Allocation Problem for Multi-State Series- Parallel Systems", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 83, pp. 341-349, 2004.
- [34] R. Meziane, Y. Massim, A. Zeblah, A. Ghoraf et M. Rahil, "Reliability Optimization Using Ant Colony Algorithm under performance and cost constraints", Electric Power System Research, Vol. 76, pp. 1-8, 2005.
- [35] Z. Tian, G. Levitin et M. J. Zuo, "A Joint Reliability Redundancy Optimization Approach for Multi-State Series-Parallel Systems", Vol. 94, pp. 1568-1576, 2009.
- [36] C. Y. Li, X. Chen, X. Yi et J. Tao, "Heterogeneous Redundancy Optimization for Multi-State Series-Parallel Systems Subject to Common Cause Failures", Vol. 95, pp. 202-207, 2010.
- [37] F. A. Tillman, C. L. Hwang et W. Kuo, "Optimization Technique for System Reliability with Redundancy", A Review, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 26, pp. 148-155, 1977a.
- [38] F. A. Tillman, C. L. Hwang et W. Kuo, "System Effectiveness Models", An Annotated Bibliography, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 29, pp. 295-304, 1980.
- [39] M. Sakawa, "Multiobjective Optimization by the Surrogate Worth Trade-Off Method", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 27, pp. 311-314, 1978b.
- [40] M. Sakawa, "An Interactive Computer Program for Multi-Objective Decision Making by the Sequential Proxy Optimization Technique", International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 14, pp. 193-213, 1981b.
- [41] W. Kuo et R. Wan, "Recent Advances in Optimal Reliability Allocation", Computational Intelligence in Reliability Engineering (SCI), Vol. 39, pp. 1-36, 2007a.

- [42] W. Kuo et R. Wan, "Recent advances in optimal reliability allocation", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Systems and Humans, Vol. 37, pp. 143-156, 2007b.
- [43] R. Zhao et K. Song, "A hybrid intelligent algorithm for reliability optimization problems", IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol. 2, pp. 1476-1481, 2003.
- [44] Y. Liang, et A. E. Smith, "An Ant Colony Optimization Algorithm for the Redundancy Allocation Problem", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 53, pp. 417-423, 2004.
- [45] L. S. Coelho, "An Efficient Particle Swarm Approach for Mixed-Integer Programming in Reliability Redundancy Optimization Applications", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 94, pp. 830-837, 2009a.
- [46] R. Bellman et S. Dreyfus, "Dynamic Programming and the Reliability of Multi Component Devices", Operations Research, Vol. 6, pp. 200-206, 1958.
- [47] R. Bellman et S. Dreyfus, "Applied Dynamic Programming", Princeton University Press, 1962.
- [48] D. E. Fyffee, W. W. Hines and N. K. Lee, "System Reliability Allocation and a Computational Algorithm", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 17, pp. 64-69, 1968.
- [49] L. Sahoo, "Studies on Reliability Optimization Problems by Genetic Algorithm", Thèse de Doctorat, Université de Burdwan Bengal India, 2012.
- [50] W. I. Soro, "Modélisation et Optimisation des Performances et de la Maintenance des Systèmes Multi- Etats", Thèse de Doctorat, Université de Laval Québec, 2011.
- [51] S. A. Reza, "Ant Colony for Optimization of Imperfect Preventive Maintenance for Multi-State Systems", Thèse de Doctorat, Université de Laval Québec, 2006.

Chapitre 3

Technique

D'Ushakov

III.1 Introduction

Dans tous les domaines, l'optimisation est devenue une chose courante du fait que tous les produits, installations, etc. ont tendance à être réduits, c'est la raison pour laquelle plusieurs études dans ce sens ont été développées afin de réduire la structure d'un produit, d'une installation, ou autres. Le réseau électrique est une infrastructure vitale qui garantit à chaque instant l'alimentation des activités essentielles d'une nation : santé, économie, transport, etc. Le maintenir en condition opérationnelle en toutes circonstances, c'est la mission du gestionnaire du réseau. Pour faire évoluer un réseau, augmenter sa durée de vie, baisser ses coûts et limiter son impact environnemental, on privilégie l'optimisation des infrastructures existantes pour maximiser sa fiabilité. Or ces systèmes peuvent prendre deux états, « 1 » ou « 0 », fonctionnement ou panne. De ce fait des méthodes d'analyse de la fiabilité ont été développées pour les Systèmes Multi-Etats (SME) afin d'analyser certaines situations complexes. La théorie de la fiabilité multi-états peut être préférable à la théorie de la fiabilité binaire car elle est proche de la réalité [1, 2].

L'évaluation de la fiabilité des systèmes multi-états est basée sur de nouvelles techniques mathématiques, tels que la transformée de Laplace, la Fonction Génératrice Universelle (FGU) qui s'est avérée très efficace pour les problèmes combinatoires de grande dimension [2, 3].

III.2 Estimation des systèmes multi-états

L'évaluation et l'optimisation des performances (fiabilité, disponibilité et productivité) des Systèmes Multi-Etats (SME) sont soumises à des dégradations aléatoires. Ces événements sont souvent dus aux conditions du milieu ou aux apparences physiques (vibrations, usures, fatigue, chocs, etc.,) [4]. Ces détériorations ont plus ou moins un effet sur leurs performances. L'étude de ces systèmes nécessite une prise en

compte des différents stades de détérioration qui peuvent survenir pendant leur cycle de vie. Selon le type de structures, ces stades peuvent être multiples [5]. Pour les systèmes multi-états (SME), l'effet de défaillance est différent selon chaque composant avec des taux de performances différents ainsi, l'analyse de la fiabilité pour un SME devient très compliquée par rapport à un système binaire [6]. Plusieurs méthodes ont été développées pour l'analyse de la fiabilité des SME.

Basées sur la technique d'Ushakov connue sous l'appellation *Universal Moment Generating Function (UMGF)*, elles sont au nombre de quatre approches :

1-L'approche de la fonction de structure,

2-l'approche des processus stochastiques (principalement l'approche de Markov.

3- la simulation Monte-Carlo.

4-la fonction génératrice universelle (*UMGF*) [14].

III.3 Evaluation de la fiabilité par la méthode (UMGF)

III.3-1 Système de production électro-énergétique

Nous tenons dans cette partie à jumeler la fiabilité et la demande des systèmes séries- parallèles multi-états. Nous considérons que la production n'est pas à l'abri de défaillances. Le fonctionnement et l'arrêt sont exprimés par deux états binaires, soit alors un système à deux états : fonctionnement total où défaillance totale.

Cependant pour un système multi- états il existe deux types de pannes :

a) Celles qui conditionne l'arrêt total du système tout ou rien [0,1]

b) Celles qui favorise une dégradation de la performance du système [0....1]

Les systèmes à défaillance relatives sont des systèmes multi-états et ont plusieurs degrés

de performance. Les méthodes classiques sont inadéquates pour l’estimation de la fiabilité de ces derniers [15], et donc, Ushakov a introduit la méthode de la fonction génératrice universelle (UMGF). La formulation des principes de son application ont été décrit dans [16, 17]. Les caractéristiques de formulations de cette méthode sont exposées dans [18] où elles sont présentées comme une approche globale de génération de séquences figure(4.1).

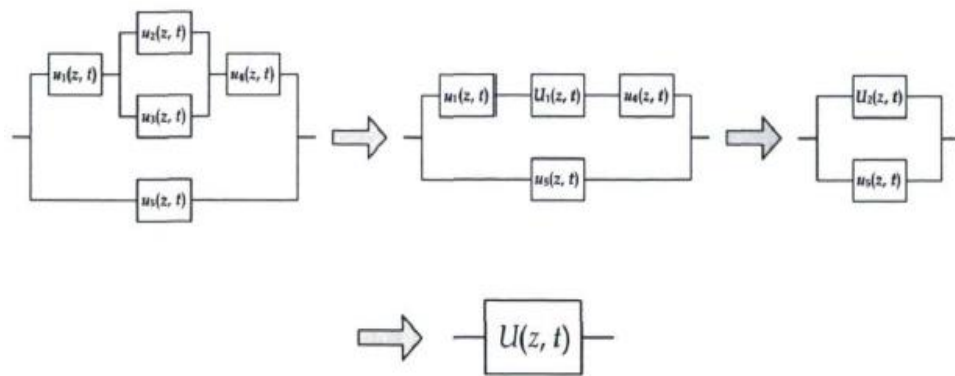


Figure (4.1) : approche de détermination de la fonction génératrice d’un SME [15]

La fonction génératrice universelle (UMGF) est décrite comme une donne des résultats très pratiques dans les cas d'applications numériques [1]. Elle exige proportionnellement des moyens informatisés pour évaluer les indices de la fiabilité des Systèmes Multi-Etats, en conséquence elle peut être utilisé pour résoudre des algorithmes complexes de fiabilité [1]. L’adaptation de l’approche par l’UMGF pour estimer la fiabilité des Systèmes Multi-Etats est très utilisée pour l’optimisation de la fiabilité des systèmes électriques [14, 19].

Figure. (4.1) : Approche de détermination de la fonction génératrice d'un SME [15]

Par définition l’UMGF d’un élément est un polynôme de la forme suivante :

$$u(z) = \sum_{j=1}^J P_j z^{G_j} \tag{3.1}$$

Ou la variable Z peut prendre J états possibles et P_j est la probabilité de l’état G_j .

Exemple : L'UMGF d'un élément i à défaillance totale, de performance nominale G_i , et de fiabilité A_i s'écrit sous la forme suivante [3]

$$u_i(z) = (1 - A_i)z^0 + A_i z^{G_i} = (1 - A_i) + A_i z^{G_i} \tag{3.2}$$

III.3.1-1 Système en parallèle

Le système est représenté par une configuration parallèle comportant j_m éléments en parallèle figure (3.2). La performance du système est la somme de toutes les performances individuelles de chaque composant.

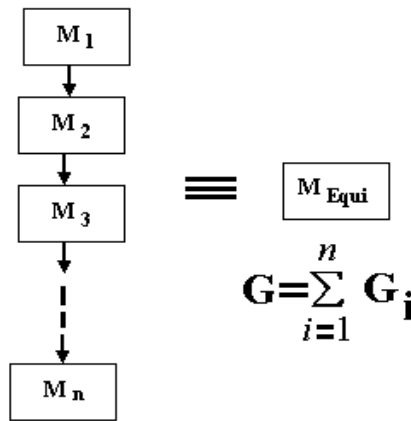


Figure. (3.2) : Système parallèle et son équivalent

L'UMGF d'un tel système peut être calculé en utilisant l'opérateur π

$$u_p(z) = \pi(u_1(z), u_2(z), \dots, u_{j_m}(z)) \tag{3.3}$$

$$\mathfrak{F}(G_1, G_2, \dots, G_n) = \sum_{i=1}^m G_i$$

Pour un système de deux éléments l'UMGF est donnée par :

$$\pi(u_1(z), u_2(z)) = \pi\left(\sum_{i=1}^n P_i z^{a_i}, \sum_{j=1}^m Q_j z^{b_j}\right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_i Q_j z^{a_i+b_j} \tag{3.4}$$

III.3.1-2 Système en série

Les éléments d’un tel système sont disposés en série figure (3.3). G_1, G_2, \dots, G_n représentent les performances des éléments M_1, M_2, \dots, M_n

et où, $(G_1 > G_2 > \dots > G_n) < G_{n-1}$

G_{n-1} étant la performance la plus faible dans le système par conséquent, elle représentera la performance du système équivalent

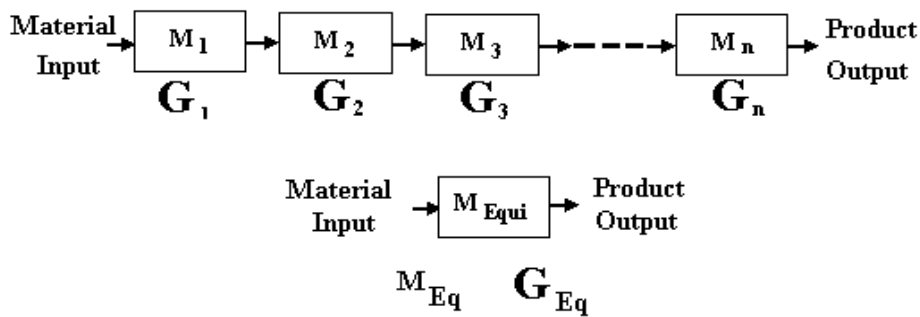


Figure. (3.3) : Système série et son équivalent

$(G_1 > G_2 > \dots > G_{n-2}) > G_{n-1} < G_n$ alors G_{n-1} est la plus faible performance ou G ligne égale à G_{n-1} .

L’UMGF d’un système MSS contenant m éléments en série peut être calculé par l’opérateur σ :

$$u_s(z) = \sigma(u_1(z), u_2(z), \dots, u_m(z)) \tag{3.5}$$

$$\delta(G_1, G_2, \dots, G_n) = \min\{G_1, G_2, \dots, G_n\}$$

Pour un système de deux éléments L’UMGF est donnée par :

$$\sigma(u_1(z), u_2(z)) = \sigma\left(\sum_{i=1}^n P_i z^{a_i}, \sum_{j=1}^m Q_j z^{b_j}\right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_i Q_j z^{\min\{a_i, b_j\}} \tag{3.6}$$

On obtient L'UMGF d'un système parallèle-série en appliquant consécutivement les opérateurs π et σ .

III.3.1.3- Fiabilité du modèle de la demande

Dans un système électro-énergétique notre seul souci que la disponibilité et la fiabilité soient capables de satisfaire la demande en énergie électrique pour une charge donné à notre consommateur, et nous les considérons comme des indices de fourniture de cette énergie électrique sans interruption et qu'elles soient adéquates (G) ou (Ξ).

Cette définition de la fiabilité est largement utilisée dans le système électro-énergétique [20]. L'index (Loss of Load Probability (LOLP)) est souvent utiliser pour estimer la fiabilité [21]. L'indice de fiabilité est la probabilité que la demande à fournir à la charge n »est pas accomplie. On parle alors de ou la demande à fournir n'est pas accomplit alors on parle de

$$R = Probab(\Xi \geq W) \text{ où } R = 1 - LOLP$$

Avec $LOLP = Probab(\Xi < W)$. Cet indice de fiabilité dépend de l'apport en demande W .

Pour les systèmes multi-états SME, l'indice de disponibilité E est utilisé comme :

$$Probab (\Xi \geq W)$$

La disponibilité stationnaire est donnée par:

$$P_j = \lim_{t \rightarrow \infty} [Pr obab(\Xi(t) = \Xi_j)] \tag{3.7}$$

$$E = \sum_{\Xi_j \geq D} P_j \tag{3.8}$$

Si la période T est subdivisée en M intervalles (avec des durées T_1, T_2, \dots, T_M) est pour

chaque intervalle un niveau de demande est respectivement (W_1, W_2, \dots, W_M) , alors la forme générale de note système multi-états et sa disponibilité A ou R s'écrit comme suit:

$$\left\{ \begin{aligned} A &= \frac{1}{\sum_{j=1}^M T_j} \sum_{j=1}^M Probab(\Xi \geq W_j) T_j \\ R &= \frac{1}{\sum_{j=1}^M T_j} \sum_{j=1}^M Probab(\Xi \geq W_j) T_j \end{aligned} \right. \quad (3.11)$$

On note par W et T sont des vecteurs $\{W_j\}$ et $\{T_j\}$ ($1 \leq j \leq M$), respectivement. Comme la disponibilité A est une fonction de k_1, k_2, \dots, k_n, W et T, et elle peut être écrite comme $A(k_1, k_2, \dots, k_n, D, T)$ / ou $R(k_1, k_2, \dots, k_n, W, T)$. Dans ce cas du système électro- énergétique, les vecteurs W et T étant des vecteurs $\{W_j\}$ et $\{T_j\}$ qui définissent la courbe cumulative de la charge. Cette courbe est connue pour chaque système électro- énergétique et la disponibilité A est une fonction de $k_1, k_2, \dots, k_n, W, T$ et peut s'exprimer comme $A(k_1, k_2, \dots, k_n, D, T)$ / ou $R(k_1, k_2, \dots, k_n, W, T)$.

III.3.1.4- Fiabilité jumelée à la charge

Généralement le modèle de charge ou courbe de charge est bien connu pour chaque type de production, ce modèle est de type valeur discrète où chaque valeur a sa propre durée ou probabilité. La disponibilité A d'un système multi-états par rapport à la demande peut être estimé par : $Probab(Production \geq demande)$ pendant différent états du système et pour chaque valeur de demande D.

$$Probab(G \geq D) = \Psi(u(z)z^{-D}) \quad (3.9)$$

Ψ est un opérateur distributif définit par:

$$\Psi(Pz^{\sigma-D}) = \begin{cases} P, & \text{if } \sigma \geq D \\ 0, & \text{if } \sigma < D \end{cases} \tag{3.10}$$

$$\Psi\left(\sum_{j=1}^J P_j z^{G_j-D}\right) = \sum_{j=1}^J \Psi\left(P_j z^{G_j-D}\right) \tag{3.11}$$

III.3.2- Exemple illustratif de la méthode (UMGF)

III.3.2.1-Cas de deux états

La figure (3.4) représente une configuration d'un système série-parallèle industriel à deux états de fonctionnement. Les paramètres sont donnés sur le tableau 3.1 nous montrons sur un tableau (3.1) récapitulatif Les caractéristiques sont :

Tableau 3.1 Paramètres du système électrique [15]

	Sous système 1		Sous système 2
	Unité 1		Unité 1
Etat	1	2	1
Capacité G (%)	100	200	300
Probabilité	0.978	0.983	0.965

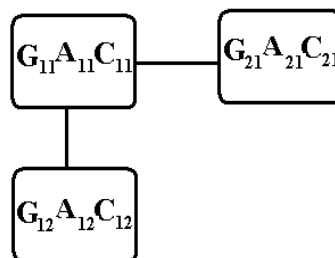


Figure (3.4) : Système Série-Parallèle

Calculons la fonction universelle du système :

$$S(x) = S(x_1, x_2, x_3) = \sigma(x_3, \pi(x_1, x_2)) \Rightarrow$$

$$\varphi^S(z) = U^R \{ \varphi_3, U^R \{ \varphi_1, \varphi_2 \} \}$$

$$\sigma(a_1, a_2, \dots, x_n) = \min_{1 \leq i \leq n} \{ a_i \} \text{ et}$$

$$\text{On sait que : } \pi(a_1, a_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n a_i$$

$$\varphi_1^* = U^0 \{ \varphi_1, \varphi_2 \} = U^0 \{ (p_1 z^{100} + q_1 z^0), (p_2 z^{200} + q_2 z^0) \}$$

$$= p_1 p_2 z^{300} + p_2 q_1 z^{200} + p_1 q_2 z^{100} + q_2 q_1$$

$$\varphi_2^* = U^1 \{ \varphi_1^*, \varphi_2 \} = U^1 \{ (p_3 z^{300} + q_3 z^0), (p_1 p_2 z^{300} + p_2 q_1 z^{200} + p_1 q_2 z^{100} + q_2 q_1) \}$$

$$= p_1 p_2 p_3 z^{300} + p_3 p_2 q_1 z^{200} + p_3 p_1 q_2 z^{100} + p_1 p_2 q_3 + p_2 q_1 q_3 + p_1 q_2 q_3 + q_1 q_2 p_3 + q_1 q_2 q_3$$

$$= 0.92772z^{300} + 0.02086z^{200} + 0.01604z^{100} + 0.03536$$

III.4-Model de charge

Model De Charge, dit « courbe de charge » est construit à partir des appels de puissances quotidiens ou hebdomadaires. Les niveaux discrets de la puissance produite représentent la demande. Ils ont chacun une durée ainsi qu'une probabilité de séjour.

La courbe de charge (CdC) peut être schématiser comme suite ayant chacun une durée ainsi qu'une probabilité d'ouverture, représente la demande .

On peut schématiser la courbe de charge (CdC) comme suit :

Tableau 3.2 Caractéristiques du niveau de la charge avec leurs durées de la demande

<i>Wi (%)</i>	250	100	50	25
<i>Ti (h)</i>	4203	793	1228	2536
<i>Probabilité</i>	0.4797	0.09052	0.14018	0.28949

on applique l'opérateur $\sigma \Rightarrow \sigma(u(z)z^{-W}) = P\{G \geq W\}$

$$\sigma(pz^{G-W}) = \begin{cases} p, & \text{si } G \geq W \\ 0, & \text{si } G < W \end{cases} = \sum_{j=1}^J p_j z^{G_j-W}$$

$$\begin{aligned} &= (0.92772z^{300} + 0.02086z^{200} + 0.01604z^{100} + 0.03536)z^{-W_1} \\ &= 0.9277 * 0.4797 + (0.9277 + 0.0286 + 0.0160) * 0.09052 + \\ &(0.9277 + 0.0286 + 0.0160) * 0.14018 + \\ &(0.9277 + 0.0286 + 0.0160) * 0.28949 \\ &= 0.946928 \end{aligned}$$

On combine la production avec la charge :

$$W_1 = 250 \Rightarrow P_{W_1} = 0.4797$$

$$W_2 = 250 \Rightarrow P_{W_2} = 0.09052$$

$$W_3 = 250 \Rightarrow P_{W_3} = 0.14018$$

$$W_4 = 250 \Rightarrow P_{W_4} = 0.28949 \Rightarrow$$

$$A = 0.9646 * (0.4797 + 0.09052 + 0.14018 + 0.28949) = 0.96463$$

III.5-Cas de systèmes multi-états

Soit un système de production d'énergie composé de deux sous-systèmes reliés en série. Le premier, étant constitué de deux générateurs d'énergie reliés en parallèle et le second d'une unité de transformation.

Les capacités des unités de chaque sous-système ainsi que les probabilités qui leur correspondent sont présentées dans le tableau (3.3).

Les capacités sont données comme pourcentage du niveau maximum de la demande. La demande est caractérisée par deux niveaux :

- un niveau maximum de 100 MW pour 75% du temps.
- un niveau de 70 MW pour 25% du temps.

Tableau (3.3) Paramètres du système électrique

	Sous system 1							Sous system 2		
	Unité 1			Unité 2				Unité 3		
Etat	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3
Probabilité	0.10	0.60	0.30	0.05	0.25	0.30	0.40	0.05	0.30	0.65
Capacités G (%)	0.0	30	60	0.0	30	50	80	0.0	100	150

Les caractéristiques de la demande sont données au tableau 3.4

Tableau (3.4) Caractéristiques de la demande

W_i	100	70
T_i (h)	6570	2190
Probabilité	75	25

a) L'UMGF de chacun des trois unités est donnée par :

$$u(z) = \sum_{j=1}^J P_j z^{G_j},$$

Donc nous aurons:

Pour l'unité 1 du sous-système 1 :

$$U_1^1(z) = p_{11}^1 Z^{G_{11}^1} + p_{12}^1 Z^{G_{12}^1} + p_{13}^1 Z^{G_{13}^1} = 0.1Z^0 + 0.3Z^{30} + 0.6Z^{60}$$

pour l'unité 2 du sous-système 1 :

$$U_2^1(z) = p_{21}^1 Z^{G_{21}^1} + p_{22}^1 Z^{G_{22}^1} + p_{23}^1 Z^{G_{23}^1} + p_{24}^1 Z^{G_{24}^1} = 0.05Z^0 + 0.25Z^{30} + 0.3Z^{50} + 0.4Z^{80}$$

pour l'unité du sous-système 2 :

$$U_1^2(z) = p_{11}^2 Z^{G_{11}^2} + p_{12}^2 Z^{G_{12}^2} + p_{13}^2 Z^{G_{13}^2} = 0.05Z^0 + 0.3Z^{100} + 0.65Z^{150}$$

b) l'UMGF du système est obtenue par l'application des opérateurs π et σ

π : Pour les éléments en parallèles

σ : Pour les éléments en série.

$$U_{sys} = \sigma[\pi(U_1^1(z), U_2^1(z)), U_1^2(z)]$$

$$U_{sys} = \sigma \left[\begin{array}{l} (0.1Z^0 + 0.3Z^{30} + 0.6Z^{60})(0.05Z^0 + 0.25Z^{30} + 0.3Z^{50} + 0.4Z^{80}) \\ (0.05Z^0 + 0.3Z^{100} + 0.65Z^{150}) \end{array} \right]$$

$$U_{sys} = \sigma \left[\begin{array}{l} (0.005Z^0 + 0.04Z^{30} + 0.03Z^{50} + 0.105Z^{60} + 0.13Z^{80} + 0.15Z^{90} + 0.3Z^{110} + 0.24Z^{140}) \\ (0.05Z^0 + 0.3Z^{100} + 0.65Z^{150}) \end{array} \right]$$

$$U_{sys} = 0.0547Z^0 + 0.038Z^{30} + 0.0285Z^{50} + 0.0949Z^{60} + 0.123Z^{80} + 0.1425Z^{90} + 0.162Z^{100} \\ + 0.195Z^{110} + 0.156Z^{140}$$

On applique l'opérateur Ψ défini par les applications (2-8) et (2-9) afin d'évaluer la probabilité $Pr oba(G_m \geq W_s)$ que la capacité totale du système multi-états n'est pas inférieure aux divers niveaux de la demande W_s .

$$Pr oba(G_m \geq W_s) = \Psi(U_{sys}(Z)Z^{-W_s})$$

Ce qui veut dire que la disponibilité pour chaque niveau de demande est calculée par:

$$A(W_1) = Prob(G_m \geq W_1) = \Psi \left(\begin{array}{l} 0.05475Z^{(0-70)} + 0.038Z^{(30-70)} + 0.0285Z^{(50-70)} \\ + 0.0949Z^{(60-70)} + 0.1235Z^{(80-70)} + 0.1425Z^{(90-70)} \\ + 0.162Z^{(100-70)} + 0.195Z^{(110-70)} + 0.156Z^{(140-70)} \end{array} \right)$$

$$A(W_1) = Pr oba(G_m \geq W_1) = Pr oba(G_m \geq 70)$$

$$= \sum_{(G_m - W_1 \geq 0)} prob = 0.1235 + 0.1425 + 0.162 + 0.195 + 0.156 = 0.779$$

$$A(W_2) = Prob(G_m \geq W_2) = \Psi \left(\begin{array}{l} 0.05475Z^{(0-100)} + 0.038Z^{(30-100)} + 0.0285Z^{(50-100)} \\ + 0.0949Z^{(60-100)} + 0.1235Z^{(80-100)} + 0.1425Z^{(90-100)} \\ + 0.162Z^{(100-100)} + 0.1951Z^{(110-100)} + 0.156Z^{(140-100)} \end{array} \right)$$

$$A(W_2) = Pr oba(G_m \geq W_2) = Pr oba(G_m \geq 100) =$$

$$\sum_{(G_m - W_2 \geq 0)} prob = 0.162 + 0.1951 + 0.156 = 0.5131$$

La disponibilité totale du système est calculée par :

$$A = \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M p_m q_s |\{G_m \geq W_s\}| = \sum_{s=1}^S \left(q_s \sum_{m=1}^M p_m |\{G_m \geq W_s\}| \right) = \sum_{s=1}^S q_s A(W_s)$$

Où S : représente les divers niveaux de la demande.

M : représente les divers états du système.

Et p_m : la probabilité que la production du système satisfait chaque niveau de demande W_s

q_s : est la probabilité de cette demande.

La disponibilité totale du système par rapport à la demande est alors :

$$A = 0.25 \cdot (0.779) + 0.75 \cdot (0.5131) = 0.5795$$

Il est à remarquer que le système de l'exemple suscité correspond à une demande de 70 MW avec une estimation de 77.9% et à une demande de 100MW avec une estimation de 51.31%. En définitif, la disponibilité moyenne du système est de 57.97%.

III.6-Algorithmme d'Ushakov

Etape 1. Lecture des données   partir du fichier de données : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Disponibilité } A \\ \text{Coût } C \\ \text{Performance } G \end{array} \right.$

Etape 2. Set i:=0

j :=0

For i :=1 to n /* n : Nombre maximale des systèmes en séries */

For j :=1 to J /* J: Nombre maximale des systèmes en parallèle */

Do Begin

q = 1-A /* q : Indisponibilité d'un système ou composant */

Etape 3. Polynôme d'Ushakov /* Ensemble de système parallèle */

$u(Z) = qZ + AZ^{Gi}$ /* Z : transformé de Laplace*/

$u_i(Z), \dots, u_{i-1}(Z), \dots, u_j(Z)$

$u(Z)$ /* Polynôme d'Ushakov de la colonne */

$$u(Z) = u_i(Z), \dots, u_{i-1}(Z), \dots, u_J(Z) \\ = (q_i Z^0 + A_i Z^{G_i}), \dots, (q_J Z^0 + A_J Z^{G_J})$$

$$u_p(z) = \prod_{j=1}^{J_m} (1 - A_j) Z^0 + A_j Z^{G_j} = u_p(z) = \prod_{j=1}^{J_m} (q_j Z^0 + A_j Z^{G_j})$$

Etape 4- Si /*Les machines sont identiques */

Alors : $u_p(z) = (1 - A_j) Z^0 + A_j Z^{G_j} \text{ }^{KJ}$

$$u_p(z) = (q_j Z^0 + A_j Z^{G_j}) \text{ }^{KJ}$$

Sinon allez à **Etape 3**

Etape 5. Polynôme d'Ushakov /* Ensemble de systèmes Séries */

For i :=1 to n /* n : Nombre maximale des systèmes en séries */

$$u(z) = (q_j Z^0 + A_j Z^{G_j})$$

$$u(Z) = u_i(Z), \dots, u_{i-1}(Z), \dots, u_n(Z)$$

$$u_s(z) = (u_1(z), u_2(z), \dots, u_n(z))$$

$$u_s(z) = \prod_{i=1}^n (q_i Z^0 + A_i Z^{G_i})$$

Avec : $\text{Min}_{i=1}^n \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$

Etape 6- Si /*Les systèmes sont identiques */

$$u_s(z) = (q_i Z^0 + A_i Z^{G_i}) \text{ }^n$$

Sinon allez à **Etape 5**

Etape 7. Polynôme d'Ushakov /* Ensemble de système Séries-Parallèles */

For i:=1 to n /* n : Nombre maximale des systèmes en séries */

For j:=1 to J /* J: Nombre maximale des systèmes en parallèle */

$$u_{S-P}(z) = \prod_{j=1}^{J_m} (q_j Z^0 + A_j Z^{G_j}) * \prod_{i=1}^n (q_i Z^0 + A_i Z^{G_i})$$

$\begin{matrix} J \\ \text{Max} = \sum_{j=1}^J G_j \end{matrix}$
 $\begin{matrix} n \\ \text{Min} = \min(G_i) \end{matrix}$

Stop

Etape 8. Polynôme d'Ushakov /* Ensemble Charge + Production */

◆ **La Charge**

Etape 9. Lecture des données de charge à partir du fichier de donné : $\begin{cases} \text{Niveau en } [\%] \\ \text{Temps de la Charge } [\%] \end{cases}$

For m :=1 to M /* M : Nombre de niveaux de Charges */

For t :=1 to T /* T : Temps correspondant aux niveaux de Charges */

$$u_{ch\ arg}(Z) = \frac{t}{T}$$

$$A = \frac{1}{\sum_{j=1}^M T_j} \sum_{j=1}^M \text{Pr obab}(G_T \geq W_j) T_j$$

/* A : Disponibilité des aux niveaux de Charges */

$$u_{\text{charg}}(Z) = q_D(Z)^{-W} \quad /*W : \text{Niveaux de Charges} */$$

◆ La Production

$$u_{S-/}(Z) = \prod_{j=1}^J \prod_{i=1}^n q_j Z^0 + A_j Z^{G_j}$$

$\underset{\text{Max}}{\overset{J}{j=1}}$ $\underset{\text{Min}(G_{ij})}{\overset{n}{i=1}}$

$$u(Z) = \sum q_m q_{ij} Z^0 + q_m q_{ij} Z^{G_{ij} - W_m}$$

STOP

III.7-Conclusion

Les systèmes industriels étant des systèmes multi-états. pour faire face à certaines situations complexes qui peuvent intervenir dans ses systèmes, et donc pour procéder à l'évaluation de la fiabilité, la théorie de la fiabilité binaire n'est plus efficace. De ce fait, nous avons appliqué pour ce genre de situation, la méthode d'Ushakov, où l'on a d'abord présenté les différentes relations qui définissent la fiabilité des SME, ainsi que certaines configurations.

La méthode UMGF nous a permis de calculer la disponibilité d'un système parallèle-série par rapport à n'importe quelle courbe de charge. Donc cette partie, les éléments avaient une gamme diversifiée de caractéristiques pour la fiabilité, la performance et finalement le coût.

Bibliographie

- [1] A. Lisnianski and G. Levitin, "Multi-State System Reliability ", World Scientific Publishing Co, 2003.
- [2] S. A. Reza, "Ant Colony for Optimization of Imperfect Preventive Maintenance for Multi-State Systems", Thèse de Doctorat, Université de Laval Québec, 2006.
- [3] I. Ushakov, " Universal Generating Function", Soviet Journal of Computing System Science, Vol. 24, N°. 5, pp. 118-29, 1986.
- [4] C. T. Lam et R. H. Yeh, "Optimal Maintenance Policies for Deteriorating Systems Under Various Maintenance Strategies", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 43, N°. 3, pp. 423-430, 1994.
- [5] H. Pham, A. Suprasad et R.B. Misra, "Availability and Mean Life Time Prediction of Multistage Degraded System with Partial Repairs", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 56, N°. 2, pp. 169-173, 1997.
- [6] M. Ouzineb, "Heuristiques Efficaces pour l'Optimisation de la Performance des Systems Séries-Parallèles", Thèse de Doctorat, Université de Montréal, 2009.
- [7] S. E. Barlow, et A. S. Wu, "Coherent Systems with Multi-State Components", Mathematics of Operations Research, Vol. 3, N°.11, pp. 275-281, 1978.
- [8] E. El-Newehi, F. Proschan et J. Sethuraman, "Multistate Coherent Systems", Journal of Applied Probability, Vol. 15, N°.12, pp. 675-688, 1978.
- [9] J. Murchland, "Fundamental Concepts and Relations for Reliability Analysis of Multistate Systems Reliability and Fault Tree Analysis", Theoretical and Applied Aspects of System Reliability, SI AM, pp. 581-618, 1975.
- [10] S. Ross, "Multivalued State Component Systems", Annals of Probability, Vol. 7, pp. 379-383, 1979.

- [11] S. Wu et L. Y. Chan, "Performance Utility-Analysis of Multi-Sate Systems", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 52, N°. 1, pp. 14-19, 2003.
- [12] H. Pham, A. Suprasad et R. B. Misra, "Availability and Mean Life Time Prediction of Multistage Degraded System with Partial Repairs", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 56, N°. pp. 169-173, 1997.
- [13] G. Levitin et A. Lisnianski, "Joint Redundancy and Maintenance Optimization for Multistate Series-Parallel Systems", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 64, pp. 33-42, 1999.
- [14] I. S. WASSY, "Modélisation et Optimisation des Performances et de la Maintenance des Systèmes Multi-Etats", Thèse de Doctorat, Université de Laval Québec, 2006.
- [15] R. Meziane, "Optimisation de la Structure d'un Réseau de Production d'Energie Electrique et Amélioration de sa Performance", Thèse de Doctorat, USTO, 2007.
- [16] I. Ushakov, "Optimal Standby Problem and a Universal Generating Function", Soviet Journal Computer Systems Science, Vol. 25, N°. 4, pp. 61-73, 1987.
- [17] I. Ushakov, "Reliability Analysis of Multi-State Systems by Means of a Modified Generating Function", Journal Information Process, Cybernet, Vol. 34, pp. 24-29, 1988.
- [18] B. Gnedenko, et I. Ushakov, "Probabilistic Reliability Engineering", Wiley, New York, 1995.
- [19] G. Levitin, A. Lisnianski, H. Ben-Haim et D. Elmakis, "Redundancy Optimization for Series-Parallel Multi-State Systems, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 47, N°. 2, pp. 165-172, 1998.
- [20] S. M. Ross, "Introduction to probability model", Academic Press, 1993.
- [21] R. Billinton et R. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum, New-York, 1996.

Chapitre 4

Algorithme

Des

Chauves-souris

IV.1-Introduction

Au vu des nombreux problèmes techniques et économiques qu'un réseau peut être confronté aussi bien sur la régulation de l'énergie électrique que sur la concurrence intense que connaît la libéralisation du secteur par les nouvelles restrictions environnementales, l'opérateur est de son de devoir de couvrir la puissance requise à tout moment et en tout lieu, garantir une qualité acceptable à la mesure de l'énergie fournie et assurer une protection élevée de la source d'alimentation au moindre coût possible. Actuellement, de nouvelles approches sont apparues pour résoudre de tels problèmes, ce sont les méthodes méta-heuristiques dont l'algorithme des chauves-souris (Bat Algorithm) en fait partie.

Les méta- heuristiques sont apparues dans les années 1980 et forment une famille d'algorithmes d'optimisation visant à résoudre des problèmes difficiles, pour lesquels on ne connaît pas de méthode classique plus efficace.

Les méta- heuristiques sont un ensemble d'algorithmes d'optimisation visant à obtenir une solution robuste pour des problèmes complexes. Elles utilisent des processus aléatoires comme moyens de récolter de l'information. Elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels, , en biologie de l'évolution ou encore en éthologie tels les algorithmes de colonies de fourmis, ou de l'optimisation par essais particulières.

Dans ce chapitre, nous avons retenu l'algorithme des chauves-souris « bat algorithme »

Cette méta- heuristique s'inspire des comportements des chauves-souris

IV.2-Technique d'optimisation en utilisant l'algorithme des chauves-souris**Historique**

L'algorithme des chauves-souris ou Bat Algorithm (BA) proposé en 2010 par XinShe[1] a attiré l'attention de beaucoup de chercheurs qui travaillaient dans le domaine des algorithmes

d'optimisation à inspiration biologique. Cet algorithme est basé sur le comportement de l'écholocation de microchiroptères. L'écholocation est un sonar biologique (à cause de manque de vision) qui permet de détecter la distance. Il est défini comme étant le processus de détection de la position à travers les impulsions et s'appuie sur une technique de régulation de fréquence pour augmenter la diversité des solutions dans la population, et par là même, il tente d'équilibrer l'exploration et l'exploitation pendant le processus de recherche, en imitant les variations des taux d'émission d'impulsions et la vitesse des chauves-souris lors de la recherche de proies [2].

IV.3-Processus de l'écholocation des chauves-souris

L'écholocalisation est le sonar de la nature, il vient du mot «Sound Navigation and Ranging». Ce phénomène se produit lorsqu'un animal émet une onde sonore qui rebondit contre un objet et renvoie un écho donnant des informations sur la taille de cet objet, la distance à laquelle il se trouve et la différence entre la proie et les obstacles Figure (5.1).

Beaucoup d'espèces ont recours à l'écholocalisation, notamment les petits mammifères, tous les cétacés à dents et la plupart des chauves-souris. Ce sont majoritairement des animaux nocturnes, marins ou vivant dans des terriers, qui dépendent de cette technique pour trouver de la nourriture dans un environnement sombre. Les méthodes d'écholocalisation sont multiples ; elles peuvent consister en des vibrations de la gorge ou des battements d'ailes. C'est le cas des chauves-souris qui grâce leur sonar intégré arrivent à pourchasser des proies rapides et volantes de nuit.

Les chauves-souris aussi appelées chiroptères sont des mammifères volants qui agissent par des ailes. Le mot chiroptère provient du grec chiro qui signifie main et pteros aile. Pour se diriger, les chauves-souris émettent des ultrasons par des vibrations du larynx en direction de

la narine, la cavité nasale servant d'amplificateur. Dès que les ultrasons rencontrent un obstacle (proie, végétation...), ils rebondissent vers la chauve-souris. Celle-ci capte l'écho grâce à ses oreilles, son cerveau va alors calculer la distance, la vitesse, la position et la forme de l'objet détecté. C'est ce qu'on appelle écholocalisation. Tout cela a lieu en une fraction de seconde.

Le sonar de la chauve-souris est inaudible par l'homme car ce sont des ultra-sons, soit une fréquence supérieure à 20 000 Hz sachant que l'homme entend à une fréquence de 20 à 20 000 Hz. Les chauves-souris émettent des sons de 20 000 à 120 000 Hz. Ces ultrasons varient en fréquence et en intensité suivant la distance entre la chauve-souris et sa proie. Plus la chauve-souris s'approche de sa proie, plus l'intensité des ultrasons diminue et plus la fréquence augmente.

Des études montrent que les microchiroptères utilisent un temps retard de l'émission à la détection de l'écho. Suivant la différence de temps perçue entre les deux oreilles et les variations d'intensité sonore des échos, les chauves-souris construisent un scénario en trois dimensions de l'environnement où elles se trouvent. Elles peuvent détecter la distance et l'orientation de la cible, le type de proie, et même la vitesse de déplacement de la proie, tels que les petits insectes. En effet, des études suggèrent que les chauves-souris semblent être capables de distinguer les cibles par les variations de l'effet Doppler, effet induit par le taux des insectes.

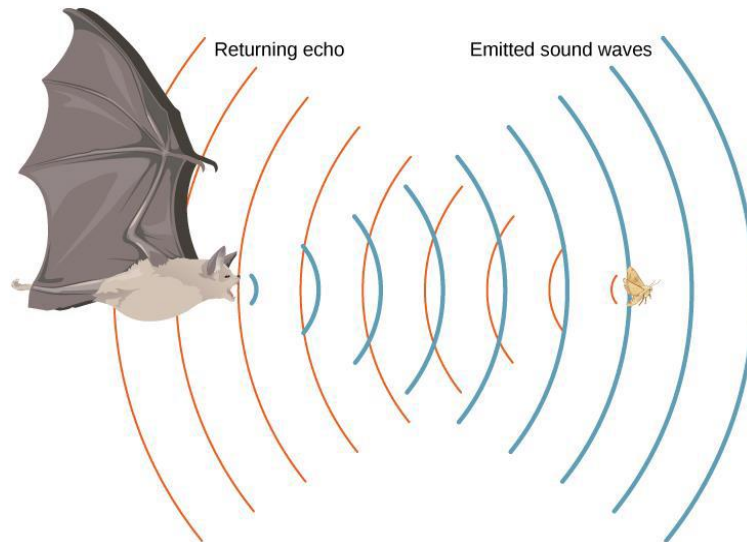


Figure 4.1 Processus d'écholocation des chauves-souris

IV.4-Interprétation mathématiques de l'écholocation

L'algorithme des chauves-souris est une méthode méta-heuristique allouée pour la résolution des problèmes d'optimisation. Elle modélise le comportement d'écholocation des microchiroptères. Elle repose essentiellement sur le principe suivant : pour trouver de la nourriture, les chauves-souris volent aléatoirement sans aucune connaissance sur l'endroit de leur proie, cependant elles utilisent l'écholocation pour calculer la distance qui sépare chacune d'entre elles de la cible. Leur objectif commun est non seulement d'atteindre leur proie mais aussi de trouver la meilleure stratégie de chasse.

Explicitement, chaque chauve-souris possède les propriétés suivantes : une position, une vitesse, une fréquence, une intensité et un taux d'émission [1]

La position de la chauve-souris est considérée comme une solution dans l'espace de recherche. Pour chaque itération, l'algorithme calcule la fitness de chaque chauve-souris jusqu'à atteindre un certain nombre d'itérations. [3]

L'algorithme standard de chauve-souris présente de nombreux avantages ; L'un d'entre eux est qu'il peut obtenir une convergence rapide aux étapes initiales en passant de l'exploration à

l'exploitation. Cela en fait de lui un algorithme efficace lorsqu'une solution rapide est nécessaire.

Pour des raisons d'optimisation, [4] a idéalisé le comportement des chauves-souris selon les quatre règles suivantes :

1. Le mouvement de la chauve-souris dépend uniquement de l'écholocalisation.
2. Les chauves-souris chassent en groupe la position de chaque chauve-souris est déterminée par x_i
3. Chaque chauve-souris se déplace à la vitesse v_i
4. Chaque chauve-souris ajuste sa fréquence f_i , son pouls r_i (pulse rate), et son intensité d'écholocalisation A_i .

La position et la vélocité de la chauve-souris i à l'itération t doivent être mises à jour au fur et à mesure de l'évolution des itérations.

IV.5- Algorithme des chauves-souris

Initialement, toutes les chauves-souris volent au hasard dans l'espace de recherche produisant des impulsions aléatoires. Après chaque volée, la position de chaque chauve-souris est mise à jour de la manière suivante :

$$V_i^{new} = V_i^{old} + f_i(X_G - X_i) \quad ; i = 1, \dots, N_{Bat} \quad (4.1)$$

$$X_i^{new} = X_i^{old} + V_i^{new} \quad ; i = 1, \dots, N_{Bat}$$

$$f_i = f_i^{min} + \varphi_1(f_i^{max} - f_i^{min}); i = 1, \dots, N_{Bat}$$

Où Avec X_G comme meilleure solution globale, f_i^{max} et f_i^{min} représentent respectivement les limites de fréquences de la $i^{\text{ème}}$ chauve-souris , N_{Bat} la taille de la population égal au nombre total des chauves-souris et φ_1 un nombre généré de façon aléatoire entre 0 et 1.

Le deuxième mouvement dans la position de chauve-souris est simulé suit :

$$X_i^{new} = X_i^{old} + \mathcal{E}A_{mean}^{old}; i = 1, \dots, N_{Bat} \quad (4.2)$$

Où \mathcal{E} est un nombre aléatoire dans la plage de $[-1,1]$ et A_{mean}^{old} la valeur moyenne de l'amplitude de toutes les chauves-souris.

Une fois la position des chauves-souris est améliorée par les ajustements ci-dessus une nouvelle aléatoires X_i^{new} individuelle est générée dans le cas où le taux de sa r_i du signal est supérieur à une valeur aléatoire β de. Cette nouvelle solution sera insérée à la population au cas où la contrainte suivante est respectée :

$$[\beta < A_i] \& [f(X_i) < f(G_{best})] \quad (4.3)$$

Comme mentionné précédemment la valeur des amplitudes du signal généré par les chauves-souris a une diminution progressive formulée par :

$$A_i^{new} = \alpha A_i^{old} \quad (4.4)$$

$$r_i^{Iter+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma xt)]$$

où t représente le nombre d'itération. α et γ sont des paramètres constants.

Les principales étapes de BA proposées sont les suivantes :

Etape 1. Initialiser la population des chauves-souris ou de leur position X_i^{old} et leurs vitesses V_i^{old} . Définir fréquence des impulsions f_i aux X_i^{old} . Initialiser les taux d'impulsions r_i et le volume A_i Tant que ($t < \text{nombre maximum d'itérations}$)

Etape 2. Générer de nouvelles solutions en ajustant la fréquence, et mise à jour des vitesses et des localisations / solutions (équation [4.1]).

Etape 3. Si ($\text{rand} > r_i$) Choisissez une solution parmi les meilleures Générer une solution locale autour de la meilleure solution sélectionnée.

Etape 4. Générer une nouvelle solution en volant au hasard.

Étape 5. Si ($[\beta < A_i] \& [f(X_i) < f(G_{best})]$) Accepter les nouvelles solutions, augmente le r_i et réduit A_i .

Fin si

Étape 6. Classifier les chauves-souris et trouver le meilleur X_i^{new} .

Étape 7. tout (itération < Nombre maximum d'itérations >)

Poster Les résultats du processus et de la visualisation

les arrêts de l'algorithme avec le total - meilleure solution.[18]

IV.6-Exemple de conception d'un système de puissance

Afin d'illustrer PSO , HS de la heuristique MRTA et IS proposé de construire la conception du réseaux de puissance comme dans la figure (4.2), un exemple numérique est résolu par l'utilisation des données fournies dans les tableaux 1. Chaque composant électrique du sous-système est considéré comme une unité à des défaillances totales. Le tableau 2 présente les données de la demande de puissance cumulée

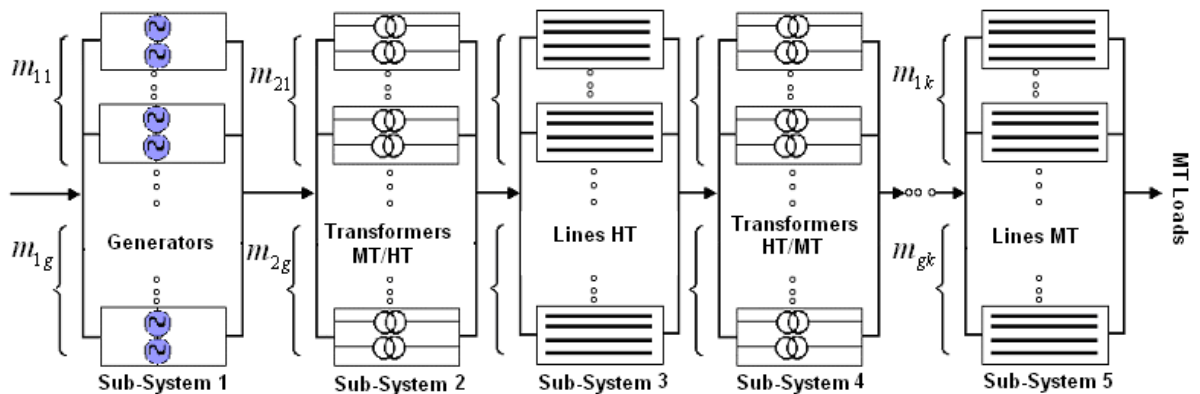


FIGURE 4.2 SERIES- PARALLELE POWER DESIGN

Le nombre maximum de composants électriques g_{max} en parallèle sont réglés sur [7,5,4,9,4] . Les résultats de la simulation dépendent fortement sur les valeurs de chaque algorithme de paramètres. La simulation a été mis en place pour un véritable exemple tiré de (G. Levitin) et les résultats sont comparés entre ces trois méta-heuristiques.

Sachant que les données de la disponibilité des différents composants Technologies sont énumérées dans le tableau 5-1

Dans le tableau 5-2 on définit les paramètres de courbe moyenne et la durée de cette consommation.

TABLE 4-1. Les données de la disponibilité des différents composants Technologies

		Technologies #								
Sub-System #	Components #	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9
Generators 1	Reliability (%)	0.890	0.977	0.982	0.978	0.983	0.920	0.984	/	/
	Cost (%)	0.590	0.535	0.470	0.420	0.400	0.180	0.220	/	/
	Performance (%)	120	100	85	85	48	31	26	/	/
MT/HT Transformers 2	Reliability (%)	0.995	0.996	0.997	0.997	0.998	/	/	/	/
	Cost (%)	0.205	0.189	0.091	0.056	0.042	/	/	/	/
	Performance (%)	100	92	53	28	21	/	/	/	/
Lignes HT 3	Reliability (%)	0.971	0.973	0.971	0.976	/	/	/	/	/
	Cost (%)	7.525	4.720	3.590	2.420	/	/	/	/	/
	Performance (%)	100	60	40	20	/	/	/	/	/
HT/MT Transformers 4	Reliability (%)	0.977	0.978	0.978	0.983	0.981	0.971	0.983	0.982	0.977
	Cost (%)	0.180	0.160	0.150	0.121	0.102	0.096	0.071	0.049	0.044
	Performance (%)	115	100	91	72	72	72	55	25	25
Lignes MT 5	Reliability (%)	0.984	0.983	0.987	0.981	/	/	/	/	/
	Cost (%)	0.986	0.825	0.490	0.475	/	/	/	/	/
	Performance (%)	128	100	60	51	/	/	/	/	/

TABLE 4-2. Paramètres de la courbe puissance moyenne

Power Demand level (%)	100	80	50	20
Duration (h)	4203	788	1228	2536
Probability	0.479	0.089	0.140	0.289

Solution optimale obtenu par les déférentsalgorithmes

TABLEAU (4- 3) solution optimale obtenu par les déférents algorithmes « HS », « colonie de fourmi », « algorithme génétique » et « bat algorithme »[18],[19]

ReliabilityCo nstraint R_0	Sub-System	Optimal Power Design	CorrespondingA vailability R	Corresponding Cost C	OptimizationMet hod
0.97÷0.990	Sub-System: 1	6-6-6-6-6-6-6	0.970	11.828	Bat Algrprithm
	Sub-System: 2	4-3-1-5-4			
	Sub-System: 3	5-5-1-5			
	Sub-System: 4	6-8-9-7-9-8-2-4-9			
	Sub-System: 5	3-4-4-4			
0.97÷0.990	Sub-System: 1	4-4-6-7	0.992	13.175	HarmonySearch
	Sub-System: 2	4-4-4-4-4-4-4			
	Sub-System: 3	1-4			
	Sub-System: 4	7-7-7-9			
	Sub-System: 5	4-4-4			
0.97÷0.990	Sub-System: 1	3-4-4-6-7	0.9906	14.302	AntColony
	Sub-System: 2	5-5-5-5-5-5-4			
	Sub-System: 3	1-4			
	Sub-System: 4	7-7-7-8-8-9			
	Sub-System: 5	3-4-4-4			
0.97÷0.990	Sub-System: 1	4-4-6	0.992	15.870	GeneticAlgorithm
	Sub-System: 2	3-3			
	Sub-System: 3	2-2-3			
	Sub-System: 4	7-7-7			
	Sub-System: 5	4-4-4			

IV.7-Discussions des résultats

Tableau 4-3 montre la meilleure conception optimale de la puissance obtenue par la recherche de l'harmonie suggéré pour un niveau souhaité de fiabilité R_0 (0,990). Ce dernier illustre le coût calculé et l'indice de la disponibilité à la conception de puissance correspondant. Dans l'algorithme de recherche de l'harmonie d'un ensemble de valeurs de paramètres sont testés. Lorsque la demande varie les meilleures valeurs correspondant à la conception de puissance du mérite sont: $HMCR = 0,7$; $PAR = 0,5$; $HMS = 5$; et $NI = 75$. Le choix de ces valeurs influe fortement sur la solution. Pour comparer l'efficacité de la thèse algorithmes entre un coefficient de qualité mesure de solution est proposé, à partir de ce dernier pris méthode NN (Nakagawa et Nakachima) la meilleure solution sont choisis dans le coefficient inférieur NN Les résultats montrent que le coefficient NN de conception optimale donnée par HS () est très faible que PSO et IS. Puis qu'elle est une méthode heuristique méta seulement près solutions optimales peuvent être obtenues. Pour comparer cette méta-heuristique pour une combinatoire, la recherche de l'espace est sur le sous-variables Nombre de naissances et / ou des harmonies ou des antigènes (PSO, HS et IS) * NI, mais dans combinatoire très exhaustive. Le programme a été exécuté sur PC Intel.IV avec 2,4 GHz. Le temps de trouver la meilleure solution est 1'.02 ". Pas réaliste dans la méthode combinatoire. Une différence importante entre ces méta-heuristiques appliquées au même problème. L'avantage de HS entre AC et GA est la qualité de la solution. Les HS donnent à la conception optimale de la puissance parmi les CA et de l'AG.

IV.8-Conclusion

L'optimisation de conception d'un système d'alimentation électrique est un problème très intéressant qu'on rencontre souvent dans la production de l'énergie et sa continuité. Il est formulé comme un problème d'optimisation de la redondance. La résolution de ce problème utilise un algorithme qui soiten harmonie avec son développement.

Cet algorithme n'est entre autre quel'algorithme de chauve-souris « BAT ALGORITHM[17][18]. Il présente de nombreux avantages ; l'un d'entre eux est qu'il peut obtenir une convergence rapide aux étapes initiales en passant de l'exploration à l'exploitation. Cela en fait de lui un algorithme efficace lorsqu'une solution rapide est nécessaire. Dans notre cas, il rechercheet sélectionne les technologies des composants électriques parmi une liste de produits disponibles en fonction de leur disponibilité, de capacité nominale (la performance) et de coût pour une conception optimale. Il définit également le nombre et le type de composants de puissance électrique série- parallèle à mettre dans chaque sous-système dans le casde rénovations.

Bibliographies

[1] [X.-S. Yang and X. He, “Bat algorithm:literaturereview and applications,” *Int. J. Bio-Inspired Comput.*, vol. 5, no. 3,pp. 141–149, 2013.].

[2] Bat Algorithm (BA) proposé en 2010 par parXinShe Yang [X.-S. Yang, “A New Metaheuristic Bat-InspiredAlgorithm,” *Nat. Inspired Coop. Strateg. Optim. (NICSO 2010)*, pp. 65–74, 2010]

[3] [these doctorat en sciences option informatique par Moussa Semchedine thème contribution à la segmentation d’images médicales par les algorithmes bio-inspirés juillet 2018 université Farhet Abbas Sétif]

[4] [X.-S. Yang, “A New Metaheuristic Bat-InspiredAlgorithm,” in *Nature InspiredCooperativeStrategies for Optimization (NICSO 2010)*, 2010th ed., vol. 284, J. R. Gonzalez, D. A. Pelta, C. Cruz, T. German, and N. Krasnogor, Eds. Granada: Springer Springer, 2010, pp. 65–74.]

[5] Y. C. Liang, A. E. Smith, An ant colony approach to redundancy allocation, *IEEE Transaction on reliability* October (2001).

[2] B.H. Chowdhury, S. Rahman, “A review of recent advances in economic dispatch,” *IEEE Trans Power Syst* 1990;5(4):1248–57.

[3] W. David, Coit, A. E. Smith, Optimization approaches to the redundancy allocation problem for series-parallel systems, *Proceeding of the fourth industrial engineering*

researchconference (IERC) May 1995.

[4] I.A. Ushakov, Optimal standby problems and a universal generating function, Sov. J.

Compt. Syst. Sci. 25 (4) 1987 79-82.

[5] R. Billiton, R. Allan, Reliability of power systems, Pitman, London, 1984

[6] I.A. Ushakov, A. Harrison (Eds), Handbook of reliability engineering, Wiley and Sons,

NY/Chichester/Toronto, 1994.

[7] Nourelfath M, Nahas N, Zeblah A. An ant colony approach to redundancy

optimization for multi-state system. In: International Conference on industrial engineering and production management (IEPM'2003), Porto-Portugal, 2003.

[8] Yamani Massim, AbdelkaderZeblah, AbdelkaderGhorafandRachidMeziane.

Reliability Evaluation Of Multi-State Series-Parallel Power System Under Multi-States Constraints, Electrical Engineering Journal, Springer Verlags, Vol N°87, pp-327-336, 2005.

[9] G. Levitin, A. Lisniaski, H. Ben-haim and D. Elmakis, Power system structure

optimization subject to reliability constraints, Electric Power System research 39 1996 145-152.

[10] C.T. Su, C.T. Lin , “New approach with a Hopfield modeling framework

to economic dispatch,” *IEEE Transactions on Power System*, 15(2),541–545, 2000.

[11] T. Niknam, H. DoagouMojarrad, M. Nayeripour, “A new fuzzy adaptive particle

- swarm optimization for non-smooth economic dispatch,” *Energy*. doi:10.1016/j.energy.2009.12.029, 2009.
- [12] D.C. Walters, G.B. Sheble, “Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading,” *IEEE Trans Power Syst* ;8:1325–32, 1993.
- [13] C.L. Chiang, “Improved genetic algorithm for power economic dispatch of units with valve-point effects and multiple fuels,” *IEEE Trans Power Syst* 2005;20(4):1690–9, 2005.
- [14] W. Ongsakul, S. Dechanupaprittha, I. Ngamroo, “ Parallel tabu search algorithm for constrained economic dispatch,” *IEE Proc GenerTransmDistrib*;151(2):157–66, 2004.
- [15] K.P. Wang, C.C. Fung, “Simulate annealing base economic dispatch algorithm,” *IEE Proc C*; 140(6):507–13, 2006.
- [16] J.C. Dodu, P. Martin, A. Merlin, J. Pouget, “An optimal formulation and solution of short-range operating problems for a power system with flow constraints,” *IEEE Proc*; 60(1):54–63, 1972.
- [17] Abdelkrim Chaker, Abdelkader Benaissa, Aabdelkader Zebalah, Aalaedine Belafdhah
Optimal Allocation of the Electrical Structure Design using the Bats Approach R. 96 NR
6/2020
- [18] Benaissa A, Zebalah A, Belafdal A and Chaker, An Efficient Bat Algorithm for Series-parallel Power System Optimization, Benaissa et al., *J Electr Electron Syst* 2016, 5:3

- [19] Chaker A, Benaissa A, Zeblah A, Belafdal A (2018). Bat Algorithm Used for a Network Optimization. Sch J Appl Sci Res. Vol: 1, Issu: 4 (49 - 54).

Chapitre 5

Simulation

V.1-Introduction

La principale contribution dans ce chapitre réside dans l'application de la méta-heuristique proposée à savoir l'algorithme des chauves-souris [1] pour résoudre le problème d'optimisation de la redondance d'un système multi-états parallèle-série hétérogène. Le système étudié est un système parallèle-série composé d'éléments diversifiés non identiques. Ces éléments étant caractérisés par leur coût, leur performance et leur fiabilité, nous essayons à travers cette approche d'évaluer la structure et d'optimiser notre système redondant afin qu'il soit fiable et à moindre coût

V.2-Exemple Illustratif d'un Système

Dans le contexte de l'ingénierie, le choix des composants en fonction de leurs disponibilité, leur coût et leur performance est la variable de décision la plus importante pour optimiser un processus suivant leurs technologies et leurs disponibilité sur le marché. La mise en œuvre d'un algorithme itératif sera nécessaire afin d'adapter à chaque demande une structure optimale.

Un système est un ensemble de processus et d'équipements pour assurer une tâche ou une mission avec une exploitation rationnelle du système dépendant de sa configuration pour éviter des dépenses excessives.

La fonction principale d'un système moderne d'énergie électrique est de fournir à ses clients de l'énergie électrique aussi économiquement que possible avec un degré acceptable de fiabilité, Ce degré d'espérance exige une conception optimale,

V.2.1-Présentation du réseau électrique

Souvent un réseau électrique se compose d'une production, un transport, une répartition et une distribution. Cet agencement se présente comme une configuration constituée d'un

ensemble de colonnes à composants parallèles mis en série (sous-systèmes) couplés à un modèle de charge figure 5.1.

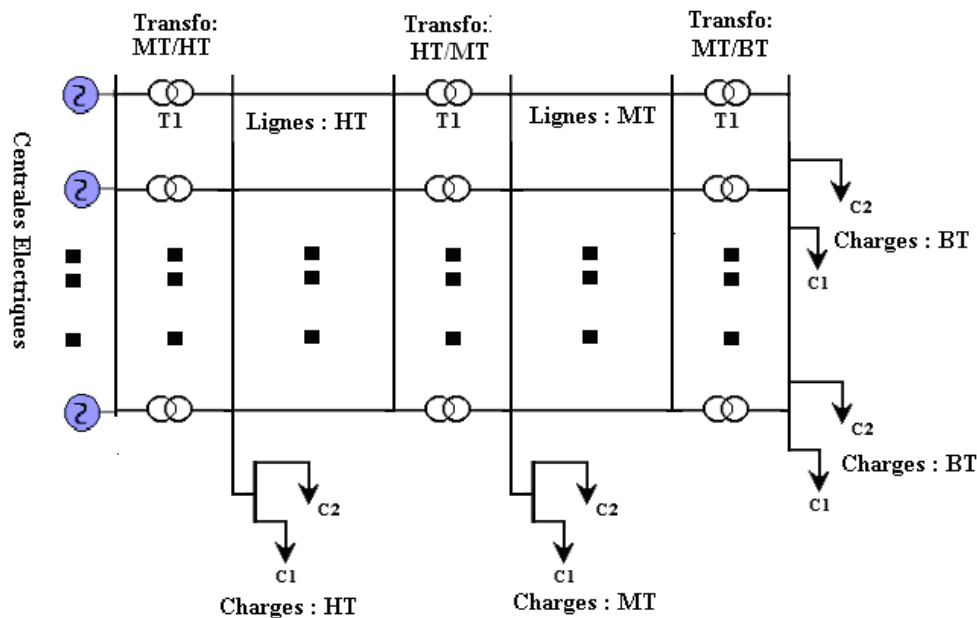


Figure 5.1 : Structure parallèle- série d'un réseau électrique

Notre structure sera composée de cinq sous-systèmes montés en série. Chaque sous-système est composé à son tour d'un ensemble d'éléments monté en parallèle de différentes versions du point de vu disponibilité, coût et fiabilité. Ces derniers peuvent occuper plusieurs états avec différents niveaux de performances, allant du fonctionnement parfait à la défaillance totale .

V.2.2-Description de la demande

Les données de la demande cumulative annuelle sont données par le Tableau 5.1 qui représente la demande de la clientèle *HT* et *MT* qui représentent les **20%** en *HT* et **80%** en *MT* pour l'année en cours est estimée à une puissance de 800 MW sur le réseau électrique. Cette demande est estimée sur la base annuelle de 8760 h. La demande est de 100 % pour un pic

annuel de valeur semestrielle qui se réduit à 80% pendant un trimestre, ainsi la réduction suit de 50 et 25% pendant les deux autres trimestres restants.

Tableau 5.1. Données de la demande cumulative annuelle [2]

W_m (%)	100	80	50	20
T_m (h)	4203	788	1228	2536

V.2.3- Caractéristiques globales du réseau à optimiser

La structure de notre système, fait intervenir les colonnes (sous-systèmes) figure 5.2 pour exécuter un ensemble de phases pour acheminer l'énergie au consommateur à savoir la production, la transformation, la répartition et enfin la distribution. Ces colonnes représentent des générateurs, des transformateurs et des lignes de paramètres G_i , A_i et C_i .

G_i : représente la performance ou la capacité en % de la puissance totale,

A_i : représente la fiabilité de l'élément en %,

C_i : représente le coût de l'investissement sur chaque colonne en %.

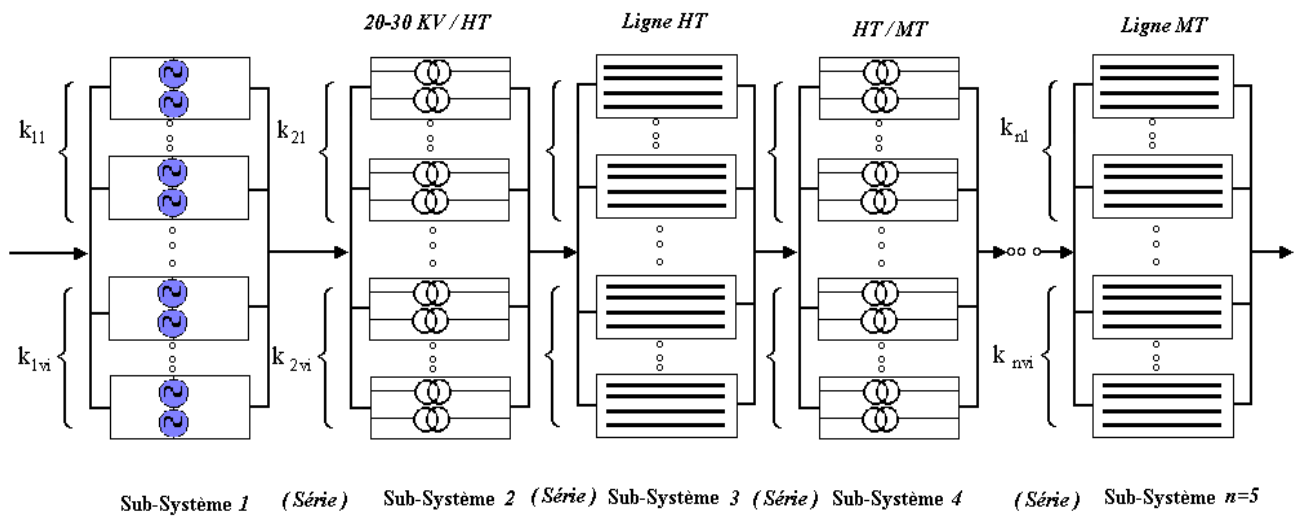


Figure 5.2 : Structure parallèle-série d'un réseau électrique

Les sous-systèmes énuméré dans notre structure est du nombre cinq dont nous allons citer leur fonctions dans la structure :

Sous-système 1 : de la matière brute (fioul, charbon, mazout et eau pour une centrale thermique) à la production de l'énergie électrique. Et se caractérise par les paramètres de mesure capacité ou performance (puissance active P réactive Q apparente S ou bien par intensité de courant (I) sous une tension moyenne (U) aux bornes des composants de cette colonne qui sont les générateurs (alternateurs).

Sous-système 2 : l'énergie électrique transmise à la colonne 2 et cela grâce à des transformateurs éleveurs MT/HT mis en parallèle que cette énergie est acheminé vers la colonne 3.

Sous-Système3 : les lignes de transports montés en parallèle à haute tension chemine cette énergie vers la colonne 4.

Sous-système 4 : l'énergie électrique arrivé vers la colonne 4 qui est composé par des transformateurs abaisseurs HT/MT pour mis en parallèle pour être à son tour transmise à la colonne 5.

Sous-Système 5 : cette colonne est particulière car c'est la fin du cheminement de l'énergie électrique vers les consommateurs industriels et autre.

Les données des composants du système disponibles sur le marché sont données par le [3]

Tableau5.2

Sous-système	Version	Performance G (MW)	Fiabilité A	Coût C (mln \$)
1 Unités de production	1	120	0,980	0,590
	2	100	0,977	0,535
	3	85	0,982	0,470
	4	85	0,978	0,420
	5	48	0,983	0,400
	6	31	0,920	0,180
	7	26	0,984	0,220
2 Transformateurs HT	1	100	0,995	0,205
	2	92	0,996	0,189
	3	53	0,997	0,091
	4	28	0,997	0,056
	5	21	0,998	0,042
3 Lignes HT	1	100	0,971	7,525
	2	60	0,973	4,720
	3	40	0,971	3,590
	4	20	0,976	2,420
4 Transformateurs HT/MT	1	115	0,977	0,180
	2	100	0,978	0,160
	3	91	0,978	0,150
	4	72	0,983	0,121
	5	72	0,981	0,102
	6	72	0,971	0,096
	7	55	0,983	0,071
	8	25	0,982	0,049
	9	25	0,977	0,044
5 Lignes MT	1	128	0,984	0,986
	2	100	0,983	0,825
	3	60	0,987	0,490
	4	51	0,981	0,475

V.3-Simulation pour un système hétérogène

Pour ce système, les données sont ceux du tableau 5.2. Les paramètres à varier lors de la simulation sont l'intensité et la fréquence de l'écholocation des chauves-souris, toutefois, on soumettra le logiciel à une contrainte qui est la fiabilité. On prendra part des résultats avec interprétation à chaque simulation suivant les paramètres choisis et la contrainte imposée au logiciel.

On choisira en premier lieu les variables d'entrée c.à.d. le nombre d'individus qu'en prend égal à 15 et le nombre d'itération 500 qui restera constant durant tout le temps du processus de la simulation même lorsqu'on change les paramètres du logiciel. Pour chaque simulation, les résultats seront collectés dans des tableaux, par la suite une comparaison sera faite avec une conclusion [4].

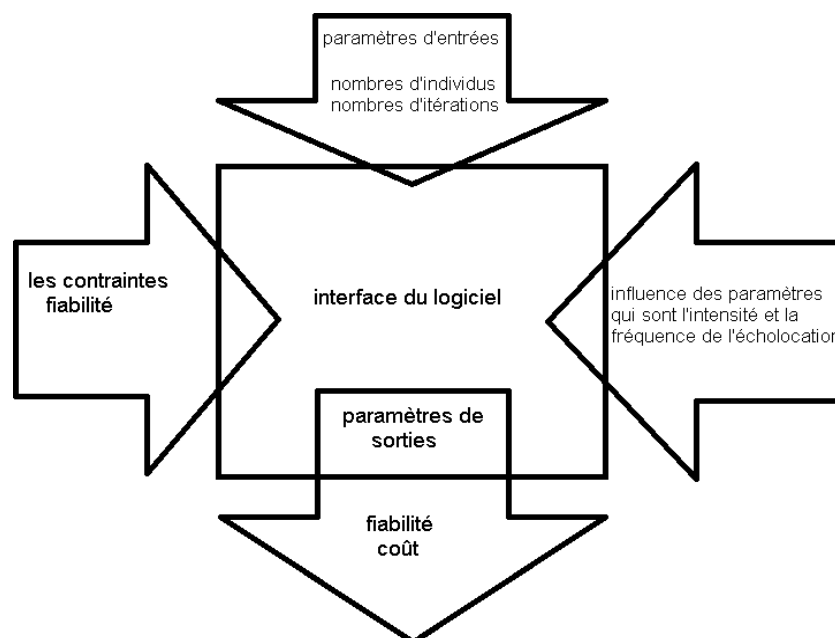


Figure 5.3 : Schéma récapitulatif du déroulement de la simulation

V.3.1-Variations des paramètres du logiciel

Pour cette partie, chaque simulation la variation de la fréquence d'écholocation prend les valeurs [0,10,..., 0,45] et la variation de l'intensité les valeurs [0,10,... ,020]. Par la suite, l'algorithme va chercher la meilleure solution qui permettra de réaliser un système dont la configuration sera optimale dont le coût est minimal et la fiabilité maximale.

Notre travail consiste à étudier deux types de systèmes :

- * un système à caractéristiques hétérogènes

- * un système à caractéristiques homogènes

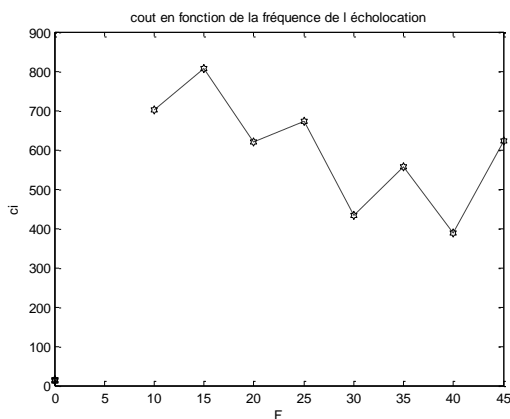
V.3.2-Cas d'un système à caractéristiques hétérogènes**V.3.2.1-Variation de la fréquence à intensité constante**

La simulation prend quelques secondes, l'algorithme prend en compte tous les paramètres d'entrée, même la contrainte imposée et l'interface du logiciel va visualiser la meilleure configuration prise par ce dernier.

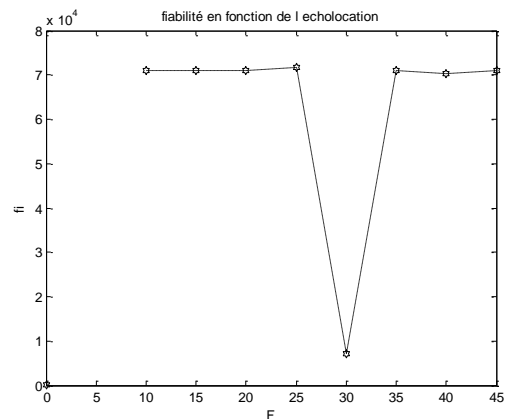
I=0.10

Tableau5. 3.2.1.1

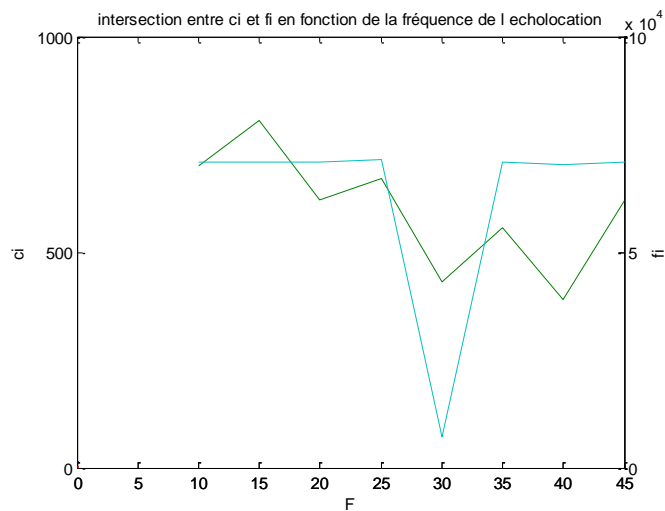
fréquence	coût	fiabilité	sub-système
0,10	12,701	0,970974	1- contient : 7-6-5-2-6-6-7 2- contient : 1-5-3-2 3- contient : 5-1-5-5 4- contient : 7-9-8-3-6-4-5-7-9 5- contient : 4-3-4-3
0,15	13,806	0,970984	1 contient : 6-1-4-7-6-5 2- contient : 2-5-3-4-1 3- contient : 1-5-5-5 4- contient : 4-1-3-8-9-2-7-6-5 5- contient : 4-2-3-4
0,20	14,620	0,970991	1 contient : 5-6-3-1-7-4 2- contient : 3-4-2-1-5 3- contient : 1-5-5-5 4- contient : 9-1-8-5-3-2-7-4-9 5- contient : 1-2-3-4
0,25	14,672	0,971621	1 contient : 1-2-7-4-3-5 2- contient : 3-4-5-1-2 3- contient : 1-5-5-5 4- contient : 8-4-2-6-3-7-5-1-9 5- contient : 2-4-3-1
0,30	14,432	0,970990	1 contient : 2-7-5-3-1-6 2- contient : 1-4-5-2-3 3- contient : 1-5-5-5 4- contient : 8-9-3-1-2-7-4-5-6 5- contient : 1-2-3-4
0,35	14,556	0,970991	1 contient : 7-2-4-5-1-6 2- contient : 1-4-5-3-2 3- contient : 1-5-5-5 4- contient : 9-8-4-3-1-6-7-5-9 5- contient : 3-2-4-1
0,40	12,389	0,970319	1 contient : 6-6-6-6-6-7 2- contient : 5-3-5-4-2 3- contient : 5-5-1-5 4- contient : 7-3-5-4-6-8-2-9-7 5- contient : 3-2-4-3
0,45	14,622	0,970991	1 contient : 5-6-7-1-2-4 2- contient : 2-4-5-1-3 3- contient : 5-5-5-1 4- contient : 2-4-8-6-9-7-5-1-3 5- contient : 4-2-3-1



Coût en fonction de la fréquence de l'écholocation
 $C_i = f(freq)$



Fiabilité en fonction de la fréquence de l'écholocation
 $F_i = f(freq)$



Représentation graphique du Tableau 5. 3.2.1.1

V.3.2.1.a-Interprétation des résultats :

Les points ronds présents sur les graphes $C_i = f(freq)$, et $F_i = f(freq)$, montre bien que le coût et la fiabilité varie avec la fréquence. Notre objectif est de choisir les points qui corresponde à la meilleure solution, ceci nous amène alors à concevoir le (graphe 5.3.2.1.1) qui n'est entre autre que l'intersection des deux graphes précédents : (C_i, F_i) pour en déterminer la solution optimale soit alors un système à fiabilité maximale et coût minimal.

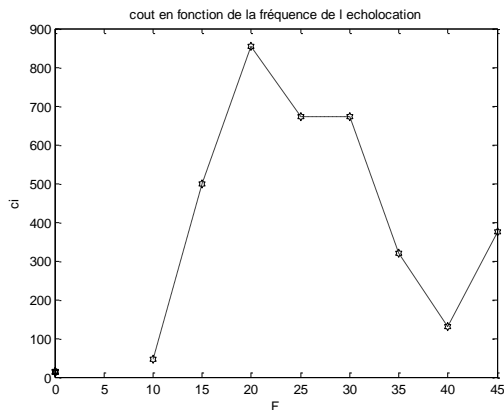
Ce point correspond à (14,672- 0,971621) pour une fréquence égale à 0,40. La configuration est donc optimale pour une structure dont les éléments sont choisis comme suit :

- 1- contient : 1-2-7-4-3-5
- 2- contient : 3-4-5-1-2
- 3- contient : 1-5-5-5
- 4- contient : 8-4-2-6-3-7-5-1-9
- 5- contient : 2-4-3-1

intensité =0,15

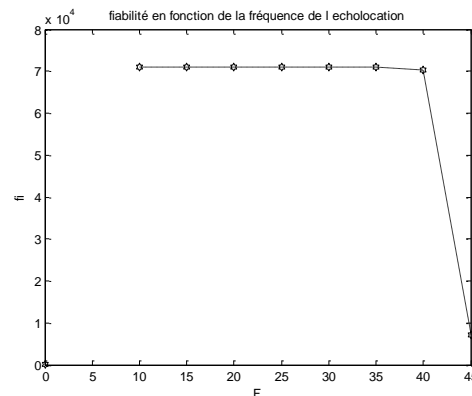
Tableau 5.3.2.1.2

fréquence	Coût	fiabilité	sub-système
0,10	14,047	0,970989	1 - contient : 6-1-7-4-6-5-2 2 - contient : 4-2-1-3-5 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 3-8-2-1-5-7-9-4-6 5 - contient : 3-1-4-3
0,15	13,499	0,970961	1 - contient : 4-7-2-6-5-7-6 2 - contient : 2-5-4-3-5 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 1-4-8-7-3-5-6-9-2 5 - contient : 4-3-4-1
0,20	12,853	0,970957	1 - contient : 5 3 6 7 6 6 2 2 - contient : 4-1-5-4-3 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 7-8-1-4-9-8-5-6-7 5 - contient : 4-3-4-3
0,25	14,672	0,970991	1 - contient : 5-2-6-3-7-1-4 2 - contient : 3-4-5-1-2 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 8-4-2-3-6-7-5-1-9 5 - contient : 2-1-4-3
0,30	14,672	0,970991	1 - contient : 4 5 7 2 3 6 1 2 - contient : 1 3 2 4 5 3 - contient : 5-5-1-5 4 - contient : 4-1-3-9-8-6-5-7-2 5 - contient : 1-4-3-2
0,35	13,319	0,970924	1 - contient : 7-6-6-6-7-4-3 2 - contient : 3-4-1-2-5 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 9-1-2-8-7-9-3-4-6 5 - contient : 4-1-3-4
0,40	12,131	0,970314	1 - contient : 6-6-6-6-6-7-6 2 - contient : 5-4-2-5-1 3 - contient : 5-1-5-5 4 - contient : 6-1-4-9-8-5-3-7-9 5 - contient : 4-4-3-4
0,45	14,375	0,970990	1 - contient : 1-6-7-3-4-2-6 2 - contient : 3-4-2-5-1 3 - contient : 5-5-1-5 4 - contient : 1-8-9-2-7-3-6-5-9 5 - contient : 1-2-3-4



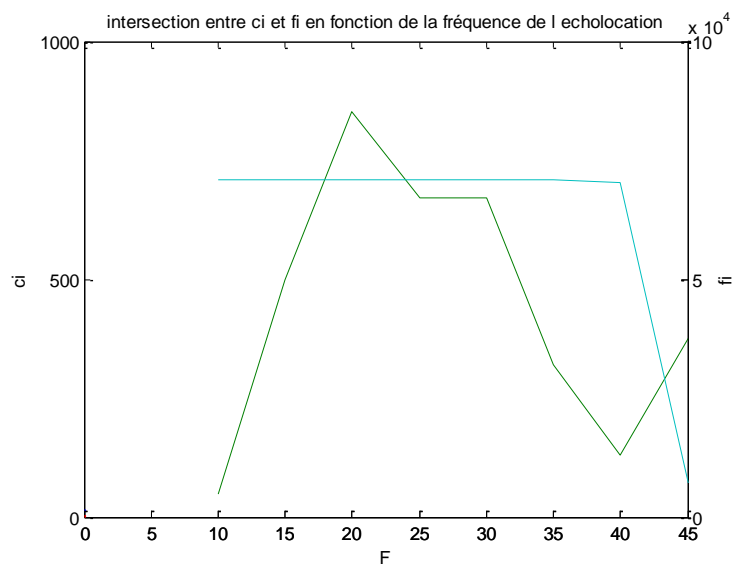
Coût en fonction de la fréquence de l'écholocation

$$C_i = f(freq)$$



Fiabilité en fonction de la fréquence de l'écholocation

$$F_i = f(freq)$$



Représentation graphique du tableau 5.3.2.1.2

V.3.2.1.b-Interprétation des résultats :

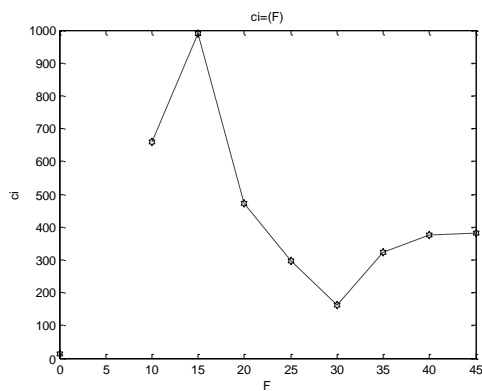
Les interprétations sont similaires à la première simulation sauf que les solutions sont différentes. La solution correspondante à la configuration optimale est le couple (12.131-0.970314) soit alors la structure dont les éléments seront choisis de la sorte.

- 1 - contient : 6-6-6-6-6-7-6
- 2 - contient : 5-4-2-5-1
- 3 - contient : 5-1-5-5
- 4 - contient : 6-1-4-9-8-5-3-7-9
- 5 - contient : 4-4-3-4

intensité =0,20

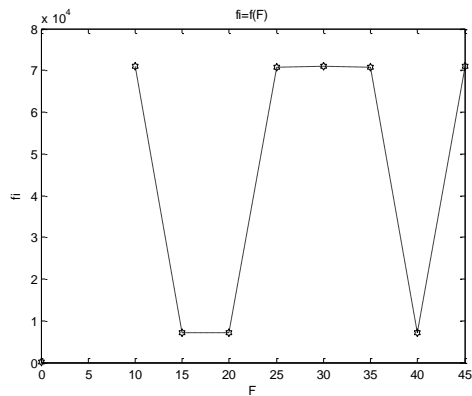
Tableau 5.3.2.1.3

fréquence	Coût	fiabilité	sub-système
0,10	13,658	0,970984	1 - contient : 5-6-3-4-7-2-6 2 - contient : 2-4-3-5-2 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 9-1-3-2-6-8-7-5-9 5 - contient : 2-4-3-4
0,15	13,990	0,970990	1 - contient : 5-7-6-4-6-7-1 2 - contient : 5-4-1-2-3 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 9-2-1-8-3-9-7-6-5 5 - contient : 2-3-4-1
0,20	14,472	0,970990	1 - contient : 7-1-6-5-2-7-3 2 - contient : 1-5-4-2-3 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 7-4-1-3-5-9-2-6-8 5 - contient : 1-4-3-2
0,25	13,296	0,970873	1 - contient : 6-1-7-6-6-3-6 2 - contient : 3-5-4-1-5 3 - contient : 5-1-5-5 4 - contient : 2-7-5-9-4-8-1-6-7 5 - contient : 3-4-1-3
0,30	14,161	0,970986	1 - contient : 4-7-2-6-1-5-3 2 - contient : 4-5-2-1-3 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 1-2-7-6-9-8-5-4-3 5 - contient : 4-3-2-4
0,35	12,324	0,970837	1 - contient : 6-6-2-6-6-7-6 2 - contient : 1-5-4-3-5 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 7-6-9-4-8-7-9-5-1 5 - contient : 3-4-3-4
0,40	13,377	0,970980	1 - contient : 6-2-7-6-3-7-5 2 - contient : 2-3-4-5-1 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 9-8-6-2-7-3-4-9-8 5 - contient : 3-4-2-3
0,45	13,383	0,970981	1 - contient : 1-5-6-7-6-7-6 2 - contient : 2-1-4-5-3 3 - contient : 5-5-1-5 4 - contient : 3-5-7-6-2-4-9-8-7 5 - contient : 1-3-4-3



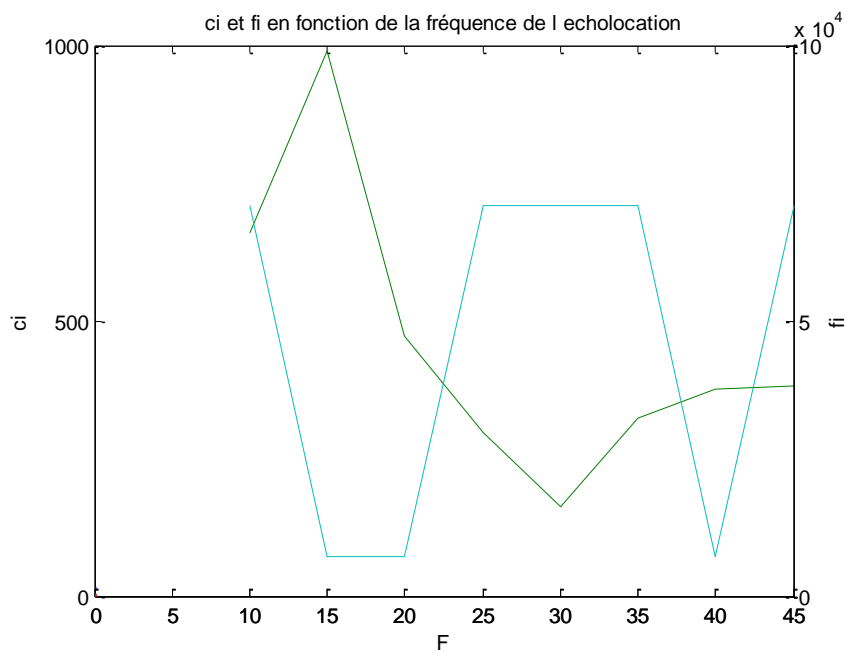
Coût en fonction de la fréquence de l'écholocation

$$C_i = f(freq)$$



Fiabilité en fonction de la fréquence de l'écholocation

$$F_i = f(freq)$$



Représentation graphique du tableau 5.3.2.1.3

V.3.2.1.c-Interprétation des résultats :

Les mêmes constatations avec $(d_i, f_i) = (13,990, 0,970990)$

La bonne configuration est donc :

- 1 - contient : 5-7-6-4-6-7-1
- 2 - contient : 5-4-1-2-3
- 3 - contient : 1-5-5-5
- 4 - contient : 9-2-1-8-3-9-7-6-5
- 5 - contient : 2-3-4-1

V.3.2.1.d-Conclusion :

L'algorithme prend en compte les paramètres imposés, dont les caractéristiques de la charge, les paramètres d'entrée, ainsi la contrainte fiabilité. Pour chaque cas, l'algorithme nous a défini une structure. Parmi ces dernières, nous avons choisi celle qui répond à une fiabilité maximale et à un coût minimal. Cette configuration est déterminée par les coordonnées $(C_i, F_i) = (14,672 - 0,971621)$ et dont le sub-système est :

- 1 - contient : 5-7-6-4-6-7-1
- 2 - contient : 5-4-1-2-3
- 3 - contient : 1-5-5-5
- 4 - contient : 9-2-1-8-3-9-7-6-5
- 5 - contient : 2-3-4-1

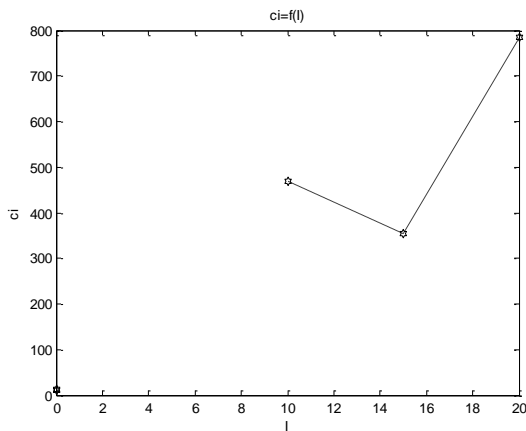
V.3.2.2-Variation de l'intensité à fréquence constante.

Dans cette partie pour chaque valeur de la fréquence prise dans l'intervalle de valeurs $[0,10... ,0,45]$, on fait varier l'intensité de $[0,10,..., 0,20]$. Les résultats seront collectés dans un tableau et interprétés sachant que l'algorithme va chercher à nous donner la meilleure solution avec toujours la même contrainte de la fiabilité imposée de 0.97. Ce qui nous permettra d'en déduire par la suite la configuration optimale. La durée de chaque simulation prend 5 à 15 secondes.

fréquence = 0.10

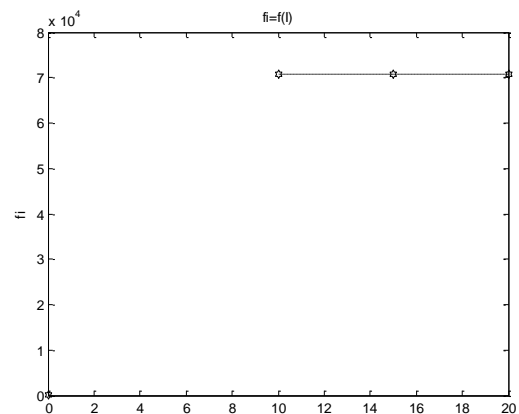
Tableau 5.3.2.2.1

Intensité	Coût	fiabilité	sub-système
0,10	12,468	0,970813	1 contient : 5-6-6-6-6-6-6 2 contient : 4-5-3-1-4 3 contient : 1-5-5-5 4 contient : 7-9-6-8-9-7-3-4-5 5 contient : 2-4-3-4
0,15	12,355	0,970846	1 contient : 2-6-6-7-6-6-6 2 contient : 2-5-4-1-5 3 contient : 5-1-5-5 4 contient : 5-7-2-4-8-9-8-9-7 5 contient : 3-4-4-3
0,20	11,785	0,970807	1 contient : 6-7-6-7-6-7-6 2 contient : 3-5-4-3-5 3 contient : 5-5-5-1 4 contient : 5-9-8-7-6-5-9-8-7 5 contient : 4-3-4-3



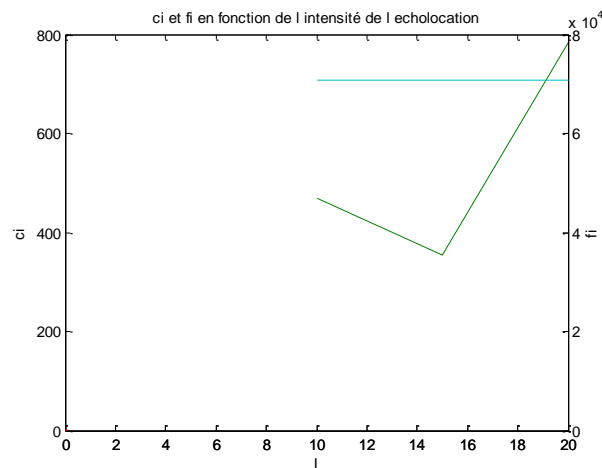
Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$C_i = f(i)$$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$F_i = f(i)$$



Représentation graphique du 5.3.2.2.1

V.3.2.2.a-Interprétation des résultats :

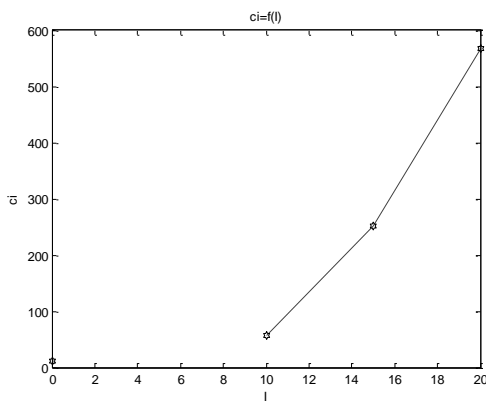
Les graphes de C_i et F_i ont été tracés à partir du tableau 5.3.2.2.1. L'intersection des deux courbes nous a permis de visualiser la meilleure solution (12,355, 0,970846) dont la configuration du système est déterminée par :

- 1 contient : 2-6-6-7-6-6-6
- 2 contient : 2-5-4-1-5
- 3 contient : 5-1-5-5
- 4 contient : 5-7-2-4-8-9-8-9-7
- 5 contient : 3-4-4-3

fréquence ==0.15

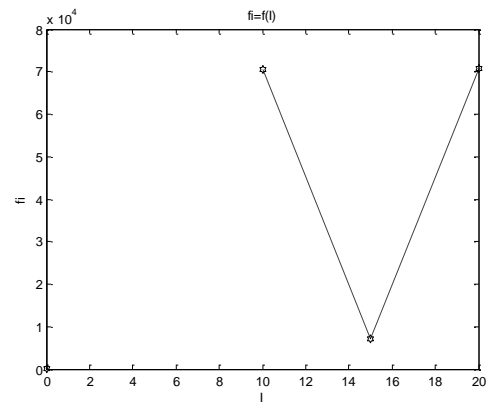
Tableau 5.3.2.2.2

intensité	Coût	fiabilité	sub-système
0,10	12,057	0,970638	1 contient : 7-6-6-6-6-7-6 2 contient : 4-3-5-1-4 3 contient : 5-5-5-1 4 contient : 8-6-7-9-3-8-1-7-5 5 contient : 3-4-3-4
0,15	12,252	0,970910	1 contient : 6-7-6-6-5-6-7 2 contient : 2-5-4-5-3 3 contient : 5-1-5-5 4 contient : 6 8-3-2-7-9-5-8-6 5 contient : 4-3-4-3
0,20	12,567	0,970767	1 contient : 6-2-6-6-6-6-6 2 contient : 1-3-4-5-5 3 contient : 5-1-5-5 4 contient : 8-9-3-5-8-7-6-9-4 5 contient : 4-4-3-2



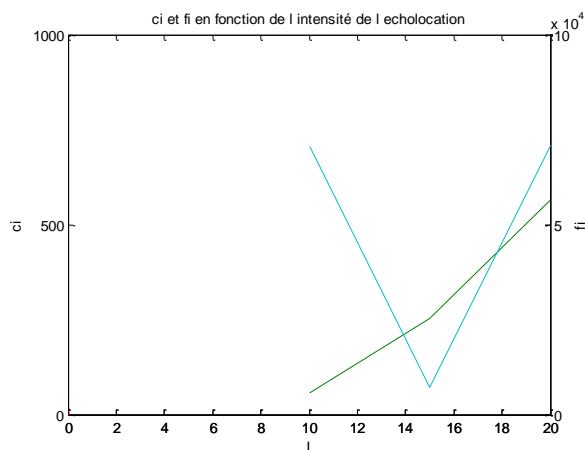
Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$C_i = f(i)$$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$F_i = f(i)$$



Représentation graphique du tableau 5.3.2.2.2

V.3.2.2.b-Interprétation des résultats :

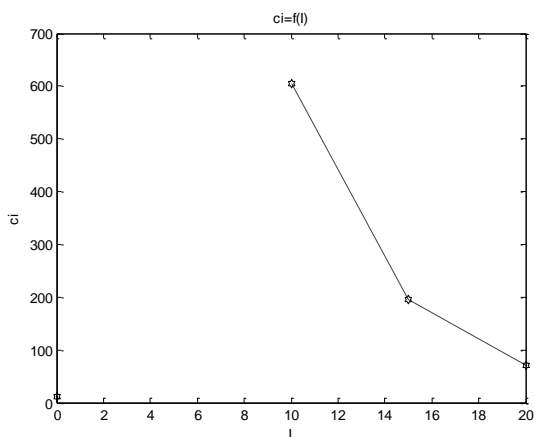
Même interprétation que précédemment. D'après le tracé du graphe $C_i = f(F_i)$, la meilleure solution est le point (12,252 - 0,970910) ce qui correspond à la configuration suivante :

- 1 contient : 6-7-6-6-5-6-7
- 2 contient : 2-5-4-5-3
- 3 contient : 5-1-5-5
- 4 contient : 6 8-3-2-7-9-5-8-6
- 5 contient : 4-3-4-3

fréquence =I=0,20

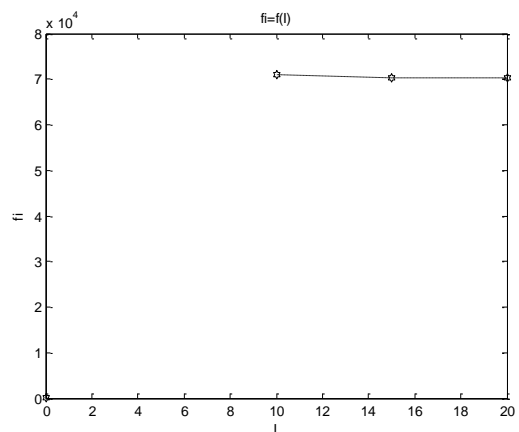
Tableau 5.3.2.2.3

intensité	Coût	fiabilité	sub-système
0,10	12,604	0,970963	1 contient : 6-5-7-4-6-6-7 2 contient : 4-2-3-5-4 3 contient : 5-1-5-5 4 contient : 9-4-3-8-7-9-6-1-2 5 contient : 3 4 3-4
0,15	12,195	0,970338	1 contient : 6-6-6-6-7-6-6 2 contient : 4-3-5-1-2 3 contient : 5-5-5-1 4 contient : 7-9-3-8-6-5-1-4-9 5 contient : 4-3-4-3
0,20	12,071	0,970315	1 contient : 6-6-7-6-6-6-6 2 contient : 2-5-4-5-3 3 contient : 1-5-5-5 4 contient : 2-1-9-3-7-8-6-9-5 5 contient : 3-4-3-4



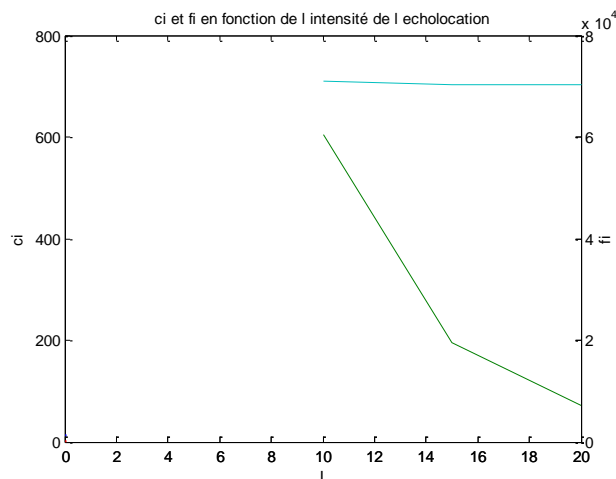
Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$C_i = f(i)$$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$F_i = f(i)$$



Représentation graphique du tableau 5.3.2.2.3

V.3.2.2.c-Interprétation des résultats :

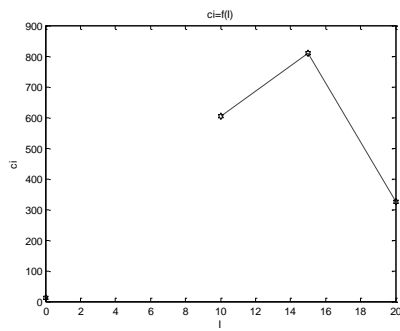
La meilleure solution est (12,604, 0,970963). La configuration du système est déterminée par :

- 1 contient : 6-5-7-4-6-6-7
- 2 contient : 4-2-3-5-4
- 3 contient : 5-1-5-5
- 4 contient : 9-4-3-8-7-9-6-1-2
- 5 contient : 3 4 3-4

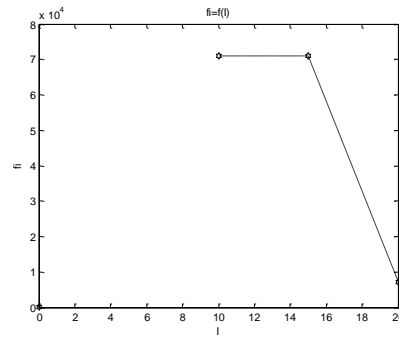
fréquence =I=0,25

Tableau 5.3.2.2.4

intensité	Coût	fiabilité	sub-système
0,10	12,604	0,970963	1 contient : 6-6-6-7-6-6-6 2 contient : 5-4-5-2-3 3 contient : 5-1-5-5 4 contient : 8 9 7 9 5 8 3 6 4 5 contient : 4-3-4-3
0,15	12,808	0,970892	1 contient : 6 5 6 6 7 6 6 2 contient : 3 2 5 4 1 3 contient : 5-5-5-1 4 contient : 6 9 3 4 8 1 9 7 2 5 contient : 4 3 4 2
0,20	13,325	0,970950	1 contient : 6 3 1 6 5 6 7 2 contient : 3 5 4 5 3 3 contient : 5-5-5-1 4 contient : 6 9 5 8 7 9 1 3 6 5 contient : 1 4 3 4



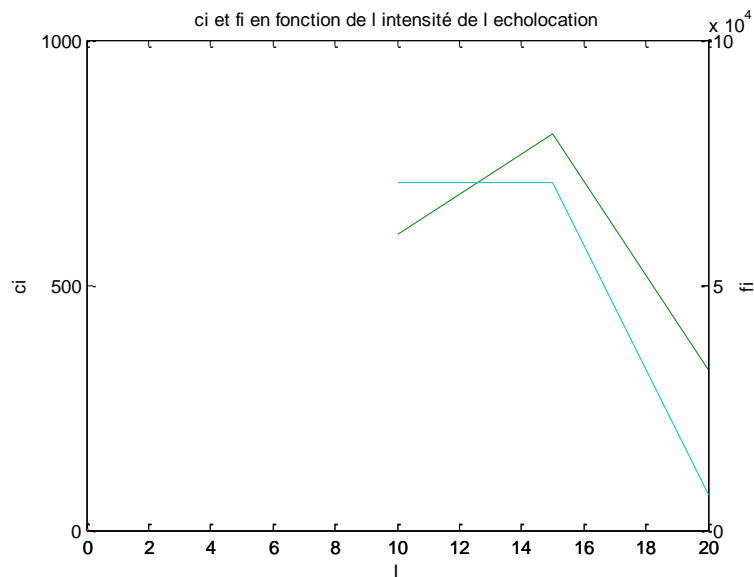
Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$C_i = f(i)$$

$$F_i = f(i)$$



Représentation graphique du tableau 5.3.2.2.4

V.3.2.2. d- Interprétation des résultats :

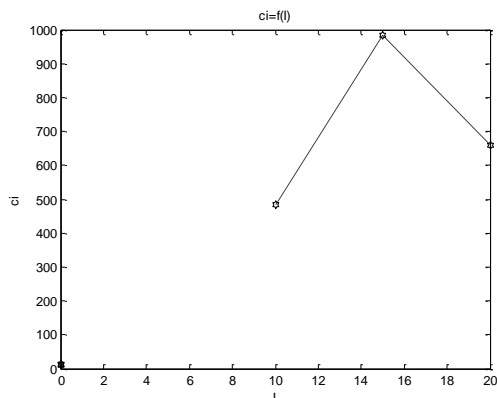
Idem, la meilleure solution obtenue est (12,604, 0,970963). La configuration du système est déterminée par :

- 1 contient : 6-6-6-7-6-6-6
- 2 contient : 5-4-5-2-3
- 3 contient : 5-1-5-5
- 4 contient : 8 9 7 9 5 8 3 6 4
- 5 contient : 4-3-4-3

fréquence =I=0,30

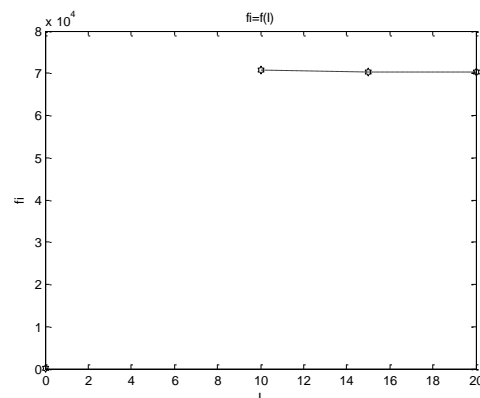
Tableau 5.3.2.2.5

intensité	Coût	fiabilité	sub-système
0,10	12,484	0,970869	1 contient : 6 6 6 6 5 7 6 2 contient : 3 5 4 5 3 3 contient : 5 5 1 5 4 contient : 4 6 3 9 8 7 2 5 9 5 contient : 3 2 4 3
0,15	11,983	0,970324	1 contient : 6 7 6 6 6 6 6 2 contient : 1 4 5 3 4 3 contient : 5-5-5-1 4 contient : 1 7 9 5 8 9 4 6 7 5 contient : 4-3-4-3
0,20	12,658	0,970347	1 contient : 3 6 6 7 6 6 6 2 contient : 1 5 3 4 5 3 contient : 5-5-5-1 4 contient : 8 7 9 2 5 8 6 3 4 5 contient : 4 3 4 2



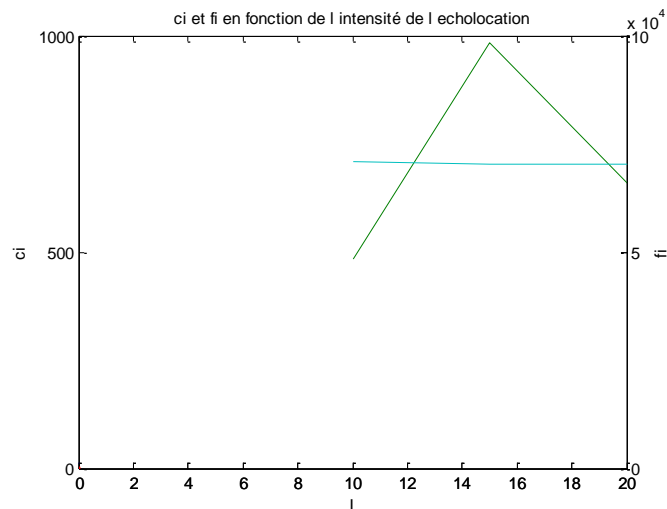
Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$C_i = f(i)$$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$F_i = f(i)$$



Représentation graphique du tableau 5.3.2.2.5

V.3.2.2.e-Interprétation des résultats :

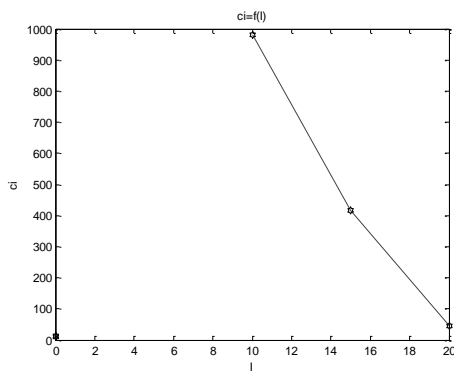
Le tracé du graphe $C_i = f(F_i)$ a permis de déterminer la meilleure qui est (12,484, 0,970869) dont la configuration du système est déterminé par:

- 1 contient : 6 6 6 6 5 7 6
- 2 contient : 3 5 4 5 3
- 3 contient : 5 5 1 5
- 4 contient : 4 6 3 9 8 7 2 5 9
- 5 contient : 3 2 4 3

fréquence =0,35

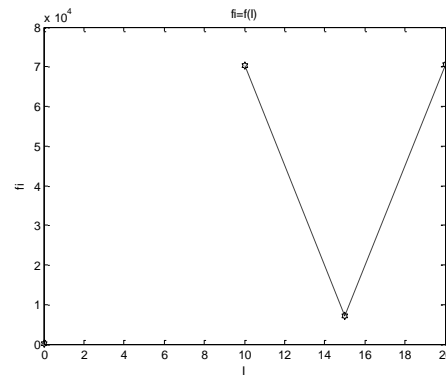
Tableau 5.3.2.2.6

intensité	Coût	fiabilité	sub-système
0,10	11,982	0,970315	1 contient : 6-6-6-6-7-6-6 2 contient : 5 2 3 4 5 3 contient : 1-5-5-5 4 contient : 9 5 7 3 8 9 1 6 7 5 contient : 3-4-4-3
0,15	12,416	0,970360	1 contient : 6 6 6 7 6 3 6 2 contient : 4 1 3 5 4 3 contient : 5-5-5-1 4 contient : 1 9 5 4 8 7 3 9 2 5 contient : 3-4-4-3
0,20	12,046	0,970641	1 contient : 6 7 6 6 6 7 6 2 contient : 4 3 5 2 4 3 contient : 5-5-5-1 4 contient : 6 8 5 7 9 2 3 8 6 5 contient : 4-3-4-3



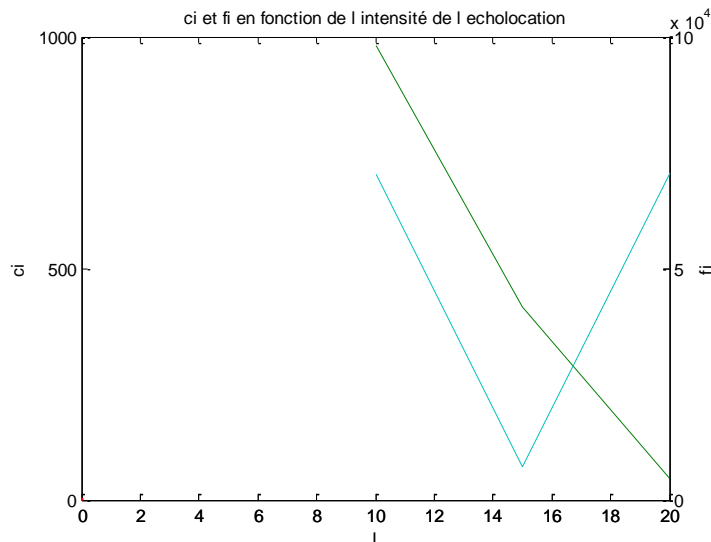
Coût en fonction de l'intensité de l'échololocation

$$C_i = f(i)$$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'échololocation

$$F_i = f(i)$$



Représentation graphique du tableau 5.3.2.2.6

V.3.2.2.f-Interprétation des résultats :

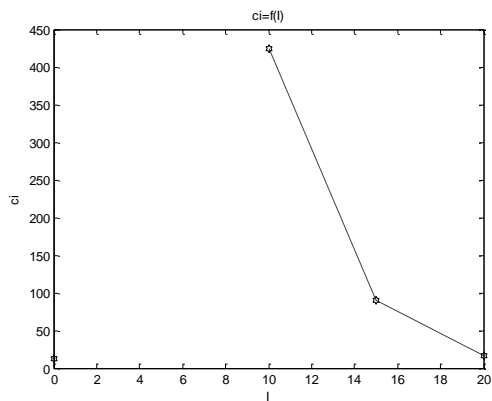
Les graphes de C_i et de F_i tracés à partir du tableau 5.3.2.2.6 et suite à l'intersection des deux courbes on a visualisé la meilleure solution (12,046 - 0,970641). Pour cette valeur la configuration du système est déterminée par :

- 1 contient : 6 7 6 6 6 7 6
- 2 contient : 4 3 5 2 4
- 3 contient : 5-5-5-1
- 4 contient : 6 8 5 7 9 2 3 8 6
- 5 contient : 4-3-4-3

fréquence = 0,40

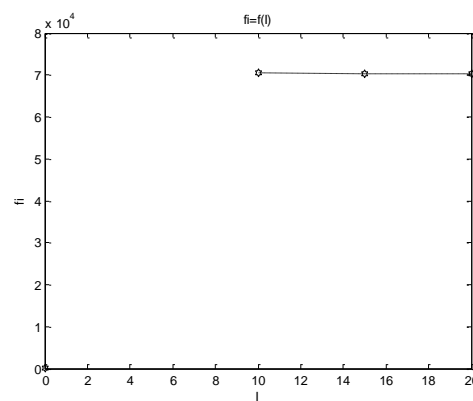
Tableau 5.3.2.2.7

intensité	Coût	fiabilité	sub-système
0,10	12,425	0,970628	1 contient : 6 6 7 6 6 7 6 2 contient : 3 5 4 5 3 3 contient : 5 5 1 5 4 contient : 4 1 5 7 8 9 2 3 6 5 contient : 2-4-3-4
0,15	12,090	0,970315	1 contient : 7 6 6 6 6 6 6 2 contient : 2 5 3 5 4 3 contient : 5-1-5-5 4 contient : 2 1 7 9 3 8 6 4 9 5 contient : 3-4-3-4
0,20	12,017	0,970315	1 contient : 6-6-7-6-6-6-6 2 contient : 5 5 3 4 2 3 contient : 5-1-5-5 4 contient : 7 3 4 5 8 6 9 2 8 5 contient : 3-4-3-4



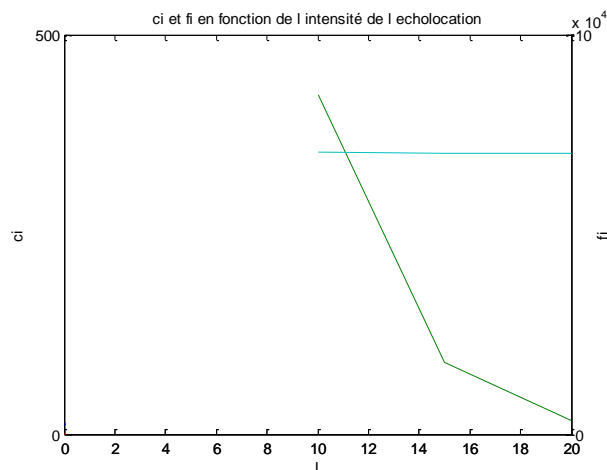
Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$C_i = f(i)$$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$F_i = f(i)$$



Représentation graphique du tableau 5.3.2.2.7

V.3.2.2.g-Interprétation des résultats :

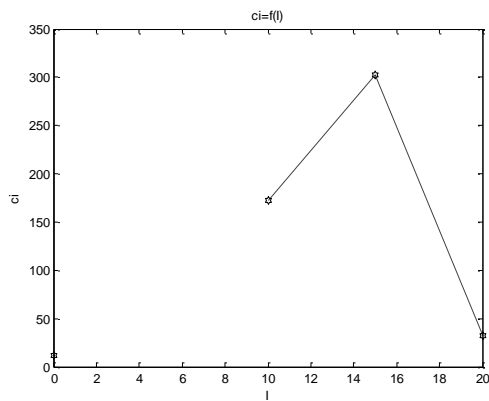
La meilleure solution est (12,425, 0,970628). La configuration du système est déterminée par ::

- 1 contient : 6 6 7 6 6 7 6
- 2 contient : 3 5 4 5 3
- 3 contient : 5 5 1 5
- 4 contient : 4 1 5 7 8 9 2 3 6
- 5 contient : 2-4-3-4

fréquence =0,45

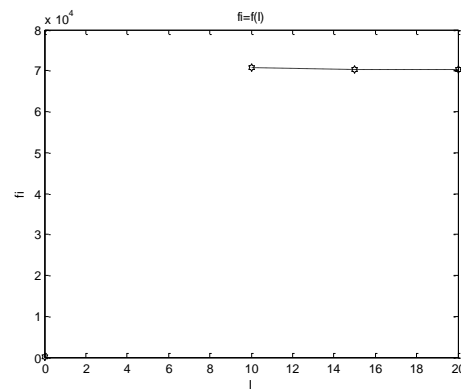
Tableau 5.3.2.2.8

intensité	Coût	fiabilité	sub-système
0,10	12,172	0,970804	1 contient : 6 6 6 5 6 6 6 2 contient : 2 5 3 4 5 3 contient : 1-5-5-5 4 contient : 7 9 6 1 8 5 9 2 7 5 contient : 3-4-3-4
0,15	12,302	0,970316	1 contient : 6 6 6 6 6 6 7 2 contient : 2-5-4-5-3 3 contient : 5-5-5-1 4 contient : 5 2 8 7 3 9 6 8 7 5 contient : 4 3 4 2
0,20	12,032	0,970315	1 contient : 6 6 6 6 6 6 7 2 contient : 5 4 2 3 5 3 contient : 5-5-5-1 4 contient : 6 9 7 5 8 3 4 1 9 5 contient : 4-3-4-3



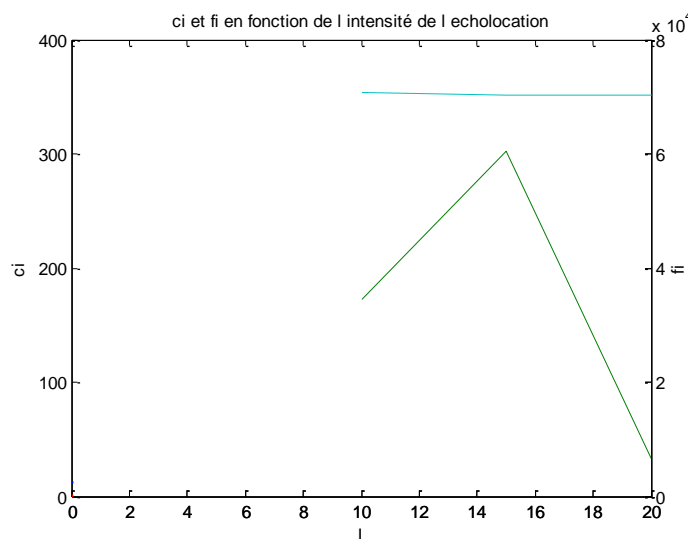
Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$C_i = f(i)$$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$F_i = f(i)$$



Représentation graphique du tableau 5.3.2.2.8

V.3.2.2.h-Interprétation des résultats :

Les graphes de ci et fi tracer à partir du tableau 5.3.2.2.8 à intensité variable, et pour chaque valeurs de la fréquence, et comparativement à l'intersection des deux courbes de ci et fi on a visualisé la meilleur qui est (12,172, 0,970804) dont la configuration du système est déterminer par :

1 contient : 6-6-6-7-6-6-6
2 contient : 5-4-5-2-3
3 contient : 5-1-5-5
4 contient : 8 9 7 9 5 8 3 6 4
5 contient : 4-3-4-3

V.3.2.2.i- Conclusion :

Dans cette partie de simulation huit (08) tableaux sont mis à jour du faite que pour chaque implémentation acquise on a obtenu plusieurs graphes, ces graphes illustrent les résultats des tableaux. L'algorithme prend en considération les paramètres imposés, dont les caractéristiques de la charge dans notre cas hétérogène, les paramètres d'entrée, ainsi la contrainte fiabilité [0,97]. Notre travail consiste à choisir la meilleur solution pour une fiabilité maximale, dont le coût est modéré minimal ce nous pousse à choisir la solution suivante qui est déterminé par les coordonnées de $:(C_i, F_i) = (12,604, 0,970963)$ avec la meilleur configuration qui est :

1 contient : 6-6-6-7-6-6-6
2 contient : 5-4-5-2-3
3 contient : 5-1-5-5
4 contient : 8 9 7 9 5 8 3 6 4
5 contient : 4-3-4-3

V.4- Simulation pour un système homogène

V.4.1- Cas d'un système avec performance homogène

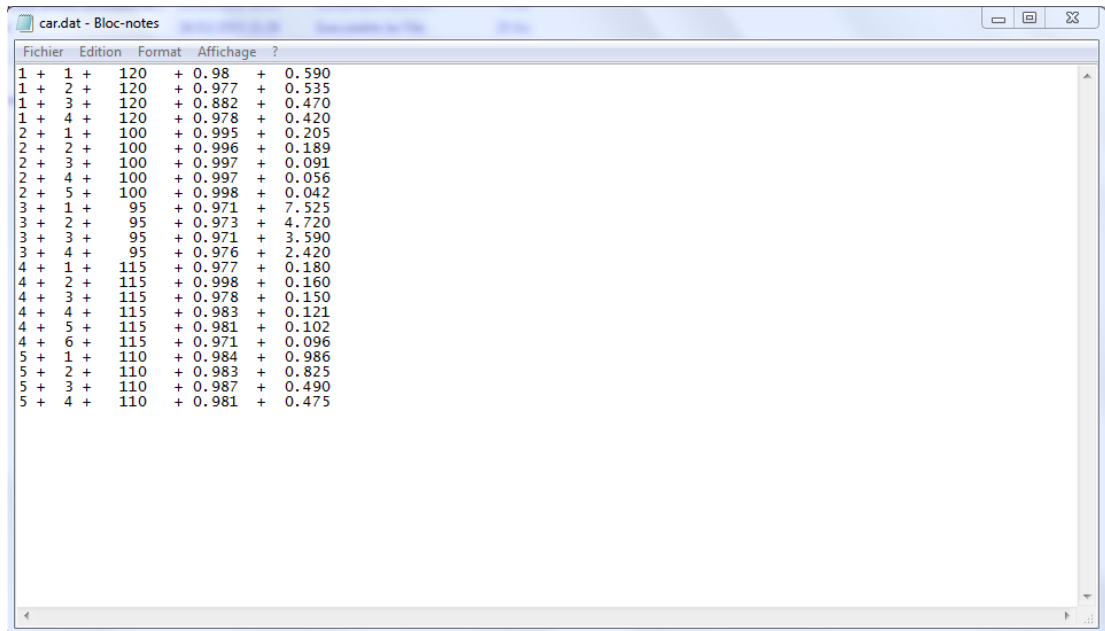
V.4.1.1-Variation de la fréquence à intensité constante

Dans cette partie nous allons considérer les caractéristiques de façons a homogénéisé l'une des caractéristiques, la performance, le coût où la fiabilité.

Considérons L'homogénéisation de la performance et on procède de la même façon que celle utilisé dans la partie caractéristique hétérogène, pour cela on garde les mêmes données

des valeurs d'entrée et on fait varier l'intensité et la fréquence de l'écholocation des chauves-souris, comme le montre la figure suivante

Tableau(5.1) des caractéristiques de charge



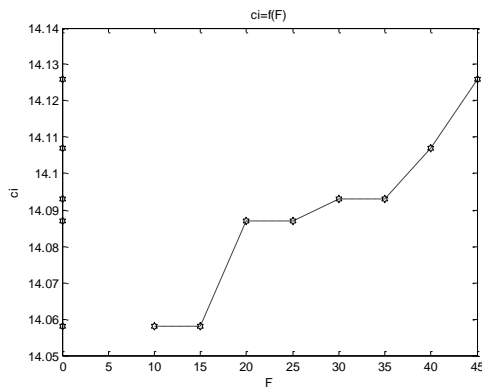
Fichier	Edition	Format	Affichage	?
1 +	1 +	120	+ 0.98	+ 0.590
1 +	2 +	120	+ 0.977	+ 0.535
1 +	3 +	120	+ 0.882	+ 0.470
1 +	4 +	120	+ 0.978	+ 0.420
2 +	1 +	100	+ 0.995	+ 0.205
2 +	2 +	100	+ 0.996	+ 0.189
2 +	3 +	100	+ 0.997	+ 0.091
2 +	4 +	100	+ 0.997	+ 0.056
2 +	5 +	100	+ 0.998	+ 0.042
3 +	1 +	95	+ 0.971	+ 7.525
3 +	2 +	95	+ 0.973	+ 4.720
3 +	3 +	95	+ 0.971	+ 3.590
3 +	4 +	95	+ 0.976	+ 2.420
4 +	1 +	115	+ 0.977	+ 0.180
4 +	2 +	115	+ 0.998	+ 0.160
4 +	3 +	115	+ 0.978	+ 0.150
4 +	4 +	115	+ 0.983	+ 0.121
4 +	5 +	115	+ 0.981	+ 0.102
4 +	6 +	115	+ 0.971	+ 0.096
5 +	1 +	110	+ 0.984	+ 0.986
5 +	2 +	110	+ 0.983	+ 0.825
5 +	3 +	110	+ 0.987	+ 0.490
5 +	4 +	110	+ 0.981	+ 0.475

Pour différentes valeurs de la fréquence à intensité constante pour chaque manipulation on obtient les tableaux suivant :

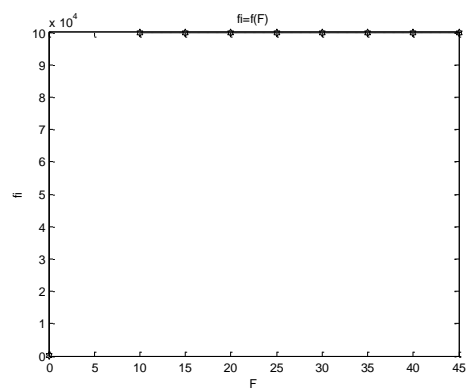
I=0.10

Tableau : 5.4.1.1.1

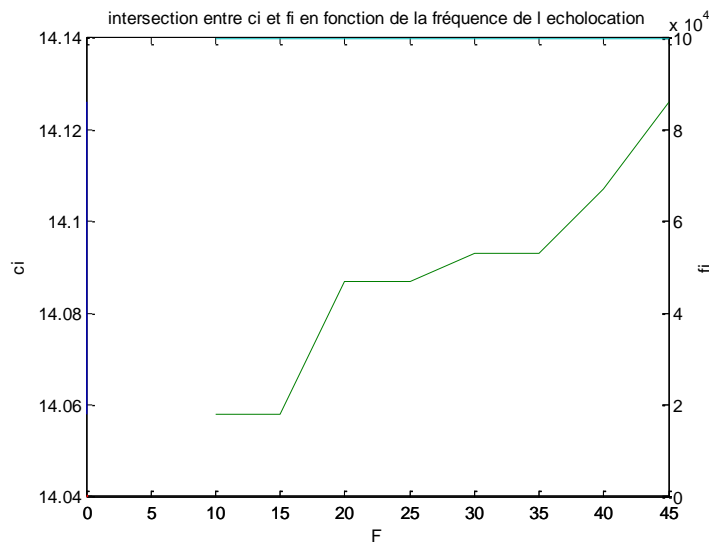
fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	14.058	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 6 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 4 4
0,15	14.058	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 6 5 6 5 6 5 - contient : 4 4 4 4
0,20	14.087	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 4 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 6 5 6 5 6 5 - contient : 4 4 4 3
0,25	14.087	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 4 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 6 5 6 5 6 5 - contient : 4 4 4 3
0,30	14.093	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 4 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 5 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 3 4
0,35	14.093	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 4 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 5 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 3 4
0,40	14.107	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 4 5 4 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 5 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 3 4
0,45	14.126	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 4 5 4 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 5 6 5 6 4 5 - contient : 4 4 3 4



Coût en fonction de la fréquence de l'écholocation
 $C_i = f(freq)$



Fiabilité en fonction de la fréquence de l'écholocation
 $F_i = f(freq)$



Représentation graphique du tableau 5.4.1.1

V.4.1.1.a- Interprétation des résultats :

Les graphes $C_i = f(freq)$ et $F_i = f(freq)$, à intensité constante, présentent certains points qui montrent bien que le coût et la fiabilité varient avec la fréquence. La représentation graphique nous permet de visualiser l'intersection des graphes (C_i , F_i) et par conséquent d'en déterminer la solution optimale pour que notre système soit au maximum fiable et avec un moindre coût. Dans notre cas, ce point correspond à (14.058, 0.999945).

Ce qui est remarquable ici c'est que la fiabilité est constante durant tout le processus de l'implémentation, cela s'explique par le fait que la performance est invariable pour chaque composants. La configuration est donc optimale pour une structure dont les éléments sont choisis de la manière suivante :

1- contient : 4-4-4-4

2- contient : 5-5-5-5-5

3- contient : 4-4-4-4

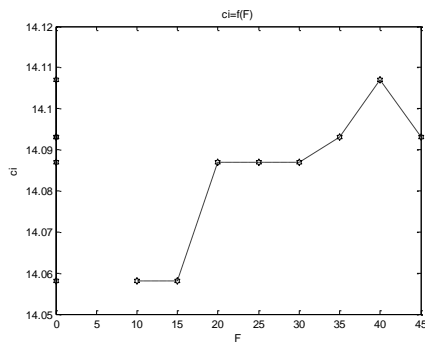
4- contient : 6-6-5-6-5-6-5-6

5- contient : 4-4-4-4

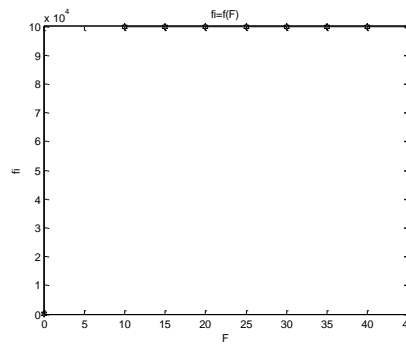
I=0.15

Tableau : 5.4.1.1.2

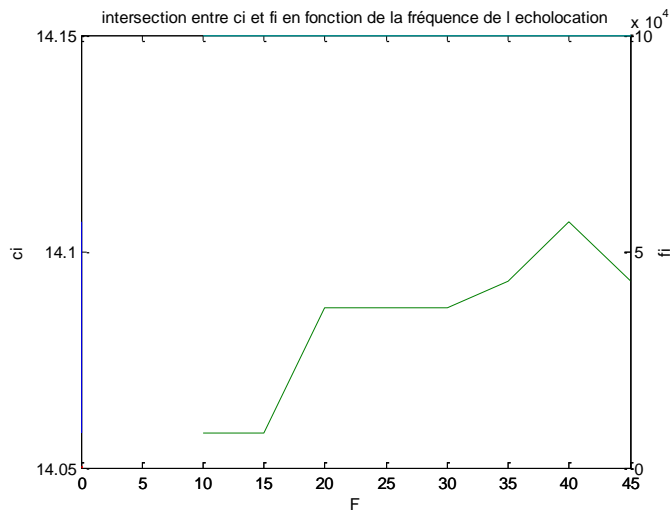
Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	14.058	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 5 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 6 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 4 4
0,15	14.058	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 5 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 6 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 4 4
0,20	14.087	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 5 4 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 6 5 6 5 6 5 - contient : 4 4 4 3
0,25	14.087	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 5 4 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 6 5 6 5 6 5 - contient : 4 4 4 3
0,30	14.087	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 4 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 6 5 6 5 6 5 - contient : 4 4 3 4
0,35	14.093	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 4 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 5 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 3 4
0,40	14.107	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 4 5 4 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 5 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 3 4
0,45	14.093	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 4 5 4 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 5 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 3 4



Coût en fonction de la fréquence de l'écholocation
 $C_i = f(freq)$



Fiabilité en fonction de la fréquence de l'écholocation
 $F_i = f(freq)$



Représentation graphique du tableau 5.4.1.1.2

V.4.1.1.b- Interprétation des résultats :

Les résultats trouvés dans cette implémentation est presque identique à celle du tableau (5.4.1.1.1). La meilleure solution trouvé par l'algorithme est le point (C_i, F_i) coordonnées (14.058, 0.999945). Ces coordonnées correspondent aussi bien pour la fréquence (0,10) et la fréquence (0.15). Ce qui est de nouveau marquant ici c'est que la fiabilité est constante et converge vers la valeur 1 durant tout le processus de l'implémentation, même le coût est invariable cela s'explique par le fait que la performance est invariable pour chaque

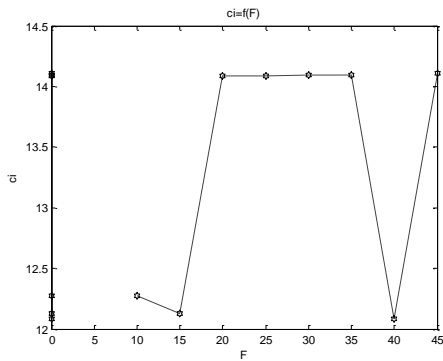
composant. La configuration est donc optimale pour une structure dont les éléments sont choisis de la manière suivante :

- 1- contient : 4-4-4-4
- 2- contient : 5-5-5-5-5
- 3- contient : 4-4-4-4
- 4- contient : 6-6-6-5-6-5
- 5- contient : 4-4-4-4

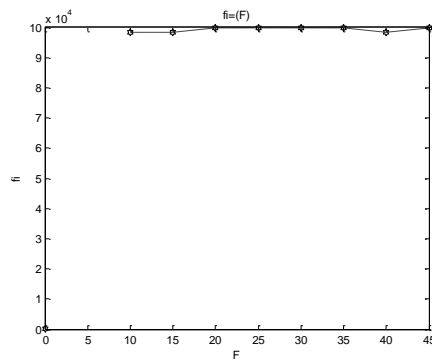
I=0.20

Tableau : 5.4.1.1.3

Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.275	0.998298	1 - contient : 2 4 3 2 2 - contient : 4 3 5 4 3 3 - contient : 4 4 4 5 4 - contient : 2 4 5 6 3 2 5 - contient : 3 4 3 4
0,15	12.131	0.998298	1- contient : 4 3 2 4 2 - contient : 5 4 3 5 4 3 - contient : 4 4 4 5 4 - contient : 2 3 1 4 5 6 5 - contient : 3 4 3 4
0,20	14.087	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 5 4 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 6 5 6 5 6 5 - contient : 4 4 4 3
0,25	14.087	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 4 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 6 5 6 5 6 5 - contient : 4 4 4 3
0,30	14.093	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 4 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 5 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 3 4
0,35	14.093	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 5 4 5 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 5 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 3 4
0,40	12.082	0.998298	1 - contient : 4 2 3 4 2 - contient : 5 3 4 5 3 3 - contient : 4 4 4 5 4 - contient : 6 4 3 5 2 6 5 - contient : 3 4 3 4
0,45	14.107	0.999945	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 5 4 5 4 3 - contient : 4 4 4 4 4 - contient : 6 5 6 5 6 5 5 - contient : 4 4 3 4



Coût en fonction de la fréquence de l'écholocalion
 $C_i = f(freq)$



Fiabilité en fonction de la fréquence de l'écholocalion
 $F_i = f(freq)$



Représentation graphique du tableau 5.4.1.1.3

V.4.1.1.c-Interprétation des résultats :

Les graphes $C_i = f(freq)$, $F_i = f(freq)$ montrent bien qu'il y a un changement de comportement des valeurs visualisées sur l'interface du logiciel pour chaque valeur de la fréquence à intensité constante. La solution optimale choisit est le point $:(C_i, F_i)$ de coordonnées (14.087, 0.999945). Ces coordonnées correspondent aussi pour la fréquence (0,25) que pour les fréquences (0,30) et (0,45). On remarque que les résultats trouvés dans cette implémentation sont différents par rapport aux deux tableaux précédents.

Idem la fiabilité est presque égale à l'unité et constante durant tout le processus de l'implémentation, et le coût diffère d'une fréquence à une autre.

La configuration est donc optimale pour une structure dont les éléments sont choisis de

la manière suivante :

- 1- contient : 4-4-4-4
- 2- contient : 5-5-5-5-4
- 3- contient : 4-4-4-4
- 4- contient : 6-6-5-6-5-6
- 5- contient : 4-4-4-3

V.4.1.1.d-Conclusion :

Pour pouvoir assurer la continuité de l'énergie électrique que le client exige pour un approvisionnement, il suffira de'investir encore plus sur les composants et les éléments qui onsttue notre système. Notre algorithme par sa performance et la combinaison jumeler entre coût et fiabilité nous a permit de choisir sous contrainte fiabilité imposée la meilleur configuration. Des trois tableaux notre choix pour la meilleur configuration est :

- 1- contient : 4-4-4-4
- 2- contient : 5-5-5-5-5
- 3- contient : 4-4-4-4
- 4- contient : 6-6-5-6-5-6-5-6
- 5- contient : 4-4-4-4

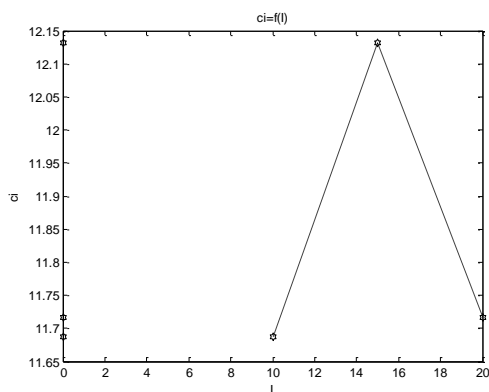
V.4.1.2-Variation de l'intensité à fréquence constante.

Dans cette partie pour une valeur de la variation de fréquence [0,10,... ,0.45], on fait varier l'intensité de la valeur [0,10 à..., 0,20]. On collecte les résultats dans des tableaux et on les interprète. De son côté, l'algorithme va chercher à trouver la solution optimale pour notre système en respectant la contrainte imposée, ce qui nous permet par la suite de réaliser un système dont la configuration se reproduira grâce au sub-système qui nous donnera un coût minimal et une fiabilité maximale.

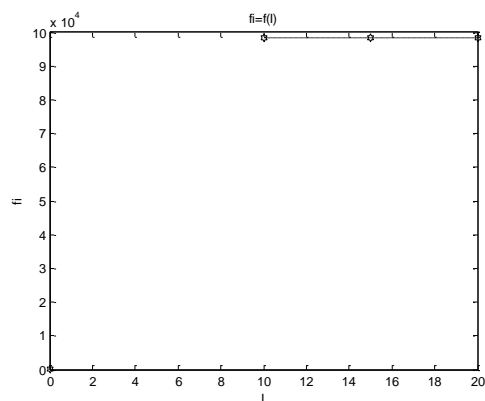
fréquence = 0.10

Tableaux 5.4.1.2.1

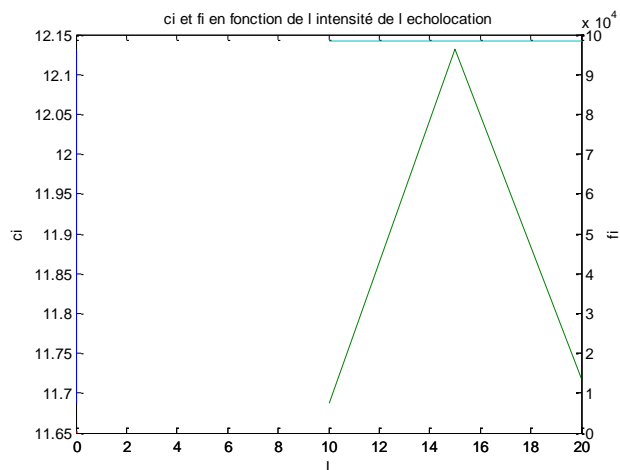
Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	11.687	0.998299	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-4-5-4 3 - contient : 4-4-4-5 4 - contient : 6-5-6-5-6-5 5 - contient : 4-4-3-4
0,15	12.131	0.998298	1 - contient : 4-3-2-4 2 - contient : 5-4-3-5-4 3 - contient : 4-4-4-5 4 - contient : 6-1-3-4-2-5 5 - contient : 3-4-3-4
0,20	11.716	0.998299	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 4-5-4-5-4 3 - contient : 4-4-4-5 4 - contient : 6-5-6-5-6-5 5 - contient : 3-4-3-4



Coût en fonction
de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction
de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.1.2.1

V.4.1.2.a-Interprétation des résultats :

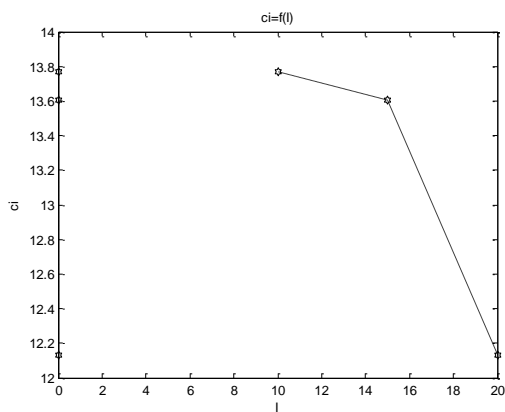
La meilleure solution visualisée est (11.687, 0.998299) où la configuration du système est déterminée par :

- 1 contient : 4-4-4-4
- 2 contient : 5-5-4-5-4
- 3 contient : 4-4-4-5
- 4 contient : 6-5-6-5-6-5
- 5 contient : 4-4-3-4

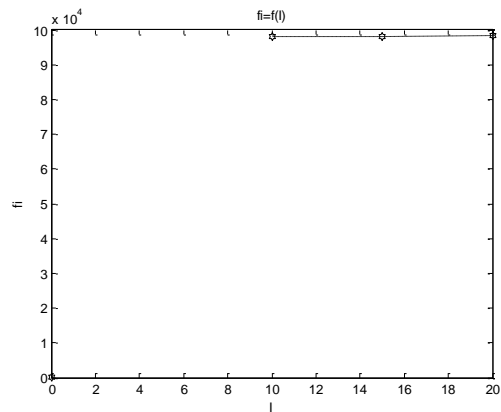
fréquence = 0,15

Tableaux 5.4.1.2.2

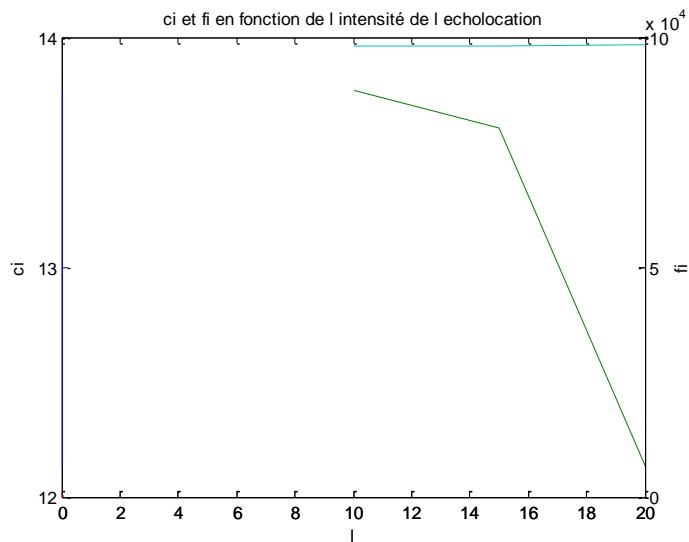
Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	13.767	0.998064	1 - contient : 3-4-1-2 2 - contient : 2-1-4-3-5 3 - contient : 4-3-4-5 4 - contient : 2-3-4-5-1-6 5 - contient : 3-4-3-4
0,15	13.604	0.998064	1 - contient : 1-4-3-2 2 - contient : 5-4-3-2-5 3 - contient : 4-3-4-5 4 - contient : 2-3-4-5-1-6 5 - contient : 3-4-3-4
0,20	12.131	0.998298	1 - contient : 4-3-2-4 2 - contient : 5-4-3-5-4 3 - contient : 4-4-4-5 4 - contient : 2-3-1-4-5-6 5 - contient : 3-4-3-4



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.1.2.2

V.4.1.2.b-Interprétation des résultats :

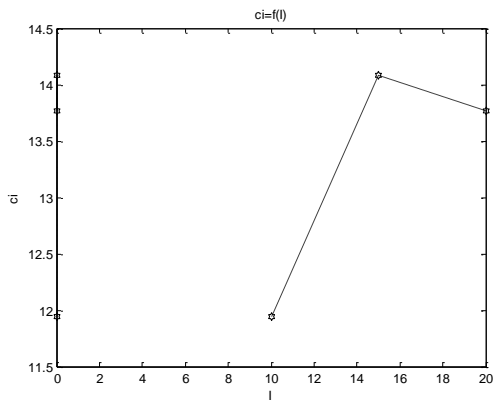
Pour ce cas, la solution optimale prend les valeurs suivantes (12.131, 0.998298) et la configuration du système est déterminée par :

- 1 contient : 4-3-2-4
- 2 contient : 5-4-3-5-4
- 3 contient : 4-4-4-5
- 4 contient : 2-3-1-4-5-6
- 5 contient : 3-4-3-4

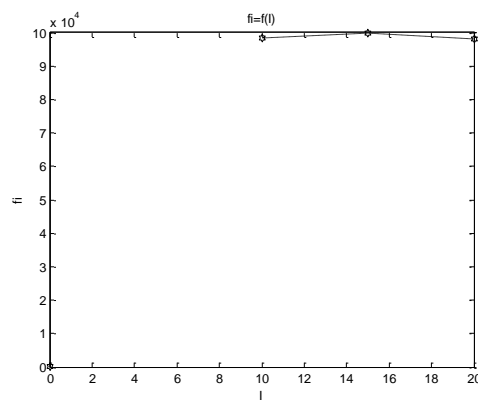
fréquence = 0,20

Tableaux 5.4.1.2.3

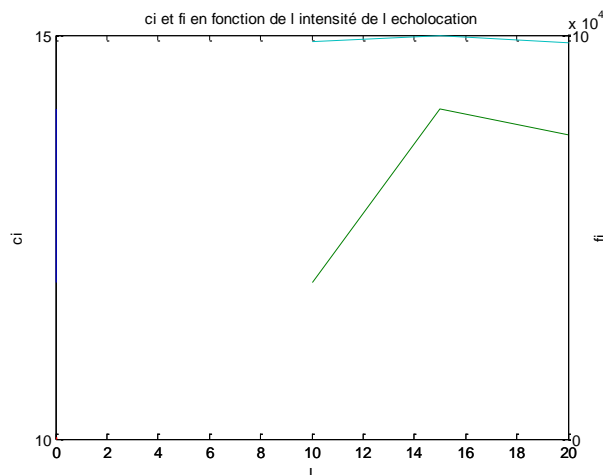
Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	11.944	0.998293	1 - contient : 4-3-4-3 2 - contient : 4 3 5 4 3 3 - contient : 4 4 4 5 4 - contient : 6 5 4 6 5 4 5 - contient : 4-3-4-3
0,15	14.087	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5 5 5 5 4 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-6-5-6-5-6 5 - contient : 4-4-4-3
0,20	13.767	0.998064	1 - contient : 2 3 1 4 2 - contient : 1 5 3 2 4 3 - contient : 4 3 4 5 4 - contient : 3 2 4 1 6 5 5 - contient : 4-3-4-3



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.1.2.3

V.4.1.2.c-Interprétation des résultats :

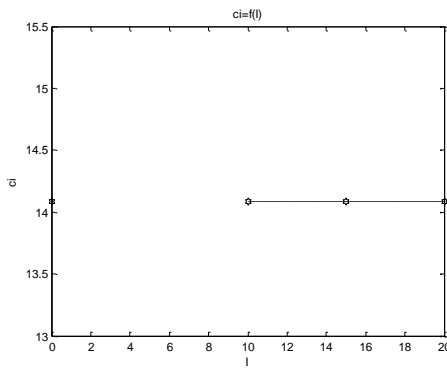
Des graphes $C_i = f(I)$ et $F_i = f(I)$ et comparativement à l'intersection des deux courbes on a visualisé le point optimal de coordonnées (14.087, 0.999945) et dont la configuration des éléments du système sont déterminés par :

- 1 contient : 4-4-4-4
- 2 contient : 5-5-5-5-4
- 3 contient : 4-4-4-4
- 4 contient : 6-6-5-6-5-6
- 5 contient : 4-4-4-3

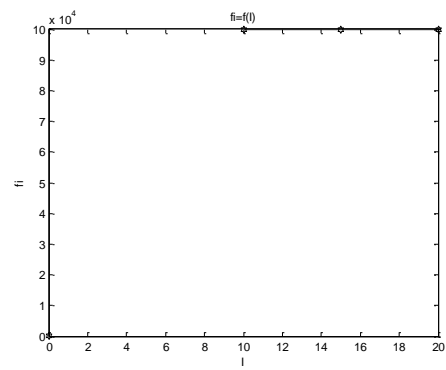
fréquence = 0,25

Tableaux 5.4.1.2.4

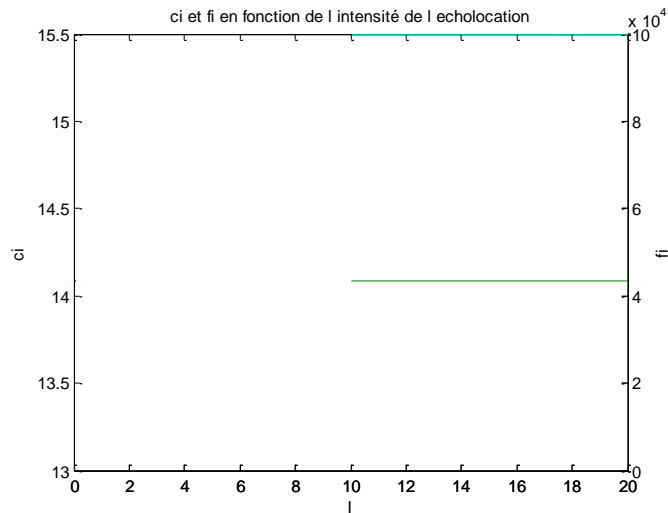
Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	14.087	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-5-4-5 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-6-5-6-5-6 5 - contient : 4-4-4-3
0,15	14.087	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-5-4-5 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-6-5-6-5-6 5 - contient : 4-4-4-3
0,20	14.087	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-5-4-5 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-6-5-6-5-6 5 - contient : 4-4-4-3



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.1.2.4

V.4.1.2.d-Interprétation des résultats :

La meilleure solution est (14.087, 0.999945). La configuration du système est déterminée

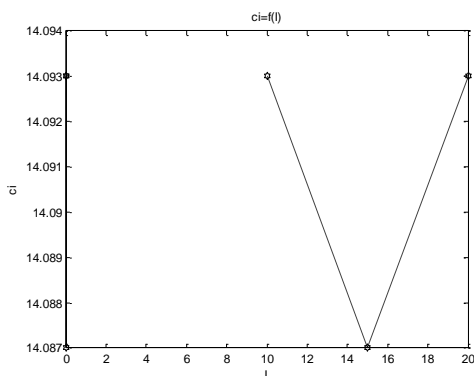
par :

- 1 contient : 4-4-4-4
- 2 contient : 5-5-5-4-5
- 3 contient : 4-4-4-4
- 4 contient : 6-6-6-5-6-5
- 5 contient : 4-4-4-3

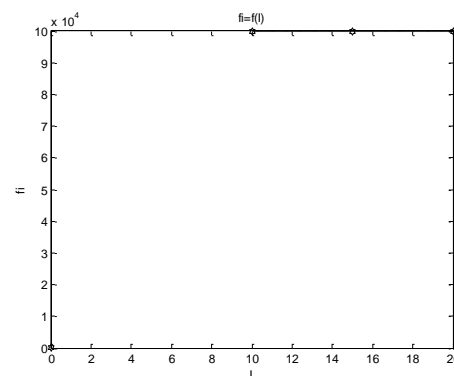
fréquence = 0,30

Tableaux 5.4.1.2.5

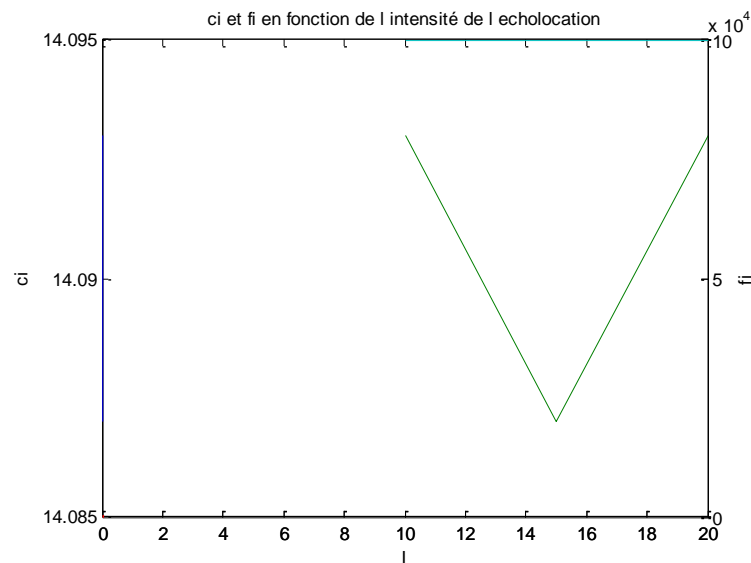
Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	14.093	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-5-4-5 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-5-6-5-6-5 5 - contient : 4-4-3-4
0,15	14.087	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-5-4-5 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-6-5-6-5-6 5 - contient : 4-4-3-4
0,20	14.093	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-5-4-5 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-5-6-5-6-5 5 - contient : 4-4-3-4



Coût en fonction
de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction
de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.1.2.5

V.4.1.2.e-Interprétation des résultats :

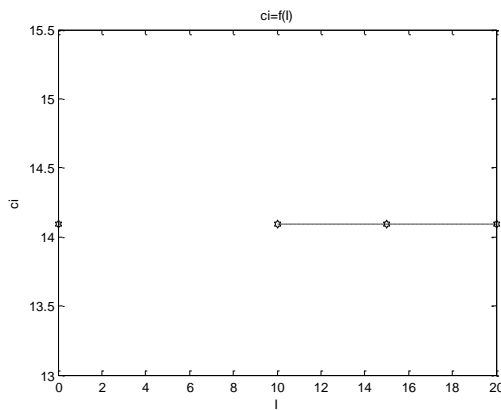
La meilleure solution est (14.087, 0.998299). La configuration du système est déterminée par :

- 1- contient : 4-4-4-4
- 2- contient : 5-5-5-4-5
- 3- contient : 4-4-4-4
- 4- contient : 6-6-5-6-5-6
- 5- contient : 4-4-3-4

fréquence =0,35

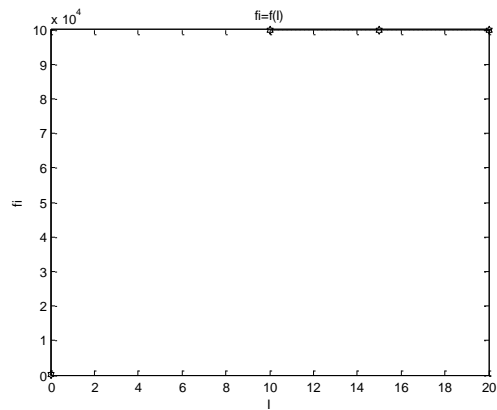
Tableaux 5.4.1.2.6

Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	14.093	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-5-4-5 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-5-6-5-6-5 5 - contient : 4-4-3-4
0,15	14.093	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-5-4-5 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-5-6-5-6-5 5 - contient : 4-4-3-4
0,20	14.093	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-5-4-5 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-5-6-5-6-5 5 - contient : 4-4-3-4



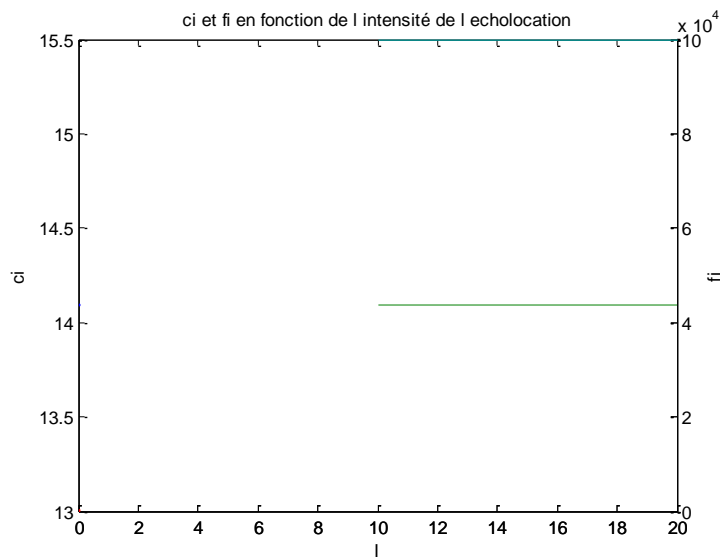
Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$C_i = f(i)$$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation

$$F_i = f(i)$$



Représentation graphique du tableau 5.4.1.2.6

V.4.1.2.f-Interprétation des résultats :

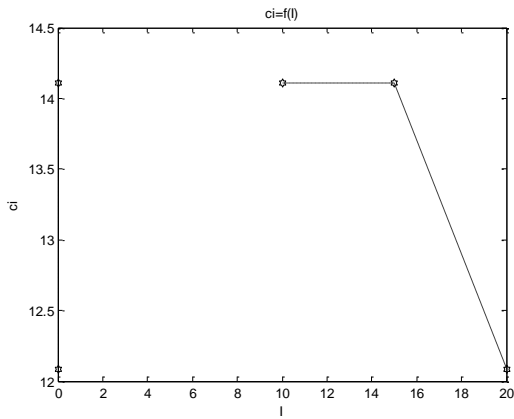
Les graphes de $C_i = f(I)$ et $F_i = f(I)$ tracés à partir du tableau 5.4.1.2.6 et comparativement à l'intersection des deux courbes on remarque qu'elles présentent des résultats identiques quel que soit la variable « i » ce qui nous donne un : : $(C_i, F_i) = (14.093, 0.999945)$ et donc une configuration du système déterminée par

- 1 contient : 4-4-4-4
- 2 contient : 5-5-5-4-5
- 3 contient : 4-4-4-4
- 4 contient : 6-5-6-5-6-5
- 5 contient : 4-4-3-4

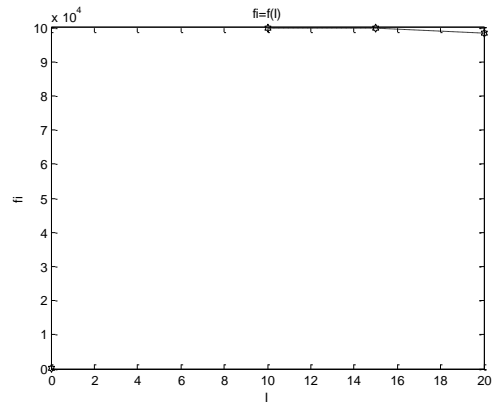
fréquence = 0,40

Tableaux 5.4.1.2.7

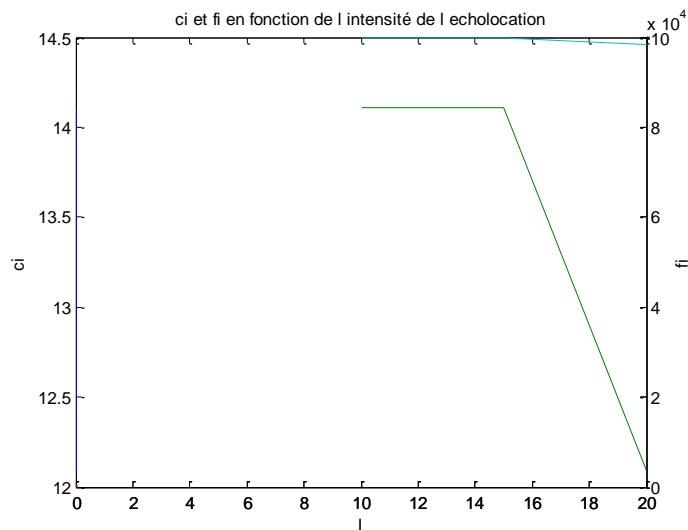
Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	14.107	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-4-5-4 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-5-6-5-6-5 5 - contient : 4-4-3-4
0,15	14.107	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-4-5-4 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-5-6-5-6-5 5 - contient : 4-4-3-4
0,20	12.082	0.998298	1 - contient : 4 2 3 4 2 - contient : 5-3-4-5-3 3 - contient : 4-4-4-5 4 - contient : 6-4-3-5-2-6 5 - contient : 3-4-3-4



Coût en fonction
de l'intensité de l'échololocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction
de l'intensité de l'échololocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.1.2.7

V.4.1.2.g- Interprétation des résultats :

La meilleure solution est (14.107, 0.999945) .La configuration du système est déterminée

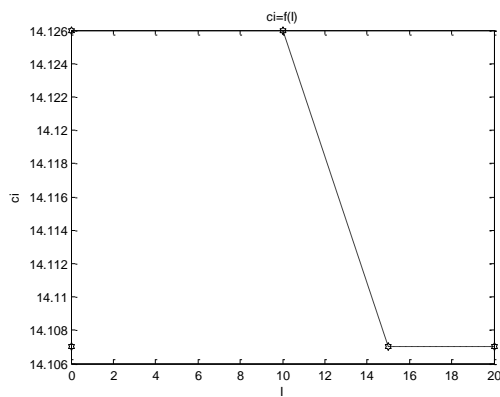
par :

- 1 contient : 4-4-4-4
- 2 contient : 5-5-4-5-4
- 3 contient : 4-4-4-4
- 4 contient : 6-5-6-5-6-5
- 5 contient : 4-4-3-4

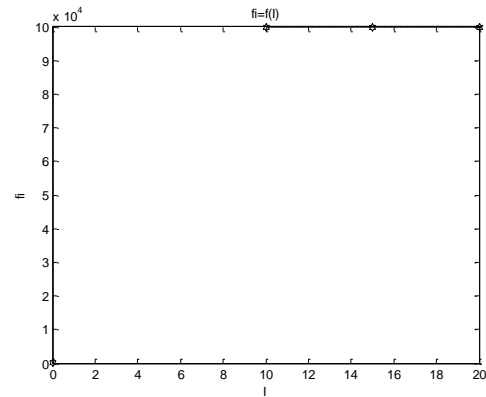
fréquence =0,45

Tableaux 5.4.1.2.8

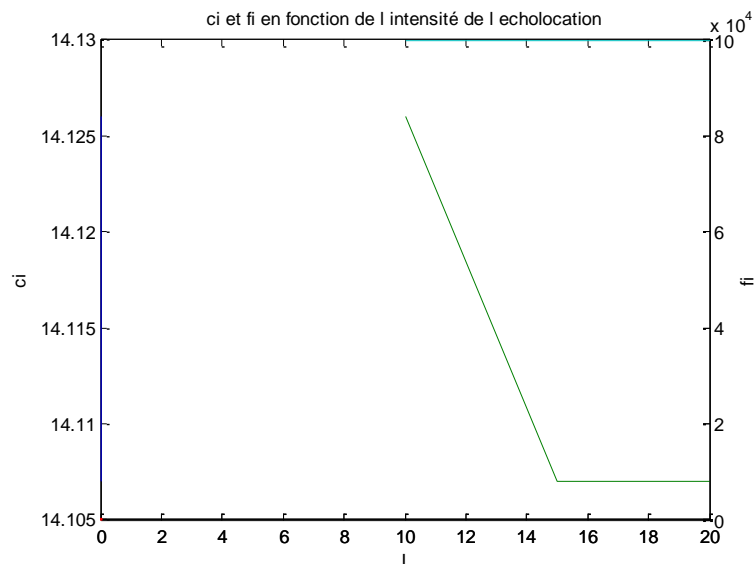
Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	14.126	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-4-5-4 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-5-6-5-6-4 5 - contient : 4-4-3-4
0,15	14.107	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-4-5-4 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-5-6-5-6-5 5 - contient : 4-4-3-4
0,20	14.107	0.999945	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 5-5-4-5-4 3 - contient : 4-4-4-4 4 - contient : 6-5-6-5-6-5 5 - contient : 4-4-3-4



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.1.2.8

V.4.1.2.h-Interprétation des résultats :

La meilleure solution visualisée est (14.107, 0.999945). Pour cette solution, la configuration sera du système par :

- 1 contient : 4-4-4-4
- 2 contient : 5-5-4-5-4
- 3 contient : 4-4-4-4
- 4 contient : 6-5-6-5-6-5
- 5 contient : 4-4-3-4

V.4.1.2.i-Conclusion

Face à la contrainte fiabilité, nous nous entreprenons à choisir la configuration déterminée par l'algorithme. Cette configuration qui apparie coût et fiabilité est choisie de la sorte : $(C_i, F_i) = (14.087, 0.999945)$. Cette solution est admissible que si l'investissement est important donc ce résultat est d'autant plus plausible car la fonction qui lie coût et fiabilité est une fonction linéaire. La meilleure configuration que notre interface affiche est la suivante:

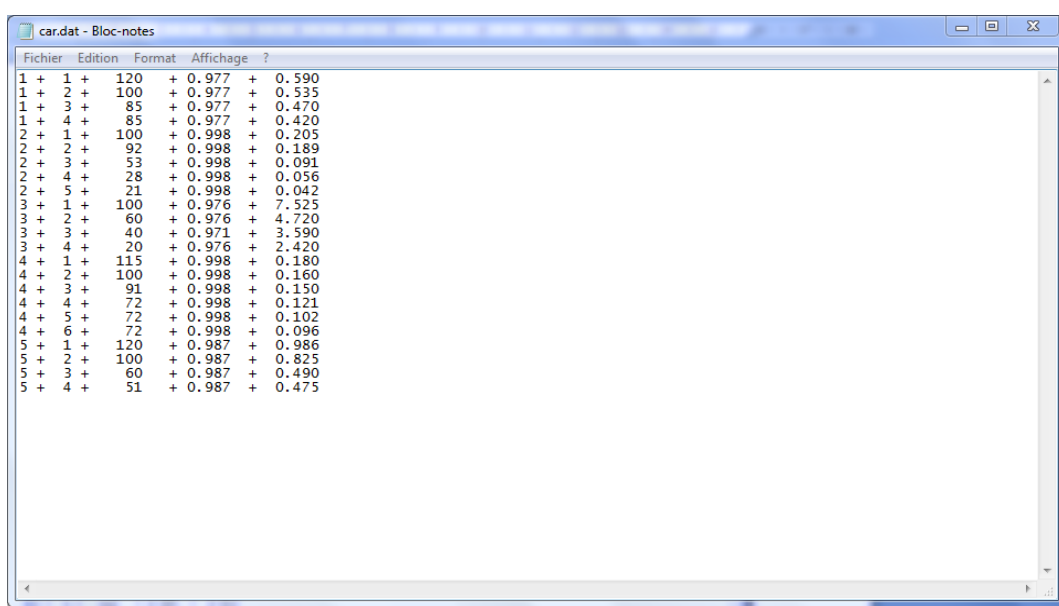
- 1 contient : 4-4-4-4
- 2 contient : 5-5-4-5-4
- 3 contient : 4-4-4-4
- 4 contient : 6-5-6-5-6-5
- 5 contient : 4-4-3-4

V.4.2-Cas d'un système avec fiabilité homogène

V.4.2.1-Variation de la fréquence à intensité constante

On procédera de la même manière que celle utilisée pour un système à caractéristique hétérogène, pour cela on garde les mêmes valeurs d'entrée et on fait varier l'intensité et la fréquence de l'écholocation, comme le montre le tableau 5.2

Tableau(5.2) caractéristique de charge fiabilité homogène



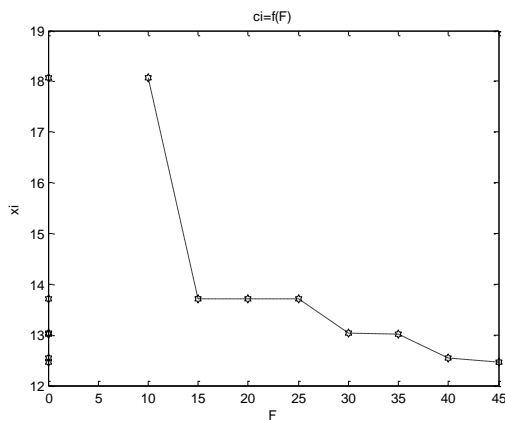
Category	Item	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4
1	1 + 1 +	120	+ 0.977	+ 0.590	
	1 + 2 +	100	+ 0.977	+ 0.535	
	1 + 3 +	85	+ 0.977	+ 0.470	
	1 + 4 +	85	+ 0.977	+ 0.420	
	2 + 1 +	100	+ 0.998	+ 0.205	
2	2 + 2 +	92	+ 0.998	+ 0.189	
	2 + 3 +	53	+ 0.998	+ 0.091	
	2 + 4 +	28	+ 0.998	+ 0.056	
	2 + 5 +	21	+ 0.998	+ 0.042	
	3 + 1 +	100	+ 0.976	+ 7.525	
3	3 + 2 +	60	+ 0.976	+ 4.720	
	3 + 3 +	40	+ 0.971	+ 3.590	
	3 + 4 +	20	+ 0.976	+ 2.420	
	4 + 1 +	115	+ 0.998	+ 0.180	
	4 + 2 +	100	+ 0.998	+ 0.160	
4	4 + 3 +	91	+ 0.998	+ 0.150	
	4 + 4 +	72	+ 0.998	+ 0.121	
	4 + 5 +	72	+ 0.998	+ 0.102	
	4 + 6 +	72	+ 0.998	+ 0.096	
	5 + 1 +	120	+ 0.987	+ 0.986	
5	5 + 2 +	100	+ 0.987	+ 0.825	
	5 + 3 +	60	+ 0.987	+ 0.490	
	5 + 4 +	51	+ 0.987	+ 0.475	

Pour différentes valeurs de l'intensité on recueille les résultats dans les tableaux suivants,

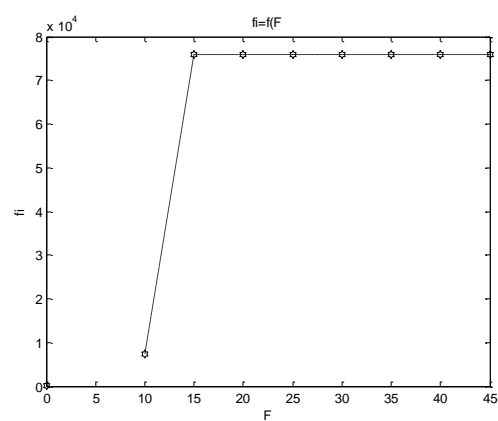
intensité = 0,10

Tableau 5.4.2 .1.1

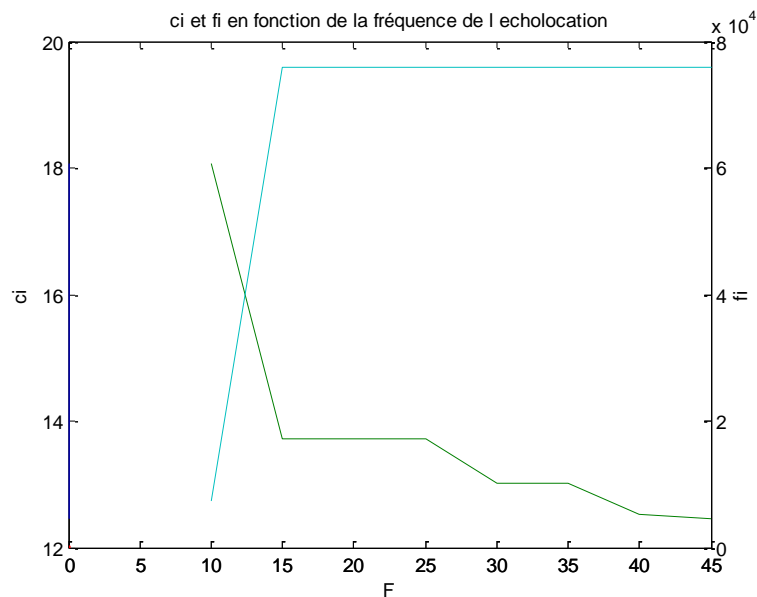
fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	18.070	0.974610	1 - contient : 4-2-3-4 2 - contient : 3-4-5-3-4 3 - contient : 4-2-3-4 4 - contient : 6-1-3-4-2-5 5 - contient : 3-4-3-4
0,15	13.708	0.975972	1 - contient : 1-2-4-3 2 - contient : 5-1-3-4-2 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 5-6-3-2-4-1 5 - contient : 1-4-3-2
0,20	13.708	0.975972	1 - contient : 2-4-1-3 2 - contient : 3-4-5-2-1 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 3-6-4-2-5-1 5 - contient : 1-3-4-2
0,25	13.708	0.975972	1 - contient : 2-1-4-3 2 - contient : 3-4-5-1-2 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 6-2-5-3-1-4 5 - contient : 2-4-1-3
0,30	13.027	0.975958	1 - contient : 4-2-3-4 2 - contient : 3-1-5-4-2 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 5-1-2-3-6-4 5 - contient : 4-3-2-4
0,35	13.006	0.975966	1 - contient : 3-1-4-2 2 - contient : 4-3-1-5-4 3 - contient : 5-1-5-5 4 - contient : 5-3-4-6-1-5 5 - contient : 2-4-3-4
0,40	12.536	0.975949	1 - contient : 4-1-4-3 2 - contient : 5-3-5-4-2 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 2-4-5-1-6-5 5 - contient : 4-3-4-3
0,45	12.459	0.975952	1 - contient : 4-3-2-4 2 - contient : 4-5-2-3-4 3 - contient : 5-1-5-5 4 - contient : 2-6-3-5-4-6 5 - contient : 4-3-4-3



Coût en fonction de la fréquence de l'écholocation
 $C_i = f(freq)$



Fiabilité en fonction de la fréquence de l'écholocation
 $F_i = f(freq)$



Représentation graphique du tableau 5.4.2.1.1

V.4.2.1.a-Interprétation des résultats :

Le point qui correspond à la solution optimale à savoir fiabilité maximale et coût minimal a pour valeurs (13.708, 0.975972) Ce point est déterminé par rapport à la fréquence (0,15) et répond aussi bien aux fréquences (0,20) et (0,25).

La configuration est donc optimale pour une structure dont les éléments sont choisis de

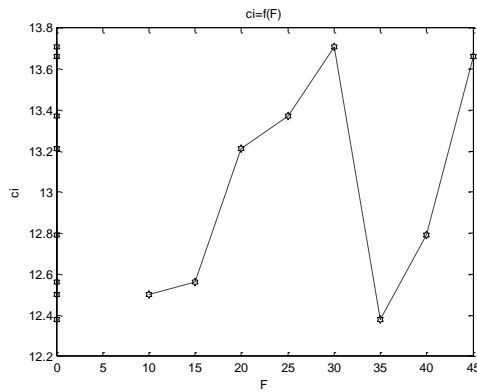
la manière suivante :

- 1- contient : 2-4-1-3
- 2- contient : 3-4-5-2-1
- 3- contient : 1-5-5-5
- 4- contient : 3-6-4-2-5-1
- 5- contient : 1-3-4-2

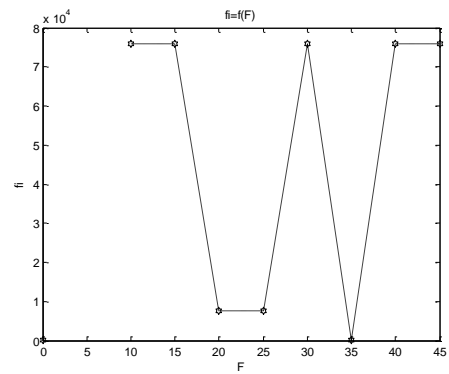
intensité = 0,15

Tableau 5.4.2.1.2

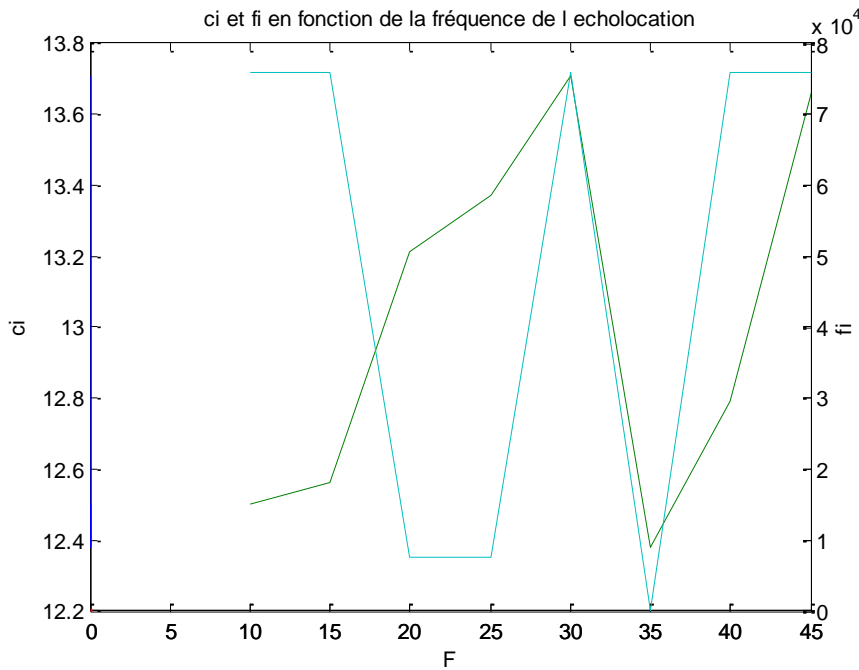
Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.501	0.975949	1 - contient : 3-1-4-4 2 - contient : 5-3-4-1-5 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 6-3-5-6-2-4 5 - contient : 4-4-3-4
0,15	12.563	0.975941	1 - contient : 4-3-4-3 2 - contient : 4-2-5-4-1 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 4-6-1-2-5-4 5 - contient : 4-3-4-3
0,20	13.212	0.975970	1 - contient : 3-4-2-1 2 - contient : 3-4-5-1-2 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 1-3-6-2-5-4 5 - contient : 3-4-3-2
0,25	13.373	0.975970	1 - contient : 2-3-1-4 2 - contient : 4-3-2-1-5 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 2-6-3-5-4-1 5 - contient : 3-4-1-3
0,30	13.708	0.975972	1 - contient : 2-1-4-3 2 - contient : 1-4-5-2-3 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 1-5-2-6-4-3 5 - contient : 4-2-1-3
0,35	12.381	0.974000	1 - contient : 2-4-3-4 2 - contient : 3-4-5-4-5 3 - contient : 5-1-5-5 4 - contient : 5-6-2-3-4-1 5 - contient : 4-4-3-4
0,40	12.792	0.975951	1 - contient : 2-3-4-4 2 - contient : 5-3-4-1-5 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 5-6-3-6-5-2 5 - contient : 3-4-3-2
0,45	13.660	0.975972	1 - contient : 2-1-4-3 2 - contient : 3-4-1-5-2 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 2-5-4-6-1-5 5 - contient : 2-1-4-3



Coût en fonction de la fréquence de l'écholocation
 $C_i = f(freq)$



Fiabilité en fonction de la fréquence de l'écholocation
 $F_i = f(freq)$



Représentation graphique du tableau 5.4.2.1.2

V.4.2.1.b-Interprétation des résultats :

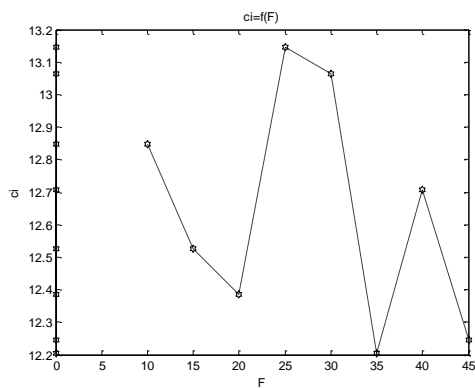
La solution optimale correspond au point de coordonnées (13.660, 0.975972). Elle est déterminée par rapport à la fréquence (0,45).La configuration est donc optimale pour une structure dont les éléments sont choisis de la manière suivante :

- 1- contient : 2-1-4-3
- 2- contient : 3-4-1-5-2
- 3- contient : 1-5-5-5
- 4- contient : 2-5-4-6-1-5
- 5- contient : 2-1-4-3

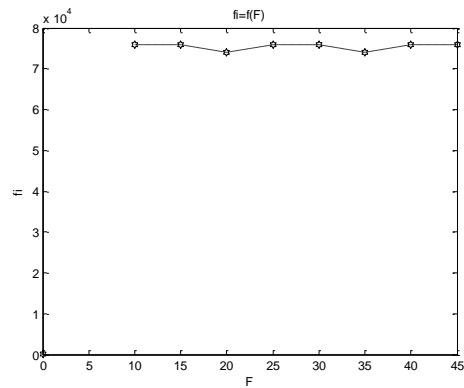
intensité = 0,20

Tableau 5.4.2.1.3

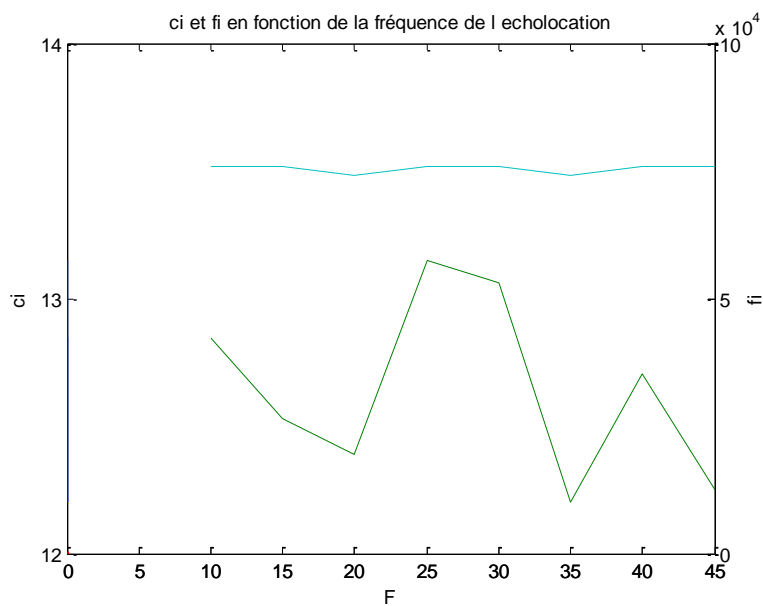
Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.847	0.975968	1 - contient : 1-4-3-2 2 - contient : 5-1-2-3-4 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 3-4-6-5-1-2 5 - contient : 4-4-3-4
0,15	12.527	0.975949	1 - contient : 1-4-3-4 2 - contient : 5-1-4-5-3 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 5-1-6-4-3-5 5 - contient : 4-4-3-4
0,20	12.387	0.974001	1 - contient : 1-4-4-3 2 - contient : 3-4-5-4-5 3 - contient : 5-5-1-5 4 - contient : 6-5-4-6-1-3 5 - contient : 3-4-3-4
0,25	13.147	0.975958	1 - contient : 3-1-4-3 2 - contient : 3-4-1-5-2 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 2-6-3-5-1-4 5 - contient : 3-2-4-3
0,30	13.064	0.975966	1 - contient : 1-4-3-2 2 - contient : 4-1-5-4-3 3 - contient : 5-5-1-5 4 - contient : 1-4-5-2-6-3 5 - contient : 4-3-2-4
0,35	12.203	0.973981	1 - contient : 4-4-3-4 2 - contient : 5-4-5-5-3 3 - contient : 5-5-1-5 4 - contient : 6-1-3-5-4-6 5 - contient : 3-4-4-3
0,40	12.707	0.975939	1 - contient : 4-4-3-4 2 - contient : 5-3-4-5-1 3 - contient : 1-5-5-5 4 - contient : 1-5-6-4-3-5 5 - contient : 4-4-2-3
0,45	12.246	0.975937	1 - contient : 4-4-4-4 2 - contient : 3-4-5-2-5 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 6-2-5-6-3-5 5 - contient : 4-4-3-4



Coût en fonction de la fréquence de l'écholocalion
 $C_i = f(freq)$



Fiabilité en fonction de la fréquence de l'écholocalion
 $F_i = f(freq)$



Représentation graphique du tableau 5.4.2.1.3

V.4.2.1.c-Interprétation des résultats :

La solution optimale pour une fiabilité maximale et un coût minimal correspond au point (12.847, 0.975968) déterminé par rapport à la fréquence (0,10).

La configuration est donc optimale pour une structure dont les éléments sont choisis comme suit :

:

- 1- contient : 1-4-3-2
- 2- contient : 5-1-2-3-4
- 3- contient : 5-5-5-1
- 4- contient : 3-4-6-5-1-2
- 5- contient : 4-4-3-4

V.4.2.1.d-Conclusion

Nous pouvons en déduire d'après la comparaison des graphes de $C_i = f(\text{freq})$ et $F_i = f(\text{freq})$, que la meilleure configuration donnée par l'algorithme correspond aux valeurs du couple (C_i, F_i) dont les coordonnées (13.660, 0.975972).

La configuration est donc comme suite :

- 1- contient : 2-1-4-3
- 2- contient : 3-4-1-5-2
- 3- contient : 1-5-5-5
- 4- contient : 2-5-4-6-1-5
- 5- contient : 2-1-4-3

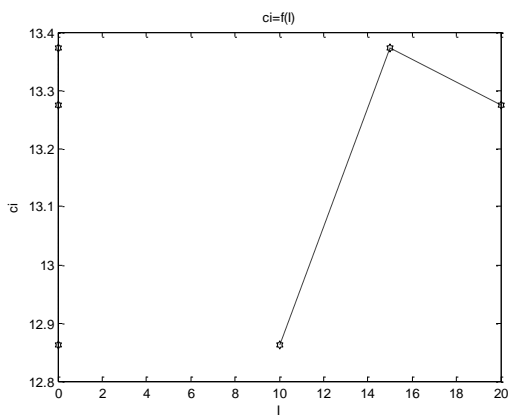
V.4.2.2-Variation de l'intensité à fréquence constante.

Dans cette partie pour chaque valeur de la variation de la fréquence, on fait varier l'intensité d'écholocation de $[0,10, \dots, 0,20]$. Idem les résultats seront collectés, interprétés, alors que l'algorithme aura pour mission de nous trouver la solution optimale pour notre système toujours sous la contrainte imposée, ce qui nous permettra par la suite de réaliser la configuration se à moindre coût et à fiabilité maximale.

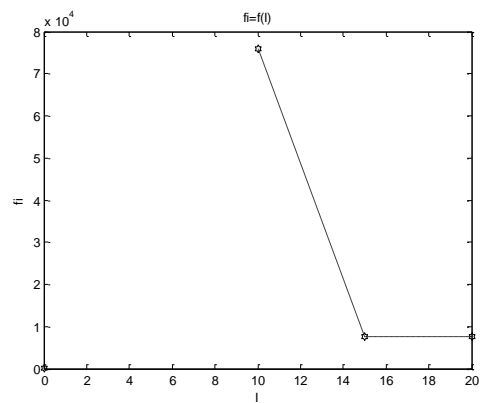
fréquence = 0.10

Tableau 5.4.2.2.1

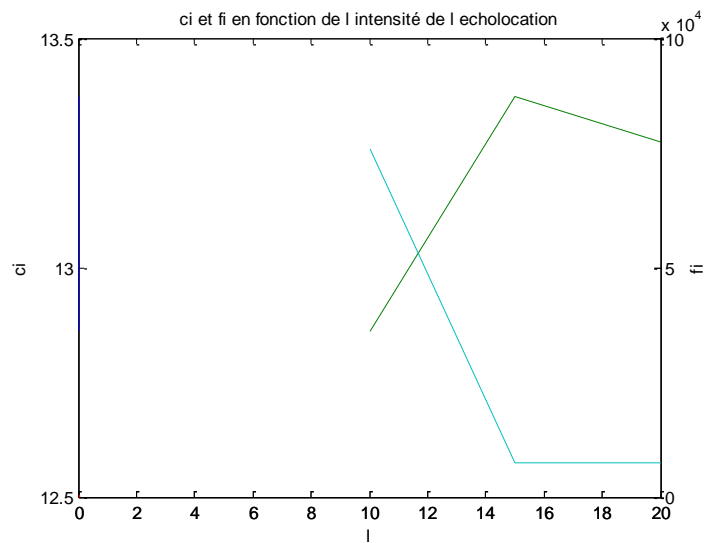
Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.862	0.975968	1 - contient : 1-4-3-2 2 - contient : 2-4-3-1-5 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 2 5 4 6 1 3 5 - contient : 3 4 3 4
0,15	13.373	0.975970	1 - contient : 1 4 2 3 2 - contient : 4 1 5 3 2 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 6 2 4 1 5 3 5 - contient : 3 4 1 3
0,20	13.274	0.975970	1 - contient : 1 3 4 2 2 - contient : 1 4 5 2 3 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 6 5 4 6 3 2 5 - contient : 4 1 4 3



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.2.2.1

V.4.2.2.a- Interprétation des résultats :

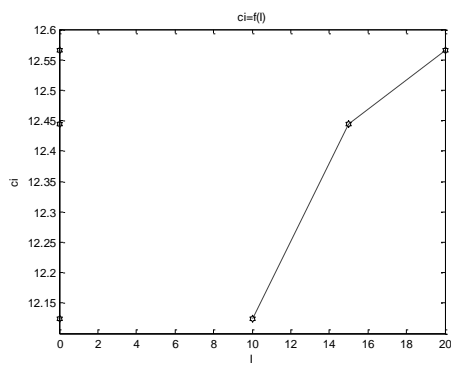
La meilleure solution visualisée est (12.274, 0.975970). Elle répond à deux points de l'intensité (0.15), dont la configuration du système est déterminé par :

- 1 contient : 1 3 4 2
- 2 contient : 1 4 5 2 3
- 3 contient : 5-5-5-1
- 4 contient : 6 5 4 6 3 2
- 5 contient : 4-1-4-3

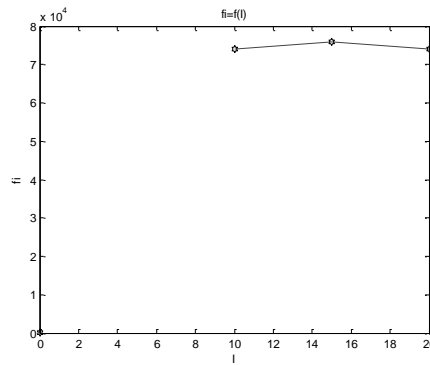
fréquence = 0.15

Tableau 5.4.2.2.2

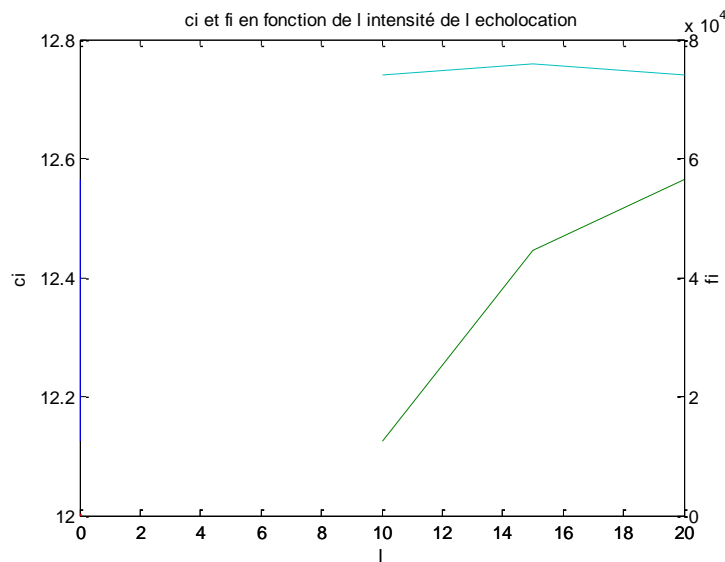
Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.124	0.973981	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 3 5 4 5 3 - contient : 5 5 1 5 4 - contient : 5 2 6 4 5 3 5 - contient : 4 4 4 3
0,15	12.445	0.975952	1 - contient : 4 2 3 4 2 - contient : 3 4 5 3 4 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 3 6 5 4 1 2 5 - contient : 4 3 4 3
0,20	12.566	0.974012	1 - contient : 1-4-3-2 2 - contient : 4 5 3 4 5 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 4 5 1 6 2 3 5 - contient : 4 3 4 3



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.2.2

V.4.2.2.b-Interprétation des résultats :

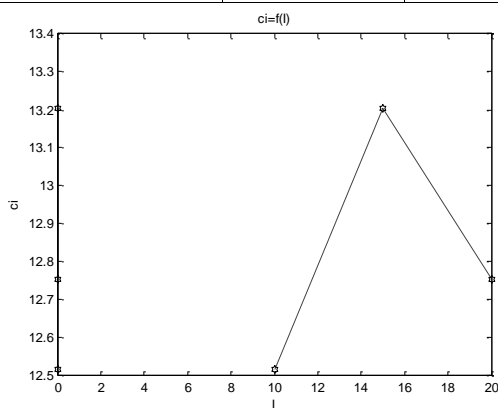
La meilleure solution est (12.445, 0.975952) au point d'intensité (0.15). La configuration du système est déterminée par

- 1 contient : 4 2 3 4
- 2 contient : 3 4 5 3 4
- 3 contient : 5-5-5-1
- 4 contient : 3 6 5 4 1 2
- 5 contient : 4 3 4 3

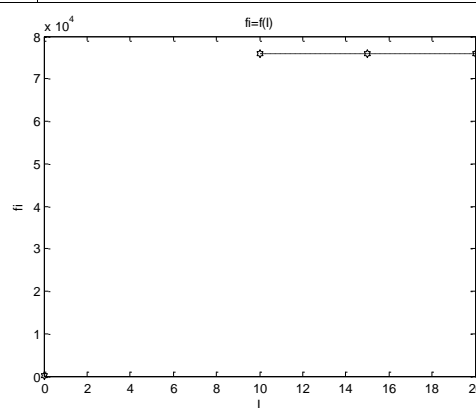
fréquence = 0.20

Tableau 5.4.2.2.3

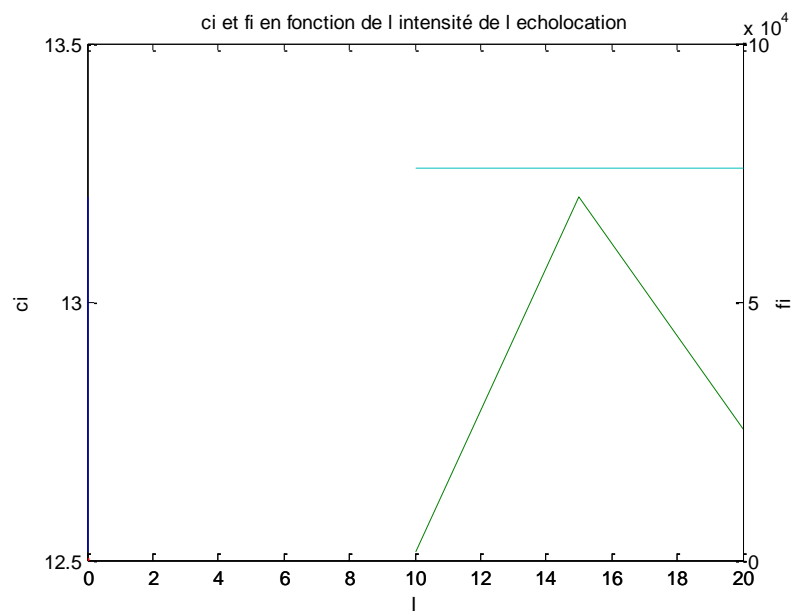
Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.516	0.975953	1 - contient : 2 3 4 4 2 - contient : 4 5 2 1 5 3 - contient : 5 5 1 5 4 - contient : 4 5 1 6 5 6 5 - contient : 4 4 4 3
0,15	13.204	0.975955	1 - contient : 3 2 4 3 2 - contient : 2 5 1 4 5 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 4 6 3 5 2 1 5 - contient : 3 1 4 3
0,20	12.753	0.975956	1 - contient : 3 4 1 3 2 - contient : 4 3 1 5 2 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 4 5 2 6 1 4 5 - contient : 4 4 3 4



Coût en fonction
de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction
de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.2.2.3

V.4.2.2.c-Interprétation des résultats :

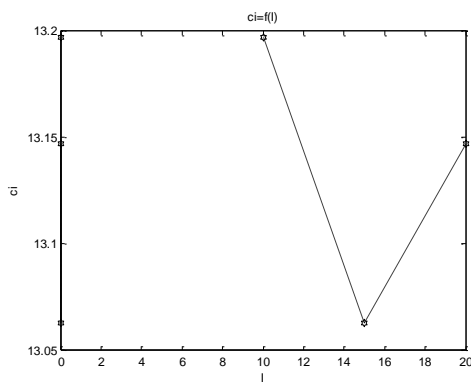
La meilleure solution visualisée est (12.753, 0.975956). Pour cette dernière la configuration du système est déterminée par :

- 1 contient : 3 4 1 3
- 2 contient : 4 3 1 5 2
- 3 contient : 5-5-5-1
- 4 contient : 4 5 2 6 1 4
- 5 contient : 4 4 3 4

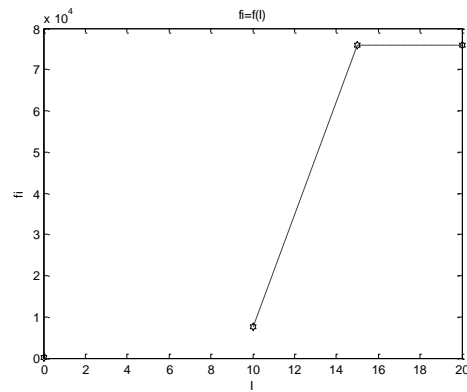
fréquence = 0.25

Tableau 5.4.2.2.4

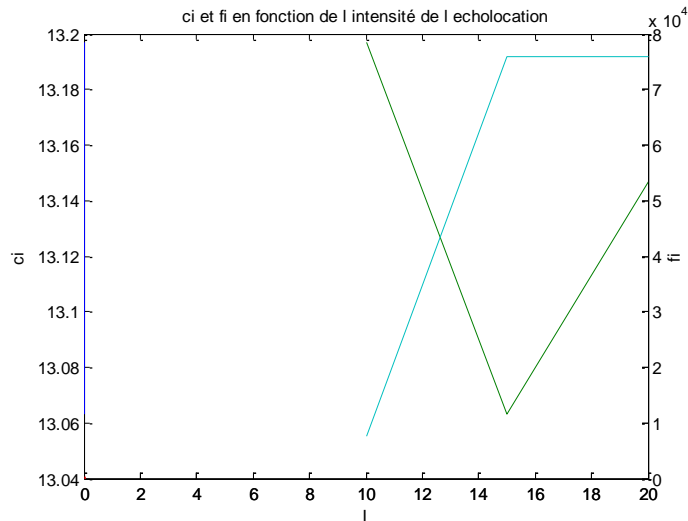
Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	13.197	0.975970	1 - contient : 1 2 3 4 2 - contient : 1 2 3 5 4 3 - contient : 1 5 5 5 4 - contient : 4 3 2 1 6 5 5 - contient : 4 3 4 2
0,15	13.063	0.975966	1 - contient : 2 1 4 3 2 - contient : 4 2 5 3 4 3 - contient : 5 1 5 5 4 - contient : 6 3 1 4 2 5 5 - contient : 3 2 4 3
0,20	13.147	0.975959	1 - contient : 3 1 4 3 2 - contient : 3 4 1 5 2 3 - contient : 1 5 5 5 4 - contient : 2 6 3 5 1 4 5 - contient : 3 2 4 3



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.2.2.4

V.4.2.2.d-Interprétation des résultats :

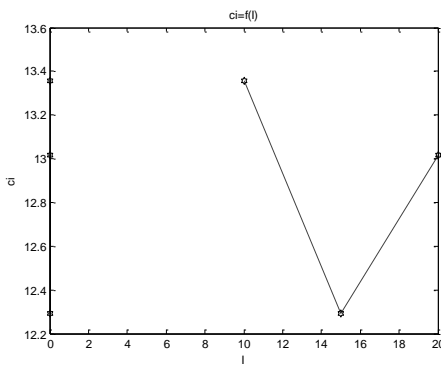
Des graphes tracés et des résultats trouvés, on a pu visualiser la meilleure solution de valeurs (13.197, 0.975970) et dont la configuration du système est déterminée par :

- 1 contient : 1 2 3 4
- 2 contient : 1 2 3 5 4
- 3 contient : 1 5 5 5
- 4 contient : 4 3 2 1 6 5
- 5 contient : 4 3 4 2

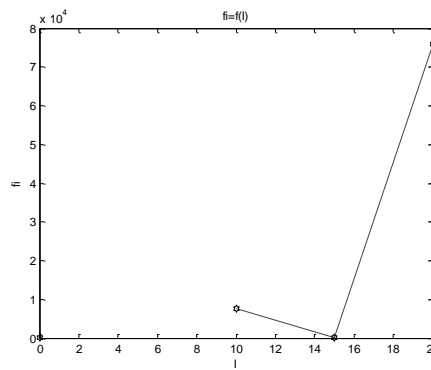
fréquence = 0.30

Tableau 5.4.2.2.5

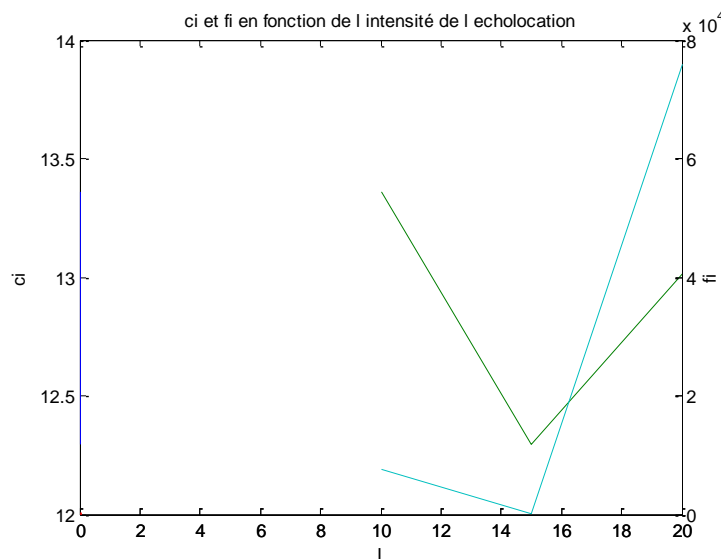
Intensité	Coût	fiabilité	Sub-système
0,10	13.358	0.975970	1 - contient : 2 4 1 3 2 - contient : 4 1 5 3 2 3 - contient : 5 1 5 5 4 - contient : 3 5 1 2 6 4 5 - contient : 4 3 4 1
0,15	12.294	0.974000	1 - contient : 1 4 3 4 2 - contient : 4 3 5 5 4 3 - contient : 5 1 5 5 4 - contient : 3 4 6 5 6 5 5 - contient : 4 3 4 4
0,20	13.016	0.975943	1 - contient : 3 4 4 3 2 - contient : 2 5 4 1 5 3 - contient : 5 5 1 5 4 - contient : 3 5 1 4 6 5 5 - contient : 4 1 3 4



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.2.2.5

V.4.2.2.e-Interprétation des résultats :

Pour ce cas, la solution optimale est (13,358, 0,975970), la configuration du système est

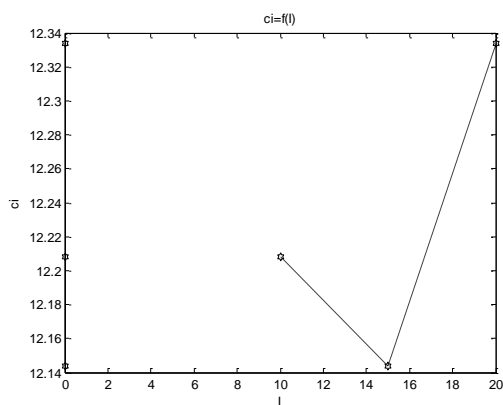
définie par :

- 1 contient : 2 4 1 3
- 2 contient : 4 1 5 3 2
- 3 contient : 5 1 5 5
- 4 contient : 3 5 1 2 6 4
- 5 contient : 4 3 4 1

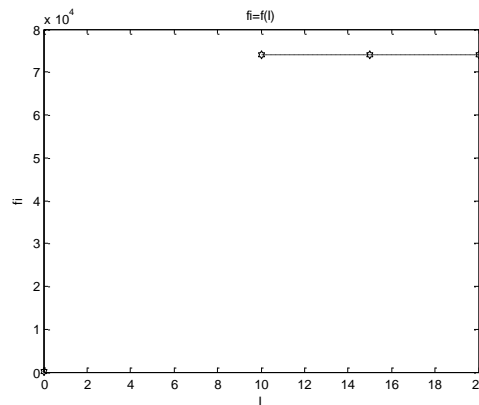
fréquence = 0.35

Tableau 5.4.2.2.6

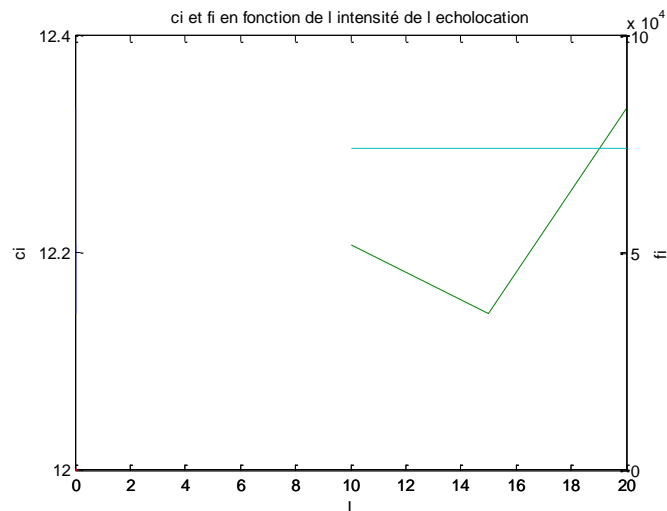
Intensité	Coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.208	0.973989	1 - contient : 4 4 3 4 2 - contient : 4 5 3 5 4 3 - contient : 5 1 5 5 4 - contient : 5 1 6 4 5 3 5 - contient : 3 4 4 4
0,15	12.144	0.973993	1 - contient : 4 4 4 4 2 - contient : 5 2 5 5 5 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 3 5 6 6 5 4 5 - contient : 4 4 3 4
0,20	12.334	0.973993	1 - contient : 3 2 4 4 2 - contient : 5 4 5 3 5 3 - contient : 5-5-5-1 4 - contient : 1 5 4 6 5 2 5 - contient : 3 4 4 3



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.2.2.6

V.4.2.2.f- Interprétation des résultats :

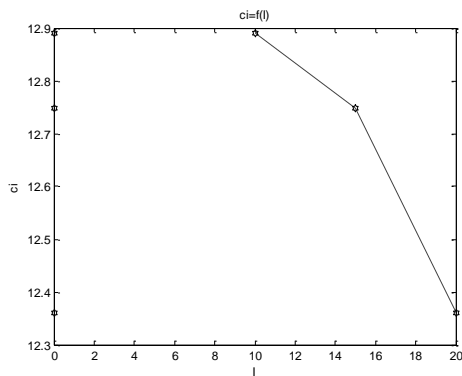
La meilleure solution visualisée est (12,144, 0,973993). Pour ce résultat, la configuration du système est déterminée par :

- 1 contient : 4 4 4 4
- 2 contient : 5 2 5 5 5
- 3 contient : 5-5-5-1
- 4 contient : 3 5 6 6 5 4
- 5 contient : 4 4 3 4

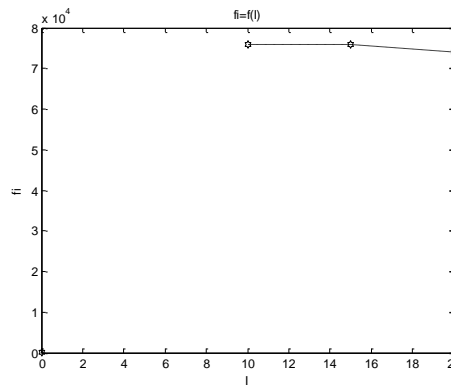
fréquence = 0.40

Tableau 5.4.2.2.7

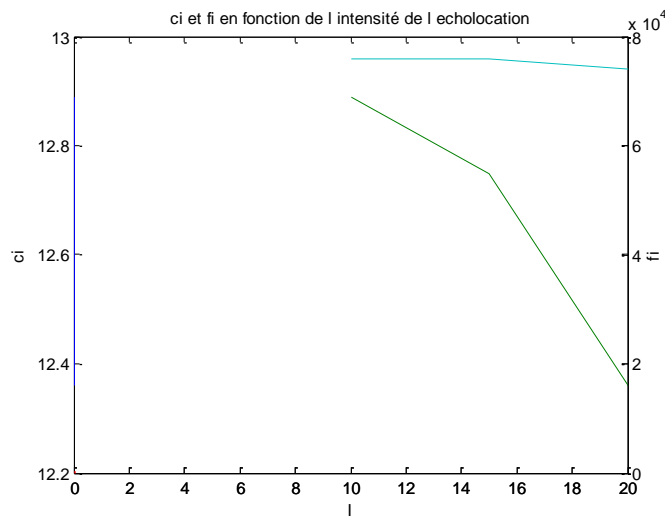
Intensité	Coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.89	0.975959	1 - contient : 4 1 3 4 2 - contient : 3 5 4 2 3 3 - contient : 5 5 1 5 4 - contient : 5 2 3 6 5 4 5 - contient : 4 3 2 4
0,15	12.748	0.975968	1 - contient : 4 3 1 2 2 - contient : 3 4 5 2 3 3 - contient : 5 1 5 5 4 - contient : 5 6 3 1 4 2 5 - contient : 4 3 4 3
0,20	12.36	0.974004	1 - contient : 4 1 2 4 2 - contient : 5 4 5 3 5 3 - contient : 5 1 5 5 4 - contient : 4 5 6 6 5 1 5 - contient : 4 4 4 4



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.2.2.7

V.4.2.2.g-Interprétation des résultats :

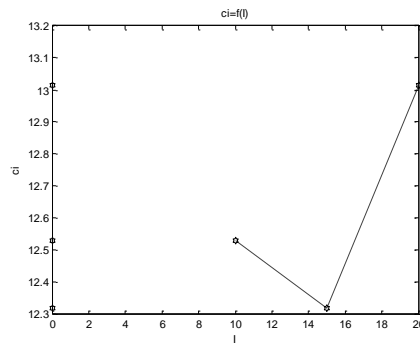
Le meilleur résultat est (12,748, 0,975968). La configuration du système est définie par :

- 1 contient : 4 3 1 2
- 2 contient : 3 4 5 2 3
- 3 contient : 5 1 5 5
- 4 contient : 5 6 3 1 4 2
- 5 contient : 4 3 4 3

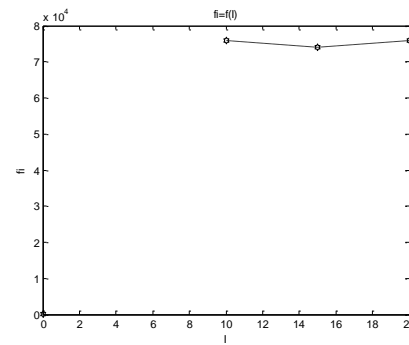
fréquence = 0.45

Tableau 5.4.2.2.8

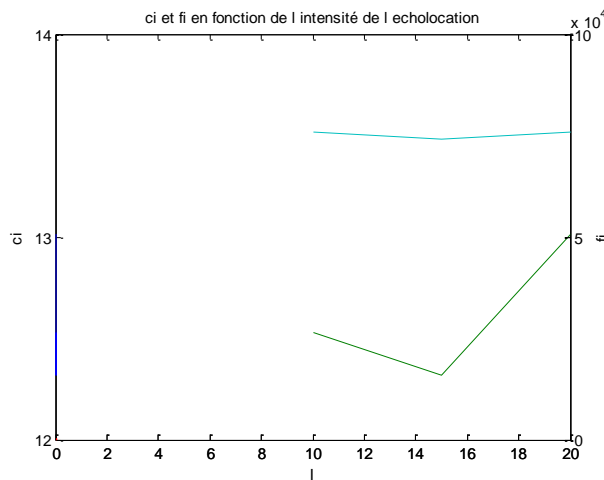
Intensité	Coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.529	0.975949	1 - contient : 4 4 3 2 2 - contient : 2 5 3 5 4 3 - contient : 5 5 1 5 4 - contient : 2 3 5 4 1 6 5 - contient : 4 3 4 3
0,15	12.319	0.973993	1 - contient : 4 4 2 3 2 - contient : 5 4 5 3 5 3 - contient : 5 1 5 5 4 - contient : 5 6 1 4 5 2 5 - contient : 4 3 4 4
0,20	13.014	0.975962	1 - contient : 4 3 1 2 2 - contient : 2 5 4 3 5 3 - contient : 5 5 1 5 4 - contient : 2 4 5 6 3 2 5 - contient : 4 2 3 4



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$



Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique du tableau 5.4.2.2.8

V.4.2.2.h-Interprétation des résultats :

Comparativement à l'intersection des graphes C_i et F_i , on a visualisé le meilleur point de coordonnées (13,014, 0.975962) dont la configuration du système est définie par :

1 contient : 4 3 1 2
2 contient : 2 5 4 3 5
3 contient : 5 5 1 5
4 contient : 2 4 5 6 3 2
5 contient : 4 2 3 4

V.4.2.2.i-Conclusion

Face à la contrainte imposée, nous sommes contraints à choisir la configuration déterminée par l'algorithme. Cette configuration qui assemble coût et fiabilité et où la fiabilité est imposée et égale à (0.97), nous oblige à choisir dans notre cas le couple $(C_i, F_i) = (12.274, 0.975970)$.

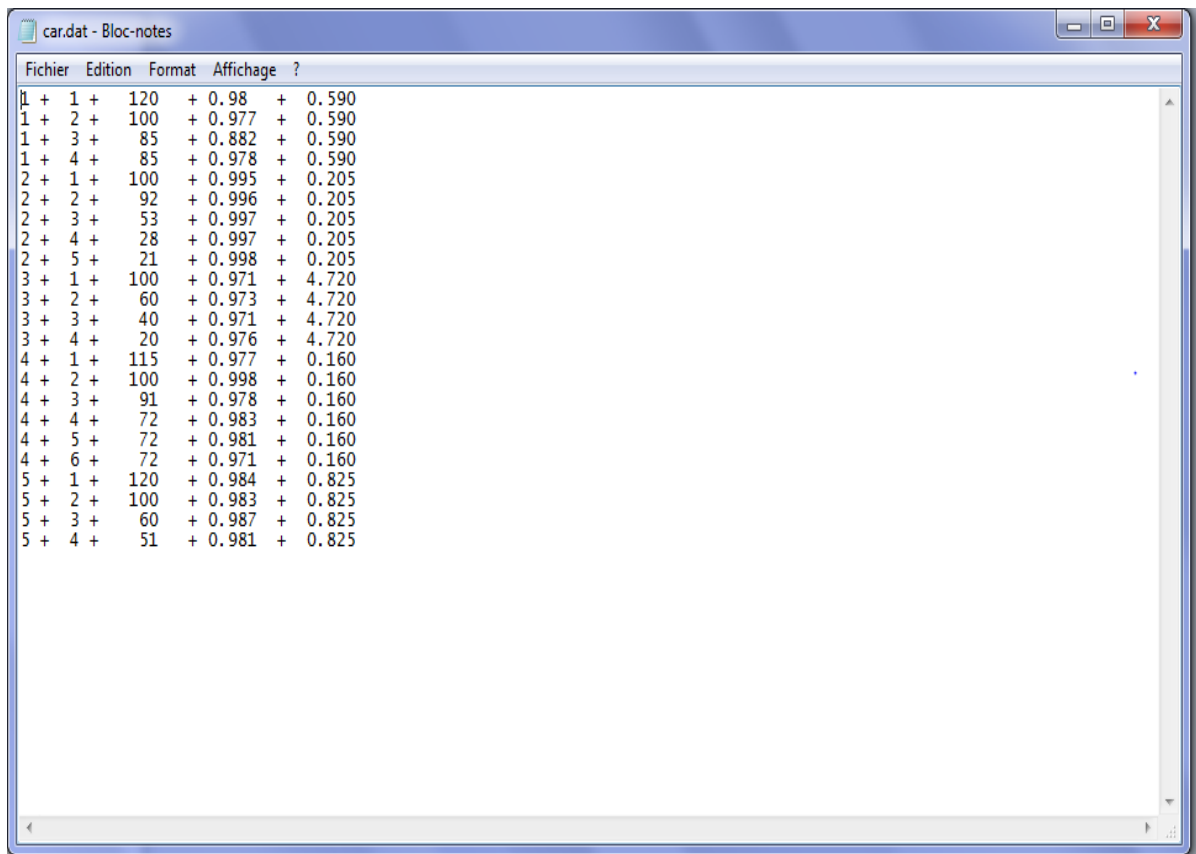
De là, la meilleure configuration que notre interface affiche est la suivante:

1 contient : 1 3 4 2
2 contient : 1 4 5 2 3
3 contient : 5-5-5-1
4 contient : 6 5 4 6 3 2
5 contient : 4-1-4-3

V.4.3-Cas d'un système avec coût homogène

V.4.3.1-Variation de la fréquence à intensité constante.

Dans cette partie pour chaque valeur prise de la variation de l'intensité on fait varier la fréquence et ce pour chaque simulation. Les résultats seront portés dans des tableaux, puis interprétés. L'algorithme à son tour cherchera la solution optimale pour en réaliser un système à configuration de coût minimal et de fiabilité maximale.



Fichier	Edition	Format	Affichage	?
1	+ 1 +	120	+ 0.98	+ 0.590
1	+ 2 +	100	+ 0.977	+ 0.590
1	+ 3 +	85	+ 0.882	+ 0.590
1	+ 4 +	85	+ 0.978	+ 0.590
2	+ 1 +	100	+ 0.995	+ 0.205
2	+ 2 +	92	+ 0.996	+ 0.205
2	+ 3 +	53	+ 0.997	+ 0.205
2	+ 4 +	28	+ 0.997	+ 0.205
2	+ 5 +	21	+ 0.998	+ 0.205
3	+ 1 +	100	+ 0.971	+ 4.720
3	+ 2 +	60	+ 0.973	+ 4.720
3	+ 3 +	40	+ 0.971	+ 4.720
3	+ 4 +	20	+ 0.976	+ 4.720
4	+ 1 +	115	+ 0.977	+ 0.160
4	+ 2 +	100	+ 0.998	+ 0.160
4	+ 3 +	91	+ 0.978	+ 0.160
4	+ 4 +	72	+ 0.983	+ 0.160
4	+ 5 +	72	+ 0.981	+ 0.160
4	+ 6 +	72	+ 0.971	+ 0.160
5	+ 1 +	120	+ 0.984	+ 0.825
5	+ 2 +	100	+ 0.983	+ 0.825
5	+ 3 +	60	+ 0.987	+ 0.825
5	+ 4 +	51	+ 0.981	+ 0.825

Tableau (5.3) caractéristique de charge coût homogène

intensité= 0.10

Tableau 5.4.3.1.1

fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,15	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,20	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,25	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,30	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,35	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,40	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,45	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1

intensité= 0.15

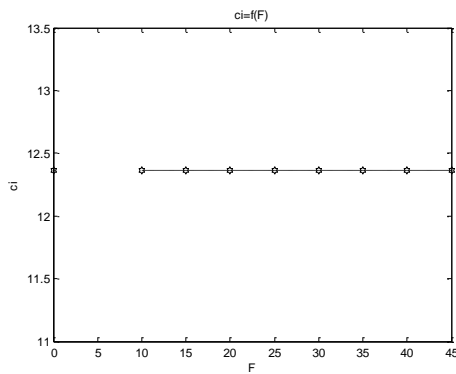
Tableau 5.4.3.1.2

Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,15	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,20	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,25	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,30	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,35	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,40	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,45	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1

intensité= 0.20

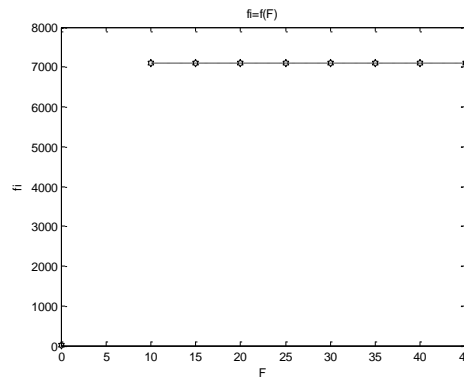
Tableau 5.4.3.1.3

Fréquence	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,15	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,20	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,25	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,30	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,35	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,40	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,45	12.365	0.970930	1 -contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1



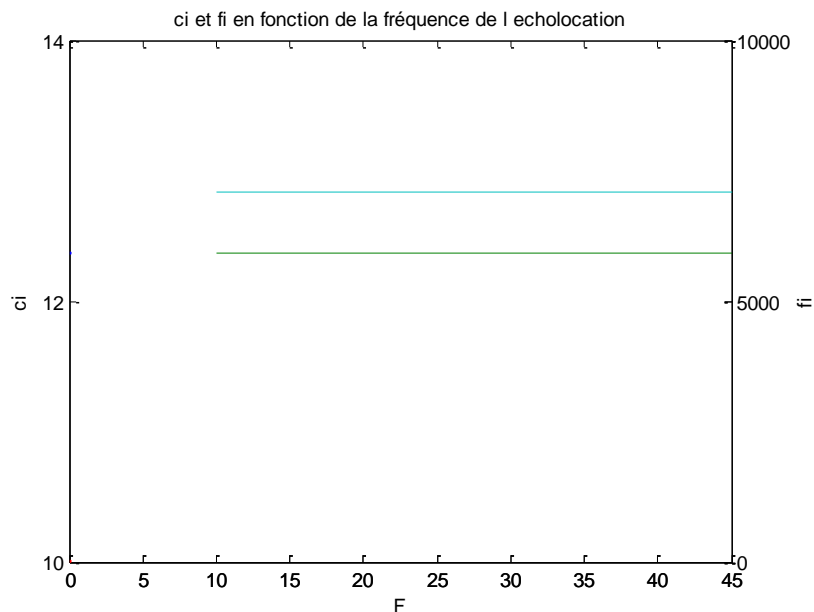
Coût en fonction de la fréquence de l'écholocation

$$C_i = f(freq)$$



Fiabilité en fonction de la fréquence de l'écholocation

$$F_i = f(freq)$$



Représentation graphique des tableaux 5.4.3.1.1, 5.4.3.1.2, 5.4.3.1.3

V.4.3.1.a- Conclusion

Dans cette implémentation on constate comme le montre les graphes C_i et F_i ainsi que l'intersection de ces derniers qu'il y a une image figée pour tout le système, en effet on retrouve les mêmes résultats, la même configuration, les mêmes éléments pour le sub-système, et ce quel que soit les valeurs de l'intensité, pour les différentes variations des valeurs de fréquence. Pour chaque simulation on a toujours $:(C_i, F_i) = (12.365, 0.970930)$.

A travers ces résultats, on constate que pour un système à caractère homogène où le coût des composants de la structure est invariant, l’algorithme va prendre pour chaque élément la meilleure fiabilité et le coût moyens.

La meilleur configuration est donc la même qui est :

- 1 -contient : 4-3-2-1
- 2 -contient : 5-4-3-2-1
- 3 -contient : 1-5-5-5
- 4 -contient : 6-5-4-3-2-1
- 5 -contient : 4-3-2-1

V.4.3.2-Variation de l’intensité à fréquence constante.

A chaque valeur de la variation de fréquence [0,10,... ,0.45], on fait varier la valeur de l’intensité de [0,10,..., 0,20]. De même, les résultats sont rassemblés dans des tableaux et représentés graphiquement. L’algorithme cherchera la meilleure solution pour notre système pour ainsi réaliser la configuration qui représentera le sub-système de moindre coût et de fiabilité maximale.

fréquence = 0.10

Tableau 5.4.3.2.1

Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,15	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,20	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1

fréquence = 0.15

Tableau 5.4.3.2.2

Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,15	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,20	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1

fréquence = 0.20

Tableau 5.4.3.2.3

Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,15	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,20	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1

fréquence = 0.25

Tableau 5.4.3.2.4

Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,15	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,20	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1

fréquence = 0.30

Tableau 5.4.3.2.5

Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,15	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,20	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1

fréquence = 0.35

Tableau 5.4.3.2.6

Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,15	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,20	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1

fréquence = 0.40

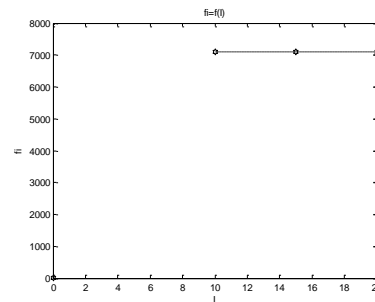
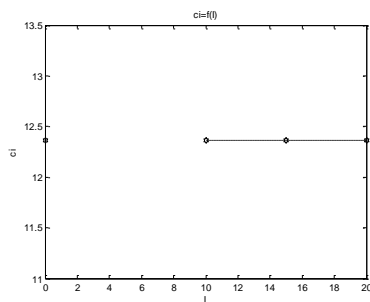
Tableau 5.4.3.2.7

Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,15	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,20	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1

fréquence = 0.45

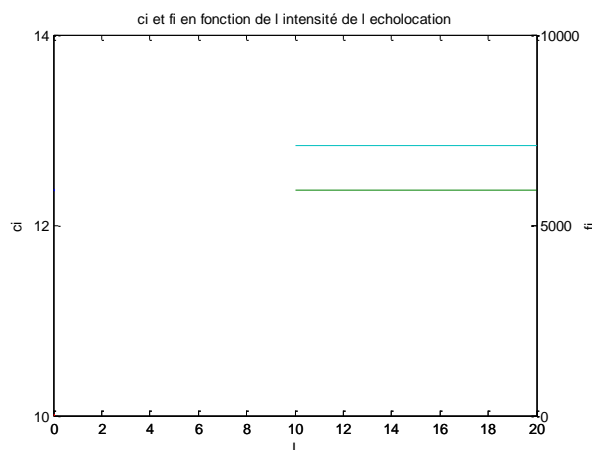
Tableau 5.4.3.2.8

Intensité	coût	fiabilité	Sub-système
0,10	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,15	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1
0,20	12.365	0.970930	1- contient : 4-3-2-1 2 -contient : 5-4-3-2-1 3 -contient : 1-5-5-5 4 -contient : 6-5-4-3-2-1 5 -contient : 4-3-2-1



Coût en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $C_i = f(i)$

Fiabilité en fonction de l'intensité de l'écholocation
 $F_i = f(i)$



Représentation graphique des tableaux(5.4.3.2.1, 5.4.3.2.2, 5.4.3.2.3, 5.4.3.2.4, 5.4.3.2.5, 5.4.3.2.6, 5.4.3.2.7, 5.4.3.2.8)

V.4.3.2.a- Conclusion

Les résultats de cette implémentation sont semblables à la précédente, en effet on retrouve toujours la même valeur de $(C_i, F_i) = (12.365, 0.970930)$ pour chaque simulation.

La meilleure configuration reste la même que précédemment.

- 1- contient : 4-3-2-1
- 2 -contient : 5-4-3-2-1
- 3 -contient : 1-5-5-5
- 4 -contient : 6-5-4-3-2-1
- 5 -contient : 4-3-2-1

Bibliographies

- [1] R. Billinton et R. N. Allan, "Power-System Reliability in Perspective", IEE Journal on Electronics and Power, Vol. 30, No. 3, pp. 231-236, Mars. 1984.
- [2] R. Billinton et R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", second edition, Plenum Press, New York, 1996.
- [3] Abdelkrim Chaker, Abdelkader Benaissa, Abdelkader Zeblah, Aalaedine Belafdal
Optimal Allocation of the Electrical Structure Design using the Bats Approach R. 96 NR
6/2020
- [4] Benaissa A, Zeblah A, Belafdal A and Chaker, An Efficient Bat Algorithm for Series-parallel Power System Optimization, Benaissa et al., J Electr Electron Syst 2016, 5:3

Conclusion

Générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale et Perspectives

Les chercheurs se heurtent quotidiennement à des problèmes technologiques très complexes qui surgissent dans des domaines très divers, tels que dans les systèmes de production d'électricité, mécanique, etc. La plupart de ces problèmes peuvent être formulés comme des problèmes d'optimisation. L'utilisation des méta-heuristiques forment un ensemble d'algorithmes utilisés pour résoudre ces problèmes. En effet, l'utilisation des méta-heuristiques ont connu un succès particulier et un intérêt croissant ces dernières années grâce à l'évolution des ordinateurs (notamment en électrotechnique et en électronique) [1],[2].

Le travail présenté dans cette thèse est d'optimiser la conception d'un système électro-énergétique multi-états parallèles-séries sur le plan de la fiabilité et coût. La méta-heuristique utilisée pour cette conception est l'algorithme des chauves-souris [3].

Comme technique d'amélioration de la performance, sous certaine contrainte, le système étudié utilise la redondance des éléments qui constituent la structure. La méthode utilisée dans cette thèse est une méthode classique qui traite toutes les variantes des caractéristiques des composants pour que la fiabilité soit la plus élevée possible et le coût soit minimal. Les variantes sont comme suit :

Quand les caractéristiques du système électro-énergétique sont hétérogènes (c.à.d. la gamme de produits est de différents niveaux de performance, de coût et de fiabilité). La méta-heuristique après redondance des éléments choisit au préalable de combiner les différents niveaux et par une itération elle va miser sur chaque élément pour en sortir la meilleure configuration. Pour ce cas, on a retenu comme meilleure solution le couple (C_i, F_i) de valeurs (14,672-0,971621) de fiabilité maximale mais nécessite un investissement important.

Dans le même domaine et pour une variation de l'intensité à fréquence constante de

CONCLUSION GENERALE

l'écholocation,, le logiciel nous à permis de concevoir une meilleure configuration pour le couple (C_i, F_i) de valeurs $(12,604, 0,970963)$.

Pour des caractéristiques à performance homogène, une nette apparence apparaît surtout pour la fiabilité comme on le constate au graphe $f(F)$. Le meilleur couple (C_i, F_i) est $(14.058, 0.999945)$, l'investissement est important par contre la fiabilité tend vers l'unité, c'est une bonne chose mais il faudrait que la performance de tous les composants de chaque niveaux soit identique. A intensité variable la meilleure configuration est donnée par le couple (C_i, F_i) de valeurs $(14.087, 0.999945)$, ici aussi l'investissement est important et la fiabilité est proche de l'unité.

Pour des caractéristiques dont la fiabilité est homogène, la simulation à $f(F)$ le logiciel a conçu une structure fiable avec des éléments de différents niveaux, de coût et de performance, c'est la raison pour laquelle le couple (C_i, F_i) est modéré et par conséquent le coût $(13.660, 0.975972)$.

Pour $f(I)$ dont la fiabilité est homogène, la meilleure configuration est donnée par le couple $(C_i, F_i) = (12.274, 0.975970)$. Dans ce cas notre objectif est atteint, puisque le coût est relativement minimal et la fiabilité est maximale par rapport aux autres simulations.

Quand le coût est homogène, toutes les données convergent vers une seule configuration, qui ne tient compte ni de la variation de fréquence ni de la variation de l'intensité, ce couple est égal $(12.365, 0.970930)$.

Pour en conclure, on s'aperçoit à travers ce modeste travail qu'il faut investir d'avantage afin d'obtenir la bonne configuration avec une fiabilité maximale et donc la structure idéale.

CONCLUSION GENERALE

Comme perspectives, nous suggérons des travaux dans l'application de l'algorithme des chauves-souris pour la résolution des problèmes d'optimisation multi-objectif et le problème de la reconfiguration des réseaux électriques. Une autre idée serait celle de résoudre le problème de la redondance pour un système multi-états série-parallèle homogènes et hétérogène et de se détourner sur d'autres domaines comme la maintenance préventive.

CONCLUSION GENERALE

Tableau 5.5 récapitulatif des différents stades de l'implémentation avec la meilleure configuration

CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS	VARIATION	MEILLEUR COUT ET MEILLEUR FIABILITE
Hétérogène	Fréquence	(14,672- 0,971621) (12,131, 0,970314 (13,990, 0,970990)
Hétérogène	Intensité	(12,355, 0,970846) (12,252, 0,970910) (12,604, 0,970963) (12,604, 0,970963) (12,484, 0,970869) (12,046, 0,970641) (12,425, 0,970628) (12,172, 0,970804)
Homogène p=ct	Fréquence	(14.058, 0.999945) (14.058, 0.999945) (14.087, 0.999945)
Homogène p=ct	Intensité	(11.687, 0.998299) (12.131, 0.998298) (14.087, 0.999945) (14.087, 0.999945) (14.087, 0.998299) (14.093, 0.999945) (14.107, 0.999945) (14.107, 0.999945)
Homogène F=ct	Fréquence	(13.708, 0.975972) (13.660, 0.975972) (12.847, 0.975968)
Homogène F=ct	Intensité	(12.274, 0.975970), (12.445, 0.975952) (12.753, 0.975956) (13.197, 0.975970) (13,358, 0,975970) (12,144, 0,973993) (12,748, 0,975968) (13,014, 0,975962)
Homogène cout=ct	Fréquence	(12.365, 0.970930)
Homogène cout=ct	Intensité	(12.365, 0.970930).

CONCLUSION GENERALE

Bibliographie

- [1] Abdelkrim Chaker, Abdelkader Benaissa, Aabelkader Zeblah, Aalaedine Belafdhal
Optimal Allocation of the Electrical Structure Design using the Bats Approach R. 96 NR
6/2020
- [2] Benaissa A, Zeblah A, Belafdal A and Chaker, An Efficient Bat Algorithm for Series-
parallel Power System Optimization, Benaissa et al., J Electr Electron Syst 2016, 5:3
- [3] Chaker A, Benaissa A, Zeblah A, Belafdal A (2018). Bat Algorithm Used for a
Network Optimization. Sch J Appl Sci Res. Vol: 1, Issu: 4 (49 - 54).