

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene



Faculté de Mathématiques

Département de Recherche Opérationnelle

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER
Recherche Opérationnelle, Management, Risque et Négociation (ROMARIN)

Thème

*Problème de Localisation des points d'accès sans fil dans un site de
SONATRACH*

Présenté par : DAHMOUN Abd Elaziz

HAMIA Salah Eddin

Soutenu le 2023, devant le jury composé de :

Président : M^r MOULAI Mustapha, USTHB
Rapporteur : M^{me} ISSAADI Hayat, USTHB
Examineur : M^r KANTOUR Nedjmeddine, USTHB

Code Mémoire :/ROMARIN/2023

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah tout puissant, de nous avoir accordé le courage et la patience nécessaires pour mener ce travail à son terme.

Nous remercions sincèrement notre encadrante Madame ISSAADI Hayat pour son encadrement exceptionnel. Son soutien, encouragements, conseils et orientation nous ont été d'une grande aide. Son mentorat a été inestimable dans la concrétisation de nos idées. Nous lui sommes profondément reconnaissants.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Monsieur MOULAI Mustapha pour l'honneur qu'il nous a fait en examinant notre mémoire et en présidant le jury. Sa présence en tant qu'éminent membre du jury a ajouté une dimension d'expertise et de crédibilité à notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude envers Monsieur KAN-TOUR Nedjmeddine pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Enfin, nous souhaitons rendre un vif hommage à tous nos enseignants et à tous ceux qui nous ont soutenus de loin ou de près. Leur effort et leur patience méritent notre plus profonde reconnaissance.

Dédicace

À nos parents, qui ont été nos premiers guides dans la vie. Votre amour, votre soutien et vos sacrifices ont façonné qui nous sommes aujourd'hui. Nous vous sommes éternellement reconnaissants.

À nos frères et sœurs, nos compagnons de jeux, nos complices et nos confidents. Les liens qui nous unissent sont indestructibles. Nous sommes bénis d'avoir grandi ensemble et de partager des souvenirs inoubliables.

À nos familles, qui nous ont entourés de leur affection et de leur tendresse. Vous avez toujours été là pour nous, prêts à nous soutenir dans les hauts et les bas de la vie. Nous sommes fiers d'appartenir à une famille aussi aimante et solidaire.

À nos amis, ces âmes sœurs que nous avons choisies. Vous avez apporté de la joie, de la camaraderie et du réconfort à chaque étape de notre parcours. Votre présence a rendu notre vie plus riche et plus colorée.

À tous ceux qui font partie de notre vie, nous vous dédions ces mots empreints de gratitude et d'affection. Vous êtes les piliers de notre bonheur, les étoiles qui illuminent nos jours les plus sombres. Merci d'être là, merci d'être vous.

DAHMOUN, HAMIA

*Pure mathematicians just love
to try unsolved problems - they
love a challenge.*

Andrew Wiles

ملخص

يتركز موضوع الدراسة على رغبة شركة سوناطراك في تحقيق تغطية لاسلكية داخل قاعدة الحياة مع الحد الأدنى من التكاليف. تعمل الشركة بذلك على تحديد التكوين الأكثر كفاءة لنقاط الوصول للواي فاي، مع مراعاة الإعدادات مثل قوة الإشارة والتردد والعقبات المعمارية. الهدف المطلوب هو إيجاد حل يوفر تغطية لاسلكية واسعة النطاق مع تحسين إدارة الموارد للحد من التكاليف المتعلقة بنشر شبكة الواي فاي.

الكلمات المفتاحية: البرمجة المتعددة الأهداف، مشكلة التحديد المكاني، نشر الواي فاي.

Abstract

The subject of study focuses on SONATRACH's desire to achieve wireless coverage within a base camp while minimizing costs. The company is thus determined to determine the most efficient configuration of Wi-Fi access points, taking into account parameters such as signal strength, frequency, and architectural obstacles. The aim is to establish a solution that provides extensive wireless coverage while optimizing resource management in order to reduce the costs associated with Wi-Fi network deployment.

Keywords: Multi-objective optimization, localization problem, NSGA II, Wi-Fi deployment.

Résumé

L'objet d'étude porte sur la volonté de l'entreprise SONATRACH de parvenir à une couverture sans fil au sein d'une base de vie, tout en minimisant les coûts. L'entreprise s'attache ainsi à déterminer la configuration la plus efficiente des points d'accès Wi-Fi, en tenant compte de paramètres tels que la puissance du signal, la fréquence et les entraves architecturales. L'objectif recherché consiste à établir une solution qui octroie une couverture sans fil étendue, tout en optimisant la gestion des ressources, en vue de réduire les coûts afférents à déploiement du réseau Wi-Fi.

Mots Clée : Optimisation multiobjectif, Problème de localisation, NSGA II, Déploiement Wi-Fi.

Table des matières

Table des matières

Table des figures i

Liste des tableaux iii

Introduction Générale 1

1 Généralité sur les Réseaux 3

1.1 Concept de base sur les réseaux 3

1.2 Les réseaux sans-fil (WLAN) 8

1.3 La problématique 15

2 Généralités sur l'optimisation combinatoire 18

2.1 Optimisation combinatoire 19

2.2 Optimisation multi-objectif 26

3 Modélisation et Résolution 33

3.1 Position du problème 33

3.2 La phase de prétraitement 35

3.3 Formalisation du Problème 37

3.4 Evaluation du Modèle 41

3.5 Approche de résolution 41

4 L'Implémentation 52

4.1 Présentation langage Python 53

4.2 Les Package 53

4.3 Les Résultats 55

4.4 Mode d'utilisation d'interface graphique 57

Conclusion Générale	72
Bibliographie	74
A Caractéristiques des points d'accès	A

Table des figures

1.1	La topologie maillée	6
1.2	La topologie en étoile	6
1.3	La topologie en anneau	7
1.4	La topologie en bus	7
1.5	La topologie arborescente	7
1.6	Le rayonnement électromagnétique	9
1.7	Diagramme de rayonnement en coupe d'azimut et coupe d'élévation pour 2.4GHz de fréquence	14
1.8	Diagramme de rayonnement en coupe d'azimut et coupe d'élévation pour 5GHz de fréquence	14
1.9	Plan général du site	16
2.1	Hiérarchie des classes de complexité : P, NP, NP-complet, NP-difficile	21
2.2	Illustration des différentes définitions.	29
3.1	Exemple de couverture d'une zone de demande i	36
3.2	Représentation chromosomique de l'affectation de 5 points d'accès à 14 emplacements potentiels pour 4 zones de demande	43
3.3	L'opération du croisement	47
3.4	L'opération de la mutation	48
3.5	Convergence des fronts paréto	49
3.6	Organigramme de la NSGA-II [1]	50
4.1	La fenêtre d'accueil	58
4.2	L'espace de travail	59
4.3	Tableau des solutions optimales	61
4.4	Détails de la solution sélectionnée	62
4.5	Informations plus détaillées et illustration graphique	63
4.6	Visualisation numérique des emplacements de la solution	63
4.7	Page de sauvegarde	64

4.8	Illustration des différents attributs de la table enregistrer . .	64
4.9	Ouvrir un projet	65
4.10	exporter	66
4.11	supprimer	67
4.12	message box du confirmation	67
4.13	Sorite	67

Liste des tableaux

1.1	Résumé des normes IEEE 802.11 [2]	8
1.2	Les valeurs d'atténuation d'obstacles typiques [3]	13
4.1	Comparaison des performances selon le RSSI et la fréquence .	55
A.1	Tableau des modèles d'AP et leurs cartes	A

Introduction Générale

L'avènement de l'Internet a engendré une transformation profonde de notre société, bouleversant les modes de communication, de travail et d'accès à l'information. Cette révolution technologique a instauré un pilier fondamental au sein de notre réalité contemporaine, conférant une connectivité mondiale sans précédent et un accès élargi à une pléthore de services en ligne.

Dans cette dynamique d'évolution, émergent des avancées technologiques telles que les réseaux locaux sans fil (WLAN), qui se positionnent comme des éléments constitutifs essentiels de cette transformation sociétale. Les WLAN sont des infrastructures de communication sans fil facilitant la diffusion d'informations à travers des fréquences radioélectriques, permettant ainsi la mise en place de réseaux sans nécessiter de câbles physiques.

Les points d'accès (AP), composantes fondamentales des réseaux sans fil, revêtent une importance primordiale en vue de permettre l'interaction des utilisateurs avec l'infrastructure réseau et l'accès aux services en ligne. Agissant en qualité de passerelles entre les terminaux des utilisateurs et l'architecture sous-jacente du réseau, les AP s'avèrent indispensables pour assurer une transmission de données harmonieuse et sécurisée.

L'implémentation judicieuse des points d'accès engendre une entreprise d'une complexité remarquable. La localisation des points d'accès sans fil revêt une importance capitale, compte tenu de la multitude de paramètres et d'objectifs à considérer lors de leur configuration. Parmi ces critères fondamentaux figurent la couverture réseau, les coûts de déploiement, la capacité de réseau, la qualité de signal, la consommation énergétique, etc.

La recherche opérationnelle, en tant que discipline scientifique interdisciplinaire, se révèle être un acteur clé dans la résolution du problème de localisation des points d'accès sans fil. Grâce à ses méthodes et techniques sophistiquées, elle offre des outils mathématiques et informatiques

aptes à modéliser et résoudre efficacement ce type de problème.

Le présent mémoire se concentre sur la problématique de localisation des (AP) sans fil en prenant en considération deux objectifs principaux : maximiser la couverture du réseau et minimiser les coûts totaux de déploiement. La couverture fait référence à l'étendue géographique du réseau sans fil, c'est-à-dire la zone dans laquelle les utilisateurs peuvent accéder à Internet de manière fiable. Les coûts de déploiement comprennent les dépenses liées à l'installation des AP, l'achat de matériel, les coûts énergétiques, etc.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre s'attache à l'étude des fondements généraux des réseaux. Nous explorerons la technologie WLAN (Wireless Local Area Network) et aborderons également les différents paramètres qui influent sur la transmission des données dans les réseaux sans fil.

Le deuxième chapitre se concentrera sur l'optimisation combinatoire et multi-objectifs, avec une attention particulière portée sur le cas bi-objectif. Ce chapitre sera consacré à l'exploration des diverses méthodes de résolution employées pour résoudre les problèmes d'optimisation, qu'il s'agisse de méthodes directes ou d'approches approximatives.

Le troisième chapitre de ce mémoire portera sur la modélisation et la résolution du problème de localisation des points d'accès sans fil au sein d'un environnement bidimensionnel (2D). Notre objectif est d'aborder en détail la modélisation mathématique du problème et de proposer une méthode de résolution appropriée pour trouver des solutions satisfaisantes qui répondent aux exigences du décideur.

Enfin, le quatrième chapitre se focalise sur la mise en œuvre de la méthode de résolution, en explorant et analysant les différentes solutions trouvées pour des scénarios spécifiques. Nous clôturerons en présentant l'usage du GUI ; une interface graphique destinée à faciliter l'interaction avec un programme ; ce qui permettra une utilisation facile aux décideurs.

Chapitre 1

Généralité sur les Réseaux

Introduction

Les réseaux informatiques ont révolutionné le monde de l'informatique en permettant la communication et le partage de données en temps réel à travers des dispositifs interconnectés. Ces réseaux jouent un rôle crucial dans notre vie quotidienne, que ce soit pour les communications personnelles ou professionnelles.

Ce chapitre se concentre sur les généralités des réseaux, en mettant l'accent sur les différents types, topologies, supports et périphériques qui les composent, tout en prenant en compte les particularités des réseaux sans fil ou WLAN. Nous examinerons les notions essentielles qui régissent les réseaux WLAN.

Enfin, nous aborderons la problématique de la planification des points d'accès (AP) dans un site de SONATRACH, en discutant les types d'AP à utiliser et des zones de demande.

1.1 Concept de base sur les réseaux

1.1.1 Définition

Un réseau informatique est un ensemble de dispositifs tels que des ordinateurs, des périphériques, des serveurs, des routeurs et des commutateurs, reliés entre eux par des supports de transmission, tels que des câbles ou des ondes radio, pour permettre la communication, le partage de ressources et l'échange de données. Les réseaux informatiques peuvent être de différentes tailles et formes, allant d'un réseau domestique reliant

quelques ordinateurs et périphériques à un réseau d'entreprise étendu reliant des milliers de dispositifs dans différents sites géographiques. [4]

1.1.1.1 Support de transmission

- **Médias guidés** : Les médias guidés sont des supports physiques de transmission utilisés pour connecter les appareils d'un réseau. Les types de médias guidés couramment utilisés incluent les câbles en cuivre et les câbles à fibre optique. Les médias guidés offrent une connexion plus fiable mais peuvent être plus coûteux à installer. [5]
- **Médias non guidés** : Les médias non-guidés sont des supports de transmission qui n'utilisent pas de support physique pour transférer les signaux. Ils garantissent une grande flexibilité et mobilité car ils n'ont pas besoin de câbles physiques pour fonctionner. Les médias non-guidés comprennent les ondes radio, les ondes infrarouges, les réseaux cellulaires et les satellite. [6]

1.1.1.2 Périphériques

Les périphériques du réseau peuvent être classés en deux catégories :

- **Les périphériques finaux** : Les périphériques finaux ou les hôtes sont les dispositifs qui sont utilisés pour accéder directement au réseau. Ce sont les ordinateurs, les smartphones, les tablettes, les imprimantes, les caméras IP, etc. [7]
- **Les périphériques intermédiaires** : Les périphériques intermédiaires sont des équipements utilisés pour connecter les périphériques finaux et acheminer le trafic à travers le réseau. Ce sont des équipements tels que les routeurs, les commutateurs, les concentrateurs, les pare-feu, les passerelles, les points d'accès sans fil, etc. [8]

1.1.2 Types de réseau

Les infrastructures réseau varient considérablement en fonction des besoins spécifiques tels que la taille de la zone couverte, le nombre d'utilisateurs connectés, le type et le nombre de services disponibles. Ces facteurs influencent la conception et la mise en place des réseaux pour ré-

pondre efficacement aux objectifs visés.

On peut distinguer trois types de réseaux fondamentaux :

- **Les réseaux locaux (LAN) :** Un réseau local (LAN) est une infrastructure réseau reliant les utilisateurs et les périphériques finaux dans une zone géographique peu étendue, tels qu'un bâtiment. Le réseau local peut fournir une bande passante très élevée aux périphériques finaux et aux périphériques intermédiaires internes.
- **Les réseaux étendus (WAN) :** Les réseaux étendus (WAN) sont des infrastructures réseau permettant de connecter de vastes zones géographiques. Les WAN permettent de relier des LAN sur des zones étendues couvrant des villes, des états, etc ... , et fournissent des connexions à bas débit entre les réseaux locaux.
- **L'Internet :** L'Internet est un ensemble de réseaux interconnectés à l'échelle mondiale. Les réseaux locaux et étendus sont interconnectés pour former un Internet à l'aide de connexions WAN, qui peuvent être réalisées à l'aide de divers moyens tels que les fils de cuivre, les câbles de fibre optique ou les transmissions sans fil [4].

1.1.3 Topologie

La topologie d'un réseaux correspond à la structure physique ou logique du réseau, décrivant la manière dont les nœuds (ordinateurs, serveurs, imprimantes, etc.) sont connectés et communiquent entre eux. Elle peut être de type physique ou logique et est déterminée en fonction des besoins spécifiques de l'entreprise ou de l'organisation qui utilise le réseau.

Les différentes formes de topologies :

- **La topologie maillée :** La topologie en maillage est une structure de réseau informatique dans laquelle chaque ordinateur est connecté à tous les autres ordinateurs du réseau. Elle est adaptée pour les connexions dédiées où le temps est plus important que les coûts d'installation et de maintenance.

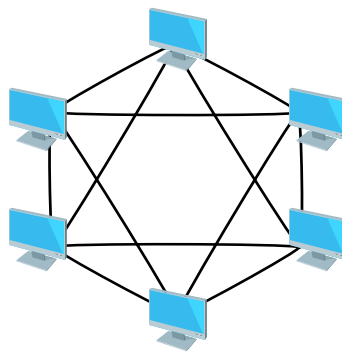


Figure 1.1 – La topologie maillée

- **La topologie en étoile :** La topologie en étoile est un type de réseau informatique dans laquelle chaque périphérique est connecté à un hub central. Les nœuds communiquent entre eux en passant par le hub, ce qui permet de réduire le nombre de liens nécessaires. Toutefois, cette topologie présente un inconvénient majeur, à savoir que le hub central constitue un point de défaillance unique, et que la panne de ce dernier peut entraîner l'arrêt complet du réseau. Elle est particulièrement adaptée aux situations où les communications sont principalement entre un serveur et ses clients.

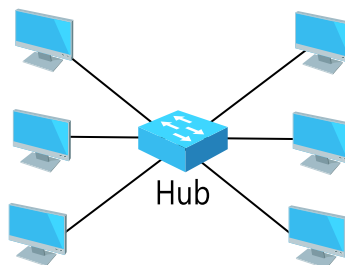


Figure 1.2 – La topologie en étoile

- **La topologie en anneau :** La topologie en anneau est une forme de réseau informatique dans laquelle les périphériques sont reliés entre eux dans une boucle fermée, où les données circulent autour de l'anneau jusqu'à ce que chaque nœud les reçoive. Elle permet d'éviter un point de défaillance unique en cas de panne d'un périphérique.

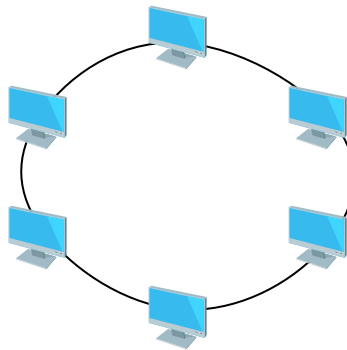


Figure 1.3 – La topologie en anneau

- **La topologie en bus :** La topologie en bus est une forme de réseau où tous les nœuds sont reliés à un seul câble appelé le bus, sans dispositifs actifs comme un commentateur ou un hub. Chaque nœud est connecté au bus par une simple dérivation. Elle est fiable et peu coûteuse, mais si le câble central échoue, le réseau est complètement partitionné.

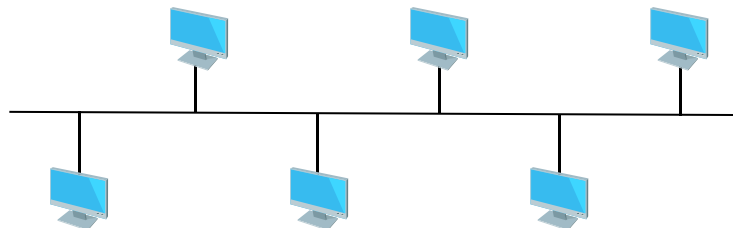


Figure 1.4 – La topologie en bus

- **La topologie arborescente :** La topologie en arbre peut être considérée comme une extension de la topologie en étoile, où les hubs ou commutateurs sont connectés entre eux pour former une structure arborescente. Bien qu'elle puisse ressembler à une combinaison de topologie en étoile et en bus. [4]

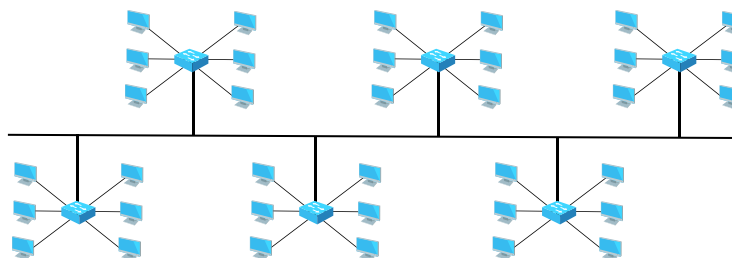


Figure 1.5 – La topologie arborescente

1.2 Les réseaux sans-fil (WLAN)

La technologie WLAN (Wireless Local Area Network) est un type spécifique de réseau sans fil qui utilise des normes telles que le 802.11 pour établir une communication sans fil entre les périphériques compatibles. Les réseaux WLAN sont souvent utilisés dans les environnements où une mobilité est nécessaire. [6] Les réseaux WLAN sont conçus pour fournir un accès sans fil dans des zones couvrant une portée allant jusqu'à quelques centaines de mètres. Ils sont principalement déployés dans des environnements tels que les foyers et les bureaux. [9]

1.2.1 La norme IEEE 802.11 Wi-Fi

L'IEEE 802 est une famille de normes pour les réseaux locaux qui a été initiée dans les années 1980. Le projet 802 a été lancé dans le but de définir un ensemble de normes pour la technologie de réseau local (LAN). Parmi les différentes normes de la famille IEEE 802, on trouve la norme 802.11, qui est la norme pour les réseaux locaux sans fil, également connus sous le nom de Wi-Fi. Elle a été développée dans les années 1990 et publiée pour la première fois en 1997. Depuis sa publication, la norme 802.11 a subi plusieurs améliorations et mises à jour, avec des améliorations notables telles que les normes 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n et 802.11ax.

Les organisations telles que l'IEEE et l'ANSI participent au développement des normes IEEE pour garantir l'interopérabilité et la fiabilité des réseaux locaux et sans fil. [10]

Le tableau ci-dessous résume quelques versions sur la norme 802.11 :

Tableau 1.1 – Résumé des normes IEEE 802.11 [2]

Norme	Année	Débit max	Fréquence
802.11b	1999	11 Mbps	2.4 GHz
802.11a	1999	54 Mbps	5 GHz
802.11g	2003	54 Mbps	2.4 GHz
802.11n	2009	600 Mbps	2.4 GHz / 5 GHz
802.11ax	2020	10 Gbps	2.4 GHz / 5 GHz / 6 GHz

1.2.2 Le rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique est une forme d'énergie qui se propage sous forme d'ondes électromagnétiques, comprenant des champs électriques \vec{E} et magnétiques oscillants \vec{B} perpendiculaires l'un à l'autre, qui se déplacent dans l'espace à une vitesse constante, soit la vitesse de la lumière c . La fréquence de l'onde électromagnétique ν correspond au nombre d'oscillations par seconde effectuées par ces champs électriques et magnétiques, et elle est liée à la longueur d'onde λ et à la vitesse de la lumière par la relation mathématique $\lambda = \frac{c}{\nu}$. Le rayonnement électromagnétique comprend des ondes radio, des micro-ondes, de la lumière visible, des rayons X, des rayons gamma, etc. [11]

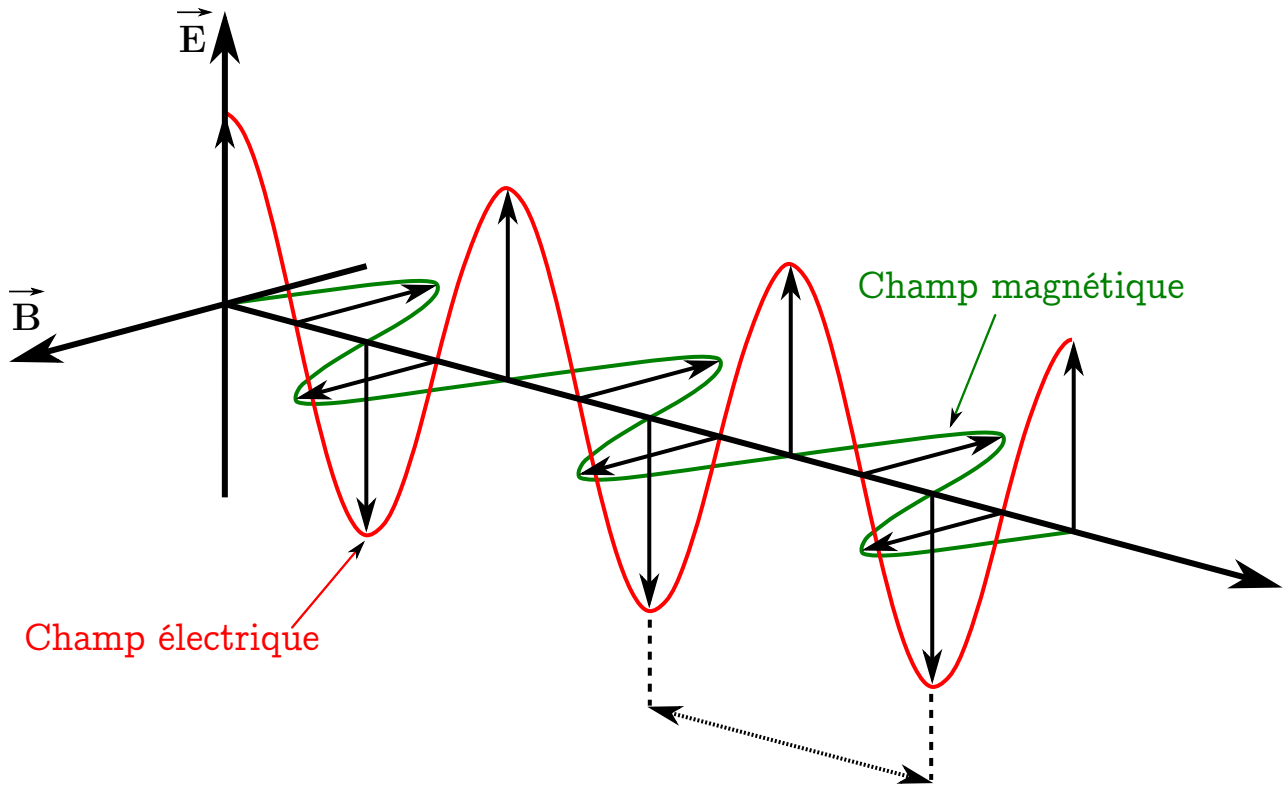


Figure 1.6 – Le rayonnement électromagnétique

1.2.3 Decibels

Le décibel (dB) est une unité de mesure logarithmique utilisée pour quantifier le rapport entre deux quantités de puissance. Le niveau de puissance d'un signal électronique, tel qu'une onde radio, peut varier considérablement. Pour faciliter la comparaison de puissance, on utilise

le rapport entre les niveaux de puissance, exprimé en unités de Bel. Cependant, les unités de Bel étant très grandes, on utilise couramment le décibel (dB), qui correspond à un dixième de Bel. Le décibel est une unité de mesure de puissance relative largement utilisée dans l'industrie des télécommunications, de l'audio et de l'électronique en général. [12] La formule pour convertir un rapport de puissance en décibels (dB) est la suivante :

$$\text{dB} = 10 \log_{10}(P).$$

Où P est la puissance de référence .

En ce qui concerne la puissance du signal radio utilisé dans les réseaux sans fil, la mesure de référence est le milliwatt (mW), l'équation est adaptée en conséquence :

$$\text{dBm} = 10 \log_{10}(1\text{mW}).$$

1.2.4 Antenne

Une antenne est un dispositif utilisé pour la transmission ou la réception des ondes électromagnétiques, qui permet aux appareils électroniques de communiquer via ondes électromagnétiques sans avoir besoin de fils ou de câblage. Tout système de communication à radiofréquence est équipé d'au moins deux antennes, l'une pour transmettre et l'autre pour recevoir. [13]

Les antennes peuvent être divisées en deux groupes : [12]

1.2.4.1 Les antennes directionnelles

Les antennes directionnelles envoient et reçoivent des signaux dans une seule direction, généralement dans un faisceau concentré et très étroit. Ils sont généralement utilisés pour fournir une couverture régionale spécifique.

1.2.4.2 Les antennes omnidirectionnelles

Une antenne omnidirectionnelle est un type d'antenne qui émet et reçoit des signaux électromagnétiques de manière uniforme dans toutes les directions.

1.2.5 Paramètres de transmission dans les réseaux WLAN

Les paramètres de transmission sont des éléments clés pour assurer la qualité et la fiabilité des communications dans les réseaux WLAN. Chaque un de ces paramètres a un rôle important à jouer dans la transmission des données.

1.2.5.1 Le gain d'antenne

Le terme gain d'antenne définit le degré auquel une antenne concentre la puissance rayonnée dans une direction donnée par rapport à une antenne de référence (antenne isotrope). L'isotrope est une antenne théorique qui rayonne uniformément dans toutes les directions. Le gain est exprimé en décibels isotropes (dBi), où l'antenne isotrope a un gain de 0 dBi [14].

1.2.5.2 La puissance de transmission

La puissance de transmission d'une antenne fait référence à la capacité de l'antenne à émettre le signal radiofréquence produit par l'émetteur. C'est la quantité d'énergie électromagnétique que l'antenne est capable de rayonner dans l'environnement, elle est souvent exprimée en décibels ou en watt. [14]

1.2.5.3 Le RSSI

L'indicateur de force du signal reçu mesure la puissance du signal issu d'une antenne. Plus le RSSI est élevé, plus le signal est fort et donc la qualité de la connexion sans fil est meilleure. Pour évaluer la connectivité, des valeurs de référence couramment utilisées sont les suivantes : un RSSI inférieur à -70 dBm est considéré comme une connectivité faible, un RSSI entre -70 dBm et -65 dBm est considéré comme une connectivité normale, et un RSSI supérieur à -60 dBm est considéré comme une connectivité VIP.

La formule pour calculer le RSSI en dBm est la suivante : [15]

$RSSI = \text{la puissance de transmission} + \text{le gain d'antenne émetteur} - \text{la perte de propagation du signal} - \text{l'atténuation du signal causé par les obstacles} + \text{le gain d'antenne récepteur}$

- La perte de propagation du signal est donnée comme suit :

1. Le cas Indoor :

(1) Pour la fréquence = 2.4GHz :

$$50 + 25\log_{10}(d). \quad (1.1)$$

(2) Pour la fréquence = 5GHz :

$$57 + 30\log_{10}(d). \quad (1.2)$$

2. Le cas Outdoor :

$$42,6 + 26\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f). \quad (1.3)$$

Où :

d : (la portée en Mètre) est la distance maximale d'un signal peut parcourir avant de devenir faible pour être détecté.

f : la fréquence d'antenne exprimé en GHz.

- Le gain de l'antenne réceptrice est considéré comme nul par rapport à celui de l'antenne émettrice, car en général, le gain de l'antenne émettrice est plus élevé que celui de l'antenne réceptrice.
- L'atténuation du signal causé par les obstacles se réfère à la réduction de la force du signal lorsqu'il rencontre des obstacles physiques tels que des murs, des arbres, des bâtiments, ect.
Les valeurs d'atténuation d'obstacles typiques sont répertoriées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1.2 – Les valeurs d’atténuation d’obstacles typiques [3]

Obstacle	Epaisseur (mm)	Atténuation du signal 2,4 GHz (dB)	Atténuation du signal 5 GHz (dB)
Mur de briques communes	120	10	20
Mur de briques épaisses	240	15	25
Béton	240	25	30
Amiante	8	3	4
Matériaux en mousse	8	3	4
Bois creux	20	2	3
Porte en bois commune	40	3	4
Porte en bois massif	40	10	15
Verre commun	8	4	7
Verre épais	12	8	10
Verre blindé	30	25	35
Pilier porteur	500	25	30
Porte de volet	10	15	20
Plaque d’acier	80	30	35
Ascenseur	80	30	35

1.2.5.4 Le diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement est un outil important pour comparer et analyser différentes antennes. Il représente graphiquement la manière dont l’antenne rayonne l’énergie dans l’espace en fonction de la direction, et permet ainsi de visualiser le gain d’antenne mesuré sous différents angles. Pour une antenne isotrope idéale, le gain d’antenne est le même à n’importe quel angle, ce qui se traduit par un cercle de gain avec une valeur de 0 dBi. Il est important de noter que le diagramme de rayonnement varie avec la fréquence de fonctionnement de l’antenne, et doit donc être tracé pour chaque fréquence. [16]

Le diagramme de rayonnement peut être représenté en deux dimensions pour une coupe transversale de l’antenne dans le plan horizontal (azimut) ou vertical (élévation), ou en trois dimensions pour montrer la réponse complète de l’antenne dans toutes les directions.

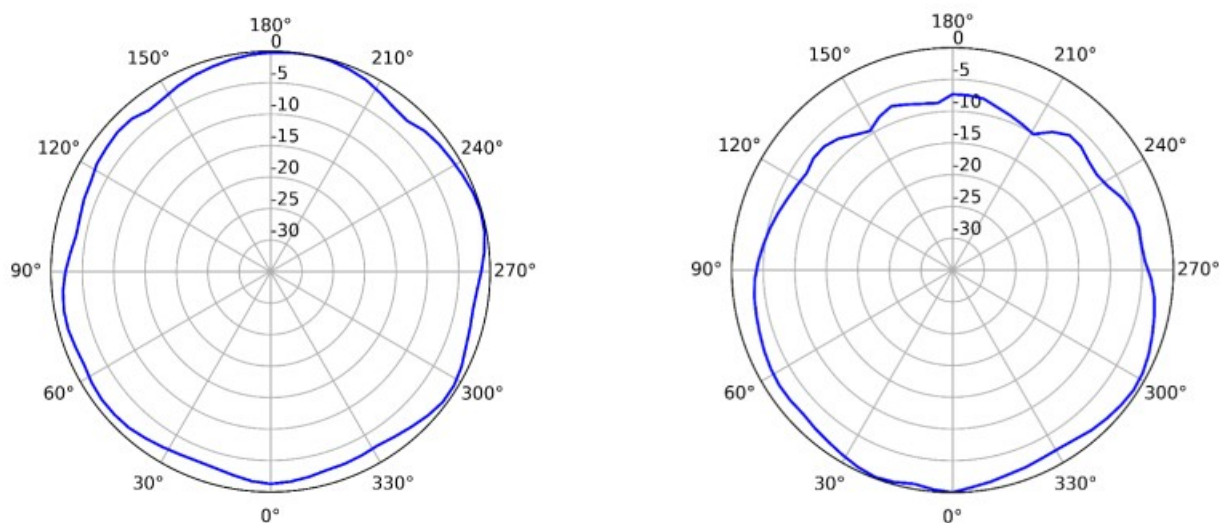


Figure 1.7 – Diagramme de rayonnement en coupe d'azimut et coupe d'élévation pour 2.4GHz de fréquence

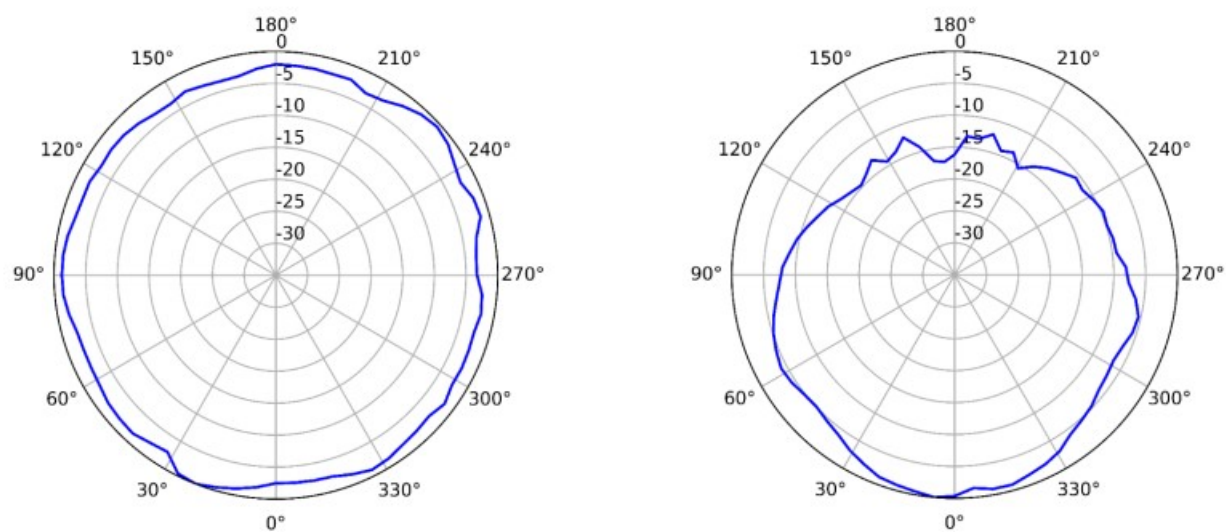


Figure 1.8 – Diagramme de rayonnement en coupe d'azimut et coupe d'élévation pour 5GHz de fréquence

1.3 La problématique

Sonatrach est une entreprise algérienne spécialisée dans le secteur des hydrocarbures, notamment dans l'exploration, la production et la commercialisation de pétrole et de gaz naturel. La société possède et exploite plusieurs champs de production d'hydrocarbures localisés dans le sud de l'Algérie, où les travailleurs qui y travaillent ont besoin de logements et d'autres services essentiels pour leur bien-être.

Pour répondre à ce besoin, Sonatrach a construit des sites (bases de vie) à proximité de ces champs. Ces sites sont constituées de plusieurs blocs qui offrent une variété de services pour assurer le confort et la sécurité des travailleurs. Les services proposés incluent des logements, des restaurants, des installations sportives, des centres de santé et bien plus encore.

L'objectif principal de ces bases de vie est de garantir aux travailleurs des conditions sûres et confortables. De plus, la présence de ces bases de vie contribue à réduire les coûts de transport et de logistique pour l'entreprise.

Position du problème

Sonatrach vise à fournir une couverture Wi-Fi dans ces sites d'hébergement. Le problème implique de localiser et de trouver la meilleure configuration de points d'accès sans fil pour couvrir toutes les zones qui nécessitent un signal Wi-Fi.

Des facteurs tels que la qualité du signal, la distance entre les points d'accès, les obstacles physiques tels que les matériaux de construction, ainsi que les facteurs naturels doivent être pris en compte pour déterminer la solution optimale. Pour ce faire nous devons utiliser une combinaison des points d'accès indoor et outdoor, les (AP) indoor seront utilisés pour couvrir à l'intérieur des blocks, tandis que les (AP) outdoor seront utilisés pour couvrir les espaces extérieurs. Il est important de noter également que les points d'accès indoor ont un gain de signal moins élevé par rapport aux points d'accès outdoor, qui doivent être installés à l'extérieur en raison des ondes électromagnétiques qu'ils émettent, potentiellement dangereuses pour la santé humaine.

Le site considéré ; illustré par la Figure 1.9 ; est composé de 25 bloc d'habitation, un restaurant et un foyer. En plus un espace extérieur dédié

pour les loisirs.



Figure 1.9 – Plan général du site

Pour répondre aux exigences du carnet de charge de l'entreprise, il a été décidé de choisir deux types d'AP indoor, à savoir les modèles "Huawei AP6750-10T" et "Huawei AirEngine 6760-X1", ainsi qu'un modèle spécifique pour les installations en extérieur, le modèle "Huawei AirEngine 6760R-51". Ces choix ont été faits en fonction des besoins spécifiques de l'entreprise en termes de couverture et de performance réseau, ainsi que des conditions météorologiques et environnementales dans lesquelles les AP seront déployés.

Conclusion

En conclusion, ce chapitre nous a permis de comprendre les généralités et les notions de bases sur les réseaux, ainsi que les réseaux WLAN en particulier. Cependant, nous avons également abordé le problème courant de couverture des réseaux WLAN, en particulier dans les environnements intérieurs et extérieurs.

Nous avons identifié que ce problème de couverture est un exemple de problème de localisation discret bicritères, qui implique la recherche d'emplacements optimaux pour les points d'accès (AP) indoor et outdoor afin de fournir une couverture maximale tout en minimisant le coût total d'installation des AP.

Dans le prochain chapitre nous aborderons cette thématique en examinant les différentes techniques et méthodes utilisées pour résoudre efficacement les problèmes d'optimisation combinatoire, où plusieurs objectifs doivent être pris en compte simultanément.

Chapitre 2

Généralités sur l'optimisation combinatoire

Introduction

L'optimisation, est une branche des mathématiques qui vise à trouver la meilleure solution possible pour un problème donné, en utilisant une fonction objective et un ensemble de contraintes. Les problèmes d'optimisation peuvent être classés en deux catégories : l'optimisation continue, où les variables de décision peuvent prendre n'importe quelle valeur dans un intervalle continu, et l'optimisation combinatoire, où les variables de décision ne peuvent prendre que des valeurs discrètes. Les problèmes d'optimisation combinatoire sont souvent plus difficiles à résoudre car ils impliquent une recherche exhaustive à travers un grand nombre de combinaisons possibles de variables de décision. Dans ce chapitre, nous aborderons les principales notions de l'optimisation combinatoire, et nous nous concentrerons sur un type particulier de problème combinatoire : le problème de localisation.

L'optimisation combinatoire multiobjectif résout des problèmes avec plusieurs objectifs contradictoires à atteindre simultanément. Elle cherche un ensemble de solutions représentant un compromis entre les objectifs, appelé frontière de Pareto. Elle est utilisée dans divers domaines tels que la logistique, l'ordonnancement et la conception de systèmes complexes. Les techniques d'optimisation multiobjectif incluent les algorithmes évolutionnaires, les métaheuristiques et les méthodes basées sur des graphes. Elle permet de prendre des décisions efficaces lorsque des compromis sont nécessaires entre des objectifs divergents.

2.1 Optimisation combinatoire

Les références [17], [18], [19], [20] [21] ont été utilisées dans la rédaction de cette section.

2.1.1 Problème d'optimisation

Définition 2.1. Un problème d'optimisation noté par $PO = (S, f)$ où :

- S est l'ensemble des solutions réalisables (appelé également espace de recherche, espace de configurations ou espaces d'alternatives) du problème,
- $f : S \longrightarrow R$, fonction objectif telle que :
 $\forall x \in S$, $f(x)$ représente la valeur (qualité) de la solution x .

Résoudre un problème d'optimisation $PO = (S, f)$ revient à chercher la (les) solution(s) $x^* \in S$ qui minimise (ou maximise) f .

$$PO : \min(\max) f(x)$$

Notons que :

- x^* n'est pas forcément unique.
- L'ensemble S peut être discret ou continu.

Définition 2.2. Un Minimum (resp. maximum) local Une solution (configuration) $x^* \in S$ est minimum (resp. maximum) local si et ssi :

$$\forall x \in V(x^*), f(x^*) \leq (\text{resp. } \geq) f(x),$$

où $V(x^*)$ est le voisinage de x^* de taille δ :

$$V(x^*) = \{x \in S : |x - x^*| < \delta\}.$$

Définition 2.3. Un Minimum (resp. maximum) global Une solution (configuration) $x^* \in S$ est minimum (resp. maximum) local si et ssi :

$$\forall x \in S, f(x^*) \leq (\text{resp. } \geq) f(x),$$

2.1.2 Problème d'optimisation combinatoire

Un problème d'optimisation combinatoire consiste en l'optimisation (minimisation maximisation) d'un certain critère sous différentes

contraintes permettant de délimiter l'ensemble des solutions réalisables (ou solutions admissibles). On rencontre ce type de problèmes dans de nombreux domaines comme : Économie, Management, Télécommunication,...

Définition 2.4. Un problème d'optimisation combinatoire noté (POC) est un $PO = (S, f)$ où :

L'ensemble S des solutions est fini (dénombrable) avec une taille qui croît exponentiellement avec la taille de l'instance du problème.

Les problèmes d'optimisation combinatoire présentent plusieurs caractéristiques distinctives, comme le nombre de solutions possibles ; complexité de la recherche de la solution optimale ; nature discrète des variables ; contraintes multiples et l'importance de la qualité de la solution.

2.1.3 Complexité des problèmes d'optimisation

La complexité dans les problèmes d'optimisation fait référence à la difficulté de trouver une solution optimale pour un problème donné. En d'autres termes, cela mesure le temps et l'espace nécessaires pour implémenter un algorithme qui résout un problème d'optimisation donné. La complexité peut être exprimée en termes de la taille de l'instance du problème, qui est souvent mesurée en fonction du nombre d'éléments de l'entrée, la complexité des algorithmes d'optimisation est également un sujet important, les algorithmes avec une complexité faible sont préférables car ils permettent de trouver des solutions en temps raisonnable pour des instances de taille importante.

La complexité des algorithmes d'optimisation dépend de la méthode de résolution utilisée et des propriétés du problème à optimiser, et aussi elle dépend de plusieurs facteurs, tels que : la taille de l'instance, le nombre de variables et de contraintes et la nature de la fonction objectif.

2.1.3.1 Classes de complexité des PO

Les problèmes d'optimisation peuvent être classés en différentes classes en fonction de leur complexité. Voici quelques exemples de classes de

complexité courantes pour les problèmes d'optimisation :

- P : Cette classe contient les problèmes d'optimisation pour lesquels il existe un algorithme qui peut trouver une solution optimale en un temps polynomial.
- NP (Non-déterministe Polynomial) : la classe NP est la classe des problèmes de décision pour lesquels une solution peut être vérifiée en temps polynomial sur une Machine de Turing non-déterministe. La question de savoir si P est équivalente à NP reste un problème ouvert en informatique théorique.
- NP-complet : Cette classe contient les problèmes d'optimisation dans NP qui sont au moins aussi difficiles que tous les autres problèmes de NP en termes de complexité.
- NP-difficile : Cette classe contient les problèmes d'optimisation qui sont au moins aussi difficiles que les problèmes de NP, mais qui peuvent ne pas être dans NP, Si un problème NP-difficile est dans NP, alors c'est un problème NP-complet.

Il est important de noter que la complexité d'un problème d'optimisation ne dépend pas seulement de sa classe de complexité, mais aussi de la taille de l'entrée et de la structure du problème. De plus, une classification dans une certaine classe de complexité ne signifie pas nécessairement qu'un problème est intrinsèquement difficile ou facile à résoudre en pratique.

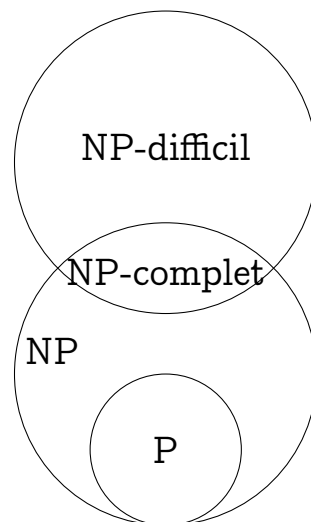


Figure 2.1 – Hiérarchie des classes de complexité : P, NP, NP-complet, NP-difficile

2.1.3.2 Complexité des problèmes d'optimisation combinatoire

Les problèmes d'optimisation combinatoire peuvent être classés en fonction de leur complexité. Les problèmes NP-difficiles sont considérés comme les plus difficiles à résoudre, car aucun algorithme polynomial connu ne peut les résoudre en un temps raisonnable.

Les algorithmes d'optimisation combinatoire peuvent être exacts ou heuristiques, et leur complexité dépend du type d'algorithme utilisé. Les algorithmes exacts garantissent de trouver la solution optimale, mais peuvent être très coûteux en termes de temps de calcul pour les instances de problèmes de grande taille. Les algorithmes heuristiques, d'autre part, ne garantissent pas de trouver la solution optimale, mais peuvent être plus rapides à exécuter et peuvent souvent produire des solutions acceptables dans des délais raisonnables.

2.1.3.3 Quelques problèmes d'optimisation combinatoire

Il existe de nombreux problèmes d'optimisation combinatoire. Voici quelques exemples courants :

Le problème du voyageur de commerce (TSP) : Le TSP consiste à trouver le chemin le plus court qui passe par toutes les villes d'un ensemble donné. Ce problème est NP-difficile et a de nombreuses applications pratiques, telles que la planification de tournées pour les livraisons et la collecte de déchets.

Le problème du sac à dos : Le problème du sac à dos consiste à maximiser la valeur totale des objets qu'on peut mettre dans un sac à dos d'une capacité donnée. Ce problème est souvent utilisé en économie pour modéliser des choix de consommation et de production.

Le problème de coloration de graphes : Le problème de coloration de graphes consiste à attribuer une couleur à chaque nœud d'un graphe de telle sorte que des nœuds adjacents ne soient pas de la même couleur. Ce problème est couramment utilisé en informatique et en théorie des graphes.

Le problème de l'ordonnancement de production : Le problème de l'ordonnancement de production consiste à déterminer l'ordre optimal dans lequel produire des tâches afin de minimiser le temps total de production. Ce problème est couramment utilisé dans l'industrie manufacturière.

Le problème de localisation : Le problème de localisation des ressources constitue une branche d'étude qui se concentre sur les décisions liées à l'identification optimale des emplacements pour un ensemble de ressources, tout en minimisant les coûts engagés pour répondre à un ensemble de demandes de biens ou de services. Ces problèmes peuvent être formulés en se posant la question suivante : "Où faut-il placer de manière optimale les objets?". À partir de cette question fondamentale, deux autres interrogations émergent : premièrement, Quels sont les emplacements disponibles où les objets peuvent être placés ? Deuxièmement, Sur quelle base doit-on fonder notre décision lors du choix de la localisation ?

La réponse à la première question détermine l'espace de localisation, c'est-à-dire l'espace dans lequel les ressources peuvent être localisées, qui peut être soit un espace continu, soit un espace discret.

Pour la deuxième question nous avons besoin de définir l'espace de demande ainsi qu'une fonction(s) objectif(s) permettant de mesurer l'efficacité de la localisation choisie.

La classification des problèmes de localisation permet de distinguer deux catégories principales :

Cas continu : Les problèmes de localisation à cas continu se réfèrent à des situations où les emplacements possibles peuvent être situés n'importe où dans un espace continu. Dans ce cas, la décision consiste à trouver les coordonnées optimales dans cet espace continu pour placer les ressources. Parmi les modèles fréquemment étudiés on peut citer le problème Minimax et Maximin et le Minisum et Maximin.

Cas discret : Dans les problèmes de localisation à cas discret, les emplacements possibles sont pré-définis et limités à un nombre fini de choix discrets. La décision consiste à déterminer quels emplacements spécifiques doivent être sélectionnés parmi les options disponibles pour ré-

pondre aux demandes de manière optimale, en prenant en compte des critères tels que la distance, la capacité ou d'autres contraintes spécifiques. Parmi les modèles couramment étudiés, on trouve le p-centre, le p-médian, le p-dispersion.

2.1.4 Les méthodes de résolution des problèmes d'optimisation combinatoire

La majorité des problèmes d'optimisation combinatoire sont des problèmes *NP – difficiles* et donc ne possèdent pas à ce jour un algorithme efficace. Ceci a motivé les chercheurs à développer de nombreuses méthodes de résolution en recherche opérationnelle. Ces méthodes appartiennent à deux grandes familles : les méthodes exactes et les méthodes approchées.

Nous citons dans ce qui suit les principales méthodes exactes et approchées connues dans la littérature.

2.1.4.1 Les méthodes exactes

Les méthodes exactes pour résoudre les problèmes d'optimisation combinatoire visent à trouver la solution optimale en garantissant la faisabilité de la solution. Ces méthodes sont souvent basées sur une modélisation mathématique précise du problème d'optimisation.

Voici quelques-unes des méthodes exactes les plus courantes :

- Branch and bound : Le Branch and Bound est une technique qui effectue un parcours en profondeur de l'arbre de recherche afin de fournir une ou plusieurs solutions optimales à partir d'un ensemble de solutions potentielles. A chaque étape de la recherche, correspondant à un noeud de l'arbre de recherche, l'algorithme utilise une fonction Bound pour calculer une borne de l'ensemble des solutions du sous-arbre prenant sa racine à ce noeud. En début de résolution, cette borne est initialisée à une valeur maximale (en minimisation). Si cette évaluation est moins bonne que la meilleure solution trouvée jusqu'à ce niveau de recherche, tout le sous-arbre peut être coupé.

Il importe de souligner que l'efficacité de l'algorithme Branch and Bound dépend étroitement du calcul de la borne utilisée.

- **Programmation dynamique** : La programmation dynamique est une technique d'optimisation utilisée pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire. Elle consiste à diviser le problème en sous-problèmes plus simples, puis à résoudre chaque sous-problème de manière récursive. La programmation dynamique permet souvent de résoudre des problèmes polynomiaux.
- **Méthodes de coupes** : Ces méthodes consistent à ajouter des contraintes supplémentaires (appelées "coupes") aux modèles mathématiques pour éliminer les solutions non optimales. Ces méthodes peuvent être très efficaces pour les problèmes de grande taille, telles que la coupe de Gomory.

2.1.4.2 Les méthodes approchées

Les méthodes d'optimisation approchées, qu'elles soient heuristiques ou métaheuristiques, sont des techniques de résolution de problèmes qui permettent de trouver une solution acceptable plutôt que la solution optimale exacte. Elles sont souvent utilisées lorsque la recherche d'une solution optimale exacte est trop coûteuse en termes de temps de calcul ou de ressources, ou lorsque les contraintes du problème ne permettent pas de trouver une solution optimale. Ces méthodes peuvent être utilisées dans une variété de domaines, notamment dans la planification, la conception, la logistique, la finance et l'ingénierie.

Les heuristiques Les heuristiques sont des méthodes de résolution de problèmes relativement simples et directes qui utilisent une stratégie heuristique pour trouver une solution qui n'est peut-être pas la meilleure possible, mais qui est considérée comme acceptable pour le problème donné. Les heuristiques peuvent être efficaces pour résoudre des problèmes simples ou de petite taille, mais elles peuvent ne pas être suffisantes pour des problèmes plus complexes ou de grande taille.

Les heuristiques comprennent une variété de techniques telles que : L'algorithme du plus proche voisin, l'Algorithme glouton.

Il y a bien sûr beaucoup d'autres techniques heuristiques disponibles, et chaque technique peut être adaptée et modifiée pour répondre aux besoins spécifiques d'un problème d'optimisation donné.

Les métaheuristiques Les métaheuristiques sont des techniques d'optimisation qui permettent de résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire difficiles pour lesquels les méthodes exactes ne sont pas adaptées. Contrairement aux méthodes exactes qui garantissent une solution optimale, les métaheuristiques peuvent seulement fournir une solution proche de l'optimum global.

Les métaheuristiques sont des algorithmes de recherche heuristique de haut niveau, elles sont des algorithmes d'optimisation génériques et flexibles qui peuvent être appliqués à différents types de problèmes. elles sont basées sur des méthodes de recherche itérative et de perturbation de la solution, où une solution candidate est générée à chaque itération et évaluée en termes de qualité de la solution. Les métaheuristiques sont souvent combinées avec des techniques de recherche locale pour améliorer la qualité de la solution.

Les métaheuristiques comprennent une variété de techniques telles que : Les algorithmes génétiques (AG), les recuits simulés (SA), les algorithmes de recherche tabou (TS), Les algorithmes de colonie de fourmis (ACO).

Chaque technique a ses propres caractéristiques, avantages et inconvénients, et peut être mieux adaptée à certains types de problèmes d'optimisation combinatoire qu'à d'autres.

2.2 Optimisation multi-objectif

Les problèmes d'optimisation issus des problématiques réelles sont la plupart du temps de nature multi-objectif car plusieurs critères d'évaluation souvent contradictoires sont à considérer simultanément. Optimiser un tel problème relève donc de l'optimisation multi-objectif.

L'optimisation multi-objectif possède ses racines dans les travaux en économie. Elle a ainsi été initialement utilisée en économie et dans les sciences du management, puis graduellement dans les sciences pour l'ingénieur. Les références suivantes ont été utilisées dans la rédaction de cette section [22], [23], [24]

Définition 2.5. Un problème d'optimisation combinatoire multi-objectif

(*PMO*) (multi-objective combinatorial optimization problem) peut être défini par :

$$(PMO) \begin{cases} \text{Optimiser} & F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \\ \text{sous} & x \in D \end{cases}$$

où n est le nombre d'objectifs ($n \geq 2$), $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ est le vecteur représentant les variables de décision, D représente l'ensemble des solutions réalisables et chacune des fonctions $f_i(x)$ est à optimiser.

2.2.1 Notions de dominances et d'optimalité

Une solution réalisable $x^* \in D$ est Pareto optimale (ou efficace, ou encore non dominée) si et seulement s'il n'existe pas de solution $x \in D$ telle que x domine x^* .

Dominance Soient deux vecteurs critères F et F' . On dit que F domine F' dans le cas d'une minimisation d'objectifs, ssi $\forall i \in [1...n], f_i \leq f'_i$ et $\exists i \in [1...n]$ tel que $f_i < f'_i$.

Dominance forte Soient deux vecteurs critères F et F' . On dit que F domine fortement F' dans le cas d'une minimisation d'objectifs, ssi $\forall i \in [1...n], f_i < f'_i$.

Efficacité faible On dit d'une solution $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ est une solution faiblement efficace dans le cas d'une minimisation d'objectifs, ssi $\forall x' \in D, \forall i \in [1...n], f_i(x) \leq f_i(x')$ et $\exists i \in [1...n]$ tel que $f_i(x) < f_i(x')$.

Efficacité On dit d'une solution $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ est une solution efficace dans le cas d'une minimisation d'objectifs, ssi $\forall x' \in D, \forall i \in [1...n], f_i(x) \leq f_i(x')$.

Le front de Pareto est un concept de l'optimisation multi-objectif qui représente l'ensemble des solutions non-dominées (efficace) d'un problème d'optimisation multi-objectif. En d'autres termes, c'est l'ensemble des solutions qui ne peuvent pas être améliorées simultanément sur tous les objectifs.

2.2.2 Illustration des différentes définitions

- Le point idéal x^I est le point qui a comme valeur pour chaque objectif la valeur optimale de l'objectif considéré.

$$\forall i \in [1 \dots n], f_i(x^I) = \text{opt}_{x \in D} f_i(x)$$

- Le point anti-idéal $x^{\bar{I}}$ est le point qui a comme valeur pour chaque objectif la valeur plus défavorable de l'objectif considéré.

$$\forall i \in [1 \dots n], f_i(x^{\bar{I}}) = \overline{\text{opt}}_{x \in D} f_i(x)$$

dans le cas de minimisation (maximisation) on a $\overline{\text{opt}} = \max$ ($\overline{\text{opt}} = \min$) .

- Le point utopique De ce point idéal peut être défini le point utopique x^U de la façon suivante :

$$x^U = x^I - \epsilon U$$

où $\epsilon > 0$ et U est le vecteur unitaire ($U = (1, \dots, 1) \in \mathbb{R}^n$). Il est clair, de par sa définition, que ce point n'est pas réalisable.

- Le point Nadir qui est défini dans le cas de minimisation par :

$$Z^N = \left\{ \max_{x \in D_{eff}} Z_1(x), \max_{x \in D_{eff}} Z_2(x), \dots, \max_{x \in D_{eff}} Z_n(x) \right\} \in \mathbb{R}^n.$$

Où D_{eff} est l'ensemble des solutions efficaces.

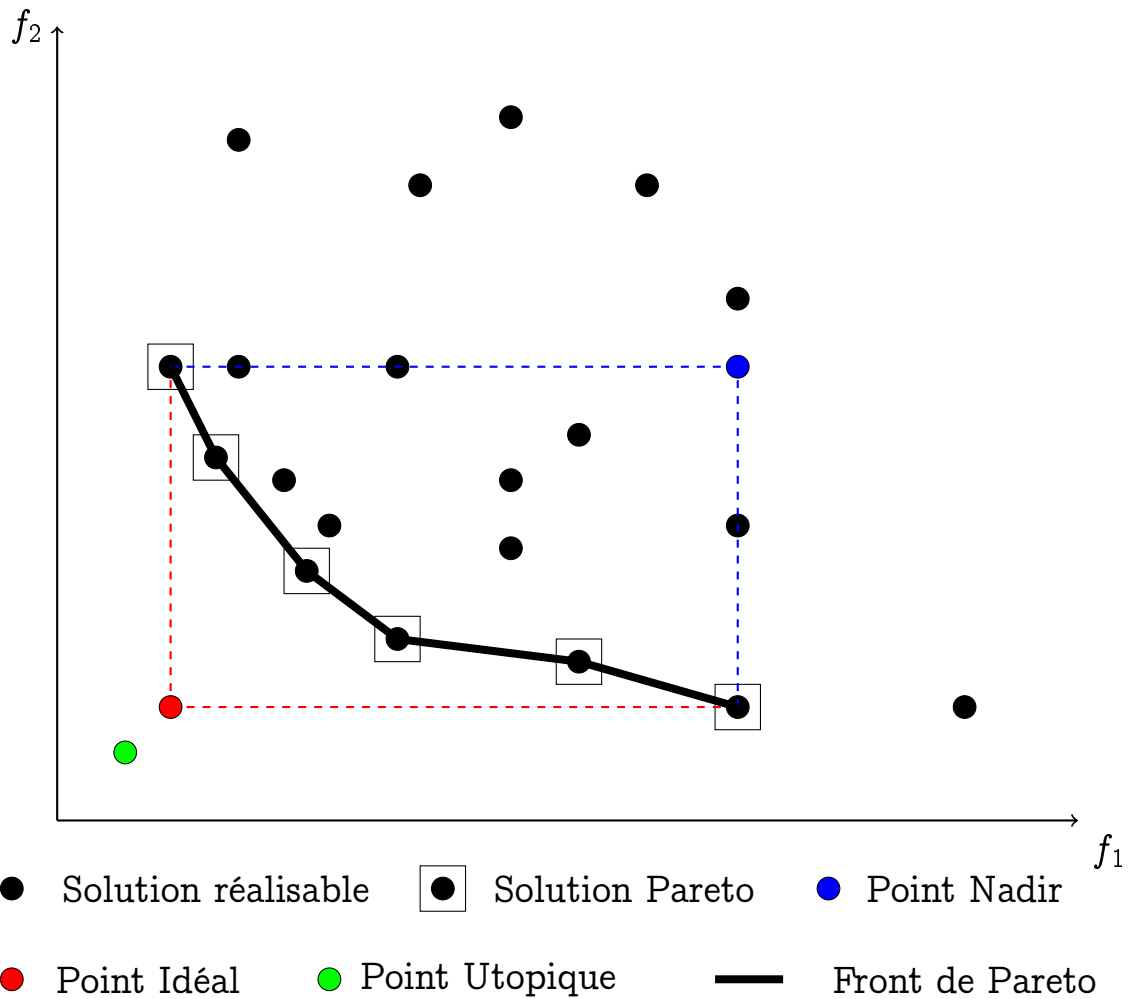


Figure 2.2 – Illustration des différentes définitions.

2.2.3 Détection Graphique DE L'Efficacité

En considérant que l'idée de dominance se réfère aux vecteurs de l'espace critère, l'idée de l'efficacité (l'efficacité) se réfère aux points de l'espace de décision. Un point $\bar{x} \in D$ est efficace si son vecteur critère n'est pas dominé par un vecteur critère d'un autre point de D c'est-à-dire, d'un point efficace, il n'est pas possible de se déplacer d'une façon réalisable afin d'augmenter un des objectifs sans diminuer au moins un des autres objectifs. Dans cet ordre d'idée, quelques concepts sont utilisés pour la détection graphique de l'efficacité tels que le cône et le cône polaire.

2.2.4 Optimisation combinatoire bi-objectifs

L'optimisation combinatoire bi-objectif est une sous-catégorie de l'optimisation multiobjectif qui se concentre sur les problèmes combinatoires comportant deux objectifs contradictoires à optimiser simultanément. Dans ce contexte, l'optimisation combinatoire bi-objectif partage la même définition que l'optimisation multiobjectif, mais se limite à des problèmes où le nombre d'objectifs (n) est égal à 2, et D est fini (dénombrable) avec une taille qui croît exponentiellement avec la taille de l'instance du problème.

2.2.4.1 Solutions supportées / non supportées

Sur le front Pareto, deux types de solutions peuvent être différenciées : les solutions supportées et les solutions non supportées. Les premières sont celles situées sur l'enveloppe convexe de l'ensemble des solutions et peuvent donc être trouvées à l'aide d'une agrégation linéaire des objectifs. Elles sont donc plus simples à obtenir que les solutions non supportées. D représente l'ensemble des solutions réalisables et l'image de D par la fonction objectif f_i forme l'espace des objectifs $Y \subseteq R^2$.

Définition Un point non dominé $y \in Y$ est dit supporté s'il est sur l'enveloppe convexe de Y .

Définition Un point non dominé $y \in Y$ est dit non supporté s'il est à l'intérieur de l'enveloppe convexe de Y .

Définition Un point non dominé supporté $y \in Y$ est dit extrême s'il est un point extrême de l'enveloppe convexe de Y .

Les points non dominés supportés qui ne sont pas des points extrêmes de l'enveloppe convexe de Y sont appelés non extrêmes.

2.2.5 Les méthodes de résolution des problèmes d'optimisation combinatoire bi-objectif

Pour la résolution des problèmes d'optimisation combinatoire bi-objectif, des méthodes exactes, ainsi que des heuristiques peuvent être

proposées. Sans avoir la prétention de présenter ici toutes les méthodes dédiées à l'optimisation combinatoire, en voici quelques-unes.

2.2.5.1 Méthodes exactes

Parmi les méthodes exactes couramment utilisées pour résoudre de tels problèmes on peut citer :

Méthode de D. Klein & E. Hannan :

La technique proposée par les auteurs peut être utilisée aussi bien pour identifier l'ensemble de toutes les solutions efficaces que pour en caractériser une partie seulement. Elle consiste à résoudre progressivement une séquence de programmes linéaires mono objectif en nombres entiers avec des contraintes ajoutées à chaque étape. Les contraintes supplémentaires éliminent les solutions efficaces déjà trouvées, et font en sorte que les nouvelles solutions générées soient efficaces.

Méthode ϵ -contrainte :

Le principe de la méthode ϵ -contrainte qui consiste, dans le cas bi-objectif à borner l'un des objectifs, (en général le plus difficile à résoudre) et à optimiser l'autre objectif (optimisation mono-objectif) en tenant compte de cette borne, est intéressant lorsque l'on cherche à énumérer toutes les solutions d'un front Pareto. En effet, en utilisant cette méthode itérativement, en repartant à chaque fois de la solution trouvée pour définir la borne suivante, il est possible en utilisant une méthode exacte mono-objectif de générer, pour des problèmes combinatoires, l'ensemble des solutions Pareto.

Il existe également d'autres méthodes populaires comme la méthode de deux phases, la méthode de goal programming et la recherche dichotomique. Ces méthodes offrent des approches différentes pour résoudre des problèmes d'optimisation multi-objectif en fonction de leurs caractéristiques et des objectifs recherchés.

2.2.5.2 Les méthodes approchées

Non-dominated Sorting Genetic Algorithm 2 (NSGA-2) Le NSGA-2 est un algorithme évolutif multi-objectif populaire pour la résolution de problèmes d'optimisation multi-objectif. Il a été proposé par Kalyanmoy Deb en 2002, comme une extension de l'algorithme NSGA précédent. Il

s'agit d'un algorithme génétique qui utilise la méthode de tri non dominé pour évaluer la qualité des solutions et les maintenir dans un ensemble de solutions non dominées appelé front de Pareto.

Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2 (SPEA-2) SPEA-2 est un algorithme d'optimisation multi-objectif évolutionnaire proposé en 2001. Il est basé sur l'idée de la domination de Pareto et utilise une méthode de pondération de la distance pour sélectionner les solutions les plus diverses dans l'espace de recherche.

Contrairement à NSGA-II qui utilise la domination de Pareto pour déterminer les solutions optimales, SPEA-2 utilise une approche basée sur la densité pour sélectionner les solutions optimales. Cela signifie que l'algorithme recherche les solutions qui ont une densité de population élevée dans l'espace de recherche.

Conclusion

Dans ce chapitre on a exploré divers aspects de l'optimisation combinatoire, en mettant l'accent sur la complexité des problèmes, les méthodes de résolution et l'optimisation multi-objectif. Nous avons vu que les problèmes d'optimisation combinatoire sont intrinsèquement difficiles, nécessitant souvent des approches heuristiques pour trouver des solutions dans des délais raisonnables. Les méthodes exactes offrent une garantie de solution optimale, mais peuvent être limitées par la taille du problème. L'optimisation multi-objectif ajoute une complexité supplémentaire en cherchant à optimiser simultanément plusieurs objectifs. De plus, nous avons abordé les problèmes de localisation, qui nécessitent de trouver les emplacements optimaux pour minimiser les coûts ou maximiser la couverture.

Chapitre 3

Modélisation et Résolution

Introduction

Dans le contexte de la recherche opérationnelle, la modélisation est la démarche de représentation abstraite d'un problème réel sous forme mathématique. C'est une étape fondamentale qui permet de traduire les aspects concrets du problème en un langage formel qui facilite son analyse et sa résolution.

Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur la modélisation détaillée du problème de localisation des points d'accès. Nous examinerons les différentes étapes de la modélisation, en mettant l'accent sur l'identification des variables, la formulation des contraintes et des objectifs, et la création d'un modèle mathématique représentatif. Par la suite, nous sélectionnerons une méthode appropriée de résolution, en prenant en compte les caractéristiques du problème et les contraintes de temps et de ressources. L'objectif de ce chapitre est de fournir une compréhension approfondie de la modélisation et de la résolution, en mettant en évidence leur importance pour la prise de décisions éclairées et la résolution efficace de problèmes complexes. En suivant une approche méthodique, nous serons en mesure de développer une solution optimale ou satisfaisante pour le problème spécifique étudié.

3.1 Position du problème

Le Problème de planification des points d'accès sans fil dans un environnement 2D, correspond à un problème de localisation dans un espace discret :

- L'objectif est de fournir une couverture maximale tout en minimisant le coût d'installation total.
- Les zones de demandes sont définies comme des polygones quelconques.
- Pour chaque zone de demande, les emplacements potentiels où les points d'accès sans fil peuvent être installés seront identifiés par des coordonnées dans le plan.
- Les points d'accès seront caractérisés par leur rayon de couverture.

3.1.1 Les zones de demandes

Les zones de demande sont les zones géographiques où une couverture de réseau sans fil est requise. Ces zones peuvent être considérées comme des formes géométriques, plus précisément des polygones, y compris des polygones non-convexes.

La zone de demande $z_i = [(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_l, y_l)]$, où $l \geq 3$ représente le nombre de coins pour chaque zone de demande.

3.1.2 Les emplacements potentiels

Les emplacements potentiels pour l'installation des AP sont définis par des coordonnées dans le plan. Chaque zone de demande a un ensemble d'emplacements potentiels qui sont obtenus automatiquement. Nous expliquerons cette procédure en détail dans la section suivante. Un emplacement potentiel $e_j = (x_j, y_j)$.

3.1.3 Les points d'accès

Les points d'accès sans fil sont caractérisés par leur rayon de couverture, qui détermine la zone géographique dans laquelle les utilisateurs peuvent se connecter au réseau. Le rayon d'un AP correspond à la distance maximale à partir de l'emplacement e_j où l'AP peut générer un signal sans fil de qualité suffisante. Cela peut être représenté par un cercle de couverture centré au niveau de l'emplacement e_j .

En utilisant la formule présentée dans la section 1.2.5.3, il est possible de calculer facilement le rayon de couverture de l'AP. Toutefois, il est nécessaire de prendre en compte si l'AP est de type indoor ou outdoor.

Remarque. Dans toute la suite du document on notera la zone de demande z_i par i , l'emplacement e_j par j et l'AP a_k par k .

3.2 La phase de prétraitement

La phase de prétraitement consiste à déterminer automatiquement les emplacements potentiels pour chaque zone de demande. Ensuite, on calcule la matrice de couverture du site, cette matrice permet de connaître le taux de couverture de chaque zone i générée par les AP aux différents emplacements j .

3.2.1 Procédure de génération automatique des emplacements potentiels

La procédure de génération permet de générer un ensemble d'emplacement en fonction des zones de demandes polygonale et les rayons des AP :

1. Déterminer le rayon le plus petit r_{min} parmi tous les rayons de couverture des AP existants. *Il est à noter que cette étape n'est pas obligatoire si on dispose déjà d'une valeur de rayon fixe pour tous les AP. Dans ce cas, on pourra directement utiliser cette valeur pour la recherche des emplacements potentiels.*
2. Calculer le pas de discrétisation horizontal et vertical (Pd_h et Pd_v) :
 - $Pd_h = \lfloor x_{max}/r_{min} \rfloor$,
 - $Pd_v = \lfloor y_{max}/r_{min} \rfloor$.Où x_{max} et y_{max} représentent respectivement la coordonnée horizontale(vertical)supérieure du polygone dans l'axe x (l'axe y).
3. Une grille de points est ensuite générée en utilisant deux boucles imbriquées pour parcourir chaque combinaison de coordonnées de point (x, y) dans la grille. Ensuite on vérifie si le point se trouve à l'intérieur du polygone. Si c'est le cas, le point (x, y) est ajouté à l'ensemble des emplacements potentiels.

3.2.2 La Matrice de Couverture

La matrice de couverture \mathcal{F} est un élément essentiel pour évaluer la qualité du réseau sans fil et garantir une couverture maximale pour les utilisateurs. Cette matrice permet d'évaluer la proportion de couverture de chaque zone de demande générée par les points d'accès (AP) aux différents emplacements.

Soit f_{ijk} un élément de \mathcal{F} , $f_{ijk} \in [0, 1]$:

$$f_{ijk} = \frac{\left(\begin{array}{l} \text{La surface d'intersection entre la zone de demande } i \text{ et} \\ \text{le rayonnement généré par l'AP } k \text{ installé à l'emplacement } j \end{array} \right)}{\left(\text{L'aire de l'ensemble des zones de demandes } i \right)}$$

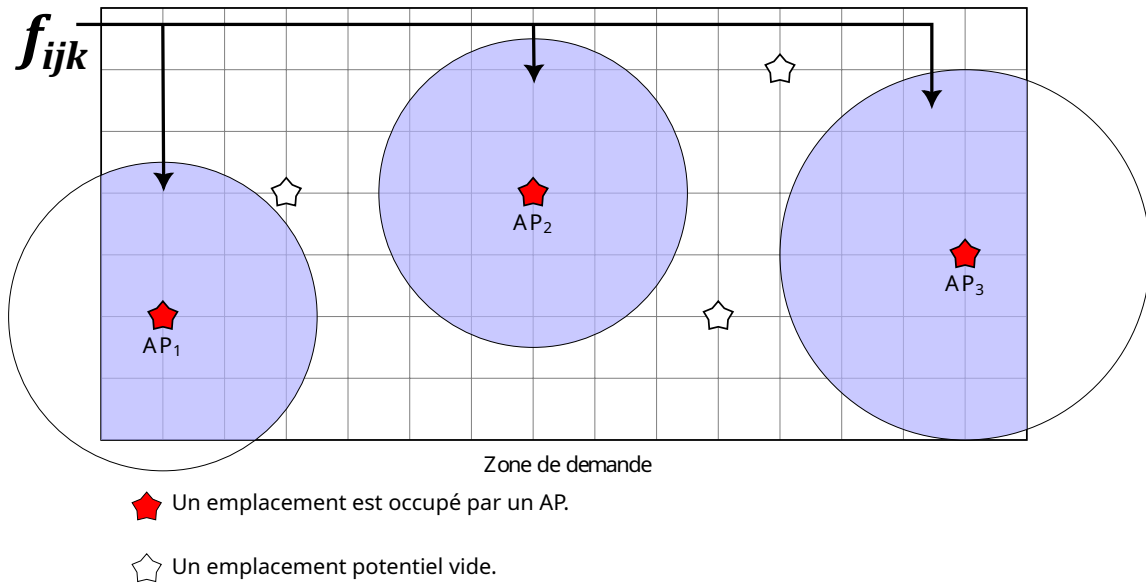


Figure 3.1 – Exemple de couverture d'une zone de demande i

3.3 Formalisation du Problème

3.3.1 Les Notations

Soient :

- I^{in}, I^{out} : L'ensemble des zones de demande intérieur respectivement extérieur qui nécessitent une couverture Wi-Fi.
 - $I^{in} = \{1, 2, \dots, n_1\}$, où n_1 le nombre des zones de demande intérieur.
 - $I^{out} = \{1, 2, \dots, n_2\}$, où n_2 le nombre des zones de demande extérieur.
- J^{in}, J^{out} : L'ensemble des emplacement potentiels où on peut installer des points d'accès indoor/outdoor.
 - $J^{in} = \{1, 2, \dots, m_1\}$, où m_1 est le nombre des emplacements candidats pour toutes les zones de demandes intérieures.
 - $J^{out} = \{1, 2, \dots, m_2\}$, où m_2 est le nombre des emplacements candidats pour toutes les zones de demandes extérieures.
- A^{in}, A^{out} : L'ensemble des points d'accès indoor respectivement outdoor.
 - $A^{in} = \{1, 2, \dots, p_1\}$, où p_1 représente le nombre des points d'accès indoor à utiliser.
 - $A^{out} = \{1, 2, \dots, p_2\}$, où p_2 représente le nombre des points d'accès outdoor à utiliser.
- C_k^{in} : Représente le coût d'installation du point d'accès indoor k ; $\forall k \in A^{in}$.
- C_k^{out} : Représente le coût d'installation du point d'accès outdoor k ; $\forall k \in A^{out}$.
- \mathcal{F}^{in} : La matrice de couverture associée aux zones intérieures.
- \mathcal{F}^{out} : La matrice de couverture associée aux zones extérieures.

3.3.2 Les variables de décisions

Les variables de décision du modèle ont été établies de la manière suivante :

- $X_{jk}^{in} = \begin{cases} 1 & \text{Si un point d'accès indoor type } k \text{ est installé à} \\ & \text{l'emplacement } j; \forall j \in \mathbf{J}^{in}, \forall k \in \mathbf{A}^{in}. \\ 0 & \text{Sinon.} \end{cases}$
- $Y_{ijk}^{in} = \begin{cases} 1 & \text{Si la zone de demande intérieure } i \text{ est couverte par le } k\text{-ième} \\ & \text{AP depuis l'emplacement } j; \forall i \in \mathbf{I}^{in}, \forall j \in \mathbf{J}^{in}, \forall k \in \mathbf{A}^{in}. \\ 0 & \text{Sinon.} \end{cases}$
- $X_{jk}^{out} = \begin{cases} 1 & \text{Si un point d'accès outdoor type } k \text{ est installé à} \\ & \text{l'emplacement } j; \forall j \in \mathbf{J}^{out}, \forall k \in \mathbf{A}^{out}. \\ 0 & \text{Sinon.} \end{cases}$
- $Y_{ijk}^{out} = \begin{cases} 1 & \text{Si la zone de demande extérieure } i \text{ est couverte par le } k\text{-ième} \\ & \text{AP depuis l'emplacement } j; \forall i \in \mathbf{I}^{out}, \forall j \in \mathbf{J}^{out}, \forall k \in \mathbf{A}^{out}. \\ 0 & \text{Sinon.} \end{cases}$

3.3.3 Les fonctions objectifs

Comme le problème est bi-objectif, il est impératif de définir deux fonctions objectifs car il y a deux critères à optimiser simultanément.

- Maximiser la couverture du site :

$$\max : \sum_i^{n_1} \sum_j^{m_1} \sum_k^{p_1} f_{ijk}^{in} Y_{ijk}^{in} + \sum_i^{n_2} \sum_j^{m_2} \sum_k^{p_2} f_{ijk}^{out} Y_{ijk}^{out}. \quad (3.1)$$

- Minimiser le coût total d'installation :

$$\min : \sum_k^{p_1} C_k^{in} \sum_j^{m_1} X_{jk}^{in} + \sum_k^{p_2} C_k^{out} \sum_j^{m_2} X_{jk}^{out} \quad (3.2)$$

3.3.4 Les contraintes

- Les contraintes (3.3) et (3.4) limitent les affectations des APs aux emplacements potentiels j uniquement aux emplacements déjà sélectionnés.

$$Y_{ijk}^{in} \leq X_{jk}^{in}; \forall i \in \mathbf{I}^{in}, \forall j \in \mathbf{J}^{in}, \forall k \in \mathbf{A}^{in}. \quad (3.3)$$

$$Y_{ijk}^{out} \leq X_{jk}^{out}; \forall i \in \mathbf{I}^{out}, \forall j \in \mathbf{J}^{out}, \forall k \in \mathbf{A}^{out}. \quad (3.4)$$

- Les contraintes (3.5) et (3.6) assurent que nous ne pouvons pas installer plus d'un AP sur un emplacement j .

$$\sum_k^{p_1} X_{jk}^{in} \leq 1, \forall j \in \mathbf{J}^{in}. \quad (3.5)$$

$$\sum_k^{p_2} X_{jk}^{out} \leq 1, \forall j \in \mathbf{J}^{out}. \quad (3.6)$$

- Les contraintes (3.7) et (3.8) spécifient que chaque zone de demande doit être couverte par au moins un point d'accès.

$$\sum_j^{m_1} \sum_k^{p_1} Y_{ijk}^{in} \geq 1, \forall i \in \mathbf{I}^{in}. \quad (3.7)$$

$$\sum_j^{m_2} \sum_k^{p_2} Y_{ijk}^{out} \geq 1, \forall i \in \mathbf{I}^{out}. \quad (3.8)$$

3.3.5 Le modèle mathématique

$$\begin{aligned}
 (PL) \left\{ \begin{array}{l}
 \max : \quad \sum_i^{n_1} \sum_j^{m_1} \sum_k^{p_1} f_{ijk}^{in} Y_{ijk}^{in} + \sum_i^{n_2} \sum_j^{m_2} \sum_k^{p_2} f_{ijk}^{out} Y_{ijk}^{out}; \\
 \min : \quad \sum_k^{p_1} C_k^{in} \sum_j^{m_1} X_{jk}^{in} + \sum_k^{p_2} C_k^{out} \sum_j^{m_2} X_{jk}^{out}; \\
 \\
 Y_{ijk}^{in} \leq X_{jk}^{in}; \quad \forall i \in \mathbf{I}^{in}, \forall j \in \mathbf{J}^{in}, \forall k \in \mathbf{A}^{in}; \\
 Y_{ijk}^{out} \leq X_{jk}^{out}; \quad \forall i \in \mathbf{I}^{out}, \forall j \in \mathbf{J}^{out}, \forall k \in \mathbf{A}^{out}; \\
 \\
 \sum_k^{p_1} X_{jk}^{in} \leq 1, \quad \forall j \in \mathbf{J}^{in}; \\
 \sum_k^{p_2} X_{jk}^{out} \leq 1, \quad \forall j \in \mathbf{J}^{out}; \\
 \\
 \sum_j^{m_1} \sum_k^{p_1} Y_{ijk}^{in} \geq 1, \quad \forall i \in \mathbf{I}^{in}; \\
 \sum_j^{m_2} \sum_k^{p_2} Y_{ijk}^{out} \geq 1, \quad \forall i \in \mathbf{I}^{out}; \\
 \\
 X_{jk}^{in} \in \{0, 1\}; \quad \forall j \in \mathbf{J}^{in}, \forall k \in \mathbf{A}^{in}; \\
 X_{jk}^{out} \in \{0, 1\}; \quad \forall j \in \mathbf{J}^{out}, \forall k \in \mathbf{A}^{out}; \\
 \\
 Y_{ijk}^{in} \in \{0, 1\}; \quad \forall i \in \mathbf{I}^{in}, \forall j \in \mathbf{J}^{in}, \forall k \in \mathbf{A}^{in}; \\
 Y_{ijk}^{out} \in \{0, 1\}; \quad \forall i \in \mathbf{I}^{out}, \forall j \in \mathbf{J}^{out}, \forall k \in \mathbf{A}^{out}.
 \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

3.3.6 Validation du modèle

Le modèle mathématique a été rigoureusement validé en utilisant CPLEX, démontrant ainsi sa faisabilité et son adéquation aux exigences de notre étude. Pour mettre en œuvre notre modèle sur CPLEX, nous avons effectué une agrégation pondérée des fonctions objectif, car CPLEX ne prend pas en charge l'optimisation multi-objectif. Cette approche nous a permis de tester la faisabilité du modèle sans chercher à trouver l'ensemble de solutions de Pareto. Les résultats obtenus indiquent que le modèle est réalisable.

3.4 Evaluation du Modèle

La modélisation du problème nous a fourni un programme mathématique linéaire à variables bivalentes.

3.4.1 Nombre de variables

Pour un problème de $(n_1 + n_2)$ zones de demandes, $(m_1 + m_2)$ emplacements potentiels et $(p_1 + p_2)$ points d'accès on a :

- Pour les $(X_{jk}^{in}$ et $X_{jk}^{out})$ on a donc $[(m_1 \times p_1) + (m_2 \times p_2)]$ variables.
- On a $[(n_1 \times m_1 \times p_1) + (n_2 \times m_2 \times p_2)]$ variables pour les $(Y_{ijk}^{in}$ et $Y_{ijk}^{out})$.

3.4.2 Nombre de contraintes

- Pour les contraintes (3.3) et (3.4) on a $(n_1 \times m_1 \times p_1) + (n_2 \times m_2 \times p_2)$ contraintes ;
- Pour les contraintes (3.5) et (3.6) on a $(m_1 + m_2)$ contraintes ;
- Pour les contraintes (3.7) et (3.8) on a $(n_1 + n_2)$ contraintes ;
- Donc le nombre total des contraintes du problème est $(n_1 + n_2) + m_1(n_1 \times p_1 + 1) + m_2(n_2 \times p_2 + 1)$.

3.5 Approche de résolution

La résolution de problèmes combinatoire de grande taille avec des méthodes exactes est difficile et chronophage, nécessitant des ressources computationnelles considérables et entraînant un temps d'exécution prohibitif ainsi qu'une utilisation excessive de la mémoire. Par conséquent, les méthodes approchées offrent une solution réaliste et efficace en cherchant à obtenir des solutions de qualité acceptable dans des délais raisonnables, même si elles ne garantissent pas l'optimalité globale.

Après une modeste recherche sur les méthodes utilisées dans la résolution de ce type de problème, notre choix s'est porté sur l'utilisation de NSGA-II en tant qu'algorithme de résolution pour notre problème, en nous appuyant sur des publications scientifiques récentes préexistantes qui ont abordé ces problématiques [1, 25, 26].

Nous allons procéder à une adaptation de cette méthode afin de mieux répondre aux spécificités de notre problème, en prenant en compte ses contraintes et objectifs particuliers.

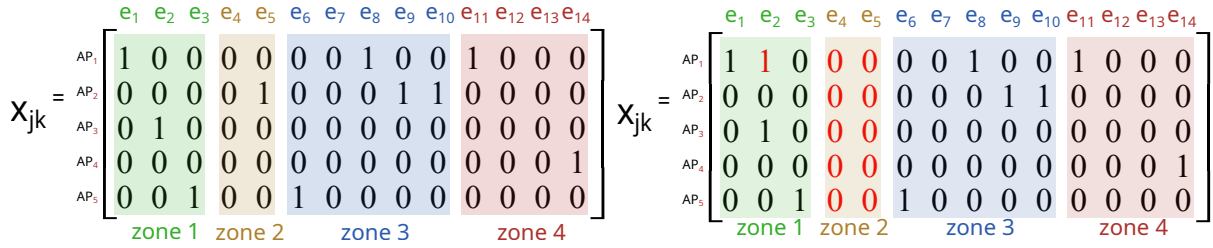
3.5.1 La méthode NSGA-II

NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) est un algorithme évolutionnaire multi-objectif basée sur une approche de tri non dominé qui a été introduit par Deb et al. (2002) [27]. NSGA-II a la capacité à gérer à la fois la diversité et la non-dominance des solutions. En utilisant un processus de tri non-dominé, l'algorithme classe les solutions en fonction de leur domination les unes par rapport aux autres, ce qui permet de générer un ensemble diversifié de solutions non dominées. Cette caractéristique essentielle de NSGA-II permet de fournir un ensemble de solutions qui couvre de manière complète et équilibrée l'espace des objectifs, permettant ainsi une prise de décision éclairée en fonction des préférences du décideur. Les étapes essentielles de NSGA-II comprennent :

3.5.1.1 Le Codage

Pour représenter les individus, on peut utiliser une matrice 2D comme forme de codage dans laquelle chaque individu est représenté par un chromosome. La taille de la matrice serait déterminée par le nombre total d'emplacements possibles multiplié par le nombre d'AP disponibles, où chaque élément de la matrice serait soit 0 ou 1, indiquant respectivement l'absence ou la présence d'un AP à un emplacement donné.

Pour garantir la faisabilité d'une solution, deux contraintes doivent être respectées. Premièrement, la somme des AP attribués à un emplacement ne doit pas dépasser 1, ce qui signifie qu'un emplacement ne peut pas accueillir plus d'un AP. Deuxièmement, pour chaque zone de demande, au moins un AP doit être installé.



(a) Chromosome représentant une solution réalisable (b) Chromosome représentant une solution non réalisable

Figure 3.2 – Représentation chromosomique de l'affectation de 5 points d'accès à 14 emplacements potentiels pour 4 zones de demande

3.5.1.2 La Génération de la population initiale

La population initiale est constituée d'un ensemble prédéfini de chromosomes générés de manière aléatoire, chaque chromosome codant une solution potentielle au problème.

Cette population initiale est créée à l'aide de l'algorithme de génération initialement utilisé dans [1] et adapté à notre problématique.

Algorithm 1 Pseudo-algorithme de Génération de la population initiale

Require: m : nombre d'emplacements

Require: p : nombre d'AP à utiliser

Require: T : taille de la population

Ensure: population initiale

1: $population_initiale \leftarrow []$

2: Booléenne X_{jk} : pour tout $1 \leq j \leq m$, pour tout $1 \leq k \leq p$

3: for $i = 1$ to T do

4: for $j = 1$ to m do

5: $k \leftarrow \text{RandInt}(1, p)$

6: $X_{jk} \leftarrow \text{RandInt}(0, 1)$

7: end for

8: $population_initiale \leftarrow population_initiale \cup \{X_{jk}\}$

9: end for

10: return $population_initiale$

3.5.1.3 Evaluation

L'évaluation des individus en vue des objectifs de maximisation de la couverture maximale et de minimisation des coûts repose sur des informations préalablement calculées. Pour l'objectif de maximisation de la couverture maximale, nous utilisons la matrice de couverture obtenue durant la phase de prétraitement. L'évaluation consiste à compter les proportions des zones de demande couvertes par les points d'accès attribués à un individu donné. En ce qui concerne l'objectif de minimisation des coûts, nous utilisons les vecteurs de coûts associés à chaque point d'accès, l'évaluation consiste à accumuler les coûts correspondants aux points d'accès attribués à un individu, dans le but de minimiser cette somme. En combinant ces deux évaluations, nous sommes en mesure de mesurer la qualité de chaque individu dans la population en termes de couverture maximale et de coûts, ce qui permettra à l'algorithme NSGA-II d'identifier et d'évoluer les solutions optimales et non-dominées lors des étapes ultérieures de l'approche.

3.5.1.4 Tri rapide non-dominé (A fast non-dominated sorting approach)

Pour trier une population de taille N en fonction du niveau de non-domination, chaque solution doit être comparée avec chaque autre solution de la population pour déterminer si elle est dominée. Cela nécessite des comparaisons $O(MN)$ pour chaque solution, où M est le nombre d'objectifs, lorsque ce processus est répété pour trouver les membres de chaque frontière non dominée, la complexité totale devient $O(MN^2)$. Cela implique qu'il y a au maximum MN^2 opérations nécessaires pour trier la population en fonction de la non-domination. [27]. Cette approche est utilisée pour classer une population selon le niveau de non-domination. L'approche de tri rapide donne en sortie une série de frontières $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$, où chaque frontière représente un niveau de dominance croissant. La frontière F_1 est formée par les solutions non dominées, c'est-à-dire les solutions qui ne sont pas dominées par les autres solutions de la population.

Ensuite, pour identifier la deuxième frontière, F_2 , on exclut temporairement les solutions déjà présentes dans la frontière F_1 . Cela signifie que les solutions de F_1 ne sont pas prises en compte lors de la comparaison de

domination pour la frontière F_2 . Les solutions de F_2 seront donc dominées par certaines solutions de F_1 , mais elles ne seront pas dominées par les autres solutions de la population. En continuant le processus, les frontières suivantes F_3, F_4, \dots, F_n excluant les solutions déjà présentes dans les frontières précédentes. Ainsi, chaque frontière contient des solutions de plus en plus dominées par les autres membres de la population.

La sortie finale de l'algorithme de tri rapide est donc une séparation des solutions en différentes frontières, permettant de distinguer les solutions dominantes des solutions moins préférables en termes de non-domination.

3.5.1.5 La distance de regroupement (La distance de crowding)

Lorsque deux solutions se trouvent dans la même frontière, la distance de regroupement (crowding distance) est utilisée pour évaluer leur diversité. La distance de regroupement mesure la densité des solutions environnantes et est utilisée comme critère pour favoriser la diversité entre les solutions au sein de la même frontière.

Plus précisément, la distance de regroupement est calculée en prenant en compte les distances entre une solution donnée et ses voisines les plus proches dans chaque direction objective. Une plus grande distance de regroupement indique que la solution est plus éloignée des autres solutions de la frontière et est considérée comme étant plus diverse. En conséquence, cette solution se voit attribuer une priorité plus élevée dans le processus de sélection.

3.5.1.6 Sélection

Dans la phase de sélection, l'objectif est de choisir une paire de chromosomes de la population pour les soumettre aux opérations de croisement et de mutation. Cependant, dans le contexte de l'optimisation multi-objectif, la sélection ne se limite pas seulement à la valeur de fitness des chromosomes. Deux critères clés, à savoir le niveau de domination et la distance de regroupement, sont pris en compte pour guider ce processus.

- Les individus avec le niveau de domination le plus petit auront la priorité plus élevée.

- Les individus ont le même niveau de dominance, ceux qui exhibent une distance de regroupement supérieure sont attribués une priorité accrue.

En combinant le niveau de domination et la distance de foule, le processus de sélection vise à maintenir un ensemble diversifié de solutions non dominées qui couvrent l'ensemble du front de Pareto. Cela permet de préserver le compromis entre les multiples objectifs du problème et garantit un ensemble de solutions bien réparties, offrant ainsi des options de choix aux décideurs.

3.5.1.7 Croisement et Mutation

L'opérateur de croisement est appliqué individuellement entre deux parents sélectionnés parmi les meilleurs individus de la population. Dans cet algorithme, une technique de croisement est utilisée en séparant les chromosomes en fonction de zones de demandes spécifiques.

La séparation des chromosomes se fait en divisant l'ensemble des zones de demandes en deux sous-ensembles. Chaque sous-ensemble représente une partie du chromosome et contient un ensemble de zones de demandes spécifiques. Cette division est effectuée de manière équilibrée afin de garantir une répartition équitable des zones entre les parties du chromosome.

En séparant les zones de demandes de cette manière, on permet aux individus de porter des informations génétiques provenant de différents sous-ensembles de zones. Cela favorise la diversité génétique et permet d'explorer plus efficacement l'espace des solutions. En combinant ensuite les parties des chromosomes des parents, on crée de nouvelles progénitures qui héritent des caractéristiques génétiques des deux parents.

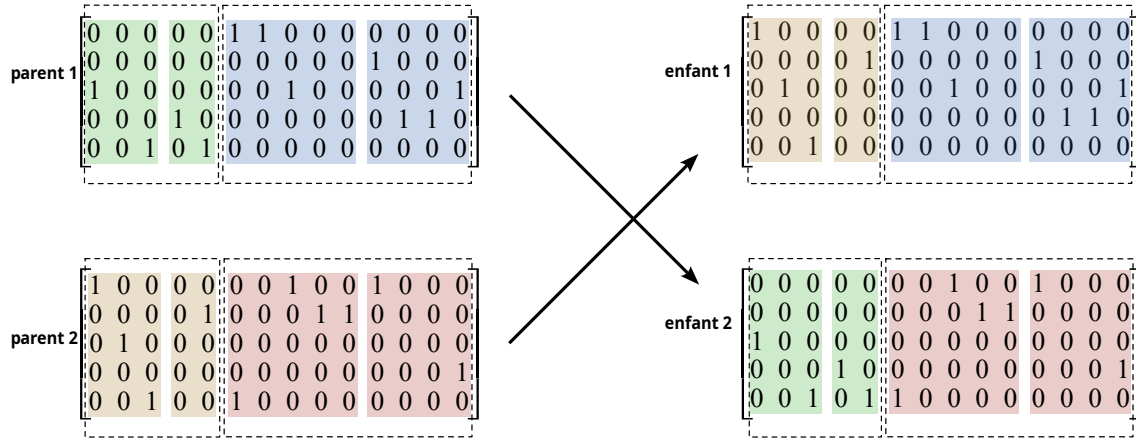


Figure 3.3 – L'opération du croisement

La mutation est une opération génétique qui vise à introduire une variation aléatoire dans les chromosomes d'une population. Dans cette approche spécifique, la mutation est réalisée en choisissant aléatoirement un indice d'emplacement potentiel dans le chromosome, puis en inversant la valeur de ce bit.

Il est important de noter que lors de la mutation, les contraintes du problème doivent être respectées. Cela signifie que la modification apportée par la mutation doit être compatible avec les contraintes spécifiques du problème en cours de résolution. Ainsi, la mutation aléatoire permet d'introduire une exploration supplémentaire dans l'espace des solutions, tout en veillant à ne pas générer de solutions non réalisables ou non conformes aux contraintes.

$$x^1_{jk} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$x^2_{jk} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Figure 3.4 – L'opération de la mutation

3.5.1.8 Critère d'arrêt

Le critère d'arrêt est une composante essentielle de l'algorithme NSGA-II . Il détermine les conditions qui permettent à l'algorithme de terminer son exécution et de fournir une solution approchée au problème d'optimisation multi-objectif de qualité et en temps raisonnable.

L'algorithme doit s'arrêter lorsque les solutions obtenues sont suffisamment bonnes et que la recherche supplémentaire ne permettra pas d'améliorer de manière significative la qualité de ces solutions.

Le critère d'arrêt est basé sur le nombre d'itérations, où l'algorithme est exécuté pour différents nombres d'itérations afin d'observer la convergence des solutions sur les fronts de Pareto obtenus. La convergence est atteinte lorsque les nouvelles solutions générées ne fournissent pas d'amé-

liorations significatives par rapport aux solutions déjà présentes sur les fronts.

Pour déterminer le nombre d'itérations nécessaire à la convergence, en augmentant progressivement le nombre d'itérations à chaque exécution tout en mesurant l'écart entre les solutions des fronts obtenus à chaque itération. Lorsque cet écart devient négligeable, cela indique que les solutions ont convergé et que l'algorithme peut être arrêté.

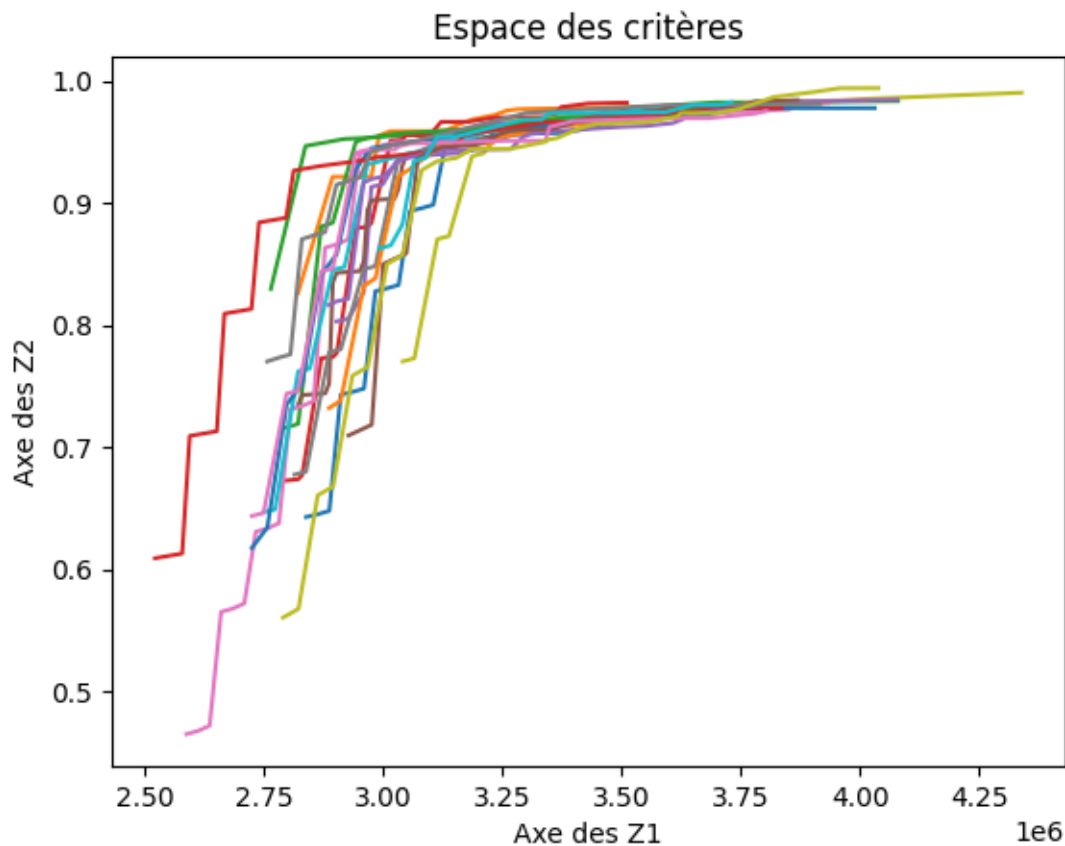


Figure 3.5 – Convergence des fronts paréto

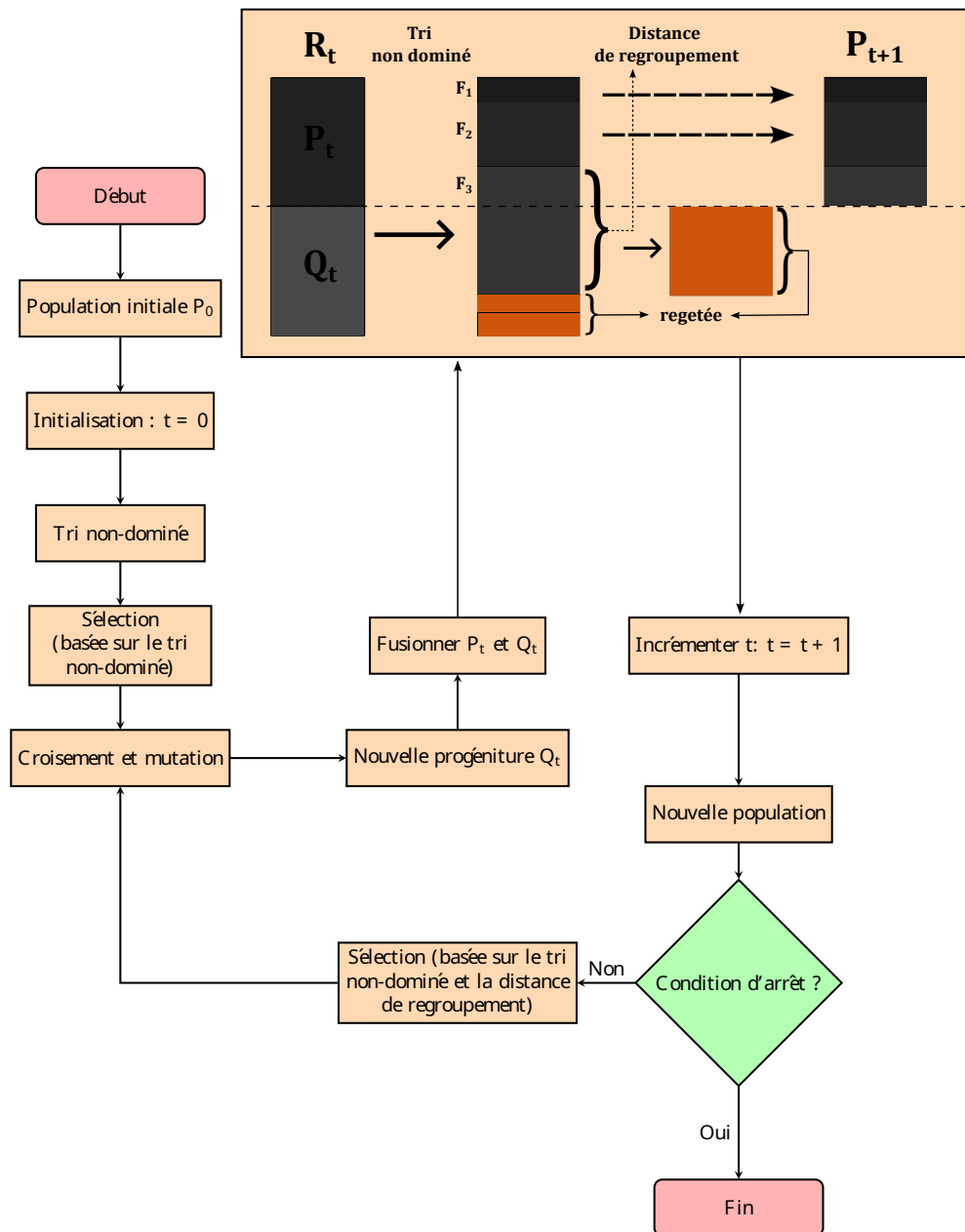


Figure 3.6 – Organigramme de la NSGA-II [1]

Conclusion

Pour résumer, dans ce chapitre, nous avons examiné en détail le processus de modélisation. Nous avons exploré les différentes étapes impliquées et sélectionné une méthode appropriée de résolution pour notre problème de localisation

Ce chapitre introduit les bases nécessaires pour aborder une implémentation dans le chapitre suivant. En adaptant notre modèle mathématique et la méthode de résolution à notre problème, nous serons en mesure de donner des solutions et de les mettre en œuvre avec succès dans des situations réelles.

Chapitre 4

L'Implémentation

Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons choisi une approche qui répond le mieux à nos besoins et qui offre des avantages significatifs. Dans ce chapitre, nous allons passer à la mise en œuvre de la méthode choisie en utilisant le langage de programmation Python.

Une caractéristique essentielle de notre implémentation sera l'utilisation d'une interface graphique pour faciliter l'interaction avec notre solution. Cette interface utilisateur conviviale permettra aux utilisateurs de communiquer avec le système d'une manière intuitive, en fournissant les informations nécessaires et en obtenant les résultats souhaités. L'interface graphique offrira une expérience utilisateur améliorée, en évitant la nécessité de manipuler directement le code et en rendant l'ensemble du processus plus convivial et accessible.

Dans ce chapitre, nous présenterons en détail le fonctionnement de notre interface graphique et comment elle peut être utilisée de manière optimale. Nous expliquerons les différentes fonctionnalités disponibles, telles que la saisie des paramètres, la visualisation des données et les options de personnalisation. Nous discuterons également des bonnes pratiques d'utilisation de l'interface graphique et fournirons des exemples concrets pour illustrer son utilisation dans différents scénarios.

Enfin, nous présenterons les résultats obtenus grâce à notre implémentation dans différents scénarios d'utilisation. Nous analyserons les performances de notre méthode dans divers contextes, en mettant en évidence ses points forts et ses éventuelles limites. Ces résultats nous permettront d'évaluer l'efficacité de notre approche et d'apporter d'éventuelles amé-

liorations ou ajustements pour optimiser davantage notre solution.

4.1 Présentation langage Python

Python est un langage de programmation haut niveau créé par Guido van Rossum en 1990. Sa conception a été motivée par la nécessité d'un langage de script facile à lire et à écrire, permettant une programmation plus efficace et agréable. Depuis lors, Python a connu une adoption massive dans le monde académique et industriel en raison de ses caractéristiques remarquables. Tout d'abord, Python est un langage multiplateforme, ce qui signifie qu'il peut être utilisé sur différents systèmes d'exploitation tels que Windows, macOS et Linux, offrant ainsi une flexibilité aux développeurs. De plus, Python se distingue par sa syntaxe fonctionnelle, qui encourage un style de programmation clair et concis, facilitant la lecture et la compréhension du code. Un autre avantage majeur de Python réside dans sa licence libre, ce qui signifie que les utilisateurs peuvent l'utiliser, le distribuer et le modifier sans restrictions, favorisant ainsi la collaboration et l'innovation. En outre, Python est un langage orienté objet, ce qui permet d'organiser le code en modules et en classes, favorisant la réutilisation du code et la structuration logique des programmes. Enfin, la version la plus récente de Python, la 3.11.3, sortie le 5 avril 2023, témoigne de l'engagement continu de la communauté Python à améliorer et à étendre le langage. Avec une communauté active de développeurs, une bibliothèque standard riche et des packages tiers abondants, Python est devenu un choix privilégié pour la recherche académique, l'enseignement et le développement de logiciels dans divers domaines. [28] [29]

4.2 Les Package

Les packages sont des bibliothèques de code préexistantes qui étendent les fonctionnalités de base du langage. Ils regroupent des modules et des classes spécifiques qui permettent d'accomplir des tâches spécifiques de manière efficace.

Dans le cadre de notre projet, nous avons utilisé les packages Python suivants :

4.2.1 NumPy

NumPy est l'un des packages Python les plus utilisés pour le calcul numérique et la manipulation de tableaux multidimensionnels. Il fournit des structures de données de tableau puissantes, ainsi qu'une vaste collection de fonctions mathématiques pour effectuer des opérations élémentaires et avancées sur les données.

Nous avons fait appel à NumPy pour réaliser des opérations numériques et pour manipuler des tableaux multidimensionnels. Nous avons utilisé les fonctionnalités de NumPy pour effectuer des opérations telles que la fusion de matrices, la transposition de matrices et le calcul de la somme des éléments. [30]

4.2.2 Shapely

Shapely est un package Python largement utilisé pour l'analyse de la théorie des ensembles et la manipulation d'entités géométriques dans un plan. Il offre des fonctionnalités avancées pour créer, représenter et manipuler des objets géométriques tels que des points, des lignes, des polygones, etc. Dans notre problème, nous avons utilisé Shapely pour calculer les surfaces de couverture des points d'accès (AP) et les surfaces des blocs en exploitant ses fonctionnalités pour mesurer et analyser les entités planaires. Cela nous a permis de calculer la matrice de couverture, qui nous a fourni des informations précieuses sur les taux de couverture pour chaque zone par les points d'accès. [31]

4.2.3 Matplotlib

Matplotlib est une bibliothèque Python largement utilisée pour la visualisation de données et la création de graphiques. Dans notre projet, nous avons intégré Matplotlib dans notre implémentation en Python pour représenter et visualiser l'ensemble des zones de demande, permettant ainsi une meilleure compréhension spatiale des données. L'utilisation de Matplotlib nous a permis de présenter visuellement les données et les solutions d'une manière accessible et significative. [32]

4.3 Les Résultats

Avant d'analyser les résultats présentés dans le tableau 4.1, il est essentiel de comprendre le contexte des différents scénarios évalués. Les scénarios se basent sur deux facteurs clés : la puissance du signal reçu (RSSI) et la fréquence.

Le RSSI est un indicateur de la force du signal radio reçu, mesuré en décibels (dBm). Plus le niveau de RSSI est élevé, plus le signal est fort et la connectivité est susceptible d'être meilleure. Dans notre évaluation, nous avons utilisé les valeurs de -70 dBm et -65 dBm pour représenter des niveaux de connectivité. Par exemple, le niveau de -65 dBm peut être associé à des environnements typiques tels que les espaces communs où une connectivité de bonne qualité est généralement attendue. En revanche, le niveau de -70 dBm peut correspondre à des environnements plus simples où la connectivité peut être légèrement moins optimale, la section 1.2.5.3.

En ce qui concerne la fréquence, nous avons choisi d'évaluer deux options courantes : 2,4 GHz et 5 GHz. Ces fréquences sont largement utilisées pour la transmission du signal sans fil. Les points d'accès (AP) sélectionnés dans notre étude prennent en charge ces deux fréquences, ce qui en fait des choix appropriés pour nos scénarios, la section 1.3.

Le critère d'arrêt repose sur le nombre d'itérations de l'algorithme. La convergence des solutions sur les fronts de Pareto est observée, où de nouvelles solutions n'apportant pas d'améliorations significatives mettent fin au processus. Cela permet d'atteindre un équilibre satisfaisant entre les solutions sur les différents fronts, la section 3.5.1.8.

Tableau 4.1 – Comparaison des performances selon le RSSI et la fréquence

RSSI	-70 dBm		-65 dBm	
	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	5 GHz
Couverture Moyenne	0.9041	0.9969	0.8591	1
Coût Moyen	1964262.87	15514250.71	3003018.53	38813049
Temps d'exécution	41.0 s	643.8 s	121.1 s	1452.6 s
Nombre d'itération	90	50	50	30

4.3.1 Interprétation des résultats

En examinant les mesures de couverture moyenne, il est évident que le choix de la fréquence de 2.4 GHz présente des avantages significatifs en termes de coûts par rapport à la fréquence de 5 GHz. Malgré une légère diminution de la couverture moyenne, le scénario associé à un RSSI de -65 dBm et une fréquence de 2.4 GHz offre une solution plus économiquement avantageuse.

Le scénario à -65 dBm présente une bonne connectivité avec une couverture moyenne de 0.8591, tandis que le scénario à -70 dBm a une couverture moyenne de 0.9041, suggérant une connectivité moins fiable. Une connectivité inférieure peut entraîner des déconnexions fréquentes et une expérience utilisateur médiocre. Il est donc préférable de choisir le scénario à -65 dBm pour une meilleure qualité de connexion, même si le scénario à -70 dBm offre une couverture légèrement supérieure. En se concentrant sur la qualité de la connexion, le choix du scénario à -65 dBm assure une connectivité plus fiable et une meilleure satisfaction des utilisateurs.

En tenant compte de ces facteurs, il est justifiable de choisir le scénario à un RSSI de -65 dBm et une fréquence de 2.4 GHz comme étant le meilleur choix. Bien qu'il présente une couverture légèrement inférieure à celle du scénario à 5 GHz, il offre des avantages significatifs en termes de coûts réduits et de temps d'exécution plus courts. Ce choix permet donc d'atteindre un équilibre entre la performance et l'efficacité économique.

Remarque

Dans les réseaux sans fil, les interférences peuvent se produire lorsque les rayonnements de différents points d'accès se croisent. Pour éviter ces problèmes, il est crucial de configurer les points d'accès de manière à utiliser des canaux différents. Les canaux sont des fréquences spécifiques utilisées pour la communication sans fil, et il est important de choisir des canaux suffisamment éloignés pour éviter les interférences. En utilisant des canaux non adjacents lors de la configuration des points d'accès, les rayonnements ne se chevaucheront pas, ce qui réduira les interférences et améliorera les performances globales du réseau.

4.4 Mode d'utilisation d'interface graphique

Dans cette section, nous allons présenter en détail l'interface graphique que nous avons développée pour notre application, en utilisant les langages de programmation Python, avec les frameworks PySide et PyQt5. Nous avons également utilisé la base de données MySQL pour stocker et gérer les données. Les frameworks PySide et PyQt5 sont des bibliothèques qui fournissent des outils et des fonctionnalités pour développer des interfaces graphiques en utilisant le langage de programmation Python.

Nous aborderons les fonctionnalités clés de cette application, mettant en évidence les principales fonctionnalités et les avantages qu'elle offre aux utilisateurs. Nous fournirons un guide détaillé sur la manière d'utiliser l'interface graphique, en expliquant les différentes étapes et les actions disponibles pour accomplir certaines tâches. De plus, nous aborderons également la gestion des erreurs, en mettant l'accent sur les problèmes courants que les utilisateurs peuvent rencontrer lors de l'utilisation de l'application et les mesures prises pour les résoudre. Nous fournirons des solutions et des conseils pour surmonter ces problèmes, afin de garantir une expérience utilisateur fluide et sans soucis.

4.4.1 Introduction à l'Interface Graphique

4.4.1.1 La fenêtre d'accueil

Lorsque vous ouvrez notre application, vous êtes accueilli par une page d'accueil soigneusement conçue qui reflète parfaitement son identité. Sur cette page d'accueil, vous trouverez trois logos importants : le logo de notre application, le logo de l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene et le logo de Sonatrach. En plus des logos, la page d'accueil propose également un ComboBox, un élément interactif qui vous permet de choisir le type de travail que vous souhaitez effectuer. Ce ComboBox offre différentes options pour répondre à vos besoins spécifiques.

Vous pouvez créer un nouveau projet en sélectionnant cette option dans le ComboBox. Cela vous guidera à travers les étapes nécessaires pour démarrer un nouveau projet, vous offrant ainsi une interface conviviale et intuitive. Si vous préférez explorer les fonctionnalités de l'application

sans vous engager dans un nouveau projet, vous pouvez choisir l'option "Essayer". Cela vous permettra de découvrir les fonctionnalités principales de l'application dans un environnement sécurisé. Si vous avez déjà un projet existant et que vous souhaitez y accéder, l'option "Ouvrir un projet existant" du ComboBox est là pour vous. Cette fonctionnalité vous permettra de rechercher et de sélectionner le projet spécifique que vous souhaitez ouvrir, en vous offrant une expérience de navigation fluide. Enfin, si vous souhaitez supprimer un projet, l'option correspondante dans le ComboBox vous permettra de sélectionner le projet à supprimer. Cette fonctionnalité garantit une gestion simple et efficace de vos projets, vous permettant de garder votre espace de travail bien organisé.

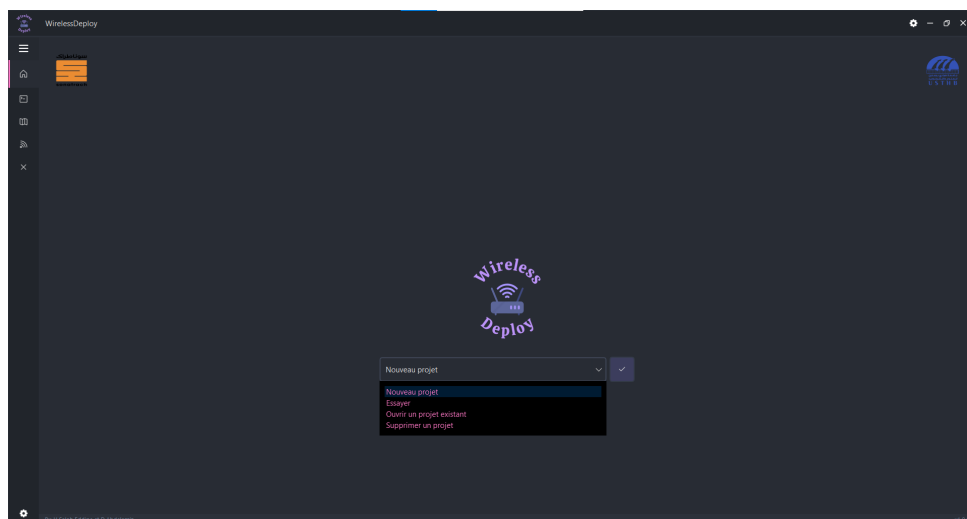


Figure 4.1 – La fenêtre d'accueil

En résumé, l'interface graphique de notre application offre une expérience utilisateur attrayante et facile à utiliser. La page d'accueil avec ses logos distinctifs crée une première impression positive, tandis que le ComboBox vous permet de choisir parmi différentes options pour répondre à vos besoins spécifiques. Que vous souhaitiez créer, essayer, ouvrir ou supprimer un projet, cette interface intuitive facilite la réalisation de vos tâches et vous permet de tirer le meilleur parti de notre application.

4.4.2 Exploration des Fonctionnalités : Un Aperçu Pratique de Chaque Choix

4.4.2.1 Nouveau un Projet

Un espace de travail personnalisé. Lorsque vous choisissez cette option, la fenêtre de l'espace de travail s'ouvre, offrant un environnement dédié pour la création d'un nouveau projet.

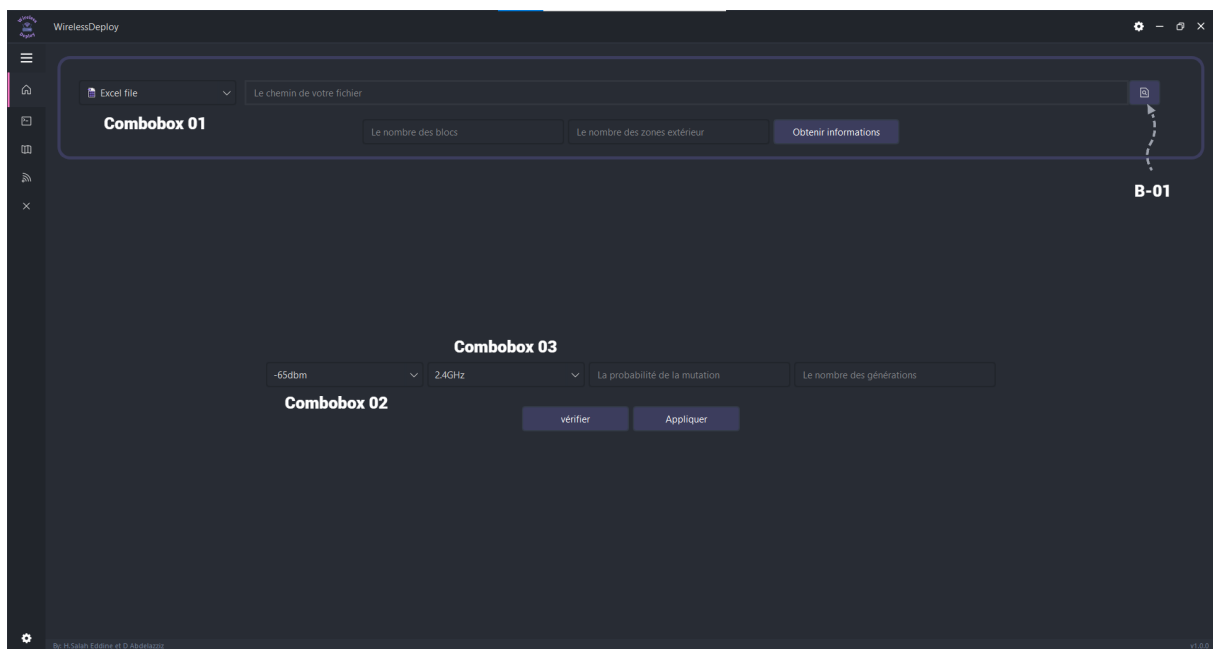


Figure 4.2 – L'espace de travail

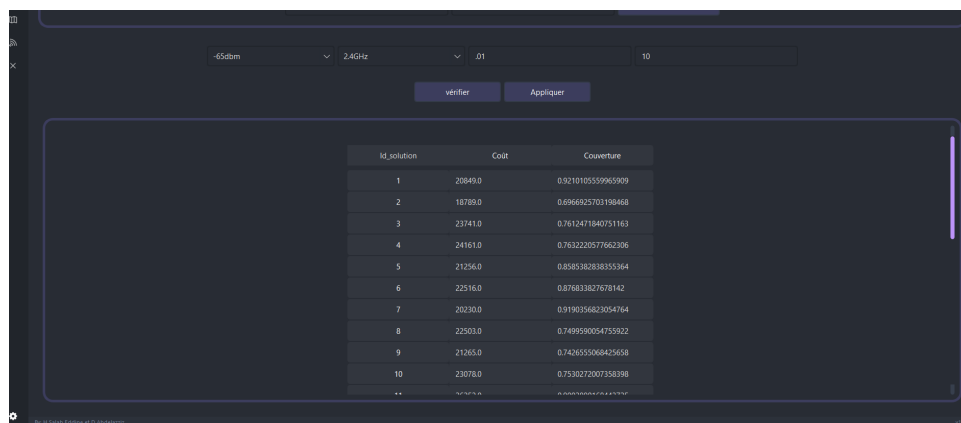
Saisie de Données

- **Combobox 01** : Choisissez le type de fichier pour l'importation des données des coins des blocs. Deux types de fichiers sont possibles : les fichiers Excel (.xlsx) et les fichiers texte (.txt).
- **Chemin de votre fichier** : Dans ce champ, vous pouvez saisir le chemin de votre fichier ou cliquer sur le bouton B-01 pour choisir votre fichier. Veuillez noter que le type de fichier doit correspondre à celui que vous avez sélectionné dans le combobox.
- **Le nombre des blocs** : Dans ce champ, veuillez indiquer le nombre de zones nécessitant une couverture interne.
- **Le nombre des zones extérieures** : Dans ce champ, veuillez indiquer le nombre de zones nécessitant une couverture externe.

- **Obtenir des informations** : Cliquez sur ce bouton pour récupérer les informations contenues dans le fichier que vous avez choisi. Cette fonctionnalité vous permet également de vérifier si toutes les données des blocs internes et des zones externes ont été saisies dans le fichier sélectionné. De plus, cette étape comprend également le traçage du plan de votre projet à l'aide de les coordonnées des coins. Si vous souhaitez visualiser le plan, vous pouvez accéder à la page "Graphique" pour une représentation graphique détaillée.
- **Combobox 02** : Choisissez le niveau de RSSI préféré : -70dbm ou -65dbm.
- **Combobox 03** : Choisissez la fréquence préférée : 2.4 GHz ou 5 GHz.
- **Probabilité de mutation** : Dans ce champ, veuillez entrer la probabilité de mutation. La valeur de probabilité doit être un nombre compris entre 0 et 1 (exclus), ce qui signifie qu'elle doit être strictement supérieure à 0 et strictement inférieure à 1.
- **Le nombre de générations** : Dans ce champ, veuillez entrer le nombre de générations souhaité. Ce nombre représente le nombre d'itérations ou de cycles que vous souhaitez exécuter dans votre algorithme ou processus. Assurez-vous de saisir un nombre entier positif dans ce champ, correspondant au nombre de générations que vous souhaitez exécuter. Par exemple, si vous voulez exécuter l'algorithme pendant 10 générations, vous devez entrer le nombre 10 dans ce champ.
- **Vérifier** : Cliquez sur ce bouton pour vérifier les informations saisies ci-dessus. Cette étape de vérification permet de s'assurer que toutes les données sont complètes, correctes et conformes aux critères requis.
- **Appliquer** : Lorsque vous appuyez sur ce bouton, l'application commence à exécuter les calculs et à effectuer la recherche des meilleures solutions en fonction des paramètres et des données fournies. Cette étape peut prendre du temps en fonction de la complexité du problème et de la quantité des données à traiter. Une fois les calculs terminés, les meilleures solutions ou les résultats pertinents seront affichés ou disponibles pour consultation. Utilisez le bouton Appliquer lorsque vous êtes prêt à lancer les calculs et la recherche des meilleures solutions.

Une fois les calculs et la recherche des meilleures solutions terminés, une frame des résultats s'affiche ci-dessous.

Résultats détaillés Vous pouvez y trouver les solutions optimales, les graphiques ou toute autre information pertinente générée par l'algorithme exécuté.



Id_solution	Coût	Couverture
1	20649.0	0.9210105559965909
2	18789.0	0.6966925703198468
3	23741.0	0.7612471840751163
4	24161.0	0.7632220577662306
5	21256.0	0.8585382838355364
6	22516.0	0.876813827678142
7	20230.0	0.9190356823054764
8	22503.0	0.7499590054755922
9	21265.0	0.7426555068425658
10	23078.0	0.7530272007358298

Figure 4.3 – Tableau des solutions optimales

Le tableau qui est présenté dans la figure ci-dessus affiche les valeurs du coût total et de la couverture totale pour chaque solution de l'ensemble Pareto.

Si vous souhaitez trier les résultats du tableau par ordre croissant du coût, vous pouvez cliquer sur l'en-tête de la colonne 'Coût'. Cela réorganisera les lignes du tableau de manière à afficher les solutions avec le coût le plus bas en premier, suivi des coûts croissants jusqu'au coût le plus élevé.

Si vous souhaitez trier les résultats du tableau par ordre décroissant de la couverture, vous pouvez cliquer sur l'en-tête de la colonne 'Couverture'. Cela réorganisera les lignes du tableau de manière à afficher les solutions avec la couverture la plus élevée en premier, suivi des couvertures décroissantes jusqu'à la couverture la plus faible.

Les fonctionnalités de tri du tableau permettent d'analyser les solutions selon différents critères. En cliquant sur l'en-tête "Coût", vous pouvez voir les solutions les moins coûteuses, tandis que l'en-tête "Couverture" affiche les solutions les plus performantes en termes de couverture. Ces options de tri facilitent l'évaluation des solutions en fonction du coût et

de la couverture.

Si vous souhaitez consulter les détails d'une solution spécifique, il vous suffit de cliquer sur l'identifiant "id-solution" correspondant à cette solution dans le tableau. Cela vous permettra d'accéder aux informations détaillées de cette solution.

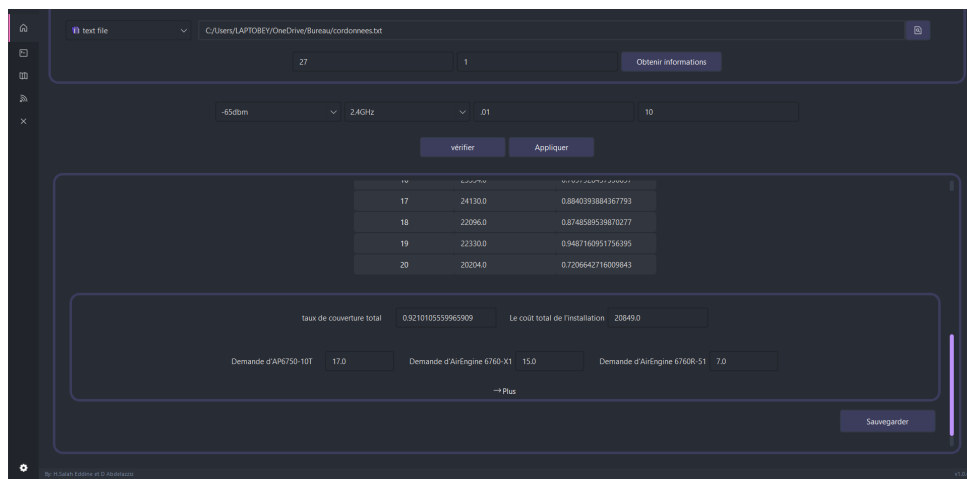


Figure 4.4 – Détails de la solution sélectionnée

En cliquant sur "id-solution = 1", quelques détails de cette solution sont affichés, tels que : taux de couverture totale, le coût total de l'installation, demande d'AP6750-10T, demande d'AirEngine 6760-X1, demande d'AirEngine 6760R-51.

Si vous cliquez sur le bouton "Plus", vous serez redirigé vers la page "Graphique". Sur cette page, vous aurez accès à des informations plus détaillées sur les plans. En outre, vous pourrez également trouver d'autres détails importants liés à la solution sélectionnée, voir les deux figures ci-dessous :

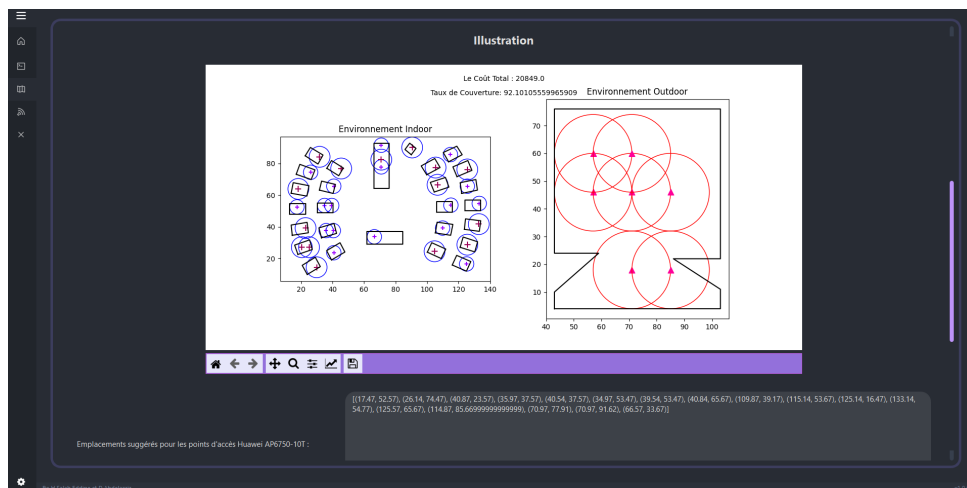


Figure 4.5 – Informations plus détaillées et illustration graphique



Figure 4.6 – Visualisation numérique des emplacements de la solution

Dans la frame des résultats, vous trouverez un bouton intitulé "Sauvegarder". Ce bouton est destiné à sauvegarder les données et les résultats essentiels de votre projet.

Processus de sauvegarde des informations essentielles du projet

Dans la frame des résultats, vous trouverez un bouton intitulé "Sauvegarder". Ce bouton est destiné à sauvegarder les données et les résultats essentiels de votre projet.

Lorsque vous cliquez sur le bouton "Sauvegarder", une nouvelle page s'ouvrira vous permettant d'entrer le nom du projet ainsi qu'un code associé à ce projet. Une fois que vous avez saisi ces informations, vous pouvez cliquer sur le bouton "Sauvegarder" pour enregistrer les informations essentielles dans une base de données appelée "wirelessdeploy". Ces

informations seront stockées dans le tableau "Enregistrer" de la base de données, garantissant ainsi une conservation sûre et organisée des données de votre projet. Cette fonctionnalité de sauvegarde vous permet de conserver et de retrouver facilement les informations clés de vos projets précédents pour référence ou partage ultérieur.

Figure 4.7 – Page de sauvegarde

Columns:	
id_enregistrer	int PK
BlocIndoor	varchar(10000)
BlocOutdoor	mediumtext
NombreGeneration	int
ProbaMutation	float
EnsemblePareto	mediumtext
ListeAPIInstaller	mediumtext
Emplacement_type1	mediumtext
EmplacementOutdoor	mediumtext
RayonAPIIndoor	varchar(500)
RayonAPIOutdoor	varchar(500)
nom_projet	varchar(500)
Emplacement_type2	mediumtext
Date_Time	datetime
path_coins	mediumtext
nombre_apind	int
nombre_apout	int
EmplacementIndoor	mediumtext
RSSI	varchar(45)
frequence	varchar(45)

Figure 4.8 – Illustration des différents attributs de la table enregistrer

La figure 4.8 présente les différents attributs de la table "enregistrer" ainsi que le types de données correspondants.

4.4.2.2 Essayer

Si vous choisissez l'option "Essayer", la fenêtre de l'espace de travail s'ouvrira également, de la même manière que pour le choix "Nouveau Projet". Les processus de travail dans cette option sont identiques à ceux du choix "Nouveau Projet". La seule différence est que dans cette option, vous ne pourrez pas sauvegarder ou exporter les informations du travail effectué.

C'est une option idéale pour ceux qui souhaitent découvrir les possibilités de l'application sans avoir besoin de conserver les résultats ou de

stocker les informations de manière permanente. Une fois que vous avez terminé d'explorer et de tester, vous pouvez simplement fermer la fenêtre de l'espace de travail et revenir à la page d'accueil pour choisir une autre option ou effectuer d'autres actions dans l'application.

4.4.2.3 Ouvrir un projet existant

Lorsque vous choisissez l'option "Ouvrir un projet existant", une page s'ouvrira vous permettant d'entrer le nom et le code de votre projet. Après avoir saisi ces informations, vous pouvez cliquer sur le bouton "Ouvrir". Cela déclenchera l'ouverture de la fenêtre de l'espace de travail spécifique à ce projet. La fenêtre de travail sera automatiquement remplie avec toutes les informations associées à ce projet. Vous pourrez ainsi accéder à tous les détails et les paramètres spécifiques de ce projet. Cette fonctionnalité vous offre une expérience pratique et efficace pour gérer et travailler sur des projets existants. Vous pouvez facilement retrouver et ouvrir les projets que vous avez précédemment créés, en vous assurant que toutes les informations et les détails importants sont accessibles en un seul endroit.

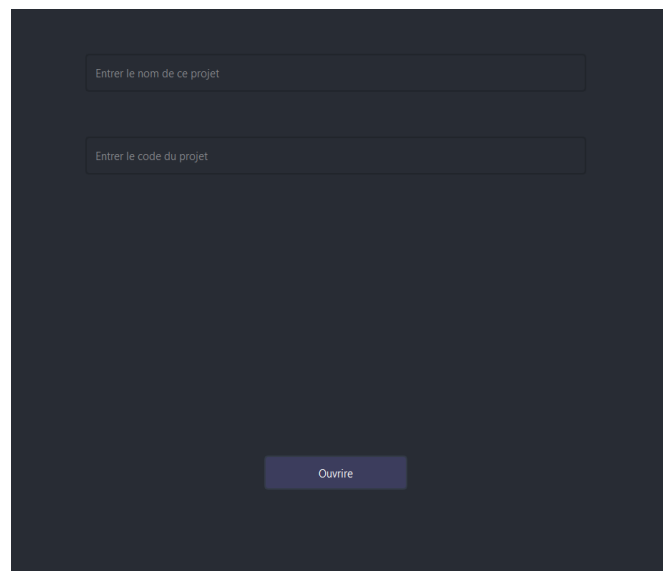
The image shows a dark-themed user interface for opening an existing project. It features two text input fields stacked vertically. The first field is labeled "Entrer le nom de ce projet" and the second is labeled "Entrer le code du projet". Both labels are in a light gray font. Below the input fields, centered, is a blue button with the white text "Ouvrir".

Figure 4.9 – Ouvrir un projet

L'objectif de l'option "Ouvrir un projet existant" est de vous permettre d'accéder rapidement aux détails et aux informations du projet afin que vous puissiez consulter et évaluer son contenu, mais vous ne

pourrez pas effectuer de modifications sur ce proje.

Dans la fenêtre de travail qui s'ouvrira pour un projet existant, vous aurez la possibilité d'exporter tous les détails du projet dans un fichier PDF.

Exporter les détails du projet Cette fonctionnalité vous permet de générer un document PDF contenant toutes les informations et les détails du projet, prêt à être sauvegardé ou partagé.

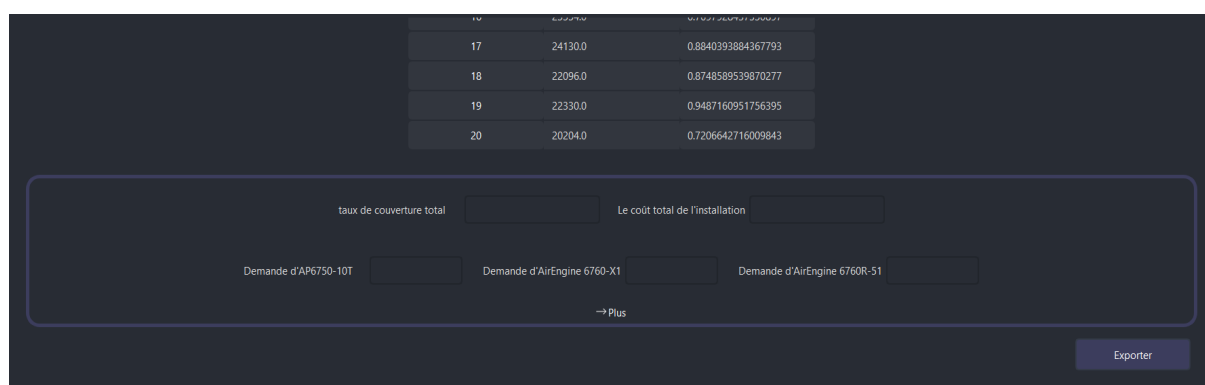


Figure 4.10 – exporter

Pour exporter les détails du projet, vous pouvez cliquer sur le bouton "Exporter" qui est présent dans la figure 4.10. Une fois que vous avez cliqué sur le bouton "Exporter", un fichier PDF nommé "wirelessdeploy" sera créé. Ce fichier PDF contiendra toutes les informations détaillées du projet, y compris les descriptions, le Plans d'aménagement et d'autres détails pertinents.

Si vous souhaitez exporté les détails d'une solution spécifique dans votre application, vous avez la possibilité de cliquer sur l'identifiant id correspondant à cette solution dans le tableau des résultats.

4.4.2.4 Supprimer un projet

Si vous choisissez l'option "Supprimer un projet" dans votre application, une page dédiée s'ouvrira, vous permettant d'entrer le nom et le code du projet que vous souhaitez supprimer.

Une fois que vous avez saisi le nom et le code du projet, cliquez sur le bouton "Supprimer". Cette action déclenchera l'affichage d'une boîte de dialogue (message box) demandant une confirmation de la suppression du projet.

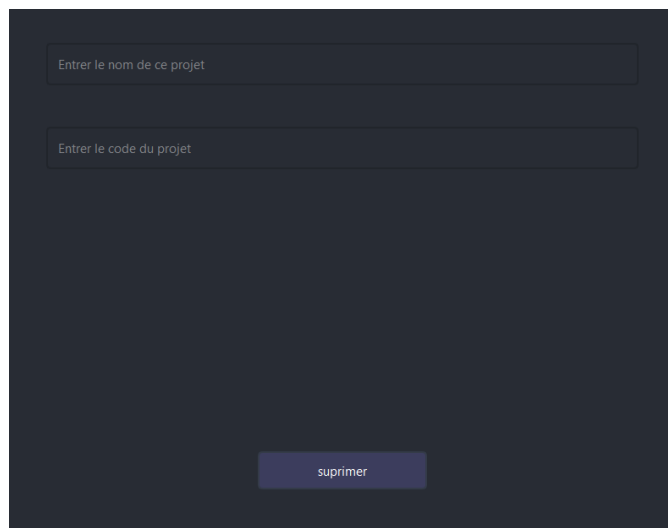


Figure 4.11 – supprimer

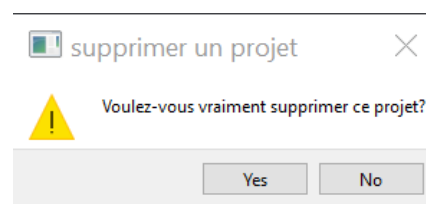


Figure 4.12 – message box du confirmation

Remarque. lorsque vous cliquez sur l'option "Sortie", cela signifie que vous vous déconnectez de votre session actuelle. après la déconnexion, vous serez redirigé vers la page d'accueil.

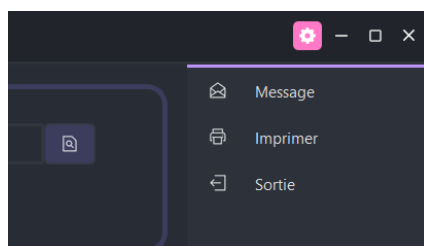


Figure 4.13 – Sorite

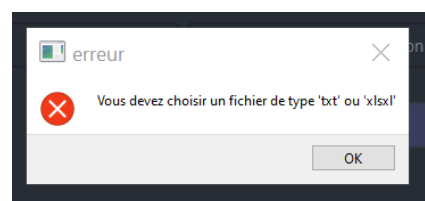
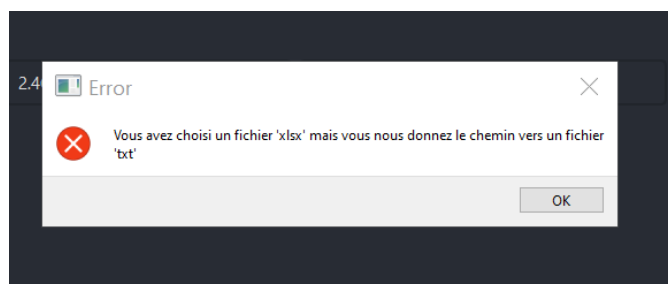
4.4.3 La gestion des erreurs

4.4.3.1 L'espace de travail

Si vous avez choisi de sélectionner un fichier Excel "xlsx", mais que vous sélectionnez par erreur un fichier texte "txt", cela entraînera une incompatibilité de format. L'application détectera cette erreur et déclenchera l'affichage d'une boîte de dialogue (message box) pour vous informer de

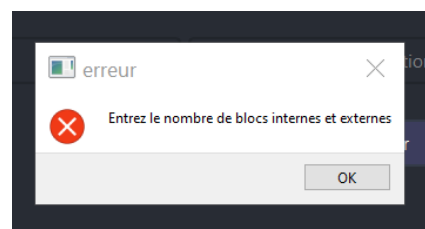
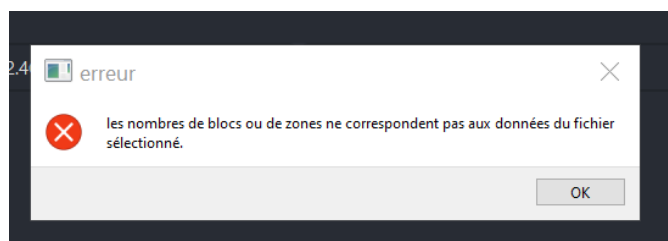
l'erreur.

Si vous sélectionnez un fichier qui n'est ni un fichier Excel "xlsx" ni un fichier texte "txt", cela indique une incompatibilité de format aussi. L'application détectera cette erreur et déclenchera l'affichage d'une boîte de dialogue (message box) pour vous informer de l'erreur.



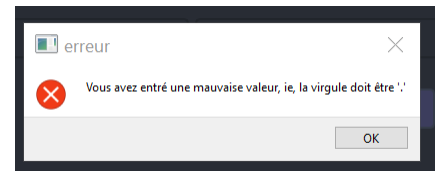
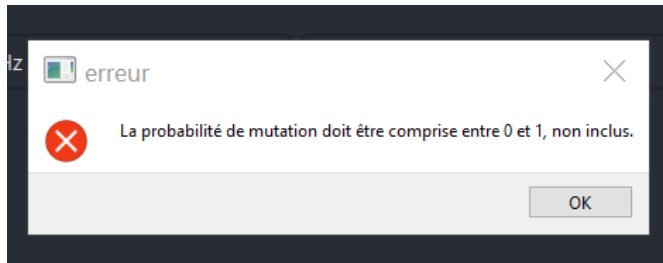
Si vous avez saisi le nombre de blocs et le nombre de zones extérieurs, mais que le fichier sélectionné contient un nombre de blocs ou de zones différent, une boîte de dialogue (message box) d'erreur sera déclenchée pour vous informer de l'incompatibilité entre les informations saisies et les données du fichier. De même, si vous n'avez pas saisi le nombre de blocs et le nombre de zones extérieurs, une boîte de dialogue d'erreur sera également déclenchée pour vous rappeler d'entrer ces informations obligatoires.

Dans les deux cas, ces messages d'erreur vous permettront de revenir en arrière et de corriger les informations saisies ou de fournir les informations manquantes, afin d'assurer la cohérence entre les données saisies et les données contenues dans le fichier sélectionné. Cela garantira le bon fonctionnement de l'application et l'exactitude des vérifications effectuées.

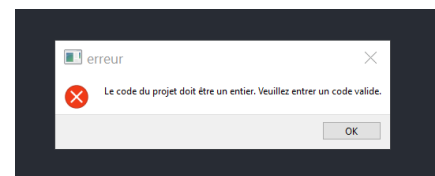
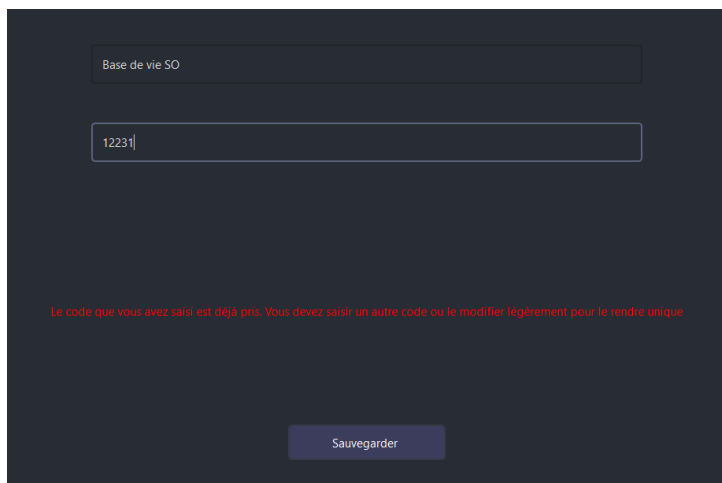


Si vous avez saisi une probabilité de mutation supérieure ou égale à 1, ou inférieure ou égale à 0, une boîte de dialogue (message box) d'erreur sera déclenchée pour vous informer de la valeur invalide. De plus, si vous

avez entré un nombre avec une virgule au lieu d'un point décimal, par exemple "0,1" au lieu de "0.1", une boîte de dialogue d'erreur sera également déclenchée pour vous rappeler que la virgule est incorrecte et doit être remplacée par un point.



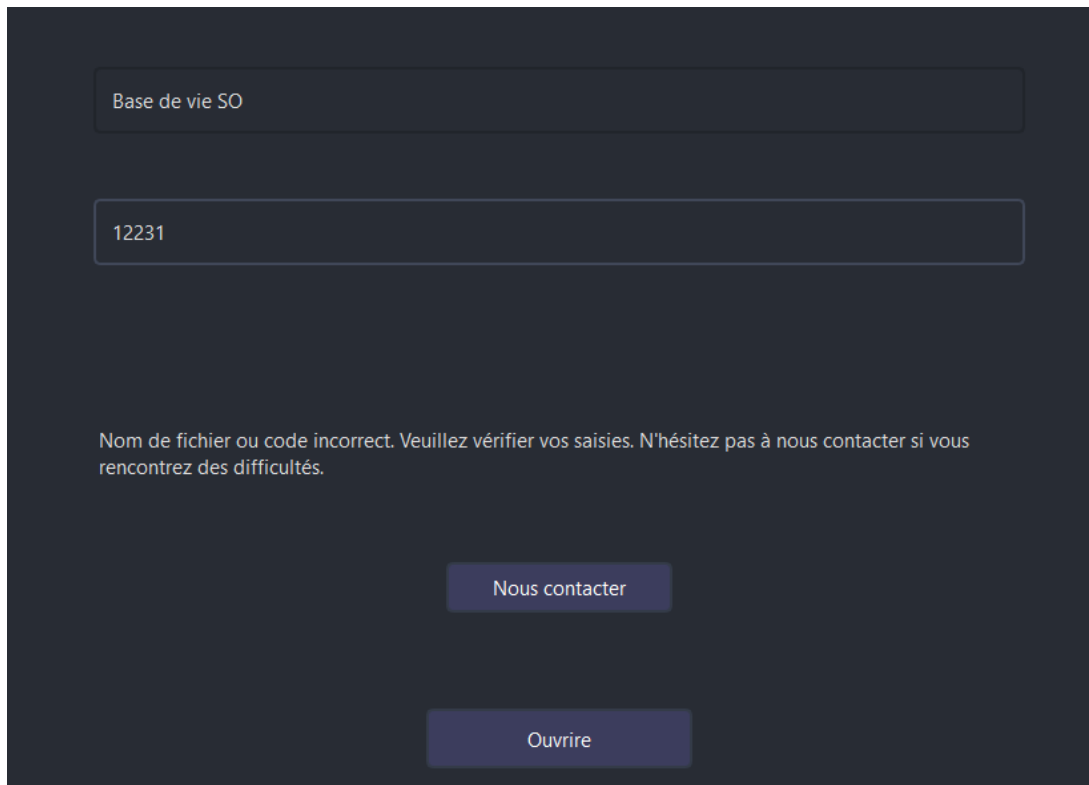
sauvegarde des informations Si vous souhaitez sauvegarder un projet, vous devez entrer un nom et un code pour ce projet. Si le code que vous avez saisi existe déjà, un message s'affichera pour vous informer que ce code est déjà utilisé. Vous devrez alors saisir un autre code ou le modifier légèrement pour le rendre unique. Le code du projet doit être un entier (int), alors un messagebox se déclenchera si un autre type de données est saisi. Veuillez prendre en compte cette exigence lors de la sauvegarde de votre projet.



4.4.3.2 Ouvrir un projet existant

Lorsque vous souhaitez ouvrir un projet existant, vous devez saisir le nom et le code correspondant à ce fichier. Si le nom ou le code saisi est incorrect, un texte d'erreur sera déclenché pour vous informer de cette incompatibilité. En outre, pour vous assister en cas de problème ou

pour obtenir de l'aide supplémentaire, un bouton "Nous contacter" sera disponible. En cliquant sur ce bouton, vous aurez la possibilité de nous contacter directement.



The image shows a dark-themed web interface. At the top, there is a text input field containing the placeholder text "Base de vie SO". Below it is another text input field containing the number "12231". Underneath these fields is a red error message that reads: "Nom de fichier ou code incorrect. Veuillez vérifier vos saisies. N'hésitez pas à nous contacter si vous rencontrez des difficultés." At the bottom of the form, there are two buttons: "Nous contacter" and "Ouvrir".

4.4.3.3 Supprimer un projet

Dans l'option "Supprimer un projet", les mêmes vérifications sont effectuées que dans l'option "Ouvrir un nouveau projet".

Conclusion

En conclusion, ce dernier chapitre d'implémentation marque la finalisation de notre mémoire. L'implémentation réussie en Python a produit des résultats significatifs. L'interface utilisateur élaborée offre une expérience conviviale et intuitive, facilitant ainsi l'adoption et l'utilisation de notre solution par les décideurs. Nous espérons que notre contribution apportera une valeur ajoutée dans le domaine concerné et ouvrira des opportunités pour de futures recherches et applications.

Conclusion Générale

Notre mémoire dédié au problème de localisation des points d'accès sans fil dans un site de SONATRACH a abordé les défis spécifiques liés à ce contexte, en mettant en évidence l'importance de l'optimisation multi-objectif dans le déploiement du Wi-Fi.

Ce problème revêt une importance considérable dans le déploiement efficace des réseaux Wi-Fi, car il nécessite de trouver un compromis entre la maximisation de la couverture réseau et la minimisation des coûts d'installation. D'une part, une couverture réseau maximale est essentielle pour garantir une connectivité fiable et de haute qualité à travers l'ensemble du site et d'autre part, la minimisation des coûts d'installation est un objectif économiquement rationnel. En réduisant les dépenses liées à l'installation des points d'accès sans fil.

L'optimisation multi-objectif, telle que celle mise en œuvre dans notre étude, permet de résoudre cette problématique en trouvant un compromis entre ces deux objectifs. L'algorithme NSGA-II, un puissant outil d'optimisation qui nous a permis de prendre en compte simultanément deux objectifs, tout en explorant un environnement 2D représentant la base de vie de Sonatrach. Grâce à cette approche, nous avons pu identifier les meilleurs emplacements pour les points d'accès Wi-Fi.

L'utilisation du langage de programmation Python a été essentielle dans la mise en œuvre de notre solution. En exploitant les fonctionnalités avancées de ce langage, nous avons pu modéliser efficacement le problème de localisation et obtenir des résultats précis et fiables.

En conclusion, notre mémoire a apporté une contribution précieuse à la résolution du problème de localisation des points d'accès sans fil dans un site de SONATRACH. Nous avons démontré la pertinence de l'approche d'optimisation multi-objectif utilisant l'algorithme NSGA-II et Python, en mettant en évidence l'importance de maximiser la couverture tout en minimisant les coûts d'installation. Nous espérons que nos résultats stimuleront davantage de recherches et d'améliorations dans ce domaine.

Bibliographie

- [1] Subash Harizan and Pratyay Kuila. A novel nsga-ii for coverage and connectivity aware sensor node scheduling in industrial wireless sensor networks. *Digital Signal Processing*, 105 :102753, 2020. Special Issue on Optimum Sparse Arrays and Sensor Placement for Environmental Sensing.
- [2] Dong Chen. A survey of ieee 802.11 protocols : Comparison and prospective. In *Proceedings of the 2017 5th International Conference on Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering (ICMMCCE 2017)*, pages 569–578. Atlantis Press, 2017/09.
- [3] Signal attenuation caused by common obstacles. Retrieved April 18, 2023.
- [4] Heena Rathore. *Computer Networks*, pages 11–25. Springer International Publishing, Cham, 2016.
- [5] 3 - transmission media. In Edwin Wright, Deon Reynders, and Steve Mackay, editors, *Practical Telecommunications and Wireless Communications*, pages 27–62. Newnes, Oxford, 2004.
- [6] Thomas G. Robertazzi. *Introduction to Networks*, pages 1–16. Springer International Publishing, Cham, 2017.
- [7] Larry L Peterson and Bruce S Davie. *Computer networks : a systems approach*. Elsevier, 2007.
- [8] Peng Zhang. Chapter 11 - networking devices. In Peng Zhang, editor, *Advanced Industrial Control Technology*, pages 429–463. William Andrew Publishing, Oxford, 2010.
- [9] Mehmet S. Kuran and Tuna Tugcu. A survey on emerging broadband wireless access technologies. *Computer Networks*, 51(11) :3013–3046, 2007.

- [10] Alan Holt and Chi-Yu Huang. *Introduction*, pages 1–13. Springer London, London, 2010.
- [11] Masud Chaichian, Hugo Perez Rojas, and Anca Tureanu. *Electromagnetic Waves*, pages 137–165. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2021.
- [12] Chris Hurley, Russ Rogers, Frank Thornton, Daniel Connelly, and Brian Baker. Chapter 2 - understanding antennas and antenna theory. In Chris Hurley, Russ Rogers, Frank Thornton, Daniel Connelly, and Brian Baker, editors, *WarDriving and Wireless Penetration Testing*, pages 31–61. Syngress, Rockland, 2007.
- [13] T.K. Wotherspoon and M. Higgins. 14 - implantable wireless body area networks. In Andreas Inmann and Diana Hodgins, editors, *Implantable Sensor Systems for Medical Applications*, Woodhead Publishing Series in Biomaterials, pages 437–468. Woodhead Publishing, 2013.
- [14] Thomas Norman. 12 - radio frequency systems. In Thomas Norman, editor, *Integrated Security Systems Design (Second Edition)*, pages 251–266. Butterworth-Heinemann, Boston, second edition edition, 2014.
- [15] Network coverage desig. Retrieved April 18, 2023.
- [16] Shahin Farahani. Chapter 5 - rf propagation, antennas, and regulatory requirements. In Shahin Farahani, editor, *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*, pages 171–206. Newnes, Burlington, 2008.
- [17] Michel Sakarovitch. *Optimisation combinatoire : Graphes et programmation linéaire*, volume 31. Editions Hermann, 1984.
- [18] Alain Billionnet. Optimisation discrète, de la modélisation à la résolution par des logiciels de programmation mathématique. 2007.
- [19] Michel Gendreau, Jean-Yves Potvin, et al. *Handbook of metaheuristics*, volume 2. Springer, 2010.
- [20] Vangelis Th PASCHOS. Optimisation combinatoire : Problèmes paradigmatiques et problématiques nouvelles. 2006.

- [21] Zvi Drezner and Horst W Hamacher. *Facility location : applications and theory*. Springer Science & Business Media, 2004.
- [22] Carlos Henggeler Antunes, Maria Joao Alves, and João Clímaco. *Multiobjective linear and integer programming*. Springer, 2016.
- [23] Xavier Gandibleux. *Multiple criteria optimization : state of the art annotated bibliographic surveys*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [24] Matthias Ehrgott. *Multicriteria optimization*, volume 491. Springer Science & Business Media, 2005.
- [25] Subash Harizan and Pratyay Kuila. Coverage and connectivity aware critical target monitoring for wireless sensor networks : Novel nsga-ii-based approach. *International Journal of Communication Systems*, 33(4) :e4212, 2020. e4212 dac.4212.
- [26] S. Sreenivasa Chakravarthi and G. Hemanth Kumar. Optimization of network coverage and lifetime of the wireless sensor network based on pareto optimization using non-dominated sorting genetic approach. *Procedia Computer Science*, 172 :225–228, 2020. 9th World Engineering Education Forum (WEEF 2019) Proceedings : Disruptive Engineering Education for Sustainable Development.
- [27] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm : Nsga-ii. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2) :182–197, 2002.
- [28] 3.11.3 Documentation — docs.python.org. <https://docs.python.org/3/>. [Accessed 29-May-2023].
- [29] AS Saabith, MMM Fareez, and T Vinothraj. Python current trend applications-an overview. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 6(10), 2019.
- [30] NumPy Documentation — numpy.org. <https://numpy.org/doc/>. [Accessed 29-May-2023].
- [31] The Shapely User Manual; Shapely 2.0.1 documentation — shapely.readthedocs.io. <https://shapely.readthedocs.io/en/stable/manual.html>. [Accessed 29-May-2023].

- [32] Matplotlib documentation ; Matplotlib 3.7.1 documentation — matplotlib.org. <https://matplotlib.org/stable/index.html>. [Accessed 29-May-2023].

Annexe A

Caractéristiques des points d'accès

Tableau A.1 – Tableau des modèles d'AP et leurs cartes

Modèle	Type	Gain (dBi)	Puissance (dBm)	Tarif (da)
Huawei AP6750-10T	Indoor	23	3.5	56819
Huawei AirEngine 6760-X1	Indoor	26	4.5	81170
Huawei AirEngine 6760R-51	Outdoor	30	10	72647

Remarque. Les caractéristiques mentionnées dans le tableau sont basées sur les informations disponibles sur le site officiel de Huawei. Toutefois, veuillez noter que les tarifs des points d'accès (AP) ne sont pas divulgués publiquement, et Huawei Algérie ne fournit pas ces informations. Les tarifs mentionnés dans le tableau proviennent de sources tierces ou de références disponibles en ligne, et ils peuvent varier en fonction de facteurs tels que la région géographique.