UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Déploiement des unités de bords de route dans un réseau véhiculaire à l'aide d'un algorithme génétique

NDAYIZEYE, Athanase

2023-11
UB, Faculté des Sciences de l'Ingénieur
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/923

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

République du Burundi

Ministère de l'Education Nationale

et de la Recherche Scientifique

Université du Burundi

Faculté des Sciences de l'Ingénieur



Master en Génie Informatique

Année Académique : 2021-2022

DEPLOIEMENT DES UNITES DE BORDS DE ROUTE DANS UN RESEAU VEHICULAIRE A L'AIDE D'UN ALGORITHME GENETIQUE.

MEMOIRE

Présenté Par

NDAYIZEYE Athanase

à la

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR (FSI)

En vue de l'obtention du grade de

MASTER

en

Génie Informatique

Soutenu le 02 / Novembre /2023, devant le jury composé de :

Dr.	**SAHINGUVU**	**William**	**: Président**
Dr.	**NDAYISABA**	**Longin**	**: Vice-président**
Prof.	**NDIKUMAGENEGE**	**Jéremie**	**: Sécretaire**
Dr.	**NIBITANGA**	**Romeo**	**: Directeur**
Dr.	**SINZOBAKWIRA**	**Issa**	**: Membre**

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

Dr. NIBITANGA Roméo : Directeur de Thèse

Dr. SAHINGUVU William : Président du jury

Dr. NDAYISABA Longin : Vice-Président du jury

Prof. NDIKUMAGENGE Jérémie : Secrétaire du jury

Dr. SINZOBAKWIRA Issa : Membre du jury

DEDICACES

A Dieu Tout Puissant,

A mes très chers parents,

A ma chère femme,

A ma chère famille,

A ma chère belle-famille,

A mes compagnons de classe,

A mes enfants,

A tous ceux qui me sont chers,

REMERCIEMENTS

Ma reconnaissance la plus profonde et ma gratitude la plus sincère à mon Dieu, Eternel Tout Puissant pour sa gloire.

Je reviens à présenter mes plus sincères remerciements à mon directeur de mémoire Dr Romeo NIBITANGA, tout enseignant à l'université du Burundi en particulier ceux du département des Tics de la Faculté des Sciences de l'Ingénieur pour m'avoir suivi tout au long de mon cursus académique et m'encadrer le long de la réalisation de ce mémoire.

Leurs directives, leurs recommandations, leurs conseils m'ont transformé en homme de science et de conscience. Mes remerciements les plus vifs s'adressent aussi à ceux qui m'ont fait l'honneur de faire partie du jury de mon mémoire. Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance pour avoir accepté d'examiner ce mémoire et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

J'adresse ma gratitude aux enseignants qui ont contribué à ma formation depuis la première année et à mes collaborateurs de Classe.

RESUME

Une classe unique de réseaux sans fil connue sous le nom de VANET possède des nœuds qui déplacent les automobiles sur la route. Les réseaux mobiles ad hoc de ce type sont une variante particulière de MANET avec des exigences supplémentaires. Ils encouragent le partage d'informations et la collaboration entre les conducteurs. La mise en place des unités routières (RSUs) aux carrefours est une bonne idée pour assurer une diffusion efficace de l'information dans ce type de réseaux. Pour ce faire, nous avons été créé une application qui permet d'utiliser l'algorithme génétique pour localiser et optimiser le nombre minimal de RSU à déployer ainsi que leurs emplacements idéaux dans la zone considérée. Notre projet se concentre sur l'application d'un algorithme génétique pour déployer des unités routières dans un réseau de véhicules. Nous choisissons la zone de la ville de BUJUMBURA, à savoir la zone KININDO, comme exemple de l'environnement. Dans un premier temps, nous avons mené une recherche et une revue de la littérature pour déterminer les différentes catégories et types de défis d'optimisation. Plusieurs méta-heuristiques ont été appliquées sur les approches telles que l'algorithme génétique, la recherche taboue et le recuit simulé et les algorithmes de fourmis. Parce que les méta-heuristiques fournissent des solutions approximatives mais sont moins gourmandes en temps dans leurs calculs et leur exécution. Enfin nous les avons comparées et nous avons découvert qu'elles sont les plus fréquemment utilisées pour résoudre les problèmes réels.

Mots clés : la recherche de tabou, le recuit simulé, les algorithmes de fourmis, les algorithmes génétiques, les VANET.

ABSTRACT

A unique class of wireless networks known as VANETs have nodes that move automobiles on the road. Mobile ad hoc networks of this type are a special variant of MANET with additional requirements. They encourage information sharing and collaboration between drivers. Setting up roadside units (RSUs) at crossroads is a good idea to ensure effective dissemination of information in this type of network. To do this, we have created an application that allows us to use the genetic algorithm to locate and optimize the minimum number of RSUs to deploy as well as their ideal locations in the area under consideration. Our project focuses on the application of a genetic algorithm to deploy road units in a network of vehicles. We choose the area of the city of BUJUMBURA, namely the KININDO area, as an example of the environment. First, we conducted research and a literature review to determine the different categories and types of optimization challenges. Several meta-heuristics have been applied on the approaches such as genetic algorithm, tabu search and simulated annealing and ant algorithms. Because meta-heuristics provide approximate solutions but are less time-consuming in their calculations and execution, we compared them and found that they are the most frequently used to solve real-world problems.

Keywords: taboo research, simulated annealing, ant algorithms, genetic algorithms, VANETs.

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY i
DEDICACES ii
REMERCIEMENTS iii
RESUME iv
ABSTRACT v
TABLE DES MATIERES vi
LISTE DES FIGURES ix
LISTE DES TABLEAUX xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS xii
AVANT PROPOS xiv
CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE 1
I.1. Justification du contexte 1
I.2. Organisation du mémoire 2
I.3. Objectif du projet 2
I.4. Problématique 3
I.5. Solutions proposées 3
I.6. Résultats attendues 3
I.7. Apports Scientifique et technologique 4
I.8. Domaine d'application 4
I.9. Méthodologie utilisée 4
I.10. Outils mathématique utilisé 5
I.11. Conclusion 5
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES RESEAUX VEHICULAIRES 6
II.1. Historique d'un réseau véhiculaire 6
II.2. Hiérarchie des réseaux sans fil 6
II.2.1. Réseau sans fil 6
II.2.2. Catégories des réseaux sans fil 6
II.3. Réseaux MANET 9
II.4. Réseaux VANET 9

II.5. Architecture des réseaux véhiculaires 11
II.6. Technologies d'accès sans fil dans les réseaux VANET 13
II.7. Modes de communication dans les réseaux VANET 13
II.8. Caractéristiques des réseaux VANET 14
II.9. Sécurité dans les réseaux VANET 15
II.10. Défis liés aux réseaux VANET 15
II.11. Standardisation et normalisation dans les réseaux VANET 16
II.12. Système de transport intelligents 17
II.13. Conclusion 17
CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES TECHNIQUES D'OPTIMISATION 18
III.1. Généralités sur les technique d'optimisation 18
III.2. Optimisation Combinatoire 18
III.2.1. Définition 18
III.2.2. Contexte de résolution d'un problème d'optimisation combinatoire 19
III.2.3. Approches de résolution d'un problème de combinaison combinatoire 19
III.3. Méta-heuristiques 21
III.4. Conclusion 24
CHAPITRE IV : LES PROBLEMES D'OPTIMISATION ET LES APPROCHES DE RESOLUTION 25
IV.1. Généralités 25
IV.2. Optimisation combinatoire 26
IV.2.1 Définition 26
IV.2.2 Classification des problèmes d'optimisation 26
IV.3. Optimisation multi-objectif 27
IV.4. Approches de résolution d'un problème d'optimisation multi-objectif 27
IV.4.1. Transformation d'un problème multi-objectif en un problème mono-objectif 29
IV.4.2. Problème d'optimisation Multi objectif 30
IV.5. Méthodes de résolution d'un problème d'optimisation multi-objectif 30
IV.5.1 Méthodes exactes 30
IV.5. 2. Méta-heuristiques 31
IV.6. Comparaison des algorithmes 37
IV.7. Conclusion 40

CHAPITRE V : MODELE MATHEMATIQUE UTILISE POUR LOCALISER LES POINTS DES INTERSECTIONS PORTES LES UNITES DE BORDS DE LA ROUTE AUX RESEAUX VEHICULAIRES 41

V.1. Historique du problème de localisation 42
V.2. Problèmes de p-médian 42
V.3. Modèle simple de localisation de dépôts 46
V.4. Problème de Crisp P-médian 47
V.5.Conclusion 48

CHAPITRE VI : IMPLEMENTATION DE L'APPLICATION 49

VI.1. Généralités 49
VI.2. Outils de développement 49
VI.3. Fonction fitness 51
VI.4. Evaluation de Couvertures 52
VI.4.1 Présentation des données à l'entrée 52
VI.4.2 Matrices calculées avant le début de l'Algorithme Génétique 52
VI.4.3 Evaluation des portions de Route Couvertes 53
VI.4.4 Types des Couverture des RSUs 54
VI.5. Evaluation et Simulation 55
VI.5. 1. Calcul du nombre de RSUs 55
VI.5.2. Comparaison des interfaces des résultats obtenus 60
VI.6. Conclusion 62

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMENDATIONS 63

Conclusion générale 63
Recommandations 63

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 65

Annexes de codes sources de notre projet 68

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Classification des réseaux sans fils 7
Figure 2:Réseaux en mode ad hoc 9
Figure 3:Eléments constituent le véhicule intelligent 10
Figure 4: Exemple de réseaux VANETs 10
Figure 5:Dispositif OBU (On Board Unit) 11
Figure 6:Dispositif RSU (Road Side Unit) 11
Figure 7:Architecture des réseaux véhiculaires 12
Figure 8 : Les modes de communication dans les VANET 13
Figure 9:Architecture de communication Hybride 14
Figure 10:Canaux alloués par DSRC 17
Figure 11:Résolution d'un problème d'optimisation combinatoire 19
Figure 12:Classification des méthodes d'optimisation combinatoire 20
Figure 13:Classification des méthodes d'optimisation multi-objectif 29
Figure 14:Architecture générale d'un algorithme génétique 34
Figure 15: Représentation Chromosomique 35
Figure 16:Représentant un opérateur de croisement à un point 36
Figure 17: Représentant un opérateur de croisement à deux points 36
Figure 18: Représentant un opérateur de mutation 37
Figure 19: Exemple de la topologie routière de la zone de KININDO en ville de Bujumbura sous le simulateur Netedit –sumo 50
Figure 20: Exemple de la topologie routière de la zone de KININDO en ville de Bujumbura avec le logiciel JSOM 51
Figure 21: Couverture par les RSUs 51
Figure 22:. Représentation les coordonnées de la route 52
Figure 23:Identifiants de des nœuds aux extrémités du segment 52
Figure 24: Calcul d'une matrice adjacente 53
Figure 25: Calcul d'une Matrice distance 53
Figure 26:Représentation des points des intersections et les routes 55
Figure 27: Interface d'une méthode des algorithmes génétiques 56
Figure 28:Calcul des unités de bords de la route 56

Figure 29:Affichage des unités de bords de la route trouvées..... 57
Figure 30:Affichages des points des intersections portées le RSU 58
Figure 31: Présentation des RSU implantées dans la topologie routière..... 59
Figure 32: Résultat de simulation après l'exécution 59
Figure 33 : Comparaison des interfaces de l'algorithme génétique selon les paramètre 60
Figure 34: Résultat d'un Maps après l'exécution..... 60
Figure 35: Présentation de variation de la portée d'une unité de bords de la route..... 61
Figure 36: Présentation d'un Map de la variation de la portée d'une unité de bords de la route..... 62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Comparaison des caractéristiques des réseaux VANET..... 14
Tableau 2:Comparaison des méta-heuristiques présentées en fonction de ces critères..... 38
Tableau 3:Etude comparatives des modèles mathématiques..... 41

LISTE DES ABRÉVIATIONS

C2C-CC : Car-to-Car Communication Consortium
CA : Central Authority
CCH : Control Chanel
CCK : Complementary Code Keying
ETSI : European Télécommunications Standards Institut
FCC : Commission Fédérale des Communications
GPRS : General Packet Radio Service
GPS : Global Positioning System
GRASP : Greedy Randomized Adaptive Search procedures
GSM : Global System for Mobile Communication
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITS : Intelligent Transport Systems
JOSM : Java OpenStreetMap Editor
Lora : long range communication
LTE : Long Term Evolution
MANET : Mobile Ad hoc NETwork
FSI : Faculties of Engineering Science
MQTT : Message Queuing Telemetry Transport.
GSM : Global System for Mobile Communication
UMTS : Universal Mobile Telecommunications System
NP : No linear programming
NB-IoT : Narrowband Internet of things
OBU : On Board Unit
RCL : Restrictive Candidate List
SCH : Synchronization Chanel
RSU : Road Side Unit
SUMO : Simulation of urban Mobility
V2I : Vehicle to Infrastructure
V2V : Vehicle to Vehicle
VANET : Vehicular Ad hoc NETwork

WAVE : Wireless Access in Vehicular Environments

WIFI : Wireless Fidelity

WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access

WMAN : Wireless Metropolitan Area Network

WPAN : Wireless Personal Area Network

BLR : Boucle Locale Radio

DSRC : Dedicated Short-Range Communication

GW : Gateway

HS : Hot Spot

CCH : Control Chanel

OMNeT++ : Objective Modular Network Testbed in C++

AU : Application Unit

WLAN : Wireless Local Area Network

AVANT PROPOS

De nos jours, l'informatique est en pleine évolution grâce notamment à l'importance et à la place qu'elle crée dans la vie quotidienne. Ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'études du deuxième cycle universitaire afin d'obtenir un diplôme de Master en Génie Informatique. Il se focalise sur la promotion sur le système de transport intelligent par « déploiements des unités de bords de la route dans un réseau véhiculaire à l'aide d'un algorithme génétique. »

L'objectif global du projet est de trouver un nombre minimal des RSU à déployer dans la zone donnée. Ce travail est une amélioration du projet du fin d'études présenté dans lequel les auteurs ont supposé qu'au niveau de chaque intersection une unité de bord de la route est placée. C'est vrai les résultats obtenus par cette configuration sont bons mais le coût de la mise en place de ces unités de bords de la route rend cette configuration non rentable. Dans cette optique, nous avons visé à trouver le nombre minimal des unités de bords de la route placées dans un environnement urbain et nous avons pris comme exemple d'environnement la localité de la ville de BUJUMBURA plus précisément la zone KININDO. La résolution de ce problème est réalisée en langage python pour trouver le nombre des unités de bords de la route.

De plus, afin de résoudre le problème susmentionné, nous avons développé une application qui permet d'utiliser un algorithme génétique pour identifier et optimiser le plus petit nombre des unités de bords de la route à déployer dans la zone en question ainsi que leurs emplacements idéaux.

Enfin, nous avons étudié les affectations leurs emplacements idéaux et nous avons utilisé le modèle mathématique comme le problème de la localisation p-médian.

Pour garantir une dissémination efficace des informations dans les réseaux véhiculaires en particulier dans un environnement urbain, il est recommandé de placer un nombre suffisant des unités de bords de la route au niveau des intersections.

De ce fait, nous avons proposé dans le cadre de ce projet de fin d'études afin de trouver et un nombre minimal des unités de bords de la route à déployer dans une zone donnée. Et vu que le nombre de combinaisons est très grand alors que les méthodes exactes ne peuvent pas résoudre ce problème considéré comme un problème d'optimisation combinatoire d'une manière efficace. D'où nous avons fait recours à des méta-heuristiques qui ont prouvé leur efficacité pour traiter ce type de problèmes. Une des méta-heuristiques fait partie des méthodes à population de solutions (les algorithmes génétiques).

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

I.1. Justification du contexte

Aujourd'hui et compte tenu de l'augmentation et du développement du trafic routier, la création d'un système de transport intelligent devient une nécessité primordiale afin d'assurer une circulation en toute sécurité. L'application des résultats de recherche du domaine de réseau véhiculaire dans le système de transport intelligent permet de minimiser les accidents, de contrôler le trafic routier et d'améliorer les conditions de conduite.

Les réseaux VANETs (Vehicular Ad-hoc Networks) sont un type particulier de réseaux sans fil dans lequel les nœuds sont des véhicules en mouvement sur les routes. Ce type de réseaux est une version spéciale des réseaux mobiles ad-hoc (MANETs : Mobile ad hoc networks) avec des spécificités supplémentaires. Ils permettent la communication et l'échange d'informations entre les usagers de la route. Les réseaux VANETs sont caractérisés par leur grande mobilité grâce à la mobilité des nœuds à des grandes vitesses. Ils sont déployés dans des routes ainsi que dans les autoroutes. Il existe trois types de communication dans les VANETs à savoir V2I (Vehicle-to-Infrastructure), où les véhicules dotés d'OBU (On Board Unit : Unité embarquée) communiquent directement avec les unités de bords de route (RSUs : Road side unit), V2V (Vehicle-to-Vehicle), où les véhicules communiquent entre eux sans passer par les RSUs et V2X qui combinent les deux types de communications.

Les RSUs sont généralement placées dans les intersections surtout dans les environnements urbains et jouent un grand rôle dans la dissémination des informations routières.

Ce travail est une amélioration du projet du fin d'études présenté en [1] dans lequel les auteurs ont supposé qu'au niveau de chaque intersection une RSU est placée. C'est vrai les résultats obtenus par cette configuration sont bons mais le coût de la mise en place de ces RSUs rend cette configuration non rentable. Dans cette optique, nous avons visé à trouver le nombre minimal de RSUs placées dans un environnement urbain et nous avons pris comme exemple d'environnement la localité de la ville de BUJUMBURA plus précisément la zone KININDO.

De plus, afin de résoudre le problème susmentionné, nous avons développé une application qui permet d'utiliser un algorithme génétique pour identifier et optimiser le plus petit nombre de RSU à déployer dans la zone en question ainsi que leurs emplacements idéaux.

I.2. Organisation du mémoire

Le mémoire est organisé en sept chapitres :

Le premier chapitre présente en détails les différentes solutions proposées pour traiter la problématique abordée dans le cadre de notre projet de fin d'études.

Le deuxième chapitre est un survol sur les réseaux véhiculaires avec définitions, description des entités et présentation de leurs caractéristiques.

Le troisième est consacré à la présentation d'une méta heuristique a été utilisée pour traiter notre problématique à savoir une algorithme génétique.

Le quatrième chapitre est consacré sur une revue de la littérature, une comparaison sur les problèmes d'optimisation et leurs approches de résolution.

Le cinquième est consacré sur un modèle mathématique a été utilisé pour traiter notre problématique à savoir le problème de localisation p-médian.

Le sixième chapitre est consacré sur la présentation des résultats obtenus et les outils utilisés dans l'implémentation d'une application et enfin nous avons passé à la présentation de quelques interfaces de fonctionnalités réalisées dans notre système.

Le septième chapitre est consacré sur une conclusion générale et des perspectives clôturent notre mémoire.

En fin nous avons mis les références et l'annexe du code source qui est ouverte dans le compte de GitHub.

I.3. Objectif du projet

Objectif global

L'objectif global du projet est de trouver un nombre minimal des RSU à déployer dans la zone prise en considération et leurs positions optimales.

Objectifs spécifiques

Les principaux objectifs spécifiques de ce projet sont :

1. Décrire le fonctionnement des réseaux véhiculaires Ad hoc ;
2. Décrire le fonctionnement des algorithmes génétiques ;
3. Faire une revue de la littérature des méthodes utilisées dans le déploiement des unités de bord de la route ;

4. Faire une comparaison entre la méthode de déploiement proposée et les autres méthodes existantes ;
5. Optimiser le nombre des RSU à déployer dans une zone urbaine donnée à l'aide de l'algorithme génétique.
6. Appliquer le problème de localisation p-médian afin d'identifier les installations de localisation idéales et attribuer des unités de bords de la route à ces installations.

I.4. Problématique

Dans le cadre de notre projet qui est une amélioration du mémoire présente [1], nous avons visé à trouver et optimiser un nombre minimal des unités de bords de route à déployer dans zone prise en considération et leurs positions. Ces unités de bords de la route sont placées au milieu des intersections.

Ce travail est une amélioration du projet du fin d'études [1] dans lequel les auteurs ont supposé qu'au niveau de chaque intersection une RSU est placée. C'est vrai les résultats obtenus par cette configuration sont bons mais le coût de la mise en place de ces unités de bords de route rend cette configuration non rentable. Dans cette optique, nous avons visé à trouver et optimiser le nombre minimal des unités de bords de la route à déployer dans un environnement urbain et nous avons pris comme exemple d'environnement la localité de la ville de BUJUMBURA plus précisément la zone KININDO.

I.5. Solutions proposées

Pour résoudre ce problématique, notre projet propose comme la solution de concevoir une application afin de trouver et optimiser le nombre minimal des unités de bords de la route à déployer dans la zone donnée en utilisant l'algorithme génétique.

I.6. Résultats attendues

Après la mise en place de la solution proposée, le résultat attendu est la diminution du nombre des unités de bords de la route à déployer dans une zone donnée.

I.7. Apports Scientifique et technologique

1. Le problème de la localisation p-médian a été utilisé pour mieux placer ou visser les unités de bords de la route. Les unités de bords de la route correspondent aux points d intersections au niveau de la zone urbaine prise en considération.

2. La conception et l'optimisation d'une application qui nous permet de trouver le nombre minimal des unités de bords de la route à déployer dans la zone donnée en utilisant l'algorithme génétique.

I.8. Domaine d'application

Cette solution peut être appliquée dans le système de transport intelligent des réseaux véhiculaires pour l'optimisation de la recherche d'un nombre minimum des unités de bords de la route à placer dans une zone donnée.

I.9. Méthodologie utilisée

Comme méthodologie de recherche nous allons utiliser les approches suivantes :

1. Le recours aux algorithmes proposés par des chercheurs pour assurer le choix des méthodes NP-complet (Le classement NP-complet contient les problèmes les plus difficiles de NP) utilisées pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire,
2. La documentation : j'ai fait recours à la documentation en consultant différents livres, des tutoriels, des mémoires déjà réalisés ainsi que des sites web reflétant la conception des logiciels de gestion de différentes structures,
3. La définition de la problématique de notre projet,
4. Une revue de la littérature sur le réseau véhiculaire,
5. Une comparaison des méta-heuristiques afin de trouver l'algorithme qui est plus efficace dans la résolution des problèmes réels,
6. Afin de réduire la dépense globale de transport nécessaire pour satisfaire les utilisateurs, le problème de localisation p-médian est utilisée pour trouver simultanément les p installations (les RSU à déployer dans une zone donnée) dans L (ensembles de points d'intersection dans une zone donnée).

7. Rédaction du rapport,

I.10. Outils mathématique utilisé

Les outils mathématiques à utiliser seront : La langage Python, OpenStreetMap, Netedit-SUMO, JOSM (Java OpenStreetMap Editor), Le problème de localisation p-médian.

I.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé le problématique de ce projet, et enfin on a fait une approche de solution qui consiste à concevoir et à développer une application qui facilitera de trouver et perfectionner un nombre minimal des unités de bords de la route à déployer dans une zone prise en considération.

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES RESEAUX VEHICULAIRES

À l'aide de définition, de descriptions d'entités, d'une présentation de leurs caractéristiques et d'une description des réseaux sans fil, ce chapitre nous permettra de créer une vue d'ensemble des réseaux véhiculaires.

II.1. Historique d'un réseau véhiculaire

L'évolution récente de la technologie dans le domaine de la communication sans fil permet d'étendre la notion de mobilité pour permettre l'accès à l'information et à la communication, n'importe où et n'importe quand. Avec l'émergence des réseaux VANETs ayant comme objectif principal l'amélioration de la sécurité routière, et grâce à des capteurs installés au sein de véhicules, ou bien situés au bord des routes et des centres de contrôle, les communications véhiculaires permettront aux conducteurs d'être avertis suffisamment tôt de dangers éventuels. Dans cette section, on présente d'abord les réseaux ad hoc de manière générale, puis, on parle sur les réseaux VANETs, leurs définitions, leurs architectures de communication, leurs caractéristiques, leurs sécurités, défis aux réseaux véhiculaires.

II.2. Hiérarchie des réseaux sans fil

II.2.1. Réseau sans fil

Un réseau sans fil est un réseau informatique ou numérisé qui connecte différents postes ou systèmes entre eux par ondes radios. La norme la plus utilisée actuellement pour les réseaux sans fil est la norme IEEE802.11.

II.2.2. Catégories des réseaux sans fil

Un réseau sans fil est un réseau où au moins deux nœuds peuvent avoir une communication sans liaison filaire. Ces réseaux de communications permettent aux utilisateurs de profiter de tous les services traditionnels des réseaux indépendamment de leurs positions géographiques. Les réseaux sans fil peuvent avoir une classification selon deux critères. Le premier est **la zone de couverture du réseau**. Au vu de ce critère il existe quatre catégories : **les réseaux personnels**, **les réseaux locaux**,

le réseau métropolitain et les réseaux étendus. **Le second critère est l'infrastructure** ainsi que le modèle adopté. Par rapport à ce critère on peut diviser les réseaux sans fils en : réseaux avec infrastructures et réseaux sans infrastructure, comme on le voit dans l'illustration de la figure suivante [2] :

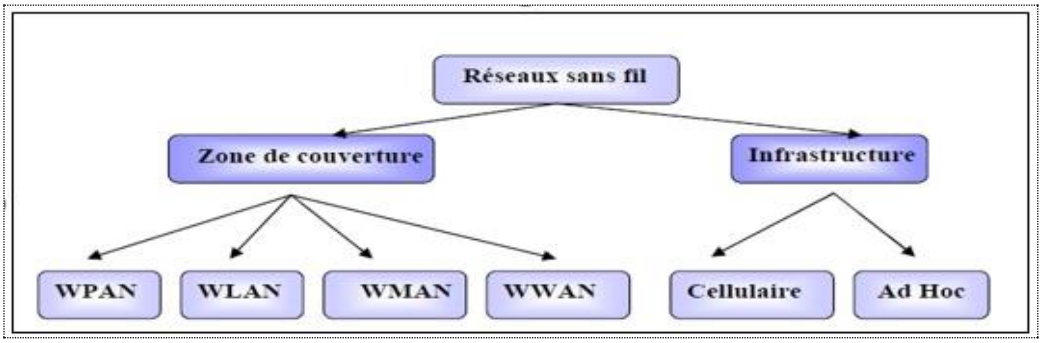


Figure 1:Classification des réseaux sans fils

Selon la zone de couverture : ils existent des réseaux personnels sans fil ou Wireless Personal Area Network (WPAN), Le Wireless Local Area Network (WLAN), les réseaux métropolitains sans fil, les réseaux sans fil étendus.

Réseaux personnels sans fil sont des réseaux sans fil à très faible portée, de l'ordre d'une dizaine de mètres. Ils sont le plus souvent utilisés à faire communiquer entre eux des matériels présents sur une personne (par exemple une oreillette et un téléphone portable). Ils sont également utilisés pour relier des équipements informatiques entre eux sans liaison filaire : Il existe plusieurs technologies permettant la mise en œuvre de tels réseaux qui sont : Bluetooth [2], HomeRF [3], zigBee [2], [3] et la Liaisons infrarouges [2].

Le Wireless Local Area Network (WLAN) est une technologie permettant la connexion sans fil d'appareils à un réseau local. Contrairement aux connexions filaires, elle utilise les ondes radio pour transmettre les données entre les appareils et le réseau. Depuis le développement des normes qui offrent un haut débit, les réseaux locaux sans fil ou Wireless Local Area Network (WLAN) sont généralement utilisés à l'intérieur d'une entreprise, d'une université, mais également chez les particuliers. Ces réseaux sont principalement basés sur les technologies suivantes : IEEE 802.11 [4], et Hiperlan 1 & 2 [2].

Les réseaux métropolitains sans fil ou Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) sont aussi connus sous l'appellation de boucle locale radio (BLR). Les réseaux basés sur la technologie IEEE 802.16 ont une portée de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres (50km de portée théorique annoncée) et un taux de transmission radio théorique pouvant atteindre 74 Mbit/s pour IEEE 802.16, plus connu sous le nom commercial de WiMAX [2].

Les réseaux sans fil étendus (WWAN pour Wireless Wide Area Network) Cette catégorie possède assez peu de technologies à l'heure actuelle. Les seules technologies de WWAN disponibles sont des technologies utilisant les satellites géostationnaires ou en orbite basse pour relayer l'information entre plusieurs points du globe [3]. Les principales technologies sont les suivantes :

a) GSM est l'abréviation de (Global System for Mobile Communication) [2], [4].
b) Le GPRS (General Packet Radio Services) [2] ;
c) UMTS [2] L'abréviation de « Universal Mobile Télécommunications System »

Selon l'infrastructure

Les environnements mobiles sont des systèmes composés de sites mobiles et qui permettent à leurs utilisateurs d'accéder à l'information indépendamment de leurs positions géographiques. Les réseaux mobiles ou sans fil, peuvent être classés en deux classes : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure. : Ils existent les réseaux cellulaires, les réseaux ad hoc.

Réseaux cellulaires : Ce type de réseaux se compose des éléments [5] comme les "sites fixes" du réseau filaire et les "sites mobiles", réseaux sans fils.

Réseaux ad hoc : L'évolution récente de la technologie dans le domaine de la communication sans fil et l'apparition des unités de calculs portables (les laptops par exemple), poussent aujourd'hui les chercheurs à faire des efforts afin de réaliser le but des réseaux : "L'accès à l'information n'importe où et n'importe quand".

II.3. Réseaux MANET

Définition

Un réseau ad hoc, connu aussi sous le nom de MANET (Mobile Ad hoc Network), est un réseau dont la topologie ne bénéficie d'aucune infrastructure fixe préexistante ou administration topologie ne bénéficie d'aucune infrastructure fixe préexistante ou administration centralisée [4].

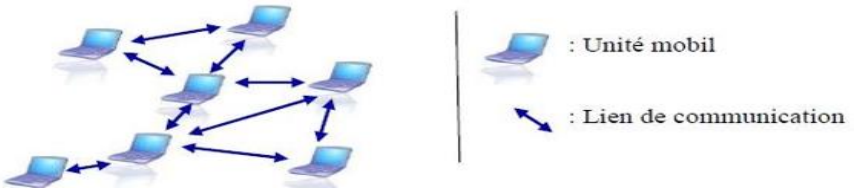


Figure 2:Réseaux en mode ad hoc

II.4. Réseaux VANET

Les réseaux VANET constituent une nouvelle forme de réseaux ad hoc mobiles. Ils permettent d'établir des communications entre véhicules ou bien avec une infrastructure située aux bords de routes (RSU : Road Side Units). Comparativement à un réseau ad hoc classique, les réseaux VANET sont caractérisés par une forte mobilité des nœuds rendant la topologie du réseau fortement dynamique.

Le réseau ad-hoc véhiculaire est une application prometteuse du réseau ad hoc sans fil. Pour sa mise en place, certains équipements électroniques doivent être installés au sein de véhicules

(fig 3), tels que : les dispositifs de perception de l'environnement (radars, caméras), un système de localisation GPS, et bien sûr une plateforme de traitement [6].

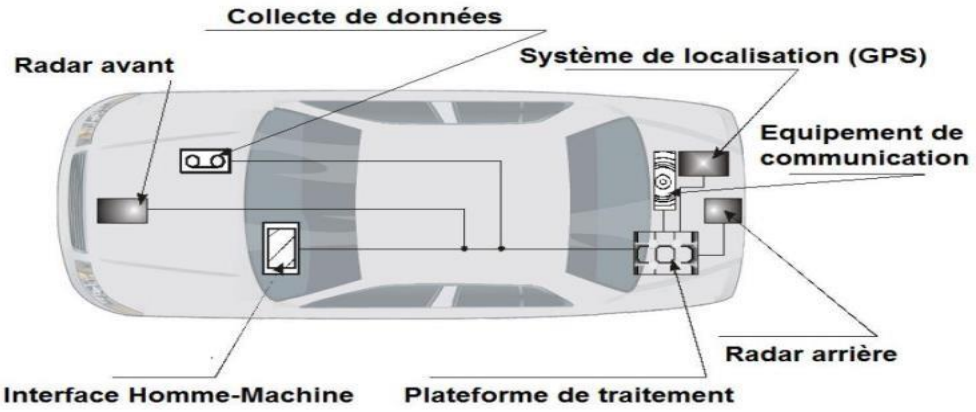


Figure 3:Eléments constituent le véhicule intelligent

Un exemple de réseaux VANETs est illustré dans la **Figure .4**

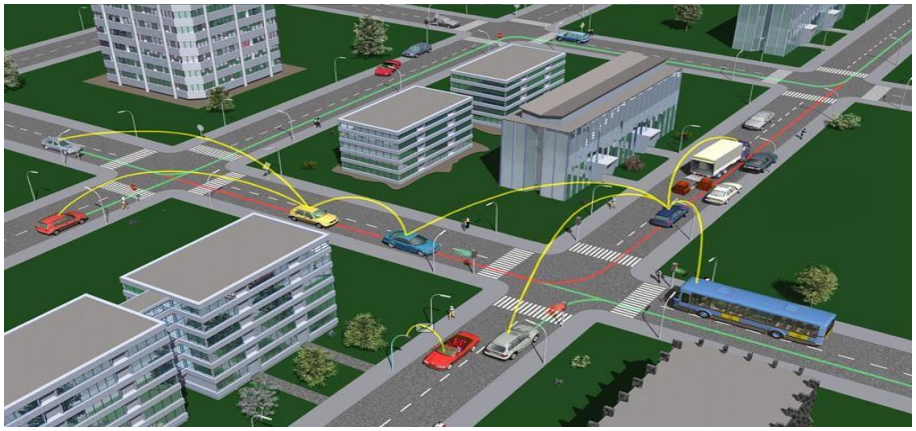


Figure 4: Exemple de réseaux VANETs

Les principaux composants nécessaires pour établir des communications dans un réseau véhiculaire VANET sont entre autre : Nœud, Application unit, On Board Unit, Road Side Unit, Central Authority.

1. **Nœud** : Les nœuds sont les entités principales de ce type de réseau. Ce sont des véhicules intelligents avec des technologies très avancées telles que le GPS, les caméras et autres équipements.
2. **Application unit** (AU : l'unité d'application) : l'unité d'application est un dispositif électronique installé dans les véhicules pour assurer les communications avec l'autorité de confiance (CA : central authority), connecté à l'OBU (Unité embarquée) afin d'exécuter des applications.

3. **On Board Unit (OBU : Unité embarquée)** : L'OBU (fig. 5**)** est un dispositif électronique installé au sein des véhicules intelligents, contient un ensemble de composants logiciels pour calculer et afficher toutes les informations nécessaires.



Figure 5:Dispositif OBU (On Board Unit)

4. **Road Side Unit (RSU)** : Une RSU (Road Side Unit) (fig.6) est un dispositif installé au bord de la route joue le rôle d'un point d'accès afin d'assurer les communications V2I.



Figure 6:Dispositif RSU (Road Side Unit)

5. **Central Authority (CA) :** CA (L'autorité de confiance) l'autorité dans le réseau véhiculaire VANET joue le rôle d'un serveur qui assure la sécurité des différents services tels que la délivrance des certificats, des clés de communication et le stockage de certaines données.

II.5. Architecture des réseaux véhiculaires

Court instant. Les liens sont établis et rompus très rapidement, entraînant des changements rapides sur la topologie du réseau. Ces réseaux attirent une attention considérable de la part de la communauté des chercheurs ainsi que l'industrie automobile, car ils peuvent améliorer la sécurité routière, l'efficacité du trafic, ainsi que d'introduire de nouvelles applications de divertissement pour les conducteurs et les passagers. Beaucoup de travaux et de recherches à travers le monde ont été menés pour définir des architectures et normes technologiques.

Grâce au sans fil hétérogène réseaux, différentes technologies peuvent être déployées par les opérateurs de réseau et de service fournisseurs ou par l'intégration entre les opérateurs, les

fournisseurs et un gouvernement autorité. Les véhicules peuvent être privés, appartenir à des particuliers ou à des entreprises privées. Entreprises ou moyens de transport public (par exemple, bus et véhicules de service public tels que comme voitures de police). Les équipements fixes peuvent appartenir au réseau public ou privé opérateurs ou prestataires de services.

La figure **7** illustre l'architecture des réseaux véhiculaires proposée par la Car-to-Car Communication Consortium (C2C-CC) qui est la principale référence pour de nombreux projets de recherche, ainsi qu'aux travaux présentés dans cette mémoire. Cette l'architecture comprend trois domaines différents :

1. Le domaine embarqué fait référence au réseau interne du véhicule : Chaque véhicule- clé est équipé d'un On-Board Unit, un appareil avec V2V et V2I capacités de communication.
2. L'OBU implémente le protocole de communication empiler et doit être équipé d'au moins un périphérique réseau à courte portée communications sans fil basées sur IEEE 802.11p.
3. Application unit (AU) sont responsables de l'exécution des applications et de l'accès aux OBU capacités de communication via une interface de connexion (connexion filaire, Bluetooth, etc.). Cette distinction entre AU et OBU n'est que logique.
4.

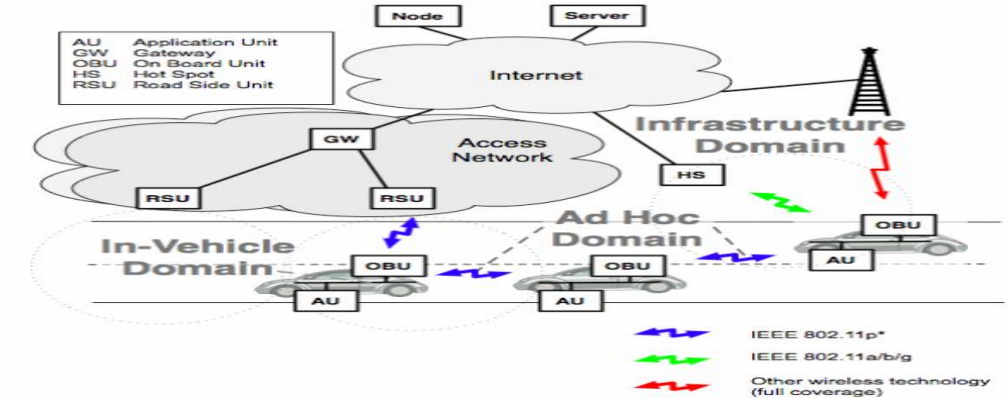


Figure 7:Architecture des réseaux véhiculaires

II.6. Technologies d'accès sans fil dans les réseaux VANET

Le domaine du réseau véhiculaire VANET est un réseau hybride qui utilise de nombreuses technologies d'accès sans fil. Ces diverses technologies ont pour but d'assurer la liaison entre les différentes entités de l'infrastructure. Ci- dessous, nous citons quelques technologies d'accès sans fil comme : Wi-Fi, Système cellulaire ; WiMax ; DSRC/WAVE ; technologies d'accès sans fil combinées ; communication par satellite ; communications longues distances et courte distance sans fil [7] ; SigFox ; Lora ; MQTT et NB IoT.

II.7. Modes de communication dans les réseaux VANET

L'architecture VANET peut être divisée en trois modes de communication, véhicule à véhicule (V2V), véhicule à infrastructure (V2I) et Hybride. Dans cette section, nous présentons le principe de chaque mode.

Communication de véhicule à véhicule

Ce mode de communication **(**V2V**)** est basé sur une communication inter-véhicules sans utiliser une infrastructure.

Communication de véhicule avec utilisation d'infrastructures

Ce mode de communication (V2I) utilise des infrastructures (Road Side Units) déployées aux bords des routes pour fournir des services comme l'accès à Internet, les communications de voiture-à-garage de réparation pour le diagnostic distant, et autres [8].

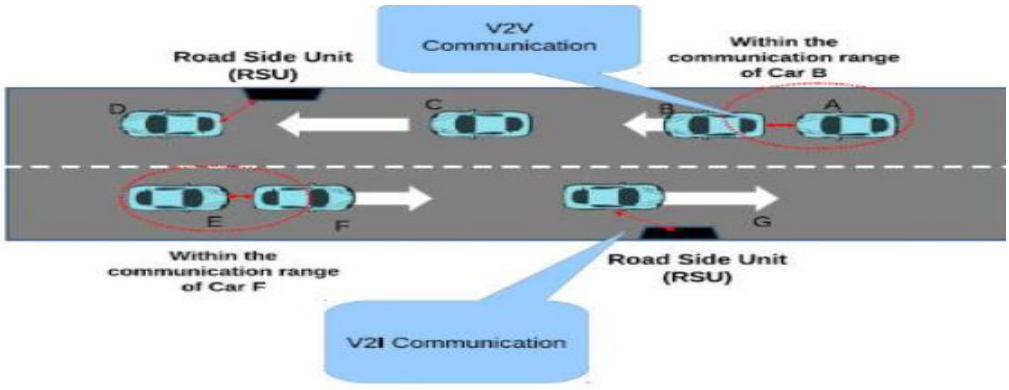


Figure 8 : Les modes de communication dans les VANET

Communication hybride

Ce mode de communication combine entre (V2V) et (V2I) pour rendre plus vaste la zone de communication et dans un but économique pour minimiser le budget concernant l'installation des infrastructures.

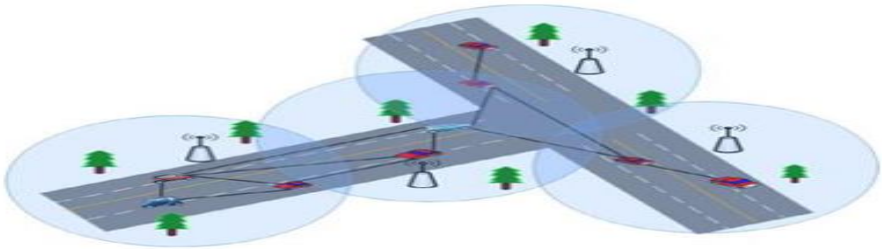


Figure 9:Architecture de communication Hybride

II.8. Caractéristiques des réseaux VANET

Les réseaux VANET ont des caractéristiques spécifiques qui les distinguent de réseaux ad hoc mobiles. Ces caractéristiques doivent être prises en compte lors de conception des protocoles pour les VANET. Dans ce que suit, nous présentons quelques propriétés et contraintes sous-jacentes à ce type de réseaux [8] :

Tableau 1:Comparaison des caractéristiques des réseaux VANET

Nom du caractéristique	Description du caractéristique
a. Environnement de déploiement	Avant le dépoilement du réseau VANET, il convient de décrire les deux environnements de communication qui sont urbain et Autoroute.
b. Les systèmes d'accès	Les deux systèmes d'accès aux technologies des réseaux VANET sont des système extravéhiculaires et système intra-véhiculaire.
c. Le modèle de mobilité	Le modèle de mobilité est généralement différent dans les réseaux VANET par rapport aux autres réseaux sans fil ad hoc, car plusieurs facteurs peuvent affecter la mobilité comme le type des routes (autoroutes, villes, intersections, panneaux de signalisation).
d. La capacité d'énergie	Les éléments des réseaux VANET disposent suffisamment

et stockage	d'énergie pour alimenter les différents équipements électroniques, ce n'est pas le cas pour les réseaux MANET ou les réseaux de capteurs. Donc, les nœuds sont censés avoir une grande capacité de traitement et de stockage de données.
e. Topologie dynamique	Le changement permanent des modes de communication (Ad-hoc, infrastructure) dans le réseau VANET, fait que ce système soit caractérisé par un très grand dynamisme.
f. Contraintes de délai	L'aspect de sécurité (tels que les accidents, les événements de freinage,) des applications VANET garantit l'envoi des messages (alertes) aux véhicules concernés.
g. Interaction avec les capteurs embarqués	Ces capteurs aident à fournir l'emplacement des véhicules et leur nature de mouvement (tel que GPS).
n. Géolocalisation	Le réseau VANET utilise un système de positionnement par satellites pour la localisation des nœuds et des différentes stations de services sur les routes (Exemple : GPS (Global Positioning System)).

II.9. Sécurité dans les réseaux VANET

Des attaques et des activités malveillantes sur le réseau véhiculaire peuvent falsifier les données échangées entre les véhicules eux-mêmes ou avec l'infrastructure. Compte tenu de l'importance de ces informations, des mesures de sécurité doivent être mises en œuvre afin d'assurer une meilleure protection des informations et du trafic routier.

II.10. Défis liés aux réseaux VANET

La demande de QoS dépend des applications prises en charge. Principale la restriction des applications de sécurité est la latence. La validité des informations étant limitée dans le temps, les messages doivent parvenir à destination dans des délais courts afin d'être pertinent. Afin de bien évaluer les travaux de recherche étudiés, nous avons établi certains critères de QoS, compte tenu des

besoins et contraintes liés aux VANET. De ce fait, nous nous intéresserons, au coût en termes de fiabilité, la bande passante, le délai de transmission, la gigue et la congestion.

II.11. Standardisation et normalisation dans les réseaux VANET

Il existe plusieurs normes qui se rapportent à l'accès sans fil dans les environnements véhiculaires.

IEEE 802.11p – WAVE

IEEE 802.11p [8] est une modification approuvée de la norme IEEE 802.11 pour ajouter le WAVE (Wireless Access for Vehicular Environments). Pour prendre en charge les applications de systèmes de transport intelligents (ITS), elle impose des améliorations à la norme IEEE 802.11.

Selon la définition de l'IEEE, l'accès sans fil dans les environnements véhiculaires (WAVE) IEEE 1609.x [9] est un mode de fonctionnement utilisé par IEEE Std802.11 TM devices dans des environnements où les propriétés de la couche physique changent rapidement et où des échanges de communications de très courte durée sont nécessaires.

Les couches de la pile protocolaire de WAVE se situant entre la couche liaison de données et la couche application représentent l'architecture de WAVE que le groupe IEEE1609 a standardisée sous quatre catégories comme suit :

1. IEEE 1609.1 – WAVE Resource Manager : pour la gestion des ressources.
2. IEEE 1609.2 – WAVE Security Services for Applications and Management Messages : pour la sécurisation des messages.
3. IEEE 1609.3 – WAVE Networking Services : pour les services de niveau réseau et transport incluant l'adressage, le routage.
4. IEEE 1609.4 - WAVE Multi-Channel Opération : pour la coordination et la gestion des sept canaux DSRC.

Dedicated Short-Range Communication

La création de la première génération de systèmes de transport intelligents (ITS), dont l'objectif principal est d'améliorer la sécurité routière. Ce projet a eu un succès limité et a été utilisé principalement pour des services commerciaux tels que le péage. Après 8 ans, ils ont pu allouer une bande passante de75 MHz dans la bande 5.9 GHz pour la deuxième génération de DSRC [10].

DSRC [11] est active dans une bande de fréquence des 5.9GHz (Europe et Etats-Unis) ou 5.8GHz (Japon) et sur une largeur de bande de 75 MHz. Elle est segmentée en 7canaux de 10 MHz chacun avec les premiers 5Mhz utilisée comme intervalle de garde. L'ensemble des canaux se répartissent en un canal de contrôle (CCH) et 6 canaux de service (SCH) [9].
Le spectre DSRC 5.9 GHz est composé de six canaux de service (SCH) et d'un canal de commande (CCH) comme montre la figure 10.

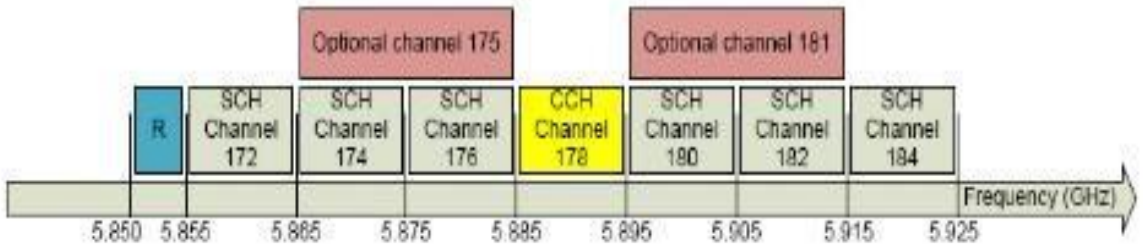


Figure 10:Canaux alloués par DSRC

II.12. Système de transport intelligents

Les avancées technologiques offrent aux autorités routières à travers le monde l'opportunité de transformer leur façon de gérer et d'exploiter leurs réseaux de routes et autoroutes.
Les systèmes de transport intelligents (STI) représentent une combinaison d'information et de technologies de communication de pointe. Ils sont utilisés dans les systèmes de gestion du transport et de la circulation routière pour rehausser la sécurité, l'efficacité et la durabilité des réseaux de transport routier, pour réduire les engorgements et pour améliorer l'expérience de conduite.

II.13. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux VANETs qui ne sont qu'un sous-groupe des réseaux MANET. Ainsi, nous avons décrit les composants des réseaux VANET, leurs technologies de communications, Hiérarchie des réseaux sans fil, Standardisation et normalisation dans les réseaux VANET, les principales caractéristiques, leurs sécurités et leurs domaines d'applications.

CHAPITRE III : GENERALITES SUR LES TECHNIQUES D'OPTIMISATION

La description d'une méta-heuristique basée sur un algorithme génétique qui a été appliquée pour résoudre notre défi est l'objet de ce chapitre.

III.1. Généralités sur les technique d'optimisation

La pratique consistant à réduire généralement le temps d'exécution d'une fonction, la quantité d'espace occupée par les données et le programme ou la quantité d'énergie utilisée est connue sous le nom d'optimisation en programmation informatique.
Il existe de nombreux problèmes intrigants avec les applications du monde réel, mais l'utilisation d'une approche déterministe pour les résoudre prendrait beaucoup de temps, surtout lorsque l'univers des solutions viables est très vaste.

III.2. Optimisation Combinatoire

L'Optimisation Combinatoire consiste à trouver la meilleure solution parmi un nombre fini (mais souvent très grand) de choix. C'est une branche de la programmation Mathématique qui recouvre les méthodes qui servent à déterminer l'optimum d'une fonction sous les contraintes données.
Les problèmes qui font recours à une optimisation combinatoire consistent d'être modélisés puis résolus en utilisant une méthode approchée.

III.2.1. Définition

Un problème d'optimisation noté (X, f) tel que X : l'ensemble des solutions réalisable ou admissible non-vide, f : la fonction Objectif qui associe un scalaire dans R à chaque élément x de X. $P\ (X, f)$ revient à trouver parmi les solutions réalisables une qui minimise ou maximise f.

$x^* \in X/ \quad \forall x \in A \quad et\ A \subset X \qquad f(x) \geq f(x^*)\ (Minimisation)$ (3 .1)

$x^* \in X/ \quad \forall x \in A \quad et\ A \subset X \qquad f(x) \leq f(x^*)\ (Maximisation)$ (3.2)

Où A représenté l'ensemble des solutions explorés.
Pour résoudre un problème d'optimisation combinatoire en vue de trouver une meilleure solution, il faut procéder comme suit :

1. Modélisation du problème : Dans cette étape, on modélise le problème en le représentant, dans un contexte analytique ou de simulation et on définit l'espace des solutions.
2. Formulation Mathématique : Formaliser le problème et fixer une fonction Objectif.
3. Résolution du modèle : en appliquant une méthode d'optimisation.
4. Evaluation de la solution trouvée et si c'est nécessaire retourner la 1^{ière} étape.

Le schéma représenté par la figure.11 récapitule cette démarche.

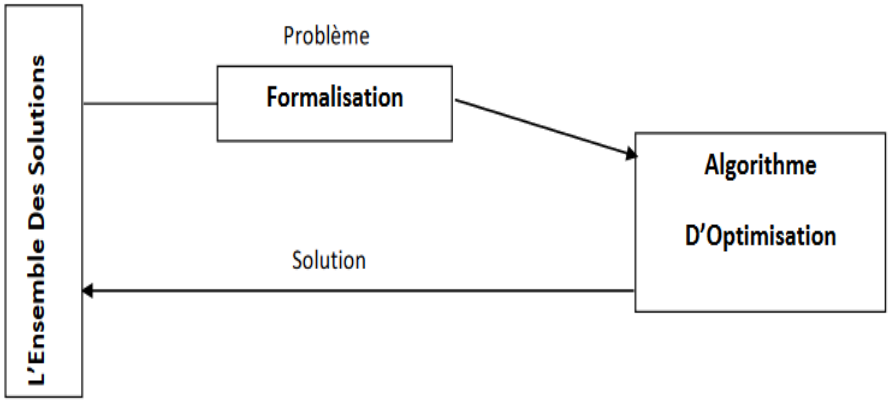


Figure 11:Résolution d'un problème d'optimisation combinatoire

III.2.2. Contexte de résolution d'un problème d'optimisation combinatoire

La recherche d'une solution exacte optimale à l'aide des algorithmes de complexité exponentielle ou factorielle est donc impensable sauf si on dispose de beaucoup de ressources de calcul.

III.2.3. Approches de résolution d'un problème de combinaison combinatoire

On distingue deux approches pour résoudre un problème de combinaison combinatoire comme montre la figure 12:

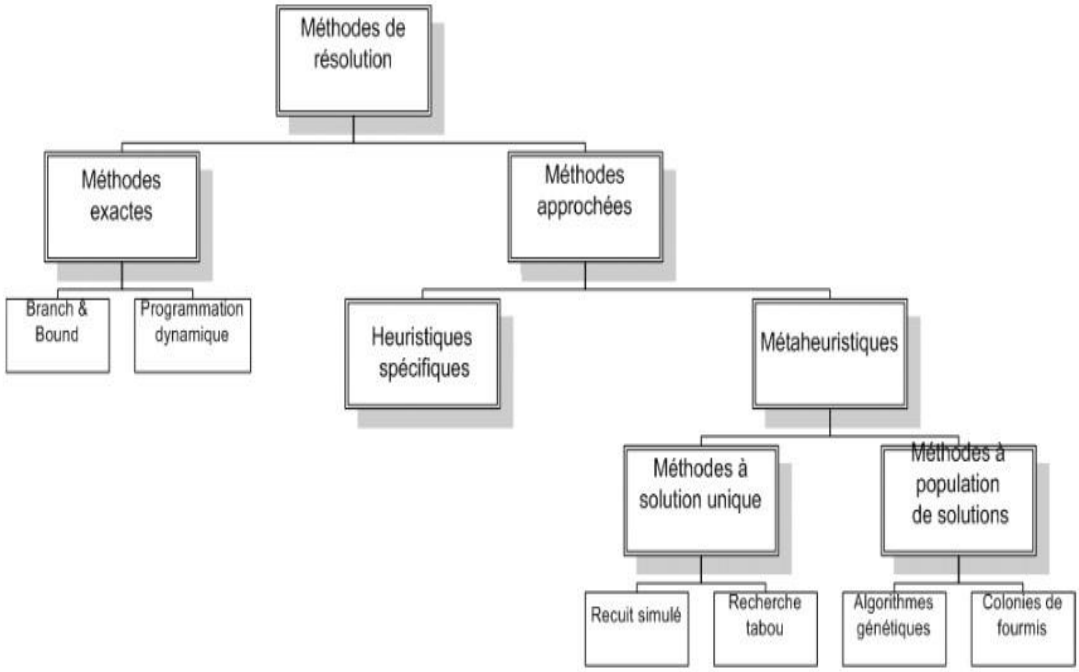


Figure 12:Classification des méthodes d'optimisation combinatoire

Méthodes Exactes

Les méthodes exactes permettent d'explorer tout l'espace des solutions réalisables et par conséquent la solution optimale sera trouvée. Ces méthodes sont utilisées pour trouver au moins une solution optimale d'un problème. Les plus réussis dans la littérature appartiennent aux paradigmes de deux grandes classes [12] ;

1. **La programmation dynamique** : La programmation dynamique permet d'appréhender un problème de façon différente de celle que l'on pourrait imaginer au premier abord.
2. **Les méthodes de recherche arborescente (Branch & bound) :** La méthode de branch and bound consiste à énumérer ces solutions d'une manière intelligente en ce sens que, en utilisant certaines propriétés du problème en question. Cette technique arrive à éliminer des solutions partielles qui ne mènent pas à la solution que l'on recherche.

Méthodes Approchées

En informatique théorique, une méthode d'approximation est une méthode permettant de calculer une solution approchée a un problème d'un algorithme d'optimisation. Plus précisément, c'est une

heuristique garantissant à la qualité de la solution qui fournit un rapport inferieur (si l'on minimise) a une constance, par rapport à la qualité optimale d'une solution, pour toutes les instances possibles du problème. Explorer un sous-ensemble de l'espace des solutions réalisables. Parmi ces méthodes nous citons :

1. **Les algorithmes d'approximation :** Permettent d'obtenir une solution pas trop éloignée de la solution optimale.
2. **Les algorithmiques heuristiques :** Produisent une solution qui approxime la solution optimale.
3. **Les algorithmes probabilistes :** Dans ces algorithmes, quand on est confronté à un choix : ce choix se fait aléatoirement. Ces algorithmes ont un caractère non déterministe.
4. **Les méta-heuristiques :** ce sont des stratégies de résolution de problème qui utilisent, qui coordonnent d'autres heuristiques pour obtenir une solution à un problème difficile. Une heuristique est conçue pour un problème précis alors que les méta-heuristiques sont conçues pour s'appliquer à divers problèmes.

III.3. Méta-heuristiques

Les méta-heuristiques se sont des méthodes inspirées de la nature, ce sont des heuristiques modernes dédiées à la résolution des problèmes et plus particulièrement aux problèmes d'optimisation, qui visent d'atteindre un optimum global généralement enfoui au milieu de nombreux optimaux locaux [13].

Les méta-heuristiques se subdivisent en deux sous-classes comme méthodes à solution unique et méthodes à population de solutions.

Algorithmes Génétiques

Les algorithmes génétiques [14] sont des algorithmes d'optimisation stochastique fondés sur les phénomènes de la sélection naturelle et de la génétique. Leur fonctionnement est extrêmement simple. On part avec une population de solutions potentielles (individus ou chromosomes) initiales arbitrairement choisies. On évalue leur performance (fitness) relative et sur la base de ces performances on crée une nouvelle population de solutions potentielles en utilisant des opérateurs évolutionnaires simples : la sélection, le croisement et la mutation. On répète ce cycle jusqu'à ce que l'on trouve une solution satisfaisante.

A. Présentation des algorithmes génétiques

Un algorithme génétique est défini par :

1. Individu/chromosome : une solution potentielle du problème ;
2. Population : un ensemble de chromosomes ou de points de l'espace de recherche ;
3. Environnement : l'espace de recherche ;
4. Fonction de fitness : la fonction Objectif que nous cherchons à maximiser ou à minimiser.

B. Phases d'exécution des algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques sont alors basés sur les phases suivantes :

1. **Initialisation** : Une population initiale de N chromosomes est tirée aléatoirement,
2. **Évaluation** : Chaque chromosome est décodé, puis évalué ;
3. **Sélection** : Création d'une nouvelle population de N chromosomes par l'utilisation d'une méthode de sélection appropriée,
4. **Reproduction** : Possibilité de croisement et mutation au sein de la nouvelle population.
5. Retour à la phase d'évaluation jusqu'à l'arrêt de l'algorithme.

C. Eléments fondamentaux des algorithmes génétiques

Codage d'une population

Le premier pas dans l'implémentation des algorithmes génétiques est de créer une population d'individus initiaux. En effet, les algorithmes génétiques agissent sur une population d'individus, et non pas sur un individu isolé. Par analogie avec la biologie, chaque individu de la population est codé par un chromosome appelé aussi génotype. Une population est donc un ensemble de chromosomes où chaque chromosome code un point de l'espace de recherche. L'efficacité de l'algorithme génétique va donc dépendre du choix du codage d'un chromosome. Il existe trois principaux type de codage : binaire, gray ou réel.

1. Fonction de Fitness

Pour calculer le coût d'un point de l'espace de recherche, on utilise une fonction d'évaluation appelée fonction fitness ou objectif. L'évaluation d'un individu ne dépend pas de celle des autres individus. Le résultat fournit par la fonction d'évaluation va permettre de sélectionner ou de refuser un individu pour ne garder que les individus ayant le meilleur coût en fonction de la population courante.

2. Croisement

L'opérateur de croisement permet la création de nouveaux individus appelés fils à partir de deux individus dits parents. Les nouveaux individus héritent certaines caractéristiques de leurs parents.

3. Mutation

Le rôle de cet opérateur est de modifier aléatoirement, avec une certaine probabilité, la valeur d'un gène de l'individu.

4. Itération

A partir d'une population initiale de n individus, l'algorithme génétique sélectionne une population intermédiaire de *m* individus en faisant une sélection sur la population initiale. Les *m* individus de la population se croisent deux à deux (les couples se forment aléatoirement) pour construire n nouveaux individus. Ces individus passent par un opérateur de mutation qui agit aléatoirement avec une possibilité faible 2-3% de bits pour former une nouvelle population. On réitère ensuite le procédé à partir de cette population jusqu'à obtenir une solution que l'on juge satisfaisante. La sélection des individus qui interviennent dans l'opération de croisement prend plusieurs formes :

a) **Sélection par roulette (wheel) :** Les parents sont sélectionnés en fonction de leur performance. Par conséquent, les parents ayant de meilleures performances ont plus de chance d'être sélectionnés.

b) **Sélection par rang** : La sélection précédente rencontre des problèmes lorsque la valeur d'adaptation des chromosomes varie énormément. Si la meilleure fonction d'évaluation d'un chromosome représente 90% de la roulette alors les autres chromosomes auront très peu de chance d'être sélectionnés et on arriverait à une stagnation de l'évolution. Cette sélection trie d'abord la population par fitness.

c) **Selection steady-state :** L'idée principale de cette méthode de sélection est qu'une grande partie de la population puisse survivre à la prochaine génération.

d) **Sélection par tournoi :** Cette méthode n'utilise que des comparaisons entre individus et ne nécessite pas le tri de la population. Elle possède un paramètre, taille du tournoi. Pour sélectionner un individu, on en tire t uniformément dans la population, et on sélectionne le meilleur de ces t individus.

e) **Elitisme :** A la création d'une nouvelle population, il y a de grandes chances que les meilleurs chromosomes soient perdus après les opérations d'hybridation et de mutation. Pour éviter cela, on utilise la méthode d'élitisme. Elle consiste à copier un ou plusieurs des meilleurs

chromosomes dans la nouvelle génération. Ensuite, on génère le reste de la population selon l'algorithme de reproduction usuel. Cette méthode améliore considérablement les algorithmes génétiques, car elle permet de ne pas perdre les meilleures solutions.

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'optimisation combinatoire et la classification des méthodes de résolution pour les problèmes d'optimisation combinatoire. Nous avons mis l'accent sur les métas heuristiques que nous allons utiliser dans notre projet de fin d'études qu'on appelle les algorithmes génétiques.

CHAPITRE IV : LES PROBLEMES D'OPTIMISATION ET LES APPROCHES DE RESOLUTION

Le chapitre a été consacré à la description des différents types des problèmes d'optimisation et leurs classifications. Une présentation des différentes approches de résolution existantes dans la littérature, telles que ; l'approche d'agrégation, l'approche ε –contraintes et l'approche de programmation par buts a été faite. Plusieurs méta-heuristiques ont été appliquées sur ces approches telles que l'algorithme génétique, la recherche taboue et le recuit simulé et les algorithmes de fourmis. La résolution des problèmes d'optimisation bi-objectif ou de petites tailles est efficace grâce aux algorithmes exactes tels que Branch and Bound, programmation dynamique, etc.

IV.1. Généralités

Dans le monde réel, en particulier dans le domaine industriel tel que la mécanique, la chimie, la télécommunication, l'environnement, le transport... etc. les problèmes sont complexes et de grandes tailles, ce qui les rendent difficiles à résoudre, bien qu'ils soient souvent faciles à définir. L'optimisation, qui représente une partie très importante de la recherche opérationnelle, s'occupe de ce type de problèmes.

En effet, la plupart de ces problèmes appartiennent à la classe des problèmes NP-difficiles et ne possèdent donc pas à ce jour de solutions algorithmiques efficaces et valables pour toutes les données. Dans la littérature, plusieurs travaux de recherche se sont intéressés à la résolution de ces problèmes d'optimisation. Les chercheurs ont divisé ce type de problème en deux groupes : problème mono-objectif et problème multi-objectif. Les problèmes mono-objectifs existent rarement dans les applications réelles par contre les problèmes multi-objectifs caractérisés par des critères généralement contradictoires et qui doivent être satisfaits simultanément, représentent une majorité des situations réelles.

IV.2. Optimisation combinatoire

Un problème d'optimisation combinatoire est défini par un ensemble d'instances où à chaque instance on associe un ensemble discret de solutions S composé par un sous ensemble des solutions admissibles (ou réalisables) X et une fonction coût f (fonction objectif) qui associe à chaque solution $s \in X$ un nombre réel f (s) représentant son coût. La résolution d'un problème d'optimisation combinatoire consiste à trouver une solution s * appartenant à X permettant d'optimiser la fonction coût f. La solution s * est appelée solution optimale ou optimum global [15]. Une définition proposée dans [16] est la suivante :

IV.2.1 Définition

Une instance I d'un problème de minimisation est un couple (X, f) où $X \subset S$ est un ensemble fini des solutions admissibles et f une fonction de coût (ou objectif) à minimiser. Le problème consiste à trouver $s^* \in X$ tel que $f(s^*) \leq f(s) \ \forall \ s \in X$. D'une manière similaire, le problème de maximisation peut être définit en changeant $\leq$ par $\geq$.

IV.2.2 Classification des problèmes d'optimisation

Introduction

L'optimisation est une notion présente dans tous les domaines, en mathématique le terme optimal ne veut pas dire forcément trouver le maximum ou le minimum, optimiser veut dire trouver la meilleure solution selon plusieurs critères et objectifs, cette solution est appelée optimum, ce chapitre est consacré à l'optimisation multi-objectif avec la méthode des algorithmes génétiques.

Malgré que cette classification montre une indépendance entre ces deux types de problèmes, la littérature montre un lien très fort entre les problèmes de décision et les problèmes d'optimisation. La résolution d'un problème d'optimisation dont l'objectif est de minimiser ou maximiser la valeur de la fonction objective, nécessite indirectement la résolution d'un problème de décision qui consiste à étudier l'existence ou non d'une solution admissible optimale. D'une manière réciproque, l'étude de la complexité d'un problème de décision permet de donner les indications relatives aux problèmes d'optimisation associés [17]. D'une manière générale, un problème quelconque qu'il soit de décision

ou d'optimisation doit appartenir à l'une de ces quatre classes suivantes : problème de classe P, problème de classe NP, problème de classe NP-Complet et complexité d'un problème [18], [19], [20].

IV.3. Optimisation multi-objectif

L'origine de l'optimisation multi-objectif date du 19ème siècle, elle a été appliquée dans les domaines de la gestion et l'économie par Edgeworth et Pareto. Ce pendant elle a connu un essort plus important dans les année 1980, ensuite elle a été élargie aux sciences de l'ingénieur dans les années 1996. Les chercheurs se sont intéressés au début aux problèmes bi-objectifs. Pour résoudre ce type de problème, ils ont utilisé les méthodes exactes telles que Branch and Bound [21], l'algorithme A* [22] et la programmation linéaire [23]. Les travaux ont montré l'efficacité de ces méthodes pour les problèmes de petites tailles, mais aussi leurs inefficacités pour ceux de grandes tailles ou multicritères.

IV.4. Approches de résolution d'un problème d'optimisation multi-objectif

Les ingénieurs se heurtent quotidiennement à des problèmes technologiques de complexité grandissante, qui surgissent dans des secteurs très divers. Le problème à résoudre peut fréquemment être exprimé sous la forme générale d'un problème d'optimisation, dans lequel on définit une fonction objective, ou fonction Coût, que l'on cherche à minimiser (ou maximiser) par rapport à tous les paramètres concernés comme : méthode d'optimisation a priori, méthode d'optimisation progressive et méthode d'optimisation a posteriori [10], [24].

1. **Méthode d'optimisation a priori.**

Pour les méthodes appartenant à cette famille, le décideur doit fixer un compromis à faire entre les objectifs. Ce compromis doit être fixé avant l'exécution de la méthode de résolution.

2. **Méthode d'optimisation progressive**

Cette méthode donne une grande importance aux préférences du décideur, pour cette raison le décideur doit être un bon connaisseur voir expert de l'application et/ou du problème à résoudre.
L'optimisation des processus est une démarche indispensable à toute entreprise, d'une part pour assurer l'adéquation permanente entre sa culture et son environnement et d'autre part pour garantir sa pérennité à long terme.

3. Méthode d'optimisation a posteriori

Ce type de méthode permet de fournir au décideur un ensemble de bonnes solutions qui doivent être bien reparties. Il peut ensuite sélectionner la plus appropriée.

Les approches de résolution d'un problème d'optimisation multi-objectif peuvent être classées en trois classes : la première classe concerne les approches qui se basent sur la transformation d'un problème multi-objectif en un problème mono-objectif, la deuxième classe se base sur l'approche non-Pareto et la troisième classe concerne l'approche Pareto. La figure 13 présentée plus bas, montre une classification des différentes méthodes et approches de résolution d'un problème multi-objectif. [10].

La figure suivante nous montre la classification des méthodes d'optimisations multi-objectifs [24] qui sont très utilisées dans les réseaux VANET.

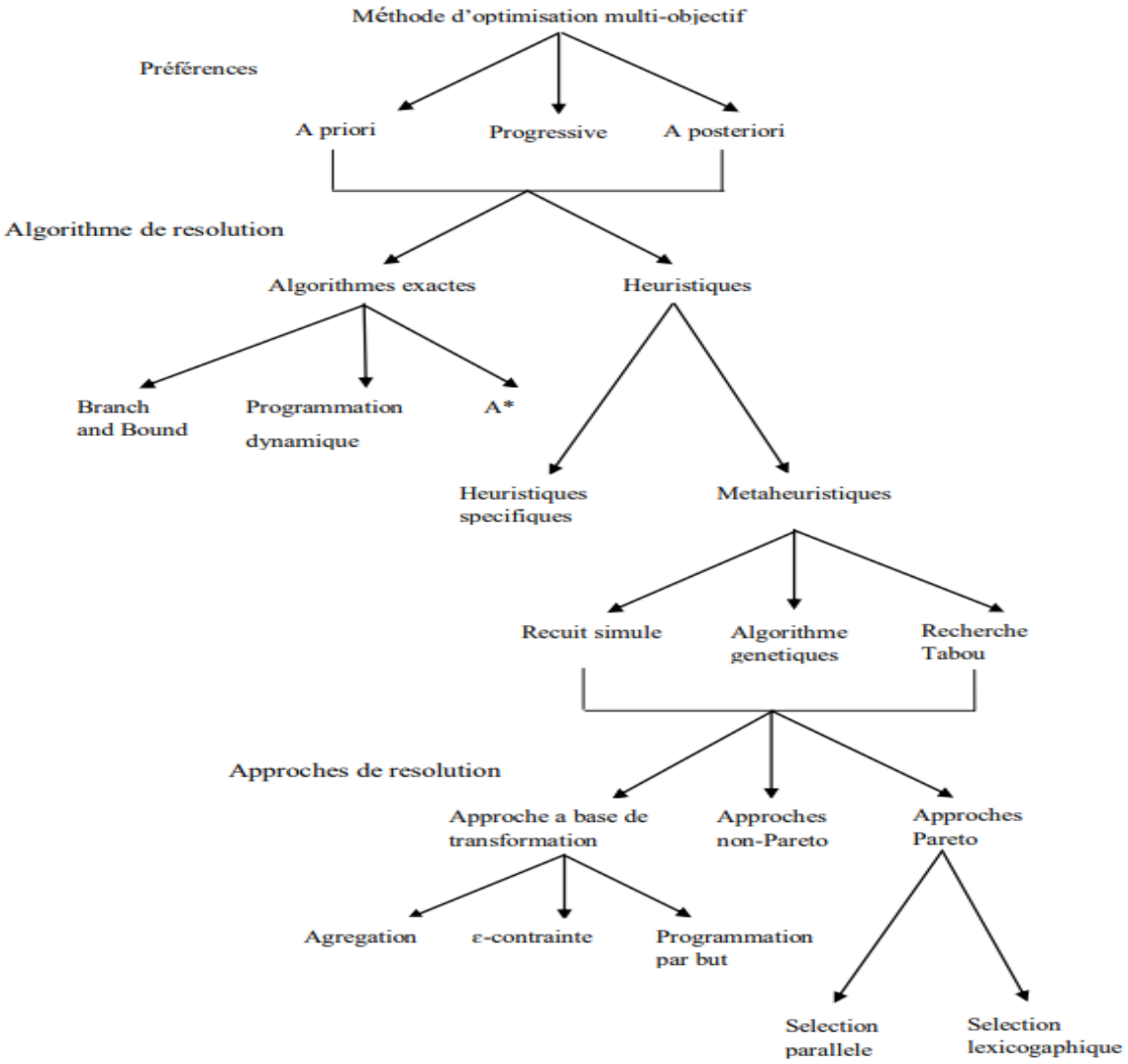


Figure 13:Classification des méthodes d'optimisation multi-objectif

IV.4.1. Transformation d'un problème multi-objectif en un problème mono-objectif

Cette approche se base sur la transformation d'un problème multi-objectif en un problème mono-objectif. Ils existent plusieurs méthodes de résolution telle que la méthode d'agrégation, la méthode ϵ-contraintes et la méthode de programmation par buts (global programming) [25]. Nous citons quelques méthodes utilisées : méthode d'agrégation , méthode ε –contraintes et méthode de programmation par but [26].

IV.4.2. Problème d'optimisation Multi objectif

La plupart des problèmes d'optimisation réels sont décrits à l'aide de plusieurs objectifs ou critères souvent contradictoires devant être optimises simultanément. Alors que, pour les problèmes n'incluant qu'un seul objectif, l'optimum recherché est clairement défini, celui-ci reste à formaliser pour les problèmes d'optimisation multi objectif. En effet, pour un problème à deux objectifs contradictoires, la solution optimale cherchée est un ensemble de points correspondant aux meilleurs compromis possibles pour résoudre notre problème.

IV.5. Méthodes de résolution d'un problème d'optimisation multi-objectif

Le choix d'une méthode de résolution pour un problème multi-objectif dépend obligatoirement de la complexité du problème ainsi que de sa taille. Un simple problème d'optimisation de petite taille peut être résolu en utilisant une méthode exacte dont le temps d'exécution est raisonnable. Mais, pour les problèmes difficiles, complexes ou de grande taille les méthodes exactes ne sont plus valables, et les méta-heuristiques deviennent les plus appropriées.

IV.5.1 Méthodes exactes

Ce sont des méthodes qui fournissent des solutions optimales mais pour des problèmes de petites tailles, par contre pour les problèmes de grandes tailles le temps de calcul devient irraisonnable. Parmi ces méthodes, on trouve la méthode par séparation et évaluation (Branch and Bound) qui est la plus utilisée.

Branch and Bound

Cette méthode consiste à fournir des solutions en explorant un arbre de recherche décrivant toute les solutions possibles. Il s'agit de trouver la meilleure configuration de manière à élaguer les branches de l'arbre qui conduisent à des mauvaises solutions [27].

Programmation dynamique

Elle se base sur le principe de Bellman [28] : « si C un point qui appartient au chemin optimal entre A et B, alors la portion de ce même chemin allant de A à C est le chemin optimal entre A et C » c'est

une méthode qui consiste donc à construire d'abord les sous chemins optimaux et ensuite par récurrence le chemin optimal pour le problème entier.

IV.5. 2. Méta-heuristiques

Les méta-heuristiques sont des méthodes NP-complet utilisées pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire, plusieurs définitions ont été proposées, parmi lesquelles on peut citer celle proposée par I.H. Osman et Laporte en 1996, « c'est un processus itératif qui subordonne et guide une heuristique en combinant intelligemment plusieurs concepts pour explorer et exploiter tout l'espace de recherche. Des stratégies d'apprentissage sont utilisées pour structurer l'information afin de trouver efficacement des solutions optimales, ou presque optimales » [29], [30].
On peut classer les méta-heuristiques selon leur principe de fonctionnement

1. Méthodes par construction (approche gloutonne) ;
2. Méthodes de voisinage (recuit simule et recherche de tabou) ;
3. Méthodes évolutives (algorithmes génétiques) ;
4. Méthodes biométriques (algorithmes de colonies de Fourmis & d essaim de particules).

A. Méthodes de voisinage

Une méthode typique de voisinage débute avec une configuration initiale, et réalise en suite un processus itératif qui consiste à remplacer la configuration courante par l'un de ses voisins en tenant compte de la fonction du cout. Ce processus s'arrête et retourne la meilleure configuration trouvée quand la condition d'arrêt est réalisée. Cette condition concerne généralement une limite pour le nombre d'itérations, le temps d'exécution ou objectif à réaliser.
Exemple : recuit simule et recherche de Tabou, etc

Algorithme de recuit simulé [31]

C'est une méthode inspirée à partir d'une procédure utilisée depuis longtemps en physique par les métallurgistes ; pour avoir un alliage sans défaut, il chauffe à blanc le métal et le laisse refroidir très lentement (technique du recuit) jusqu'à atteindre son équilibre thermodynamique.

Recherche Tabou

Proposée par Fred Glover dans les années 80 [32], elle est devenue très classique en optimisation combinatoire. Sa principale caractéristique fait appel à un historique des solutions visitées pour rendre la recherche moins aveugle. Grâce à cet historique, elle est capable d'éviter de retomber périodiquement dans les mêmes optimums locaux.

B. Méthodes biométriques

Les algorithmes de colonies de Fourmis

Ces algorithmes inspirés du comportement des fourmis proposées par Marco Dorigo et al dans les années 90 [33]. Une colonie de fourmis ayant le choix entre deux chemins d'inégale longueur menant à une source de nourriture avait tendance à utiliser le chemin le plus court.

C. Méthodes par construction

La méthode par construction démarre d'une solution initiale vide, à chaque itération, une variable est choisie (aléatoirement ou via heuristique) à laquelle est attribuée de la valeur du domaine ; le critère d'arrêt est l'affectation à tous les variables du problème.

Algorithme de gloutonne

L'algorithme de gloutonne permet de construire une solution pas à pas sans jamais revenir sur les décisions, en prenant chaque étape la solution qui semble la meilleure localement(heuristique), en espérant obtenir une solution optimale.

Greedy Randomized Adaptive Search procedures

RASP (littéralement, Procédures de recherche adaptative par algorithme glouton randomise, Feo & Resende (1989, 1995)) est une méthode d'optimisation alternant une phase de construction (par l'algorithme glouton) et une phase de recherche locale. La phase de construction permet de construire une solution respectant éventuellement des contraintes imposées par le problème.

D. Méthodes évolutives

Algorithmes génétiques

Depuis le 20ème siècle, grâce aux travaux du savant Britannique Charles Darwin, on a pu savoir que l'évolution des espèces ou des organismes fait appel à plusieurs mécanismes qui ont conduit à

l'apparition des nouvelles espèces toujours mieux adaptées à leurs milieux respectifs. Ces mécanismes sont : la sélection, la reproduction. La sélection est un mécanisme qui permet de choisir les individus (chromosomes) les plus robustes, à se reproduire fréquemment, alors que la reproduction est le mécanisme qui permet de produire des descendants qui ne sont pas identiques, c'est la phase d'évolution des espèces.

De ce fait, est née l'idée des algorithmes génétiques appelés « algorithmes évolutifs » développés par J.Holland en 1975 [34] se basant sur les principes d'évolution naturelle (codage, sélection, croisement et mutation). Par analogie avec ces principes d'évolutions, Holland chercha à permettre à l'ordinateur d'imiter les mécanismes d'évolution naturelle pour résoudre les problèmes rencontrés dans la réalité, il arrive enfin à initialiser un premier algorithme génétique canonique pour résoudre des problèmes d'optimisation [35]. Les algorithmes génétiques (AG) sont des algorithmes stochastiques, appartenant à la famille des algorithmes évolutionnaires se basant sur les mécanismes d'évolution naturelle et de la génétique.

Les caractéristiques des algorithmes génétiques

Les caractéristiques qui font l'unicité de cette méthode sont : (Holland, 1975 [36]) :

1. Les Algorithmes génétiques ne travaillent pas directement sur les paramètres, ces derniers sont codés avant l'opération.
2. Les Algorithmes génétiques n'utilisent que les valeurs de la fonction à étudier, sa dérivée ou autres connaissances ne sont pas prises en considération.
3. Les Algorithmes génétiques se basent sur des données aléatoires, donc ils sont probabilistes.

Principe de l'algorithme génétique

Les algorithmes génétiques sont la combinaison de deux domaines ; la biologie et l'informatique. Pour définir le fonctionnement d'un algorithme génétique, on commence par définir les mots techniques utilisés :

1. Genèse : c'est la première phase de l'algorithme, il s'agit d'une population initiale de taille N.
2. Chromosome : c'est une chaîne représentant les caractéristiques de l'individu.
3. Phénotype : c'est un ensemble de paramètres ou une structure décodée.
4. Evaluation : c'est la phase de calcul de la fonction de fitness.
5. Sélection : c'est le choix des individus qui vont se reproduire.

6. Croisement : c'est la phase de production des descendants.
7. Mutation : c'est la modification d'un chromosome dans le but d'améliorer les caractéristiques de l'individu.

L'algorithme se compose de cinq étapes :

1. Initialisation de la situation.
2. Sélection pour la reproduction
3. Croisement des individus sélectionnés
4. Mutation des individus sélectionnés
5. Sélection pour le remplacement
6. Si la condition d'arrêt est vérifiée STOP, S = {les meilleurs individus} Sinon retour à l'étape (2)

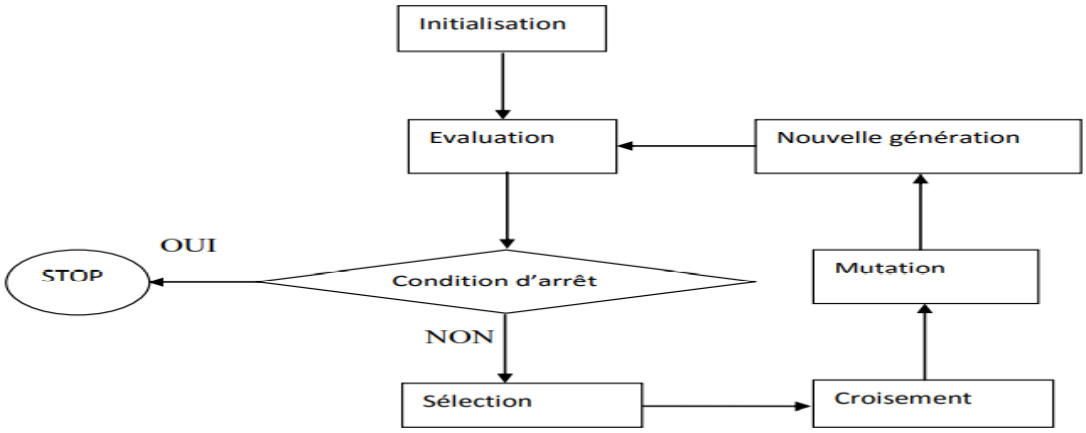


Figure 14:Architecture générale d'un algorithme génétique

Représentation chromosomique

Au début, chaque individu (chromosomique) de la population est codé soit en binaire/gray (Goldberg 1989 [37]), ou en réel (Goldberg 1990 [38]), représenté par un vecteur dont la longueur dépend de la précision requise, le codage donne à l'algorithme génétique une représentation génotype-phénotype.

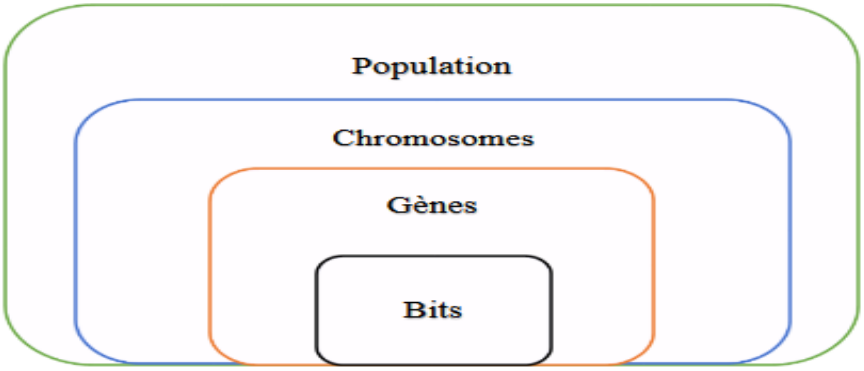


Figure 15: Représentation Chromosomique

Le codage des paramètres d'un algorithme génétique dépend du problème à optimiser, le codage binaire, gray et réel sont les plus utilisé dans le domaine.

- Types de codage du chromosome

L'utilisation des algorithmes génétiques pour la résolution d'un problème donné, nécessite le codage de ses données. Ce codage est lié à la nature de l'alphabet du problème, il permet d'établir une connexion entre les valeurs de la variable et les individus de la population, de manière à imiter le lien qui existe en biologie entre le génotype et le phénotype [39] ,[40].

Méthodes de Sélection d'individus

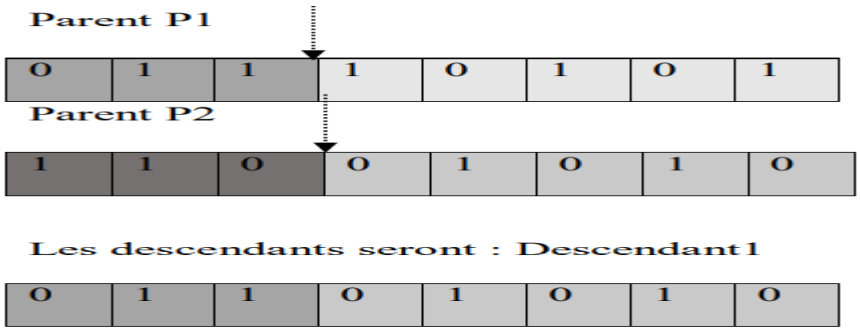
La sélection c'est le choix d'individus pour la reproduction et la mutation. Plusieurs méthodes de sélections existantes dans la littérature comme sélection par rang et sélection par tournoi.

Opérateurs de croisement

Le croisement consiste à générer deux enfants à partir de deux parents avec une probabilité Px appelé probabilité de croisement ceci dans le but d'enrichir la diversité de la population. Les opérateurs sont de deux types ; croisement par point et croisement bipoint.

1. **Opérateur à un point**

Il consiste à diviser chacun de deux parents en deux parties à la même position, choisie au hasard. Le premier enfant est composé de deux parties des deux parents. La première partie est celle du premier parent et la deuxième partie est celle du deuxième parent et le deuxième enfant est composé de deux parties, une première partie du deuxième parent et la deuxième partie du premier parent.



Decendent2

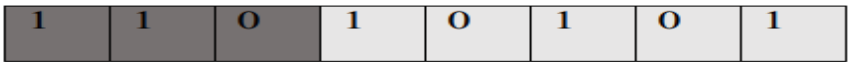


Figure 16:Représentant un opérateur de croisement à un point

2. Opérateur à deux points

Cette méthode consiste à fixer deux positions, le premier enfant sera la copie du premier parent en remplaçant sa partie entre les deux positions par celle du deuxième parent. La même opération sera appliquée pour déterminer le deuxième enfant en inversant les rôles du premier parent et du deuxième parent.

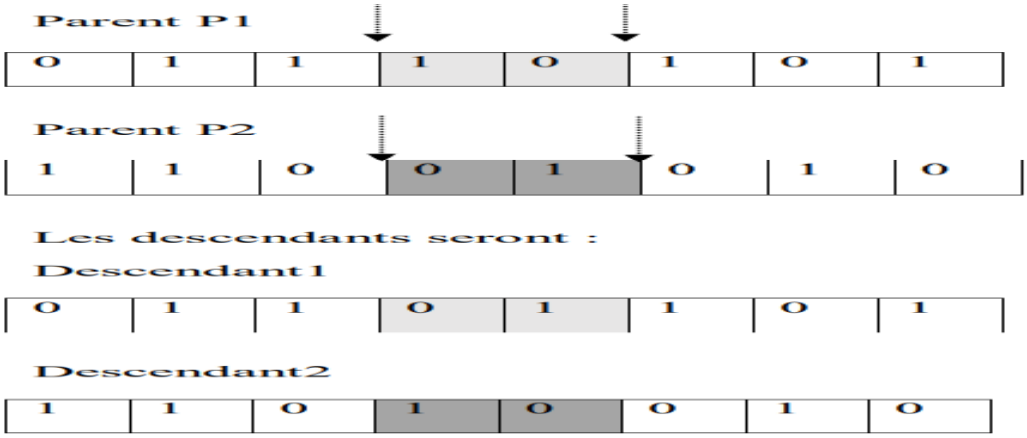


Figure 17: Représentant un opérateur de croisement à deux points

Opérateur de mutation

Conformément à la mutation naturelle, Cet opérateur permet de changer la valeur d'un chromosome dans le but d'améliorer les caractéristiques de l'individu. Elle permet à l'algorithme génétique d'explorer efficacement l'espace de recherche. Il garantit aussi une susceptibilité d'atteindre la plupart des points du domaine réalisable.

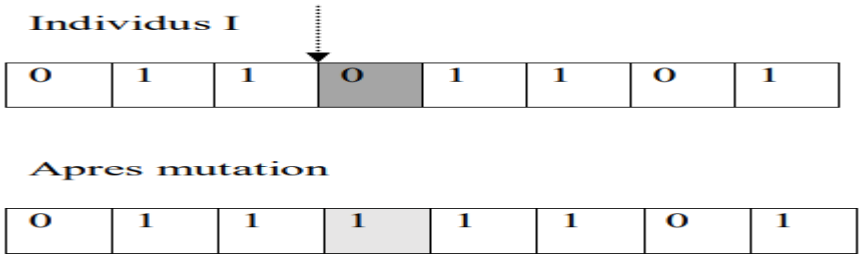


Figure 18: Représentant un opérateur de mutation

IV.6. Comparaison des algorithmes

Après cette rapide présentation de différentes Meta-heuristiques courantes, on s'aperçoit qu'il existe des points communs à certaines méthodes ainsi que des originalités. Afin de pouvoir mettre en perspective ces méthodes, nous avons choisi une série de descripteurs communs qui sont les suivants [41] :

1. **Exploration espace** : indique par quels mécanismes l'espace des solutions est exploré et s'il est exploré simultanément par une ou plusieurs solutions en construction,
2. **Voisinage exploré** : indique comment est d´définie la structure des voisinages utilisés ainsi que leur intervention dans l'algorithme,
3. **Aléatoire** : indique les étapes de l'algorithme qui incluent des mécanismes aléatoires.
4. **Déterministe** : indique les étapes de l'algorithmes qui incluent des mécanismes déterminités,
5. **Mémoire** : indique la présence (ou non) d'une mémoire et la méthode utilisée le cas echeant,
6. **Coopération** : indique l'utilisation (ou non) d'une coopération entre solutions et la méthode utilisée le cas échéant,
7. **Maintien de l'hétérogénéité :** indique les étapes au cours desquelles on cherche à maintenir une certaine hétérogénéité afin de mieux explorer l'espace des solutions en prenant le risque d'engendrer une détérioration des solutions proposées.

La comparaison des méta-heuristiques présentées en fonction de ces critères se trouve dans le Tableau qui suive. Dans ce dernier, les points d'interrogation indiquent la présence d'éléments optionnels dans l'algorithme de base.

Tableau 2:Comparaison des méta-heuristiques présentées en fonction de ces critères

Comparaison des méta-heuristiques présentées en fonction de ces critères

Méthodes	Exploration espace	Voisinage	Aléatoire	Déterministe	Mémoire	Coopération	hétérogénéité
Recherche de Tabou	Par un individu Génération solution initial Recherche locale	Définir par la recherche locale Modifie par les tabous	Génération solution initiale	Recherche locale	Utilisations des tabous	-------	Tabous
Procédures de recherche adaptative randomisée gloutonne	Par un individu Recherche exhaustive	---	Le choix dans le RCL	Recherche exhaustive	----------	----------	Le choix de la RCL choix probabiliste dans la RCL
Optimisation des colonies de fourmis	Par plusieurs individus Initialisation fourmis(?) déplacements	Déplacements autorisés	Initialisation fourmis (?) Le choix probabiliste du	-	Piste de phénomène	Utilisation de piste de phénomène	Déplacement Probabiliste Evaporation des phénomènes

Méthodes	Exploration espace	Voisinage	Aléatoire	Déterministe	Mémoire	Coopération	hétérogénéité
	autorisés		déplacement.				
Recuit simulé	Par un individu Génération solution initial Recherche locale	Définir pour la recherche locale	Exploration voisinage Acceptation probabiliste	Elitisme	-	-	Evolution temperature
Algorithme génétique	Par plusieurs individus Génération population initiale mutations	Défini pour les mutations Combinaison entre les individus	Génération population initiale Mutations Croisements Sélection probabiliste	Elitisme	hérédité	Croisement	Selection Probabiliste

RCL : Restrictive Candidate List (Liste de candidats restrictive)

IV.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié dans ce travail l'une des méthodes les plus utilisées dans le domaine d'optimisation mono- objectif, multi-objectif et NP-complet est que les algorithmes génétiques. Selon l'analyse ci-dessus on conclut que parmi les méta-heuristiques envisagées pour optimiser les problèmes multi-objectifs et NP-complet, les plus performantes sont ceux qui sont totalement mises en œuvre tous les critères de comparaisons cites ci-hauts. Dans ce cas les algorithmes génétiques sont plus performantes par rapports autres Meta-heuristique.

CHAPITRE V : MODELE MATHEMATIQUE UTILISE POUR LOCALISER LES POINTS DES INTERSECTIONS PORTES LES UNITES DE BORDS DE LA ROUTE AUX RESEAUX VEHICULAIRES

Ce chapitre est consacré sur un outil mathématique a été utilisé pour traiter notre problématique de notre projet à savoir le problème de localisation p-médian.

Plusieurs outils mathématiques sont à notre disposition pour modéliser des problèmes de la vie courante, les plus utilisés étant le réseau de Pétri, les files d'attente, algèbre relationnelle, la théorie des graphes, et le problème de la localisation p-médian etc.

Tableau 3:Etude comparatives des modèles mathématiques

Le nom du modèle mathématique	Le rôle du modèle
Réseau Pétri	Les réseaux de Pétri sont des outils graphiques et mathématiques permettant de modéliser et de vérifier le comportement dynamique des systèmes à événements discrets
Files d'attente	Elle consiste à modéliser le système dans lequel les serveurs sont soumis à un flux de requêtes qu'ils doivent être traités si les clients arrivent aléatoirement
Algèbre relationnelle	Elle décrit un ensemble d'opérations qui permettent de manipuler des relations, considérées comme des ensembles de n-uplets
Théorie des graphes	Elle permet de décrire un ensemble d'objets et leurs relations, c'est à dire les liens entre les objets.
L'algorithme de Dijkstra	L'algorithme de Dijkstra *(*prononcer approximativement « Dextra »*)* permet de trouver le plus court chemin entre deux sommets d'un graphe (orienté ou non orienté).
Le problème de la localisation P-médian	Le problème de la p-médian est un problème de localisation qui consiste à fixer p

	installations parmi n points de demande de sorte à minimiser la somme des distances de chaque point de demande à son installation la plus proche.

Parmi ceux outils mathématiques, j'ai trouvé que le problème de la localisation p-médian est la mieux adaptée pour modéliser le système étudié car Le problème de localisation p-médian consiste à localiser simultanément les P installations (les RSU à déployer dans une zone donnée) dans L (ensembles de points d'intersection dans une zone donnée) afin de minimiser le coût de transport total nécessaire à la satisfaction des usagers, chacun approvisionné de son installation la plus proche.

V.1. Historique du problème de localisation

La littérature sur les problèmes de localisation dans sa version purement mathématique est ancienne et a été compilée par divers auteurs. Au 17ème siècle, Fermat a soulevé une question qui peut être considérée comme le germe des problèmes de localisation ultérieurs : étant donné trois points dans le plan, quel serait l'emplacement d'un quatrième point qui remplissait que la somme de leurs distances aux trois points donnés est minimale Dès 1600, plusieurs auteurs ont proposé différentes approches pour résoudre ce problème [42].

V.2. Problèmes de p-médian

Le problème de la p-médiane est un problème de localisation qui consiste à fixer p installations parmi n points de demande de sorte à minimiser la somme des distances de chaque point de demande à son installation la plus proche.
Ses applications sont très diverses et varient de l'intérêt mathématique pur à l'intérêt pratique. Dans la première catégorie, on retrouve la possibilité de son utilisation pour la résolution d'autres problèmes mathématiques tels le problème multi-sources de Weber en norme L_1 ou encore certains problèmes de classification automatique. Dans la deuxième, on retrouve la possibilité de son utilisation pour la localisation d'une gamme variée de produits et services qui va des centres de commutation en télécommunication aux écoles en service public [43].

Formulation du problème

La formulation du problème de localisation p-médian varie d'après le contexte par rapport auquel on se situe. Il existe ainsi une formulation en termes de matrice, une en terme de localisation et une en termes de graphe [44], [45].

A. Formulation en termes de matrice

Etant donné une matrice D dont les éléments sont connus et fixes, le problème de localisation p-médian consiste à trouver l'ensemble de p colonnes qui minimise la somme des entrées minimales pour chaque ligne dans ces colonnes.

Expression mathématique

Considérons une matrice D de dimension (n, m) dont les éléments à l'entrée (i, j) sont notés d_{ij}. Notons par E l'ensemble des n colonnes de la matrice et par $Ep = \{c_{ji}, ...c_{jp}\}$ un sous ensemble de p colonnes de E. Le problème de la localisation p- médian consiste à résoudre :

$$minE_p \subset E \sum_{i=0}^{n} min\{d_{ij1}, d_{ij2}, \dots, d_{ijp}\} \quad (5.1)$$

B. Formulation en termes de localisation

Considérons un ensemble *L* de *m* localisations potentielles pour *p* installations et un ensemble *U* de localisation de n usagers donnés. Le problème de la localisation p-médian consiste à localiser simultanément les *p* installations dans *L* afin de minimiser le coût de transport total nécessaire à la satisfaction des usagers, chacun approvisionné de son installation la plus proche.

Expression mathématique

Soit un ensemble *L* de m installations (ou points de localisation), un ensemble U de n usagers (ou points de demande) et une matrice (n, m) des distances parcourues pour satisfaire la demande de l'usager localisé en *i* à partir de l'installation localisée en j pour tout $j \in L$ et $i \in U$. L'objectif consiste à minimiser la somme de ces distances (ou coûts de transport) c'est-à-dire :

$$min \sum_{i \in U} min_{j \in J} d_{ij} \quad (5.2)$$

$$Où\, J \subseteq L\ |L| = p$$

C. Formulation en termes de graphes

Le problème de la p-médiane peut aussi être formulé de la façon suivante : Etant donné un graphe G (V, E), on cherche à trouver un sous-ensemble de p nœuds S, avec S ⊂ V, tel que la somme pondérée des distances des nœuds restants {V — S} à l'ensemble S est minimisée.

Par ailleurs, on peut concevoir le problème de la P-médian comme visant à construire p arbres minimaux S^I S^2 …S^P dont les racines respectives r^1, r^2 , ...r^P sont les localisations désirées et les autres sommets du graphe appartiennent à l'arbre dont la racine est la plus proche[43].

Expression mathématique

Sur le graphe G (V, E), le problème de la localisation p-médian peut être formulé de la façon suivante :

(5.3)

$$min \sum_i \sum_j \omega_i d_{ij} x_{ij}$$

Sous les contraintes

$$\sum_i x_{ij} = 1 \ \ \forall j.$$

$$x_{ij} \leq y_j \ \ \forall i, j$$

$$\sum_j y_j = p$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\} \forall i, j$$

Où :

- ω_i : *demande au noeud i*
- d_{ij} : *distance du noeud i au noeud j*
- $x_{ij} = \begin{cases} 1 \ si \ le \ noeud \ i \ est \ affecté \ au \ noeud \ j \\ 0 \ si \ non \end{cases}$
- $y_j = \begin{cases} 1 \ si \ une \ installation \ est \ ouverte \ au \ noeud \ j \\ 0 \quad autrement \end{cases}$

Représentation des graphes

Nous aimons bien communiquer par des dessins, mais les machines n'en sont pas encore là : il faut donc trouver d'autres façons de représenter les graphes.

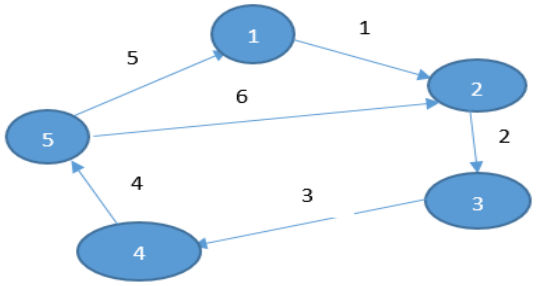
La solution consiste à utiliser des matrices, et il y a différentes méthodes. Dans ce qui suit, on considère des graphes non pondérés, mais ces représentations s'adaptent sans problème aux graphes pondérés.

Matrice d'incidence

La matrice d'incidence est une matrice qui représente la relation entre les arêtes et ses extrémités. Cette matrice a pour lignes les sommets et comme colonnes les arêtes.

La matrice d'incidence d'un graphe orienté est une matrice J à coefficients entiers dont les lignes sont repérées par les sommets d'un graphe et les colonnes par ses arêtes :

Prenons le cas du graphe ci-contre. Il possède 5 sommets et 6 arcs, la matrice d'incidence aura donc 5 lignes et 6 colonnes :



- Le sommet 1 est l'aboutissement des arcs 1 (qui sort) et 5 (qui entre)
- Le sommet 2 est l'aboutissement des arcs 1 (qui entre), 2 (qui sort) et 6 (qui entre)
- Le sommet 3 est l'aboutissement des arcs 2 (qui entre) et 3 (qui sort)
- Le sommet 4 est l'aboutissement des arcs 3 (qui entre) et 4 (qui sort)
- Le sommet 5 est l'aboutissement des arcs 4 (qui entre), 5 (qui sort) et 6 (qui sort)

Ce qui donne la matrice d'incidence :

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

On remarque que chaque colonne a une somme nulle, puisqu'un arc sort forcément d'un sommet pour entrer dans un autre, même s'il s'agit du même sommet (cas d'une boucle).

V.3. Modèle simple de localisation de dépôts

Le modèle simple de localisation de dépôts peut être vu comme une extension du problème de la p-médian et certains algorithmes conçus pour le résoudre serviront pour la résolution de la p-médian. Il s'agit de localiser un sous ensemble des installations d'un ensemble I de sorte à satisfaire un ensemble J de clients tout en minimisant les coûts variables de distribution et les coûts fixes liés à la localisation de chaque installation [45].

Expression mathématique

Considérons un ensemble de sites I {1, 2, ..., n} où les installations peuvent être localisées et un ensemble de points de demande à satisfaire J {1, 2, ...m} et soit f_i le coût fixe pour ouvrir l'installation i, C_{ij} le coût variable pour satisfaire la demande de j par i et x_{ij} la fraction de la demande de j satisfaite par i ; le problème est alors formulé de la façon suivante :

$$min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} f_i y_i \qquad (5.4)$$

Sous les contraintes

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad j \in J$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad i \in I, j \in J$$

$$y_i = \{0,1\} \quad i \in I$$

Où :

i : centre de distribution candidat, i=1, 2, 3..., m

j :zone de vente : j=1, 2, 3..., n

$_i$:site candidat du centre de distribution i coût fixe ;

W_i : Capacité du centre de distribution ;

C_{ij} : coût unitaire de transport du centre de distribution candidat i au lieu de vente x_{ij} : Volume de transport unitaire Xij du centre de distribution candidat i au lieu de vente j (variable de décision)

Y_i : Distribution Center i est sélectionné lorsqu'il est sélectionné, sinon il vaut 0 (0-1 décision variable).

V.4. Problème de Crisp P-médian

Le problème p-médian net consiste à localiser p installations sur un réseau pour couvrir certaines demandes données de telle sorte que les coûts totaux de transport soient minimisés. On suppose que ces coûts sont directement proportionnels aux distances à parcourir et aux quantités de produits à transporter. Et on montre que dans une solution optimale du p-problème médian, toutes les ressources sont situées à p sommets du réseau et que la demande de chaque sommet sera couverte par sa ressource la plus proche.

Ce modèle a été introduit au milieu des années 60 par Hakimi, qui a proposé un algorithme d'énumération explicite bien connu. Plus tard, ReVelle et Swain ont formulé le modèle comme le problème entier mixte 0-1 suivant, alors Le modèle mathématique du problème est donné ci-dessous :

$$(CP) \quad min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} x_{ij} d_{ij} \qquad (5.5)$$

$$S.t \sum_{i=0}^{n} x_{ij} = w_j \quad 1 \leq j \leq n$$

$$0 \leq x_{ij} \leq w_j y_i \; 1 \leq j \leq n \qquad (5.6)$$

$$\sum_{i=0}^{n} y_i = p$$

$$y_i \in \{0,1\}$$

où

x_{ij} : est la demande du sommet v_j couverte par la ressource au sommet v_i (le cas échéant).

y_i :vaut 1 s'il y a une installation au sommet vi et 0 sinon

w_i :est la demande au sommet v_i

d_{ij} : est la distance entre vi et v_j

Les contraintes (5.5) garantissent que toute la demande est couverte à chaque sommet v_j, les contraintes (5.6) garantissent que seuls les sommets avec une installation serviront le produit, et la contrainte (5.7) établit qu'exactement p installations seront localisées.

Il existe plusieurs programmes dont on peut montrer qu'ils sont équivalents à la contrainte (5.5) . D'autre part, ce modèle de base de localisation sur les réseaux a donné naissance à de nombreux autres modèles adaptés à des situations plus complexes : le problème p-médian capacitaire, le

problème p-médian hub, ... Il est aussi étroitement lié à d'autres modèles de base. Des modèles de localisation sur un réseau et sur un plan, tels que le problème du p-centre, les problèmes de recouvrement, le problème simple de localisation de l'usine, etc.

V.5.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons consacré le contexte de ce projet, le problème de la localisation p-médian a été utilisé pour placer ou visser les unités de bords de la route. Les unités de bords de la route correspondent aux points d'intersections et leurs positions optimales dans la zone urbaine prise en considération.

CHAPITRE VI : IMPLEMENTATION DE L'APPLICATION

Ce Chapitre a été consacré sur la présentation des résultats obtenus et les outils utilisés dans l'implémentation d'une application et enfin nous avons passé à la présentation de quelques interfaces de fonctionnalités réalisées dans notre système.

VI.1. Généralités

Pour garantir une dissémination efficace des informations dans les réseaux VANET en particulier dans un environnement urbain, il est recommandé de placer un nombre suffisant des unités de bords de la route au niveau des intersections.

De ce fait, nous avons proposé dans le cadre de ce projet de fin d'études afin de trouver un nombre minimal des unités de bords de la route à déployer dans une zone donnée.

Et vu que le nombre de combinaisons est très grand alors que les méthodes exactes ne peuvent pas résoudre ce problème considéré comme un problème d'optimisation combinatoire d'une manière efficace. D'où nous avons fait recours à des méta-heuristiques qui ont prouvé leur efficacité pour traiter ce type de problèmes. Une des méta-heuristiques fait partie des méthodes à population de solutions (les algorithmes génétiques).

La résolution de ce problème est réalisée en langage python pour trouver le nombre des unités de bords de la route.

VI.2. Outils de développement

Python, En informatique le mot Python est le langage de programmation open source le plus employé par les informaticiens. Ce langage s'est propulsé en tête de la gestion d'infrastructure, d'analyse de données ou dans le domaine du développement de logiciels. En effet, parmi ses qualités, Python permet notamment aux développeurs de se concentrer sur ce qu'ils font plutôt que sur la manière dont ils le font.

OpenStreetMap est un projet qui a pour but de créer des cartes libres du monde sous licence ouverte, par l'utilisation de moyens informatiques basés sur Internet qui permettent l'intervention et

la collaboration de tout utilisateur volontaire. OpenStreetMap relève de la géomatique 2.0 et est aussi une contribution à ce qui est appelé la néogéographie.

Netedit-SUMO est un éditeur de réseau visuel. Il peut être utilisé pour créer des réseaux à partir de zéro et pour modifier tous les aspects des réseaux existants. Avec une puissante interface de sélection et de mise en évidence, il peut également être utilisé pour déboguer les attributs du réseau. Netedit est construit au-dessus de netconvert. En règle générale, tout ce que netconvert peut faire, Netedit peut le faire aussi. Netedit peut également être utilisé pour définir et modifier : infrastructure de simulation supplémentaire trafic (véhicules, personnes, Types, itinéraires). Les expériences présentées, dans ce manuscrit, sont basées sur un ensemble de données de trajectoires réelles représentant des portions de la zone urbaine de la localité de la zone DE KININDO de la ville de Bujumbura.

La carte de cette Zone est téléchargée depuis le site OpenStreetMap sous forme de fichiers net.xml. Il est convertis en fichiers réseau, contenant les routes et les intersections sur lesquelles les véhicules simulés circulent.

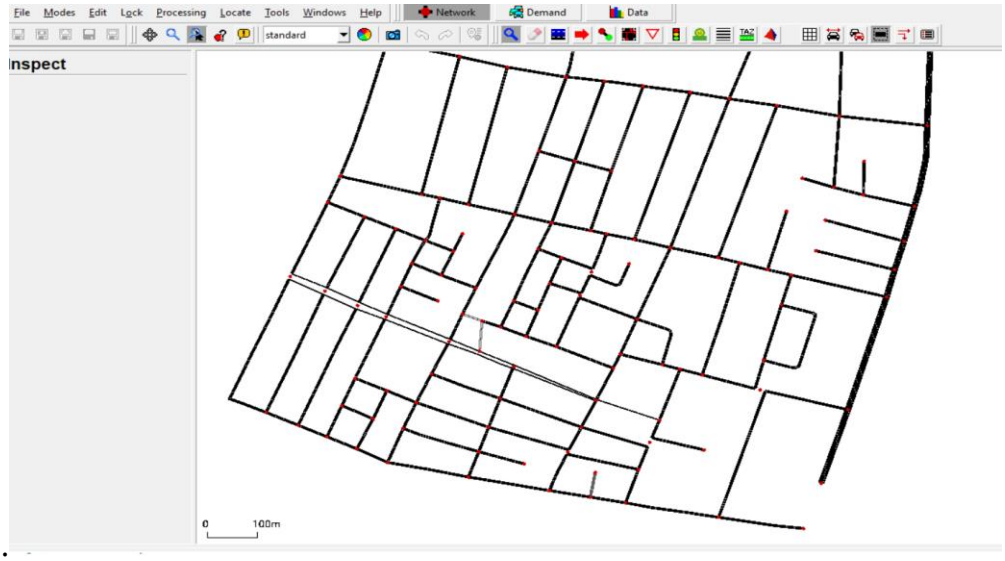


Figure 19: Exemple de la topologie routière de la zone de KININDO en ville de Bujumbura sous le simulateur Netedit –sumo

JOSM (Java OpenStreetMap Editor) est une application de bureau pour éditer OpenStreetMap, le plus puissant et le plus compliqué des éditeurs disponibles. Sa page d'accueil se trouve sur josm.openstreetmap.de. Logo JOSM depuis août 2019.

Jeux de données : Les expériences présentées, dans ce manuscrit, sont basées sur un ensemble de données de trajectoires réelles représentant des portions de la zones urbaine de la localité de la zone DE KININDO de la ville de Bujumbura. La carte de cette Zone est téléchargée depuis le site OpenStreetMap sous forme de fichiers OSM. Ensuite, il est convertis en fichiers réseau, contenant les routes et les intersections sur lesquelles les véhicules simulés circulent.

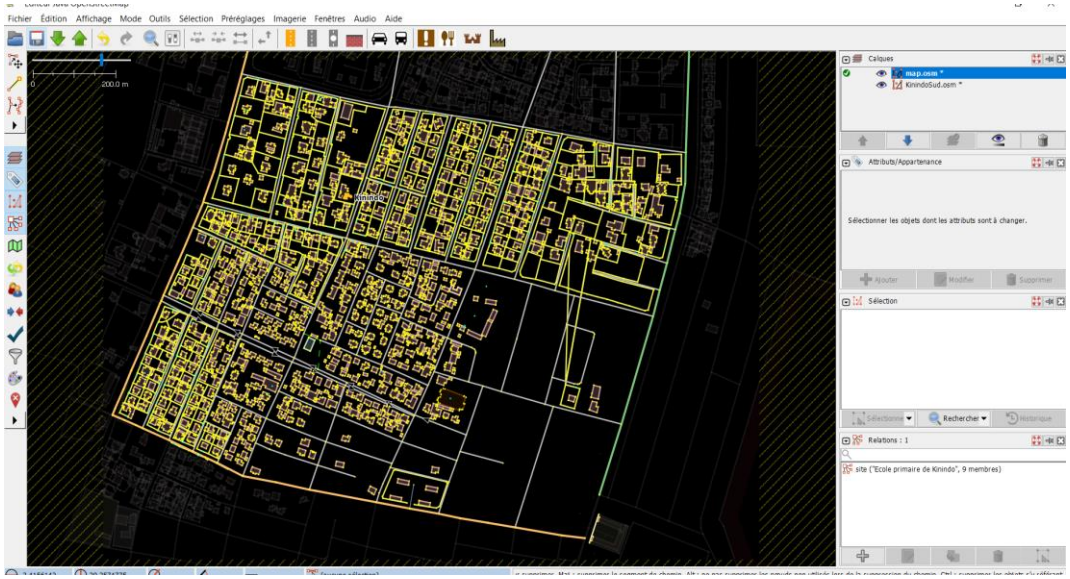


Figure 20: Exemple de la topologie routière de la zone de KININDO en ville de Bujumbura avec le logiciel JSOM

VI.3. Fonction fitness

La fonction fitness consiste à calculer la couverture de l'ensemble des unités de bords de la route de la zone urbaine prise en considération. Cette évaluation se fait d'une manière mathématique pour chaque intersection qui porte une RSU. La Figure suivante représente le fonctionnement de cette fonction.

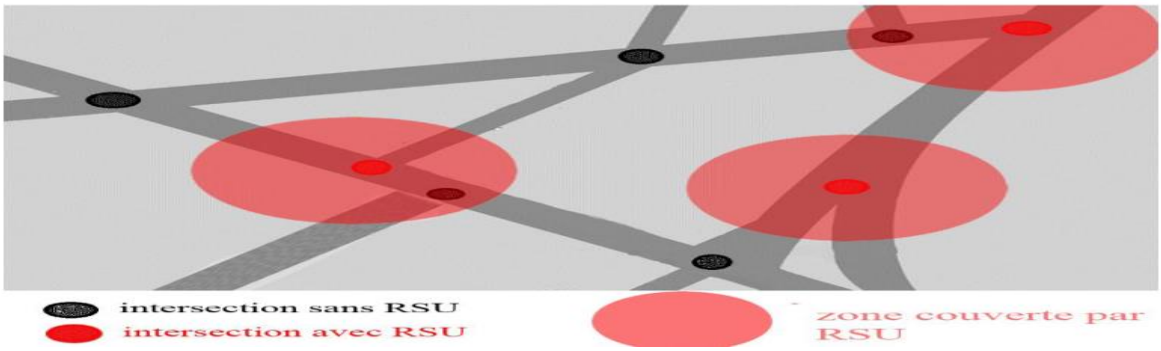


Figure 21: Couverture par les RSUs

VI.4. Evaluation de Couvertures

VI.4.1 Présentation des données à l'entrée

Liste des nœuds et leurs coordonnées (Intersection)

Index	node_id	node_type	node_x	node_y
0	1067983792	priority	719.06	70.21
1	1067984817	priority	728.86	125.32
2	1424918038	priority	862.21	366.52

Figure 22:. Représentation les coordonnées de la route

Avec Node_id = identifiant du nœud, node_x et node_y = Localisation du nœud

Nous présentons aussi les identifiants des nœuds se trouvant aux extrémités du segment.

Index	edge_from	edge_to	edge_id	edge_longueur
0	cluster_2209653849_435614003	326228476	-119890603#0	307.887
1	326220769	cluster_2209653849_435614003	-119890603#2	181.671
2	326226871	435325245	-29628074#2	63.903
3	436075173	326226871	-29628074#3	61.8363

Figure 23:Identifiants de des nœuds aux extrémités du segment

edge_from, edge_to : identifiants des nœuds se trouvant aux extrémités du segment.

VI.4.2 Matrices calculées avant le début de l'Algorithme Génétique

Matrice Adjacente

La Matrice Adjacente (M_ADJ), une matrice d'adjacence, une matrice binaire ou les lignes Li, et les Colonnes Cj, sont les nœuds, et $M_ADJ_{ij} = 1$ si N_i et N_j sont adjacents si non $M_ADJ_{ij} = 0$

Voici la figure qui la montre.

	0	1	2
0	0	0	0
1	1	0	0
2	0	0	0

Figure 24: Calcul d'une matrice adjacente

Matrice distance

Matrice distance (M_ADJ) : une matrice distance, les lignes Li, et les Colonnes Cj, sont les nœuds, et M_ADJ_{ij} = distance euclidienne entre nœud N_i et nœud N_j**.** Voici la figure qui le montre.

	0	1	2	3	4	5
0	0	55.9746	329.077	527.823	485.141	464.589
1	55.9746	0	275.608	471.874	432.85	416.681
2	329.077	275.608	0	235.164	288.714	328.576
3	527.823	471.874	235.164	0	164.336	245.068
4	485.141	432.85	288.714	164.336	0	82.2267
5	464.589	416.681	328.576	245.068	82.2267	0

Figure 25: Calcul d'une Matrice distance

Matrice de couverture

Matrice de couverture (M_Cov) **:** matrice de couverture, les lignes Ni sont des noeuds, et les Colonnes Sj, sont des segments, et M_Cov_{ij} = Information de couverture du segment S_j, par le nœud N_i.

Chromosome

Le Chromosome (L_Chr) : Liste des nœuds possédant des RSU, représentable aussi sous forme binaire avec la présence d'un RSU indiquée par le nombre 1 à cet emplacement.

Supposons une topologie avec 10 nœuds et un déploiement des RSU aux nœuds 3, 4,7 et 8. Le chromosome correspondant est ainsi : [3,4,7,8] ou bien [0,0,1,1,0,0,1,1,0,0].

VI.4.3 Evaluation des portions de Route Couvertes

Soit un Topologie à n nœuds et m segments, on a :

- Une matrice chromosome L_Chr de dimension **(**1, n) : [0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0]
- Une matrice couverture M_Cov de dimension (n, m) ou $M_Cov_{n,\ m}$ est l'intervalle I ([origine, extrémité] de la partie du segment m couverte par le nœud n.

On utilise un produit matriciel est modifié ainsi :

- Le produit entre un intervalle I et une valeur V appartenant à [0,1] vaut :
  - Un intervalle vide si v = 0
  - Le même intervalle si v = 1
- L'addition entre intervalles signifie : Union des Intervalles.

La matrice résultante M de dimension (1, m), obtenue du produit L_Chr # M_Cov correspond à la longueur de zone couverte pour chaque segment.

VI.4.4 Types des Couverture des RSUs

1. **Couverture de Voisinage** : L'algorithme prend la table de voisinage de l'intersection qui contient une RSU et il calcule la somme des distances qui sont inférieures ou égales à la portée d'une RSU pour chaque segment de la table de voisinage.
2. **Couverture d'un segment (route)** : L'algorithme prend le point d'intersection qui contient une RSU comme un centre d'un cercle dont le rayon est égal à la portée de transmission d'une RSU. Puis il cherche parmi les segments du réseau les segments qui appartiennent au cercle (il calcule la somme de toutes les distances trouvées par l'algorithme).
3. **Couverture totale** : La couverture totale représente la somme de toutes les distances trouvées à l'aide des algorithmes de couverture.

VI.5. Evaluation et Simulation

Représentation des points des intersections

Tout d'abord, on récupère la topologie routière de la localité de la KININDO de la Ville de BUJUMBURA là où les nombres numériques représentent les points d intersections et les lignes représentent les routes comme nous montre la figure 26 ci-dessous, il est recommandé de placer un nombre suffisant des unités de bords de la route au niveau des intersections.

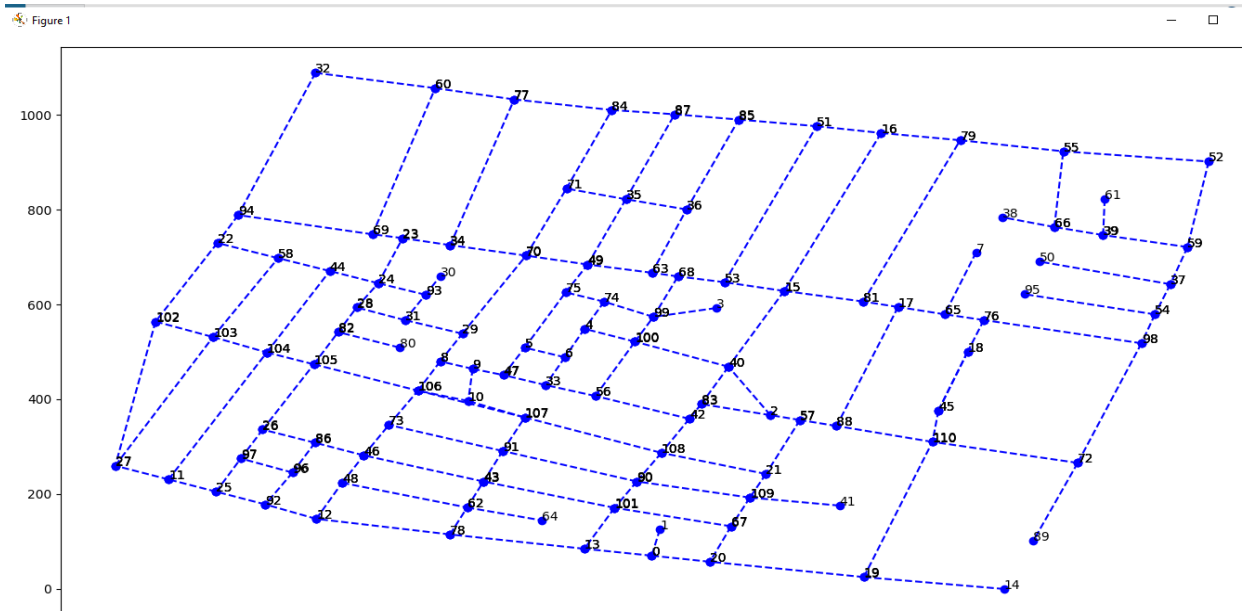


Figure 26:Représentation des points des intersections et les routes

VI.5. 1. Calcul du nombre de RSUs

Representation d'une interface

Après avoir récupérer le Map de la localité de KININDO en ville de BUJUMBURA, on montre l'interface a été utilisé pour trouver le nombre minimal des unités de bords de la route. Cette interface figure les paramètres des algorithmes génétiques comme (le pourcentage, la taille de génération, la taille de reproduction, le nombre d'itération) ainsi que le rayon qui représente la portée d'une unité de bord de la route exprimé en mètre.

Nous avons aussi le bouton select fichiers, ce bouton nous permet de sélectionner là où le fichier contenant tous les coordonnées de la zone prise en considération récupérées sur l opensteetmap et nous avons aussi les commandes (net_xml_to_csv_nodes_edg et osm_to_xml) qui nous permet de

générer automatiquement les documents en Excel, ces documents figurent toutes les coordonnées de la route. Voici la figure 27 qui montre l'interface d'une méthode des algorithmes génétiques.



Figure 27: Interface d'une méthode des algorithmes génétiques

Comptage des unités de bords de la Route

Après avoir lancé l'interface d'une méthode de résolution des algorithmes génétiques, nous mettons les valeurs des paramètres des algorithmes génétiques comme nous montre sur cette interface ci-haut, tout d'abord, on clique sur le bouton select fichier qui nous permet de sélectionner là où le fichier contient les coordonnés de la zone prise en considération, puis nous mettons la valeur de rayon est égale 250 mètre par exemple ensuite on met les valeurs dans les autres paramètres que vous voulez comme nous ne montre sur la figure 28 suivante. Ce calcul nous montre aussi le nombre minimal trouvé exactement dans la zone prise en considération.

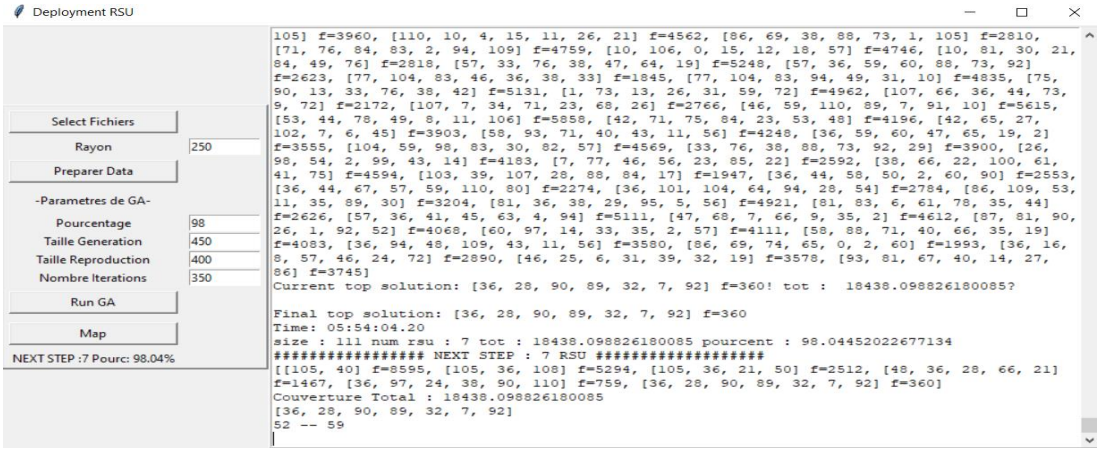


Figure 28:Calcul des unités de bords de la route

Présentation des RSUs trouvées dans une zone donnée

Cette figure ci-après montre nombre des unités de bords de la route a été trouvé dans la zone prise en considération selon les paramètres mis dans l'interface. L'algorithme génétique a été détecté sept (7) unités de bords de la route comme nous montre sur la figure suivante.

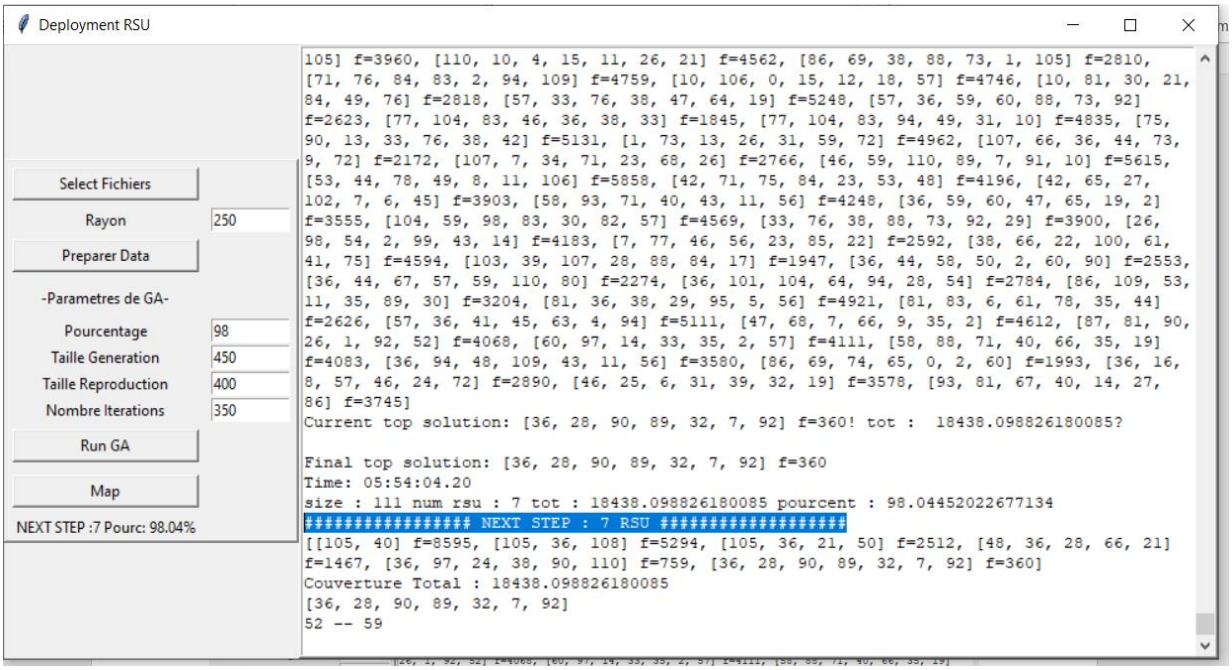


Figure 29:Affichage des unités de bords de la route trouvées

Présentation des intersections portées les RSUs

Le fitness est un nombre proportionnel au nombre de descendants que va avoir l'individu.

Il faut donc une fonction qui donne un bon fitness aux meilleurs individus et une mauvaise aux mauvais individus. Il n'y a pas qu'une seule fonction possible, mais il y en a des meilleures que d'autres : certaines qui convergent vite, d'autres qui convergent plus lentement mais débouchent sur une meilleure solution (et pas sur un optimum local) etc.

La figure 30 montre la meilleure solution de la fonction fitness consiste à calculer la couverture de l'ensemble des unités de bords de la route de la zone urbaine prise en considération. Cette évaluation se fait d'une manière mathématique pour chaque intersection qui porte une RSU c'est –à

–dire que les points d'intersections numéros :36,28 ;90 ;89 ;32 ;7 ; et 92 portent les unités de bords de la route et la fonction de fitness=360.

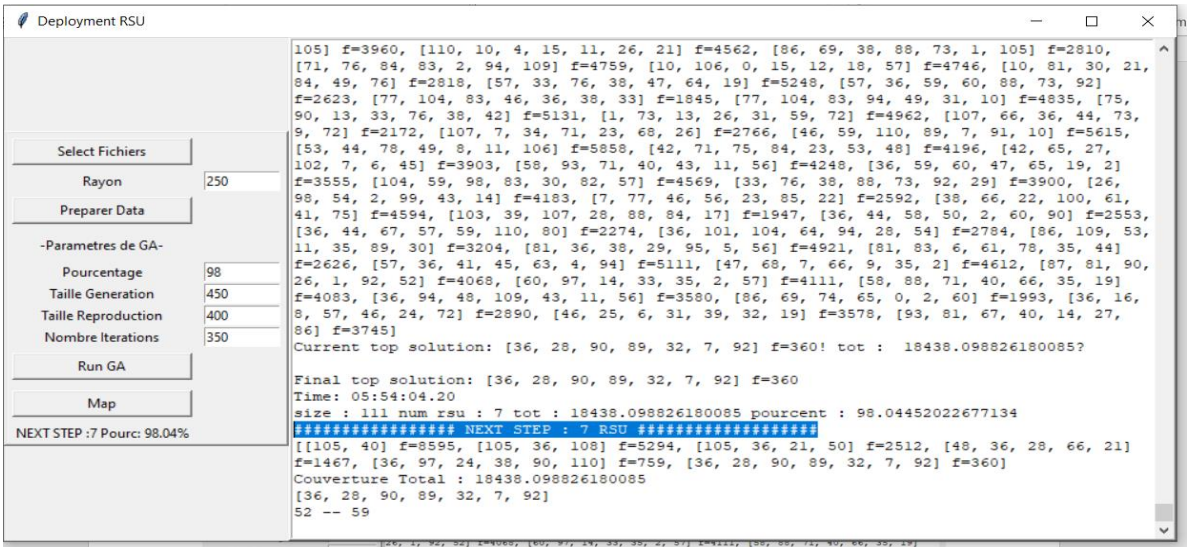


Figure 30:Affichages des points des intersections portées le RSU

Présentation d'un Map dans une zone donnée

Les entités géographiques sont présentées dans une série de couches couvrant une étendue géographique donnée (vous pouvez par exemple afficher des routes, fleuves, noms de lieux, bâtiments, limites politiques, altitudes de surface et images satellite). Dans chaque carte, les couches s'affichent dans un ordre particulier. Dans notre mémoire nous avons étudié le Map da la localité de KININDO en ville de BUJUMBURA.

Après ce résultat de la figure 30, on passe à la présentation d'un Map donné à partir de ce résultat trouvé en cliquant sur le bouton Map de l'interface nous donne la topologie comme nous nous montre sur la figure 31 suivante :

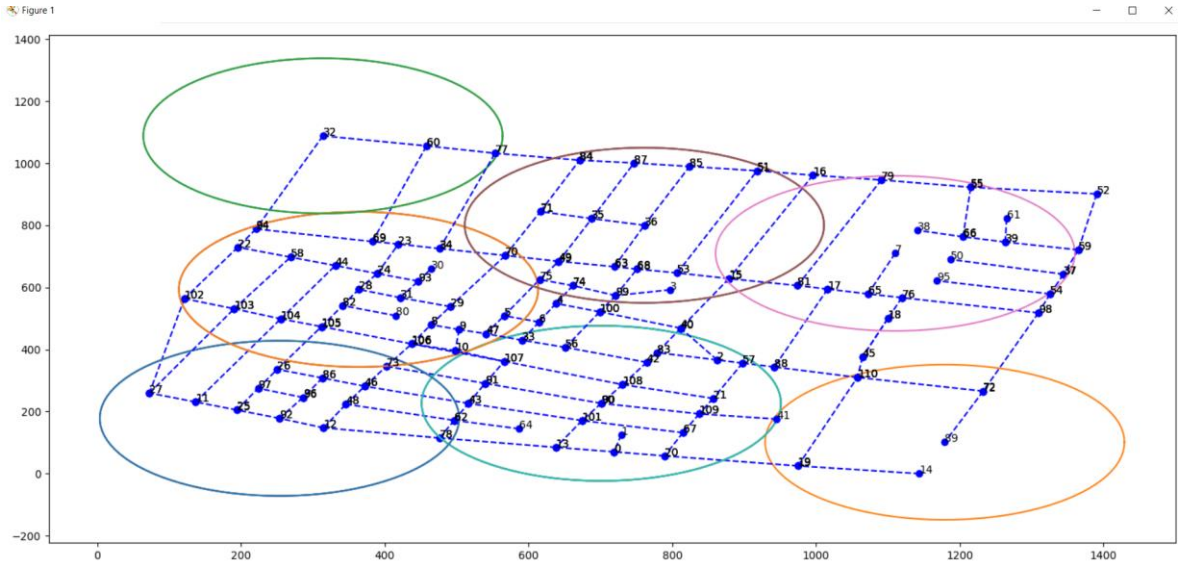


Figure 31: Présentation des RSU implantées dans la topologie routière

Présentation d'une couverture totale dans une zone donnée

La figure 32 qui suive montre la couverture totale de sept (7) unités de bords de la route.

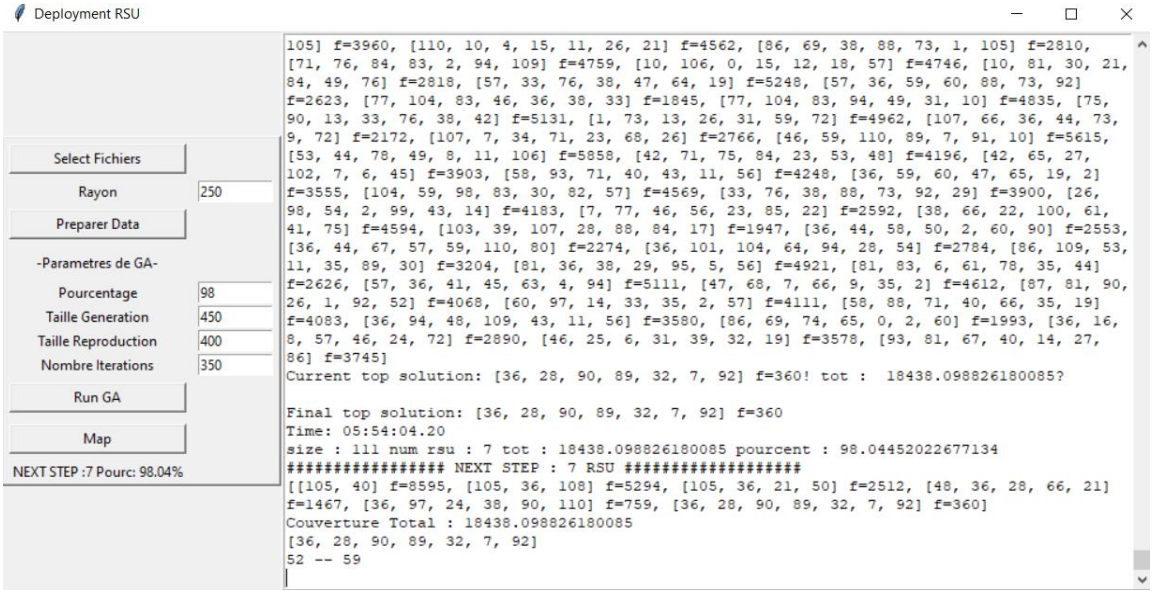


Figure 32: Résultat de simulation après l'exécution

VI.5.2. Comparaison des interfaces des résultats obtenus

Dans ce travail, nous faisons aussi la comparaison des résultats obtenus selon les paramètres mises dans l'interface d'un algorithme génétique. Nous allons voir sur le Map donné qu'il y a les chevauchements entre les unités de bords de la route ou pas. La figure 27 montre l'interface d'une algorithme génétique selon les paramètres. Nous allons comparer les résultats obtenus dans deux interfaces c'est à dire la figure 32 et la figure 33.

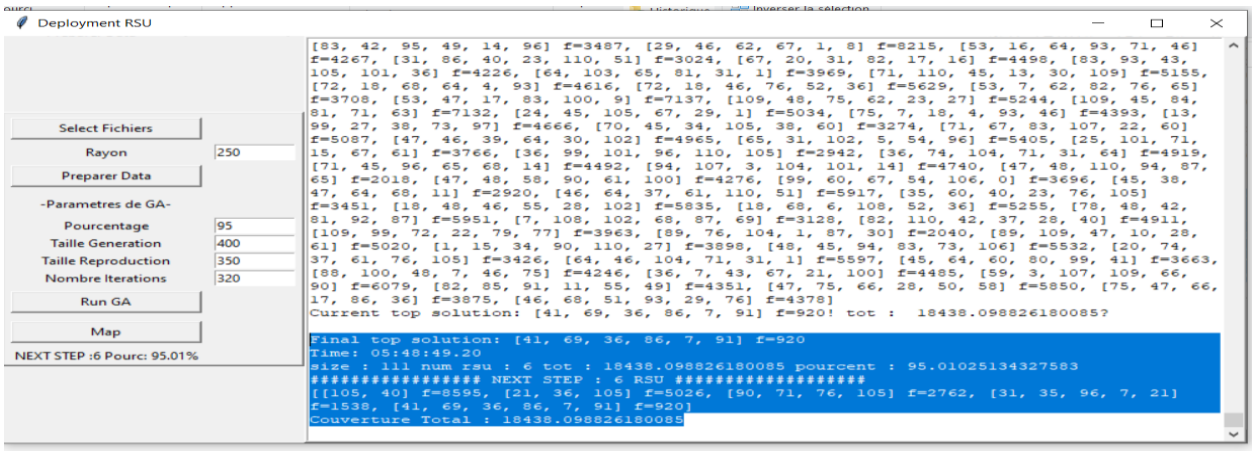


Figure 33 : Comparaison des interfaces de l'algorithme génétique selon les paramètre

Comparaison des Maps des résultats obtenus

Apres l'exécution nous montre le Map donné dans la figure 33**.**

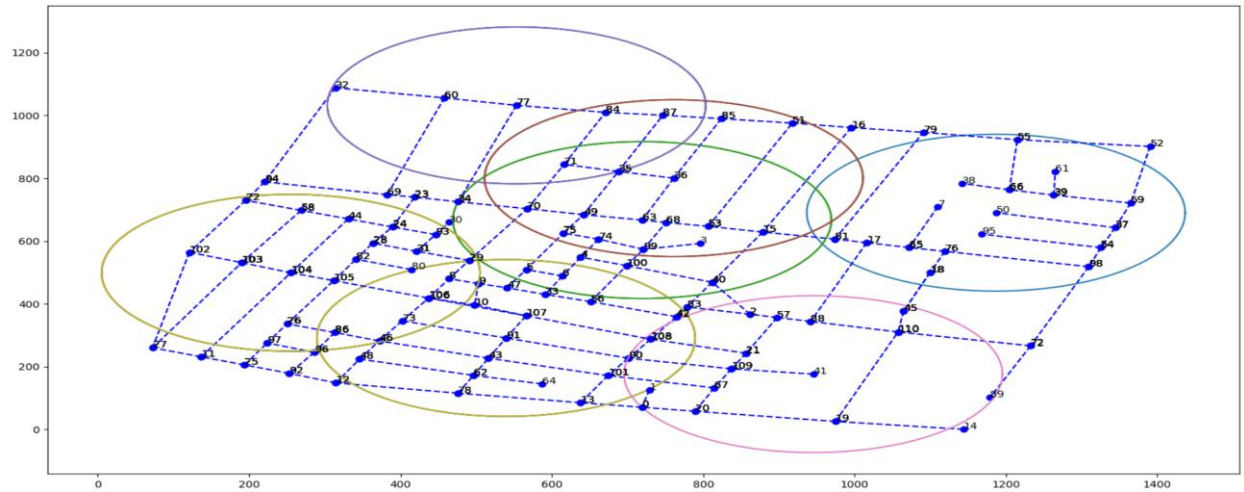


Figure 34: Résultat d'un Maps après l'exécution

Confrontation des chevauchements entre les Maps obtenus

En se basant sur les Maps donnés, nous allons comparer la figure 31 et la figure 33**,** nous avons constaté que dans la figure 33 qu'il y a des chevauchements des unités de bords de la route et que dans la figure 31 qu'il y a moins des chevauchements. Nous avons constaté que pour avoir la meilleure couverture de la topologie routière en utilisant les algorithmes génétiques que plus on augmente la valeur de la taille de génération, la taille de reproduction ainsi que la valeur du nombre d'itération, on aura la meilleure couverture de la topologie routière moins des chevauchements.

Dans ce projet, comme la portée des unités de bords de la route n'est pas là même selon le type de génération ; Nous avons étudié aussi sur la portée d'une de bords de route, la figure 35 montre l'interface d'un algorithme génétique dans le cas où le rayon d'une unité de bord de la route est égal 300 mètres et les autres paramètres varies comme vous voulez**.** Apres l'exécution**,** nous allons afficher le résultat.

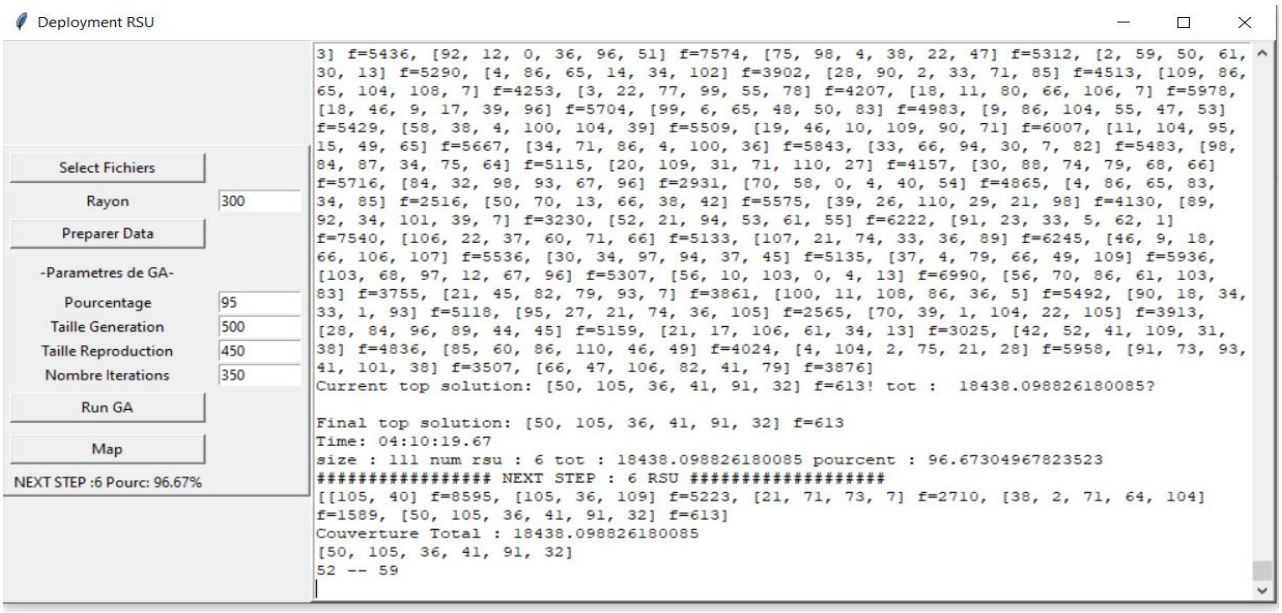


Figure 35: Présentation de variation de la portée d'une unité de bords de la route

Analyse sur la variation d'une portée d'une unité de bord de la route

En se basant sur la figure 35, nous constatons que selon les paramètres mises dans l'interface avec le rayon d'un RSU égal à 300 mètres, l'algorithme génétique détecte que le nombre de RSUs dans la zone prise en considération est égal à 6 RSUs. Nous avons conclu que plus la portée d'une unité

de bord de la route est grande plus le nombre des unités de bord de la route diminue dans la zone donnée. Apres l'exécution d'un Map nous donne la figure 36.

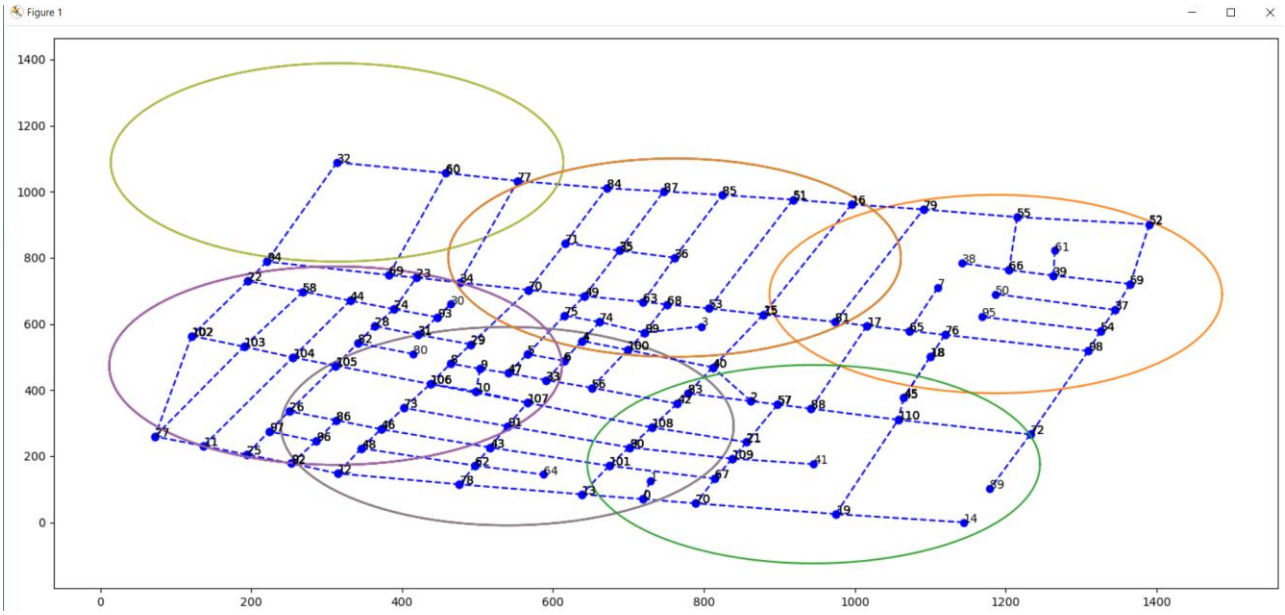


Figure 36: Présentation d'un Map de la variation de la portée d'une unité de bords de la route

VI.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons traité un problème d'optimisation combinatoire qui consiste à trouver et optimiser un nombre minimal des RSUs à déployer dans une zone urbaine prise en considération. Pour ce faire, nous avons été utilisé l'algorithme génétique. Nous avons été évalué le taux général de couverture pour les nombre de RSUs a été trouvé d'une manière incrémentale jusqu'à ce que ce taux soit au voisinage de 95% pour la couverture totale de tous les unités de bords de la route ; nous avons été aussi évalué les points des intersections qui portent les unités de bords de la route et leurs positions optimale.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMENDATIONS

Conclusion générale

Une classe unique de réseaux sans fil connue sous le nom de VANET possède des nœuds qui déplacent les automobiles sur la route. Les réseaux mobiles ad hoc de ce type sont une variante particulière de MANET avec des exigences supplémentaires. Ils encouragent le partage d'informations et la collaboration entre les conducteurs.

Il est conseillé de placer des RSU aux croisements de ce type de réseau pour assurer une diffusion efficace de l'information. Cependant, comme ces RSU sont plus ou moins chères, nous devons limiter leur disponibilité.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, il a été intéressant de concevoir et développer une application lui permettant de trouver et d'optimiser un nombre minimal des unités de bords de la route dans la zone donnée en utilisant l'algorithme génétique .

Les résultats obtenus sont prometteurs vu qu'on est arrivé à déployer le nombre exact des unités de bords de route au niveau des intersections et leurs positions optimales dans la zone urbaine prise en considération.

Recommandations

Le développement d'une telle application est un travail qui demande du temps suffisant et beaucoup des efforts. Cela a fait que certains modules ne soient pas développés. Je recommanderais aux futurs étudiants chercheurs ce qui suit :

1) Améliorer cette application en développant le module de routage,
2) Évaluer les performances des différents protocoles de routages dans le réseau véhiculaire. Et puis en lui injectant ces résultats dans le simulateur OMNET++ pour vérifier si les performances de routage sont acceptables en évaluant le taux de paquets "Request" sur les paquets "Replay" dans le réseau véhiculaire.

Au gouvernement du Burundi :

1) Adopter le nouveau système du transport intelligent pour faciliter l'amélioration de la sécurité routière ;

2) Encourager les enseignants qui suivent les étudiants pendant le processus de rédaction de mémoire car ils font un travail fatiguant sans aucune récompense ;
3) Financer ces travaux de recherche menés par les étudiants de master afin de consolider les recherches dans notre pays.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Amrani Hanane et Sebaa Amel, "*Conception et évaluation d'un protocole de routage basé sur EGYTAR pour les réseaux Vanets*", Mémoire de Master, Université de Tlemcen, 2017.

[2] Boudjaadar Amina ; « *Plateforme basée Agents pour l'aide à la conception et la simulation des réseaux de capteurs sans fil »*. Thèse de Magistère ; Université de Skikda ;2010.

[3] J.Lanford-Home RF: *Bringing Wireless Connectivity home-Intel Home RF technology Tutorial*; Avril 1999.

[4] Livre blanc ; « Sécurité des systèmes sans fil ». Cyber Networks; Janvier 2004.

[5] LAN-MAN; *Standards Committee of the IEEE Compter Society -802.11 IEEE Standard for Information technology;* 1999.

[6] Hannes Hartenstein and Kenneth Laberteaux. VANET: *Vehicular Applications and internetworking technologies, volume 1. Wiley Online Library*, 2010.

[7] Imen Brahmi, Hanen Brahmi, and Sadok Ben Yahia. *A multi-agents intrusion detection system using ontology and clustering techniques. In IFIP International Conference on Computer Science and its Applications,* pages 381–393. Springer, 2015.

[8] Papadimitratos P., La Fortelle A., Evenssen K., Brignolo R., Cosenza S., "*Vehicular communication systems: Enabling technologies, applications, and future outlook on intelligent transportation*", IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 11, pp. 84-95, November 2009.

[9] *IEEE Intelligent Transportation Systems Committee et al. IEEE trial-use standard for wireless access in vehicular environments (WAVE)-resource manager*. IEEE Std 1609.1-2006, pages 1-71, 2006.

[10] D. Jiang and L. Delgrossi, "IEEE 802.11p: *Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments*," *VTC Spring 2008 - IEEE Vehicular Technology Conference*, Singapore, 2008, pp. 2036-2040.

[11] J. B. Kenney, "*Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States*," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1162-1182, July 2011.

[12] Palpant M., "*Recherche exacte et approchée en optimisation combinatoire : schémas d'intégration et applications*", Thèse de Doctorat, Université d'Avignon, 2005.

[13] Reeves, C.: *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems. Advances topics in computer science*. Mc Graw-Hill, 1995.

[14] Nebbou T., *Fouchal H., Lehsaini M., Ayaida M. (2017) A Realistic Location Service for VANETs. In: Eichler G., Erfurth C., Fahrnberger G. (eds) Innovations for Community Services. I4CS 2017*. Communications in Computer and Information Science, vol 717. Springer, Cham, 2017.

[15] Hertz. *Les méta-heuristiques : quelques conseils pour en faire bon usage* 2000.

[16] Papadimitriou, *C. H. and Steiglitz, KCombinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*. Prentice-Hall. (1982).

[17] Charon, A. Germa, O. Hudry *Méthodes d'optimisation combinatoire. Edition Masson, France* (1996).

[18] *P.* Esquirol, P. Lopez ,*Concepts et méthodes de base en ordonnancement de la production. Ordonnancement de la production*, Edition Hermès, Paris (2001),

[19] J. Carlier, E. Pinson. *An algorithm for solving the Job-shop problem. Management* Science, N° 35, pp 164-176 (1989).

[20] : H. Farreny, M. Ghallab , *Eléments de l'intelligence artificiell*e. Edition Hermès, Paris.

[21] Sen, T., Raiszadeh, M., and Dileepan, P. (1988). *A branch and bound approach to the bicriterion scheduling problem involving total flowtime and range of lateness. Management Science*, 34(2) :254–260 (1987).

[22] Stewart, B. and White, C. *Multiobjective a*. Journal of the ACM, 38(4)* :775–814.

[23] White, D. (1982). *The set of efficient solutions for multiple-objectives shortest path problems.* Computers and Operations Research, 9 :101–107 (1991).

[24] E.G. *Talb .Métaheuristiques pour l'optimisation combinatoire multiobjectif*. Rapport C.N.E.T (France Télécom) Paris (1999).

[25] Hwang, C. and Masud, A. *Multiple objective decision making -methods and applications.* In Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems, volume 164. Springer-Verlag, Berlin (1979).

[26] Ishibuchi, H. and Murata, T.A *multi-objective genetic local search algorithm and its application to flowshop scheduling*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews, 28(3) :392–403 (1998).

[27] Collette.Y and Siarry.P, *Optimisation Multiobjectif, Eyrolles* 2002.

[28] R.E. Bellman, « *The Bellman continuum* ». Editions Robert S. Roth, 1986.

[29] I.H. Osman, G. Laporte, *Metaheuristics: A bibliography, Annals of Operations research*, 63: 511-623, 1996.

[30] M. Widmer, A. Hertz et D. Costa. "*Les métaheuritiques apparu dans « ordonnancement de la production* »" Edité par Pierre lopez et François Roubellat,

[31] S.Kirkpatrick, C.Gelatt, Jr and M.Vecchi, *optimization by simulated annealing, Science*, vol 220, No 4508, May 1983, pp, 671-680.

[32] Glover, F. "*Tabu Search – Part I", ORSA Journal on Computing* 1, 190-206 (1989).

[33] Dorigo M. and. Di Caro,.*The Ant Colony Optimization Meta-Heuristic,* In: D. Corne, M. Dorigo and F. Glover Editors, New Ideas in Optimization, McGraw-Hill 1999.

[34] J.H. Holland (1975) *Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan; re-issued by MIT Press (1992).*

[35] Holland, *J.Adaptation in artificial and natural systems. Ann Arbor: The University of Michigan Press* (1975).

[36] S. Bourazza, *Variantes d'algorithmes génétiques appliquées aux problèmes d'ordonnancement*. Thèse de Doctorat de l'Université du Havre, 2006.

[37] Goldberg, D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning (1st ed.).* Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA. (1989).

[38] Goldberg, D. E. *Real-coded genetic algorithms, virtual alphabets, and blocking.* Urbana, 51, 61801(1990).

[39] T. Vallée, M. Yildizoglu. *Présentation des algorithmes génétiques et de leurs applications en économie*. Décembre 2003, v. 4.2

[40] S. Bourazza, *Variantes d'algorithmes génétiques appliquées aux problèmes d'ordonnancement.* Thèse de Doctorat de l'Université du Havre, 2006.

[41] Gendreau, *M. (2003) An introduction to tabu search. In : Glover, F. & Kochenberger, G.A.* (eds.), Handbook of metaheuristics, Kluwer's International Series, 37-54.

[42] : *https://heurimind.inf.um.es/PMEDIAN/M-marcos_crisp.htm*

[43] Ahn, S., C. Cooper, G. Cornuéjols, et A.Frieze , *Probabilistic Analysis of a Relaxation for the k-Median Problem,* Mathematics of Operations Research 13, 1-31(1988).

[44] Beasley, J.E. *A note on Solving Large p-Median Problems, European Journal of Operational Reaseach* 21, 270—273 (1985).

[45] :Diehr, G. An *Algorithm for the p-Median Problem,* Working Paper 191, Western Management Science Institute, University of California at Los Angeles, (1972).

Annexes de codes sources de notre projet

https://github.com/ndayiathanase/deploiement-_RSU_GA/blob/main/main/version1.1.py