REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Yahia Fares

Faculté des sciences

Département Mathématique et Informatique

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en Informatique

Option : Ingénierie des Systèmes et Technologies du Web

Thème

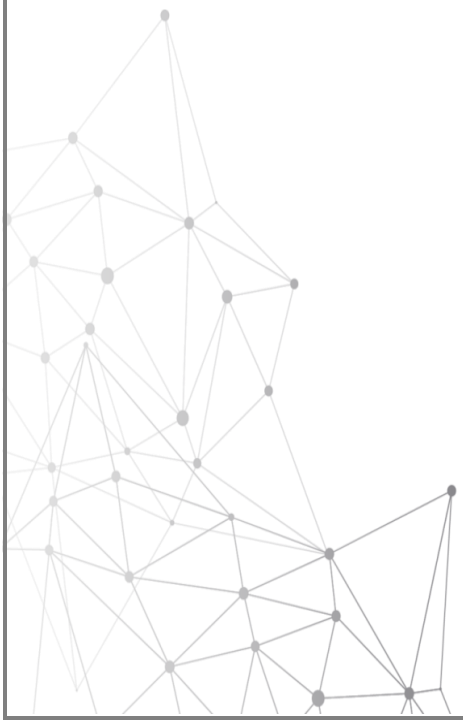
Optimisation multi-objectives du déploiement des réseaux de capteur sans fil dans les serres intelligentes en 3d

Présenté Par :

Kebairia Hadjer

proposé et dirigé par :

Mr Gagui Ali



Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant, pour m'avoir donné la sante, le courage et la volonté d'étudier et pour m'avoir permis de réaliser ce modeste travail dans les meilleures conditions.

Je remercie fortement mon promoteur : ***Mr.Gagui Ali*** *de m'avoir oriente par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.*

Et en fin. Je remercie tous ceux qui on contribue de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ceux qui sont toujours.

Présents dans mon cœur.

A ma très chère mère, A mon très cher père.

A mes sœurs A mes frères.

A tous mes collèges et mes amis.

A tout ceux qui m'ont aidé.

« Kebairia hadjer »

Table des matières

Table des Figures

Liste des acronymes

Introduction Générale 1

Chapitre 1 Agriculture intelligente & Déploiement de RCSF

1.1 Agriculture intelligente 4.0-L'avenire des technologies agricoles 5

1.2 Défis de l'agriculture 6

1.2.1 L'augmentation élevée de la démographie 7

1.2.2 Les utilisations actuelles des ressources naturelles..... 8

1.2.3 Changement climatique 9

1.2.4 Déchets alimentaire 10

1.3 L'utilisation des nouvelles technologies et techniques dans le secteur agricole.....10

1.3.1 Nouvelles techniques..... 11

1.3.1.1 Technique hydroponique 11

1.3.1.2 L'agriculture dans le désert..... 11

1.3.1.3 Emballage durable : Bioplastiques..... 12

1.3.2 Nouvelles technologies 12

1.3.2.1 L'impression 3D..... 13

1.3.2.2 Agriculture verticale et urbaine 13

1.3.2.3 Modification génétique 13

1.3.3 Technologies industrielles et applications 13

1.3.3.1 Internet des objets(IOT) 14

1.3.3.2 Automatisation des compétences et de la main-d'œuvre..... 14

1.3.3.3 Exploitation basée sur les données 14

1.3.3.4 Chatbots..... 14

1.3.3.5 Technologies des drones 15

1.3.3.6 Blockchain et sécurisation de l'agriculture..... 16

1.3.3.7 Nanotechnologie et agriculture de précision..... 17

1.3.3.8 Partage des produits alimentaires et récolte agricole 17

1.4 Réseaux Sans-fil(RSF)....18
1.4.1 Les catégories des réseaux sans fil 18
1.4.1.1 Réseaux personnels sans fil(WPAN).... 19
1.4.1.2 Réseaux locaux sans fils(WLAN).... 20
1.4.1.3 Réseau métropolitain sans fils (WMAN) 22
1.4.1.4 Réseau étendu sans fil(WWAN).... 22
1.4.2 Système de distribution sans fil (WSD) 22
1.4.3 Réseau de capteurs sans fil 23
1.4.4 Déploiement des nœuds 24
1.4.4.1 Déploiement aléatoire.... 24
1.4.4.2 Déploiement déterministe.... 25
1.4.5 Modélisation des critères de déploiement 25
1.4.5.1 Espace de déploiement.... 25
1.4.5.2 Cout de déploiement.... 26
1.4.5.3 Couverture réseau 27
1.4.5.4 Connectivite de réseau.... 29

1.5 Conclusion 32

Chapitre 2 Optimisation multi-objectives & Travaux Connexes

2.1 Optimisation multi-objectives : 34
2.1.1 Définition.... 34

2.2 Problème d'optimisation : 35
2.2.1 Concepts de base : 35
2.2.2 Formulation générale : 36
2.2.3 Un problème combinatoire : 36
Exemple 37

Résolution.... 37
2.2.4 Un problème d'optimisation mono-objectif : 38
2.2.5 Problème d'optimisation multi-objectives : 38

2.3 Type des problèmes : 39
2.3.1 Un problème de la classe P : 40
2.3.2 Un problème de la classe NP: 40

2.3.3 Un problème de la classe NP-complet: 40

2.4 Les méthodes de résolution multi-objectives : 40

2.4.1 Les méthodes exactes : 41

2.4.1.1 Séparation et évaluation : 41

2.4.1.2 Programmation dynamique : 42

2.4.1.3 Programmation linéaire : 43

2.4.2 Les méthodes approchées : 43

2.4.2.1 Qu'est-ce qu'une métaheuristique : 44

2.4.2.2 Les algorithmes évolutionnaires (AES): 45

2.4.2.3 Algorithme génétique élitiste de tri-non-domine (NSGA-II) : 47

2.5 Travaux Connexes : 51

2.5.1 Placement optimal des points d'accès pour un positionnement intérieur : 51

2.5.1.1 Technologies et méthodes de géolocalisation indoor : 51

2.5.2 Déploiement des RCSF dans serre intelligents : 52

2.5.3 Placement des nœuds RFID dans un environnement indoor : ... 55

2.5.4 Placement de relais dans RCSF : 56

2.6 Conclusion : 58

chapitre 3 Conception du système

Introduction 60

3.1 Contexte général 60

3.2 Problème de déploiement de RCSF 61

3.3 Objectif et hypothèse du travail 62

3.3.1 Objectif 62

3.3.2 Hypothèse 62

3.4 Conception du système 63

3.4.1 NSGA-II 64

3.4.1.1 Définition d'un individu 65

3.4.1.2 Fonction d'évaluation(Fitness) 65

3.4.1.3 Classement des individus 68

3.4.1.4 Sélection 68
3.4.1.5 Croisement 68
3.4.1.6 Mutation 70
3.4.1.7 Remplacement 70
3.4.1.8 Critère d'arrêt 70
3.4.1.9 Solutions optimales 71
3.4.2 Triangulation de delaunay : 71
3.5 Conclusion 73
chapitre 4 Implémentation
Introduction : 75
4.1 Simulateurs de Réseau Existants : 75
4.2 Raison de Choisir le Simulateur OMNET ++: 76
4.3 Outils du Simulateur OMNET ++ : 77
4.3.1 INET framework : 77
4.3.2 Langage NED : 78
4.3.3 Langage C++: 78
4.4 Simulation : 78
4.4.1 Composant de simulation : 78
4.4.1.1 Nœud capteur : 78
4.4.1.2 Environnement physique : 79
4.4.1.3 Environnement de Simulation : 80
4.5 Expérimentation 80
4.5.1 NSGA-II algorithme 80
4.5.2 DT algorithme : 81
4.5.2.1 Salutation entre les nœuds : 82
4.5.2.2 Consommation d'énergie : 82
4.6 Discussion 84
4.7 Conclusion : 85

Table des figures

Figure 1.1 : investissements dans Agteech. 6
Figure 1.2 : Démographie. 7
Figure 1.3 : Ressources naturelles. 8
Figure 1.4 : Changement climatique. 9
Figure 1.5 : Déchets alimentaire. 10
Figure 1.6 : Temps d'adoption. 11
Figure 1.7 : Catégories des réseaux sans fil. 19
Figure 1.8 : Réseaux locaux sans fils. 21
Figure 1.9 : Schéma WLAN connecté au WDS. 23
Figure 1.10 : Réseau de Capteurs sans fil. 24
Figure 1.11 : deploiement alertoire. 25
Figure 1.12 : Déploiement déterministe. 25
Figure 1.13 : L'espace de déploiement. 26
Figure 1.14 : Modèle de detection binaire. 28
Figure 1.15 : Deux antennes séparées par une distance R. 30
Figure 1.16 : Lien radio typique LOS. 31
Figure 2.1 : Problème d'optimisation multi-objectives (2 variables de décision et 3 fonctions objectifs). 39
Figure 2.2 : Exemple de chemin optimal dans programmation dynamique. 42
Figure 2.3 : Principe de l'AG standard. 46
Figure 2.4 : Classification des individus selon le rang de Pareto. 48
Figure 2.5 : Distance de crowding (Distance de surpeplement). 49
Figure 2.6 : Principe de l'algorithme NSGA-II. 50
Figure 2.7 : Pseudo-code de l'algorithme NSGA-II. 51
Figure 2.8 : structure d'une serre intelligent. 52
Figure 2.9 : AirMagnet Planner. 54
Figure 2.10 : Cisco Prime Infrastructure. 54
Figure 2.11 : LANPlanner. 55
Figure 2.12 : les techniques de placement de nœuds relais basés sur la métaheuristique dans les RCSF. 57

Figure 2.13 : Les techniques de placement de nœuds relais basés sur l'heuristique dans les RCSF. 58
Figure 3.1 : Architecture d'une serre intelligente. 61
Figure 3.2 : Schéma globale 63
Figure 3.3 : Architecture détaillé de NSGA-II. 64
Figure 3.4 : Représentation d'un individu du système.Population initiale. 65
Figure 3.5 : Croissement. 69
Figure 3.6 : Mutation. 70
Figure 3.7 : Algorithme de Triangulation de delaunay 73
Figure 4.1 : Interface de OMNET ++ 77
Figure 4.2 : L'architecture de nœud capteur. 79
Figure 4.3 : Scène de l'environnement physique 80
Figure 4.4 : Environnement de Simulation. 80
Figure 4.10 : Des nœuds capteurs déployés en mode triangulaire. 81
Figure 4.11 : Des nœuds capteurs déployés dans un environnement indoor. 82
Figure 4.12 : Communication entre les nœuds. 82
Figure 4.13 : Consommation d'énergie de déploiement aléatoire. 83
Figure 4.14 : Consommation d'énergie en utilisant déploiement de triangulation 84

Liste des acronymes

RCSF Réseaux de capteur sans fil

RSF Réseaux sans fils

BT Blue Tooth

LAN Local Area Network

WMAN Réseau Métropolitain Sans Fils

WWAN Réseau étendu sans fil (Wireless Wide Area Network)

MB Model de détection Binaire

MDP Modèle de Détection Probabiliste

MWM Model Multi-Wall

AE Algorithm Evolutionnaire

WSN Wireless Sensor Network

IOT Internet Des Objects (Internet Of Things)

IDO Internet Des Objects

RF Radio Frequency

RFID Radio Frequency Identification

MOASA Multi-Objective Algorithm for Sensor

DT Delaunay Triangulation

SB Station de Base

NSGA-II Algorithme génétique élitiste de tri nom domine

3D 3 Dimensions

Abstract

Smart agriculture is a concept that introduces sophisticated technologies such as robot temperature/pollution sensor; aerial images; GPS; IoT and cloud computing; in order to offer remote controlling and monitoring of crops with intelligent data processing and decision making systems which can give hope to the food quality and scarcity problems.

In this project we Interested in WSN deployment in smart greenhouses farms based on IoT paradigm. Actually to deploy WSN in greenhouses technicians and network designer use manually deployment tests to ensure the connectivity and coverage of all large number of Nods task that will be more complex in the case of a large number of greenhouses. To solve this problem we use deployment decision support system based on a second generation multi-objective optimization in 3D.

Keywords: Smart greenhouses, WSN deployment, Multi-objective optimization, Energy, cost connectivity, coverage, Omnet, DT Algorithm.

Résumé

L'agriculture intelligente est un concept qui introduit des technologies sophistiquées telles que le capteur de température / pollution du robot; images aériennes; GPS; IoT et cloud computing; afin d'offrir un contrôle et une surveillance à distance des cultures avec des systèmes intelligents de traitement des données et de prise de décision qui peuvent donner de l'espoir aux problèmes de qualité et de rareté des aliments.
Dans ce projet, nous nous sommes intéressés au déploiement de WSN.
Dans des serres agricoles intelligentes basées sur le paradigme IoT. En fait, pour déployer WSN dans les serres, les techniciens et les concepteurs de réseau utilisent des tests de déploiement manuels pour assurer la connectivité et la couverture de tout grand nombre de tâches Nods qui seront plus complexes dans le cas d'un grand nombre de serres. Pour résoudre ce problème, nous utilisons un système d'aide à la décision de déploiement basé sur une optimisation multiobjectives de deuxième génération en 3D.
Mots clés: serres intelligentes, déploiement WSN, optimisation multi-objectives, énergie, coût de la connectivité, couverture, Omnet, DT Algorithme.

تلخيص

الزراعة الذكية هي مفهوم يقدم تقنيات متطورة مثل مستشعر درجة حرارة / تلوث الروبوت ؛ صور جوية GPS ؛ إنترنت الأشياء والحوسبة السحابية ؛ من أجل توفير التحكم عن بعد ومراقبة المحاصيل من خلال أنظمة معالجة البيانات واتخاذ القرارات الذكية التي يمكن أن تمنح الأمل لقضايا جودة الأغذية وندرتها في هذا المشروع ، فقد اهتممنا بنشر WSN في الصوبات الزراعية الذكية بناءً على نموذج إنترنت الأشياء. في الواقع ، لنشر WSN في البيوت الزجاجية ، يستخدم الفنيون ومصممو الشبكات اختبار النشر اليدوي لضمان الاتصال والتغطية لأي عدد كبير من مهام المستشعرالتي ستكون أكثر تعقيدًا في حالة وجود عدد كبير من دفيئات. لحل هذه المشكلة ، نستخدم نظام دعم قرار النشر على أساس الجيل الثاني من التحسين متعدد الأهداف ثلاثي الأبعاد.

Introduction Générale

Un RCSF est constitué d'un ensemble de composantes appelées nœuds capteurs et dotées d'une capacité de collecte d'informations sur des grandeurs physiques qui peuvent changer selon les applications (température, humidité, la pression, ...). Ces nœuds recueillent les informations et envoient des rapports périodiques à un nœud spécifique appelé nœud puits (routeur ou Sink en Anglais). Ce nœud est considéré comme étant une passerelle entre le champ de captage (compose par les différents nœuds capteurs éparpilles dans une région) et le système de gestion (serveur, internet,...).

Les principales problématiques de ce type de réseau à savoir :

La consommation énergétique, couverture du réseau, cout de déploiement.

De nombreuses études montrent qu'un bon déploiement du RCSF peut assurer, non seulement, une durée de vie maximale, mais aussi, une bonne couverture réseau. Par conséquent, les nœuds doivent consommer le moins d'énergie tout en s'assurant que le réseau de capteurs continue de fonctionner correctement. Dans sa forme de base, le bon fonctionnement du réseau peut être obtenu si la couverture et la connectivité sont préservées. La couverture garantit que toute la zone de déploiement est surveillée afin qu'aucun événement ne soit manqué, et la connectivité signifie que le réseau n'est pas fragmenté de sorte que les données transmis peut atteindre n'importe quel nœud du réseau.

Le déploiement d'un RCSF consiste à élire les positions des différents nœuds capteurs/routeurs qui composent le réseau .Plusieurs approches ont favorisé par

le passe un déploiement manuel et une approche expérimentale ou le concepteur déploie le réseau et calcule certaines métriques par la suite. Si le réseau déployé est fiable les positions des différents nœuds sont validées, sinon le concepteur change les positions des nœuds et reprend la même démarche jusqu'à ce qu'il trouve un réseau qui satisfait ces attentes.
Cette approche est coûteuse et demande énormément de temps et de ressources (personnes).
Des outils de déploiement et de conception de RCSF, utilisant des notions d'optimisation et de métaheuristiques, ont vu le jour dans la dernière décennie
A part quelques travaux, ces solutions proposées traitent une ou deux contraintes au maximum. Le développement d'un outil capable de traiter les trois objectifs prédéfinis est une nécessité primordiale dans le domaine de conception d'un RSCF. Pour cela, une bonne modélisation du système et un bon choix de la méthode d'optimisation doivent être examines.
Dans notre thèse, nous avons travaillé avec le déploiement 3D dans les serres intelligentes, et le bon déploiement 3D doit prendre en compte les conditions les plus défavorables. Cependant, ces conditions ne peuvent pas se produire dans un nombre limité de temps autre. Dans le reste du temps, les conditions sont plus favorables et le réseau doit adapter son mode de fonctionnement pour économiser d'avantage d'énergie et de ressources.
Notre mémoire est structuré autour de quatre chapitres.
Dans le premier chapitre, nous avons introduit l'agriculture intelligente et les réseaux de capteurs.
Le chapitre deux quant à lui présente des méthodes d'optimisation multi objectif dans un réseau de capteurs.
Le chapitre trois constitue un état de l'art des différentes solutions de déploiement proposées dans la littérature.
Le quatrième chapitre est consacré à la simulation, où des résultats de comparaison sont présentés.

Enfin, le mémoire s'achève par une conclusion, dans laquelle notre contribution a été résumée et les perspectives de notre travail ont été soulignés.

1

Agriculture intelligente & Déploiement de RCSF

Introduction

Les avancées technologiques bouleversent le monde de la production agricole. Bien que la demande augmente constamment, d'ici 2050, nous devrons produire 70% de nourriture en plus. Dans le même temps, la part de l'agriculture dans le PIB mondial a été ramenée à 3%, soit un tiers de sa contribution. De ce fait d'ici quelques décennies à peine, environ 800 millions de personnes dans le monde souffriront de faim ce qui représentera plus de 8% de la population mondial (soit 650 millions de personnes) sera encore sous-alimentée vers l'horizon 2030. En réalité, très peu d'innovations ont été introduites dans le secteur ces derniers temps. Tous ces éléments indiquent que la pénurie alimentaire et la faim seront des défis pour les générations futures.
Les performances d'un réseau sans fil dépendent principalement du processus de déploiement. Le processus de déploiement définit le nombre et les positions optimales des différentes composantes qui forment le réseau. Les différentes métriques de performances :
Cout, couverture et connectivite, dépendes essentiellement du positionnement des nœuds ainsi que de la topologie du réseau adoptée.
De ce chapitre nous allons présenter tout d'abord les défis de l'agriculture intelligente et l'utilisation des nouvelles technologies dans le secteur agricole. Nous allons aussi aborder les différents types de modélisation du problème de déploiement des réseaux sans fil.

1.1 Agriculture intelligente 4.0-L'avenire des technologies agricoles

L'expression "agriculture 4.0" a été créée par analogie au terme "industrie 4.0". On découpe généralement l'évolution du secteur industriel en quatre étapes. Dans les années 1880, il s'est transformé grâce aux machines à vapeur : c'était l'industrie 1.0. L'introduction de l'électricité sur les chaînes de montage correspond à l'industrie 2.0. La troisième phase de la transformation industrielle est caractérisée par l'avènement de l'informatique et l'automatisation des processus sur les chaînes d'assemblage. L'industrie 4.0, elle, regroupe les dernières mutations opérées grâce au digital, et à la possibilité d'interagir et de

communiquer avec les différents matériels. L'agriculture a connu les mêmes changements [1].

L'agriculture a rencontré les mêmes transformations que l'industrie avec l'apparition de la machine à vapeur puis le développement du machinisme agricole. Aujourd'hui, l'ensemble des engins agricoles intègrent des commandes électroniques et sont entrés dans l'air du numérique, ce qui permet d'être informé de leur état et de leurs performances.

Par ailleurs, l'électronique s'est démocratisée, les capteurs et les drones collectent des données sur la météo, les parcelles, les animaux et globalement toute la vie de la ferme. Actuellement, on peut "prendre le pouls" de n'importe quelle activité de l'exploitation agricole et la traduire en performances [1].

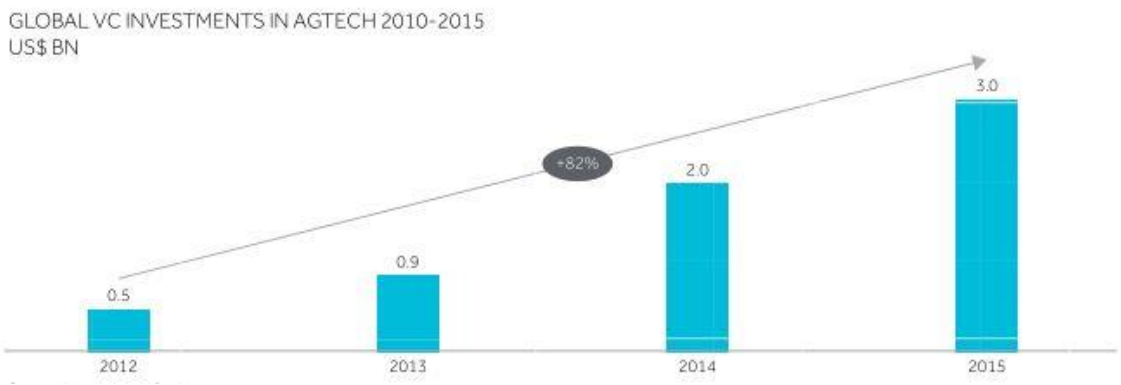


Figure 1.1 : investissements dans Agteech [2].

1.2 Défis de l'agriculture

Un certain nombre de tendances mondiales influent sur la sécurité alimentaire, la pauvreté et la durabilité globale des systèmes alimentaires agricoles.

Les quatre principaux développements qui exercent une pression sur l'agriculture pour répondre aux exigences de l'avenir : la démographie, la rareté des ressources naturelles, le changement climatique et les déchets alimentaires [2].

1.2.1 L'augmentation élevée de la démographie

Dans les décennies à venir, la population mondiale devrait augmenter de 33%, à près de 10 milliards d'ici 2050, contre 7,6 milliards (en octobre 2017). D'ici 2100, la population mondiale devrait atteindre 11,2 milliards.
La croissance démographique stimulera la demande de produits alimentaires, même dans un scénario de croissance économique modeste, d'environ 50 pour cent par rapport à la production agricole de 2013.
Plus de personnes signifie une plus grande demande et cette demande entraîne à son tour une production accrue. Les agriculteurs devront produire 70 pour cent de plus de nourriture d'ici 2050, selon 'UN Food and Agriculture Organisation (FAO)'.
Et cette nourriture devra être adaptée aux besoins d'une population urbaine croissante, un facteur qui englobe toute la chaîne de valeur agricole.

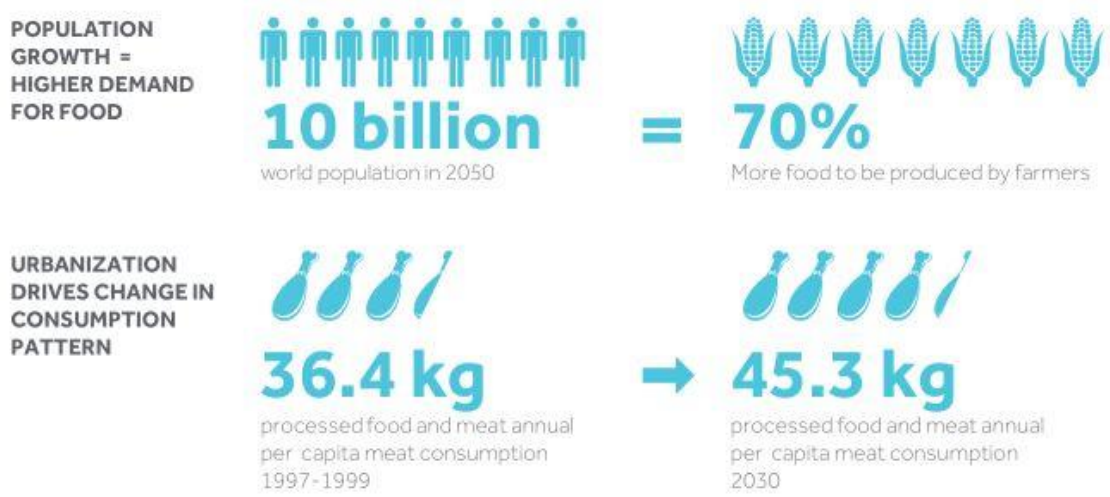


Figure 1.2 : Démographie [2].

Bien que les investissements et les innovations agricoles stimulent la productivité, la croissance des rendements a ralenti à des taux trop bas pour le confort. La question est tout aussi urgente: qui cultivera? Alors même que les besoins et la demande alimentaires augmentent, la population rurale diminue. De plus, les populations rurales vieillissent rapidement, ce qui a des implications majeures sur la main-d'œuvre, les modes de production, le régime foncier,

l'organisation sociale au sein des communautés rurales et le développement économique en général [2].

1.2.2 Les utilisations actuelles des ressources naturelles

Les terres agricoles du monde deviennent de moins en moins adaptées à la production :
Sur la base de certains paramètres, 25% de toutes les terres agricoles sont déjà considérées comme très dégradées, tandis que 44% son moyennement ou légèrement dégradées.
Les ressources en eau sont extrêmement sollicitées, plus de 40% de population rurale du monde vivant dans des zones ou l'eau est rare.
La terre est reconnue depuis longtemps comme une ressource limitée, mais auparavant, les terres agricoles dégradées étaient simplement remplacées par la mise en culture de nouvelles terres inutilisées.
L'agriculture est l'une des principales causes de dégradation des terres agricoles, avec des conséquences indirectes ; de plus, différents aspects de l'agriculture développent ce processus de différentes manières.

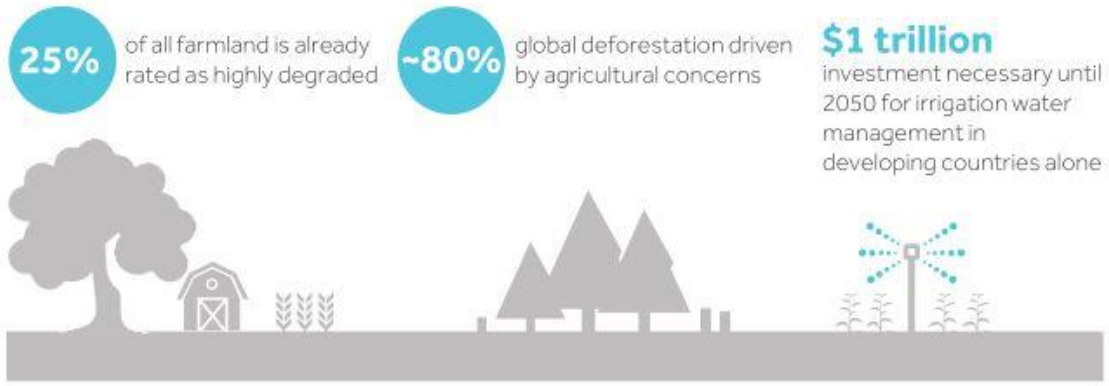


Figure 1.3 : Ressources naturelles [2].

Environ 80% de la déforestation mondiale est provoquée par des préoccupations agricoles. Et si le nettoyage de la végétation pour faire place aux terres agricoles ne produit pas directement de dégradation des sols, mais est nécessaire pour le défrichage, il le fait indirectement en érodant les ressources en eau. Bien que les systèmes d'irrigation aient maximisé l'efficacité d'utilisation, la

croissance démographique fait de la sécurité et de la rareté de l'eau une préoccupation majeure. L'investissement jugé nécessaire jusqu'en 2050 s'élève à 1 billion de dollars pour la gestion de l'eau d'irrigation dans les seuls pays en développement !
Un investissement de 160 milliards de dollars sera nécessaire pour la conservation des sols et le contrôle des aliments [2].

1.2.3 Changement climatique

L'agriculture est l'un des principaux producteurs de GHGs (greenhouse gases): Au cours des 50 dernières années, les émissions de gaz à effet de serre résultant de l'agriculture, de la déforestation et d'autre utilisations des terres, ont presque doublé. L'agriculture représente la plus grande part des émissions mondiales de méthane et d'oxyde nitreux. De plus les prévisions misent sur une augmentation supplémentaire d'ici 2050.

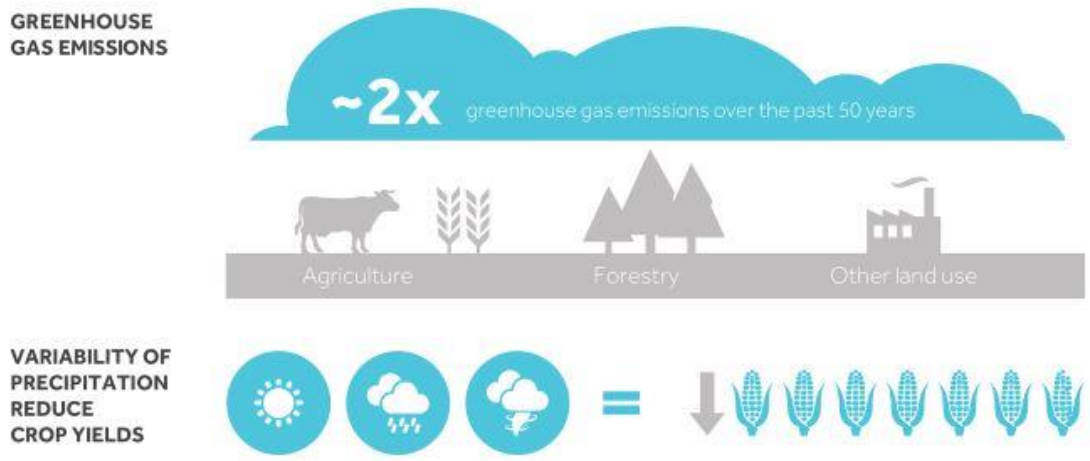


Figure 1.4 : Changement climatique [2].

Le changement climatique affectera tous les aspects de la production alimentaire : la variabilité croissante des précipitations et davantage de sécheresses et d'inondations vont probablement réduire les rendements. L'impact du changement climatique sur la sécurité alimentaire mondiale ne concernera pas seulement l'offre alimentaire, mais également la qualité, l'accès et l'utilisation de la nourriture [2].

1.2.4 Déchets alimentaire

Le déchet alimentaire est mauvais pour l'environnement. Il faut une masse terrestre plus grande que la Chine pour cultiver des aliments qui ne sont finalement pas consommés pour produire des aliments qui sont ensuite jetés. En outre, les aliments qui ne sont jamais consommés représentent 25 pour cent de toute la consommation d'eau douce dans le monde.
Non seulement toutes les ressources nécessaires à la création de la nourriture non consommée sont gaspillées (terre, eau, travail, énergie, fabrication et emballage), mais lorsque les déchets alimentaires vont à la décharge, où se retrouve la grande majorité de ceux-ci, il se décompose sans accès à l'oxygène et crée du méthane, qui est 23 fois plus mortel que gaz carbonique.
Dans tous les sens, le déchet alimentaire est l'un des principaux responsables de la destruction de notre planète: si le déchet alimentaire était une nation, ce serait le troisième émetteur de gaz à effet de serre après la Chine et les États-Unis [2].



Figure 1.5 : Déchets alimentaire [2].

1.3 L'utilisation des nouvelles technologies et techniques dans le secteur agricole

Les exploitations agricoles modernes fonctionneront différemment, principalement en raison des avancées technologiques, notamment des capteurs, des dispositifs, des machines et des technologies de l'information [2].



Figure 1.6 : Temps d'adoption [2].

1.3.1 Nouvelles techniques

1.3.1.1 Technique hydroponique

La culture hydroponique, un sous-ensemble de l'hydro culture, est la méthode de culture de plante sans sol, utilisant des solutions d'éléments nutritifs minéraux dans un solvant aqueux. Une technologie hydroponique d'eau de mer qui combine le solaire, le dessalement et l'agriculture pour cultiver des légumes dans toutes les régions.
Ses technologies intègrent l'énergie solaire, la production d'électricité, la production d'eau douce et la culture hydroponique [2].

1.3.1.2 L'agriculture dans le désert

L'initiative pour l'agriculture dans le désert cherche à s'attaquer à l'ensemble des défis difficiles que pose l'agriculture dans un environnement désertique. Les domaines clés de la recherche biotique comprennent :

Les technologies d'ingénierie du génome permettant de manipuler les systèmes biologiques ainsi que la croissance et le développement des plantes ; des régulateurs de croissance qui améliorent les plantes ou répondent aux conditions défavorables : et les hormones végétales qui l'architecture des pousses et des racines en fonction de la disponibilité des éléments nutritifs. La capacité des plantes à s'adapter à des conditions de stress extrêmes dépend de leur association avec des microbes spécifiques [2].

1.3.1.3 Emballage durable : Bioplastiques

Les nouvelles technologies et solutions perturbent non seulement la production de la chaine de valeur, mais également l'emballage des produits alimentaires. Les consommateurs demandent de plus en plus aux entreprises de développer des récipients alimentaires recyclables. Biodégradables.
La startup TIPA, cependant, veut changer tout cela. TIPA a été créée pour créer des solutions viables d'emballages en plastique. Sa vision est de créer un emballage compo stable et recyclable qui équivaut à un fruit ou un légume : quelque chose qui une fois jeté. Serait décomposé et ne laisserait aucun résidu toxique. TIPA développe actuellement un emballage plastique souple évolué qui s'intègre parfaitement dans les processus de fabrication des aliments actuels et offre aux consommateurs et aux marques la même durabilité et la même durée de vie qu'ils attendent des plastiques ordinaire mais qui peuvent revenir à la nature une fois utilisés[2].

1.3.2 Nouvelles technologies

Agriculture 4.0 ne dépendra plus de l'application uniforme d'eau, d'engrais et de pesticides sur des champs entiers. Au lieu de cela, les agriculteurs utiliseront les quantités minimales requises et cibleront des zones très spécifiques.
Il sera possible de faire pousser des cultures dans les zones arides, en utilisant des ressources abondantes et propres comme le soleil et l'eau de mer. D'autres innovations – l'impression 3D d'aliments, la viande de culture, la modification génétique et l'agriculture d'eau de mer- en sont encore à leurs débuts, mais elles pourraient toutes changer la donne dans la prochaine décennie [2].

1.3.2.1 L'impression 3D

L'impression 3D qui devient importante dans les industries manufacturières, est maintenant appliquée à la production alimentaire. L'impression 3D (également appelée fabrication additive) est un processus par lequel des couches de matériau sont formées pour créer des objets –et dans ce cas, des plats familiers. Les experts estiment que les imprimantes utilisant des hydro colloïdes (substances qui forment des gels avec de l'eau) pourraient remplacer les ingrédients de bases des aliments par des sources d'énergie renouvelables telles que les algues, la lentille d'eau et l'herbe [2].

1.3.2.2 Agriculture verticale et urbaine

L'agriculture verticale est une solution pour fournir des produits de haute qualité de manier durable. L'agriculture verticale est le processus de culture d'aliments en couches superposées verticalement, produisant des aliments dans des environnements difficiles ou une terre appropriée n'est pas disponible. Associe à l'agriculture urbaine, elle utilise des méthodes de culture en sol, hydroponiques. Le processus utilise 95% moins d'eau, moins d'engrais et de suppléments nutritionnels, et pas de pesticides, tout en augmentant la productivité [2].

1.3.2.3 Modification génétique

Les techniques de sélection conventionnelles ont été améliorées grâce à des techniques de sélection classiques pour le développement d'un blé résistant à la sécheresse, qui a conduit à la premier vague de rendements améliorée dans les pays en développement. Mais pour répondre aux besoins alimentaires de demain, le génie génétique est nécessaire.
La technologie CRISPR (cluster répétition palindromique courte régulièrement espacée) constitue une nouvelle approche importante de l'édition du génome qui permet une plus grande sélectivité et réduit l'élément de hasard.

1.3.3 Technologies industrielles et applications

L'efficacité et la productivité augmenteront dans les années à venir à mesure que « L'agriculture de précision » s'agrandit et que les exploitations deviennent

plus connectées. On estime qu'en 2020, plus de 75 millions d'appareils IOT agricoles seront utilisés. Même si le nombre croissant d'appareils connectés représente une grande opportunité pour l'alimentation productrice, cela ajoute aussi de la complexité.
La solution réside dans l'utilisation de technologies cognitives permettant de comprendre, de raisonner, d'interagie et d'accroitre l'efficacité certaines technologies sont :

1.3.3.1 Internet des objets(IOT)

Les technologies IOT permettent les corrélations de données structurées et non structurées en vue de fournir des informations sur la production alimentaire. Des plates-formes IOT telles que Watson d'IBM applique l'apprentissage automatique a des données de capteurs ou de drones, transformant ainsi les systèmes de gestion en systèmes d'IA réels.

1.3.3.2 Automatisation des compétences et de la main-d'œuvre

De nouvelles technologies seront nécessaires pour alléger la charge de travail des agriculteurs : les opérations seront effectuées à distance, les processus seront automatisés, les risques identifies, les problèmes résolus. A l'avenir, les compétences d'un agriculteur seront de plus en plus un mélange de compétences en technologie et en biologie plutôt qu'en agriculture pure.

1.3.3.3 Exploitation basée sur les données

En analysant et en corrélant les informations sur les conditions météorologiques, les types de semences, la qualité du sol, la probabilité de maladies, les données historiques, les tendances du marché et les prix, les agriculteurs prendront des décisions plus éclairées [2].

1.3.3.4 Chatbots

A l'heure actuelle, les chatbots (assistants virtuels) basés sur l'IA sont utilisés dans les secteurs de la vente au détail, des voyages, des medias et des assurances. Mais l'agriculture pourrait également tirer parti de cette technologie en aidant

les agriculteurs avec des réponses et des recommandations sur des problèmes spécifiques [2].

1.3.3.5 Technologies des drones

Les drones ne sont pas une nouvelle technologie. Mais grâce aux investissements et a un environnement réglementaire assoupli, le temps leur est peut-être arrive, et, l'un des domaines les plus prometteurs est l'agriculture, ou les drones ont le potentiel de relever des défis majeurs. La technologie des drones donne à l'agriculture un relooking de technologie.

Les drones sont utilisés de six manières différentes tout au long du cycle de culture :

- **Analyse du sol et du terrain** :

  En produisant des cartes 3D précises pour une analyse précoce du sol, les drones peuvent jouer un rôle dans la planification de la plantation de semences et la collecte de données pour la gestion des niveaux d'irrigation et d'azote.

- **Plantation** :

  Les start-ups ont créé des systèmes de plantation par drones qui réduisent les couts de plantation de 85%. Ces systèmes tirent des gousses contenant des graines et des nutriments dans le sol. Fournissant tous les nutriments nécessaires à la croissance des cultures.

- **Pulvérisation des cultures :**

  Les drones peuvent scanner le sol, pulvérisant en temps réel pour une couverture uniforme. Résultat : la pulvérisation aérienne est cinq fois plus rapide avec les drones que les machines traditionnelles.

- **Surveillance des cultures :**

  Une surveillance inefficace des cultures constitue un obstacle considérable. Avec les drones, des animations chronologiques peuvent montrer le développement d'une culture et révéler les inefficacités de la production, permettant ainsi une meilleure gestion.

- **Irrigation :**

Les drones capteurs peuvent identifier les parties d'un champ sec ou ayant besoin d'amélioration.

- **Evaluation de l'état de santé :**

En analysant une culture à l'aide de lumière visible et de poches infrarouges, Les dispositifs a drones peuvent aider à suivre les modifications des plantes, indiquer leur état de santé et, alerter les agriculteurs des maladies.

Des nuées de drones autonomes peuvent collecter des données et effectuer des taches.

Les capteurs capables de collecter des données de haute qualité et les logiciels de traitement des nombres permettront de concrétiser ce rêve dont la haute technologie constitue le principal obstacle à la réalisation de cette réalité [2].

1.3.3.6 Blockchain et sécurisation de l'agriculture

Blockchain, la technologie de grand livre distribuée à l'origine de Bitcoin et d'autres monnaies cryptées, permet des transactions et un enregistrement numérique hautement sécurisés. Bien que la blockchain ait été principalement utilisée en monnaies virtuelles, elle peut également être appliquée à d'autres types de transactions, y compris agricoles.

La Blockchain peut réduire les inefficiences, la fraude et améliorer la sécurité alimentaire, la rémunération des agriculteurs et les temps de transaction. En améliorant la traçabilité dans les chaines d'approvisionnement, il permettra aux autorités de réglementation d'identifier rapidement la source des aliments contamines et de déterminer l'étendue des produits affectes lors d'incidents de contamination. En outre, la technologie peut réduire les déchets en détectant les goulots d'étranglement dans la chaine d'approvisionnement contribuant à la détérioration des aliments. La transparence de la blockchain peut également aider à lutter contre la fraude alimentaire. Les plus petites transactions, que ce soit au niveau de la ferme, de l'entrepôt ou de l'usine, peuvent être surveillées efficacement et communiquées tout au long de la chaine logistique lorsqu'elle sont associées à des technologies IOT, telle que des capteurs et des étiquettes RFID.

Les technologies de chaines de blocs peuvent empêcher l'extorsion l'envolée des prix et les retards de paiement tout en éliminant les intermédiaires et en abaissant les frais de transaction, en permettant une tarification plus équitable et en aidant les petits exploitants à s'approprier une plus grande part de la valeur de leurs cultures [2].

1.3.3.7 Nanotechnologie et agriculture de précision

La « Révolution verte » du XXe siècle a été motivée par l'utilisation aveugle de pesticides et d'engrais chimiques, entrainant une perte de biodiversité des sols et une augmentation de la résistance aux agents pathogènes et aux nuisibles.
La nouvelle révolution sera l'agriculture de précision alimentée par les nanotechnologies. Cette révolution verra les nanoparticules livrées aux plantes et les biocapteurs avances pour l'agriculture de précision. Les engrais conventionnels, les pesticides et les herbicides nano encapsules vont libérer les nutriments et les produits agrochimiques de manière lente et soutenue, ce qui permet un dosage précis des plantes.
Les avantages de l'agriculture de précision en nanotechnologie sont les suivants :

- Les nano fertilisants aident à la libération lente et soutenue d'agrochimiques, produisant des dosages précis.
- Protection accrue des plantes et traitement des maladies.
- Biocapteurs peuvent détecter des pesticides dans les cultures, menant à des décisions plus éclairées [2].

1.3.3.8 Partage des produits alimentaires et récolte agricole

La technologie a permis aux communautés de partager leurs biens et servies. Cette première est devenue populaire dans le covoiturage et le partage de la maison, est maintenant appliquées à tous les secteurs, y compris la nourriture.
Olio, fondé par des entrepreneurs sociaux, a mis au point une application permettant de relier les personnes avec leurs voisins et les magasins locaux afin de partager les excédents alimentaires au lieu de les jeter.
Naranjas del Carmen, un autre projet d'entreprise social, a développé le

Concept de l'association collective, a créé un système dans lequel la personne à la propriété des arbres et de la terre que le paysan cultive.
De cette manier, les fruits de ces arbres vont à leurs propriétaires, créant un lien direct entre production et consommation et évitant la surproduction et le gaspillage tout au long de la chaine de valeur [2].

1.4 Réseaux Sans-fil(RSF)

Un réseau sans fil est comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux (ordinateur portable, PDA, etc.) peuvent communiquer sans liaison filaire.
Les réseaux sans fil sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques (radio et infrarouges) en lieu et place des câbles habituels. Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions.
Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires (creusement de tranchées pour acheminer les câbles, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies [3].

1.4.1 Les catégories des réseaux sans fil

On distingue habituellement plusieurs catégories de réseaux sans fils, séton le périmètre géographique, offrant une connectivité (appelé zone de couverture) [4] :

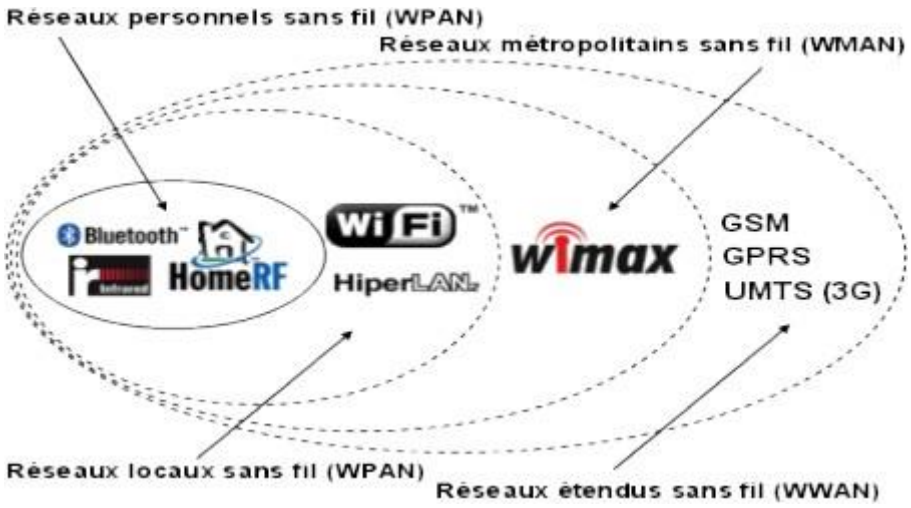


Figure 1.7 : Catégories des réseaux sans fil [48].

1.4.1.1 Réseaux personnels sans fil(WPAN)

Le réseau personnel sans fil (appelé également réseau individuel sans fil ou réseau domestique sans fil et noté WPAN pour Wireless Personal Area Network) concerne les réseaux sans fil d'une faible portée : de l'ordre de quelques dizaines mètres. Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques, ...) ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans liaison filaire ou bien à permettre la liaison sans fil entre deux machines très peu distantes. Il existe plusieurs technologies utilisées pour les WPAN [5]:

a) La technologie Bluetooth

Bluetooth ou IEEE 802.15.1. Développé en 1994 et généralisé en 1998 par la création d'un consortium de 2000 acteurs de l'industrie des télécommunications (BlueTooth [BT]). La norme Bluetooth s'appuie sur une pile de protocoles propre. La bande de fréquence utilisée au niveau de la couche radio s'étend de 2,4 GHz à 2,4835 GHz et divisée en 79 canaux de 1 MHz. Le débit offert est de l'ordre de 1 Mb/s. Cette technologie est principalement conçue pour la connexion de périphériques de manière sécurisée [6].

b) La technologie ZigBee

ZigBee est un LP-WPAN (Low Power-WPAN) ou encore LR-WPAN (Low Rate-WPAN) basé sur la norme IEEE 802.15.4 de communication à faible consommation et à faible débit (ZigBee Alliance [ZA]). ZigBee a d'abord été dénommé HomeRF-Lite avant de porter successivement FireFly et RF-EasyLink. C'est une spécification publiée en 2003 par l'Alliance ZigBee et complétée en 2006 par la norme IEEE 802.15.4-2006 (version B).Elle propose un système de mise en réseau d'entités embarquées communicantes et présente des débits de 250 Kb/s [6].

1.4.1.2 Réseaux locaux sans fils(WLAN)

- Le *réseau local sans fil* (noté WLAN pour 'Wireless Local Area Network') est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres. Il permet de relier entre-eux les terminaux présents dans la zone de couverture.

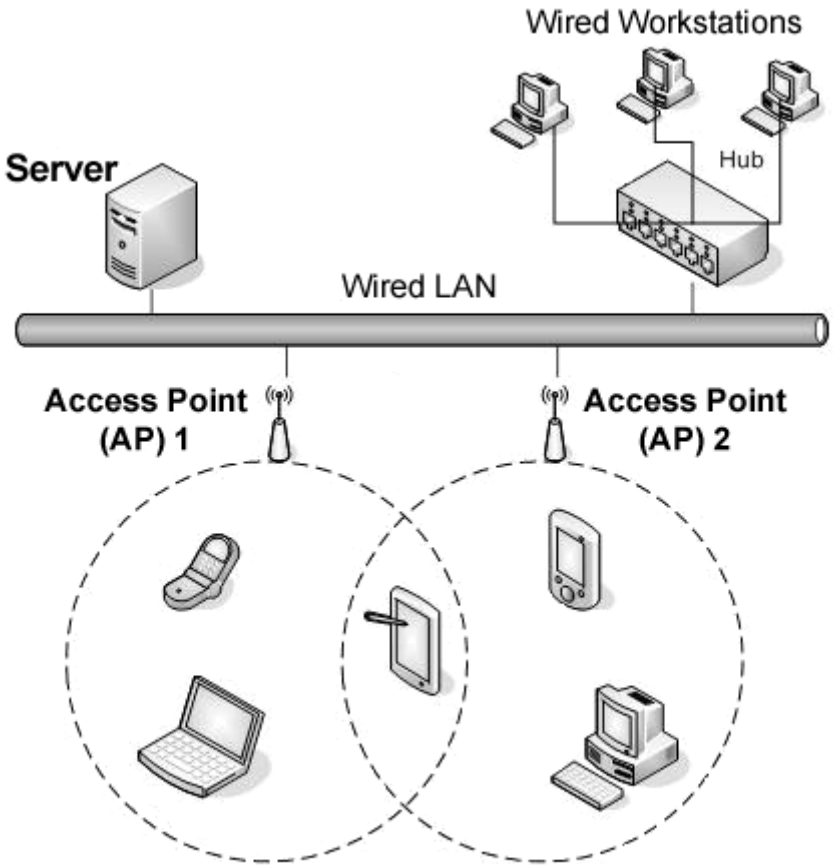


Figure 1.8 : Réseaux locaux sans fils [47].

Il existe plusieurs technologies concurrentes :

i.Wi-Fi

Le Wifi (ou IEEE 802.11), soutenu par l'alliance WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) offre des débits allant jusqu'à 54Mbps sur une distance de plusieurs centaines de mètres [7].

ii.HiperLAN2 (High Performance Radio LAN 2.0)

Norme européenne élaborée par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). HiperLAN 2 permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbps sur une zone d'une centaine de mètres dans la gamme de fréquence comprise entre 5 150 et 5 300 MHz.Réseau métropolitain sans fils [7].

1.4.1.3 Réseau métropolitain sans fils (WMAN)

Le réseau métropolitain sans fil (WMAN pour Wireless Metropolitan Area Network) est connu sous le nom de Boucle Locale Radio (BLR). Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16. La boucle locale radio offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunication [8].

1.4.1.4 Réseau étendu sans fil(WWAN)

Le réseau étendu sans fil (WWAN pour Wireless Wide Area Network) est également connu sous le nom de réseau cellulaire mobile. Il s'agit des réseaux sans fil les plus répandus puisque tous les téléphones mobiles sont connectés à un réseau étendu sans fil. Les principales technologies sont les suivantes :

- **GSM** (Global System for Mobile Communication ou en français Groupe Spécial Mobile)
- **GPRS** (General Packet Radio Service)
- **UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System) [9].

1.4.2 Système de distribution sans fil (WSD)

Un système de distribution sans fil (WDS) est un système permettant l'interconnexion sans fil de points d'accès dans un réseau IEEE 802.11. Il permet d'étendre un réseau sans fil à l'aide de plusieurs points d'accès sans l'exigence traditionnelle d'un backbone filaire pour les relier [10].

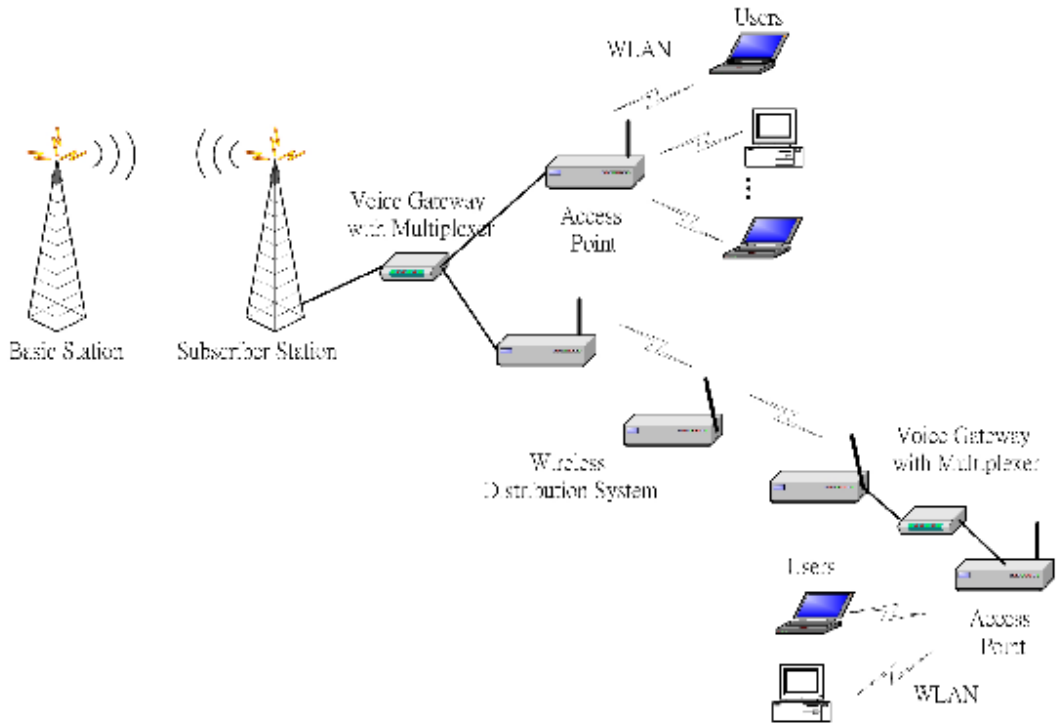


Figure 1.9 : Schéma WLAN connecté au WDS [10].

L'utilisation la plus courante d'un système de distribution sans fil consiste à relier un réseau WLAN couvrant deux bâtiments. Le WDS le plus simple se compose de deux points d'accès configurés pour se transmettre des messages, fonctionnant en conjonction avec une antenne qui permet la communication en visibilité directe [11].

1.4.3 Réseau de capteurs sans fil

Réseau de Capteurs sans Fil (RCSF), ou Wireless Sensor Network (WSN), est un ensemble d'entités déployées de façon à couvrir un territoire d'intérêt. Ces entités sont capables d'opérer en toute autonomie afin de collecter, traiter et envoyer des données relatives à leur environnement vers une Station de Base (SB). Les capteurs disposent de faibles capacités énergétiques et communiquent entre eux via des liaisons sans fil. La Figure 1 illustre l'architecture générale d'un RCSF [12].

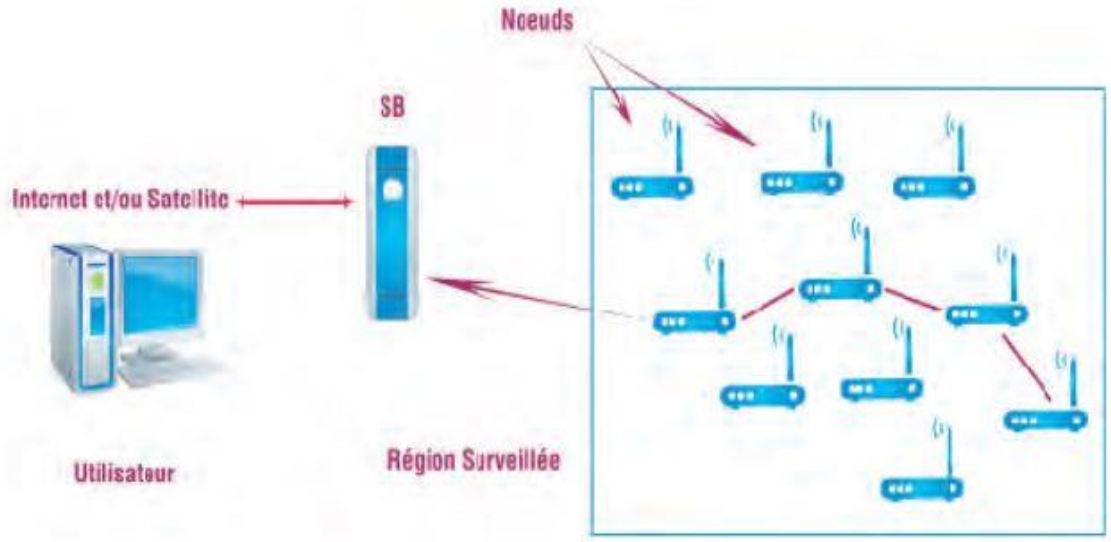


Figure 1.10 : Réseau de Capteurs sans fil [12].

1.4.4 Déploiement des nœuds

Le déploiement des nœuds capteurs dans une zone d'intérêt peut généralement être de manière planifiée ou aléatoire. Le type de nœuds capteurs, l'application et l'environnement dans lequel les nœuds fonctionnent sont tous des facteurs qui influencent le choix du type de déploiement. Dans des situations où on n'a pas une connaissance préalable des champs comme sur un champ de bataille, le déploiement aléatoire peut être le seul choix. Cependant, le déploiement déterministe est souvent nécessaire lorsque les nœuds capteurs coûtent cher ou lorsque leur position a un impact assez important sur leur fonctionnement [13].

1.4.4.1 Déploiement aléatoire

Cette méthode de placement est souvent utilisée pour déployer des nœuds capteurs dans des zones inconnues, difficiles d'accès ou inaccessibles. Les nœuds capteurs sont généralement dispersés par le biais d'un avion ou d'un drone, ce qui entraîne une distribution aléatoire des nœuds capteurs. Ce type de déploiement entraîne éventuellement des performances sous-optimales (par exemple, il ne garantit pas la couverture et la connectivité) [13].

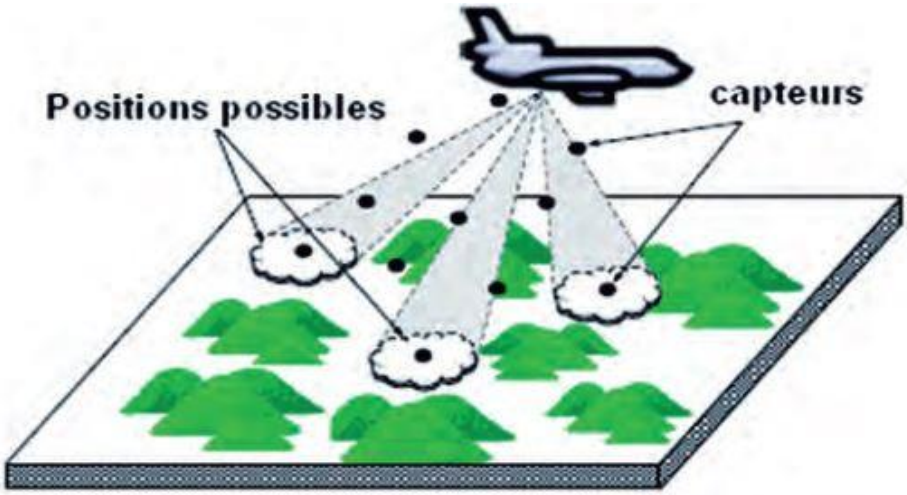


Figure 1.11 : deploiement alertoire [12].

1.4.4.2 Déploiement déterministe

Ce type de déploiement est utilisé lorsque la zone d'intérêt est accessible. Dans ce cas, les nœuds capteurs sont placés dans des positions fixes et connues selon un plan prédéfini. Le placement planifié minimise le nombre de nœuds requis et maximise la couverture du champ de capture [13].

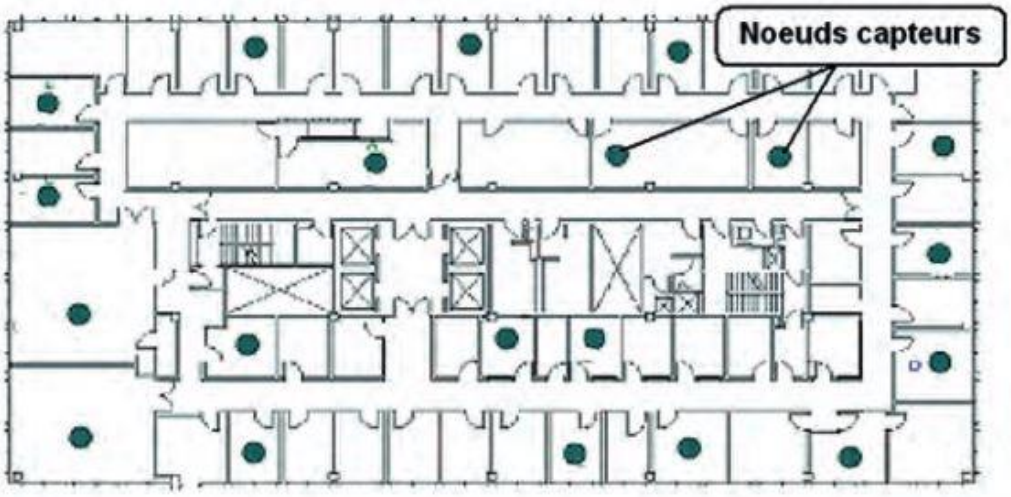


Figure 1.12 : Déploiement déterministe [12].

1.4.5 Modélisation des critères de déploiement

1.4.5.1 Espace de déploiement

L'espace de déploiement est modélisé par une grille ou chaque cellule de la grille représente un emplacement potentiel d'un nœud du réseau. Nous considérons un déploiement 3D et après avoir divisé l'espace en un nombre (L x W x Z) de

cellules tel que: L représente la longueur d'espace et W sa largeur et Z hauteur.

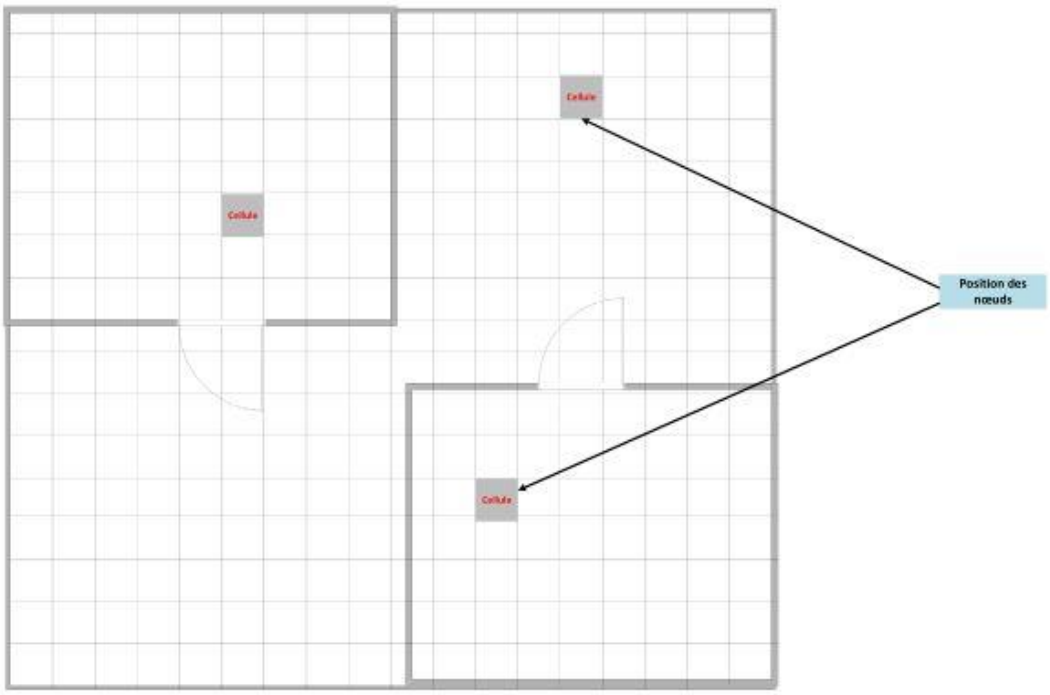


Figure 1.13 : L'espace de déploiement [14].

1.4.5.2 Cout de déploiement

L'un des principaux objectifs de conception d'un RCSF, d'un point de vue économique est la réduction du coût de déploiement tout en assurant d'excellente performance [14]. Ce coût dépend essentiellement du coût d'achat, ainsi que du nombre de nœud à déployer. Nous considérons dans notre travail un RCSF composé de : S = { s_1 , s_2 ... s_N } capteurs et SK = { sk_1 , sk_2 ... sk_N } nœuds collecteurs. Le coût de déploiement d'un RCSF est calculé selon la fonction suivante:

Cost= C_s ×||S||+ C_{sk} ×||SK||

Ou:

C_s ,C_{sk} : représentent le coût d'achat d'un capteur (collecteur respectivement).

||S||, ||SK||: représentent la cardinalité des ensembles capteurs, collecteurs respectivement [16].

1.4.5.3 Couverture réseau

Cette caractéristique représente la fonction principale du réseau qui est la surveillance des évènements et la collecte des données sur les phénomènes se produisant dans l'espace environnant. La couverture peut être considérée comme un objectif (à maximiser en général), ou bien comme étant une contrainte que la solution proposée par l'algorithme de déploiement doit respecter.

La couverture des évènements est exprimée par l'espace total que peut couvrir (détecter tous les phénomènes se produisant dans cet espace) un réseau de capteurs sans fil déployé.

Un espace est dit couvert par un nœud quelconque, si et seulement si, cet espace se trouve dans le champ de détection de ce nœud [14].

la couverture d'une zone est elle-même exprimable sous la forme de plusieurs modèles:

(1) Le modèle binaire et (2) le modèle probabiliste

a) Modèle de detection Binaire (MB)

Appelé aussi modèle 0-1, ce modèle considère qu'un évènement est détecté avec une probabilité égale à "1" (100% de détection) s'il se produit à une distance infirieure ou égale au rayon de détection R d d'un nœuds capteur, et une probabilité de"0" (aucune détection) sinon (distance > R d). La Figure 2.6 représente un exemple de ce modèle de détection d'évènements par un nœud capteur [14].

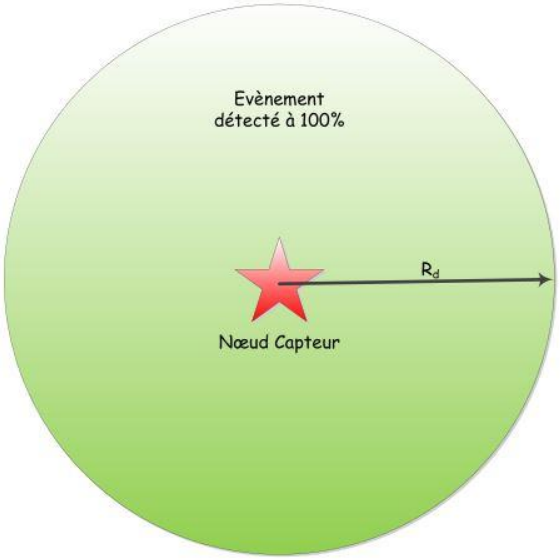


Figure 1.14 : Modèle de detection binaire [14].

b) Modèle de detection Probabiliste (MDP)

Une extension plus réaliste du modèle "binary disc" est le "probabilistic sensing model" (voir Figure 2.3), proposé par (Zou et Chakrabarty, 2003). Ce modèle probabiliste reflète le comportement incertain de détection des nœuds capteurs comme les capteurs infrarouges ou ultrasons. Dans un tel modèle, si r u définit une zone de détection incertaine d'un capteur n tel que r u <r d alors un nœud pourrait détecter avec une probabilité p un point ou un objet se situant dans un intervalle compris entre r d !r u et r d +r u . La probabilité de couverture d'un point P x i, y i ( ) par un capteur n i est donnée comme suit:

$$c_{x_i y_i}(n_i)=\begin{cases} 0, & r_d + r_u \leq d(n_i, P) \\ e^{-wa^{\beta}}, & r_d - r_u < d(n_i, P) < r_d + r_u \\ 1, & r_d - r_u \geq d(n_i, P) \end{cases}$$

Où a = d (n_i, P) – $(r_d - r_u)$, w et β sont des paramètres qui mesurent les probabilités de détection d'un objet se trouvant à une certaine distance d'un nœud capteur. On pourra dire que tous les points sont 1-couverts par un nœud capteur donné s'ils se trouvent à une distance en dessous de $(r_d - r_u)$ de ce nœud capteur, et tous ceux se trouvant dans l'intervalle $[r_d - r_u, r_d + r_u]$ ont une couverture (<1) qui décroît exponentiellement avec la distance. Au-delà d'une distance $(r_d - r_u)$, tous les points sont 0-couverts ou non couverts [15].

1.4.5.4 Connectivite de réseau

La connectivité du réseau est généralement assimilée à la propagation d'ondes radio.

Cette dernière est une modélisation du comportement du signal émis par un nœud du réseau. On peut dire qu'un nœud est connecté à un autre (peut transmettre les informations), si et seulement si, chaque nœud peut transmettre/recevoir des données de l'autre. Cela peut être défini par la puissance de réception calculée au niveau d'un nœud par rapport à un autre.

Un RCSF est généralement représenté par un graphe G = (V, E), où V représente l'ensemble des nœuds et E l'ensemble des liens associés. Si un lien $(N_e , N_r) \in E$ existe, cela veut dire que N_e , N_r sont des voisins et peuvent communiquer (envoyer/recevoir des informations).

L'ensemble des voisins d'un nœud quelconque N i est exprimé comme suit :

$$N(i)=\{N_j /(N_j , N_i) \in E \vee (N_i , N_j) \in \} \quad (1.4)$$

Les liens sans-fil sont déterminés selon la valeur de la puissance du signal reçu par un nœud (RSSI: Received Signal Strength Indicator). Ainsi, chaque lien peut être défini comme suit :

$$E=\{(N_j , N_i) \in V^2 e \neq r \wedge RSSI(er) \geq RX_{Tsh}\} \quad (1.5)$$

Où RSSI(er) représente la puissance du signal transmis par le nœud N e et calculée au niveau du nœud N r , RX_{Tsh} est la sensibilité de l'antenne de réception (elle représente la puissance minimale autorisée pour établir une connexion). IL existe une multitude de modèles de propagations radio, qui peuvent exprimer le comportement de l'onde transmise par un nœud dans un environnement précis. Dans les parties suivantes, nous exposons les modèles les plus importants [14].

a)Modèle de FRIIS

Le modèle de Friis communément appelé équation de transmission de Friis. Ce modèle met en relation la puissance du signal reçu et celui émis entre deux antennes séparées par une distance R (Fig 1.19). Dans ce modèle, les antennes de transmissions sont considérées comme étant isotropes (rayonnement uniforme dans toutes les directions Fig 2.3). L'antenne dispose d'un gain noté $G_{t/r}$ (émission/réception respectivement) [14].

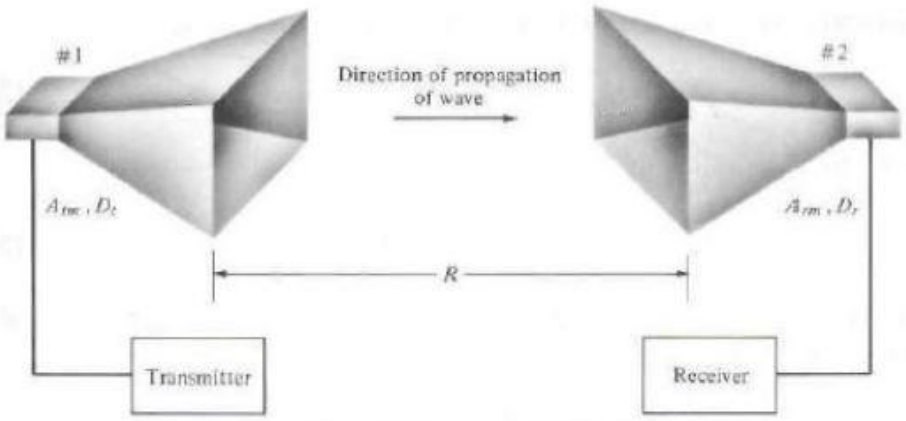


Figure 1.15 : Deux antennes séparées par une distance R [14].

Le rapport puissance de réception/transmission selon Friis est donné par l'équation suivante :

$$PL(R)=10x\ n\ x\ \log[(\frac{\lambda^2}{4\pi R})\ x\ G_t\ x\ G_r\ ] \qquad (1.6)$$

Le terme $(\frac{\lambda^2}{4\pi R})$ est appelé facteur de perte en espace libre (en anglais: free-space loss factor) et prend en compte toutes les pertes dues à la propagation sphérique de l'onde. Cette équation de propagation d'onde radio a été la base des autres modèles proposés par la suite.

b)Modèle Line of Sight(LOS)

Dans une communication LOS (Line-Of-Sight), le chemin principal de l'onde est le chemin direct entre un transmetteur et un récepteur.

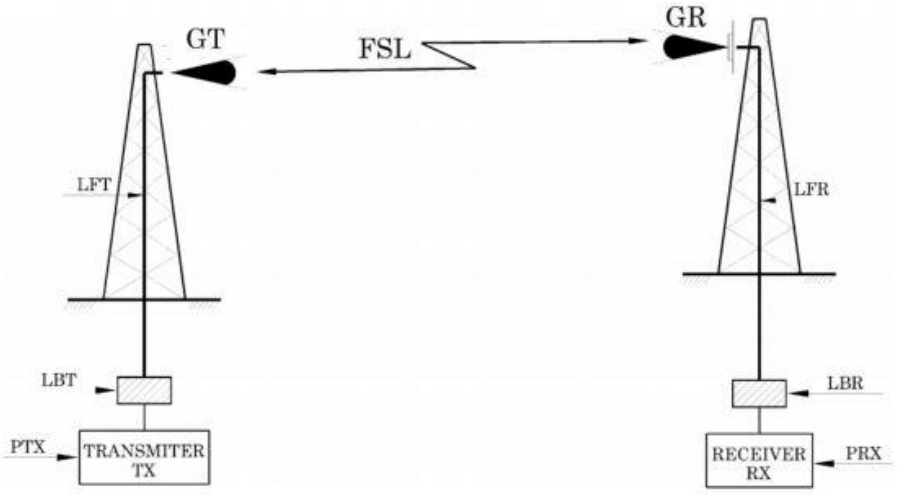


Figure 1.16 : Lien radio typique LOS [14].

Les paramètres essentiels considérés dans un lien LOS typique, sont comme suit :

– Niveau du signal reçu à l'antenne réceptrice (RSSI) en dBm

– Puissance du signal émis par l'antenne émettrice (P_{Tx}) en dBm

– Niveau de seuil récepteur (puissance minimale du signal pour pouvoir établir une connexion) (P_{Tx}) en dB

– Perte de signal en espace libre (FSL : Free-Space Loss), en dB

– Pertes liées au Guide d'ondes (Waveguide) : du transmetteur (LFT : Loss in Feeder Transmiter) et récepteur (LFR : Loss in Feeder Receptor) en dB

– Pertes dues aux branchements dans l'antenne émettrice et réceptrice (LBT/LBR :Loss in Branching of the Transmitter/Receptor) en dB

– Gain de l'antenne de transmission (GT : Gain of the Transmiter antenna) et de réception (GR : Gain of the Receptor antenna)

– Pertes diverses (LM :Miscellaneous Losses) en dB

– Toutes les pertes de propagation autres que la perte en espace libre (L t) en dB En considérant la perte et le facteur de gain dans une liaison radio typique (LOS), le niveau du signal reçu est calculé comme suit :

RSL= P_{Tx} + GT+GR-(FSL+LFT+LFR+LBT+LBR+LM+ L_t) (1.7)

c)modèle Multi-Wall(MWM)

Ce modèle prend en compte toutes les atténuations dues à la pénétration de l'onde radio dans les différents obstacles présents dans le bâtiment (murs, portes, fenêtres, étage...). Les atténuations varient selon l'épaisseur et le matériel de construction de l'obstacle.

Ce modèle étant basé sur le modèle (LOS), il ne prend en compte que les atténuations de l'onde directe entre l'émetteur et le récepteur. Aucune autre perte n'est considérée :

réfraction, diffraction, ... Le modèle peut être représenté par l'équation suivante :

PL_{MWF} [dB]=

$$FSL + 10*n*log_{10}(d)+\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K_{wi}}(L_{wik})\sum_{j=1}^{j}\sum_{k=1}^{K_{fj}}(L_{fjk}) \quad (1.8)$$

$$RSSI[dB_m] = P_{Tx}[dB_m] - PL_{MWF}[dB_m] \quad (1.9)$$

Où :

- FSL : Free-Space Losses
- L_{wik} : est l'atténuation du k eme mur de la catégorie i
- L_{fjk} : est l'atténuation du k eme étage de la catégorie j
- K_{wi} : est le nombre des murs de la catégorie i
- K_{fj} : est le nombre d'étages de la catégorie j [14].

1.5 Conclusion

L'utilisation de nouvelles technologies dans le secteur agricole ainsi que dans les systèmes robotiques permettront aux exploitations d'être rentables, efficaces sures et écologiques. Les techniques agricoles high-tech peuvent contribuer à accroitre les rendements tout en limitant les couts et en préservant nos ressources.

Dans ce chapitre, nous avons vu l'utilisation des nouvelles technologies dans le secteur agricole pour parvenir à une agriculture intelligente. Ensuite, nous exposerons par la suite les modèles retenus qui nous seront utiles lors de la phase d'optimisation du déploiement.

2

Optimisation multi-objectives & Travaux Connexes

Introduction :

L'optimisation multi-objectives est un axe de recherche très important à cause de la nature multi-objectives de la plupart des problèmes réels. Les premiers travaux menés sur les problèmes multi-objectives furent réalisés au 19éme siècle sur des études en économie par Edgeworth et généralisés par Pareto.

Dans l'optimisation à objectif unique, il est possible de déterminer entre une paire de solutions donnée si l'une est meilleure que l'autre.

En conséquence, nous obtenons généralement une seule solution optimale.

Cependant, dans l'optimisation multi-objectives, il n'existe pas de méthode simple pour déterminer si une solution est meilleure qu'une autre.

L'optimisation multi-objectives optimise simultanément plusieurs fonctions objectives qui sont souvent contradictoires, on cherche à trouver la meilleure solution suivant un ensemble de performance du problème dans cette section, nous présentons les principes de base de l'optimisation multi-objectives, et nous donnerons aussi une présentation de quelque différents méthodes d'optimisation multi-objectives.

2.1 Optimisation multi-objectives :

2.1.1 Définition

L'optimisation multi-objectives permet de rechercher les valeurs des variables d'un problème qui maximisent ou minimisent un ou plusieurs fonctions objectif [18].

Un problème d'optimisation multi-objectives consiste à rechercher les meilleures solutions qui minimisent un nombre M de fonctions, appelées fonctions coût, f_m [X], m=1...M par rapport à un vecteur X, qui est le vecteur des n variables de contrôle (ou paramètres) :

$X = [x_1 \ x_2 \ . \ x_n]^T$, en satisfaisant un certain nombre de contraintes, explicites comme les contraintes de borne ($x_i^I \leq x_i \leq x_i^S$, i = 1,.., n) ou implicites, d'égalité (h_k (x) = 0, k = 1, .., K) ou d'inégalité (g_j (x) ≥ 0, j = 1,.., J) [21].

La plupart de ces problèmes d'optimisation appartiennent à la classe des Problèmes NP-difficile : classe où il n'existe pas d'algorithme qui fournit la

solution optimale en temps polynomial en fonction de la taille du problème [19].
La formulation du problème d'optimisation comporte les étapes suivantes : Exprimer les critères (ou fonctions) objectif d'optimalité

- Choisir les paramètres (ou variables) d'optimisation
- Définir un espace admissible pour les variables d'optimisation
- Définir les contraintes associées (impératives ou indicatives) [18].

2.2 Problème d'optimisation :

Un problème d'optimisation peut par exemple consister à chercher le maximum du rendement d'une unité de production industrielle, la distance maximale parcourue par un véhicule pour une quantité de carburant donnée, le nombre maximal de clients servis à un guichet dans un intervalle de temps fixé, etc. Un problème d'optimisation peut également consister à chercher le minimum des coûts de production d'une usine, à minimiser les pertes thermiques d'un procédé industriel, à identifier le temps de fabrication minimal, etc. [40].
En pratique, la résolution d'un problème d'optimisation mathématique consiste à trouver la meilleure solution à un problème qu'on a su préalablement exprimer sous une forme mathématique particulière qui fait intervenir un ou plusieurs critères. Ce ou ces critères sont exprimés sous la forme d'une fonction mathématique, appelée souvent ' fonction objectif '.
La 'solution optimale' ou 'meilleure solution' du correspond à trouver une valeur extrême, appelée aussi extremum – c'est à dire un maximum ou un minimum – à cette fonction objectif. L'optimisation se rapproche donc des calculs d'extremum de fonctions [40].

2.2.1 Concepts de base :

Un problème d'optimisation est défini par :

- un espace de recherche (de décision) : ensemble de solutions ou de configurations constitué des différentes valeurs prises par les variables de décision [46].

- une ou plusieurs fonction(s) dite objectif(s) : à optimiser (minimiser ou maximiser) [1] qui spécifie la grandeur que l'on veut optimiser : énergie, volume, surface, poids,... [41].
- un ensemble de contraintes à respecter [46] : définies par des équations écrites sous forme d'inégalités et/ou d'égalités et que la solution x doit vérifier [41].

2.2.2 Formulation générale :

Un problème d'optimisation multi-objectives peut être formulé, d'une façon générale, selon les équations suivantes :

$$\begin{aligned} &\min/\max \quad f_m(\boldsymbol{x}), && m=1,2,\cdots,M \\ &\text{subject to } g_j(\boldsymbol{x}) \geq 0, && j=1,2,\cdots,J \\ &\qquad\qquad h_k(\boldsymbol{x}) = 0, && k=1,2,\cdots,K \\ &\qquad\qquad x_i^{(L)} \leq x_i \leq x_i^{(U)}, && i=1,2,\cdots,n \end{aligned}$$

m : le nombre de fonctions objectif

$X = [x_1, x_2 \ldots\ldots x_n]$: un vecteur de n variables de décision dont chaque variable x est définie dans les limites supérieure x_{Ui} et inférieure x_{Li}.

$g_j(X)$ et $h_k(X)$: sont respectivement des contraintes d'inégalités et d'égalités [20].

2.2.3 Un problème combinatoire :

Les problèmes d'optimisation combinatoire sont des problèmes d'optimisation dont les ensembles réalisables sont finis mais combinatoires. Aussi, le nombre de solutions réalisables des problèmes combinatoires augmente exponentiellement en fonction de la taille du problème, et c'est ce qui exclut des méthodes de résolution basées sur l'énumération de toutes les solutions réalisables [46].

Dans sa forme la plus générale, un problème d'optimisation combinatoire (on dit aussi d'optimisation discrète) consiste à trouver dans un ensemble discret un parmi les meilleurs sous-ensembles (ou solutions) réalisables, la notion de meilleure solution étant définie par une fonction objectif. Formellement, étant donnés :

- Un ensemble discret N
- Une fonction d'ensemble : dite 'fonction objectif' $f : 2^N \rightarrow R$
- Un ensemble R de sous-ensembles de N, dont les éléments sont appelés les 'solutions réalisables' [24].

Exemple

Le problème du plus court chemin entre deux sommets A et B d'un graphe est un exemple classique de problème d'optimisation combinatoire. L'ensemble des solutions réalisables est l'ensemble des chemins entre A et B tandis que la fonction objective est la longueur du chemin.

Un autre problème d'optimisation combinatoire consiste à trouver le meilleur coup dans une position donnée au jeu d'échecs ou au jeu de dame [25].

Résolution

Trouver une solution optimale dans un ensemble discret et fini est un problème facile en théorie :

Il suffit d'essayer toutes les solutions, et de comparer leurs qualités pour voir la meilleure. Cependant, en pratique, l'énumération de toutes les solutions peut prendre trop de temps ; or, le temps de recherche de la solution optimale est un facteur très important et c'est à cause de lui que les problèmes d'optimisation combinatoire sont réputés si difficiles. La théorie de la complexité donne des outils pour mesurer ce temps de recherche. De plus, comme l'ensemble des solutions réalisables est défini de manière implicite, il est aussi parfois très difficile de trouver ne serait-ce qu'une solution réalisable.

Quelques problèmes d'optimisation combinatoire peuvent être résolus (de manière exacte) en temps polynomial par exemple par un algorithme glouton, un algorithme de programmation dynamique ou en montrant que le problème peut être formulé comme un programme linéaire en variables réelles.

Dans la plupart des cas, le problème est NP complet et, pour le résoudre, il faut faire appel à des algorithmes de 'branch and bound', à la programmation linéaire en nombres entiers ou encore à la programmation par contraintes. En pratique, on se contente très souvent d'avoir une solution approchée, obtenue par une heuristique ou une métaheuristique. Pour certains problèmes, on peut

prouver une garantie de performance, c'est-à-dire que l'écart entre la solution obtenue et la solution optimale est borné [25].

2.2.4 Un problème d'optimisation mono-objectif :

Quand le problème d'optimisation contient une seule fonction coût (M = 1) [21] (un seul objectif (critère) est donné) [26], il est appelé mono-objectif. Ce problème, utilise un seul espace de recherche, connu aussi sous le nom d'espace de décision S. Il s'agit de l'ensemble des combinaisons possibles des paramètres qui satisfont toutes les contraintes [21].

Dans ce cas la solution optimale est clairement définie, c'est celle qui a le coût optimal (minimal, maximal). De manière formelle, à chaque instance d'un tel problème est associé un ensemble W des solutions potentielles respectant certaines contraintes et une fonction d'objectif W ϵ Y qui associe à chaque solution admissible s de W une valeur (s). Résoudre l'instance (W) du problème d'optimisation consiste à trouver la solution optimale s* de W qui optimise (minimise ou maximise) la valeur de la fonction objective pour le cas de la minimisation : le but est de trouver s* de W tel que (s*) ϵ (s) pour tout élément s de W. Un problème de maximisation peut être défini de manière similaire [27].

2.2.5 Problème d'optimisations multi-objectives :

Les problèmes multi-objectives ont la particularité d'être beaucoup plus difficiles à traiter que leur équivalent mono-objectif. La difficulté réside dans l'absence d'une relation d'ordre total entre les solutions. Une solution peut être meilleure qu'une autre sur certains objectifs et moins bonne sur les autres. Donc il n'existe généralement pas une solution unique qui procure simultanément la solution optimale pour l'ensemble des objectifs. Voilà pourquoi le concept de solution optimale devient moins pertinent en optimisation multi-objectives. Dans ce cas la solution optimale ou de bonne qualité n'est plus une solution unique mais, un ensemble de solutions compromis entre les différents objectifs à optimiser.

Un problème d'optimisation avec objectifs multiples peut être représenté par l'équation suivant :

$$\begin{cases} optimiser\ F(S) = (f_1(S), f_2(S), \ldots, f_p(S)) \\ t.q.\ S \in \Omega \text{ et } p \geq 2 \end{cases}$$

S, étant un vecteur solution (x_1,..., x_n) d'un espace Ω de dimension n, représentant des instances des variables de décision x_i. Ω représente l'ensemble des solutions réalisables respectant un ensemble de contraintes C d'égalité, d'inégalité et des bornes explicite. F (f_1, f_2,..., f_p) est le vecteur fonction objectif à optimiser, et p représente le nombre d'objectifs. Ψ = F (Ω) représente les points réalisables dans l'espace objectif, Y = (y_1,..., y_p) avec $y_i = f_i(S)$ représente un point de l'espace objectif [6].

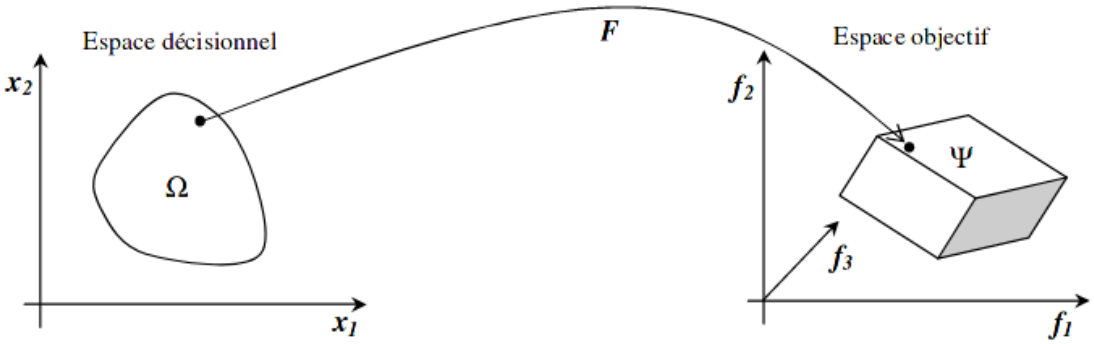


Figure 2.1 : Problème d'optimisation multi-objectives (2 variables de décision et 3 fonctions objectifs)[6].

Exemple :

dans le cas de deux objectifs à minimiser, toute amélioration de l'un des objectifs se fait au détriment de l'autre et que la solution optimale ou proche de l'optimum est un compromis entre les deux. Dans l'achat d'une voiture d'occasion, la voiture idéale est celle qui est peu chère (critère économique) avec peu de kilomètres (critère qualitatif), il n'est pas évident de pouvoir regrouper en un seul objectif ces deux critères non commensurables. Ainsi il n'existe plus une solution optimale unique mais un ensemble de solutions. Nous allons donc devoir identifier les meilleurs compromis possibles suivant notre budget [6].

2.3 Type des problèmes :

Il existe des problèmes de différentes complexités. Les problèmes appartenant à la classe P, classe NP, NP-complet... [28].
Les problèmes peuvent être classes selon les propriétés de l'ensemble des solutions [27].

2.3.1 Un problème de la classe P :

Un problème est dit polynomial s'il existe un algorithme de complexité polynomiale permettant de répondre à la question posée dans ce problème, quelque soit la donnée de celui-ci. La classe P est l'ensemble de tous les problèmes de reconnaissances polynomiaux [27].

2.3.2 Un problème de la classe NP:

Un problème de reconnaissance est dans la classe NP si, pour toute instance de ce problème, on peut vérifier, en un temps polynomial par rapport à la taille de l'instance, qu'une solution proposée ou devinée permet d'affirmer que la présence est (oui) pour cette instance [27].

2.3.3 Un problème de la classe NP-complet:

S'il appartient à NP et chaque autre problème dans NP est réductible d'une manière polynomiale dans ce dernier. C'est un problème de décision et NP-hard qui cherche à trouver l'optimum [27].

2.4 Les méthodes de résolution multi-objectives :

La plupart des problèmes d'optimisations appartiennent à la classe des problèmes NP-difficile classe où il n'existe pas d'algorithme qui fournit la solution optimale en temps polynomial en fonction de la taille du problème et le nombre d'objectifs à optimiser [19].
Nous avons vu précédemment qu'il existe des problèmes de différentes complexités.
Les problèmes appartenant à la classe P ont des algorithmes polynomiaux permettant de les résoudre de manière exacte. Pour les problèmes appartenant à la classe NP-complet, l'existence d'algorithmes polynomiaux semble peu réaliste. Il existe pour certains problèmes NP-difficiles des méthodes de résolution exactes si on a de petites instances par exemple. Néanmoins, pour la plupart de ces problèmes, il est rare de pouvoir les résoudre avec une méthode exacte.

C'est pourquoi, des méthodes de résolution approchées, sont largement utilisées pour appréhender les problèmes NP-difficiles. Nous exposons dans cette partie les grandes lignes des méthodes les plus connues classées en deux catégories :

- les méthodes exactes
- les méthodes approchées [28].

2.4.1 Les méthodes exactes :

On peut définir une méthode exacte comme une méthode qui garantit l'obtention de la solution optimale pour un problème d'optimisation. L'utilisation de ces méthodes s'avèrent particulièrement intéressante, mais elles sont souvent limitées au cas des problèmes de petite taille [29].
Le principe des méthodes exactes consiste à chercher la meilleure solution dans l'ensemble des solutions réalisables d'un problème.
L'optimisation exacte concerne toutes les méthodes permettant d'obtenir un résultat dont on sait qu'il est optimal à un problème précis. On peut les classer en trois grandes classes :

- La programmation dynamique.
- La programmation linéaire et quadratique.
- Méthode de séparation et évaluation [28].

2.4.1.1 Séparation et évaluation :

Ou la méthode 'Branch and Bound' est une méthode qui consiste à construire un arbre de recherche implicite. Cet arbre est exploré de façon à éviter les branches inutiles/dominées. Une branche dominée est une partie de l'espace de recherche qui est vide des solutions réalisables ou bien ne contenant aucune solution plus intéressante qu'une solution courante. Cette exploration intelligente est réalisée grâce à des évaluations des branches et à des comparaisons avec un seuil de la valeur du critère (également appelé borne). Pour les problèmes combinatoires de grande taille, cette technique risque de générer une arborescente conséquente à explorer (phénomène d'explosion combinatoire). Pour remédier à un tel problème, la borne utilisée doit être la plus fine/serrée possible [Carlier et Chrétienne, 1988 ; Wolsey 1998] [30].

2.4.1.2 Programmation dynamique :

La programmation dynamique est basée sur le principe de Bellmann :
"Si C'est un point qui appartient au chemin optimal entre A et B, alors la portion de ce même chemin allant de B à C est le sous-chemin optimal entre B et C".
Cette approche consiste donc à construire les sous-chemins optimaux pour ensuite construire par récurrence le chemin optimal pour le problème entier. Dans la figure suivante, le chemin vert entre A et B est optimal. Ce chemin passe par le point C. Le sous-chemin vert [C, B] est donc optimal et le sous-chemin gris [C, B] ne peut exister car il est plus court que le sous-chemin vert. Autrement dit, si le sous-chemin gris existe alors la solution optimale devient la séquence formée du sous-chemin vert [A, C] et du sous-chemin gris [C, B] au lieu du chemin vert [A, B].
La programmation dynamique s'appuie sur le principe de Bellman et consiste à prolonger le problème étudié en un problème plus général dont les paramètres sont entiers. Il faut généralement déterminer des relations de récurrence permettant de résoudre le problème d'un ordre donné en fonction de ses solutions pour les ordres inférieurs [30].

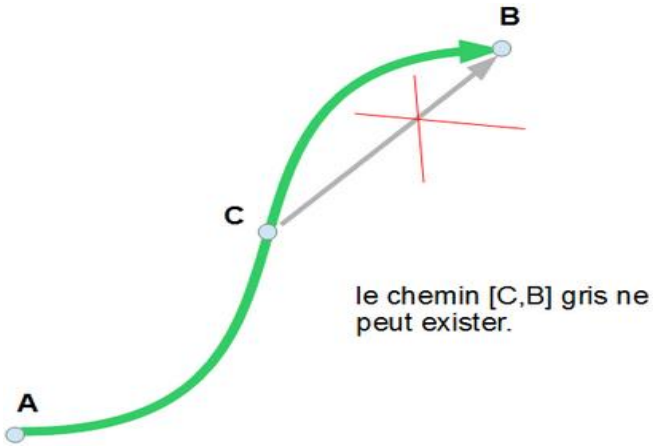


Figure 2.2 : Exemple de chemin optimal dans programmation dynamique [30].

2.4.1.3 Programmation linéaire *:*

Est l'une des techniques classiques qui ont été largement utilisées dans la résolution des problèmes d'optimisation combinatoire. Elle peut être vue comme un cas particulier de la procédure de séparation et d'évaluation dont l'évaluation est basée sur une relaxation de la contrainte des variables entières dans le problème initial. Cette relaxation conduit à considérer des variables continues dans chaque branche au lieu des variables de décision entières. La détermination de la borne (en phase d'évaluation) peut être facilement effectuée par la résolution d'un programme linéaire à variables continues. Cette résolution, qui est polynomiale, se repose sur les travaux de Simplexe et sur les algorithmes des points intérieurs de Karamarkar. Elle consiste à minimiser une fonction coût en respectant des contraintes. Le critère et les contraintes sont des fonctions linéaires des variables du problème.
D'autres variantes plus avancées ont vu le jour et constituent un ensemble parmi les méthodes les plus efficaces dans le domaine de l'optimisation combinatoire. Elles s'inscrivent aujourd'hui dans un thème important qui est la Programmation Mathématique. Parmi ces variantes, on peut citer les méthodes de Branch-and-Cut, de Branch-and-Price et de l'analyse faciale [30].

2.4.2 Les méthodes approchées :

Dans les méthodes exactes, le temps de calcul est généralement exponentiel, ce qui explique qu'elles ne sont utilisables que sur des problèmes de petite, voire de taille moyenne. Ainsi, pour les problèmes de grande taille, ces méthodes ne sont pas envisageables. Il est dans ce cas préférable d'utiliser des méthodes approximatives qui donnent des solutions approchées ou sub-optimales, c'est-à-dire qu'elles ne fournissent pas de solution optimale, mais essayent de s'en approcher. On choisit ainsi ces méthodes pour leur rapidité d'exécution. Les solutions obtenues peuvent ensuite servir de solutions initiales pour les méthodes amélioratrices [26].
Typiquement ce type de méthodes, dites heuristiques est particulièrement utile pour les problèmes nécessitant une solution en temps réel (ou très court) ou pour résoudre des problèmes difficiles sur des instances numériques de grande

taille. Elles peuvent aussi être utilisées afin d'initialiser une méthode exacte (Branch & Bound par exemple).
Parmi ces méthodes, il faut distinguer les heuristiques ciblées sur un problème particulier et les métaheuristiques plus puissantes et adaptables pour résoudre un grand nombre de problèmes. Cependant une métaheuristique, pour être suffisamment performante sur un problème donné nécessitera une adaptation plus ou moins fine.
Ces méthodes approchées peuvent se classer en différentes catégories:

- Constructives (algorithmes glouton, méthode Pilote, GRASP)
- Recherche locale (algorithmes de descente, multi-départs, recuit simulé, algorithme à seuil, recherche Tabou, méthode de bruitage)
- Évolutionnistes (algorithmes génétiques, algorithmes d'évolution, recherche dispersée, méthode des chemins, systèmes de fourmis)
- Réseaux de neurones (Modèle de Hopfield-Tank, machine de Boltzmann, réseau auto-adaptatif, réseau élastique)
- Heuristiques Bayésiennes (optimisation globale, optimisation discrète)
- Superposition (perturbation des données, perturbation des paramètres d'une heuristique) [31].

2.4.2.1 Qu'est-ce qu'une métaheuristique :

Le mot métaheuristique est dérivé de deux mots grecs, méta qui signifie au-delà, dans un niveau supérieur, et heuristique qui signifie l'art d'inventer, de faire des découvertes.
Les métaheuristiques sont des algorithmes itératifs, possédant une composante aléatoire et parcourant l'espace de recherche par différentes techniques de génération des solutions [22].
Elles sont inspirées par des systèmes naturels. Elles sont d'inspirations diverses, comme le recuit simulé, les algorithmes génétiques ou les algorithmes de colonies de fourmis.
Elles sont en général de complexité exponentielle, tout en restant plus rapides que les méthodes exactes [28].

2.4.2.2 Les algorithmes évolutionnaires (AES):

Les algorithmes évolutionnaires (AES) sont des méthodes stochastiques qui simulent le processus de l'évolution naturelle dans la résolution des problèmes d'optimisation [32].

-Les algorithmes évolutionnaires vont s'inspirer directement de ces principes (décrits plus haut) pour résoudre une grande variété de problèmes d'optimisation globale et combinatoire. Largement inspirés du principe darwinien 'la survie du meilleur', les AE sont montré également leur efficacité en abordant une diversité de problèmes réels, par exemple : les problèmes de trafic aérien, de télécommunication, de transport, et plus généralement de recherche opérationnelle [33].

-Par exemple, pour résoudre le fameux problème du voyageur de commerce1, on construit une population représentant un ensemble de parcours aléatoires. On sélectionne ensuite les meilleurs (les plus courts) que l'on croise entre eux pour obtenir une nouvelle population de parcours et ceci aussi longtemps qu'on le souhaite pour approcher le parcours optimum. Les résultats obtenus par des chercheurs montrent que les algorithmes évolutionnaires sont particulièrement adaptés à ce type de problème [33].

-Ils sont fréquemment utilisés à cause de leur robustesse et de leur souplesse, qui leurs permettent d'aborder les problèmes les plus raides [32].

Un algorithme évolutionnaire est typiquement composé de trois éléments fondamentaux :

- une population constituée de plusieurs individus représentant des solutions potentielles (configurations) du problème donné.
- un mécanisme d'évaluation des individus permettant de mesurer l'adaptation de l'individu à son environnement,
- un mécanisme d'évolution de la population permettant, grâce à des opérateurs prédéfinis, d'éliminer certains individus et d'en créer de nouveaux [21].

- Le principe d'un AG est simple, il s'agit de simuler l'évolution d'une population d'individus jusqu'à un critère d'arrêt. On commence par générer une population initiale d'individus (solutions) de façon aléatoire. Puis, à chaque

génération, des individus sont sélectionnés, cette sélection est effectuée à partir d'une fonction objectif appelée fonction d'adaptation. Puis, les opérateurs de croisement et de mutation sont appliqués et une nouvelle population est créée. Ce processus est itéré jusqu'à un critère d'arrêt. Le critère le plus couramment utilisé est le nombre maximal de générations que l'on désire effectuer. La figure 2.3 présente le principe de standard [34].

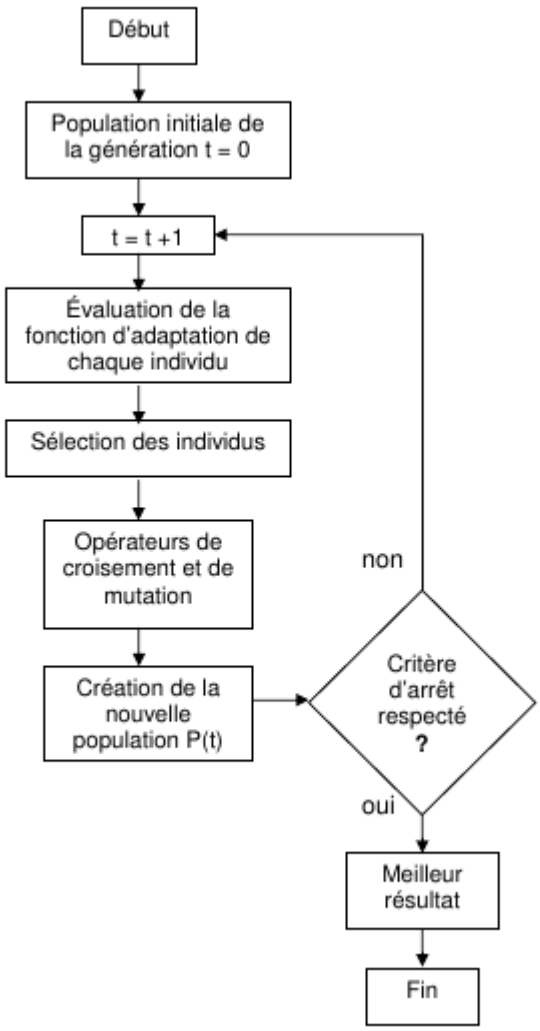


Figure 2.3 : Principe de l'AG standard [34].

-Plusieurs critères d'arrêt peuvent être utilisés dans la procédure des AEs. On peut citer par exemple : lorsque l'optimum global est trouvé, lorsqu'un nombre maximum de générations ou évaluations de fonction est atteint, lorsqu'un temps CPU est consommé ou lorsqu'une stagnation de la valeur de fitness du

meilleur individu est identifiée. En résumé, l'Algorithme 1 fournit les principales étapes d'un algorithme évolutionnaire simple [33].

2.4.2.3 Algorithme génétique élitiste de tri-non-domine (NSGA-II) :

Dans cette partie, on présente l'Algorithme Génétique élitiste de Tri Non-Dominé (Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm), NSGA-II.
NSGA-II a été développé par Kalyanmoy Deb et ses étudiants à partir de 2000, et apparaît comme l'un des algorithmes de référence pour trouver l'ensemble optimal de Pareto avec une excellente variété de solutions. Il est certainement le plus populaire algorithme génétique multi-objectives. Il est basé sur les trois caractéristiques suivantes :
Il utilise le principe de l'élitisme, il favorise les solutions non dominées, et il utilise une variété explicite des solutions, grâce au critère de distance d'encombrement [32].
NSGA-II est considéré comme étant plus efficace que son prédécesseur (algorithme NSGA) car:

- Il utilise une approche élitiste qui permet de sauvegarder les meilleures solutions trouvées lors des générations précédentes.
- Il utilise une procédure de tri basée sur la non-dominance, plus rapide.
- Il ne nécessite aucun réglage de paramètre.
- Il utilise un opérateur de comparaison basé sur un calcul de la distance de crowding [34].

Les principales caractéristiques de cet algorithme sont évoquées par la suite. Nous développons notamment la méthode de classification des individus, la définition de la distance de crowding, la description de la méthode de sélection et la structure de l'algorithme [35].

a- Classification des individus :

Dans un premier temps, avant de procéder à la sélection, on affecte à chaque individu de la population un rang correspondant au front auquel il appartient. Tous les individus de la population non-dominés appartenant au front optimal (1er front) reçoivent un rang égal à 1. Ces individus sont retirés de la population et l'opération est répétée ainsi de suite pour les fronts successifs suivants en incrémentant le rang [35].

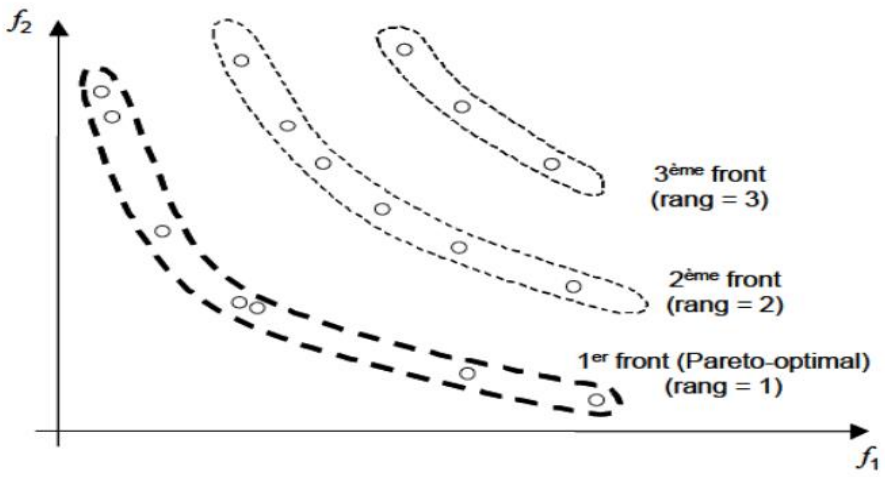


Figure 2.4 : Classification des individus selon le rang de Pareto [35].

b-Distance de crowding

La distance de crowding d'une solution i (ou d'un individu) se calcule en fonction du Périmètre formé par les solutions du même front les plus proches de i sur chaque objectif. La figure 2.5 montre une présentation à deux dimensions associée à la solution i. Le calcul de la distance de crowding nécessite avant tout le tri des solutions selon chaque objectif, dans un ordre ascendant. Ensuite, pour chaque objectif, les individus possédant les valeurs limites (la plus petite et la plus grande valeur de fonction objective) se voient associés à une distance infinie (∞). Pour les autres solutions intermédiaires, on calcule une distance de crowding égale à la différence normalisée des valeurs de fonctions objectives de deux solutions adjacentes. Ce calcul est réalisé pour chaque fonction objective. La distance de crowding d'une solution est calculée en sommant les distances correspondantes à chaque objectif [35].

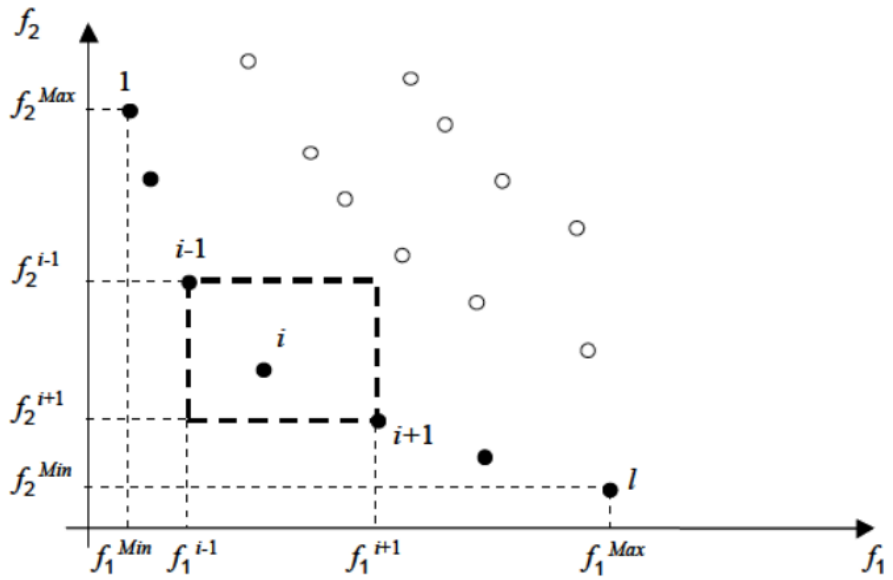


Figure 2.5 : Distance de crowding (Distance de surpeplement) [35].

c-Opérateur de sélection :

La sélection est basée sur un opérateur de comparaison (crowded-comparison) qui exploite les notions de rang de Pareto et de distance de crowding présentées précédemment. Cet opérateur est utilisé pour guider le processus de sélection vers les solutions Pareto-optimales. Chaque solution (i) de la population est identifiée par son rang (i_{rang}) et par sa distance de crowding ($i_{distance}$). L'opérateur défini ci-dessous permet d'identifier un ordre de préférence entre deux solutions i et j :

Entre deux solutions de rangs différents, on préfère la solution de plus petit rang (c'est-à dire appartenant au meilleur front). Pour deux solutions qui appartiennent au même front, on préfère la solution qui est localisée dans la région où la densité de solutions est moindre, soit l'individu possédant la plus grande valeur de distance de crowding. Cet opérateur de sélection intensifie donc la recherche des solutions Pareto-optimales mais préserve aussi la diversité parmi des solutions équivalente [35].

2.4.2.3.1Etapes du NSGA-II :

Dans cet algorithme, une population de parents (P_t) de taille (N) et une population d'enfants (Q_t) de taille (N) sont assemblées pour former une

population ($R_t = P_t \cup_t$),. Cet assemblage permet d'assurer l'élitisme. La population de taille (2 N) est ensuite triée selon un critère de non-dominance pour identifier les différents fronts F1, F 2, etc. Les meilleurs individus vont se retrouver dans le ou les premiers fronts. Une nouvelle population parent (P t+1) est formée en ajoutant les fronts au complet (premier front F 1, second front F 2, etc.) tant que ceux-ci ne dépassent pas N. Si le nombre d'individus présents dans (P t+1) est inférieur à (N), une procédure de crowding est appliquée sur le premier front suivant, (F i), non inclus dans (P t+1).
Le but de cet opérateur est d'insérer les (N - P t+1) meilleurs individus qui manquent dans la population (P t+1). Les individus de ce front sont utilisés pour calculer la distance de crowding entre deux solutions voisines [34].

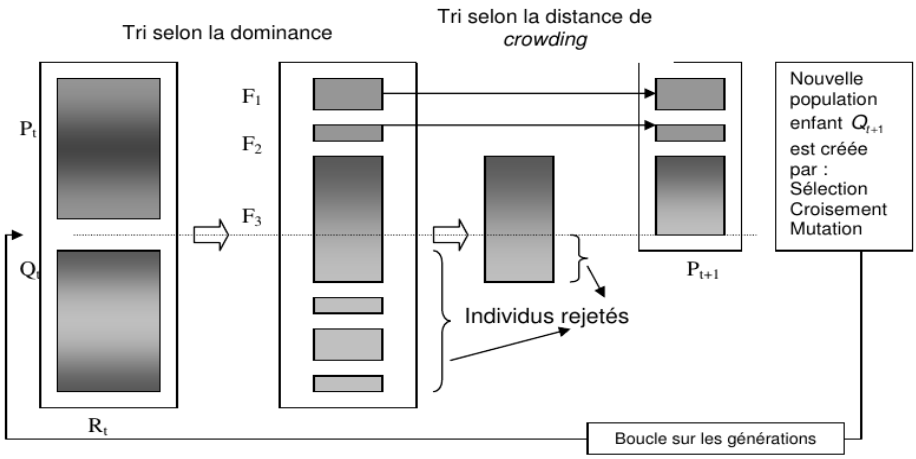


Figure 2.6 : Principe de l'algorithme NSGA-II [35].

Pseudo-code de l'algorithme NSGA-II

Initialiser les populations P0 et Q0 de taille N

Tant que critère d'arrêt non rencontré faire

- Création de $R_t = P_t \cup Q_t$

- Calcul des différents fronts Fi de la population R_t par un algorithme de « ranking »

- Mettre $P_{t+1} = \varnothing$; et i = 0,

- Tant que $|P_{t+1}| + |F_i| < N$ faire

$P_{t+1} = P_t \cup F_i$

i = i + 1

Fin Tant Que

- Inclure dans P_{t+1} les $(N - |P_{t+1}|)$ individus de Fi les mieux répartis au sens de la « distance de crowding »

- Sélection dans P_{t+1} et création de Q_{t+1} par application des opérateurs de croisement et mutation

Fin Tant Que

Figure 2.7 : Pseudo-code de l'algorithme NSGA-II [35].

2.5 Travaux Connexes :

2.5.1 Placement optimal des points d'accès pour un positionnement intérieur :

Egalement connue sous les appellations « indoor location » ou « indoor positioning », la géolocalisation indoor permet de connaitre avec une précision plus ou moins grande, la localisation d'une personne ou d'un produit dans un espace ou un lieu fermé c'est-à-dire à l'intérieur des bâtiments De nombreux usages sont imaginables, et certains sont même déjà mis en place.

2.5.1.1 Technologies et méthodes de géolocalisation indoor :

Un grand nombre de concepts et technologies ont aujourd'hui démontré des possibilités prometteuses pour réaliser une géolocalisation indoor en se basant sur le réseau de nœuds émetteurs. Les techniques possibles sont les réseaux de capteurs (RFID « Radio Frequency Identification » passive, infrarouge, ultrason), les réseaux de communication (WiFi, Bluetooth, RFID active,

ZigBee...) et les réseaux mobiles (DECT-DPS, GSM « Groupe Spécial Mobile », Cell ID...) sachant que chacune d'entre elles présente sa propre solution de géolocalisation indoor et essaye de satisfaire l'utilisateur [36].

2.5.2 Déploiement des RCSF dans serre intelligents :

Les RCSF ont été utilisés dans différentes applications, telles que l'armée, l'agriculture, les sports, la médecine et l'industrie. L'agriculture peut être considérée comme l'une des installations les plus favorables aux RCSF pour améliorer les rendements des cultures vivrières et minimiser le fardeau des agriculteurs [42].

Les serres intelligentes C'est une technologie à venir dans l'agriculture de précision qui aide les agriculteurs à cultiver une culture de haute qualité. Un réseau de capteurs est composé d'un grand nombre de petits appareils autonomes, appelés nœuds de capteurs. L'objectif principal est de surveiller et de contrôler les environnements selon les exigences de la culture. Tous les capteurs sont reconfigurables selon les stades de croissance des cultures, les changements dynamiques dans la zone ciblée, la nature du sol, le climat, la saison et le type de culture sont pris en compte [43].

Une serre typique peut être comme le montre la figure 2.8.

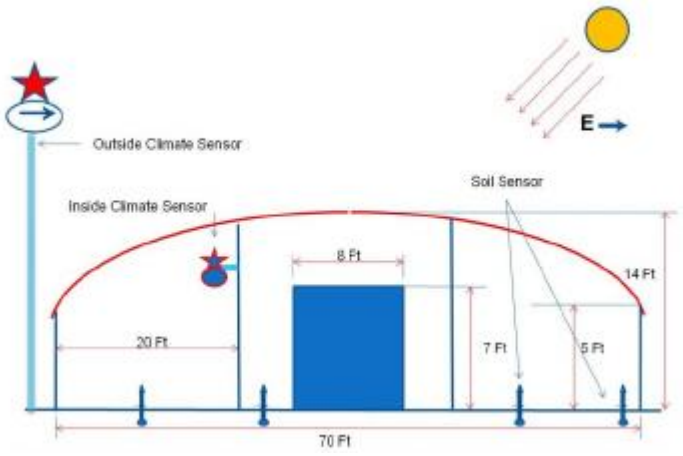


Figure 2.8 : structure d'une serre intelligent [43].

Les serres intelligentes représentent une autre génération développée des serres basée sur l'introduction des technologies avancées telles que Big Data, Internet des objets (IdO), etc. Ces serres sont dotées d'un système de contrôle qui permet

de collecter et d'analyser en temps réel des données sur les plantes et leur environnement et les transmet via internent à d'autres plateformes [44].
il est considérée comme un milieu très confiné où plusieurs composantes s'échangent entre-elles(environnement indoor) . Les principaux facteurs du milieu interne de la serre sont : la température, la lumière, l'humidité. IL est bien connu "effet de serre", que le sol et les plante situés sous abris recevant les rayons du soleil s'échauffent bien plus qu'à l'air libre :cela est dû à la suppression du vent et à la réduction de la convection de l'air, mais aussi aux propriétés physique de la couverture de la serre (assez transparente pour le rayonnement solaire, mais autant absorbante pour l'infrarouge émis par le solplacé à température ordinaire, d'où effet de "piégeage" des radiations solaire. En été une surchauffe dangereuse est à craindre la ventilation naturelle ou forcée (mécanique) est indispensable pour refroidir la serre. En hiver, le chauffage s'impose en général soit par couches (chaleur de fermentation du fumier ou des feuilles mortes), ainsi que d'autres procédures biotechnologiques, soit par d'autres sources d'énergies (électricité, fuel, énergie solaire.) [45].
Les RCSF ont connu un grand succès dans les applications de surveillance dans différents domaines tel que Les serres intelligentes. Leurs problèmes majeures sont : (1) la durée de vie du réseau limitée, (2) la connectivité (couverture de l'antenne radio), (3) coût de déploiement et de réparation. Pour cela, une bonne conception du réseau est essentielle pour avoir une solution viable et rentable.
Généralement le placement des nœuds constituant le réseau est réalisé en se basant sur une approche de prédiction, ou un concepteur de réseau désigne, selon des connaissances dans le domaine, des placements ou les nœuds peuvent être installés. Cette méthode peut mettre en œuvre un réseau dans des petits délais mais elle nécessite toujours la présence d'une personne du domaine informatique en général, et de réseau de capteurs précisément.
Aussi, cette méthode peut être fiable dans des réseaux à petite échelle (petit nombre de nœuds), mais on voit bien ces inconvénients dans une mise à grande échelle (plusieurs étages, plusieurs nœuds capteurs,...).

Pour remédier à ces inconvénients, des solutions automatisées utilisant les avantages de l'avancée technologique ont vu le jour. Plusieurs logicielle et outil de planification et de placement optimal ont été proposée par des sociétés commerciale. Ces méthodes intègrent toutes les notions de la modélisation de propagation de Radio Fréquence (RF) dans le but de réduire le nombre de métriques a calculé par les concepteurs et de simplifier le processus de déploiement du réseau. On peut citer quelques exemples de tels outils : AirMagnet Planner, LANPlanner (Motorola), Cisco Prime Infrastructure (CISCO systems), CINDOOR, GISAR, qui reste des solutions proposant des placements de point d'accès dans un réseau sans-fil type WLAN (Wireless Local Area Network) sous Wi-Fi [37].

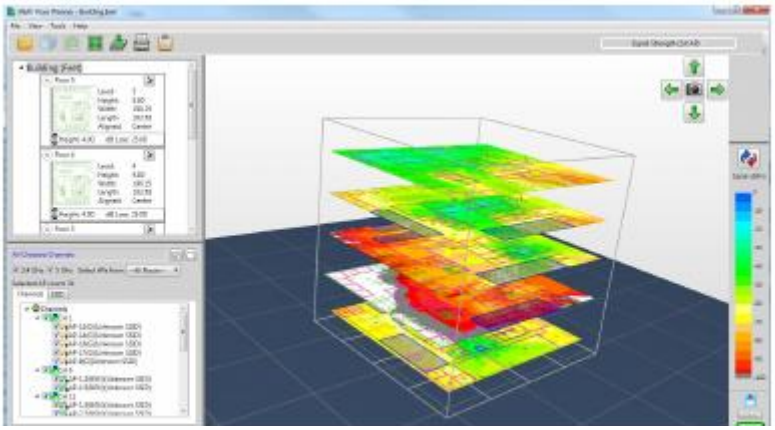


Figure 2.9 : AirMagnet Planner [37].



Figure 2.10 : Cisco Prime Infrastructure [37].

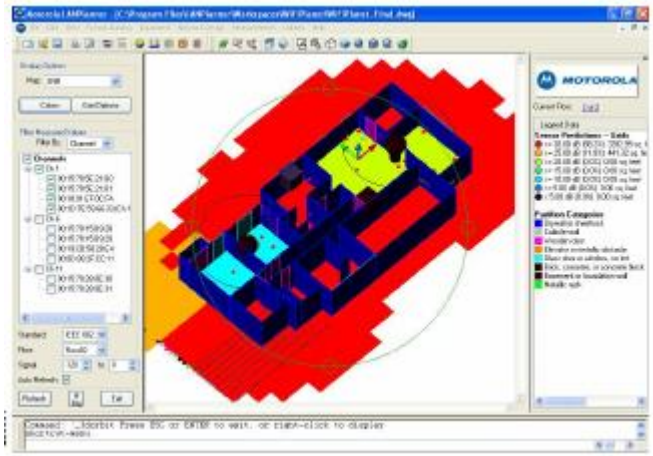


Figure 2.11 : LANPlanner [37].

2.5.3 Placement des nœuds RFID dans un environnement indoor :

La RFID (Radio-frequency identification) est une technologie qui donne autorisation du suivi en temps réel en utilisant des étiquettes (tags) ces derniers peuvent être passifs ou actifs [36].

Les systèmes de base de la RFID sont constitués de plusieurs composants. Parmi eux, le tag, aussi appelé « étiquette-radio », comprenant une puce électronique pour l'identification et le stockage de données, une antenne, utilisée pour la communication, ainsi qu'un lecteur ou un interrogateur pour l'émission et la réception d'ondes. Un ordinateur et un logiciel sont également nécessaires pour la sauvegarde et l'analyse des données. Selon le type d'étiquette-radio utilisé, aucune pile ou batterie n'est nécessaire (tags passifs), une pile peut être nécessaire uniquement pour l'émission de l'onde (tags semi-passifs) ou alors pour alimenter le tag et pour l'émission de l'onde (tags actifs) [38].

J. Y. Lee et al., 2012, ont traité le problème de placement des nœuds RFID dans un environnement indoor. Le but du travail était de placer un nombre minimal de tags RFID, tout en assurant une couverture totale de la RI (Région d'Intérêt). Les auteurs ont proposé un algorithme d'optimisation hybride multi-objective nommée MOASA (Multi- Objective Algorithme for Sensor Arrangement). La méthode hybride consiste à utiliser deux méthodes d'optimisation : mono-objective, et multi-objective. Dans un premier temps, l'algorithme commence par chercher l'emplacement des tags RFID avec pour objectif la maximisation de la couverture de l'espace de déploiement, jusqu'à

atteindre un certain seuil prédéfini. Ensuite, les trois principaux objectifs (couverture, sur-couverture, coût) sont regroupés dans deux fonctions objectifs (F1 : couverture et coût, F2 : coût et sur-couverture), qui sont résolus par la suite par un algorithme multi-objectives d'optimisation. Les résultats numériques montrent la performance de la méthodologie d'optimisation utilisée, qui est comparée par la suite, avec des résultats obtenus par d'autres méthodes évolutionnaires (AG, DE, et SPEA-II) [37].

Les avantages des techniques RFID pour le positionnement en intérieur peuvent être résumés comme suit:

- Simplicité du système
  Faible coût de l'appareil
  Haute portabilité
  Facilité d'entretien
  Capacité à fournir à la fois une identification et un emplacement
- Une longue portée effective (jusqu'à 1000 m pour un seul émetteur en espace libre)
  Capacités de pénétration élevées
  Flexible en taille d'étiquette.
- Les inconvénients de l'utilisation de la RFID dans le positionnement en intérieur comprennent:
  Liens de communication unidirectionnels
  Effets multi-trajets
  Force du signal reçu instable (RSS) [37].

2.5.4 Placement de relais dans RCSF :

Un déploiement efficace d'un RCSF, doit inclure tous les nœuds du réseau: plusieurs nœuds capteurs, et plusieurs nœuds relais (sink). La définition des positions des nœuds sink/relais est une problématique importante et ne peut pas être ignorée lors du déploiement du RCSF [37].

Les techniques de placement des nœuds relais peuvent être classées selon à plusieurs normes. L'une des principales normes de classification est la type de stratégie utilisée pour le placement du nœud de relais .ex les techniques de

placement de nœuds relais basés sur la méta-heuristique et l'heuristique dans les RCSF [39] .

TABLE I. META-HEURISTICS TECHNIQUES

S. No.	Name	Year of publishing	Architecture type	Scalability	Approach type	Type of connectivity	QoS support	Fault tolerance
1	Improved relay node placement algorithm for wireless sensor networks application in wind farm	2012	WSN in battlefield	-	Heuristics	-	No	Yes
2	Optimized relay nodes placement for connecting disjoint wireless sensor networks	2010	Federating disjoint segment type WSN	-	Heuristics	-	No	Yes
3	A robust relay node placement heuristic for structurally damaged wireless sensor networks	2013	WSN in wind farm	-	Heuristics	2-connectivity	Yes	Yes
4	Multiple sink and relay placement in wireless sensor networks	2011	Damaged WSN	-	2C-SpiderWeb Heuristics	2-connectivity	Yes	Yes
5	Relay node placement for multi-path connectivity in heterogeneous wireless sensor networks	2009	Damaged WSN	-	1C-SpiderWeb Heuristics	1-connectivity	Yes	No

Figure 2.12 : les techniques de placement de nœuds relais basés sur la métaheuristique dans les RCSF [39].

TABLE II. HEURISTICS TECHNIQUES

S. No.	Name	Year of publication	Architecture type	Scalability	Approach type	Type of connectivity	QoS support	Fault tolerance
1	A parallel evolutionary approach to solve the relay node placement problem in wireless sensor networks	2013	-	-	Genetic algorithm (Meta heuristics	-	-	-
2	A GA-Based approach for fault tolerant relay node placement in wireless sensor networks	2015	Hierarchical	-	Genetic algorithm (Meta heuristics	k-connectivity	Yes	Yes
3	Exploiting synergies between exact and heuristic methods in optimization: an application to the relay placement problem in wireless sensor networks	2012	-	-	MILP + Genetic algorithm	-	-	-
4	QRMSC: efficient QoS aware relay node placement in wireless sensor networks, using minimum steiner tree on the convex hull	2012	Heterogeneous WSN	-	Swarm Intelligence	k-connectivity	No	Yes
5	Weighted relay node placement for wireless sensor network connectivity	2014	WSN with single node failure	-	Meta heuristics	k>=1 connectivity	No	Yes
6	Spanner aware relay node placements in the Wireless Ad-hoc Sensor networks	2009	Wireless ad hoc sensor networks	-	Heuristics	-	Yes	-
7	QoS-Constrained optimal sink and relay placement in Planned Wireless sensor networks	2014	WSN in with multiple sinks	Yes	Heuristics	-	Yes	Yes
8	RNIndoor: A relay node deployment method for disconnected wireless sensor network in Indoor environments	2011	WSN indoor environment	-	Heuristics	-	No	No
9	Locally optimal relay nose placement in heterogeneous wireless networks	2005	Heterogeneous WSN	-	Localized Heuristics	-	Yes	Yes
10	Optimized relay node placement to federate segments in wireless sensor networks	2013	Single tier WSN	-	Weighted RNP heuristics	-	No	No
11	Bio-inspired relay node placement heuristics for repairing damaged wireless sensor networks	2013	WSN in battlefield	-	Greedy Heuristics	-	Yes	Yes

Figure 2.13 : Les techniques de placement de nœuds relais basés sur l'heuristique dans les RCSF [39].

2.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu sur les problèmes d'optimisation multi-objectives ainsi que les méthodes de résolution proposées.

3

Conception du système

Introduction

Apres avoir présenté l'aspect théorique de notre projet, et pour comprendre son fonctionnement, nous passons à la conception, qui est une étape très importante dans le processus de développement de logiciel.
Les serres industrielles sont l'un des cas d'optimisation les plus prises et les plus attractifs en raison de leur grand nombre et de leur taille, ainsi que de leur généralité à travers le monde.
Dans ce chapitre, nous allons présenter l'architecture globale que nous allons suivre dans la partie réalisation. Ensuite, nous allons clarifier un algorithme génétique de tries non domine (NSGA) et l'algorithme DT qui optimise le déploiement des points d'accès dans les serres intelligentes.

3.1 Contexte général

Afin de clarifier notre travail, nous allons présenter le contexte général simplifié. La figure 3.1 représente l'architecture d'une serre intelligente, nous voyons que nous disposons d'une serre équipée de plusieurs capteurs qui recueillent des informations telles que la température et l'humidité, ainsi qu'un certain nombre d'actionneurs tels que la pompe et système d'irrigation, etc. Ces actionneurs et capteurs ont connectes a un microcontrôleur (station de base intermédiaire) qui assure deux fonctionnalités :

- Collecter des données à partir de capteurs et les envoyer à la station de base via un point d'accès.
- Contrôler les actionneurs installes dans chaque serre.

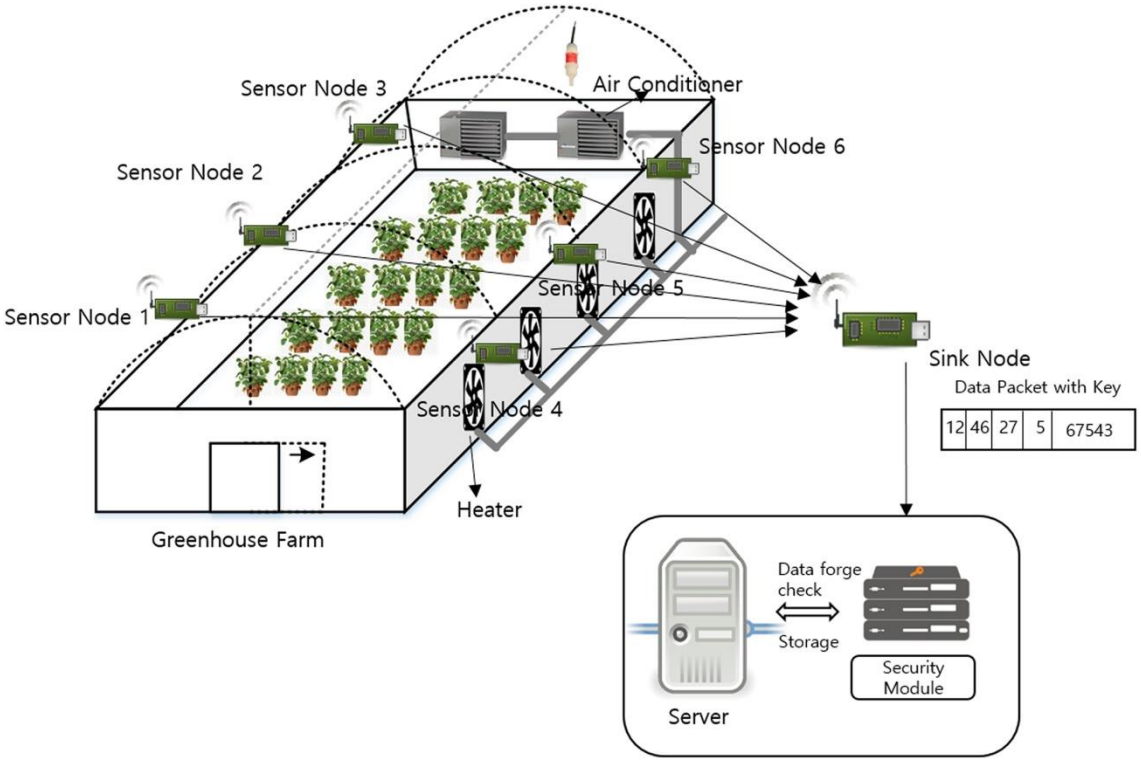


Figure 3.1 : Architecture d'une serre intelligente [49].

3.2 Problème de déploiement de RCSF

La résolution d'un problème d'optimisation consiste à explorer un espace de recherche afin de maximiser (ou minimiser) une fonction donnée.

Le problème de déploiement de RCSF est un problème NP-Difficile [14]. Par conséquent, ce problème ne pourrait pas être résolu grâce à des méthodes exactes, mais résolu par des méthodes stochastiques. Nous proposons dans notre travaille L'algorithmes évolutionnaires NSGA-II et l'algorithme de triangulation de delaunay.

Ce problème peut être décrit comme suit :

- Soit A un espace de 3 dimensions, dans lequel un RCSF va être déployé.
- Un point d'accès déployé, dans la position (x, y, z) doit assurer deux tâches essentielles :

  Recevoir des données à partir des collecteurs dans positions (i, j, k), et les communiquer à la plus proche (point d'accès ou station de base).
- Chaque point d'accès dispose d'un rayon de couverture et d'un rayon de communication

3.3 Objectif et hypothèse du travail

3.3.1 Objectif

L'objectif de notre travail est d'optimiser le déploiement des points d'accès dans un espace 3D qui contient N serres, qui permet d'avoir le minimum de point d'accès à déployer qui garantissent une couverture parfaite. Aussi, nous devons assurer une bonne connectivite du réseau. Nous avons besoin d'un ensemble de composants électroniques qui sont :
Actionneurs, capteurs, station de base intermédiaire (collecteur), point d'accès (répéteur), Station de base (SB) principale. Voire la figure 3.2 qui représente notre schéma global.

3.3.2 Hypothèse

Afin de proposer notre solution et de préciser les caractéristiques de l'espace sur le quel notre solution est applicable. Nous avons défini un ensemble d'hypothèses qui sont :

- L'espace de déploiement défini par une représentation matricielle 3D qui est compose de plusieurs cellules et certaine cellule contient des serres.
- Au centre de chaque serre est dotée d'un SB intermédiaire qui utilisent la communication Wi-Fi pour envoyer à le SB principale via les points d'accès.
- A l'intérieur de chaque serre il existe des capteurs sans fil déployés (capteur de température, capteur d'humidité. Capteur de lumière, etc.) qui détectent et recueillent des informations sur l'environnement et les envoyons au SB intermédiaire (Raspberry dans notre cas).
- SB intermédiaire récupère les données des capteurs sans fil avant de les envoyer aux stations de base et puisque les capteurs sans fil utilisent la communication ZigBee, nous équipons notre SB intermédiaire avec un module ZigBee pour lui permettre de communiquer avec les capteurs sans fil.
- Le SB principale à également 2 rôles de réception et de collecte d'information prévenant de chaque SB intermédiaire à partir de point

d'accès avant d'envoyer ces informations à l'organisateur via internet. Le deuxième rôle est la réception des commandes de contrôle et la retransmission de ces commandes au SB intermédiaire destine à la serre correspondante.

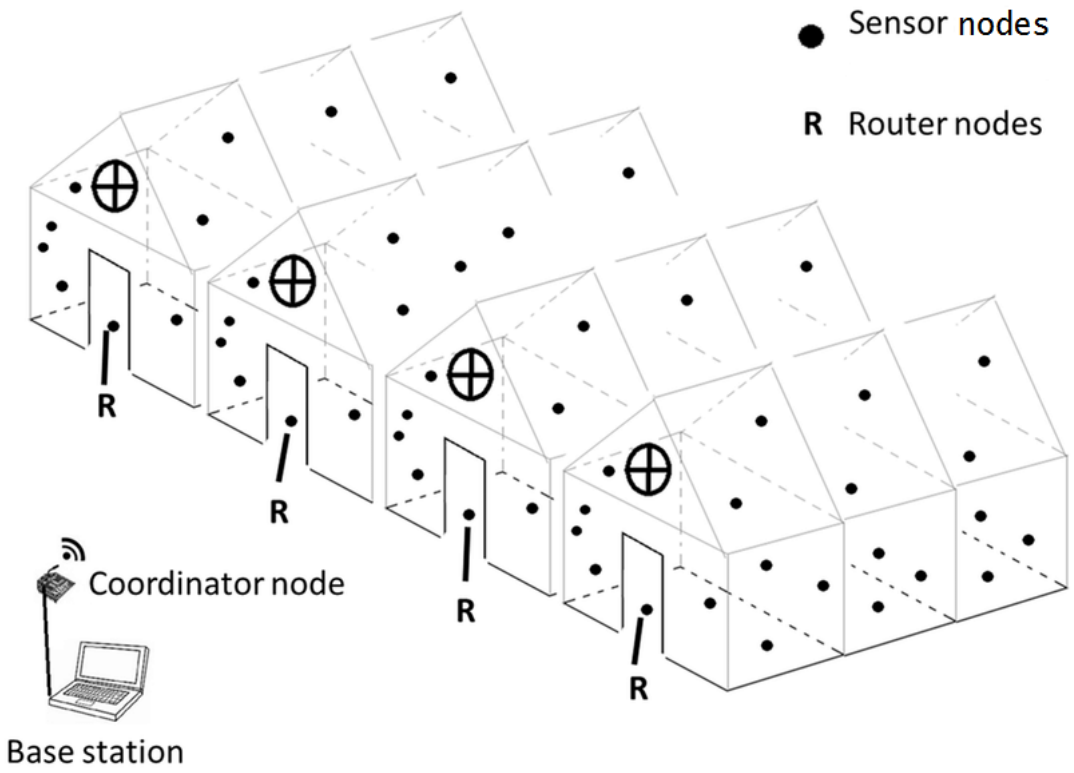


Figure 3.2 : Schéma globale [50].

- ✓ Sensor nodes : Nœuds de capteur.
- ✓ Base Station : Station de base (l'administrateur de la serre intelligente).
- ✓ Coordinator node : Nœud coordinateur:
- ✓ Router node : Nœud puits.

3.4 Conception du système

Dans cette partie, nous allons présenter l'adaptation d'algorithme NSGA-II et DT à ce problème (optimisation de déploiement de RCSF) en suivant des étapes jusqu'à atteindre la solution. On va détailler le fonctionnement de chaque partie de chaque algorithme.

3.4.1 NSGA-II

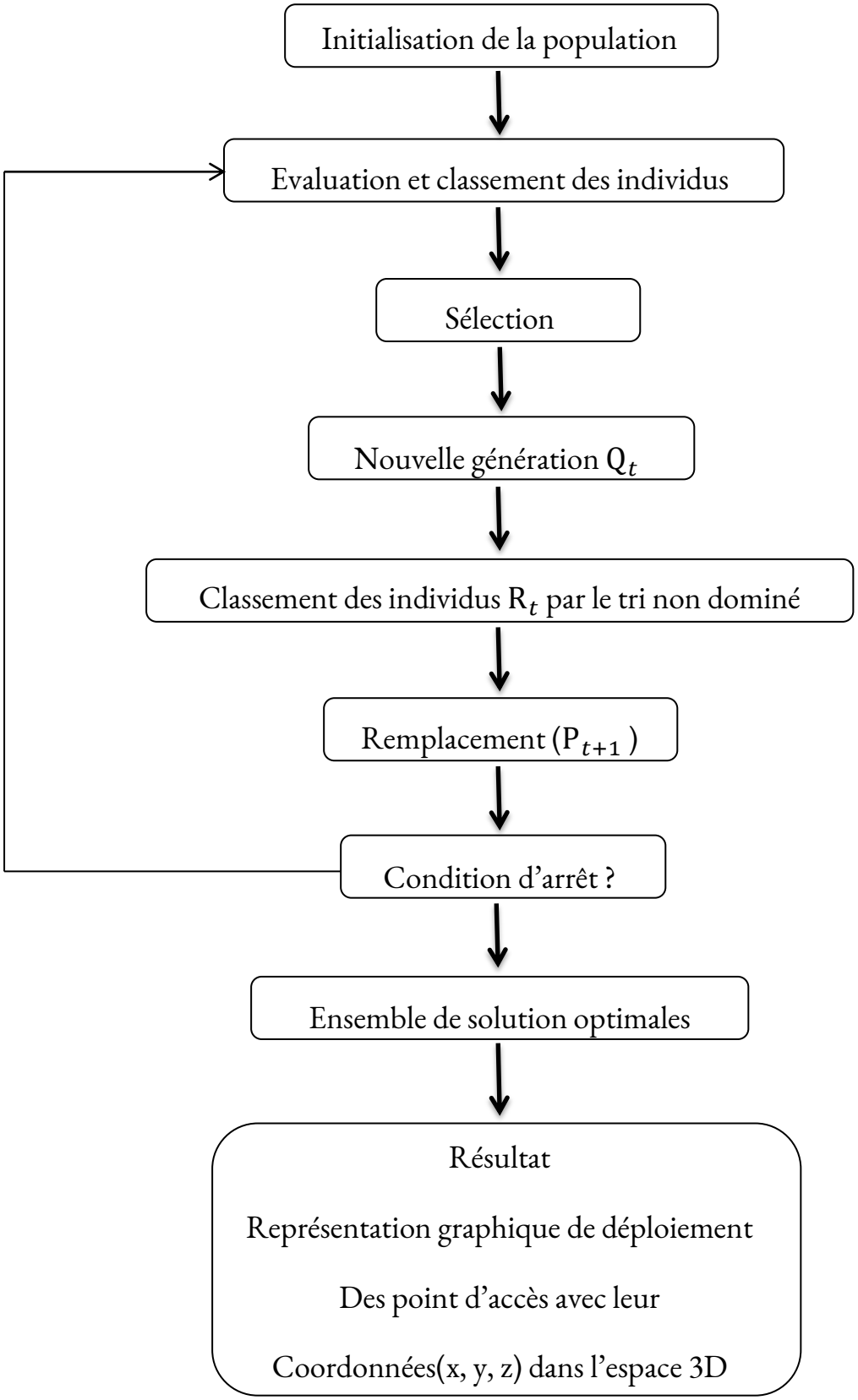


Figure 3.3 : Architecture détaillé de NSGA-II.

3.4.1.1 Définition d'un individu

Un individu correspond à une solution du problème à optimiser, le codage d'un individu peut être binaire, réel ou mixte. Dans notre problème, la solution représentée sous forme d'un vecteur réel contenant les positions des différents PA qui doivent repartie dans l'espace, la présence ou pas d'un PA.
La solution est appelée chromosome, est composée des gènes, chaque gène peut être représenté par deux variables (x, y, z) est existence (0 ou1).

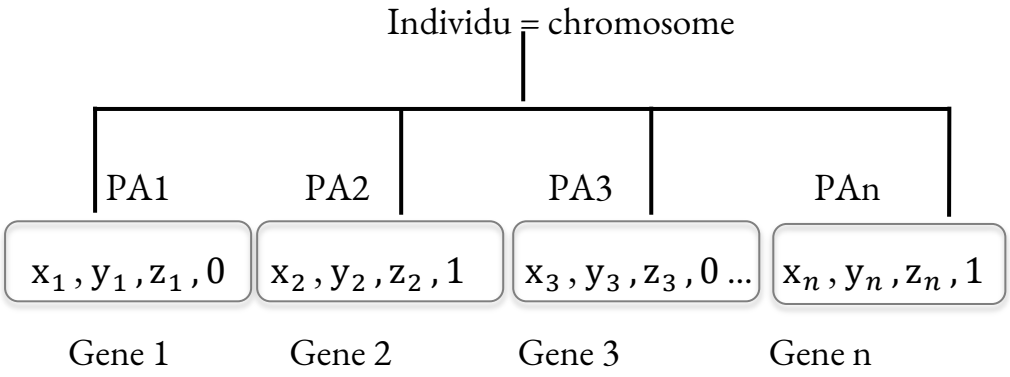


Figure 3.4 : Représentation d'un individu du système.Population initiale.

Dans notre travail la population initial est l'ensemble des solutions, ces solutions sont générées de manière aléatoire dans la grille. Générer aléatoirement les individus permet de créer une diversité de population tout en ne gardant des solutions réalisables. La taille de la population N est choisie par l'utilisateur, un exemple de population initiale avec trois (03) individus :

Ind_1 $(x_1, y_1, z_1, 1), (x_2, y_2, z_2, 0), (x_3, y_3, z_3, 0) \ldots (x_n, y_n, z_n, 1)$

Ind_2 $(x_1, y_1, z_1, 0), (x_2, y_2, z_2, 0), (x_3, y_3, z_3, 1) \ldots (x_n, y_n, z_n, 0)$

Ind_n $(x_1, y_1, z_1, 1), (x_2, y_2, z_2, 1), (x_3, y_3, z_3, 0) \ldots (x_n, y_n, z_n, 1)$

3.4.1.2 Fonction d'évaluation(Fitness)

Dans ce problème, on aura la valeur de fitness pour chaque individu (solution) à partir des objectifs imposes dans notre système (minimiser le cout, la couverture et maximiser la connectivité). Ensuite, les individus seront classes selon leur dominance par rapport aux fonctions objectives et ainsi pouvoir

identifier les fronts Pareto. Pour cela, nous dérivons trois fonctions objectifs (fitness) soit A l'espace de déploiement.

F= $w_1 f_1 + w_2 f_2 + w_3 f_3$ sachant que :

$$\sum w_i = 1 \Rightarrow w_i \text{ :le poids.} \quad (3.1)$$

F1 : Cout

Partant de la définition de l'espace de déploiement, nous considérons une matrice de déploiement D. Cette matrice est définie comme suit :

$$D(i,j,k)=\begin{cases} 1 \; Si \; un \; noeuds \; est \; deployé \; dans \; la \; position \; (i,j,k) \\ 0 \; Si \; non \end{cases} \quad (3.2)$$

- La fonction de cout qui représente le nombre total des nœuds déployés dans l'espace.

$$Cout=\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} D(i,j,k) \times C_{achat} \times C_{instalation} \quad (3.3)$$

Le cout de déploiement qui est représenté par la somme des différents éléments de D.

C_{achat} , $C_{instalation}$: représentent le cout d'achat et d'installation du nœuds déployé dans la cellule (i, j, k).

F_2 : Couverture

Point couvert : un point p appartenant à l'espace de déploiement est dit couvert par un nœud S_i si et seulement si p appartient au périmètre de captage du nœud S_i et aucun obstacle n'existe entre p et S_i . Cette définition peut être représentée mathématiquement comme suit :

$$\varphi_{si} = \{p \mid p \in \text{sphere}(S_i , R_i) \wedge ! O(\rightarrow psi)\} \quad (3.4)$$

Ou φ_{si} représente l'ensemble des points couverts par le nœud S_i . Sphère (S_i , R_i) représente une sphère d'un rayon R_i et centrée au nœudS_i , elle indique l'espace de captage du nœud S_i .

O (→psi) est une variable binaire qui indique la présence (1), ou pas d'un obstacle entre le nœud S_i et le point p [14].

- Nous calculons la distance entre deux nœuds par la formule euclidienne suivante :

$$d(S,P)\left(\sqrt{((S_x - P_x)^2 + (S_y - P_y)^2 (S_z - P_z)^2} \leq R_i\right). \quad (3.5)$$

- Nous considérons une matrice de couverture Couv (i, j, k) exprimée comme suit :

$$Couv_{(i,j,k)} = \begin{cases} 1\ Si\ le\ point\ d'acces\ couvre\ au\ moins\ un\ SB\ intermediaire\ (i,j,k) \\ 0\ Si\ non \end{cases} \quad (3.6)$$

Cette équation 3.7 représente le taux de couverture des serres, Sachant que $\mathrm{Nb_{SB}}$ représente le nombre total de SB intermédiaire :

$$\mathrm{Couv_{PA}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} \mathrm{Couvc(i,j,k)}}{\mathrm{Nb_{SB}}} \right) \mathrm{x100} \quad (3.7)$$

F_2 : Connectivite

Nous avons vu dans la section 1.4.5.4 qu'un lien sans-fil est déterminé en fonction de la puissance du signal reçu qui est calculée grâce au modèle FRIIS. Chaque nœud doit pouvoir communiquer au minimum avec un autre nœud.

- Nous calculons la puissance minimale autorisée pour établir une connexion (RSSI).

$$\mathrm{RSSI\ (i, j, k)} = \mathrm{P_{Tx}} - \mathrm{PL} \quad (3.8)$$

Soit ConC (i, j, k) une matrice de connectivite, ou chaque variable peut être à 1 si le RSSI calcule dans la cellule (i, j, k) est supérieur à Rxs et 0 sinon.

- La première équation pour calculer le taux de connectivite entre les Pas.

$$\mathrm{Conc_{PA}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} \mathrm{Conc(i,j,k)}}{\mathrm{Nb_{PA}}} \right) \mathrm{x100} \quad (3.9)$$

- La deuxième équation afin de calculer le taux de connectivite entre le PA et SB intermédiaire.

$$\mathrm{Conc_{SB}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} \mathrm{Conc(i,j,k)}}{\mathrm{Nb_{SB}}} \right) \mathrm{x100} \quad (3.10)$$

- $\mathrm{Nb_{PA}}$, $\mathrm{Nb_{SB}}$ représentent respectivement le nombre total de point d'acces.SB intermédiaire.
- Le taux de connectivite total qui calculer par la connectivité des points d'accès et la connectivité des SB intermédiaire qui existe chaque un dans une serre est comme suit :

$$\text{Taux}_{\text{Total}} = \frac{\text{Conc}_{\text{PA}} \text{x Conc}_{\text{PA}}}{100} \quad (3.11)$$

3.4.1.3 Classement des individus

Dans l'algorithme NSGA-II, après l'évaluation on doit classer les individus selon leur dominance par rapport aux fonctions objectives et établira les fronts de Pareto. Si les individus ont la même valeur de fitness l'individu dote de la valeur minimale dite de crowding distance est sélectionné.

3.4.1.4 Sélection

Dans notre cas, la sélection d'individus qui participent au croisement et à la mutation est réalisée grâce à la méthode "uniforme" elle est décrite dans le chapitre 2. On va choisir les N/2 individus qui seront les parents de la nouvelle population de façon aléatoire sans intervention de la valeur de fitness.
Le taux de mutation et de croisements est choisi par l'utilisateur comme paramètre d'entrée.

3.4.1.5 Croisement

L'operateur de croisement consiste à appliquer un processus avec une certaine probabilité (Pc) aux parents sélectionnes auparavant. Dans notre algorithme, nous utilisons le croisement a un point pour générer de nouveaux individus enfants (figure 3.5), et sa selon le processus suivant :

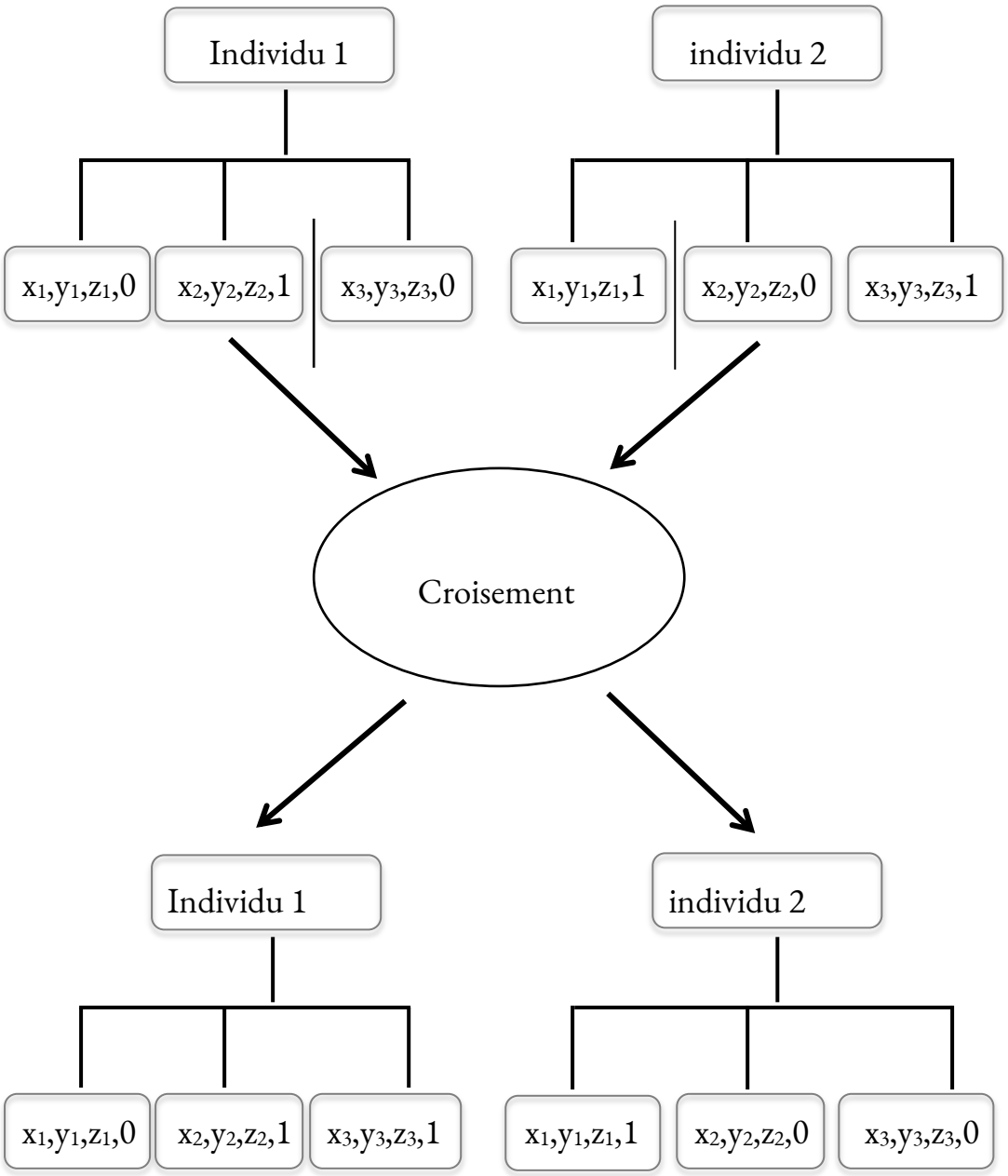


Figure 3.5 : Croissement.

- Prendre les deux individus sélectionnés.
- Choisir le point de découper aléatoirement.
- Combiner les deux individus (parents) pour produire deux nouveaux individus (fils).

On prend en compte par l'opération de croisement les notes suivantes :

- Héritabilité : Les enfants doivent hériter les propriétés génétiques de leurs parents.
- Validité : les enfants (individus générés) doivent appartenir à l'espace de recherche.
- La probabilité de croisement $\mathbf{P_c}$: probabilité de croiser deux parents, doit comprise entre 0.5 et 0.9.

3.4.1.6 Mutation

On choisit aléatoirement deux points à partir de l'individu sélectionné et par une probabilité P_m est généralement comprise entre 0.01, 0.07 [7] et ensuite on fait une permutation entre les deux gènes sélectionnés au hasard. Voir la figure 3.6.

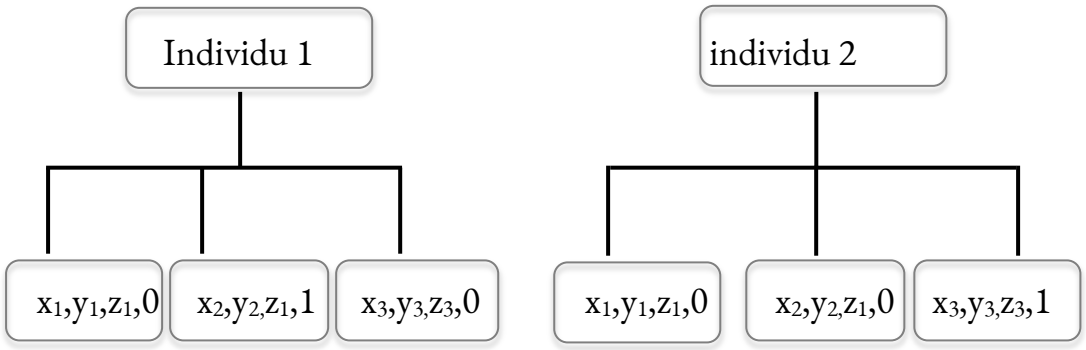


Figure 3.6 : Mutation.

3.4.1.7 Remplacement

Apres la sélection et l'application des opérateurs génétiques on obtient une nouvelle population Q, cette population va être fusionnée avec l'ancienne P_i pour former P_m (qui est une population de taille 2N), on va par la suite évaluer et classer P_m et on applique la distance de Crowding pour réajuste la taille de la population a N.

3.4.1.8 Critère d'arrêt

Tant que le critère d'arrêt qui est le nombre de génération prédéfinie n'est pas satisfait, l'algorithme reste en fonction.

3.4.1.9 Solutions optimales

L'ensemble de solutions qui constitue un équilibre, dans le sens qu'au une amélioration ne peut être faite sur un objectif sans dégradation d'au moins un autre objectif. Cet ensemble des solutions efficaces situées dans le premier front "front de Pareto".

3.4.2 Triangulation de delaunay :

La triangulation de Delaunay, le nom a été attribué au mathématicien russe, Boris Delaunay qui a été un élève de Georgy Voronoï, en 1934[17].
C'est est un méthode de la géométrie algorithmique utilisées dans les RCSFs pour résoudre les problèmes de trous de couverture en les détectant et en les éliminant afin de maximiser le taux de couverture [13].

Définition :

Soit $S = \{p_1,..., p_n\}$ un ensemble de points dans R^3 . On appelle triangulation de S un ensemble d'arêtes reliant des points de S sans intersections (deux arêtes ne se coupent pas) et maximale (on ne peut pas rajouter d'arêtes).

Soient $p_1 (x_1, y_1, z_1)$ et $p_2 (x_2 ,y_2 ,z_2) \in R^3$ deux points distincts non colinéaires et non nulles. L'équation d'un plan médiateur est de la forme :

$\pi : ax + by + cz + d = 0$

Où a, b, c, d ∈ R sont des coefficients non nuls.

Soit m(x, y, z) un point quelconque qui appartient au plan médiateur π, alors

$m(x, y) \in \pi \Longleftrightarrow (mp_1)^2 = (mp_2)^2$

$\Longleftrightarrow (x-x_1)^2 +(y-y_1)^2+(z-z_1)^2 =(x-x_2)^2 +(y- y_2)^2 +(z-z_2)^2$

$\Longleftrightarrow \underbrace{2(x-x_1)}_{a}.x + \underbrace{2(y_2-y_1)}_{b}.y + \underbrace{2(z_2-z_1)}_{c}.z$

$$+(x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 - z_1^2)=0$$

Donc $a = 2(x_2 - x_1)$,

$b = 2(y_2 - y_1)$,

$c = 2(z_2 - z_1)$,

$d = x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2$.

Ensuite pour trouver l'intersection des trois plans médiateurs ont résoudre le système de 3 équations à 3 inconnues :

$$\begin{cases} a_1 x + b_1 y + c_1 z + d_1 = 0 \\ a_2 x + b_2 y + c_2 z + d_2 = 0 \\ a_3 x + b_3 y + c_3 z + d_3 = 0 \end{cases} \Longleftrightarrow \underbrace{\begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix}}_{D} . \begin{pmatrix} x \\ b \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -d_1 \\ -d_2 \\ -d_3 \end{pmatrix}$$

et on obtient les coordonnées pour le centre de la sphère circonscrite :

$$x = \frac{\begin{vmatrix} -d_1 & b_1 & c_1 \\ -d_2 & b_2 & c_2 \\ -d_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}}{\det(D)}, \quad y = \frac{\begin{vmatrix} d_1 & b_1 & c_1 \\ d_2 & b_2 & c_2 \\ d_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}}{\det(D)}, \quad z = \frac{\begin{vmatrix} -d_1 & b_1 & c_1 \\ -d_2 & b_2 & c_2 \\ -d_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}}{\det(D)}$$

Ou

$$\det(D) = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ b_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$$

$=(a_1 b_2 c_3 + a_2 b_3 c_1 + a_3 b_1 c_2)-(a_3 b_2 c_1 + a_2 b_1 c_3 + a_1 b_3 c_2)$.
Donc le centre de la sphère circonscrite est O(x, y, z) et le rayon est dist(O(x,y,z), $p_1 (x_1 , y_1 , z_1))^2$=(x- $x_1)^{2+}$(y- $y_1)^2$+ (z- $z_1)^2$.

Condition Delaunay 3.13.

Soit O(x, y, z) le centre de la sphère circonscrite et le point p $(x_p , y_p , z_p) \in R^3$. Soit r le rayon de la sphère circonscrite. On dit que le point p se trouve à l'intérieur de la sphère si :
dist O(x, y, z), $p_1 (x_1 , y_1 , z_1) \leq$ r [17].

Algorithm 4: Triangulation de Delaunay dans l'espace

```
Data: Liste des points
Result: Liste des points idéaux
Combinations(Liste des points, 4) : liste de tétraèdres ;
Liste : vide ;
for Tétraèdre in Liste de tétraèdres do
    Flag = True ;
    Calculer a1, b1, c1 et d1 ;
    Calculer a2, b2, c2 et d2 ;
    Calculer a3, b3, c3 et d3 ;
    Calculer x, y, z ;
    CentreSphère(x, y, z);
    Calculer Rayon ;
    for P in Liste des points do
        if P n'est pas dans Tétraèdre then
            Calculer Distance;
            if Distance ≤ Rayon then
                Flag = False;
                break;
            end
        end
    end
    if Flag est true then
        Ajouter le Tétraèdre dans la Liste;
    end
end
return Liste.
```

Figure 3.7 : Algorithme de Triangulation de delaunay [17].

3.5 Conclusion

Un algorithme d'optimisation multi-objectives est développé pour optimiser le déploiement RCSF. Dans ce chapitre, nous avons présenté d'eux solution qui assure la connectivité des serres intelligentes et capable de résoudre le problème de déploiement de point d'accès. Dans le chapitre suivant, nous allons détailler la réalisation de cette conception et les outils utilises pour implémenter notre système.

4

Implémentation

Introduction :

Cette partie est consacrée à l'expérimentation du déploiement d'un réseau de capteur par simulation et à la mesure de performance sur ce réseau pour un scénario applicatif donné.
La simulation des réseaux de capteurs consiste principalement en la reproduction du comportement et du fonctionnement des nœuds capteurs dans un environnement informatique selon la définition suivante : « La simulation consiste à la modélisation informatique d'un système quelconque, en offrant une représentation de toutes les entités de ce système, leurs comportements propres, ainsi que leurs interactions.
Elle met à la disposition de l'utilisateur un environnement d'expérimentation dont on peut faire varier les paramètres.

4.1 Simulateurs de Réseau Existants :

Il existe plusieurs simulateurs de réseau tel que : NS3, OMNET++, OPNET, GLOMOSIM, JSIM...etc. Dans ce qui suit, nous en décrivons, trois d'entre eux.

1) **NS3** :

Le NS3 est un simulateur de réseau à événements discrets. Le projet a été créé en 2008 par « Thomas R, Henderson et Sumit Roy ». Programmé en C++ et Python. C'est un programme open source, sous les termes de GNUGPL v2 [46].

2) **OPNET** :

Un simulateur de réseaux commercialisé par Opnet Technologies, Inc. Une interface utilisateur graphique supporte la configuration des scénarii et le développement des modèles de réseau. Trois niveaux hiérarchiques sont définis pour la configuration.
Le premier niveau réseau, crée la topologie du réseau à simuler. Le second niveau nœud, définit le comportement du nœud et contrôle le passage des données entre les différents éléments fonctionnels à l'intérieur du nœud.

Enfin, le troisième niveau processus, décrit les protocoles qui sont représentés par des machines à état fini. Le code source est écrit en C/C++. L'analyse des données simulées est effectuée avec un ensemble de fonctions intégrées [47].

3) OMNET++ :

Basé sur la plateforme Eclipse. C'est un environnement open source qui fournit des outils pour la création et la configuration des modèles de réseaux (les fichiers NED et INI) et des outils pour l'exécution d'un lot de programmes ainsi que pour l'analyse des résultats de simulation. OMNET++ semble être le meilleur parmi les solutions open source et freeware.

Il séduit de plus en plus la communauté scientifique et un nombre croissant de modèles sont disponibles [47].

4.2 Raison de Choisir le Simulateur OMNET ++:

Le simulateur, choisi pour nos simulations, est OMNET++. Ce dernier est le plus avancé et est le plus utilisé dans la communauté scientifique pour la simulation des réseaux de capteurs sans fil. Nous pouvons citer certains de ses avantages [47]:

OMNET++ est livré avec son propre IDE (basé sur Eclipse).
OMNET++ est plus rapide en termes d'exécution
OMNET++ prend en charge l'environnement 3D.
OMNET++ plus efficace en termes de gestion de la mémoire.
OMNET++ a un très bon support de visualisation.

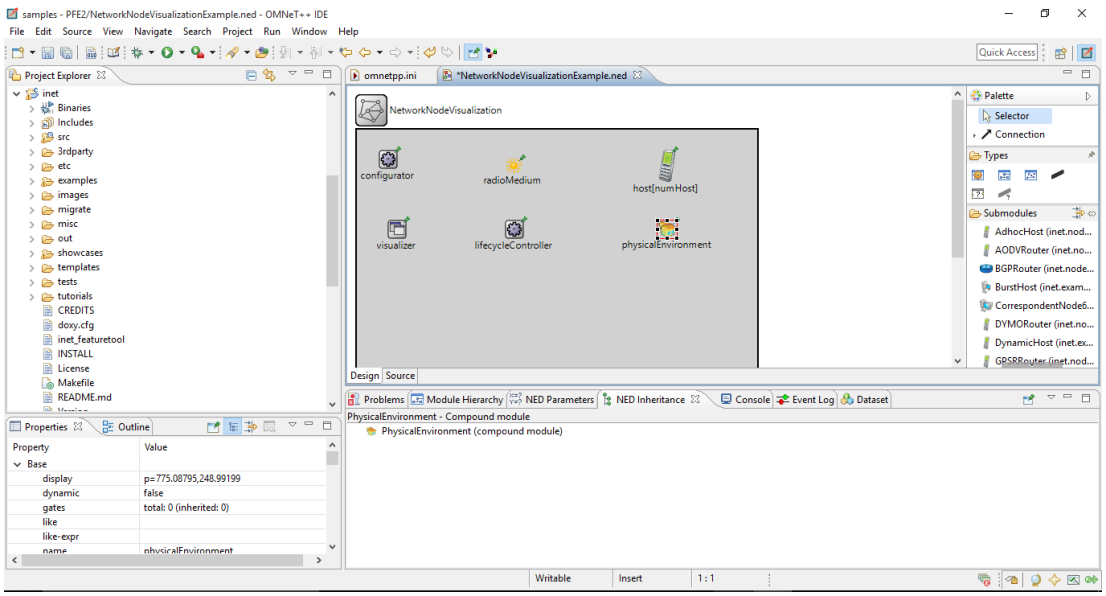


Figure 4.1 : Interface de OMNET ++.

4.3 Outils du Simulateur OMNET ++ :

4.3.1 INET framework :

INET Framework est une bibliothèque de modèles open source pour l'environnement de simulation OMNET ++. Il fournit des protocoles, des agents et d'autres modèles aux chercheurs et aux étudiants travaillant avec des réseaux de communication. INET est particulièrement utile lors de la conception et de la validation de nouveaux protocoles, ou lors de l'exploration de scénarios nouveaux ou exotiques.

INET contient des modèles pour la pile Internet (TCP, UDP, IPv4, IPv6, OSPF, BGP, etc.), les protocoles de couche liaison filaire et sans fil (Ethernet, PPP, IEEE 802.11, etc.), la prise en charge de la mobilité, les protocoles MANET, DiffServ, MPLS avec signalisation LDP et RSVP-TE, plusieurs modèles d'application et de nombreux autres protocoles et composants. Plusieurs autres cadres de simulation prennent INET comme base et l'étendent dans des directions spécifiques, telles que les réseaux véhiculaires, les réseaux de superposition / peer-to-peer ou LTE [48].

4.3.2 Langage NED :

L'utilisateur décrit la structure d'un modèle de simulation en langage NED. NED signifie Description du réseau. NED permet à l'utilisateur de déclarer des modules simples, de les connecter et de les assembler en modules composés. L'utilisateur peut étiqueter certains modules composés comme des réseaux; c'est-à-dire des modèles de simulation autonomes. Les canaux sont un autre type de composant, dont les instances peuvent également être utilisées dans des modules composés [49].

4.3.3 Langage C++:

C ++ a été développé par Bjarne Stroustrup, en tant qu'extension du langage C. C ++ est un langage de programmation orienté objet qui donne une structure claire aux programmes et permet de réutiliser le code, réduisant ainsi les coûts de développement.

C ++ est portable et peut être utilisé pour développer des applications qui peuvent être adaptées à plusieurs plates-formes.

4.4 Simulation :

4.4.1 Composant de simulation :

4.4.1.1 Nœud capteur :

Nous utilisons dans notre expérience un nœud sans fil contenant un routage, un composant de batterie et aussi capable de recevoir et de transmettre des signaux sur le support.

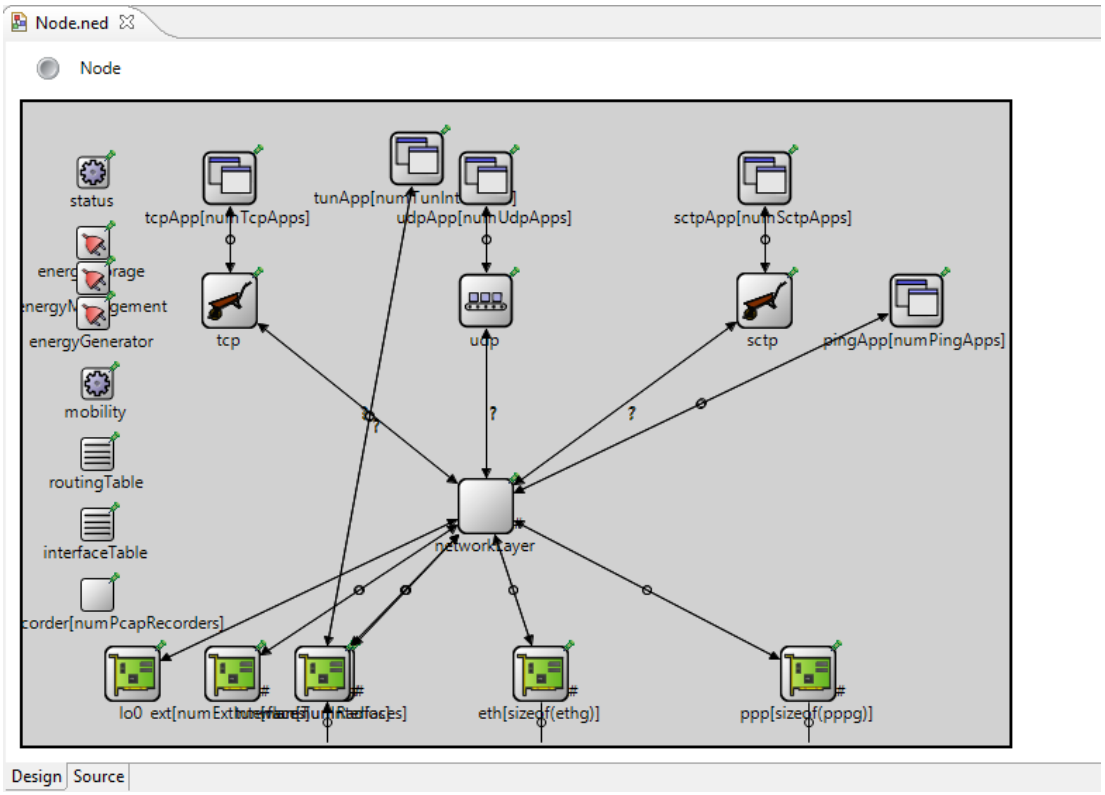


Figure 4.2 : L'architecture de nœud capteur.

4.4.1.2 Environnement physique :

Nous utilisons un environnement physique pour représenter un environnement indoor. L'environnement physique a un effet profond sur la communication des Nœuds capteurs sans fil. Par exemple, des objets physiques comme les murs à l'intérieur d'environnement physique limitent la mobilité. Ils obstruent également les signaux radio.



Figure 4.3 : Scène de l'environnement physique.

4.4.1.3 Environnement de Simulation :

Édition	Windows 10 Professionnel
ID de produit	00331-10000-00001-AA961
Processeur	Intel(R) Core(TM) i3-4005U CPU @ 1.70GHz 1.70 GHz
Mémoire RAM installée	4,00 Go
Type du système	Système d'exploitation 64 bits, processeur x64

Figure 4.4 : Environnement de Simulation.

4.5 Expérimentation

4.5.1 NSGA-II algorithme

L'algorithme NSGA-II donne des résultats très impressionnants lorsqu'il est appliqué à des problèmes multiobjectives, mais il consomme beaucoup de temps pour donner les résultats et ça parce qu'il donne une solution optimale pour tous les objectives de problèmes.

Nous pouvons voir les résultats de l'application de cet algorithme à un problème multiobjectives dans cette référence [14].

4.5.2 DT algorithme :

Notre modèle d'expérimentation est établie sur 40 nœuds capteurs, déployés d'une mode triangulaire dans un environnement indoor considéré comme une serre intelligente, comme illustré dans la figure 4.10 et 4.11.

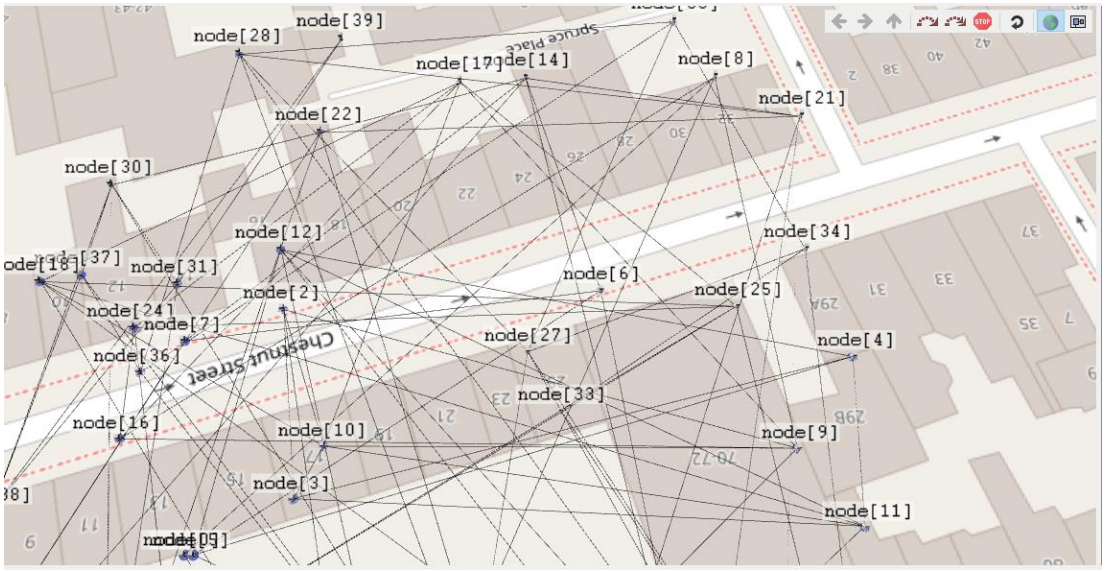


Figure 4.10 : Des nœuds capteurs déployés en mode triangulaire.

Les objets qui représentent des blocs de serre intelligente sont affichés sous forme de blocs rouges semi-transparents

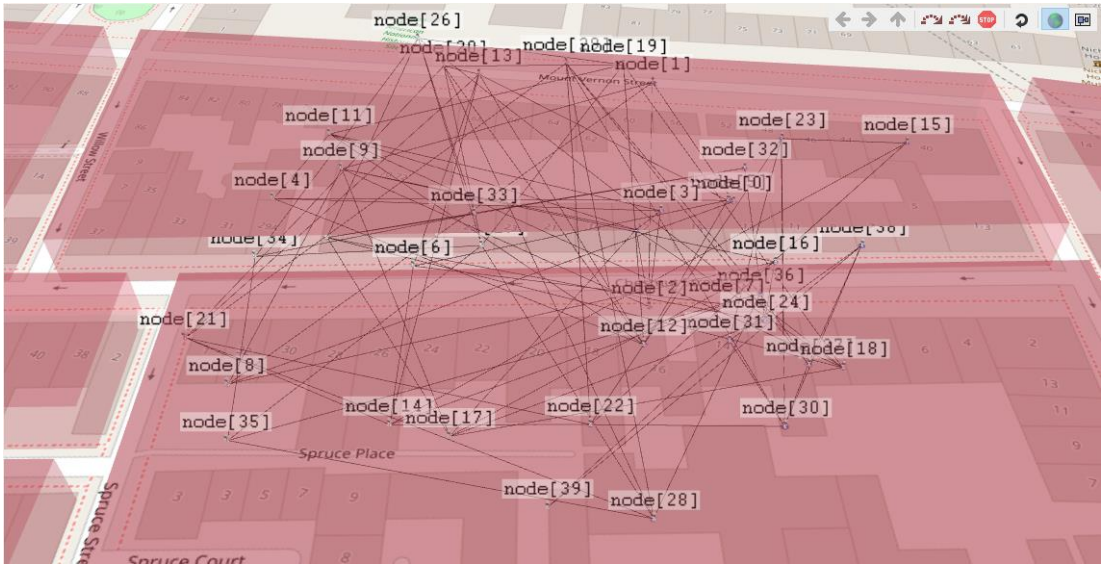


Figure 4.11 : Des nœuds capteurs déployés dans un environnement indoor.

4.5.2.1 Salutation entre les nœuds :

Dans ce processus, chaque nœud actif envoie à ses voisins des messages qui continents déférent informations à chaque envoie.

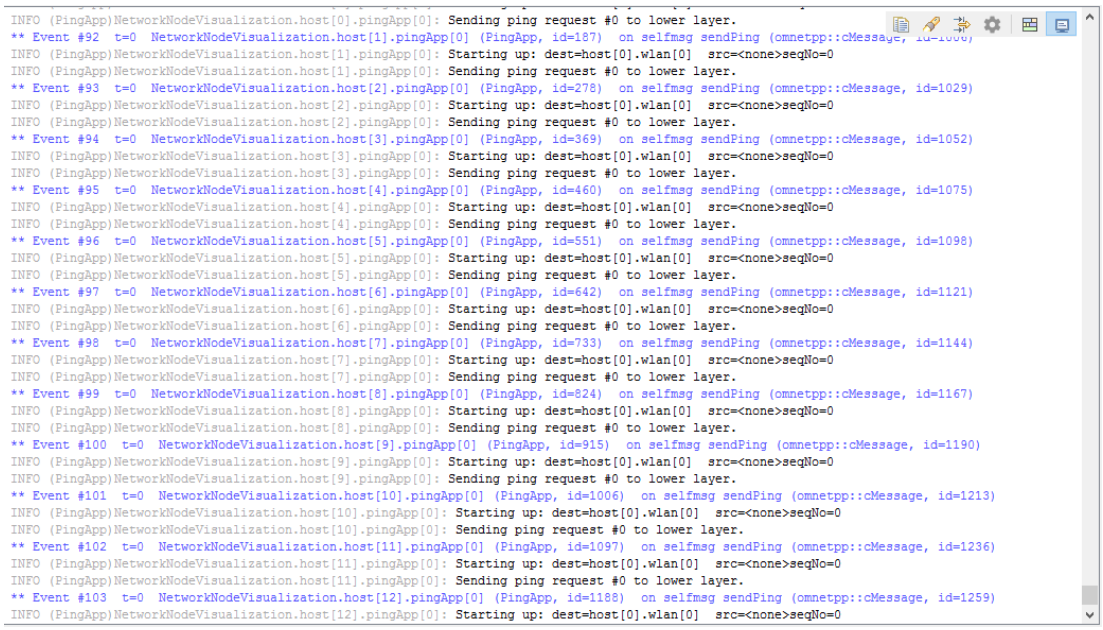


Figure 4.12 : Communication entre les nœuds.

4.5.2.2 Consommation d'énergie :

La ressource énergétique détermine la durée de vie du réseau et doit être soigneusement prise en compte dans la conception de n'importe quel réseau de capteurs sans fil.

Dans notre expérience, nous utilisons le déploiement de triangulation et l'algorithme de Stop Operate pour économiser l'énergie Après la simulation on a obtenu les résultats suivants:

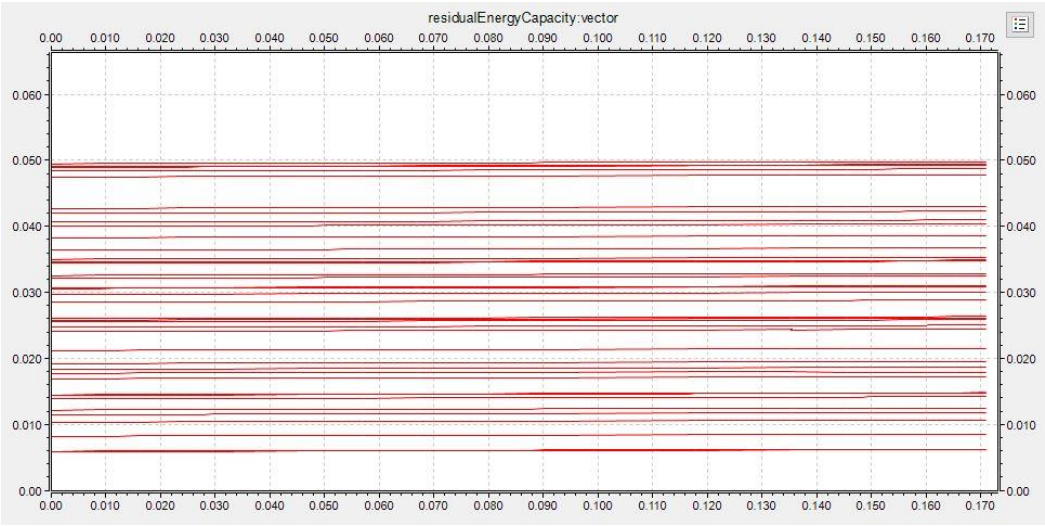


Figure 4.13 : L'état d'énergie des nœuds avant utilisant déploiement de triangulation.

La figure 4.13 montre l'état d'énergie avant l'application de l'algorithme. Nous notons que l'énergie des nœuds est constante et c'est parce que nous n'avons pas encore appliqué un algorithme pour contrôler le processus de communication entre eux.

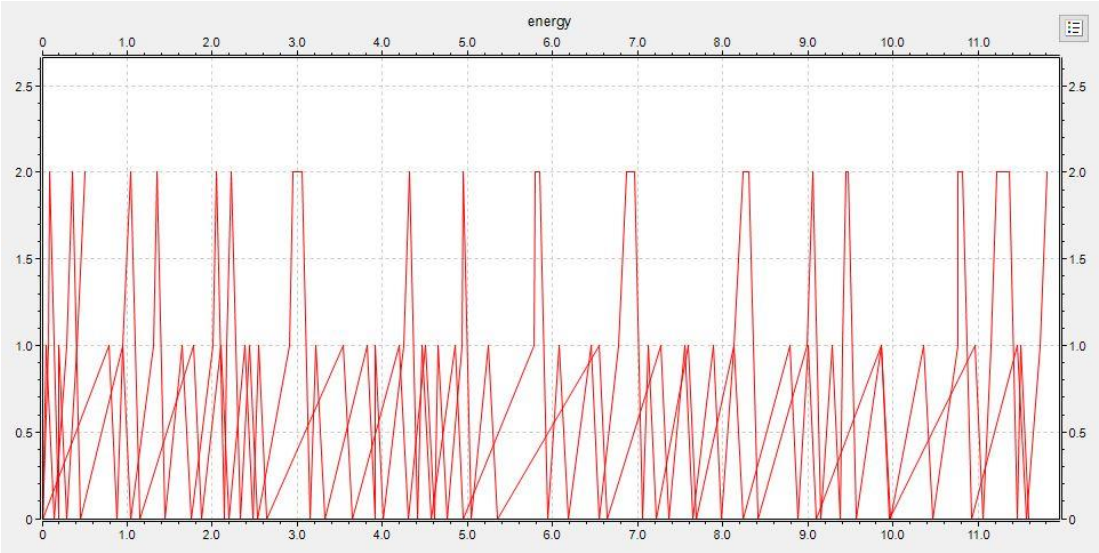


Figure 4.14 : Consommation d'énergie en utilisant déploiement de triangulation par rapport au temps.

La figure 4.14 montre l'état d'énergie après l'application de l'algorithme. On constate que l'énergie des nœuds ne consommez pas rapidement et aussi elle change: lorsque l'énergie du nœud est consommée, il entre en mode hibernation (l'algorithme Stop-Operate) afin de reconstituer son énergie et de retourner au travail.

Nos résultats montrent que pour un déploiement de triangulation du RCSF dans un environnement 3D en utilisant un DT avec application de l'algorithme Stop-Operate, économise plus d'énergie.

Nous avons prouvé que l'utilisation du déploiement en mode de triangulation ont un effet sur la consommation d'énergie.

4.6 Discussion

La méthode NSGA-II, elle fournit des solutions variées et réalisables groupées dans le front de Pareto. L'utilisateur peut ainsi parcourir ces solutions et choisir celle qui lui va le mieux. La seule lacune de cette méthode est le temps d'exécution. En effet, la méthode NSGA-II consomme plus de temps d'exécution car elle procède à un très grand nombre d'opérations (classement, crowding distance, ...) [14] qui ne sont pas réalisées par l'algorithme de triangulation de delaunay

Finalement, le choix de la méthode d'optimisation utilisée pour l'application dépend fortement de l'utilisateur final de l'outil de déploiement. Si l'utilisateur connait apriori les objectifs visés, ainsi que leur importance, nous recommandons l'utilisation de l'algorithme de triangulation de delaunay. Sinon, l'utilisation d'un algorithme fournissant un front de Pareto (ex. : NSGA-II) est fortement recommandé.

4.7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons abordé une description du simulateur OMNET ++, qui est spécifique à la simulation des réseaux de capteurs sans fil. Parmi ses caractéristiques importantes, nous citons la capacité de donner des résultats plus proches de la réalité. C'est pour cette raison que nous avons choisi ce simulateur.

Et nous avons évalué la triangulation de Delaunay dans un environnement 3D. Afin de minimiser la consommation d'énergie, tout en maintenant le bon fonctionnement du RCSF en assurant la connectivité et la couverture en même temps.

Conclusion Générale Et Perspectives

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à la problématique de la conservation de l'énergie dans un réseau de capteurs et à l'optimisation du déploiement dans un environnement 3D pour imiter un monde réel d'autre part la conservation de la consommation d'énergie avec la prise en compte des caractéristiques de cet environnement. Dans ce dernier, les nœuds capteurs sont alimentés par des batteries à faible capacité, généralement irremplaçables car les nœuds capteurs sont déployés dans des zones difficilement accessibles.

L'énergie est une ressource critique et constitue souvent un obstacle majeur au déploiement des réseaux de capteurs.

Après avoir étudié la modélisation d'un RCSF, nous avons vu que le problème de déploiement de ces derniers représente un problème d'optimisation multi-objectives.

Afin de le résoudre nous avons étudié plusieurs méthodes de résolution de ce type de problèmes. La complexité de ce dernier étant NP-Difficile nous nous sommes limités pour la suite aux métaheuristiques et plus spécialement algorithmes évolutionnaires.

Nous avons proposé et évalué à la fois deux algorithme, l'algorithme Triangulation de delaunay et NSGA -II, les cibles de ces deux algorithmes améliorant l'efficacité énergétique et assurant la connectivité et la couverture sont conservées pour RCSF.

Bibliographie

[1]https://www.terre-net.fr/actualite-agricole/economie social/article/definition-de-l-agriculture-4-0-202-138781.html.'10/02/2020'.

[2]Matthieu De Clercq & Anshu Vats & Alvaro Biel, "Agriculture 4.0: The future of farming technology", February 2018, pp 5-17.

[3]http://jmainy.free.fr/ccm/wireless/wlintro.html.'10/02/2020'.

[4]https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjlnMbt7afsAhWbA2MBHZk3BBkQFjAAegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fzenodo.org%2Frecord%2F1038504%2Ffiles2FChapitre%25201%2520les%2520technologies%2520sans%2520fils.pdf&usg=AOvVaw1zlEgmtn6ZL7-zZtaeq1sB.'17/06/2020'

[5] http://jmainy.free.fr/ccm/wireless/wpan.htm.'10/02/2020'.

[6]FATIMA MOURCHID,"Nouveau modèle pour le positionnement des senseurs avec contraintes de localisation", Ph.D. dissertation, Dept. Génie Informatique Et Génie Logiciel., Montréal Univ,2010.

[7] http://jmainy.free.fr/ccm/wireless/wlan.html.'10/02/2020'..

[8] http://jmainy.free.fr/ccm/wireless/wman.html. .'13/02/2020'.

[9] http://jmainy.free.fr/ccm/wireless/wwan.html.'13/02/2020'.

[10]https://helpcenter.engeniustech.com/hc/en-us/articles/115003549348-What-is-WDS-and-can-I-make-a-WDS-connection-on-an-EnGenius- AP300v2-with-a-different-brand-that-supports-WDS-.'13/02/2020'.

[11]https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/wireless-distribution-system-WDS.'13/02/2020'.

[12]DR. Mustapha reda senouci .Bulletin d'information trimestriel Seizième numéro - Décembre 2014 Dossier: le deploiement des reseaux de capteurs sans fil.

[13]Amira BENTABET & Charafeddine BENGHELIMA,“ L’optimisation du déploiement d’un RCSF pour une application de surveillance de sites”, Université Belhadj Bouchaib D’Ain Témouchent, 2019.

[14]Mohamed Amin Benatia , “Optimisation multi-objectives d’une infrastructure réseau dédiée aux bâtiments intelligents”, Intelligence artificielle [cs.AI]. INSA de Rouen, 2016. Français.

[15]Cheick-Tidjane Kone, “Conception de l’architecture d’un réseau de capteurs sans fil de grande dimension. Réseaux et télécommunications ” ,[cs.NI]. Université Henri Poincaré - Nancy I, 2011. Français.

[16] M. A. Benatia & D. Baudry, A. Louis,CESI, Livrable CREST V2.0,Rouen, France.2015

[17]Guendalina Palmirotta,“Triangulation de Delaunay”, support de cours ,2014-2015.

[18] Jean Dipama, “Optimisation multi-objectif des systèmes énergétiques” ,Ph.D. dissertation, Dept. GÉNIE PHYSIQUE, 2010.

[19] MAHDI SAMIR, “Optimisation Multiobjectif Par Un Nouveau Schéma De Coopération Méta/Exacte” ,Magister. dissertation, Dept. Informatique.
[20] K. Deb, “Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms”, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

[21] CHELOUTI Sara Et &KAIDI Karima, “Résolution d’un problème d’optimisation multi-objectif fractionnaire Linéaire flou en nombres entiers,” Magister. dissertation, Dept. Mathématiques, 2016.

[22] boukhemal damya & bourihane siham, “Optimisation multi-objectifs de la conception des batiments en béton armé : phase avant projet sommaire”, Magister. dissertation, Dept. Recherche Opérationnelle,2018.
[24]http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Optimisation%20combinatoire/fr-fr/.’03/03/2020’.

[25]https://www.techno-science.net/definition/6352.html. ’05/03/2020’.

[26]https://wikimemoires.net/2014/02/optimisation-multiobjectif-et-

problemes-doptimisation-mono-objectifs/.'05/03/2020'.

[27]https://wikimemoires.net/2014/02/optimisation-multiobjectif-et-problemes-doptimisation-mono-objectifs/.'11/03/2020'.

[28]Dihya AISSAOUI &Souad BENHAMA, "Méthode hybride pour la résolution des problèmes de programmation linéaire en nombres entiers," Master. dissertation, Dept. Recherche Opérationnell.

[29]https://www.memoireonline.com/07/09/2367/m_Gestion-du-spectre-de-frequence-et-implementation-des-reseaux-de-telecommunications-cas-dun-res12.html. '16/03/2020'.

[30]http://www.unit.eu/cours/EnsROtice/module_me/co/Mon_Module_8.html. ' 21/03/2020'.

[31]https://www.emse.fr/~delorme/Papiers/MemoireDEA/memoire003.html. ' 21/03/2020'.

[32] Mohsen Ejday, "Optimisation multi-objectifs à base de métamodèle pour les procédés de mise en forme," Ph.D. dissertation, l'École nationale supérieure des mines de Paris., France, mars, 2011.

[33]Maroun Bercachi, " Algorithme Évolutionnaire à États pour l'Optimisation Difficile," Ph.D. dissertation,Nice Sophia Antipolis Univ., Françe,2010.

[34]DRDI Leila, "Intro AG Dridi", Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng, Harvard Uni, 2005.

[35]Belkhiter Khalid, "Sélection des services Web à base

d'algorithmes génétiques multi-objectifs" ,Master. dissertation, Dept. Informatiqu., Abou Bakr Belkaid-Tlemcen Univ, 2012.

[36]Mekhfi Nadia & Lahbab Noura, "Mise au point d'une application de Géolocalisation Indoor via WiFi ", Master. dissertation, Dept. Informatique., Abou Bakr Belkaid-Tlemcen Univ, 2018.

[37]Mohamed Amin Benatia, "Optimisation multi-objectives d'une infrastructure réseau dédiée aux bâtiments intelligents", Ph.D. dissertation, Intelligence artificielle [cs.AI]., INSA de Rouen., France, 2016.

[38]https://ela.fr/rfid-active-vs-rfid-passive-quelles-differences.html. ’05/04/2020’.

[39]Abhishek Verma &Virender Ranga & Suneer Angra, “Relay Node Placement Techniques in Wireless Sensor Networks”, 2015.

[40] https://nte.mines-albi.fr/Optimisation/co/OIntro_1.html. ’09/04/2020’.

[41] André Crosnier, M2 Optimisation Concepts de base et méthodes. support de cours, 6 octobre 2017.

[42]https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5579920/?fbclid=IwAR3bG1ZPPIoWMcNZxr--tt_IM81LTnJ6D67A_LTyQa2jETJwgkpspeHRxus. ’16/04/2020’.

[43]D.D.Chaudhary, S.P.Nayse , L.M.Waghmare, “application of

wireless sensor networks for greenhouse parameter control in

p recision a griculture” ,*International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 3, No. 1, February 2011*.

[44]http://dspace.univ-.guelma.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4216/PFE2019%20Dafri%20Zahra%20%28Tchi%20drive2%29%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y. ’21/04/2020’.

[45]Mr Didi Faouzi, “Optimisation de la gestion du microclimatde la serre par l’introduction de l’intelligence artificielle”, Ph.D. dissertation, Dept. Physique., Abou-Bekr belkaid-Tlemcen Univ,2018.

[46]https://wikimemoires.net/2014/02/27/optimisation-multiobjectif-et-problemes-doptimisation-mono-objectifs/.’ 23/04/2020’.

[47]http://www.celtrio.com/support/documentation/coverazone/2.0.1/basics.architecture.html. ’25/04/2020’.

[48]https://www.commentcamarche.net/contents/1309-reseaux-sans-fil-wireless-networks. ’ 26/05/2020’.

[49]https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cpe.4240. ’27/05/2020’.

[50]Hugo Sampaio & Shusaburo Motoyama, ‘Implementation of a Greenhouse Monitoring System Using Hierarchical Wireless Sensor

Network’, 2017.