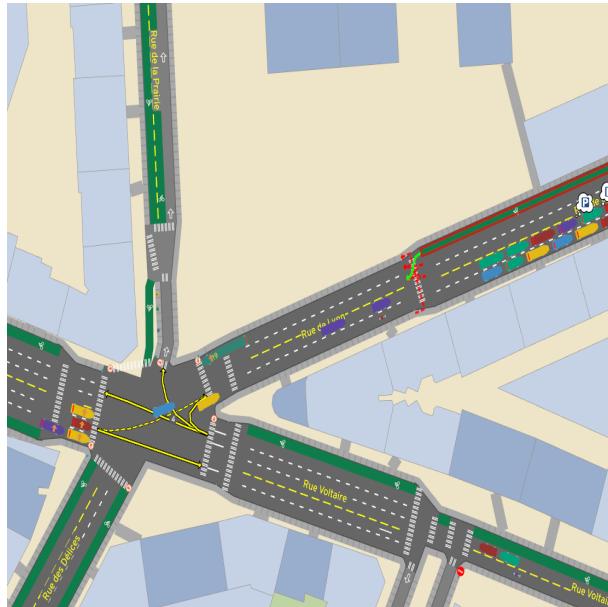


Simulation de transports publics : l'import de Genève dans A/B Street



Thèse de bachelor présenté par

THOMAS DAGIER

**Informatique et Systèmes de Communication avec
orientation en
Logiciel**

Septembre 2022

Professeur-e HES responsable
Dr Orestis Pileas Malaspinas

Légende et source de l'illustration de couverture tirée de A/B Street disponible à l'adresse :
www.abstreet.org

Table des matières

Remerciements	v
Résumé	vii
Liste des acronymes	viii
Liste des illustrations	ix
Introduction	1
1 Approche théorique	3
1.1 La modélisation des déplacements	3
1.1.a Le simulateur A/B Street	4
1.1.b La technologie Open Street Map	4
1.1.c La simulation du trafic routier	6
1.2 La structure de données General Transit Feed Specification	8
1.2.a Description du format	8
1.2.b Les données publiques sur la mobilité en suisse	8
1.3 Des données publiques incomplètes	10
1.3.a Les Systèmes d'Information du Territoire à Genève	10
2 Réalisations	12
2.1 L'analyse des données GTFS	12
2.1.a Approche pratique	12
2.1.b Description du travail à réaliser	12
2.1.c Description du fonctionnement	14
2.1.d Le fichier shapes.txt	14
2.2 Un set de données incomplet	16
2.2.a Le fichier stops.txt	16
2.2.b Isoler une petite partie des données	20
2.2.c Genève, un cas à part	21
2.2.d Problèmes rencontrés sur le set de données	24
2.3 L'import des données dans A/B Street	25

2.3.a	La particularité de l'import actuel	25
2.3.b	Le fonctionnement de l'import	25
2.4	Premier test après import	27
2.4.a	Les erreurs d'import	28
2.4.b	Les problèmes liés à Open Street Map	30
2.5	Modifications dans Open Street Map	33
2.5.a	Importer les lignes et arrêts	33
2.5.b	Lissage des trajets	35
2.6	Import avec un scénario plus précis	39
3	Résultats	40
3.1	Mesure des données importées	40
3.1.a	Les lignes	40
3.1.b	Les arrêts	43
3.2	Qualité de l'import des trajets	45
3.2.a	Des données issues des SITG	45
3.2.b	Comparaison entre le modèle et le réel	47
3.2.c	Les limites de Open Street Map	56
3.3	Qualité de la modélisation des déplacements	57
3.3.a	Des données fournies par les TPG	57
3.3.b	Mesure des déplacements en transports en commun dans A/B Street	57
3.4	Perspectives d'améliorations	62
Conclusion		63
4	Annexes	65
4.1	Installer et exécuter le simulateur A/B Street	65
4.1.a	Prérequis	65
4.1.b	Exécution de A/B Street sur une machine Linux	65
4.2	Projet sur l'analyseur de données GTFS	66
Références documentaires		67

Remerciements

Je souhaite remercier tout particulièrement Ilias N'hairi pour m'avoir apporté son précieux soutien vis-à-vis du Docteur Orestis Pileas Malaspina (OPM) Dipl Sc. (UniGE) PhD (EPFL) durant tout le déroulement de mon travail de bachelor. Un grand merci également à Simon Cirilli pour sa chaleureuse compagnie tout au long de ce projet.

Merci, un peu quand même, au Docteur OPM pour ses quelques encouragements : « Bravo les garçons ! » et ses nombreuses critiques (parfois infondées).

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

Printemps 2022
Session de bachelor

SIMULATION DES TRANSPORTS PUBLICS DANS LE CANTON DE GENÈVE

ORIENTATION : INFORMATIQUE LOGICIELLE

Descriptif : La modélisation des déplacements dans une ville peut s'avérer primordiale pour la planification urbaine (transport publics, voies de circulation des automobiles, cycles, etc.) ou pour modéliser des phénomènes tels que la propagation d'épidémies comme celles du COVID-19. L'objectif de ce projet est de modéliser les transports publics genevois (TPG) dans le moteur de simulation Abstreet qui permet une simulation détaillée des déplacements de la population d'une zone urbaine. Pour ce faire il faut importer les données disponibles des TPG au format GTFS et adapter l'outil d'import d'Abstreet à partir d'open street maps. Finalement, il s'agit de valider que les chemins pris par les bus et/ou trams sont corrects.

Travail demandé : Dans les limites du temps disponibles, les tâches suivantes seront abordées :

- Étude du format de données GTFS
- Utilisation des données GTFS des TPG et nettoyage des données
- Ajout de la forme des trajets dans les données GTFS des TPG
- Adaptation de l'outil d'import d'abstreet pour combiner les données GTFS et celles d'open street map.
- Validation de l'import correct des données et de la cohérence des trajets.

Candidat :

Professeur responsable :

DAGIER-JONCOUR THOMAS

MALASPINAS ORESTIS

Filière d'études : ISC

En collaboration avec : -

Travail de bachelor soumis à une convention de stage en entreprise : **non**

Travail de bachelor soumis à un contrat de confidentialité : **non**

Hes-SO GENÈVE
Haute Ecole Spécialisée
de Suisse occidentale

FIG. 1

Résumé

Le réseau routier du canton de Genève est en constante évolution. L'expansion des Transports Publics Genevois (TPG) ou encore l'augmentation du nombre de vélos impliquent de devoir améliorer les routes actuelles pour répondre aux besoins de demain. Il peut donc s'avérer primordial de comprendre comment et pourquoi les gens se déplacent pour aider à la planification urbaine. Cela pourrait aussi permettre de modéliser des phénomènes très différents tels que la propagation du covid-19 en analysant les schémas de transmission liés aux déplacements des Genevois. Une bonne manière de réaliser ce travail serait de modéliser ces déplacements en utilisant un simulateur développé en Rust par Dustin Carlino depuis 2018. A/B Street, est un jeu sérieux permettant d'imiter le trafic routier d'une ville. Jusqu'alors, dans ce simulateur et pour le canton de Genève, il est possible de modéliser les déplacements des gens en voiture, à vélo et à pied. Ceci du fait que ces trois types de déplacements peuvent être aisément reproduit d'une grande ville à une autre. Ce n'est cependant pas le cas des transports en communs qui doivent être modélisés séparément puisqu'ils dépendent des sociétés de transports. L'objectif de ce travail de Bachelor est donc de reproduire le comportement des TPG dans A/B Street afin de décrire avec plus de précision, les déplacements des gens dans le canton de Genève. Tout en présentant A/B Street et les différents acteurs de ce projet, ce rapport évoque la structure de données qui décrit le réseau des TPG. Nous insisterons aussi sur les étapes nécessaires à l'import des données dans le simulateur puis mesurerons la qualité du travail effectué en comparant des données réelles transmises par les TPG avec celles de nos modélisations.



Candidat :

Thomas Dagier

Filière d'études : ISC

Professeur-e(s) responsable(s) :

Dr Orestis Malaspinas

Travail de bachelor soumis à une convention de stage en entreprise : non

Travail soumis à un contrat de confidentialité : non

Liste des acronymes

CFF Chemins de fer fédéraux suisses.

GTFS General Transit Feed Specification.

HEPIA Haute École du Paysage, d'Ingénierie et d'Architecture de Genève.

KML Keyhole Markup Language.

OPM Orestis Pileas Malaspina.

OSM Open Street Map.

SITG Système d'Information du Territoire à Genève.

TPG Transports Publics Genevois.

Liste des illustrations

1	vi	
1.1	Interface d'édition d'une route sur OSM	5
1.2	Trafic routier au pont du Mont Blanc (à 7h42)	6
1.3	Trafic routier au pont du Mont Blanc (à 7h41)	7
1.4	Diagramme de relations entre les fichiers d'un GTFS fourni par La plate-forme des données publiques pour la mobilité en Suisse	9
1.5	Représentation du carrefour de la Prairie en 3D avec la technologie Lidar fournie par les SITG	10
1.6	Carte des SITG montrant l'emplacement des arrêts des TPG dans le centre de Genève	11
2.1	flux d'exécution du programme pour les trois premiers fichiers de la structure GTFS	14
2.2	Extrait du tracé du trajet quotidien de la ligne 19	15
2.3	Plan de connexion de l'arrêt Bel-Air	17
2.4	Comparaison du tracé réel de la ligne 17 tirée de moovitap.com et du tracé de la ligne 17 dans A/B Street	17
2.5	Comparaison du tracé de la ligne F dans de A/B Street et du tracé de la ligne F tiré des SITG	22
2.6	Tracé de la ligne M coté suisse	23
2.7	Représentation du set GTFS	26
2.8	Représentation du set GTFS	27
2.9	Représentation du réseau réel des TPG	28
2.10	Topologie d'un croisement au sud de Plainpalais sur A/B Street	30
2.11	Topologie d'un croisement au sud de Plainpalais sur Open Street Map	30
2.12	Tracé de la ligne 18 tiré des SITG	31
2.13	Tracé de la ligne 18 tiré de A/B Street	32
2.14	Topologie du trajet emprunté par la ligne 19 sur A/B Street	32
2.15	Topologie réelle du trajet emprunté par la ligne 19	33
2.16	Information sur le Chemin de Pinchat depuis Open Street Map	35
2.17	Tracé de la ligne 19 à la Jonction tiré de A/B Street	36
2.18	Tracé de la ligne 19 à la Jonction tiré des SITG	36

2.19 Informations sur le ‘Boulevard Carl-Vogt’ tirées de OSM	37
2.20 ‘Boulevard Carl-Vogt’ tirées de A/B Street	37
2.21 Second soucis avec la ligne 19 dans A/B Street	38
2.22 Intersection à la Jonction tirée de OSM	38
2.23 Intersection à la Jonction tirée de A/B Street	39
3.1 Tracé de la ligne 09 tiré de A/B Street	40
3.2 Tracé de la ligne 05 tiré de A/B Street	41
3.3 Tracé de la ligne E+ tiré de A/B Street	41
3.4 Intersection qui pose problème sur la ligne E+	42
3.5 Problème avec l’arrêt Palexpo-Halle 7 tiré de OSM	43
3.6 Problème avec l’arrêt Aéroport P47 tiré de OSM	44
3.7 Problème avec l’arrêt Chemin des Clys tiré de OSM	44
3.8 Extrait de la topologie des TPG	46
3.9 Tracé de la ligne 15 tirée des SITG	46
3.10 Tracé de la ligne 19 tiré de A/B Street	47
3.11 Tracé de la ligne 19 tiré des SITG	47
3.12 Tracé de la ligne 7 tiré de A/B Street	48
3.13 Tracé de la ligne 7 tiré des SITG	48
3.14 Tracé de la ligne F tiré de A/B Street	49
3.15 Tracé de la ligne F tiré des SITG	49
3.16 Tracé de la ligne 1 tiré de A/B Street	50
3.17 Tracé de la ligne 1 tiré des SITG	51
3.18 Tracé de la ligne 36 tiré de A/B Street	52
3.19 Tracé de la ligne 36 tiré des SITG	52
3.20 Tracé de la ligne 12 tiré de A/B Street	53
3.21 Tracé de la ligne 12 tiré des SITG	53
3.22 Tracé de la ligne 12 tiré de A/B Street	54
3.23 Tracé de la ligne 12 tiré des SITG	54
3.24 Intersection posant problème sur la ligne 12 tiré de A/B Street	55
3.25 Intersection posant problème sur la ligne 5 tiré de A/B Street	56
3.26 Graphique de la charge moyenne de la ligne 6 tiré de A/B Street	58
3.27 Graphique de la charge moyenne de la ligne 6 tiré des TPG	58
3.28 Graphique de la charge moyenne de la ligne 15 tiré de A/B Street	59
3.29 Graphique de la charge moyenne de la ligne 15 tiré des TPG	59
3.30 Graphique de la charge moyenne de la ligne 19 tiré de A/B Street	60
3.31 Graphique de la charge moyenne de la ligne 19 tiré des TPG	60
3.32 Graphique de la charge moyenne de la ligne 22 tiré de A/B Street	61
3.33 Graphique de la charge moyenne de la ligne 22 tiré des TPG	61

Référence des URL

- URL01 abstreet.org
- URL02 opentransportdata.swiss/fr/
- URL03 github.com/thomasdgr/abstreet
- URL04 a-b-street.github.io/docs/software/ungap_the_map/tech_details.html
- URL05 bl.ocks.org/kaezarrex/7a100491d541031b6c24
- URL06 moovitapp.com
- URL07 tpg.ch/sites/default/files/2021-11/plan_geographique_tpg-2021.12.12.pdf
- URL08 tpg.ch/sites/default/files/arrets_plan_de_connexion/BAIR_12122021.pdf
- URL09 etat.ge.ch/geoportail/pro/?portalresources=TPG_ARRETS
- URL10 openstreetmap.org
- URL11 sitg.maps.arcgis.com/apps/webappviewer3d/index.html
- URL12 map.sitg.ch/app

Introduction

La mobilité dans le canton de Genève a beaucoup évolué depuis vingt ans. D'après une étude menée par l'Office Cantonal de la statistique¹ datée de 2019 (1), les personnes se déplaçant dans le canton de Genève pour travailler n'utilisent la voiture plus que dans 30 % des cas en 2015 contre 53 % en 2000. Ceci est dû à l'essor de nouveaux moyens de transport plus respectueux de l'environnement comme le vélo, mais également grâce au réseau de transports en commun qui couvre tout le canton de Genève et la France voisine. Dans le cadre de notre projet de bachelor à la Haute École du Paysage, d'Ingénierie et d'Architecture de Genève (HEPIA), il semble très intéressant de modéliser les déplacements des gens dans le canton de Genève pour aider à la planification urbaine.

En effet, ceci pourrait permettre d'identifier des axes de transports qui sont souvent engorgés, des routes où il manquerait des voies de bus, mais également et surtout des pistes cyclables à rajouter. Outre le fait de contribuer à l'organisation du réseau routier, ce travail pourrait aussi permettre d'aider à modéliser des phénomènes très différents tels que la propagation d'une épidémie. Si nous savons aujourd'hui que nous n'étions pas suffisamment préparés pour faire face au Covid-19, comprendre comment et où se diffuse un virus permettrait d'en apprendre davantage sur les schémas de transmission d'un futur virus et les potentielles zones à risque de contamination comme les transports en commun.

À titre d'exemple, ces derniers permettaient déjà à 611'000 voyageurs quotidiens de se déplacer dans le canton de Genève en 2019 d'après le Rapport Annuel de Gestion des TPG² daté de 2020 (2). Ce nombre a cependant, fortement diminué pour passer à 404'000 en 2020 à cause de la pandémie. En nous appuyant sur les chiffres de ce rapport, il semble donc évident que les TPG jouent un rôle majeur dans la mobilité au sein du canton Genève.

¹Disponible à l'adresse : statistique.ge.ch/tel/publications/2019/analyses/communications/an-cs-2019-59.pdf

²Disponible à l'adresse : tpg.ch/sites/default/files/2021-07/TPG-RAG2020_WEB_pageparpage_FINAL.pdf

Nous pourrions alors nous demander dans quelle mesure il serait possible de modéliser le réseau des TPG afin de l'utiliser pour simuler et étudier les déplacements quotidiens des gens.

Pour réaliser ce travail de bachelor, nous nous basons sur le projet de Dustin Carlino. Depuis 2018, il développe en Rust un simulateur de trafic routier. Afin d'intégrer ces données, il est nécessaire d'étudier la structure de données utilisée pour décrire les TPG (3) . La majeure partie de ce projet concerne le nettoyage des données publiques utilisées afin d'exploiter pleinement ces informations dans le simulateur. Cela commence par la collecte des données fournies librement par la Plateforme des données publiques pour la mobilité en Suisse (4) et va jusqu'aux modifications du set de données à l'aide d'outils externes comme le Système d'Information du Territoire à Genève (SITG) (5). Enfin, dès lors que le set de données est cohérent et importé dans le simulateur, nous utilisons Open Street Map (OSM), un outil de cartographie collaboratif (6), pour affiner nos résultats avant de mesurer la qualité de notre import du réseau des TPG.

Ce rapport se divise en trois parties majeures. La première sera une analyse théorique de la situation actuelle où nous verrons le fonctionnement de A/B Street et décrirons les différents acteurs et outils qui ont permis de réaliser ce travail. De plus, nous évoquerons également le fonctionnement de la structure de données utilisée pour représenter les transports en commun. La seconde partie sera consacrée à la description du procédé permettant d'obtenir un set de données pour les TPG. Nous illustrerons les étapes qui auront été nécessaires afin de reproduire le plus fidèlement possible, le réseau des TPG dans le jeu sérieux. Dans une troisième partie, nous reviendrons sur les résultats en mesurant la fiabilité de l'import réalisé. Pour ce faire, nous utiliserons le travail de Ilias N'hairi (7) réalisé en parallèle sur le même simulateur. Ayant pour objectif de répartir la population et de reproduire avec précision les déplacements des gens, c'est un travail de bachelor qui est directement lié à ce projet. Nous utiliserons donc ses données et son travail afin d'effectuer diverses mesures permettant d'étudier la fiabilité du réseau des TPG importé dans A/B Street.

L'intégralité du code, des fichiers et des données utilisées pour ce projet sont disponibles sur le projet Github³ de ce travail de bachelor.

³Disponible à l'adresse : github.com/thomasdgr/abstreet

Chapitre 1 :

Approche théorique

1.1. La modélisation des déplacements

Au regard de l'importance que jouent les TPG dans les déplacements quotidiens des habitants de la ville de Genève, il apparaît essentiel de modéliser ce réseau pour réaliser une simulation précise qui permettrait de contribuer à la planification urbaine du canton de Genève.

Dans la vie de tous les jours, un trajet est associé à une personne, une raison de se déplacer, un moyen de transport cohérent, un point de départ et un point d'arrivée. Pour notre modélisation, il est possible de se déplacer à pied, à vélo, en voiture ou en transports en commun.

Ensuite, une personne peut se déplacer pour différentes raisons comme le travail, l'école, les loisirs, les courses... Une personne se rend aussi d'un point A (par exemple, une habitation) à un point B (par exemple, un lieu de travail) en choisissant un moyen de transport adapté au trajet effectué (on ne voudrait pas qu'une personne prenne sa voiture pour un trajet de 200 mètres ou qu'une autre se déplace à pied sur 35 kilomètres). Cette personne doit également suivre un calendrier cohérent comme le fait d'aller au travail à 8 h 00 ou de faire ses courses à un horaire raisonnable. Toute la modélisation de cette répartition statistique est réalisée en parallèle par Ilias N'hairi (8). Cependant, il est alors nécessaire d'intégrer le réseau des TPG afin d'avoir une simulation plus cohérente de la mobilité genevoise.

En outre, ceci montre déjà l'étendue du travail à faire simplement pour que des gens se déplacent. Mais il faudrait aussi avoir une carte précise sur laquelle les gens peuvent suivre un itinéraire. Et ce, sans penser à la logique du simulateur qui permettait de faire tout fonctionner ensemble, ou même d'un potentiel modèle épidémique qui pourrait être ajouté un jour. On remarque donc que réaliser cette simulation en partant de rien nous demanderait un effort titanique, d'où l'intérêt que nous portons pour le travail de Dustin Carlino qui est un outil déjà très abouti au niveau des fonctionnalités disponibles.

a) Le simulateur A/B Street

Dustin Carlino est cartographe spéculatif. Il a pour mission de cartographier des données qui ne l'ont pas encore été ou qui ne le sont que partiellement. C'est le cas des déplacements des gens au sein d'une ville qui peuvent être simulés en utilisant différentes cartes. Avant de créer son projet, Dustin Carlino était un software developer chez Google à Seattle. Depuis 2018, il travaille sur A/B Street (9), un jeu sérieux permettant de simuler le trafic routier comprenant les bus, les voitures, les vélos et les piétons. Ce simulateur, développé en Rust, est open-source et disponible depuis la plateforme Github.

Il a pour objectif de nous permettre d'interagir avec les routes et la signalisation en y ajoutant, par exemple, des lignes de bus ou de vélo, mais également en retirant des places de parking ou en modifiant un croisement afin de rediriger le trafic. N'importe quel utilisateur peut alors observer les influences de ses modifications sur la topologie du réseau routier et comprendre comment évoluent les déplacements des gens.

A/B Street a été créé dans le but de mettre en avant des moyens de transport plus respectueux de l'environnement comme le vélo. De plus, il vise aussi à trouver des solutions pour désengorger le trafic, notamment celui généré par les mobilités pendulaires, en proposant des solutions alternatives et réalisables sur le réseau routier existant. Par exemple, il est possible de modifier une route afin d'y ajouter une voie de bus et d'observer le comportement qui en découle. Si les changements sont bénéfiques, nous pouvons même nous questionner sur la faisabilité réelle d'un changement sur une route.

Ce simulateur est composé de différents modules qui assurent son bon fonctionnement. Nous allons évoquer, ici, deux exemples de modules qui permettent de faire la simulation des déplacements correctement, mais qui ne sont pas directement liés aux transports en commun.

b) La technologie Open Street Map

Basé sur la ville de Seattle dans un premier temps, A/B Street s'est aujourd'hui ouvert au reste du monde grâce à son utilisation de la technologie OSM. C'est un projet collaboratif de cartographie en ligne qui permet de créer des cartes sous une licence libre en utilisant le système GPS et d'autres données libres comme des photographies aériennes ou de simples informations sur la connaissance du terrain.

N'importe quel utilisateur de OSM peut proposer des modifications sur une route, un bâtiment, une intersection... Afin de rendre la carte plus précise pour les autres utilisateurs. En quelques exemples succincts OSM permet l'ajout et la modification de la signalisation routière (panneaux, feux, passages piétons...), des différentes routes et axes de transports (ronds-points, autoroutes, voies exclusives aux bus...), des trottoirs, mais également des habitations, des infrastructures (gares, aéroports...) pour fournir une carte avec un maximum de détails. Voici un exemple de ce qu'il est possible de faire depuis le site d'Open Street Map (6) :

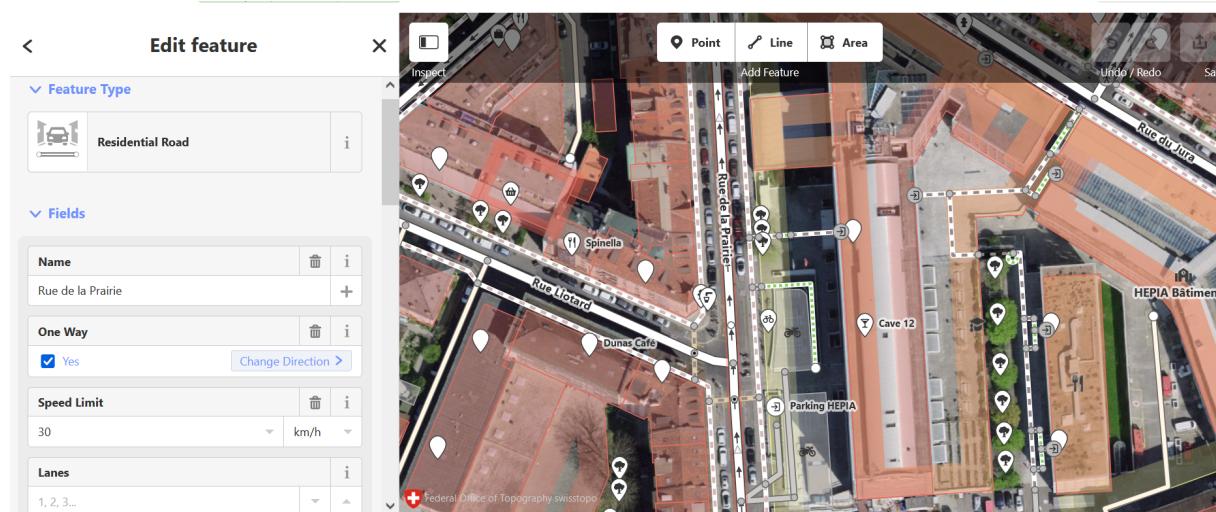


FIG. 1.1 : Interface d'édition d'une route sur OSM

Source : www.openstreetmap.org, ref. URL10

Sur la figure 1.1, on voit qu'il est possible de modifier le nom de la route, d'indiquer si elle est à sens unique ou non, de choisir la limite de vitesse autorisée... Comme on peut le voir, OSM est un outil qui est donc très complet et qui permet à n'importe quel utilisateur d'apporter des modifications sur le contenu actuel.

Dans le cadre de A/B Street, le fait d'utiliser OSM permet de créer une simulation pour n'importe quelle ville cartographiée avec ce même outils comme c'est le cas pour Genève. C'est le fruit d'années de travail et de collaboration de volontaires qui alimentent encore aujourd'hui la carte de la ville avec des nouvelles informations ou apportent des corrections.

Le simulateur peut importer n'importe quelle carte de ville et s'en sert comme base pour modéliser le trafic routier. Étant donné qu'il est possible d'apporter des modifications à la carte, il n'est pas vraiment possible de garantir une précision maximale sur les cartes qui peuvent comporter des erreurs ou des imprécisions.

c) La simulation du trafic routier

En plus de la carte qui est le module de base de la simulation, A/B Street est composé d'une multitude d'autres modules comme la simulation du trafic routier. Si OSM permet de créer une carte très complète, il est indispensable qu'un module de l'application permette de créer et gérer le trafic généré par les bus, les voitures, les vélos et les piétons en se basant sur la carte sélectionnée.

D'après la documentation officielle de A/B Street (9), cette logique va se baser sur une horloge afin de générer du trafic lorsqu'il est nécessaire. À titre d'exemple, on souhaite que beaucoup de monde prenne leur voiture à 8 h 00 et à 17 h 00, mais que le trafic soit fluide voir presque inexistant en pleine nuit. Néanmoins, la compréhension de ce point n'est pas nécessaire pour la suite du projet, il sert surtout à comprendre comment fonctionne le simulateur et ne sera pas développé par la suite.

Cette gestion du trafic est appelée une simulation à événements discrets. Un scénario est utilisé pour gérer des événements qui se greffent à la succession des tâches en cours (comme changer l'état d'un feu de signalisation, se garer ou encore passer le temps). Il existe une multitude d'états comme l'arrivée d'une voiture à un feu rouge ou la prise en compte des voitures aux alentours qui empêchent un bus de tourner.

Prenons le cas du pont du Mont-Blanc en plein centre-ville de Genève :

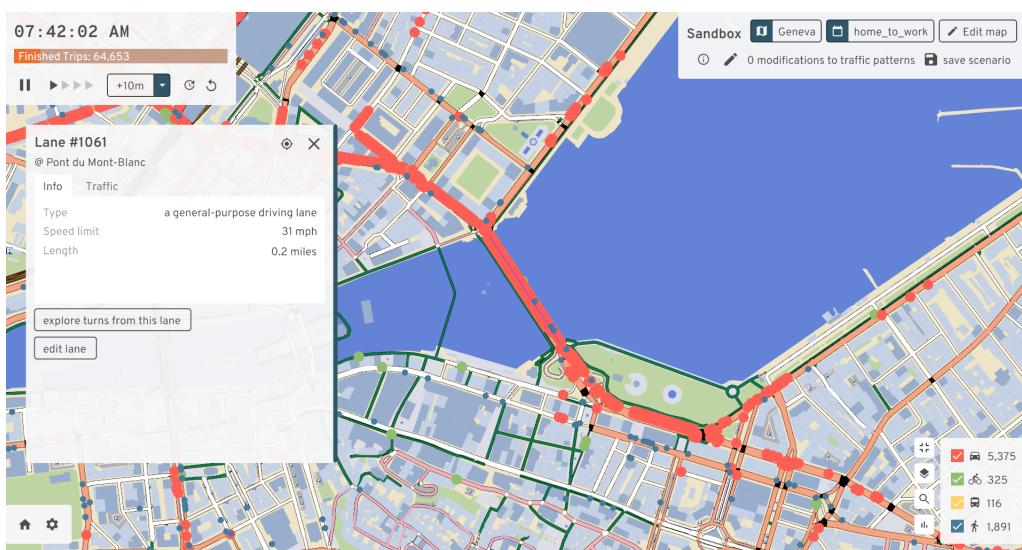


FIG. 1.2 : Trafic routier au pont du Mont Blanc (à 7h42)

Source : image tirée de A/B Street disponible sur abstreet.org, ref. URL01

Ce que nous pouvons dire à partir de la figure 1.2, c'est que le trafic est particulièrement chargé le matin, ce qui semble tout à fait cohérent avec la réalité.

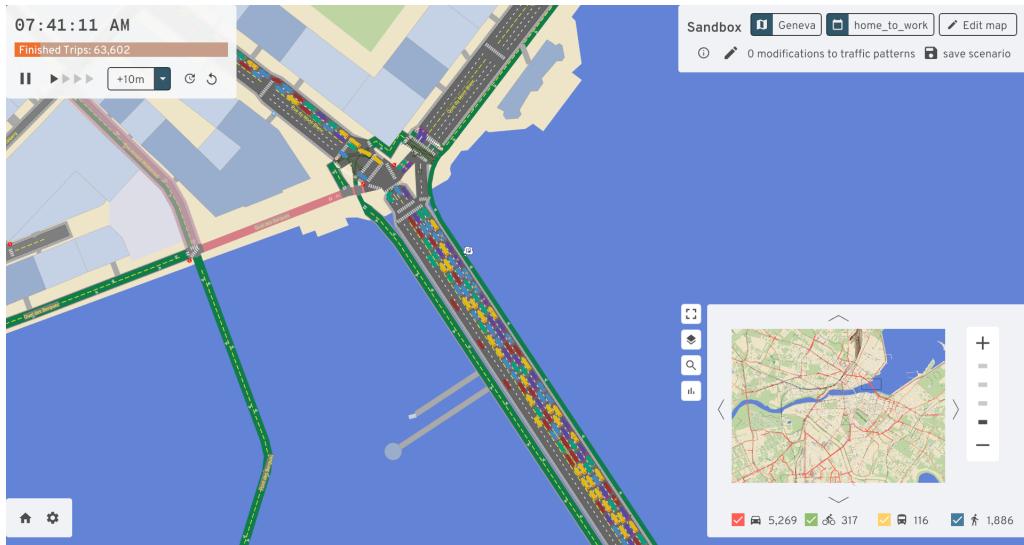


FIG. 1.3 : Trafic routier au pont du Mont Blanc (à 7h41)

Source : image tirée de A/B Street disponible sur abstreet.org, ref. URL01

Sur la figure 1.3 qui correspond à un zoom de la première illustration, nous observons davantage de détails sur le trafic actuel et les intersections qui créent des engorgements sur le pont. Ce que nous pouvons également remarquer, c'est qu'il manquent les bus dans la simulation actuelle.

Tous ces déplacements sont orchestré à travers un scénario. C'est ce dernier qui va être à l'origine du déplacement d'une personne pour une raison précise, à une heure quelconque avec un moyen de transport adapté. Il est donc crucial pour la simulation des déplacements des gens. Ceci est le travail de Ilias N'hairi (8) qui a besoin de la modélisation des transports en communs pour pouvoir réaliser un scénario cohérent avec la mobilité genevoise.

1.2. La structure de données General Transit Feed Specification

En introduisant A/B Street, nous avons évoqué les différents moyens de transport disponibles en rappelant que la simulation ne tient pas encore compte des transports en commun pour la ville de Genève. Il y a donc un travail d'import à faire qui implique de bien comprendre la manière dont les TPG sont représentés dans une structure de données.

a) Description du format

Aujourd’hui, la manière la plus efficace de représenter les transports en commun est d’utiliser une structure de données General Transit Feed Specification (GTFS). C’est un format informatique standardisé, développé par Google et TriMet qui permet de communiquer des horaires de transports en commun et les informations géographiques associées (topographie d’un réseau, emplacement des arrêts, tracés des lignes, horaires de passage...).

Nous utilisons le format GTFS Static qui s’oppose au format GTFS Realtime fournissant des données en temps réel (ce dont nous n’avons pour l’instant pas besoin). On pourrait résumer cette structure de données comme un dossier contenant des fichiers qui interagissent entre eux en partageant des données comme des numéros de ligne. Chaque fichier fournit des informations sur un aspect spécifique tel que les arrêts (`stops.txt`), les itinéraires (`routes.txt`), les trajets quotidiens (`trips.txt`), les sociétés de transport (`agency.txt`) et d’autres données relatives aux horaires. Certaines informations sont nécessaires pour fournir des données GTFS valides, d’autres sont facultatives et fournissent des informations supplémentaires comme les changements d’horaires sur des jours fériés (`calendar_dates.txt`).

b) Les données publiques sur la mobilité en suisse

Pour la ville de Genève, actuellement, une structure de données GTFS est mise à jour chaque année sur la plateforme des données publiques pour la mobilité en Suisse (4). Notamment fournie par les Chemins de fer fédéraux suisses (CFF) elle rassemble dans un même GTFS toutes les sociétés de transports suisses dont les TPG.

Le graphique suivant montre les interactions entre les différents fichiers présents dans ce set de données GTFS. Il n’est pas nécessaire de comprendre ce graphique, mais plutôt de visualiser l’interdépendance des fichiers qui est matérialisée par les flèches afin de voir que les fichiers partagent tous des données entre eux.

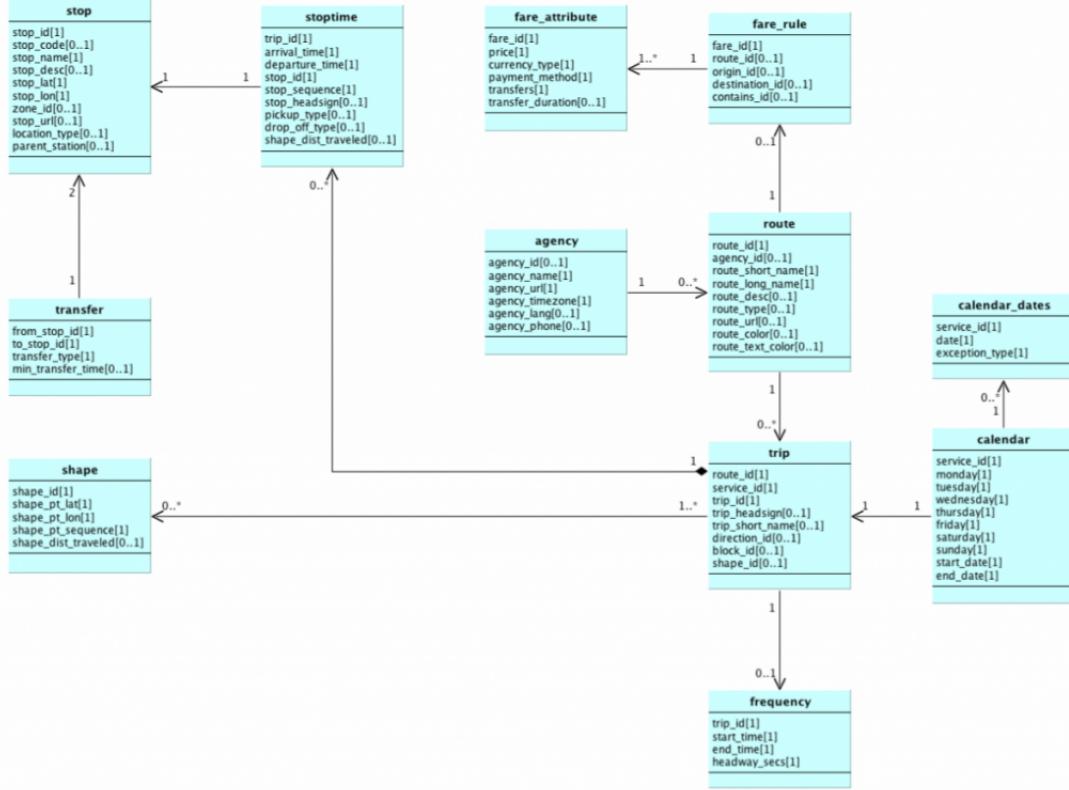


FIG. 1.4 : Diagramme de relations entre les fichiers d'un GTFS fourni par La plateforme des données publiques pour la mobilité en Suisse

Source : opentransportdata.swiss, ref. URL02

Il est important de noter que ce graphique de la figure 1.5 montre tous les fichiers qui peuvent faire partie d'une structure GTFS. Dans notre cas, nous nous contenterons du strict minimum permettant de modéliser les transports en commun, c'est-à-dire les routes (ou lignes) qui composent les TPG ainsi que tous les trajets de toutes les routes, leurs arrêts, l'ordre de succession de ces derniers en fonction des trajets et leurs horaires de passages. Ceci ne constitue donc que six fichiers parmi les douze possibles (`agency.txt`, `routes.txt`, `trips.txt`, `stops.txt`, `shapes.txt` et `stop_times.txt`).

Pour revenir sur le contenu du set GTFS fourni, il faut rappeler que toutes les sociétés de transports suisses y sont présentes. Avant d'importer les données, il y a donc un réel travail de tri à faire afin d'isoler les TPG du reste des sociétés.

1.3. Des données publiques incomplètes

Après un premier travail sur le set de données, nous avons remarqué que les données GTFS transmises par la plateforme des données publiques pour la mobilité en Suisse étaient incomplètes. Il manque, par exemple un fichier entier (`shapes.txt`) et des données cruciales dans le fichier `stops.txt`. Pour avoir un résultat satisfaisant dans notre simulation, il nous est alors indispensable de coupler les données des CFF avec d'autres acteurs.

a) Les Systèmes d'Information du Territoire à Genève

Afin d'apporter des modifications au set de données GTFS initial, nous avons besoin des informations des SITG. Ces derniers se décrivent comme : « Un organisme fondé sur un réseau de partenaires publics ayant pour but de coordonner, centraliser et diffuser largement les données relatives au territoire genevois. Les partenaires partageant entre eux et avec un large public les données géographiques produites dans le cadre de leurs missions »¹. Cet organisme dispose de données très précises sur le canton de Genève, notamment en rapport avec les TPG dont nous avons grandement besoin. Il est possible de visualiser, par exemple, une partie de la ville en 3D avec la technologie lidar :



FIG. 1.5 : Représentation du carrefour de la Prairie en 3D avec la technologie Lidar fournie par les SITG

Source : sitg.maps.arcgis.com/apps/webappviewer3d/index.html, ref. URL011

¹Disponible à l'adresse : ge.ch/sitg/le-sitg

Mais ce qui est vraiment intéressant pour nous, c'est le recensement des données relatives aux TPG comme l'emplacement des arrêts :

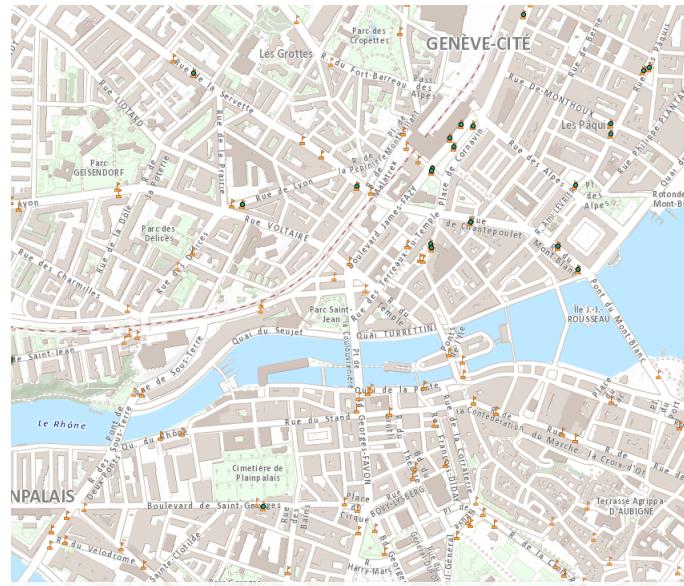


FIG. 1.6 : Carte des SITG montrant l'emplacement des arrêts des TPG dans le centre de Genève

Source : map.sitg.ch/app, ref. URL011

Avec la figure 1.7 on remarque que les SITG peuvent nous être d'une grande aide afin de réaliser une simulation précise. Nous allons donc voir quelles sont les étapes nécessaires afin d'importer le réseau de transports en commun pour le canton de Genève dans A/B Street.

Chapitre 2 :

Réalisations

2.1. L'analyse des données GTFS

À travers cette première introduction à la structure de données GTFS, nous avons vu que la plateforme des données publiques pour la mobilité en Suisse (4) propose un set de données de ce type fourni par les CFF. Ce set comprend cependant, toutes les sociétés de transports suisses et non pas seulement les TPG. Une première partie consiste donc à réaliser un analyseur de données afin d'isoler le contenu des TPG de celui des autres agences de transports suisses.

a) Approche pratique

Étant donné que le projet A/B Street est réalisé en Rust, une bonne manière de se familiariser avec le langage avant de prendre en main le simulateur est de réaliser ce programme en Rust. Pour la réalisation de ce programme et l'apprentissage du langage, il a été nécessaire d'utiliser le livre The Rust Programming Language écrit par Steve Klabnik et Carol Nichols et paru en 2018 (10). Cet outil indispensable à l'apprentissage du Rust a été complété par les cours du Docteur OPM (11) et différents sites web.

b) Description du travail à réaliser

Lors de la présentation des GTFS nous avons vu que les fichiers qui composent cette structure de données sont interdépendants. Prenons un exemple simple tiré du fichier `agency.txt` disponible sur la plateforme des données publiques pour la mobilité en Suisse (4) :

1. `agency_id`, `agency_name`, `agency_url`, ...
2. "11", "Schweizerische Bundesbahnen SBB", "sbb.ch", ...
3. "86", "Zentralbahn", "sbb.ch", ...
4. "881", "Transports Publics Genevois", "sbb.ch", ...
5. "151", "Transports Publics de la région Lausanoise", "sbb.ch", ...

Ci-dessus, nous voyons un court extrait de ce dont est composé le fichier `agency.txt`. Ce fichier répertorie l'ensemble des 458 agences de transports suisses.

Maintenant, voyons à quoi ressemble le contenu du fichier `routes.txt` qui répertorie l'ensemble des lignes de toutes les agences précédemment évoquées (soient 4486 dont 76 pour les TPG) :

1. `route_id, agency_id, route_short_name, ..., route_type`
2. `"91-10-A-j22-1", "37", "10", ..., "900"`
3. `"91-10-B-j22-1", "78", "s8", ..., "300"`
4. `"91-12-j22-1", "881", "12", ..., "900"`
5. `"91-14-j22-1", "881", "14", ..., "900"`

Ce fichier est également disponible sur la plateforme des données publiques pour la mobilité en Suisse (4). On remarque que, dans les deux fichiers, un champ `agency_id` est présent. Dans le premier fichier, le `agency_id` “881” est l’identifiant unique de l’agence des TPG. Dans le second fichier, nous retrouvons également la valeur “881” pour le champ `agency_id`. Mais cette fois-ci, c’est pour identifier à quelle agence correspond à la route (ou ligne de bus) actuelle. Puisque ce fichier représente toutes les lignes de toutes les agences, on en déduit que les deux lignes mises en évidence montrent les lignes de tramways 12 et 14 des TPG.

Notre objectif avec ce set de données GTFS est d’isoler les données qui concernent les TPG. L’exemple précédent permet de monter la démarche à suivre pour isoler les données des TPG du reste des agences de transport suisses. L’approche évoquée est la même pour chacun des fichiers sauf qu’au lieu d’utiliser le champ `agency_id`, nous pourrions utiliser le champ `route_id` pour isoler tous les trajets de toutes les lignes des TPG dans le fichier `trips.txt`.

c) Description du fonctionnement

À partir de la rapide explication du point précédent, voici le flux d'exécution du programme :

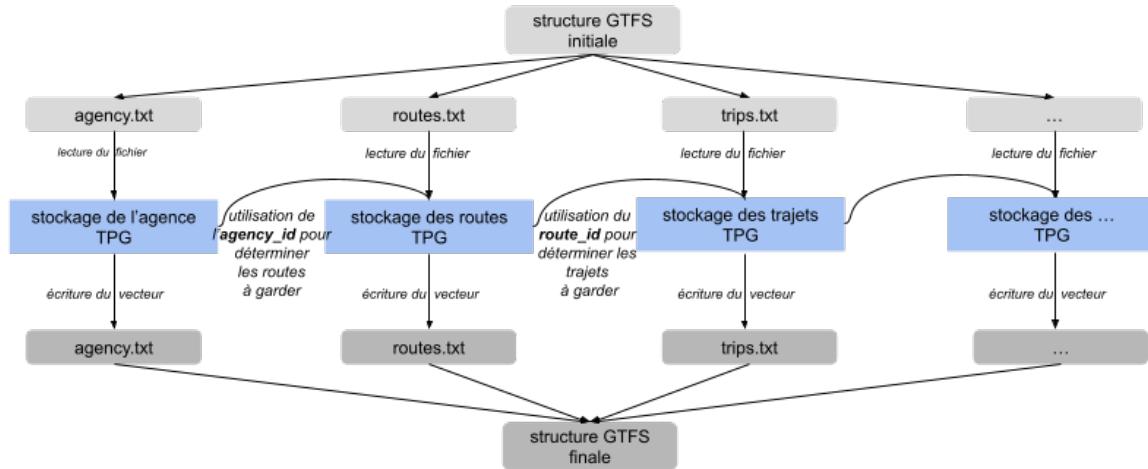


FIG. 2.1 : flux d'exécution du programme pour les trois premiers fichiers de la structure GTFS

La figure 2.1 permet de décrire la manière d'isoler les données des TPG. La partie à droite de l'image, qui n'est pas remplie, sert à montrer que certains champs du fichier `trips.txt` permettent d'isoler les données des autres fichiers de la structure GTFS comme `stops.txt` ou `stop_times.txt`.

d) Le fichier shapes.txt

En partant de la structure de données globale, nous avons donc une nouvelle structure de données qui contient uniquement les informations relatives aux TPG. Pour rappel, nous avions évoqué plus tôt, lors de la présentation de la structure GTFS, que certains fichiers étaient facultatifs. Le fichier `shapes.txt` est noté comme indispensable selon la documentation de google, mais est pourtant absent dans le set de données fourni par la plateforme des données publiques pour la mobilité en Suisse (4). Ce nouveau fichier permet de décrire, pour un trajet donné, l'ordre dans lequel se suivent les arrêts du point de départ au terminus.

Le souci avec ce fichier manquant, c'est qu'il devient alors impossible de savoir quels arrêts se succèdent lors d'un trajet et dans quel sens. Il est alors indispensable de le créer à la main. Par exemple, si nous prenons le cas de la ligne 19 des TPG, voici un extrait du tracé du trajet quotidien :

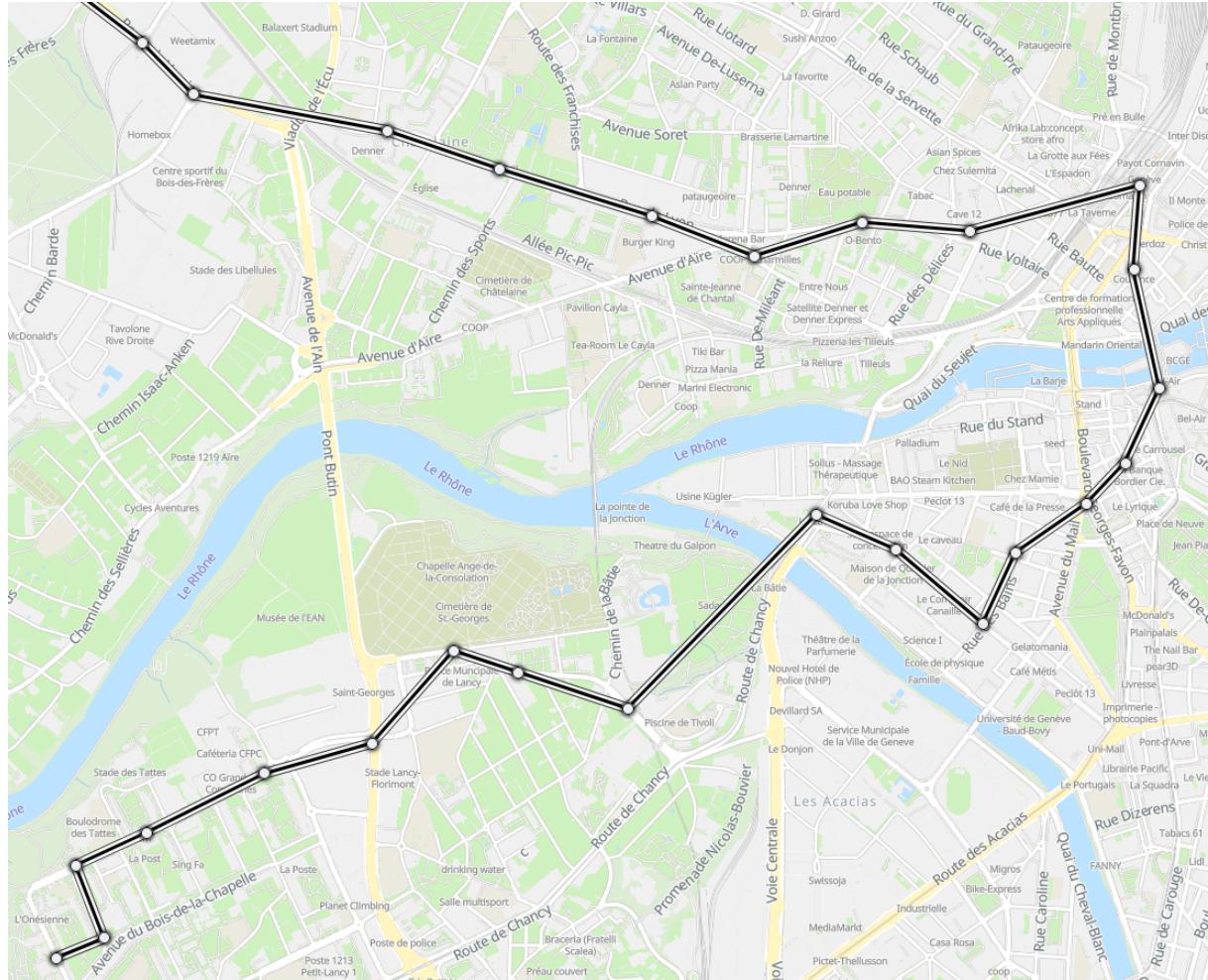


FIG. 2.2 : Extrait du tracé du trajet quotidien de la ligne 19

Source : moovitapp.com, ref. URL03

Sans le fichier `shapes.txt`, il nous est impossible de trouver les points qui décrivent le trajet emprunté par le bus 19 qui est montré sur la figure 2.2. Il nous faut donc, pour ce tracé, mais aussi pour tous les tracés des lignes des TPG, un moyen de trouver les arrêts qui composent un trajet, leurs coordonnées et la distance parcourue depuis le début du trajet afin de déterminer la route à prendre.

Dans notre cas, grâce au travail de Dustin Carlino pour simuler les déplacements des gens, nous n'avons pas besoin de calculer la distance, car il utilise une version de l'algorithme du plus court chemin de Dijkstra dont les spécifications sont décrites sur son guide de A/B Street¹.

¹Disponible à l'adresse : a-b-street.github.io/docs/software/ungap_the_map/tech_details.html

C'est un autre module dont nous avons la chance de bénéficier et qui nous fait gagner beaucoup de temps dans la création de ce fichier.

Cependant, nous devons tout de même construire ce fichier à la main en identifiant les arrêts, l'ordre dans lequel ils se succèdent et leurs coordonnées. Pour récupérer la séquence de succession des arrêts, on peut utiliser le fichier `stoptimes.txt`. Pour un trajet, il donne les heures de passage à chacun des arrêts. On peut donc savoir dans quel ordre se succèdent les arrêts d'un trajet d'une ligne. Ensuite, nous devons faire le lien entre les arrêts et le fichier `stops.txt` pour identifier les coordonnées de chaque arrêt de la séquence d'un trajet. Ensuite, on rassemble toutes les données dans une même structure `Shape` que l'on inscrit dans le fichier `shapes.txt`.

Une fois ce fichier créé à partir des données fournies par la structure GTFS, il est alors possible de commencer l'import des données dans A/B Street.

2.2. Un set de données incomplet

Précédemment, nous évoquions le fait que le set de données GTFS initial était incomplet. Si nous sommes en mesure de créer le fichier `shapes.txt` manquant, ce n'est malheureusement pas le cas de certaines autres informations contenues dans cette structure de données.

a) Le fichier `stops.txt`

Ce fichier indique l'emplacement des arrêts grâce aux coordonnées GPS. Dans A/B Street, l'arrêt est placé sur un trottoir afin que les bus puissent desservir les passagers comme c'est le cas réellement. Il est aussi important de savoir que, la plupart du temps, il existe au moins deux arrêts qui portent le même nom (un arrêt pour le sens aller et un pour le sens retour).

Le souci avec les données transmises par la plateforme des données publiques pour la mobilité en Suisse (4), c'est qu'aucune distinction n'est faite entre les arrêts qui portent le même nom. Encore pire, il n'existe qu'une seule variation d'un arrêt dans le fichier. Prenons l'arrêt `Bel-Air` par exemple. D'après le site des TPG (12), il n'y a pas moins de 13 lignes qui passent par un arrêt `Bel-Air` dans les deux sens.

Sans prendre en compte le fait qu'il existe un sens aller et un sens retour, supposons simplement que nos 13 lignes passent par un seul et même arrêt. Le fichier `stops.txt` censé contenir le nom et les coordonnées GPS de chacun des arrêts ne contient donc qu'une fois l'arrêt `Bel-Air`. Voyons alors l'effet que cela a sur la simulation avec le plan des connexions pour cet arrêt :

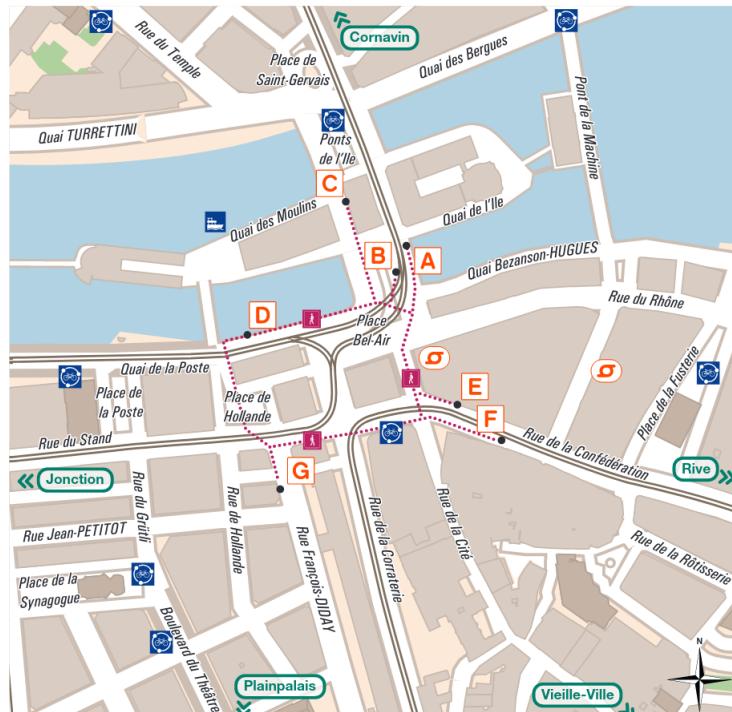


FIG. 2.3 : Plan de connexion de l'arrêt Bel-Air

Source : tpg.ch, ref. URL08

Nous constatons avec ce plan de la figure 2.3 qu'il existe en réalité, plusieurs arrêts **Bel-Air** matérialisés par les lettres A à G. Or, dans notre cas, il n'en existe qu'un seul. La conséquence de cette situation est que toutes les lignes qui passent par cet arrêt doivent passer par le même point exact (en l'occurrence, le point B sur la figure précédente). Cela cause donc des détours dans les trajets des lignes comme nous pouvons le voir sur l'image suivante :

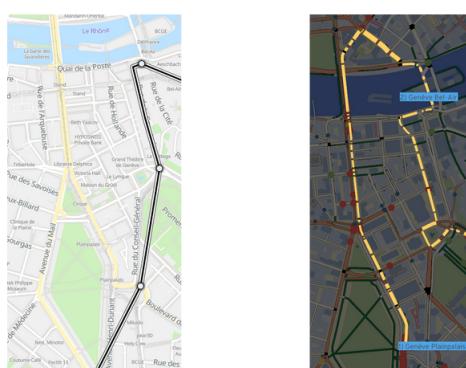


FIG. 2.4 : Comparaison du tracé réel de la ligne 17 tirée de moovitap.com et du tracé de la ligne 17 dans A/B Street

Source : Thomas Dagier

Avec cette comparaison, on remarque que nous perdons beaucoup en précision à juste nous contenter des données du set GTFS initial. C'est pourquoi nous devons passer par d'autres sources d'informations.

À notre connaissance, et comme évoqué plus tôt, nous pouvons tirer des données soit de OSM, soit des SITG. Après quelques recherches, il semble bien trop compliqué d'obtenir des données uniquement sur les TPG grâce à OSM du fait qu'elles ne sont pas triées pour être utilisables de la sorte. Les SITG, en revanche, proposent un set de données contenant tous les arrêts et leurs dérivations dans un format assez similaire à celui que nous connaissons déjà avec les TPG.

Le format Keyhole Markup Language (KML) permet de représenter des entités géographiques dans des applications telles que Google Earth. La force de ce set de données, en plus de contenir tous les arrêts, est qu'il contient la direction relative aux arrêts par lesquels les lignes passent. Voici un exemple de données contenu dans ce fichier :

```
<table>
  <tr>
    <td>6.143444023611796,46.2048626076406,0</td>
    <td>Bel-Air</td>
    <td>18,14</td>
    <td>18,14 (18 (CERN),14 (Meyrin-Gravière))</td>
  </tr>
</table>
```

Ici, on a plusieurs informations intéressantes. La première, c'est que nous connaissons les coordonnées d'une dérivation de l'arrêt **Bel-Air** (le point A sur la figure 2.3). On peut donc être beaucoup plus précis. La seconde, c'est que nous possédons la direction. On sait donc que cet arrêt **Bel-Air** doit être dans la séquence (entrée du fichier **shapes.txt**) de la ligne 14 et la ligne 18 lorsqu'elles se dirigent respectivement vers le **Meyrin-Gravière** et vers le **CERN**.

Une partie importante du travail est donc d'extraire ces informations venant des SITG et les coupler avec celles venant du set GTFS. Cette étape est indispensable, car chaque arrêt du set GTFS possède un identifiant unique qui est réutilisé dans les autres fichiers comme **stoptimes.txt** dont on discutera plus tard.

Dans les données des SITG il n'y a évidemment pas cet identifiant, car les données sont tirées de deux sources différentes.

Le couplage est une partie complexe du travail puisque le seul lien entre les deux sets de données est le nom des arrêts. Souvent, ces derniers varient quelque peu, ce qui nous impose de devoir faire de la reconnaissance de motifs. Par exemple, l'arrêt **Léonard Sismondi** de la ligne 15 est inscrit tel quel dans le set de données des SITG alors qu'il est inscrit **L.-Sismondi** dans celui des GTFS. Pour ceci, nous utilisons différentes techniques comme la distance de Levenshtein² ou un algorithme de recherche approximative (Fuzzy Search Algorithm³).

Sans rentrer dans les détails de ces algorithmes qui n'ont pas été ré-implémenté, on pourrait simplement dire que la distance de Levenshtein entre deux chaînes de caractères permet de mesurer le nombre de lettres d'une première chaîne qu'il faudrait enlever, ajouter ou remplacer pour obtenir la seconde. Si notre distance est faible, c'est que nous avons une correspondance entre le nom d'un arrêt du set des SITG et celui des GTFS.

C'est une très bonne première approche pour filtrer les arrêts qui ont le même nom ou presque (comme **Meyrin-Gravière** et **Meyrin Gravière**) et ne garder que ceux pour lesquels il y a une vraie différence (comme l'arrêt **L.-Sismondi**). Pour trouver une correspondance avec les arrêts restant la distance ne suffisant pas, nous avons besoin d'un algorithme de reconnaissance de motifs. Le Fuzzy Search (ou recherche approximative) permet d'identifier des chaînes de caractères qui se ressemblent approximativement. À partir d'un motif, qui serait la chaîne de caractère du set des SITG à faire correspondre, nous mettons un poids à chaque correspondance et on conserve le poids le plus fort (qui correspond à la chaîne qui a la plus de chance d'être celle que nous cherchons).

Cet algorithme est très efficace quand il y a peu de ressemblances entre les différentes options. C'est le cas ici puisque, dans le set des GTFS, on a un seul arrêt et pas les dérivations. Pour l'arrêt **Gare Cornavin**, comme il n'existe qu'en une fois dans le set GTFS, nous avons peu de chances d'avoir deux ressemblances avec un poids élevé dans le set des SITG.

Au départ, dans le set des GTFS nous avions 867 arrêts. Dans le set des SITG nous avons 1902 arrêts. Après application de ces deux algorithmes, on filtre correctement 1891 arrêts, soit 99.4 %. Le reste est malheureusement modifié à la main, soit, car aucune ressemblance n'a été trouvée, soit, car une ressemblance a été trouvée, mais ce n'est pas celle attendue. Voici un exemple d'arrêt non importé avec le nom dans les SITG : **Aire-la-Ville-Pont-de-Peney** et le nom dans le set des GTFS : **A. la vile** (la faute d'orthographe est vraiment dans le set).

²Disponible à l'adresse : fr-academic.com/dic.nsf/frwiki/520675

³Disponible à l'adresse : nanonets.com/blog/fuzzy-matching-fuzzy-logic

b) Isoler une petite partie des données

Une fois cette étape réalisée et le set de données bien plus précis, il est nécessaire de filtrer les données intéressantes pour les utiliser dans A/B Street. Le set de données des GTFS décris tous les trajets de toutes les lignes des TPG. On peut donc connaître le trajet que fait la ligne 26 lorsqu'elle se déplace à 5 h 12 du dépôt vers le point de départ de la ligne ou même les trajets de la ligne 08 qui ne sont fait qu'une fois par jour. Ce qui nous intéresse vraiment, ce sont les trajets des lignes qui sont les plus récurrents. Pour ce faire, nous partons du principe que les trajets récurrents sont ceux qui passent entre 11 h 00 et 16 h 00. Ensuite, on fait une recherche pour savoir quels sont les trajets les plus longs et qui comportent le même nombre d'arrêts (à deux près). Ceci nous permet d'isoler le trajet récurrent dans le sens aller et celui dans le sens retour.

Cette partie du travail qui est assez rapide nous a permis d'identifier un problème. Une séquence d'arrêt (dans `stoptimes.txt`) décrit, pour un trajet donné, l'ordre de succession des arrêts et l'horaire de passage. Un arrêt est décrit par son identifiant unique qui peut être retrouvé dans le fichier `stops.txt` (d'où la volonté de faire correspondre le set des SITG et celui des GTFS). Le souci avec cette méthode, c'est qu'après l'étape de correspondance des arrêts, les identifiants ne sont plus du tout unique. Prenons un exemple :

1. `trip_id, departure_time, arival_time, stop_id, stop_sequence`
2. `"895.TA.91-15-j22-1.11.R", "15:16:00", "15:16:00", "8587058", 1`
3. `"895.TA.91-15-j22-1.11.R", "15:17:00", "15:17:00", "8592905", 2`
4. `"895.TA.91-15-j22-1.11.R", "15:18:00", "15:18:00", "8592825", 3`

Sur cet extrait du fichier `stoptimes.txt` qui décrit l'ordre de succession des trois premiers arrêts d'un trajet de la ligne 15, nous remarquons la présence d'un `stop_id` qui est l'identifiant unique d'un arrêt. L'identifiant 8587058 correspond à l'arrêt `Nations`. Dès lors que nous avons couplé les données, il n'y a plus un seul arrêt `Nations` comme avant, mais huit. Le souci avec cela, c'est qu'en ajoutant des arrêts dans `stops.txt`, nous devons aussi refaire tous les trajets en prenant à chaque fois le bon arrêt `Nations` parmi tous ceux possibles.

La première étape est de garder le concept d'identifiant unique. Tous les identifiants pour l'arrêt `Nations` auront donc un identifiant semblable à 8587058-X en modifiant X pour chaque dérivation de l'arrêt.

Ensuite, nous devons trouver le bon arrêt Nations parmi tous ceux disponibles. Voici un exemple de ce que contient le fichier `stops.txt` :

1. `stop_id,stop_name,stop_lat,stop_lon,routes`
2. `8587058-1,"Nations",46.22263,6.13911,"F(Gare Cornavin), 20(Place de Neuve)"`
3. `...`
4. `8587058-3,"Nations",46.22218,6.13905,"15(Grand-Lancy-Place du 1er-Août)"`

Avec cet extrait, on observe deux variantes de l'arrêt Nations. Le champ `routes`, extrait du format KML, nous permet d'identifier pour quel trajet l'arrêt est utilisé. Pour savoir quel arrêt est le bon, nous devons regarder, pour le trajet `895.TA.91-15-j22-1.11.R` (tiré de l'extrait du fichier `stoptimes.txt`) quel est le terminus et le comparer avec les données du champ `routes`.

Voici un extrait du fichier `trips.txt` :

1. `route_id,trip_id,trip_headsign,trip_short_name,direction_id`
2. `"91-12-j22-1","903.TA.91-12-j22-1.7.R","Lancy-Bachet"," gare","0"`
3. `"91-14-j22-2","1058.TA.91-14-j22-1.6.R","Bernerex"," Vailly","1"`
4. `"91-15-j22-1","895.TA.91-15-j22-1.11.R","Grand-Lancy"," Place du 1er-Août","0"`

On retrouve dans ce fichier l'identifiant du trajet extrait du fichier `stoptimes.txt`. Avec cet identifiant, nous observons aussi que la destination de ce trajet est `Grand-Lancy Place du 1er-Août`. En nous aidant de cette information et du champ `routes`, on peut identifier quel est l'arrêt Nations à sélectionner parmi tous les doublons existants. Pour faire cette correspondance, on peut, de nouveau, utiliser l'algorithme de recherche approximative en affinant un peu les recherches. En effet, on peut déjà trier les arrêts en fonction des lignes qui sont desservies. Par exemple l'arrêt possédant l'identifiant `8587058-1` n'est pas utilisé par la ligne 15 donc il est possible de retirer cet arrêt des choix potentiels. Ensuite, pour les arrêts restant, nous pouvons réutiliser l'algorithme de recherche approximative pour affiner davantage les arrêts et n'en garder qu'un seul.

Nous réalisons cette étape pour chacun des arrêts de chacun des trajets afin d'avoir les bons arrêts en fonction des trajets pour toutes les lignes.

c) Genève, un cas à part

Genève a la particularité d'être un territoire situé à la frontière d'un autre pays. Ce n'est pas souvent le cas dans (OSM_a) et cela peut causer de gros problèmes dans A/B Street. En effet, le simulateur utilise un outil nommé Geofabrik⁴ qui permet d'extraire les données OSM selon un polygone de coordonnées spécifiques. Le souci avec cet outil est qu'il n'est pas possible d'importer des données de plusieurs pays en même temps.

⁴Disponible à l'adresse : geofabrik.de/geofabrik/geofabrik.html

Après avoir posé la question à Dustin Carlino, cela pourrait être un projet à part entière tant le travail est complexe. Pour importer des données, on renseigne donc un polygone (dans notre cas un carré avec des coordonnées pour chaque angle) et nous importons toutes les données qui se situent dans ce carré. Puisque nous n'importons que des données suisses pour la carte, il y aura donc un problème avec les lignes et les arrêts qui sont en France. Par exemple, à partir d'un polygone englobant Genève et la France voisine, nous devrions être en mesure de simuler le passage d'une en France. Cependant, comme les données françaises de OSM ne sont pas importées, il est impossible de modéliser les routes du côté français et donc d'importer ces lignes.

Pour régler ce problème, il suffit de lister tous les arrêts qui sont en France en utilisant leurs coordonnées GPS et en regardant si elles sont en Suisse. Ainsi, on ne conserve que les données suisses et nous pouvons aussi savoir quelles lignes sont exclusivement en France comme le bus N ou quelles lignes sont partiellement en France comme le bus M et F. Dans ce cas, on raccourci la ligne afin que le point de départ ou d'arrivée de la ligne soit le dernier arrêt avant la frontière avec la France :

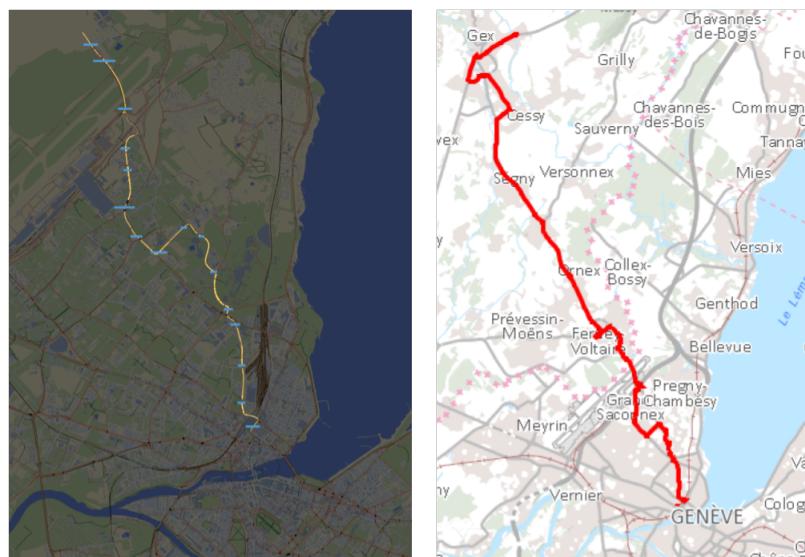


FIG. 2.5 : Comparaison du tracé de la ligne F dans de A/B Street et du tracé de la ligne F tiré des SITG

Source : Thomas Dagier

On observe alors que la ligne F est stoppée après la douane et ne continue pas en direction de Gex comme c'est le cas réellement d'après les SITG.

Il existe cependant des cas spéciaux comme le montre le bus M :

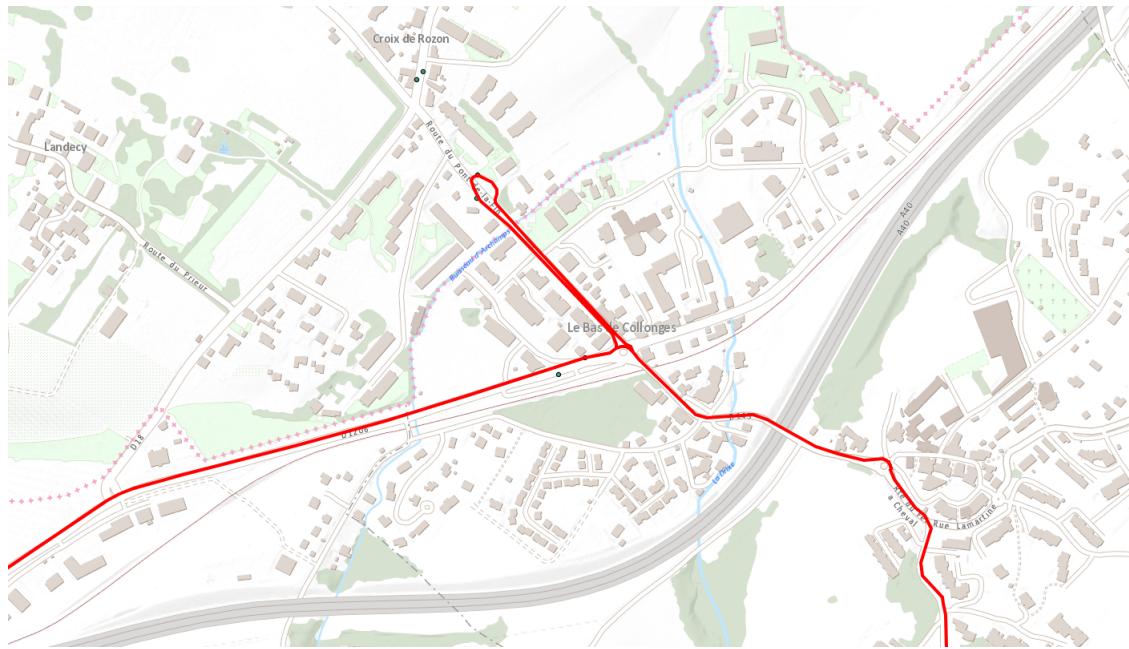


FIG. 2.6 : Tracé de la ligne M côté suisse

Source : *sitg.ch*, ref. URL11

Sur la figure 2.6, on observe que le bus M possède un seul arrêt du coté Suisse. On doit donc affiner le filtre pour les lignes afin de garder les lignes qui ont au moins deux arrêts en Suisse.

d) Problèmes rencontrés sur le set de données

Au fur et à mesure de l'avancement sur l'affinage du set de données initial, nous avons donc vu que certaines données comme le fichier `shapes.txt` étaient manquantes. Nous avons remarqué que le fichier `stops.txt` était incomplet et avons eu besoin de coupler les données avec les SITG pour gagner en précision.

Nous nous sommes rendu compte que le set devait donc être modifié pour suivre une séquence logique dans la succession des bons arrêts et avons remarqué qu'il n'était pas possible d'importer les données relatives à la zone française, ce qui nous a obligé à filtrer les données suisses tout en ne gardant que les deux trajets (aller et retour) les plus récurrents pour chaque ligne.

En-dehors des problèmes liés au travail en lui-même, le set de données nous a forcé à faire quelques modifications pour pouvoir importer les données dans A/B Street. C'est notamment le cas des trajets qui bouclent comme le bus 52. La logique de A/B Street ne tient pas compte des trajets qui bouclent et cause une erreur spéciale :

```
Person 272031 fell asleep on Bus #152291 and just rode off-map
```

Ce n'est pas un point réglable facilement et nous n'avons pas jugé nécessaire d'importer la ligne 52 qui représente une infime partie du réseau des TPG. Nous avons également décidé de ne pas importer les noctambus qui ne sont pas pris en compte dans le scénario de Ilias N'hairi (8) modélisant les déplacements des gens dans le canton de Genève. Ceci s'explique par le fait que les gens se déplacent entre 6 h 00 et 00 h 00 et ne sont donc jamais dans ces bus qui passent la nuit.

En outre, nous avons aussi remarqué qu'il manque des arrêts. Par exemple, dans le fichier `stoptimes.txt` qui décrit l'ordre de succession des arrêts, il y a des arrêts qui n'existent pas dans le fichier `stops.txt`. Après quelques recherches, on se rend compte que, soit l'arrêt a été supprimé en 2022, mais est toujours présent dans le set de données GTFS, soit l'arrêt a été "oublié" (ce qui est le cas la plupart du temps). Cela implique de devoir ajouter ces quelques informations à la main (environ 10 arrêts sur 1900).

De cette manière, et malheureusement, tout le travail que nous faisons ne peut pas être totalement reproduit avec un set de données vierge. On pourrait cependant partir du principe que nous avons fait un travail conséquent et fastidieux puis transmettre ces données aux TPG afin qu'elles soient réutilisées les années suivantes à la place de l'ancien set GTFS pas assez précis pour réaliser des simulations.

2.3. L'import des données dans A/B Street

a) La particularité de l'import actuel

Il est important de rappeler que l'import des bus, qui a été réalisé par Dustin Carlino pour la ville de Seattle, a été ajouté hâtivement pour ce projet de bachelor. On pourrait donc dire que ce module d'import de données GTFS est une ébauche permettant de modéliser les déplacements des gens en bus.

Toutes les fonctionnalités apportées par les GTFS ne sont donc pas disponibles pour l'instant. C'est, par exemple, le cas des horaires auxquels passent les bus. Ceci a une forte influence sur la simulation actuelle, car il est alors impossible d'identifier le trajet à prendre en fonction de la journée. En d'autres termes, chaque ligne ne peut suivre, actuellement, qu'une route dans la simulation.

En conséquence, parmi tous les fichiers présents dans la nouvelle structure, seulement les fichiers `routes.txt`, `trips.txt`, `shapes.txt`, `stops.txt` et `stop_times.txt` sont conservés.

b) Le fonctionnement de l'import

L'import des données dans A/B Street pourrait être considéré en lui-même comme une application à part entière. Lorsque l'on parle d'import, on parle d'ajouter une ville sur laquelle faire une simulation. Il faut donc importer la carte OSM, importer les transports en commun, importer un scénario...

Si nous nous concentrons sur la partie “import des TPG”, dans l’application, c'est un module dans lequel on doit non seulement importer les données, mais également vérifier la cohérence des données, trouver le plus court chemin entre 2 arrêts pour déterminer le trajet exact à réaliser, vérifier que les arrêts d'une ligne se succèdent dans un ordre logique, vérifier que le trajet ne boucle pas sur lui-même, que les arrêts sont placés aux bons endroits...

Cependant, le set de données modifié comporte beaucoup de problèmes. En effet, la structure des GTFS permet d'être très voire trop flexible sur la manière de stocker les données. Par exemple, il existe un champ dans le fichier `routes.txt` intitulé `route_type` qui permet d'identifier si la route correspond à une ligne de tramways ou de bus. La documentation officielle des GTFS (3) ne spécifie pas quelle donnée mettre en fonction du type de route. Sur notre set de données, le champ `route_type` vaut 300 si c'est une ligne de bus et 900 si c'est une ligne de tramway contre respectivement 1 et 2 dans le set de données GTFS de Seattle. L'import a été réalisé en fonction des paramètres renseignés dans le set de données GTFS de Seattle et il a donc fallu adapter toutes les données des TPG ce qui a pris beaucoup de temps.

En outre, nous avions évoqué le fait que les horaires ne sont, pour l'instant, pas encore implémentés lors de l'import. Il est donc impossible d'avoir plusieurs trajets différents pour une ligne. Il a donc fallu adapter les données afin que chaque ligne ait une variante A ou B permettant d'indiquer le sens aller et le sens retour.

Voici le résultat de notre set de données :

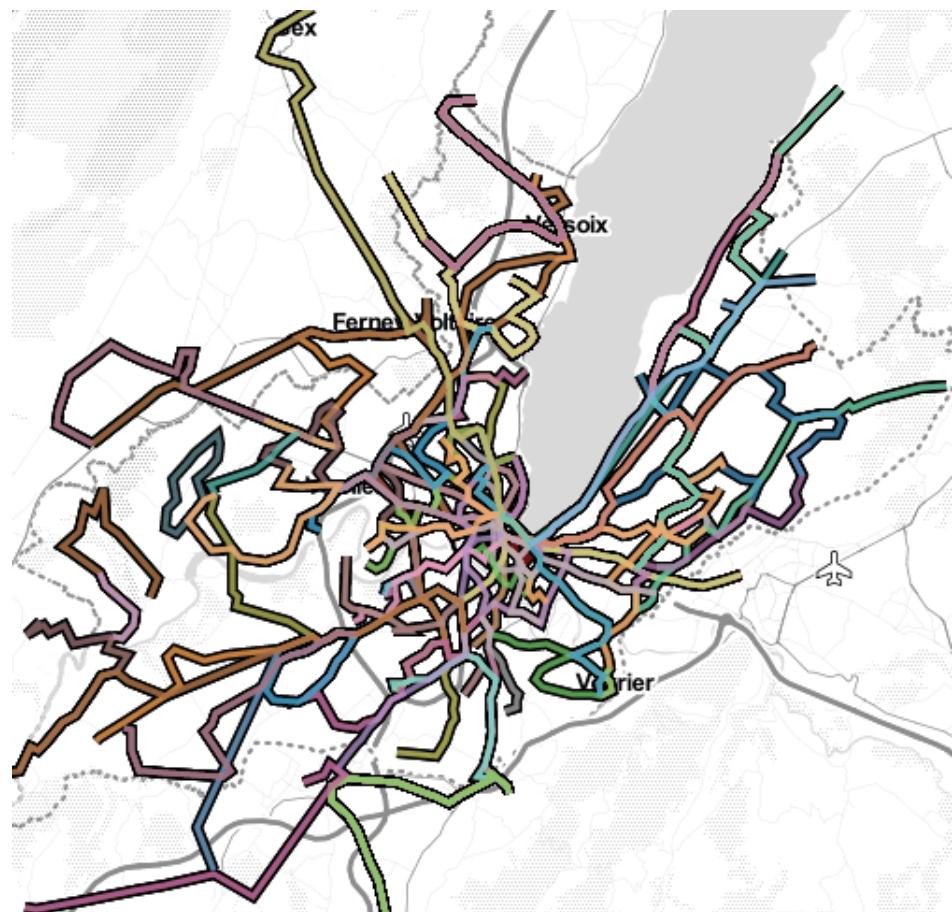


FIG. 2.7 : Représentation du set GTFS

Source : bl.ocks.org/kaezarrex, ref. URL05

Sur la figure 2.7, on observe que le réseau des TPG représenté par la structure GTFS semble être cohérent. Les lignes se dirigent vers le centre de la ville qui est mieux desservi et pour la ligne F que je connais (en jaune), son trajet semble être bon. Une fois les modifications apportées et l'import complète, nous pouvons tester notre modélisation dans A/B Street.

2.4. Premier test après import

Le set de données initial a bien changé depuis que nous l'avons récupéré sur la plateforme des données publiques pour la mobilité en Suisse (4). Nous y avons apporté beaucoup de modifications et l'avons testé une première fois dans A/B Street. Les SITG nous ont été d'une grande aide pour améliorer le set de données GTFS et on observe déjà un premier résultat satisfaisant :

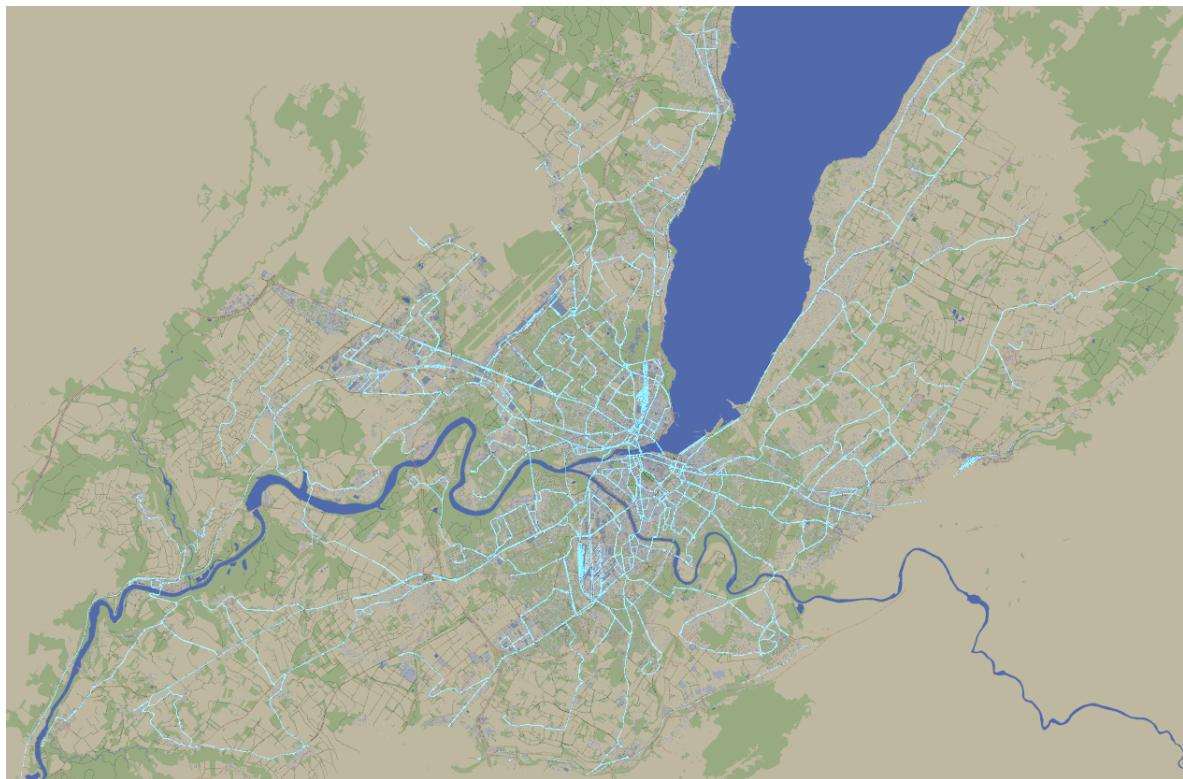


FIG. 2.8 : Représentation du set GTFS

Source : abstree.org, ref. URL01

Avec la figure 2.8, on remarque que le réseau des TPG, une fois importé dans A/B Street, possède une tendance relativement bonne.

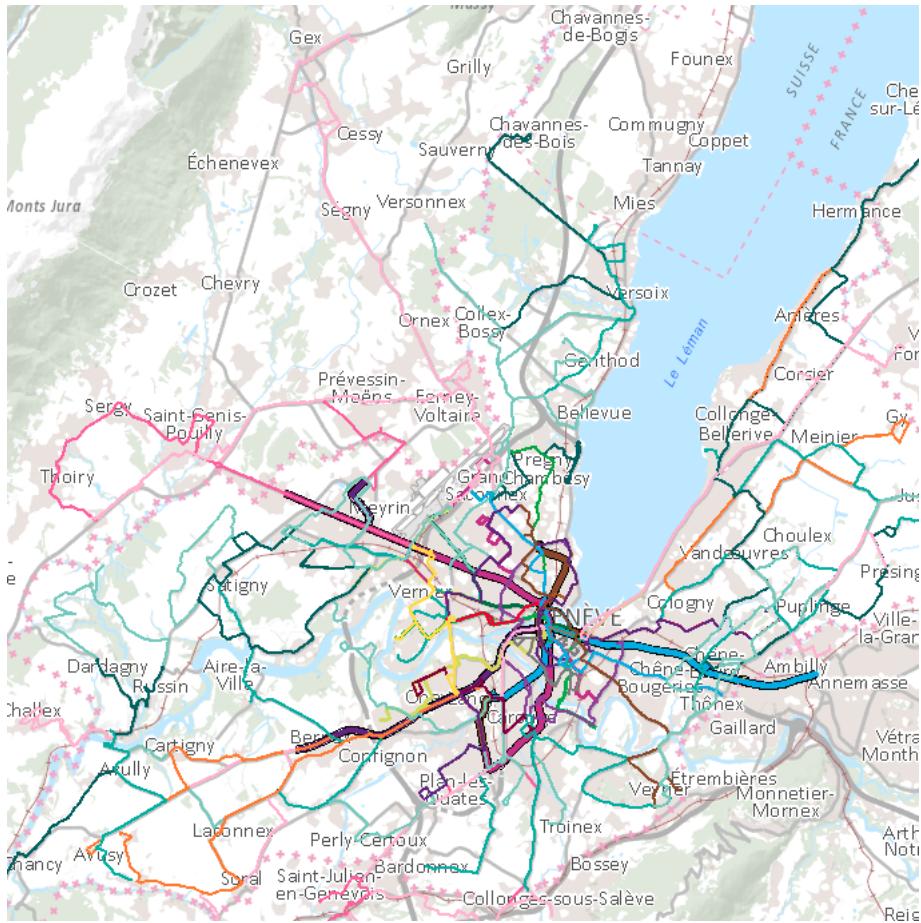


FIG. 2.9 : Représentation du réseau réel des TPG

Source : sitg.ch/app, ref. URL11

Sur cette figure, on constate effectivement plusieurs ressemblances avec la figure 2.8 qui nous montrent que nous gagnons petit à petit en précision. Si cela ne suffit pas pour tirer des conclusions, c'est tout de même intéressant de voir que la plupart des données sont importées avec succès.

a) Les erreurs d'import

Si la plupart des données sont importées avec succès, il existe tout de même certains problèmes. Un premier exemple touche les lignes qui sont en bordure de la carte. Dans A/B Street, un bus qui devrait continuer en dehors de la carte (comme une ligne frontalière) quitte la carte à travers une bordure. Lorsque le trajet et le chemin à prendre est calculé par A/B Street, il se peut qu'il ne trouve pas de bordure ou alors qu'il essaye de le placer à un endroit auquel le bus n'a pas accès.

La solution à ce problème est arrivée un peu par hasard en agrandissant la carte afin d'englober toutes les lignes dans le polygone. Pour les lignes frontalières, il a fallu modifier légèrement le code de A/B Street afin d'être plus permissif sur les bordures lorsque les lignes sont coupées et dépassent du polygone.

De la même manière, à l'import, A/B Street trouve le plus cours chemin à prendre et les lignes qui bouclent posent souvent des problèmes. Cette fois-ci, la solution la plus simple est de supprimer complètement toutes les lignes qui bouclent (36,42,55,72,A1,A2,A3,A4,A5,A6). Ce ne sont de toute façon pas des lignes importantes donc nous pouvons nous permettre de les omettre dans notre simulation.

Par ailleurs, il n'y a pas eu vraiment de problèmes pour le choix des arrêts en fonction des trajets. Le code réalisé dans l'analyseur de données nous a permis de vite passer à l'étape suivante sans avoir trop de trajets où les arrêts sont, en fait, ceux du sens inverse par exemple.

Cependant, pour rester sur l'import des arrêts, il s'avère que certains ne sont pas importés à cause de la distance qui les sépare des trottoirs. En effet, les coordonnées GPS ne sont pas toujours exactes et parfois, les arrêts se trouvent trop loin d'un trottoir. Si augmenter la distance limite de 3 à 5 mètres semble à première vue être une bonne idée, ce n'est pas du tout le cas puisque cela impacte grandement les déplacements des gens.

En effet, si l'arrêt se trouve trop loin de la route, mais qu'il est quand même importé, le bus s'arrêtera pour y déposer des passagers qui se retrouveront sur la route, ce qui est complètement interdit dans A/B Street à moins que ce soit un passage piéton. Pour les quelques arrêts dont c'est le cas (environ une dizaine), il semblait plus intéressant de modifier les coordonnées à la main pour être plus proche de la réalité et ainsi, importer les arrêts manquants.

En revanche, un souci beaucoup plus préoccupant est celui des lignes de tramways. Ces dernières ne sont pas importées telles quelles dans A/B Street, mais plutôt comme des lignes de bus.

En effet, dans A/B Street, la notion de tramway n'existe pas. Les transports en commun sont uniquement des bus. Dans la majeure partie des cas, les bus (qui sont en fait des tramways) suivent leurs lignes de bus, mais parfois, il se peut que le chemin le plus court soit de passer par la voie des voitures ce qui rend le tracé moins précis.

C'est d'autant plus problématique que les arrêts de tramways ne se font pas sur des trottoirs, mais sur des plateformes de transit. Au début, cela avait pour effet de n'importer presque aucun arrêt pour les tramways. La solution a été une nouvelle fois de modifier le code de A/B Street afin d'ajouter des trottoirs de chaque côté des voies de bus (qui sont en fait des lignes de tramway) pour pouvoir tout de même importer les arrêts.

D'autre part, il existe aussi plusieurs problèmes qui sont causés par la précision de OSM et de l'import de la carte.

b) Les problèmes liés à Open Street Map

Nous avions évoqué le fait que la carte est importée avec OSM. Si cet outil collaboratif permet de faire des cartes précises, il n'en reste pas moins que parfois, la topologie de la ville est tout simplement un enfer à représenter. Voici un exemple d'un croisement de routes dans le quartier de Plainpalais à Genève :



FIG. 2.10 : Topologie d'un croisement au sud de Plainpalais sur A/B Street

Source : image tirée de A/B Street disponible sur abstreet.org, ref. URL01

On remarque que c'est une portion de la carte vraiment compliquée à modéliser au vu du nombre de routes qui se croisent et du trafic assez important qui s'y passe chaque jour. Voici le même croisement tiré du site d'Open Street Map :



FIG. 2.11 : Topologie d'un croisement au sud de Plainpalais sur Open Street Map

Source : openstreetmap.org, ref. URL01

À partir des figures 2.10 et 2.11, on observe donc que la modélisation n'est pas parfaite sur A/B Street. Cependant, nous avons remarqué que ces problèmes se situent en très grande majorité dans le centre de Genève. En effet, la circulation y est plus complexe qu'en périphérie et il y a nécessairement moins de problèmes liés à la complexité naturelle des routes.



FIG. 2.12 : Tracé de la ligne 18 tiré des SITG

Source : sitg.ch/app, ref. URL11

Sur cette première figure, on observe le tracé de la ligne 18 tel qu'il est réellement.

Maintenant, avec cette seconde image, on remarque que le tracé de cette même ligne dans A/B Street est bien différent, mais uniquement dans le centre-ville, là où le trafic y est plus complexe naturellement.

Il existe également d'autres erreurs qui viennent, elles, directement des ajouts faits par les différents utilisateurs. Prenons l'exemple de la ligne 19 pour illustrer un problème qui apparaît à une multitude d'endroits sur la carte :

Voici maintenant la topologie réelle du trajet :

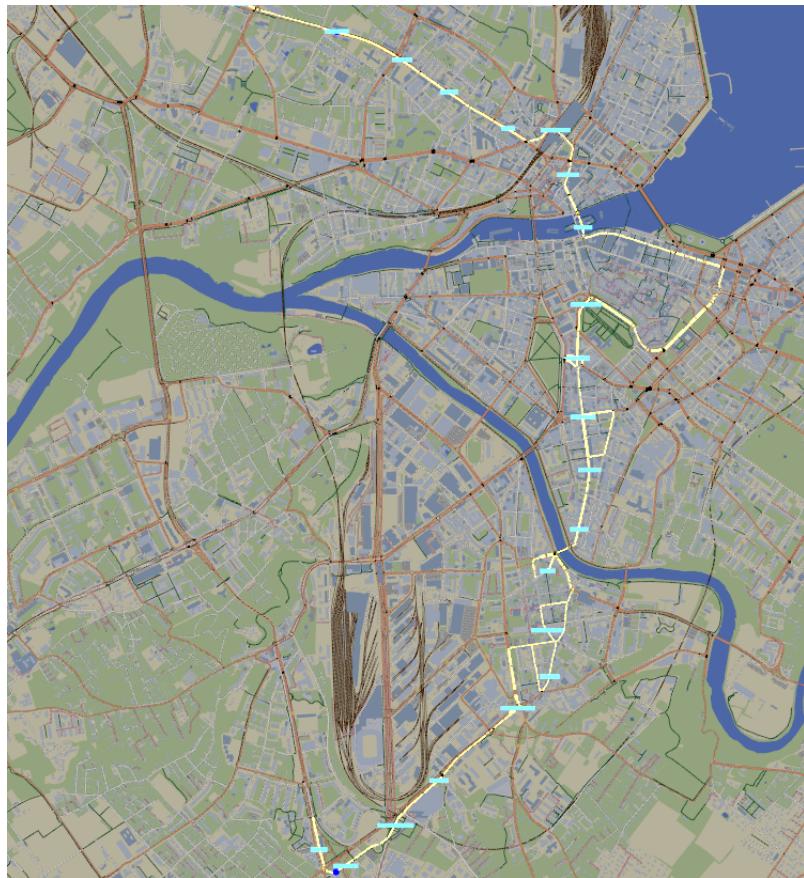


FIG. 2.13 : Tracé de la ligne 18 tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

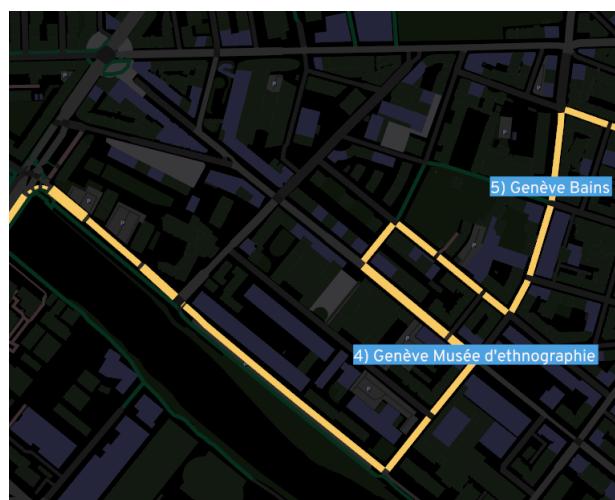


FIG. 2.14 : Topologie du trajet emprunté par la ligne 19 sur A/B Street

Source : image tirée de A/B Street disponible sur abstreet.org, ref. URL01

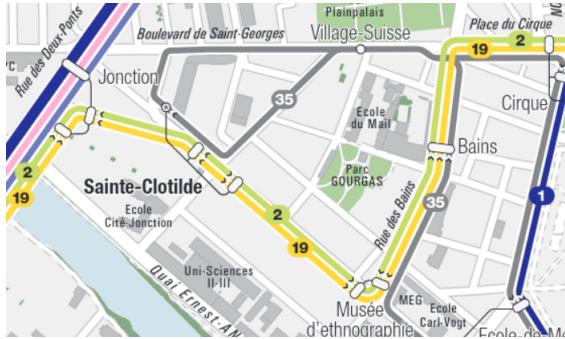


FIG. 2.15 : Topologie réelle du trajet emprunté par la ligne 19

Source : tpg.ch, ref. URL07

On remarque que, dans A/B Street, le trajet a une forme étrange entre les deux arrêts. La raison de ce problème est liée au fait que, dans la carte importée avec OSM, la route est à sens unique entre les deux arrêts. Au moment d'appliquer l'algorithme du plus court chemin, il devient alors impossible de prendre la route attendue et l'algorithme trouve une autre route qui fait un détour.

Ceci ouvre aussi sur un problème lié à la recherche du plus court chemin qui ne trouve parfois, aucun chemin pour importer la ligne. Nous revenons donc indirectement au problème de la complexité naturelle qui désigne tous les croisements et les axes de transports qui sont difficilement représentables dans OSM parce qu'ils sont réellement complexes. De ce fait, lorsque la représentation est déficiente, il arrive qu'un chemin ne soit pas trouvable ou qu'un chemin soit trouvé mais ne soit pas le bon (comme celui de la ligne 18). C'est la raison pour laquelle il est alors indispensable de modifier les données de OSM pour avoir une meilleure précision dans le trajet des bus.

2.5. Modifications dans Open Street Map

Nous avons vu que OSM est la base sur laquelle la carte du simulateur est construite. Après l'import des données sur les TPG, nous avons remarqué que certains arrêts ne sont pas importés et que plusieurs lignes ne possèdent pas le bon trajet ou ne sont même pas importées. Il s'avère que certains de ces problèmes peuvent être réglés dans la mesure où OSM est un outil de cartographie collaboratif et qu'il est donc possible d'y apporter des modifications afin de régler ces problèmes.

a) Importer les lignes et arrêts

Le premier problème qui touche les arrêts est un problème assez atypique puisqu'il apparaît presque uniquement dans la ville de Genève. OSM est un outil très complet qui permet de faire beaucoup de chose, mais qui laisse donc aussi beaucoup de place au libre choix des utilisateurs. Il est possible de représenter n'importe quel type de route comme des pistes

cyclables, des voies de bus ou encore des doubles-voies mais il est étrangement possible de matérialiser les trottoirs comme des routes seules. C'est exactement ce que fait Genève (sans doute par convention entre les utilisateurs) et c'est une très mauvaise pratique dans la mesure où un trottoir devrait nécessairement être lié à une autre route (d'où le terme employé dans OSM de **sidewalk** : un espace pour marcher sur le côté de la route).

Par exemple, pour la ville de Seattle, lorsqu'une route est répertoriée dans OSM on lui ajoute directement dans ses attributs des informations sur les trottoirs de chaque côté de la route. À Genève, en revanche, les trottoirs sont complètement séparés des routes qui ont un attribut `no-sidewalks`. Ils sont donc référencés dans OSM mais pas reliés aux routes.

C'est un problème très préoccupant, car il devient assez compliqué de savoir quand et où mettre des trottoirs. En effet, le module permettant d'extraire les données de OSM ne prend pas en compte les trottoirs qui sont séparés de la route. Il a donc fallu modifier le code de A/B Street afin d'ajouter manuellement des trottoirs lorsque c'est nécessaire.

En outre, il a aussi fallu modifier OSM à certains endroits pour les routes où il manquait effectivement des trottoirs. Ceci dans le but d'importer la plupart des arrêts et d'avoir une simulation plus précise. Voici un exemple d'attribut qui a dû être ajouté à une route pour avoir les trottoirs et importer l'arrêt qui se trouve à proximité :



FIG. 2.16 : Information sur le Chemin de Pinchat depuis Open Street Map

Source : openstreetmap.org, ref. URL10

Avec la figure 2.16, on remarque qu'ajouter des attributs aux routes est une chose assez simple à condition de bien comprendre ce que l'on fait et d'avoir lu la documentation officielle avant.

b) Lissage des trajets

D'autre part, OSM n'impacte pas seulement les arrêts et les trottoirs, mais également le tracé des lignes. Comme évoqué précédemment, certaines lignes ne sont pas importées ou ne suivent pas le bon tracé du fait que certaines données dans OSM sont erronées. Voyons deux exemples du tracé de la ligne 19 qui illustrent ces soucis récurrents dans le simulateur :

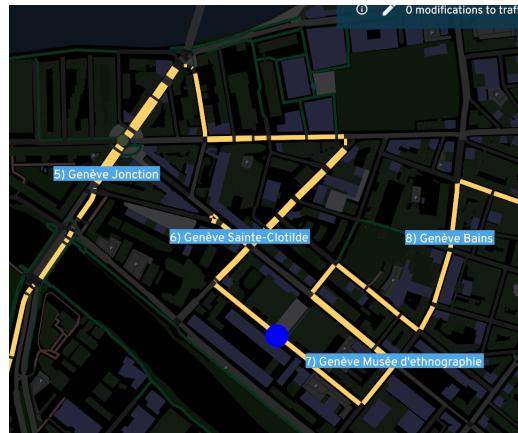


FIG. 2.17 : Tracé de la ligne 19 à la Jonction tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

Dans un premier temps, nous nous intéressons à la partie en jaune qui se situe après l'arrêt **Sainte-Clohlde**. Sur cette figure et cette partie de l'image, on remarque un problème récurrent dans OSM pour la ville de Genève.

Pour mieux comprendre le problème, voyons le tracé réel de la ligne 19 à cet emplacement :



FIG. 2.18 : Tracé de la ligne 19 à la Jonction tiré des SITG

Source : sitg.ch/app, ref. URL11

Avec la figure précédente, on remarque que le trajet n'est pas le même. Toujours en restant sur le problème situé après l'arrêt **Sainte-Clothilde** (le Boulevard Carl-Vogt) il apparaît que le problème dans le tracé est lié aux données dans OSM :

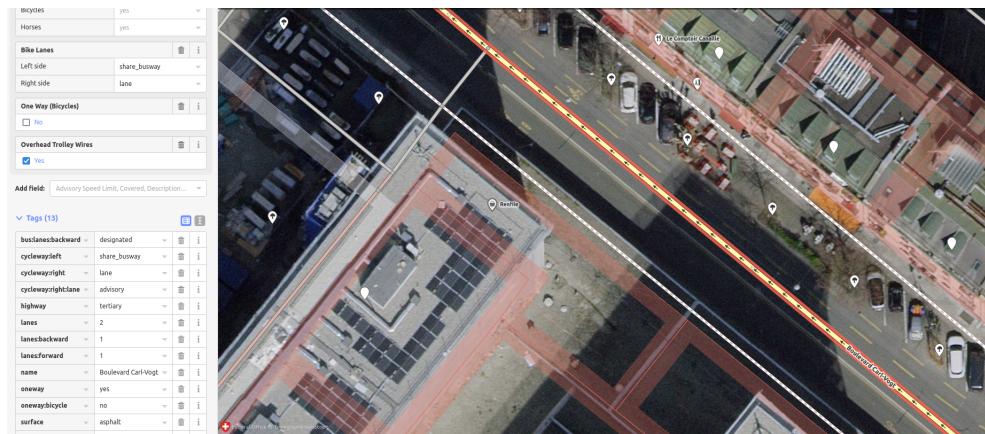


FIG. 2.19 : Informations sur le ‘Boulevard Carl-Vogt’ tirées de OSM

Source : openstreetmap.org, ref. URL10

Ce que l'on remarque ici, c'est que la rue est en sens unique. Il y a cependant une exception avec les bus qui peuvent rouler dans les deux sens. Ces spécificités ne sont souvent pas intégrées dans OSM mais sont pourtant vraiment essentielles pour que les bus puissent suivre un chemin cohérent avec la réalité.

Il a donc été nécessaire de faire des modifications de ce genre pour beaucoup de routes dans le centre-ville de Genève afin d'obtenir le résultat souhaité :

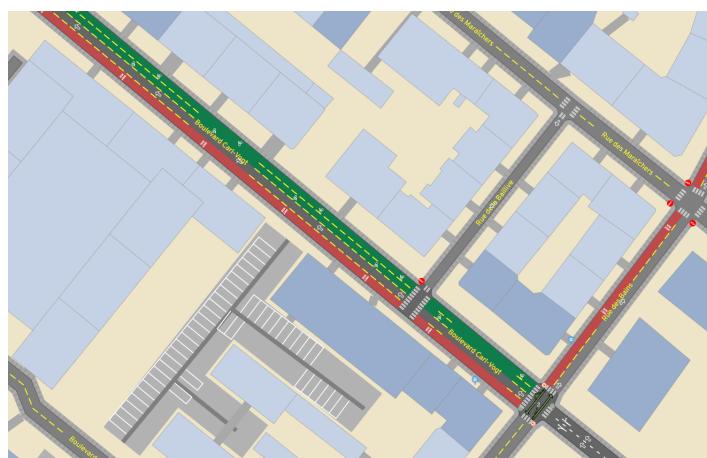


FIG. 2.20 : ‘Boulevard Carl-Vogt’ tirées de A/B Street

Source : abstreeet.org, ref. URL01

Le souci avec cette méthode, c'est qu'il n'existe aucune manière de trouver par avance où il y a des erreurs. Le seul moyen de trouver où faire les modifications, c'est de regarder au cas par cas la forme des trajets qui sont importés dans A/B Street. Cependant, on peut déjà observer que le tracé de la ligne 19 a changé pour laisser place au second problème :

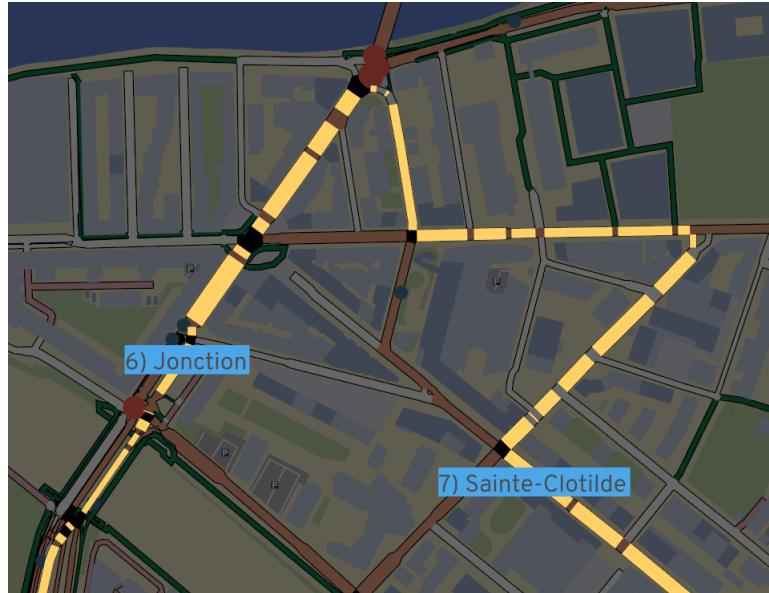


FIG. 2.21 : Second soucis avec la ligne 19 dans A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

En réalité, ce problème très fréquent est lié au fait que l'intersection empêche tous les véhicules de tourner à droite (sur la route blanche) en direction de l'arrêt suivant. Cette information est fausse puisque les bus des TPG ont le droit de tourner à droite. Il faut donc modifier les attributs de l'intersection dans OSM afin de modifier le tracé du bus 19 à cet emplacement précis :

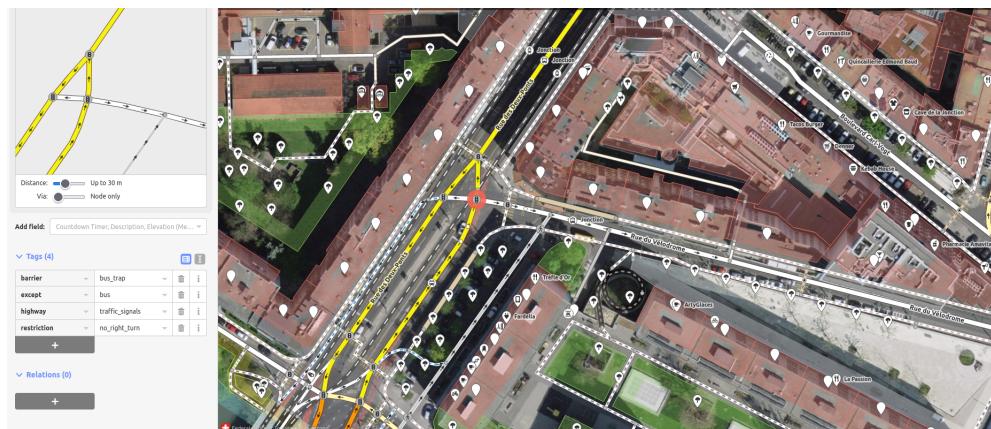


FIG. 2.22 : Intersection à la Jonction tirée de OSM

Source : openstreetmap.org, ref. URL10

Avec la figure 2.22, on remarque qu'il est possible d'interdire l'accès aux véhicules et de faire une exception pour les bus. Ceci fait, on peut donc observer le résultat de nos modifications en comparant cette partie de la ligne 19 avec le tracé des SITG illustré sur la figure 2.18 :

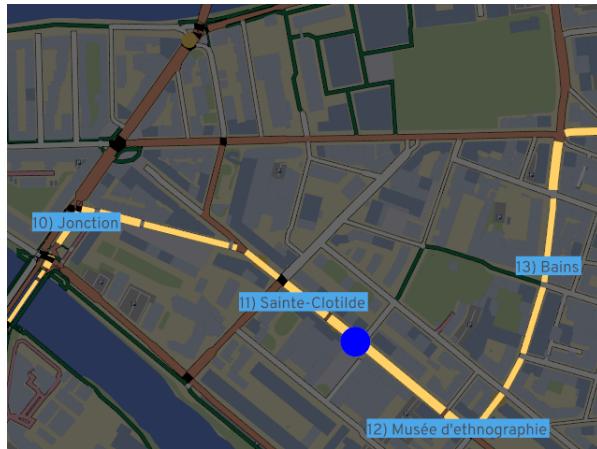


FIG. 2.23 : Intersection à la Jonction tirée de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

Nous remarquons donc l'effet de nos modifications qui doivent aussi être faites sur l'ensemble des lignes afin d'apporter plus de précisions, non seulement dans A/B Street, mais également pour tous les outils qui utilisent OSM avec la ville de Genève.

2.6. Import avec un scénario plus précis

En parallèle de ce travail assez fastidieux sur le lissage des lignes dans A/B Street et OSM, il a aussi fallu intégrer le travail de Ilias N'hairi⁵ au projet actuel. Pour ce faire, il y a eu plusieurs correctifs intéressants à apporter dans A/B Street afin de faire fonctionner le scénario avec les bus. Sans rentrer dans les détails, il arrivait à certains bus d'apparaître sur une voiture ce qui faisait planter A/B Street. Une autre erreur, plus drôle, concernait les bus qui se retrouvaient bloqués dans le trafic devant un arrêt. Les personnes descendaient et remontaient dans le bus à l'infini et le bus ne quittait jamais son arrêt même si la circulation le permettait. Il y a eu toute une liste d'erreurs à régler avant de pouvoir combiner les deux travaux.

L'intérêt de ceci réside dans le fait que nous pouvons comparer la fréquentation des TPG dans A/B Street avec les données réelles. De cette manière, il nous est possible de mesurer la qualité de nos deux projets. D'autres mesures peuvent être faites sur la qualité de l'import des données comme classer les lignes et les arrêts importés ainsi que comparer le tracé réel à celui des lignes dans le simulateur.

⁵Disponible à l'adresse : https://gitedu.hesge.ch/iliash.nhairi/population_generator

Chapitre 3 :

Résultats

3.1. Mesure des données importées

Grâce au travail effectué au cours de ce projet, nous avons maintenant un set de données avec des informations plus pertinentes et une carte avec des données plus cohérentes de par nos modifications apportées dans OSM. Il est maintenant important de mesurer la qualité de l'import actuel. Dans un premier temps, le plus simple est de regarder quelles lignes ne sont pas importées et comprendre pourquoi puis faire de même avec les arrêts.

a) Les lignes

Comme nous l'évoquions plus tôt, la plupart des lignes ont été importées avec succès. Voici deux exemples de lignes qui sont importées correctement et leurs trajets dans A/B Street :

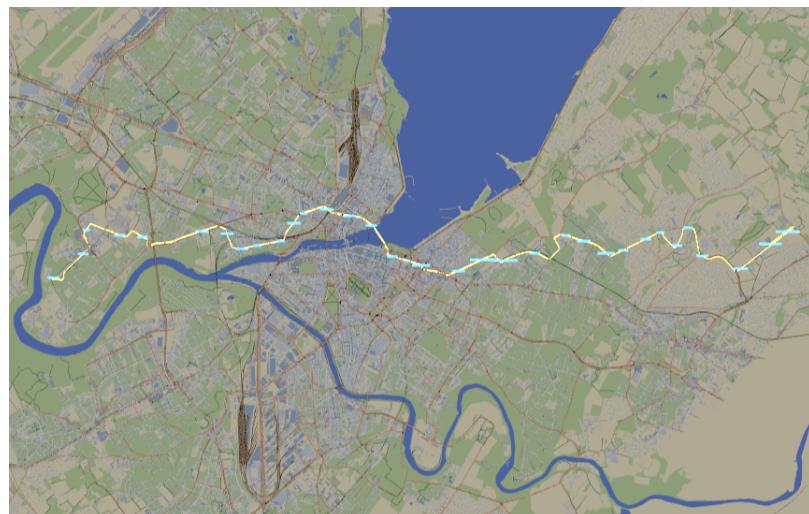


FIG. 3.1 : Tracé de la ligne 09 tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

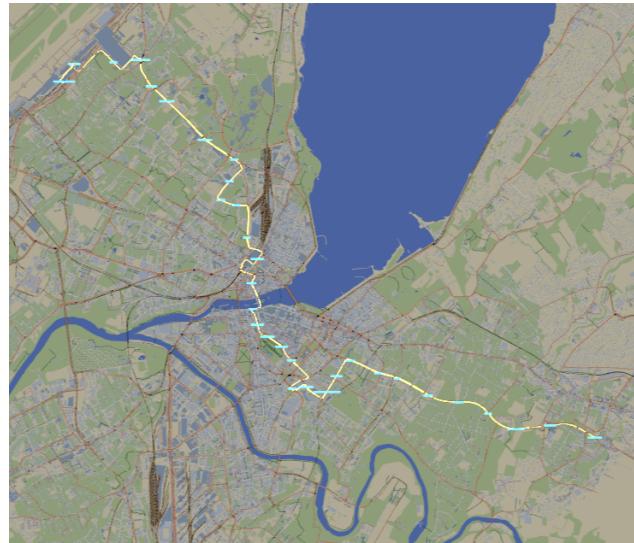


FIG. 3.2 : Tracé de la ligne 05 tiré de A/B Street

Source : abstreeet.org, ref. URL01

Il existe néanmoins certaines lignes qui ne sont pas importées dans A/B Street. Voyons l'exemple de la ligne E+ :



FIG. 3.3 : Tracé de la ligne E+ tiré de A/B Street

Source : abstreeet.org, ref. URL01

Sur la figure 3.3, on observe le tracé de la ligne E+ direction **Gare Cornavin**. En sens inverse, la ligne E+ ne peut pas être importée. Ceci est dû à l'import de la carte qui ne reproduit pas correctement une intersection au Pont du Mont-Blanc :

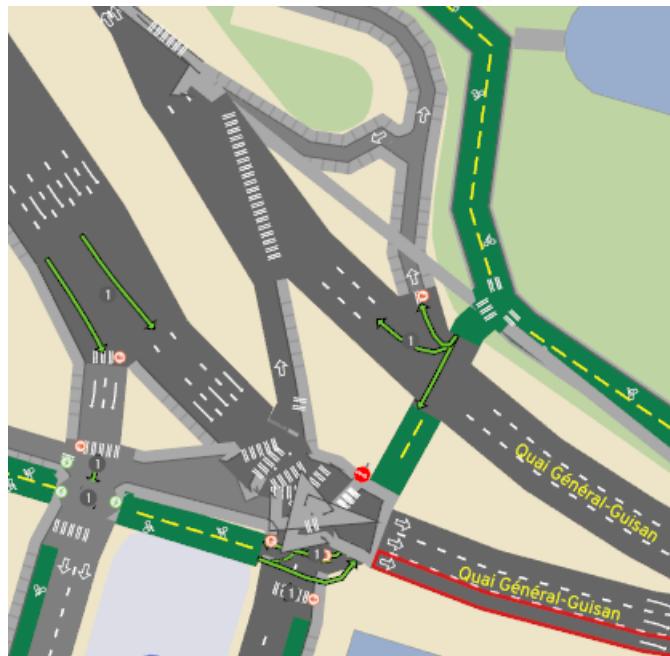


FIG. 3.4 : Intersection qui pose problème sur la ligne E+

Source : abstreeet.org, ref. URL01

La ligne E+ est censée arriver par la gauche de la figure 3.4 (la longue flèche verte) et passer par cette intersection qui n'est pas correctement importée dans A/B Street. On comprend aussi pourquoi la ligne peut être importée en sens inverse puisqu'elle ne passe pas par cette intersection douteuse. Après plusieurs tentatives et sans modifier la circulation actuelle dans OSM, il semble vraiment compliqué de régler cette erreur du fait que nous ne comprenons pas du tout d'où elle provient. De nouveau, cette ligne n'étant pas essentielle pour la simulation, nous avons fait le choix de ne pas nous attarder sur ce problème.

D'autres lignes comme le bus N, M ou 66 ne sont, elles, pas importés puisqu'ils ne comportent pas suffisamment d'arrêts en Suisse. Nous avions, en effet, évoqué le fait que l'outil Géofabrik utilisé pour importer la carte ne permet pas d'importer à la fois des données françaises et suisses et que nous étions donc forcé d'importer uniquement les lignes qui sont sur le territoire suisse.

De la même manière, nous n'avons pas importé les noctambus qui ne servent à rien dans le scénario ainsi que les lignes de bus qui bouclent. Nous pouvons tout de même nous satisfaire du fait que sur les 96 lignes (soient 192 trajets à importer) il y a 176 trajets qui sont importés avec succès. Cela, d'autant plus que la totalité des lignes non-importées sont des lignes avec une influence mineure sur la simulation des déplacements des gens.

b) Les arrêts

Concernant les arrêts, la tendance est clairement la même. Si nous n'importons volontairement pas les arrêts situés du côté français, il existe quelques arrêts (7 arrêts sur 1776 arrêts du côté suisse) qui ne sont pas importés pour diverses raisons. Cela aura alors pour effet de modifier quelque peu le trajet de certaines lignes du fait que le plus court chemin entre deux arrêts ne donne pas toujours le bon résultat s'il manque des arrêts.

Toujours sur des lignes qui ont très peu d'influence sur la simulation, voici tout de même trois exemples d'arrêts qui ne sont pas importés :



FIG. 3.5 : Problème avec l'arrêt Palexpo-Halle 7 tiré de OSM

Source : openstreetmap.org, ref. URL10

Sur cette première image, on observe que l'arrêt Palexpo-Halle 7 se situe sous un bâtiment. C'est un cas très spécifique qui ne peut pas être réglé à moins de modifier complètement la logique du simulateur avec l'affichage des bâtiments. En effet, il faudrait faire en sorte que les routes situées sous des bâtiments se comportent comme des tunnels, mais ce n'est pas facilement modifiable dans A/B Street pour l'instant.

Heureusement cet arrêt n'est utilisé que par le bus 66 (qui n'est pas importé) et le bus 54 (dont le trajet reste inchangé). Ce n'est donc pas un problème majeur pour notre simulation des déplacements.

Voici un autre exemple, toujours à l'aéroport sur la ligne 23 :



FIG. 3.6 : Problème avec l'arrêt Aéroport P47 tiré de OSM

Source : openstreetmap.org, ref. URL10

Sur la figure 3.6, on observe que l'arrêt en question est littéralement situé sur un parking. Le souci est à peu près le même qu'avec l'arrêt précédent, mais cette fois-ci, l'arrêt en question est le point de départ ou d'arrivé de la ligne 23. Le souci est à peu près le même qu'avec l'arrêt précédent, mais cette fois-ci, l'arrêt en question est le point de départ ou d'arrivé de la ligne 23.

Observons un dernier exemple dans la campagne sur le trajet du bus 56 :



FIG. 3.7 : Problème avec l'arrêt Chemin des Clys tiré de OSM

Source : openstreetmap.org, ref. URL10

Sur cette dernière figure, on observe un cas assez étrange d'un arrêt où il n'existe vraiment pas de trottoirs pour descendre. Les personnes descendent du bus dans l'herbe et cela

empêche d'importer l'arrêt du fait qu'il est indispensable, pour importer un arrêt, qu'il y ait un trottoir à proximité.

Mis à part ces quelques erreurs, nous pouvons être très satisfaits des données importées dans A/B Street, que ce soit pour les lignes et les arrêts. Nous pouvons aussi être satisfaits que les arrêts qui ne sont pas importés n'influent pas sur les tracés des lignes qui auraient pu changer.

À travers cette partie, nous avons vu que certaines lignes et arrêts n'étaient pas importés. Nous allons maintenant voir si les données importées reflètent le comportement réel des TPG.

3.2. Qualité de l'import des trajets

Pour vérifier que l'import des données est cohérent, le plus simple est de faire une comparaison des trajets réels avec ceux dans A/B Street. De plus, cela permet de valider deux facteurs en même temps. Le premier est lié au fait que les données importées depuis OSM sont correctes puisque le bus passe sans faire de détour. Le second nous permet de supposer que les arrêts sont importés correctement. Par cela, nous entendons que le bon arrêt est choisi correctement parmi ceux du même nom possible et qu'il ne perturbe pas le tracé du bus (ce qui pourrait être le cas si un arrêt n'est pas importé puisque le plus court chemin est fait entre deux arrêts successifs et pourrait donner un résultat différent si un arrêt n'est pas importé).

a) Des données issues des SITG

Pour comparer les trajets nous nous basons sur les données des SITG. Ces dernières sont très fidèles à la réalité et sont lisibles très facilement à la différence des informations publiques des TPG dont voici un extrait :

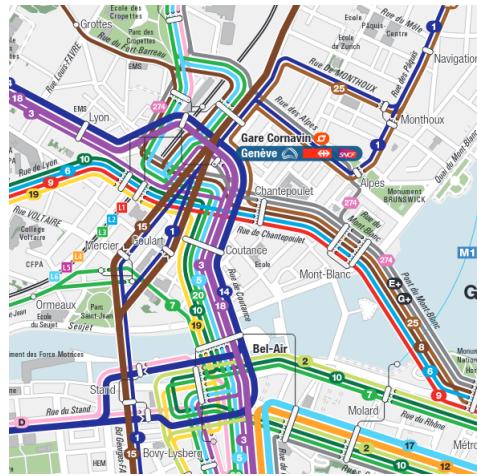


FIG. 3.8 : Extrait de la topologie des TPG

Source : tpg.ch, ref. URL07

Cette figure illustre le quartier de la **Gare Cornavin** et montre toutes les lignes qui y passent. Voici un exemple de données qui peut être tiré des SITG au même endroit :



FIG. 3.9 : Tracé de la ligne 15 tirée des SITG

Source : sitg.ch, ref. URL11

On remarque que les informations des SITG sont beaucoup plus aisément exploitables pour comparer les tracés des lignes puisqu'il nous est non seulement possible d'isoler une ligne, mais également de voir son tracé sur un plan satellite.

b) Comparaison entre le modèle et le réel

Premièrement voici plusieurs comparaisons rapides sur des lignes de bus :

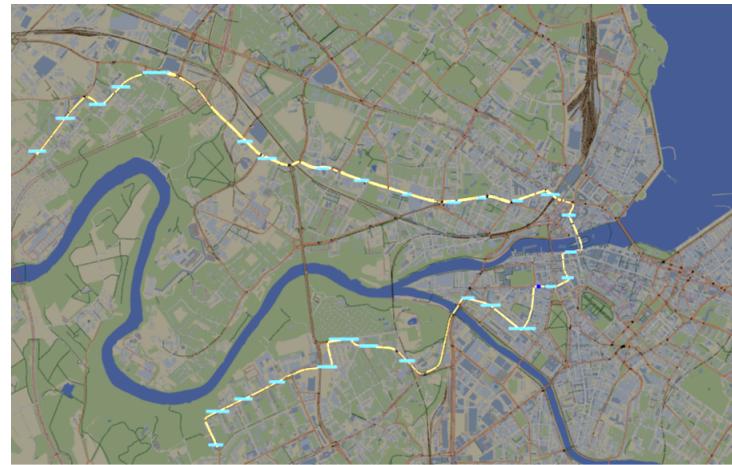


FIG. 3.10 : Tracé de la ligne 19 tiré de A/B Street

Source : abstreeet.org, ref. URL01

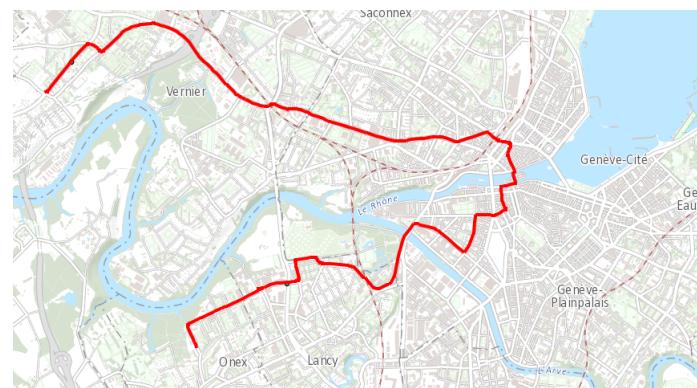


FIG. 3.11 : Tracé de la ligne 19 tiré des SITG

Source : sitg.ch/, ref. URL11

On remarque que les trajets sont en tout point les mêmes pour cette ligne.

Ici aussi, on retrouve beaucoup de similarités entre les deux figures précédentes.

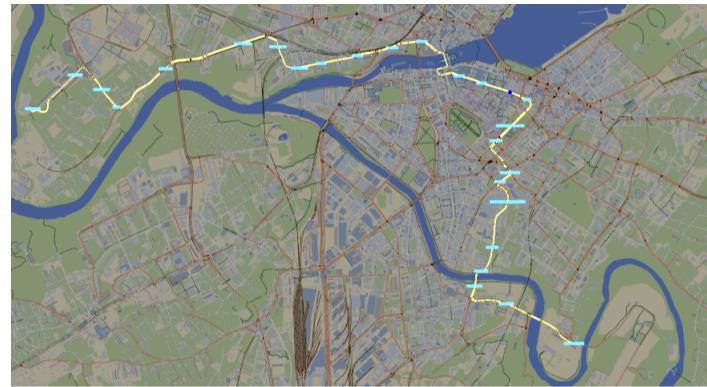


FIG. 3.12 : Tracé de la ligne 7 tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

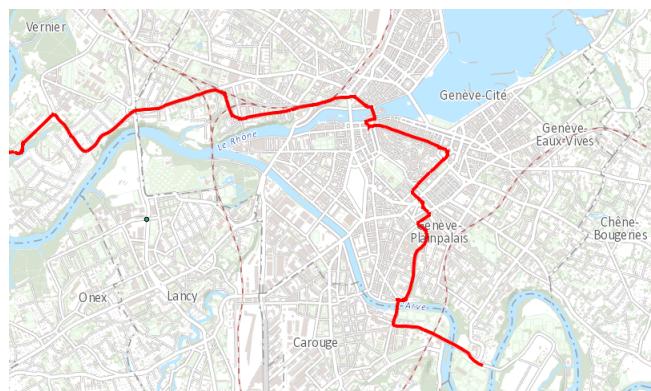


FIG. 3.13 : Tracé de la ligne 7 tiré des SITG

Source : sitg.ch/, ref. URL11

Ici aussi, on retrouve beaucoup de similarités entre les deux figures précédentes illustrant les tracés de la ligne 7.

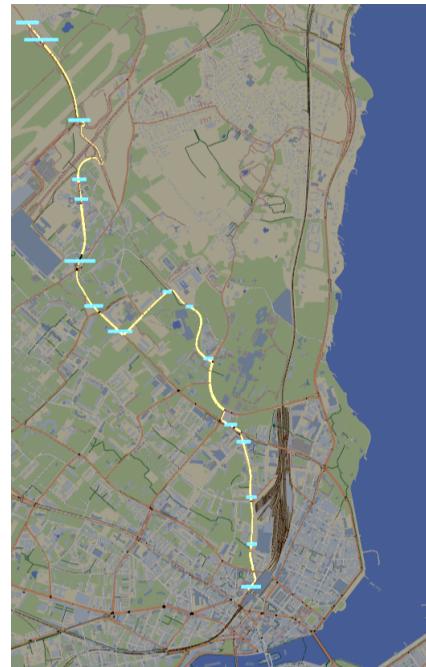


FIG. 3.14 : Tracé de la ligne F tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

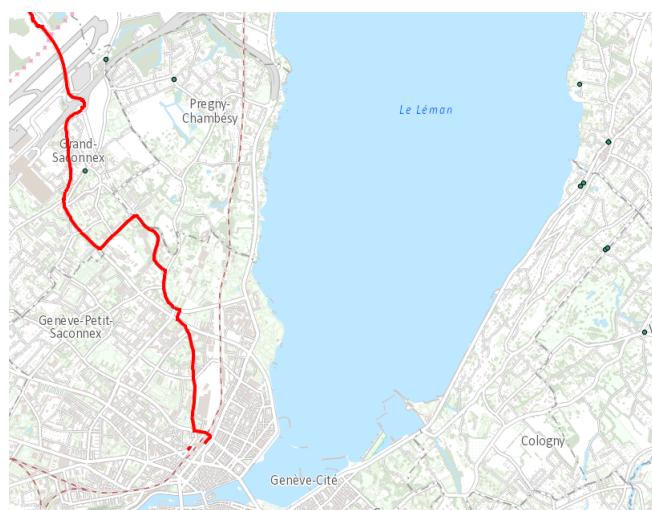


FIG. 3.15 : Tracé de la ligne F tiré des SITG

Source : sitg.ch/, ref. URL11

Dans un cas un peu particulier du fait que la ligne F ne soit importée que partiellement (uniquement le côté suisse), on remarque également que l'import est cohérent avec la réalité.

Il existe en revanche quelques lignes dont les trajets sont moins précis comme la ligne 1 :

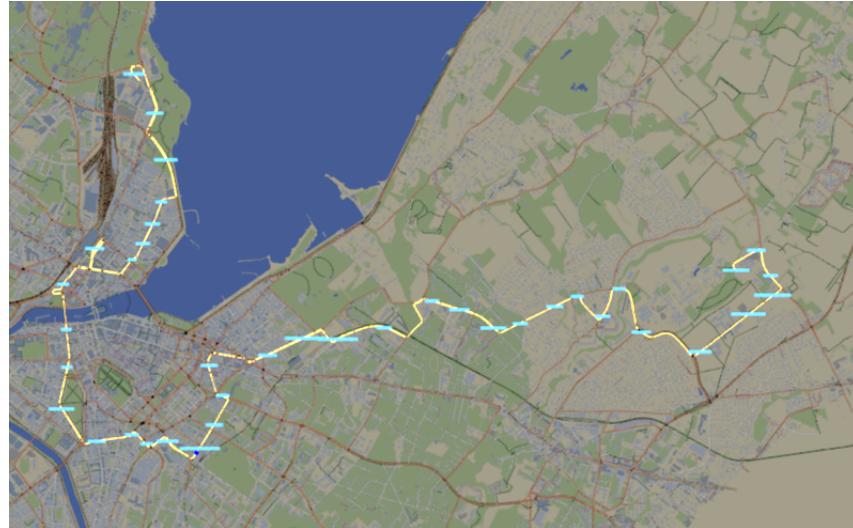


FIG. 3.16 : Tracé de la ligne 1 tiré de A/B Street

Source : abstreeet.org, ref. URL01

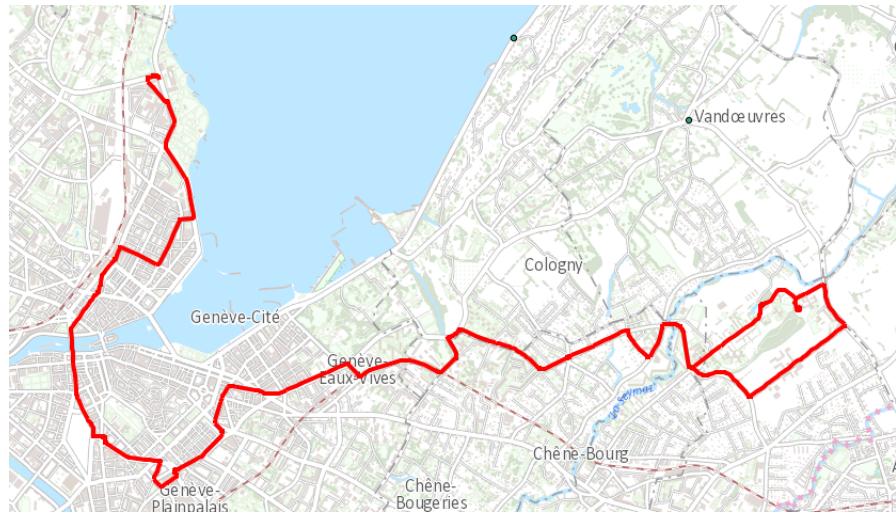


FIG. 3.17 : Tracé de la ligne 1 tiré des SITG

Source : sitg.ch/, ref. URL11

On constate une petite erreur sur la figure 3.16 au niveau de la Gare Cornavin. Ceci est dû à un problème d'import où A/B Street ne parvient pas à reproduire correctement une intersection par laquelle le bus 1 est censé passer. En revanche, ce qui pourrait ressembler à une erreur si nous regardons la figure 3.17 n'en est en fait pas une puisque les SITG, pour cette ligne, représente les différents trajets qui ont pour terminus l'arrêt Hôpital-Trois-Chênes. Il faut donc imaginer que le bus ne passe que pas un des deux tracés en rouge sur la droite de l'image (en l'occurrence, celui du bas).

Voici aussi un exemple qui démontre le fait que les lignes qui bouclent ne doivent pas être importées pour l'instant dans A/B Street :

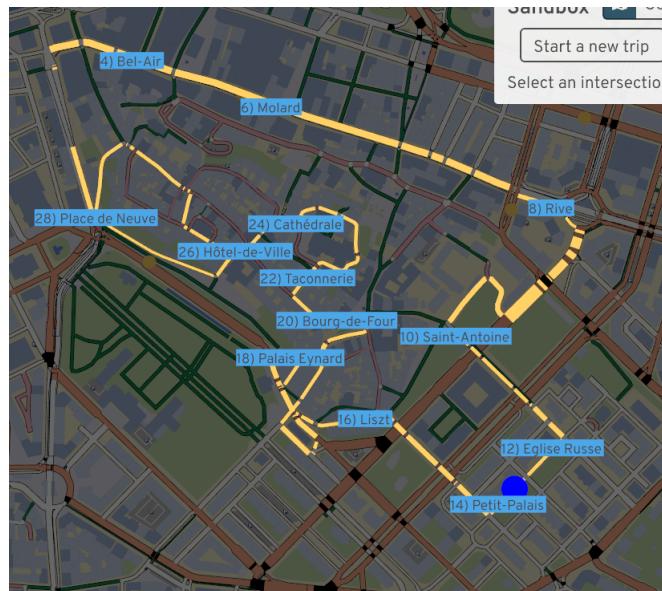


FIG. 3.18 : Tracé de la ligne 36 tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01



FIG. 3.19 : Tracé de la ligne 36 tiré des SITG

Source : sitg.ch/, ref. URL11

On observe que la circulation y est vraiment complexe et ce n'est ni la faute des données de OSM ni du set de données GTFS. Le problème est lié à la recherche du plus court chemin qui ne se comporte pas correctement à cause de la ligne qui boucle. Nous pouvons donc dire qu'au vu du nombre de problèmes que nous posent les lignes qui bouclent, il semble judicieux de ne pas les importer pour l'instant d'autant plus qu'elles n'apportent pas grand-chose à la simulation.

Voyons maintenant le cas de la ligne de tramway 12 :

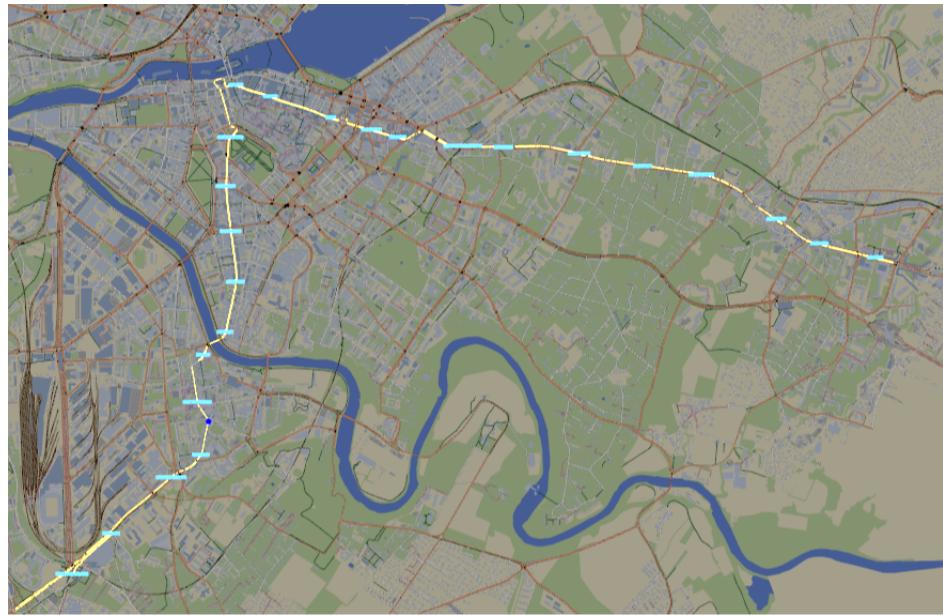


FIG. 3.20 : Tracé de la ligne 12 tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

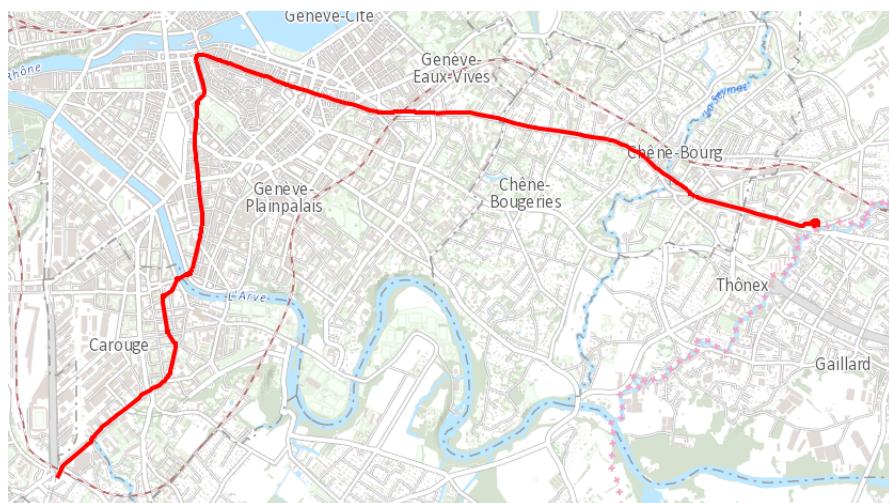


FIG. 3.21 : Tracé de la ligne 12 tiré des SITG

Source : sitg.ch/, ref. URL11

Malgré le fait que les tramways soient considérés comme des bus, on observe sur ces deux figures précédentes que le tracé de la ligne 12 direction Lancy-Bachet-Gare est quasiment parfait. Regardons maintenant le tracé de la ligne 12 dans l'autre sens (**Moillesulaz**) :

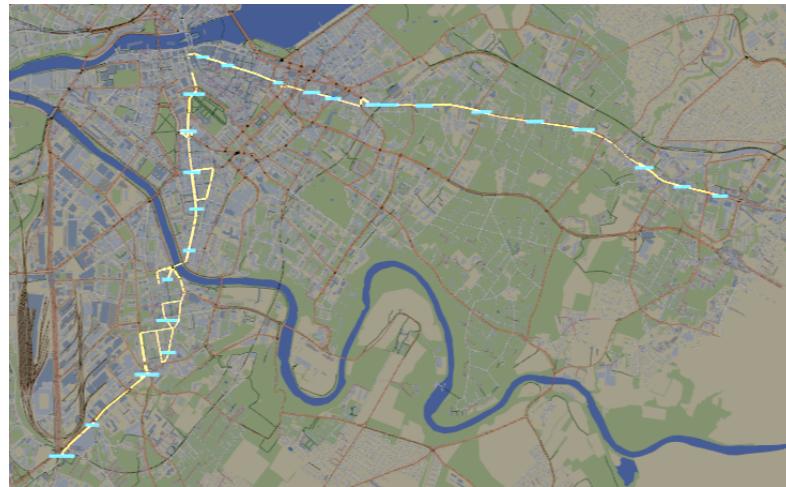


FIG. 3.22 : Tracé de la ligne 12 tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

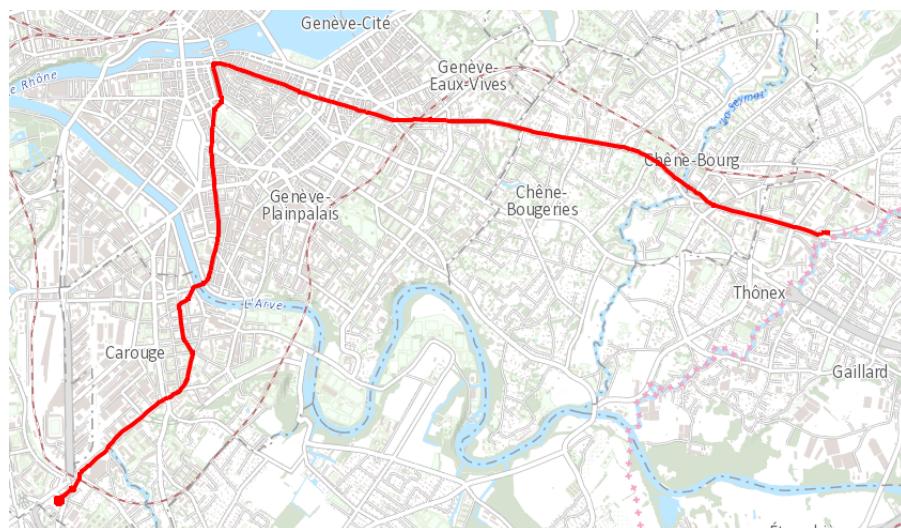


FIG. 3.23 : Tracé de la ligne 12 tiré des SITG

Source : sitg.ch/, ref. URL11

Avec ces deux figures, on remarque, cette fois-ci, que le tracé n'est plus du tout précis. C'est un problème qui intervient uniquement avec les lignes de tramways. En effet, ces dernières sont considérées comme des lignes de bus. Ceci implique des conséquences sur les routes comme à l'intersection suivante :

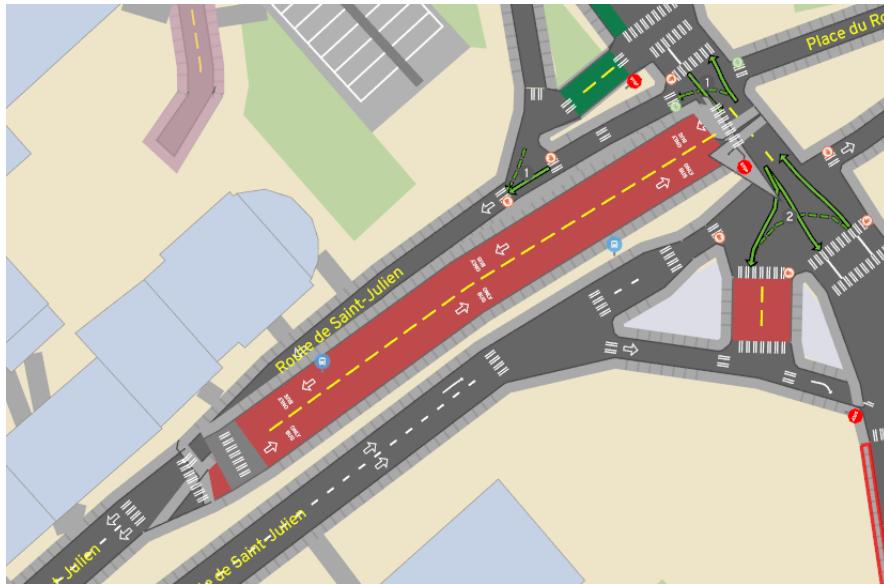


FIG. 3.24 : Intersection posant problème sur la ligne 12 tiré de A/B Street

Source : abstreeet.org, ref. URL01

Sur la figure 3.24 on observe que la ligne de bus Sur la figure 3.24, on observe que la ligne de bus s'arrête subitement. Cela est dû à la mauvaise interprétation de A/B Street qui identifie une ligne de tramway comme une ligne de bus. De ce fait, le tramway (qui est en fait un bus) ne passe pas par cette route et doit donc faire un léger détours.

Outre les quelques problèmes avec ces lignes, nous pouvons dire que l'import est assez précis pour simuler correctement les déplacements des gens dans le canton de Genève.

c) Les limites de Open Street Map

Il existe néanmoins une autre ligne qui n'est pas très bien importée. Dans un sens, la ligne 5 possède un trajet qui dévie un tout petit peu du vrai tracé :

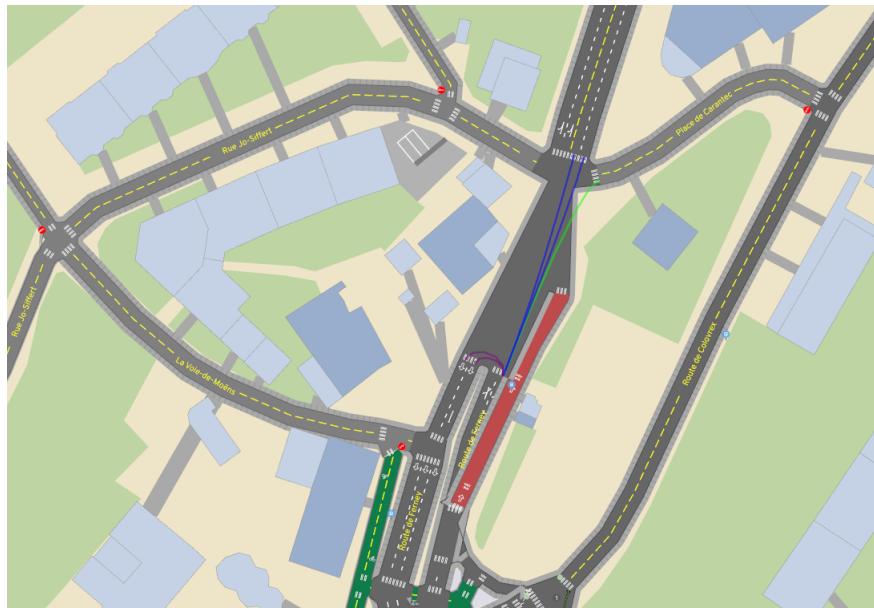


FIG. 3.25 : Intersection posant problème sur la ligne 5 tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

Sur cette image, on suppose qu'un bus de la ligne 5 est situé sur la voie de bus en rouge. À partir de ce point, il est possible d'avancer tout droit (flèche bleue), de tourner à droite (flèche verte) ou de faire demi-tour (flèche violette). Il n'est cependant pas possible de tourner à gauche. En réalité, les voitures n'ont effectivement pas le droit de tourner à gauche alors que les bus peuvent. C'est un problème que nous avions déjà évoqué plus tôt et que nous sommes en mesure de régler.

Le souci, cette fois-ci, est qu'un utilisateur de OSM bloque cette modification sans raison (alors que la modification apporte plus de précision). Nous avons eu beau retenter, il semblerait que la personne n'ait pas envie que les bus puissent tourner à gauche alors qu'ils devraient pouvoir.

Ce qui est intéressant ici, c'est que ce problème nous rappelle que OSM est un outil collaboratif. Nous ne sommes donc pas à l'abri de voir certaines données modifiées comme celle-ci alors qu'elles sont cohérentes avec la réalité. De manière générale, dès qu'il y a une modification sur la ville de Genève, cela peut impacter en bien ou en mal la simulation et nous n'avons malheureusement aucun contrôle sur les données importées. Il faut juste espérer que les modifications soient faites pour améliorer OSM et non pas pour un but précis comme c'est le cas pour l'usager qui bloque la ligne 5.

3.3. Qualité de la modélisation des déplacements

À travers cette première validation, on peut donc dire que les trajets sont majoritairement très bien importés dans A/B Street. Afin de faire une double validation avec le travail de Ilias N'hairi(7), il pourrait alors être intéressant de comparer le nombre de personnes qui prennent un bus à une certaine heure dans A/B Street avec des données transmises par les TPG.

a) Des données fournies par les TPG

Contactés au début du projet, les TPG nous ont transmis des données sur la fréquentation des bus aux différentes heures de la journée pour les mois d'octobre et novembre 2021. Le travail à réaliser est donc de faire une moyenne des fréquentations d'une ligne à une certaine heure. On fait la moyenne sur toute la plage de données, soit un mois afin de connaître l'évolution du nombre de personnes qui sont dans les différents bus.

b) Mesure des déplacements en transports en commun dans A/B Street

Du côté de la simulation, on réalise un petit programme permettant d'extraire de A/B Street le nombre de personnes qui sont dans un bus donné à une heure arbitraire. Ici aussi, on fait une moyenne sur cinq exécutions afin d'éviter tout cas exceptionnel dans le scénario. Ensuite, on compare ces deux résultats sous la forme de graphiques qui décrivent, pour chaque arrêt du point de départ vers le terminus, le nombre de personnes actuellement dans le bus.

Premièrement, avant de regarder quels sont les résultats, on peut déjà supposer que la représentation du nombre de personnes dans le bus devrait à peu près ressembler à une gaussienne. En effet, il y a logiquement plus de personnes qui montent au début et plus de personnes qui descendent à la fin. Nous devrions donc nous attendre à avoir un pic de fréquentation aux arrêts importants comme Bel-Air ou aux arrêts qui se trouvent au milieu du trajet.

Il est aussi important de rappeler qu'au-delà de l'import des TPG dans A/B Street et des résultats, cela permet surtout de valider le fait que notre simulation est cohérente avec la mobilité genevoise. Ceci dépend en très grande majorité du scénario généré puisque c'est lui qui orchestre les déplacements.

Voici un premier exemple avec la ligne 6 :

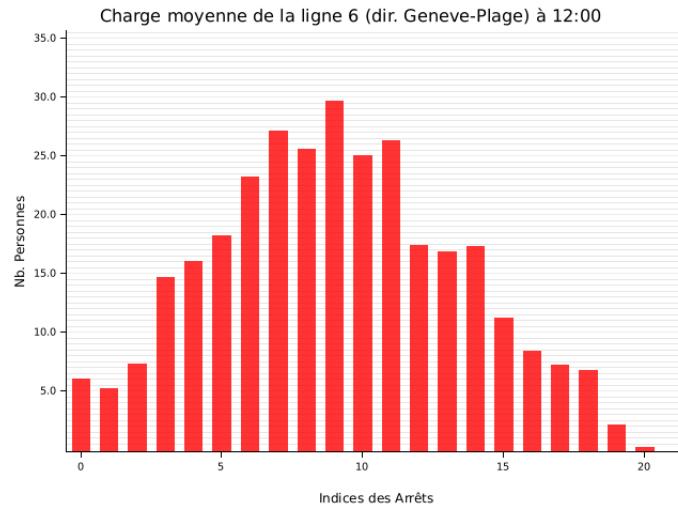


FIG. 3.26 : Graphique de la charge moyenne de la ligne 6 tiré de A/B Street

Source : abstreeet.org, ref. URL01

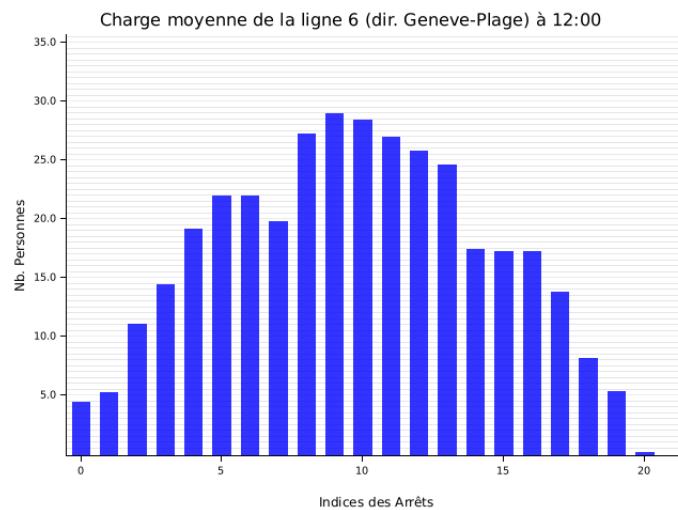


FIG. 3.27 : Graphique de la charge moyenne de la ligne 6 tiré des TPG

Source : tpg.ch, ref. URL07

Sur cette première comparaison, on observe, en rouge, les données tirées de A/B Street et en bleu, les données tirées des TPG. Nous pouvons remarquer que la tendance est plutôt similaire. De ce fait, nous pouvons affirmer que, pour la ligne 6 dans un sens et à une certaine heure, notre simulation reflète assez bien le comportement réel.

Voyons maintenant comment s'organisent les déplacements dans un tramway avec la ligne 15 :

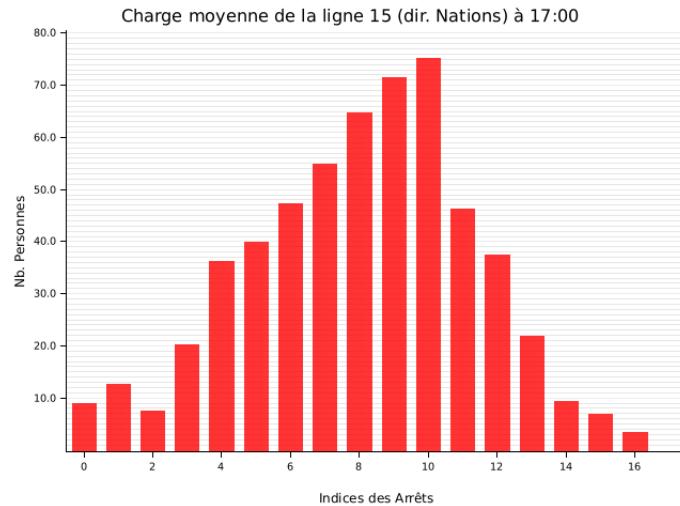


FIG. 3.28 : Graphique de la charge moyenne de la ligne 15 tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

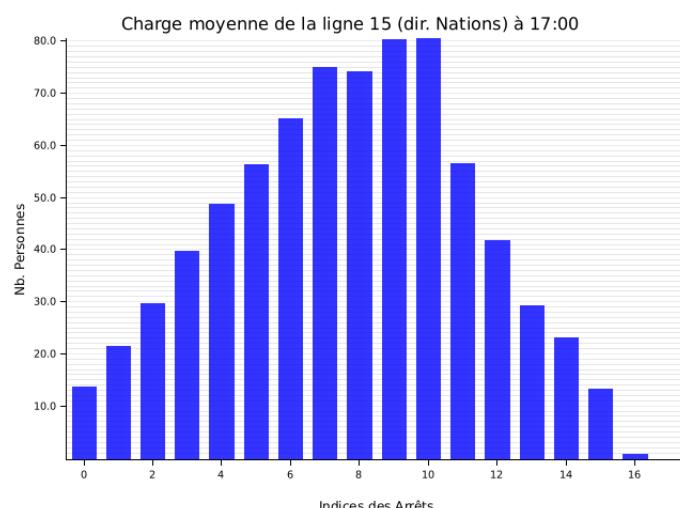


FIG. 3.29 : Graphique de la charge moyenne de la ligne 15 tiré des TPG

Source : tpg.ch, ref. URL07

Ici aussi, on observe que les données sont plutôt similaires. Un autre point intéressant est que la charge moyenne du trafic est bien plus importante dans A/B Street pour un tramway que pour un bus. C'est assez encourageant puisque nous nous attendions à ce que les bus et les tramways aient autant de personnes à bord. Ceci nous permet donc de conclure que les lignes de tramways sont créées pour passer là où il y a beaucoup de demande et que la répartition en sous-secteurs statistique de la population est plutôt cohérente avec la réalité.

Observons dès lors le cas de la ligne 19 :

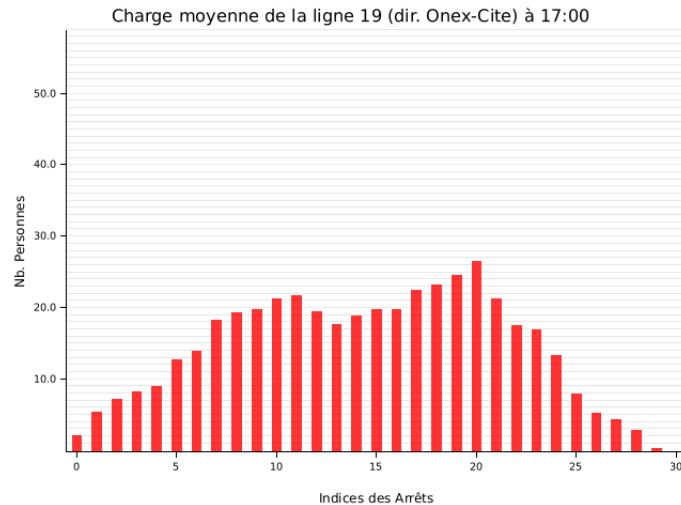


FIG. 3.30 : Graphique de la charge moyenne de la ligne 19 tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

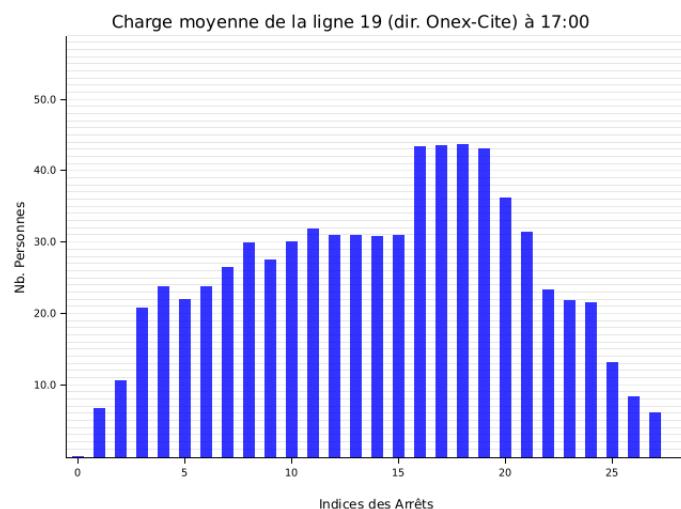


FIG. 3.31 : Graphique de la charge moyenne de la ligne 19 tiré des TPG

Source : tpg.ch, ref. URL07

Cette fois-ci, nous pouvons observer que les données sont beaucoup moins cohérentes avec la réalité. Même si la charge moyenne est du même ordre de grandeur, on observe bien que la courbe ne suit pas tout à fait la même tendance.

On peut tout de même noter que la forme est celle d'une gaussienne. Sans avoir de réelles suppositions, nous pouvons supposer que ces variations, qui interviennent lorsque les gens rentrent du travail, sont peut-être liés aux emplacements qui sont choisi pour y envoyer les gens la journée. En effet, les gens se déplacent à un certain endroit pour travailler et nous pouvons alors questionner le choix de ces emplacements de travail.

Enfin, voici une dernière comparaison pour la ligne 22 :

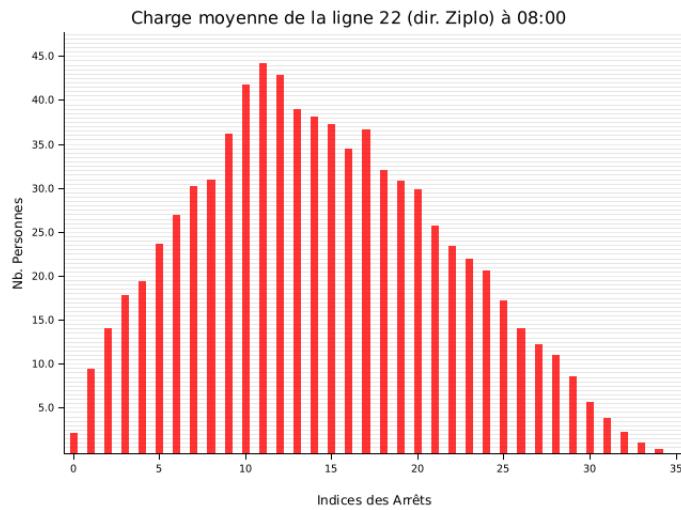


FIG. 3.32 : Graphique de la charge moyenne de la ligne 22 tiré de A/B Street

Source : abstreet.org, ref. URL01

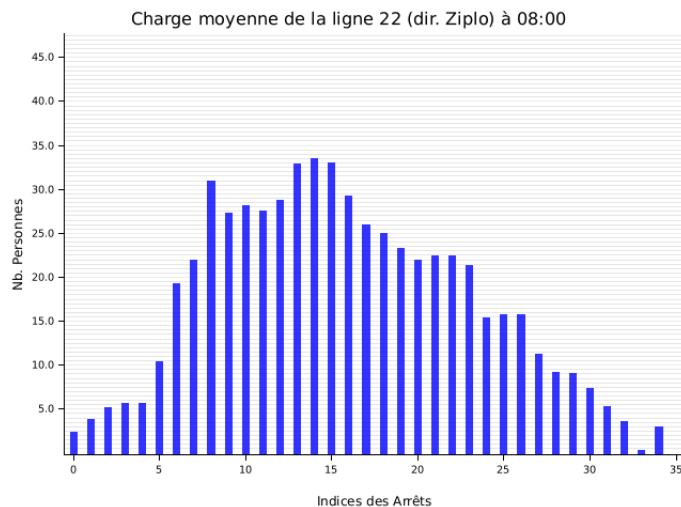


FIG. 3.33 : Graphique de la charge moyenne de la ligne 22 tiré des TPG

Source : tpg.ch, ref. URL07

Sur ces deux dernières figures, nous pouvons observer que les courbes ne sont pas non plus tout à fait similaires. Cependant, pour ce cas de figure, ce qui varie grandement, c'est la charge moyenne qui n'est pas vraiment la même. Pour cet exemple, nous n'avons pas réellement d'explications si ce n'est que les gens prennent beaucoup le bus à cet endroit-là. Le problème est donc principalement lié au scénario.

Une autre explication serait que le scénario utilisé simule les déplacements de 10 % des gens dans le canton de Genève. Nous avons donc naïvement multiplié nos résultats par 10 pour avoir la charge totale sur la même échelle que celle fournie par les TPG. Il est donc très probable que nous perdions en précision à cause de cela.

Avec ces quelques exemples, nous constatons tout de même que la simulation présente des résultats très satisfaisant qui pourraient être améliorés par la suite.

3.4. Perspectives d'améliorations

Pour gagner en précision dans la simulation des déplacements des gens dans le canton de Genève, il existe différents axes qui peuvent faire l'objet de futurs travaux. Premièrement, on pourrait imaginer un outil permettant d'importer à la fois des données de France et de Suisse. Ainsi, il serait possible d'ajouter plusieurs lignes comme le bus N ou le 66 qui ne sont actuellement pas importés. Nous pourrions aussi suggérer d'intégrer à A/B Street un autre moyen de déplacement afin que les tramways puissent avoir leurs propres lignes et ne soient plus considérés comme des bus.

Une autre idée, cette fois-ci, plus complexe à mettre en place serait de faire un outil d'import séparé, uniquement pour Genève afin d'importer correctement les trottoirs et les transit-plateforme ou tout autre données qui sont spécifiques au canton de Genève comme les lignes de bus qui bouclent ou les noctambus qui pourraient être intégré à un nouveau scénario.

Il ne semble plus y avoir de modifications à faire sur le set de données GTFS qui semble bien aboutit maintenant. Cependant, il serait judicieux de continuer à apporter des modifications dans OSM afin d'avoir une carte plus précise et de faire une simulation plus cohérente avec la mobilité genevoise.

Conclusion

Le but général de ce projet est de modéliser les déplacements des gens dans le canton de Genève. Si ce travail pourrait aussi servir dans la prévention d'épidémie, l'objectif premier reste de comprendre comment les gens se déplacent afin d'aider à la planification urbaine. À l'aide du travail de Ilias N'hairi, nous avons su modéliser les déplacements des gens avec différents moyens de transport dont les TPG qui devaient être importés manuellement du fait que les réseaux de transports en commun sont propres à une ville.

Pour réaliser ce travail, nous nous sommes basé sur le projet de Dustin Carlino, A/B Street, qui répond à tous nos besoins pour la simulation. Premièrement, nous avons vu comment fonctionne le module d'import de cartes collaboratives avec OSM qui nous permet de faire une simulation sur la ville de Genève très facilement. Ensuite, en décrivant le fonctionnement de A/B Street et en évoquant la manière dont les déplacements des gens sont gérés sur le simulateur, nous avons vu que l'import des bus n'était, jusqu'alors, pas ajouté au projet.

À travers une structure de données GTFS standardisée par Google, nous avons expliqué comment isoler les données des TPG du reste de la structure mise à disposition par la Plateforme des Open-Data pour la mobilité en Suisse. En revenant sur certains points-clés comme la création du fichier shapes.txt, nous avons aussi discuté de l'import actuel qui ne prend pas en compte les horaires en expliquant ce que tout cela implique. En revenant sur les nombreuses modifications qu'il a fallu apporter comme les ajouts d'arrêts grâce aux SITG ou encore la modification des données dans OSM, nous avons discuté de toutes les étapes nécessaires à un import précis des lignes et des arrêts dans le jeu sérieux.

Enfin, nous avons mesuré la qualité de l'import en comparant le tracé réel avec celui de A/B Street pour plusieurs lignes. Nous avons aussi mesuré le taux de fréquentation moyen d'une ligne en fonction de la journée. Pour ce faire, nous avons comparé les données issues de nos travaux communs avec Ilias N'hairi avec les données transmises par les TPG afin de savoir si notre modélisation des déplacements est fidèle à la réalité.

Durant ce travail de semestre, il a été très intéressant de travailler sur un projet concret comme A/B Street afin de visualiser ce à quoi ressemble un projet de grande ampleur. Il a été également intéressant de réaliser un programme pour isoler les données GTFS en s'appuyant sur des données fournies par des entreprises externes. En effet, on se rend plus facilement compte que ce qui nous est mis à disposition gratuitement n'est pas toujours pratique à utiliser et que les standards (comme le fichier shapes.txt) ne sont pas toujours respecté. Avec le recul, il est vrai que le set de données GTFS ne suffit clairement pas à lui seul pour modéliser le réseau des TPG dans A/B Street.

Un autre point intéressant à soulever est le comportement général du simulateur. D'abord basé sur la ville de Seattle, on se rend vite compte des différences dans le comportement des gens entre l'Amérique et l'Europe. Par exemple, le modèle permettant aux vélos de se déplacer est le même que celui pour les voitures. D'après Dustin Carlino, on peut donc considérer qu'un vélo est une voiture avec sa propre route. Ceci pose plusieurs problèmes dans la simulation auxquels il n'avait pas pensé du fait que très peu de monde utilise le vélo dans les grandes villes américaines. Un autre exemple est celui des intersections dans OSM. Nous avons vu plusieurs fois que OSM n'est pas complètement précis et ceci peut aussi être dû à la complexité naturelle des routes dans le centre de Genève. Sur tout le continent américain, les grandes villes suivent un plan hippodamien (forme de damier) qui rend les imports beaucoup plus simples qu'en Europe.

Comme nous pouvions le dire plus tôt, il est vrai que l'import actuel semble tout à fait convenable pour les simulations à faire. Il pourrait gagner davantage en précision si les tramways pouvaient avoir un comportement différent de celui des bus par exemple. Un autre axe d'amélioration pourrait être de modifier l'outil Géofabrik afin d'importer à la fois des données pour la Suisse et pour la France. De cette manière, il serait non seulement possible d'importer toutes les lignes et tous les arrêts, mais aussi d'être bien plus précis dans la simulation des déplacements des gens dans le canton de Genève.

Chapitre 4 :

Annexes

4.1. Installer et exécuter le simulateur A/B Street

a) Prérequis

Premièrement, il vous faut installer une version de Rust stable sur votre machine (au moins la version 1.58). le procédé pour l'installation est disponible sur la [documentation officielle](#).

- Sur Windows, il faudra sans doute installer Visual Studio 2019
- Sur Linux vous pouvez utiliser la commande :

```
sudo apt-get install libasound2-dev libxcb-shape0-dev libxcb-xfixes0-dev  
libpango1.0-dev libgtk-3-dev
```

Il vous faudra aussi installer Docker et GIT sur votre machine en fonction de votre système d'exploitation.

b) Exécution de A/B Street sur une machine Linux

Télécharger le repos git de A/B Street avec la commande :

```
git clone https://github.com/thomasdgr/abstreet
```

Ensuite, en vous déplaçant dans le dossier téléchargé avec la commande cd,

- pour importer la ville de Genève :

```
./import.sh --raw --map --city=ch/geneva
```

- pour importer le plus petit package nécessaire à faire tourner la ville de Seattle :

```
cargo run --bin updater -- download --minimal
```

Une fois les données de votre choix téléchargées, vous pouvez démarrer le simulateur avec la commande :

```
cargo run --bin game --release -- --dev data/system/ch/geneva/maps/center.bin  
--infinite-parking --disable-turn-conflicts
```

Pour plus d'informations sur les fonctionnalités disponibles et sur A/B Street de manière générale :

- la documentation utilisateur
- la documentation développeur

4.2. Projet sur l'analyseur de données GTFS

Pour toute utilisation du projet, se référer à la documentation du repo git

Références documentaires

1. HERVÉ, Montfort. *La Mobilité des habitants du Canton de Genève* [en ligne]. Rapport de {Statistique}. Genève : République et Canton de Genève, 2019. [Consulté le 30 juin 2022]. Disponible à l'adresse : <https://statistique.ge.ch/tel/publications/2019/analyses/communications/an-cs-2019-59.pdf>
2. DENIS, Berdoz. *Rapport Annuel de Gestion 2020* [en ligne]. Rapport de {Gestion}. Genève : République et Canton de Genève, 2020. [Consulté le 15 mars 2022]. Disponible à l'adresse : https://www.tpg.ch/sites/default/files/2021-07/TPG-RAG2020_WEB_pageparpage_FINAL.pdf
3. *Référence / Static Transit* [en ligne]. novembre 2021. [Consulté le 15 mars 2022]. Disponible à l'adresse : <https://developers.google.com/transit/gtfs/reference?hl=fr>
4. *Open data platform mobility Switzerland / Open data platform for customer information on Swiss public transport* [en ligne]. [Consulté le 15 mars 2022]. Disponible à l'adresse : <https://opentransportdata.swiss/en/>
5. *SITG / Carte interactive* [en ligne]. [Consulté le 15 mars 2022]. Disponible à l'adresse : https://www.etat.ge.ch/geoportail/pro/?portalresources=TPG_ARRETS
publisher : République et Canton de Genève
6. *OpenStreetMap* [en ligne]. [Consulté le 15 mars 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.openstreetmap.org/>
7. N'HAIRI, Ilias. *Répartition de la population dans le canton de Genève et étude de leurs déplacements, Gradechelor* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://sitehepia.hesge.ch/diplome/ITI/2022/documents/N'Hairi-605>
8. N'HAIRI, Ilias. *ABstreet, répartition de la population en sous-secteurs statistiques Genève* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://gitedu.hesge.ch/ilias.nhairi/population_generator
9. CARLINO, Dustin. *A/B Street* [en ligne]. Github repository. [Consulté le 15 mars 2022]. Disponible à l'adresse : <https://github.com/a-b-street/abstreet#ab-street>

10. KLABNIK, Steve et NICHOLS, Carol. *The Rust programming language*. San Francisco : No Starch Press, 2018. ISBN 9781593278281.
11. MALASPINAS, Orestis Pileas. *Malaspinas.academy* [en ligne]. [Consulté le 15 mars 2022]. Disponible à l'adresse : <https://malaspinas.academy/>
12. *La vie mobile / tpg transports publics genevois* [en ligne]. [Consulté le 15 mars 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.tpg.ch/fr>