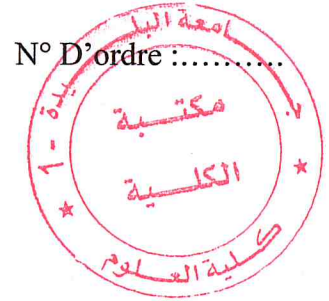


République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Université Saad Dahlab Blida**



Faculté des sciences

**Département d'informatique**

Mémoire Présenté par :

Arab Lila      Cheboub Hayet

**En vue d'obtenir le diplôme de master**

Domaine : Mathématique et informatique

Filière : Informatique

Spécialité : Informatique

Option : Ingénierie de logiciel

**Sujet : conception d'un système d'aide à la décision pour  
l'amélioration du réseau MSAN d'Algérie télécom**

**Soutenu le :**

M : F.Boumahdi

Président

M : S.Aroussi

Examineur

M : N.Toubaline

Examineur

Mme : N.Rezoug

Promotrice

Mr : A.Rahmani

Encadreur

**Promotion**  
2014 / 2015

# *Remerciement*

*Tout d'abord, nous tenons rendre grâce à dieu tout puissant pour nous avoir donné le courage et la détermination nécessaire pour finaliser ce travail et le mener à terme.*

*On ne saurait ne pas remercier encore une fois nos parents respectifs qui, par leur amour et leur affection nous ont permis d'arriver là où nous somme aujourd'hui.*

*Nous remercions notre promotrice Mme REZOUG pour son aide précieux, ces conseils avisés et ces idées riches.*

*Nous tenons à remercier aussi MR RAHMANI qui a endossé son rôle d'encadreur de la meilleure façon qui soit. Nous retiendrons sa patience, sa disponibilité et sa compréhensibilité.*

*Nous tenons un grand et un spécial remerciement aux agents d'ALGERIE TELECOM pour leur sympathie, leur aide et leurs encouragements.*

*Nous remercions chaque membre du jury pour nous avoir fait l'honneur de juger notre travail.*

*Nous sommes reconnaissantes à Tous nos enseignants qui nous ont facilité la compréhension et la maitrise. Spécialement "Mr HADJ YAHIA ",*

*"Mme ABED".*

*Nous tenons à remercier également et énormément nos amis ainsi toute personne qui nous a aidé de près ou de loin.*

*Merci.*

*Melle Arab Lila & Melle Cheboub Hayet*



## Résumé

Le domaine d'optimisation combinatoire est largement utilisé dans divers problèmes, on présente dans ce travail une problématique qui concerne le domaine d'optimisation, et qui fait appel à trois axes de recherche :

- Le plus court chemin dans un graphe
- La tournée minimale dans un graphe
- L'aide à la décision multicritère

Le problème qu'on aborde est l'optimisation du réseau de transmission de signal numérique. Afin de retrouver les meilleures liaisons (ou chemins) entre les équipements du réseau en fonction des critères indiqués par l'organisme d'accueil (la distance, les dépenses et le cambrement), on a utilisé les méthodes du plus court chemin dans un graphe ainsi que celles de la tournée minimale dans un graphe, leurs résultats (les chemins optimaux) sont alors filtrés, évalués et classés en utilisant les méthodes d'aide à la décision pour permettre une meilleure interprétation et analyse au décideur.

Nous avons validé notre solution par un ensemble de tests qui ont montré qu'ils ont amélioré considérablement les performances du réseau de télécommunication.

## Summary

The field of combinatorial optimization is widely used in various problems, we present in this work an issue that relates to the field of optimization, which uses three research areas:

- The shortest path in a graph
- The minimum tour in a graph
- Support for multi-criteria decision

The problem addressed is that the optimization of the digital signal transmission network. In order to find the best connections (or paths) between network devices based on criteria set by the host organization (the distance, expenses and jibbing), the methods of the shortest path was used in a graph as well as the minimum tour in a graph, the results (the optimal paths) are then filtered, evaluated and ranked using the methods of decision support to allow better interpretation and analysis to the decision maker.

We have validated our solution by a set of tests which have shown that they have significantly improved the performance of the telecommunications network.

## ملخص

التحسين التوافقي يستخدم على نطاق واسع في مجالات كثيرة و مشاكل مختلفة، نقدم في هذا

العمل القضية التي تتعلق بالتحسين، والذي يستخدم ثلاثة مجالات بحث:

- أقصر مسار في الرسم البياني

- أقصر جولة في رسم بياني

- تقديم الدعم لقرار حسب معايير متعددة

المشكلة التي تتم معالجتها هنا هي تحسين أداء شبكة نقل الإشارات الرقمية. من أجل العثور على

أفضل وصلات (أو مسارات) بين أجهزة الشبكة بناء على المعايير التي وضعتها المنظمة المضيفة

(المسافة والتكاليف والازدحام)، استخدمنا أساليب أقصر طريق في الرسم البياني وكذلك أقصر جولة في

الرسم البياني، ثم يتم تصفية النتائج (المسارات المثلى) وتقييمها باستخدام أساليب دعم اتخاذ القرار للسماح

لصانع القرار بالاستفادة من تفسير و تحليل أفضل.

لقد قمنا بالتحقق من صحة حلولنا بمجموعة من الاختبارات التي أظهرت أنها ساهمت كثيرا في

تحسين أداء شبكة الاتصالات السلكية واللاسلكية.



# Sommaire

Introduction générale .....	5
Problématique et objectifs.....	6
<b>Chapitre 1 : Etat de l'art.</b>	
I.1. Introduction .....	7
I.2.Les méthodes d'aide a la décision.....	7
I.2.1.Définitions .....	7
I.2.1.1. Décision.....	7
I.2.1.2. Décideur.....	7
I.2.1.3. l'aide à la décision.....	7
I.2.1.4. Les phases de la décision.....	8
I.2.2.Typologie des Systèmes d'aide à la décision.....	9
I.2.2.1.Classement en fonction du niveau de décision.....	10
I.2.3.Les méthodes d'aide à la décision multicritère.....	11
I.2.3.1.Définition.....	11
I.2.3.2.des méthodes d'aide à la décision multicritère.....	11
I.2.3.3.Présentation de la méthode AHP.....	12
I.2.3.4.La methode : Preference Ranking Organization (PROMETHEE).....	15
I.2.3.5.La méthode ELECTRE.....	16
I.2.3.6.comparaison entre les méthodes d'aide à la décision multicritère.....	16
I.2.3.7.Discussion .....	16
I.3.Problème du plus court chemin.....	17
I.3.1.Définitions.....	17
I.3.2.Les problèmes de chemins optimaux.....	18
I.3.3.Algorithme de Dijkstra.....	20
I.3.4.L'algorithme de Bellman-Ford.....	21
I.3.5.L'algorithme de Floyd-Warshall.....	22
I.3.6.Méthodes approchée.....	23



I.3.6.1.L'algorithme de A* .....	24
I.3.6.2.L'algorithme génétique.....	25
I.3.7. Comparaison entre les méthodes du plus court chemin.....	26
I.3.8.Discussion .....	25
I.4.Problème du voyageur de commerce.....	27
I.4.1.Les problèmes mono-objectifs et multi-objectifs .....	27
I.4.2.Les méthodes de résolution.....	27
I.4.2.1.Enoncé du problème.....	28
I.4.2.2.Les algorithmes génétiques (GA).....	28
I.4.2.3.Les colonies de fourmis (ACS).....	30
I.4.2.4.Discussion.....	31
I.5.Conclusion .....	32



## Chapitre 2 : conception du système

II.1.Introduction.....	33
II.2.Description du contexte .....	33
II.2.1.Concepts utilisés.....	33
II.2.2.Schéma qui représente un exemple du réseau : d'Algérie Télécom.....	36
II.2.3.Problème du système.....	37
II.2.4.Analyse du problème.....	37
II.2.5.Objectifs.....	38
II.3.Présentation de la démarche utilisée.....	39
II.3.1.Le cycle de vie.....	39
II.3.2.Modèle en cascade.....	39
II.3.2.1.Expression des besoins.....	40
II.3.2.2.Analyse des besoins.....	40
II.3.2.3.Conception du produit .....	40
II.3.2.4.Implémentation et codage.....	40

II.3.2.5. Tests et exploitation .....	41
II.3.3 Expression des besoins.....	41
II.3.3. 1. Identification des acteurs et de cas d'utilisation.....	41
II.3.3.2. Diagrammes de cas d'utilisation .....	42
II.3.4. Analyse des besoins.....	46
II.3.4.1. Diagramme d'activité .....	44
II.3.5. Conception du système.....	49
II.3.5.1. Diagrammes de classes.....	50
II.4. Processus du système .....	53
II.4.1. présentation des processus du système.....	54
II.4.2. Conclusion.....	61
II.5. Conclusion.....	62

### **Chapitre 3 : implémentation**

III.1. Introduction.....	70
III.2. Environnement de développement.....	70
III.2.1. plateforme de développement Web (WampServer) .....	70
III.2.2. Les langages de scripts utilisés.....	70
III.2.2.1. HTML.....	70
III.2.2.2. CSS.....	70
III.2.2.3. La structuration de données (MySQL) .....	71
III.2.2.4. Le langage de programmation choisi (PHP) .....	71
III.3. Diagramme de séquence.....	72
III.4. Passage au modèle relationnelle .....	76
III.5. présentation et Teste .....	77



III.5.1.présentation de l'application .....	77
III.5.1.1. les interfaces de l'Introductions des informations nécessaires.....	77
III.5.1.2. les interfaces de la recherche des chemins possibles des équipements	82
III. 6.Conclusion .....	93
Conclusion générale .....	94

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Le modèle Intelligence Design Choice (IDC).....	9
<b>Figure I.2</b> : La structure hiérarchique en (AHP).....	12
<b>Figure I.3</b> : un graphe non connexe. ....	17
<b>Figure I.4</b> : un graphe connexe. ....	17
<b>Figure I.1</b> : Principe générale de fonctionnement d'un algorithme génétique.....	36
<b>Figure II.2</b> : Cycle de vie selon le modèle en cascade.....	39
<b>Figure II.3</b> : Diagramme de cas d'utilisation global.....	42
<b>Figure II.4</b> : Diagramme de cas d'utilisation : Analyser les topologies possibles du réseau. ....	43
<b>Figure II.5</b> : Diagramme de cas d'utilisation : Gérer la topologie du réseau.....	45
<b>Figure II.6</b> : Diagramme d'activité : Introduction des informations du réseau.....	46
<b>Figure II .7</b> : Diagramme d'activité : analyser les chemins des équipements (MSAN).....	47
<b>Figure II .8</b> : Diagramme d'activité : analyser les chemins possibles des équipements (Switchs).....	48
<b>Figure II.9</b> : diagramme de classe ....	50
<b>Figure II.10</b> : Organigramme qui représente les processus, leurs besoins et résultats.....	54
<b>Figure II.11</b> : Pseudo code Algorithme Génétique.....	56
<b>Figure II.12</b> : Schéma descriptif du processus meilleurs chemin entre les Switchs .....	56
<b>Figure II.13</b> : Pseudo code Dijkstra.....	58
<b>Figure II.14</b> : Schéma descriptif du processus meilleurs chemin entre le MSAN donné et les Switchs.....	59
<b>Figure II.15</b> : Schéma descriptif du processus d'aide à la décision. ....	61
<b>Figure III.1</b> : Diagramme de séquence : Introduire les informations du réseau 1.....	72
<b>Figure III.2</b> : Diagramme de séquence : Introduire les informations du réseau 2.....	73
<b>Figure III.3</b> : Diagramme de séquence : Chercher les topologies possibles entre les Switch.....	74
<b>Figure III.4</b> : Diagramme de séquence : Chercher les topologies possibles pour un MSAN.....	75

<b>Figure III.5 :</b> formulaire d'ajout des équipements : choix de l'équipement à ajouter.....	77
<b>Figure III.6 :</b> formulaire d'ajout d'un MSAN .....	78
<b>Figure III.7 :</b> formulaire d'ajout d'une liaison existante : choix du type de liaison.....	78
<b>Figure III.8 :</b> formulaire d'ajout d'une liaison existante entre un Switch et un MSAN ....	79
<b>Figure III.9 :</b> formulaire d'ajout d'une liaison possible : choix du type de liaison.....	79
<b>Figure III.10 :</b> formulaire d'ajout d'une liaison possible entre un Switch et un MSAN....	80
<b>Figure III.11 :</b> liste des équipements introduits.....	81
<b>Figure III.12 :</b> liste des liaisons existantes introduites.....	81
<b>Figure III.13 :</b> des liaisons possibles introduites.....	82
<b>Figure III.14 :</b> comparaison entre critère deux à deux.....	85
<b>Figure III.15 :</b> Évaluation des chemins trouvés selon le critère « distance» .....	85
<b>Figure III.16:</b> Évaluation des chemins trouvés selon le critère « dépense» .....	86
<b>Figure III.17 :</b> Évaluation des chemins trouvés selon le critère « cambrement» .....	86
<b>Figure III.18 :</b> Évaluation des chemins trouvés selon l'ensemble des critères .....	87
<b>Figure III.19 :</b> Formulaire du choix du MSAN.....	88
<b>Figure III.20 :</b> Les chemins trouvés avec la méthode de Dijkstra avec évaluation.....	89
<b>Figure III.21 :</b> Évaluation des chemins trouvés selon le critère « distance».....	90
<b>Figure III.22:</b> Évaluation des chemins trouvés selon le critère « dépense» .....	90
<b>Figure III.23:</b> Évaluation des chemins trouvés selon le critère « cambrement»....	91
<b>Figure III.24 :</b> Évaluation des chemins trouvés selon l'ensemble des critères.....	91



# Liste des tables

<b>Table I.1</b> : Échelle de Saaty de la méthode AHP .....	13
<b>Table I.2</b> : Indice de cohérence moyen .....	14
<b>Table I.3</b> Comparatif entre les méthodes d'aide à la décision multicritère.....	16
<b>Table I.4</b> : Comparatif entre les différentes méthodes de résolution du problème du plus court chemin.....	26
<b>Table II.1:</b> Diagramme de cas d'utilisation GLOBAL.....	48
<b>Table II.2:</b> Diagramme de cas d'utilisation : Analyser les topologies possibles du réseau	50
<b>Table II.3:</b> Diagramme de cas d'utilisation Gérer la configuration du réseau.....	51
<b>Table II.4</b> : Descriptions de données des classes.....	57
<b>Table II.5:</b> Descriptions des associations.....	58
<b>Table II.6</b> : Dictionnaire de données des relations.....	58
<b>Table III.1</b> : comparaison deux à deux des critères.....	80

---

---

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

---

# Introduction Générale

Les ingénieurs et les décideurs sont confrontés quotidiennement à des problèmes de complexité grandissante, relatifs à des secteurs techniques très divers, comme dans le traitement des images, l'électronique, la télécommunication, etc. Généralement, les problèmes à résoudre peuvent souvent s'exprimer sous forme de problèmes d'optimisation. Ces problèmes sont le plus souvent caractérisés en plus de leur complexité, d'exigences qui doivent tenir compte de plusieurs contraintes spécifiques au problème à traiter.

L'optimisation est actuellement l'un des sujets les plus en vue en "soft computing". En effet, un grand nombre de problème d'aide à la décision peuvent être décrits sous forme de problème d'optimisation. Les problèmes d'identification, d'apprentissage supervisé de réseaux de neurones ou encore la recherche du plus court chemin sont des problèmes d'optimisation.

Des efforts ont longtemps été menés pour résoudre les problèmes liés à l'optimisation, en utilisant les méthodes de recherche opérationnelle, mais l'application des solutions existantes s'avère insuffisante pour résoudre les problèmes complexes dans certains domaine d'application, en particulier là où on s'intéresse à l'optimisation multicritère, comme dans notre cas où on souhaite améliorer des réseaux de transmission de signal numérique en terme de plusieurs critères, un tel problème nécessite des outils efficaces et proposant les solutions potentielles afin d'aider le décideur pour prendre la meilleure décision.

Pour classer les solutions possibles des problèmes complexes d'optimisation, on s'intéresse aux méthodes d'aide à la décision qui offrent des outils de classement efficaces, et aussi des méthodes du domaine de recherche opérationnel.



# Problématique et objectifs

Dans le domaine du réseau, la transmission de signal nécessite l'utilisation de différents équipements, leur installation requière une étude préalable pour savoir quelle topologie à implémenter pour garantir que le réseau sera fonctionnel sans coupure 24h/24h. Le problème qui se présente dans notre travail est sur l'extraction des meilleures topologies possibles pour l'implémentation des équipements de transmission, en prenant compte différents critères que l'organisme d'accueil exige. Si on simule la topologie du réseau en un graphe, on peut dire que le problème fait appel à trois axes de recherche bien réponsus :

- La recherche du plus court chemin dans un graphe.
- La recherche de la tournée minimale dans un graphe.
- L'aide a la décision multicritère.

Les 2 premiers axes sont nécessaires pour l'extraction des meilleures topologies possibles, car dans une topologie réseau, la distance entre les équipements est considérée comme étant le critère le plus important, ainsi intervient la recherche des plus courts chemins. Puis -pour mieux présenter ces topologies au décideur- on fera appel aux méthodes d'aide à la décision. Mise appart le critère de la distance, le problème posé exige la prise en charge d'autres critères qui seront détaillés dans le deuxième chapitre. Ainsi, la combinaison des trois axes nous a permis de présenter une solution au problème.

---

# **CHAPITRE 1**

## **ETAT DE L'ART**

---

## I.1.Introduction

Avant d'aborder les différents traits de la problématique en détail, on doit présenter –dans ce chapitre– les méthodes qu'on peut utiliser pour la résoudre. Pour concevoir un système d'aide à la décision qui assiste le décideur dans la prise du choix le mieux adapté (entre plusieurs alternatives) de son problème, on a besoin d'utiliser les méthodes d'aide à la décision, et aussi les méthodes de recherche opérationnelle qui nous fournissent les solutions possibles du problème.

## I.2.Les méthodes d'aide à la décision

Dans cette partie, on va définir les concepts de base de l'aide à la décision, puis on aborde ses différentes méthodes pouvant être appliquées pour aider le décideur à prendre une décision concernant son problème.

### I.2.1.Définitions

#### I.2.1.1. Décision

Supposant que l'individu X qui choisit une issue à la suite d'un processus mental, appelé réflexion, aurait pu tout aussi bien choisir une autre issue.

Nous appelons ce choix : “**décision**” ou plus précisément “**prise de décision**”.

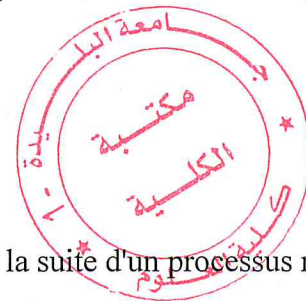
Nous considérons toujours qu'il y a correspondance non ambiguë entre une prise de décision et un problème que l'on cherche à résoudre [1].

#### I.2.1.2. Décideur

Le décideur peut être le responsable d'une organisation ou le responsable d'une fonction de l'organisation. Nous associons le terme “**Décideur**” et la responsabilité vis à vis de la pérennité de l'organisation [1].

#### I.2.1.3. L'aide à la décision

Dans [29] l'aide à la décision est définie comme suite : « l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître





la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part. »

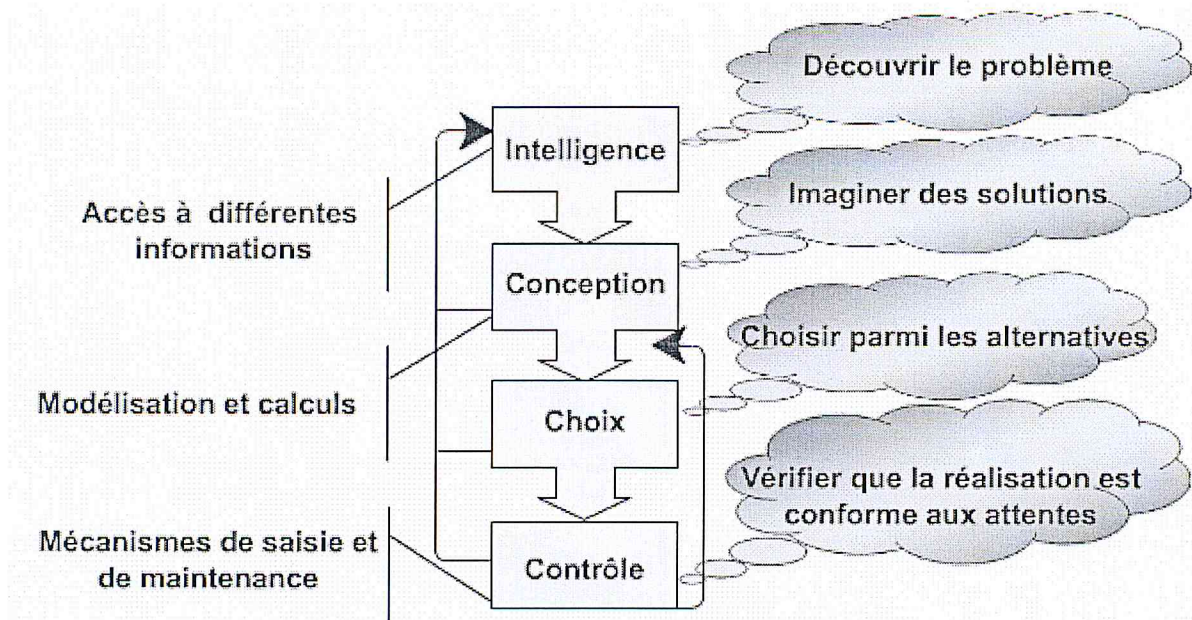
A partir de cette définition, on peut dire que toute activité d'aide à la décision fait intervenir un décideur. Celui-ci, est un intervenant principal à qui s'adresse l'aide à la décision et occupant une place centrale dans le processus de décision [3].

#### **I.2.1.4. Les phases de la décision**

Selon [4], on distingue quatre phases dans le processus de décision :

- **l'information ou le renseignement** : le décideur se met en quête d'informations relatives aux questions qui le préoccupent, par exemple : Quelles sont les solutions possibles ?
- **la conception** : Dans un deuxième temps, le décideur construit des solutions et imagine des scénarios, ce qui peut l'amener à rechercher de l'information supplémentaire.
- **le choix** : Ensuite, le décideur choisit entre les différentes actions qu'il a été capable de construire et d'identifier pendant la phase de conception.
- **l'évaluation des choix précédents** : Après le choix, et dans la mesure où la décision s'intègre dans un processus dynamique ; Une rétroaction intelligente permet de corriger bien des erreurs sur le déroulement d'un processus décisionnel.

Ce modèle de décision est connu sous le nom de modèle IDC (Intelligence Design Choice), voir figure ci-dessous.



**Figure I.1 : Le modèle Intelligence Design Choice (IDC) [2].**

**Remarques :** Les étapes décrites ne se déroulent pas forcément suivant un processus purement séquentiel, il peut y avoir des retours en arrière. Assez fréquemment l'information et la conception contiennent déjà le choix dans la mesure où le décideur privilégie assez vite une seule action parmi celles possibles. Celle-ci est ensuite la seule documentée et construite [1].

### **I.2.2. Typologie des Systèmes d'aide à la décision**

De la même manière que les définitions varient en fonction des auteurs, il n'existe pas d'architecture standard pour un SIAD (système d'information d'aide à la décision). Chaque auteur reprend sous le terme de SIAD un ensemble plus ou moins étendu de composants. Nous ferons donc plutôt ressortir les différences entre les types de SIAD que leur structure propre.

On peut distinguer deux classifications des SIAD : une classification selon le niveau de la décision impliqué et une autre selon l'envergure de décision, on va détailler celle selon le niveau de la décision dans ce qui suit.



### **I.2.2.1. Classement selon le niveau de décision**

Lorsqu'on ne prend en compte que le niveau de décision impliqué par un SIAD, on distingue quatre types de SIAD :

- EIS : Exécutive Information System;
- ESS : Exécutive Support System;
- DSS : Décision Support System;
- PSS : Planning Support System.

- **Exécutive Information System (EIS)**

Ce sont des applications de type tableau de bord destinées à mettre à la disposition des décideurs tout ou une partie de l'information dont ils ont besoin pour mener à bien leur mission.

TURBAN définit l'EIS comme "un outil fournissant au décideur l'information utile qui lui permet de se focaliser sur les données critiques et d'avoir une bonne appréciation de l'organisation" [5].

MAWHINNEY et MILLET considèrent l'EIS comme un "système qui intègre des informations en provenance de sources internes et externes permettant aux dirigeants de contrôler et de demander des informations d'importance vitale pour eux et présentées de façon personnalisée" [6].

- **Exécutive Support System (ESS)**

L'ESS va au-delà de l'EIS car il inclut des outils de communication, d'analyse et d'intelligence.

Afin de mieux distinguer les deux systèmes, nous dirons que l'EIS est un outil permettant au décideur de se focaliser sur des données critiques pour obtenir une appréciation de l'organisation. L'ESS doit permettre l'analyse de ces données pour donner une appréciation du futur de l'organisation grâce aux modèles d'analyse. Le passage de l'information à l'intelligence implique de pouvoir affecter le futur (axe temporel et visualisation des liens).

- **Décision Support System (DSS)**

C'est un système interactif qui aide le décideur à exploiter les données et les modèles pour trouver une solution à un problème non structuré et analyser l'effet d'éventuels changements de l'environnement sur l'organisation.



Le but du DSS est d'aider pour prendre une décision et non pas de remplacer le décideur. Toutefois, il doit permettre de faire la planification stratégique, ainsi que de la budgétisation à long terme [1].

- **Planning Support System (PSS)**

Il permet une analyse de la faisabilité des procédures ou décisions retenues (c'est à-dire lui fournir une assistance intelligente).

Si nous revenons au modèle IDC (Figure 1), la phase d'intelligence correspond à l'EIS et l'ESS: le premier permet au décideur de se focaliser sur des données critiques et le deuxième de faire une analyse pour une appréciation future de l'organisation. Les autres étapes du modèle IDC de SIMON peuvent être assurées selon TURBAN par le DSS qui peut faire de la planification stratégique et offre la possibilité d'analyser les effets d'éventuels changements sur l'organisation (en effectuant des simulations) [1].

### **I.2.3. Les méthodes d'aide à la décision multicritère**

#### **I.2.3.1. Définition**

Les modèles d'aide à la décision multicritère sont des méthodes élaborées dans le but d'éclairer un décideur en fonction de ses multiples points de vue et objectifs. Ces modèles requièrent généralement la prise en compte d'une information relative aux préférences du décideur [7].

#### **I.2.3.2. des méthodes d'aide à la décision multicritère**

Les méthodes d'analyse multicritère sont des outils d'aide à la décision développés depuis les années 1960. De nombreuses méthodes ont été proposées afin de permettre aux décideurs de faire un « bon » choix. Pour certains experts du domaine, ce choix existe dans l'esprit du décideur, et le processus d'aide à la décision doit le faire ressortir. Pour d'autres, le processus d'aide à la décision doit créer ce choix.

Un grand nombre de méthodes ont été étudié, toutefois, afin d'éviter un document trop long et lourd, seules celles utilisées par la suite seront présentées. Les notes sur ces méthodes sont néanmoins disponibles [8].

### I.2.3.3. Présentation de la méthode AHP

AHP est une des méthodes de prise de décision multicritères développée par SAATY en 1980. C'est une méthodologie systématique, flexible et simple, elle est utilisée fréquemment par les chercheurs et les praticiens afin de comparer plusieurs objectives ou alternatives.

L'application de la méthode AHP se fait à deux niveaux : la structure hiérarchique et l'évaluation. Les décideurs peuvent rassembler les critères qualitatifs et quantitatifs dans la structure hiérarchique [9]. La méthode intègre l'opinion et l'évaluation des experts, et décompose le problème de décision à multicritères en un système des hiérarchies, en descendant dans la hiérarchie de grands aux petits éléments [10].

La structure hiérarchique de la méthode AHP reflète la tendance naturelle de l'esprit de L'homme ; Cette structure hiérarchique, clarifie le problème et permet la contribution de chaque élément à la décision finale [11]. L'objectif se situe au niveau le plus haut de la hiérarchie. Les critères et les sous critères, étant les éléments qui influencent l'objectif, se trouvent dans les niveaux intermédiaires de la hiérarchie. Les alternatives sont le niveau le plus bas de l'hiérarchie [12].

Cette méthode part des matrices de comparaison binaires pour arriver après quelques étapes à évaluer un vecteur de poids. La méthode AHP consiste à représenter un problème de décision par une structure hiérarchique, reflétant les interactions entre les divers éléments du problème, à procéder ensuite à des comparaisons par paires des éléments de la hiérarchie, et enfin à déterminer les priorités des actions. [12] La méthode AHP s'applique en procédant comme suit :

- **Etape 1** : Décomposer le problème en une hiérarchie d'éléments inter-reliés. Au sommet de la hiérarchie, on trouve l'objectif, et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif. Le dernier niveau est celui des actions.



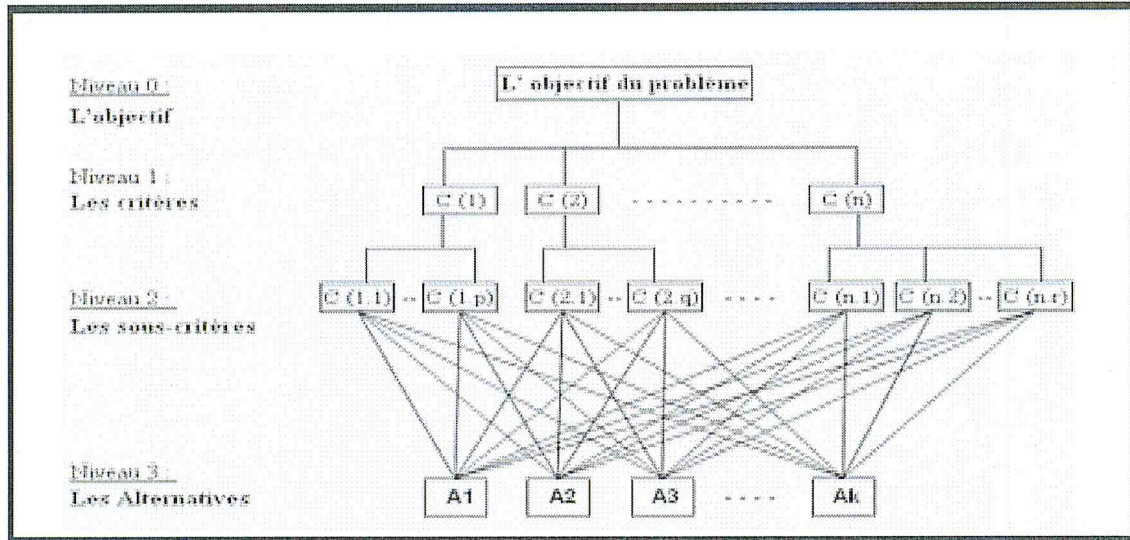


Figure I.2 : La structure hiérarchique en AHP [3]

- **Etape 2** : Procéder à des comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport à un élément du niveau hiérarchique supérieur. Cette étape permet de construire des matrices de comparaison. Les valeurs de ces matrices sont obtenues par la transformation des jugements en valeurs numériques selon l'échelle de Saaty (Echelle de comparaison binaire) [13], tout en respectant le principe de réciprocité :

Degré d'importance	Définition
1	Importance égale des deux éléments
3	Faible importance d'un élément par rapport à un autre.
5	Importance forte ou déterminante d'un élément par rapport à un autre.
7	Importance attestée d'un élément par rapport à un autre.
9	Importance absolue d'un élément par rapport à un autre.
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines
Réciprocité	Si l'élément i se voit attribuer l'un des chiffres précédents lorsqu'elle est comparée à l'élément j, ce dernier aura donc la valeur inverse lorsqu'on le compare à i.

Table I.1 : Échelle de Saaty de la méthode AHP [3]



- **Etape 3** : Déterminer l'importance relative des éléments en calculant les vecteurs propres correspondants aux valeurs propres maximales des matrices de comparaisons.
- **Etape 4** : Vérifier la cohérence des jugements à travers l'indice de cohérence, et le ratio de cohérence **CR**.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Où ( $\lambda_{max}$ ) : est la valeur propre maximale correspondant à la matrice des comparaisons par paires et (n) est le nombre d'éléments comparés (Pour plus d'information : voir l'annexe).

On calcule le ratio de cohérence RC défini par :

$$RC = 100 \times \frac{IC}{ACI}$$

Où ACI est l'indice de cohérence moyen.

#### Indice de cohérence moyen

Dimension de la matrice (ou nombre des critères)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cohérence Aléatoire ACI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

**Table I.2 : Indice de cohérence moyen [3].**

Une valeur de RC inférieure à 10% est généralement acceptable, sinon, les comparaisons par paires doivent être révisées pour réduire les incohérences.

**1- Etape 5 :** Établir la performance relative de chacune des actions.

$$PK(e_i^{k-1}) = \sum_{j=1}^{nk-1} P_{k-1}(e_j^{k-1}) \times P_k\left(\frac{e_{ik}}{e_i^{k-1}}\right); avec = \sum_{j=1}^{nk} P_k(e_j^k) = 1$$

Où :  $(nk-1)$  est le nombre d'éléments du niveau hiérarchique  $(k-1)$  et  $P_k(e_i^k)$  est la priorité accordée à l'élément au niveau hiérarchique  $(k)$  [3].

#### **I.2.3.4. La méthode : Preference Ranking Organization (PROMETHEE)**

- **Définition**

La méthode PROMETHEE développée par [14] est une méthode d'analyse multicritère de sur-classement. Elle permet de définir des relations de sur-classement, d'indifférence et d'incomparabilité entre deux scénarios du meilleur au moins bon. Pour chaque scénario, une note et un poids sont attribués à chaque critère, afin d'évaluer l'indice de préférence d'un scénario sur l'autre.

La méthode PROMETHEE est utilisée dans de nombreux cas de recherche opérationnelle, et plus récemment dans la prise de décision en matière environnementale [15]. Son objectif est de construire via un système de préférences floues, un classement des alternatives des meilleures aux moins bonnes.

- **Le principe de la méthode PROMETHEE:**

La mise en œuvre de la méthode peut être ramenée à l'exécution des trois étapes suivantes:

##### **1- Choix de critère généralisés**

A chaque critère  $C_1, C_2, \dots, C_n$  sera associé un critère généralisé choisi sur base d'une fonction de préférence et les effets d'échelle seront éliminés.



## 2- Détermination d'une relation de sur-classement

Dans une deuxième phase, il convient de déterminer une relation de sur-classement par le biais d'un indice de préférence (par exemple: l'écart maximum entre 2 actions) qui quantifiera les préférences du décideur.

### 3- Evaluation des préférences

L'évaluation de la préférence du décideur [16].

#### I.2.3.5. La méthode ELECTRE

- **Définition**

Cette méthode a été développée par Bernard Roy au début des années 1970. C'est une méthode de surclassement basée sur des comparaisons d'actions deux à deux. Celles-ci demandent peu d'information pour pouvoir être implémentée, de plus cette information est facilement accessible au décideur, elle fournit donc des résultats solides [17].

- **Le principe de la méthode**

Cette méthode est basée sur des formules et des calculs à faire pour pouvoir trier les solutions possibles pour le problème en tenant compte les différents critères.

#### I.2.3.6. Comparaison entre les méthodes d'aide à la décision multicritère

Dans ce qui suit, on compare les méthodes déjà citées en fonction des critères qui nous aideront à déceler quelle méthode sera la mieux adaptée au problème posé en problématique.

Critère de comparaison	Concept utilisé pour le classement [40]	Difficulté de mise en œuvre [36]	Structure du problème [40]	Type de critère [39]	Principe de base du processus de classement [40]
AHP	Score	Facile	peu de critères et beaucoup d'alternatives	Forte indépendance entre les critères, souvent conflictuels,	hiérarchique
Prométhée	Concordance	Moyen	beaucoup de	indépendance	Comparaison



			critères	entre les critères, incomparables	deux a deux
<b>Electre</b>	Concordance	Difficile	beaucoup de critères	indépendance entre les critères, incomparables	Comparaison deux a deux

**Table I.3 : comparaison entre les méthodes d'aide à la décision multicritère**

### **I.2.3.7. Discussion**

Pour toutes ces méthodes, le type de problème concerné est le même : problème de sur-classement, mais selon la structure du problème et le type de critère, le choix de la méthode à appliquer dépend fortement du contexte du problème du décideur (du nombre de critères prisent en considération dans le problème et aussi leurs nature), mais par rapport au concept, principe et difficulté de mise en œuvre, la méthode AHP promet d'être la meilleure classée pour exposer et trier les alternatives (les solutions possibles du problème du décideur) [36].

## **I.3. Problème du plus court chemin**

Dans cette partie, on va définir quelque concept de base à propos des graphes, puis on aborde les différentes méthodes pouvant être appliquées pour extraire le plus court chemin dans un graphe.

### **I.3.1. Définitions [18]**

#### **a) Chemin**

Un chemin (ou itinéraire ou route) dans un graphe est une suite ordonnée de nœuds tels que deux nœuds successifs soient reliés par un arc. L'origine du chemin est appelé source et la destination puits.

#### **b) Longueur d'un chemin**

Dans un graphe ayant des chemins valués par des valeurs réelles, la manière immédiate pour évaluer la longueur d'un chemin est de sommer le poids des arcs traversés. Le plus court chemin (PCC) entre deux nœuds est le chemin qui minimise la longueur parmi tous les chemins possibles entre ces deux nœuds.

#### **c) Graphe connexe**

Un graphe est connexe si on peut relier deux quelconques de ses sommets par une chaîne (éventuellement réduite à une arête) [44].

• Exemples :

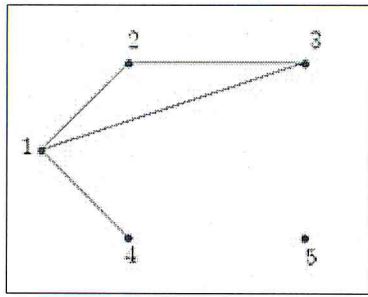


Figure I.3 : un graphe non connexe.

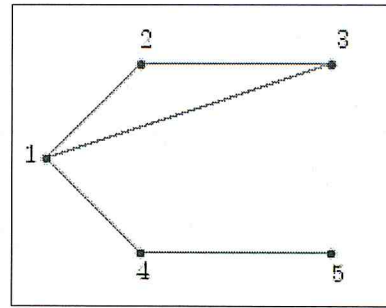


Figure I.4: un graphe connexe.

### I.3.2. Les problèmes de chemins optimaux

Les problèmes du plus court chemin dans un graphe sont sans doute parmi les problèmes les plus importants dans l'optimisation combinatoire. Ces problèmes ont plusieurs champs d'application [19].

Considérons un graphe orienté valué  $G = (X, A, W)$ .  $X$  désigne un ensemble de  $N$  sommets (ou nœuds) et  $A$  un ensemble de  $M$  arcs.  $W(i, j)$ , aussi noté  $W_{ij}$ , est la valuation (aussi appelée poids ou coût) de l'arc  $(i, j)$ , par exemple une distance, un coût de transport, ou un temps de parcours [20].

Le coût d'un chemin entre deux sommets est la somme des coûts de ses arcs. Les problèmes associés consistent à calculer des chemins de coût minimal (en abrégé chemin minimaux, ou plus courts chemins). Ils ont un sens si  $G$  n'a pas de circuit de coût négatif, sinon on pourrait diminuer infiniment le coût d'un chemin en tournant dans un tel circuit, appelé pour cette raison circuit absorbant [20].

En l'absence de circuit absorbant, on peut restreindre la recherche des plus courts chemins aux seuls chemins élémentaires, c'est-à-dire ne passant pas deux fois par un même sommet [20].

La littérature distingue trois types de problèmes [20] :

**Problème A** : Etant donné deux sommets  $s$  et  $t$ , trouver le plus court chemin de  $s$  à  $t$ .

**Problème B** : Etant donné un sommet de départ  $s$ , trouver le plus court chemin de  $s$  vers tout autre sommet.



**Problème C** : Trouver le plus court chemin entre tout couple de sommet.

Ces problèmes sont liés. Un algorithme pour A peut bien sûr être appliqué plusieurs fois pour résoudre B ou C, à part certains algorithmes conçus spécifiquement pour calculer les k meilleurs chemins entre deux sommets. Les algorithmes pour les problèmes A, B et C ne construisent qu'un des chemins possibles parmi ceux de coût minimal joignant deux sommets.

**d) Liste des principaux algorithmes**

Il est possible de distinguer les algorithmes de résolution du problème de plus court chemin en deux catégories :

- les méthodes exactes qui garantissent l'optimalité de la solution obtenue
- les méthodes approchées qui donnent une solution de bonne qualité mais pas forcément optimale en un temps généralement plus court.

**e) Méthodes exactes :**

Le terme de méthodes exactes regroupe l'ensemble des méthodes permettant d'obtenir la solution optimale d'un problème, en un temps "raisonnable". Elles s'opposent aux heuristiques, car les méthodes exactes permettent d'obtenir théoriquement la solution optimale (à un epsilon près en raison de la précision numérique des calculs), et non une solution approchée [21].

Les méthodes exactes pour la résolution de problèmes de PCC sont très utilisées dans différents domaines, comme le secteur industriel, de transport et en réseaux de communication et cela même pour des graphes de grandes tailles où elles sont généralement associées à des techniques de réduction et de contraction de graphes.

Parmi les algorithmes de résolution exacte du problème de PCC les plus connus, on retrouve l'algorithme de Dijkstra qui s'applique aux graphes à coût positif, l'algorithme de Bellman qui autorise la présence d'arcs de coût négatif et l'algorithme de Floyd-Warshall qui permet d'obtenir les distances entre chaque pair de points du graphe en une seule exécution [22].



### I.3.3. Algorithme de Dijkstra

Cet algorithme a été proposé par Edsger Dijkstra en 1959 pour résoudre le problème du plus court chemin dans un graphe.

#### a) Principe

Initialement décrit dans Dijkstra, cet algorithme calcule le plus court chemin d'un nœud vers tous les autres nœuds, et ne fonctionne qu'avec des arcs à poids positif. Une étiquette (label) est associée à chaque nœud indiquant la plus courte distance trouvée entre le nœud et la source. Initialement cette étiquette vaut  $+\infty$  pour tous les nœuds, sauf pour la source ou elle sera initialement à 0 [18].

Il s'agit d'un algorithme itératif et glouton, qui en partant de la source, sélectionne le nœud jamais exploré ayant l'étiquette la plus petite et met à jour les étiquettes de ses successeurs s'il y a une amélioration [18].

Donc cet algorithme repose sur un principe de propagation de labels : à chaque nœud traité, le label qui lui est associé est le coût du plus court chemin pour l'atteindre depuis le nœud de départ. A ce nœud est alors aussi associé un nœud père qui est le précédant dans le plus court chemin jusqu'à lui. La recherche peut être arrêtée dès que le puits est le nœud de plus faible poids [22].

#### b) Complexité

La complexité de cet algorithme dépend fortement des structures de données utilisées. Une implémentation naïve est en  $O(n^2)$ . L'utilisation de tas permet d'obtenir une complexité de l'ordre de  $O(n \log n)$  [18].

#### c) Utilisation :

L'algorithme de Dijkstra sert à résoudre le problème du plus court chemin. Il s'applique à un graphe connexe dont le poids lié aux arêtes est positif ou nul [23]. L'algorithme est formulé pour traiter les problèmes A et B [20].

### **I.3.4.L'algorithme de Bellman-Ford**

Cet algorithme a été proposé par Bellman-Ford en 1958 pour résoudre le problème du plus court chemin dans un graphe [18].

#### **a) A Principe [18]**

L'algorithme de Bellman-Ford se distingue du précédent par le fait que l'ordre de parcours des sommets ne peut pas être obtenu en sélectionnant le sommet ayant le plus petit label à une itération donnée du fait des arcs à coûts négatifs.

A chaque itération, tous les arcs sont examinés et pas seulement ceux adjacents au nœud le plus prometteur. Il faut donc déterminer a priori un ordre de parcours des sommets. Cet ordre a une influence très importante sur le nombre d'itération de l'algorithme. Un ordre de parcours des sommets permettant de faire un seul passage sur l'ensemble des sommets du graphe définit un ordre topologique. Au pire des cas, l'algorithme peut effectuer autant d'itérations qu'il y a de sommets dans le graphe.

Cet algorithme permet d'utiliser des arcs avec des poids négatifs. Cependant, si un circuit absorbant est détecté l'algorithme s'arrête (Un circuit absorbant est une boucle dont le poids total est négatif. Le plus court chemin bouclerait donc infiniment le long de ce circuit).

#### **b) Complexité**

Cet algorithme possède une complexité au pire de l'ordre de  $(n^2 * m)$  où  $m$  est le nombre d'arcs du graphe et  $n$  est le nombre de nœuds [18].

#### **c) Utilisation**

L'algorithme de Bellman-Ford recherche le plus court chemin en termes de longueur sur les arcs de la source (sommet donné en entrée de l'algorithme) aux autres sommets du graphe.



Cet algorithme construit un arbre de sommets de coût minimum, les plus courts chemins de la source vers tous les autres sommets du graphe se retrouvent en parcourant cet arbre.

Il est plus pratique sur des graphes de taille réduite et il utilise des piles de sommets pour sélectionner les plus courts chemins [23].

Le principal avantage de cet algorithme est qu'il est possible de détecter des circuits absorbants, mais il ne permet pas de résoudre le problème du plus court chemin avec des arcs de poids négatifs sans circuit.

### I.3.5.L'algorithme de Floyd-Warshall

Cet algorithme a été proposé par Floyd-Warshall en 1962 pour résoudre le problème du plus court chemin dans un graphe.

#### a) Principe

Le principe de cet algorithme est qu'à chaque itération, on va fixer un point de passage à l'ensemble des itinéraires et mettre à jour les itinéraires qui sont améliorés en passant par ce point.

Soit  $G = (X, A, W)$ .  $X$  désigne un ensemble de  $N$  sommets et  $A$  un ensemble de  $M$  arcs.  $W(i, j)$ , est la valuation du coût de l'arc  $(i, j)$ ,

On suppose que le graphe ne possède pas de cycle de poids strictement négatif et que le graphe  $G$  donné par sa matrice d'adjacence

$M \in M_n(\mathbb{R} \cup \{+\infty\})$ . Les sommets de  $G$  sont donc, pour simplifier, les entiers de 1 à  $n$ . Pour  $i, j$  entre 1 et  $n$ ,  $M_{ij}$  est le poids de l'arête du sommet  $i$  vers le sommet  $j$  si une telle arête existe, et  $+\infty$  sinon [24].

On définit par récurrence sur  $k$  une suite  $(M^{(k)})_{k \in \mathbb{N}}$  en posant  $M^{(0)} = M$  et pour tout  $k \in \mathbb{N}$  et tous  $i, j \in [1; n]^2$  :

$$M_{i,j}^{(k+1)} = \min \left( M_{i,j}^{(k)}, M_{i,k+1}^{(k)} + M_{k+1,j}^{(k)} \right)$$



## **b) Complexité**

Cet algorithme possède une complexité d'ordre de  $n^3$  où ( $n$ ) est le nombre de nœuds du graphe étudié [22]

## **c) Utilisation**

Cet algorithme a un intérêt un peu différent des deux précédents du fait qu'il calcul l'itinéraire le plus court pour tous couples de sommets du graphe et pas pour un seul couple, donc il permet de résoudre les problèmes du type C. Il s'applique sur les graphes du poids positif et négatif, mais pas sur ceux ayant un circuit de poids négatif [22].

### **I.3.6.Méthodes approchées**

Une méthode d'optimisation peut être déterministe ou stochastique. Nous retrouvons également une opposition dans les termes "exacte" et "heuristique".

En effet, l'utilisation des méthodes exactes n'est pas toujours possible pour un problème donné, à cause de temps de calcul trop important ou bien à cause d'une séparation du problème impossible. Dans ces cas, nous utiliserons des méthodes approchées, appelées heuristiques.

À l'invention et à la recherche. Ces méthodes exploitent au mieux la structure du problème considéré dans le but de trouver une solution approchée, de qualité "raisonnable" (solutions approchées sans garantie d'optimalité du problème, en un temps de calcul raisonnable), en un temps aussi faible que possible. Typiquement, elles trouvent une solution approchée à un problème NP en temps polynomial.

Lorsque l'on veut résoudre un problème d'optimisation, on recherche la meilleure solution possible à ce problème, c'est-à-dire l'optimum global. Cependant, il peut exister des solutions intermédiaires, qui sont également des optimums, mais uniquement pour un sous-espace restreint de l'espace de recherche : on parle alors d'optimums locaux [21].

Les méthodes approchées pour la résolution du problème du PCC sont très utilisées dans le domaine de l'intelligence artificiel et des jeux vidéo par exemple car elles permettent d'obtenir une solution de façon très rapide. Les algorithmes de résolution

approchée du problème du PCC les plus connus sont l'algorithme A\* et l'algorithme génétique [22].

### **I.3.6.1.L'algorithme de A\***

Cet algorithme est proposé par Hart, Nilsson et Raphael en 1968 [22].

#### **a) Principe**

Si on faisait une recherche en largeur comme le réalise l'algorithme de Dijkstra, on rechercherait tous les points dans un rayon circulaire fixe, augmentant graduellement ce cercle pour rechercher des intersections de plus en plus loin de notre point de départ. Ceci pourrait être une stratégie efficace si on ne savait pas où se trouve notre destination.

On peut considérer que l'algorithme de A\* est basé sur le même principe que celui de Dijkstra. Il repose en effet sur une propagation de labels et sur une sauvegarde du nœud père à chaque itération. Sa différence réside dans le fait que plutôt que d'élargir progressivement le rayon de propagation des labels à partir du nœud de départ dans toutes les directions, on explore en priorité les nœuds en direction du nœud d'arrivée. Cette notion de direction induit une notion de distance à définir.

On choisit pour présenter l'algorithme la distance euclidienne. L'idée de l'algorithme est alors d'estimer pour chaque nœud le coût qui le sépare du nœud d'arrivée afin d'éviter de traiter les nœuds désavantageux ; l'algorithme va à chaque itération construire un itinéraire en prenant le point de passage suivant en direction du point d'arrivée.

#### **b) Complexité**

Cet algorithme possède une complexité de l'ordre de  $O(\log n)$  où  $(n)$  est le nombre de nœuds du graphe étudié.

#### **c) Utilisation**

Le principal problème pour l'algorithme A\* n'est pas celui de la complexité, mais celui de la pertinence du résultat, comme les sommets fermés peuvent être ré-ouverts,



Le domaine d'application visée est celui de très grands graphes sur lesquels l'algorithme de DIJKSTRA demanderait trop de temps de calcul.

### I.3.6.2.L'algorithme génétique

#### a) Principe

Les algorithmes génétiques ont été introduits dans de nombreuses situations nécessitant des systèmes de recherche à travers un très grand espace de recherche dans des laps de temps limité, par exemple dans la recherche plus courts chemins.

Par définition, les algorithmes génétiques (GA) sont une classe ou un groupe d'algorithmes de recherche stochastique qui sont basées sur l'évolution biologique. Les GA sont principalement utilisés pour des problèmes d'optimisation.

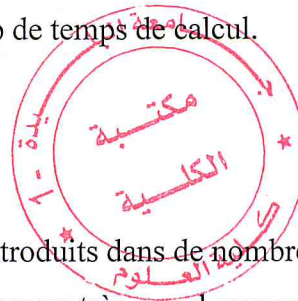
Il utilise plusieurs opérations génétiques telles que la sélection, le croisement et la mutation afin de générer une nouvelle génération de la population, ce qui représente un ensemble de solutions (chromosomes) au problème actuel.

En outre, en moyenne, cette nouvelle génération est censée être mieux en termes de leur valeur globale de remise en forme par rapport à la population précédente. A chaque individu sein de la population sera assigné une valeur de remise en forme qui est calculée et basée sur une fonction de remise en forme prédéterminée qui mesure a quel point la solution optimale résout le problème actuel.

Afin de résoudre le problème de chemin le plus court en utilisant le GA, nous avons besoin de générer un certain nombre de solutions, puis choisir le plus optimal parmi l'ensemble des solutions possibles fourni.

Afin de résoudre le problème, une population initiale -qui forme la première série de chromosomes à être utilisée dans le GA- est crée de manière aléatoire. Chaque chromosome représente une solution possible au problème actuel à portée de main.

Après cela, ils (les chromosomes) sont estimés en utilisant une certaine fonction de remise en forme, qui détermine la façon dont les solutions sont proche de l'optimale. Compte tenu de la valeur de remise en forme de chaque solution ou d'un chromosome, certains chromosomes ou des individus seront sélectionnés (opération de sélection), et les opérations génétiques de base telle que le croisement et la mutation sont appliquées sur ces chromosomes. Ensuite, la valeur de remise en forme de chaque chromosome est recalculée, et les meilleures solutions sont sélectionnées pour être prises en considération pour la prochaine génération. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que certains critères d'arrêts soient satisfaits





## b) utilisation

Les algorithmes génétiques sont utilisés pour trouver beaucoup de plus court chemin, mais pas la solution exacte [25].

### I.3.7. Comparaison entre les méthodes du plus court chemin

Pour analyser les méthodes déjà citées, on propose un tableau comparatif qui –à travers certains critères- nous aidera à déceler quelles sont les méthodes qui seront mieux adaptées au problème posé.

On aborde ici la vitesse de convergence qui représente le temps qui correspond au nombre de rondes nécessaires à un algorithme pour converger vers un état stable, la vitesse de convergence devienne plus lente le plus d'itérations qu'on effectue [26].

Critère	Algorithme de Dijkstra	Algorithme de Bellman	Algorithme de Floyd	Algorithme A*	Algorithme génétique
Complexité (au pire des cas)	$O(n \log n)$	$(n^2 * m)$	$O(n^3)$	$O(\log n)$	$O(n \log n)$
Vitesse de convergence	Plus rapide que Bellman	Lente	Plus lente que Bellman	Plus rapide que Dijkstra	Comme Dijkstra
Résultat de l'algorithme	1 seul chemin optimal	1 seul chemin optimal	Chemin optimal entre tout couple de sommet	1 seul chemin approché de l'optimal	1 seul chemin approché de l'optimal
Type du problème concerné par l'algorithme	B	B	C	B	B
Hypothèse sur le graphe (contraintes)	Tous les arrêts doivent avoir un poids non négatif	Pas de circuit de poids négatif dans le graphe	Pas de circuit de poids négatif dans le graphe	Pas de circuit de poids négatif dans le graphe	Pas de circuit de poids négatif dans le graphe

Table I.4 : Tableau comparatif entre les différentes méthodes de résolution du problème du plus court chemin

(m) représente le nombre d'arrêts.

(n) représente le nombre de sommets.

### **I.3.8. Discussion :**

D'un point de vue de complexité d'algorithme, tous ces méthodes sont acceptables (en terme de temps d'exécution) pour répondre à notre problématique, sauf celle de Bellman et Floyd; en effet, en cas d'un grand graphe avec une densité intense des sommets et des arcs, trouver le plus court chemin consommera un temps d'exécution non négligeable. De même pour la vitesse de convergence, plus elle est rapide, c'est mieux.

Pour le résultat à obtenir, on a besoin des exigences du problème du décideur et les objectifs à atteindre pour éclairer les caractéristiques du plus court chemin recherché, ainsi on saura lequel parmi ces méthodes sera le mieux adapté pour résoudre le problème.

## **I.4. Problème du voyageur de commerce**

Dans cette partie, on va aborder les différentes méthodes pouvant être appliquées pour résoudre le problème du voyageur de commerce (on l'appelle aussi : problème de la tournée minimale dans un graphe).

### **I.4.1. Les problèmes mono-objectifs et multi-objectifs**

Dans la plupart des problèmes du monde réel, il ne s'agit pas d'optimiser seulement un seul critère mais plutôt d'optimiser simultanément selon plusieurs critères. Dans les problèmes de conception, par exemple, il faut le plus souvent trouver un compromis entre des besoins technologiques et des objectifs de coût [27].

Dans l'optimisation multi-objective (multicritère), l'évaluation de la performance est beaucoup plus complexe que dans l'optimisation uni-objective.

Les algorithmes génétiques ont été largement utilisés dans la communauté multi-objective. Ils sont très appropriés pour résoudre des problèmes multi-objectifs pour chercher plusieurs solutions proches de l'optimum dans la même exécution [27].

### **I.4.2. Les méthodes de résolution**

Les algorithmes de résolution de ce problème peuvent être répartis en deux classes :



- c) **Les algorithmes exacts** : ils permettent de trouver la solution optimale, mais leur complexité est exponentielle. Les algorithmes les plus efficaces sont “cutting-plane”, “facetfinding” et “branch and bound”. Ces méthodes ne sont pas efficaces sur des problèmes ayant plus que  $n = 25$  sommets, et elles ne sont pas utilisées à partir de  $n = 50$  sommets. Nous discuterons donc plutôt de l'efficacité des méthodes approchées [28].
- d) **Les algorithmes d'approximation** (heuristiques) obtiennent de bonnes solutions mais ne donnent aucune garantie sur l'optimalité de la solution trouvée. Nous présentons quelques uns de ces heuristiques [28].

#### I.4.2.1. Enoncé du problème

Supposant qu'un voyageur de commerce doit visiter  $n$  villes données en passant par chaque ville exactement une fois. Il commence par une ville quelconque et termine en retournant à la ville de départ. Les distances entre les villes sont connues. Il faut trouver le chemin qui minimise la distance parcourue (ce qu'on peut appeler aussi : une tournée minimale).

La notion de distance peut-être remplacée par d'autres notions comme le temps qu'il met ou l'argent qu'on dépense : dans tous les cas, on parle de coût.

- **Complexité**

La difficulté de ce problème vient de l'explosion combinatoire du nombre de chemins à explorer lorsque l'on accroît le nombre de villes à visiter. Un calcul rapide de la complexité montre qu'elle est en  $O(n!)$ , où  $n$  est le nombre de ville à visiter.

#### I.4.2.2. Les algorithmes génétiques (GA)

Les Algorithmes génétique (GA) sont des algorithmes stochastiques ou aléatoires d'optimisation inspirés du paradigme de l'évolution darwinienne des populations [37].



- **Principe**

Pour optimiser une fonction objectif donnée  $F$  (appelée aussi performance ou fitness) définie sur un espace de recherche  $E$  :

- Nous commençons par fixer les paramètres tels que, par exemple, la taille de la population, les probabilités du croisement et de la mutation. Nous choisissons aussi le type de sélection, de remplacement, les opérateurs de croisement et de mutation et le critère d'arrêt.
- Le processus de l'optimisation par un GA commence par choisir aléatoirement dans l'espace de recherche  $E$  un nombre fini d'individus qui vont constituer la population initiale.
- A l'étape de sélection, qui est (le plus souvent stochastique) et basée sur la performance, certains individus de la population initiale qui sont bien adaptés (par rapport à  $F$ ) sont choisis pour la reproduction.
- L'application des opérateurs stochastique le croisement pour les opérateurs binaires, et la mutation pour les opérateurs unaires (agissant sur un seul individu), engendre un nouvel ensemble d'individus, appelés **enfants**.
- Ces descendants doivent être évalués à leur tour afin de pouvoir décider lesquels d'entre eux **méritent** de remplacer certains parents et de faire partie de génération suivante.
- Comme dans la nature, on espère l'émergence progressive d'individus de mieux en mieux adaptés : les meilleurs individus de la population finale (au regard de  $F$ ) devraient être proches de solutions du problème d'optimisation posé, et cela grâce aux étapes darwinistes.

Le processus peut être arrêté selon le critère d'arrêt choisit ; par exemple, un nombre maximum d'itérations ou d'évaluations, ou la stagnation de la valeur de la fitness du meilleur individu [37].

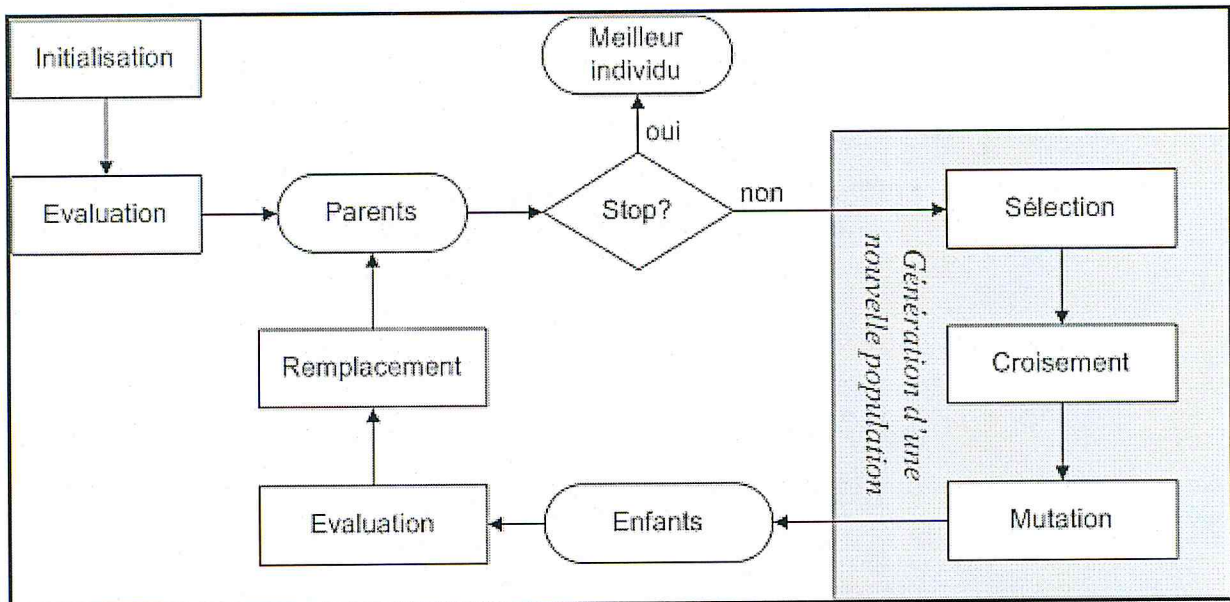


Figure I.5 : Principe générale de fonctionnement d'un algorithme génétique [37].

#### I.4.2.3. Les colonies de fourmis (ACS) [28]

Les algorithmes de colonies de fourmis forment une classe des heuristiques récemment proposée pour des problèmes d'optimisation difficiles. Ces algorithmes s'inspirent des comportements collectifs de dépôt et de suivi de piste observés dans les colonies de fourmis. Une colonie d'agents simples (les fourmis) communique indirectement via des modifications dynamiques de leur environnement (les pistes de phéromones) et construisent ainsi une solution à un problème en s'appuyant sur leur expérience collective.

Le premier algorithme de ce type a été conçu pour le problème du voyageur de commerce, mais n'a pas permis de produire des résultats compétitifs. Cependant, l'intérêt pour la métaphore était lancé et de nombreux algorithmes ont été proposés.

- **Principe [41]**

Un ensemble d'agents, appelés fourmis, recherchent en parallèle une meilleure solution en coopérant indirectement à travers les phéromones qu'ils déposent sur le graphe.

Dans ce système de colonies, les fourmis (agents) sont initialement positionnées sur  $n$  villes choisies par une règle d'initialisation (exemple : aléatoirement).



Chaque fourmi construit une tournée (i.e., une solution admissible) en choisissant les villes à visiter par la règle de transition d'état. Pendant la construction de sa tournée, la fourmi modifie également la quantité de phéromone sur l'arc visité en appliquant la règle de mise à jour locale.

Une fois que toutes les fourmis ont terminé leurs tournées, une certaine quantité de phéromones est déposée sur la plus courte tournée par la règle de mise à jour globale.

#### **I.4.2.4. Discussion**

D'après la recherche effectuée concernant les deux méthodes pour résoudre le problème du voyageur de commerce, on peut conclure que le niveau de complexité du problème à résoudre va décider si on doit utiliser la méthode des colonies de fourmis ou la méthode génétique.

## **I.5.Conclusion**

D'après l'étude faite sur les techniques d'aide à la décision, on peut conclure que la définition de la nature du problème (classification, sélection..) et ses contraintes sont nécessaires pour pouvoir choisir la méthode de résolution adéquate.

De même pour le problème de la tournée minimale et du plus court chemin, il existe une variété d'algorithmes pour trouver le meilleur chemin, mais le domaine d'application ainsi que les besoins et les exigences du problème du décideur vont déterminer la meilleure méthode à choisir afin de répondre au mieux aux besoins de l'organisme d'accueil.



---

## CHAPITRE 2

### CONCEPTION DU SYSTÈME

---

## II.1.Introduction

Après avoir abordé le principe de base des différents outils (méthodes) qu'on peut utiliser pour résoudre la problématique, on passe à l'étape qui concerne la conception du système qui rassemblera ces outils pour arriver à la solution du problème. On présentera la modélisation du système avec le langage standard UML, et à la fin, on détail les processus du système, avec les méthodes de résolution choisis.

Pour concevoir un système qui aidera l'organisme d'accueil à répondre à ses attentes et besoins, on doit d'abord éclairer le contexte et analyser le problème en cours, ainsi on sera en mesure de modéliser et concevoir sa solution.

### II. 2.Description du contexte

L'activité principale de l'organisme d'accueil est de fournir des services de télécommunication permettant le transport et l'échange de la voix, de message écrit, de données numériques et d'informations audiovisuelles. Le réseau d'Algérie Telecom est composé de plusieurs équipements qui assurent le bon fonctionnement du service de télécommunication.

Ce réseau couvre tout le pays, mais chaque sous direction de Algérie Télécom prend en charge la gestion et la maintenance d'une seule région. En une région, on trouve un réseau de transmission du signal numérique, ce réseau est constitué de plusieurs équipements liés avec des câbles en fibre optique (support ou on peut l'appeler : liaison).

En premier lieu, le signal est transporté vers la région par les grandes routes de transport de signal numérique (avec des câbles en fibre optique). Ensuite l'équipement récepteur de ce signal le transmet vers d'autres équipements jusqu'à arriver à l'abonné d'Algérie Télécom. En pratique, ces équipements se divisent en 3 catégories : Switch, centre d'amplification et MSAN.

#### II.2.1. Concepts utilisés

Afin de mieux comprendre la problématique et les objectifs à atteindre, il est nécessaire de définir les concepts utilisés dans le système actuel d'Algérie Télécom.



- **Le Switch** : c'est un équipement de distribution de signal numérique, on peut trouver enivrent un ou deux Switchs dans une commune, et dans certaines situations ; on trouve des communes sans Switch.

- **Rôle** : il assure la transmission du signal vers un autre Switch et aussi vers des MSAN. Un Switch peut jouer le rôle du récepteur du signal numérique provenant d'une autre région.

- **caractéristiques** : il est caractérisé par une localisation géographique (rue, commune, wilaya), une bande passante, une bande passante de base (seuil), nombre de port (vers d'autres Switchs ou centres d'amplification), nombre de port vers les MSAN et une année de mise en service.

- **Le centre d'amplification** : c'est un équipement d'amplification de signal numérique, on le trouve entre les Switchs ou entre un centre d'amplification et un Switch.

- **Rôle** : il assure la transmission du signal en cas d'une langue liaison (une grande distance entre 2 Switchs) pour éviter l'atténuation (l'affaiblissement) du signal numérique.

- **caractéristiques** : il est caractérisé par une localisation géographique (rue, commune, wilaya), nombre de port (vers d'autre Switchs ou centres d'amplification) et une année de mise en service.

- **Le MSAN** : c'est un équipement de distribution de signal numérique, on peut le trouver dans les grandes rues, et il lie le Switch avec les abonnés.

- **Rôle** : il assure la transmission du signal à partir des Switch vers les abonnés.

- **caractéristiques** : il est caractérisé par une localisation géographique (rue, commune, wilaya), une capacité d'alimentation d'abonnés, une bande passante, une bande passante de base (seuil) et une année de mise en service.

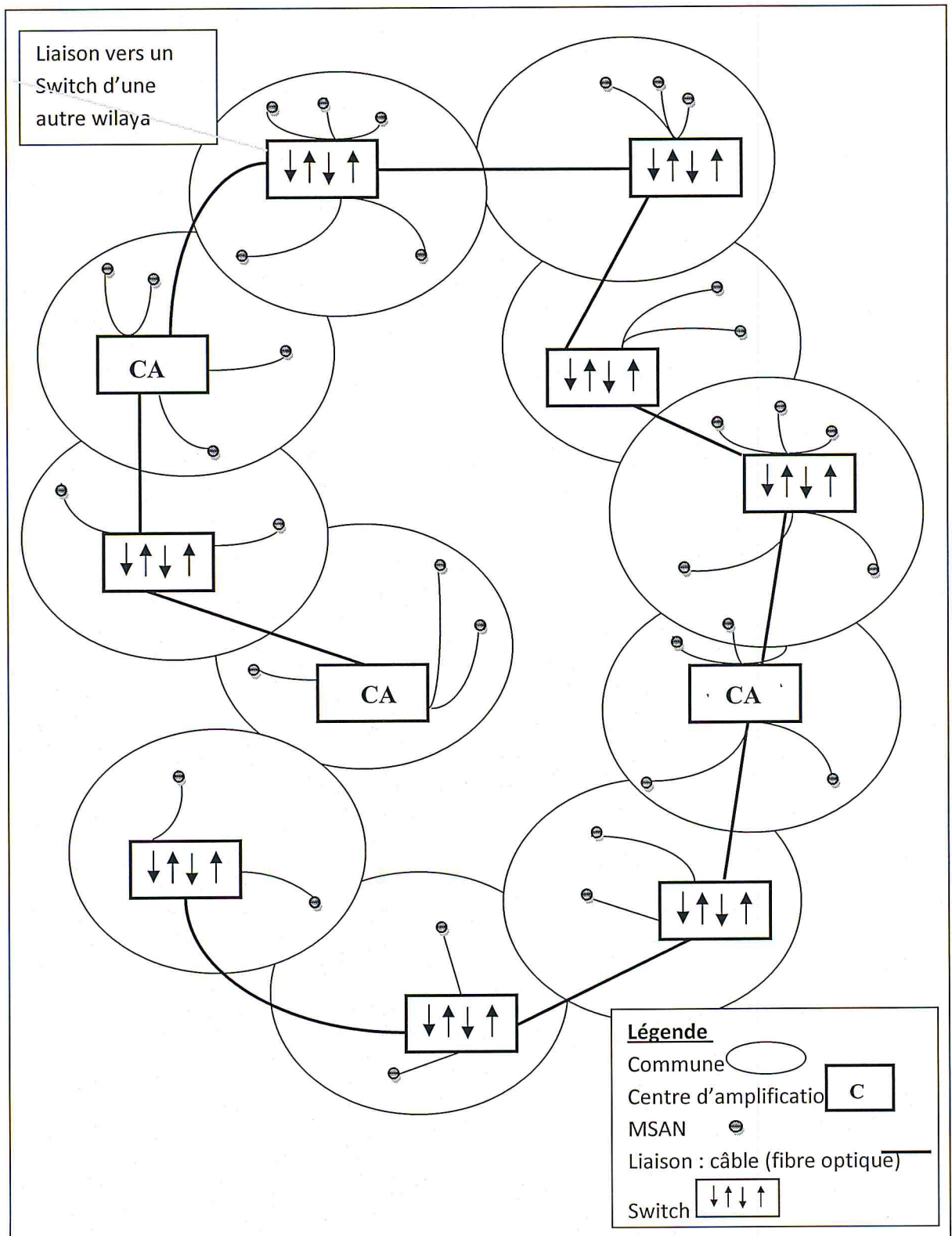
- **La liaison** : la liaison entre ces équipements est un câble en fibre optique.

- **Rôle** : elle assure le transport du signal numérique d'un équipement à un autre.

- **caractéristiques** : elle est caractérisée par une longueur (distance que le câble parcourt d'un équipement à un autre, nombre de fibre optique (par exemple : 4 Fo, 8 Fo, 16 Fo, avec Fo : fibre optique), une méthode d'implémentation du câble, nombre de fibre optique seuil et année de mise en service.



**II.2.2.** Schéma qui représente un exemple de la topologie actuelle du réseau d'Algérie Télécom



**Figure II.1:** Exemple de la topologie actuelle du réseau d'Algérie Télécom

### II.2.3.Problème du système

Le réseau d'Algérie Telecom a rencontré beaucoup de problèmes, notamment en qualité de service (impossible de garder le réseau fonctionnel H24), vu le nombre de plaintes des abonnés à propos des coupures du signal. Ce problème est provoqué par 2 failles :

- 1- le fait que les MSAN n'ont pas de liaison secourue : en cas de panne, dans une liaison entre un MSAN et le Switch lié à lui, tous les abonnés connectés à ce MSAN auront une coupure du signal jusqu'à la maintenance et la remise en service de la liaison en question. La durée de la panne varie d'une situation à une autre, mais ça peut atteindre plusieurs heures, ce qui implique une grande perte d'argent pour Algérie Telecom et la dégradation de la qualité de ses services, sans oublier que parmi ses abonnés, on peut trouver des professionnels (des entreprises par exemple) avec qui on n'est même pas censé tolérer les coupures du signal.
- 2- Au niveau des Switchs, une panne dans une liaison vers un Switch peut entraîner une coupure du signal dans tous les MSAN liés à ce Switch, et aussi vers tous les Switchs liés à lui, là on dit qu'un Switch n'a pas une liaison secourue.

### II.2.4.Analyse du problème

D'après les plaintes du service de maintenance de Algérie Telecom vis-à-vis la situation actuelle du réseau, on peut dire que :

- Le réseau souffre d'un manque de liaison secourue entre les Switchs et entre les MSAN et les Switchs.
- Le dépôt de beaucoup de plainte par les abonnés à cause des coupures répétitives et qui dure des heures est due à l'absence des liaisons secourues.
- L'architecture actuelle du réseau (topologie) a été établit sans faire une étude préalable, et elle ne permet pas la redondance des liaisons.



- En cas d'ajout d'une nouvelle liaison entre 2 équipements, la décision est prise par le chef de département de la direction d'Algérie télécom, et cela sans faire d'étude pour savoir quelle est la meilleure liaison qui peut répondre au besoins de leur système.

### **II.2.5.Objectifs**

Afin d'améliorer le réseau d'Algérie télécom (implémenter les équipements d'une façon qui garantie que le réseau sera fonctionnel H24), et minimiser ainsi le nombre des plaintes de leurs abonnés, on va optimiser la topologie du réseau, en utilisant une technique du calcul du plus court chemin pour les liaisons des MSAN, et une autre technique pour la tournée minimale qui couvre tous les Switchs, et à la fin, on va appliquer une méthode de classement des solutions possibles pour la topologie du réseau, en tenant compte de certains critères imposés par l'organisme d'accueil (ils seront détaillés dans la partie processus du système dans ce chapitre), pour cela on propose de:

- Lier les Switch en forme d'anneau (en faisant une tournée minimale qui passent par tous les Switchs, les centres d'amplification sont incluses dans cet anneau), ainsi les Switchs auront toujours une liaison secoure en cas de panne.
- attribuer a chaque MSAN deux liaisons ; une liaison vers le Switch le plus proche, et une autre liaison vers un autre Switch différent du premier, cette 2eme liaison va jouer le rôle d'une liaison secoure de ce MSAN, et elle sera utilisée en cas de panne.
- En appliquant ces changement dans la topologie du réseau: respecter le nombre de port maximal dans chaque équipement, afin d'éviter une saturation du réseau.

## II.3.Présentation de la démarche utilisée

Nous présentons dans ce chapitre, les étapes de conception du système qu'on souhaite concevoir. En commençant par le cycle de vie que nous avons suivi pour la réalisation de ce projet. Nous illustrerons les fonctionnalités du système, en se basant sur le langage UML (Unified Modeling Language) .

### II.3.1.Le cycle de vie

Le cycle de vie d'un logiciel est un ensemble séquentiel de phases, dont le nom et le nombre sont déterminés en fonction des besoins du projet, permettant généralement le développement d'un service ou d'un produit, en ce qui concerne notre projet nous avons suivi le modèle en cascade. [30]

### II.3.2.Modèle en cascade :

Ce modèle est constitué d'une suite d'étapes qui ont pour but de réaliser un produit logiciel fini et testé. Le résultat de chaque étape est testé et on ne passe à l'étape suivante que lorsque l'étape actuelle est satisfaisante. Ce modèle est un cycle de vie linéaire, séquentiel, défini dans les années 70.

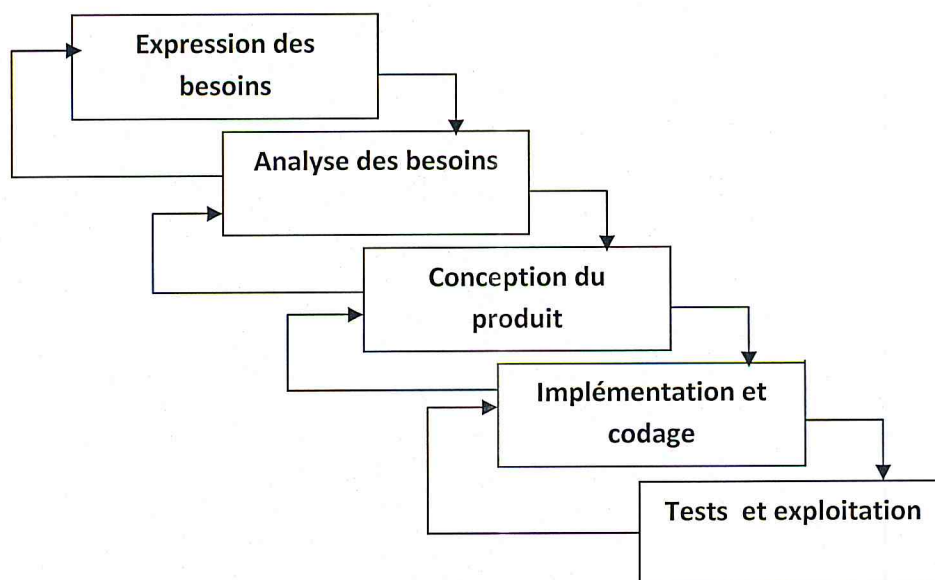


Figure II.2: Cycle de vie selon le modèle en cascade.



### **II.3.2.1.Expression des besoins**

La spécification des besoins est une étape essentielle au début de processus de développement, elle consiste généralement à déterminer précisément les besoins des utilisateurs du système afin d'éviter de développer un logiciel non adéquat.

Cette étape ne préoccupe pas des solutions mais des questions : elle identifie le « quoi faire ? » Et les entités de l'environnement du système. Pour modéliser ces besoins on utilise le diagramme des cas d'utilisation d'UML. [30]

### **II.3.2.2.Analyse des besoins**

L'objectif de l'analyse est d'accéder à une compréhension des besoins et des exigences du client, il s'agit de livrer des spécifications pour permettre de choisir la conception de la solution.

Un modèle d'analyse livre une spécification complète des besoins issus des cas d'utilisation et les structures sous une forme qui facilite la compréhension (Scenario) en utilisant le diagramme de d'activité d'UML pour représenter les interactions entre les objets. [31]

### **II.3.2.3.Conception du produit**

C'est la phase la plus importante du processus de développement d'un logiciel. Elle s'intéresse d'abord au « comment ? », à savoir la solution du problème énoncé.

La conception a pour but de décomposer le logiciel en module, de préciser les interfaces et les fonctions de chaque module. A l'issue de cette étape, on obtient une description de l'architecture du logiciel et un ensemble de spécifications de ces divers composants en utilisant le diagramme de classe d'UML. [31]

### **II.3.2.4.Implémentation et codage**

L'implémentation est le résultat de la conception, elle permet de présenter le système sous forme de composants, c'est-à-dire, de code source, de scripts exécutables et d'autres éléments du même types.

Les objectifs principaux de l'implémentation sont de planifier les intégrations des composants pour chaque itération, et de produire les classes et les sous-systèmes sous forme de code source. [32]

### II.3.2.5. Tests et exploitation

Les tests permettent de vérifier des résultats de l'implémentation du système [30].

### II.3.3 Expression des besoins

Cette phase consiste à définir les besoins fonctionnels de notre futur système, nous allons parler des fonctionnalités que peut offrir ce dernier afin de bien connaître les acteurs qui interagissent avec lui. Par la suite nous allons les modéliser en utilisant le diagramme des cas d'utilisation d'UML [30].

#### II.3.3. 1. Identification des acteurs et de cas d'utilisation

- **Acteurs :**

L'acteur est, par définition le rôle joué par une personne qui interagit avec le système. Il est en principe extérieur au système, délimité par ses bornes.

L'acteur a un nom, qui le définit, ou qui précise son rôle dans la transaction décrite. Notre système est composé de trois types d'acteurs :

1- **Agent de saisie** : il a comme rôle l'introduction des informations concernant tous les équipements du réseau, les chemins possibles entre les équipements (par exemple les chemins entre un MSAN et les Switchs ou CA les plus proches de lui) et les liaisons établies actuellement entre ces équipements.

L'agent de saisie se charge aussi de mettre à jour ces informations (en cas de changement dans la topologie du réseau).

2- **Chef de département** : il peut visualiser les différentes façons possibles de lier les équipements avec le gain de chaque chemin.

3- **Administrateur** : il a comme tâche principale la gestion des utilisateurs.

4- **Le système** représente l'application (logiciel) qu'on souhaite réaliser et qui se chargera de centraliser nos objectifs.

- **cas d'utilisation**

Nous allons présenter le diagramme de cas d'utilisation global, ensuite on mettra le diagramme détaillé de chaque cas d'utilisation.



### II.3.3.2. Diagrammes de cas d'utilisation

- Diagramme de cas d'utilisation global

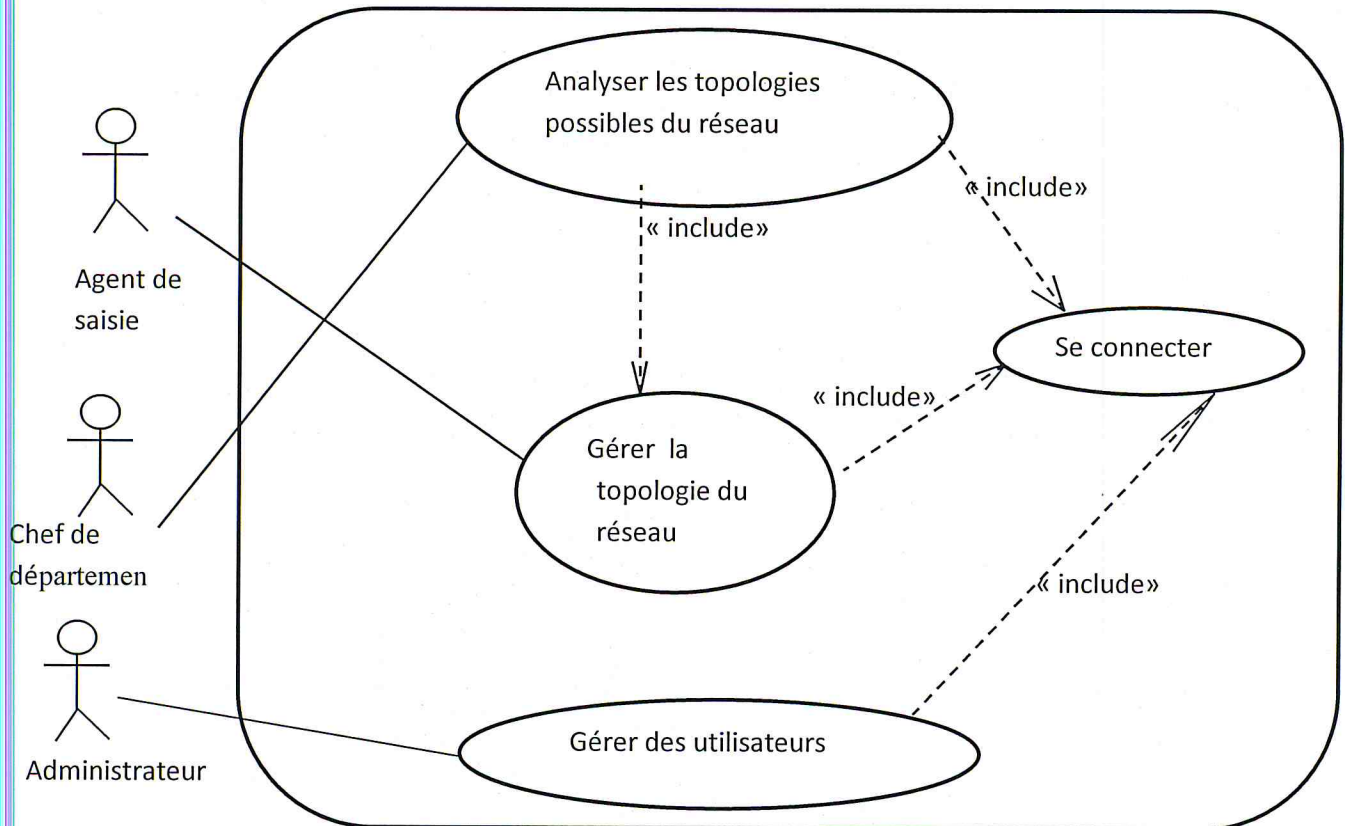


Figure II.3 : Diagramme de cas d'utilisation global.

- Description du diagramme de cas d'utilisation global

Cas d'utilisation	Description
Analyser les topologies possibles du réseau	Le chef de département peut analyser les différentes topologies possibles du réseau.
Gérer la topologie du réseau	L'agent de saisie a le droit de gérer la topologie du réseau.
Se connecter	L'Agent de saisie et Le chef de département doivent se connecter au système.
Gérer les utilisateurs	L'Administrateur a le droit de Gérer les utilisateurs.

Table II.1: Diagramme de cas d'utilisation GLOBAL

• Diagramme de cas d'utilisation « Analyser les topologies possibles du réseau »

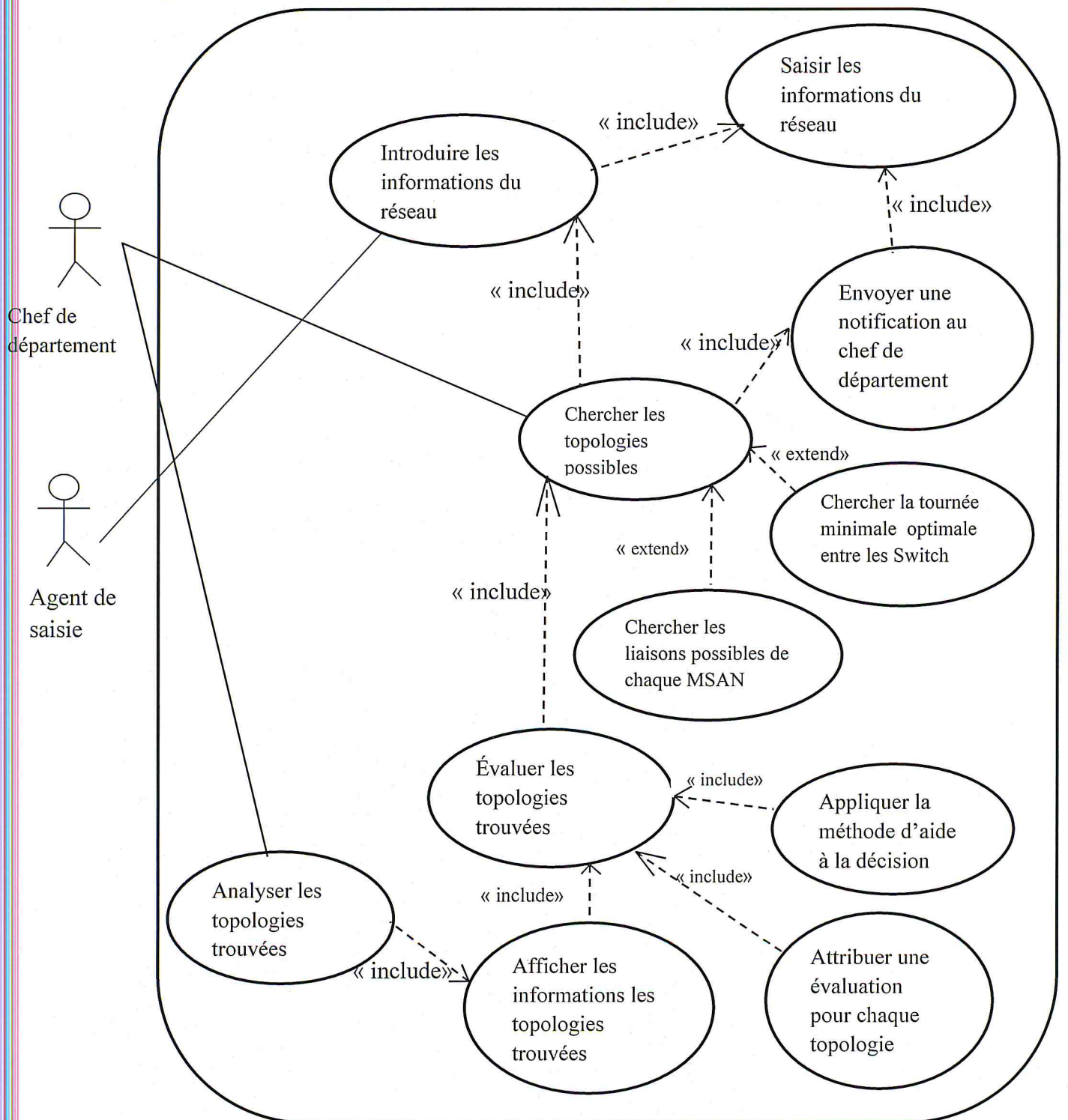


Figure II.4: Diagramme de cas d'utilisation «Analyser les topologies possibles du réseau».

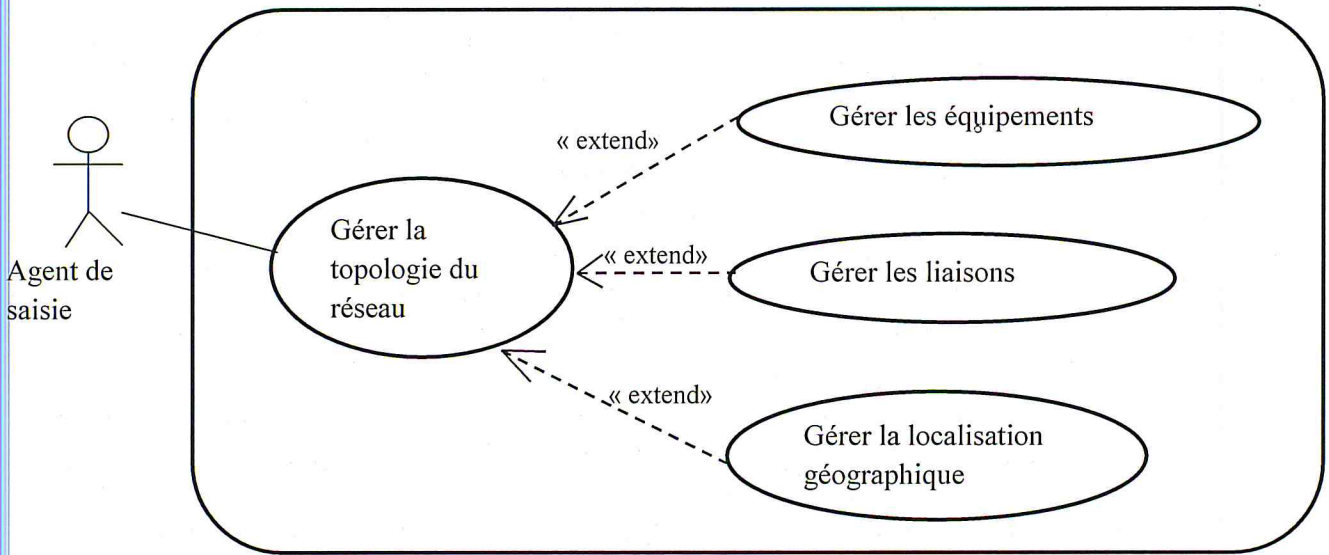


- **Description du diagramme de cas d'utilisation : Analyser les topologies possibles du réseau**

Cas d'utilisation	Description
Envoyer une notification au chef de département	Une notification sera envoyée au chef de département pour l'informer qu'il peut lancer la recherche des topologies possibles
Saisir les informations du réseau	L'agent de saisie doit saisir les informations du réseau (liste des équipements et détails des liaisons existantes et possibles)
Chercher les liaisons possibles de chaque MSAN	Le système doit chercher les meilleures liaisons possibles du un MSAN donné, vers les autres Switch.
Chercher la tournée minimale optimale entre Switchs	Le système doit chercher les meilleures tournées possibles entre les Switchs
Appliquer la méthode d'aide à la décision	Le système doit appliquer la méthode d'aide à la décision sur les résultats des recherches effectuées
Attribuer une évaluation pour chaque topologie	Le système doit attribuer une évaluation pour chaque résultat trouvé
Afficher les informations des topologies trouvées	Le système affiche les détails des topologies trouvées après avoir évaluées

**Table II.2:** Diagramme de cas d'utilisation : Analyser les topologies possibles du réseau

- Diagramme de cas d'utilisation « Gérer la topologie du réseau »



**Figure II.5:** Diagramme de cas d'utilisation : Gérer la topologie du réseau

- Description du diagramme de cas d'utilisation Gérer la topologie du réseau

Cas d'utilisation	Description
Gérer les équipements	L'agent de saisie peut ajouter, modifier, rechercher et supprimer et consulter les différents types d'équipement (MSAN, Switch, Centre d'amplification).
Gérer les liaisons	L'agent de saisie peut gérer les liaisons existantes et possibles (ajouter, rechercher, modifier, supprimer et consulter).
Gérer la localisation géographique	L'agent de saisie peut gérer la localisation géographique (les communes, wilayas et des rues) : ajouter, rechercher, modifier, supprimer et consulter).

**Table II.3:** Diagramme de cas d'utilisation : Gérer la configuration du réseau



## II.3.4. Analyse des besoins

### II.3.4.1. Diagramme d'activité

On présente ici les diagrammes d'activités du processus global le plus important : analyser les topologies possibles du réseau.

- **Diagramme d'activité : Introduction des informations du réseau**

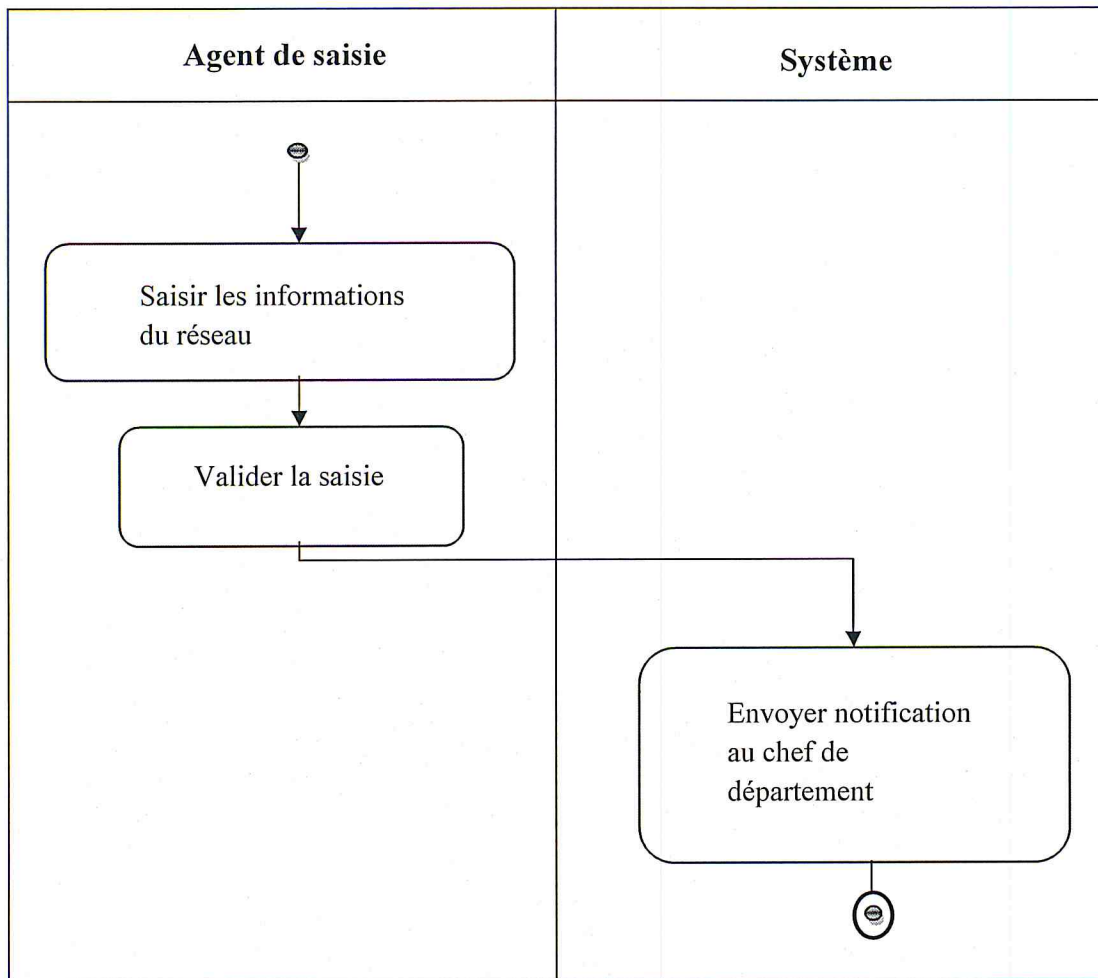


Figure II.6: Diagramme d'activité : Introduction des informations du réseau

- Diagramme d'activité : analyser les chemins possibles des équipements (MSAN)

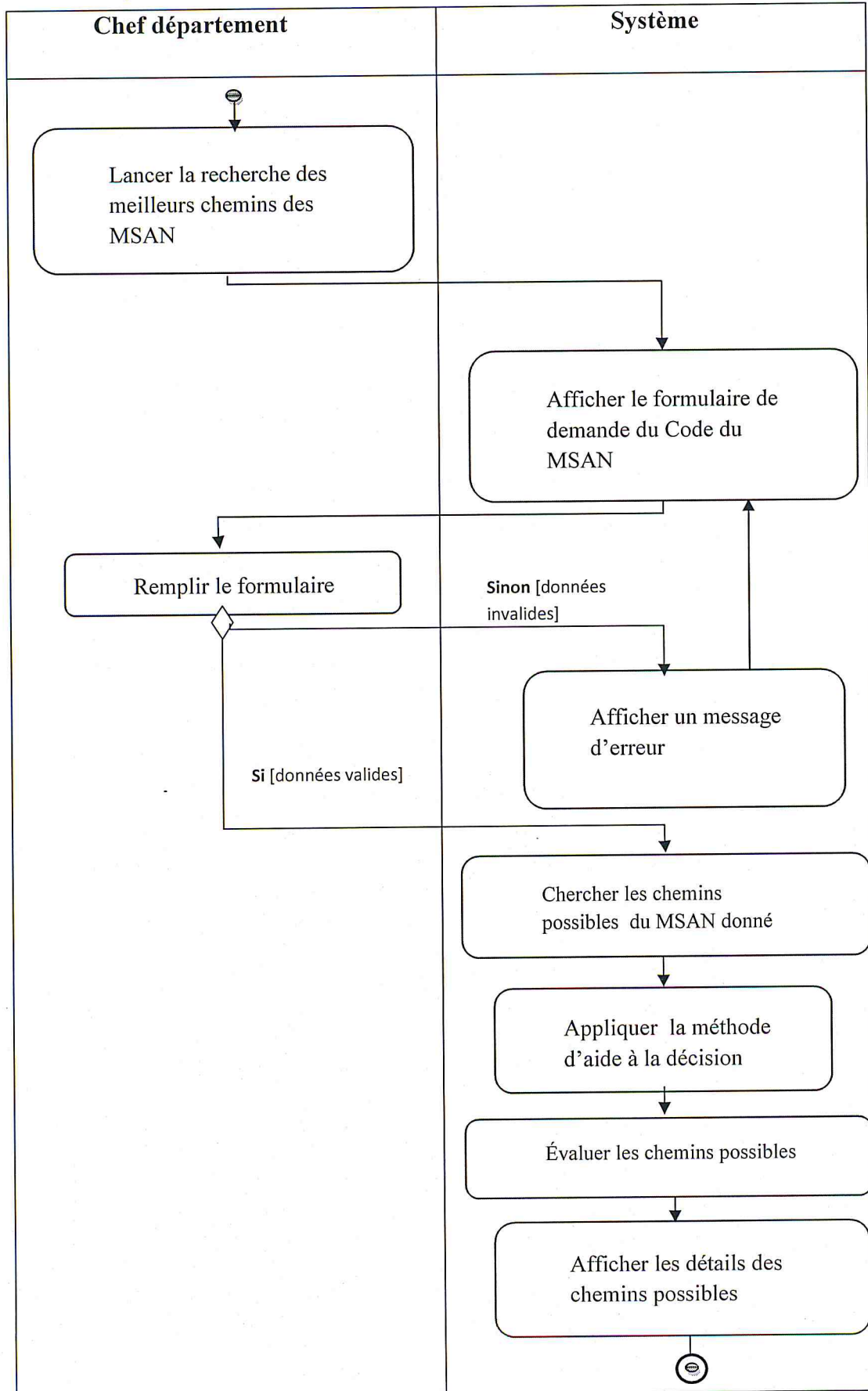
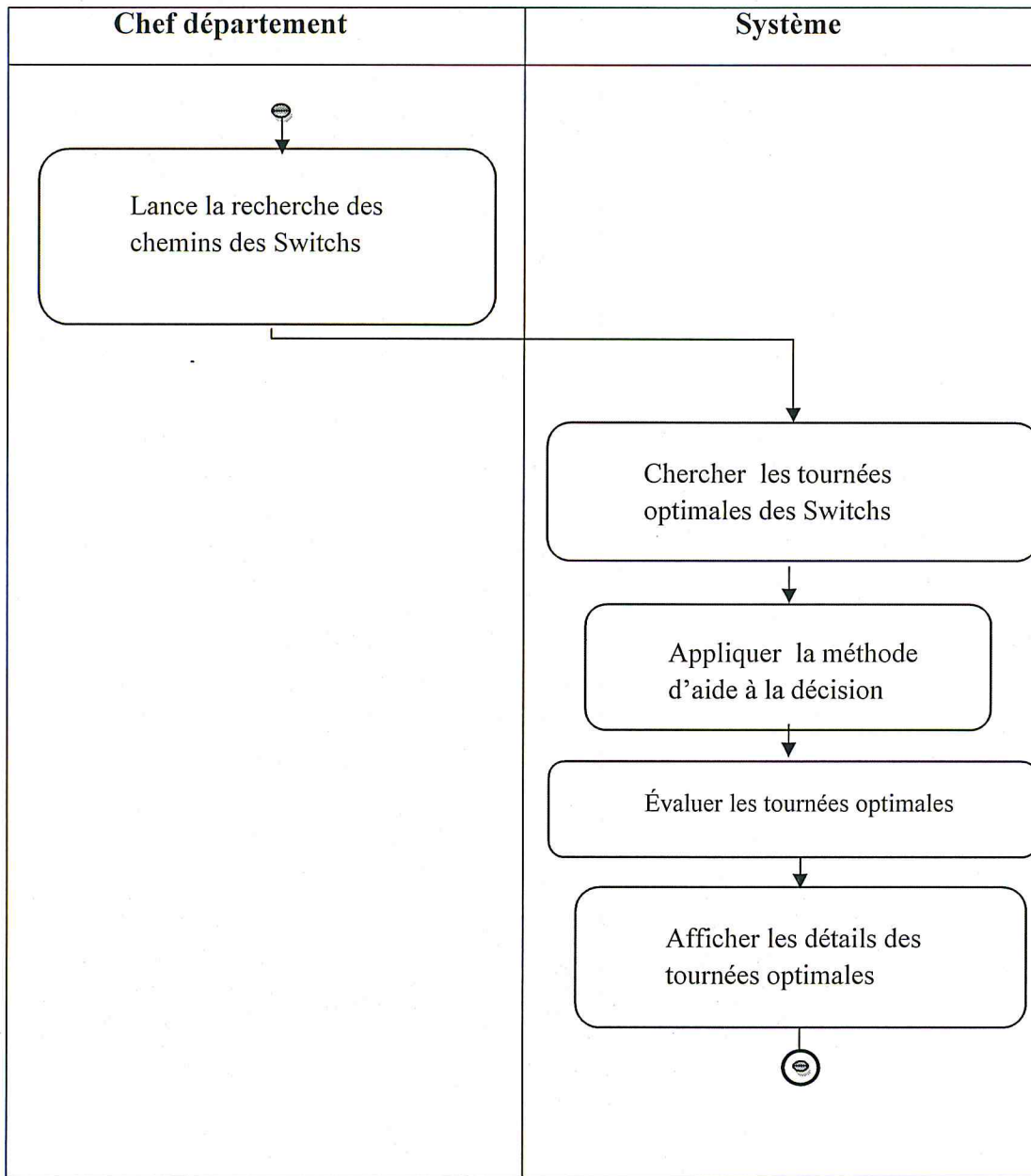


Figure II .7: Diagramme d'activité : analyser les chemins des équipements (MSAN)



### Diagramme d'activité : analyser les chemins possibles des équipements (Switch)



**Figure II .8:** Diagramme d'activité : analyser les chemins possibles des équipements (Switchs)

### **II.3.5. Conception du système**

Après la modélisation des besoins puis l'organisation de la structure du système, on présente dans ce qui suit la conception du système. Elle consiste à construire et à documenter précisément les classes et les méthodes, cette étape est nécessaire pour concevoir la base de données du système.



• II.3.5.1. Diagramme de classes

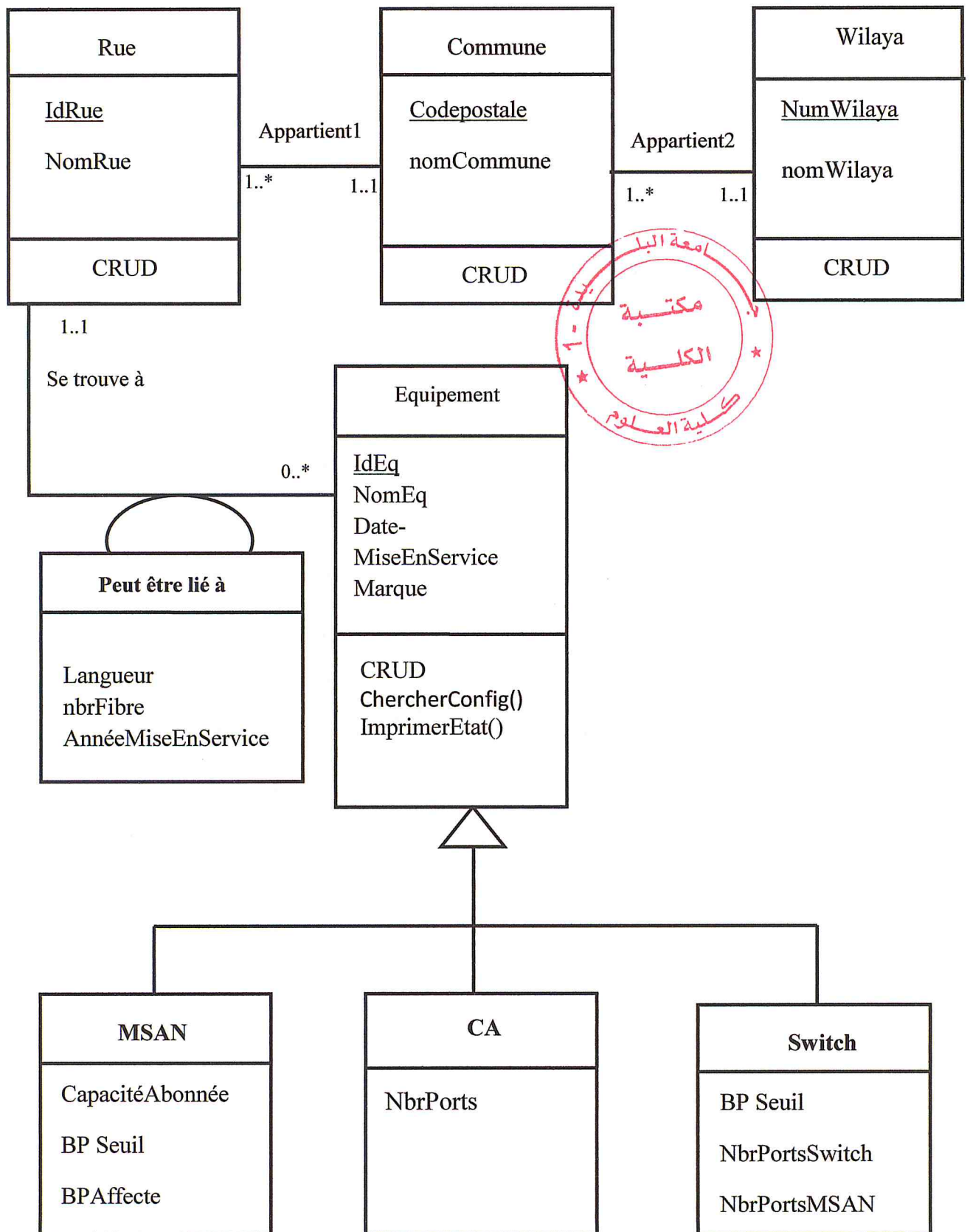


Figure II.9: diagramme de classe

- Descriptions de données des classes

Nom de classe	Identifiant	Attribut	Type	Description
Equipement	IdEq	<u>IdEq</u>	Int	Code qui identifie l'équipement
		NomEq	Varchar	Nom attribué à l'équipement
		Date-MiseEnService	Date	Date de du 1 <sup>er</sup> déploiement de l'équipement
		Marque	Varchar	Nom de la marque de l'équipement
Rue	IdRue	<u>IdRue</u>	Int	Code qui identifie la rue
		NomRue	Varchar	Nom de la rue
Commune	Codepostale	Codepostale	Int	Code postale
		NomCommune	Varchar	Nom de la commune
Wilaya	NumWilaya	NumWilaya	Int	Numéro de la wilaya
		NomWilaya	Varchar	Nom de la wilaya
MSAN	IdEq(héritage )	IdEq	Int	Code qui identifie l'équipement
		CapacitéAbonnée	Int	Nombre maximum d'abonnés que le MSAN peut supporter
		BP Seuil	Int	Bande passante seuil
		BPAffecte	Int	Bande passante affectée
CA	IdEq(héritage )	IdEq	Int	Code qui identifier l'équipement
		NbrPorts	Int	Nombre de port possible vers un Switch ou un autre CA
Switch	IdEq(héritage )	IdEq	Int	Code qui identifie l'équipement
		BP_Seuil	Int	Bande passante seuil
		NbrPortsSwitch	Int	Nombre de port possible vers les Switchs
		NbrPortsMSAN	Int	Nombre de port possible vers les MSAN

Est câblé avec	<u>Langueur</u>	Int	En mètre, et elle est normé
	NbrFibre	Int	Un câble peut être constitué de plusieurs fibres
	AnnéeMiseEnService	Date	Date de du 1 <sup>er</sup> déploiement de la liaison
Peut être lié	<u>Langueur</u>	Int	En mètre, et elle est normé

**Table II.4 :** Descriptions de données des classes

- **Dictionnaire de données des relations**

Realtion	Collection	Identifiant	Cardinalité
Appartient1	Rue	IdRue	1..*
	Commun	CodePostal	1..1
Appartient2	Commun	CodePostal	1..*
	Wilaya	NumWilaya	1..1
Se trouve à	Equipement	IdEq	0..*
	Rue	IdRue	1..1

**Table II.6 :** Dictionnaire de données des relations

- **Méthodes :**

**CRUD :** Create(), Read(), Update(), Delete() => ajouter(), modifier(), supprimer(), recherche() et lecture()

**ChercherConfig()** : elle permet de lancer la recherche des topologies possibles pour le réseau.

**ImprimerEtat()** : elle permet l’affichage et l’impression des informations de la topologie actuelle du réseau.



## II.4.Processus du système :

Dans la conception du système qu'on propose pour résoudre la problématique, on a fait appel à des tâches qui sont invisibles par l'utilisateur, ces tâches qu'on appellera « processus » devront être modélisées dans cette partie, pour cela, on va décrire chaque processus du système selon le plan suivant :

Chaque description sera divisée en 3 parties :

- 1- Description de ce que le processus requise comme ressource (informations).
- 2- Description des opérations que le processus effectue durant son exécution, avec les méthodes utilisées dans le processus.
- 3- Description des résultats (informations) obtenus après l'exécution du processus.

## II.5.1. présentation des processus du système

- Organigramme qui représente les processus, leurs besoins et résultats

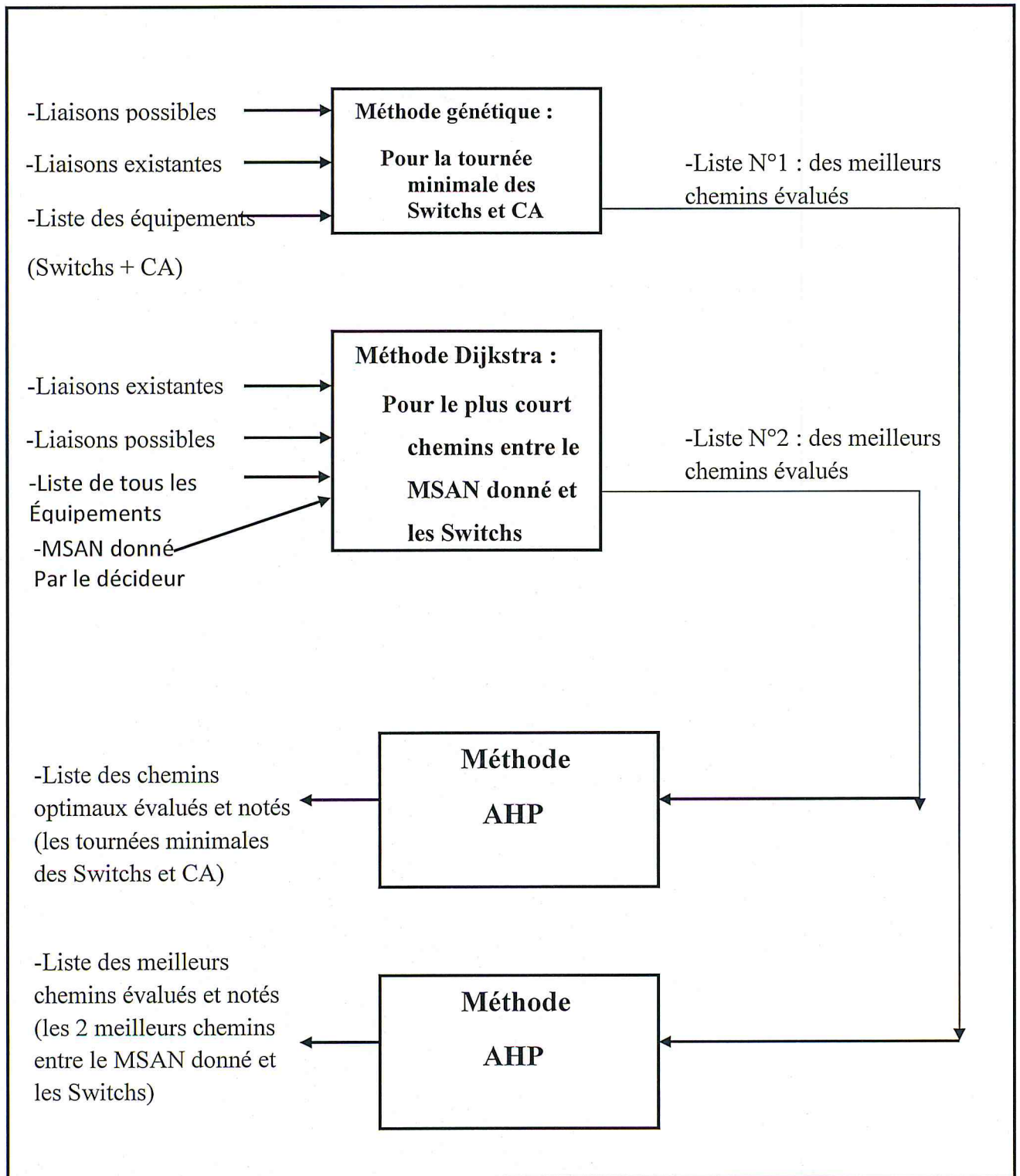


Figure II.10 : Organigramme qui représente les processus, leurs besoins et résultats

## Processus 1 :

### **La tournée optimale entre les Switchs (concerne le problème de la tournée minimale).**

**Objectif :** on rappelle qu'ici on a comme but : la recherche des tournées optimales (formant une tournée qui couvre les Switchs), tout en tenant compte les critères de choix à vérifier et à utiliser pour évaluer chaque chemin.

#### **a-Ressources requises :**

Ce processus nécessite d'avoir la liste des liaisons possibles entre les Switchs avec la distance de chaque liaison, et pour pouvoir évaluer les chemins possibles : il faut avoir la liste des liaisons existantes et fonctionnelles entre la liste des équipements disponibles (Switchs et centres d'amplification) pour calculer les dépenses (en mètre) de la création de nouvelles liaisons qui n'existent pas encore dans un chemin.

#### **b-Opérations du processus :**

Pour la recherche des meilleurs chemins, ce processus utilise **la méthode génétique** qui résout le problème **du voyageur de commerce** on appliquant cette méthode plusieurs fois on obtient de nouveaux résultats, chaque résultat sera évalué selon les critères du système à la fin d'exécution du processus. On va éclairer dans ce qui suit la méthode choisie pour ce processus et son application sur notre problème.

#### **- Méthode choisie pour le problème de la tournée minimale : la méthode génétique**

Les algorithmes génétiques fournissent des solutions proches de la solution optimale, les méthodes exactes sont inutilisables, sauf si le nombre de sommets est très petit, ce qui n'est pas le cas dans notre problème. On a opté pour l'algorithme génétique car il permet d'obtenir plusieurs solutions de bonne qualité.

#### **- Adaptation de l'algorithme au problème :**

On fait ici la correspondance entre la terminologie de l'algorithme et les concepts utilisés dans la problématique

- Un individu => correspond à un trajet (une tournée)
- Son évaluation => correspond à la longueur totale de ce trajet
- Un gène => correspond à un équipement (Switch ou Centre d'amplification) ou l'on passe à une certaine position du trajet
- ADN => correspond à la liste des équipements dans l'ordre de parcours



- **Pseudo code Algorithme Génétique [37].**

**Algorithme Génétique**

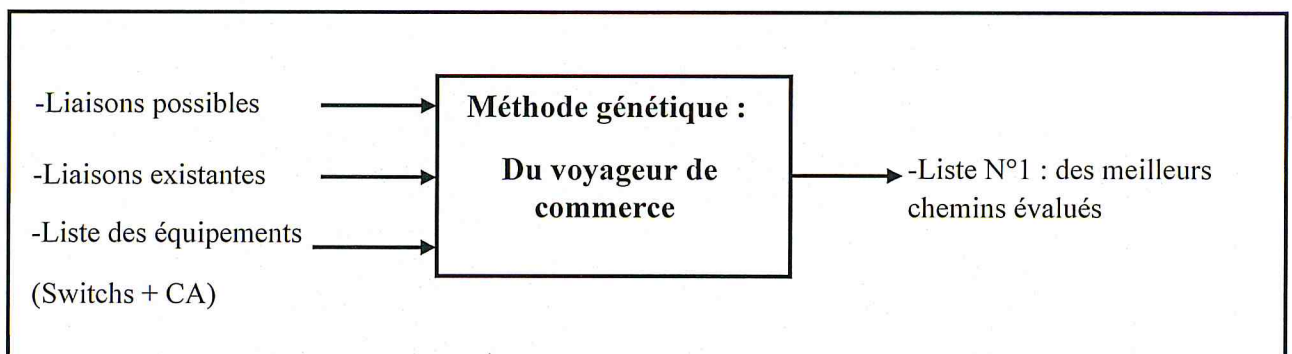
1. Initialisation :
  - Initialiser le compteur des générations  $t = 0$ .
  - Initialiser aléatoirement une population  $P(t)$  de taille fixée  $N$ .
  - Évaluer chaque individu de  $P(t)$ .
2. Sélectionner les individus les plus performants (au sens de  $F$ ) de la population, les recopier pour former une nouvelle population de même taille.
3. Créer une nouvelle population en appliquant les opérateurs de variation :
  - Opérateur de croisement : recombinaison des parties de deux individus pour en obtenir deux nouveaux.
  - Opérateur de mutation : modifier aléatoirement un individu.
4. Évaluer la fitness de chaque individu de la nouvelle population.
5. Remplacer certains individus de l'ancienne population par les meilleurs individus de la nouvelle population.
6. Si la condition d'arrêt n'est pas vérifiée, aller vers l'étape 2, sinon, retourner le meilleur individu de  $P(t)$ .

**Figure II.11:** Pseudo code Algorithme Génétique.

**c. Résultats obtenus :**

A la fin de l'exécution de ce processus, on obtient une liste **des tournées optimales des Switchs (les meilleurs chemins)**, et chaque chemin aura une évaluation numérique vis-à-vis chaque critère de choix.

**d-Schéma récapitulatif :**



**Figure II.12:** Schéma descriptif du processus meilleurs chemin entre les Switchs

## Processus 2 :

### Les meilleures liaisons entre les MSAN et les Switchs.

**Objectif :** le but ici c'est de chercher les deux meilleurs chemins d'un MSAN vers les Switchs (en tenant compte aussi des critères de choix et l'évaluation de chaque chemin).

#### a-Ressources requises :

Il est nécessaire d'avoir la liste des liaisons possibles entre tous les équipements avec la distance de chaque liaison .ainsi que la liste des liaisons existantes et la listes des équipements disponibles (de même, pour pouvoir évaluer chaque chemin). Et a la fin : le MSAN qu'on souhaite lui chercher les meilleurs chemins.

#### b-Opérations du processus :

On utilise la méthode de Dijkstra Moore pour trouver le plus court chemin d'un MSAN vers les autres Switchs, chaque chemin sera filtrés et évalué selon les critères du choix du système. On va éclairer dans ce qui suit la méthode choisi pour ce processus et son application sur notre problème.

#### - Méthode choisie pour le problème du plus court chemin : la méthode de Dijkstra

Parmi les techniques évoquées en chapitre 1, celle de Dijkstra s'avère la plus commode pour résoudre le problème du plus court chemin dans le réseau de Algérie Télécom, car le graphe représentant la topologie du réseau ne possède aucun arc de poids négatif, l'algorithme de Dijkstra est plus rapide que les autres algorithmes, et le type de problème associé a lui ainsi que le résultat qu'il fournit correspondent aux besoins du système :

- Résultat souhaité : chemin optimal
- Type du problème concerné : Étant donné un sommet de départ  $s$ , trouver un plus court chemin de  $s$  vers un autre sommet  $t$ .

Donc en considérant le MSAN comme étant le sommet de départ, on peut trouver le plus court chemin de ce MSAN vers tous les Switch par l'exécution de l'algorithme de Dijkstra plusieurs fois (pour chaque Switch).



- **Adaptation de l'algorithme au problème :**

On fait ici la correspondance entre la terminologie de l'algorithme et les concepts utilisés dans la problématique :

- Sommet => correspond à un équipement (Switch ou Centre d'amplification).
- Arc => correspond à une liaison.
- Plus court chemin => correspond au chemin le plus court d'un MSAN vers un Switch.
- Étiquette d'un sommet par rapport à un point de départ => correspond à la distance parcourue à partir du MSAN concerné (qui correspond au point de départ) vers le Switch ayant cette étiquette.

- **Pseudo code Dijkstra [ 38 ].**

**Algorithme de Dijkstra classique**

```
Initialiser D à source
Initialiser C à S-{source} : l'ensemble des sommets non fixés
distances [source]= 0
parcours[source]=source

Répéter
Étape1 : Chercher sommet s non fixé de distance minimale
    Si distances[s] <+ ∞
        Ajouter s dans D
        Supprimer s de C
    Fin de si
Pour tous les sommets t de C faire
    Si distances[s] + F(s,t) < distances[t] alors
        distances[t]= distances[s] + F(s,t)
        parcours[t]= s
    fin de si
Fin de pour
Si C non vide alors retour à l'étape1
Sinon fin
```

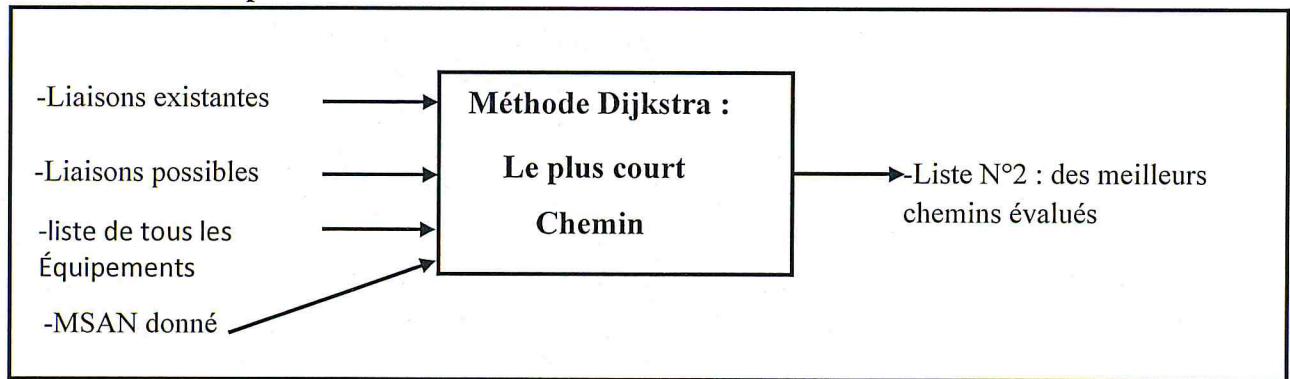
**Figure II.13:** Pseudo code Dijkstra.



### c. Résultats obtenus :

On aura la liste des meilleurs chemins entre le MSAN donné par le décideur et les Switchs, et chaque chemin sera accompagné d'une évaluation numérique selon chaque critère.

### d-Schéma récapitulatif :



**Figure II.14 :** Schéma descriptif du processus meilleurs chemin entre le MSAN donné et les Switchs

### Processus 3 :

#### Proposition des meilleures décisions (aide à la décision).

**Objectif :** Après avoir eu la liste des solutions possibles (**les meilleurs chemins**), ici on va utiliser la méthode **d'aide à la décision** pour aider le décideur à faire son choix.

#### a-Ressources requises :

Ce processus a besoin de la liste de comparaison pair à pair des critères (degrés ou coefficient d'importance entre tout couple de critère) et la liste des meilleurs chemins trouvés (du processus 1 ou 2).

#### b-Opérations du processus :

Ce processus utilise la méthode AHP pour fournir la comparaison pair à pair entre tout couple de chemin (cela : séparément entre les chemins du processus 1 et 2). Après, chaque chemin sera évalué selon les critères de choix qu'on va expliquer (avec la méthode choisie) dans ce qui suit.

### **b.1. Méthode choisie pour le problème d'aide à la décision : la méthode du AHP**

La méthode AHP est simple à utiliser, elle permet de prendre en compte à la fois des critères quantitatifs et qualitatifs, et elle permet la priorisation des solutions, ainsi que le choix de la meilleure solution d'après les résultats obtenus, on a décidé de prendre cette méthode pour la partie d'aide à la décision, car le problème de l'organisme d'accueil nous ramène à beaucoup d'alternatives (chemins possibles pour le réseau) et peu de critères, et même ces critères peuvent des fois être conflictuels.

#### **b.2. Critères de comparaisons entre les solutions alternatives :**

- **La distance** : quand on a plusieurs chemins possibles d'un équipement de départ vers les autres équipements (problème du plus court chemin pour les MSAN) par exemple, on souhaite prioriser le chemin qui a la plus petite distance, l'importance de ce critère se matérialise dans le fait qu'un chemin court aura des coûts de réalisation et de maintenance (coûts en argent) minimales par rapport à un chemin plus long.

- **Les dépenses** : pour un équipement quelconque, par exemple un MSAN, entre réaliser une nouvelle liaison depuis ce MSAN vers un Switch qui est sensé être le plus proche, et entre l'utilisation d'une liaison déjà existante pour lier ce MSAN à un Switch différent (qui n'est pas le plus proche de ce MSAN mais pas trop loin non plus). Le facteur qui décide la meilleure décision dans des situations pareilles est le coût en argent d'établissement des nouvelles liaisons par rapport aux autres solutions ou on utilise des chemins déjà existants. On va représenter ce coût par la distance (en mètre) du chemin qu'il faut ajouter au réseau pour établir la nouvelle liaison.

- **Le cambrement** : on préfère toujours avoir des ports libres dans les équipements (surtout dans les Switchs et les centres d'amplifications) pour des raisons de maintenance, donc parmi les chemins proposés, ceux qui dépassent la capacité maximale des ports des équipements seront rejetés (par exemple : dans un chemin où on trouve un équipement avec un nombre maximal de ports = 3, alors qu'on a besoin de 4 ports ou plus pour établir ce chemin). De même pour les chemins proposés qui consomment exactement la totalité des ports d'un équipement, ces chemins seront moins recommandés par rapport aux autres chemins puisqu'il n'y aura plus de ports libres dans les équipements concernés.

#### **b.3. Degré d'importance (poids) d'un critère :**

Pour appliquer la méthode AHP, on aura besoin d'une matrice de comparaison deux à deux des critères cités dessus. Cette comparaison est essentielle non seulement pour concrétiser l'influence qu'un critère peut avoir sur l'avis du décideur dans les alternatives proposées, mais aussi pour évaluer les chemins possibles du réseau en tenant compte -à la

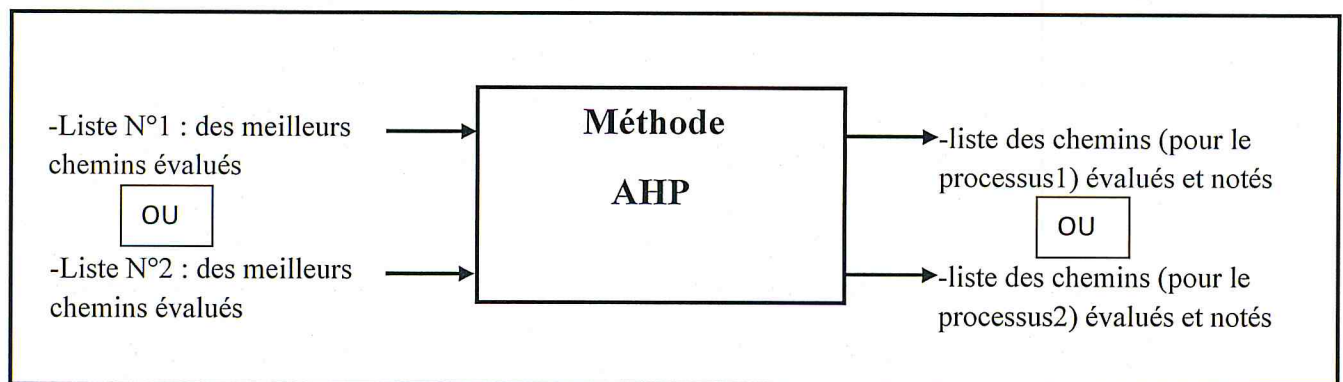


fois- tous les critères. La matrice de comparaison entre ces critères sera présentée dans le chapitre d'implémentation.

### c-Résultats obtenus :

On aura la liste des chemins à prendre pour le processus (1 ou 2) chaque chemin peut avoir une note globale qui tient en compte tous les critères de choix, selon cette note les chemins seront triés. Le décideur pourra ensuite utiliser ces résultats pour prendre des décisions d'amélioration du réseau.

### d-Schéma récapitulatif :



**Figure II.15 :** Schéma descriptif du processus d'aide à la décision.

La méthode du AHP nous a permis de prendre en compte les critères cités dessus dans la présentation et l'évaluation des meilleurs chemins (qui sont fournis par les méthodes de Dijkstra et génétique) pour la topologie du réseau, ainsi, cette contribution va permettre une meilleure analyse au décideur.

### II.4.3. discussion

D'après la description détaillée des processus du système on peut dire que le processus du calcul du plus court chemin, ainsi que celui de la tournée minimale nous ont permis d'avoir les meilleurs chemins pour faire les liaisons entre les équipements, mais l'intervention du processus d'aide à la décision a filtré ces chemins—d'un côté-, on ne laissant que les chemins possibles à réaliser et qui respectent bien les critères imposés dans le problème, et dans un autre côté, elle a aidé le décideur à mieux interpréter ces chemins pour les analyser et améliorer ainsi le réseau.



## **II.5.Conclusion**

Les choix effectués sur les méthodes de résolution des problèmes d'optimisations, et aussi ceux d'aide à la décision ont été bien faits tenant compte des contraintes et description du problème de l'organisme d'accueil. La méthode AHP offre un classement par score (clair et facile à comprendre) des configurations possibles qu'on a rassemblé grâce à la méthode génétique et celle de Dijkstra. Ce qu'il reste à accomplir pour que l'utilisateur puisse tirer profit de notre système pour gérer et améliorer son réseau ; est de l'implémenter en appliquant la conception déjà faite dans ce chapitre, ce qui sera expliqué dans le prochain chapitre.

---

## CHAPITRE 3

# IMPLÉMENTATION

---

### **III.1. Introduction**

Après avoir présenté dans le chapitre précédent la modélisation UML de notre système. L'objectif de ce chapitre est de présenter notre logiciel d'aide à la décision et de donner une synthèse des résultats obtenus par l'application des méthodes choisies.

Nous avons divisé ce chapitre en deux parties. La première est consacrée à la définition des outils de développement utilisés pour l'implémentation de notre système et à la présentation de l'application. Le but de la deuxième partie est de donner une synthèse des résultats obtenus par l'application des algorithmes sur le test effectué.

### **III.2. Environnement de développement**

#### **III.2.1. plateforme de développement Web (WampServer)**

WampServer est une plate-forme de développement Web sous Windows pour des applications Web dynamiques à l'aide du serveur Apache2, du langage de scripts PHP et d'une base de données MySQL. Il possède également PHPMyAdmin pour gérer plus facilement vos bases de données [43].

#### **III.2.2. Les langages de scripts utilisés**

##### **III.2.2.1. HTML**

Le HTML (ou HyperText Markup Language) est un langage hypertexte à balises (ou marqueurs), il a comme fonction principale : de gérer la façon dont un texte va s'afficher au sein du navigateur.

HTML n'est pas un langage de programmation au sens classique du terme, mais il est essentiellement un langage de formatage du texte, permettant l'habillage de pages web qui sans celui-ci seraient bien dénuées d'intérêt [44].

##### **III.2.2.2. CSS**

Le CSS est un langage de script utilisé pour mettre en forme les fichiers HTML ou XML. Ainsi, les feuilles de style, aussi appelées les fichiers CSS, comprennent du code qui permet de gérer le design d'une page en HTML (<http://www.infowebmaster.fr/>).



### **III.2.2.3. La structuration de données (MySQL)**

C'est un serveur de bases de données qui stocke les données dans des tables séparées plutôt que de tout rassembler dans une seule table. Cela améliore la rapidité et la souplesse de l'ensemble. Les tables sont reliées par des relations définies, qui rendent possible la combinaison de données entre plusieurs tables durant une requête [42].

### **III.2.2.4. Le langage de programmation choisi (PHP)**

PHP est un langage de programmation libre principalement utilisé pour produire des pages Web dynamiques via un serveur HTTP ,mais pouvant également fonctionner comme n'importe quel langage interprété de façon locale.

Pour la réalisation de notre projet nous avons utilisé le langage de programmation PHP, sous l'éditeur sublime texte (<http://www.sublimetext.com/>).

### III.3. Diagramme de séquence

- Diagramme de séquence : Introduire les informations du réseau 1

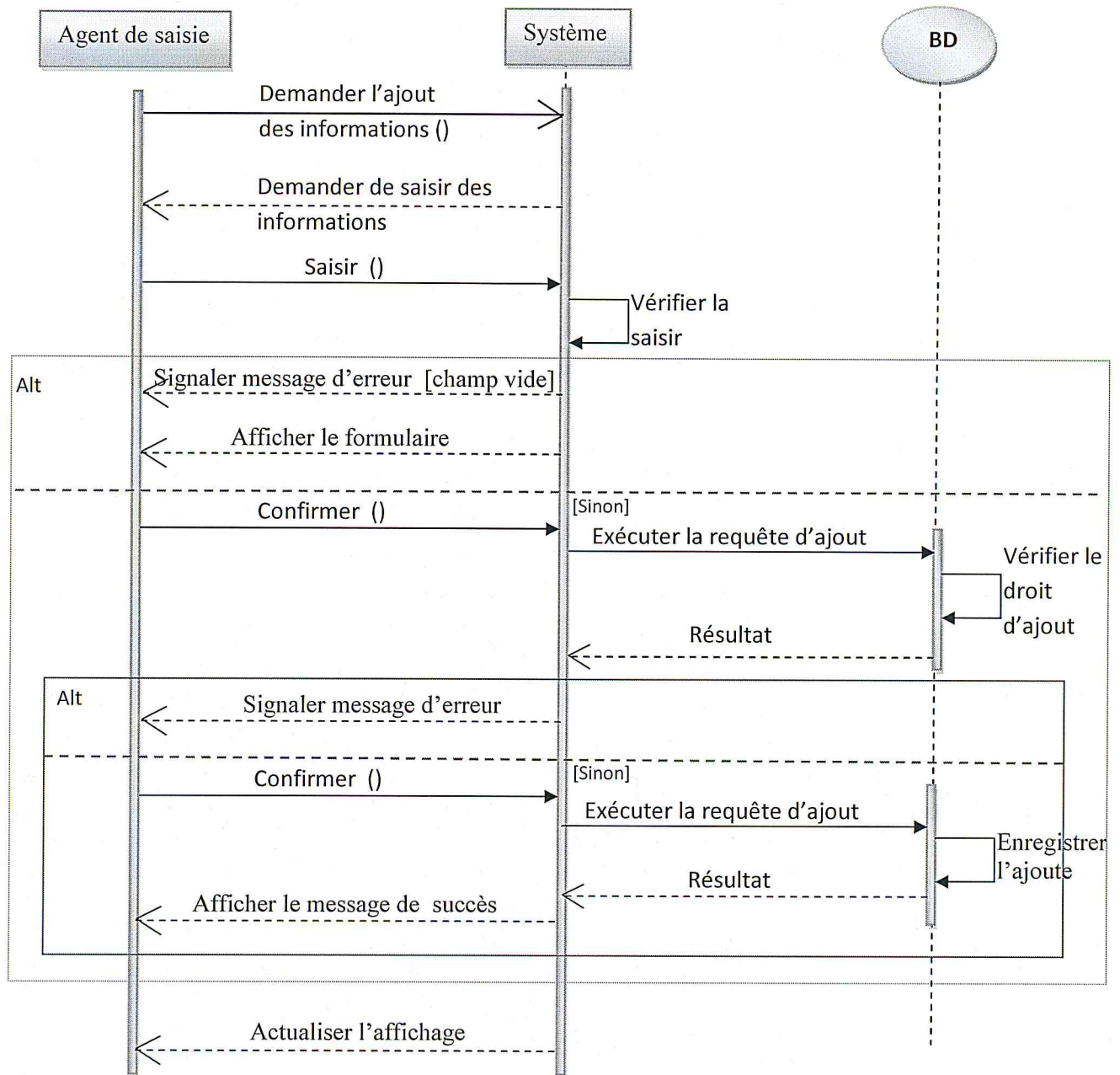


Figure III.1 : Diagramme de séquence : Introduire les informations du réseau 1

- Diagramme de séquence : Introduire les informations du réseau 2

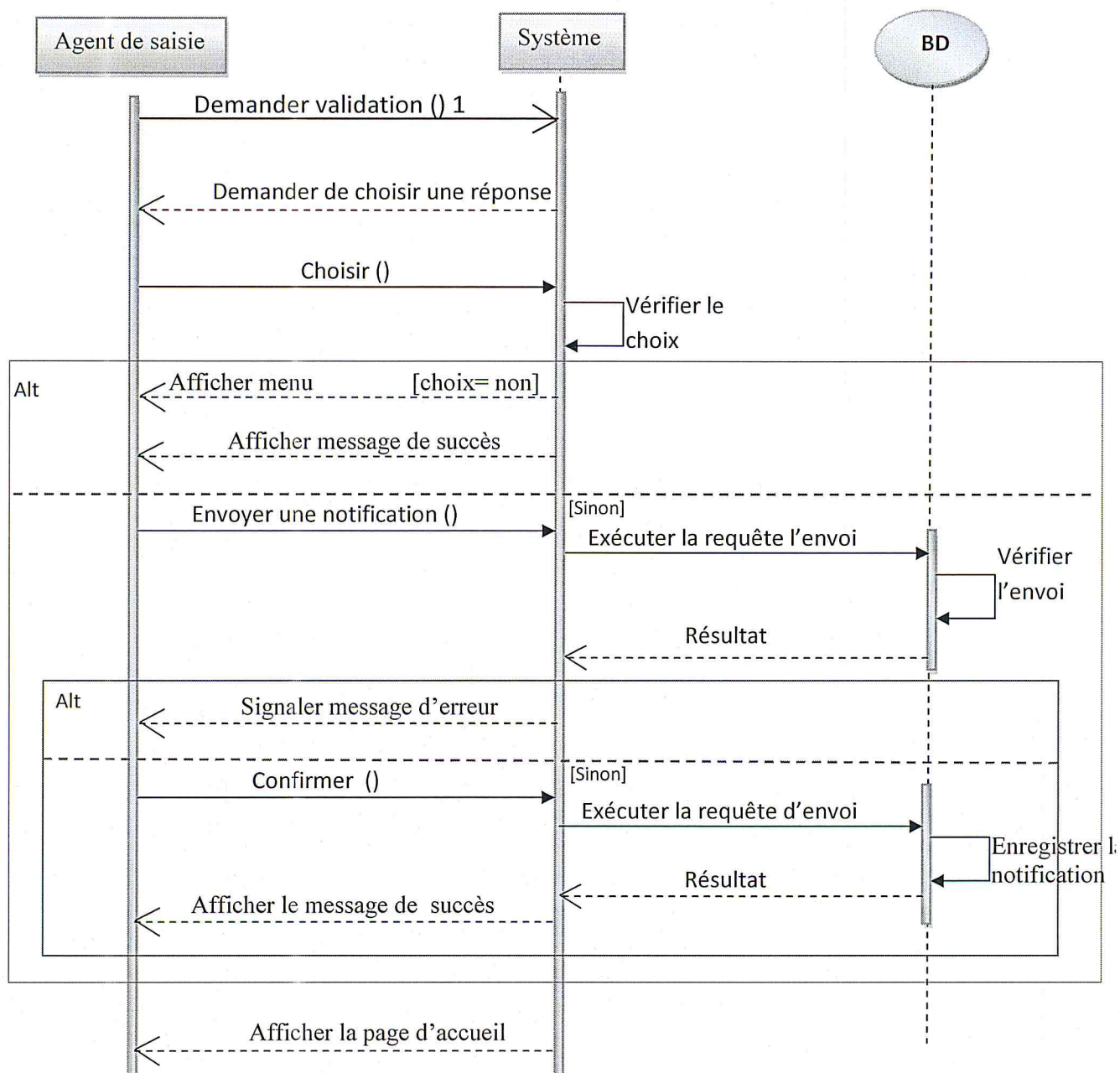
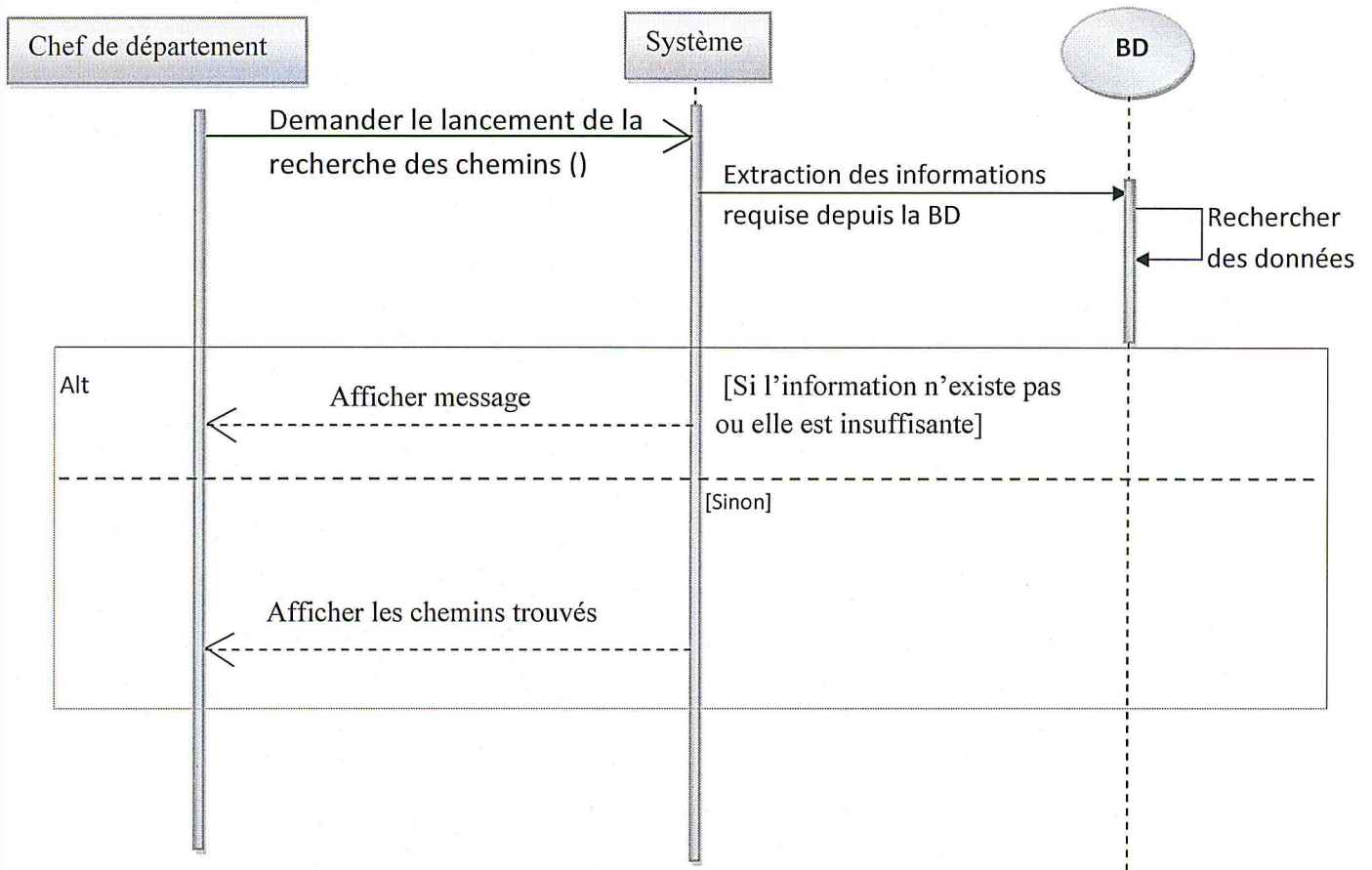


Figure III.2: Diagramme de séquence : Introduire les informations du réseau 2

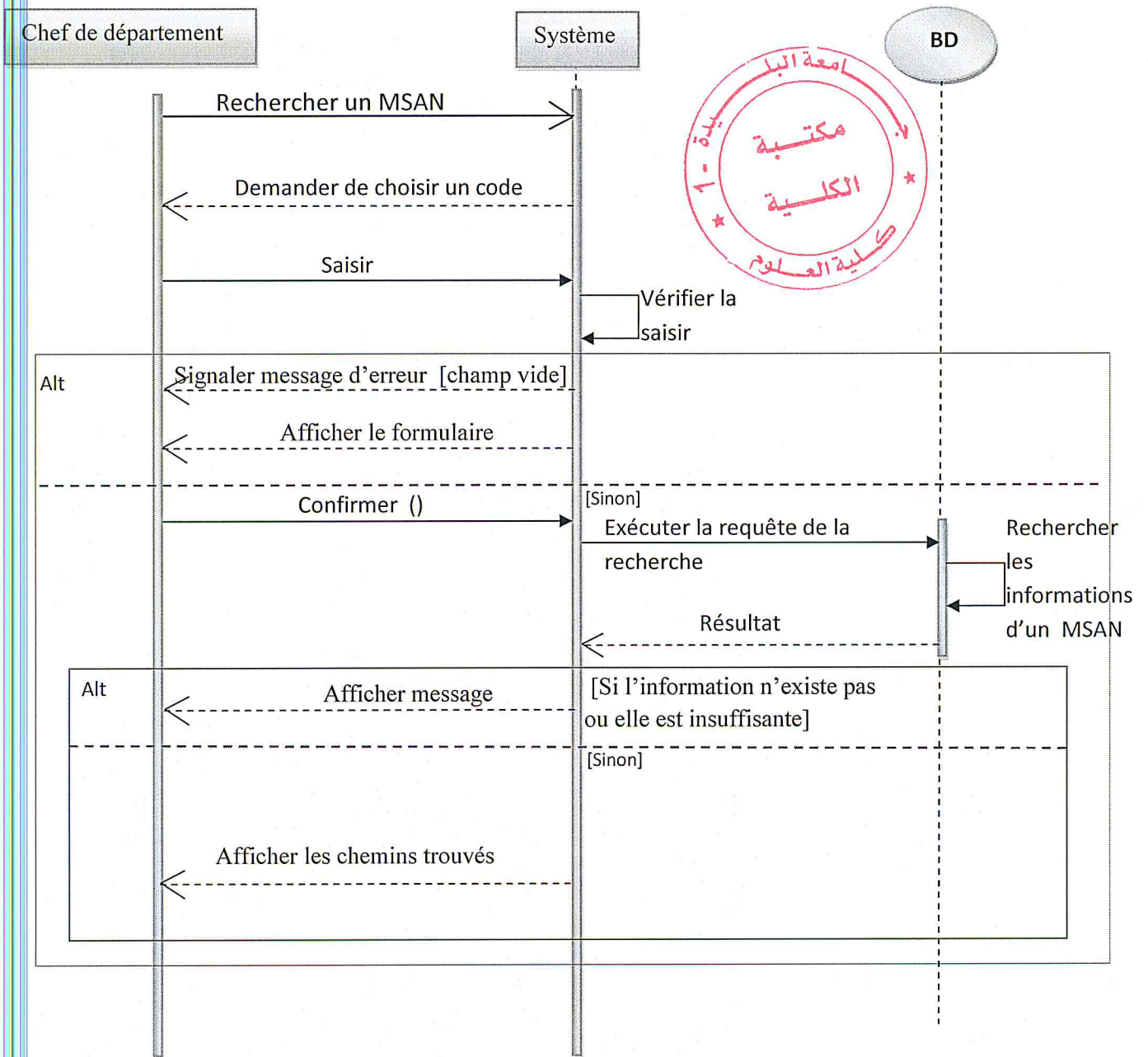


- Diagramme de séquence : Chercher les topologies possibles entre les Switch



**Figure III.3** : Diagramme de séquence : Chercher les topologies possibles entre les Switch

- **Diagramme de séquence : Chercher les topologies possibles pour un MSAN**



- **Figure III.4:** Diagramme de séquence : Chercher les topologies possibles pour un MSAN

### III.4. Passage au modèle relationnelle

On représente ici les relations utilisées dans l'application, elles proviennent du passage appliqué au diagramme de classe vers le modèle relationnel :

**Rue** (IdRue, NomRue, Codepostale\*)

**Commune** ( Codepostale, NomCommune, NumWilaya\*)

**Wilaya** (NumWilaya, NomWilaya)

**Equipement** (IdEq, NomEq, Date-MiseEnService Marque , IdRue\*)

**MSAN** (IdEq\* ,CapacitéAbonnée ,BP Seuil ,BPAffecte )

**CA** (IdEq\* ,NbrPorts )

**Switch** (IdEq\* ,BP Seuil ,NbrPortsSwitch ,NbrPortsMSAN)

**Est-câblé** (IdEq1\* , IdEq2\* , Longueur, nbrFibre, AnnéeMiseEnService)

**Peut-être-lié** (IdEq1\* , IdEq2\* , Longueur)

Pour pouvoir appliquer la méthode du AHP, on a besoin d'ajouter la table de comparaison deux a deux des critères :

**Critère** (nom\_critère1, nom\_critère2, poids)

Ou : nom\_critère1 et nom\_critère2 représentent les noms de deux critères, et le poids représente le poids du critère 1 par rapport au critère 2



### III.5. présentation et Test

Pour valider que les méthodes choisies donnent un résultat satisfaisant, on propose d'effectuer un teste de validation en commençons par les informations introduites par l'agent de saisie (cas d'utilisation : chercher les topologies possibles) puis l'affichage des chemins trouvés.

#### III.5.1.présentation de l'application

##### III.5.1.1. les interfaces de l'Introductions des informations nécessaires

###### a. Interface des formulaires :

Dans ces interfaces l'agent de saisie ajoute les équipements du réseau, on prend comme exemple : l'ajout d'un MSAN, puis les liaisons possibles et existantes :

- **Formulaire d'ajout des équipements(MSAN)**

The screenshot shows a web application interface for 'Algérie telecom'. On the left is a sidebar with a tree view containing three main categories: 'EQUIPEMENTS', 'CABLES', and 'LIAISONS POSSIBLES'. The 'EQUIPEMENTS' category is expanded, showing sub-items 'Liste des équipements' and 'Ajouter un équipement'. The main content area on the right features a large '+ Ajouter un équipement' button at the top. Below it, there is a 'Type : MSAN' dropdown menu, and at the bottom, an 'Ajouter' button.

**Figure III.5 :** formulaire d'ajout des équipements : choix de l'équipement à ajouter

- **Formulaire d'ajout d'un MSAN**

Algérie telecom Se deconnecter

**+ Ajouter un équipement (msan)**

Remplir ce formulaire :

Code :

Nom :

BP seuil :

BP affectée :

Capacité abonné :

Marque :

Coordonné X :

Coordonné Y :

Année de mise en service :

rue : chahid mostafa hamdani/Ouled yaich/Blida ▼

**Figure III.6 :** formulaire d'ajout d'un MSAN

- **Formulaire d'ajout d'une liaison existante**

Algérie telecom

**+ Ajouter un cable**

Entre : SWITCH et MSAN ▼

Menu items: EQUIPEMENTS, CABLES, Liste des cables, Ajouter un cable, LIAISONS POSSIBLES

**Figure III.7 :** formulaire d'ajout d'une liaison existante : choix du type de liaison



- **Formulaire d'ajout d'une liaison existante entre un Switch et un MSAN**

Algérie telecom Se déconnecter

**+ Ajouter un cable**

Remplir ce formulaire :

Entre le switch : S1/ouled yaich ▼

et le MSAN : M1/oued eleug ▼

Distance :

**Figure III.8 :** formulaire d'ajout d'une liaison existante entre un Switch et un MSAN

- **Formulaire d'ajout d'une liaison possible**

Algérie telecom Se déconnecter

**+ Ajouter une liaison possible**

Entre : SWITCH et MSAN ▼

LIASONS POSSIBLES ▼

- Liste des liaisons
- Ajouter une liaison

**Figure III.9 :** formulaire d'ajout d'une liaison possible : choix du type de liaison



- **Formulaire d'ajout d'une liaison possible entre un Switch et un MSAN**

The screenshot shows a web application interface for 'Algérie telecom'. At the top right, there is a 'Se deconnecter' link. On the left, a sidebar contains a menu with 'EQUIPEMENTS', 'CABLES', and 'LIAISONS POSSIBLES'. Under 'LIAISONS POSSIBLES', there are two sub-items: 'Liste des liaisons' and 'Ajouter une liaison'. The main content area features a large heading '+ Ajouter une liaison possible'. Below this, a form titled 'Remplir ce formulaire :' contains three fields: a dropdown menu for 'Entre le switch' with the value 'S1/ouled yaich', a dropdown menu for 'et le MSAN' with the value 'M1/oued eleug', and a text input field for 'Distance'. At the bottom of the form is an 'ajouter' button.

**Figure III.10 :** formulaire d'ajout d'une liaison possible entre un Switch et un MSAN

**b. Choix d'importance des critères :**

L'agent doit attribuer des valeurs numériques pour la comparaison deux à deux des critères, ces valeurs sont normées selon l'échelle de Saaty de la méthode AHP. Voilà les valeurs introduites dans le teste :

Critère 1	Critère 2	Valeur
Distance	Dépense	8
Distance	Cambrement	1
Cambrement	Dépense	1

**Table III.1 :** comparaison deux à deux des critères

- On dit ici que la distance est 8 fois plus importante que la dépense, la distance est de même importante que le critère de cambrement, et ainsi de suite.

**c. Confirmation de terminaison de l'introduction des informations du réseau :**

L'agent doit valider son introduction pour que le système informe le chef de département qu'il peut lancer la recherche des meilleurs chemins.

**d. les valeurs introduites :**

- liste des équipements

Algerie telecom Se déconnecter

ÉQUIPEMENTS

- Liste des équipements
- Ajouter un équipement

CABLES

LIAISONS POSSIBLES

### Liste des équipements

Liste des MSAN :

Code	Nom	marque	Date mise en service	Nom rue	Nom commune	Nom wilaya	BP seuil	BP affectée	Capacité abonné		
b	b	TP_link	2003-11-11	chahid mostafa hamdani	Ouled yaich	Blida	12	8	120	/	✕

Liste des SWITCHS :

Code	Nom	marque	Date mise en service	Nom rue	Nom commune	Nom wilaya	BP seuil	Max de port MSAN	Max de port SWITCH		
a	a	TP_link	2003-11-11	gergour	Oued eleug	Blida	22	5	5	/	✕
c	c	TP_link	2003-11-11	rue des jardins	Larebaa	Blida	33	5	5	/	✕
g	g	TP_link	2003-11-11	gergour	Oued eleug	Blida	1	2	2	/	✕

Liste des CA :

Code	Nom	marque	Date mise en service	Nom rue	Nom commune	Nom wilaya	Max de port SWITCH		
e	e	TP_link	2003-11-11	boumaaza	boufarik	Blida	5	/	✕
f	f	TP_link	2003-11-11	boumaaza	boufarik	Blida	4	/	✕

**Figure III.11 : liste des équipements introduits**



- liste des liaisons existantes entre les équipements (les câbles déjà implémentés)

Equipement 1	Nom de l'équipement 1	Equipement 2	Nom de l'équipement 2	Distance		
a / Switch	a	b / Msan	b	3	/	X
a / Switch	a	c / Switch	c	2	/	X
b / Msan	b	e / CA	e	11	/	X

Figure III.12 : liste des liaisons existantes introduites

- des liaisons possibles entre les équipements

Equipement 1	Nom de l'équipement 1	Equipement 2	Nom de l'équipement 2	Distance		
c / Switch	c	e / CA	e	4	/	X
c / Switch	c	b / Msan	b	12	/	X
c / Switch	c	f / CA	f	6	/	X
c / Switch	c	g / Switch	g	2	/	X
a / Switch	a	g / Switch	g	2	/	X

Figure III.13 : des liaisons possibles introduites

**Remarque :** Les colonnes des tableaux présentés précédemment sont expliquées dans le dictionnaire de données dans le 2eme chapitre.

### III.5.1.2. les interfaces de la recherche des chemins possibles des équipements

#### a. la recherche des chemins possibles des Switchs :

##### a.1. processus de la tournée minimal

Dans cette partie le système exécute l'algorithme génétique du voyageur de commerce et effectue une évaluation pour chaque chemin trouvés selon les critères.



- **Les chemins trouvés avec évaluation**

L'algorithme génétique va prendre comme génération initiale : l'ensemble des équipements introduits auparavant, et par la suite, il créera d'autre instance d'équipements pour pouvoir se rapprocher du chemin optimal, le but ici est d'extraire les caractéristiques (longueur, dépense, il y aura des ports libres ou non) du chemin optimal, ainsi le décideur pourra mettre comme objectif d'avoir une tournée qui sera proche de celle trouvée dans ce test.

**Remarque :**

- La colonne « port libre » indique si un certain chemin permet d'avoir des ports libres dans tous les équipements concernés par ce chemin.
- La colonne « nombre de port libre » indique pour un chemin : combien il a de ports libres.

- Les topologies trouvées pour les Switchs avec évaluation

Algerie telecom

CONFIGURATIONS

Configurations des Switchs

Configurations des MSAN

ETAT DU RÉSEAU

Liste des configurations possibles des Switch

Detail des configurations possibles des Switchs

num solution	chemin	nombre de ports libres	distance (mètre)	cout (mètre)	port libre?
1	f a c g h e	3 3 4 0 0 4	200.811	198.811	non
2	c a f e g h	5 3 2 2 3 0 1	198.772	196.772	non
3	g h a e c f	1 0 3 3 4 3	181.496	181.496	non
4	h c f e g a	1 4 2 3 0 4	194.873	194.873	non
5	c f h g a e	5 2 0 0 3 4	179.667	179.667	non
6	f h c e a g	3 0 4 3 3 1	247.238	247.238	non
7	a e c f h g	4 3 4 2 0 1	179.667	179.667	non
8	g h a c e f	1 0 3 4 3 3	176.020	174.020	non

Figure II : Les topologies trouvées pour les Switchs avec évaluation



## a.2.Processus d'aide à la décision

-Application de la méthode du AHP (les formules mathématiques -qui calculent le poids des critères ou des chemins possibles- appliquées dans cette méthode sont expliquées dans l'annexe). Dans tout ce qui suit, on considère que la colonne « priorité » représente le poids d'une ligne par rapport aux autres lignes.

- **comparaison entre critère deux à deux**

critère	distance	depense	campement	priorité
distance	1	8	1	0.571
depense	0.125	1	1	0.143
campement	1	1	1	0.286
Somme	2.125	10	3	1

**Figure III.14 :** comparaison entre critère deux à deux

On a essayé d'attribuer un poids pour chaque critère, ce poids sera utilisé dans les étapes qui suivent pour évaluer les topologies trouvées.

On constate ici que le critère de distance a le plus grand poids par rapport à l'ensemble de critère, ainsi il aura plus d'influence sur l'évaluations des topologies possibles que les deux critères restants, mais on ne négligera pas le poids des critères restants dans les évaluations qui vont suivre.

- **Évaluation des chemins trouvés selon le critère « distance »**

Chemin	1	2	3	4	5	6	7	8	priorité
1	1	1.169	1.017	0.897	0.954	0.948	1.169	1.154	0.132
2	0.855	1	0.870	0.767	0.815	0.810	1.000	0.987	0.087
3	0.983	1.150	1	0.882	0.938	0.932	1.150	1.135	0.126
4	1.115	1.304	1.134	1	1.063	1.056	1.304	1.287	0.176
5	1.049	1.226	1.067	0.941	1	0.994	1.226	1.211	0.150
6	1.055	1.234	1.073	0.947	1.006	1	1.234	1.218	0.152
7	0.855	1.000	0.870	0.767	0.815	0.810	1	0.987	0.087
8	0.866	1.013	0.881	0.777	0.826	0.821	1.013	1	0.090
Somme	7.778	9.096	7.912	6.978	7.417	7.371	9.096	8.979	1.000

**Figure III.15 :** Évaluation des chemins trouvés selon le critère « distance »



On a essayé d'attribuer un poids pour chaque topologie trouvée par rapport au critère de distance seul, ce poids sera utilisé dans les étapes qui suivent pour évaluer les topologies trouvées selon l'ensemble des critères.

- **Évaluation des chemins trouvés selon le critère « dépense »**

Chemin	1	2	3	4	5	6	7	8	priorité
1	1	1.17053	1.0171	0.896521	0.943589	0.947278	1.17053	1.15533	0.131
2	0.854	1	0.868923	0.765913	0.806124	0.809276	1	0.98702	0.086
3	0.983	1.151	1	0.881451	0.927728	0.931355	1.15085	1.13591	0.126
4	1.115	1.306	1.134	1	1.0525	1.05662	1.30563	1.28868	0.176
5	1.060	1.241	1.078	0.950	1	1.00391	1.2405	1.2244	0.153
6	1.056	1.236	1.074	0.946	0.996	1	1.23567	1.21963	0.152
7	0.854	1.000	0.869	0.766	0.806	0.809	1	0.98702	0.086
8	0.866	1.013	0.880	0.776	0.817	0.820	1.013	1	0.089
Somme	7.788	9.11753	7.921023	6.981885	7.348941	7.377439	9.11618	8.99799	0.999

**Figure III.16:** Évaluation des chemins trouvés selon le critère « dépense »

On a essayé d'attribuer un poids pour chaque topologie trouvée par rapport au critère de dépense seul, ce poids sera utilisé dans les étapes qui suivent pour évaluer les topologies trouvées selon l'ensemble des critères.

- **Évaluation des chemins trouvés selon le critère « cambrement »**

Chemin	1	2	3	4	5	6	7	8	priorité
1	1	1.169	1.017	0.897	0.954	0.948	1.169	1.154	0.132
2	0.855	1	0.870	0.767	0.815	0.810	1.000	0.987	0.087
3	0.983	1.150	1	0.882	0.938	0.932	1.150	1.135	0.126
4	1.115	1.304	1.134	1	1.063	1.056	1.304	1.287	0.176
5	1.049	1.226	1.067	0.941	1	0.994	1.226	1.211	0.150
6	1.055	1.234	1.073	0.947	1.006	1	1.234	1.218	0.152
7	0.855	1.000	0.870	0.767	0.815	0.810	1	0.987	0.087
8	0.866	1.013	0.881	0.777	0.826	0.821	1.013	1	0.090
Somme	7.778	9.096	7.912	6.978	7.417	7.371	9.096	8.979	1.000

**Figure III.17 :** Évaluation des chemins trouvés selon le critère « cambrement »

On a essayé d'attribuer un poids pour chaque topologie trouvée par rapport au critère de cambrement seul, ce poids sera utilisé dans les étapes qui suivent pour évaluer les topologies trouvées selon l'ensemble des critères.

- **Évaluation des chemins trouvés selon l'ensemble des critères**

Evaluation des configurations possibles des Switchs:

critère->	distance	depense	cambrement	score	meilleur
option	0.571	0.143	0.286	10	
1	1.31	1.32	3.4	1.90917	oui
2	0.86	0.87	0.53	0.76705	
3	1.26	1.26	3.4	1.87204	
4	1.76	1.76	0.53	1.40822	
5	1.53	1.5	0.53	1.23971	
6	1.52	1.52	0.53	1.23686	
7	0.86	0.87	0.53	0.76705	
8	0.89	0.9	0.53	0.78847	

**Figure III.18 :** Évaluation des chemins trouvés selon l'ensemble des critères

On a essayé d'attribuer un score sur 10 pour chaque topologie trouvée par rapport au l'ensemble des critères, le poids de chaque critère a contribué dans l'évaluation, ainsi que le poids de chaque topologie par rapport a chaque critère seul. On constate que la topologie N° 1 s'avère la meilleure, car elle a le score le plus élevé.



### a.3. résultat obtenu

- **Le meilleur chemin entre les Switchs**

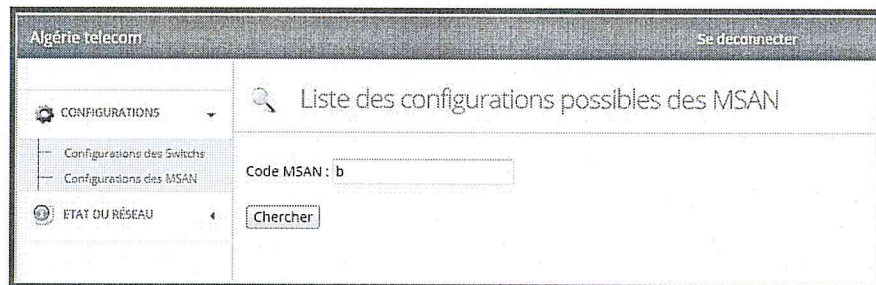
La tournée minimale qu'on peut avoir après l'exécution de la méthode génétique : \*

- f->a->c->g->h->e
- Distance totale = 200.811 mètres
- Dépense de réalisation = 198.811 mètres

Le décideur peut maintenant estimer la longueur du meilleur chemin pour passer par tous les Switchs en respectant les critères de choix, ainsi il pourra effectuer l'analyse nécessaire pour améliorer son réseau.

#### a. Recherche des chemins possibles des MSAN

- **Formulaire du choix du MSAN**



**Figure III.19 :** Formulaire du choix du MSAN

#### b.1. processus du plus court chemin

Dans cette partie le système exécute l'algorithme de Dijkstra et effectue une évaluation pour chaque chemin trouvé selon les critères.



- **Les chemins trouvés avec évaluation**

Le système ici exécute l'algorithme de Dijkstra, il prendra en considération comme liste d'équipement celle qui est introduite dans les étapes précédentes, car on doit présenter dans ce processus des résultats exacts et non rapprochés, par conséquent, les instances d'équipements ajoutées par l'algorithme génétique ne seront pas incluses ici.

Algérie telecom Se déconnecter

CONFIGURATIONS

ETAT DU RÉSEAU

Configurations possibles des MSAN

Détail des configurations possibles du MSAN: b

Num solution	Msan Switch	Chemin	Nombre de ports libres	Distance (mètre)	Cout (mètre)	Port libre?
1	b a	b a	0 4	3	0	non
2	b c	b a c	0 3 5	5	0	non
3	b e	b a c e	0 3 4 4	9	4	non
4	b f	b a c f	0 3 4 3	11	6	non
5	b g	b a g	0 3 1	5	2	non

**Figure III.20 :** Les chemins trouvés avec la méthode de Dijkstra avec évaluation.

## a.2.Processus d'aide à la décision

-Application des formules du AHP

- **comparaison entre critère deux à deux**

C'est la même comparaison effectuée pour trouver les chemins des Switchs.

- **Évaluation des chemins trouvés selon le critère « distance »**

Chemin	1	2	3	4	5	priorité
1	1	1.000	0.200	0.143	0.333	0.021
2	1.000	1	0.200	0.143	0.333	0.021
3	5.000	5.000	1	0.714	1.667	0.302
4	7.000	7.000	1.400	1	2.333	0.528
5	3.000	3.000	0.600	0.429	1	0.129

Figure III.21 : Évaluation des chemins trouvés selon le critère « distance »

On a essayé d'attribuer un poids pour chaque topologie trouvée par rapport au critère de distance seul, ce poids sera utilisé dans les étapes qui suivent pour évaluer les topologies trouvées selon l'ensemble des critères.

- **Évaluation des chemins trouvés selon le critère « dépense »**

Chemin	1	2	3	4	5	priorité
1	1	0.6	0.333333	0.272727	0.6	0.048
2	1.667	1	0.555556	0.454545	1	0.113
3	3.000	1.800	1	0.818182	1.8	0.302
4	3.667	2.200	1.222	1	2.2	0.422
5	1.667	1.000	0.556	0.455	1	0.114

Figure III.22: Évaluation des chemins trouvés selon le critère « dépense »



On a essayé d'attribuer un poids pour chaque topologie trouvée par rapport au critère de dépense seul, ce poids sera utilisé dans les étapes qui suivent pour évaluer les topologies trouvées selon l'ensemble des critères.

- **Évaluation des chemins trouvés selon le critère « cambrement »**

Chemin	1	2	3	4	5	priorité
1	1	1	1	1	1	0.200
2	1.000	1	1	1	1	0.200
3	1.000	1.000	1	1	1	0.200
4	1.000	1.000	1.000	1	1	0.200
5	1.000	1.000	1.000	1.000	1	0.200

**Figure III.23:** Évaluation des chemins trouvés selon le critère « cambrement »

On a essayé d'attribuer un poids pour chaque topologie trouvée par rapport au critère de cambrement seul, ce poids sera utilisé dans les étapes qui suivent pour évaluer les topologies trouvées selon l'ensemble des critères.

- **Évaluation des chemins trouvés selon l'ensemble des critères**

critère->	distance	depense	cambrement	score	meilleur
option	0.571	0.143	0.286		
1	3.93	4.91	2.5	3.66116	
2	1.99	1.59	2.5	2.07866	
3	1.16	0.37	2.5	1.43027	
4	2.92	3.14	2.5	2.83134	
5	10	9.01	10	9.00143	oui

**Figure III.24 :** Évaluation des chemins trouvés selon l'ensemble des critères

On a essayé d'attribuer un score sur 10 pour chaque topologie trouvée par rapport au l'ensemble des critères, le poids de chaque critère a contribué dans l'évaluation, ainsi que le poids de chaque topologie par rapport a chaque critère seul. On constate que la topologie N° 5 s'avère la meilleure, car elle a le score le plus élevé.

### **b.3. résultat obtenu**

- **Le meilleur chemin pour le MSAN b**

La tournée minimale qu'on peut avoir après l'exécution de la méthode génétique : \*

- Du MSAN « b » au Switch « g »
- Distance totale = 5 mètres
- Dépense de réalisation = 2 mètres

Le décideur peut réaliser le meilleur chemin proposé par le système pour améliorer son réseau.



### **III. 6.Conclusion**

Après avoir présenté les interfaces les plus importantes de l'application et décrits leurs déroulement, on peut dire que tous les résultats de toutes les étapes ont amélioré les performances du réseau en termes des critères (distance, dépense et cambrement), cette validation a été assurée par l'acteur principale (le décideur) qui est considéré comme étant un expert dans le domaine de réseau et de télécommunication.

En effet, la combinaison des 3 méthodes : du plus court chemin, de la tournée minimal et d'aide a la décision nous a permis de proposer de bons résultats et de les mieux présenter au décideur afin que ce dernier puisse les analyser et choisir celle qui convient le plus selon son jugement.

---

---

## **Conclusion générale**

---

---



## Conclusion générale

Le travail présenté dans cette mémoire s'est porté sur la conception d'un système d'aide à la décision multicritère qui fait appel aux approches de la recherche opérationnelle (en particulier le domaine d'optimisation) en vue de l'amélioration du réseau MSAN d'Algérie Télécom.

La topologie du réseau de transmission de signal numérique constitue un facteur important qui touche directement les performances du réseau de télécommunication. Afin d'améliorer cette topologie, on a fait appel à trois axes de recherches bien répondus :

- La recherche du plus court chemin.
- La recherche de la tournée minimale (problème de voyageur de commerce).
- L'aide à la décision multicritère.

Dans ce travail, nous avons utilisé la méthode de Dijkstra pour retrouver les meilleurs chemins entre les équipements du réseau (entre les MSAN et les Switchs). On a utilisé aussi la méthode génétique du voyageur de commerce pour chercher les meilleures tournées qui passe par les équipements (les Switchs et les CA). Puis on a fait intervenir la méthode d'aide à la décision du AHP pour projecteur les critères imposés par le décideur sur les chemins trouvés (les alternatives) avec les deux méthodes précédentes. Ainsi, l'AHP a contribué à l'évaluation des alternatives et cela a permis au décideur une meilleure interprétation et analyse des topologies possibles.

Les résultats des tests qu'on a effectué ont montré que la combinaison des trois approches a permis au décideur d'améliorer les performances de son réseau en terme de gain de qualité de service (plus de coupure de signal grâce à la redondance des chemins) et d'argent (dépenser moins pour avoir de bonnes alternatives aux chemins).

Néanmoins les résultats de ce modeste travail constituent les bases d'un travail à poursuivre et à améliorer pour une étude beaucoup plus approfondie qui pourra faire l'objet d'une thèse de doctorat.

Ainsi, les perspectives futures sont dans un premier temps l'ajout de nouveaux critères et contraintes pour couvrir de nouveaux besoins, ainsi que l'ajout de nouvelles fonctionnalités, comme la représentation graphique des résultats obtenus par le système.

---

---

**ANNEXE**

---

---



## Annexe



### .Présentation de la société

#### 1. Introduction générale :

**Algérie Telecom** est le leader des télécommunications - sur le marché Algérien- qui a connu une forte croissance. Offrant une gamme complète de services de voix et de données aux clients résidentiels et professionnels.

Cette position est atteinte par une politique d'innovation forte adaptée aux attentes des clients et orientée vers les nouveaux usages.

Algérie Telecom, est une société par actions à capitaux publics opérante sur le marché des réseaux et services de communications électroniques.

Algérie Telecom est donc régie par cette loi qui lui confère le statut d'une entreprise publique économique sous la forme juridique d'une société par actions SPA.

Elle est entrée officiellement en activité en 1er janvier 2003, elle s'engage dans le monde des Technologies de l'Information et de la Communication avec trois principaux objectifs:

- **Rentabilité**
- **Efficacité**
- **Qualité de service**

Son ambition est d'avoir un haut niveau de performance technique, économique, et sociale pour se maintenir durablement leader dans son domaine, dans un environnement devenu concurrentiel.

Son souci consiste, aussi, à préserver et développer sa dimension internationale et participer à la promotion de la société de l'information en Algérie.

## **2. Historique de l'entreprise**

ALGERIE TELECOM, est une société par actions à capitaux publics SPA, opérant sur le marché des réseaux et services de communications électroniques. Sa naissance a été consacrée par la loi 2000/03 du 5 août 2000, fixant les règles générales relatives à la poste et aux télécommunications ainsi que les résolutions du conseil national aux participations de l'États (CNPE) du 1<sup>er</sup> Mars 2001 portant création d'une Entreprise Publique Économique dénommée « Algérie Telecom ».

## **3. Programme de développement du réseau télécoms 2004-2008**

Le montant global des investissements à consentir est évalué à **203 976 millions de DA** soit l'équivalent de 2,5 milliards de Dollars US. Ces investissements mobiliseront tous les segments d'activités d'ALGERIE TELECOM, à savoir les fonctions commutations, Transmission, Moyens auxiliaires des Télécommunications (Énergie et Gestion Réseau), Les Télécommunications Satellitaires, l'Internet, la Logistique des Télécommunications, les Systèmes Informatiques et Managements.

## **.4.Missions et objectifs**

L'activité majeure d'Algérie Télécom est de :

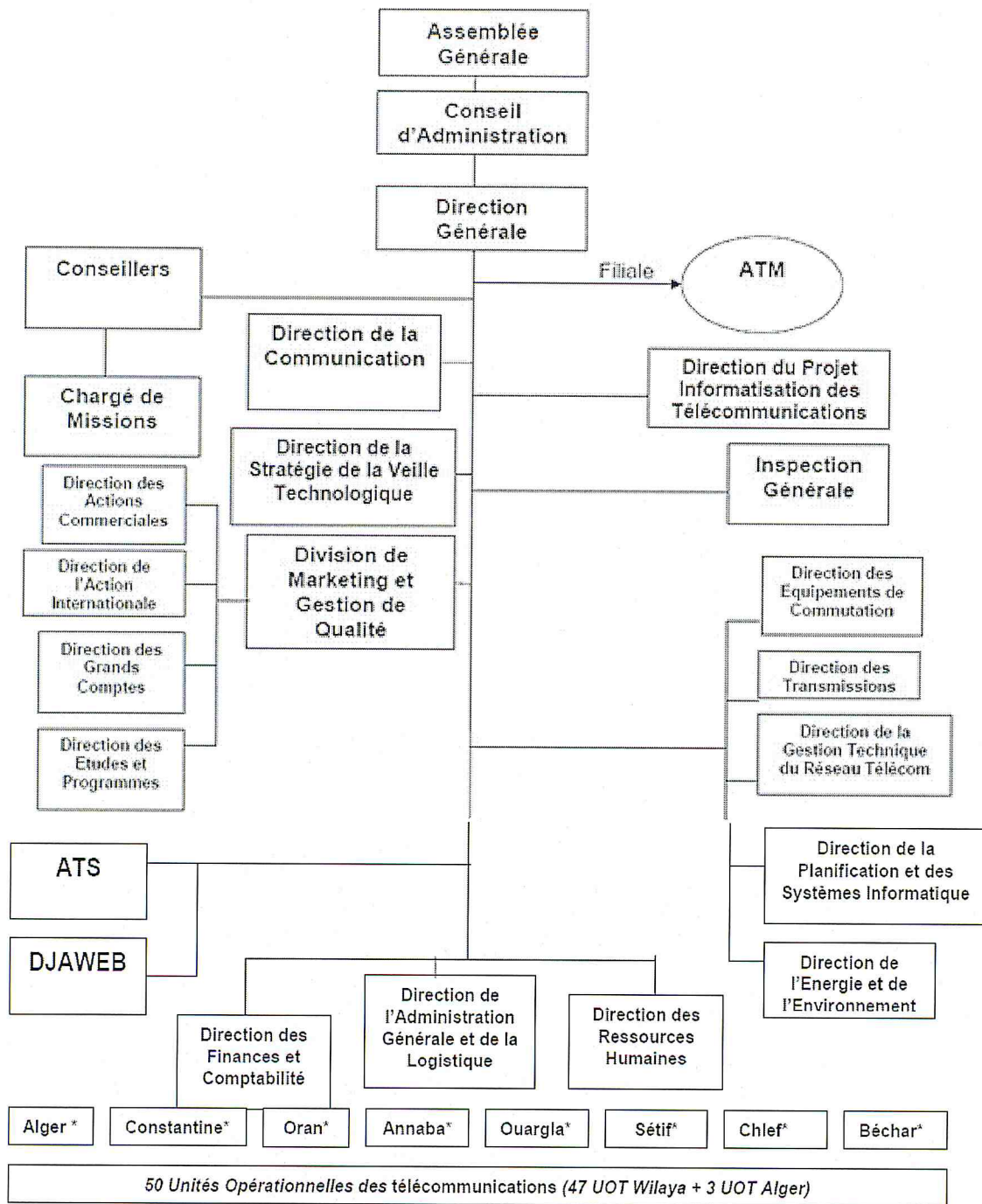
- Fournir des services de télécommunication permettant le transport et l'échange de la voix, de messages écrits, de données numériques, d'informations audiovisuelles...
- Développer, exploiter et gérer les réseaux publics et privés de télécommunications
- Établir, exploiter et gérer les interconnexions avec tous les opérateurs des réseaux.

Algérie télécom est engagée dans le monde des technologies de l'information et de la communication avec les objectifs suivants :

- Accroître l'offre de services téléphoniques et faciliter l'accès aux services de télécommunications au plus grand nombre d'utilisateurs, en particulier en zones rurales.
- Accroître la qualité de services offerts et la gamme de prestations rendues et rendre plus compétitifs les services de télécommunications.
- Développer un réseau national de télécommunication fiable et connecté aux autoroutes de l'information.



## Organigramme d'Algérie Télécom générale

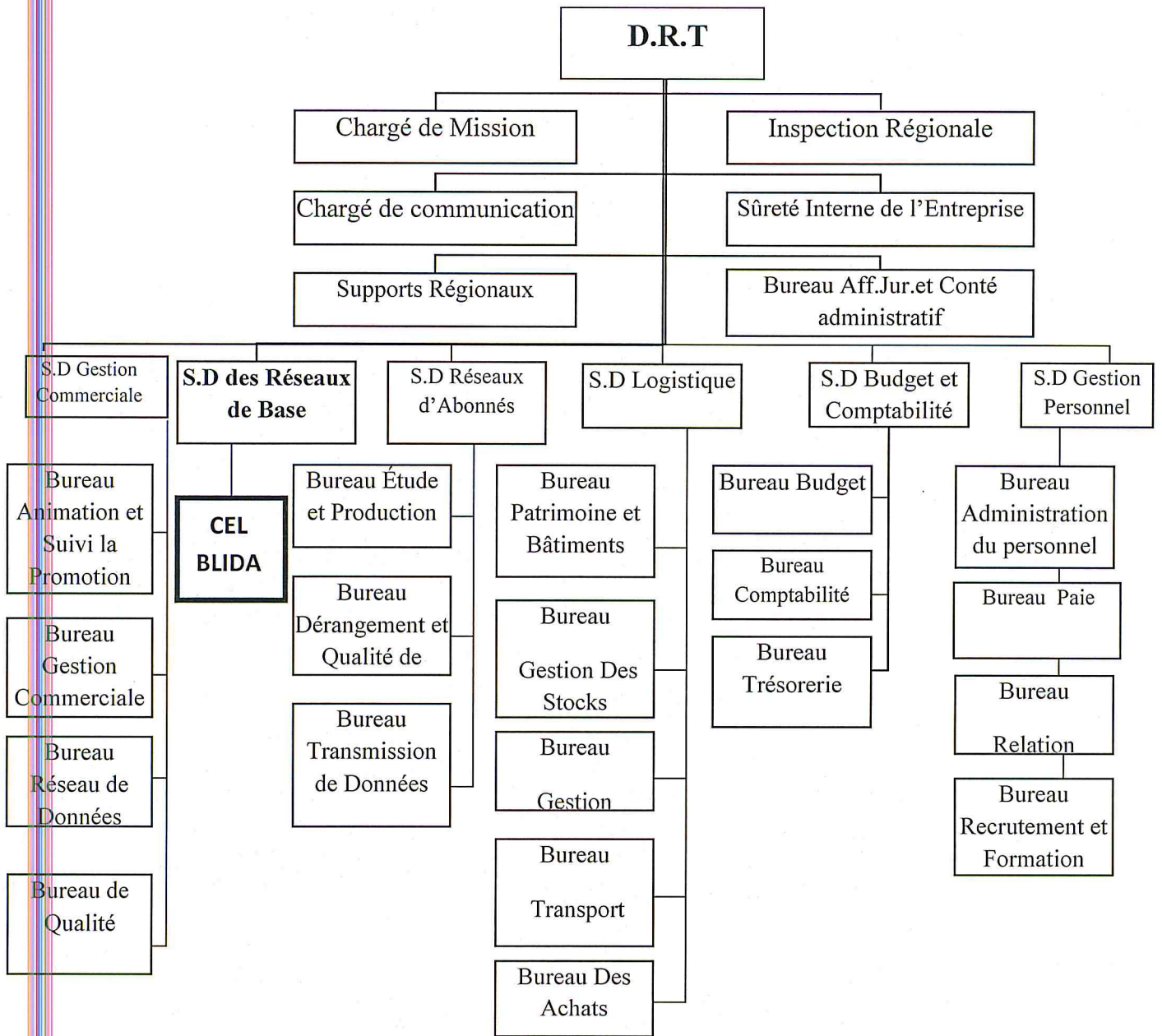


\* : Directions Territoriales des Télécommunications

**Figure:** Organigramme d'Algérie télécom générale



**Organigramme de la direction Régional Des Télécommunications de BLIDA :**



**Figure:** Organigramme de la direction des Télécommunications de **BLIDA**.

## **Mission du CEL Blida:**

Les responsabilités principales du CEL Blida sont:

- Étude et devis quantitatif et estimatif.
- Installation et mise en service des têtes et armoires optique et raccordement des joints tel que les liaisons :
  - ALGÉRIE télécoms.
  - les clients (les usines et fonction publique .....).
- Libération et réservation des brins.
- localisation et Relevé de dérangements.
- Coordination et Surveillance des chantiers de travaux qui touchent les réseaux fibre optique.
- suivi de pose câble fibre optique des nouvelles liaisons.
- Mesure des niveaux d'affaiblissements.

## L'application des formules du AHP :

L'AHP utilise des formules- qu'on expliquera dessous- pour calculer le poids d'un critère, un sous critère ou une alternative, on présente dans une 1ere partie la matrice de comparaison deux a deux des critères suivants :

- La distance
- Les dépenses
- Le cambrement

Dans la hiérarchie du AHP, on determine chaque niveau comme suite :

- **Niveau 0** : l'objectif est la recherche de la meilleure topologie
- **Niveau 1** : les critères sont : la distance, les dépenses et le cambrement.
- **Niveau 2** : on n'a pas de sous critère dans notre problème.
- **Niveau 3** : les alternatives sont les différentes topologies dont l'une d'elles est la meilleure selon l'ensemble des critères par rapport aux autres topologies

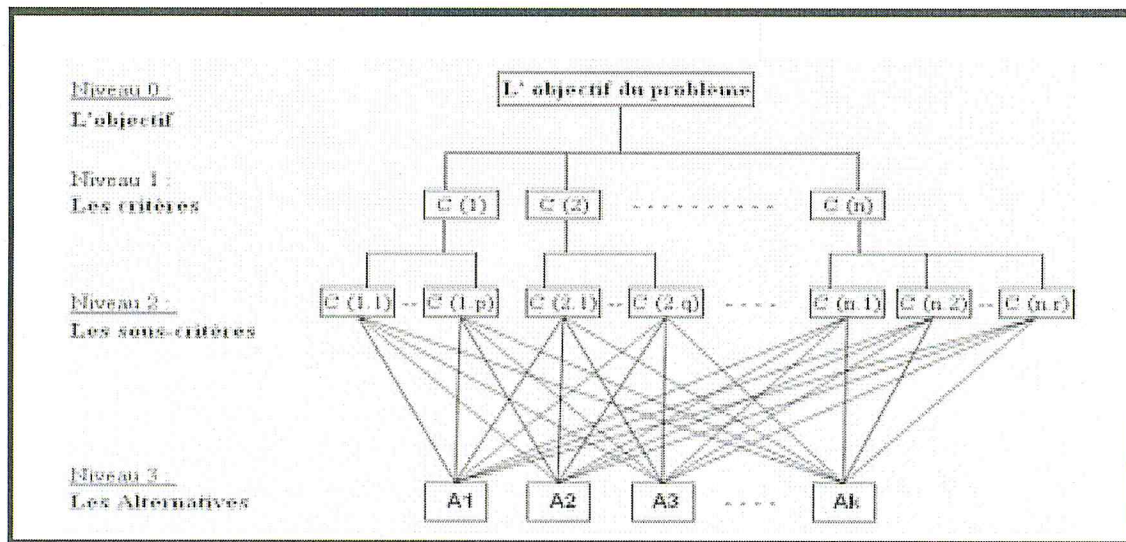


Figure: La structure hiérarchique en AHP



Le décideur doit introduire le poids de chaque critère par rapport à un autre, voilà les valeurs prises durant les tests qu'on a effectués :

Critère 1	Critère 2	Poids
Distance	Dépense	8
Distance	Cambrement	3
Cambrement	Dépense	3

**Tableau : comparaison deux à deux des critères**

Dans tout ce qui suit, on considère que la colonne « priorité » représente le poids d'une ligne par rapport aux autres lignes, ce poids doit respecter l'échelle de Saaty :

Degré d'importance	Définition
1	Importance égale des deux éléments
3	Faible importance d'un élément par rapport à un autre.
5	Importance forte ou déterminante d'un élément par rapport à un autre.
7	Importance attestée d'un élément par rapport à un autre.
9	Importance absolue d'un élément par rapport à un autre.
2,4,6,8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines
Réciprocité	Si l'élément i se voit attribuer l'un des chiffres précédents lorsqu'elle est comparée à l'élément j, ce dernier aura donc la valeur inverse lorsqu'on le compare à i.

**Table: Échelle de Saaty de la méthode AHP**

La matrice 3x3 ci-dessus contient toutes les comparaisons pour ces critères.  
(Comme il ya trois critères, la matrice doit être de taille 3x3).

critère	distance	depense	cambrement	priorité
distance	1	8	1	0.571
depense	0.125	1	1	0.143
cambrement	1	1	1	0.286
Somme	2.125	10	3	1



**Figure :** comparaison entre critère deux à deux

Le critère «distance» est d'une Importance attestée par rapport à la dépense (valeur affectée ici = 8), par conséquent, le degré d'importance de la dépense par rapport à la distance est de 1/8, ou 0,125, comme indiqué dans la figure.

critère	distance	depense	cambrement	3rd root	priority
distance	1	8	1	2	0.57142857142857
depense	0.125	1	1	0.5	0.14285714285714
cambrement	1	1	1	1	0.28571428571429
Somme	2.125	10	3	3.5	1
Somme PV	1.2142857142857	1.4285714285714	0.85714285714286	3.5	0

**Figure :** comparaison entre critère deux à deux avec calcule des poids

- Calcul du « 3rd root » :
- **Distance** :  $(1 \times 8 \times 1) * (1/3) = 2$ .
- **Dépense** :  $(0,125 \times 1 \times 1) * (1/3) = 0,5$ .
- **Cambrement** :  $(1 \times 1 \times 1) * (1/3) = 1$ .



On divise sur 3 car on a 3 critères.

- Calcul du poids : « priorityt »

Poids d'un critère  $i = \sqrt[3]{\text{critère } i} / \text{la somme de tous les } \sqrt[3]{\text{critères}}$

- **Distance:**  $(2 / \sqrt[3]{3,5}) = 0.571$ .
- **Dépense:**  $(0,5 / \sqrt[3]{3,5}) = 0.142$ .
- **Cambrement:**  $(1 / \sqrt[3]{3,5}) = 0.285$ .

**Remarque :** quand tout est calculé correctement, les poids pour chaque critère doivent se résumer à un.

- Calcul du ratio de la cohérence: « CR » (avec la Somme PV)

Le ratio de la cohérence (CR) indique si le décideur a comparé de façon cohérente les critères en question.

- **Distance:**  $(1 + 1,125 + 1) * 0.571 = 1,21$ ;
- **Dépense:**  $(8 + 1 + 1) * 0.142 = 1,42$ ;
- **Cambrement:**  $(1 + 1 + 1) * 0.142 = 0.426$ .

Ratio de cohérence (CR) = Indice Cohérence (CI) / Indice aléatoire (RI)

Dans ce cas,  $n = 3$  parce qu'on a trois critères à comparer, et ainsi l'indice aléatoire (RI) égal à 0,58 (de la table des Indices de cohérence moyen).

- Calcul de l'indice de cohérence (CI)

$CI = (\text{La somme des CR de chaque critère} - n) / (n - 1)$

$$CI = (3,5 - 3) / 2 = 1$$

Ainsi :  $CR = 1 / 0,58 = 1,72$



### Indice de cohérence moyen

Dimension de la matrice (ou nombre des critères)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cohérence Aléatoire ACI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

**Table: Indice de cohérence moyen.**

$$CR = CI / RI = 0,001 / 0,001 = 0,58$$

lors des comparaisons par paires. Un nombre plus élevé du CR signifie que le décideur a été moins cohérent, alors qu'un nombre inférieur signifie le décideur a été plus cohérent.

- Si le ratio de cohérence (CR) < 0,10, les comparaisons par paires de décideur sont relativement cohérente. (Ce qui signifie ses comparaisons par paires sont relativement uniformes et aucune action corrective n'est nécessaire.)

Si le ratio de cohérence (CR) > 0,10, le décideur devrait sérieusement envisager de réévaluer la source de son / ses paires comparaisons (s) d'incohérence doit être identifié et résolu et l'analyse refaite.

**Remarque :** En répétant ces formules avec les alternatives, on obtient le poids de chacune

# Bibliographie

- [1] Takadong T Z, « *Système Interactif d'Aide à la Décision(SIAD), république du Cameroun* ». Université de Yaoundé I, 2005.
- [2] Marakas G M, « *Decision Support Systems in the Twenty-first Century* ». Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, xxi, 1999,
- [3] Ayadi D. « *optimisation multicritère de la fiabilité , application du modèle de goal programming avec les fonctions de satisfactions dans l'industrie de traitement de gaz* », Other, Université d'Angers, 2010.
- [4] March J. Simon H, « *Les organisations : problèmes psychosociologiques* », March., Dunod, 1957.
- [5] Turban E, « *Decision Support and Expert Systems* », Macmillan Publishing Company, 1993.
- [6] Mawhinney C H. Millet I « *Executive Information Systems : acritical perspective* », in Information and Management, 1992
- [7] Kazi A. Hassaine N, « *these de doctorat en sciences de gestion, La Modélisation des préférences du décideur dans le modèle du Goal Programming* », 2008
- [8] Caillet R, « *Analyse multicritère , Étude et comparaison des méthodes existantes en vue d'une application en analyse de cycle de vie* », Montréal, 2003
- [9] Saaty T L.: « *Time dependent decision-making; dynamic priorities in the AHP/ANP: Generalizing from points to functions and from real to complex variables* », Mathematical and Computer Modelling , 2007.



- [10] Ayadi d. Azzabi I. Kobi A. Robledo C. Chabchoub H: « *Hierarchisation des risques des matières dangereuses : application de la méthode Macbeth* », 8ème Congrès Qualité et Sécurité de Fonctionnement, QUALITA, 2009.
- [11] Hua z. Gong B. XU X. : « *A DS-AHP approach for multiattribute decision making problem with incomplete information* », Expert Systems with Applications ,2008.
- [12] Ayadi d. Azzabi I. Kobi A. Robledo C. Chabchoub H. Boujelbene Y. « *Pilotage des processus du système management de la qualité: une approche multicritère pour la prise de décision* », conférence internationale Maîtrise et Management des Risques Industriels, Méri,2008.
- [13] Saaty T L.: « *Decision-making with the AHP: Why is the principal Eigenvector necessary* », European Journal of Operational Research ,2003.
- [14] Brans P. Vincke PH. Mareschal B.: «*How to select and how to rank projects: the PROMETHEE methods*», European journal of operational research,1986.
- [15] Simon U. Bruggmann R. Buden S.: «*Aspects of decision support in water management –example Berlin and postdam (Germany) I, specially differentiated evaluation*», Germany Berlin, 2004.
- [16] Harventg J M, Article: « *Les méthodes de surclassement* », L'université libre de Bruxelles, Belgique, 2005.
- [17] Caillet R, « *Analyse multicritère , Étude et comparaison des méthodes existantes en vue d'une application en analyse de cycle de vie* », Montréal, 2003
- [18] Tristram G, « *Calcul d'itinéraire multimodal et multi objectif en milieu urbain, Modeling and Simulation* ». Universités des Sciences Sociales - Toulouse I, 2010.
- [19] Hadji M , « *Synthèse de réseaux à composantes connexes uni cycliques* », l'université Paris VI,2009.
- [20] Lacomme P.Prins C .Sevaux M , « *Algorithmes de graphes* », chapitre 6 ,Eyrolles, 2003,
- [21] Gardeux V. « *Conception d'heuristiques d'optimisation pour les problèmes de grande dimension : application a l'analyse de données de puces a ADN* ». Other. Université Paris-Est,2011.
- [22] Benjamin V, « *Conception de méthodes pour le transport à la demande pour les terminaux mobiles de type smartphones sous Android* », Polytech clermont-ferrand ,2013.



- [23] Bakonirina H M , « *modélisations des réseaux optiques wdm et application des heuristiques aux routages optiques* », Université d'antananarivo ,2010
- [24] Lorenzi M , « *Option Informatique* », Camille Guérin ,2015.
- [25] Kairanbay M . Mat J HA , « *Review And Evaluations Of Shortest Path Algorithms* », international journal of scientific & technology research volume 2, 2013.
- [26] Glacet C , « *algorithmes de routage de la réduction des coûts de communication à la dynamique* », université de bordeaux inria bordeaux sud-ouest, 2013.
- [27 ] labed S , « *méthodes bio-inspirées hybrides pour la résolution de problèmes complexes* » ,université constantine 2, 2013.
- [28] Tadunfok T B.Fotso L P , « *heuristiques du problème du voyageur de commerce* », Université de Yaoundé I, Volume 1 ,2006.
- [29] ROY B , « *The outranking approach and the foundations of ELECTRE Methods, Readings in multiple criteria decision aid* »,Berlin,Springer ,1990.
- [30] Steffe J « *UML*», ENITA de Bordeaux, mars 2005.
- [31] Muller « *Modélisation objet avec UML* », EYROLLES, 2002.
- [32] Bres « *Atelier de génie logiciel* », Masson ,1993.
- [33] Sigaud O , « *Introduction à la modélisation orientée objets avec UML* », l'ENSTA, 2006.
- [34] Blaha M. Rumbaugh J , « *Modélisation et conception orientées objet avec UML2* » ,2ème édition, Pearson Education, 2005
- [35] Bastide R , « *conception orientée objets* » , IRIT – CUFR J.F Champollion ,2008
- [36] Rami M, Garcia Luis A. « *Comparison of different multicriteria evaluation methods for the Red Bluff diversion dam* » Colorado State University, Fort Collins, USA ,2000.
- [37] Chamseddine A .BEN A , « *Optimisation multi-objectif 'évolutionnaire* », Ecole polytechnique de Tunisie, 2005.
- [38] Zidi K , « *système interactif d'aide au d'placement multimodal* », l'Université des Sciences et Technologies de Lille, 2006.
- [39] Louafa T ,Perret F L , « *créativité &innovation* » ,intelligence collective au service du management de projet, Espagne, 2008.

[40] Jureen Th ,Siew-H, Shahrul K,« *Comparison of Multi Criteria Decision Making Methods From The Maintenance Alternative Selection Perspective* », Universiti Sains Malaysia (USM), Penang, Malaysia,2013.

[41]Dréo J.Pétrowski A.Siarry P.Taillard E ,«*Métaheuristiques pour l'optimisation difficile* », Éditions Eyrolles, 2003,

[42] Site officiel de MySQL, «*Définition de MySQL*» [En ligne] (Page Consulter le : 25/05/2015), <http://www.mysql.com/>.

[43] Site officiel de WampServer., «*Définition de WampServer*» [En ligne] (Page Consulter le : 07/06/2015), (<http://www.wampserver.com/>).

[44] Rossignol Ch, « *Généralités sur les graphes* »,2009.

