

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique  
Université Abderrahmane Mira  
Faculté de Technologie



Département d'Automatique,  
Télécommunication et d'Electronique

## Projet de Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunication

Spécialité : Systèmes des télécommunications

### Thème

**Optimisation des positions des drones dans un réseau 5G en  
utilisant le GWO**

**Préparé par :**

Yacini Salah

Mohammdi Yacine

**Dirigé par :**

Mr. Ouamri Mohammed Amine

**Examiné par :**

M. Khireddine Abdelkrim

Mme. Mezhoud Naima

**Année universitaire : 2020/2021**

## *Remerciements*

*Il nous est agréable et important de réserver cette page  
comme le  
témoignage de notre reconnaissance à toutes les personnes  
qui nous ont  
soutenues pour la réalisation de ce travail.  
Nous remercions Dieu le tout-puissant pour sa grâce qu'il  
nous accorde  
tous les jours.  
Nous remercions notre encadreur Mr OUAMRI Mohamed  
Amine, pour  
son encadrement qui nous a été précieux afin de mener  
notre travail à terme.  
Nous remercions également les membres du jury d'avoir  
accepté  
d'évaluer ce travail.  
Nous remercions particulièrement nos chères familles  
respectives qui  
n'ont pas cessé de nous encourager et de nous motiver  
durant tout notre  
parcours éducatif.*

## *Dédicaces*

*C'est avec beaucoup de reconnaissance qu'on dédie*

*ce travail à*

*nos chers parents et grands-parents,*

*À nos familles,*

*À nos frères et sœurs,*

*À nos ami(e)s*

*Et à tous ceux qui ont fait confiance à nos*

*capacités pendant*

*notre parcours*

# Table des matières

Liste des figures .....	i
Listes des tableaux .....	ii
Liste des abréviations .....	iii
Introduction générale.....	1
1.1 Introduction.....	3
1.2 Le concept cellulaire .....	3
1.2.1 Définition.....	3
1.2.2 Réutilisation de fréquence .....	3
1.2.3 Présentation des motifs réguliers.....	3
1.2.4 Calcul de la distance de réutilisation .....	4
1.3 Architecture des réseaux cellulaires.....	4
1.3.1 Architecture des réseaux GSM .....	4
1.3.2 Architecture des réseaux 3G.....	5
1.3.3 Architecture des réseaux 4G.....	6
1.3.4 Architecture des réseaux 5G.....	7
1.4 Evolution des réseaux cellulaires.....	7
1.4.1 Le réseau 1G.....	7
1.4.2 Le réseau 2G.....	8
1.4.3 Le réseau 3G.....	8
1.4.4 Le réseau 4G.....	9
1.4.5 Le réseau 5G.....	9
1.4.6 Les drones.....	10
1.5 Techniques d'accès et concept MIMO .....	10
1.5.1 Méthodes d'accès radio .....	10
1.5.2 Les techniques d'accès .....	11
1.5.3 Le concept MIMO .....	13

1.6	Les interférences dans les réseaux cellulaires.....	14
1.6.1	Interférences intracellulaires .....	14
1.6.2	Interférences intercellulaires .....	15
1.7	La mobilité et problème de propagation .....	15
1.7.1	La mobilité.....	15
1.7.2	Problème de propagation dans les réseaux cellulaires .....	16
1.8	Conclusion .....	17
2.1	Introduction .....	18
2.2	Planification du réseau .....	18
2.2.1	Planification de couverture .....	18
2.2.1.1	Bilan de liaison RLB .....	19
2.2.1.2	Choix du modèle de propagation.....	20
2.2.1.3	Modèles empiriques.....	20
2.2.1.4	Rayon des cellules .....	21
2.2.1.5	Le nombre de sites.....	21
2.2.2	Planification de capacité .....	22
2.2.2.1	Demande de trafic.....	23
2.3	Emplacement des stations de base.....	24
2.4	Réseaux de 5 générations .....	24
2.4.1	Architecture des réseaux 5G-UAV .....	24
2.4.2	Modèle de propagation 5G-UAV .....	26
2.5	Emplacement des UAVs.....	29
2.6	Conclusion.....	29
3.1	Introduction .....	30
3.2	Métaheuristique .....	30
3.2.1	Algorithme de colonies de fourmis.....	31
3.2.2	Algorithme génétique .....	31

3.2.3	Algorithme d'optimisation par essais particulaires (PSO)	32
3.3	Optimisation Grey Wolf	35
3.3.1	Inspiration	35
3.3.2	Modèle mathématique	36
3.3.2.1	La hiérarchie sociale	36
3.3.2.2	Encerclement de la proie	37
3.3.2.3	Chasse	37
3.3.2.4	Attaquer une proie (exploitation)	38
3.3.2.5	Recherche de proies (exploration)	39
3.3.3	Algorithme de GWO	39
3.4	Optimisation Grey Wolf 3D	41
3.4.1	Encerclement de la couche interne	41
3.4.2	Encerclement de la couche externe	42
3.5	Conclusion	44
4.1	Introduction	45
4.2	modèle de système	45
4.3	Calcul de la probabilité de couverture en liaison descendante	47
4.4	Placement optimal des drones-BSS	48
4.5	Résultats de la simulation	50
4.6	Conclusion	53
	Conclusion générale	54
	Bibliographie	v
	Résumé	9

## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> : Architecture des réseaux GSM. ....	5
<b>Figure 1.2</b> : Architecture des réseaux 3G.....	6
<b>Figure 1.3</b> : Architecture des réseaux 4G.....	6
<b>Figure 1.4</b> : Architecture des réseaux 5G.....	7
<b>Figure 1.5</b> : Modèle de système de l'infrastructure cellulaire 5G assistée par drones. ....	10
<b>Figure 1.6</b> : FDMA.....	11
<b>Figure 1.7</b> : TDMA. ....	12
<b>Figure 1.8</b> : CDMA. ....	13
<b>Figure 1.9</b> : Modèle de canal MIMO. ....	14
<b>Figure 1.10</b> : Réflexion spéculaire. ....	16
<b>Figure 1.11</b> : Réflexion diffuse. ....	17
<b>Figure 1.12</b> : La diffraction. ....	17
<b>Figure 2.1</b> : Processus de planification radio .....	18
<b>Figure 2.2</b> : Méthode de calcul de la zone.....	22
<b>Figure 2.3</b> : Architecture des réseaux 5G-UAV.....	25
<b>Figure 2.4</b> : L'Architecture de système.....	26
<b>Figure 2.5</b> : Communication entre la station de base et l'équipement utilisateur.....	27
<b>Figure 2.6</b> : Communication de la gNB à l'UE en utilisant un nœud relais. ....	27
<b>Figure 3.1</b> : Algorithme de colonie de fourmis .....	31
<b>Figure 3.2</b> : Schéma général d'un algorithme génétique. ....	32
<b>Figure 3.3</b> : Déplacement d'une particule. ....	33
<b>Figure 3.4</b> : Organigramme de la méthode PSO .....	35
<b>Figure 3.5</b> : La hiérarchie sociale des loups gris. ....	36
<b>Figure 3.6</b> : Mise à jour de la position dans GWO.....	38
<b>Figure 3.7</b> : Organigramme de la méthode GWO .....	40
<b>Figure 3.8</b> : Diagramme d'encerclement de la couche interne et externe. ....	41
<b>Figure 3.9</b> : Organigramme de l'algorithme EGWO. ....	43
<b>Figure 4.1</b> : Modèle de système. ....	47
<b>Figure 4.2</b> : Probabilité de couverture en fonction du seuil SINR, à différentes altitudes.....	51
<b>Figure 4.3</b> : Placement des drone-BSs à la fin de l'itération GWO.....	52
<b>Figure 4.4</b> : Nombre d'utilisateurs couverts et déploiement de drone-BSs à chaque itération	52

## **Listes des tableaux**

<b>Tableau 4-1</b> : Paramètres de simulation adoptés pour notre travail.....	51
---	----

## Liste des abréviations

<b>1G</b>	première génération
<b>2G</b>	deuxième génération
<b>3G</b>	troisième génération
<b>4G</b>	quatrième génération
<b>5G</b>	cinquième génération
<b>3GPP</b>	3rd Generation Partnership Project
<b>AG</b>	Algorithme génétique
<b>AMPS</b>	Advanced Mobile Phone System
<b>BSC</b>	Base Station Controller
<b>BTS</b>	Base Transceiver Station
<b>BSS</b>	Base Station Subsystem
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access
<b>DC-HSPA</b>	Dual Channel High Speed Packet Access
<b>DL</b>	Downlink
<b>EDGE</b>	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
<b>EGWO</b>	Enhanced Grey Wolf Optimizer
<b>ENodeB</b>	Evolved NodeB
<b>EPC</b>	Evolved Packet Core Network
<b>ETACS</b>	Extended Total Access Communication System
<b>FDD</b>	Frequency Division-Duplexing
<b>FDMA</b>	Frequency Division Multiple Access
<b>FS</b>	File Strenght
<b>gnb</b>	next Generation Node Base Station
<b>GSM</b>	Global System for Mobile
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>GWO</b>	Grey Wolf Optimizer
<b>HLR</b>	Home Location Register
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access
<b>HSUPA</b>	High Speed Uplink Packet Access
<b>IMS</b>	IP Multimedia Sub-System
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>IoT</b>	Internet of Things

<b>LOS</b>	Line-Of-Sight
<b>LTE</b>	Long Term Evolution
<b>MEC</b>	Multi-access Edge Computing
<b>MIMO</b>	Multi-Input Multiple-Output
<b>MMS</b>	Multimedia Message Service
<b>MSC</b>	Mobile services Switching Center
<b>NGN</b>	Next Generation Network
<b>NLOS</b>	Non Line-Of-Sight
<b>NMT</b>	Nordic Mobile Telephone
<b>NSS</b>	Network Switching Sub-System
<b>OFDMA</b>	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
<b>PT</b>	Point de Test
<b>PSO</b>	Particule Swarm Optimization
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>RAN</b>	Regional Area Network
<b>RNC</b>	Radio Network Controller
<b>SAE</b>	System Architecture Evolution
<b>SB</b>	Station Base
<b>SINR</b>	Signal Interference to Noise Ratio
<b>SISO</b>	Single Input Single output
<b>SMS</b>	Short Message Service
<b>SWAP</b>	Shared Wireless Access Protocol
<b>TACS</b>	Total Access Communication System
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access
<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle
<b>UE</b>	User Equipment
<b>UL</b>	Uplink
<b>UTRAN</b>	Universal Mobile Telecom-munications System
<b>W-CDMA</b>	Wideband Code Devision Multipel Access

## Introduction générale

Un réseau mobile permet à tout appareil connecté, notamment les Smartphones et les tablettes, d'établir des communications avec d'autres appareils. Téléphoner, envoyer des messages ou des MMS, accéder à une messagerie électronique, surfer sur le web ou consulter des applications. Les réseaux de télécommunications mobiles ont pris de plus en plus d'importance dans notre société. Le système de téléphonie cellulaire connaît un succès considérable, avec un nombre d'abonnés sans cesse croissant.

Le 1er réseau cellulaire de type analogique, ayant pour nom AMPS (Advanced mobile phone system) a été mis en place à Chicago dès 1978 suivi par le système NMT (Nordic mobile phone) en Europe en 1981, ces réseaux de première génération sont caractérisés par une Modulation analogique et une méthode accès FDMA (Frequency Multiple access). La 2G, seconde génération de réseau mobile, marque le passage de l'analogique au numérique. Après les instances de normalisation se sont ensuite tournées vers un système unique de la troisième génération de la téléphonie mobile, La troisième génération de réseaux mobiles succède à la 2G et offre quant à elle des débits bien plus élevés, permettant d'accéder à internet un peu plus rapidement. Il est ainsi possible de surfer sur internet, regarder des vidéos, ou encore télécharger des jeux et musiques. Ensuite On a passé vers le réseau 4G qui présente beaucoup d'amélioration quant à la bande passante de l'utilisateur ainsi que d'autres paramètres de qualité de service. La LTE (Long Term Evolution) et 4G correspondent au même réseau mobile, autrement dit la 4<sup>ème</sup> génération des standards de téléphonie mobile. Il n'y a donc aucune différence entre la LTE et la 4G. La 4G, Apparue récemment, elle offre le très haut débit avec un débit maximum théorique de 150 Mbps. La bande passante étant partagées entre les différents utilisateurs, le débit est plus élevé si le nombre d'utilisateurs est réduit à ce moment-là.

De nos jours, on passe vers les réseaux cellulaires 5G. La 5G va utiliser plus de fréquences et des fréquences différentes de la 4G. Elle va tout d'abord permettre de désengorger le réseau 4G, proche de la saturation, et une montée en débit significative. Grâce à des débits beaucoup plus élevés, une latence beaucoup plus faible et la possibilité de prendre en charge un plus grand nombre d'appareils, la 5G va aussi permettre, à termes, de développer des usages totalement différents de la 4G, comme la télémédecine, les véhicules autonomes, ou l'automatisation des usines. Couplé à l'informatique de brouillard et à l'informatique de périphérie mobile (MEC), la 5G peut atteindre des débits de données élevés, permettant ainsi la mise en place de services complexes et autonomes de villes intelligentes, tels que le déploiement à grande échelle de

véhicules à conduite autonome et les services industriels à grande échelle basés sur l'intelligence artificielle (IA) à grande échelle. Cependant, pour répondre au nombre exponentiellement croissant d'appareils IoT (internet of things) connectés et de demandes de données et de demandes de service irrégulières, que ce soit dans des lieux peu ou très denses. Le processus de mise en œuvre des cellules traditionnelles, soutenu par des stations de base fixes et coûteuses doit être repensé pour permettre des points d'accès mobiles à la demande sous la forme de véhicules aériens sans pilote (UAV) pour divers scénarios de villes intelligentes.

Dimensionnement ou planification d'un réseau mobile consiste à déterminer l'ensemble des composantes matérielles et logicielles de ces systèmes, les positionner, les interconnecter et les utiliser de façon optimale, en respectant, entre autres, une série de contraintes de qualité de service. Ainsi, Le besoin envers un outil de planification, qui accompagne l'évolution des réseaux mobiles semble nécessaire et cela en tenant compte du fait que la propagation radio est fortement influencée par le terrain et par d'autres facteurs.

De ce fait, nous avons organisé notre plan de projet en 04 chapitres :

Le premier chapitre donnera un aperçu général des différentes normes de téléphonie mobile et à la présentation des caractéristiques générales des différents réseaux cellulaires de 1G à 5G.

Le Deuxième chapitre sera consacré à la planification des réseaux cellulaires dans lequel nous expliquons en détails le processus de dimensionnement dans ces réseaux-là. En parlant aussi, sur Le réseau 5G-UAV, son architecture, ses caractéristiques et l'emplacement des drones.

Dans Le troisième chapitre, nous présentons notre algorithme d'optimisation GWO (Grey Wolf Optimizer) en décrivant son inspiration, son modèle mathématique et l'organigramme de cet algorithme. Après sur EGWO (Enhanced Grey Wolf Optimizer), son modèle mathématique et en indiquant la différence avec GWO.

Dans le quatrième chapitre. On va se consacrer sur le system model 5G-UAV en discutant deux points essentiels le SINR (Signal-to-interférence-plus-noise ratio) et la maximisation de couverture. Nous simulons avec l'algorithme GWO (Grey Wolf Optimizer) sous Matlab et nous commenterons les résultats obtenus.

Et enfin, une conclusion récapitule notre travail et présente les connaissances acquises suite à ce projet de fin d'étude.

*Chapitre 1 :*

*Généralités sur les réseaux  
cellulaires.*

## 1.1 Introduction

La téléphonie cellulaire n'est rien d'autre qu'un système de communication sans support matériel, son but est d'assurer la communication entre les abonnés mobiles et ça par la présence des stations radios qui forment ainsi des cellules. La téléphonie révolutionna nos moyens de communications pour permettre enfin de communiquer à longue distance. Malgré des débuts difficiles, la téléphonie était devenue au même titre que l'eau courante ou l'électricité, c'est-à-dire un service de base. Avec les progrès de l'informatique et des codages numériques, une nouvelle génération se profile ; la télécommunication mobile devienne ainsi un service de masse.

## 1.2 Le concept cellulaire

### 1.2.1 Définition

Le concept consiste à diviser un territoire en cellules dont chacune est couverte par une station de base (BTS) du réseau. Une technique qui permet de réutiliser les ressources du réseau d'accès radio sur plusieurs zones géographiques données appelées cellule. À une cellule est ainsi associée une ressource radio (une fréquence) qui ne pourra être réutilisée que par une cellule située suffisamment loin afin d'éviter tout conflit intercellulaire dans l'utilisation de la ressource [1].

### 1.2.2 Réutilisation de fréquence

Il est possible de réutiliser une même porteuse dans des cellules différentes si celles-ci sont suffisamment éloignées. Pour ça en définit les motifs, ces motifs sont constitués de plusieurs cellules. Ils sont répétés sur toute la surface à couvrir et chaque fréquence est utilisée une seule fois. Une cellule a la forme d'un hexagone qui est le polygone le plus proche du cercle qui permet de paver le plan.

### 1.2.3 Présentation des motifs réguliers

Les motifs sont utilisés par les opérateurs à  $k$  cellules qui vérifie la relation suivante :

$$K = i^2 + i \times j + j^2 \quad (1.1)$$

Avec  $i$  et  $j$  entiers naturels positifs ou nuls.

On a plusieurs tailles de motifs par exemple : 3, 4, 7, 9, 12, 21, 27...cellules.

### 1.2.4 Calcul de la distance de réutilisation

La distance de réutilisation est définie comme la distance entre deux émetteurs utilise la même fréquence. Pour ça il faut déterminer le motif minimal pour un système donné.

Si on désigne par :

C : la puissance du signal utile.

N : la puissance du bruit.

I : la puissance totale des interférences.

Le rapport  $C/(I+N)$  est déterminant pour le calcul de la taille du motif.

La distance de réutilisation D entre cellules de mêmes canaux peut être trouvée comme suit :

$$D = \sqrt{3K} \times R \quad (1.2)$$

Où R est le rayon de la cellule et K est la taille du cluster.

## 1.3 Architecture des réseaux cellulaires

### 1.3.1 Architecture des réseaux GSM

Le réseau d'accès pour le GSM est le sous system radio (BSS), il se compose de stations de base appelés BTS et le contrôleur de station de base BSC. Ce dernier est un organe intelligent de BSS.

Le réseau cœur est constitué de 2 zones :

- **Le domaine circuit** : est composé de commutateurs vocaux, il a évolué dans une structure mobile NGN appelée R4.
- **Le domaine de l'emballage** : appelé GPRS (General Packet Radio Service). Le réseau GPRS est composé d'interrupteurs d'emballage et sert à transférer des paquets d'accès de 2G à Internet et à l'intranet d'entreprise.

Les techniques d'accès utilisées pour ces réseaux sont 2 techniques : accès multiple par répartition temporelle TDMA et Accès multiple par répartition en fréquence FDMA.

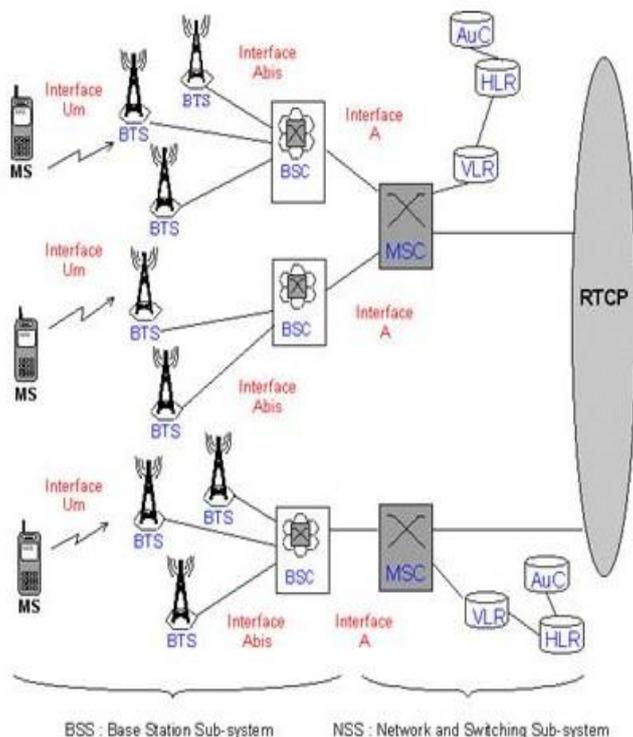


Figure 1.1 : Architecture des réseaux GSM.

### 1.3.2 Architecture des réseaux 3G

Le réseau d'accès 3G s'appelle UTRAN (Universal terrestrial Radio Access Network). Il est composé de nodeB et de RNC (Radio Network Controller). Le nodeB équivaut à la BTS du réseau d'accès 2G. RNC contrôle le nodeB, C'est l'équivalent du BSC du réseau d'accès 2G.

Le réseau cœur se compose de 2 zones :

- **Le domaine circuit :** se compose de commutateurs vocaux, il a évolué dans une structure mobile NGN appelée R4.
- **Le domaine de l'emballage :** appelé GPRS (General Packet Radio Service). Le réseau GPRS est composé d'interrupteurs d'emballage et sert à transférer des paquets d'accès de 3G à Internet et à l'intranet d'entreprise.

La technique d'accès pour les réseaux 3G est le multiplexage par code à large bande W-CDMA.

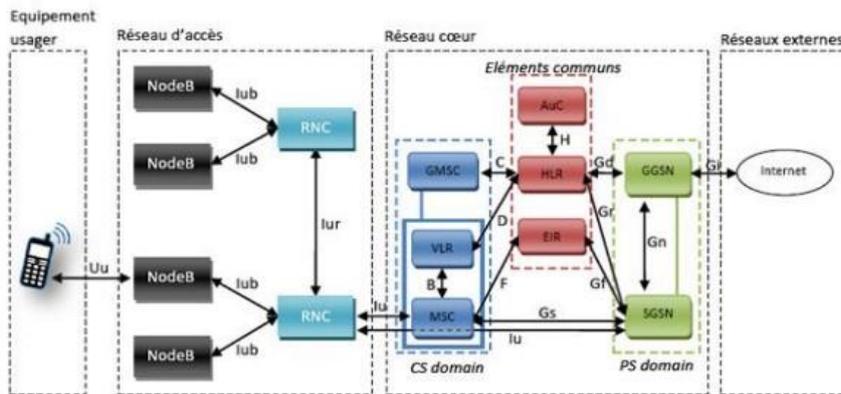


Figure 1.2 : Architecture des réseaux 3G

### 1.3.3 Architecture des réseaux 4G

Le réseau d'accès 4G est appelé LTE (développement à long terme de 3G). Il ne contient qu'un seul type d'entité, l'ENDEOB qui est fonctionnellement une combinaison équivalente à Nodeb et RNC. De plus, certains fournisseurs (par exemple : NSN) offrent les fonctions combinées Nodeb/RNC sur le même équipement pour la mise en œuvre du réseau d'accès 3G.

Le 4G montre un nouveau réseau cœur pour les services de données et de conversation appelés EPC (Evolved Package Core). C'est Parfois appelé SAE (Evolution de l'architecture système). Les services de conversationnel (téléphonie) seront proposés par la plate-forme de service de l'opérateur IMS (sous-système IP multimédia) contrairement à ce qu'un réseau cœur dédié est présent pour fournir ces services.

La technique d'accès utilisé est accès multiple par division de fréquence orthogonal OFDMA.

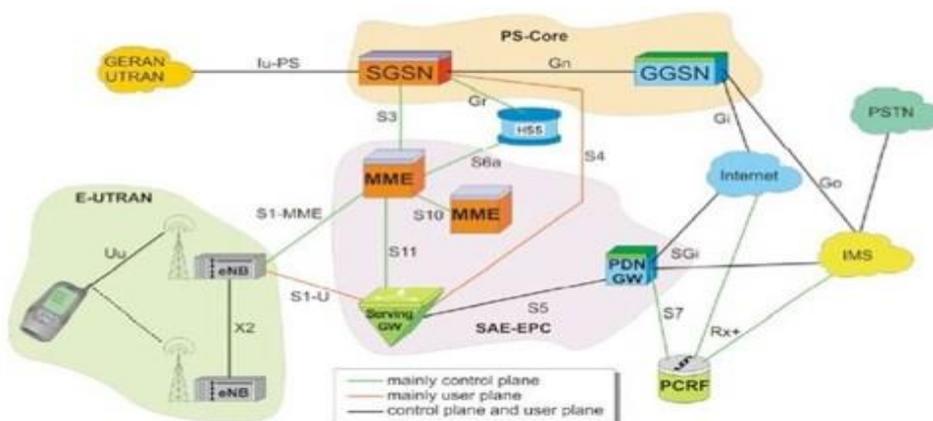


Figure 1.3 : Architecture des réseaux 4G.

### 1.3.4 Architecture des réseaux 5G

La 5G utilise une architecture plus intelligente, avec des réseaux d'accès sans fil RAN qui ne sont plus soumis aux contraintes de proximité avec la station de base ou d'infrastructure complexe. Le nouveau cœur 5G, tel que défini par la norme 3GPP, utilise une architecture des services (SBA) qui couvre toutes les fonctions et interactions de la 5G, y compris l'authentification, la sécurité, la gestion de sessions et l'agrégation du trafic en provenance des appareils terminaux. Le cœur 5G fait de la NFV (Network function virtualization) un élément conceptuel encore plus fondamental, avec des fonctions logicielles virtuelles pouvant être déployées en utilisant l'infrastructure MEC essentielle aux principes architecturaux de la 5G [2].

La technique d'accès utilisée pour les réseaux 5G est la technique d'accès multiple non orthogonale NOMA.

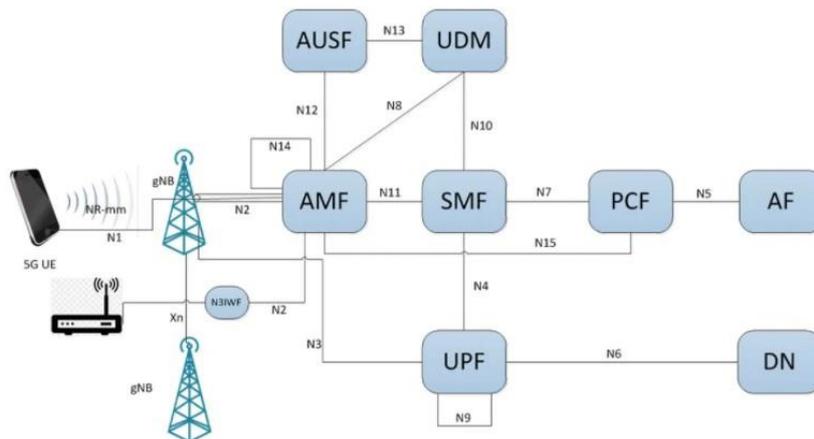


Figure 1.4 : Architecture des réseaux 5G.

## 1.4 Evolution des réseaux cellulaires

### 1.4.1 Le réseau 1G

La bande passante allouée à cette génération est 900 MHz. Ce réseau est basé sur un système de communication mobile analogique. Cette technologie était bénéficiée de deux inventions des techniques majeures : le micro-processeur et le transport numérique des données entre les téléphones mobiles et la station de base [3].

Cette génération est basée sur les standards suivants :

- AMPS : est un réseau analogique basé sur la technologie FDMA (Accès multiple par répartition en fréquence).

- TACS : Il utilise la technologie AMPS avec une bande de fréquence de 900 MHz et utilisé en Angleterre et ensuite en Asie.
- ETACS : C'est une amélioration du standard TACS développée par le royaume uni, qui utilisait un nombre plus important de canaux de communications.

## 1.4.2 Le réseau 2G

### 1.4.2.1 Le réseau GSM

Dans la technologie GSM, on a deux bandes de fréquences attribuées aux opérateurs : 900 MHz et 1800 MHz [4]. Le débit de cette génération est autour de 9,6 Kbps.

Pour les services offerts par ce réseau on cite :

- ✓ La téléphonie classique (émission et réception des appels)
- ✓ La transmission des données avec un débit de 9,6 Kbps.
- ✓ Les services supplémentaires comme le renvoi d'appel et la messagerie vocale.

### 1.4.2.2 Le réseau GPRS

Il est considéré comme évolution des réseaux GSM avant de passer aux systèmes de 3<sup>ème</sup> génération. Il transfère les données avec des débits théoriques de 114 Kbps plus proche de 40 Kbps dans la réalité. Il apporte les premières fonctionnalités à la mise en place de service de types data en mode paquets.

### 1.4.2.3 Le réseau EDGE

Une technologie de la deuxième génération qui est entre le GPRS et UMTS. Elle est développée pour la première fois par Ericsson puis par l'ETSI (Européen télécommunications Standards Institute). EDGE utilise une technologie en mode paquets comme le GPRS à fin d'offrir des débits de 384 Kbps pour un utilisateur immobile [3].

## 1.4.3 Le réseau 3G

Pour la 3G ou UMTS, la première bande de fréquence utilisée est 2100 MHz. Après les opérateurs sont autorisés pour utiliser la bande de fréquence de 900 MHz [4]. Le débit pour la 3G peut aller jusqu'à 300 Mbps.

Les services offerts par cette génération :

- ✓ La visiophonie qui s'agit d'un service mettant en œuvre une communication voix et vidéo entre 2 personnes.
- ✓ Permettre le transfert de données et de voix à haut débit simultanément.

### 1.4.3.1 Le réseau High Speed Downlink Packet Access (HSDPA / 3.5 G / 3G+)

Evolution logicielle du 3G qui sert pour les communications sans fils en réseaux téléphones mobiles. Pour le téléchargement on a un débit théorique maximal de 14,4 Mbps et 5,8 Mbps pour l'autre sens.

### 1.4.3.2 High Speed Uplink Packet Access (HSUPA /3.75G/ 3G++)

Un complément de HSDPA pour la voie montante. Il a un débit montant de 5,8 Mbps en théorie et 14 Mbps dans le sens descendant comme le HSDPA.

Elle se décompose en deux types :

- **HSPA+ (High Speed Packet Access +)** : le débit montant (Uplink) vers les 5 Mb/s théorique, le flux descendant (Downlink) étant de 21 Mb/s.
- **DC-HSPA+ (Dual Carrier Higt Speed Packet Access +)** : le débit montant (Uplink) vers les 10 Mb/s théorique, le flux descendant (Downlink) étant de 42 Mb/s.

Cette technologie permet de offrir la possibilité d'emmètrer vers d'autres mobiles toutes sortes de documents électroniques.

### 1.4.4 Le réseau 4G

Pour cette technologie, deux nouvelles bandes de fréquences ont été ajoutées : 2600 MHz et 800 MHz [4].

Le débit en théorie peut aller jusqu'à 150 Mbps. La spécificité de la 4G par rapport aux réseaux cellulaires précédents est le passage à une structure IP (Internet Protocol) et ça pour transporter des communications vocales et des SMS sous forme de paquets de données. Cette technologie permet la coexistence de plusieurs réseaux d'accès et de se connecter à un réseau hétérogène qui se compose de plusieurs réseaux d'accès, la sélection de réseau est une opération un peu difficile pour les utilisateurs mobiles parce que les conditions de chaque réseau d'accès changent rapidement. La LTE offre plusieurs services : la visiophonie, musique, lecture des vidéos en streaming.

### 1.4.5 Le réseau 5G

Le réseau 5G a une bande de fréquence qui est généralement de 3,5 GHz et elle est aussi la bande de cœur de la 5G. Il peut avoir des bandes de 700 MHz et de 2,1GHz, même la bande de 26 GHz est également attribuée à la 5G. Pour une meilleure couverture mobile la bande de 700 MHz est utilisée. Et la bande de 26 GHz offrira des meilleurs débits. En fin, la bande des 3,5 GHz et celle des 2,1 GHz sont celles qui offrent le meilleur compromis entre débit et portée

du signal [5]. Ce réseau proposera une vitesse 100 fois plus rapides que la 4G qui peut atteindre 100 Gbps avec une faible latence.

### 1.4.6 Les drones

Les drones sont des véhicules sans pilote. Ils utilisent la transmission sans fil/ cellulaire pour l'échange de l'information avec leur opérateur de sol. Une liaison de données, de commande et de contrôle fiable entre l'opérateur et le drone en vol est nécessaire pour le fonctionnement en toute sécurité [6].

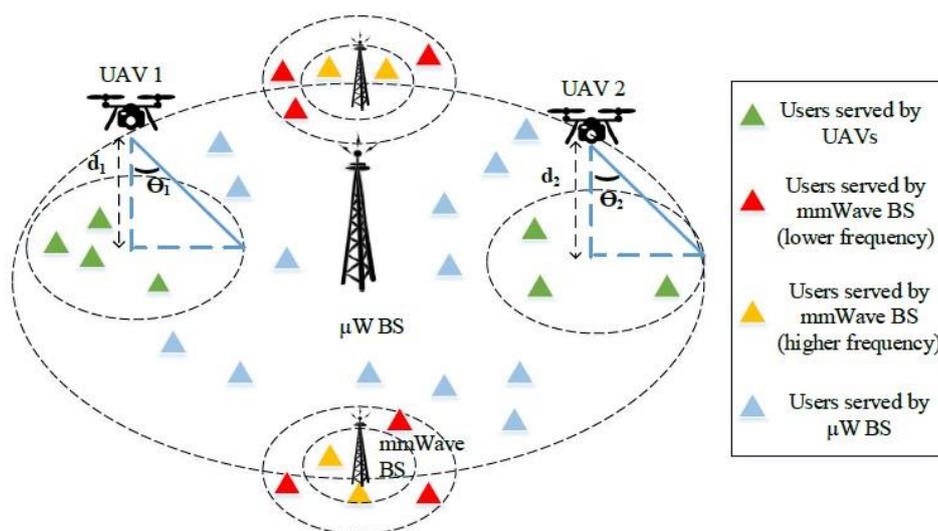


Figure 1.5 : Modèle de système de l'infrastructure cellulaire 5G assistée par drones.

## 1.5 Techniques d'accès et concept MIMO

### 1.5.1 Méthodes d'accès radio

Les deux méthodes utilisées pour permettre la séparation de la transmission UL (UP-Link) et DL (Down-Link) sont : division duplex par fréquence et division duplex par temps.

#### 1.5.1.1 Division duplex par fréquence

UL et DL utilisent chacune des bandes de fréquences différentes. L'espace entre ces deux bandes de fréquences est appelé distance duplex. Cette technique permet d'émettre et de recevoir simultanément. Dans la plupart des cas, la bande de fréquences DL est placée à une fréquence plus élevée que la bande de fréquences UL. Cela limite la consommation des appareils mobiles. Plus la fréquence est élevée, plus la consommation d'énergie est élevée.

### 1.5.1.2 Division duplex par le temps

UL et DL partagent la même bande de fréquences en divisant la bande de fréquences en tranches de temps et trames. Chaque trame contient un nombre spécifique de  $n$  tranches de temps. Certains sont réservés à la transmission UL, et les autres sont réservés à la transmission DL. La durée de la trame détermine la répétition cyclique de la transmission UL / DL correspondante, et ces transmissions se produisent presque simultanément. La durée d'une trame est généralement de l'ordre d'un certain nombre de milli secondes.

### 1.5.2 Les techniques d'accès

#### ➤ FDMA

La division de fréquence FDMA est la première méthode utilisée dans les systèmes analogiques. Un tel procédé divise la bande de fréquence en plusieurs sous bandes. Chaque canal est attribué à un utilisateur à la fois. La méthode d'attribution de canal est basée sur une règle du premier arrivé, premier servi. Cette technique est principalement appliquée aux signaux analogiques. Les avantages de cette méthode sont :

- ✓ Faible complexité de terminal mobile.
- ✓ Transmission et synchronisation continue possible.

Et pour les inconvénients :

- ✓ Coûts d'éléments fixes élevés : plus d'équipements au niveau de station de base.
- ✓ Nécessite d'un duplexeur.

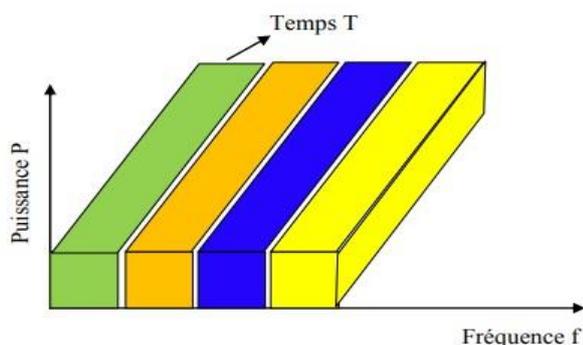


Figure 1.6 : FDMA.

#### ➤ TDMA

Accès multiple par répartition temporelle (TDMA) permet de diviser chacun des porteurs utilisés dans l'intervalle de temps appelé " Time slot". La durée élémentaire d'un Time slot est environ 0,577 ms. Chaque slot permet de transmettre un certain nombre de bits que l'on appelle « burst ». L'accès TDMA permet aux différents utilisateurs de partager une bande de fréquence

donnée [7]. Sur une même porteuse, les slots sont regroupés par paquets de 8. La durée d'une trame TDMA est donc :

$$T_{\text{TDMA}} = 8 \times T_{\text{slot}} = 4,615 \text{ ms.}$$

Avantages de cette méthode :

- ✓ Coût réduit de la station de base.
- ✓ Souplesse de modification sur les débits transmis.

Et ces inconvénients sont :

- ✓ Complexité au niveau de mobile : traitement numérique plus complexe.
- ✓ Ajout des bits de signalisation et de synchronisation.

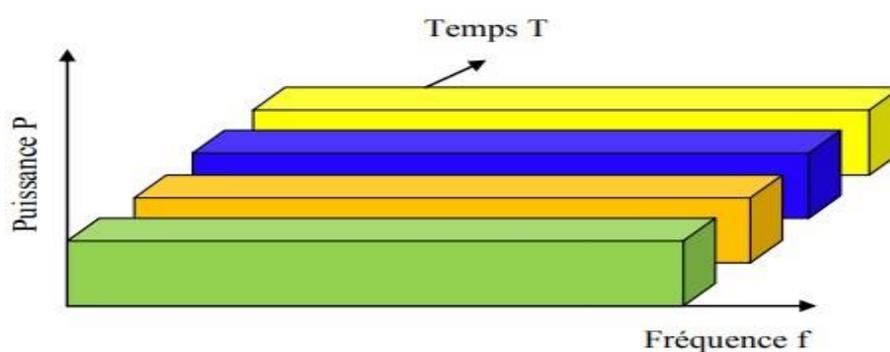


Figure 1.7 : TDMA.

### ➤ CDMA

Une technologie de transmission numérique permet la transmission de plusieurs flux simultanés par répartition de code, où chaque utilisateur a un code ou une séquence unique dans une cellule, la fréquence et la puissance utilisées peuvent être déterminées. Ces technologies redistribuent et étendent le signal sur une très large bande passante jusqu'à ce que le signal ne soit plus visible. Idéalement, le signal est optimal pour les autres utilisateurs avec la même bande passante. L'expéditeur associe les informations d'origine au code. Ensuite, les informations codées sont envoyées via l'interface radio. Les informations originales sont reproduites de manière synchrone dans le récepteur en utilisant le même code. En isolant tout le matériel des autres utilisateurs, le signal de l'utilisateur peut être extrait.

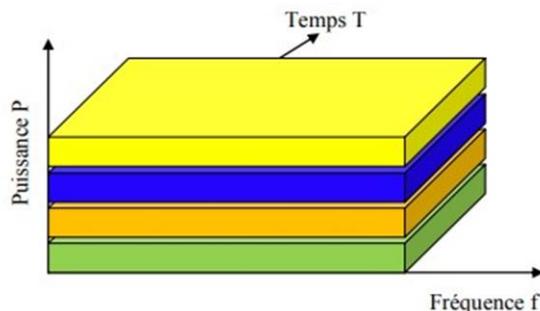


Figure 1.8 : CDMA.

### 1.5.3 Le concept MIMO

La technologie des entrées multiples et sorties multiples (MIMO) est une technique de multiplexage utilisée dans les réseaux sans fil. Elle permet le transfert de données à plus longue portée et un débit plus élevé par rapport à des antennes utilisant la technique SISO. MIMO utilise plusieurs antennes au niveau de l'émetteur par rapport au récepteur. Le nombre d'antennes varie dans l'émetteur de 2 à 8 antennes et pour le récepteur de 2 à 4 antennes. Cette technique améliore le rapport signal bruit.

Les systèmes MIMO exploitent les techniques de :

- ✓ Diversité d'espace : Diversité d'antenne.
  - ✓ Diversité fréquentielle : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes.
  - ✓ Diversité temporelle : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps.
- Cohérence du canal.

La technologie MIMO est utilisée dans les normes : wifi (IEEE802.11n et IEEE802.11ac), WIMAX (IEEE802.16e), LTE, LTE Advanced et 5G.

Dans les systèmes MIMO, un émetteur envoie plusieurs courants par plusieurs antennes d'émission. Les flux d'émission traversent un canal matriciel constitué de toutes les voies N émission N réception entre les antennes d'émission N émission de l'émetteur et les antennes de réception N réception. Ensuite, le récepteur reçoit les vecteurs de signal reçus par les multiples antennes de réception et décode les vecteurs de signaux reçus dans les informations d'origine. Un système de décomposition à bande étroite est modélisé comme suit :

$$y = Hx + n \quad (1.3)$$

Où :  $y$  et  $x$  sont les vecteurs de réception et d'émission et  $H$  et  $n$  sont la matrice du canal et le vecteur de bruit, respectivement.

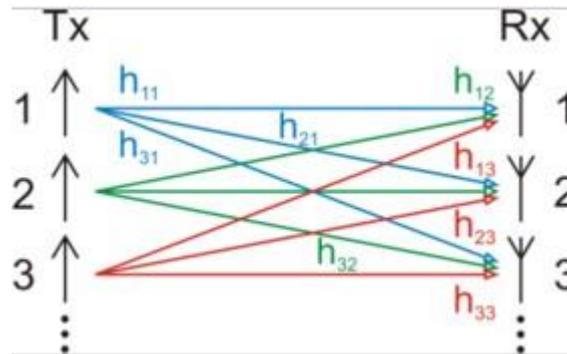


Figure 1.9 : Modèle de canal MIMO.

## 1.6 Les interférences dans les réseaux cellulaires

Une interférence se caractérise par un signal parasite. Deux formes d'interférences se distinguent : les interférences intracellulaires causées par des communications dans la même cellule et les interférences intercellulaires qui sont des signaux provenant de l'extérieur de la cellule.

### 1.6.1 Interférences intracellulaires

Les interférences intracellulaires subissent la communication d'un utilisateur. Dans la voie montante (Uplink), les interférences causées par tous les mobiles de la même cellule doivent être distinguées. Les signaux d'autres utilisateurs sont perçus comme du bruit [8].

Les interférences intracellulaires reçues par un utilisateur dans le sens montant sont données par l'équation suivante :

$$I_{intra,SB}^{UL} = \sum P_{SB \leftarrow UE} \times \beta \times N_{j,g} \quad (1.4)$$

Avec  $P_{SB \leftarrow UE}$  : est la puissance reçue à la station de base à partir d'un utilisateur.

$\beta$  : est le facteur de service  $g$ .

$N_{j,g}$  : représente le nombre d'utilisateur qui utilisent le service  $g$  sur la cellule.

Dans la voie descendante, la station de base peut provoquer des interférences sur l'utilisateur en raison d'une perte partielle d'orthogonalité. À cet effet, un facteur d'orthogonalité est défini pour mesurer l'orthogonalité des signaux au niveau du récepteur [8].

$$I_{intra,UE}^{DL} = (P_{SB,Total} - P_{SB \rightarrow UE}) \times \alpha \times L_{SB \leftarrow UE} \quad (1.5)$$

$P_{SB, Total}$  : est la puissance totale transmise par la station de base.

$P_{SB \rightarrow UE}$  : est la puissance transmise par la station de base à l'utilisateur dans laquelle l'interférence est calculée.

$L_{SB \leftarrow UE}$  : est la perte de propagation entre la SB et le UE.

$\alpha$  : est le facteur d'orthogonalité qui peut prendre des valeurs entre 0 (pour les codes orthogonaux complets) et 1 (absence d'orthogonalité).

### 1.6.2 Interférences intercellulaires

L'interférence causé par l'utilisation de la même fréquence dans les cellules voisines est appelée interférence intercellulaire et ça quand le signal de stations de bases voisines fuit dans le signal souhaite. En fait, un utilisateur couvert par une station de base est interféré avec les propagations de signal de toutes les autres stations de base adjacentes [9].

Le modèle de calcul utilisé dans le sens descendant pour un mobile utilisant un service g est :

$$I_{inter,UE}^{DL} = \sum_{SB=2}^N P_{SB,Totale} \times \alpha \times r_{SB}^{-\gamma} \times 10^{\frac{\Delta L_{SB}}{10}} \quad (1.6)$$

$P_{SB,Totale}$  : est la puissance totale transmise des SB et ça avec un gain d'antenne.

N : est le nombre de stations de bases interférentes.

$r_{SB}^{-\gamma}$  : est la perte de chemin.

$\gamma$  : représente la distance entre la SB interférente et le mobile.

Le facteur  $\alpha$  a été introduit en raison du manque de facteur d'orthogonalité.

Pour le sens montant on a l'équation suivante :

$$I_{inter,SB}^{UL} = \sum \frac{P_{UE}}{Aff(SB_2, UE_j)} \quad (1.7)$$

$P_{UE}$  : est la puissance d'émission d'un utilisateur attaché à la SB<sub>2</sub>.

$Aff(SB_2, UE_j)$  : est l'affaiblissement du signal entre SB<sub>2</sub> et l'utilisateur d'indice j.

## 1.7 La mobilité et problème de propagation

### 1.7.1 La mobilité

L'utilisateur du réseau sans fil a la possibilité de se déplacer sur le réseau. Vous pouvez accéder aux services offerts par le réseau depuis n'importe où et à tout moment. Cela nécessite, d'une part, les mécanismes de l'emplacement de l'utilisateur et, d'autre part, une assurance de la continuité des communications pendant le handover.

#### 1.7.1.1 Le handover

Il est la commutation d'un appel en cours vers un autre canal ou une autre cellule, elle se fait d'une manière transparente pour l'utilisateur et il Ya pas de risque de coupure de communication. On a 4 types des handovers où les changements peuvent se faire entre :

- ✓ Canaux d'une même cellule.

- ✓ Cellules (BTS) sous le contrôle d'un même BSC.
- ✓ Cellules sous le contrôle de différents BSC, mais qui appartiennent au même MSC.
- ✓ Cellules sous le contrôle de différents MSC.

Les deux premiers sont appelés handovers internes ou intracellulaires qui impliquent qu'un BSC pour le but de gagner de la bande passante, ils ne sont mis en place que par le BSC en question sans impliquer le MSC. Ces types de commutation seront effectués lorsque le niveau du signal est suffisant mais que la qualité est médiocre.

Les deux derniers types sont appelés handovers externes ou intercellulaires et sont gérés par le MSC. Sous le contrôle de différents BSC appartenant au même MSC, si la cellule change, elle est appelée MSC d'origine ("Anchor MSC"). Si le changement entraîne un changement de MSC, il est appelé relais MSC. Ce dernier est toujours responsable des principales fonctions, à l'exception du transfert. Lorsque le niveau du signal devient insuffisant, ces types de commutation sont exécutés. Ensuite, la communication doit être commutée sur Cellules adjacentes. Le réseau peut également déclencher un transfert intercellulaire pour atténuer la BTS surchargée.

### 1.7.2 Problème de propagation dans les réseaux cellulaires

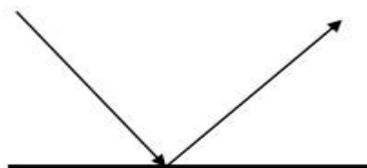
Avant d'atteindre le récepteur en traversant l'interface air, du fait de la complexité de l'environnement de propagation, les ondes électromagnétiques émises par l'émetteur subiront plusieurs dégradations dues aux phénomènes et mécanismes de propagation. L'amplitude, la fréquence et la phase du signal transmis sont affectées par des distorsions qui provoquent une détérioration du signal, ce qui complique le fonctionnement du récepteur. Ceci nécessite la prise en compte de ces mécanismes lors de tout calcul ou prédiction sur le lien radio.

#### 1.7.2.1 Les mécanismes de propagation

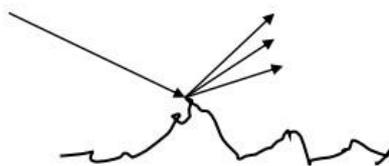
- **La réflexion**

Elle se produit lorsque l'onde électromagnétique rencontre des parois lisses et importantes par rapports à sa longueur d'onde, alors l'onde sera réfléchi.

Comme le montre la figure suivante, il existe deux types de réflexion :



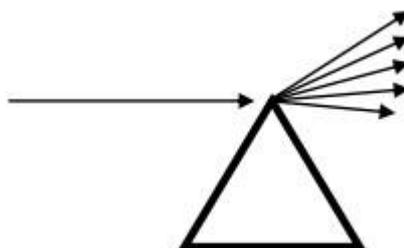
**Figure 1.10** : Réflexion spéculaire.



**Figure 1.11 :** Réflexion diffuse.

- **La diffraction**

La diffraction intervient dès que les dimensions de l'obstacle ne sont plus infiniment grandes devant la longueur d'onde. De ce fait l'onde change de trajet à cause d'un pique comme celui de bord ou les toits des bâtiments.



**Figure 1.12 :** La diffraction.

- **La réfraction**

Le changement progressif de l'indice de réfraction du milieu de propagation provoque une courbure de la trajectoire suivie par l'onde électromagnétique. [10]

- **L'atténuation**

Il Inclut tout phénomène qui se traduit par un changement de la puissance du signal en fonction de temps et de la distance.

## 1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous venons d'apprendre les principes du concept cellulaire et la généralité des réseaux cellulaires. Nous avons défini ses différents principes et concepts, sa composition, ses caractéristiques et fonctions, ainsi que la technologie d'accès utilisée en parlant sur le concept MIMO, et détaillé les interférences subies par le réseau cellulaire lors de la transmission des données et comment compléter la mobilité de l'utilisateur. Dans le réseau, nous avons également discuté de la question de la propagation et de son impact.

***Chapitre 2 :***  
***Planification d'un réseau***  
***cellulaire 5 G assisté par drones***

## 2.1 Introduction

Dans un réseau cellulaire la planification est un processus majeur et une partie essentielle du déploiement de réseau. L'utilisation des drones dans les communications cellulaires suscite un vif intérêt, tant de la part du monde universitaire que des organisations de réseaux mobiles. La modernisation et les nouveautés en matière de recherche et de technologie des drones ont permis d'ouvrir des nouvelles perspectives pour les communications cellulaires.

## 2.2 Planification du réseau

La planification d'un réseau cellulaire est un processus très délicat dont le résultat conditionne le succès de l'opérateur. En effet, un opérateur doit se focaliser sur la planification avant la mise en œuvre de son réseau afin d'assurer un coût minimal des liaisons radio et de l'infrastructure du réseau, et ce en tenant compte de la couverture radio et de la taille des cellules sous réserve de contraintes de la QoS (Quality of Service),

Le but de cette étape est de prévoir un système convenablement optimisé, qui offre une communication de bonne qualité (taux de coupure, rapport signal sur bruit...) et a une grande capacité.

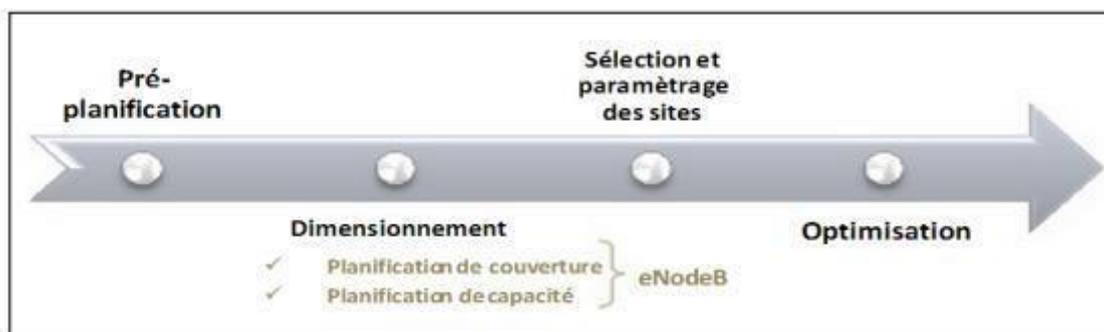


Figure 2.1 : Processus de planification radio [11].

### 2.2.1 Planification de couverture

L'analyse de la couverture reste fondamentalement l'étape la plus critique dans la conception d'un réseau. Il est nécessaire de choisir un modèle de propagation approprié. Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de sites. Cette estimation est basée sur les exigences de couverture et doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité. [8]

La couverture d'une station de base possède des limites, le problème de couverture apparaît lorsque les ondes émises par le mobile n'arrivent pas à la station de base la plus proche, ou bien

lorsque celles émises par l'antenne des BTS n'arrivent pas avec une puissance suffisamment détectable par la station mobile.

### 2.2.1.1 Bilan de liaison RLB

Le RLB (Radio Link budget) donne la perte de trajet maximale autorisée, et à partir de laquelle la taille des cellules est calculée en utilisant un modèle de propagation approprié.

L'équation du bilan de liaison montant est [10] :

$$L_{PMAX} = P_{UE} - S_{UL} - B_{PC} - B_{IUL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CPL} - L_{BPL} + G_a - L_J \quad (2.1)$$

Tous les paramètres impliqués dans cette équation, sont définis ci-après :

**L<sub>PMAX</sub>** : La perte maximale de trajet

**P<sub>UE</sub>** : La puissance maximale de sortie de l'UE [dB] ;

**B<sub>PC</sub>** : La marge de contrôle de puissance [dB];

**B<sub>IUL</sub>** : La marge fading (évanouissement) ;

**B<sub>LNF</sub>** : La marge d'interférence ;

**L<sub>BL</sub>** : Les pertes dues aux corps;

**L<sub>CPL</sub>** : Les pertes dues aux voitures;

**L<sub>BPL</sub>** : Les pertes de pénétration des immeubles ;

**G<sub>a</sub>** : La somme des gains des NODE-b et gains d'antennes ;

**L<sub>f</sub>** : Les pertes feeders (marge des lignes d'alimentation) ;

**L<sub>J</sub>** : Les pertes des jumpers (les jumpers est un composant électronique qui permet de relier deux broches et ainsi faire circulaire le courant entre eux) ;

**E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub>** : E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> requis ;

**N<sub>t</sub>** : La densité de bruit thermique (-174dbm/Hz) ;

**N<sub>f</sub>** : La figure de bruit ;

**R<sub>info</sub>** : Le débit d'informations ;

**S<sub>UL</sub>** =  $Nt \times N_f + 10 \log(R_{info}) + \frac{E_b}{N_0} + L_f$  La sensibilité du système en UL;

**α<sub>UL</sub>** : Le facteur de non-orthogonalité ;

**P<sub>TX,ref</sub>** : La puissance transmise sur les canaux dédiés ;

L'équation du bilan de liaison descendant est :

$$L_{PMAX} = P_{TX,ref} - S_{DL} - B_{PC} - B_{IUL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CPL} - L_{BPL} + G_a + L_J \quad (2.2)$$

La différence entre le bilan de liaison montant et descendant résulte dans la marge d'interférence, ainsi de la marge d'interférence est :

$$B_{IUL} = 1 + k \times \frac{\bar{p}_{tot,ref}}{L_{sa}} \quad (2.3)$$

Avec :

$$K = \frac{\alpha + \bar{F}_c \times \Psi_{DL}}{N} \quad (2.4)$$

$\bar{p}_{tot,ref}$  : La puissance de sortie moyenne totale dans le système ;

$L_{sa}$  : L'atténuation de signal à partir du point de référence du système à un usager à la frontière de cellule.

$\Psi_{DL}$  : Le rapport de puissance des cellules voisines par rapport à la même cellule ;

$\bar{F}_c$  : Le rapport moyen entre l'interférence intercellulaire et intra cellule reçue à la frontière de la cellule.

$N$  : Le bruit thermique par bloc de ressources dans la liaison descendante,

### 2.2.1.2 Choix du modèle de propagation

Un modèle de propagation permet de simuler le canal de propagation entre un émetteur et un récepteur. Le modèle de propagation permet d'estimer la valeur de l'atténuation de trajet.

Cette formule dépend de plusieurs facteurs, à savoir :

- ✓ La fréquence de l'onde ;
- ✓ La distance parcourue par l'onde ;
- ✓ Les hauteurs des antennes de l'émission et de la réception ;
- ✓ Type de terrain (morphologie) ;
- ✓ Cluster (caractéristiques et densité des bâtiments) ;

On distingue plusieurs types de modèles :

- Modèles empiriques
- Modèles semi-empiriques
- Modèles physiques

### 2.2.1.3 Modèles empiriques

L'élaboration de ces modèles repose sur la collecte de données concernant des mesures et des formules mathématiques pour permettre prédire l'impact ainsi que la valeur moyenne d'affaiblissement d'un émetteur sur une certaine zone de réception. Les modèles empiriques sont l'avantage d'être simple et de faiblement dépendre des caractéristiques d'un site. C'est

Pourquoi ils sont couramment employés pour les communications cellulaires pour une première estimation de la perte de propagation. On distingue plusieurs types du modèle empirique :

- **Le modèle Okumura-Hata :**

C'est le modèle le plus utilisé. Il tient compte de la fréquence, de la radiosité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile.

Il prend en considération également la nature de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation (Urbain, Suburbain ou Rural).

Le modèle de **Hata** a été adapté pour les limites suivantes :

- ✓ Fréquence : 150 à 1000 MHz ;
- ✓ Hauteur de la station de base ( $H_b$ ) : 10 à 200 m ;
- ✓ Hauteur du terminal mobile ( $H_m$ ) : 1 à 10 m ;
- ✓ Distance ( $d$ ) : 1 à 20 km ;

Pour notre étude on utilise le modèle d'Okumura-Hata :

$$L_{PMAX} = A - 13.8 \times 2\log(h_b) - (\alpha h_m) + 44.9 - 6.55\log(h_b) \quad (2.5)$$

Avec:

**A** : La valeur d'atténuation fixe dépendant de la fréquence ;

$h_b$  : La hauteur de la station de base.

$L_{PMAX}$ : La perte de trajet ;

#### 2.2.1.4 Rayon des cellules

La perte de trajet maximum autorisée permet le calcul du rayon **R** de la cellule en utilisant l'équation suivante :

$$R = 10^\Omega$$

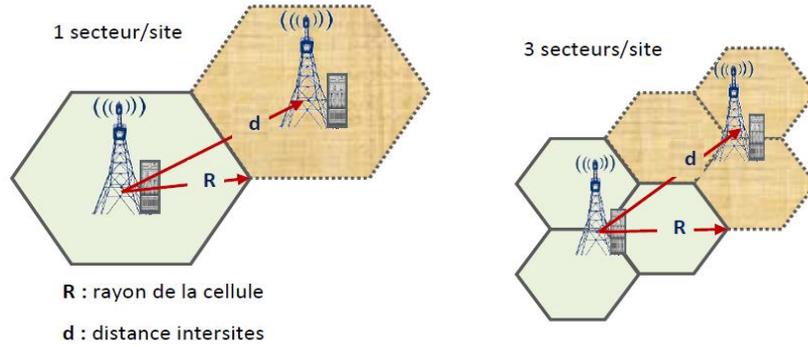
Où :

$$\Omega = \frac{L_{PMAX} - A + 13.8 \times 2\log(h_b) + (\alpha h_m)}{44.9 - 6.55\log(h_b)} \quad (2.6)$$

#### 2.2.1.5 Le nombre de sites

Le nombre de sites est facilement calculé à partir de la superficie du site et le type de zone de déploiement.

La figure ci-dessous exprime la configuration des secteurs :



**Figure 2.2** : Méthode de calcul de la zone [12].

Pour un site omnidirectionnel :

$$d = R \times \sqrt{3} \quad (2.7)$$

La superficie :

$$S_{S1} = 3\sqrt{3} \times \frac{R^2}{2} = 2.6 \times R^2 \quad (2.8)$$

Pour un site a 3 secteurs :

$$d = \frac{3}{2} \times R \quad (2.9)$$

La superficie :

$$S_{S3} = \frac{3 \cdot R^2 \cdot \sqrt{3}}{8} = 1.95 \times 2.6 \times R^2 \quad (2.10)$$

Le calcul de nombre de sites  $N_s$  :

$$N_s = \frac{S_z}{S_s} \quad (2.11)$$

$S_z$  : surface totale de la zone.

Le résultat final obtenu est la taille de la cellule à couvrir, ce qui donne une estimation sur le nombre total de site. Cette estimation basée sur les exigences de couverture doit être vérifiée aussi par les besoins de capacité

### 2.2.2 Planification de capacité

La planification de capacité permet de trouver la capacité maximale qui peut être supportée par une cellule. Son objectif est de déterminer le nombre de sites nécessaires pour satisfaire les trafics des abonnés dans une zone donnée. La capacité théorique du réseau est limitée par le

nombre d'eNodeBs installés dans le réseau. Elle dépend de plusieurs facteurs tels que le type de la zone, le service, le nombre d'abonnés, les interférences.

Le nombre maximal d'utilisateurs simultanés dans la liaison descendante est donné par l'équation suivante :

$$M_{pole} = \frac{1+\alpha\gamma}{(\gamma(\alpha+F\psi_{DL}))} \times (1 - \eta_{SHO}) \quad (2.12)$$

$\eta_{SHO}$  : modèles des effets de soft handover.

Le nombre permis d'utilisateurs simultanés par cellule sur une liaison descendante est décrit par l'équation :

$$M = Q \times M_{pole} \quad (2.13)$$

Où Q est la charge de la cellule de liaison montante.

La barre de capacité ne peut pas être atteinte dans la réalité parce qu'elle implique une interférence infinie et donc un rayon de couverture nul. C'est ici qu'intervient la notion de charge sur la liaison montante qui représente le rapport du nombre maximal d'utilisateurs

Réellement permis à la barre de capacité pour tous les services.

$$\eta = \frac{M}{M_{barre}} \quad (2.14)$$

### 2.2.2.1 Demande de trafic

La demande du trafic désigne le nombre d'utilisateurs qui peuvent se connecter à une station de base. Il est donné en fonction TRx. L'estimation de trafic dans le réseau est donnée en termes d'Erlang. Cependant, en fonction de la capacité de transfert de charge maximale par un émetteur une station de base peut gérer jusqu'à 43 Erlang. Cette contrainte devrait permettre à un PT (point de test) de s'attacher à une autre SB en fonction de la valeur Sq (Seuil de qualité). Normalement, un appareil mobile avec des signaux de réception au-dessus de Sq ne doit pas sélectionner que le signal le plus fort. En raison de cette contrainte, un point de test sera autorisé à se connecter à n'importe quelle station de base si  $FS_{PT}^{SB} > S_q$ . Par cette analogie, SB calcule la capacité de trafic Maximale après avoir analysé les PTs en fonction du signal le plus fort. Le nombre minimum de Station de base peut être calculée en utilisant l'équation qui satisfait la demande de trafic [8].

$$\min_{antenna} = \frac{\sum Demande\ de\ trafic(PT_s)}{43} \quad (2.15)$$

## 2.3 Emplacement des stations de base

Le placement des stations de base est une tâche importante et difficile dans la planification de réseau mobile cellulaire et a été approché par plusieurs chercheurs utilisant les différents types de modèle de planification de réseau. Le problème des positions de station de base implique la localisation et la configuration d'une infrastructure pour les réseaux sans fil cellulaires. À partir des emplacements des sites candidat, un ensemble doit être sélectionné par rapport aux objectifs liés à des problèmes tels que le cout financier et la fourniture de services [8].

## 2.4 Réseaux de 5 générations

La 5G est la cinquième génération des standards pour la téléphonie mobile. Elle succède à la quatrième génération, appelée 4G, et prolonge l'exploitation technologique LTE.

### 2.4.1 Architecture des réseaux 5G-UAV

Les véhicules aériens sans pilote, en abrégé UAV, principalement contrôlés et gérés à distance ou via des programmes informatiques autonomes intégrés. Il s'agit d'un nouveau paradigme issu de la robotique aérienne avec un énorme potentiel pour permettre de nouvelles applications dans divers domaines et opportunités commerciales.

Les drones ou des stations de base de l'air sont décisives pour répondre aux exigences de communication pour les réseaux cellulaires 5G. Par exemple, les applications de radiodiffusion sans fil typiques comprennent une collection d'informations satellites, une émission vidéo continue et la radiodiffusion vidéo. Plusieurs projets industriels ont déjà été lancés, par exemple : Facebook Aquila, le projet Cell-Wing-Wheels et Wings (Cow-W), des projets Google tels que Skyberder, conçu pour les services Internet. Les principaux avantages de la technologie des Drones sont :

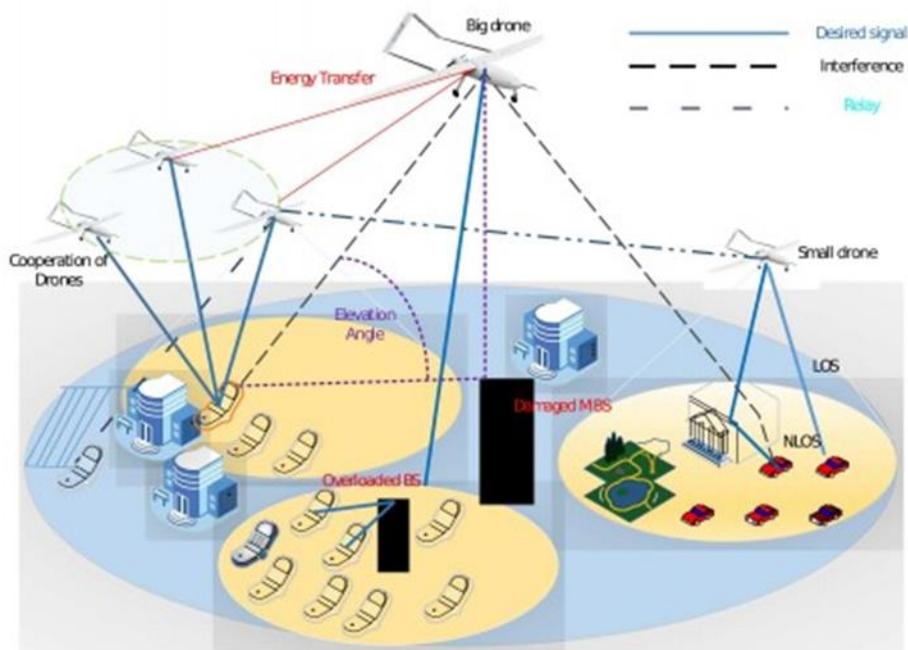
- ✓ Les drones peuvent travailler dans des environnements dangereux/catastrophiques [13].
- ✓ Couverture à large bande sur une base temporaire, par exemple pour un événement, ou compenser les trous de couverture en cas de catastrophe sur une courte période.
- ✓ Un comportement déterministe, qui améliore la résilience du plan de données, en permettant diverses disjonctions, tout en assurant une faible latence grâce à de meilleures conditions de propagation [14].
- ✓ Les relations avec les drones sont réglables en hauteur pour répondre aux exigences de qualité des services (QoS) en fonction de l'intensité des utilisateurs, du flux de données souhaité, des effets interférents ou des effets de blocs, etc.

- ✓ Les BS par drone peuvent être déployées à n'importe quel endroit sans être limité par les conditions de circulation au sol [15].

Les drones ont le potentiel de remplacer et de compléter les réseaux cellulaires terrestres en desservant les utilisateurs dans des conditions d'ombre ou d'interférence sévères, en desservant des zones surchargées et en réduisant les coûts, en desservant les stations de base terrestres, en desservant les utilisateurs autour des stations de base inactives dans les réseaux ultra-denses, et les utilisateurs dans les zones rurales [13].

Dans certains cas où le nombre d'utilisateurs actifs est très faible par rapport aux BS actives, le déploiement d'un petit nombre de drones peut permettre à une partie importante des BS d'être inactives. Ce qui réduit la consommation d'énergie.

Les drones peuvent être distingués en fonction de leur taille, de leur poids, et de puissance. Les contraintes SWAP ont un impact direct sur l'altitude opérationnelle maximale, les capacités de communication, de couverture, de calcul et d'endurance d'un drone. Par exemple, les plateformes à basse altitude (LAP) ont une faible puissance et une faible capacité tant en termes de charge utile (de quelques dizaines de grammes à 5-7 kilogrammes) et d'autonomie (10 à 40 minutes selon la capacité de la batterie). Malgré les inconvénients susmentionnés, les LAP sont plus rentables et peuvent être déployés rapidement. En outre, les liaisons de communication LoS à courte portée par rapport aux LAP, les plateformes à plus haute altitude (HAPs) offrent une couverture plus large et une plus grande endurance [13]. En tant que telles, les HAPs sont privilégiées pour une couverture sans fil fiable dans de très grandes zones géographiques.



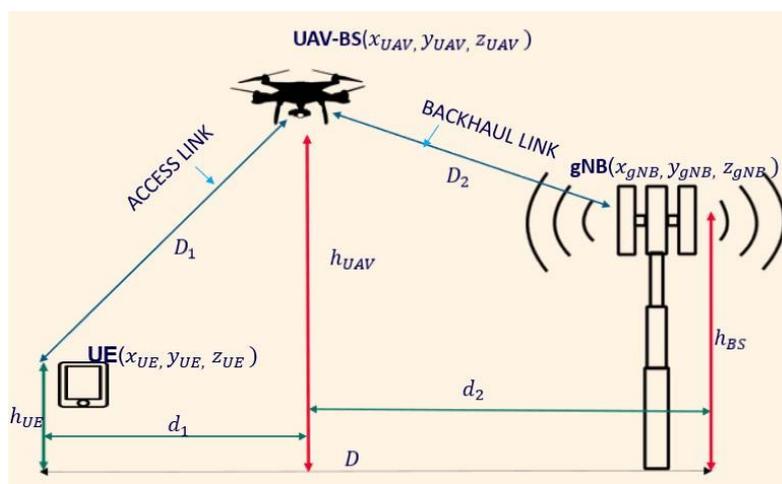
**Figure 2.3 :** Architecture des réseaux 5G-UAV.

### 2.4.2 Modèle de propagation 5G-UAV

La perte de trajet est la diminution de la densité de puissance d'une onde électromagnétique lorsqu'elle se perpétue dans l'espace. Il constitue un aspect essentiel dans la synthèse du bilan de liaison pour un réseau de télécommunication. Les modèles de perte de chemin sont utilisés pour estimer l'intensité du signal reçu en fonction de la distance et pour prévoir le rapport signal/bruit d'un système de communication sans fil. La principale méthode pour établir un modèle est basée sur une campagne de mesures. Divers chercheurs ont effectué des mesures sur le terrain pour l'ébauche de modèles de perte de trajet en ondes millimétriques dans les bandes 28 GHz, 38 GHz, 60GHz et 73 GHz. Les principaux modèles sont les suivants :

- ✓ RPLM (Reference Path Loss Model)
- ✓ MPLM (Modified Path Loss Model)
- ✓ DSPLM (Dual Slope Path Loss Model)
- ✓ PPLS (Parabolic Path Loss Model)
- **Description de l'Architecture de system**

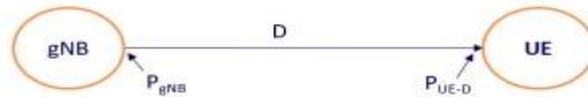
L'architecture du système est décrite à la **Figure 2.4**, dans laquelle UAV (UAV-gNB) communique avec une station de base orthodoxe (gNB). L'UAV fournit une couverture cellulaire à l'UE. Les liaisons de raccordement et d'accès utilisent simultanément les ondes mmWave. L'UAV est déployé comme un relais AF quasi-stationnaire. Dans la technologie de relais AF, le signal radio de gNB est amplifié par l'UAV avec un certain facteur d'amplification  $\beta$ . Le bruit perçu par l'UAV est également amélioré.



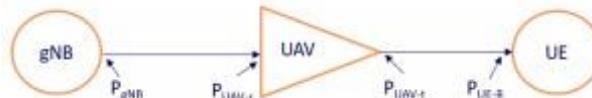
**Figure 2.4 :** L'Architecture de système.

• **CALCUL MATHÉMATIQUE**

La modélisation mathématique est la clé pour comprendre les caractéristiques de propagation des signaux sans fil. Elle est bénéfique pour évaluer les paramètres essentiels à la promotion des dernières technologies de communication sans fil.



**Figure 2.5 :** Communication entre la station de base et l'équipement utilisateur.



**Figure 2.6 :** Communication de la gNB à l'UE en utilisant un nœud relais.

En utilisant RPLM :

- ✓ Trajet direct (gNB-UE) : En utilisant la distance logarithmique PL et en se référant à la **figure 2.4**; La Petre de trajet entre UE et gNB est :

$$PL(D) = PL(d_0) + 10\alpha \log_{10}\left(\frac{D}{d_0}\right) + N(0, \sigma^2) \tag{2.16}$$

Où :

- $PL(D)$  est la perte de trajet entre la gNB et l'UE en dB.
- $d_0$  : est égal à 1m comme distance de référence.
- $PL(d_0)$  est la perte de trajet à la distance de référence.
- $\alpha$  est l'exposant d'affaiblissement du chemin (PLE) dans la liaison gNB-UE.
- $N(0, \sigma^2)$  est la variable aléatoire gaussienne de moyenne nulle.

Pour la liaison gNB-UE (shadowing), peut être lancée comme suit ci-dessous :

$$\omega_\sigma \sim N(0, \sigma^2) \tag{2.17}$$

- $\sigma$  : est la déviation standard.

Puissance reçue par l'UE sur le trajet direct :

$$P_{UE-D} = P_{gNB} - PL(D) \tag{2.18}$$

Chemin de relais (gNB-UAV-UE) : En se référant à la **Figure2.6** utilisant le modèle de perte de trajet de la distance logarithmique, la perte de trajet de la gNB à l'UAV est donné par la formule suivante :

$$PL(D_2) = PL(d_0) + 10\alpha_2 \log\left(\frac{D_2}{d_2}\right) + N(0, \sigma_2^2) \tag{2.19}$$

Où :

- $PL(D_2)$  est la perte de trajet entre la gNB et le drone en dB.
- $d_0$  est égal à 1m comme distance de référence.
- $PL(d_0) = 20 \log_{10}(4\pi d_0 \lambda)$  est la perte de trajet à la distance de référence.
- $\alpha_2$  est l'exposant de perte de trajet de(PLE) pour la liaison gNB-UAV.
- $N(0, \sigma_2^2)$  est la variable aléatoire gaussienne de moyenne nulle pour la liaison gNB-UAV.
- $\sigma_2$  est la déviation standard.

La puissance reçue par le drone est :

$$P_{UAV-r} = P_{gNB} - PL(D_2) \quad (2.20)$$

$$P_{UAV-r} = P_{gNB} - PL(d_0) - 10\alpha_2 \log_{10}\left(\frac{D_2}{d_0}\right) - N(0, \sigma_2^2) \quad (2.21)$$

La puissance transmise par le drone est donnée par :

$$P_{UAV-t} = \beta + P_{gNB} - PL(d_0) - 10\alpha_2 \log_{10}\left(\frac{D_2}{d_0}\right) - N(0, \sigma_2^2) \quad (2.22)$$

De même, la perte de trajet entre le drone et l'UE est donné par :

$$PL(D_1) = PL(d_0) + 10\alpha_1 \log_{10}\left(\frac{D_1}{d_0}\right) - N(0, \sigma_1^2) \quad (2.23)$$

Où :

- $PL(D_1)$  est la perte de trajet entre le drone et l'UE en dB.
- $\alpha_1$  est l'exposant de perte de trajet (PLE) pour la liaison gNB-UE.
- $N(0, \sigma_1^2)$  est la variable aléatoire gaussienne de moyenne nulle pour la liaison gNB-UE (shadowing).
- $\sigma_1$  est la déviation standard.

De même, la puissance reçue par l'UE via la voie de relais est donnée par :

$$P_{UE-R} = P_{UAV-t} - PL(D_1) \quad (2.24)$$

En substituant (2.22) et (2.23) dans (2.24), la puissance reçue de l'UE est donnée par :

$$P_{UE-R} = \beta + P_{gNB} - 2PL(d_0) - 10\alpha_2 \log_{10}\left(\frac{D_2}{d_0}\right) + 10\alpha_1 \log_{10}\left(\frac{D_1}{d_0}\right) - N(0, \sigma_1^2) - N(0, \sigma_2^2) \quad (2.25)$$

En substituant  $PL(d_0)$ , la puissance reçue par l'UE peut être écrite comme suit :

$$P_{UE-R} = \beta + P_{gNB} - 40 \log_{10}\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) - 10\alpha_2 \log_{10}\left(\frac{D_2}{d_0}\right) + 10\alpha_1 \log_{10}\left(\frac{D_1}{d_0}\right) - N(0, \sigma_1^2) - N(0, \sigma_2^2) \quad (2.26)$$

Cependant, si les deux liens utilisent une fréquence différente alors :

$$P_{UE-R} = \beta + P_{gNB} - 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d_0}{\lambda_1} \right) - 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d_0}{\lambda_2} \right) - 10\alpha_2 \log_{10} \left( \frac{D_2}{d_0} \right) - 10\alpha_1 \log_{10} \left( \frac{D_1}{d_0} \right) + N(0, \sigma_1^2) + N(0, \sigma_2^2) \quad (2.27)$$

## 2.5 Emplacement des UAVs

La motivation derrière l'utilisation des drones dans les réseaux futuristes de sécurité publique est qu'avec une planification adéquate, ils seraient en mesure d'assurer la sécurité du public. Futuristes est que, moyennant une planification adéquate, ils pourraient de fournir une connectivité suffisante dans une zone sinistrée en peu de temps. À cet égard, la planification des radiofréquences (RF) permet d'estimer le nombre de drones nécessaires à la couverture, leur altitude optimale et les taux d'utilisation réalisables. Si les drones doivent être déployés dans les villes, il est essentiel de déterminer l'affaiblissement des signaux, compte tenu du paysage urbain d'une région. Cependant, une caractérisation précise du canal peut être coûteuse en calcul et en temps et irait à l'encontre de l'objectif des drones en tant qu'agents de réhabilitation rapide des liens de communication. L'estimation du modèle de perte de chemin a subi plusieurs phases de raffinement dans la littérature pertinente. Les auteurs de [16] ont tenté d'exprimer la probabilité de perte de signal entre un drone et un utilisateur au sol en termes d'angle d'élévation. Cependant, ils n'ont pas réussi à inclure l'analyse de l'ombrage dans le modèle du système. Le travail de [17] a élargi le champ d'étude et a classé les liens de communication dans les catégories suivantes : lignes de mire (LoS), ligne de visée obstruée (OLoS) et non obstruée (NLoS) et non linéaire (NLoS), tout en se basant sur un modèle unique de ville qui ne pouvait pas être modifié pour représenter une variété d'environnements urbains.

## 2.6 Conclusion

Dans ce chapitre on a parlé sur les réseaux cellulaires, comment les planifier en indiquant leur couverture, leur capacité et le dimensionnement en se basent sur l'emplacement des stations de bases. Ensuite, on a spécifié sur quels réseaux cellulaires on va parler c'est la 5G en basent sur les réseaux cellulaires 5G-UAV en parlant sur l'architecture de ces réseaux et donnant un modèle de propagation pour ces mêmes réseaux. Et en parlant enfin sur l'emplacement d'un des éléments essentiels quand appelle les drones.

***Chapitre 3 :***

***Optimiseur de loup gris***

***(GWO)***

### 3.1 Introduction

Afin d'optimiser les positions de drones dans un réseau 5G en utilisant des méta heuristiques visant à résoudre les problèmes d'optimisation difficiles, L'optimisation Grey Wolf est un de ces algorithmes. Le GWO a suscité un très grand intérêt de la part des chercheurs, avec une audience considérable dans plusieurs domaines en très peu de temps. L'algorithme GWO est capable de fournir des résultats très compétitifs par rapport à autres méta heuristiques (optimisation par essais particuliers).

### 3.2 Métaheuristique

Une méta heuristique est un algorithme d'optimisation visant à résoudre les problèmes d'optimisation difficiles pour laquelle on ne connaît pas de méthode classique plus efficace [18]. Ces algorithmes sont généralement des algorithmes stochastiques itératifs et qui progressent vers un optimum global. Elles se comportent comme des algorithmes de recherche allant de la simple recherche locale à des algorithmes complexes de recherche globale.

Les méta heuristiques se caractérisent par le fait d'être des stratégies qui guide la recherche de solutions optimales et dont l'objectif est d'explorer de façon efficace l'espace de recherche afin de déterminer les meilleures solutions ou presque [19]. L'éventail des techniques constituant l'algorithme méta heuristique sont en général non-déterministes et ne donnent aucune garantie d'optimalité [20], quoiqu'elles puissent contenir des mécanismes qui permettent d'éviter d'être bloqué dans des régions de l'espace de recherche. Il est intéressant de noter que les concepts de bases des méta heuristiques peuvent être décrits de façon abstraite sans faire nécessairement appel à un problème spécifique, tout comme ils peuvent faire appel à des heuristiques qui tiennent compte de la spécificité du problème traité tout en étant contrôlé par une stratégie de niveau supérieur.

Les méta heuristiques peuvent s'inspirer des phénomènes naturels ou pas, et une classification en fonction de cela ne semble pas très utile et même parfois semble difficile à réaliser. On peut citer à titre d'exemple les méthodes « tabou » qui ne sont pas directement inspirées par la nature et qui à leurs tour peuvent être classées selon leurs manières d'utiliser la fonction objectif  $f$ . Les méta heuristiques dites statiques travaillent directement sur la fonction objectif  $f$  alors que celles dites dynamiques travaillent elles sur une fonction  $g$  obtenu à partir de  $f$ . Certain méta heuristique font usage de l'historique de la recherche, alors que d'autres n'ont aucune mémoire du passé [21].

### 3.2.1 Algorithme de colonies de fourmis

La méta heuristique d'optimisation par colonies de fourmis formant un super organisme a été initialement introduit par Dorigo, Maniezzo et Colorni et a été inspirée par les études sur le comportement des fourmis réelles effectuées par Deneubourg [22].

L'algorithme de colonies de fourmis est présenté comme suit :

D'une manière simplifiée, les fourmis commencent par se déplacer au hasard. Puis, lorsqu'elles ont trouvé de la nourriture, elles retournent vers leur colonie, en marquant leur chemin à l'aide de phéromone. Si d'autres fourmis rencontrent ce chemin, il y a de fortes chances qu'elles arrêtent leurs déplacements aléatoires et qu'elles rejoignent le chemin marqué, en renforçant le marquage à leur retour, s'il mène bien vers de la nourriture [23].

Dans le même temps, le chemin le plus court sera davantage parcouru, il est donc plus renforcé et plus attrayant, ce que nous appelons un retour positif. En supposant que la phéromone s'évapore, le chemin le moins renforcé finira par disparaître, obligeant toutes les fourmis à suivre ce chemin plus court [24].

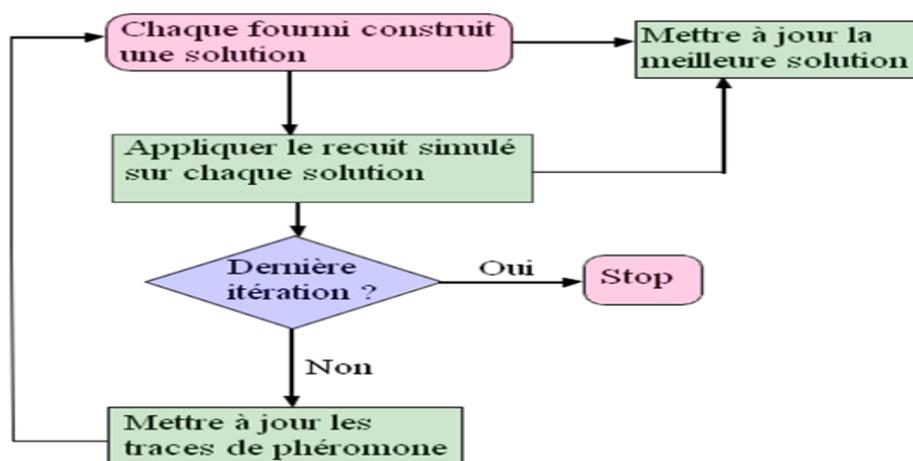


Figure 3.1 : Algorithme de colonie de fourmis [25].

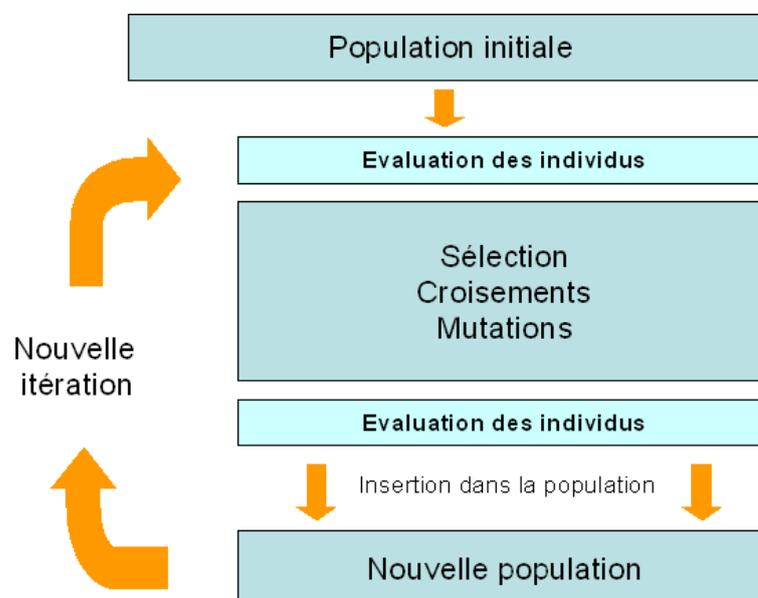
### 3.2.2 Algorithme génétique

L'algorithme génétique suggéré et développé par John Holland est une technique de résolution de problèmes d'optimisation basée sur le principe d'évoluer une population de solution de manière itérative et des règles de la génétique par sélection, croisement et mutation [8].

Les principales étapes sont :

- ✓ **Initialisation** : le processus commence par générer de manière aléatoire une population d'individus appelés chromosomes codées en binaire ou réel, qui représentent les solutions candidats d'un problème d'optimisation spécifique.
- ✓ **Sélection** : Dans cette étape, nous comparons les nouveaux chromosomes générés et favorisons l'élimination de ceux avec de mauvaises fitnesses.
- ✓ **Croisement** : explore l'espace de recherche et se charge d'échanger une partie d'information entre deux chromosomes.
- ✓ **Mutation** : Les valeurs du chromosome changent aléatoirement et un nouveau chromosome est généré, qui constituera une nouvelle population.

L'algorithme génétique est présenté comme suit :



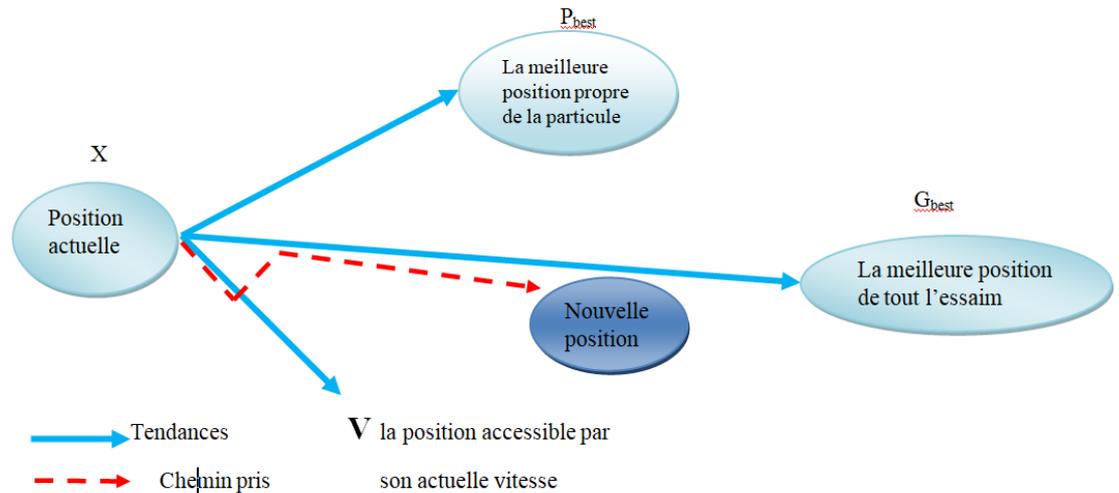
**Figure 3.2** : Schéma général d'un algorithme génétique.

### 3.2.3 Algorithme d'optimisation par essais particuliers (PSO)

L'optimisation par essais particuliers (OEP ou PSO en anglais) est une métaheuristique d'optimisation, inventée par Russel Eberhart (ingénieur en électricité) et James Kennedy (socio-psychologue) en 1995. Elle est basée sur les « interactions sociales » entre des « agents » appelés « particules », dans le but d'atteindre un objectif donné dans un espace de recherche commun où chaque particule a une certaine capacité de mémorisation et de traitement de l'information [26].

Dans PSO le comportement social est modélisé par une équation mathématique permettant de guider les particules durant leur processus de déplacement [27]. Le déplacement d'une particule est influencé par trois composantes :

- **La composante d'inertie** : la particule tend à suivre sa direction courante de déplacement.
- **La composante cognitive** : la particule tend à se diriger vers le meilleur site par lequel elle est déjà passée.
- **La composante sociale** : la particule tend à se diriger vers le meilleur site atteint par ses voisins.



**Figure 3.3** : Déplacement d'une particule.

Une particule  $i$  de l'essaim dans un espace de dimension  $D$  est caractérisée, à l'instant  $t$ , par :

$\mathbf{X}$  : sa position dans l'espace de recherche ;

$\mathbf{V}$  : sa vitesse ;

$\mathbf{P}_b$  : la position de la meilleure solution par laquelle elle est passée ;

$\mathbf{P}_g$  : la position de la meilleure solution connue de tout l'essaim ;

$f(\mathbf{P}_b)$  : la valeur de fitness de sa meilleure solution ;

$f(\mathbf{P}_g)$  : la valeur de fitness de la meilleure solution connue de tout l'essaim.

Le déplacement de la particule  $i$  entre les itérations  $t$  et  $t+1$  se fait selon les deux équations (3.1) et (3.2) :

$$V(t + 1) = V(t) + C_1 \times r_1 (P_b(t) - X(t)) + C_2 \times r_2 (P_g(t) - X(t)) \quad (3.1)$$

$$X(t + 1) = X(t) + V(t + 1) \quad (3.2)$$

$C_1$  et  $C_2$  : deux constantes qui représentent les coefficients d'accélération, elles peuvent être non constantes dans certains cas selon le problème d'optimisation posé.

$r_1$  et  $r_2$  : deux nombre aléatoire tirés de l'intervalle  $[0,1]$ .

#### ***Début***

*Initialiser les paramètres et la taille  $S$  de l'essaim ;*

*Initialiser les vitesses et les positions aléatoires des particules dans chaque dimension de l'espace de recherche ;*

*Pour chaque particule  $P_b = X$  ;*

*Calculer  $f(X)$  de chaque particule ;*

*Calculer  $P_g$  ; // la meilleure  $P_b$*

***Tant que*** (la condition d'arrêt n'est pas vérifiée) ***faire***

***Pour*** ( $i$  allant de 1 à  $S$ ) ***faire***

*Calculer la nouvelle vitesse à l'aide de l'équation (3.1)*

*Trouver la nouvelle position à l'aide de l'équation (3.2)*

*Calculer  $f(X)$  de chaque particule.*

***SI***  $f(X)$  est meilleur que  $f(P_b)$  ***alors***

*$P_b = X$  ;*

***SI***  $f(P_b)$  est meilleur que  $f(P_g)$  ***alors***

*$P_g = P_b$  ;*

***Fin pour***

***Fin Tant que***

***Fin***

*Afficher la meilleure solution trouvée  $P_g$*

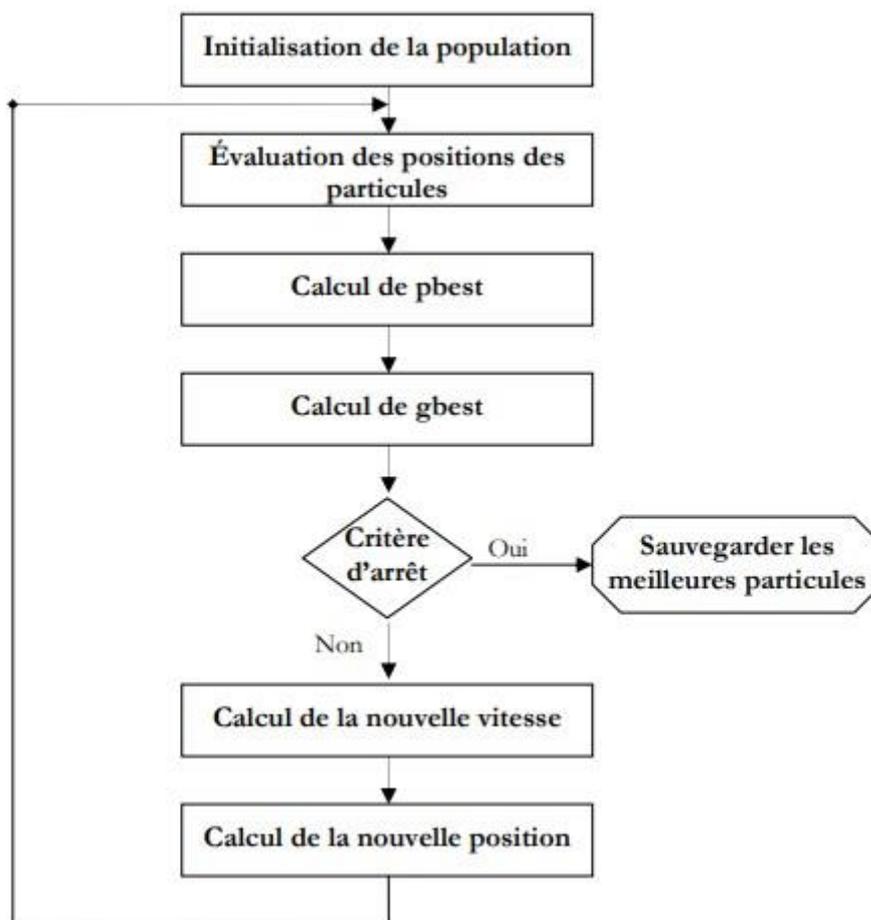


Figure 3.4 : Organigramme de la méthode PSO [28].

- On va parler dans la suite de ce chapitre sur l'optimisation Grey Wolf.

### 3.3 Optimisation Grey Wolf

L'optimisation Grey Wolf (GWO) est l'une des récentes méthodes méta heuristiques d'intelligence en essaim. Elle a été largement adaptée à une grande variété de problèmes d'optimisation en raison de ses caractéristiques impressionnantes par rapport aux autres méthodes d'intelligence en essaim : elle a très peu de paramètres, et aucune information de dérivation n'est requise dans la recherche initiale. Elle est également simple, facile à utiliser, flexible, évolutive et possède une capacité spéciale à trouver le bon équilibre entre l'exploration et l'exploitation pendant la recherche, ce qui conduit à une convergence favorable [29].

#### 3.3.1 Inspiration

Le loup gris appartient à la famille des canidés. Ces prédateurs sont au sommet de la chaîne alimentaire et ils vivent en groupe. Les leaders sont un male et une femelle, appelés alphas. L'alpha est principalement responsable de la prise de décisions concernant la chasse, le lieu de

sommeil, etc. L'alpha n'est pas nécessairement le membre le plus fort de la meute mais le meilleur en terme de gestion [30]. Le deuxième niveau dans la hiérarchie des loups gris est le beta. Ces derniers sont des loups subordonnés qui aident l'alpha dans la prise de décisions ou d'autres activités de la meute. Le beta est le meilleur candidat pour être l'alpha au cas où l'un des loups alphas décèderait ou deviendrait très vieux [29]. Le beta commande les loups de niveau inférieur et joue le rôle de conseiller d'alpha. Le loup gris moins bien classé est oméga. L'Oméga doivent toujours soumettre à tous les autres loups dominants. Ce sont les derniers loups autorisés à manger. Si un loup n'est pas un alpha, beta ou un oméga .il est appelle delta dans certaines références. Les loups delta doivent soumettre aux alphas et aux betas, mais ils dominant l'oméga [31].

La chasse en groupe est un autre comportement intéressant des loups gris, les principales phases de chasse sont [30] :

- Suivi, poursuite et approche de la proie.
- Poursuivre, encercler et harceler la proie jusqu'à ce qu'elle cesse de bouger.
- Attaque vers la proie.

### 3.3.2 Modèle mathématique

#### 3.3.2.1 La hiérarchie sociale

Afin de modéliser mathématiquement la hiérarchie sociale des loups lors de la conception de GWO, nous considérons la solution la plus appropriée comme alpha ( $\alpha$ ). Par conséquent, les deuxièmes et troisièmes meilleures solutions sont respectivement nommées bêta ( $\beta$ ) et delta ( $\delta$ ). Les solutions candidates restantes sont supposées être oméga ( $\omega$ ). Dans l'algorithme GWO, la chasse (optimisation) est guidée par  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\delta$ . Les loups  $\omega$  suivent ces trois loups [32].

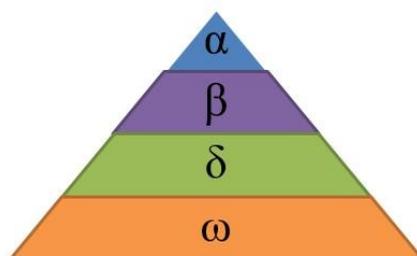


Figure 3.5 : La hiérarchie sociale des loups gris.

### 3.3.2.2 Encerclement de la proie

Comme mentionné ci-dessus, les loups gris encerclent leurs proies pendant la chasse. Afin de modéliser mathématiquement le comportement d'encerclement, les équations suivantes sont proposées [30] :

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (3.3)$$

$$\vec{X}(t + 1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (3.4)$$

Où :

$t$  : indique l'itération courante

$\vec{A}$  et  $\vec{C}$  : sont des vecteurs de coefficient

$\vec{X}_p$  : est le vecteur de position de la proie

$\vec{X}$  : indique le vecteur de position d'un loup gris.

Les vecteurs  $\vec{A}$  et  $\vec{C}$  sont calculés comme suit :

$$\vec{A} = 2\vec{a}\vec{r}_1 - \vec{a} \quad (3.5)$$

$$\vec{C} = 2 \times \vec{r}_2 \quad (3.6)$$

Où les composantes de  $\vec{a}$  sont linéairement diminuées de 2 à 0 au cours des itérations et  $r_1$  et  $r_2$  sont des vecteurs aléatoires dans  $[0,1]$ .

### 3.3.2.3 Chasse

Les loups gris ont la capacité de reconnaître l'emplacement de leurs proies et de les encercler. La chasse est généralement guidée par l'alpha. Le bêta et le delta peuvent également participer à la chasse de manière occasionnelle. Cependant, dans un espace de recherche abstrait, nous n'avons aucune idée de l'emplacement de l'optimum (la proie). Afin de simuler mathématiquement le comportement de chasse des loups gris, nous supposons que l'alpha (meilleure solution candidate), le bêta et le delta ont une meilleure connaissance de l'emplacement potentiel de la proie. Par conséquent, nous sauvegardons les trois premières meilleures solutions obtenues jusqu'à présent et obligeons les autres agents de recherche (y compris les omégas) à mettre à jour leurs positions en fonction de la position du meilleur agent de recherche [31].

Les formules suivantes sont proposées à cet égard :

$$\begin{cases} \vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha(t) - \vec{X}(t)| \\ \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta(t) - \vec{X}(t)| \\ \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta(t) - \vec{X}(t)| \end{cases} \quad (3.7)$$

$$\begin{cases} \vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot \vec{D}_\alpha \\ \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot \vec{D}_\beta \\ \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot \vec{D}_\delta \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (3.9)$$

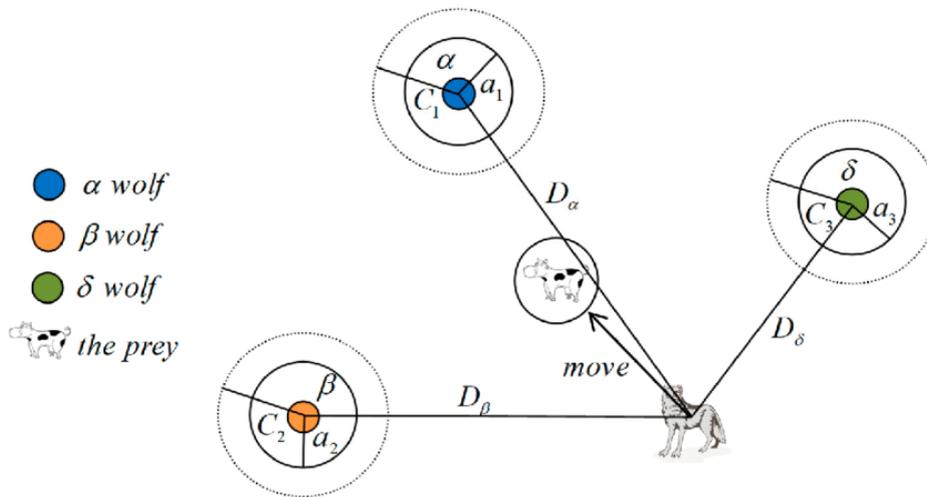


Figure 3.6 : Mise à jour de la position dans GWO.

### 3.3.2.4 Attaquer une proie (exploitation)

Les loups gris terminent la chasse en attaquant la proie lorsqu'elle s'arrête de bouger. Afin de modéliser mathématiquement l'approche de la proie, nous réduisons la valeur de  $\vec{a}$ . Notez que la plage de fluctuation de  $\vec{A}$  est également réduite de  $\vec{a}$  autrement dit  $\vec{A}$  est une valeur aléatoire dans l'intervalle  $[-a, a]$  où  $a$  est diminué de 2 à 0 au cours des itérations [30]. Lorsque des valeurs aléatoires de  $\vec{A}$  sont dans  $[-1,1]$ , la prochaine position du chercheur peut être n'importe où entre sa position actuelle et la position de la proie [33].

En utilisant les opérateurs actuellement fournis, l'algorithme GWO permet à ses agents de recherche de mettre à jour leurs positions en fonction des positions alpha, bêta et delta ; et d'attaquer les proies. Cependant, l'algorithme GWO est soumis à la stagnation de solution locale de ces opérateurs. Il est vrai que le mécanisme d'encerclement proposé montre l'exploration

dans une certaine mesure, mais GWO a besoin de plus d'opérateurs pour mettre l'accent sur l'exploration.

### 3.3.2.5 Recherche de proies (exploration)

Les loups gris cherchent principalement en fonction de la position de l'alpha, du bêta et du delta. Ils divergent les uns des autres pour chercher des proies et convergent pour les attaquer. Afin de modéliser mathématiquement la divergence, nous utilisons  $\vec{A}$  avec des valeurs aléatoires supérieures à 1 ou inférieures à -1 pour obliger l'agent de recherche à diverger de la proie. Cela met l'accent sur l'exploration et permet à l'algorithme GWO de rechercher globalement. La valeur de -1 oblige les loups gris à s'écartier de la proie pour espérer trouver une proie plus adaptée [31].

Un autre composant de GWO qui favorise l'exploration est  $\vec{C}$ , qui contient des valeurs aléatoires dans [0,2]. Ce composant fournit des poids aléatoires pour les proies afin d'accentuer ( $C > 1$ ) stochastiquement l'effet des proies dans la définition de la distance. Cela permet à GWO de montrer un comportement plus aléatoire tout au long de l'optimisation, favorisant l'exploration et l'évitement des optima locaux [29]. Il est utile de mentionner ici que C ne diminue pas linéairement contrairement à A. Nous exigeons délibérément que C fournisse des valeurs aléatoires à tout moment afin de mettre l'accent sur l'exploration non seulement pendant les itérations initiales mais aussi pendant les itérations finales. Cette composante est très utile en cas de stagnation des optima locaux, surtout dans les dernières itérations [32].

Le vecteur C peut également être considéré comme l'effet des obstacles à l'approche de la proie dans la nature. De manière générale, les obstacles dans la nature apparaissent sur les chemins de chasse des loups et les empêchent en fait de s'approcher rapidement et commodément des proies. C'est exactement ce que fait le vecteur C. En fonction de la position d'un loup, il peut donner aléatoirement un poids à la proie et la rendre plus difficile et plus éloignée à atteindre pour les loups ou vice versa [31].

### 3.3.3 Algorithme de GWO

*Initialiser la population de loups gris  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )*

*Initialiser  $a$ ,  $A$ , et  $C$*

*Calculer l'aptitude de chaque agent de recherche*

*$X_\alpha$  = le meilleur agent de recherche*

*$X_\beta$  = le deuxième meilleur agent de recherche*

*$X_\delta$  = le troisième meilleur agent de recherche*

*Tant que* ( $t < \text{Max number of iterations}$ )

*Pour* chaque agent de recherché

Mise à jour de la position de l'agent de recherche actuel par les équations ci-dessus

*Fin pour*

Mettre à jour  $a$ ,  $A$ , et  $C$

Calculer l'aptitude de tous les agents de recherche

Mettre à jour  $X_\alpha, X_\beta, X_\delta$

$t=t+1$

*fin Tant que*

Return  $X_\alpha$

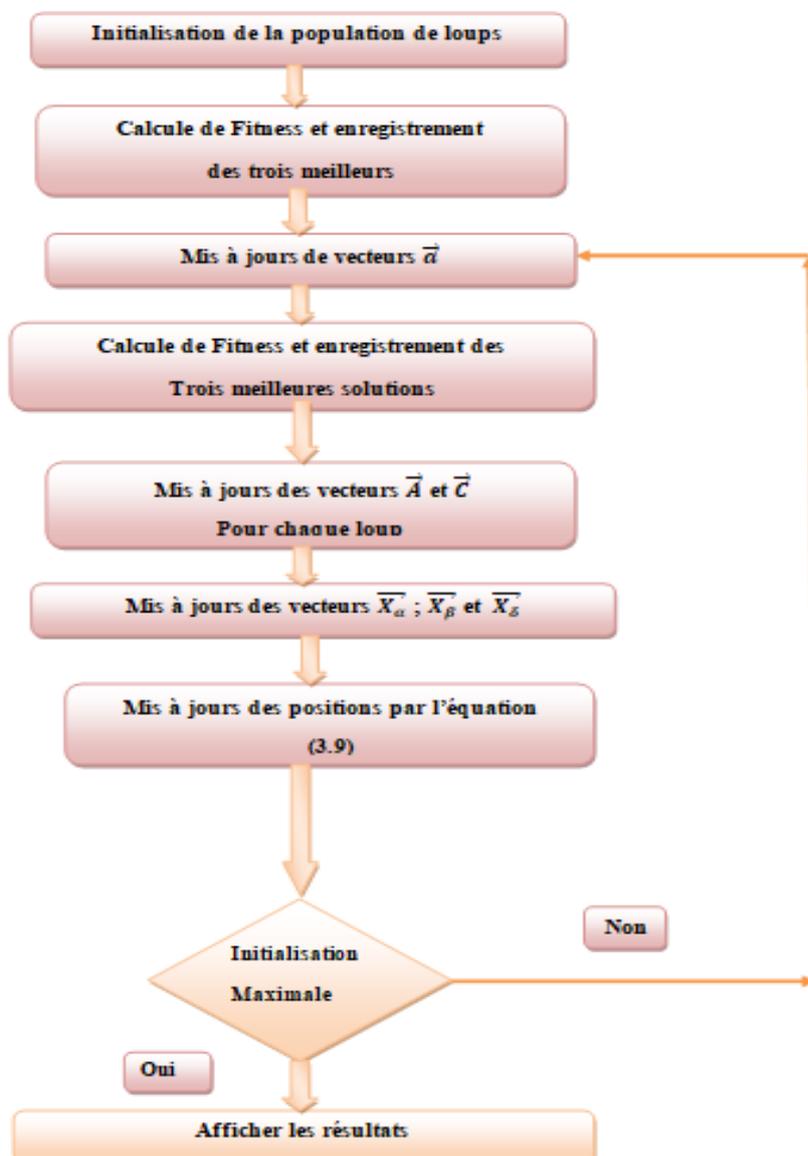


Figure 3.7 : Organigramme de la méthode GWO

### 3.4 Optimisation Grey Wolf 3D

Afin d'améliorer la capacité de convergence de l'algorithme, nous essayons de renforcer la capacité d'exploitation de GWO appelé algorithme optimiseur de loup gris amélioré (EGWO).

Dans l'EGWO, nous avons divisé l'ensemble du groupe de loups gris en 2 groupes. Une moitié était responsable de la couche externe de l'encerclement et l'autre moitié était responsable de la couche interne de l'encerclement. Ces deux groupes sont appelés " groupe de la couche interne " et " groupe de la couche externe ", et les stratégies correspondantes à mettre en œuvre sont appelées "encerclement de la couche interne" et "encerclement de la couche externe" respectivement [34]. La raison pour laquelle le nombre de groupes de couches interne et externe est le même est parce que EGWO peut obtenir de bons résultats dans la plupart des cas par le biais d'expériences. Le rôle de l'encerclement de la couche interne est d'améliorer la capacité du loup gris à attaquer ses proies, c'est-à-dire la capacité d'exploitation de l'algorithme.

Pour améliorer la précision de l'optimisation de l'algorithme, la cartographie Tent est utilisée pour enrichir la diversité de la population initiale. La cartographie de Tent est la plus remarquable parmi les nombreuses fonctions de cartographie chaotique [35]. En outre, l'encerclement de la couche externe permet de maintenir l'équilibre global de l'algorithme.



**Figure 3.8 :** Diagramme d'encerclement de la couche interne et externe.

#### 3.4.1 Encerclement de la couche interne

La recherche locale de l'algorithme met l'accent sur l'utilisation de l'information existante pour influencer les autres agents de recherche à effectuer des recherches fines dans un certain espace de recherche. Ce qui a un effet décisif sur la vitesse de convergence de l'algorithme.

Par conséquent, l'EGWO se concentre sur l'amélioration de la capacité d'exploitation de l'algorithme. Dans l'algorithme EGWO,  $\alpha$  est plus intelligent et plus sage et un ordre d'encerclement plus détaillé pour le groupe de loups gris [36]. La distance entre le groupe de loups gris et la proie qui a exécuté la commande d'encerclement de la couche interne est courte,

il suffit de suivre l'ordre d' $\alpha$ . La position de  $\alpha$  est utilisée pour simuler la position de la proie [34].

Par conséquent, le groupe de loups gris qui exécute la commande d'encerclement de la couche intérieure n'a besoin que de se déplacer autour de  $\alpha$ . Sa stratégie de mise à jour de la position est similaire à celle de GWO, bien que différente [37].

$$\begin{cases} \overrightarrow{D'_\alpha} = |\overrightarrow{C_4} \times \overrightarrow{X_\alpha}(t) - \overrightarrow{X_\alpha}(t)| \\ \overrightarrow{C_4} = 2 \times \overrightarrow{r_7} \\ \overrightarrow{X'_1} = \overrightarrow{X_\alpha} - \overrightarrow{A_4} \times \overrightarrow{D'_\alpha} \end{cases} \quad (3.10)$$

$$\begin{cases} \overrightarrow{A_4} = 2 \times a \cdot \overrightarrow{r_8} - a \\ \overrightarrow{X}(t + 1) = \overrightarrow{X'_1} \end{cases} \quad (3.11)$$

La formule ci-dessus montre que la stratégie de mise à jour est similaire à celle de GWO. La différence est que dans l'encerclement de la couche interne, nous avons annulé l'influence de  $\beta$  et  $\delta$  et avons plutôt obéi à la commande de  $\alpha$  de manière uniforme.  $\overrightarrow{D'_\alpha}$  est la distance entre  $\omega$  et  $\alpha$ ,  $\overrightarrow{r_7}$  est un vecteur décimal aléatoire entre  $[0, 1]$ ,  $\overrightarrow{C_4}$  est le vecteur directionnel correspondant, et  $\overrightarrow{A_4}$  est le vecteur de pas correspondant, de sorte que la position mise à jour du loup gris peut être exprimée par les équations (3.10) et (3.11).

### 3.4.2 Encerclement de la couche externe

La recherche globale signifie que le groupe de loups gris doit explorer un espace de recherche plus large afin de trouver la solution globale ou optimale. Par conséquent, le groupe de loups gris qui exécute l'ordre d'encerclement de la couche extérieure s'approche de la proie lentement de toutes les directions, de loin en loin. Afin d'éviter que l'algorithme ne tombe dans l'optimum local, le groupe de la couche externe n'obéit pas seulement à l'ordre de  $\alpha$ , mais aussi aux ordres de  $\beta$  et  $\delta$ . Pour faire court, la stratégie de mise à jour de la position du groupe de la couche externe est cohérente avec le GWO [34].

Après que le groupe de loups gris ait exécuté l'encerclement de la couche intérieure et la stratégie d'encerclement de la couche externe, la position de tout le groupe de loups gris est mise à jour. Ensuite, dans l'EGWO, la méthode de calcul de la valeur de fitness de chaque loup gris peut être exprimée par l'équation (3.12).

$\overrightarrow{X}$  est un individu du groupe de loups gris, et  $fit$  est une expression abstraite du problème d'optimisation. Il convient de noter que les expressions mathématiques sont différentes selon les problèmes d'optimisation. Après avoir obtenu l'aptitude de l'ensemble du groupe de loups

gris, ces loups gris sont classés en fonction de la taille des valeurs de fitness. Choisissez les trois meilleurs loups ( $\vec{X}_\alpha$ ,  $\vec{X}_\beta$  et  $\vec{X}_\delta$ ) en fonction de la nature du problème d'optimisation [38]. Par exemple, supposons que le problème de minimisation soit résolu, alors  $\vec{X}_\alpha$ ,  $\vec{X}_\beta$  et  $\vec{X}_\delta$  sont les trois loups avec les plus petites valeurs de fitness. Inversement, les trois loups avec les valeurs de fitness les plus élevées [34].

$$fitness = fit(\vec{X}) \tag{3.12}$$

L'organigramme de l'algorithme EGWO est donné comme suit :

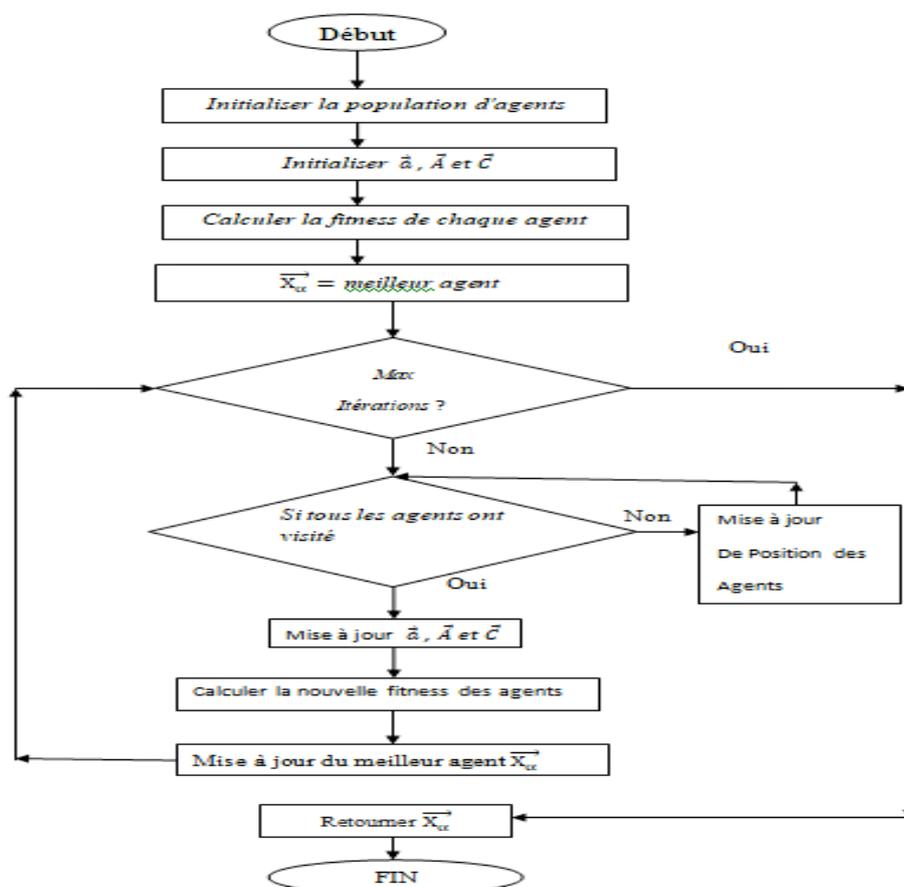


Figure 3.9 : Organigramme de l'algorithme EGWO.

### 3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, on a parlé sur les méta heuristiques en décrivant quelques-uns de ces algorithmes. Après on a détaillé le GWO en parlant son inspiration d'où elle vient et en donnant le modèle mathématique de cette méta heuristique. Ensuite, on a élaboré le GWO en 3D en expliquant cet algorithme et on le compare avec le GWO traditionnel. Enfin on concentre sur le modèle de système du réseau 5G-drones en indiquant les points suivants : le SINR (Signal-to-interference-plus-noise ratio) et son importance comme base pour les réseaux 5G-drones et en donnant sa définition mathématique et son utilité pour mesurer la qualité de ces réseaux, la maximisation de couverture en parlant sur comment on positionne les stations de bases et comment surmonter les difficultés d'optimisation.

***Chapitre 4 :***  
***Optimisation des positions des***  
***drones en utilisant le GWO.***

## 4.1 Introduction

La progression chronologique et la croissance exponentielle des réseaux cellulaires ont conduit la communauté des communications mobiles à suggérer l'utilisation de drones comme station de base (BS), avec l'incorporation d'un émetteur-récepteur, en raison de son énorme potentiel dans les systèmes de communication mobile. Cette approche permet d'améliorer considérablement la couverture, la qualité de service et une capacité accrue. En outre, la position élevée du drone-BS encourage la communication en ligne de vue (LOS) avec les utilisateurs au sol. Par conséquent, le déploiement optimal du drone-BS est primordial pour le bon fonctionnement du réseau. D'autre part, avec augmentation significative du volume de trafic, les réseaux mobiles 5G vont exploiter la vaste quantité de spectre disponible dans la bande des ondes millimétriques (mmWave). Simultanément, un drone équipé d'une station de base à ondes millimétriques offre un débit considérable. Dans ce chapitre, nous étudions le placement des drones-BS en supposant une distribution aléatoire et un modèle de perte de chemin en ondes millimétriques. Nous analysons la probabilité de couverture de la liaison descendante en fonction de l'altitude et du gain d'antenne. Nous appliquons un algorithme Grey Wolf Optimizer (GWO) afin de trouver la position 3D optimale qui satisfait la couverture sous contrainte d'interférence.

## 4.2 modèle de système

Dans cette section, nous présentons le modèle de système adopté pour notre travail. Nous considérons un scénario urbain dans lequel  $N$  utilisateurs sont répartis aléatoirement dans la zone représentée par  $(x_j, y_j)$ . Les  $M$  drones-BSs sont distribués de manière aléatoire avec une puissance transmission. Chaque drone est défini par son altitude  $h$  et sa localisation  $(x_i, y_i)$ . Géométriquement, la zone de couverture du drone est donnée par :

$$C_{drone} = \pi(R^2 - h^2) \quad (4.1)$$

Où  $R$  représente le rayon du drone émetteur [39].

La figure 4.1 illustre un scénario possible de déploiement de drone-BSs. En outre, nous supposons que les environnements de propagation sont à la fois LOS et Non-Lineof-Sight (NLOS). D'autre part, la métrique pour satisfaire à la qualité de service est basée sur la détermination du rapport signal-interférence plus bruit (SINR), qui doit être supérieur à un certain seuil  $SINR > SINR_{thr}$  selon [40], la probabilité de l'affaiblissement moyen du chemin est donnée par :

$$PL(h, d_{ji}) = PL_{LOS}P_{LOS} + PL_{NLOS}P_{NLOS} \quad (4.2)$$

Où  $P_{LOS}$  représente la probabilité de la liaison LOS donnée par l'équation (4.3) et  $P_{NLOS} = 1 - P_{LOS}$ . Comme indiqué dans [41], l'affaiblissement du chemin entre les drone-BSs et les utilisateurs pour la propagation LOS et NLOS en  $dB$  est donné par l'équation (4.4).

$$P_{LOS} = \frac{1}{1 + a \exp\left(-b \left( \left( \frac{180}{\pi} \right) \tan^{-1} \left( \frac{h}{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}} \right) - a \right)\right)} \quad (4.3)$$

$$PL_{LOS} = 20 \log \left( \frac{4\pi f_c d_{ji}}{c} \right) + \eta_{LOS}$$

$$PL_{NLOS} = 20 \log \left( \frac{4\pi f_c d_{ji}}{c} \right) + \eta_{NLOS} \quad (4.4)$$

Où  $f_c$  représente la fréquence porteuse,  $d_{ji} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + h^2}$  est la distance entre le drone-BSs et l'utilisateur  $i$ . De plus,  $\eta_{LOS}$  et  $\eta_{NLOS}$  sont les pertes supplémentaires moyennes pour LOS et NLOS respectivement. La probabilité d'affaiblissement moyen sur le trajet peut être réécrite comme suit :

$$P(h, d_{ji}) = (\eta_{LOS} - \eta_{NLOS}) + P_{LOS} + 10 \log \left( \frac{h^2}{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}} \right) + B \quad (4.5)$$

Avec  $B = 20 \log \left( \frac{4\pi f_c}{c} \right) + \eta_{NLOS}$ . Comme le montre la figure 4.1, les cercles bleus et gris représentent la zone de couverture du drone et les points noirs indiquent les utilisateurs de la zone. A ce stade, il y a deux grandes décisions binaires à prendre. La première consiste à déterminer le déploiement des drone-BSs et la seconde est de déterminer les utilisateurs couverts par les drone-BSs. La procédure peut être développée mathématiquement de la manière suivante, soit  $D = \{1 \dots M\}$  représente l'ensemble des drone-BSs candidats et  $U = \{1 \dots N\}$  l'ensemble des utilisateurs. Pour le premier cas, la décision binaire peut être formulée comme suit :

$$\omega_{xyh}^i = \begin{cases} 1, & \text{si le drone-BS est déployé à } (x_i, y_i, h) \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \quad (4.6)$$

Ensuite, pour le deuxième cas (couverture de l'utilisateur) :

$$\varphi_j^i = \begin{cases} 1, & \text{si l'utilisateur } j \text{ est couvert par un seul drone } B_{si} \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \quad (4.7)$$

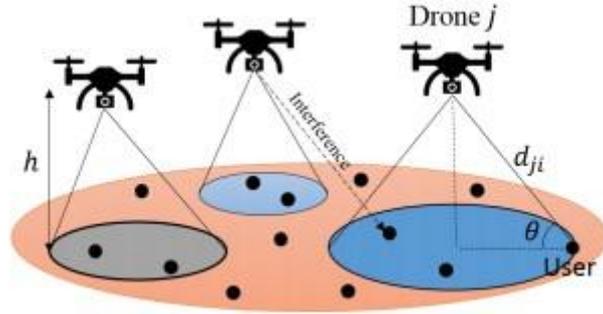


Figure 4.1 : modèle de système.

### 4.3 Calcul de la probabilité de couverture en liaison descendante

Dans cette section, nous étudions la probabilité de couverture de la liaison descendante. Lors de l'évaluation de la performance du canal, un utilisateur typique dans la zone est associé à un drone-BS lorsque le SINR est supérieur à un seuil prédéfini. Selon [40], la puissance reçue au niveau de l'utilisateur  $j$  en provenance de son drone-BS est donnée par :

$$p_r^{ji} = P_t - PL(h, d_{ji}) - \vartheta \quad (4.8)$$

Où  $p_t$  est la transmission de puissance et  $\vartheta$  est l'évanouissement d'ombre avec une variable aléatoire gaussienne en dB pour les environnements LOS et NLOS. Le rapport SINR est donné par la formule suivante :

$$SINR = \frac{P_r^{ji}}{\sum_{i' \in D, i' \neq i} P_r^{i'j} + N} \quad (4.9)$$

La probabilité de couverture de la liaison descendante est définie comme la probabilité que le SINR du côté de l'utilisateur soit plus grand que le seuil prédéfini  $SINR_{thr}$ . Mathématiquement, elle est formulée comme suit :

$$P[SINR > SINR_{thr}] = P \left[ \frac{P_r^{ji}}{\sum_{i' \in D, i' \neq i} P_r^{i'j} + N} \geq SINR_{thr} \right] \quad (4.10)$$

**Lemme 1** : Dans le réseau de drones BS, la probabilité de couverture en liaison descendante pour un utilisateur terrestre situé à une distance  $d_{ji}$  de drone-BS peut être exprimée comme suit:

$$P_c = Q \left( \frac{\left( PL(h, d_{ji}) + SINR_{thr} \left( \sum_{i' \in D, i' \neq i} P_r^{i'j} + N \right) - P_t + \mu \right)}{\sigma} \right) \quad (4.11)$$

Où  $Q(\cdot)$  est la fonction  $Q$ .

**La preuve :**

$$\begin{aligned} P_c &= P \left[ \frac{P_r^{ji}}{\sum_{i' \in D, i' \neq i} P_r^{i'j} + N} \geq SINR_{thr} \right] \\ &= P \left[ P_r^{ji} \geq SINR_{thr} \left( \sum_{i' \in D, i' \neq i} P_r^{i'j} + N \right) \right] \\ &= P \left[ P_t - PL(h, d_{ji}) - \vartheta \geq SINR_{thr} \left( \sum_{i' \in D, i' \neq i} P_r^{i'j} + N \right) \right] \\ &= P \left[ \vartheta \leq P_t - PL(h, d_{ji}) - SINR_{thr} \left( \sum_{i' \in D, i' \neq i} P_r^{i'j} + N \right) \right] \\ &= Q \left( \frac{\left( PL(h, d_{ji}) + SINR_{thr} \left( \sum_{i' \in D, i' \neq i} P_r^{i'j} + N \right) - P_t + \mu \right)}{\sigma} \right) \end{aligned}$$

Où  $\vartheta \sim N(\mu_{LOS}, \sigma_{LOS}^2)$  et  $\vartheta \sim N(\mu_{NLOS}, \sigma_{NLOS}^2)$  représentent les évanouissement d'ombre avec une distribution normale, en dB, pour les cas LOS et NLOS, respectivement. Cependant, la probabilité de couverture de la liaison descendante pour un environnement LOS est donnée par la fonction de distribution cumulative complémentaire (CCDF) d'une variable aléatoire gaussienne, comme le montre l'équation (4.12) ci-dessous

$$P_c = Q \left( \frac{\left( PL_{LOS} P_{LOS} + SINR_{thr} \left( \sum_{i' \in D, i' \neq i} P_r^{i'j} + N \right) - P_t + \mu_{LOS} \right)}{\sigma_{LOS}} \right) \quad (4.12)$$

#### 4.4 Placement optimal des drones-BSS

Dans cette section, nous proposons de résoudre le déploiement en 3D de drone-BSs en utilisant GWO, où le but est de maximiser la couverture en augmentant le nombre d'utilisateurs couverts par les drones BSs. Généralement, le placement de drone-BSs constitue un problème NP-hard. Pour cette raison, les algorithmes évolutionnaires peuvent être une alternative appropriée. Mathématiquement, le problème de couverture peut être formulé à l'aide de la programmation non linéaire en nombres entiers (MINLP), comme suit :

$$\max_{x_i, y_j, h, \varphi_j^i} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \varphi_j^i \quad (4.13)$$

Sujet à :

$$\min \sum_{i=1}^M \omega_{xyh}^i \quad (4.14)$$

$$h_{min} \leq h \leq h_{max} \quad (4.15)$$

$$\sum_{i=1}^N b_j \varphi_j^i \leq BW \quad (4.16)$$

La première contrainte suppose que la couverture doit être atteinte avec un nombre minimum de drone-BSs déployés. En effet, un déploiement considérable de drones entraîne une réduction de la distance entre eux et, par conséquent, l'interférence des drone-BSs adjacents augmente [42].

Les variables  $h_{min}, h_{max}$  de la deuxième contrainte représente l'altitude minimale et maximale du drone-BS, respectivement. Néanmoins, lorsque l'altitude du drone-BS augmente, le rayon de couverture augmente également et les performances énergétiques des drone-BSs diminuent. La dernière contrainte proposée indique la largeur de bande disponible totale limite où  $b_j$  est la bande passante requise par l'utilisateur  $j$  et  $BW$  indique la largeur de bande totale du drone-BS [43].

Maintenant nous appliquons GWO afin de trouver le placement optimal des drones BSs en 3D. Proposé par, GWO est un algorithme méta-heuristique inspiré du mécanisme de chasse du loup gris. L'algorithme GWO prend en considération la recherche, l'encerclement et l'attaque de la proie par le loup gris. Néanmoins, l'algorithme classe les loups en quatre groupes pour trouver le leadership :  $\alpha$  est la solution la plus optimale et  $\beta, \delta$  sont les deuxièmes et troisièmes meilleures solutions, respectivement.  $X$  représente les solutions alternatives. Le processus est modélisé mathématiquement comme suit :

$$X(t+1) = \frac{1}{3}(X_1(t) + X_2(t) + X_3(t)) \quad (4.17)$$

Où :

$$X_1(t) = X_\alpha - A_1 \times D_\alpha \quad (4.18)$$

$$X_2(t) = X_\beta - A_2 \times D_\beta \quad (4.19)$$

$$X_3(t) = X_\delta - A_3 \times D_\delta \quad (4.20)$$

D'après les équations ci-dessus,  $X_1(t), X_2(t), X_3(t)$  sont les vecteurs de position de la proie, et  $X(t+1)$  représente le vecteur de position du loup gris. Les loups gris encerclent les proies

pendant la chasse. Le comportement d'encerclement modélisé mathématiquement est donné par la formule suivante :

$$X_3(t) = X_\delta - A_3 \times D_\delta \quad (4.21)$$

Où :  $C = 2 \times r_2$  et  $A = 2a \times r_2 - a$  sont deux vecteurs de coefficient et  $r_1$  et  $r_2$  sont des vecteurs générés de manière aléatoire entre [0,1]. Le pseudo-code de GWO est donné par :

#### Algorithme 1: GWO for drone-BS deployment

*Initialiser la population de drones-BSs  $X_i = (i = 1, 2, \dots, n)$ .*

*Initialiser  $\alpha$ ,  $A$  et  $C$*

*Pour  $i = 1 : n$  faire*

*$j = 1 : m$  faire*

*Calculer la distance, la perte de trajet et évaluer la probabilité de couverture pour chaque utilisateur.*

*Fin pour*

*Trouver l'aptitude de chaque agent de recherche  $X_\alpha$ ,  $X_\beta$ ,  $X_\delta$*

*Pendant que  $t < Max_{iter}$*

*Pour chaque agent de recherche*

*$X(t+1) = 1/3(X1(t) + X2(t) + X3(t))$*

*Fin pour*

*Mise à jour de  $\alpha$ ,  $A$  and  $C$*

*Calculer le fitness de tous les agents de recherche.*

*Mise à jour de  $X_\alpha$ ,  $X_\beta$ ,  $X_\delta$*

*$t = t + 1$*

*End while*

*Retourne  $X_\alpha$*

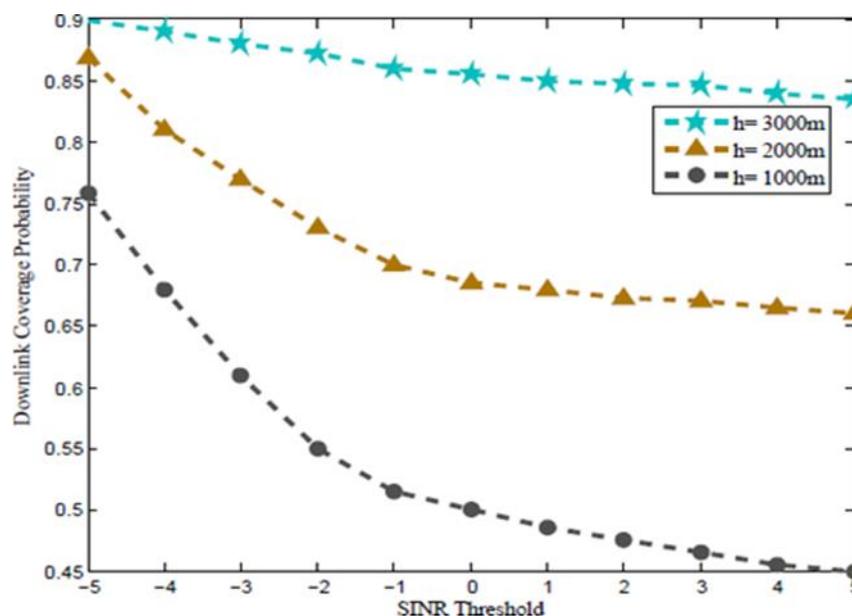
## 4.5 Résultats de la simulation

Les résultats de la simulation et les résultats numériques pour la probabilité de couverture de la liaison descendante et le placement optimal des drone-BSs sont présentés dans cette section. 200 utilisateurs et 10 drone-BSs sont distribués répartis aléatoirement dans une zone de  $2 \times 2 \text{ km}^2$ . Les paramètres de la simulation sont illustrés dans le tableau 4-1. Notre objectif est de servir le maximum d'utilisateurs en se basant sur un nombre réduit de drone-BSs utilisant une fréquence porteuse mmWave.

Paramètres	Valeurs
$f_c$	28 GHz
$h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$	$1000 \leq h \leq 3000$ m
$M$ (nombre de drone-BSs)	10
$N$ (nombre d'utilisateurs)	200
$P_t$	30 dBm
$SINR_{thr}$	5 dBm
$B$	20 MHz

**Tableau 4-1** : Paramètres de simulation adoptés pour notre travail.

La figure 4.2 illustre la probabilité de couverture de la liaison descendante en considérant différentes altitudes pour les drone-BSs. Nous observons que la probabilité de couverture augmente lorsque l'altitude des drone-BSs augmente également. Cependant, comme mentionné ci-dessus, une altitude très élevée peut influencer la performance énergétique du drone. La figure 4.3 montre le placement optimal des drone-BSs et le nombre minimum de drone-BSs requis pour garantir la couverture de tous les utilisateurs. Les résultats indiquent qu'afin de satisfaire à une probabilité de couverture de la liaison descendante de 0,76, il est nécessaire de déployer 5 drone-BSs. D'autre part, la probabilité de couverture peut être améliorée en augmentant le nombre de drones mais cela entraînerait une diminution de la distance entre les drones et par conséquent, l'interférence au niveau de l'utilisateur serait plus élevée.



**Figure 4.2** : Probabilité de couverture en fonction du seuil SINR, à différentes altitudes.

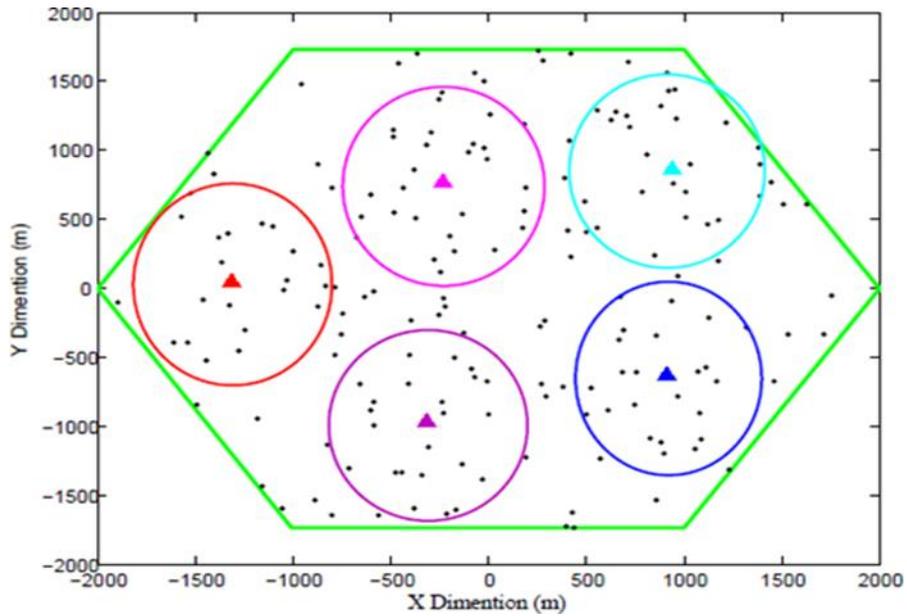


Figure 4.3 : Placement des drone-BSs à la fin de l'itération GWO.

En outre, le nombre d'utilisateurs servis par les drones déployés sont illustrés dans la figure 4.4. Nous observons une diminution d'utilisateurs couverts par le réseau lorsque le nombre de drone-BSs est réduit. De plus, les résultats obtenus indiquent que les drone-BSs sont séparés en distance, laissant des zones non couvertes. En outre, l'altitude optimale choisie pour les drone-BSs peut être améliorée afin d'augmenter le rayon de couverture et d'obtenir plus d'utilisateurs couverts mais avec une énergie de performance réduite.

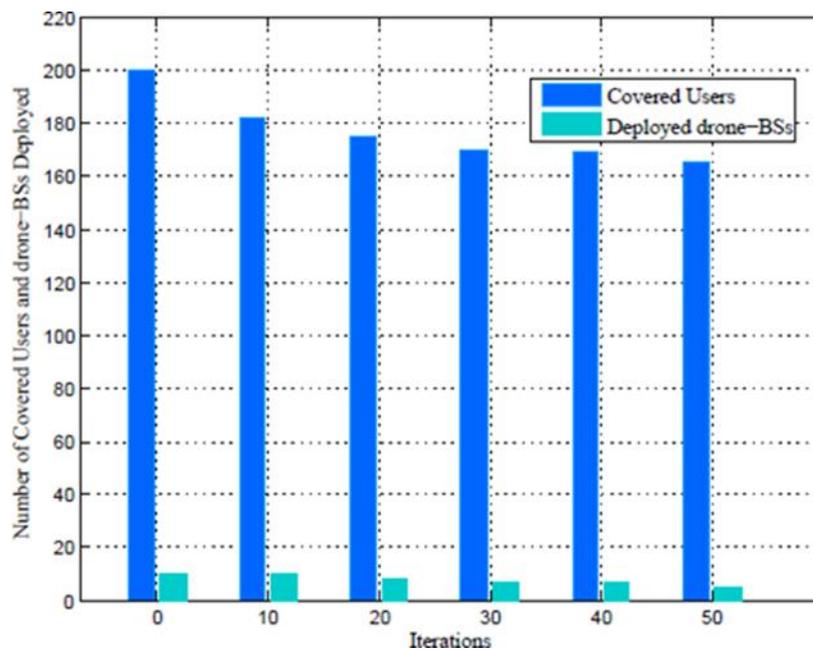


Figure 4.4 : Nombre d'utilisateurs couverts et déploiement de drone-BSs à chaque itération.

## 4.6 Conclusion

Le déploiement de drone-BSs dans les réseaux 5G est actuellement un sujet important avec un potentiel extrême dans l'industrie des réseaux de communication mobile. L'optimisation du placement est une tâche compliquée qui nécessite des algorithmes d'automatisation pour trouver la solution optimale pour le placement des drone-BSs. Dans ce travail, nous avons étudié un déploiement 3D des drone-BSs dans un réseau 5G en utilisant l'algorithme GWO. Tout d'abord, nous avons analysé la probabilité de couverture de la liaison descendante en fonction du SINR et de l'altitude. Ensuite, nous avons proposé un modèle mathématique afin de maximiser la couverture avec un nombre minimum de drones, d'altitude et de bande passante totale disponible. Les résultats obtenus ont montré une minimisation du nombre total de drone-BSs déployés avec une couverture atteignant 82.5%. Notre étude ne prend pas en considération l'effet de blocage et le chevauchement entre les drones, qui sont importants pour le handoff et qui feront l'objet de recherche pour les travaux futurs.

## Conclusion générale

Les générations successives de téléphonie mobile ont été développées pour garantir des performances de plus en plus élevées. De nouvelles technologies ne cessent donc de se développer telles que les réseaux cellulaires 5G avec drones qui fournit des services rapides, fiables et sécurisés aux utilisateurs finaux des villes intelligentes.

En premier lieu, nous avons présenté les réseaux cellulaires de 1G jusqu'à la 5G en donnant l'architecture de ces réseaux, leurs caractéristiques. Ensuite nous avons parlé sur le concept MIMO et les techniques d'accès multiples. Enfin nous avons discutés les interférences cellulaires et le principe de mobilité et les effets de la propagation sur ces réseaux-là.

Dans le deuxième chapitre, nous avons abordés la planification des réseaux cellulaires en terme de couverture et de capacité en parlant aussi sur l'emplacement des stations de bases. Après nous décrivons le réseau cellulaire 5G-UAV en donnant son architecture et un modèle de propagation. Enfin nous avons parlé sur l'emplacement des drones dans ces réseaux modernes.

Dans le troisième chapitre, nous avons choisi une métaheuristique avec le nom de l'optimisation Grey wolf afin d'optimiser l'emplacements des drones dans les réseaux 5G-UAV. Nous avons donné l'inspiration de cet algorithme, le modèle mathématique et un organigramme qui explique cette Meta heuristique en jettent l'œil sur le GWO 3D qui a pour nom EGWO (Enhanced Grey Wolf Optimizer), son modèle mathématique et la différence entre lui et le GWO traditionnel.

Dans le quatrième chapitre, nous avons étudié le system modèle des réseaux 5G-UAV en basent sur deux points essentiels : Le SINR (Signal-to-interférence-plus-noise ratio) et la maximisation de couverture. Nous simulons à l'aide de l'algorithme GWO sous Matlab et discutons les résultats trouvés.

## Bibliographie

- [1] Tounsi, H. (2016). Optimisation de la couverture radio du réseau 4G de Tunisie Telecom, mémoire de stage de fin d'études pour l'obtention du « Mastère professionnel en Nouvelles Technologies des Télécommunications et Réseaux (N2TR) ».
- [2] Architecture 5G.(s.d.).Récupéré sur <https://www.viavisolutions.com/fr-fr/architecture-5g>.
- [3] BELAID, F., & CHEMLOUL, S. (2019). Etude, conception et réalisation d'une plateforme intelligente pour l'optimisation d'un réseau LTE-Advanced, mémoire pour l'obtention du diplôme de master en Télécommunications, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen.
- [4] Romain Colas ;blog.degrouptest ;2016 ; <https://blog.degrouptest.com/frequences-telephonie-mobile-ca-marche>
- [5] (2021). Récupéré sur blog.ariase: <https://blog.ariase.com/mobile/dossiers/5g-frequences>.
- [6] L'architecture hybride des satellites et des réseaux 5G façonne l'avenir de la communication par drones. (s.d.). Récupéré sur cordis.europa: <https://cordis.europa.eu/article/id/415496-hybrid-satellite-and-5g-network-architecture-shaping-the-future-of-drone-communication/fr>.
- [7] KALAMBA, L. B. (2010). Interconnexion entre deux réseaux cellulaires des normes GSM par faisceau hertziens cas de CCT et Vodacom, ouvrage.
- [8] Amine, O. M. (2017). Optimisation du réseau de téléphonie mobile pour une couverture maximale d'une région urbaine, thèse de doctorat, Bejaïa.
- [9] Sylia, Z. (2020). Allocation de ressources dans une cellule 5G tri-sectorielle, thèse de doctorat, Bejaïa.
- [10] amine, O. M., & Billal, D. (2014). Aspects d'optimisation de l'interface radio UTRAN d'un réseau UMTS,mémoire pour l'obtention du diplôme de master , Bejaïa.
- [11] KHELIFI, S., & HADDAD, A. (s.d.). Planification et dimensionnement d'un réseau mobile 4G/LTE, mémoire pour l'obtention du diplôme de master en Télécommunications.
- [12] Betaouaf, D., & wissem, B. (2015). Développement d'un outil de dimensionnement et de planification d'un Réseau 4G-LTE, mémoire pour l'obtention du diplôme de master.
- [13] Silvia Sekander, Hina Tabassum, et Ekram Hossain (20 novembre 2017).Multi-tier Drone Architecture for 5G/B5G Cellular Networks: Challenges, Trends, and Prospects, article de journal.
- [14] Oussama, B., Konstantinos, S., Miloud, B., & Tarik, T. (s.d.). A Service-Based Architecture for enabling UAV enhanced Network Services, article de journal.
- [15] Li, X. (2018). Deployment of Drone Base Stations for Cellular Communication Without Apriori User Distribution Information,article de journal.

- [16] Q. Feng, E. Tameh, A. Nix, and J. McGeehan, "Modeling the likelihood of line-of-sight for air-to-ground radio propagation in urban environments," article de journal, IEEE GLOBECOM, 2006.
- [17] Feng, Q., McGeehan, J.P., Tameh, E.K., & Nix, A.R. (2006). Path loss models for air-to-ground radio channels in urban environments, Vehicular Technology Conference 2006 (VTC 2006-Spring), Melbourne, Australia (Vol. 6, pp. 2901 - 2905). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/VETECS.2006.1683399>.
- [18] Jin-Kao, H., Philippe, G., & Michel, H. (s.d.). Métaheuristiques pour l'optimisation combinatoire et l'affectation sous contraintes, article de journal, Vol : No. 1999.
- [19] Hanaâ, H. (2013). Hybridations d'algorithmes méta heuristiques en optimisation globale et leur applications. Thèse de doctorat en cotutelle pour obtenir les grades de docteur en sciences de l'ingénieur école Mohammadia d'ingénieurs en Mathématiques appliquées et Informatique, Université MOHAMMED V AGDAL et docteur de l'institut national des sciences appliqués de Rouen.
- [20] Ilhem, B. (2013). Perfectionnement de méta heuristiques pour l'optimisation continue. Thèse de doctorat en informatique, Alger.
- [21] Métaheuristiques. (s.d.). Récupéré sur gerad: <https://www.gerad.ca/~alainh/Metaheuristiques.pdf>
- [22] Inès, A. (2009). Optimisation multi-objectif par colonies de fourmis Cas des problèmes de sac à dos. Thèse pour l'obtention du diplôme de docteur en informatique.
- [23] M. Dorigo and L. M. Gambardella. Guest editorial special on ant colony optimization. IEEE Transactions on evolutionary computation, 6(4) :317–319, 2002, article de journal.
- [24] Walid, T. (2007). Conception d'un algorithme de colonie de fourmis pour l'optimisation continue dynamique, thèse de doctorat, L'université Paris 12-VAL DE MARNE.
- [25] Ndèye, F. (2015). Algorithmes d'optimisation pour la résolution du problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire, thèse présentée pour obtenir le titre de docteur en Mathématiques Appliquées Informatique.
- [26] Maria, Z., Norelislam, E., Abderahman, M., Mhamed, Itmi, & Nabil, H. (s.d.). Application d'un modèle parallèle de la méthode PSO au problème de transport d'électricité, article de journal.
- [27] KENNEDY J., EBERHART R., "Particle Swarm Optimization," Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks, IEEE Press, vol. 8, no. 3, pp. 1943–1948. 1995.

- [28] Anouar, B. K. (2014). Contribution aux techniques de fusion des modalités biométriques, thèse présentée pour l'obtention du diplôme de Docteur en Génie Electrique, Tunis.
- [29] Hossam, F., Ibrahim, A., Mohammed, A.-B., & Seyedali, M. (2017). Grey wolf optimizer: a review of recent variants and applications, article de journal.
- [30] Nitin, M., Urvinder, S., & Balwinder, S. (s.d.). Modified Grey Wolf Optimizer for Global Engineering Optimization, article de journal.
- [31] Seyedali, M., Seyed Mohammad, M., & Lewis, A. (s.d.). Grey Wolf Optimizer, article de journal.
- [32] Xianhai, S., Li, T., Sutao, Z., Xueqiang, Z., Lei, L., Jianquan, H., & Wei, C. (2015). Grey Wolf Optimizer for parameter estimation in surface waves, article de journal.
- [33] Seyedali, M., Shahrzad, S., & Seyed, M. (2015). Multi-objective grey wolf optimizer: A novel algorithm formulti-criterion optimization, article de journal.
- [34] Huamao, X. (2020). Wireless Sensor Network Deployment of 3D Surface Based on Enhanced Grey Wolf Optimizer, article de journal.
- [35] G. Kaur and S. Arora, "Chaotic whale optimization algorithm," *J. Comput. Des. Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 275–284, Jul. 2018.
- [36] Himani, J., & Sankalap, A. (2017). Enhanced Grey Wolf Optimization Algorithm for Global Optimization, article de journal.
- [37] Chandrasekaran, V., Raju, K., Mohammed, H. A., & Mun-Kyeom, K. (2021). A Novel Multiobjective Hybrid Technique for Siting and Sizing of Distributed Generation and Capacitor Banks in Radial Distribution Systems, article de journal.
- [38] Sunil, K., & Maninder, S. (2020). Breast Cancer Detection Based on Feature Selection Using Enhanced Grey Wolf Optimizer and Support Vector Machine Algorithms, article de journal publié par World Scientific Publishing Company.
- [39] F. Al-Turjman, J. P. Lemayian, S. Alturjman and L. Mostarda, "Enhanced Deployment Strategy for the 5G Drone-BS Using Artificial Intelligence," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 75999-76008, 2019.
- [40] M. Alzenad, A. El-Keyi and H. Yanikomeroğlu, "3-D Placement of an Unmanned Aerial Vehicle Base Station for Maximum Coverage of Users With Different QoS Requirements," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 7, no. 1, pp. 38-41, Feb. 2018.
- [41] A. Al-Hourani, S. Kandeepan and S. Lardner, "Optimal LAP Altitude for Maximum Coverage," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 3, no. 6, pp. 569-572, Dec. 2014.

- [42] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis and M. Debbah, "Efficient Deployment of Multiple Unmanned Aerial Vehicles for Optimal Wireless Coverage," *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 8, pp. 1647-1650, Aug. 2016.
- [43] E. Kalantari, M. Z. Shakir, H. Yanikomeroglu and A. Yongacoglu, "Backhaul-aware robust 3D drone placement in 5G+ wireless networks," *2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, Paris, 2017, pp. 109-114.

## Résumé

Le réseau 5G est actuellement considéré comme une technologie émergente afin d'optimiser la capacité et accroître la couverture. Cependant, avec l'augmentation des utilisateurs, les performances du réseau doivent être améliorées. Dans ce travail, nous avons étudié un déploiement 3D des drone-BSs dans un réseau 5G en utilisant l'algorithme GWO afin d'optimiser les positions des drones dans un réseau 5G. Le logiciel MATLAB a permis de réaliser cette analyse et de comprendre certains aspects liés à notre étude.

**Mots clés :** 5 G, drones, optimisation, GWO, SINR,  $SINR_{thr}$ , LOS, NLOS, probabilité de couverture en liaison descendante.

## Abstract

The 5G network is currently considered an emerging technology to optimize capacity and increase coverage. However, with the increase of users, the network performance needs to be improved. In this work, we studied a 3D deployment of drone-BSs in a 5G network using GWO algorithm to optimize the positions of drones in a 5G network. MATLAB software was used to perform this analysis and to understand some aspects related to our study.

**Keywords:** 5 G, drones, optimization, GWO, SINR,  $SINR_{thr}$ , LOS, NLOS, downlink coverage probability.