

## Résumé

Ce mémoire se concentre sur la modélisation du réseau des transports publics de Lausanne, avec pour objectif de résoudre les inefficacités et anticiper les besoins futurs dans un contexte d'expansion démographique. Il met l'accent sur le transport multimodal pour améliorer l'efficacité et la durabilité du réseau. L'étude souligne l'importance d'un système de transport public bien conçu pour atténuer la congestion et améliorer la satisfaction des usagers. À travers la collecte et le traitement de données, ce travail propose un modèle exploitable du réseau des transports publics de Lausanne pouvant être utilisé pour des simulations.

**Mots-clés:** mobilité, modélisation des transports, transports publics, Ville de Lausanne, VISSIM

## **Abstract**

This thesis focuses on modeling Lausanne's public transportation network to address inefficiencies and anticipate future needs in the context of demographic expansion. It emphasizes multimodal transportation for enhanced efficiency and sustainability of the network. The study underscores the importance of a well-designed public transport system to mitigate congestion and improve user satisfaction. Utilizing data collection and processing, this work proposes a functional model of Lausanne's public transport network for simulation purposes.

**Keywords:** mobility, transport modeling, public transportation, city of Lausanne, VISSIM

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1.1	Contexte . . . . .	1
1.2	Objectifs et contributions . . . . .	3
1.3	Organisation du mémoire . . . . .	4
<b>2</b>	<b>État de l'art</b>	<b>5</b>
2.1	Simulation des transports publics et du trafic . . . . .	5
2.2	L'utilisation des simulateurs de transports dans l'industrie . . . . .	7
2.3	Le développement des transports publics à Lausanne . . . . .	8
2.3.1	Les premiers pas des TL . . . . .	8
2.3.2	Les TL aujourd'hui . . . . .	9
2.3.3	Le futur des TL . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Méthodologie</b>	<b>11</b>
3.1	Collecte des données . . . . .	11
3.1.1	Données pour le modèle . . . . .	11
3.1.2	Les parcours des lignes de transport . . . . .	13
3.1.3	Données pour les simulations . . . . .	14
3.2	Traitement des données . . . . .	14
3.2.1	Traitement des fichiers de données au format .txt . . . . .	14
3.2.2	Traitement du fichier shapes.txt . . . . .	18
3.3	Utilisation des données . . . . .	29
3.3.1	Choix du logiciel de simulation . . . . .	29
3.3.2	Importation des données dans le logiciel de simulation . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Résultats</b>	<b>31</b>
4.1	Visualisation des résultats . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Discussion</b>	<b>39</b>
5.1	Analyse des résultats . . . . .	39
5.2	Difficultés rencontrées . . . . .	40

## TABLE DES MATIÈRES

---

5.3 Perspectives d'évolution . . . . .	41
<b>6 Conclusion</b>	<b>43</b>
<b>Références</b>	<b>44</b>
<b>A Annexes</b>	<b>47</b>
A.1 Extraits des fichiers .txt avant et après traitement . . . . .	47

# Liste des figures

1.1	Croissance démographique de la ville de Lausanne.	2
1.2	Évolution du nombre de places de stationnement pour vélos.	3
2.1	Plan du réseau des TL en 1959.	9
2.2	Plan du réseau des TL en 2024.	10
3.1	Structure d'un flux de données GTFS.	12
3.2	Workflow du tri des fichiers .txt	17
3.3	Vue du réseau importé dans QGIS avant traitement.	19
3.4	Vue du réseau après extraction des points sur QGIS.	20
3.5	Vue du réseau après avoir relié les points de chaque ligne selon l'ordre de l'attribut <i>shape_pt_sequence</i> .	23
3.6	Vue de la ligne de bus 21 après avoir relié les points selon l'ordre de l'attribut <i>shape_pt_sequence</i> .	24
3.7	Extrait de la ligne de bus 47 obtenue d'OSM avec affichage de l'attribut <i>shape_pt_sequence</i> pour chaque point.	25
3.8	Extrait de la ligne de bus 47 obtenue d'OSM avec affichage de l'attribut <i>shape_pt_sequence</i> pour chaque point.	26
3.9	Extrait de la ligne de bus 47 obtenue d'OSM avec affichage de l'attribut <i>shape_pt_sequence</i> pour chaque point, après traitement.	27
3.10	Extrait de la ligne de bus 47 obtenue de Viageo avec affichage de l'attribut <i>shape_pt_sequence</i> pour chaque point, avant traitement.	28
4.1	Capture d'écran de l'entier du réseau de transport sur PTV VISSIM, avec images satellites en arrière plan.	32
4.2	Capture d'écran de l'entier du réseau de transport sur PTV VISSIM.	32
4.3	Capture d'écran d'un extrait du réseau de transport importé sur PTV VISSIM, avec images satellites en arrière plan.	33
4.4	Capture d'écran d'un extrait du réseau de transport importé sur PTV VISSIM.	34

## LISTE DES FIGURES

---

4.5	Capture d'écran de la zone de Saint-François à Lausanne sur PTV VISSIM, avec images satellites en arrière plan. . . . .	34
4.6	Capture d'écran de la zone de Saint-François à Lausanne sur PTV VISSIM.	35
4.7	Capture d'écran de la zone de l'arrêt Montelly à Lausanne sur PTV VISSIM.	35
4.8	Capture d'écran d'un extrait du réseau de transport sur PTV VISSIM, avec simulation en cours. . . . .	36
4.9	Capture d'écran d'un extrait du réseau de transport sur PTV VISSIM, avec simulation en cours. . . . .	37
4.10	Capture d'écran d'un extrait du réseau de transport importé sur PTV VIS- SIM, mise en évidence de la ligne du M1. . . . .	37

# Liste des tables

2.1 Comparaison des différentes méthodes de simulation. . . . .	6
3.1 Extrait du fichier feed-info.txt. . . . .	15
3.2 Extrait du fichier stops.txt après traitement. . . . .	15
3.3 Extrait du fichier transfers.txt avant traitement. . . . .	16
3.4 Extrait du fichier transfers.txt après traitement. . . . .	16
3.5 Récapitulatif des fichiers avant et après traitement. . . . .	17
3.6 Exemple du fichier shapes.txt. . . . .	18
3.7 Extrait de la table d'attributs QGIS de la couche des points. . . . .	20
3.8 Extrait d'un fichier shapes.txt après ajout des coordonnées. . . . .	21
3.9 Extrait du fichier shapes.txt avant visualisation. . . . .	22
3.10 Extrait du fichier shapes.txt après traitement. . . . .	29
A.1 Extrait du fichier agency.txt avant traitement. . . . .	47
A.2 Extrait du fichier agency.txt après traitement. . . . .	47
A.3 Extrait du fichier routes.txt avant traitement. . . . .	47
A.4 Extrait du fichier routes.txt après traitement. . . . .	47
A.5 Extrait du fichier trips.txt avant traitement. . . . .	48
A.6 Extrait du fichier trips.txt après traitement. . . . .	48
A.7 Extrait du fichier stop_times.txt avant traitement. . . . .	48
A.8 Extrait du fichier stop_times.txt après traitement. . . . .	48
A.9 Extrait du fichier calendar.txt avant traitement. . . . .	49
A.10 Extrait du fichier calendar.txt après traitement. . . . .	49
A.11 Extrait du fichier calendar_dates.txt avant traitement. . . . .	49
A.12 Extrait du fichier calendar_dates.txt après traitement. . . . .	49

# Introduction

## 1.1 Contexte

Le système de transport public est essentiel pour permettre des déplacements efficaces à l'intérieur des villes, particulièrement avec l'expansion des populations urbaines. Ce mémoire se concentre sur la ville de Lausanne, la capitale du canton de Vaud, en Suisse. Nous utilisons la simulation et la modélisation pour analyser son réseau de transport public. L'objectif principal sera de modéliser le réseau de transport public de la ville, puis d'identifier et si possible de résoudre les inefficacités, les congestions et les goulets d'étranglement dans le système existant.

Ce travail vise aussi, en réponse à la croissance démographique de la ville, à prévoir les demandes et les défis futurs en matière de transport public, tels que la possible saturation des lignes et l'augmentation des temps d'attente. Divers scénarios pourront être simulés à l'aide du modèle créé et il sera ensuite possible d'identifier les meilleures solutions en fonction de l'évolution et ainsi de se concentrer sur le modèle le plus adapté et de l'optimiser au maximum.

Le transport multimodal implique l'utilisation d'au moins deux modes de transport différents (tels que les bus, les trains, les véhicules personnels, les vélos, etc.) au cours d'un seul voyage. Le transport multimodal joue un rôle essentiel dans les déplacements quotidiens au sein d'une ville (Gallotti and Barthelemy, 2014). Pourtant, une grande partie de la recherche existante se concentre principalement sur les modes de transport monomodaux, en voiture, en train ou en bus.

L'objectif de ce mémoire est d'apporter une vision différente en examinant de manière exhaustive à la fois le transport monomodal (un seul mode) et multimodal (plusieurs modes). Cette étude englobe des voyages impliquant des bus, des métros, et des déplacements à pied. En explorant ces différents modes, nous visons à acquérir une compréhension globale de la mobilité urbaine piétonne et à fournir des perspectives qui peuvent améliorer l'efficacité et la durabilité des réseaux de transport public.

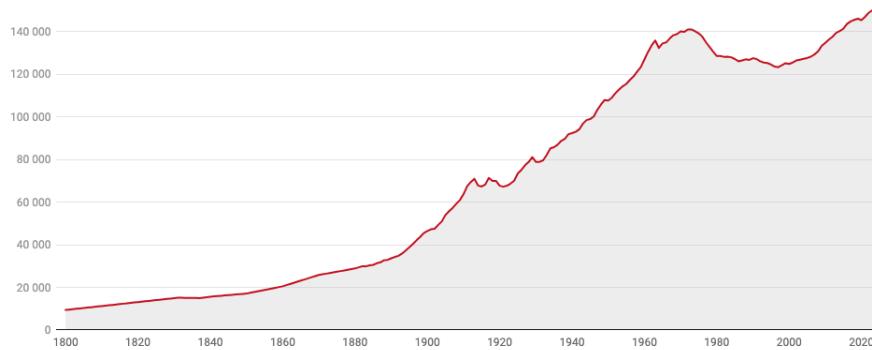
Les transports publics constituent un élément essentiel du transport multimodal, rendant indispensable la prise en compte de leur rôle dans la mobilité urbaine. De plus, la complexité des connexions intermodales, telles que les transferts de bus à métro, peut

## 1. INTRODUCTION

---

souvent entraîner des pertes de temps pour les voyageurs. Par conséquent, l'optimisation de ces différents modes de transport est primordiale pour garantir des connexions fluides et minimiser les temps d'attente pour les usagers et ainsi diminuer autant que possible le temps de déplacement.

La croissance démographique est évidente si l'on observe la Figure 1.1. Dans ce contexte, un système de transports publics fiable et optimisé est très important (Ceder, 2021). Pour atténuer la congestion et maintenir une haute satisfaction des usagers, il est impératif de disposer d'un réseau de transport public bien conçu et résistant.



**Figure 1.1: Croissance démographique de la ville de Lausanne.**

**Source:** Rapports de gestion de la Ville de Lausanne, diverses années, Contrôle des habitants de la Ville de Lausanne, Office fédéral de la statistique (Recensement fédéral de la population), calculs propres Office d'appui économique et statistique de la Ville de Lausanne.

Ce mémoire vise à élaborer et à sélectionner méticuleusement les données nécessaires pour la construction d'un modèle de réseau de transport public. Ce modèle servira de base pour des simulations ultérieures destinées à évaluer et à optimiser le système de transports.

Selon un rapport de la ville de Lausanne (*Observatoire de La Mobilité Lausannoise*, 2022), le nombre de voitures par 1000 habitants a connu une baisse significative, passant de 431 voitures pour 1000 habitants en 2006 à 349 en 2020. Ce rapport souligne le souhait de la Ville de Lausanne d'aller vers une stratégie visant à développer l'infrastructure cyclable et à améliorer les services de transport public. Entre 2016 et 2021, le nombre d'emplacements de stationnement pour vélos a doublé, passant de 2 030 à 4 270 (voir Figure 1.2). La ville a également continué à améliorer les itinéraires cyclables en ajoutant de nombreuses pistes cyclables.

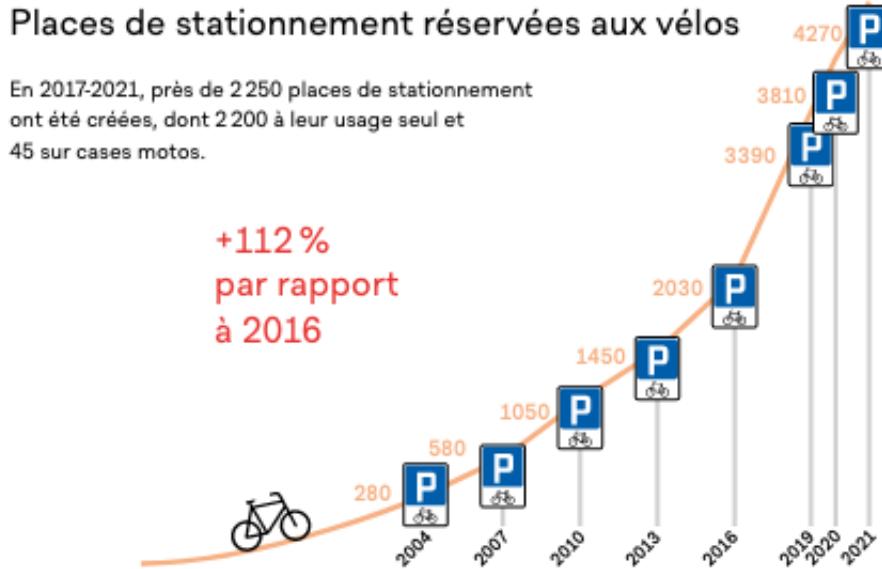


Figure 1.2: Évolution du nombre de places de stationnement pour vélos.

Source: *Observatoire de La Mobilité Lausannoise, 2022*

En ce qui concerne les transports publics, la ville de Lausanne a mis en œuvre plusieurs améliorations, notamment en augmentant la fréquence de certaines lignes de bus existantes et en introduisant de nouvelles lignes ou extensions. De plus, la ville s'est fixée comme objectif pour 2030 de réduire la part des déplacements en voiture à 15% en 2030, contre 35% en 2015.

Ces développements reflètent clairement l'objectif de la ville de Lausanne de promouvoir une mobilité urbaine durable, qui dépend fortement de la présence d'un réseau de transport public efficace et optimisé.

## 1.2 Objectifs et contributions

L'objectif de ce mémoire est de créer un modèle représentatif du réseau de transport public de Lausanne pour pouvoir ensuite simuler les flux de déplacements des résidents et professionnels. Cela nécessite, en premier lieu, l'acquisition et le traitement rigoureux des données relatives aux trajets et aux infrastructures de transport. Il est important d'obtenir des données corrects, car elles servent de fondement à la construction du modèle. Elles doivent donc être exhaustives, précises, et refléter fidèlement les horaires, parcours, et fréquences des services de transport.

La phase de préparation et de traitement des données dans le cadre de notre étude établit une fondation méthodique pour la modélisation, assurant la précision et l'exhaustivité des données essentielles pour une représentation réaliste du système de transport. Cette démarche méthodologique élimine les disparités et comble les lacunes informationnelles, garantissant ainsi la fiabilité du modèle de simulation.

Le traitement méticuleux des données habilite la conduite de simulations des flux de déplacements. Ces simulations sont utiles pour l'analyse approfondie des dynamiques de mobilité, l'identification des zones de saturation potentielle et l'évaluation des répercussions de diverses interventions sur le réseau. La préparation correcte des données permet la réalisation de simulations précises. Ces dernières sont cruciales pour l'anticipation et le développement stratégique du réseau de transports en commun de Lausanne, en offrant des perspectives et des orientations pour son optimisation future.

### 1.3 Organisation du mémoire

Ce mémoire est structuré en six chapitres principaux. Le Chapitre 2, "État de l'art", examine les recherches et les travaux existants dans le domaine de la modélisation des réseaux de transport public. Le Chapitre 3, "Méthodologie", décrit les méthodes et les outils utilisés pour construire le modèle du réseau de transport de la Ville de Lausanne. Le Chapitre 4, "Résultats", présente les résultats du modèle. Le Chapitre 5, "Discussion", analyse les implications des résultats et propose des idées pour des suites à cette étude et le Chapitre 6, "Conclusion", résume les découvertes principales du travail.

# État de l'art

## 2.1 Simulation des transports publics et du trafic

«*On nomme simulation la démarche scientifique qui consiste à réaliser une reproduction artificielle, appelée modèle, d'un phénomène réel que l'on désire étudier, à observer le comportement de cette reproduction lorsqu'on en fait varier certains paramètres, et à en induire ce qui se passerait dans la réalité sous l'influence de variations analogues*» (Drogoul, 1993). La démarche de simulation passe donc par trois étapes distinctes: l'étape de modélisation, qui consiste à construire le modèle du phénomène à étudier, l'étape d'expérimentation, qui consiste à soumettre ce modèle à un certain type de variations, et l'étape de validation, qui consiste à confronter les données expérimentales obtenues avec le modèle à la réalité.

L'analyse des déplacements de personnes au travers d'un réseau de transports est un problème complexe. Pour mener à bien cette analyse, il existe différents outils de simulation tels que les systèmes multi-agents: un agent est une entité physique ou virtuelle qui est capable d'agir dans un environnement, qui peut communiquer directement avec d'autres agents, qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser), qui possède des ressources propres, qui est capable de percevoir son environnement, qui ne dispose que d'une représentation partielle (Ferber, 1995). Un système multi-agents est donc un ensemble d'agents évoluant dans le même environnement et interagissant (ou non) les uns avec les autres.

Comme le mentionne Mastio (2017), d'autres types d'outils de simulation se distinguent par leur niveau de détails dans la modélisation. C'est le cas de :

- la modélisation microscopique : cette méthode de modélisation est basée sur la description du mouvement de chaque véhicule individuel composant le flux de trafic (Barceló, 2011). Ce qui implique de modéliser chaque action telle que l'accélération, la décélération ou les changements de pistes. La modélisation microscopique est la méthode la plus précise;

## 2. ÉTAT DE L'ART

---

- la modélisation macroscopique : les modèles macroscopiques de flux de trafic décrivent le trafic à un niveau élevé d'agrégation comme un flux, sans distinguer ses composants individuels (Hoogendoorn and Bovy, 2001). Par exemple, le flux de trafic est représenté de manière agrégée en utilisant des caractéristiques telles que le taux de flux, la densité et la vitesse. Les manœuvres individuelles des véhicules, comme un changement de voie, ne sont généralement pas représentées explicitement. Un modèle macroscopique peut supposer que le flux de trafic est correctement réparti sur les voies de circulation et utiliser une approximation à cet effet;
- la modélisation mésoscopique : La modélisation mésoscopique se positionne comme un compromis entre la modélisation microscopique et macroscopique, offrant une perspective intermédiaire qui combine des éléments des deux approches. La modélisation mésoscopique permet de représenter les grands réseaux. Les modèles mésoscopiques permettent une meilleure représentation de la dynamique du trafic et des comportements des véhicules par rapport aux modèles macroscopiques. Ils sont moins complexes et utilisent moins de paramètres que les modèles microscopiques (Kone, 2021). Dans la modélisation mésoscopique, le trafic est représenté par des (petits) groupes d'entités de trafic, dont les activités et les interactions sont décrites à un faible niveau de détail. Par exemple, une manœuvre de changement de voie peut être représentée pour un véhicule individuel comme un événement instantané, où la décision d'effectuer un changement de voie est basée sur, par exemple, les densités relatives des voies et les différentiels de vitesse (Hoogendoorn and Bovy, 2001);

La Table 2.1 énumère certaines différences entre les méthodes de simulation.

Modèles macroscopiques	Modèles microscopiques	Modèles mésoscopiques
Représentation globale du flux de véhicules	Représentation individuelle de chaque véhicule	Représentation par groupes de véhicules
Très peu de paramètres	Beaucoup de paramètres	Peu de paramètres
Temps d'exécution court	Temps d'exécution long	Temps d'exécution moyen
Peu coûteux	Très coûteux	Moyennement coûteux
Champs d'application: autoroutes	Champs d'application: réseaux urbains	Champs d'application: réseaux urbains et autoroutes

**Table 2.1: Comparaison des différentes méthodes de simulation.**

## 2.2 L'utilisation des simulateurs de transports dans l'industrie

La simulation des transports englobe la simulation du trafic routier et des transports publics. De nombreuses entreprises utilisent aujourd’hui la modélisation du trafic dans l'aide à la décision lorsqu'il est nécessaire de faire des aménagements urbains, piétons ou routiers. C'est le cas notamment de l'entreprise Emch+Berger qui signale sur son site internet (“Modèles et Simulations de Trafic | Emch+Berger”, n.d.) que la simulation numérique de la circulation est aujourd’hui devenue un outil presque indispensable dans le milieu de la planification et du conseil en aménagements de la mobilité et du trafic. Effectivement, ces outils permettent de visualiser les effets des mesures prévues et d'évaluer la faisabilité de certains projets (“Modèles et Simulations de Trafic | Emch+Berger”, n.d.).

Comme l'indique l'entreprise Transportplan SA sur son site internet, la simulation des transports est également particulièrement efficace pour l'analyse de l'écoulement du trafic et pour optimiser le fonctionnement des carrefours à feux (“Transportplan”, 2024).

En ce qui concerne les transports publics, PTV GROUP précise (“PTV Group”, 2024) que la modélisation sert par exemple à résoudre certains défis tels que :

- la gestion de la surcharge des bus le matin aux heures de pointe;
- la gestion des correspondances en cas de retard;
- l'adaptation des services lorsqu'une route est en construction ou en travaux;
- l'optimisation d'une ligne de bus ou de tram en fonction des lignes adjacentes;
- l'ajustement des prix des billets de transports
- l'amélioration de la dé-carbonisation des transports;

Bien que la modélisation des déplacements urbains soit utilisée comme outil d'aide à la décision depuis les années 1960 (Debiset, 2011), les nouvelles technologies apportent de nombreuses nouvelles fonctionnalités et améliorent la précision des analyses et conclusions faites sur les réseaux de transports.

## 2.3 Le développement des transports publics à Lausanne

### 2.3.1 Les premiers pas des TL

L'histoire des transports publics lausannois (TL) débute en 1877 lors de l'inauguration du funiculaire reliant Ouchy à la gare de Lausanne. Ce funiculaire est rapidement surnommé "La Ficelle" par les usagers. Une seconde ligne de funiculaire reliant Lausanne-gare au Flon est inaugurée en fin d'année 1879 et permet d'améliorer le flux de marchandises entre le port du sud de la ville et les trams venant des campagnes jusqu'au Flon. C'est en 1894, lorsqu'Adrien Palaz obtient l'autorisation fédérale d'établissement d'un réseau de tramway, que les TL sont fondés. Auparavant, les funiculaires étaient exploités par la compagnie du chemin de fer Lausanne-Ouchy. Le 29 août 1896, le premier réseau de transports publics lausannois est mis en service. Il est composé de six lignes de tramways pour une longueur totale de 7,2 km (TL, 2024).

Diverses modifications et ajouts sont faits sur le réseau de transport public des TL jusqu'à l'introduction en 1932 du trolleybus. Le confort, la vitesse et le prix d'exploitation inférieur à celui des tramways en font rapidement le remplaçant des tramways (TL, 2024).

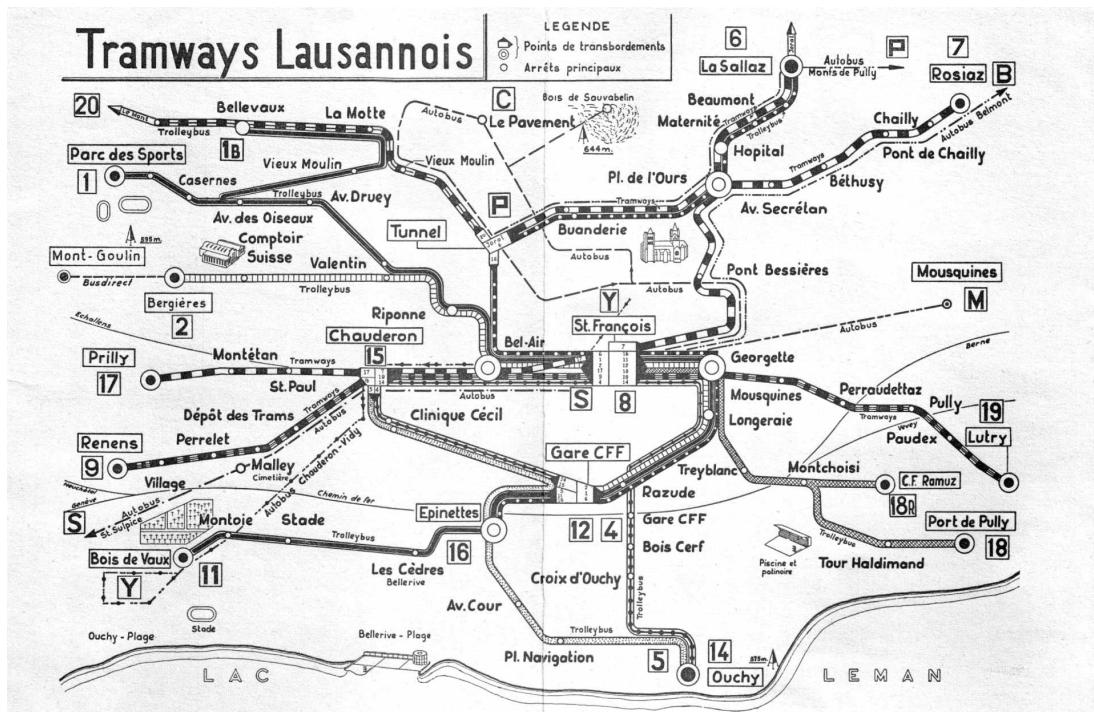


Figure 2.1: Plan du réseau des TL en 1959.

Source: "Le Tramway lausannois, acteur d'une histoire unique", 2020

### 2.3.2 Les TL aujourd'hui

La première ligne de métro lausannoise est inaugurée en 1991. Le M1 s'appelle alors le TSOL (Tramway du Sud-ouest lausannois) et permet de relier le centre-ville au quartier de l'université situé sur la commune d'Écublens à l'ouest de la ville de Lausanne. La seconde ligne de métro (M2) mise en service en octobre 2008. Ce métro est la première ligne de métro automatique de Suisse et reprend l'ancien tracé de "La Ficelle" qu'il poursuit jusqu'au nord de la ville. Ayant une capacité initiale de 25 millions de voyageurs par an, le M2 dépasse déjà en 2013 ce nombre en transportant plus de 27 millions de passagers. Ce nombre monte même jusqu'à près de 33 millions d'utilisateurs en 2022 (TL, 2023a). Dans l'ensemble, les TL ont transporté plus de 114 millions de voyageurs sur la totalité des lignes de bus et de métros durant l'année 2022 (TL, 2023a). Aujourd'hui, le réseau TL représente 45 lignes de bus, 2 lignes de métro et 1 ligne de train (LEB), avec une longueur combinée de plus de 375 kilomètres (TL, 2023b). Ces chiffres démontrent l'importance des transports publics dans la ville de Lausanne.

### 2.3.3 Le futur des TL

Deux nouvelles lignes importantes sont prévues par les TL. L'une est une ligne de métro (M3) qui reliera la gare de Lausanne à la station de la Blécherette, au nord-ouest de la ville. Cette ligne de métro est prévue pour 2031 si les travaux peuvent être réalisés dans les temps (*Ville de Lausanne*, 2017). La deuxième ligne attendue dans le région lausannoise est une ligne de tram qui reliera la station du Flon, située au centre-ville de Lausanne, à la station de Croix-Péage dans la commune de Villars-Ste-Croix, en passant par la gare CFF de Renens. La mise en service de cette ligne de tramway doit avoir lieu en 2026 pour la première partie de la ligne reliant Lausanne à Renens. Le prolongement de la ligne jusqu'à Croix-Péage aura lieu ultérieurement (Axes-Forts, 2024).



# Méthodologie

Ce chapitre présente la méthodologie employée dans notre étude sur le réseau de transport, en mettant l'accent sur les phases clé du projet. Nous débutons par l'explication de la collecte des données nécessaires pour créer notre modèle, ainsi que l'utilisation de QGIS<sup>1</sup> pour la visualisation et la correction de certaines données.

Nous abordons ensuite le traitement des données, où nous présentons la méthode qui est utilisé pour nettoyer et préparer les données pour l'analyse. Cette phase inclut également l'explication de quelques obstacles rencontrés et les solutions adoptées pour les surmonter. Nous employons une méthode spécifique pour le nettoyage et la préparation des données en vue de leur analyse, il s'agit d'une approche parmi d'autres possibles, adaptée à nos besoins spécifiques et objectifs de recherche.

En fin de chapitre, nous détaillons le choix du logiciel de simulation, puis l'intégration des données dans ce logiciel.

## 3.1 Collecte des données

Dans cette section, nous expliquons la collecte des données, en détaillant le format spécifique des données requises pour la création de notre modèle de transport public. Nous abordons également la nature des données nécessaires pour lancer la simulation, une fois que le modèle est pleinement opérationnel et prêt à l'usage.

### 3.1.1 Données pour le modèle

Les données nécessaires à la création du modèle du réseau des transports publics de Lausanne dans PTV VISSIM peuvent être importées dans différents formats. Le format que nous avons décidé d'utiliser est le format GTFS (General Transit Feed Specification) car il permet d'importer à la fois les trajets des lignes de transports, les informations des horaires de chaque ligne de transports ainsi que les données géospatiales des arrêts de bus et de métro.

En résumé, le format GTFS est un format de données permettant de combiner les horaires de transports publics et les données géospatiales qui leur sont associées (Wu et al., 2022).

---

<sup>1</sup>Système d'Information Géographique Libre et Open Source (“QGIS.org”, 2024)

### 3. MÉTHODOLOGIE

---

Comme nous pouvons le voir sur la Figure 3.1, un flux GTFS est composé de plusieurs fichiers textes (.txt) regroupés dans un seul fichier d'archive .zip. Chaque fichier décrit un aspect particulier des informations de transport : arrêts, itinéraires, trajets, tarifs, etc. (“Aperçu du planning GTFS”, 2024).

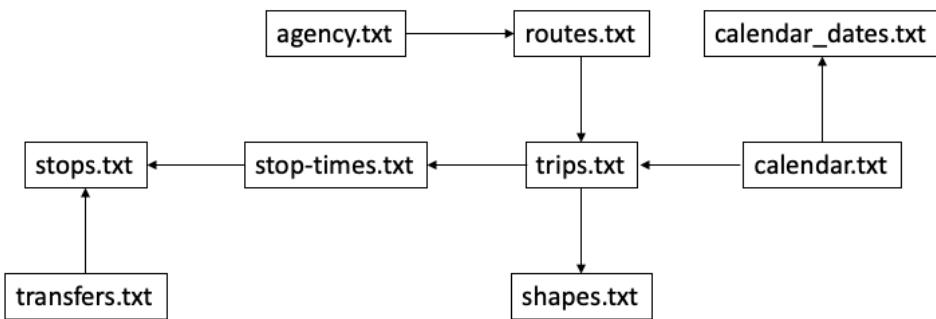


Figure 3.1: Structure d'un flux de données GTFS.

Les flux GTFS sont généralement accessibles en ligne, plus ou moins récents selon le fournisseur et ne contiennent parfois pas tous les fichiers souhaités. Dans le cas de Lausanne, nous avons pu obtenir les données sur la *plateforme open data pour la mobilité en Suisse*<sup>2</sup>. Comme le mentionne le site internet de la plateforme, ces données sont mises en ligne par les CFF et les données sont fournies pour toutes les lignes de transports en commun de Suisse et pour les lignes étrangères ayant une connexion avec la Suisse. De ce fait, les données obtenues doivent être triées et sélectionnées afin de ne conserver que les données concernant le réseau des transports publics lausannois. Nous détaillons ce procédé dans la section 3.2. Voici la liste des fichiers que nous avons obtenus sur la plateforme :

- agency.txt: agences de transport dont le service est représenté dans cet ensemble de données.
- calendar.txt: dates de service
- calendar\_dates.txt: exceptions pour les services définis dans le fichier calendar.txt.
- feed\_info.txt: métadonnées de l'ensemble des données, y compris l'éditeur, la version et les informations d'expiration.
- routes.txt: liste des itinéraires de transport en commun.

---

<sup>2</sup><https://opentransportdata.swiss/fr/cookbook/gtfs/>

- stop\_times.txt: heures selon horaire auxquelles un véhicule arrive et part des arrêts pour chaque trajet.
- stops.txt: arrêts où les véhicules prennent ou déposent les passagers.
- transfers.txt: temps de transfert entre deux arrêts du réseau.
- trips.txt: trajets pour chaque itinéraire. Un trajet est une séquence de deux arrêts ou plus qui se déroulent pendant une période de temps spécifique.

Comme nous le constatons dans la liste des fichiers obtenus, nous n'avons pas de fichier shapes.txt, qui décrit le chemin qu'un véhicule emprunte le long de son parcours. Le fichier shapes.txt contient une séquence de points par lesquels le véhicule passe et l'ordre dans lequel il les parcourt (“Reference - General Transit Feed Specification”, 2024). Dans notre cas, il est donc nécessaire d'avoir ce fichier shapes.txt contenant les chemins parcourus par chacune des lignes de transports que nous souhaitons modéliser.

#### 3.1.2 Les parcours des lignes de transport

L'objectif de notre modélisation étant de recréer les itinéraires précis de chaque ligne de transport de la ville de Lausanne, il est indispensable de posséder un fichier shapes.txt correspondant et qui doit être ajouté aux autres fichiers du flux GTFS que nous avons obtenus d'après la méthode expliquée dans la sous-section 3.1.1. En effet, le fichier shapes.txt étant celui qui contient les latitudes et longitudes de tous les points par lesquels passent chaque ligne de transport, il est essentiel pour modéliser correctement le réseau de transport.

Ce fichier n'étant pas disponible au téléchargement, nous avons alors décidé de le créer à partir des trajectoires disponibles sur OpenStreetMap (OSM, “OpenStreetMap”, 2024), et des données collectées sur la plateforme Viageo (“Viageo”, 2024). Nous avons dû utiliser ces deux sources de données, car les données disponibles sur OSM ne fournissaient pas l'entier du réseau des TL. Nous avons importé ces données dans QGIS afin de les visualiser et les traiter pour obtenir le format correspondant à notre flux GTFS, nous détaillons le traitement de ces données dans la section 3.2.

#### 3.1.3 Données pour les simulations

En raison du temps de traitement élevé qu'ont nécessité les données de création du modèle, la collecte des données pour les simulations n'a pas pu être effectuée. Les données nécessaires à la simulation sont le nombre de voyageurs, leur zone de départ et leur destination. Nous avons également besoin d'informations liées aux moyens de transports tels que la capacité des bus ou des rames de métro. Au besoin, nous utiliserons des données fictives pour les simulations et nous pourrons à l'avenir ajouter des données réelles afin d'obtenir des résultats plus proches de la réalité.

## 3.2 Traitement des données

Dans cette section, nous allons détailler les outils et les méthodes utilisées pour traiter les données afin d'obtenir un flux GTFS correct, qui pourra être importé dans le logiciel de simulation. Le traitement des données est séparé en deux sous-sections car la méthode diffère entre le traitement des données des horaires et la création du fichier shapes.txt. Tous les scripts Python utilisés dans ce travail sont disponibles sur GitHub en suivant ce lien : [https://github.com/bappoff/lausanne\\_transport\\_network](https://github.com/bappoff/lausanne_transport_network)

### 3.2.1 Traitement des fichiers de données au format .txt

Le traitement des données contenues dans les différents fichiers .txt s'apparente principalement à du filtrage. Après avoir analysé les différents fichiers, nous pouvons mettre en place quelques scripts Python qui permettent d'automatiser le filtrage de ces fichiers qui possèdent jusqu'à plus d'un million de lignes. Il est nécessaire de filtrer les fichiers dans un ordre précis pour pouvoir utiliser le fichier précédemment filtré dans le script Python suivant car les fichiers possèdent des attributs communs. Nous pouvons donc filtrer les fichiers suivants en utilisant les informations des fichiers déjà filtrés.

Tout d'abord, le fichier feed\_info.txt n'a pas besoin d'être traité car il ne contient qu'une seule ligne d'informations sur l'origine des données (c.f Table 3.1).

### 3. MÉTHODOLOGIE

---

feed_publisher_name	feed_publisher_url	feed_lang	feed_start_date	feed_end_date	feed_version
SBB	http://www.sbb.ch/	DE	20231210	20241214	20231218

**Table 3.1:** Extrait du fichier feed-info.txt.

Le premier fichier à traiter est le fichier stops.txt. Nous utilisons le code Python *0\_filter\_stops.py* pour cela. Ce code utilise en entrée le fichier stops.txt obtenu sur la plateforme opentransportdata.swiss (“Horaire 2024 (GTFS)”, 2024) et un fichier geoJSON exporté de QGIS à partir des données récoltées sur OSM et qui contient les latitudes et longitudes de chaque arrêt du réseau TL. En comparant ces deux entrées, nous conservons seulement les lignes du fichier stops.txt dont les arrêts sont présents dans le fichier geoJSON. Cela permet de conserver les attributs du fichier texte car nous en avons besoin ultérieurement pour filtrer d’autres fichiers. La Table 3.2 montre un extrait du fichier stops.txt après traitement.

stop_id	stop_name	stop_lat	stop_lon
8501160	Lausanne-Chauderon	46.5235	6.6253397017771
8501162	Union-Prilly	46.5348	6.6098
8501163	Prilly-Chasseur	46.5397	6.6074
8501164	Cery-Fleur-de-Lys	46.5444	6.6051
8501165	Jouxtens-Mézery	46.5484	6.6017

**Table 3.2:** Extrait du fichier stops.txt après traitement.

Le deuxième fichier à traiter est le fichier transfers.txt dont nous pouvons voir la structure avant traitement dans la Table 3.3. Pour ce fichier, la méthode est légèrement différente. Nous voulons garder uniquement les lignes du fichiers transfers.txt où les attributs des arrêts de départs (*from\_stop\_id*) et d’arrivés (*to\_stop\_id*) sont les deux présents dans le fichiers stops.txt. Cela permet de conserver seulement les temps de trajet entre des arrêts de notre réseau. Pour cela, nous utilisons le script Python *5\_filter\_transfers.py*.

### 3. MÉTHODOLOGIE

---

from_stop_id	to_stop_id	transfer_type	min_transfer_time
1100079	8014441	2	240
1100079	8014441:0:2	2	240
1100079	8014441:0:3	2	240
1100079	8014441:0:1	2	240
1100084	8014440	2	180

**Table 3.3:** Extrait du fichier transfers.txt avant traitement.

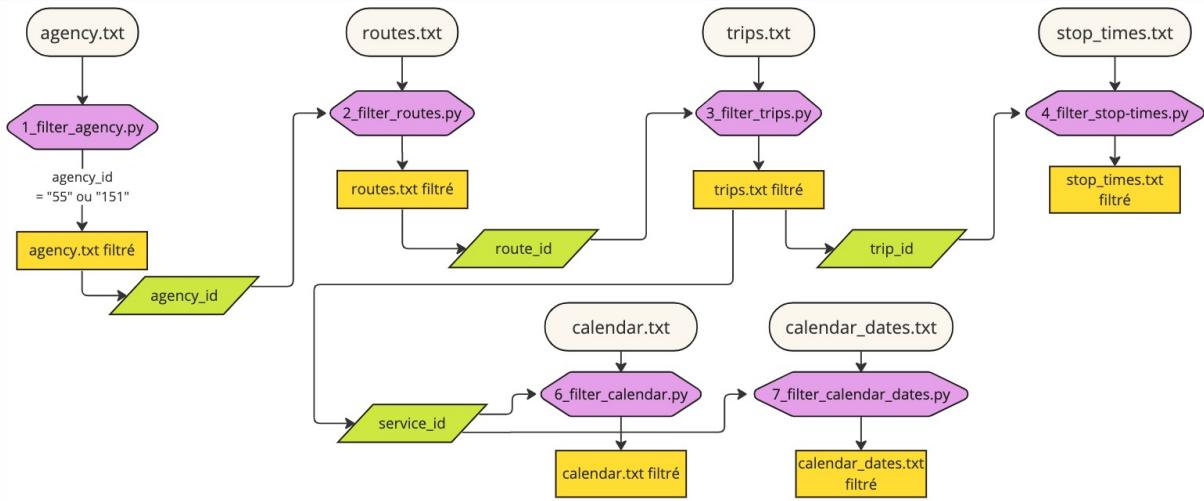
La Table 3.4 présente un extrait du fichier transfers.txt après traitement.

from_stop_id	to_stop_id	transfer_type	min_transfer_time
8501160	8592010	2	180
8501160	8592096	2	300
8501160	8592133	2	360
8501163	8592175	2	180
8501169	8570063	2	120

**Table 3.4:** Extrait du fichier transfers.txt après traitement.

Les autres fichiers sont traités selon l'ordre indiqué dans la figure 3.2. Excepté le fichier *agency.txt*, les autres sont filtrés à l'aide d'un attribut provenant d'un fichier précédemment filtré (visible en vert sur la figure). Les fichiers en entrée sont en beige et les fichiers filtrés sont visibles en jaune. Les scripts Python sont visibles en violet et sont disponibles sur le [GitHub de ce mémoire](#).

### 3. MÉTHODOLOGIE



**Figure 3.2: Workflow du tri des fichiers .txt**

Les extraits des fichiers avant et après traitement sont disponibles en annexe A.1 à A.12.

Avec le traitement de ces fichiers, nous achevons la première phase du traitement des données et nous obtenons un flux GTFS cohérent. Nous constatons sur la Table 3.5 que nous conservons généralement moins de 1% des données que nous avions après le téléchargement. Cela démontre l'importance du filtrage de ces fichiers.

Nom du fichier	Nombre de lignes avant traitement	Nombre de lignes après traitement	Pourcentage conservé
agency.txt	448	2	0,45%
calendar.txt	2140735	5828	0,27%
calendar_dates.txt	17863	73	0,41%
feed_info.txt	1	1	100%
routes.txt	4418	40	0,91%
stop_times.txt	9737649	490903	5,04%
stops.txt	42685	435	1,02%
transfers.txt	47058	152	0,32%
trips.txt	979160	29265	2,99%

**Table 3.5: Récapitulatif des fichiers avant et après traitement.**

Afin de compléter ce flux GTFS il faut encore ajouter le fichier shapes.txt. Nous détaillons la méthode utilisée pour l'obtenir dans la section 3.2.2

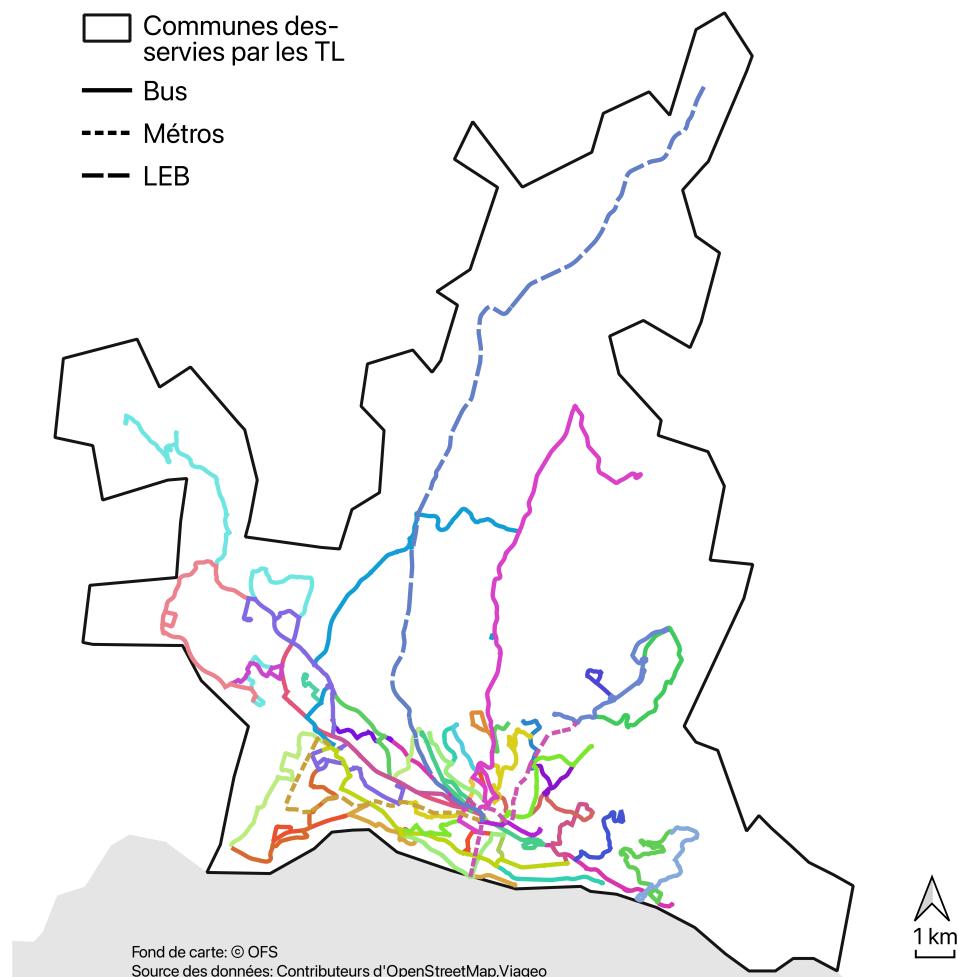
#### 3.2.2 Traitement du fichier shapes.txt

Comme nous l'avons expliqué brièvement dans la section 3.1.2, la construction du fichier shapes.txt a été faite à partir de données obtenues sur OpenStreetMap (“OpenStreetMap”, 2024) et Viageo (“Viageo”, 2024). L’objectif de ce traitement de données est d’obtenir un fichier semblable à celui de la Table 3.6, où l’attribut *shape\_id* est l’identifiant de ligne de transport, *shape\_pt\_lat* et *shape\_pt\_lon* représentent respectivement la latitude et la longitude du point de passage et *shape\_pt\_sequence* représente la position du point dans le trajet de la ligne de transport.

shape_id	shape_pt_lat	shape_pt_lon	shape_pt_sequence
58	46.6066917	6.5229434	0
58	46.6066914	6.5230583	1
58	46.6067033	6.5232152	2
58	46.6067445	6.5234375	3
58	46.6068250	6.5237950	4

**Table 3.6:** Exemple du fichier shapes.txt.

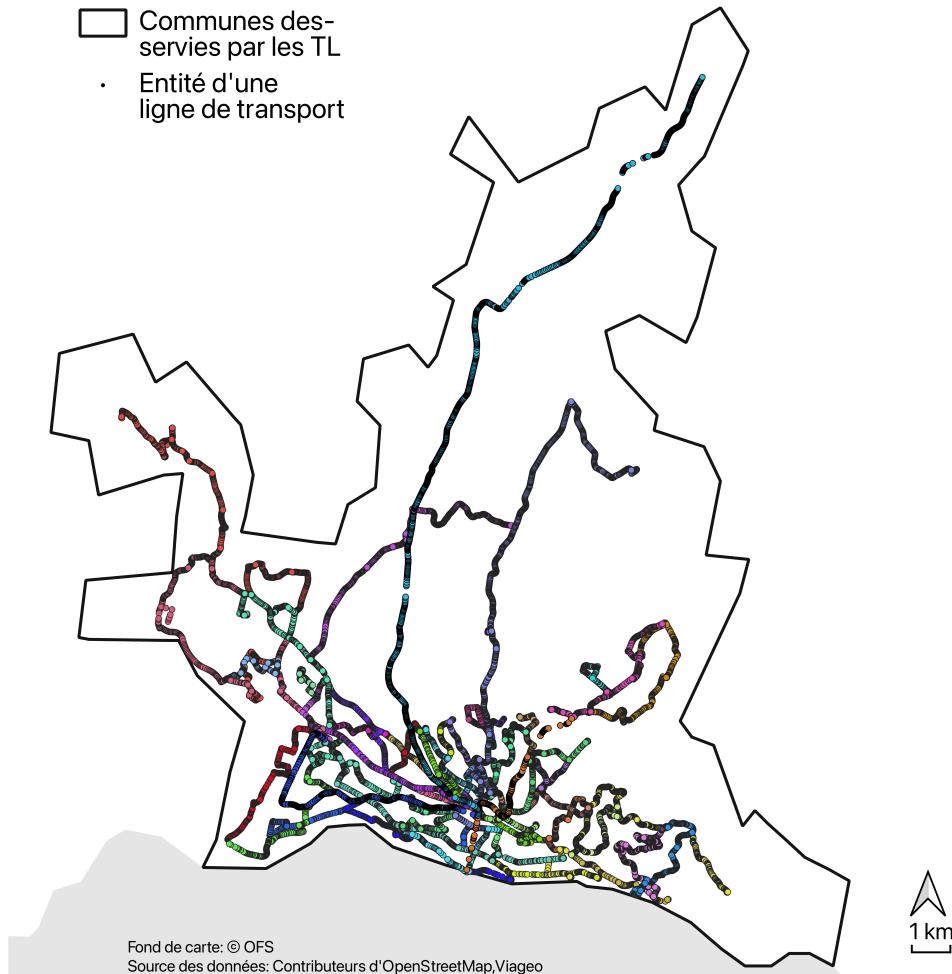
Nous avons donc importé les fichiers shapefile sur QGIS afin de visualiser une première fois les données. La Figure 3.3 montre le résultat de cette importation, qui semble être bon.



**Figure 3.3: Vue du réseau importé dans QGIS avant traitement.**

Afin d'obtenir les coordonnées de chaque point du réseau, nous utilisons l'outil *Extract vertices* qui nous permet d'obtenir une représentation de chaque point du réseau distinct. Le résultat de cette opération est visible sur la Figure 3.4. Encore une fois, le résultat semble satisfaisant.

### 3. MÉTHODOLOGIE



**Figure 3.4:** Vue du réseau après extraction des points sur QGIS.

Avec l'exécution de cet outil, nous obtenons également une table d'attributs QGIS contenant différentes informations sur chaque point du réseau. La Table 3.7 présente différentes informations présentes dans la table d'attributs de la couche de points créée sur QGIS, nous nous intéressons principalement aux attributs *vertex\_index*, *vertex\_part* et *vertex\_part\_index* qui sont des informations sur l'ordre des points.

ETC_SIGLE	LIGNE_TYPE	LIGNE_NO	CADRE_NO	ETC_NOM	LIGNE_NOM	vertex_index	vertex_part	vertex_part_index
TL	Bus régional	58	10.058	Transports publics de la région lausannoise	Bussigny - Cossionay-Penthalaz	0	0	0
TL	Bus régional	58	10.058	Transports publics de la région lausannoise	Bussigny - Cossionay-Penthalaz	1	0	1
TL	Bus régional	58	10.058	Transports publics de la région lausannoise	Bussigny - Cossionay-Penthalaz	2	0	2
TL	Bus régional	58	10.058	Transports publics de la région lausannoise	Bussigny - Cossionay-Penthalaz	3	0	3
TL	Bus régional	58	10.058	Transports publics de la région lausannoise	Bussigny - Cossionay-Penthalaz	4	0	4

**Table 3.7:** Extrait de la table d'attributs QGIS de la couche des points.

Nous avons donc l'attribut *vertex\_index* de la Table 3.7 qui représente l'ordre des points. Cela devrait être similaire à la colonne *shape\_pt\_sequence* du fichier shapes.txt.

### 3. MÉTHODOLOGIE

---

L'étape suivante est d'ajouter à chaque point ses coordonnées de latitude et de longitude. Car ce sont deux informations dont nous avons besoin dans le fichier shapes.txt final et comme nous pouvons le voir sur la Table 3.7, nous n'avons pour l'instant rien qui lie chaque point avec ses coordonnées. Cela est fait à l'aide de l'outil *Field Calculator* qui permet de calculer un champ de façon généralisée pour toute une table d'attributs. Nous utilisons les formules "\$x" et "\$y" pour ajouter le champ *longitude* et *latitude* à chaque entité. Nous allons également modifier le champ *LIGNE\_NOM*. La Table 3.8 présente un extrait de la table d'attributs de la couche des points après ajout des coordonnées et suppression de certains attributs dont nous n'avons pas besoin pour le fichier shapes.txt.

<b>name</b>	<b>vertex_index</b>	<b>vertex_part</b>	<b>vertex_part_index</b>	<b>lat</b>	<b>long</b>
Bus 7: Val-Vert → Galicien/aréna	0	4	0	46.5221358	6.6671797
Bus 7: Val-Vert → Galicien/aréna	1	4	1	46.5221115	6.667171
Bus 7: Val-Vert → Galicien/aréna	2	4	2	46.5220367	6.667144
Bus 7: Val-Vert → Galicien/aréna	3	4	3	46.5219603	6.667109
Bus 7: Val-Vert → Galicien/aréna	4	4	4	46.5218635	6.6670648

**Table 3.8:** Extrait d'un fichier shapes.txt après ajout des coordonnées.

Nous avons désormais tous les attributs nécessaires à la création du fichier shapes.txt final:

- name → shape\_id
- lat → shape\_pt\_lat
- long → shape\_pt\_lon
- vertex\_index → shape\_pt\_sequence

Nous avons donc exporté ces informations en tant que fichier .csv<sup>3</sup>, puis modifié les noms de colonnes afin de les faire correspondre avec les besoins du format GTFS, et enfin enregistrer le fichier en tant que fichier .txt pour l'ajouter aux autres fichiers du flux GTFS précédemment traités. La Table 3.9 donne un aperçu de la structure finale obtenue.

---

<sup>3</sup>Comma Separated Values (csv) désigne un format de fichiers dont le rôle est de présenter des données séparées par des virgules.

### 3. MÉTHODOLOGIE

---

shape_id	shape_pt_lat	shape_pt_lon	shape_pt_sequence
Bus13	46.5198031	6.6296516	0.0
Bus13	46.5198138	6.6300485	1.0
Bus13	46.5198026	6.6301003	2.0
Bus13	46.5197553	6.6304761	3.0
Bus13	46.5197462	6.6305697	4.0

**Table 3.9:** Extrait du fichier shapes.txt avant visualisation.

Afin de tester si notre fichier shapes.txt est correct, nous allons l'importer dans QGIS à partir du fichier .txt, nous obtenons donc une couche similaire à la couche d'extraction des points que nous avons illustrée sur la Figure 3.4. L'étape suivante, nécessaire pour tester la compatibilité du fichier avec le logiciel de simulation, est de joindre les points de chaque ligne de transports en suivant l'ordre indiqué par la colonne *shape\_pt\_sequence*. Nous avons fait cela en exécutant l'outil *Points to path* de QGIS qui permet de choisir un attribut qui sert d'ordre pour relier les points et un deuxième attribut permettant de distinguer chaque ligne par son nom (*shape\_id*) et donc de relier entre eux seulement les points d'une même ligne de transport. Le résultat devrait être similaire à la Figure 3.3. Malheureusement cela n'a pas été le cas, et le résultat de cette étape est visible sur la Figure 3.5.

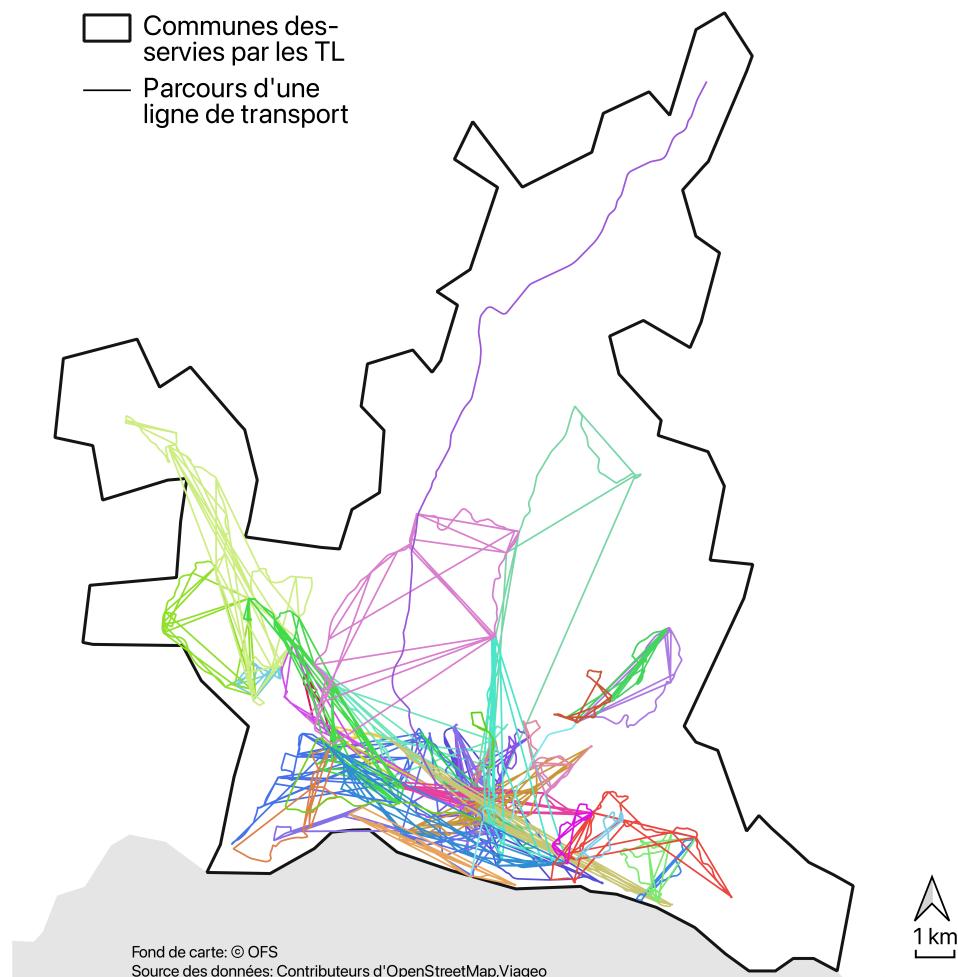
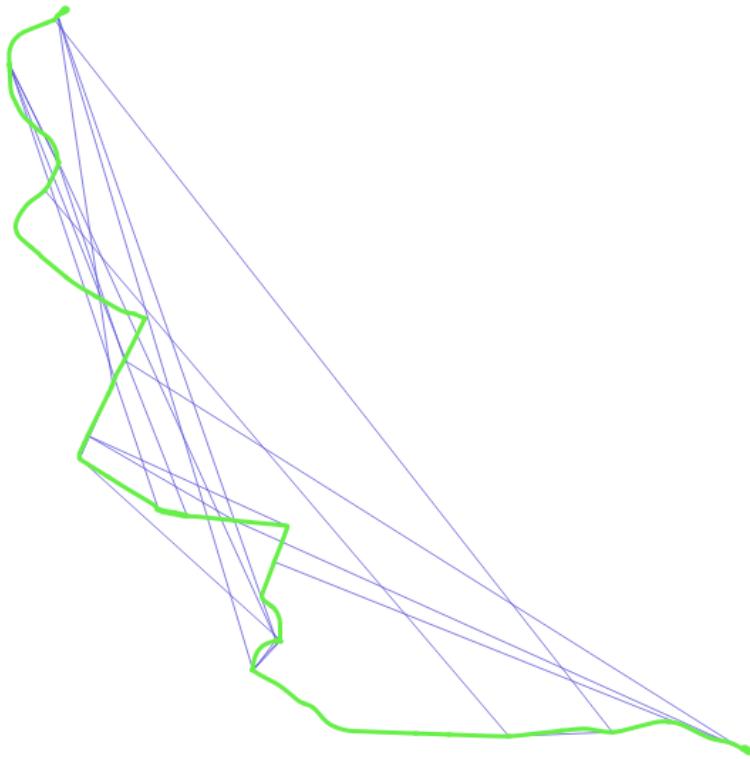
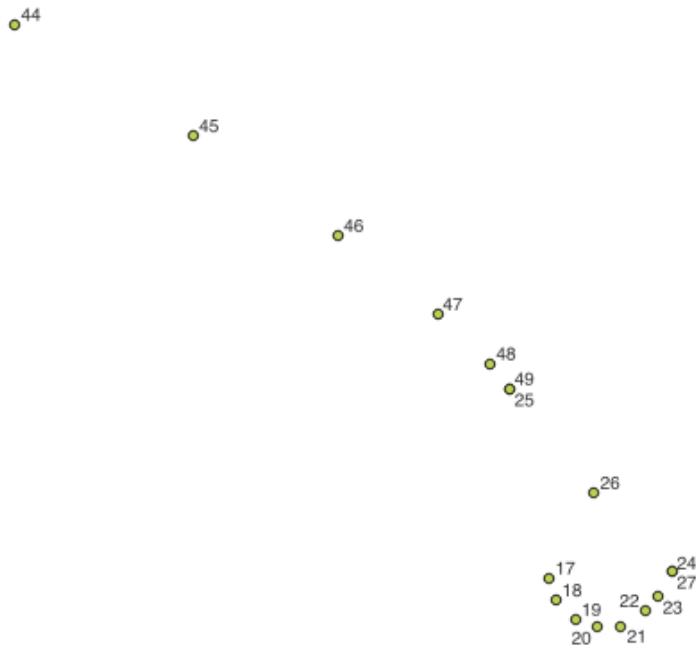


Figure 3.5: Vue du réseau après avoir relié les points de chaque ligne selon l'ordre de l'attribut *shape\_pt\_sequence*.



**Figure 3.6:** Vue de la ligne de bus 21 après avoir relié les points selon l'ordre de l'attribut *shape\_pt\_sequence*.

Comme nous nous en apercevons rapidement sur les figures 3.5 et 3.6, il y a un problème lors de la liaison des points. Après avoir exploré plus en détail cette erreur, nous avons trouvé qu'il s'agit d'une erreur dans la numérotation des points, et donc de l'attribut *shape\_id\_sequence*. Nous pouvons encore mieux nous en rendre compte sur la Figure 3.7 qui affiche la valeur de l'attribut *shape\_id\_sequence* pour chaque entité.



**Figure 3.7:** Extrait de la ligne de bus 47 obtenue d'OSM avec affichage de l'attribut *shape\_pt\_sequence* pour chaque point.

Après plusieurs tentatives infructueuses de résoudre ce problème à l'aide des outils QGIS et après avoir attentivement analysé certaines des lignes de transport, nous avons pu trouver certaines répétitions des erreurs.

Comme nous l'avons expliqué précédemment, nous avons du télécharger les données nécessaires à la création du fichier shapes.txt à deux endroits différents. Les données obtenues sur OSM et sur Viageo présentent des problèmes de numérotation, mais pas exactement similaire. Nous allons détailler les deux types d'erreurs et comment nous avons pu les résoudre dans les sous-sections suivantes.

#### Les lignes d'OpenStreetMap

Pour les points obtenus à partir des données d'OSM, nous avons détecté la répétition des erreurs suivantes :

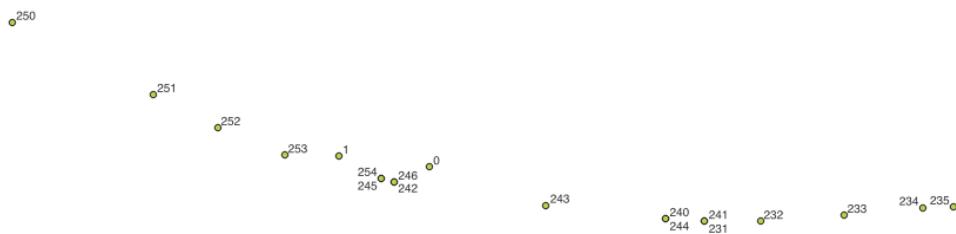
- les points numéro 0 ne sont pas nécessairement à l'endroit où devrait commencer la ligne. Cela pose problème, car il y a forcément des incohérences dans le tracé des lignes si elles ne commencent pas au début;

### 3. MÉTHODOLOGIE

---

- certains groupes de points (qui sont caractérisés par le fait d'avoir le même *vertex\_part* [voir Table 3.8]) sont inversés du premier au dernier (de ce *vertex\_part*). Nous pouvons nous en rendre compte sur la Figure 3.7 où l'on voit qu'une série de points est numérotée en direction du haut de la figure, alors qu'une deuxième série de points est numérotée dans le sens opposé;
- certains points se situent l'un au dessus de l'autre, avec exactement les mêmes coordonnées. Ce sont généralement deux points ayant un attribut *vertex\_part* successif, une fois le dernier point du *vertex\_part*  $n$  et une fois le premier point du *vertex\_part*  $n+1$  le plus élevé des deux. Nous pouvons le visualiser sur la Figure 3.7 en observant le point numéro 25 qui possède aussi le numéro 49;

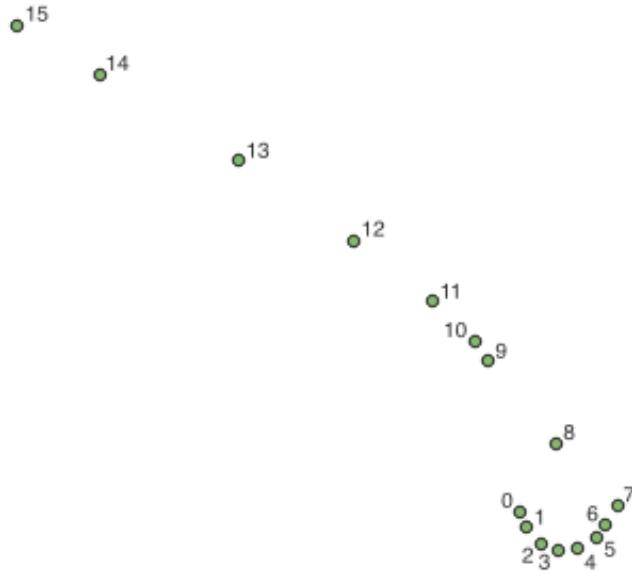
Afin de résoudre ces erreurs, nous avons premièrement dû faire quelques opérations de nettoyage manuellement sur QGIS. Comme nous pouvons le voir sur la Figure 3.7, le début de la ligne (point numéro 17) n'a pas le numéro 0. Nous pouvons le voir sur la Figure 3.8, les points 0 et 1 sont quelque part au milieu de la ligne de transport, et c'est le cas pour tous les points jusqu'au point numéro 16 compris, pour la ligne 47 qui nous sert d'exemple. C'est pour cela que la ligne de transport commence réellement par le point 17, et il faut donc manuellement supprimer les points précédents. Ce contrôle a été fait pour chaque ligne de transport, dans les deux sens de circulation.



**Figure 3.8: Extrait de la ligne de bus 47 obtenue d'OSM avec affichage de l'attribut *shape\_pt\_sequence* pour chaque point.**

Nous avons exporté chaque ligne de transport, dans les deux directions, séparément dans un fichier .csv distinct afin de pouvoir traiter les données directement dans ce format. Ensuite, nous avons utilisé plusieurs scripts Python permettant d'obtenir une numérotation cohérente. Le code *launcher.py* est le script principal qui va lancer les 4 autres scripts dans le bon ordre sur chaque fichier .csv à traiter. Pour résumer : le script *delete\_col.py*

est lancé en premier et va nettoyer les données en supprimant les colonnes inutiles. Le script *filter\_doublon.py* est lancé une fois que *delete\_col.py* est terminé et va supprimer les points qui sont superposés en conservant celui qui a l’attribut *vertex\_index* le plus bas. Puis le script *calcul\_distance* est lancé et va calculer la distance entre le dernier point d’un *vertex\_part n* et le premier et le dernier point du *vertex\_part n + 1*. Le script *reorder.py* est ensuite lancé et va inverser l’ordre des points du *vertex\_part n + 1* si la distance entre le dernier point du *vertex\_part n* avec le dernier point du *vertex\_part n + 1* est inférieure à la distance avec le premier point du *vertex\_part n + 1*. Les scripts *calcul\_distance2* (identique à *calcul\_distance*) et *reorder.py* sont ainsi lancés en boucle pour un nombre d’itérations équivalent au nombre de *vertex\_part* différents dans le fichier en cours de traitement. Après exécution du script *launcher.py* nous obtenons un fichier avec un ordre corrigé pour chaque ligne de transport, dans chaque direction. Pour comparer avec la Figure 3.7, la Figure 3.9 montre le résultat obtenu après traitement et réimportation dans QGIS, pour la ligne 47.



**Figure 3.9:** Extrait de la ligne de bus 47 obtenue d’OSM avec affichage de l’attribut *shape\_pt\_sequence* pour chaque point, après traitement.

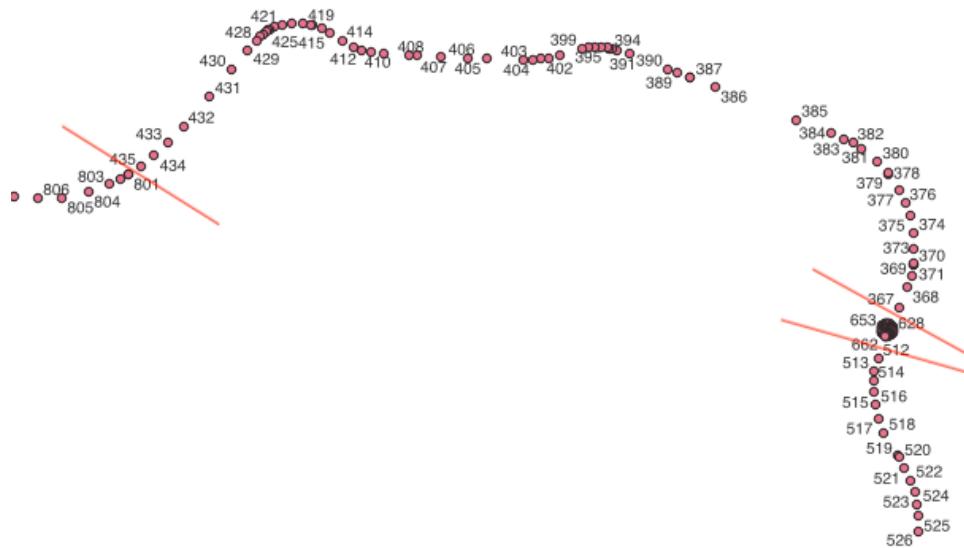
#### Les lignes de Viageo

Les problèmes de numérotation sur les lignes obtenues sur Viageo sont similaires à ceux des lignes obtenues sur OSM et détaillés dans la sous-section 3.2.2. La seule différence est que

### 3. MÉTHODOLOGIE

---

le point de départ de la ligne peut se trouver n’importe où sur le parcours et n’est pas situé à une extrémité (ce qui était le cas avec les données OSM après suppression des points hors des lignes). De ce fait, il n’est plus possible d’employer les scripts précédemment utilisés, car ils utilisaient le fait que le premier groupe de points était situé au début de la ligne, suivi du second, etc. et que seuls l’ordre des points était parfois inversé à l’intérieur des groupes (défini par l’attribut *vertex\_part*). Au contraire, pour les données obtenues sur Viageo, le premier groupe de points n’est pas nécessairement à une extrémité de la ligne, et le second groupe de points n’est pas non plus à la suite du premier, etc. Nous pouvons voir un exemple sur la Figure 3.10 où l’on distingue différents groupes de points mais dont la numérotation est complètement disparate.



**Figure 3.10: Extrait de la ligne de bus 47 obtenue de Viageo avec affichage de l’attribut *shape\_pt\_sequence* pour chaque point, avant traitement.**

En raison du problème expliqué, il a été nécessaire de trouver une méthode alternative pour traiter les données de Viageo et ainsi pouvoir compléter le réseau en corrigeant les lignes non fournies par OSM.

Cette méthode utilise le script Python *reorder\_points.py*. En résumé, le script va avoir deux arguments en entrée: le nom du fichier à traiter et le numéro actuel du premier point de la ligne de transport de ce fichier. À partir de ces deux informations, le script va modifier le numéro du premier point et lui attribuer le numéro 0, puis calculer la distance entre ce point et tous les autres points du fichier grâce aux coordonnées fournies. Le point

ayant la distance la plus faible est alors numéro 1, et ainsi de suite avec tous les points qui n'ont pas encore de nouvelle numérotation. Cette méthode fournit des résultats assez satisfaisants, mais il est nécessaire de corriger encore certaines données manuellement, car dans les courbes par exemple, il arrive que le point le plus proche ne soit pas réellement le suivant d'après le parcours. Il a donc fallu ajouter parfois un ou deux points pour s'assurer que le tracé de la ligne de transport est respecté.

#### **Jointure des données**

Après avoir traité toutes les lignes de transport obtenues via OSM et via Viageo, nous avons enfin un fichier .csv correct pour chacune des lignes, dans les deux directions. Nous pouvons donc joindre toutes les données dans un seul fichier qui est le fichier shapes.txt final de notre flux GTFS. Un extrait de ce fichier est visible dans la Table 3.10.

shape_id	shape_pt_lat	shape_pt_lon	shape_pt_sequence
Bus1	46.5423111598093	6.621290964474318	0
Bus1	46.54233754045534	6.621342754864522	1
Bus1	46.54236476161893	6.621371351762334	2
Bus1	46.54238686498508	6.62138259483148	3
Bus1	46.54241288042656	6.621383674602232	4

**Table 3.10:** Extrait du fichier shapes.txt après traitement.

## **3.3 Utilisation des données**

Dans cette sous-section nous détaillons l'utilisation des données en expliquant notre choix du logiciel de simulation ainsi que l'importation des données dans ce logiciel.

### **3.3.1 Choix du logiciel de simulation**

Parmi les options de logiciels de simulation et de modélisation disponibles pour créer des réseaux de transport multimodal, notre choix s'est porté sur PTV VISSIM, développé par PTV Group. Nous avons pris cette décision car ce logiciel semblait offrir une gamme complète de fonctionnalités pour intégrer les différents modes de transport disponibles dans la ville de Lausanne. Néanmoins le choix du logiciel est finalement assez peu important

### 3. MÉTHODOLOGIE

---

puisque nous avons créé un modèle et nous pouvons ensuite l'exporter pour l'utiliser dans différents logiciels. Comme nous ne faisons pas de simulation dans ce projet, cela reste un aspect mineur de ce travail.

#### 3.3.2 Importation des données dans le logiciel de simulation

Maintenant que nous avons tous les fichiers corrects, nous pouvons les exporter en format .zip pour en faire le dossier contenant le flux GTFS final. Nous pouvons ensuite importer ce dossier .zip dans le logiciel PTV VISSIM et le réseau de transport est ainsi créé en contenant toutes les informations des parcours et des horaires de toutes les lignes que nous avons traitées dans la section 3.2.

Nous pouvons désormais envisager les simulations à partir du modèle créé. Nous analysons les résultats du modèle créé, ainsi que les possibilités de simulations dans le chapitre 4.

# Résultats

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats que nous avons obtenus, notamment de l'importation de notre modèle, et commentons brièvement ces résultats.

Nous avons réussi à générer un flux de données GTFS entièrement fonctionnel, prêt à être importé dans le logiciel de simulation. Ce résultat reflète l'efficacité de notre processus de traitement et de préparation des données. Grâce à un travail minutieux, nous avons converti des ensembles de données brutes en informations structurées et cohérentes, respectant les standards GTFS, ce qui garantit leur compatibilité avec les outils de simulation. Bien que certains ajustements et améliorations sont encore nécessaires pour affiner le modèle, la qualité du flux de données GTFS actuel est un indicateur clair de la réussite de notre démarche.

## 4.1 Visualisation des résultats

Dans cette section, nous examinons les résultats de l'importation de nos données dans PTV VISSIM.

Tout d'abord, il est possible d'apercevoir le réseau complet qui a été importé, illustré sur les Figures 4.1 et 4.2. Ces figures mettent en évidence toutes les lignes de transport. La Figure 4.1 offre une vue des différentes lignes de transport superposées à une image satellite en arrière-plan, tandis que la Figure 4.2, dépourvue de fond de carte, permet une meilleure appréciation des tracés. À noter que, comme aucune simulation n'a été lancée, aucun véhicule n'est visible sur ces figures.

## 4. RÉSULTATS

---

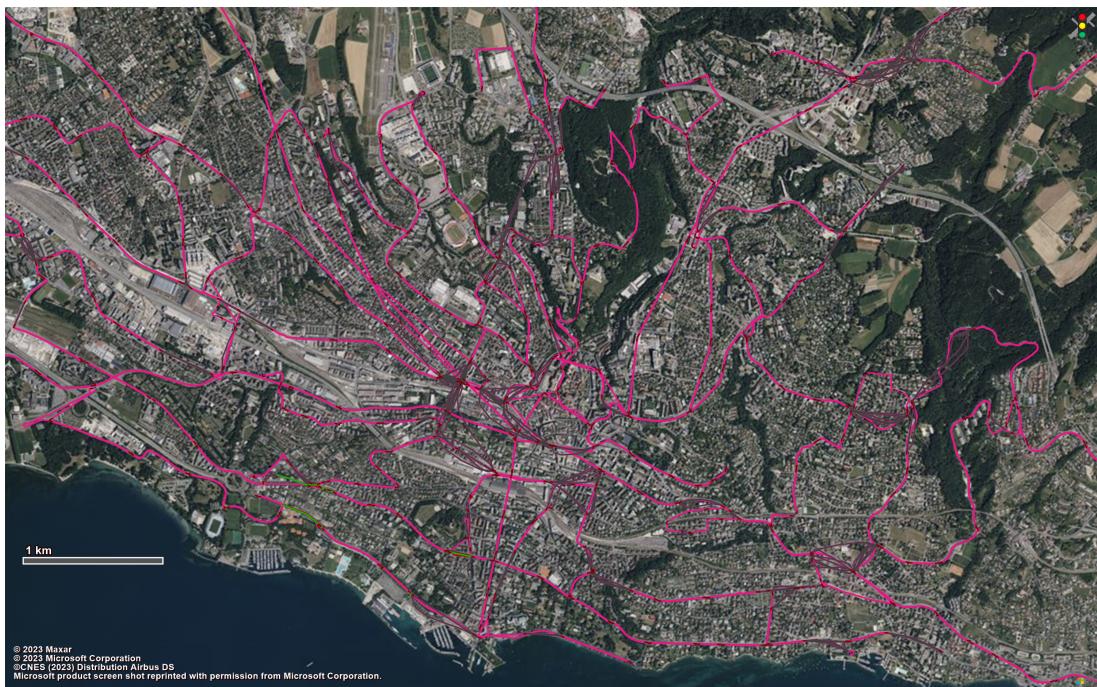


Figure 4.1: Capture d'écran de l'entier du réseau de transport sur PTV VISSIM, avec images satellites en arrière plan.

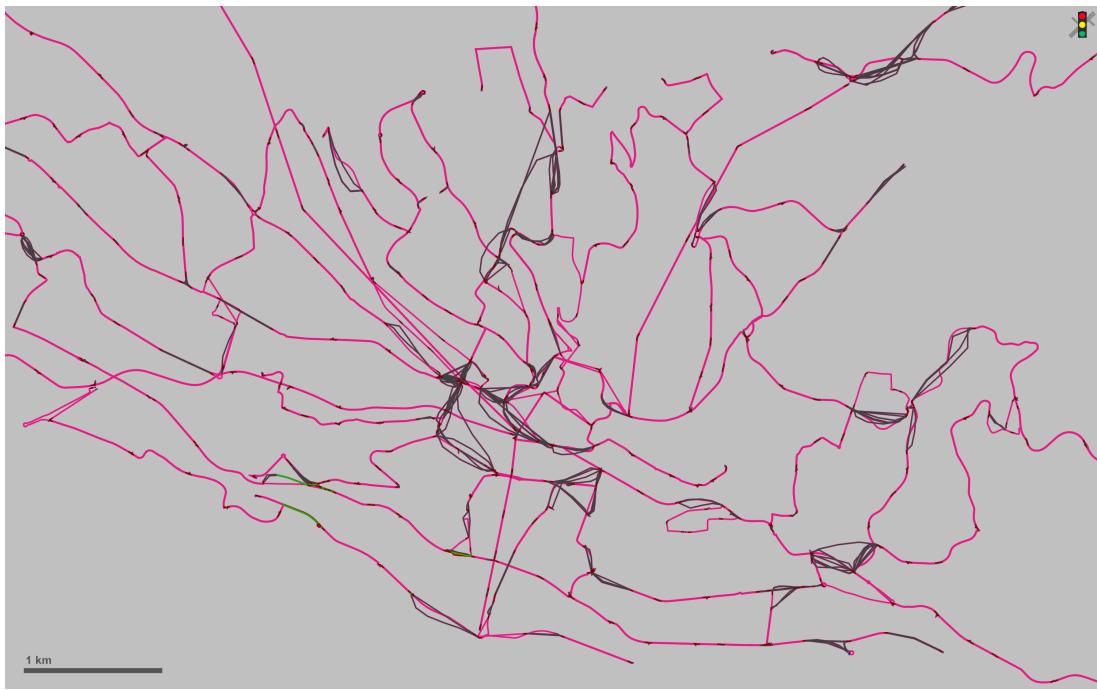


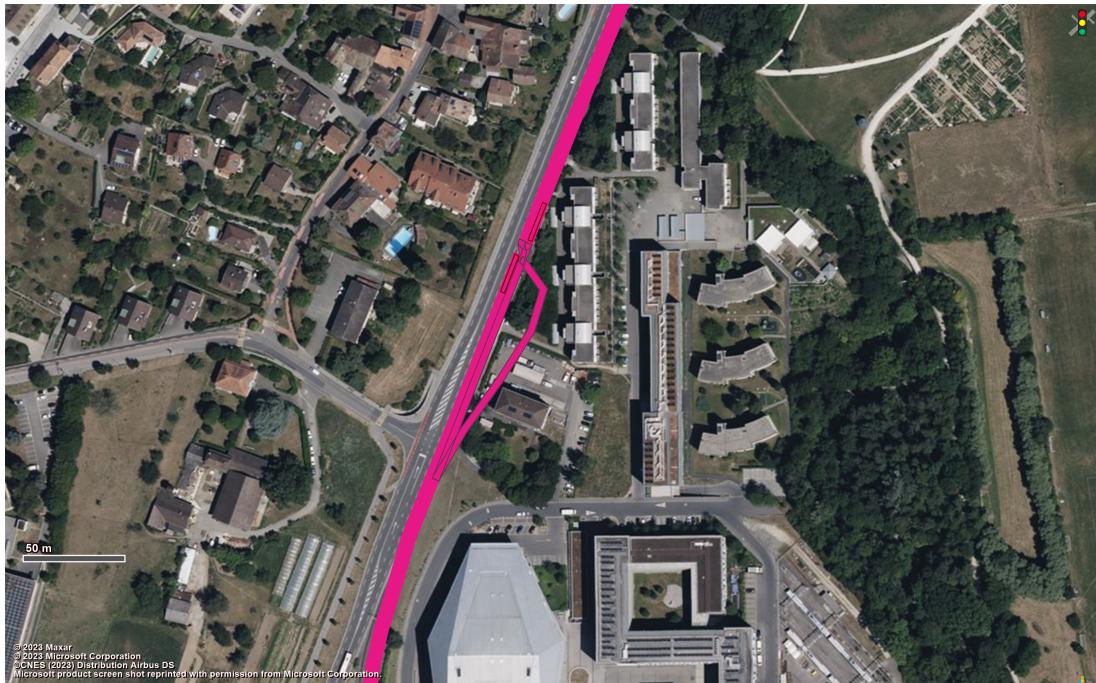
Figure 4.2: Capture d'écran de l'entier du réseau de transport sur PTV VISSIM.

Sur la Figure 4.1, le réseau présenté semble très similaire à celui que nous avons observé sur QGIS lors du traitement des données. Toutefois, en examinant de plus près les Figures

## 4. RÉSULTATS

---

4.3 et 4.4, il apparaît que certains problèmes subsistent, notamment en ce qui concerne les trajectoires des bus. Cette particularité est évidente au centre des Figures 4.5 et 4.6 illustrant la zone de Saint-François à Lausanne. Plusieurs itinéraires différents semblent être empruntés par les bus, alors qu'en réalité, ils circulent tous sur la même voie. Nous essayons de mieux comprendre et d'analyser les causes de ces écarts dans le chapitre 5.



**Figure 4.3:** Capture d'écran d'un extrait du réseau de transport importé sur PTV VISSIM, avec images satellites en arrière plan.

## 4. RÉSULTATS

---

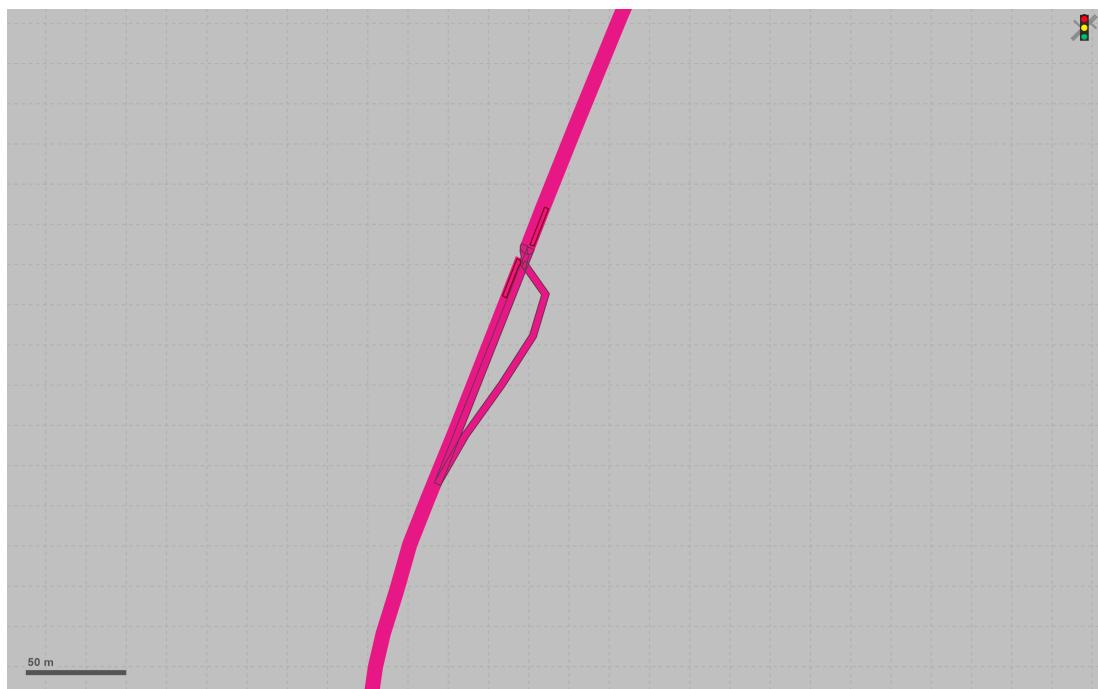


Figure 4.4: Capture d'écran d'un extrait du réseau de transport importé sur PTV VISSIM.

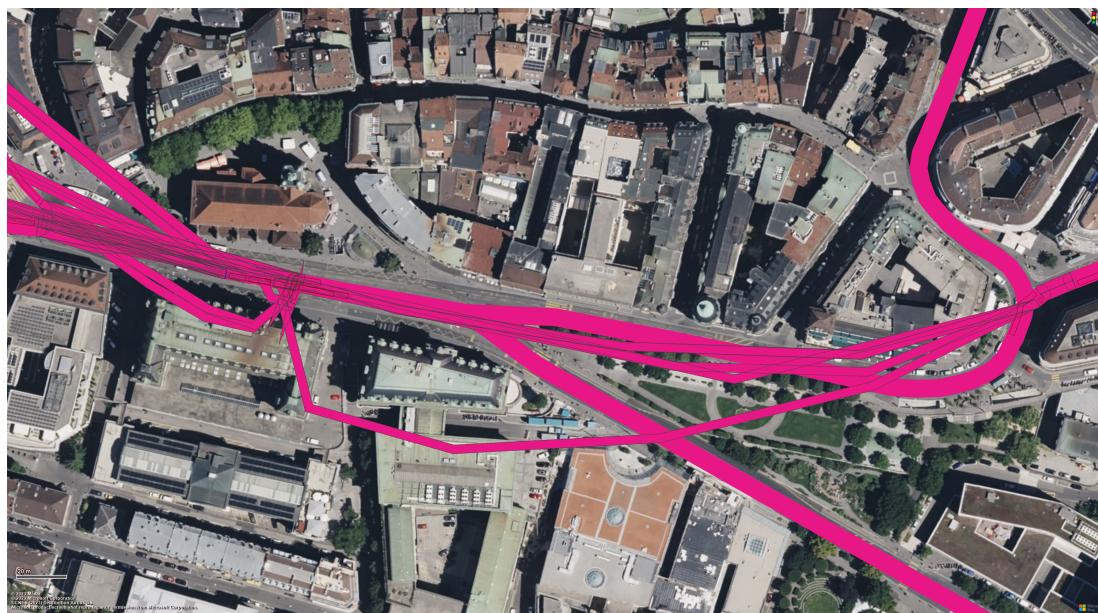
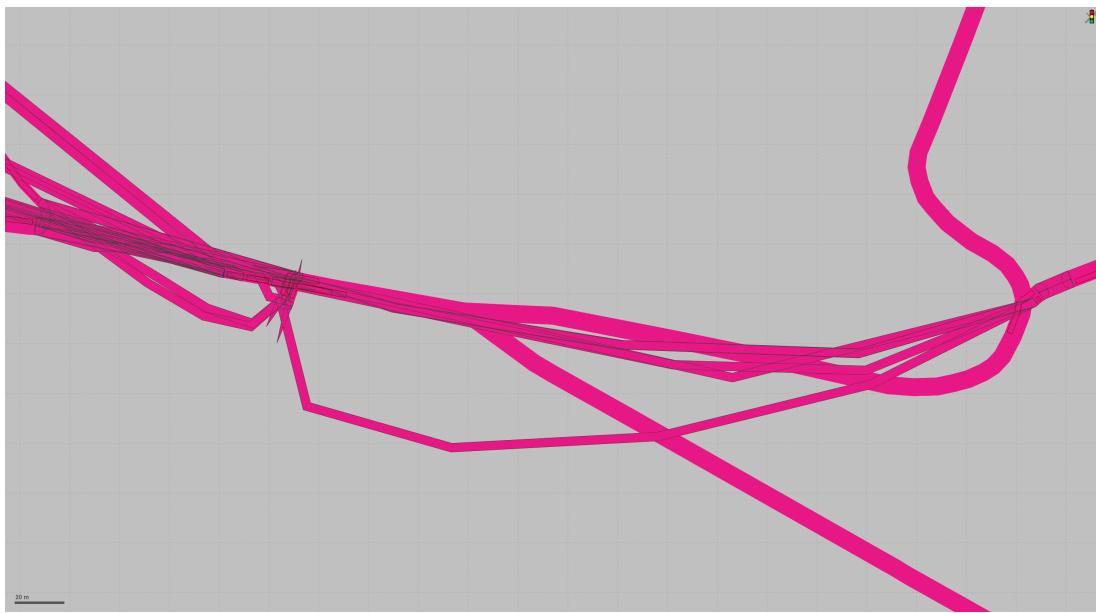


Figure 4.5: Capture d'écran de la zone de Saint-François à Lausanne sur PTV VISSIM, avec images satellites en arrière plan.

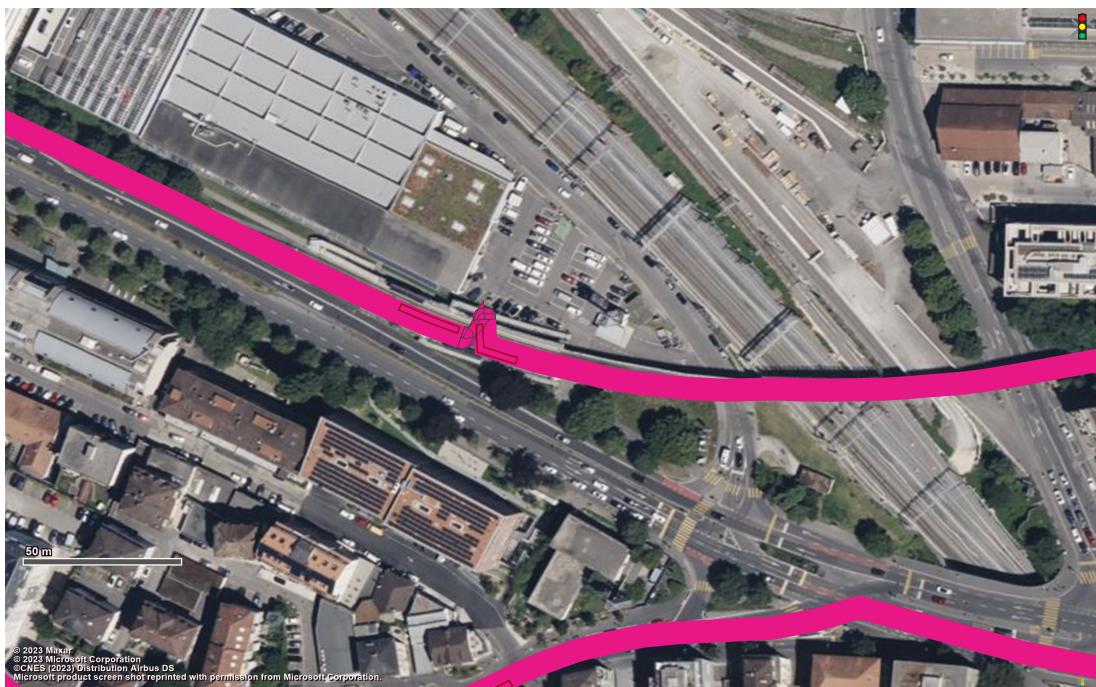
#### 4. RÉSULTATS

---



**Figure 4.6:** Capture d'écran de la zone de Saint-François à Lausanne sur PTV VISSIM.

Un autre détail est visible sur la Figure 4.7. Cette figure montre un segment de la ligne de métro M1, où l'on peut observer une déviation inattendue au niveau de l'arrêt Montelly. Ce virage semble dévier du parcours prévu pour cette ligne de métro.



**Figure 4.7:** Capture d'écran de la zone de l'arrêt Montelly à Lausanne sur PTV VISSIM.

## 4. RÉSULTATS

---

Les Figures 4.8 et 4.9 illustrent le modèle lorsqu'une simulation est active. Elles mettent en évidence les tracés (en rose) ainsi que plusieurs véhicules "en mouvement". Il est intéressant de noter que les métros et les bus sont modélisés différemment dans cette modélisation.



**Figure 4.8:** Capture d'écran d'un extrait du réseau de transport sur PTV VISSIM, avec simulation en cours.

#### 4. RÉSULTATS

---

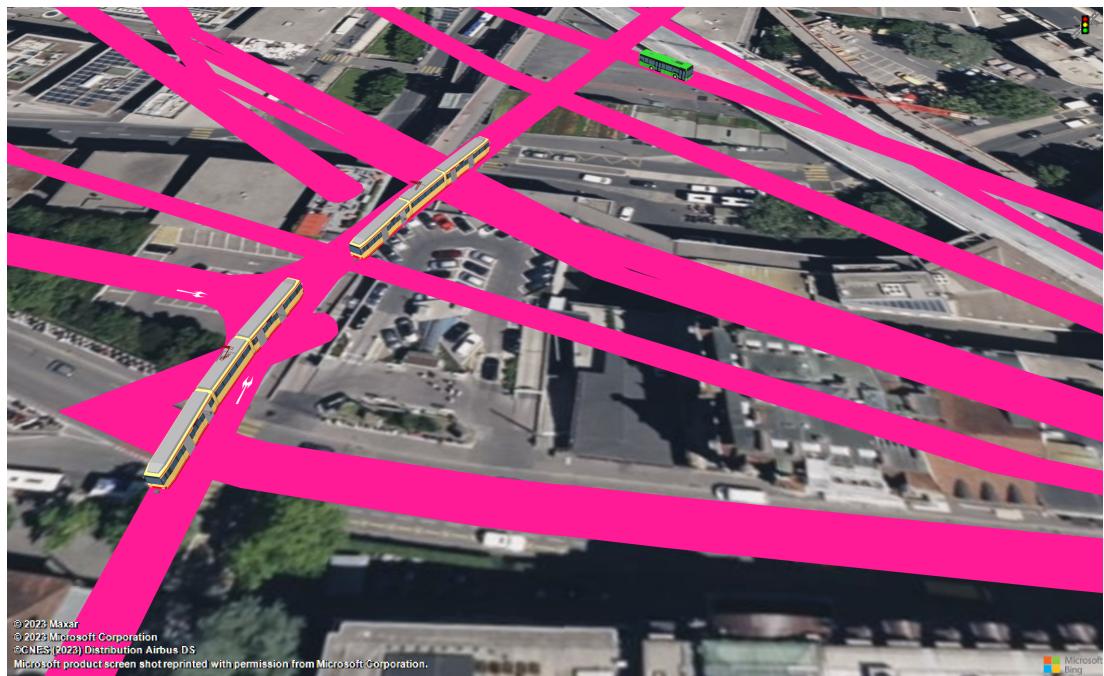


Figure 4.9: Capture d'écran d'un extrait du réseau de transport sur PTV VISSIM, avec simulation en cours.

Enfin, la Figure 4.10 présente la ligne de métro M1, isolée. Il est intéressant de remarquer que le tracé de cette ligne dans le modèle semble fidèlement reproduire la réalité.

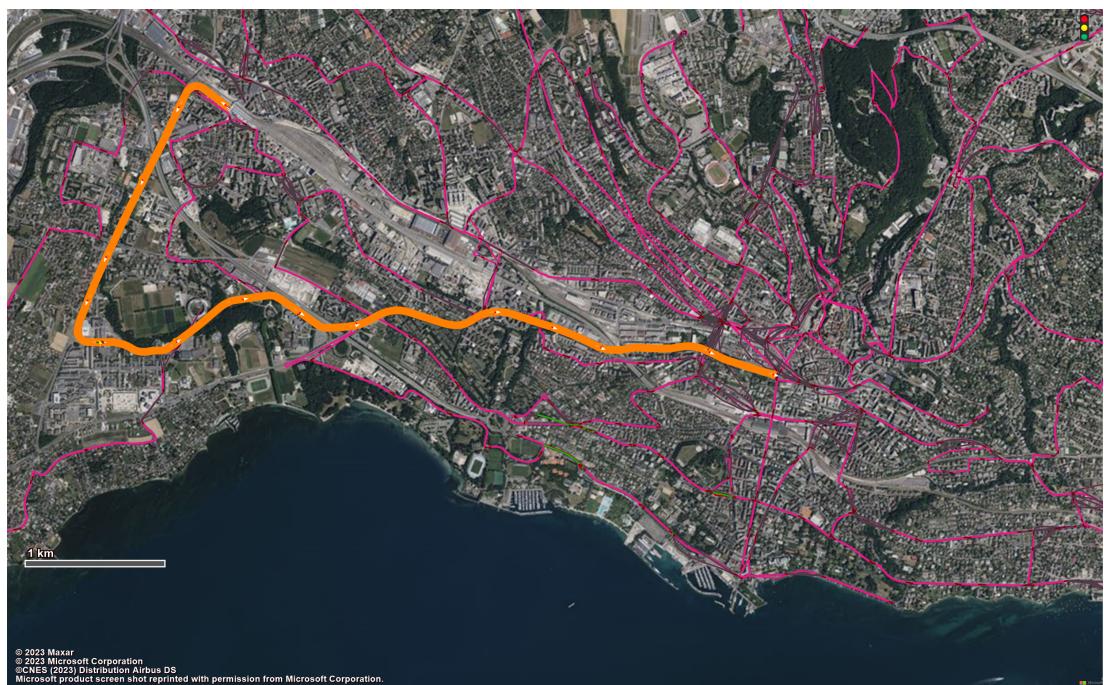


Figure 4.10: Capture d'écran d'un extrait du réseau de transport importé sur PTV VISSIM, mise en évidence de la ligne du M1.

## 4. RÉSULTATS

---

Ces différentes figures, de 4.1 à 4.10, nous offrent une vue d'ensemble complète ainsi que des aperçus détaillés du réseau tel qu'il est modélisé dans PTV VISSIM. Nous observons une ressemblance notable entre le réseau modélisé et la réalité. Cependant, certains aspects, comme les trajectoires inexactes des bus et les erreurs visibles aux niveaux des arrêts, soulèvent quelques questions. Nous approfondissons l'analyse de ces problèmes et tentons de comprendre leurs origines dans le chapitre 5, où nous discutons également des difficultés rencontrées, des améliorations possibles et des prochaines étapes pouvant être faites sur ce travail.

# Discussion

Dans ce chapitre, nous abordons quatre aspects essentiels de notre étude. Nous commençons par analyser les résultats obtenus et décrits dans le chapitre 4, en cherchant à mieux les comprendre et à interpréter leur signification. Ensuite, nous discutons des difficultés rencontrées et les leçons apprises pendant ce travail. Enfin, nous explorons les perspectives d'amélioration et les possibilités pour poursuivre cette recherche, en proposant des suggestions pour affiner notre approche.

## 5.1 Analyse des résultats

Cette section se concentre sur les problèmes relevés dans le réseau modélisé. Trois problèmes principaux ont été identifiés dans la modélisation: les multiples routes pour un même lieu de passage, les erreurs de trajectoire, et les problèmes liés aux emplacements des arrêts.

Un des problèmes observé est la présence de multiples routes pour un seul et même endroit. Une hypothèse plausible à l'origine de ce problème est que chaque trajectoire de ligne de transport est calculée séparément dans le fichier shapes.txt, sans fusion des données entre les lignes. Cela entraîne de légers écarts entre les tracés, comme visible sur les Figures 4.5 et 4.6. Une solution envisageable serait de vérifier et d'harmoniser les coordonnées des points pour toutes les lignes passant par les mêmes endroits, assurant ainsi une cohérence et une uniformité des tracés. Cela serait particulièrement utile aux endroits où de nombreuses lignes de bus différentes passent.

Les images 4.3 et 4.4 mettent en lumière des erreurs de trajectoire qui pourraient découler soit d'une imprécision dans les données de coordonnées, soit de particularités dans la gestion des différents types de 'routes' par PTV VISSIM. En particulier, les 'connecteurs', qui servent à relier les 'liens', semblent afficher des comportements parfois imprévisibles. Ces anomalies, bien qu'elles soient visuellement notables, n'influent pas significativement sur les résultats de la simulation puisque celle-ci se base sur les temps de passage aux arrêts et pas sur la distance parcourue entre deux arrêts. Néanmoins, il est essentiel de comprendre et de minimiser ces erreurs pour améliorer la fiabilité visuelle du modèle, surtout si nous souhaitons poursuivre ce modèle et y ajouter le trafic routier, par exemple.

Enfin, le troisième problème concerne les écarts entre les coordonnées du tracé de la ligne et celles des arrêts de bus ou de métro, comme illustré sur l'image 4.5. Ces écarts sont probablement dus au fait que le logiciel exige que les lignes de transport suivent exactement les coordonnées des arrêts spécifiées dans le fichier stops.txt. Si ces coordonnées ne correspondent pas précisément au tracé de la ligne, cela crée de petites déviations dans le modèle. La solution à ce problème est d'aligner soigneusement les coordonnées des arrêts avec le tracé de la ligne de transport, en veillant à ce que cette modification ne perturbe pas la logique globale du modèle. Cela nécessite une révision de chaque emplacement d'arrêt pour garantir une concordance parfaite et ainsi améliorer l'exactitude globale du modèle.

## 5.2 Difficultés rencontrées

La réalisation de ce projet a soulevé plusieurs défis techniques et méthodologiques, notamment en matière de gestion et d'importation des données dans PTV VISSIM. Ces défis se sont manifestés principalement à travers trois axes majeurs :

Le premier défi a été de comprendre et de maîtriser le format du General Transit Feed Specification (GTFS), utilisé pour l'importation des données de transport public dans PTV VISSIM. Ce format, bien que largement adopté, présente une complexité due à sa structure et à ses exigences spécifiques en matière de données. La compréhension des différents fichiers composant un jeu de données GTFS, et dans notre cas particulièrement shapes.txt, n'a pas été évidente, car c'était un nouveau format de données. L'intégration de chaque fichier de façon harmonieuse est essentielle pour assurer une modélisation précise dans le logiciel de simulation.

La collecte des données a été un autre point de difficulté, surtout pour le fichier shapes.txt. La précision des données de ce fichier est essentielle, car elles définissent les itinéraires précis que les véhicules de transport public suivent dans la simulation. Le fait que nous n'ayons pas pu télécharger nos données entièrement sur la même plateforme (y compris les données du fichier shapes.txt) a passablement compliqué leur utilisation. Cela a nécessité une recherche plus élaborée.

Enfin, la création du fichier shapes.txt à partir des données issues de OpenStreetMap et de Viageo a présenté la plus grande difficulté, notamment au niveau du temps consacré.

Cette étape impliquait non seulement la collecte des données géographiques précises, mais aussi leur conversion dans le format GTFS. Nous avons notamment dû analyser précisément les erreurs liées au problème de numérotation des points dans les parcours de chaque ligne de transport et la recherche de solutions ainsi que le développement de scripts Python permettant d'y remédier a été particulièrement chronophage.

### 5.3 Perspectives d'évolution

Cette section vise à établir les axes d'amélioration potentiels pour notre projet et à esquisser les directions pour les prochaines étapes de recherche.

Concernant les améliorations, nous en avons déjà brièvement parlé, mais l'amélioration de la précision des trajectoires dans le modèle serait la plus importante. Comme souligné précédemment, les erreurs de trajectoire et les incohérences aux arrêts n'ont pas d'impact notable sur les résultats de simulations, mais principalement sur le visuel et pourraient en avoir si nous souhaitons ajouter le trafic routier dans notre modèle. Un travail minutieux de vérification et d'ajustement des données est nécessaire pour aligner les tracés des lignes de transport avec la réalité.

Pour la suite du projet, plusieurs pistes peuvent être explorées :

- collecte de données supplémentaires : un aspect essentiel pour approfondir notre modèle est la collecte de données sur les capacités des véhicules et sur les itinéraires des passagers notamment. Ces informations sont nécessaires pour modéliser avec précision la fréquentation et la capacité du réseau de transport, permettant ainsi une simulation réaliste.
- obtention de données de validation : pour s'assurer de la fiabilité du modèle, il est impératif d'acquérir des données de validation. Ces données permettent de comparer les résultats de la simulation avec la réalité et d'ajuster le modèle en conséquence. Ces données peuvent être obtenues auprès des TL ou récoltées manuellement en réalisant des comptages de passagers à certaines stations de bus ou de métro.
- simulation et validation du réseau actuel : avec ces données, une simulation détaillée du réseau actuel pourrait être réalisée. Cette étape, suivie de la validation avec les données réelles, permettrait d'obtenir de premiers résultats concrets de notre modèle.

## 5. DISCUSSION

---

- Exploration de nouveaux scénarios : une fois le modèle validé, il serait possible d'explorer divers scénarios, tels que des modifications dans une ligne de transport, des changements dans le comportement des voyageurs, ou l'ajout d'autres variables comme le trafic routier. Intégrer la congestion routière, par exemple, pourrait offrir une perspective plus complète sur l'interaction entre les différents modes de transport et sur l'impact des bus dans le trafic global.

# Conclusion

En conclusion, ce mémoire a entrepris une analyse détaillée du réseau de transport public de Lausanne, en se concentrant sur sa modélisation et sa simulation dans le but d'identifier et de résoudre des inefficacités et des congestions. L'objectif principal, tel qu'énoncé dans l'introduction, était de modéliser le réseau pour analyser et gérer les défis futurs liés à la croissance démographique et à la mobilité urbaine. La méthodologie adoptée a impliqué une collecte rigoureuse de données, un traitement minutieux et l'utilisation de PTV VISSIM pour la simulation.

Les résultats obtenus, bien que confrontés à des difficultés telles que la compréhension des formats de données GTFS et principalement la création du fichier shapes.txt, ont finalement fourni un modèle réaliste du réseau actuel. Comme nous l'avons relevé dans le chapitre 5, certaines améliorations sont encore nécessaires, notamment en termes de précision des trajectoires et de collecte de données supplémentaires sur les capacités des véhicules et les passagers afin de pouvoir effectuer une simulation puis une validation du modèle réalisé.

Ce travail pose les bases pour des recherches ultérieures, dans lesquelles des simulations plus poussées peuvent tester la résilience du réseau et identifier les meilleures solutions pour répondre à une augmentation de la demande. Ainsi, ce mémoire contribue non seulement à une possible meilleure compréhension du réseau de transport de Lausanne, mais offre également des perspectives utiles pour la planification et le développement des systèmes de transport urbain face aux enjeux de mobilité et de durabilité.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus sont satisfaisants et marquent une étape significative vers la réalisation d'analyses plus approfondies grâce aux simulations basées sur le réseau modélisé de Lausanne. Bien que quelques ajustements restent à effectuer pour corriger le modèle, l'ensemble du travail accompli démontre un potentiel intéressant pour des études futures.

# Références

- Aperçu du planning gtfs.* (2024). Retrieved January 8, 2024, from <https://gtfs.org/schedule/>
- Axes-Forts. (2024). *Axes Forts de transports publics urbains.* Axes Forts de transports publics urbains. Retrieved January 7, 2024, from <https://www.axes-forts.ch/lignes/tramway-lausanne-flon-croix-peage/>
- Barceló, J. (2011, January 6). *Fundamentals of Traffic Simulation.* Springer Science & Business Media.
- Ceder, A. (2021). Urban mobility and public transport: Future perspectives and review. *International Journal of Urban Sciences*, 25(4), 455–479. <https://doi.org/10.1080/12265934.2020.1799846>
- Debizet, G. (2011). L'évolution de la modélisation des déplacements urbains en France 1960-2005. Le poids de l'organisation institutionnelle des transports. *Flux*, 85–86(3-4), 8–21. <https://doi.org/10.3917/flux.085.0008>
- Drogoul, A. (1993). De La Simulation Multi-Agent A La Résolution Collective de Problèmes.
- Ferber, J. (1995). *Les systèmes multi-agents : Vers une intelligence collective (1995).* Retrieved January 5, 2024, from <http://www-desir.lip6.fr/~smaa/index.php/2017/02/05/jacques-ferber-les-systemes-multi-agents-vers-une-intelligence-collective-1995/>
- Gallotti, R., & Barthelemy, M. (2014). Anatomy and efficiency of urban multimodal mobility. *Scientific Reports*, 4(1), 6911. <https://doi.org/10.1038/srep06911>
- GTFS / Plateforme open data pour la mobilité en Suisse.* (2024). Retrieved January 8, 2024, from <https://opentransportdata.swiss/fr/cookbook/gtfs/>
- Hoogendoorn, S. P., & Bovy, P. H. L. (2001). State-of-the-art of vehicular traffic flow modelling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 215(4), 283–303. <https://doi.org/10.1177/095965180121500402>
- Horaire 2024 (GTFS).* (2024). Retrieved January 6, 2024, from <https://opentransportdata.swiss/fr/dataset/timetable-2024-gtfs2020/resource/daa7c181-b40c-4f66-9ce6-c33e916e7e47>

## RÉFÉRENCES

---

- Kone, Y. (2021, February 12). *Etude et prévisions spatio-temporelles des systèmes urbains de transport : application au trafic urbain de Bamako* [Doctoral dissertation, Université Clermont Auvergne ; Université du Mali]. Retrieved January 6, 2024, from <https://theses.hal.science/tel-03563886>
- Le Tramway lausannois, acteur d'une histoire unique.* (2020, August 4). Retrieved January 7, 2024, from <https://tramway-lausannois.ch/acteur-dune-histoire/>
- Mastio, M. (2017). *Modèles de distribution pour la simulation de trafic multi-agent. Modèles et simulations de trafic / Emch+Berger.* (n.d.). Emch+Berger. Retrieved January 7, 2024, from <https://www.emchberger.ch/fr/modeles-et-simulations-de-trafic?division=76>
- Observatoire de la mobilité lausannoise.* (2022). Ville de Lausanne. Retrieved November 1, 2023, from <https://www.lausanne.ch/apps/actualites/Next/serve.php?id=12548>
- OpenStreetMap.* (2024). Retrieved January 12, 2024, from <https://www.openstreetmap.org/#map=18/46.52333/6.63258&layers=T>
- Plans du réseau.* (2024). Transports publics lausannois. Retrieved January 12, 2024, from <https://www.t-l.ch/voyager/plans/>
- PTV Group.* (2024). Retrieved January 7, 2024, from <https://www.ptvgroup.com/en/application-areas/public-transport-planning/service-planning>
- QGIS.org.* (2024). Retrieved January 12, 2024, from <https://www.qgis.org/fr/site/>
- Reference - General Transit Feed Specification.* (2024). Retrieved January 8, 2024, from <https://gtfs.org/schedule/reference/#shapestxt>
- TL. (2023a, March 1). *Communiqué-de-presse fréquentation tl 2022.* Renens. Retrieved November 1, 2023, from [https://www.t-l.ch/app/uploads/2023/03/2023\\_03\\_01\\_Frequentation-tl-2022\\_Communique-de-presse.pdf](https://www.t-l.ch/app/uploads/2023/03/2023_03_01_Frequentation-tl-2022_Communique-de-presse.pdf)
- TL. (2023b, June). *Rapport\_activite\_tl 2022.* Retrieved November 1, 2023, from [https://www.t-l.ch/images/pdf/horaire/courant/Rapport\\_activite\\_t1%202022.pdf](https://www.t-l.ch/images/pdf/horaire/courant/Rapport_activite_t1%202022.pdf)
- TL. (2024). *tl, la ligne des innovations.* Transports publics lausannois. Retrieved January 7, 2024, from <https://www.t-l.ch/nous-connaitre/lentreprise/tl-la-ligne-des-innovations/>
- Transportplan.* (2024). Transportplan Sion SA. Retrieved January 7, 2024, from <https://www.transportplan.ch/modelisation/>

## RÉFÉRENCES

---

- Viageo.* (2024). Retrieved January 9, 2024, from <https://viageo.ch/>
- Ville de Lausanne.* (2017, September 21). Retrieved November 1, 2023, from <https://www.lausanne.ch/officiel/statistique/themes/02-territoire.html>
- Wu, J., Du, B., Gong, Z., Wu, Q., Shen, J., Zhou, L., & Cai, C. (2022). A GTFS data acquisition and processing framework and its application to train delay prediction. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2022.01.005>

# Annexes

## A.1 Extraits des fichiers .txt avant et après traitement

agency_id	agency_name	agency_url	agency_timezone	agency_lang	agency_phone
61	Transports de Martigny et Régions (mc)	http://www.sbb.ch/	Europe/Berlin	DE	0848 44 66 88
37	Baselland Transport	http://www.sbb.ch/	Europe/Berlin	DE	0848 44 66 88
827	Städtische Verkehrsbetriebe Bern	http://www.sbb.ch/	Europe/Berlin	DE	0848 44 66 88
823	Basler Verkehrsbetriebe	http://www.sbb.ch/	Europe/Berlin	DE	0848 44 66 88
11	Schweizerische Bundesbahnen SBB	http://www.sbb.ch/	Europe/Berlin	DE	0848 44 66 88

Table A.1: Extrait du fichier agency.txt avant traitement.

agency_id	agency_name	agency_url	agency_timezone	agency_lang	agency_phone
151	Transports Publics de la Région Lausannoise sa	http://www.sbb.ch/	Europe/Berlin	DE	0848 44 66 88
55	Lausanne-Echallens-Bercher	http://www.sbb.ch/	Europe/Berlin	DE	0848 44 66 88

Table A.2: Extrait du fichier agency.txt après traitement.

route_id	agency_id	route_short_name	route_desc	route_type
91-10-A-j24-1	78	S10	S	109
91-10-B-j24-1	11	S10	S	109
91-10-C-j24-1	65	S10	S	109
91-10-E-j24-1	3849	10	T	900
91-10-j24-1	37	10	T	900

Table A.3: Extrait du fichier routes.txt avant traitement.

route_id	agency_id	route_short_name	route_desc	route_type
91-20-I-j24-1	55	R20	R	106
91-m1-j24-1	151	m1	M	401
91-m2-j24-1	151	m2	M	401
92-13-H-j24-1	151	13	B	700
92-16-E-j24-1	151	16	B	700

Table A.4: Extrait du fichier routes.txt après traitement.

## A. ANNEXES

---

route_id	service_id	trip_id	trip_headsign	trip_short_name	direction_id	shape_id
91-10-A-j24-1	TA+p60e0	1.TA.91-10-A-j24-1.1.H	Zürich HB SZU	12824	0	-
91-10-A-j24-1	TA+p60e0	10.TA.91-10-A-j24-1.1.H	Zürich HB SZU	12800	0	-
91-10-A-j24-1	TA+p60e0	100.TA.91-10-A-j24-1.7.H	Zürich HB SZU	12838	0	-
91-10-A-j24-1	TA+p60e0	101.TA.91-10-A-j24-1.7.H	Zürich HB SZU	12826	0	-
91-10-A-j24-1	TA+p60e0	102.TA.91-10-A-j24-1.7.H	Zürich HB SZU	12898	0	-

**Table A.5:** Extrait du fichier trips.txt avant traitement.

route_id	service_id	trip_id	trip_headsign	trip_short_name	direction_id	shape_id
91-20-I-j24-1	TA	1.TA.91-20-I-j24-1.1.H	Bercher	101	0	LEB
91-20-I-j24-1	TA+te0e0	10.TA.91-20-I-j24-1.4.H	Echallens	235	0	LEB
91-20-I-j24-1	TA+te0e0	100.TA.91-20-I-j24-1.13.R	Lausanne-Flon	222	1	LEB
91-20-I-j24-1	TA+te0e0	101.TA.91-20-I-j24-1.13.R	Lausanne-Flon	232	1	LEB
91-20-I-j24-1	TA+te0e0	102.TA.91-20-I-j24-1.13.R	Lausanne-Flon	216	1	LEB

**Table A.6:** Extrait du fichier trips.txt après traitement.

trip_id	arrival_time	departure_time	stop_id	stop_sequence	pickup_type	drop_off_type
1.TA.91-10-A-j24-1.1.H	11:37:00	11:37:00	8503054:0:1	1	0	0
1.TA.91-10-A-j24-1.1.H	11:38:00	11:38:00	8503053:0:1	2	0	0
1.TA.91-10-A-j24-1.1.H	11:39:00	11:39:00	8503052:0:1	3	0	0
1.TA.91-10-A-j24-1.1.H	11:41:00	11:42:00	8503051:0:1	4	0	0
1.TA.91-10-A-j24-1.1.H	11:44:00	11:44:00	8503090:0:1	5	0	0

**Table A.7:** Extrait du fichier stop\_times.txt avant traitement.

trip_id	arrival_time	departure_time	stop_id	stop_sequence	pickup_type	drop_off_type
1.TA.91-20-I-j24-1.1.H	04:54:00	04:54:00	8501173	1	0	0
1.TA.91-20-I-j24-1.1.H	04:55:00	04:55:00	8501174	2	0	0
1.TA.91-20-I-j24-1.1.H	04:56:00	04:56:00	8501178	3	0	0
1.TA.91-20-I-j24-1.1.H	04:59:00	05:00:00	8501175	4	0	0
1.TA.91-20-I-j24-1.1.H	05:03:00	05:03:00	8501176	5	0	0

**Table A.8:** Extrait du fichier stop\_times.txt après traitement.

## A. ANNEXES

---

service_id	monday	tuesday	wednesday	thursday	friday	saturday	sunday	start_date	end_date
TA	1	1	1	1	1	1	1	20231210	20241214
TA+0a3e0	0	0	0	0	1	0	0	20231210	20241214
TA+0rzd0	1	1	1	1	1	0	0	20231210	20241214
TA+1a3e0	1	1	1	1	0	0	0	20231210	20241214
TA+1rzd0	1	1	1	1	1	0	0	20231210	20241214

Table A.9: Extrait du fichier calendar.txt avant traitement.

service_id	monday	tuesday	wednesday	thursday	friday	saturday	sunday	start_date	end_date
TA	1	1	1	1	1	1	1	20231210	20241214
TA+0a3e0	0	0	0	0	1	0	0	20231210	20241214
TA+0rzd0	1	1	1	1	1	0	0	20231210	20241214
TA+1a3e0	1	1	1	1	0	0	0	20231210	20241214
TA+1rzd0	1	1	1	1	1	0	0	20231210	20241214

Table A.10: Extrait du fichier calendar.txt après traitement.

service_id	date	exception_type
TA+0a3e0	20231215	2
TA+0a3e0	20231222	2
TA+0a3e0	20240112	2
TA+0a3e0	20240119	2

Table A.11: Extrait du fichier calendar\_dates.txt avant traitement.

service_id	date	exception_type
TA+0a3e0	20231215	2
TA+0a3e0	20231222	2
TA+0a3e0	20240112	2
TA+0a3e0	20240119	2
TA+0a3e0	20240126	2

Table A.12: Extrait du fichier calendar\_dates.txt après traitement.