



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle



Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de la Maintenance en Instrumentation

Thème

Etude générale sur l'utilisation de l'intelligence artificielle dans la transformation du transport urbain

Présenté et soutenu publiquement par :

Larbi Amira

et

Berrani Rania

Devant le jury composé de :

| Nom et Prénom | Grade | Etablissement | Qualité |
|---------------------|-------|--------------------|------------|
| Adjloua Abdelaziz | MAA | IMSI-Univ. D'Oran2 | Présidente |
| Benarbia Taha | MCB | IMSI-Univ. D'Oran2 | Encadreur |
| Benfekir Abderrahim | MCB | IMSI-Univ. D'Oran2 | Examineur |

Année 2020/2021

Résumé

Dans les dernières années le boom de l'internet et l'intelligence artificielle ont transformé nombreux secteurs économiques tel que le transport, l'agriculture, le commerce, l'enseignement...etc. La mobilité et le transport sont considérés comme l'un des piliers pour des futures villes intelligentes. Avec la révolution de l'internet, énormes applications sur Smartphone et travaux de recherche sont apparues pour améliorer la mobilité et résoudre énormes défis tel que la minimiser la congestion dans les villes. A cet égard, nous avons essayé de donner une étude générale sur l'impact de l'internet et l'intelligence artificielle sur le transport urbain, et comment cette technologie a pu révolutionner ce secteur. De plus, nous avons essayé de faire une investigation bibliographique sur les derniers travaux de recherche en vue de transport urbain et la mobilité de la population. A partir de cela on a classifié cette investigation en fonction des outils et méthodologies utilisés comme Réseaux de Pétri, réseaux de neurone, modélisation mathématique, optimisation heuristique, dont le but de résoudre différents problèmes sur le transport urbain, tel que la congestion, aménagement des conflits, problème de batterie des voitures électriques.

Mots clé associés

Transport urbain, mobilité quotidiennes, l'intelligence artificielle, mobilité, villes intelligentes, Espace urbain, développement durable, flux.

Abstract

In the last few years the boom of the internet and artificial intelligence have transformed many economic sectors such as transport, agriculture, commerce, education, etc. Mobility and transport are seen as one of the pillars for future smart cities. With the internet revolution, huge smartphone applications and research have emerged to improve mobility and solve huge challenges such as minimizing congestion in cities. In this regard, we have tried to give a general study on the impact of the internet and artificial intelligence on urban transport, and how this technology was able to revolutionize this sector. In addition, we have tried to do a bibliographic investigation on the latest research work with a view to urban transport and population mobility. From this we have classified this investigation according to the tools and methodologies used such as Petri nets, neural networks, mathematical modeling, heuristic optimization, the aim of which is to solve various problems on urban transport, such as congestion, conflict management, battery problem of electric cars.

الملخص

في السنوات القليلة الماضية، أدى ازدهار الإنترنت والذكاء الاصطناعي إلى تحويل العديد من القطاعات الاقتصادية مثل النقل والزراعة والتجارة والتعليم، إلخ. يُنظر إلى التنقل والنقل على أنهما أحد أعمدة المدن الذكية في المستقبل. مع ثورة الإنترنت، ظهرت تطبيقات وأبحاث ضخمة للهواتف الذكية لتحسين التنقل وحل التحديات الضخمة مثل تقليل الازدحام في المدن. في هذا الصدد، حاولنا تقديم دراسة عامة عن تأثير الإنترنت والذكاء الاصطناعي على النقل الحضري، وكيف تمكنت هذه التكنولوجيا من إحداث ثورة في هذا القطاع. بالإضافة إلى ذلك، حاولنا إجراء تحقيق ببيوغرافي حول أحدث الأعمال البحثية بهدف النقل الحضري وتنقل السكان. من هذا صنفنا هذا التحقيق وفقاً للأدوات والمنهجيات المستخدمة مثل شبكات بتري، والشبكات العصبية، والنمذجة الرياضية، والتحسين التجريبي، والهدف من ذلك هو حل المشكلات المختلفة في النقل الحضري، مثل الازدحام، وإدارة الصراع، والبطارية مشكلة السيارات الكهربائية.

Remerciements

Alhamdulillah, c'est par la grâce d'Allah le tout puissant que nous avons achevé notre cursus universitaire.

Tout d'abord nous exprimons nos remerciements à notre encadreur, Monsieur Taha Benarbia pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils qui nous ont permis d'avancer à l'élaboration et à l'accomplissement de ce travail.

Nous tenons à exprimer également notre profonde gratitude au membre du jury, qui nous fait l'honneur de juger et examiner notre projet de fin d'étude.

Ces expressions vont à l'attention de :

Messieurs Adjloua Abdelaziz et Benfekir Abderrahim.

Nous remercions également :

Monsieur Ghouari Adel Enseignant à l'institut de maintenance et sécurité industrielle (Univ Oran 2) d'être disponible et attentif malgré ses responsabilités nombreuses, de ses orientations pour faire une présentation.

Nous aimerions également exprimer notre gratitude à l'ensemble de nos familles pour leur aide inconditionnelle et leur soutien quotidien.

Enfin, nous tenons à témoigner toute nos reconnaissances aux toute personne de près ou de loin qui a contribué au succès de ce modeste travail, un grand merci à mes ami(e)s pour leur présence et encouragement et un spécial merci à Nesrine et Farah d'être toujours là pour moi.

Dédicaces

Je dédie ce présent mémoire de fin d'étude qui a couronné cinq années d'études à l'issue desquelles nous avons pu obtenir notre diplôme de Master 2 ingénierie en maintenance et instrumentation :

A l'âme de ma mère puisse-t-elle repose en paix.

A mon chère père que dieu lui protège, chers familles et à tous ma proche pour leur appui et leur encouragement permanents tout au long parcours afin que ce travail soit achevé.

Un grand merci à mon chère frère Amine et ma copine Sarra .

Merci d'être toujours là.

Dédicaces

Je dédie ce présent mémoire de fin d'étude qui a couronné cinq années d'études à l'issue desquelles nous avons pu obtenir notre diplôme de Master 2 ingénierie en maintenance et instrumentation :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs Assia et Sarra pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères Abdeljalil et Abdelillah pour leur appui et leur encouragement,

A Oussama d'être toujours là pour moi

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi

Félicitation maman c'est ta première réussite.

Tableau des abréviations

| Projets CIVITAS | | | | |
|--|---|--------------------------|---|---------------|
| Acronyme | Titre | Programme de financement | Villes | Durée |
| CIVITAS <u>ARCHIMEDES</u> | Réaliser un réel changement par des mesures de transport novatrices apportant des économies d'énergie concrètes | PC7 | Aalborg, Brighton and Hove, Donostia-San Sebastián, Iasi, Monza, Ústí nad Labem | 2008– 2012 |
| CIVITAS ELAN | | PC7 | Ljubljana, Gand, Zagreb, Porto, Brno | 2008– 2012 |
| CIVITAS <u>MIMOSA</u> | Innover pour des actions durables de mobilité | PC7 | Bologne, Funchal, Utrecht, Gdansk, Tallinn | 2008– 2012 |
| CIVITAS MODERN | Mobilité, développement et réduction de la consommation d'énergie | PC7 | Brescia, Coimbra, Craiova, Vitoria-Gasteiz. | 2008– 2012 |
| CIVITAS RENAISSANCE | | PC7 | Pérouse, Bath, Gorna-Oryahovitsa, Szczecinek , Skopje | 2008– 2012 |

| Mobilité verte dans les villes et les recherches . | | | | |
|--|---|--------------------------|---|---------------|
| Acronyme | Titre | Programme de financement | Site web du projet | Durée |
| BEAUTY | Moteur au bio-éthanol pour transport urbain d'avant-garde par véhicules utilitaires légers & lourds | PC7 | http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&PJ_RCN | 2009– 2011 |

| | | | | |
|-----------------------------|--|-----|---|---------------|
| | | | =10422794 | |
| CITYHUSH | Véhicules et zones urbaines moins bruyants | PC7 | http://cityhush.eu/ | 2010– 2012 |
| SAFEEV | Petits véhicules électriques sûrs via des méthodologies avancées de simulation | PC7 | http://cordis.europa.eu/projects/index.cfm?fuseaction=app.details&REF=105864 | 2012– 2015 |
| PUBLIC PUT IN MOTION | Participation du public et innovation en matière de transports urbains | PC7 | http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&PJ_RCN=11351786 | 2010– 2012 |
| NEWCOMPACTISM | Nouvel urbanisme ou cité compacte | PC7 | http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&PJ_RCN=12898151 | 2012– 2014 |

| Acronymes | Titre |
|------------------|---|
| T | Tramway |
| BHNS | Bus A Haut Niveau De Service |
| PNAE | Plan National D'actions Environnementales |
| CE | Commission Européenne |
| UE | Union Européenne |
| TRS | Synthèse Thématique Des Recherches |

| | |
|----------------|--|
| TLC | Technologies De L'information Et De La Communication |
| STA | Systèmes De Transport Automatisés |
| STI | Systèmes De Transport Intelligents |
| CO2 | Dioxyde De Carbone |
| CIVITAS | Initiative Pour Une Ville Durable Et Vivante |
| PC5 | Cinquième Programme-Cadre |
| PC6 | Sixième Programme-Cadre |
| PC7 | Septième Programme-Cadre |
| IA | Intelligence Artificielle |
| IIM | Institut De L'internet Et De Multimédia |
| GPS | Global Positioning System |
| IOT | Internet Of Things |
| WIFI | Wireless Fidelity |
| IDO | Internet Des Objets |
| PVE | Petits Véhicules Sures |
| RdP | Réseau De Pétri |
| RdPH | Réseau De Pétri Hybride |
| TAD | Transport A La Demande |
| SMA | Système Multi Agent |
| AN | Artificielle Neurones |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: Le métro de Marseille..... | 8 |
| Figure 2: Tramway..... | 8 |
| Figure 3: Trolleybus à LandsKrona, Suede | 9 |
| Figure 4: Funiculaire à Valparaiso au Chili | 11 |
| Figure 5: Bateau-bus du réseau Mistral..... | 12 |
| Figure 6: Une station de Velo à Lyon | 15 |
| Figure 7: Ville intelegente..... | 22 |
| Figure 8: Les caractéristiques de la ville intelligente | 23 |
| Figure 9: Mobilité verte..... | 25 |
| Figure 10: Dépense totale de transport par mode 2017..... | 27 |
| Figure 11: Machine learning et L'intelligence artificielle | 29 |
| Figure 12: L'IOT et le transport..... | 36 |
| Figure 13: Familles de cas d'usage de L'IOT dans le secteur du transport public | 38 |
| Figure 14: Le big data et le transport..... | 41 |
| Figure 15: Evolution d'un réseau de Pétri..... | 63 |
| Figure 16: Structure générale d'un algorithme génétique | 67 |
| Figure 17: Schéma de problème d'optimisation de l'algorithme méta heuristique..... | 68 |
| Figure 18: Schéma synoptique de deux neurones connecté..... | 70 |
| Figure 19: Structure fonctionnelle d'un neurone artificielle..... | 71 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Effets du transport routier sur l'environnement. | 20 |
| Tableau 2:Eléments de base d'un réseau de Pétri..... | 62 |
| Tableau 3 : comparaison entre l'algorithme Heuristique et Méta heuristique | 69 |

Table des matières

Résumé

Abstract

الملخص

Remerciements

Tableau des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

CHAPITRE I: Étude générale sur un système de transport urbain

I. 1. Introduction..... 3

1.1. Définition générale de service du transport urbain 3

I.2. Définition de la notion du service public de transport urbain 3

2.1. Définition de la notion de service public 3

2.2. Définition de la notion du service public en réseaux 4

2.3. Définition du transport urbain..... 4

2.4. Définition de la mobilité urbaine 5

I.3. Les caractéristiques d'un mode de transport 5

I.4. Les principes de service public applicables au transport urbain 6

4.1. Principe d'égalité 6

4.2. Principe de continuité..... 6

4.3. Principe d'adaptation ou de mutabilité 7

I.5. Les obligations du service public de transport urbain 7

I.6. Les modes de transport actuels 7

6.1. Transport de voyageurs (transports en commun)..... 7

6.2. Modes de transport individuels motorisés 12

6.3. Modes de transports actifs..... 15

I.7. Les défis de transport urbain..... 16

7.1. Externalités positives 16

| | |
|---|-----------|
| 7.2. Externalités négatives..... | 17 |
| I.8. Conclusion..... | 21 |
| Chapitre II: L'internet et la transformation de transport urbain | |
| II. 1. Introduction | 21 |
| 1.1. Villes intelligentes..... | 22 |
| II.2. Les caractéristiques de la ville intelligente..... | 23 |
| II.3. Un exemple de ville intelligente en Europe | 24 |
| II.4. Mobilité verte | 25 |
| II.5. Intelligence Artificielle (IA) et la transformation de la mobilité | 26 |
| II.6. L'IA et le transport..... | 27 |
| 6.1. Définition de L'Intelligence Artificielle | 28 |
| 6.2. Meilleurs systèmes de gestion des transports | 29 |
| 6.3. Exemples de systèmes basés sur l'IA | 29 |
| 6.4. Quelques applications à base l'intelligence artificielle en vue le transport..... | 34 |
| II.7. L'influence de L'IOT (Internet Of Things) au transport | 35 |
| 7.1. La définition de l'IOT | 37 |
| 7.2. Les enjeux de l'IOT dans le secteur du transport public | 37 |
| 7.3. Les familles de cas d'usage IoT dans le secteur du transport public..... | 37 |
| 7.4. Les enjeux principaux de l'IOT | 38 |
| 7.5. Les spécificités de l'IoT dans le secteur du transport public..... | 39 |
| II.8. Le Big Data et le transport | 41 |
| 8.1. Définition de Big data | 42 |
| 8.2. Les utilisations de big data..... | 42 |
| II.9. L'utilité des applications pour déplacement | 44 |
| II.10. quelques applications | 45 |
| II.11. Conclusion..... | 50 |

CHAPITRE III: Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

| | |
|---|-----------|
| III. 1. Introduction | 51 |
| III. 2. Synthèse bibliographiques | 51 |
| 2.1.Réseau De Pétri (RDP)..... | 51 |
| 2.2. MATSIM..... | 54 |
| 2.3. Algorithme génétique..... | 56 |
| 2.4. Méta-heuristiques | 60 |
| III.3. Définition des outils de modélisation | 61 |
| 3.1. Réseau de Pétri | 61 |
| 3.2. System multi agent..... | 63 |
| 3.3. Les algorithme génétique | 65 |
| 3.4. Méta-heuristiques | 68 |
| 3.5. Réseau de neurones | 70 |
| III.4. Conclusion | 72 |
| Conclusion générale | 73 |
| Références..... | 74 |

Introduction générale

De nos jours, le secteur de transports fait face à des problématiques d'une grande échelle technique, particulièrement dans le contexte algérienne qui se caractérise par un parc automobile important. L'élargissement technologique du secteur (drones, véhicules autonomes en site propre ou en milieu multi-usagers), la variété des métiers adressés, les contraintes environnementales et sociétales augmentent encore cette complexité. Face à ces enjeux, des solutions doivent être mises en œuvre dans des délais toujours plus courts, avec une qualité de service accrue, tout en optimisant les coûts. Des solutions informatiques cherchent à répondre depuis plusieurs années à cette complexité en associant différentes approches. Dans ce cadre, l'Intelligence Artificielle est exploitée depuis ses origines, combinée, le cas échéant, avec d'autres techniques informatiques et méthodes mathématiques (recherche opérationnelle, théorie des graphes, optimisation sous contraintes, ...).

L'organisation des transports urbains de voyageurs est devenue un des problèmes majeurs des grandes agglomérations mondiales et des villes moyennes des pays développés et en voies de développements. En effet, au cours de ces dernières années, les problèmes des déplacements urbains ont acquis une complexité et une acuité croissantes. Ceci est le résultat de l'action conjuguée de deux phénomènes universels : la très forte croissance des populations urbaines dans les démographies nationales (8 milliards fin 2020) et l'expansion importante et régulière de l'automobile.

Les villes se sont étendues à une échelle géographique jusqu'alors inconnue. Les longueurs des déplacements urbains ont augmenté. L'automobile a envahi la voirie, y créant une congestion d'une ampleur exceptionnelle. Au-delà de la congestion c'est la qualité de la vie urbaine qui est à présent menacée : bruit, pollution atmosphérique, dégradation de l'environnement, transports de plus en plus pénibles. Si les notions de planification et d'urbanisme sont relativement anciennes, la notion de planification des transports urbains via les TIC et l'intelligence artificielle n'ont apparus que récemment, avec la saturation de la voirie engendrée par le développement de la circulation automobile.

Les préoccupations écologiques et la crise de l'énergie, jointes à une inquiétude croissante devant le coût élevé des dépenses d'infrastructures, ont provoqué une évolution des mentalités et des comportements qui sont à l'origine des changements observés récemment. La période qui suivit la seconde guerre mondiale fut caractérisée par l'apparition de l'automobile en tant que mode de transport urbain de masse. On considérait alors que chacun des modes de transport, voiture particulière et transports publics, devait se développer en fonction de ses mérites propres et indépendamment l'un de l'autre, ou plutôt concurremment. Cette situation a, en fait, conduit à la régression progressive du rôle des réseaux de transports publics utilisant la voirie.

D'autre part, l'adaptation de la ville traditionnelle au concept de la Smart City a vite montré ses limites. Aussi, dans les années 1973-2021, commence-t-on à percevoir l'interaction entre le rôle du transport public et celui de la voiture individuelle. Mais l'époque se caractérisait encore par une très grande confiance dans les possibilités d'une expansion économique

indéfinie et du progrès technique. A peu près partout, on commença à construire des infrastructures nouvelles permettant de développer aussi bien la circulation automobile individuelle que celle des transports publics. Ce n'est qu'au début de l'actuelle décennie qu'aux considérations strictement économiques sont venues s'ajouter d'autres motivations, de nature sociale et urbanistique. De plus, à une période de croyance en un progrès continu a succédé une période d'incertitude et de difficultés économiques. Tout ceci a conduit les responsables des politiques de transports à accorder la priorité au développement des transports en commun à travers une politique plus globale des transports urbains.

Les améliorations les plus récentes, s'orientent vers la mise place systématique de plans de circulation visant à limiter la circulation automobile et améliorer l'efficacité des transports en commun, la création d'une autorité unique en matière de transports (communauté de transport), l'intégration physique des réseaux de transports existants (interconnexion), l'institution de nouvelles formes de tarification (tarification par zones) et de financement (versement transport). Parallèlement le recours vers l'utilisation des techniques comme l'intelligence artificielle, IOT et Big data sont primordiales pour faire face à cet enjeu, plus aisément adaptables à la desserte des banlieues lointaines ou des secteurs où l'habitat individuel domine.

Les objectifs de notre mémoire sont :

- 1- Déterminer l'influence de nouvelles technologies sur l'efficacité du transport urbain ;
- 2- Définition ainsi état de l'art des villes intelligentes
- 3- Diagnostique des problèmes du réseau de transport actuel
- 4- Elaboration d'une synthèse bibliographique sur les travaux de recherches dans le demain de transport urbain ainsi que les méthodes utilisées pour résoudre ses problèmes

Notre mémoire sera décomposé en trois chapitres, le premier sera consacré à la présentation et la définition du transport urbain. Ainsi, nous donnerons la description détaillée des principes de services publics, les obligations au sien du service de transport. En revanche, nous terminerons ce chapitre avec l'identification des différent modes et défis du transport urbain.

Le deuxième chapitre est réservé à la description du concept de la ville intelligente 'Smart City', via la définition du principe de la ville intelligente et ses caractéristiques de bases. En conséquence, nous permettrons aux lecteurs de s'approfondir dans l'étude des systèmes de gestion de l'information au sien d'une ville intelligente. Egalement, nous permettrons à nos lecteurs de connaître les principales techniques utilisées telle que : IA, IOT et le Big Data.

Le dernier chapitre sera consacré essentiellement à une synthèse bibliographique sur les méthodes utilisées pour résoudre les principaux problèmes de transport urbain, en première lieu nous donnerons une attention particulière à l'utilisation de l'intelligence artificielle, réseaux de péteri matsim, les algorithmes génétiques et métha-heuristique, pour analyser le fonctionnement du transport urbain.

CHAPITRE I

**Étude générale sur un
système de transport urbain**

I. 1. Introduction

La notion de service public regroupe toutes activités d'intérêt général, d'utilité et d'autorité publique. Il est l'entité qui assume la responsabilité et la gestion, il s'introduit dans la sphère économique, pour donner naissance à la catégorie des services publics industriels et commerciaux, dont se détache aujourd'hui celle de services publics en réseaux (transport, postes, télécommunication...).

Le transport urbain est clairement identifié comme étant la mobilité des personnes dans une ville et représente un des plus importantes activités humaines. Un service de transport urbain de personnes efficient est un élément essentiel pour l'équilibre d'une ville et participe au développement des relations sociales et économiques.

Nous allons présenter dans ce chapitre une description générale sur les systèmes transports urbains, apporter quelques éclaircissements sur la notion du service public, et service public en réseaux, ainsi que ses principes.

1.1. Définition générale de service du transport urbain

Le transport urbain en générale est le déplacement des personnes ou des biens d'un endroit à un autre. Il prend plusieurs formes selon les moyens utilisés. Le transport urbain constitue un vecteur de la croissance économique et un moyen indispensable de l'activité humaine. Dans le cadre de cette section.

Nous allons présenter quelques définitions relatives aux notions de service du transport urbain et ses principes. Ainsi les modes de transport dans la ville et ses caractéristiques.

I.2. Définition de la notion du service public de transport urbain

Le transport urbain est principalement un service public et particulièrement un service en réseaux. Alors, pour définir la notion de transport urbain, il faut d'abord définir les deux notions, service public et service public en réseaux.

2.1. Définition de la notion de service public

Le service public, un concept flou et imprécis qui ne dispose pas d'une définition précise. La tradition classique de l'économie politique reconnaît la notion de service public, depuis

le 20^{ème} siècle. La réflexion économique sur le service public s'appuie le plus souvent sur la théorie néoclassique. Les juristes s'intéressent également au service public depuis les années 1980¹; ce qui lui a donné son importance et ses caractères principaux, pour devenir par la suite le critère exclusif du droit administratif². La conception actuelle du service public est largement élaborée, à partir de l'émergence d'une part de la notion d'intérêt général « on ne peut pas interroger les services publics sans questionner l'intérêt général auquel ils se réfèrent »³ d'autre part, de la représentation d'un bien commun.

2.2. Définition de la notion du service public en réseaux

Il existe plusieurs définitions du réseau parmi lesquelles on a choisi de retenir deux visions, une de l'ingénieur et une autre de l'économiste:

Selon un économiste, les réseaux se définissent comme des objets qui mettent en relation les fournisseurs et les consommateurs de certains biens et services. Ainsi, le réseau est le lieu technique de concrétisation d'une intermédiation économique, il représente un instrument d'échange marchand entre des producteurs et des consommateurs, la plate-forme transactionnelle permettant la confrontation d'une offre et d'une demande⁴.

2.3. Définition du transport urbain

Le transport, nous pouvons donner au départ une définition en termes physiques : c'est l'acte qui consiste à déplacer des personnes ou des produits dans l'espace. Il est alors possible de préciser un certain nombre de critères techniques applicables à ce déplacement et permettant déjà de la spécifier et d'opérer certaines typologies. Nous en proposerons quatre

- **La rapidité**: qui agoni portance dans la vitesse de circulation des marchandises et donc de rotation des capitaux, et qui occupe une place de premier plan dans les transports de personnes;
- **La régularité** : tant en matière d'approvisionnement pour les industriels et les commerçants, que pour la desserte des voyageurs.
- **La sécurité** : des personnels, des entreprises de transport, des passagers et des personnes non directement impliquées, mais aussi des produits transportés L'adéquation: des moyens de transport à la nature de l'activité: transport par « containers », par frigorifique, etc. pour les produits, confort pour les personnes⁵.

Nous constatons que ces critères peuvent s'appliquer indifféremment aux transports de personnes et aux transports de produits. Nous remarquons, également, que les critères proposés s'appliquent à l'acte de déplacement proprement dit et ne visent pas les formes organisationnelles repérables dans l'activité de transport.

Le transport urbain; est une activité de production de service qui réunit les moyens humaines, matérielles tels que les véhicules ,les techniques d'exploitation ,la réglementation et l'infrastructure, dont la finalité fondamentale est de satisfaire un besoin de déplacement des citoyens et atteindre des fins individuels ou collectifs, dans les meilleurs conditions de confort, de disponibilité, de coût, d'efficacité ...etc.

2.4. Définition de la mobilité urbaine

La mobilité urbaine concerne les déplacements des individus pris dans un environnement urbain, pour l'opposer aux déplacements inter urbains. Traditionnellement, la mobilité urbaine intéresse l'ensemble du déplacement s'effectue de manière quotidienne par les individus en milieu urbain. Elle relève des activités habituelle sou routinière des individus. La mobilité urbaine exclut par conséquent les déplacements exceptionnels comme les déplacements pour vacances .Elle concernent au contraire les déplacements récurrents liés au travail aux achats et aux loisirs. Elle est parfois qualifiée de mobilité relative aux activités des individus ⁶ .

La mobilité urbaine est généralement mesurée par le nombre de déplacement s'effectue, au cours d'une journée, d'une semaine, par l'ensemble des membres d'un ménage, par un adulte ou par une personne de plus de sixains.

I.3. Les caractéristiques d'un mode de transport

Les Caractéristiques d'un mode de transport, s'articulent autour des quatre dimensions fondamentales citées précédemment ; la vitesse (de la circulation automobile, des autobus...), la capacité rapportée à l'espace utilisé, l'économie (coût de construction des infrastructures, coût de fonctionnement, consommation d'énergie) et le confort, qui peut être apprécié de diverses façons ⁷:

- L'espace disponible par voyageur (debout ou assis).
- La nécessité ou non de changer de moyens de transport en cour de trajet.
- L'existence et l'importance des trajets terminaux à pied.

- La fréquence
- L'intimité : caractère propre aux transports individuels, outre un confort physique et esthétique satisfaisant pour l'automobile, celle-ci offre un avantage considérable : la possibilité de ne voyager qu'avec des personnes de son choix pour beaucoup, c'est là un élément décisif, que l'insécurité qui règne au sein des transports en commun, aux Etats-Unis comme en Europe, ne peut que conforter ;
- Le confort physique (forme et qualité des sièges);
- L'agrément esthétique (aménagement des véhicules, des stations, des paysages traversés).

I.4. Les principes de service public applicables au transport urbain

La qualification de service public est soumise au respect de critères fondamentaux. Souvent appelés « lois de Rolland »⁸, ces règles et principes sont des critères de ressemblance à tous les services publics. On distingue donc trois principes communs à tous les services publics et urbains : principe d'égalité, principe de continuité et principe de mutabilité.

4.1. Principe d'égalité

C'est le principe selon lequel la personne en charge d'un service public doit traiter d'une manière identique les usagers de ce service public, chacun doit être à même de bénéficier des prestations du service public sans se trouver en position d'infériorité en raison de sa condition sociale, de son handicap, de sa résidence, ou de tout autre motif tenant à sa situation personnelle ou à celle du groupe social dont il fait partie.⁹ De même l'accès égalitaire aux différentes infrastructures de transport existantes est assuré pour les différents usagers.

4.2. Principe de continuité

C'est le principe selon lequel le fonctionnement du service public doit être assuré de manière régulière ou continue ; il doit aussi satisfaire de façon continue les besoins collectifs, sans interruption de son fonctionnement, ce qui exige l'implication de la mise en place d'un service minimum en cas de grève.

La continuité des services publics signifie en quelques sortes la continuité de l'Etat.

L'existence des infrastructures de transport nécessaires revêt d'une importance principale pour garantir la continuité de service public de transport, car sans infrastructure, il est impossible d'assurer le service de transport

4.3. Principe d'adaptation ou de mutabilité

Le principe d'adaptation ou de mutabilité implique qu'en raison de la poursuite permanente de l'intérêt général, le service public doit être évolutif dans le temps et dans l'espace, s'adapte aux mutations économiques et sociales et à la volonté du législateur. Ce qui signifie que le service public doit pouvoir s'adapter à l'évolution des besoins du public et au changement des techniques. En application du principe de mutabilité, les usagers du service public n'ont aucun droit au maintien des conditions de fonctionnement du service. Cela signifie que les usagers ne peuvent s'opposer à des modifications dans les conditions de fonctionnement du service, ni à la suppression du service ¹⁰.

I.5. Les obligations du service public de transport urbain

Les obligations du service public constituent plutôt un aménagement du principe de continuité qu'une règle autonome. Il a divers aspects, l'usage peut se voir imposer des modifications dans le fonctionnement du service lorsque celles posées par l'intérêt public. Il en va de même pour l'agent public. En contrepartie, l'administration est tenue pour fautive si elle n'a pas adapté le service au changement de circonstances en affectant le fonctionnement. Le pouvoir de modification que possède l'administration dans l'exécution des contrats administratifs trouve son fondement et ses limites dans les nécessités d'adaptation du service ¹¹.

Les transports urbains doivent être davantage organisés et répondre à des objectifs d'obligation de service public et ayant le souci de prise en charge des catégories les plus défavorisées en termes d'accessibilité et de tarifs ¹².

I.6. Les modes de transport actuels

6.1. Transport de voyageurs (transports en commun)

Le choix du mode de transport est un choix crucial. Les choix poussés par le débit de voyageurs, la vitesse commerciale ou le confort, ou plus simplement par le coût financier ou l'environnement urbain, privilégient tel ou tel moyen de transport, au détriment des autres.

Parmi les suivants, on va voir que certains ont plus la cote (voiture, métro) que bien d'autres (bateau, trolleybus)

a) Métro



Figure 1: Le métro de Marseille

C'est un transport souvent associé à la ville, le « Subway » de New York, le métropolitain de Paris. Ce moyen de transport se retrouve principalement dans les grosses agglomérations ¹³. L'agglomération la moins peuplée disposant d'un métro est Lausanne en Suisse (140 000 habitants, agglomération 350 000, inauguration le 18 septembre 2008 ¹⁴)

b) Tramway



Figure 2: Tramway

Le tramway, anciennement très développé en France et dans le monde, petit à petit abandonné en France au milieu du siècle dernier, au profit de la voiture ¹⁵, qui revient, désormais, dans l'aménagement urbain, puisqu'il est généralement conçu en repensant la ville autour de lui, et qu'il amène beaucoup de nouveaux voyageurs aux réseaux de transport

en commun. Ce nouvel essor est ressenti dans de nombreuses parties du monde, l'Afrique du Nord, le Moyen-Orient, l'Australie par exemple. Cependant, les villes d'Europe de l'Est et d'URSS ont conservé des réseaux importants ¹⁶.

c) Train

Ce mode de transport est aussi réservé aux agglomérations étendues et denses, en général multimillionnaires. On pense au RER parisien et aux S-bahn allemands, très développés. Le principe est de doubler le réseau de métro par des liaisons plus rapides, entre des stations plus espacées (stations de correspondances). Hors de la ville, les voies utilisées sont celles d'un chemin de fer classique, avec des gares possédant des parkings pour rapatrier les voitures sur le réseau de transports collectifs.

Le tram-train apparaît aussi comme une solution pour lier les zones urbaines/interurbaines, avec un développement à Montpellier (l'appellation reste « Tramway » mais la vocation est de desservir les zones rurales environnantes), le T4 de Paris, ou encore le projet des tram-trains de l'Ouest Lyonnais

d) Bus

C'est un mode de transport collectif motorisé répandu. Des plus petites villes aux plus grosses métropoles, il constitue parfois le réseau principal (Dublin) ou est un complément facile à mettre en œuvre et souple au réseau de métro pour s'étendre à la banlieue (Paris, Lyon).

e) Trolleybus



Figure 3: Trolleybus à LandsKrona, Suede

Les trolleybus, qui sont des bus fonctionnant à l'électricité, alimentés grâce à un réseau de fils aériens, sont souvent utilisés comme alternative à la fois au bus et au tramway, permettant de

proposer un mode de transport plus silencieux, plus respectueux de l'environnement que le bus et bien moins coûteux que le tramway. Le principal inconvénient est celui qui le différencie du bus: sa flexibilité vis-à-vis d'un itinéraire; bien qu'aujourd'hui, cet avantage du bus ne soit que peu exploité (il existe cependant des autobus électriques indépendants d'un réseau filaire grâce à leurs batteries embarquées). Il n'y a actuellement que 3 réseaux en France qui utilisent le trolleybus : Lyon, St-Étienne et Limoges.

f) Bus à haut niveau de service (BHNS)

Les bus à niveau de service reviennent à l'ordre du jour depuis quelques années, il s'agit en fait d'apporter un service de meilleure qualité qu'une simple ligne de bus, sans subir de lourds investissements pour un tramway ou un métro. Le trolleybus est un mode utilisé pour ce type de transport en commun, le Subway est aussi un BHNS. À Paris, la RATP exploite des lignes Mobilier qui répondent à des normes, notamment une vitesse commerciale assez élevée, favorisée par des mises en site propre, ou des fréquences élevées, une amplitude horaire importante... Les autres mesures caractérisant ce type de service sont la priorité des bus aux carrefours, des véhicules de grande capacité, des services plus importants aux arrêts (distributeurs de tickets, cabines téléphoniques, abribus, voire kiosques...).

Un exemple particulier réussi et célèbre est celui de Curitiba au Brésil. Leur efficacité a été étudiée ¹⁷, ¹⁸ Jean-Marc Aubert ; Laure Tour jansky- Cabart , « L'allocation de la voirie dans les centre-ville », Revue française d'économie, année 2000, volume 15, numéro 2 p. 157-194, édité par Le ministère de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la Recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation, via le site Persée [archive] [lire en ligne [archive]].

g) Tram ou BHNS

La question se pose assez facilement. Les deux modes sont en effet comparables, car ils sont en site propre, le débit proposé est plutôt élevé... Ils diffèrent principalement dans la nature de l'infrastructure et son coût (on peut évaluer les infrastructures de tramway (rails...) deux à cinq fois plus coûteuses que celles de BHNS, trolleybus par exemple), mais la différence durant le fonctionnement est davantage la priorité que possède le tramway par rapport aux véhicules particuliers, son réseau plus distinct de la circulation qui est plus lisible, mieux mis en valeur, sa régularité plus grande (moins sujette à une perturbation du trafic ¹⁹) et la capacité plus importante des véhicules. Cependant il faut noter qu'un problème sur le réseau tramway peut

complètement le gripper, tandis que le réseau BHNS peut être remplacé par des bus et emprunter une partie du site propre seulement ²⁰.

h) Funiculaire



Figure 4: Funiculaire à Valparaiso au Chili

Moyen de transport très adapté aux collines intérieures aux villes. On citera les plus connus en **France** : le funiculaire de Montmartre (en fait, deux ascenseurs inclinés indépendants), et les deux « ficelles » de Lyon St Jean - St Just et Fourvière). Mais de nombreuses petites villes disposent d'un funiculaire, souvent conservé pour son charme, son confort, sa bonne accessibilité aux personnes à mobilité réduite, et sa sobriété énergétique (la cabine descendante compense la masse de la cabine montante, le moteur de traction ne fournissant qu'une infime partie d'énergie (différence de masse, frottement) : Évian-les-Bains, Thonon-les-Bains, Pau...

De nombreuses villes européennes disposent de funiculaires longue distance, entièrement automatisés (possibilité de demander un arrêt intermédiaire par bouton poussoir), et constituants des axes de desserte importants.

Dans les régions montagneuses ils permettent de sortir rapidement de la ville pour atteindre des lieux touristiques (Le Mont d'Or...).

Ce système est aussi utilisé dans le transport « hectométrique » de personnes, ou people-mover : desserte interne d'aéroport, de grand centre d'exposition...

i) Bateau

Figure 5: Bateau-bus du réseau Mistral

Des navettes par bateaux (parfois nommées bateau-bus) ou ferrys sont utilisées dans les villes fluviales ou côtières, un des exemples les plus connus est le Vaporetto de Venise. La plupart de ces villes ont au moins étudié un projet de ce type, peu à peu ce mode de transport se développe, avec Voguée à Paris. L'avantage est souvent de mettre en avant la particularité de la ville, son fleuve, puisque la vitesse de ces navettes reste faible.

L'objectif est aussi, notamment dans le cas de voguée, de créer une liaison plaisir », dont le but est d'améliorer l'image du voyage domicile-travail, de rendre ce voyage contraint plus agréable.

j) Metro cable

Ce mode transport peu répandu, similaire aux transports utilisés en montagne, connaît un début de développement en Amérique du Sud et en Algérie, pour répondre à des contraintes géographiques particulières telle qu'une importante dénivelée ou une traversée de vallée ou de fleuve. Son coût est sensiblement inférieur aux autres systèmes de transport à haut débit.

k) Taxi collectif

Le taxi collectif est un moyen de transport en commun similaire au taxi traditionnel, mais où plusieurs clients sont invités à monter à bord.

6.2. Modes de transport individuels motorisés**a) Voiture**

La voiture, symbole de la liberté et de son statut social est le mode de transport individuel par excellence en France et dans le monde occidental ²¹. Elle prend de plus en plus d'importance

en Asie (en Chine ou au Viêt Nam par exemple) alors que le vélo ou le scooter y occupaient jusqu'alors cette place.

De fait, outre cette dimension sociale, la voiture possède de nombreux avantages, faisant d'elle le moyen de transport le plus utilisé, même en milieu urbain dense. En effet, sa modularité (une voiture peut transporter plusieurs personnes ou des objets pour de courts ou longs trajets...), sa facilité d'utilisation (le permis de conduire s'est démocratisé) et la densité et la qualité du réseau routier en font un moyen de déplacement attrayant.

Elle est cependant remise en cause aujourd'hui pour son efficacité énergétique relativement faible : l'espace nécessaire à son accueil apparaît trop important par rapport aux autres modes (10 à 20 fois plus de place qu'un voyageur en métro, 5 à 8 fois plus de place que le bus ou la marche à pied [23], sans compter le stationnement.

Autre reproche, la pollution qu'elle engendre, qu'il s'agisse de pollution chimique de l'atmosphère ou de pollution sonore. À cela s'ajoute la défiguration de l'espace urbain dû aux infrastructures routières qu'elle nécessite ; enfin, d'un point de vue plus comportemental, il est plus sécurisé et plus confortable de voyager en voiture, mais cela entraîne une perte de contact avec l'environnement, alors que la marche à pied et le vélo permettent de garder ce lien à la nature, notamment en la respectant.

b) Covoiturage

Les inconvénients environnementaux de l'usage de la voiture s'amointrissent sensiblement lorsque son usage devient partagé. Depuis 2014, le covoiturage a été codifié dans le code des transports et permet aux collectivités territoriales de concevoir une politique réglementaire incitative, pour encourager la pratique du covoiturage, et contribuer ainsi à la lutte contre la pollution de l'air et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

c) Taxi

On le considérera individuel car il n'est pas partagé sur un même trajet ; cependant un même véhicule sert à transporter de nombreux voyageurs sur une même journée. Il a l'avantage d'être aussi modulable qu'une voiture, y ajoutant l'avantage pour le voyageur d'être conduit et de ne pas se soucier du stationnement ; l'avantage est partagé par la communauté, car l'espace de stationnement est réduit et donc l'espace urbain moins occupé. En jaune (Yellow Cab), il est le symbole de New York et plus particulièrement de Manhattan, où l'espace urbain vaut

cher, et où il n'y a donc pas de place pour toutes les voitures.

d) Deux-roues motorisés

En progression depuis plusieurs années, c'est un mode particulièrement intéressant car il offre la même flexibilité d'itinéraire que la voiture, une occupation d'espace moins importante et une consommation énergétique réduite. Connus surtout pour leurs slaloms entre les voitures, ils sont petits à petit pris au sérieux par les agglomérations pour améliorer la fluidité du trafic et d'une manière générale le gaspillage d'espace, cher en milieu urbain.

e) Voiture autonome

Ce que l'on appelle est un véhicule capable de rouler sans l'intervention d'un être humain. Grâce à de nombreux capteurs et à un logiciel de calcul particulièrement élaboré, elle est capable de se déplacer dans le trafic et de prendre des décisions toute seule, sans l'apport d'un conducteur. Une voiture autonome ne l'est pas exclusivement. En règle générale, elle dispose d'un mode automatisé, complet ou partiel, qui peut être désactivé au cas où le conducteur désirerait reprendre le contrôle. Car qui dit véhicule autonome ne dit pas absence de conducteur, bien au contraire. Celui-ci doit être présent derrière le volant pour agir en cas de dysfonctionnement.

Les premiers pas de la voiture autonome ont été réalisés avec le stationnement semi-automatique il y a quelques années. C'est le même principe mais appliqué à la conduite toute entière. De nombreux constructeurs travaillent aujourd'hui sur le développement de leur propre système autonome, qui est perçu comme l'avenir de l'automobile. La « Google Car » est la première voiture autonome du monde à s'être fait arrêter par un officier de police. Pour quel motif ? Vitesse de circulation trop faible créant un embouteillage ! Elle circulait 20 km/h en-dessous de la limite en raison d'un réglage de sécurité la part de Google. Une explication qui lui a valu d'éviter toute contravention²².

f) Voiture électrique

La voiture électrique est fréquemment présentée comme une solution efficace pour lutter contre la pollution, l'effet de serre et la raréfaction des réserves de pétrole dus aux moteurs à explosion. Cependant, bien que le moteur électrique soit " propre " au sens où, il ne produit pas de gaz polluants ni gaz à effet de serre, c'est la production de l'électricité consommée par ce moteur qui peut générer diverses pollutions. La nature de ces pollutions dépend du type

d'énergie primaire utilisé pour produire l'électricité destiné au véhicule. Les parts des types d'énergies primaires étant très variables d'un pays à un autre. Il existe différentes projections quant aux moyens de mise à disposition de l'électricité du moteur.

Mais aussi bien la solution de la pile à combustible que celle de l'accumulateur, pourraient se révéler polluante. Il existe deux façons de fabriquer l'hydrogène utilisé pour les piles à combustibles. La première se fait par réaction chimique à partir de pétrole. Cette réaction produit des gaz à effet de serre, et donc ne résout ni le problème de la raréfaction du pétrole ni celui de la pollution. La deuxième se fait par électrolyse de l'eau, ce procédé est non polluant (les seuls produits de réactions sont de l'hydrogène et de l'oxygène) mais consomme beaucoup d'électricité.

Les partisans d'une prise en compte globale des impacts environnementaux de l'utilisation des automobiles considèrent donc que le défi sociétal de la voiture propre consiste à mettre en place une stratégie de production électrique écologique viable.²³

6.3. Modes de transports actifs

a) Vélos

Ces modes sont dits actifs, par opposition aux modes motorisés, parmi lesquels les vélos en libre-service qui fleurissent un peu partout au monde (Velva à Lyon, Vélin à Paris, Bikin à Barcelone, Call bike à Munich, Smart Bike DC à Washington, D.C., BIXI à Montréal).



Figure 6: Une station de Velo à Lyon

De plus en plus répandu, le Vélo et le roller ont le mérite de ne pas polluer durant leur utilisation et d'être une activité physique. Ce mode est quand même lié historiquement à la ville : en Asie, c'est le moyen de transport individuel le plus fréquent, on peut le comparer à

nos voitures. De plus, dans des villes plutôt plates avec un climat pas trop froid, les conditions sont réunies pour qu'il reste un mode de transport attractif. Avec le développement de réseaux de Vélo-partage, Vélos en libre-service, de type Vélo / Vélib', on parle de transport urbain partagé actif, de réseau partagé avec des véhicules disponibles sur des stations qui maillent la ville en réseau, le vélo n'appartient pas à l'utilisateur. Les utilisateurs prennent un vélo, roulent et le déposent à la fin de leur utilisation dans à l'une des stations, la même ou une autre. La première ville française à avoir proposé ce système est La Rochelle.

b) Marche à pied

En ville, il reste toujours le plus simple et le plus évident des modes de transport. En effet, les trajets les plus courts sont toujours effectués ainsi, et ce mode reste toujours l'un des plus importants en milieu urbain (33,6 % des déplacements de l'agglomération lyonnaise, 47,4 % pour la voiture, 16,8 % pour les transports en commun) ²⁴

I.7. Les défis de transport urbain

Nous distinguons deux types d'externalités, externalités positives et les externalités négatives:

7.1. Externalités positives

Le transport urbain, permet à chacun des déplacer facilement. Le développement des transports urbains et de leurs infrastructures est le facteur décisif du fonctionnement de tout système économique et de tout système social. En effet, l'amélioration des infrastructures du transport urbain engendre plusieurs effets, comme la baisse des coûts du transport (augmentation des flux), l'intensification de la vitesse (augmentation de la distance parcourue), et la réduction des encombrements (hausse du gain de temps). Ces éléments favorisent la mobilité urbaine, au tant en termes qualitatifs et quantitativement.²⁵ L'évolution de la mobilité urbaine a des effets positifs sur les échanges et les activités commerciales (création d'opportunités économiques).

Le degré du développement des transports urbains et de leurs infrastructures est un facteur décisif du fonctionnement de tout système économique et de tout système social. Ravitaillement en matières premières et distribution des produits finis. Le déplacement de l'objet du travail, ainsi que des moyens et forces de travail, jouent un grand rôle dans tout processus de production ; de même, mais à une échelle plus large. Pour les marchandises finies d'un lieu de production à un autre, puis de la sphère de la production dans celle de la

consommation.

Deux facteurs principaux:

- La création d'opportunités économiques, est fonction de qualité et de quantité des ressources, la taille et le dynamisme du marché, l'ampleur du changement apporté aux tarifs et services de transport.
- La réaction face à ces opportunités, dépend d'une prise de conscience des opportunités économiques, des attitudes adoptées vis à vis du changement économique.

7.2. Externalités négatives

Face à la forte croissance des transports publics urbains, l'utilisation des différents modes de transport urbain et les infrastructures de transport sont de plus en plus surchargées ou mal entretenues, cela diffuse une image négative. L'externalité négative du transport urbain correspond à la dégradation de l'environnement la qualité de l'air fortement dégradée dans les villes. Les principales externalités négatives engendrées par le transport peuvent être soulignées:

a) La congestion

Selon Georgina Santos, « Il y a congestion routière lorsque le volume du trafic dépasse la capacité de flux non perturbé sur un segment ou un nœud routier. Chaque véhicule supplémentaire impose alors un retard aux autres, et subit en retour les Inconvénients d'un parcours plus lente plus coûteux.»²⁶

La congestion agit sur tous les systèmes de transport routiers, ferroviaires et aériens. Les effets de la congestion varient Pour les utilisateurs de la voiture particulière, se présentent par un allongement de temps de parcours, une surconsommation de carburant et un ralentissement de la vitesse entraînant une pollution de l'air et du bruit. La congestion ferroviaire se traduit par des retards et par le décalage occasionné à un train par rapport aux horaires prévus et par la suppression des trains incompatibles. Le coût de cette congestion correspond au coût de la perte de temps pour les usagers et au coût de la perte financière des compagnies.

b) Pollution atmosphérique

La pollution résulte de nombreux facteurs tels que les rejets de l'industrie, l'évaporation des solvants, le tabagisme, le chauffage et le transport .Les effets directs et indirects sur

l'environnement de la pollution induite par les transports constituent un ensemble de phénomènes très divers et souvent complexes. L'usage d'énergie dans les transports est notamment à l'origine du rejet dans l'atmosphère d'importantes quantités de produits de combustion.

Certains des produits rejetés, tels que le dioxyde de carbone, sont chimiquement stables et tendent à s'accumuler dans l'atmosphère dont ils modifient les propriétés physiques (effet de serre). D'autres, chimiquement actifs, peuvent réagir avec les corps avec lesquels ils entrent en contact (corrosion des matériaux, toxicité vis à vis des organismes vivants...); ils peuvent aussi réagir avec d'autres polluants de l'atmosphère et générer de nouveaux polluants dits secondaires (ozone, particules de nitrates, de sulfates, etc...).²⁷ En matière de pollution atmosphérique dû au transport, une étude de PNAE (Plan National d'Actions Environnementales) effectuée sur la base des données relatives aux parcs de 1995 sur le grand Alger et les wilayas limitrophes, a estimé la concentration du dioxyde d'azote dans l'air à 18% du total national, le plomb à 22%, le dioxyde de soufre à 14% et enfin à 20,5% du total national en oxydes de carbone²⁸.

Les émissions de gaz à effet de serre, contribuant indéniablement au réchauffement climatique de la planète, la pollution atmosphérique locale, surtout en milieu urbain, représentant un risque pour la santé humaine. En effet, les effets sanitaires à court terme correspondent à une mortalité qui se manifeste par des décès prématurés de personnes les plus fragiles, et une morbidité qui se présente à travers des affections des voies

Respiratoires (bronchites aiguës et crises d'asthme). A long terme, il y aura des décès supplémentaires suite à une réduction très importante de durée de vie et en ce qui concerne la morbidité les affections les plus fréquentes résultent des bronchites chroniques, des cancers du poumon, morbidité cardio-vasculaire, etc.²⁹.

c) Le bruit

Le bruit est une sensation auditive gênante et désagréable reçues et transmises par l'oreille jusqu'aux cellules du cerveau. Ce phénomène acoustique produit sur notre organisme un ensemble de vibration sonores complexes et désordonnées. La gêne liée au bruit dépend à la fois de son intensité, qui peut être forte ou faible. Le bruit dans l'environnement humain est émis par diverses sources, circulation, l'industrie et les activités de loisirs apparaissent comme la première nuisance environnementale. Le bruit des transports est une cause majeure de gêne

grave et d'effets négatifs sur la santé ³⁰, elles se manifestent parades atteintes psychiques , physiques, sociales et économiques.

d) Les accidents

Un accident est un événement imprévu qui entraîne des dommages. Il est défini selon cinq caractéristiques : type d'accident, objet ou usager de la route, les personnes impliquées, les victimes et les fautes.³¹ Plusieurs personnes sont tuées, et certains sont blessés ou handicapés à cause des accidents de la circulation.

Le tableau ci-dessous résume les impacts de transport urbain ³²

Tableau 1 : Effets du transport routier sur l'environnement.

| | |
|-------------------------------------|---|
| Air | Pollution atmosphérique (CO-HC-NO particules et additif pour carburants comme le plomb). |
| Ressources en eau | Pollution des surfaces et des eaux souterraines par les eaux de ruissellement modification des systèmes hydrologiques lors de la Construction de routes. |
| Ressources en sol | Utilisation de terrains pour les infrastructures extraction des matériaux de construction des routes. |
| Déchets solides | Dépôts abandonnés et matériaux de démolition des chantiers routiers. Véhicules routiers retirés du service. Huiles usées |
| Bruit | Bruit et Vibrations par les automobiles, les Motocyclettes et les poids lourds dans les villes et le long des routes |
| Accidents, Risques Et effets | Décès et dommages corporels ou matériels dus aux accidents de la route. Risques liés au transport de substances. Risques d'apparition de défauts de structure dans les équipements routiers anciens ou usés |
| Autres effet | Effet de coupure et dégradation de quartiers, de terres agricoles et d'habitats de la faune sauvages, congestion. |

I.8. Conclusion

Le service de transport urbain est l'un des services public, son objectif principale est d'assurer l'intérêt générale pour l'ensemble des citoyen pour bien mené sa mission, il joue un rôle important dans le bon fonctionnement d'une ville et offrent des possibilités de mobilité aux personnes n'ayant pas de voiture particulière ou un autre choix de mode de déplacement. Il base sur certaine principes comme il met en application des modes de gestion très spécifique à son domaine. Mais ce service des transports est une source importante de pollution de l'air au niveau local, régional, et mondial.

Chapitre II

**L'internet et la
transformation de transport
urbain**

II. 1. Introduction

Actuellement, environ trois quarts de la population européenne vit et travaille en milieu urbain (CE, 2013a)³³ et, selon les prévisions, cette proportion dépassera les 80% d'ici 2050 (Perspectives de l'urbanisation mondiale, ONU, 2011). Cette tendance s'accompagne d'un accroissement constant de la demande de transport de passagers et de fret dans les villes, ce qui entraîne congestion, pollution et accidents de la circulation. Toutes les grandes villes sont confrontées au même défi : augmenter la mobilité tout en réduisant la congestion, les accidents et la pollution.

Toutefois, consciente de l'importance de la dimension urbaine dans la réalisation des objectifs de la politique des transports, l'UE a élaboré une stratégie sur le transport urbain qui respecte le principe de subsidiarité. Actuellement, le cadre politique de référence en matière de transport urbain est défini dans le Livre vert Vers une nouvelle culture de la mobilité urbaine, publié en 2007 (CE, 2007a)³⁴, qui est complété par des actions ciblées énumérées dans le Plan d'action sur la mobilité urbaine de 2009 (CE, 2009)³⁵. Le Livre blanc sur les transports, intitulé Feuille de route pour un espace européen unique des transports et publié en 2011 (CE, 2011a)³⁶, comporte un chapitre sur les Transports propres pour les déplacements urbains et les navettes domicile-travail, qui renforce la priorité donnée à la mobilité urbaine dans la politique européenne générale des transports. La recherche sur les transports urbains financée par l'UE vise à aider les décideurs locaux à mettre en place des politiques durables et intégrées tout en offrant des solutions intelligentes et écologiques, afin de réduire les incidences négatives de la congestion.

Les projets mentionnés ont été classés selon les sous-thèmes suivants, en fonction de l'objectif fixé par Horizon 2020 pour le défi « Transport intelligent, écologique et intégré » :

- Solutions intelligentes pour le transport urbain
- Vers une mobilité verte dans les villes
- Élaboration et planification intégrées et durables des politiques.

1.1. Villes intelligentes

De nouveaux concepts de mobilité et des solutions urbaines intelligentes sont les éléments essentiels qui permettront de réaliser un développement durable des zones urbaines et de relever les défis qui se poseront aux générations futures. Toutefois, ces solutions exigent des innovations à l'interface entre transport, énergie et TIC, au niveau tant de la recherche-développement que du déploiement. Pour soutenir ce processus, la commission européenne a lancé, en 2012, un Partenariat européen en faveur de l'innovation pour des « Villes et communautés intelligentes » (CE, 2012)³⁷. Cette initiative propose une approche intégrée et globale pour lier les politiques et les ressources aux niveaux européen, national, régional et local, afin d'accélérer le déploiement à grande échelle de solutions pour des villes intelligentes et de relever les grands défis sociétaux posés par les objectifs 20-20-20 de l'Union en matière d'énergie et de climat (CE, 2010)³⁸.



Figure 7: Ville intelligente

En outre, un nouveau cadre légal visant à accélérer le déploiement de Systèmes de Transport Intelligents (STI) dans toute l'Europe a été adopté via la Directive 2010/40/UE (CE, 2010). En 2010, la Commission européenne, en association avec les pouvoirs locaux et leurs partenaires, a créé un Groupe d'experts sur les STI pour les zones urbaines. En 2011 et 2012, ce groupe a élaboré des lignes directrices sur la mise en œuvre d'applications clés, telles que les informations aux voyageurs, la gestion du trafic (y compris la logistique urbaine) et une billetterie intelligente. Des lignes directrices ont été publiées sur les informations multimodales, sur la billetterie intelligente et sur la gestion du trafic.³⁹

II.2. Les caractéristiques de la ville intelligente

L'Union européenne s'inspire de la vision de Rudolf Giffinger, expert en recherche analytique sur le développement urbain et régional à l'université technologique de Vienne, et référent en la matière, dont les travaux indiquent que la ville intelligente doit être performante dans six domaines.



Figure 8: Les caractéristiques de la ville intelligente .

- **Une économie intelligente**

C'est la compétitivité économique de la ville. Elle se mesure à travers des facteurs comme l'innovation, l'esprit d'entreprise, la productivité, la flexibilité du marché du travail ou encore l'intégration sur le marché national et international.

- **Des citoyens intelligents**

Autrement dit le capital humain et social de la ville. Il est question, bien sûr, du niveau de qualification de la population mais aussi de sa pluralité, de son ouverture d'esprit, de sa créativité, de la qualité des interactions sociales ou de la participation à la vie publique.

- **Une gouvernance intelligente**

C'est-à-dire un mode d'administration de la ville transparent, transversal – et partagé – intégrant la participation du citoyen.

- **Une mobilité intelligente**

Giffinger met l'accent sur l'accès local et international à la ville, l'existence d'infrastructures connectées exploitant les TIC (technologies de l'information et de la communication) et de systèmes de transports innovants, durables et sûrs.

- **Un environnement intelligent**

On parle ici d'écologie et de gestion des ressources. La ville intelligente doit favoriser un environnement de qualité (espaces verts, qualité de l'air), gérer de façon durable ses ressources et œuvrer à la protection de l'environnement. Les éco quartiers sont des exemples, localisés, d'un environnement géré intelligemment.

- **Un mode de vie intelligent**

Il regroupe des facteurs liés à la qualité de vie : culture, santé, sécurité, habitat, éducation, tourisme, cohésion sociale, etc.

II.3. Un exemple de ville intelligente en Europe

S'il n'existe pas de ville complètement intelligente aujourd'hui, plusieurs en prennent le chemin avec des initiatives à plus ou moins grande échelle, parmi elles, Barcelone et Vienne.

- **Barcelone, une ville intelligente modèle**

Il existe de nombreuses villes développées qui se caractérisent par leur nature organisée et respectueuse de l'environnement. Parmi ces villes on a choisi Barcelone qui est un meilleur exemple pour le développement du transport. Donc on va présenter cette ville intelligente et savoir ses principales caractéristiques qui l'a fait une ville intelligente

La capitale catalane fait office de référence dans le monde des smart villes en intégrant des capteurs intelligents dans de nombreux domaines comme le stationnement, la collecte des déchets, l'éclairage public, l'irrigation des espaces verts ou encore la qualité de l'air.

Pour le stationnement, des capteurs permettent aux automobilistes de connaître, en temps réel,

la disponibilité des places pour éviter de tourner en rond inutilement. Cela réduit les bouchons en plus de faire gagner un temps précieux. On trouve aussi des capteurs pour mesurer les écoulements des eaux de pluie, le taux d'humidité (air et sol), le vent, l'ensoleillement, la pression atmosphérique pour ajuster l'arrosage des jardins publics ; pour évaluer le remplissage des bennes à ordures pour un ramassage plus efficace, mais aussi pour évaluer le bruit, la pollution de l'air, la température, la luminosité, etc. Ce n'est peut-être pas un hasard que la ville accueille chaque année, depuis 2011, le Smart City Expo World Congress, le salon de référence des villes intelligentes.

II.4. Mobilité verte

En raison de la prédominance des carburants d'origine pétrolière, le transport urbain a une incidence négative directe sur la pollution atmosphérique, sur le bruit et sur les émissions de CO₂. Le transport routier contribue pour deux tiers aux émissions de gaz à effet de serre liées au transport dans l'UE et le transport urbain est responsable d'environ un quart des émissions de CO₂ du transport (CE, 2011a)⁴⁰.



Figure 9: Mobilité verte

En 2013, la Commission européenne a lancé l'initiative « Énergie propre et transports » pour mettre fin à la sur-dépendance du transport européen à l'égard du pétrole et pour faciliter la mise sur pied d'un marché unique pour les carburants de substitution en Europe. Cette initiative comprend la Communication « Énergie propre et transports : une stratégie européenne en matière de combustibles de substitution » (CE, 2013b)⁴¹ et une proposition de

directive sur le déploiement d'une infrastructure de distribution de tels combustibles de substitution (CE, 2013c)⁴². Selon le Livre blanc sur les transports (CE, 2011a)⁴³, il faut, d'ici 2050, éliminer graduellement des villes les véhicules utilisant des carburants traditionnels (véhicules à moteurs à combustion interne non hybrides). Une telle mesure entraînerait une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre, de la pollution atmosphérique et sonore locale ainsi que de la dépendance à l'égard du pétrole. Le Livre blanc fixe, par ailleurs, l'objectif d'assurer une logistique urbaine exempte de CO₂ dans les grands centres urbains, d'ici 2030.

Les mesures d'atténuation du bruit ont été établies par la directive européenne 2002/49/CE (CE, 2002) sur la cartographie du bruit. Sur la base des informations recueillies en application de la directive sur le bruit, les pouvoirs locaux peuvent maintenant établir des plans d'atténuation du bruit et mettre en œuvre des mesures concrètes.⁴⁴

II.5. Intelligence Artificielle (IA) et la transformation de la mobilité

Le domaine des transports fait face à des problématiques d'une grande complexité technique. L'élargissement technologique du secteur (drones, véhicules autonomes en site propre ou en milieu multi-usagers), la variété des métiers adressés, les contraintes environnementales et sociétales augmentent encore cette complexité. Face à ces enjeux, des solutions doivent être mises en œuvre dans des délais toujours plus courts, avec une qualité de service accrue, tout en optimisant les coûts. Des solutions informatiques cherchent à répondre depuis plusieurs années à cette complexité en associant différentes approches. Dans ce cadre, l'Intelligence Artificielle est exploitée depuis ses origines, combinée, le cas échéant, avec d'autres techniques informatiques et méthodes mathématiques (recherche opérationnelle, théorie des graphes, optimisation sous contraintes, ...) ⁴⁵.

- **Enjeux :**

Tous modes confondus, la dépense totale de transport correspond à 402 milliards d'euros soit 17,5% du PIB français. La part du transport routier (72,1%) est prépondérante alors qu'il s'agit du mode de transport le plus émetteur de polluants dans l'air (entre 75% et 100% de l'ensemble Des émissions des transports selon les produits émis)*.

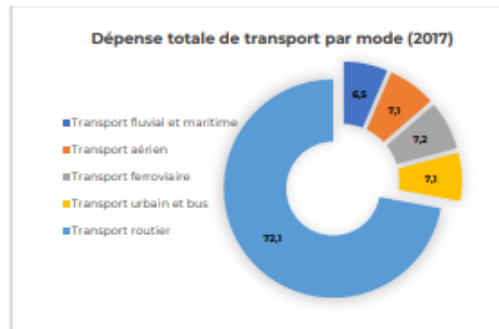


Figure 10: Dépense totale de transport par mode 2017

Avec un accroissement du trafic des voyageurs et des matières transportées, la nécessité de réduire les gaz à effet de serre, la recherche d'une meilleure efficacité et d'une fiabilité de plus en plus importante, les enjeux de ce secteur sont considérables. Dans ce cadre, l'Intelligence Artificielle apporte un nouveau moyen de résoudre des problèmes complexes et de répondre aux attentes des opérateurs et des passagers.

Elle est ainsi en mesure d'apporter une réponse à la réduction des délais de transport et de livraison, l'optimisation des coûts et l'amélioration des services aux différents acteurs trouvent une réponse dans la mise en œuvre de l'Intelligence Artificielle.

II.6. L'IA et le transport

L'IA est un vaste champ technologique regroupant notamment le machine Learning, le deep Learning, assistants virtuels, et l'automatisation intelligente de processus.⁴⁶

Nous avons une approche pragmatique de ces technologies : des outils formidables, mais qui doivent être mis en œuvre au sein d'une démarche impliquant des spécialistes métiers, des développeurs, des concepteurs d'interactions tout en associant les utilisateurs finaux.

Cette diversité technologique implique la mise en œuvre de solutions adaptées à chaque contexte qui s'appuient, cependant, sur des concepts similaires : grands volumes de données, complexité algorithmique, besoin de réactivité, de capacité de calcul et d'analyse embarqué, absence d'une solution unique.

Dans le rapport "État de l'art et perspectives pour la France " (2019), la Direction Générale des Entreprises place d'ailleurs les transports et la mobilité comme le 3ème secteur le plus impacté par l'IA

Ce domaine couvre, en effet, une grande diversité de cas d'usages dont l'exhaustivité est impossible tant les applications évoluent avec les technologies et les attentes des utilisateurs. Cependant, ils peuvent être structurés par étapes clés dans un cycle de vie « transport » selon un double point de vue Voyageurs ou Opérateurs.

- **Parcours client transport**

- **Préparation du voyage** : Planification de transports, tarifs, recherche d'itinéraire, information voyageur, perturbations, facilités - anticipation des demandes

- **Accès au système de transport** : accès gare ou terminal, accueil, validation du titre de transport, gestion des correspondances, sûreté et sécurité des espaces de transport

- **Phase de voyage** : accès aux modes, confort, propreté, ponctualité, services à bord

- **Qualité de service** : définition, suivi, relation client, litiges, fidélisation, incitations opérateurs

- **Livraison** : Optimisation de parcours - Positionnement optimal de ressources ⁴⁷

6.1. Définition de L'Intelligence Artificielle

L'IA est attribuée à des systèmes informatiques qui peuvent accomplir des tâches qui ne seraient régulièrement accomplies que par l'homme. En d'autres termes, ces systèmes non seulement ont la capacité d'accomplir les tâches qu'ils ont désignées, mais ils peuvent aussi s'adapter, évoluer et apprendre de leur environnement. Ainsi ils peuvent absorber l'information de différentes sources pour se développer. Ils peuvent alors prendre des décisions, estimer des phénomènes, recommander des services ...etc.

Selon Jean-Claude Heudin, directeur du laboratoire de recherche de l'IIM (Institut de l'Internet et du multimédia) :

« L'intelligence artificielle vise à mimer le fonctionnement du cerveau humain, ou du moins sa logique lorsqu'il s'agit de prendre des décisions. Afin de mimer le fonctionnement du cerveau humain, sa logique, l'intelligence artificielle a besoin d'être nourrie par plusieurs composantes.⁴⁸

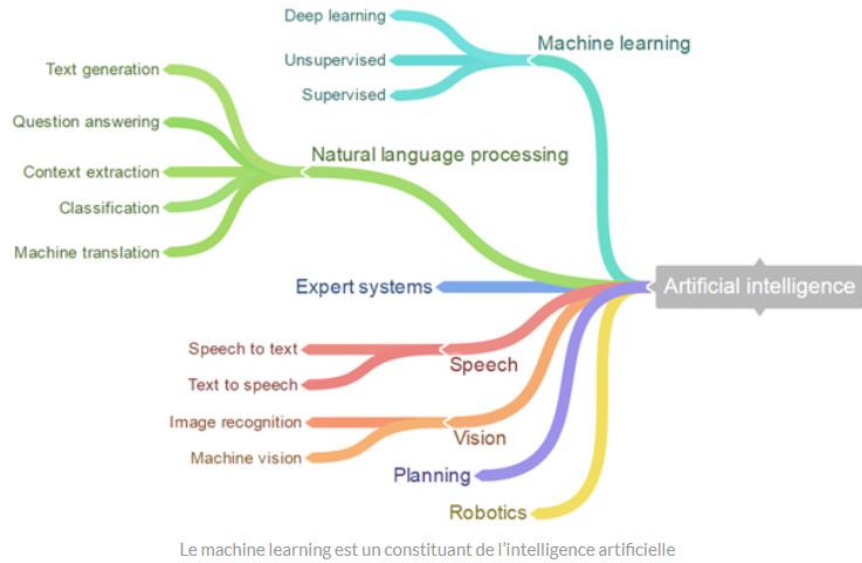


Figure 11: Machine learning et L'intelligence artificielle

6.2. Meilleurs systèmes de gestion des transports

Ces dernières années, plusieurs applications sont apparues pour répondre aux préoccupations des acteurs de l'industrie de transport.

Ainsi, les principaux concurrents se distinguent grâce à leurs capacités d'exploiter ou pas les cas d'usages offerts par l'IA.

Le fait d'avoir un système informatique évolutif et innovant, présente un énorme avantage concurrentiel pour tout transitaire. En effet, les systèmes intelligents de gestion du transport peuvent gérer automatiquement plusieurs processus, de la soumission à la livraison.

Ils permettent d'aider à la prise de décision et d'offrir aux clients une meilleure visibilité sur leurs commandes. De plus, on peut mieux gérer les risques, gagner du temps grâce à l'automatisation et assurer un meilleur suivi.

6.3. Exemples de systèmes basés sur l'IA

Quand les gens entendent parler d'applications intelligentes dans les transports, leurs premières pensées se tournent vers un monde de robotique où l'humain n'a pas sa place.

Cependant, l'intelligence artificielle offre la possibilité d'implémenter des services plus

efficaces sans sacrifier le caractère humain dans l'entreprise.

Les utilisateurs sont de plus en plus familiers avec les réseaux sociaux et les applications d'assistance virtuelle.

Ce qui pousse les transitaires à repenser leurs offres de services. ⁴⁹

Voitures autonomes

Les voitures autonomes sont rapidement passées du monde de la science-fiction à la réalité.

Bien qu'ils en soient encore aux premiers stades, ces véhicules pourraient changer radicalement la façon dont nous nous déplaçons d'un point A à un point B.

Camions autonomes

Les camions autonomes pourraient bientôt prendre le contrôle de plusieurs activités telles que le labourage de la neige, le ramassage des ordures et le transport des marchandises.

Prenons le cas des camions de la compagnie chinoise TuSimple. Ils utilisent des capteurs longue distance avec une plage d'observation complète, et son IA basé sur des algorithmes d'apprentissage automatique profond peut détecter et suivre des objets à l'aide de ses multiples caméras.

Bus sans chauffeur

L'un des domaines où l'IA commence à avoir un impact réel est celui des transports en commun.

Des bus autonomes sont déjà apparus à travers l'Europe, utilisant des capteurs, des caméras et des GPS connectés pour transporter en toute sécurité les passagers vers leur destination.

Olli par Local Motors

Local Motors a dévoilé Olli en 2017 un véhicule autonome piloté par IBM Watson.

En plus d'être contrôlé par l'IA, Olli est entièrement électrique, représentant une nouvelle vague de véhicules intelligents et durables.

Gestion du trafic routier

L'apprentissage automatique pourrait bientôt être utilisé pour prédire et prévenir les embouteillages.

Plusieurs ingénieurs travaillent au quotidien sur des systèmes de gestion de la circulation qui traiteraient des données complexes afin de recommander les meilleurs itinéraires aux conducteurs.

SURTRAC par Rapid Flow Technologies

SURTRAC est un système de contrôle de la circulation très prometteur développé par Rapid Flow Technologies.

Conçu spécifiquement pour les zones urbaines, il permet aux feux de circulation de réagir en fonction des flux de véhicules, au lieu de faire partie d'un système centralisé.

Navires de fret contrôlés à distance

Rolls-Royce travaille depuis quelques années sur des navires de charge sans équipage, et s'attend à ce qu'ils soient lancés très bientôt.

Ces navires seraient contrôlés à distance et devraient ouvrir la voie à des navires pleinement autonomes à l'avenir.

Pistes et routes intelligentes

La Chine est à l'avant-garde en matière de technologies ferroviaires intelligentes.

Lancé en 2017 dans la ville de Zhuzhou par CRRC Times Electric⁵⁰, l'ART – Autonomes Rail Rapid Transit – n'a pas besoin de voies ferrées.

Au lieu de cela, le train suit une piste virtuelle faite de lignes en pointillés peintes.

D'un autre côté, les véhicules électriques devenant de plus en plus courants, de nombreux pays prennent l'initiative d'intégrer les technologies intelligentes dans leurs routes.

La Chine encore une fois a déjà construit une autoroute intelligente dédiée aux voitures électriques.

De nombreux modèles intègrent des panneaux solaires pour la recharge des véhicules et des capteurs pour surveiller plus efficacement les schémas de circulation et les embouteillages.

Plaques numériques

Même l'humble plaque d'immatriculation est sur le point d'obtenir un raffinement technologique dans un avenir proche. Ces plaques d'immatriculation pourraient utiliser le GPS pour suivre la localisation des utilisateurs.

Elles peuvent également se synchroniser avec les comptes bancaires pour payer les amendes de stationnement, et réduiraient considérablement les cas de vol.

Analyse faciale

Les aéroports pourraient bientôt abandonner les passeports traditionnels au profit de technologies de numérisation.

Des scanners sont utilisés dans certains aéroports américains pour confirmer l'identité des passagers avant de monter à bord.

Bien qu'il y ait une importante controverse autour des scanners faciaux et comment ils pourraient entraver la vie privée et la liberté des passagers, il ne semble pas probable qu'ils disparaîtront si tôt.

Prévisions de retard de Google Flights

Google Flights utilise l'apprentissage automatique pour mieux prévoir les retards de vol.

La nouvelle technologie révolutionnaire permet à Google de connaître les retards avant les compagnies aériennes elles-mêmes.

Pour ce faire, Google analyse les historiques des vols et d'autres données afin d'informer les passagers des temps de vol.

Chabots

Grâce à sa technologie Bus Bot⁵¹, Train line aide les passagers à réserver et à acheter leurs billets de train.

Elle leurs permet de trouver un siège vacant sur le véhicule en temps réel.

Le bot demande aux passagers de signaler l'affluence de leur transport pour les conseiller sur l'endroit où s'asseoir.

L'application propose à ses clients des prévisions de prix pour bénéficier des tarifs de voyage les moins chers possibles.

Avions sans pilote

L'avènement d'avions autonomes pourrait générer d'énormes profits – des études récentes suggérant que jusqu'à 35 milliards de dollars pourraient être gagnés dans la transition d'un avion pilote à un avion autonome.

Bien qu'une grande partie du pilotage repose déjà sur des technologies automatiques, un avion totalement autonome pourrait présenter des risques pour la sécurité.

JOZU spécialement pour les femmes

Malheureusement, voyager seule peut encore être une expérience dangereuse et effrayante pour les femmes du monde entier.

L'application JOZU permet aux femmes de savoir les itinéraires les plus sûrs et les moyens de transport à emprunter.

Bagages intelligents

Vous pouvez maintenant localiser vos bagages, où qu'ils se trouvent, grâce à un GPS intégré.

Certains bagages intelligents sont équipés d'une balance de pesage, ce qui permet de consulter leurs poids par téléphone.

Quand il s'agit de transporter des effets personnels, les bagages intelligents sont l'option la plus sûre et la plus pratique.

Voitures de police robotisées

Ford avait annoncé son intention de déposer un brevet pour une voiture de police robotisée.

La conception a fait appel à la technologie IA qui a permis au véhicule de délivrer des billets et des contraventions aux voitures en excès de vitesse en scannant les numéros d'immatriculation.

6.4. Quelques applications à base l'intelligence artificielle en vue le transport

L'intelligence artificielle est une technologie dont la majorité des entreprises se préoccupent, sur de multiples sujets. Dans un secteur pragmatique comme celui du transport, quelles sont les applications concrètes possibles ⁵²

- **Réduire les dépenses dues à la maintenance du matériel**

L'intelligence artificielle est en mesure d'anticiper l'entretien et le renouvellement des pièces de véhicule et de train. Grâce à des capteurs, l'IA détecte de façon conditionnelle ou préventive les défauts, les usures, les pannes. La forme conditionnelle se base sur une surveillance accrue de l'équipement, et sur ses paramètres de fonctionnement. En fonction des données « limites » programmées à l'avance, le système vous alerte.

La forme préventive prédit le moment où la machine pourrait tomber en panne. Grâce à des outils de suivi prédictifs, elle s'appuie sur une méthode comme la thermographie pour détecter les anomalies. La thermographie enregistre graphiquement les températures d'objets via la détection du rayonnement qu'il émet.

- **Sécuriser et automatiser la conduite**

Le leader mondial de la solution d'intelligence artificielle est Mobileye⁵³, racheté en 2017 par Intel à plus de 15 milliards de \$. L'entreprise utilise l'IA pour rendre possible la conduite autonome, interpréter le champ visuel afin d'anticiper toute collision potentielle.

L'IA permet également de détecter les marquages au sol correspondant, par exemple, aux voies, aux bords de route, aux barrières. L'IA est aussi capable d'identifier et d'interpréter les panneaux de signalisation, et les feux de circulation.

Un des premiers transporteurs à avoir utilisé la solution est SAB Miller⁵⁴, en Amérique du Sud. Ils collaborent avec une société de transport routier : Transportes 77's. Ce même transporteur déplorait un accident de la route chaque mois. Grâce à cette technologie, ce résultat a diminué de 65%.

- **Optimisation de la consommation de carburant**

On retrouve l'intelligence artificielle même dans l'industrie des carburants, surtout pour la technologie Hybride. En effet, des chercheurs de Riverside ont cherché à optimiser l'usage et

la consommation de carburant. Ils utilisent alors l'IA afin de réaliser des économies de l'ordre de 30%. L'algorithme apprend à combiner les deux sources d'énergies en analysant la conduite de l'utilisateur et le comportement du véhicule. Cette solution permet donc de réduire les émissions de CO2 et d'augmenter l'autonomie du véhicule

- **Optimisation de flux de transport**

La gestion d'une flotte de camions est complexe, souvent sujet à de l'optimisation. C'est d'autant plus vrai lorsqu'il s'agit de livraisons individuelles sur des points multiples, et que les délais exigés par les consommateurs sont courts.

Concrètement, l'IA et le machine Learning permettent d'anticiper les pics de demandes, mais également de prévoir quelles catégories de produits seront plus ou moins commandés en fonction des périodes et des facteurs identifiés. L'IA pourra par exemple conseiller d'attendre avant de lancer une tournée car elle anticipera d'autres commandes imminentes, permettant ainsi d'optimiser à la fois le remplissage des camions et les tournées.

- **Simuler les évolutions de réseaux**

L'intelligence artificielle vous permet, à partir de l'ensemble des données enregistrées, de simuler des scénarios supplychain. L'avantage est de pouvoir trouver des optimums sur plusieurs sujets. En effet, en créant des scénarios, il est désormais possible d'optimiser des routes et des charges transportées, intégrer de nouvelles capacités de transport et de stockage ou encore optimiser des plans de transport. L'objectif principal d'une solution comme celle-ci réside dans l'analyse rapide, pour accélérer la prise de décision.

II.7. L'influence de L'IOT (Internet Of Things) au transport

L'Internet des Objets ou Internet Of Things (IOT) a le potentiel pour transformer l'industrie des transports en modifiant profondément la façon de rassembler les données, se connecter avec les utilisateurs et automatiser les processus.



Figure 12: L'IOT et le transport

L'IoT consiste en la mise en réseau d'objets physiques qui, via l'utilisation de capteurs embarqués, d'actionneurs et d'autres dispositifs, peuvent collecter et transmettre des informations sur l'activité du réseau en temps réel. Les données collectées à partir de ces équipements peuvent alors être analysées par les organismes de transport pour :

- Améliorer l'expérience du passager avec des transports plus fiables, de meilleurs services à la clientèle, une communication et des informations plus précises.
- Augmenter la sécurité, en mieux comprenant l'exploitation du système des transports grâce aux capteurs de données qui détectent toutes les anomalies dans la vitesse des trains, les températures de la chaussée, l'état des pièces des avions, ou encore le nombre de voitures qui attendent à une intersection.
- Réduire l'utilisation et la congestion de l'énergie, grâce à l'exploitation des données en temps réel pour faciliter l'adaptation des ressources aux opérateurs qui doivent répondre à la demande, grâce à l'agilité de réagir rapidement à des modèles de trafic en évolution rapide, ou pour traiter l'impact de la circulation sur la consommation de carburant, sur l'environnement et sur la compétitivité économique régionale.
- Améliorer la performance opérationnelle, en surveillant de manière proactive les infrastructures critiques et créer des processus plus efficaces, pour réduire les coûts d'exploitation et améliorer la capacité du système ⁵⁵

7.1. La définition de l'IOT

Selon l'Union internationale des télécommunications, l'Internet des objets (IdO) est une « *infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication* ⁵⁶*interopérables existantes ou en évolution* ». En réalité, la définition de ce qu'est l'Internet des objets n'est pas figée. Elle recoupe des dimensions d'ordres conceptuel et technique.⁵⁷

D'un point de vue conceptuel, l'Internet des objets caractérise des objets physiques connectés ayant leur propre identité numérique et capables de communiquer les uns avec les autres. Ce réseau crée en quelque sorte une passerelle entre le monde physique et le monde virtuel.

D'un point de vue technique, l'IDO consiste en l'identification numérique directe et normalisée (adresse IP, protocoles smtp, http...) d'un objet physique grâce à un système de communication sans fil qui peut être une puce RFID, Bluetooth ou Wi-Fi.

7.2. Les enjeux de l'IOT dans le secteur du transport public

L'Internet des objets ou IOT (Internet of Things) est en plein essor depuis cinq ans et est promis à un avenir à fort potentiel. En particulier, les entreprises du secteur du transport public mettent en place des projets IOT, rendus possibles par l'amélioration et la diversification des technologies disponibles (diminution des tailles et baisse des coûts de capteurs, émergence de nouvelles connectivités, etc.).

L'année 2020 devrait donc marquer un tournant avec le passage à l'échelle de plusieurs projets ambitieux .⁵⁸

7.3. Les familles de cas d'usage IoT dans le secteur du transport public

L'IoT peut répondre à de nombreux cas d'usage dans le secteur du transport public. Ces différents cas d'usage peuvent être catégorisés comme illustré ci-dessous.⁵⁹



Figure 13: Familles de cas d'usage de L'IOT dans le secteur du transport public

7.4. Les enjeux principaux de l'IOT

L'IoT dans le secteur du transport public est pensé pour résoudre des problématiques précises. Celles-ci se concentrent à date sur quatre enjeux principaux présentés par ordre de priorité pour les acteurs du secteur.⁶⁰

- **La sécurité**

La sécurité des usagers et des agents est une priorité, si ce n'est la priorité, des acteurs du transport public. Les capteurs IoT permettent d'une part d'accroître la prévention des incidents et d'autre part d'en réduire l'impact, en détectant par exemple le verrouillage des portes de matériel roulant.

- **La réduction des coûts de maintenance**

L'IoT est également utilisé pour soutenir la maintenance réactive, empêchant une interruption de service trop longue lors d'une panne effective sur une infrastructure par exemple.

La valorisation des données collectées devra également à terme soutenir la mise en place d'algorithmes de maintenance prédictive. Des entreprises du secteur du transport public travaillent déjà sur des cas d'usage concrets, comme la prévention des pannes de moteurs d'appareil de voie.

- **L'optimisation de l'allocation des ressources humaines et matérielles**

L'IoT améliore également l'allocation des ressources humaines et matérielles. Il devra permettre à terme de limiter la surveillance physique et ainsi permettre aux ressources humaines de se concentrer sur les tâches à valeur ajoutée. La géolocalisation permet également de réduire les pertes de matériel et de temps. Le matériel de chantier en particulier est coûteux et réutilisable, sa géolocalisation permet donc d'économiser son coût de rachat et le temps de recherche associé.

- **Amélioration de la qualité de service**

L'IoT permet d'accroître la qualité des services à disposition des usagers (agents ou voyageurs) pour leur garantir une meilleure expérience utilisateur (taux de remplissage des rames par l'installation de capteurs IoT sur les quais et dans les rames, surveillance de l'état de nettoyage du matériel roulant, géolocalisation en temps réel des bus et tramways etc.)⁶¹

7.5. Les spécificités de l'IoT dans le secteur du transport public.

Les spécificités technologiques :

L'IoT appliqué au transport public a des contraintes particulières pour le choix de la connectivité et des capteurs.

- **Les capteurs :**

Le choix ou le design des capteurs IoT pour le transport public doivent répondre à des contraintes spécifiques. Lorsqu'ils sont dispersés sur le réseau ferré, les capteurs doivent résister à des conditions parfois extrêmes qui leur demandent une forte adaptabilité : fortes variations de température, vent, vibrations, passages de trains de plusieurs tonnes, etc. Par ailleurs, le lieu de pose ainsi que la précision nécessaire de la mesure de la donnée des capteurs IoT sont à coordonner aux normes européennes et françaises du transport.

En conséquence, la majorité des cas d'usages étudiés s'appuient essentiellement sur des capteurs conçus par des start-ups, des PME, ou des co-développements dans le cadre de partenariats, faute de standards encore adaptés sur le marché. Un point d'attention est donc à mettre quant au temps à allouer à leur conception spécifique et à leur homologation.

Le déploiement de capteurs peut s'avérer chronophage du fait d'un territoire à couvrir important, à accessibilité variable et au nombre de capteurs élevé. La difficulté porte sur la capacité à fournir une cartographie précise pour l'installation des capteurs.

- **La connectivité**

La connectivité IoT dans le domaine du transport public doit adresser trois grandes contraintes spécifiques : la couverture des zones rurales, souterraines et la connectivité en situation de mobilité. Cependant, même si les connectivités IoT permettent d'adresser de nouveaux cas d'usage, elles n'ont pas vocation à court terme à remplacer les réseaux privés dédiés à la sécurité (par exemple le réseau GSM-R qui permet en cas d'urgence la priorisation des appels et l'allocation de ressources réseau).

- **Les plateformes**

A l'heure actuelle, il n'y a pas sur le marché des plateformes IoT clé en main pour adresser le panel des cas d'usage du transport public. En effet, le choix d'une plateforme IoT doit prendre en compte de nombreux critères : périmètre fonctionnel, intégration avec l'écosystème, hébergement, sécurité etc. Si les acteurs du secteur peuvent s'entourer de partenaires technologiques, il n'en demeure pas moins qu'ils devront consentir à un effort important pour le développement et l'intégration de leur plateforme IoT.

Les spécificités organisationnelles

Les entreprises du secteur du transport public peuvent être structurées en de nombreuses entités fonctionnelles ou/et territoriales. Pour des objectifs d'homogénéisation et de rationalisation à l'échelle du groupe, il est nécessaire de structurer une organisation adaptée qui doit permettre le partage d'informations cross-entités et l'émergence de standards et de solutions applicables au groupe. Cette organisation doit avoir à cœur d'accompagner la multiplicité des acteurs (personnel en gare, maintenance, signalisation et aiguillage, conducteur de matériel roulant etc.) dans la prise en main des services IoT pour garantir leur adoption.

L'IoT dans le secteur du transport public entame une phase d'industrialisation avec des défis propres à relever. Les choix technologiques, des capteurs à la connectivité, et organisationnels doivent être au cœur de la définition d'une stratégie IoT pour le transport public. L'IoT, associé à d'autres technologies, pourrait ainsi devenir un vecteur de la transformation des

entreprises du secteur confrontées en France à de nombreux défis avec l'ouverture à la concurrence ou encore l'organisation des Jeux Olympiques 2024

- Dans cette partie on va parler aussi d'un assistant des technologies avancées qui a joué un grand rôle pour développer les villes et les organiser, qui est le big data, et c'est en sauvegardant beaucoup d'informations dans le domaine de transport et réaliser la sécurité des réseaux.
- On va examiner les formes les plus importants qui le big data eut l'apporter pour réaliser ça.

II.8. Le Big Data et le transport

Collecter de nombreuses données partout dans la ville et dans tous les domaines c'est bien, pouvoir les croiser entre elles pour créer des services innovants c'est encore mieux. L'Open Data – en proposant des données accessibles, partageables et utilisables par tous – autorise l'interopérabilité, c'est-à-dire la possibilité, pour différents systèmes ou entreprises, de fonctionner ensemble en mixant leurs données. C'est donc un principe, à l'opposé du fonctionnement en silo, essentiel au développement de la ville intelligente, qui bénéficie autant aux acteurs publics que privés.



Figure 14: Le big data et le transport

Dans le domaine de la mobilité par exemple, la mise à disposition de certaines données par les opérateurs de services de mobilité, telle que prévue par un règlement européen ou la loi française sur les mobilités, contribue à faciliter l'organisation de déplacements multimodaux. Ces données collectées offrent une vision claire de l'offre de transports disponible à un instant donné, avec l'objectif, pour les opérateurs concernés, de mieux répondre aux besoins des usagers. L'Open Data apparaît donc incontournable pour les projets de Maas chers à la ville

durable, comme Jelbi à Berlin, Maas Madrid en Espagne ou Wien Mobil à Vienne.⁶²

8.1. Définition de Big data

Le « Big Data » est un terme générique employé pour désigner les stratégies et technologies mises en œuvre pour rassembler, organiser, traiter et analyser de vastes ensembles de données.

Le Big Data est l'art de gérer et d'exploiter de gros volumes de données. Dans le secteur du transport⁶³, il est utilisé pour :

Comprendre: les phénomènes de congestion et moyens de les éviter sont établis grâce à l'analyse des parcours utilisateurs couplés aux circuits alternatifs disponibles.

Planifier: La définition des offres de transport et projets d'infrastructures est issue de l'analyse d'une masse d'informations concernant les données des trajets : flux quotidien en fonction du jour, de l'horaire, de l'itinéraire.

Connaitre: Les profils, besoins des utilisateurs sont cernés grâce à l'analyse des données clients via les programmes de fidélité etc...

Optimiser: Le trajet le plus court/rapide/économique est trouvé à l'instant t en s'appuyant sur l'analyse des données utilisateurs et données en temps réel.⁶⁴

8.2. Les utilisations de big data

La Big Data peut être utilisée de nombreuses manières

- **Offre une vue d'ensemble**

La visualisation des données rend tous les paramètres de mobilité pertinents plus transparents. En raison du nombre croissant de nouveaux services de micro-mobilité, la mobilité urbaine se diversifie chaque jour davantage. Qu'il s'agisse de l'occupation des places de stationnement, de la disponibilité et des schémas de déplacement des parcs de vélos de location et des trottinettes électriques, de la situation actuelle du trafic, de la position du parc de transport public, du comportement du trafic dans différentes conditions météorologiques et à différents moments de la journée, etc.

De nombreux paramètres qui doivent être pris en considération pour le développement de concepts urbains durables.⁶⁵

- **Analyse des données**

L'analyse des données peut aider les décideurs politiques du secteur des transports à tester et à évaluer directement la mise en œuvre des mesures réglementaires : De la restriction de circulation et du stationnement à la création de zones à faibles émissions. Lors de la l'implantation de nouveaux services à la demande, il est important de déterminer à l'avance de manière fiable la demande pour celle-ci. Combien de véhicules seront nécessaires dans la zone urbaine au matin ? Que se passera-t-il s'il pleut ?

La combinaison des données antérieures et de l'intelligence artificielle permet d'analyser les zones où l'offre sera excédentaire ou plus élevée et donc de planifier et d'optimiser au mieux le service à la demande.⁶⁶

L'avenir de la planification et de la modélisation du transport implique la collecte de grands volumes de données multimodales – Big Data.

L'information fiable et pertinente tirée de ces ensembles de données permet aux planificateurs et concepteurs de modèles de concevoir des réseaux municipaux et régionaux de transport alignés aux objectifs souhaités, soit l'amélioration des flux de trafic et la mobilité des individus, ainsi que la réduction des émissions polluantes. La diffusion de l'information névralgique relative à l'infrastructure du réseau routier et aux conducteurs en temps réel est une partie importante de toute solution en vue d'harmoniser les flux de véhicules que cela soit par l'optimisation des feux de circulation, l'atténuation de la congestion élaborée à partir de l'analytique, voire l'éducation des conducteurs. Éduquer ceux-ci sur les principes de la conduite durable est complémentaire à la mise en œuvre des changements d'infrastructure.

Le résultat net est un scénario gagnant-gagnant pour les entreprises, les gouvernements et la société grâce à des économies de coûts et à des améliorations de l'environnement. La Ville de Winnipeg et les projets de Cargo et Transports Canada sont deux exemples probants de l'utilisation du Big Data. Ainsi, les planificateurs et les décideurs peuvent mieux comprendre les modes de transport et les possibilités d'améliorer la mobilité des personnes, de réduire la congestion et les émissions et ultimement de découvrir des solutions alternatives avec d'importantes économies de coûts.⁶⁷

II.9. L'utilité des applications pour déplacement

Les nouvelles technologies sont de plus en plus présentes dans notre quotidien. Aussi, quand il s'agit de se déplacer dans le cadre de son travail ou lors d'un voyage, de très nombreuses applications mobiles peuvent être d'une aide très appréciable.

Si vous habitez une grande ville, elles peuvent par exemple vous éviter des bouchons ou les rues bloquées par des travaux. Elles seront par exemple d'une grande aide pour les déplacements à Paris.

Elles peuvent également vous permettent de mieux organiser les déplacements par les transports en commun en vous concoctant des itinéraires par train, bus ou encore vélo en libre-service.

Lors de voyages dans une ville que vous découvrez, elles vous accompagnent dans sa découverte et vous facilitent la vie lorsqu'il s'agit de vous déplacer d'un quartier à un autre.⁶⁸.

Dans cette section on va présenter quelques sur Smartphone en vue de transport urbain.

- **Le TMS mobile :**

Un TMS mobile, c'est l'outil de base que tout conducteur routier doit avoir à portée de main. Véritable agenda de poche, il met à disposition de vos conducteurs un planning mis à jour en temps réel. Il facilite la communication entre le conducteur et l'exploitation, en permettant notamment de faire remonter les incidents directement dans l'application pour un traitement immédiat des problèmes. Evolutif, il peut intégrer des solutions tierces via des API, pour regrouper tous vos outils dans une seule interface. En bref, c'est une application essentielle qui centralise tout au sein d'un smartphone.

- **La gestion des lettres de voiture électroniques :** les bienfaits de la dématérialisation

Pourquoi s'embêter encore avec des versions papier alors que la lettre de voiture électronique (ou eCMR) est si facilement accessible grâce aux applications mobiles. Sécurité des échanges (avec la signature électronique) et validation rapide de la livraison (un simple smartphone suffit) font partie des avantages de la lettre de voiture électronique. Alors ne vous privez pas d'utiliser une telle solution !

- **l'outil de gestion de lettres de voiture électroniques**
- **Les bourses de fret : la fin des retours à vide**

Les bourses de fret sont indispensables pour se tenir informé en temps réel des frets disponibles et réduire les retours à vide. Grâce aux logiciels Cofisoft, vous profitez d'une interconnexion directe avec les principales bourses de fret (B2PWEB, Téléroute ...). L'optimisation du taux de remplissage de vos véhicules devient ainsi plus intuitive.

- **Les plateformes de traçabilité : un meilleur suivi et plus de transparence**

Il existe aujourd'hui des plateformes permettant de simplifier les échanges entre donneurs d'ordre, destinataires et transporteurs. La traçabilité étant devenue une sorte de priorité dans le transport routier, il serait dommage de se priver d'outils permettant de la favoriser.

Avec une plateforme de traçabilité (ex : GedMouv), plus de ressaisies inutiles et plus de temps perdu à contacter les différents acteurs de la chaîne de transport. Les informations d'une commande sont en effet accessibles sur la plateforme par chaque acteur du transport. Tout est centralisé pour de vrais échanges automatisés.

Un tel outil permet également un suivi du transport en temps réel, avec la remontée automatique de l'avancement des missions sur le planning graphique ACS par exemple. Il est ainsi facile de mettre en place rapidement les mesures techniques et/ou commerciales correctives en cas d'anomalie. C'est pourquoi nous avons développé le module GedMouv ACS, vous permettant de profiter des avantages de la plateforme GedMouv dans ACS.⁶⁹

II.10. quelques applications

➤ Google Maps

Est un service de localisation en ligne. Lancé pour la première fois en février 2005 aux États-Unis, il n'est utilisé en France qu'un an plus tard. Aujourd'hui, il est accessible partout. Sa cartographie en ligne est disponible sur plusieurs supports : PC, tablette ou smartphone.

Cette application recouvre une immense surface. Elle présente une visibilité à l'échelle mondiale. Les prises de vue de Google Maps sont tellement précises qu'il est possible de zoomer jusqu'aux ruelles. En zoomant, plusieurs détails s'affichent. Les images mentionnent

le nom des villes, des quartiers et des rues de chaque pays. Cette cartographie mondiale est obtenue grâce à des images satellites et à des photographies aériennes. L'application intègre aussi un paramètre qui permet de repérer les itinéraires. Les points de départ et les points d'arrivée y sont indiqués. Différents moyens de transport y sont proposés, avec la durée des trajets. Google Maps détaille en outre les horaires et les fréquences d'arrêt des moyens de locomotion disponibles. Toutefois, il ne prend pas en compte les éventuelles perturbations lors des déplacements. Très pratique, il suggère différents itinéraires, dont le plus rapide. Cela n'empêche pas de moduler manuellement le parcours. Il suffit de pointer le point de départ, le point d'arrivée et la position actuelle de l'utilisateur.⁷⁰

Visualisant l'ensemble de la planète, cette application convient parfaitement aux grands voyageurs. Il est possible de la télécharger gratuitement et elle est accessible sous forme de lien sur la page d'accueil de Google.

Pour mieux circuler en ville, Moovit est parmi les meilleures applications que l'on peut avoir sur notre appareil mobile. D'ailleurs, elle est parmi les applis de transport les plus téléchargées dans les quatre coins du globe, et ce n'est pas pour rien.

Elle est présente dans plus de 1 700 villes dans 79 pays, d'où son succès.

Disponible sur iTunes et Google Play, l'appli propose aux utilisateurs les meilleures options pour se déplacer ainsi que des informations actualisées de façon régulière.⁷¹

Cerise sur le gâteau, elle est équipée d'un système de géolocalisation précise qui aide à tracer le trajet idéal.

➤ **Waze**

Certes, Google Maps est l'application de navigation GPS la plus utilisée dans les quatre coins du monde, mais Waze (rachetée par Google à prix d'or) se taille une place de choix dans nos appareils mobiles.

Son principe est très simple : ce sont les utilisateurs qui avertissent les autres usagers en temps réel du trafic, des accidents, des dérangements dans le réseau, de l'état des routes, du prix de l'essence, etc. Ainsi, l'appli propose à l'utilisateur l'itinéraire le plus rapide.

C'est sans aucun doute l'outil indispensable pour vos déplacements journaliers. Waze vous

plaira à coup sûr !

A noter que l'application informe aussi les utilisateurs des limitations de vitesse et pourrait signaler les dépassements par bip sonore.

➤ **Geovelo**

Si vous n'envisagez aucun déplacement sans votre vélo, cette application sera parfaite pour vous. C'est donc tout naturellement que nous l'avons intégrée à notre sélection des meilleures applications de transport.

Elle se veut être le « Waze du cycliste » en lui permettant de trouver le meilleur itinéraire pour aller d'un point A à un point B avec son fidèle 2 roues.

L'application, en plus de vous donner le temps estimé et les kilomètres à parcourir, vous indique également le pourcentage de voies aménagées sur votre trajet.

Geovelo vous propose également pour votre temps libre des balades thématiques.

➤ **Uber**

Sans aucun doute, Uber est parmi les meilleures applications qui facilitent nos déplacements au quotidien. C'est pourquoi elle est utilisée par des millions de personnes dans le monde. Elle est conçue avec soin pour nous permettre de trouver un VTC en quelques clics et à moindre coût.

En quelques années, cette appli s'est imposée comme un acteur majeur du secteur des transports. En France, Uber a été utilisé par des millions de personnes, au moins une fois.

L'application de transport est bien évidemment disponible sur les appareils iOS et Android.

➤ **Yassir**

S'inspirant du géant américain Uber, Yassir est la première application mobile en Algérie à connecter des usagers à des chauffeurs de taxi

Yassir met en relation des utilisateurs avec des conducteurs de taxi, qui sont géolocalisés à l'aide de leur smartphone. Le prix de la course est calculé en fonction de la distance et de la durée estimée du trajet. Une commission, qui oscille entre 20 et 25 % du coût de la course, est

prélevée par la plateforme. Un principe calqué sur celui proposé par le modèle du géant américain Uber qui n'est pas présent sur le territoire algérien et a récemment jeté l'éponge chez le voisin Maroc.

➤ **Citymapper**

Avec Citymapper, tout est très simple. A partir de la position de l'utilisateur et de son lieu d'arrivée, l'application génère plusieurs itinéraires équivalents, indiquant le temps du trajet, tarif estimé, etc.

L'outil met à jour ses horaires en temps réel et communique même aux utilisateurs le wagon dans lequel monter pour être au plus proche de la sortie une fois à quai.

Elle prend aussi en compte l'état du trafic, sachant que l'utilisateur peut configurer des alertes pour les lignes qu'il emprunte de façon régulière.

Bonne nouvelle ! Le téléchargement des itinéraires se fait de façon automatique. Ainsi, l'utilisateur peut poursuivre sa route même en cas de perte de réseau.

➤ **Ratp**

En installant l'application RATP sur son appareil mobile, l'utilisateur retrouve en temps réel les horaires autour de lui grâce à la géolocalisation : Vélib, RER, Bus, Métro, Tramway, Transilien et les lignes aéroports.

Rappelons que la RATP assure une grande partie des transports en commun dans la région parisienne en transportant plus de 3 milliards de personnes par an. Pour offrir aux usagers un service plus adéquat, la firme a eu l'idée de développer l'application RATP.

Régulièrement, l'appli est mise à jour avec de nouvelles fonctions innovantes. A noter qu'elle est disponible sur l'App Store et Google Play.

Bien évidemment il existe de nombreuses autres applications de transport pour faciliter vos déplacements. Il s'agit ici de nos « must have », mais n'hésitez pas à nous partager vos applis favorites

➤ **Le GPS**

Le GPS ou Global Positionna System se définit littéralement par « Système mondial de

positionnement ». Sous ce sigle se cache un système sophistiqué de localisation par satellites né aux États-Unis dans les années 1970. Ce système de géolocalisation aujourd'hui utilisé dans le monde entier a été mis en place par le gouvernement américain à des fins militaires, sous l'impulsion du département de la Défense. Le déploiement des satellites a duré plus de deux décennies, avec un total de 24 appareils déployés en 1995.

Les appareils qui embarquent cette technologie sont dotés d'un récepteur GPS qui permet à l'utilisateur de connaître sa localisation en temps réel, quelle que soit sa position géographique. Par extension, le terme GPS signifie également assistant de navigation, autrement dit un appareil qui intègre la géolocalisation par satellite. Pour distinguer ces deux concepts, il convient de mentionner « le » GPS lorsqu'on se réfère à la technologie, contrairement à « un » GPS qui correspond à un assistant de navigation. L'Europe dispose aussi de son système de navigation par satellite, Galileo.⁷²

II.11. Conclusion

En générale l'intelligence artificielle, Internet des objets, Big data et les applications mobile sont très utilisée dans le transport. Ces derniers permettent de réduire les coûts liés à la maintenance du matériel : l'intelligence artificielle permet essentiellement d'anticiper l'entretien et le renouvellement de certains composants d'une machine, par exemple. Il est possible également de détecter les défauts, les usures ou encore les pannes potentielles sur un véhicule, aussi elles peuvent sécuriser et d'automatiser la conduite, l'IA sera donc en mesure de rendre possible la conduite autonome, interpréter le champ visuel ou encore anticiper toute collision potentielle. Notons également qu'elle permet de détecter le marquage au sol, par exemple, mais également d'interpréter les panneaux et les feux de circulation.

CHAPITRE

III

**Enquête Littérature sur les
travaux de recherche en vue
de transport urbain**

III. 1. Introduction

La mobilité vivant une période de transformations, la planification adopte une approche à la fois vigilante et prudente. Les pouvoirs publics entendent à ce titre conserver de la résilience sur le système de transport. Dans ces conditions, nul ne se lance dans des partis pris trop audacieux en faveur des nouvelles mobilités, note Fabien Laurent. Sur les outils, les instruments de simulation voient leurs capacités accrues année après année. L'interrogation demeure toutefois sur leur aptitude à saisir les comportements nouveaux des individus et les impacts en résultant sur le terrain.

III. 2. Synthèse bibliographiques

Dans ce chapitre on va présenter une courte investigation de quelques travaux de recherche sur le transport urbain et la mobilité. Dans ce contexte, il y a beaucoup travaux de recherches sur la modélisation, analyse, évaluation ..., gestion de flux, prédiction de la demande, prédiction de circulation, prédiction de congestion.

On a classifié notre investigation littérature selon les outils et les méthodologies utilisé dans le traitement des différents problèmes de transport.

2.1. Réseau De Pétri (RDP)

Les Réseaux de Pétri sont un outil de modélisation universellement connu et reconnu pour les possibilités d'analyse, de validation et de vérification dont ils font preuve. L'exploitation de la théorie associée aux RDP permet, par la recherche des P et T invariants de répondre à de nombreux problèmes. Cet outil de modélisation est particulièrement bien adapté à la représentation des systèmes de production. On va présenter aussi Une revue des applications des réseaux de Pétri dans la modélisation, l'analyse et le contrôle du trafic urbain. Dans cette section on a résumé les travaux de recherche à base de RDP afin de traiter des problèmes liés à la mobilité.

He Zhuang et al ⁷³, ont étudié la Prédiction des conflits d'horaires de trains à grande vitesse basée sur un raisonnement de connaissances temporelles floues Ils ont proposé un modèle à base de RDP sur la gestion des horaire de fonctionnement de train. Cette étude

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

aborde la question de la russification des intervalles de temps dans un horaire de train à partir de statistiques historiques et de la modélisation d'un horaire de train à grande vitesse basé sur le concept de un réseau de Pétri chronométré.

Taha Benarbia et al ⁷⁴ aborde le problème de Modélisation et contrôle des systèmes de vélos publics en libre-service, ils développent une approche originale de réseau de Pétri pour la modélisation des systèmes de vélos en libre-service et l'évaluation des performances à des fins de contrôle. Un cadre modulaire basé sur des réseaux de Pétri avec marquage des poids dépendants est proposé et un outil logiciel de simulation est développé et utilisé pour simuler et valider les modèles décrits dans cet article. Notre approche vise à aider les planificateurs et les décideurs à déterminer comment mettre en œuvre et exploiter avec succès ces systèmes dynamiques complexes.

MAHI Faiza ⁷⁵ a fait une Synthèse de la commande supervisée d'un système par l'approche des Réseaux de Pétri, Cette thèse s'intéresse à la modélisation et au contrôle supervisé de systèmes dynamiques hybrides horodatés. Ses objectifs sont de modéliser et contrôler les systèmes de transport intermodaux à travers les réseaux de Pétri hybrides RdPH et la logique floue. Ces systèmes comprennent des événements continus et discrets qui sont simultanément représentés par le flux continu de passagers et des quantités discrètes de véhicules de transport (par exemple, bus, trains et tramways). Le principal avantage des réseaux de Pétri hybrides réside dans leur capacité à analyser le modèle graphique. Cette analyse, appelée validation croisée, permet d'extraire du modèle les propriétés que doit avoir le système physique représenté.

Kok Mun Ng et al ⁷⁶ ont développé une étude qui montre les vastes applications des RDP dans la modélisation et la simulation, l'analyse et l'évaluation des performances, le contrôle et l'optimisation intelligents et la gestion de la congestion dans les systèmes de trafic urbain. Telles que ses contributions et ses limites. L'extensibilité et le potentiel de recherche futur pour promouvoir les applications réussies des RDP dans les systèmes de trafic

Un autre scientifique Nait-Sidi-Ahmed⁷⁷ a développé une étude portant sur la modélisation, l'analyse et la commande des systèmes à événements discrets par les réseaux de Pétri et l'algèbre (max, plus) : Application aux systèmes de transport

Cette thèse s'intéresse à la modélisation STP par Grilles de Pétri et algèbre (maximum, plus).

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

Il existe deux situations de fonctionnement possibles Étudier:

- Le processus dit simultané que les véhicules attendent aux points échange de passagers
- Le fonctionnement asynchrone n'est pas attendu par les véhicules.

Pour chacune de ces deux fonctions, une classe de réseaux de Petri a été utilisée qui

Il répond aux exigences et aux hypothèses qui régissent le système. Les modèles sont construits

Graphiques et représentations (maximum, plus) qui décrivent le comportement du système

La thèse traite également de la problématique du contrôle de STP. a été suggéré Deux structures de contrôle qui améliorent les performances Autobus. La première de ces structures est basée sur la théorie des résidus dans les diodes. La seconde utilise des résultats de simulation.

Marc Bourcerie et al ont proposé une étude sur la modélisation de la gestion de flux par Réseaux de Pétri et le trafic urbain, L'observation et la régulation des flux trouvent leur utilité dans de nombreux domaines d'application : en production, pour les flux d'objets sur les lignes de fabrication, en génie informatique, pour les flux de données, en urbanisme, pour les flux de véhicules automobiles. L'objectif de cette thèse est ici de présenter l'outil réseau de Pétri comme étant apte à répondre à cette gamme de problèmes. Pour cela, ils présentent quelques modèles de captation de flux et de séquenceurs dynamiques en vue de mieux répartir la charge d'entités (objets, données) au sein d'une structure.

Wilhelm Dangelmaier et al⁷⁸ on utilise un Réseaux de Pétri basés sur des agents pour le contrôle du transport, Les agents et les systèmes multi-agents pour résoudre les problèmes de transport avec des restrictions de capacité sont liés à une grande quantité de communication. les auteurs utilisèrent des Pétri-Nets pour réduire le besoin de communication. De plus, les réseaux de Pétri sont utilisés pour modéliser les aspects simultanés d'un problème de transport axé sur la demande. Enfin, un outil est introduit qui utilise une combinaison de Pétri-Nets et d'agents pour simuler un flux de transport. D'autre a a étudiée la modélisation et évaluation d'un système de transport par l'algèbre max-plus

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

A.NAIT-SIDI-MOH et al⁷⁹ arrivent à modéliser un réseau de transport en commun et ensuite évaluer ses performances en utilisant l'algèbre (max, +). En utilisant les graphes d'événements temporisés,

Parmi les objectifs des études qui seront envisagées et qui feront suite à cet article l'étude d'un réseau dont les périodes des circuits sont variables, et les lignes sont desservies par plusieurs bus.

Dans le transport aériens l'optimisation de la circulation des avions sur l'aéroport, résolution de conflits aériens est un sujet très important Ahmed Nait-Sidi-Moh ⁸⁰ a fait une étude pour répondre aux exigences de qualité des services de transport en commun le document présente différentes méthodes d'optimisation appliquées à la gestion du trafic aérien. La première partie est consacrée aux algorithmes génétiques et propose un opérateur de croisement adapté aux problèmes partiellement séparables. Une application est proposée : l'optimisation de la circulation des avions sur l'aéroport. La deuxième partie traite le problème de résolution de conflits aériens avec différentes modélisations (approches centralisées ou autonomes) et différentes méthodes d'optimisation : algorithmes génétiques, branch and bound par intervalles, réseaux de neurones, programmation semi dénie, hybridation d'algorithmes génétiques et de méthodes déterministes (programmation linéaire, algorithmes A*).

2.2. MATSIM

MAT Sim ⁸¹ (Multi-Agent Transport Simulation), est un système de modélisation de micro-simulation de réseaux de transport destiné à des applications à grande échelle, la question principale est de savoir comment les modèles peuvent répondre aux nouveaux besoins : nouvelles mobilités, intermodalité.... Dans cette partie, nous exposons quelques résultats issus des travaux étudiés en utilisant le MATSIM.

Amine Othman ⁸² a développé une Simulation multi-agent de l'information des voyageurs dans les transports en commun. Dans ce travail de thèse, il propose une simulation multi-agent pour mesurer l'impact de la fourniture d'informations sur la qualité des voyages en transports en commun, notamment dans des situations perturbées.

Issam Zidi a aussi proposé une étude portante sur Modélisation et Optimisation d'un Système

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

de Transport à la Demande Multicritère et Dynamique. Il Présente le service de Transport À la Demande (TAD) en détaillant la problématique du système de TAD. Ensuite il rappelle les Problèmes Multi-Objectifs (PMO) et les méthodes existantes dans la littérature pour les résoudre. Ces méthodes cherchent des solutions au PMO appelées Pareto-optimales .Après-il Détaillé leur modélisation mathématique du PTD multicritères. Suite à cette modélisation, Il étendit leur modèle mathématique pour le PTD afin de traiter le critère de satisfaction en termes de véhicules. Cette satisfaction est déduite lorsqu'il s'agit de l'utilisation de véhicules hétérogènes pour servir les demandes de transport. Pour résoudre le PTD avec véhicules hétérogènes, il développe un Système Multi-Agents (SMA) basé sur l'algorithme de recuit simulé multi-objectifs. Ce système prend en compte les préférences du voyageur d'où la gestion de profil utilisateur. Dans ce cas, les véhicules et les voyageurs sont des agents

Dans un autre séminaire ⁸³sous le titre : MODÉLISER LES TRANSPORTS D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN, les auteurs on utilise MATSIM aussi pour résoudre plusieurs problème, Kay W. Axassent a étudiée Comment la modélisation aide à la minimisation le coût de la modélisation des transports d'aujourd'hui et de demain et a définir avec précision les différents ressorts de cette variable avec MATSIM.

L'outil MATSIM permet une simulation des impacts du trafic sur la qualité de l'air aux abords des infrastructures modélisées. C'est le résultat du travail de collaboration mené conjointement par le professeur Kay Nagel et M. Kickhöfer. Pour estimer les émissions de polluants locaux induits par le trafic, MATSIM intègre comme facteur d'émission le type de véhicule en circulation, la catégorie de voirie en présence et l'état du trafic à travers la période modélisée. Il différencie aussi les émissions à chaud ou à froid. Du fait de son approche centrée sur l'agent, MATSIM permet de produire des données dynamiques sur la composition du trafic (vitesse, type de véhicule, etc...) sur un tronçon donné. Le simulateur peut ainsi approcher avec précision la somme des émissions. Grâce à cet outil, les modélisateurs ont pu réaliser une analyse de la politique tarifaire menée par la ville de Munich et relative aux émissions de polluants en fonction de la fluctuation de la demande de mobilité. L'évaluation a permis en outre d'identifier les agents les plus sensibles à la variabilité des prix

Nicolas Coulombel aborde La modélisation multi-agents au service de l'aménagement durable et répond à la question : Comment promouvoir une mobilité davantage durable au sein d'un quartier ? Le projet évalue en particulier le déploiement – et le bilan

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

environnemental associé - des nouveaux services de transport (véhicules partagés, ...). Ces services de micro-mobilités favorisent-ils la transition vers un modèle plus durable ? Quel bilan présentent-ils en termes d'émissions ? Pour répondre à ces questions, le projet mobilise l'outil MATSIM. Les scénarios reproduisent du point de vue de la mobilité le cadre d'un éco-quartier. Ils permettent dès lors de tester la sensibilité et la réceptivité des agents à l'égard de la nouvelle gamme de services de mobilité proposés, et d'en dresser un bilan en termes de pertinence et de transition durable

Un autre cas le cas nantais (Pierre-Olivier Vandanjon) la Modélisation multi-agents et l'évaluation des externalités environnementales ,L'équipe de l'IFSTTAR s'applique ici à coupler MATSIM avec le logiciel open source Noise Modelling développé par l'UMRAE (Ifsttar) et le CNRS. La finalité consiste à évaluer l'exposition dynamique de la population au bruit routier, avec comme cas d'application l'aire urbaine de Nantes. L'équipe procède en plusieurs étapes, Il est ainsi possible d'estimer le nombre individus exposés au bruit

Un scénario d'une flotte de véhicules autonomes partagés à Paris, premiers résultats (Florian Tedeschi & Jan Durdevic) L'Institut Paris Région a souhaité produire ses propres indicateurs et ordres de grandeur sur le sujet. L'objectif consiste à simuler le déploiement d'une flotte de véhicules autonomes sur Paris intra-muros. L'Institut a utilisé pour ce faire l'outil MATSIM. La finalité du travail consiste à trouver un équilibre entre la demande et l'offre optimale nécessaire (dimensionnement de flotte) pour la satisfaire. Dans un second temps, l'objectif est d'évaluer les impacts de la flotte générée (veh.km parcourus, émissions GES, congestion, ...) sur le réseau.

2.3. Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques appartiennent à la famille des algorithmes évolutionnistes. Leur but est d'obtenir une solution approchée à un problème d'optimisation, lorsqu'il n'existe pas de méthode exacte (ou que la solution est inconnue) pour le résoudre en un temps raisonnable. On va faire une évaluation des potentialités d'un algorithme génétique pour la création et l'optimisation de réseaux de transport en commun, dont on va présenter quelque recherche et études.

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

Parmi les premier travaux ⁸⁴ sont le travail de Tin Shui Wai, Hong Kong (Szeto & Wu, 2011) portant sur la Conception d'itinéraires de bus et problème d'identification de fréquence simultanée pour. Cette recherche propose un algorithme génétique pour l'optimisation des lignes accompagné d'une heuristique de recherche locale pour l'optimisation des fréquences. L'algorithme a été testé avec les données d'un quartier résidentiel en banlieue de Hong Kong. L'ensemble de départ est généré en utilisant le problème du voyageur de commerce (Traveling salesman problème) (Applegate, Bixby, Chvatal, & Cook, 2007) afin d'optimiser les séquences d'arrêts. Cette optimisation des séquences d'arrêts permet de réduire jusqu'à 8% le coût total.

Une autre recherche sous le titre « Optimisation intelligente des agents pour la conception de systèmes de transport urbain par bus (Blum & Mathew, 2011) (agents intelligents) », Une méthode utilisant des agents intelligents a été mise de l'avant pour optimiser le réseau de bus de Delhi, en Inde. Deux types d'agents ont été construits : les agents de sélection de lignes qui choisissent les lignes de l'ensemble de départ et les agents de modification, qui modifient les séquences d'arrêts, effectuent des échanges entre lignes et corrigent les fréquences en fonction des données de demande. Les auteurs ont pu construire une frontière de Pareto (Fudenberg & Tirole, 1991) en effectuant plusieurs simulations en faisant varier le nombre de véhicules

Une méthodologie de conception de réseaux de transport en commun pour les réseaux routiers de taille réelle (Bagloee & Ceder, 2011) (algorithme génétique et algorithme de colonies de fourmis) ,Au moyen d'un algorithme de colonies de fourmis (Dorigo, Birattari, & Stutzle, 2006) et d'un algorithme génétique servant à éviter la convergence vers un minimum local grâce à des mutations, l'optimisation des lignes, des fréquences et des localisations d'arrêts a pu être réalisée pour la ville fictive de Mandl (référence pour comparaison avec d'autres publications), pour la ville de Winnipeg et finalement, pour le réseau de train de la ville de Chicago. Pour ce faire, la fonction d'évaluation minimise les coûts usager ou les coûts opérateur. Le positionnement des arrêts est effectué en première phase et est rendu possible grâce à une méthode de partitionnement (clustering). L'algorithme permet d'obtenir une solution qui permet de réduire de 21% la flotte nécessaire, avec des temps de parcours totaux presque identiques.

Et pour le problème de routage des transports urbains, En utilisant la ville fictive de Mandl, Chew & proposent une nouvelle méthode de mutation on 2012 qui ressemble à une sorte de

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

croisement avec un seul parent. En fait, l'algorithme sélectionne, dans la liste séquentielle de tous les arrêts desservis par les lignes, un arrêt répété. Cet arrêt est sélectionné pour créer deux cassures dans la liste des arrêts. Les arrêts situés avant la première cassure et ceux situés après la deuxième sont alors échangés. Les solutions obtenues au moyen de cette méthode sont de 1 à 3 % plus performantes que celles publiées à la suite des simulations précédentes effectuées sur le réseau de Mandl.

L'utilisation d'un algorithme génétique⁸⁵ a été proposée afin d'optimiser le réseau de bus de la ville de Mashhad en 2012, en Iran. La fonction d'évaluation comporte d'une part le nombre d'habitants ayant accès à au moins une ligne à moins de 460 m et d'autre part la longueur totale de lignes du réseau. Les meilleures, 14 solutions provenant des fichiers de résultats du logiciel EMME/2 sont présentées, mais aucune comparaison avec le réseau existant n'a été réalisée.

Dans le but d'optimiser la flotte d'un réseau de bus et les temps de parcours totaux des usagers, un algorithme génétique a été proposé en 2013 par Afandizadeh & Khaksar. À partir d'un ensemble de lignes de départ dont les parcours ne dévient pas de plus de 20% par rapport au plus court chemin entre les terminaux, les auteurs ont pu analyser deux scénarios. Le premier scénario utilise le réseau routier de Mandl alors que le deuxième scénario tente d'optimiser le réseau de la ville de Mashhad, en Iran. Dans ce second cas, l'optimisation permet de réduire la flotte de 9% et les temps de parcours totaux de 45%.

Un algorithme de colonies de fourmis est proposé pour résoudre le problème d'optimisation de la ville de Mandl par Nikolić & Teodorović en 2013 par. Après analyse des résultats, l'algorithme semble être plus efficace que les précédents pour optimiser les temps de parcours totaux des usagers.

Brands et al a étudiée la Conception de réseaux de transport multi-objectifs en 2014, les auteurs ont utilisé une variante de l'algorithme génétique NSGAIII appelée ϵ -NSGAIII (Kollat & Reed, 2006) afin de construire un ensemble de Pareto de solutions en utilisant les mêmes données que Brands & van Berkum (2014). Après avoir évalué 2330 solutions, un ensemble de Pareto de 229 solutions a pu être construit et permet de mieux estimer la relation entre les différents objectifs d'optimisation. La méthode ϵ -NSGAIII est très efficace pour construire un ensemble de Pareto plus rapidement, mais ne réussit pas à générer des solutions aussi optimales que la méthode NSGAIII non modifiée arrive à trouver.

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

Kechagio poulos et al ⁸⁶ a proposé un approche pour résoudre le problème de routage des transports urbains à l'aide d'un algorithme basé sur l'optimisation de la foule de particules en 2014) (optimisation par essais particulaires) ,En utilisant l'optimisation par essais particulaires (particle swarm optimisation) (Kennedy & Eberhart, n.d.), qui simule le déplacement de certains oiseaux pour économiser l'énergie, des tests effectués avec les données de Mandl permettent de constater que cet algorithme donne rapidement des solutions comparables aux autres méthodes. En fait, pour la plupart des indicateurs évalués, l'algorithme est plus performant que les algorithmes utilisés précédemment pour la ville de Mandl.

Un algorithme mimétique pour améliorer le réseau de transport urbain par H. Zhao et al en 2015, L'algorithme mimétique (Moscato & Norman, 1989) est un algorithme génétique accompagné d'une heuristique de recherche locale permettant d'accélérer la convergence vers des solutions optimales. Les auteurs de cet article ont proposé l'utilisation de l'algorithme mimétique pour optimiser le réseau de Mandl, de même que deux réseaux présentés dans la littérature (Baaj & Mahmassani, 1991; Shih & Mahmassani, 1995). Il s'avère que la méthode qui effectue le déplacement d'un arrêt d'une ligne à une autre soit la plus utilisée. En ce sens, sa contribution à l'amélioration des solutions est donc la plus grande, Une analyse de la sensibilité à de nombreux paramètres a également été complétée.

Autre travail portant sur « Conception de réseau polyvalent pour le routage de transit en tant que problème de couverture de groupe par (Owais, Osman, & Moussa en 2016) (algorithme génétique et problème de couverture par ensembles) », Cet article présente une optimisation des lignes et fréquences de la ville de Mandl et de la ville de Rivera en Uruguay. L'algorithme génétique est utilisé pour générer l'ensemble de lignes de départ, qui sont ensuite sélectionnées pour créer des réseaux complets au moyen d'un problème de couverture par ensembles (set covering problème). L'ensemble de départ comprend deux types de lignes : des lignes favorisant les usagers et des lignes favorisant l'opérateur. À partir des résultats, un ensemble de Pareto est construit pour Rivera et permet d'évaluer la relation entre les temps de parcours totaux des usagers et le nombre de véhicules requis.

2.4. Méta-heuristiques

Un méta heuristique est un algorithme d'optimisation visant à résoudre des problèmes d'optimisation difficile (souvent issus des domaines de la recherche opérationnelle, de l'ingénierie ou de l'intelligence artificielle) pour lesquels on ne connaît pas de méthode classique plus efficace. En dessous on a présenté quelques travaux académique basé sur des techniques d'optimisation méta-heuristique:

Concevoir un réseau de chemins optimisé pour les systèmes de transport à l'aide d'un algorithme génétique (par méthode heuristique) par Chakroborty & Dwivedi ⁸⁷ en 2002.

Un algorithme génétique a été appliqué à la ville fictive de Mandl créée pour évaluer et comparer les performances d'algorithmes d'optimisation de réseaux de transport collectif. Une procédure heuristique basée sur la demande globale à chaque arrêt et leur proximité permet de générer un ensemble de 14 lignes de bus constituant l'ensemble de départ. Deux types de croisement sont mis en œuvre. Les deux lignes concernées sont entrecroisées à l'arrêt commun, Ce second type de croisement est appelé intraligne à un chemin. L'algorithme a été testé quatre fois, avec un nombre total de lignes variant entre 4 et 8. Les temps de parcours globaux de toutes les paires de demandes permettent un gain entre 5 et 13 % par rapport aux études précédentes utilisant le même réseau Mandl.

Des autres ont fait « Implications pour la complexité de calcul de la refonte du réseau de routes de transport pour les systèmes d'optimisation méta heuristique (Blum & Mathew, 2012) » les auteurs ont réalisé une optimisation du réseau de bus de la ville de Mumbai. Cette fois, 3 scénarios ont été évalués. les résultats montrent qu'il est possible, grâce au scénario 1, de réduire de 33,4% le nombre de véhicules nécessaires sans modifier les coûts usager ou de réduire les coûts usager de 7,3% sans modifier le nombre de véhicules. Avec le scénario 2, il est possible de réduire de 18,1% le nombre de bus ou de réduire le 5,5% les coûts usager. Enfin, avec le scénario 3, on obtient soit une réduction du nombre de véhicules de 11,5%, soit une baisse des coûts usager de 4,6%.

Un autre Problème de gestion de distribution⁸⁸ : Cas du problème de tournées de véhicules avec collecte et livraison de marchandises dans un réseau multimodal .Hamdi Radhoui a fait une thèse pour étudier une optimisation des problèmes de transport et de logistique, dont il propose des méta-heuristiques pour résoudre quelques variantes des problèmes de collecte et

livraison des marchandises. L'intérêt pour les approches méta heuristiques telles que les algorithmes itératifs, le recuit simulé, la recherche tabou, etc., a augmenté en raison de la capacité de ces approches à générer des solutions meilleures que celles générées par seulement les simples. Cette recherche utilise des algorithmes de méta-heuristiques pour résoudre le problème de tournée de véhicules avec collecte et livraison de marchandises

2.5. Réseau de neurones

Dans cette section on a résumé les travaux de recherche basant sur les réseaux de neurones.

Hui Li et al⁸⁹ abordent le problème de la détection et de la reconnaissance des plaques d'immatriculation des voitures dans les images de scènes naturelles. Ils proposent un réseau de neurones profonds unifié qui peut localiser les plaques d'immatriculation et reconnaître les lettres simultanément en un seul passage vers l'avant. L'ensemble du réseau peut être formé de bout en bout. la méthode résout conjointement ces deux tâches par un seul réseau. Cela évite non seulement l'accumulation d'erreurs intermédiaires, mais accélère également la vitesse de traitement. Pour l'évaluation des performances, les expériences approfondies montrent l'efficacité du propos.

III.3. Définition des outils de modélisation

3.1. Réseau de Pétri

- **Définition**

Les réseaux de Pétri (RdP) permettent de modéliser des systèmes à événement discret. Ils ont été inventés par Carl Adam Pétri, un mathématicien Allemand contemporain. Il a défini un outil mathématique très général permettant de décrire les relations existant entre des conditions et des événements et de modéliser le comportement des systèmes dynamique à événements discrets. Les RdPs datent de 1960-1962, c'est un outil très général, modélisant aussi bien les protocoles de communication informatique que des systèmes de production. Il est à l'origine du Grafcet (ce dernier étant spécialisé dans la description de la commande de système automatisé).

Les réseaux de Pétri ont été développés pour permettre la modélisation des classes

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

importantes des systèmes, afin de permettre leur conception, leur évaluation et leur amélioration. Ils permettent de modéliser et de visualiser des comportements comportant du parallélisme, de la synchronisation, et du partage de ressource.⁹⁰





C'est un outil de modélisation de la composition et la communication entre les automates, il permet la simulation, la validation et l'évolution de performances.

Elément de base d'un réseau de Pétri

Un réseau de Pétri est un graphe biparti, avec une représentation mathématique graphique simple. Composé de deux sommets : les places et les transitions. Des arcs orientés relient les places aux transitions et les transitions aux places. Les places sont représentées par des cercles et les transitions par des barres.

Le tableau suivant nous montre la signification des graphiques utilisé dans les réseaux de Pétri telle que les places et les transitions.

Tableau 2:Eléments de base d'un réseau de Pétri

| Elément | Place | Transition | Arc orienté | Jeton |
|-------------------|---|---|--|---|
| Signification | Un état du système | Un changement d'état (Action) | reliant soit une place à une transition, soit une transition à une place | état actuel du système |
| Symbole graphique |  |  |  |  |

- **Evolution d'un réseau de Pétri**

L'évolution d'un RdP correspond à l'évolution de son marquage au cours du temps (évolution de l'état du système), il se traduit par un déplacement de marques, ce qui s'interprète comme la consommation/production de ressources déclenchée par des événements ou des actions. Déterminer l'évolution d'un RdP correspond en fait à le simuler. L'évolution d'un RdP se fait par le franchissement d'une seule transition à la fois.

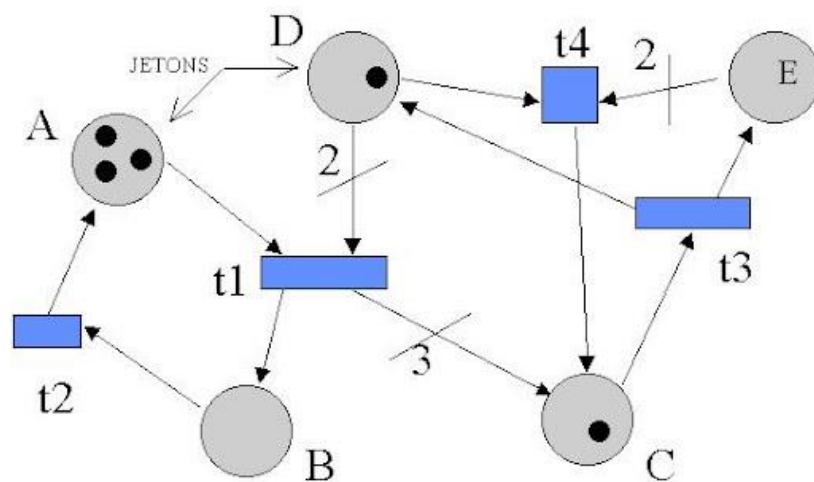


Figure 15: Evolution d'un réseau de Pétri.

- **Les réseaux de Pétri hybrides**

Il est nécessaire, dans certains cas, de représenter sur un même modèle des phénomènes à la fois continus (comme le traitement d'un flux de matière continu) et discrets (comme l'occupation d'une ressource). Une telle représentation ne peut être effectuée uniquement, avec le formalisme RdP discret, ou seulement avec le formalisme RdP continu. Cela a ainsi conduit à la naissance de la définition d'une nouvelle extension, les réseaux de Pétri hybrides [Le et al, 1991].

Dans lesquels coexistent des places et des transitions continues et discrètes, et permet de représenter les deux aspects continu et discret en même temps.

Dans la littérature [Dav et al, 1992], [Kha, 2014] nous trouvons deux types de réseaux de Pétri hybrides les RdP hybrides autonomes et les RdP hybrides temporisés.

3.2. System multi agent

Les systèmes multi-agents (SMA) ⁹¹ mettent en réseau un semble dynamiques d'agents, et offrent en effet un outil pertinent dans la gestion de systèmes complexes distribués en général. Les SMA sont efficaces pour la modélisation et la simulation de systèmes nécessitant l'interaction de plusieurs entités. En effet, la simulation de certaines situations (évacuations, attentats, etc.) est délicate, coûteuse et difficile à réaliser. Ainsi, la simulation multi-agent est une solution pertinente pour ce genre de problématiques. Un SMA permet d'intégrer un

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

nombre important d'individus dans une simulation tout en assurant une gestion et un suivi individuel de chacun d'eux. Grâce aux interactions, un SMA permet de modéliser différents modèles sociaux où plusieurs formes d'échanges et d'interactions sont simulées. Ces capacités permettent de simuler, par exemple, une population, des piétons, des voyageurs dans un réseau de transport, des spectateurs dans une salle de spectacle ou un stade, des visiteurs d'un salon ou d'un centre commercial, etc. La simulation des déplacements permet aux architectes de bien modéliser les plans de déplacements avec l'avantage de pouvoir tester et calibrer plusieurs scénarios. Elle offre aux gestionnaires de ses réseaux plusieurs avantages et possibilités en leur permettant d'étudier et d'analyser d'une manière microscopique leurs méthodes d'affectation ou leurs systèmes d'information voyageurs essentiellement en situation de dysfonctionnement.

MATSIM

MATSIM est un système de modélisation de micro-simulation de réseaux de transport destiné à des applications à grande échelle. Il est développé par une équipe issue du domaine de transport et de l'ingénierie civile qui a exploité le paradigme multi-agent afin de répondre à leurs besoins. Dans MATSIM, la demande est modélisée individuellement pour chaque agent. La modélisation concerne toute une journée et est appelée plan. . Cette structure reste la même durant toute la modélisation et la simulation de la demande. Lors de la phase d'affectation, tout le plan est exécuté et non pas chaque voyage séparément. Afin de fournir les plans de chaque agent, des données concernant l'infrastructure, la population et la demande de la région de la simulation sont créées par l'utilisateur. Ensuite, le système procède à la génération de la demande totale de voyage. Ce processus s'étire sur 4 parties :

- La création de scénario.
- La modélisation des demandes individuelles initiales.
- L'optimisation itérative de la demande.
- L'analyse.

Le processus d'optimisation itérative de la demande est considéré comme la partie centrale de MATSIM [Michael et al.2009]. Le processus s'exécute jusqu'à que chaque demande

d'agent voyageur soit adéquate avec les restrictions du scénario (offre de voyage, réseau) et l'interaction avec les autres composantes de la simulation. Généralement, une méthode de relaxation est utilisée afin de trouver un état d'équilibre. Pour le choix d'itinéraire l'équilibre de Wardrop [Wardrop1952] est défini comme état de repos. Cependant, l'optimisation concerne tout le plan journalier (routes, horaires, localisation, séquence d'activités et types d'activités). Chaque agent essaie d'exécuter son plan avec l'utilité la plus élevée. L'utilité d'un plan journalier dépend de contraintes d'infrastructures (capacités des voies, horaires d'ouvertures des établissements, etc.) et des plans des autres agents dans le système. Cela implique que l'utilité effective d'un plan journalier ne peut être déterminée seulement par l'interaction de tous les agents. C'est ainsi que l'algorithme co-évolutif [Holland1992] joue son rôle.

- L'algorithme suit les étapes suivantes :
 1. Initialiser les plans journaliers pour chaque agent du système.
 2. Calculer l'utilité d'exécution des plans individuels de chaque agent.
 3. Supprimer les mauvais plans (avec faible utilité).
 4. Dupliquer et modifier les plans.
 5. Faire de ces plans les plans pertinents pour l'itération suivante. Incrémenter le compteur.
 6. Aller à 2.

3.3. Les algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques ⁹² sont des algorithmes qui s'inspirent de la science génétique développée au XIXe siècle par Darwin (36). Le but principal de ces algorithmes est de trouver une solution pour des problèmes difficiles - des problèmes où on ne connaît pas de méthodes exactes pour les résoudre en temps raisonnable, Ces approches permettent l'évolution d'une génération (solution) à une autre par un ensemble d'opérations (mutation et croisement) tout en cherchant à améliorer une fonction objective.

Le codage des éléments de la population est l'élément le plus important, puisqu'il permet de modéliser un problème sous forme de données informatiques manipulables Les algorithmes

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

génétiques sont appliqués dans divers domaines pour résoudre des problèmes d'optimisation ou de recherche. Par exemple: la conception topologique de réseaux téléinformatiques à commutation de paquets, la recherche d'informations des applications en économie.

- **.Principes et fonctionnalités**

- **. Principe de base**

Les algorithmes génétiques sont des approches d'optimisation qui utilisent des techniques dérivées de la science génétique et de l'évolution naturelle : la sélection, la mutation et le croisement. Pour utiliser ces approches, on doit disposer des éléments suivants:

1. Le codage d'un élément de population: une fonction qui permet de modéliser les données du problème réel dans des données utilisables par l'algorithme génétique

2. Une fonction pour générer la population initiale : la génération de la population initiale est importante puisque cette génération représente le point de départ de l'algorithme et son choix influe sur la rapidité et l'optimalité de la solution finale.

3. Une fonction à optimiser (la fonction objective) : une fonction qui retourne une valeur d'adaptation pour chaque individu. Cette valeur permet de déterminer la solution pertinente puisque le problème se restreint à chercher le groupe d'individus qui ont les valeurs optimums.

4. Des opérateurs qui permettent d'évoluer d'une population à une autre tout en améliorant la fonction objectif. L'opérateur de croisement recompose les gènes d'individus existant dans la population, alors que l'opérateur de mutation a pour but de garantir l'exploration de l'espace d'états.

5. Des paramètres de dimensionnement : taille de la population, nombre total de générations (critère d'arrêt), probabilités d'application des opérateurs de croisement et de mutation, etc.

- **Fonctionnement.**

Un algorithme génétique fonctionne de la manière suivante:

Étape 1 : Initialisation on choisit J-L individus qui représente la population initiale;

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

Étape 2 : Évaluation on évalue chaque individu par la fonction objectif;

Étape 3 : Sélection on définit les individus de la génération P qui vont être dupliqués dans la nouvelle population. A chaque génération il y a deux opérateurs de sélection : la sélection de reproduction, ou plus simplement sélection, qui détermine les individus qui vont se reproduire durant une génération et la sélection pour le remplacement, ou plus simplement le remplacement, qui détermine quels individus devront disparaître de la population.

Étape 4 : Reproduction on utilise des opérateurs génétiques (croisement et mutation) pour produire la nouvelle génération. Les opérateurs de mutation modifient un individu pour en former un autre tandis que les opérateurs de croisement engendrent un ou plusieurs enfants à partir de combinaisons de deux parents

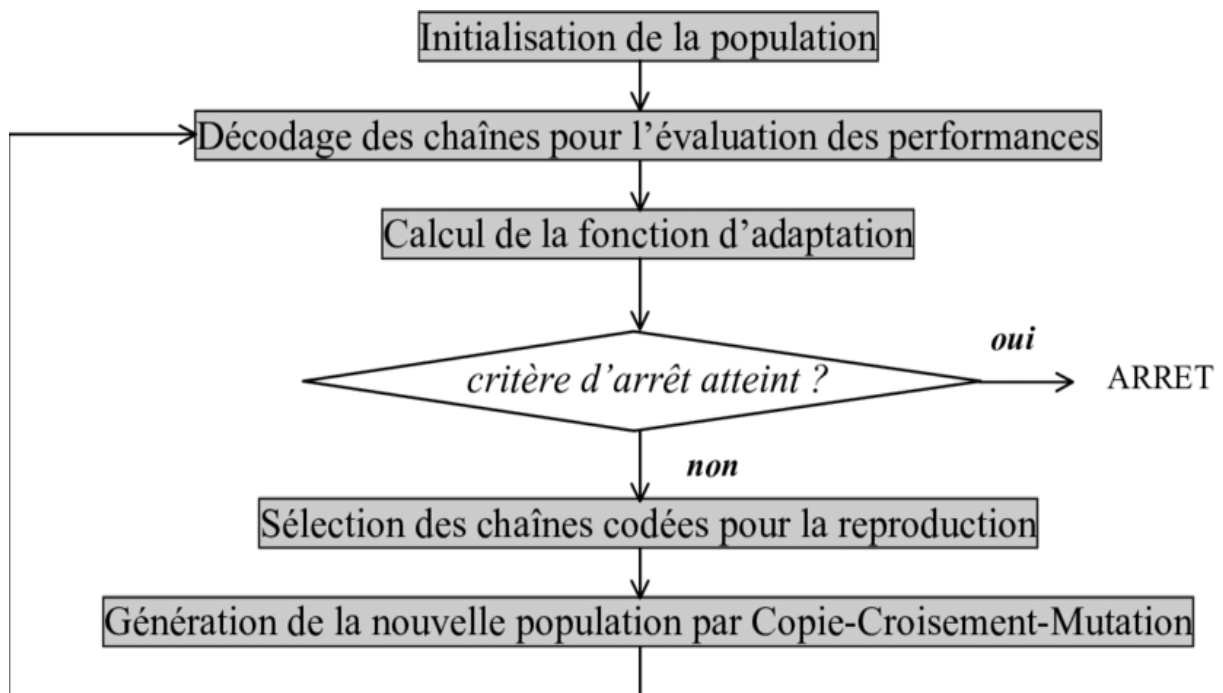


Figure 16: Structure générale d'un algorithme génétique

- **Caractéristiques des algorithmes génétiques**

Les algorithmes génétiques, en tant qu'approche de résolution de problèmes, se caractérisent par certains aspects particuliers: le codage des paramètres du problème à traiter, l'espace de recherche et la fonction d'évaluation qui permet de déterminer la pertinence d'une solution trouvée et l'évolution d'une génération à une autre par la sélection des chromosomes qui

participent à la reproduction et les chromosomes à disparaître .

3.4. Méta-heuristiques

Une méta-heuristique ⁹³ est une méthode générique pour la résolution de problèmes combinatoires. La résolution de ces problèmes nécessite l'examen d'un très grand nombre (exponentiel) de combinaisons. Tout un chacun a déjà été confronté à ce phénomène d'explosion combinatoire qui transforme un problème apparemment très simple en un véritable casse-tête dès lors que l'on augmente la taille du problème à résoudre.

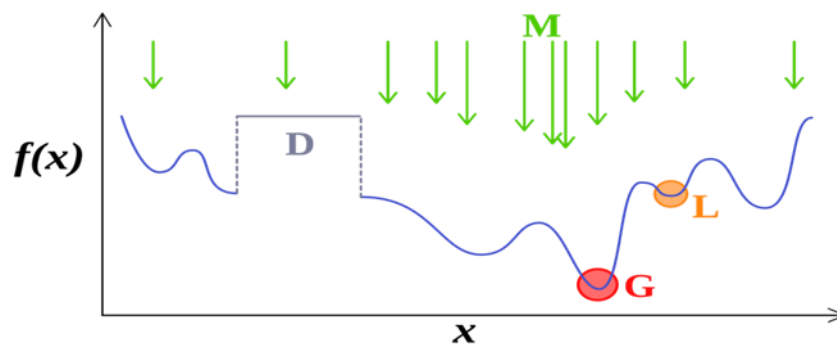


Figure 17: Schéma de problème d'optimisation de l'algorithme méta heuristique⁹⁴

Une méta heuristique ⁹⁵ est un algorithme d'optimisation visant à résoudre des problèmes d'optimisation difficile (souvent issus des domaines de la recherche opérationnelle, de l'ingénierie ou de l'intelligence artificielle) pour lesquels on ne connaît pas de méthode classique plus efficace.

Les méta heuristiques sont généralement des algorithmes stochastiques itératifs, qui progressent vers un optimum global, c'est-à-dire l'extremum global d'une fonction, par échantillonnage d'une fonction objectif. Elles se comportent comme des algorithmes de recherche, tentant d'apprendre les caractéristiques d'un problème afin d'en trouver une approximation de la meilleure solution (d'une manière proche des algorithmes d'approximation).

Il existe un grand nombre de méta heuristiques différentes, allant de la simple recherche locale à des algorithmes complexes de recherche globale. Ces méthodes utilisent cependant un haut niveau d'abstraction, leur permettant d'être adaptées à une large gamme de problèmes différents.

Heuristique versus Méta heuristique⁹⁶

Pas de consensus sur des définitions précises. Le plus souvent :

Méthode heuristique

-Détermine de bonnes solutions (c'est-à-dire presque optimales) avec un coût de calcul raisonnable sans pouvoir garantir ni la faisabilité ni l'optimalité

-Reflète une stratégie par rapport à une connaissance du problème

-Une heuristique est une méthode de résolution spécialisée pour un problème

Méta heuristique :

- processus de génération qui guide une heuristique.

- en combinant des concepts différents pour explorer l'espace de recherche afin de trouver efficacement des solutions quasi optimales.

- Une méta heuristique est un principe générique à adapter pour chaque problème.

Tableau 3 : Comparaison entre l'algorithme Heuristique et Méta heuristique

| | Heuristique | Méta heuristique |
|---------|-------------------------|---------------------------|
| Domaine | Problème d'optimisation | Optimisation combinatoire |
| Entrée | Données | Problème d'optimisation |
| Cœur | Algorithme | Ensemble de principes |
| Sortie | Solution | Algorithme |

3.5. Réseau de neurones

En règle générale, un réseau de neurones repose sur un grand nombre de processeurs opérant en parallèle et organisés en tiers. Le premier tiers reçoit les entrées d'informations brutes, un peu comme les nerfs optiques de l'être humain lorsqu'il traite des signaux visuels.

Par la suite, chaque tiers reçoit les sorties d'informations du tiers précédent. On retrouve le même processus chez l'Homme, lorsque les neurones reçoivent des signaux en provenance des neurones proches du nerf optique. Le dernier tiers, quant à lui, produit les résultats du système.

Le cerveau humain peut être décrit comme un réseau de neurones biologiques, c'est-à-dire un ensemble de neurones interconnectés transmettant des modèles élaborés de signaux électriques. Les dendrites reçoivent les signaux d'entrée et, sur la base de ces- en- très, un neurone produit un signal de sortie via un axone SHIFFMAN [2012]. La Figure 24 présente un schéma synoptique de deux neurones biologiques connectés⁹⁷.

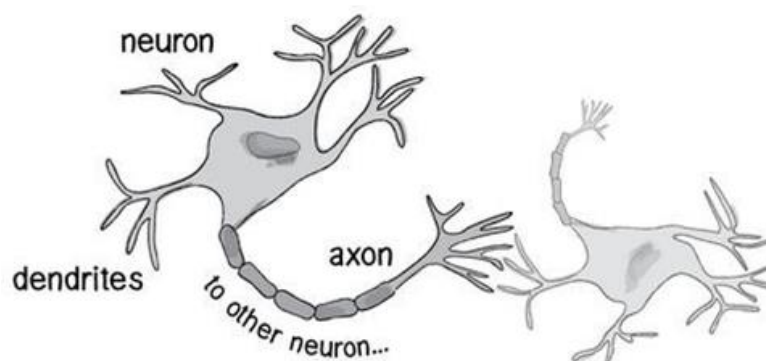


Figure 18: Schéma synoptique de deux neurones connecté.

Les informaticiens ont longtemps été inspirés par le cerveau humain. En 1943,

S. McCulloch, un neuroscientifique, et Walter Pitts, un logicien, ont développé le premier modèle conceptuel d'un réseau de neurones artificiels (ANN). Dans leur article, «A logical calculus of the ideas imminent in nervous activity», ils décrivent le concept d'un neurone, une seule cellule vivante dans un réseau de cellules qui reçoit des entrées, traite ces entrées, et génère une sortie. Par analogie à un neurone biologique, un neurone artificiel est perçu comme un processeur autonome avec des canaux unidirectionnels pour la communication

CHAPITRE III Enquête Littérature sur les travaux de recherche en vue de transport urbain

avec les autres neurones qui lui sont connectés. Un neurone artificiel à plusieurs canaux d'entrées fonctionnant comme des dendrites, et un seul canal de sortie fonctionnant comme un axone.

Les points de connexions entre les neurones sont appelés synapses. L'opération typique d'un neurone artificiel est de calculer une somme pondérée des signaux d'entrée et de générer un signal de sortie si cette somme dépasse un certain seuil. La somme pondérée des signaux d'entrée est effectuée par la fonction de combinaison, qui multiplie le vecteur des entrées par une matrice de transformation. Le signal de sortie est généré par la fonction d'activation (ou fonction de seuillage, ou encore fonction de transfert) qui sert à introduire une non-linéarité dans le fonctionnement du neurone. La Figure 25 présente la structure fonctionnelle d'un neurone artificiel.

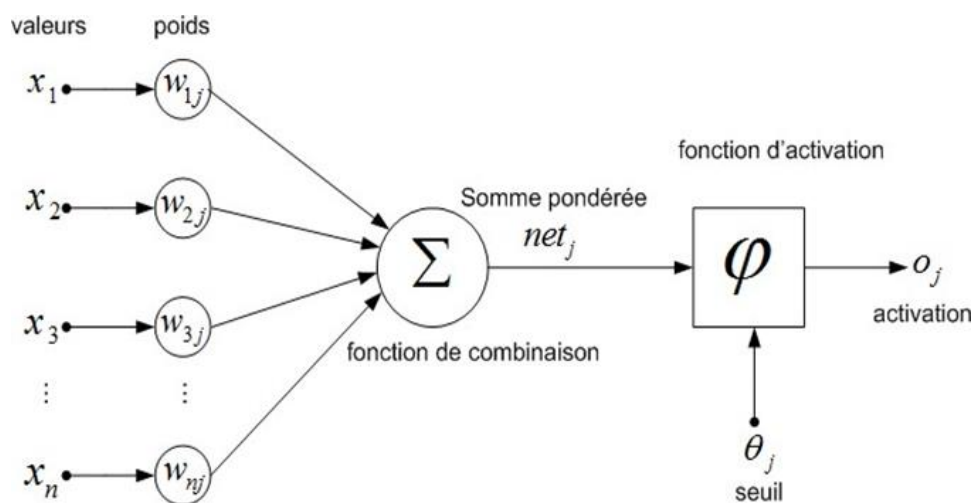


Figure 19: Structure fonctionnelle d'un neurone artificielle.

III.4. Conclusion

La modélisation et la simulation permettent aux urbanistes de concevoir et tester des scénarios de mobilité innovant. Aujourd'hui, un nombre croissant de nouvelles solutions de mobilité enrichisse l'offre des services de transport dans nos villes. L'ensemble de l'écosystème de la mobilité urbaine devient de plus en plus complexe. Des outils de simulation et de modélisation puissants permettent aux planificateurs et aux autorités de concevoir la mobilité urbaine de manière durable et de la gérer efficacement.

Les villes sont confrontées chaque jour à une centaine de questions et décisions importantes en matière de mobilité. Le but et de soulever les challenges existe dans le trafic urbain pour proposer des projets de recherches à partir de cela.

Conclusion générale

Les transports urbains ont toujours été un domaine d'innovation et de développement permanents. Au cours de ces dernières années, les enjeux du développement durable et de l'aménagement du territoire ont conduit les sociétés actuelles à une réelle prise de conscience des questions environnementales ainsi qu'à des révolutions dans le domaine des transports urbains. Cette étude a porté sur une investigation bibliographique sur les derniers travaux de recherche en vue de transport urbain et la mobilité de la population. A partir de cela on a classifié cette investigation en fonction des outils et méthodologies utilisés comme Réseaux de Pétri, réseaux de neurone, modélisation mathématique, optimisation heuristique.

Par la suite, en s'attachant plus particulièrement aux défis de transport urbain .Nous avons citez la différente génération de transport urbain en fonction de la révolution technologique dès l'apparition de l'internet jusqu'au la révolution de l'internet des objets (IOT) et comment la nouvelle technologie a pu révolutionner le transport urbain.

On a fait une synthèse sur les travaux scientifique récent sur la modélisation de transport urbain, l'analyse et à l'évaluation de performances. Connaissant la grande complexité des systèmes en question, l'analyse et l'évaluation de performances via des méthodes numériques analytiques ou via la simulation à événements discrets s'avèrent incontournable. nous avons illustré comment peut-on utiliser nos modèles sur un cas réel et montré ainsi la richesse de l'analyse qu'il permet sur la performance et le comportement du système à étudier.

Références

1. BARBIER. V et al. (2003), service public local et développement durable, revue d'Economie Régionale et Urbaine, édition ARMAND COLIN, n°2, p.318.
2. KEDEROUCI. S, (2010), administration et performance le cas de l'administration Algérienne, mémoire de Magister en Sciences de Gestion, Spécialité Gestion des Ressources Humaines, Université ABOU-BAKR BELKAID Tlemcen, p. 44.
3. MONTALOUX.C, (2007), service public et intérêt général, regards croisés sur l'économie, édition LADECOUVERTE, n°2, p. 25-26
4. CURIEN.N, (2000), Economie des réseaux, édition LA DECOUVERTE, Paris, p07
5. CHAPOUTOT.J-Jet GAGNEUR.J, (1973), Caractères économiques des transports urbains, UER Urbanisation et Aménagement, Université des sciences sociales, Grenoble, 2 vol, p44
6. WOLKOWITSCH.M, (1982), Géographie des transports, édition ECONOMICA, Paris, p12
7. P, (1985), Les politiques de transport urbain, LADOCUMENTATIONFRANÇAISE, Paris, p11
8. CARBAJO. J, (1997), Droit des services publics, édition DALLOZ, Paris, p 40
9. Coulibaly. M, (2016), cours de droit administratif, licence endroit niveau02, université Toulouse, p51.www.lex-publica.comconsulté le 12/12/2017à 10:10h
10. COULIBALY.M, (2016), p 49.
11. CHERABA.A-H,(2012),La concession :nouveau mode de gestion pour les entreprises publiques algériennes cas
12. BOUBAKOUR. F, Equité et lutte contre l'exclusion dans les transports, www.fares-boubakour.edu.dzconsultéle 04/01/2018à 23:26h.
13. 80 % des villes européennes de plus d'un million d'habitants ont un métro, « ce qui est plus qu'une coïncidence. »
J. Pelletier, Ch. Delfante, *Villes et Urbanisme dans le Monde*, p. 68, éd. Masson, Paris, Collection Initiation aux études de géographie, n° (ISBN 2-225 81673-5), avril 1989
14. En réalité, l'espace urbain géré par le réseau de Lausanne compte 212 000 habitants [lien](#) [archive]
15. L'utilisation de la voiture en ville a été accompagnée par de nombreuses politiques de transport urbain, notamment l'abandon du tramway qui occupait trop de place sur la voirie. D'après l'ouvrage 5. de la Bibliographie

16. Dans ces pays, la possession d'une voiture n'a pas la même importance (communisme) que pour les pays capitalistes, elle ne fait pas autant d'ombre aux transports collectifs.
D'après l'ouvrage 5, de la bibliographie.
17. Jean-Marc Aubert ; Laure Tourjansky-Cabart, « L'allocation de la voirie dans les centres-villes », *Revue française d'économie*, année 2000, volume 15, numéro 2 p. 157-194, édité par Le ministère de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la Recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation.
18. Science & Décision [archive], unité de service de l'université d'Évry Val d'Essonne et du Centre national de la recherche scientifique, *Les Transports urbains en France* [archive], chapitre *Coût des transports*, université Évry Val d'Essonne, octobre 2006, dossier thématique [archive] <https://voiture.kidioui.fr/lexique-automobile/voiture-autonome.html>
19. <https://www.techno-science.net/definition/962.html>
20. Sytral, "Principaux Enseignements" [archive] de *l'Enquête Ménages Déplacements 2006*, Agglomération lyonnaise, 2007
21. BULTEAU. J., (2009), la mobilité durable en zone urbaine : efficacité et perspectives des politiques d'environnement, thèse de doctorat en sciences économies et finances, université de Nantes institution d'économie et de management, Français, p.22.
22. DE PALMA. A et ZAOUALIY. N, (2007), Monétarisation des externalités de transport : un état de l'art, Université de Cergy-Pontoise et Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Laboratoire Thema, France, p 11.22Idem
23. LANDRIEU. G et (ali). (1997), L'évaluation des effets externes du transport sur l'environnement. 4 ème Colloque scientifique International «Transport et pollution de l'air», Avignon, France.pp.257-264
24. BOUBAKOUR. F et MERAZGA A, (2006), Planification du transport urbain et développement durable : Quelques réflexions à propos de la ville de Batna(Algérie) , *Revue TRANSPORTS* n°437,éditionsTECHNIQUESETECONOMIQUES, Paris,p9
25. DEPALMA. A et ZAOUALIY.N,(2007),Op.cit,p16.
26. SCHADE. W, (2003), Le bruit du transport : un défi pour la mobilité durable, *Revue internationale des sciences sociales*, n°176, p.311-328.www.cairn.info
27. DEPALMA. A et ZAOUALIY.N,(2007),Op.cit,p 17.
28. **Source:** BONNAFOUS. A., (1992), transports et environnement, In: *Economie et statistique*, n° 258-259, vol 258, p. 12.

29. Conseil de l'Union européenne (2013) : Conclusions de la 3233e réunion du Conseil européen Environnement sur le Partenariat d'innovation européen pour des villes et communautés intelligentes, 21 mars 2013, Bruxelles
30. Commission européenne (2007a) : Livre vert, Vers une nouvelle culture de la mobilité urbaine, COM(2007) 55 final, Bruxelles.
31. Commission européenne (2009) : Plan d'action pour la mobilité urbaine, COM(2009) 490 final, Bruxelles.
32. Commission européenne (2011a) : Livre blanc, Feuille de route pour un espace européen unique des transports — Vers un système de transport compétitif et économe en ressources, COM(2011) 144 final, Bruxelles
33. Commission européenne (2012) : Communication de la Commission – Villes et communautés intelligentes – Partenariat d'innovation européen, C(2012) 4701 final, Bruxelles.
34. Commission européenne (2010) : Communication de la Commission, Europe – une stratégie pour une croissance intelligente, durable et inclusive, COM(2010) 2020 final, Bruxelles
35. Synthèse thématique de recherches sur le transport urbain p7
<https://www.renaultgroup.com/news-onair/actualites/a-quoi-ressemble-une-ville-intelligente/>
36. Commission européenne (2013b) : Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social et au Comité des régions, Énergie propre et transports : une stratégie européenne en matière de combustibles
37. Commission européenne (2013c) : Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil sur le déploiement d'une infrastructure pour combustibles de substitution, SWD(2013) 5 final, Bruxelles.
38. Synthèse thématique de recherches sur le transport urbain p8
<https://www.renaultgroup.com/news-onair/actualites/a-quoi-ressemble-une-ville-intelligente/>
39. https://talan.com/fileadmin/Reprise_de_contenus/siltea/Note_de_conjoncture_-_Transport_Juillet2019.pdf
40. Chez Talan Consulting - <https://consulting.talan.com/>
41. https://talan.com/fileadmin/Reprise_de_contenus/siltea/Note_de_conjoncture_-_Transport_Juillet2019.pdf
42. <https://iaobs.com/blog/ia-usages-transport/> présente un article sur l'intelligence artificielle
43. Watson est un programme informatique d'intelligence artificielle conçu par la société IBM dans le but de répondre des questions formulées en langage naturel Depuis la

- compétition, IBM fait référence à Watson comme étant le système ayant servi à exécuter le programme d'intelligence artificielle et ce programme.
44. Abbreviated as TEC, is a Chinese train manufacturer. It is headquartered in Zhuzhou, Hunan Province. The company is a prominent maker of traction systems. Introduction CRRC Times Electric Archived 2008-06-29 at the Wayback Machine
 45. "Erik Andersen's Homepage". [^] Active Projects, Rob Landley's website
 46. <https://www.id-logistics.com/fr/ideo-news/transport-et-intelligence-artificielle-avantages-et-benefices/#:~:text=L'intelligence%20artificielle%20est%20en,%2C%20les%20usures%2C%20les%20pannes>
 47. "History". SABMiller. Archived from the original on 7 August 2014. Retrieved 21 March 2015.
 48. <http://www.al-enterprise.com/-/media/assets/internet/documents/iot-for-transportation-solutionbrief-en.pdf>
 49. Internet of Things Global Standards Initiative". *ITU*. Retrieved 26 June 2015.
 50. Gillis, Alexander (2021). "What is internet of things (IoT)?". *IOT Agenda*. Retrieved 17 August 2021.
 51. <https://www.digitalcorner-wavestone.com/2020/02/les-enjeux-de-liot-dans-le-secteur-du-transport-public-5/>
 52. <https://www.digitalcorner-wavestone.com/2020/02/les-enjeux-de-liot-dans-le-secteur-du-transport-public-5/>
 53. <http://www.al-enterprise.com/-/media/assets/internet/documents/iot-for-transportation-solutionbrief-en.pdf>
 54. <https://www.renaultgroup.com/news-onair/actualites/a-quoi-ressemble-une-ville-intelligente/>
 55. <https://www.custup.com/big-data-introduction/>
 56. <https://www.transportshaker-wavestone.com/quand-big-data-et-transports-roulent-ensemble-pour-accroitre-la-mobilite/>
 57. <https://blog.ptvgroup.com/fr/ville-et-mobilite/big-data-mobilite-intelligente/>
 58. <http://www.tc.gc.ca/fra/politique/aca-euvc-menu-2294.htm>
 59. <http://www.tc.gc.ca/fra/politique/aca-euvc-menu-2294.htm>
 60. http://www.volvotrucks.com/trucks/qatar-market/en-qa/trucks/environment/Pages/fuel_consumption.aspx
 61. <https://www.geeknstuff.fr/les-meilleures-applications-de-transport-pour-faciliter-ses-deplacements-778.html>

62. <https://www.acstrans.fr/blog/2019/12/31/les-applications-mobiles-indispensables-pour-transport-routier>
63. <https://www.maisonbrico.com/high-tech/8-d-applications-mobiles-pratiques-pour-se-deplacer,18873.html>
64. <https://www.geeknstuff.fr/les-meilleures-applications-de-transport-pour-faciliter-ses-deplacements-778.html>
65. (Les transports intelligents Les 2001/1 (Vol. 2) Pages : 256 Éditeur : Lavoisier)
66. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809916311717>
67. https://www.researchgate.net/publication/259643274_Modeling_and_Control_of_Self-Service_Public_Bicycle_Systems_by_Using_Petri_Nets
68. <https://theses.univ-oran1.dz/document/15201539t.pdf>
69. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6476021>
70. [Contribution à la modélisation, l'analyse et la commande des systèmes par pétri et l'algèbre max plus appausystems de transports.pdf](#)
71. https://www.hni.unipaderborn.de/publikationen/publikationen/?tx_hnippview_pi1%5Bpublikation%5D=1889&tx_hnippview_pi1%5Bfelder%5D%5Bblade%5D=602
72. MOSIM'01 – du 25 au 27 avril 2001 – Troyes (France) page100
73. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00467580/document>
74. https://www.researchgate.net/figure/The-enhanced-framework-which-integrates-the-BDI-reasoning-with-the-MATSim-simulation_fig2_288741646
75. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01526478>
76. https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/DataStorage/SavoirFaire/NosTravaux/Mobilite_e_t_transports/SEMmodeliserTransports/CR_se_minaire_26.09_v4.pdf
77. <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1202478.pdf>
78. <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1202478.pdf>
79. <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1202478.pdf>
80. <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1202478.pdf>
81. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03167691/document>
82. <https://www.semanticscholar.org/paper/Toward-End-to-End-Car-License-Plate-Detection-and-Li-Wang/2882441c68580a8d24bac61ae03bcfd8847b2fb7>
83. <https://dl.ummtto.dz/bitstream/handle/ummtto/7539/HammouniTassadit.pdf>
84. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01526478/document>
85. <https://archipel.uqam.ca/3381/1/M11483.pdf>
86. <http://www.info.univ-angers.fr/pub/hao/papers/IAMeta2012.pdf>

87. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Optimisation_difficile.svg?uselang=fr
88. <https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9taheuristique>
89. <https://homepages.laas.fr/huguet/drupal/sites/homepages.laas.fr.huguet/files/u78/poly-Meta-reduced-MJH.pdf>
90. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01781480/document>