



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Faculté de l'Environnement Naturel, Architectural et Construit
Section des Sciences et Ingénierie de l'Environnement

Projet de Master :

Modélisation multi-agents des flux de spectateurs pour la gestion des accès en transports privés au Paléo Festival de Nyon

Paul CORNIOLEY

Superviseur :
Stéphane JOOST

Expert externe :
Joël CHETELAT

Lausanne, EPFL, le 7 août 2014

Contact :
paulcornioley@gmail.com

Résumé

Le Paléo Festival de Nyon est une des plus grandes manifestations culturelles suisses. Il rassemble plus de 36'000 spectateurs par jour pendant près d'une semaine. Cette affluence est considérable pour la région et génère d'importants flux de personnes. C'est pourquoi, Paléo a mis en place un vaste plan de mobilité, afin de favoriser l'utilisation des transports en commun.

Néanmoins, malgré ce plan de mobilité, il arrive souvent que des embouteillages importants se forment aux sorties d'autoroute proches du festival et que les transports en commun soient bondés aux heures d'affluence. Il est donc important pour Paléo de disposer d'outils permettant la prédiction des flux de spectateurs pour améliorer la gestion de la mobilité.

Les objectifs de ce travail sont d'évaluer les flux de véhicules se rendant au Paléo à l'aide d'une modélisation multi-agents et d'identifier les axes saturés aux abords du festival.

Paléo dispose de données variées sur les spectateurs. Les principales sources de données utilisées dans cette recherche sont la billetterie internet de 2013, qui renseigne sur la provenance des spectateurs, et une enquête menée par le Lasur¹, qui contient la répartition modale des spectateurs.

Le logiciel de microsimulation du trafic de l'Institut des Systèmes de Transport du Centre allemand pour l'aéronautique et l'aérospatial², SUMO (Simulation of Urban Mobility), a permis de modéliser les flux de véhicules.

De manière générale, les résultats de la simulation concordent avec la situation de trafic pendant Paléo. Des embouteillages importants à la sortie d'autoroute de Nyon ainsi qu'aux entrées des parkings ont été observés. En revanche, il a été constaté que les flux sont probablement sous-estimés et la simulation n'est pas bien calibrée sur les données réelles de trafic. Par ailleurs, davantage d'observations du trafic pendant Paléo permettraient d'affiner et de calibrer la simulation.

1. lasur.epfl.ch. Consulté le 19 juin 2013.

2. <http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx>. Consulté le 9 juin 2014.

Abstract

Paléo Festival is one of the most important cultural events of Switzerland. The festival gathers more than 36'000 visitors per day during almost a week. This attendance is not negligible for the region of Nyon and generates important flows of people. This is why, Paléo created a large mobility plan in order to encourage the use of public transportation.

Despite this mobility plan, traffic jams are frequent on motorway exits near the festival and public transportations are packed during rush hour. Therefore, it is important for Paléo to have access to tools allowing a better prediction of the spectators' flows to improve the management of the mobility.

The objectives of this work are to evaluate the vehicular flows getting to Paléo thanks to multi-agents simulations and to identify saturated roads near the festival.

Paléo gathered various data about the visitors. The main data used in this research are the 2013 online ticket service, which gives information about the origin of the visitors, and a survey from the Lasur³ that contains the modal repartition of the visitors.

The traffic microsimulation software by the Institute of Transportation systems of the German centre of aeronautics and space research⁴, SUMO (Simulation of Urban Mobility), has been used to model the flows.

In a general way, the simulation results show a good approximation with the traffic situation during Paléo. Important traffic jams were observed at the motorway exit of Nyon and the parking entrances. However, it was shown that the flows are probably underestimated and that the simulation is not very well calibrated on real traffic data. Moreover, additional observations during Paléo would help to improve and calibrate the simulation.

3. lasur.epfl.ch. Consulté le 19 juin 2013.

4. <http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx>. Consulté le 9 juin 2014.

Remerciements

Je tiens à remercier mon superviseur, Stéphane Joost, ainsi que Joël Chételat, Didier Genier et Pascal Viot pour m'avoir suivi durant toute la durée de ce projet.

Merci également à Emmanuel Ravalet et Yann Dubois de m'avoir consacré du temps et pour leur remarques avisées.

Un grand merci également à Philippe Vallat, secrétaire général du Paléo, qui a pris le temps de m'expliquer toutes les facettes de la mobilité au Paléo Festival.

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Contexte	1
1.2	Etat de l'art	2
1.3	Problématique	3
1.4	Objectifs	5
2	Données	7
2.1	Paléo	7
2.1.1	Billetterie internet 2013	7
2.1.2	Enquête 2012	8
2.1.3	Divers sondages et statistiques	8
2.2	Données géographiques	8
2.2.1	Codes postaux suisses	9
2.2.2	Communes suisses	9
2.2.3	Codes postaux français	9
2.3	Réseau routier	9
2.4	Comptages routiers	9
3	Méthodologie	13
3.1	Emprise du projet	13
3.1.1	Emprise spatiale	13
3.1.2	Emprise temporelle	14
3.2	Sélection du logiciel	15
3.2.1	SUMO (Simulation of Urban Mobility)	16

3.3	Elaboration du réseau routier	17
3.4	Estimation des origines et destinations	19
3.4.1	Trafic des spectateurs	20
3.4.2	Trafic régulier	20
3.5	Implémentation	21
3.6	Vérifications et calibration	22
4	Résultats	23
4.1	Distribution spatiale des acheteurs de billets en 2013	23
4.2	Répartition modale des spectateurs	24
4.3	Origines des flux	24
4.4	Simulation multi-agents pour le scénario "Azzuro"	27
4.5	Remplissage des parkings	27
4.6	Temps de déplacement moyen par origine	29
4.7	Comparaison de la simulation avec les comptages routiers	29
5	Discussion	31
6	Conclusion	37
6.1	Perspectives	38
A	Plan des transports en commun 2014 du Paléo Festival	41
B	Ligne directrice du département américain des transports	43
	Bibliographie	45

Chapitre 1

Introduction

1.1 Contexte

Le Paléo Festival rassemble chaque année près de 230'000 spectateurs pendant 6 jours, ce qui en fait une des plus grandes manifestations culturelles de la Suisse. Le festival affiche complet depuis plusieurs éditions consécutives. Il s'agit d'un événement incontournable de la région nyonnaise puisque 23% des spectateurs proviennent de ce district¹.

D'après un classement datant de 2013 du groupe MTV², le festival se placerait à la 9^{ème} position des plus grands festivals de musique au monde (voir le tableau 1.1). Bien que ces chiffres correspondent souvent à des estimations des organisateurs et que tous les festivals existants n'ont peut être pas été étudiés dans ce classement, il s'agit d'une performance intéressante pour ce festival suisse.

Le Paléo a lieu chaque année en Suisse romande dans la région de Nyon et plus précisément à l'Asse. Cette région a connu un fort essor démographique depuis quelques années ("Quel développement pour le district de Nyon?", 2011). Néanmoins, le développement des infrastructures de transport n'a pas été aussi important et les axes routiers ainsi que les transports en commun sont souvent saturés.

Les flux importants de spectateurs du Paléo viennent alors s'ajouter à un réseau déjà surchargé. Des solutions ont donc dû être trouvées par les organisateurs pour gérer les 36'000 spectateurs³ qui rejoignent chaque jour la plaine de l'Asse. Un vaste plan de mobilité qui privilégie l'utilisation des transports en commun a ainsi été mis en place.

TABLEAU 1.1 – Classement des 10 plus grands festivals de musique au monde. Affluence en 2013 sauf si précisé. D'après :²

Classement	Nom du festival	Affluence	Lieu
1	Donauinselfest	3.2 millions	Vienne, Autriche
2	Mawazine	2.5 millions	Rabat, Maroc
3	Summerfest	840'000	Wisconsin, Etats-Unis
4	Rock in Rio	700'000 (2011)	Rio de Janeiro, Brésil
5	Coachella	675'000	Californie, Etats-Unis
6	Przystanek Woodstock	550'000 (2012)	Kostrzyn nad Odra, Pologne
7	Sziget	362'000	Budapest, Hongrie
8	Ultra	330'000	Miami, Etats-Unis
9	Paléo Festival	230'000	Nyon, Suisse
10	Exit	200'000	Novi Sad, Serbie

1. <http://yeah.paleo.ch/fr/page/paleo-en-chiffres>. Consulté le 19 juin 2014.

2. <http://www.mtviggy.com/lists/the-10-biggest-music-festivals-in-the-world-2/>. Consulté le 4 juin 2014.

3. Statistiques des entrées 2013 de Paléo

1.2 Etat de l'art

Les grandes manifestations

Les grandes manifestations, qu'elles soient culturelles, sportives ou commerciales, génèrent une concentration de flux exceptionnelle. Une manifestation est qualifiée de "grande" lorsque son affluence est importante (Bovy et al. 2003). Cette notion est relative puisqu'il faut également tenir compte d'autres facteurs comme la capacité d'accueil du site et de la région. En effet, une manifestation n'aura pas le même impact si elle a lieu dans une métropole ou dans une ville de taille moyenne. Ainsi, il est admis qu'une affluence de 60'000 à 100'000 spectateurs par jour dans une métropole est le seuil pour qualifier une manifestation de "grande" (Bovy et al., 2003).

Malgré une affluence journalière d'environ 36'000 spectateurs, Paléo est considéré comme une grande manifestation puisque que la ville la plus proche, Nyon, compte un peu moins de 20'000 habitants⁴. La fréquentation est donc très importante pour cette région et Paléo est ainsi comparable à une ville éphémère.

Bovy et al. (2003) qualifient les grandes manifestations de "laboratoires d'essai" de la mobilité car la gestion des flux importants nécessite de trouver des schémas de mobilité innovants. Ceux-ci sont d'ailleurs parfois encore appliqués après la manifestation. Les comportements des visiteurs peuvent aussi être étudiés lors des manifestations, par exemple pour déterminer quels sont les modes de transport principalement utilisés.

Modélisation du trafic pour les grandes manifestations

La gestion de la mobilité lors de grandes manifestations nécessite donc de prédire les flux de spectateurs, afin de mettre en place un plan adapté à la demande. Les logiciels de modélisation de trafic sont parfois utilisés afin de simuler l'occupation du réseau routier et de prédire ces flux exceptionnels de véhicules. La simulation permet ensuite de capturer l'ampleur de la situation et de tester des plans alternatifs avant la manifestation.

Lors des Jeux Olympiques d'Athènes (Frantzeskakis et Frantzeskakis, 2006) et de Beijing (Yu et al., 2008) des études de trafic ont été menées à l'aide de logiciel de simulation de trafic. Ces manifestations sont un peu particulières puisqu'il est surtout important de fluidifier le trafic des membres de la famille olympique (les VIPs, les athlètes, les techniciens, les véhicules de services,...).

Dans ces deux études, bien que les logiciels de simulation diffèrent, la méthodologie est globalement semblable. Il s'agit tout d'abord de collecter des données sur le trafic, afin de modéliser le trafic régulier, sans la manifestation. Ensuite, les flux dus à la manifestation sont ajoutés. Il est estimé sur la base des horaires des différents événements, le nombre de places de parking mises à disposition pour les membres de la famille olympique et d'autres sources de données. Différents scénarios sont testés et comparés entre eux à l'aide de critères comme les vitesses moyennes sur les axes ou encore le temps de parcours moyen. Finalement, des recommandations et des alternatives d'itinéraires sont présentées. Par exemple, Yu et al. (2008) proposent de dévier une partie du trafic régulier, afin de soulager certains axes et fluidifier le trafic des membres de la famille olympique.

Un autre exemple intéressant d'utilisation de logiciels de simulation du trafic dans le cadre de grandes manifestations est la simulation en temps réel. Lors de la journée mondiale de la jeunesse en 2005 et de la coupe du monde football 2006 en Allemagne, un monitoring en temps réel du trafic a été effectué afin de prédire quelques heures auparavant la situation du trafic et de prévenir ainsi les éventuels embouteillages (Niebel et al., 2008). Ce système utilise deux sources de données en temps réel : les postes de comptages traditionnels et un système de monitoring du trafic par caméras aéroportées. Les données sont ensuite

4. <https://en.wikipedia.org/wiki/Nyon>. Consulté le 19 juin 2014.

introduites dans un logiciel de simulation du trafic qui permet de prédire, à l'avance, la situation du trafic. Les résultats de la simulation permettent ensuite aux autorités de prendre des mesures pour fluidifier le trafic.

Simulation du trafic

La simulation du trafic est la modélisation du comportement de véhicules sur un réseau routier à l'aide de logiciels informatiques. Certains logiciels permettent également de modéliser les interactions entre les différents modes de transport (transports publics et privés), on parle alors de simulation multimodale.

Les logiciels de simulation du trafic sont principalement utilisés dans la recherche pour planifier, créer ou tester les infrastructures routières (Papaleontiou, 2008). La construction de nouvelles routes est généralement très onéreuse et la modélisation permet d'évaluer la modification du réseau à moindre coût.

On peut séparer les logiciels de simulation en 4 classes (Maciejewski, 2010) selon un niveau de détail croissant : macroscopique, mésoscopique, microscopique et sous-microscopique. L'échelle macroscopique permet de simuler les flux de manière générale, à des échelles régionales sans s'intéresser au détail des comportements de véhicules. Les modèles microscopiques sont plus détaillés et chaque véhicule est modélisé.

L'espace peut être représenté de deux façons : continu ou discontinu (voir figure 1.1). Une modélisation multi-agents s'effectue dans un espace continu où la position des véhicules est décrite par un nombre à virgule flottante. Une telle modélisation trouve son utilité, par exemple, pour une simulation à un niveau microscopique. A l'opposé, une modélisation d'automates cellulaires utilise un espace discontinu, où les véhicules se déplacent sur un réseau divisé en cellules.

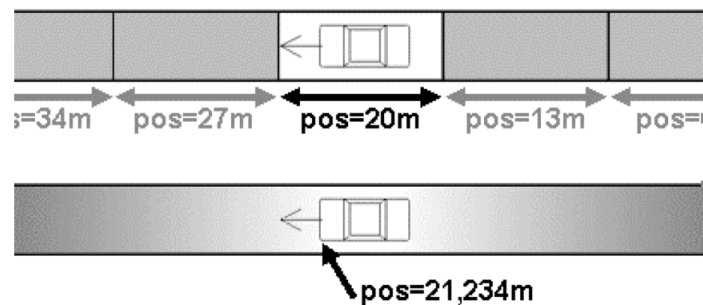


FIGURE 1.1 – Représentation de l'espace, discontinu (en haut) opposée à continu (en bas). D'après Krajzewicz et al. 2002.

1.3 Problématique

La politique environnementale⁵ de Paléo a pour but de permettre au plus grand nombre de spectateurs de se rendre au festival sans emprunter la voiture. Pour ce faire, un vaste plan de mobilité a été mis en place.

5. <http://yeah.paleo.ch/fr/page/politique-environnementale>. Consulté le 8 juin 2014.

Transports en commun

Paléo collabore avec de nombreux partenaires pour les transports en commun (voir annexe A). Tout d'abord, les CFF⁶ (Chemin de fer fédéraux suisses) proposent des réductions sur les billets et rajoutent aux horaires normaux, des trains de nuits supplémentaires. Les T-L⁷ (Transports publics de la région lausannoise) ainsi que les TPG⁸ (Transports publics genevois) sont également partenaires et ajoutent à leur offre des bus de nuit.

Ensuite, pour désengorger le réseau habituel des transports en commun et rejoindre facilement le festival, de nouvelles lignes de bus sont créées. Il y a des lignes régionales gratuites opérées par CarPostal⁹, qui couvrent densément la région de Nyon à Gland en passant par certains villages peu desservis en transports en commun. Il existe également des lignes romandes payantes opérées par le TCS¹⁰, qui s'étendent jusqu'à Porrentruy ou Sierre.

Finalement, le point de convergence des transports en commun, le NStCM¹¹ (Nyon-Saint-Cergue-Morez) propose des trains navettes qui relient la gare de Nyon à l'Asse. C'est un point central puisque tous les spectateurs qui empruntent les trains CFF convergent vers cette navette. Pendant Paléo, ce train fonctionne à capacité maximale, c'est-à-dire qu'il n'est pas possible d'ajouter plus de trains sans revoir totalement les infrastructures. Tous les wagons sont également en service pendant Paléo et si l'un d'eux tombe en panne, ce qui est arrivé en 2013, le réseau est fortement perturbé. Le NStCM offre également des trains de nuit supplémentaires pour desservir les villages au nord de l'Asse.

En parallèle à ces offres, les spectateurs de la région sont fortement encouragés à se rendre au Paléo en utilisant la mobilité douce. Un parking à vélos est d'ailleurs proposé non loin de l'entrée du festival.

Véhicules privés

Paléo dispose de deux parkings principaux situés dans des champs à l'est et à l'ouest du festival. Les voitures sont parquées à même l'herbe et la surface totale des parkings pour visiteurs est d'environ 28 hectares.

Les spectateurs sont dirigés vers l'un ou l'autre de ces parkings en fonction de leur provenance. Ceux venant de Genève, privilégient la sortie d'autoroute de Nyon pour rejoindre le parking ouest et ceux venant de Lausanne, la sortie de Gland et se rendent au parking est. Bien que cette dernière ne soit pas la sortie la plus proche du festival, les spectateurs sont encouragés à l'emprunter pour décharger la sortie de Nyon. La figure 1.2 montre les deux situations. Certaines routes sont également fermées à la circulation, afin de canaliser le trafic et le dérangement sur certains axes.

Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques jouent un rôle important dans l'utilisation des parkings. En effet, ceux-ci étant en herbe, lors de pluies abondantes, certaines parcelles deviennent impraticables. Un plan pluie appelé "Diluvio" (en opposition au plan beau temps, "Azzuro") est alors mis en place. Les spectateurs sont ainsi dirigés vers des parkings en dur dans la ville de Nyon. Le parking sauvage est également toléré et les voitures peuvent donc se parquer le long de certains tronçons, comme sur la route de Divonne à Nyon. Des navettes sont ajoutées pour assurer la liaison entre les parkings et le festival.

6. http://www.cff.ch/freizeit-ferien/veranstaltungen/festivalsopenairs.angebotdetail.veranstaltungen-festivalsopenairs-paleo_festival_nyon.html. Consulté le 8 juin 2014.

7. <http://www.t-l.ch/>. Consulté le 8 juin 2014.

8. <http://www.tpg.ch>. Consulté le 8 juin 2014.

9. <http://www.carpostal.ch/>. Consulté le 8 juin 2014.

10. <http://www.tcs.ch/fr/le-club/pres-de-chez-moi/vald/transport-paleo.php>. Consulté le 8 juin 2014.

11. <http://www.nstcm.ch/pages/nstcm>. Consulté le 8 juin 2014.

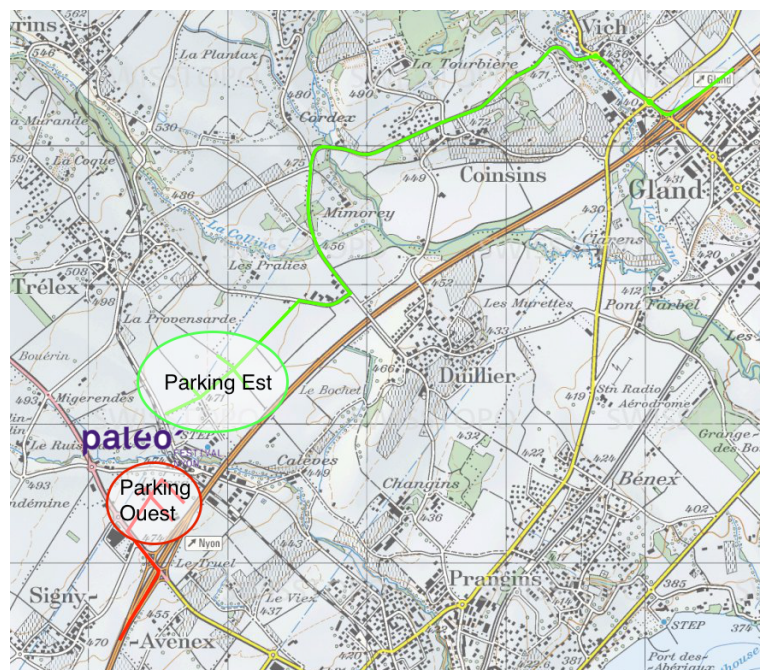


FIGURE 1.2 – Itinéraires des véhicules en fonction de leur provenance. Les véhicules provenant de Genève utilisent le tracé rouge pour se rendre au parking ouest et les véhicules provenant de Lausanne empruntent le tracé vert pour se rendre au parking est.

Ainsi, lors de conditions météorologiques défavorables, les transports en commun connaissent une fréquentation importante, car les spectateurs sont encouragés à les utiliser.

Réseau saturé

Malgré le plan de mobilité mis en place par Paléo, les transports en commun sont souvent bondés et il n'est pas rare que des embouteillages se forment sur l'autoroute aux heures d'affluence ou même aux sorties de parkings¹². Par ailleurs, la mise en place de ce plan de mobilité a un coût pour Paléo de près d'un demi-million de francs suisses par année¹³. L'évaluation de l'utilisation des transports a donc aussi un intérêt financier mais Paléo ne dispose pas d'outils permettant d'apprécier le problème dans sa globalité. Cette situation dure depuis plusieurs éditions du festival, et même si elle n'empêche pas son bon déroulement, elle n'est pas idéale, que ça soit pour les spectateurs, les riverains ou Paléo.

1.4 Objectifs

Le but de Paléo est de prédire les flux de spectateurs et ainsi d'améliorer la gestion de la mobilité. Pour ce faire, Paléo dispose de diverses sources d'information sur les spectateurs. Premièrement, la billetterie en ligne, qui concerne la majorité des billets vendus (63% en 2013), renseigne sur la provenance des acheteurs par code postal. Deuxièmement, une enquête a été menée en 2012 par le laboratoire LASUR de l'EPFL, apportant une information sur la répartition modale des spectateurs par commune. Finalement, le festival effectue régulièrement des sondages auprès des spectateurs, qui fournissent également une information sur la répartition modale.

12. <http://www.tdg.ch/geneve/actu-genevoise/Moins-de-voitures-mais-toujours-des-bouchons/story/15515140>. Consulté le 16 juin 2014.

13. <http://www.20min.ch/ro/news/vaud/story/16330405>. Consulté le 9 juin 2014.

Cette recherche se focalise uniquement sur le trafic de voitures se rendant au Paléo. Les objectifs sont d'une part, d'évaluer les flux de spectateurs à l'aide de simulations multi-agents et d'autre part de déterminer leur répartition aux abords du festival.

Les objectifs peuvent se résumer comme suit :

1. Etablir la provenance des festivaliers ;
2. Déterminer la part modale de spectateurs utilisant la voiture ;
3. Implémenter une simulation multi-agents ;
4. Simuler les flux routiers pour un scénario beau temps ("Azzuro") ;
5. Identifier les points sensibles aux abords du festival.

Chapitre 2

Données

2.1 Paléo

2.1.1 Billetterie internet 2013

En 2013, la part de billets vendus sur internet représente 63% de la vente totale. L'adresse de l'acheteur est enregistrée lors de l'achat. Les données sont contenue dans un fichier au format Microsoft Excel et, pour des raisons de confidentialité, seulement le nombre et le type de billet par code postal ont été transmis. Le tableau 2.1 montre un extrait de la base de données.

TABLEAU 2.1 – Extrait de la base de données de la billetterie internet 2013. "Abo 4j" correspond au nombre d'abonnement de 4 jours, similairement pour "Abo 5j" et "Abo 6j". Les jours de la semaine renseignent sur le nombre de billets pour chaque jour.

Code postal	Abo 4j	Abo 5j	Abo 6j	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	Total
...
1260	25	7	869	550	511	616	634	558	596	4366
1261	0	1	56	46	35	41	48	32	61	320
1262	4	0	50	21	28	11	38	19	22	193
...

Le nombre total de billets dans cette base de données est de 145'611. Cependant, il n'a pas été possible d'exploiter l'intégralité de cette base de données. En effet, certains codes postaux n'ont pas été retrouvés, car ils ne correspondaient à aucun lieu.

Tous les billets des acheteurs suisses ont été pris en compte, en revanche, un tri a été effectué pour les billets français. En effet, puisqu'on s'intéresse au trafic routier, on peut imaginer que des acheteurs qui résident très loin du festival ne vont pas s'y rendre depuis leur lieu de domicile. C'est pourquoi, un rayon d'environ 200 km a été fixé comme limite. Au total, 88'774 billets ont été comptabilisés dans cette étude, la part suisse est d'environ 90% et celle française de 10%.

2.1.2 Enquête 2012

Paléo a mandaté le laboratoire LASUR de l'EPFL¹ en 2012 afin de réaliser une enquête sur la qualité de l'accès au festival. Cette enquête a été dirigée par Emmanuel Ravalet. Les répondants ont été sollicités à travers la newsletter de Paléo et sont au nombre de 3'961.

Cette enquête renseigne sur la commune de départ des spectateurs ainsi que le trajet effectué qui peut comprendre jusqu'à 4 étapes et modes de transports différents. Les répondants précisent également le nombre de personnes avec qui ils ont fait le trajet. Les différents modes de transport possibles sont les suivants :

1. Train
2. Bus de ligne
3. Bus spécial
4. Véhicule motorisé comme conducteur
5. Véhicule motorisé comme passager
6. Vélo
7. Marche (pendant plus de 10 minutes)
8. Autre

L'enquête contient encore d'autres informations sur la mobilité et en particulier sur le covoiturage.

2.1.3 Divers sondages et statistiques

Depuis 2001, Paléo réalise tous les 3 ans des sondages auprès des spectateurs pendant le festival. Le sondage le plus récent, celui de 2013, a été confié à la Haute Ecole de Gestion de Genève. 834 spectateurs ont été interrogés sur leur satisfaction quant au festival ainsi que sur le mode de transport principal et secondaire utilisé.

Une autre source de données de Paléo consiste en les statistiques des entrées. En effet, les billets sont scannés à l'entrée ce qui donne une information sur le nombre d'entrées. Pour les années 2009 et 2010, les statistiques contiennent le nombre de billets scannés par heure et par jour. Pour les éditions suivantes, 2011, 2012 et 2013, seulement le nombre de billets par jour a été comptabilisé.

Finalement, Paléo réalise des estimations de l'occupation des parkings. Ces estimations sont basées sur le nombre de voitures par hectare, comptabilisées sur des photos aériennes. Ce nombre est de 430 véhicules par hectare. Les statistiques de 2011 et 2012 ont été utilisées dans ce travail.

2.2 Données géographiques

Pour représenter la répartition spatiale des données, des couches vectorielles au format shapefile d'ESRI ont été utilisées.

1. lasur.epfl.ch. Consulté le 9 juin 2014.

2.2.1 Codes postaux suisses

Les données ont été téléchargées auprès du portail de la mensuration officielle suisse (swisstopo²). Le fichier contient les codes postaux à 4 chiffres ainsi que les périmètres dans le système de référence suisse CH1903+. Les données sont mises à jour mensuellement et la version de mars 2014 a été utilisée dans ce travail. Le nombre d'entités est de 4'175.

2.2.2 Communes suisses

Les données ont été obtenues auprès de l'Office fédéral de la statistique (OFS). La version de décembre 2013 a été utilisée. La projection des géométries est dans le système de référence suisse CH1903+. Le nombre d'entités est de 2'441.

2.2.3 Codes postaux français

La couche contenant les codes postaux français a été téléchargée auprès de la plateforme ouverte des données publiques françaises³. Les données datent de 2013 et utilisent la projection de Lambert 93. Le nombre d'entités est de 6'048.

2.3 Réseau routier

Le réseau routier provient des données du projet communautaire participatif Openstreetmap⁴, qui a pour but de mettre à disposition une cartographie libre de la planète. Les applications qui découlent de cette base de données sont nombreuses et ne se résument pas à la création de cartes. Ce projet en est un exemple puisque ces données ont été utilisées pour la simulation du trafic.

Dans Openstreetmap, les routes appartiennent à une classification. Les classes principales sont décrites dans le tableau 2.2.

2.4 Comptages routiers

L'Office fédéral des routes (OFROU⁵) est l'autorité compétente en Suisse qui s'occupe de l'infrastructure et du trafic routier. Ce service gère un réseau de postes de comptage du trafic distribué sur l'ensemble de la Suisse. Un recensement au niveau national est effectué environ tous les 5 ans et différencie notamment les catégories de véhicules.

Les données du recensement de 2011 ont été utilisées dans ce rapport afin de calculer le trafic journalier moyen par heure. Les deux postes de comptage utilisés sont situés sur l'autoroute à Coppet (COPPET W (AR)) et à Rolle (ROLLE (AR)), voir figure 2.1. Les postes de comptage de Nyon et de Gland n'ont pas été utilisés, car ils ne font pas partie du recensement.

2. <http://www.cadastre.ch/internet/cadastre/fr/home/products/plz/data.html>. Consulté le 18 juin 2014.

3. <http://www.data.gouv.fr/fr/dataset/fond-de-carte-des-codes-postaux>. Consulté le 19 juin 2014.

4. https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page. Consulté le 16 juin 2014.

5. <http://www.astra.admin.ch/org/index.html?lang=fr>. Consulté le 18 juin 2014.

TABLEAU 2.2 – Classes des routes principales d'Openstreetmap. Source : <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Key:highway>. Consulté le 16 juin 2014.

Classe	Description	Rendu	Photo
Autoroute	Route à accès restrictif, constituée généralement de 2 voies à sens unique.		
Primaire	Premier niveau d'importance.		
Secondaire	Deuxième niveau d'importance, en-dessous de Primaire.		
Tertiaire	Troisième niveau d'importance, en-dessous de Secondaire.		
Non-calssifiée ("Unclassified")	Dernier niveau d'importance. Remarque : ne signifie pas que la classification est inconnue.		
Résidentielle	Route servant d'accès aux résidences.		
Service	Route d'accès à, ou dans une zone industrielle, un parking, etc.		

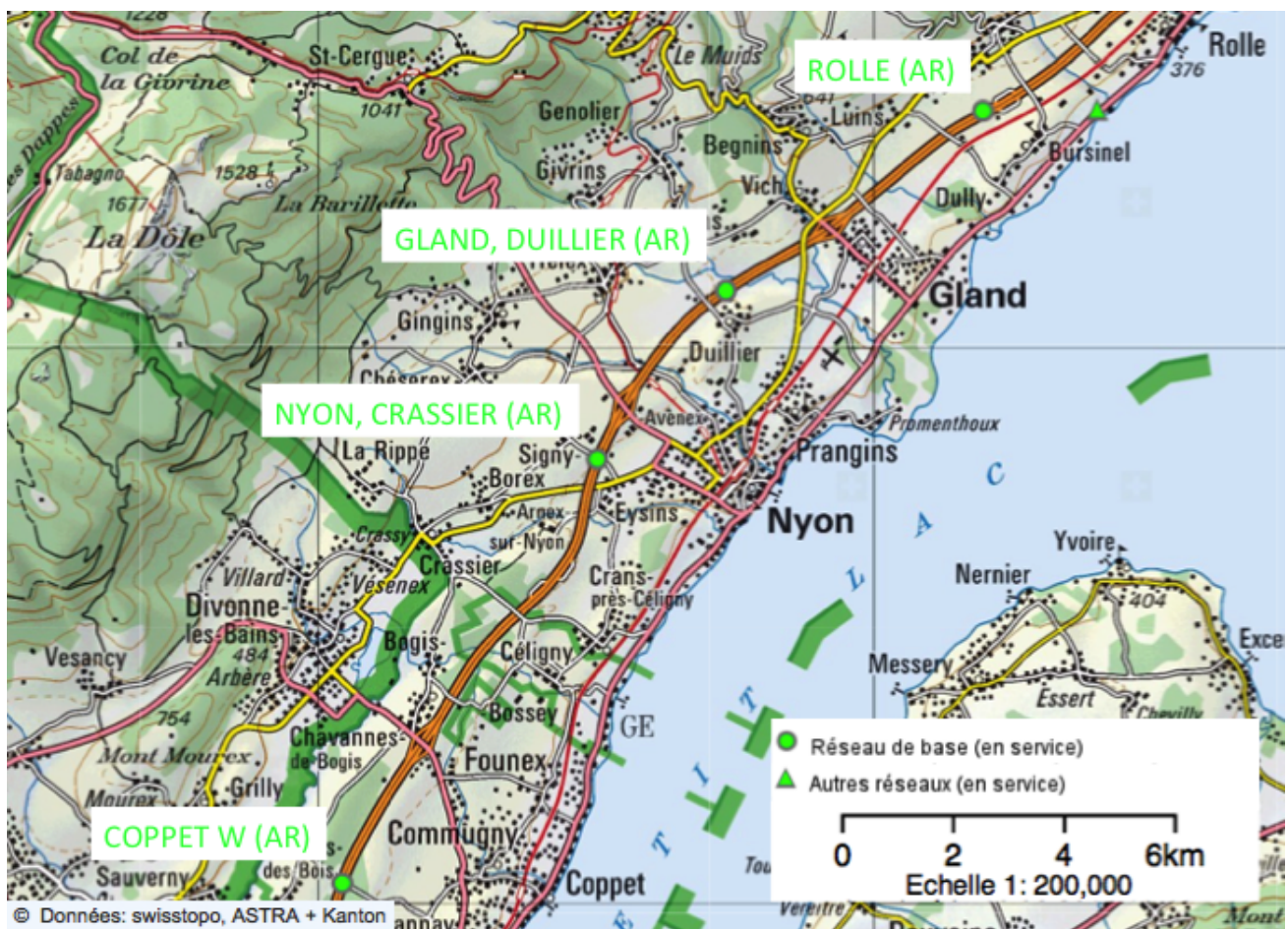


FIGURE 2.1 – Réseau des postes de comptage routier de l'OFROU dans la région de Nyon.

Chapitre 3

Méthodologie

L'organisation de ce travail s'est inspirée de la ligne directrice publiée par le département américain des transports (U.S. Department of Transportation, Dowling et al., 2004). Ce document propose une méthodologie claire en 7 étapes pour l'utilisation de logiciels de microsimulation du trafic routier (voir Annexe B). Les étapes ont cependant été redéfinies pour mieux s'adapter à cette recherche. La méthodologie appliquée se résume comme suit :

1. Emprise du projet
2. Sélection du logiciel
3. Elaboration du réseau routier
4. Estimation des origines et destinations
5. Implémentation
6. Vérifications et calibration
7. Résultats
8. Analyses

Ces étapes sont décrites dans les sections suivantes, excepté les étapes Résultats et Analyses qui appartiennent aux chapitres Résultats et Discussion respectivement.

3.1 Emprise du projet

L'emprise du projet est une phase préliminaire à la modélisation. C'est une phase importante qui permet de définir les bases de l'étude. D'après Dowling et al. (2004), elle inclut également la problématique et les objectifs du projet, ces deux points ayant déjà été traités plus haut, ils ne seront pas abordés dans cette section. Cette étape étant conséquente, elle a été divisée en plusieurs sous-sections détaillées ci-dessous.

3.1.1 Emprise spatiale

L'emprise spatiale a été définie en deux temps.

Tout d'abord, le périmètre d'intérêt, qui sera analysé en détail, a été spécifié. Au vu du plan de mobilité actuel de Paléo, il est évident qu'il doit s'étendre des sorties d'autoroute de Nyon à Gland. C'est une zone qui est fortement chargée en trafic et il n'est pas rare que des congestions se forment à ces endroits. Il faut

donc prévoir un périmètre un peu plus large, c'est-à-dire, en incluant les sorties d'autoroute précédentes, celles de Coppet et de Rolle.

Ensuite, les zones alentours (ou "zone tampon"), qui auront une influence sur ce périmètre, ont été définies. D'après le sondage de 2013, on sait que la majorité des spectateurs proviennent de la partie romande de la Suisse (environ 88%) et plus particulièrement du district de Nyon et des deux grandes villes romandes les plus proches, Genève et Lausanne. Il a donc été décidé d'étendre le réseau routier, qui sera modélisé à l'arc lémanique, de Genève à Montreux, et au nord jusqu'au lac de Joux et Yverdon-les-Bains.

Concernant la France, la région du pays Gex, qui comporte les grandes villes de Gex ou Divonne-les-Bains, a aussi été incluse.

Cependant, cette deuxième zone, plus éloignée de Nyon, ne sera pas directement observée, elle sert principalement de zone tampon pour que le trafic puisse bien se développer avant d'entrer dans le périmètre d'intérêt. La figure 3.1 ci-dessous montre les zones définies précédemment.

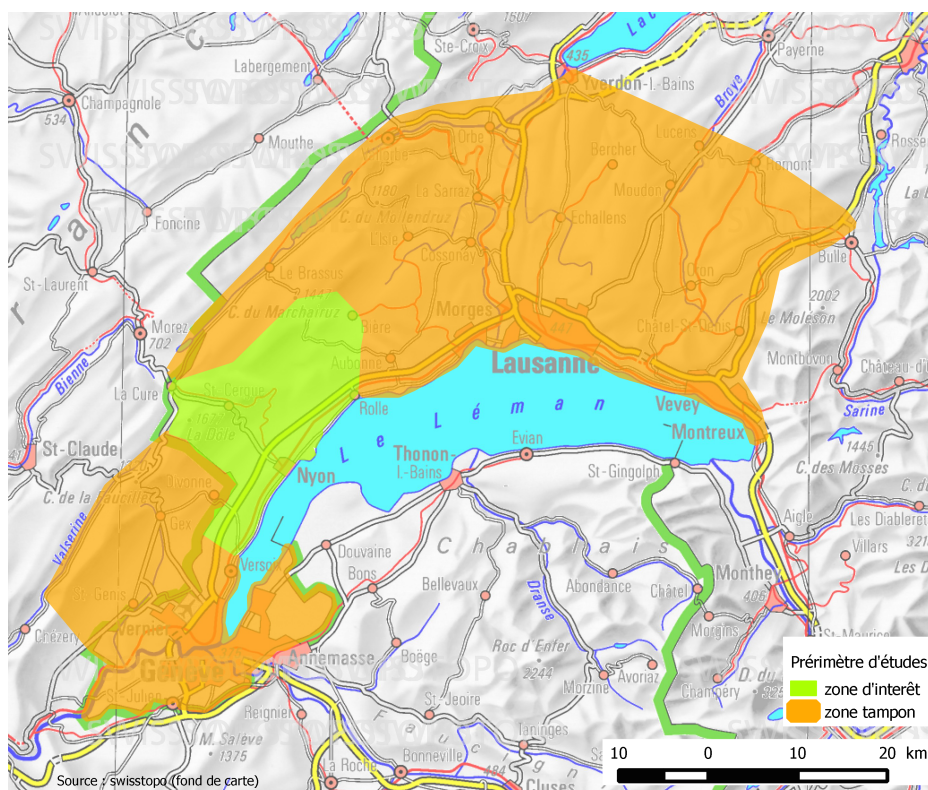


FIGURE 3.1 – Périmètre d'étude présentant les deux zones.

3.1.2 Emprise temporelle

Puisque ce travail s'intéresse uniquement aux flux entrants, l'heure de départ du premier spectateur quittant son domicile et l'heure d'arrivée au Paléo du dernier doivent être capturées, sachant que Paléo ouvre ses portes à 16h30 en semaine (de mardi à vendredi). Pour ce faire, on s'appuiera sur les statistiques d'entrées du festival qui montrent une affluence maximale entre 18 et 20 heures (voir figure 3.2). On sait également qu'il faut environ une heure et demie pour traverser le périmètre fixé précédemment. Les limites temporelles de la simulation ont donc été fixées de 14 heures à minuit pour avoir un peu de marge et que le trafic routier ait le temps de se développer avant l'arrivée des premiers spectateurs.

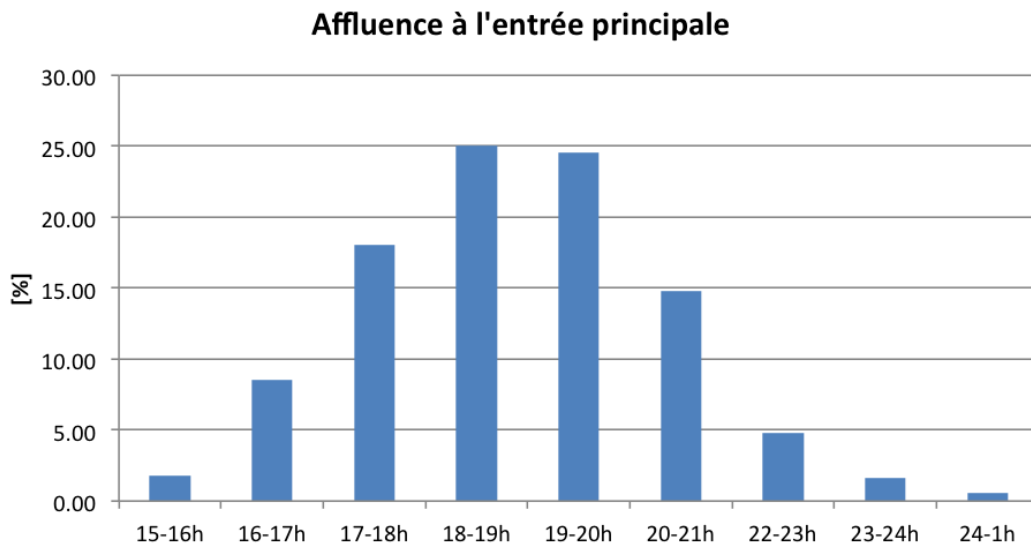


FIGURE 3.2 – Distribution de l'affluence à l'entrée principale de Paléo, moyenne pour les années 2009 et 2010.

3.2 Sélection du logiciel

Le choix du logiciel de simulation est essentiel puisqu'il va dicter des décisions par la suite. C'est une étape qui peut prendre du temps car elle demande de tester différents logiciels. Le tableau 3.1 offre une comparaison de logiciels de simulation examinés dans ce travail.

TABLEAU 3.1 – Comparaison de différents logiciel de simulation. MAS = Simulation multi-agents. CA = Automate Cellulaire.

Nom	Licence	Type de simulation	Dédié à la simulation de trafic ?	Echelle	Temps	Espace
GAMA	Opensource	MAS	Non	Régionale	Discret	Continu
VISSIM	Commerciale	MAS	Oui	Quartier de ville	Discret	Continu
MATSim	Opensource / commerciale	MAS	Oui	Régionale	Discret	Continu
TRANSIMS	Opensource	MAS/CA	Oui	Régionale/Pays	Discret	Discret
SUMO	Opensource	MAS	Oui	Régionale	Discret	Continu

GAMA¹ est un cas à part puisque ce n'est pas un logiciel dédié à la simulation de trafic, mais un environnement de développement pour la simulation multi-agents. Il présente l'avantage de gérer les shapefiles d'ESRI. En revanche, il n'a pas été sélectionné car la dynamique des comportements des véhicules n'est pas suffisamment proche de la réalité. Il a donc été décidé de se tourner vers des logiciels de simulation dédiés au trafic.

Un autre critère de sélection est le type de licence qui se doit d'être gratuite. La raison principale est que les logiciels payants sont généralement très onéreux. Les logiciels opensource sont souvent tout autant efficaces. Ainsi, des logiciels tels que Vissim² ont été écartés.

1. <https://code.google.com/p/gama-platform/>. Consulté le 18 juin 2014.

2. <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>. Consulté le 18 juin 2014.

Un des logiciels qui a attiré mon attention dès le début a été MATSim³. Il remplit presque tous les critères, mais pour visualiser les simulations il est nécessaire un autre logiciel, qui lui est payant. Auparavant, il existait une extension gratuite pour la visualisation, mais elle n'est plus supportée et il n'a pas été possible de l'installer.

Il reste encore TRANSIMS⁴, un logiciel américain opensource. Il a également été écarté, puisque l'espace est discontinu (discret), ce qui correspond à de la modélisation d'automates cellulaires. Dans ce travail, on s'intéresse à de la modélisation multi-agents.

Finalement, le choix s'est porté sur SUMO⁵ qui est l'abréviation de "Simulation of Urban Mobility".

3.2.1 SUMO (Simulation of Urban Mobility)

SUMO est un logiciel opensource de microsimulation du trafic, développé par l'Institut des Systèmes de Transport du Centre allemand pour l'aéronautique et l'aérospatial (DLR⁶).

Concernant la dynamique du trafic, une extension du modèle microscopique de suivi des véhicules (car-following model) de Krauss (1998) est utilisée. Les véhicules possèdent un temps de réaction, τ , et tentent de garder une distance de sécurité avec les véhicules à l'avant en adaptant leur vitesse (Krajzewicz et al., 2005). Le modèle de changement de voie (lane-change model) de Krajzewicz (2009) est également implémenté.

Ce logiciel inclut une suite d'applications qui permettent de préparer et d'importer un réseau de plus de 10'000 arêtes, ce qui est suffisant pour modéliser une région. Le fichier exécutable Netconverter permet de convertir des réseaux provenant de nombreux formats comme celui d'Openstreetmap, Vissim, MATSim ou encore les shapefiles d'ESRI en fichiers XML (Extensible Markup Language) qui peuvent être lus par SUMO. Le format Openstreetmap est particulièrement commode, puisque ces données sont gratuites et que SUMO reconnaît la classification des routes et importe également beaucoup d'information du réseau comme le nombre de voies, les sens uniques, les priorités, les vitesses limites et les feux de circulation.

La demande de trafic peut être créée de plusieurs façons. Par exemple, en utilisant des matrices d'origine/destination ou encore des ratios de tournages aux intersections. Cependant, il n'est pas pratique de générer de tels fichiers. C'est pourquoi une solution avec interface graphique a été utilisée. Il s'agit de **Traffic Modeler**, une application Java écrite par Papaleontiou et Dikaiakos (2009) qui permet de spécifier les origines et destinations du trafic à l'aide d'outils graphiques.

Plusieurs types d'outils sont proposés. Celui qui a été utilisé dans ce travail est l'outil de zone de flux (voir figure 3.3) qui permet de dessiner sur le réseau des ellipses pour spécifier l'origine et la destination des flux. Le nombre de véhicules et la période pendant laquelle on souhaite injecter ces véhicules dans le réseau doivent être indiqués. L'origine et la destination des véhicules sont déterminées aléatoirement à l'intérieur des ellipses et l'heure de départ est distribuée de manière aléatoire et uniforme dans la période spécifiée.

SUMO-GUI est l'application de visualisation qui permet d'observer en deux dimensions la modélisation. La version 20.0 de SUMO a été utilisée dans ce travail.

3. <http://matsim.org/>. Consulté le 18 juin 2014.

4. <https://code.google.com/p/transims/>. Consulté le 18 juin 2014.

5. <http://sumo-sim.org/>. Consulté le 18 juin 2014.

6. <http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx>. Consulté le 9 juin 2014.

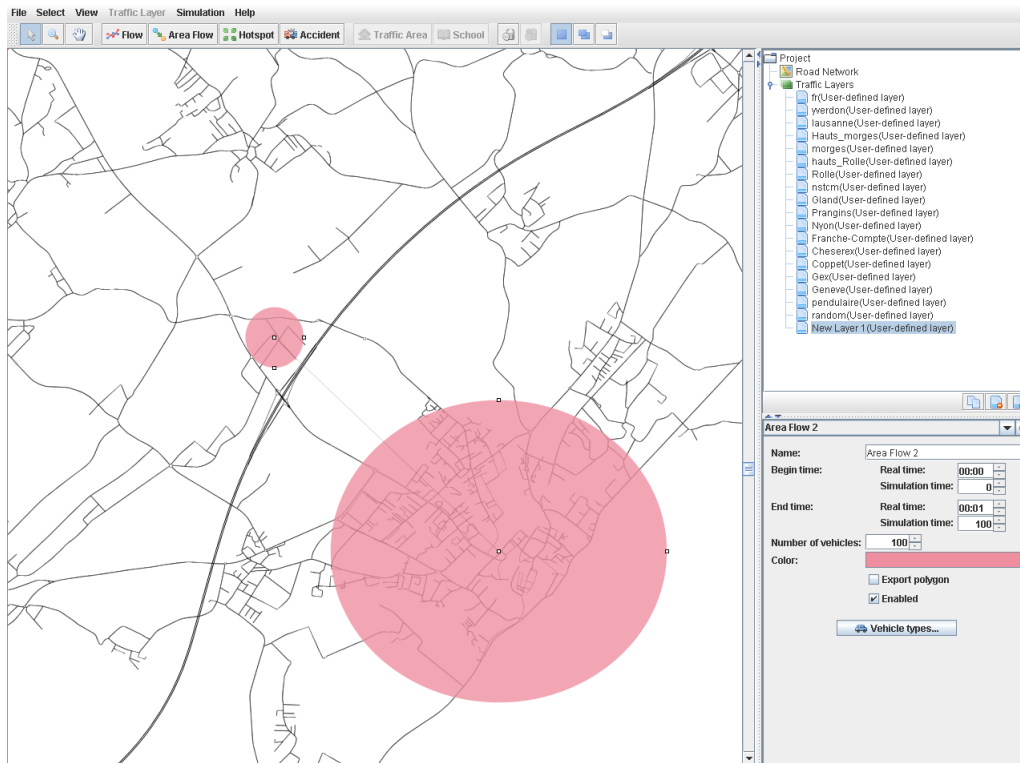


FIGURE 3.3 – Exemple de projet dans Traffic modeler. Présentation de l’outil de zone de flux.

Caractéristiques des véhicules

Les caractéristiques des véhicules sont des paramètres à entrer dans le logiciel de simulation. Dans SUMO, il est possible de décrire plusieurs types de véhicules avec les paramètres suivants :

1. Accélération maximale en $[m/s^2]$
2. Décélération maximale en $[m/s^2]$
3. Sigma : imperfection du conducteur, entre 0 et 1
4. Longueur en $[m]$
5. Vitesse maximale en $[m/s]$
6. Tau : temps de réaction du conducteur en $[s]$

SUMO propose des valeurs par défaut qui correspondent à celles d’une voiture de tourisme. Ces valeurs ont été modifiées d’après Maciejewski (2010), qui compare plusieurs logiciels de modélisation du trafic. Elles sont également proches de celle de Dowling et al. (2004). La longueur des véhicules a été fixée à 5 mètres ce qui est plus réaliste et proche de Dowling et al. (2004). La comparaison des caractéristiques est disponible dans le tableau 3.2. Le tableau 3.3 contient les paramètres retenus.

3.3 Elaboration du réseau routier

Le réseau routier utilisé est celui d’Openstreetmap (voir section 2.3). Ce choix a été dicté principalement par le logiciel SUMO, mais également parce que ces données sont riches et gratuites.

TABLEAU 3.2 – Comparaison des caractéristiques des véhicules pour une voiture de tourisme. # = pas de données

Paramètres	SUMO	Maciejewski 2010	Dowling et al. 2004
Accélération [m/s^2]	2.6	3.0	3.1
Décélération [m/s^2]	4.5	5.5	4.6
Sigma	0.5	0.1	#
Longueur [m]	5	7	4
Vitesse maximale [m/s]	70	50	33.5
Tau [s]	1	1	#

TABLEAU 3.3 – Paramètres retenus pour la simulation.

Paramètres	Voiture de tourisme
Accélération [m/s^2]	3.0
Décélération [m/s^2]	5.5
Sigma	0.1
Longueur [m]	5
Vitesses maximale [m/s]	34
Tau [s]	1

Dans un premier temps, les données ont été téléchargées à l'aide du logiciel JOSM⁷, développé par Immanuel Scholz. C'est une plateforme sous licence publique générale (GNU) écrite en Java 7, qui est une solution populaire pour enrichir ou modifier la base de données Openstreetmap. Il existe d'autres solutions pour éditer ces données, mais celle-ci a l'avantage d'être une application de bureau (ce qui est plus confortable pour des jeux de données conséquents) et de disposer de nombreux plugins.

Pour ne télécharger que le réseau routier et pas toutes les informations disponibles dans la base de données (chemins de fer, zones vertes, points d'attraction,...), le plugin "mirrored download"⁸ a été installé. Puisque l'emprise spatiale a été définie de deux manières (zone d'intérêt et zone tampon), les types de route sélectionnés pour chacune de ces zones ne sont pas les mêmes. En effet, on retiendra moins de niveau d'importance de route pour la zone tampon. Le détail des routes sélectionnées pour chacune des zones est disponible dans le tableau 3.4.

TABLEAU 3.4 – Classes de route sélectionnées par zone du périmètre d'étude. Une croix signifie que la classe a été retenue

Classe de route	Zone d'intérêt	Zone tampon
Autoroute	X	X
Primaire	X	X
Secondaire	X	X
Tertiaire	X	X
Non-classifiée	X	
Résidentielle	X	
Service		

Dans un deuxième temps, toujours à l'aide de JOSM, les données ont pu être éditées. En effet, certaines modifications ont dû être apportées. Tout d'abord, Paléo interdit la circulation sur certaines routes afin de

7. <https://josm.openstreetmap.de/>. Consulté le 4 juin 2014.

8. https://wiki.openstreetmap.org/wiki/JOSM/Plugins/mirrored_download. Consulté le 4 juin.

canaliser le trafic. Les intersections concernées ont donc été déconnectées des routes principales afin que les véhicules ne puissent pas y circuler. Ensuite, les intersections jugées importantes, telles que les sorties d'autoroute de Nyon et de Gland, ont été éditées en détail en spécifiant exactement les voies de présélection (voire figure 3.4). Finalement, d'autres modifications ont été apportées pour corriger des erreurs de classification, par exemple.

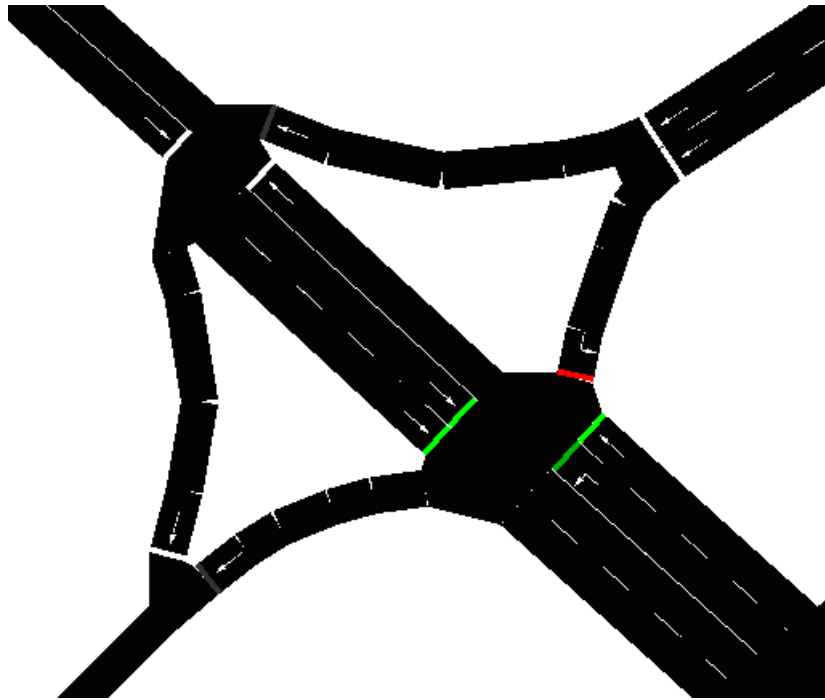


FIGURE 3.4 – Représentation de la sortie d'autoroute de Gland dans SUMO-GUI.

3.4 Estimation des origines et destinations

L'estimation des origines et destinations consiste à déterminer les noeuds de départ et d'arrivée des véhicules sur le réseau. Il s'agit également d'évaluer leur nombre et leurs horaires de départ. Pour que la simulation se rapproche de la réalité, le trafic des spectateurs a été ajouté au trafic des usagers réguliers. Le schéma de la figure 3.5 montre les données utilisées pour modéliser les origines-destinations.

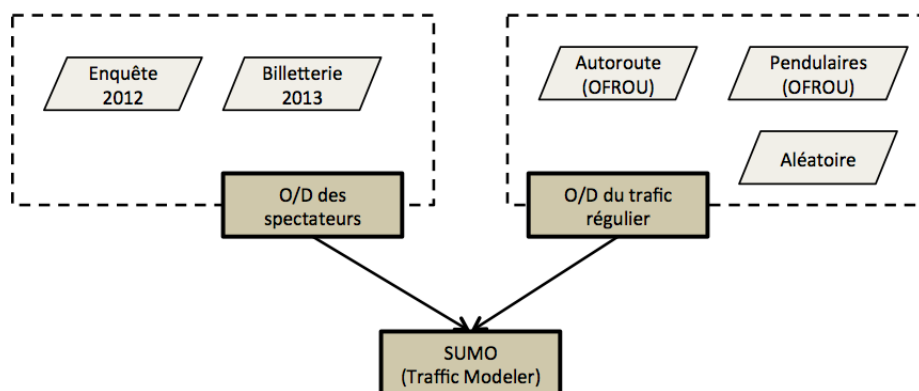


FIGURE 3.5 – Schéma pour estimer les origines et destinations des véhicules. O/D = origine/destination.

3.4.1 Trafic des spectateurs

Souvent, l'estimation des origines et destinations sont sujettes à des incertitudes puisqu'elles se basent sur les recensements de la population. Dans cette recherche, la destination est connue puisqu'il s'agit des parkings de Paléo. Néanmoins, elle n'est pas précisément connue puisque le festival dispose de deux parkings principaux et il est fréquent que les spectateurs utilisent les parkings de la ville de Nyon ou celui du centre commercial de Signy. Toutefois, afin de simplifier la situation, les destinations des spectateurs sont fixées comme étant l'un ou l'autre des parkings de Paléo selon leur provenance.

La base de données de la billetterie 2013 et l'enquête 2012 ont été utilisées pour estimer le trafic des spectateurs. La billetterie renseigne sur l'origine et l'enquête permet de déterminer le nombre de véhicules. En effet, l'enquête contient la répartition modale par commune, elle permet donc d'estimer la part de spectateurs se rendant en voiture.

Cependant, le nombre de répondants est parfois très faible (égal à un), et donc non représentatif de la commune. C'est pourquoi des communes limitrophes ont été regroupées afin que le nombre de répondants soit au moins supérieur à 20. Le découpage se base également sur les axes routiers principaux, tels que les autoroutes, puisqu'en fonction de leur origine, les spectateurs vont converger vers les mêmes autoroutes.

Pour réaliser ce découpage, les données ont été importées dans une base de données PostGIS⁹ qui est l'extension spatiale de la base de données relationnelle PostgreSQL¹⁰. Les données ont d'abord été représentées géographiquement à l'aide des couches vectorielles des communes et des codes postaux, puis agrégées à l'aide du logiciel Quantum GIS¹¹ qui est un logiciel de système d'information géographique (SIG) opensource.

Pour chaque découpage, la proportion de spectateurs utilisant la voiture a été calculée, ainsi que le pourcentage de billets vendus. Ils ont ensuite été multipliés entre eux et par le nombre de spectateurs journalier, puis divisés par le taux d'occupation des voitures afin d'obtenir le nombre de véhicules par découpage.

3.4.2 Trafic régulier

Le trafic régulier est estimé de trois façons. Premièrement, les données des postes de comptage autoroutiers de l'OFROU ont été utilisées pour simuler le trafic sur les axes autoroutiers entre Genève et Lausanne. Le nombre moyen de véhicules par heure entre 14 et 23 heures a été calculé.

Deuxièmement, le trafic dû aux pendulaires de la région nyonnaise a de nouveau été estimé avec les données de l'OFROU. Il est calculé en faisant la différence de trafic entre les deux postes de comptage de Coppet et de Rolle situés sur l'autoroute en différenciant les directions. L'origine de ce flux est fixée soit à Genève soit à Lausanne et la destination est déterminée aléatoirement sur le réseau entre Coppet et Gland.

Troisièmement, une petite part de trafic aléatoire a été ajoutée. Ces véhicules ont une origine et une destination fixées aléatoirement dans la région de Nyon. Il n'existe pas de données sur ce flux, le nombre de véhicules ajoutés ne correspond à aucune statistique, il permet simplement de donner un peu de souplesse à la simulation.

9. <http://postgis.net/>. Consulté le 18 juin 2014.

10. <http://www.postgresql.org/>. Consulté le 18 juin 2014.

11. <http://qgis.org>. Consulté le 18 juin 2014.

3.5 Implémentation

L'implémentation est l'étape qui consiste à intégrer les considérations et les données des étapes précédentes dans le modèle. La procédure est résumée dans le schéma de la figure 3.6.

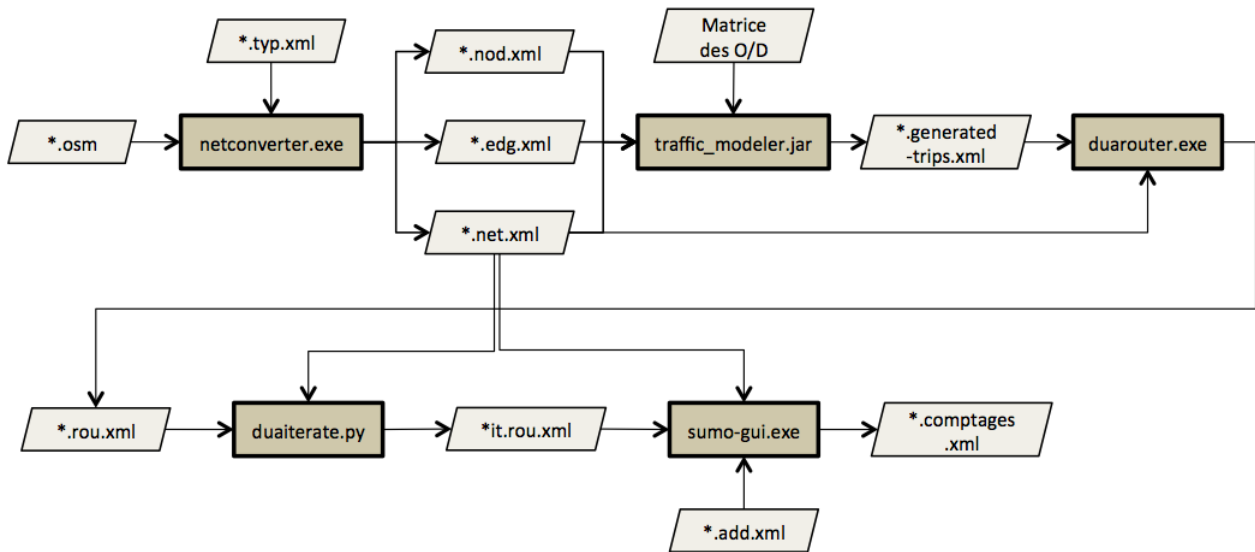


FIGURE 3.6 – Schéma de l'implémentation du modèle avec le détail des fichiers et données à intégrer à chaque étape. O/D = origine/destination

Tout d'abord, il s'agit de convertir le réseau au format Openstreetmap (*.osm) en plusieurs fichiers XML (*.net.xml, *.edg.xml et *.nod.xml) à l'aide de l'application netconverter.exe, afin qu'ils puissent être lus par SUMO. Le fichier *.typ.xml, qui contient des informations importantes sur le réseau, comme les vitesses ou les priorités pour chaque classe de route est également à inclure.

Ensuite, le réseau a été importé dans un projet de Traffic Modeler pour créer les flux. Ils sont spécifiés à l'aide de l'outil de zone de flux du logiciel (voir figure 3.3). Les flux générés par cet outil sont uniformément distribués dans le temps, c'est-à-dire, qu'en moyenne, le nombre de véhicules injectés dans le réseau par seconde est constant pendant la période spécifiée par l'utilisateur (Papaleondiou, 2008). Si une seule période est spécifiée pour le trafic des spectateurs par découpage, par exemple allant de 15 à 23 heures, on obtiendrait environ le même nombre de véhicules chaque heure arrivant à Paléo. Or, la distribution d'affluence de la figure 3.2 montre un pic entre 18 et 20 heures. C'est pourquoi, les flux de trafic des spectateurs ont été divisés et dessinés sur le réseau en trois périodes selon le tableau 3.5 pour mieux approcher cette distribution. Ainsi, 28% des véhicules arrivent entre 15 et 18 heures, 50% entre 18 et 20 heures et 22% entre 20 et 23 heures.

Concernant le trafic régulier, les flux n'ont pas été divisés puisque des valeurs moyennes de trafic ont été calculées.

TABLEAU 3.5 – Périodes d'injection et distribution des véhicules dans la simulation pour le trafic des spectateurs.

Période	15-18h	18-20h	20-23h
Distribution	28%	50%	22%

Avec l'outil de zone de flux, les ellipses ont été dessinées sur le réseau. Pour le trafic des spectateurs, l'ellipse d'origine correspond au découpage et celle de destination à l'un ou l'autre des parkings. Pour les découpages n'étant pas couverts par le réseau modélisé, ils ont été ajoutés aux découpages par lesquelles les

véhicules doivent transiter pour se rendre au Paléo. Ainsi les véhicules appartenant au découpage Rhône-Alpes ont été ajoutés à Genève et ceux de Pontarlier à Hauts de Morges. Concernant le découpage Franche-Comté, l'origine des flux a été placée à l'endroit du village La Cure (au nord du découpage NStCM).

Pour le trafic régulier, les ellipses ont été placées selon la description de la sous-section 3.4.2. Le trafic autoroutier de Genève à Lausanne a pour origine Genève et pour destination Lausanne et inversement pour le trafic en sens inverse.

Une fois que tous les flux ont été dessinés, le fichier `*generated-trips.xml` est exporté avec Traffic Modeler et contient les nœuds de départ et de destination pour chaque véhicule, ainsi que le pas de temps de départ (l'heure de départ).

L'itinéraire des véhicules peut maintenant être créé, c'est-à-dire, la liste de nœuds qui seront visités par chaque véhicule, du nœud d'origine à celui de destination. Ceci se fait à l'aide de l'application `duarouter.exe` qui calcule le chemin de plus court selon l'algorithme de Dijkstra (1959). Un nouveau fichier XML est généré : `*.rou.xml`.

L'algorithme de Dijkstra calcule d'itinéraire le plus court sans tenir compte du trafic. Si tous les véhicules convergeaient vers les mêmes routes, il est probable que des congestions très importantes se formeraient. Le script `duaiterate.py` procède par itération et affecte des nouveaux itinéraires aux véhicules pour approcher un équilibre où plus aucun véhicule ne peut améliorer son temps de parcours sans diminuer celui d'un autre. L'algorithme implémenté est celui de Gawron (1998).

Finalement, SUMO-GUI, l'interface graphique de SUMO, permet de visualiser la simulation. Les fichiers `*.net.xml` et `*it.rou.xml` sont indispensables. Il est encore possible d'inclure un fichier additionnel, `*.add.xml`, qui permet d'ajouter des postes de comptage routier dans la simulation. Les résultats des fichiers additionnels sont stockés dans `*.comptage.xml`.

3.6 Vérifications et calibration

Ceci est une étape importante pour s'assurer que la simulation se comporte de manière réaliste. Avec SUMO-GUI, il est possible d'observer les routes choisies par les spectateurs. Avec le plan de mobilité de Paléo, il faut à présent vérifier si les itinéraires correspondent à la réalité.

Si cela n'est pas le cas, il faut retourner à l'étape précédente de construction du réseau pour apporter des modifications. On peut, par exemple, rectifier certaines vitesses limites sur les routes, comme ajouter une zone 30 qui aurait été oubliée et qui devient très fréquentée alors qu'elle ne l'est pas en réalité. Certaines routes à accès limité, comme des routes agricoles, peuvent également devenir très fréquentées, alors qu'en réalité, elles sont interdites à la circulation.

Il faut également calibrer le modèle. C'est-à-dire comparer les flux obtenus avec ceux des points d'observations pour s'assurer que la modélisation reflète la réalité. Dans ce travail, les postes de comptage de Coppet et de Rolle ont servi à la calibration. La distribution des flux aux deux parkings doit également être semblable à la courbe d'affluence de l'entrée.

Chapitre 4

Résultats

4.1 Distribution spatiale des acheteurs de billets en 2013

La figure 4.1 représente la provenance des acheteurs de billets en 2013 par canton. On remarque que Paléo touche presque toute la Suisse, particulièrement les habitants du canton de Vaud, avec un attrait décroissant plus on s'éloigne du festival.

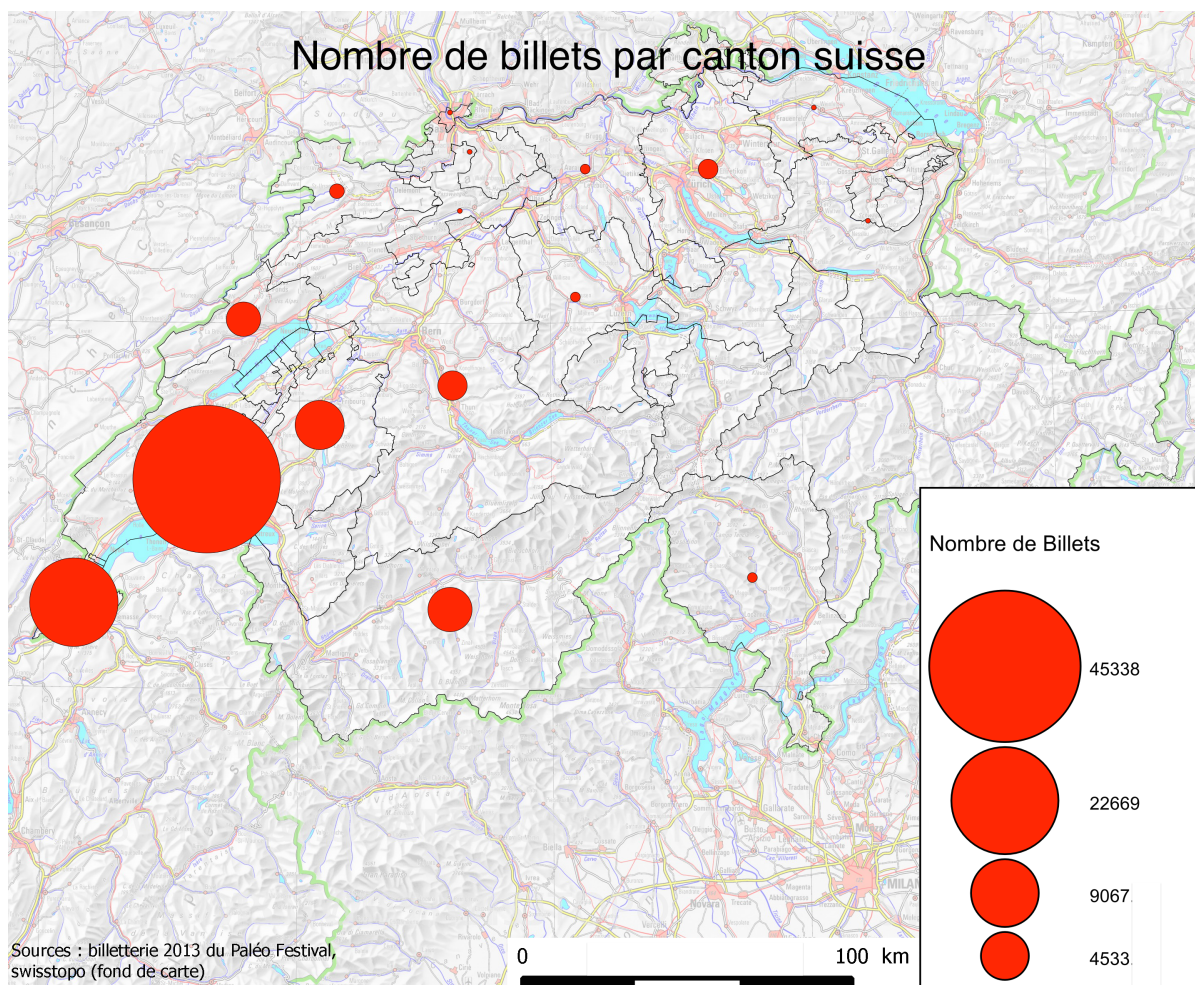


FIGURE 4.1 – Répartition des spectateurs par canton sur la base des données de la billetterie internet 2013.

La figure 4.2 montre la distribution spatiale de acheteurs dans la région lémanique par code postal. Trois pôles (Nyon, Genève et Lausanne) se distinguent. On constate également que le festival attire des Français des communes limitrophes, la commune de Gex étant la plus importante.

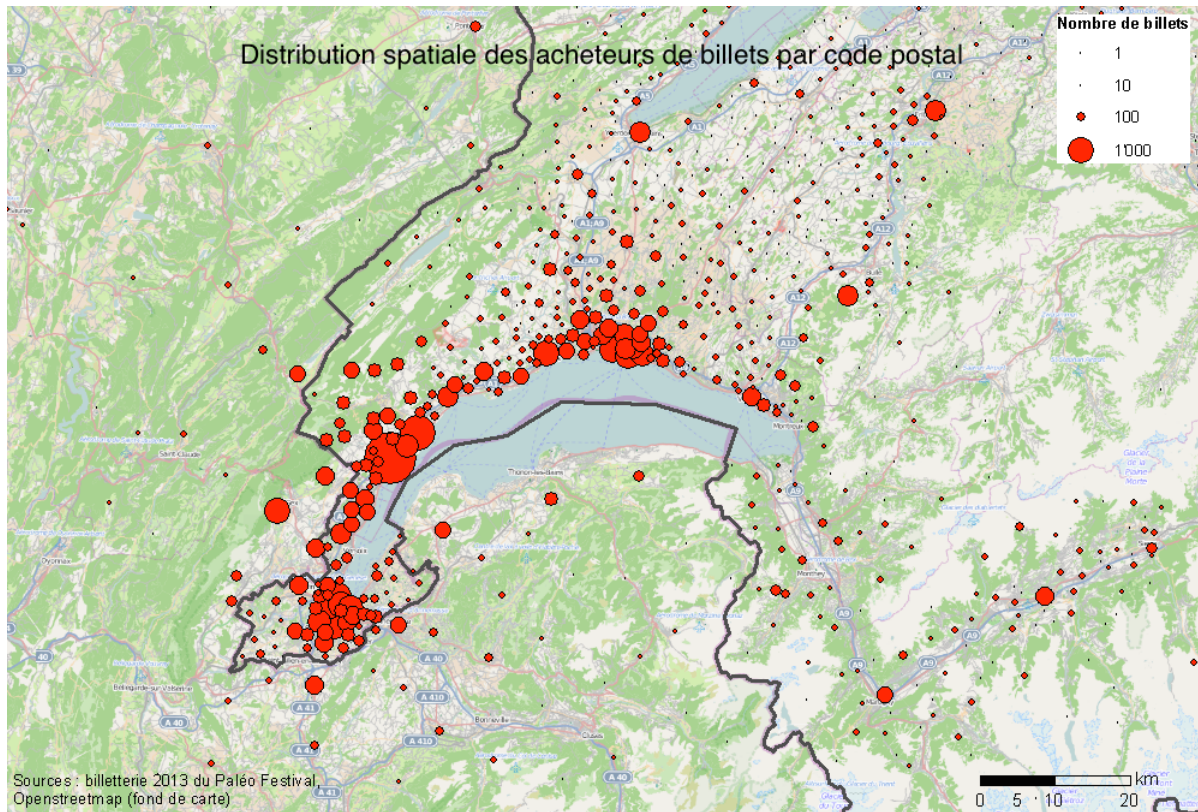


FIGURE 4.2 – Distribution spatiale des spectateurs par codes postaux suisses et français d’après les données de la billetterie internet 2013.

4.2 Répartition modale des spectateurs

La figure 4.3 montre la distribution par commune des spectateurs se rendant en voiture au Paléo, selon les résultats de l’enquête 2012. Plus la provenance est éloignée du festival, plus la part de spectateurs se rendant en voiture augmente. La part modale de voiture est légèrement plus importante à Genève qu’à Lausanne. On remarque aussi que la voiture est le moyen de transport privilégié des communes françaises.

4.3 Origines des flux

La figure 4.4 représente l’origine des flux pour la simulation. Les flux principaux proviennent de Genève, Fribourg-Valais, les Hauts de Morges, Yveron-les-Bains et Lausanne. Le tableau 4.1 précise le nombre de véhicules injectés par origine dans la simulation.

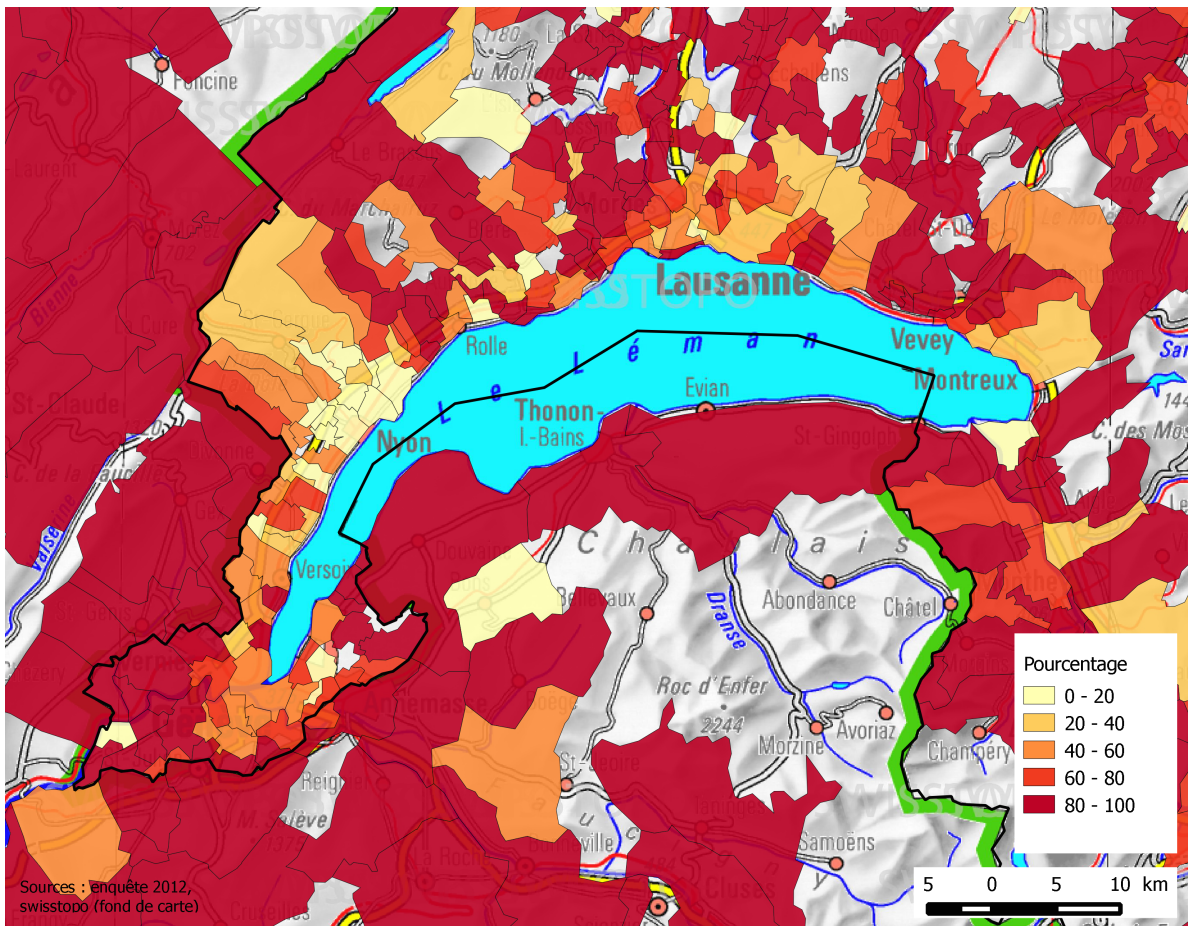


FIGURE 4.3 – Répartition des spectateurs par commune se rendant en voiture au Paléo en 2012.

TABLEAU 4.1 – Origines et parkings de destination des flux. Les tranches horaires correspondent au nombre de voitures injectées dans la simulation.

Origine	Parking	Taux de covoiturage	15-18h	18-20h	20-23h	Total	[%]
Genève	Ouest	1.8	589	1053	463	2105	19.6
Coppet	Ouest	1.8	117	209	92	419	3.9
Nyon	Ouest	1.8	32	57	92	25	1.1
Prangins	Est	1.5	14	25	11	50	0.5
Gland	Est	1.5	26	46	20	93	0.9
Chésérèx	Ouest	1.7	44	78	34	156	1.4
NStCM	Ouest	1.4	49	88	39	177	1.6
Hauts de Rolle	Est	1.5	100	178	78	356	3.3
Rolle	Est	2.1	18	33	14	66	0.6
Hauts de Morges	Est	2.0	401	751	315	1431	13.3
Lausanne	Est	1.9	334	597	263	1194	11.1
Fribourg/Valais	Est	2.1	449	801	353	1603	14.9
Yverdon-les-Bains	Est	2.1	374	667	294	1334	12.4
Morges	Est	1.9	38	68	30	135	1.3
Rhône-Alpes	Ouest	2.1	212	379	167	758	7.1
Pays de Gex	Ouest	2.0	133	238	105	475	4.4
Franche-Comté	Ouest	1.9	59	106	47	212	2.0
Pontarlier	Est	2.3	17	31	13	61	0.6
Total	-	1.9 (moyenne)	3007	5370	2363	10740	100

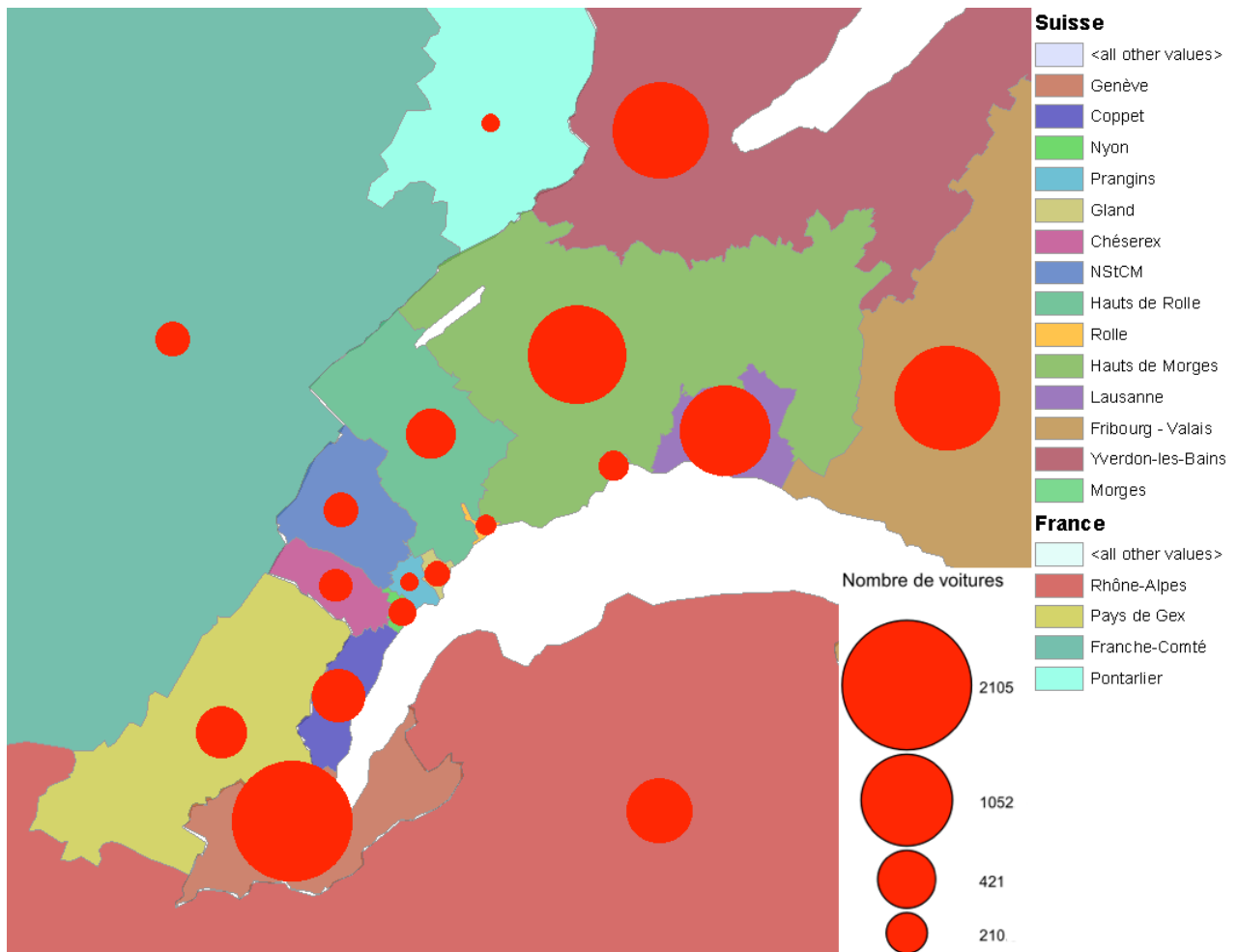


FIGURE 4.4 – Origines des flux pour la simulation. Les zones colorées représentent le découpage et les cercles sont proportionnels au nombre de voitures

4.4 Simulation multi-agents pour le scénario "Azzuro"

En observant la simulation à l'aide du logiciel SUMO, de manière générale, les véhicules suivent le parcours du plan de mobilité de Paléo. Néanmoins, à partir de 18 heures et jusqu'à 20 heures environ, des véhicules venant de Lausanne expérimentent un autre chemin passant par Trélex. Ce changement a lieu lors des itérations où les voitures cherchent le chemin le plus court. On observe cette situation sur le graphique "Trélex" de la figure 4.6. A partir de 18 heures, des flux importants sont observés.

On remarque que les vitesses moyennes sont constantes pour la plupart des postes de comptage de la figure 4.6. En revanche, il y a une chute de vitesse au poste de Duillier entre 18 et 19h, car les véhicules doivent céder le passage aux véhicules venant de Trélex et doivent donc ralentir.

Egalement à partir de 18 heures, une autre partie des véhicules venant de Lausanne n'empruntent plus la sortie de Gland, mais poursuivent jusqu'à l'échangeur de Nyon. Ces véhicules obtiennent alors une nouvelle destination lorsqu'ils sortent de l'autoroute ; le parking ouest. Dans la simulation, un objet (un "rerouter", voir figure 4.5) a été placé sur le tronçon de la sortie d'autoroute de Nyon en direction de Genève, permettant de modifier la destination des véhicules. Tous les véhicules traversant cet objet obtiennent alors un nouveau nœud de destination situé dans le parking ouest.



FIGURE 4.5 – Rerouter. Objet permettant de définir une nouvelle destination pour les véhicules.

Concernant les flux aux abords du parking ouest, la figure 4.6 montre que les vitesses moyennes sont nettement moins régulières que celles aux abords du parking est. Une forte baisse de vitesse témoigne de la présence d'embouteillages. Ainsi, le trafic est nettement moins fluide aux abords du parking ouest.

4.5 Remplissage des parkings

TABLEAU 4.2 – Estimation du taux de remplissage des parkings par tranche horaire. Le nombre de places par parking est estimé sur la base de 430 véhicules/ha.

Parking	Surface totale [ha]	Nombre de places	Taux de remplissage cumulatif [%]		
			15-18h	18-20h	20-23h
Est	13.58	5'839	34	69	93
Ouest	15.22	6'545	19	64	82

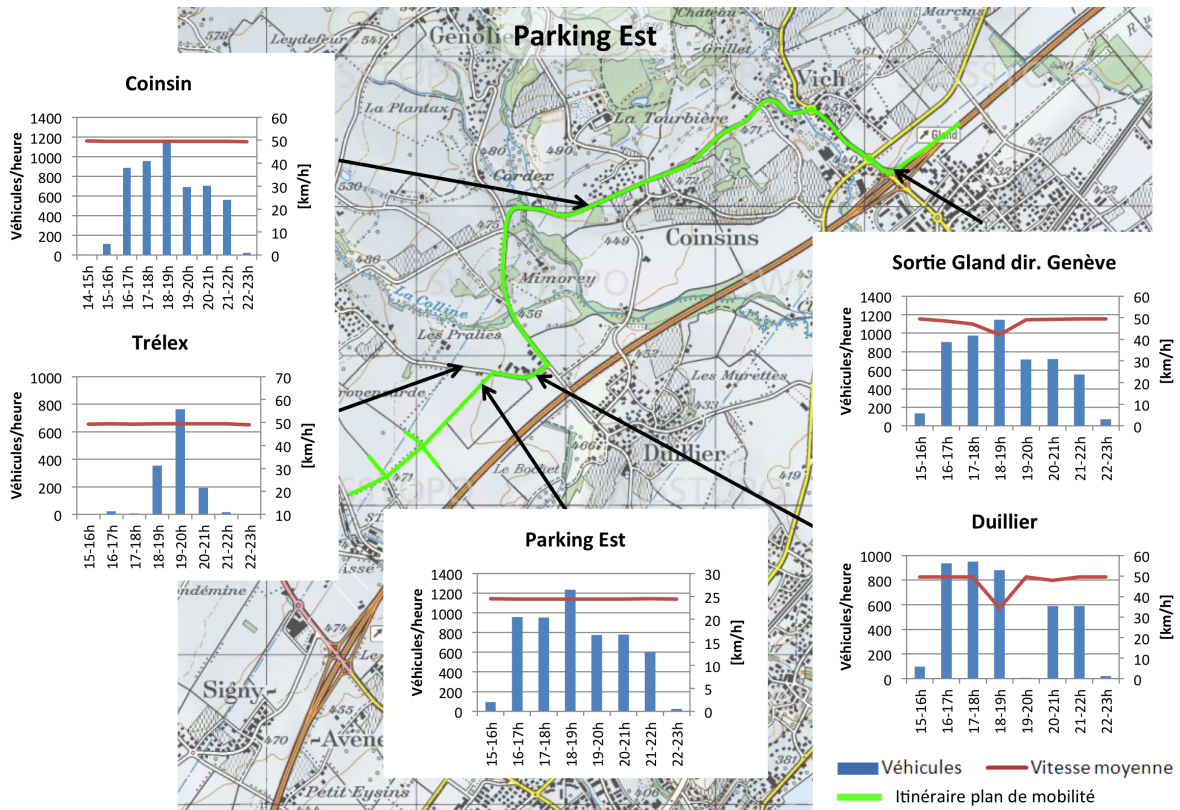


FIGURE 4.6 – Flux observés lors de la simulation pour différents postes de comptages installés proche du parking Est.

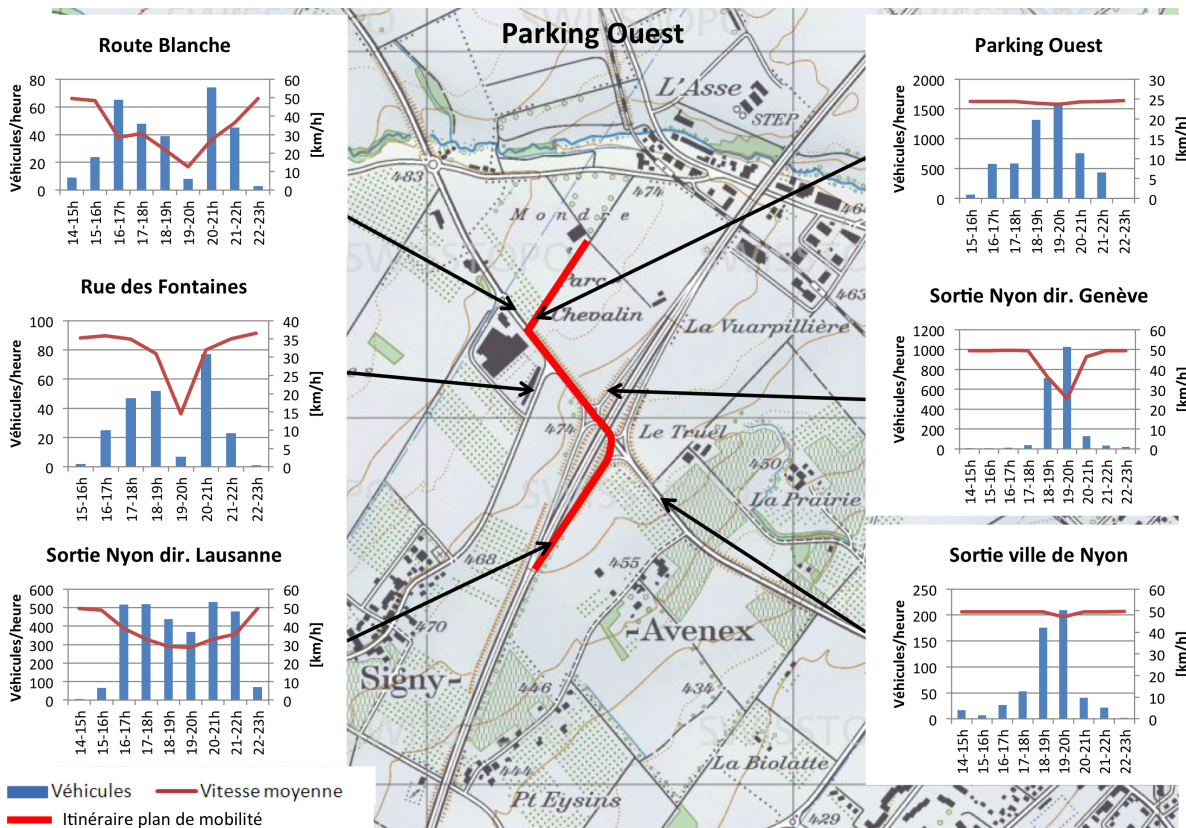


FIGURE 4.7 – Flux observés lors de la simulation pour différents postes de comptages installés proche du parking Ouest.

4.6 Temps de déplacement moyen par origine

La figure 4.8 illustre que les temps de déplacement moyens de la simulation sont plus courts que ceux de l'enquête 2012. Seuls Prangins et Chésèrex ont des temps proches de ceux de l'enquête. Pour Yverdon-les-Bains, ils sont jusqu'à deux fois plus importants que dans la simulation. Les temps de déplacement pour les découpages français n'ont pas été calculés.

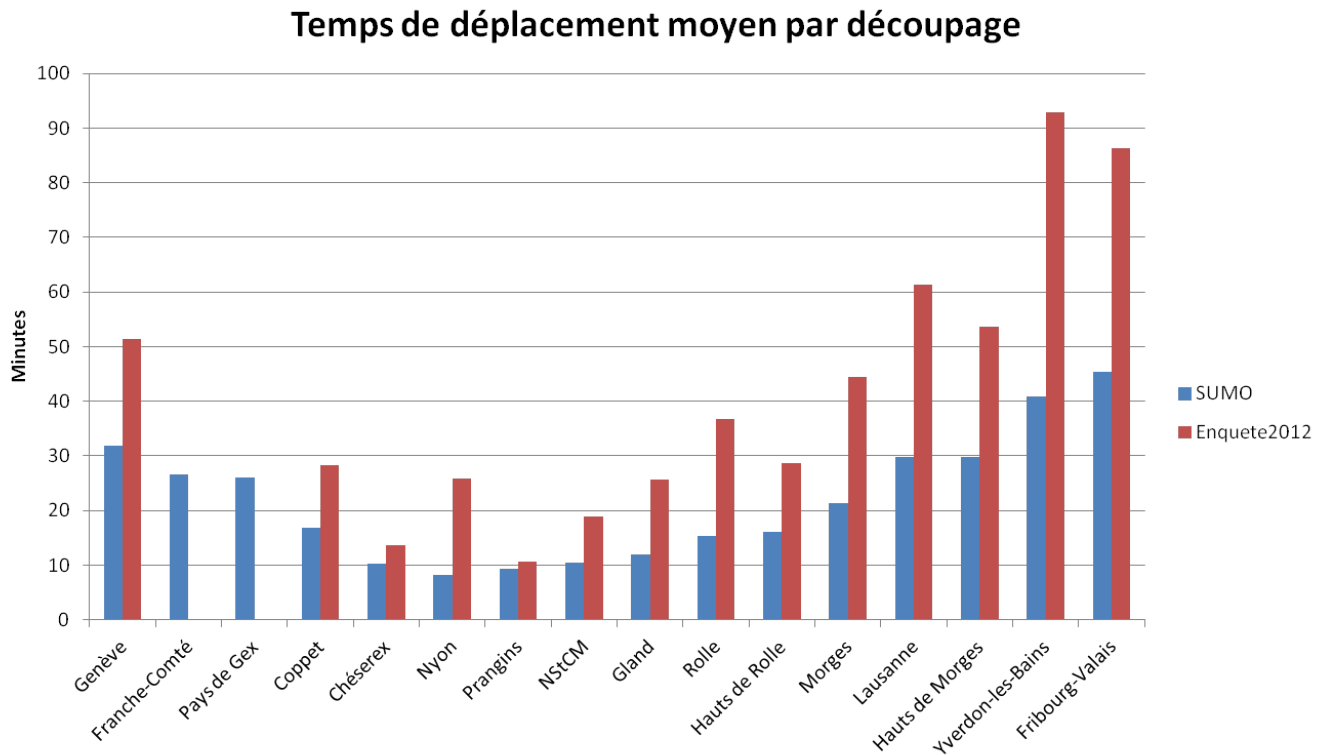


FIGURE 4.8 – Comparaison des temps de déplacement.

4.7 Comparaison de la simulation avec les comptages routiers

De manière globale, dans les figures 4.9 et 4.10, la comparaison des comptages routiers de l'OFROU avec la simulation est similaire, en particulier concernant les comptages à Rolle.

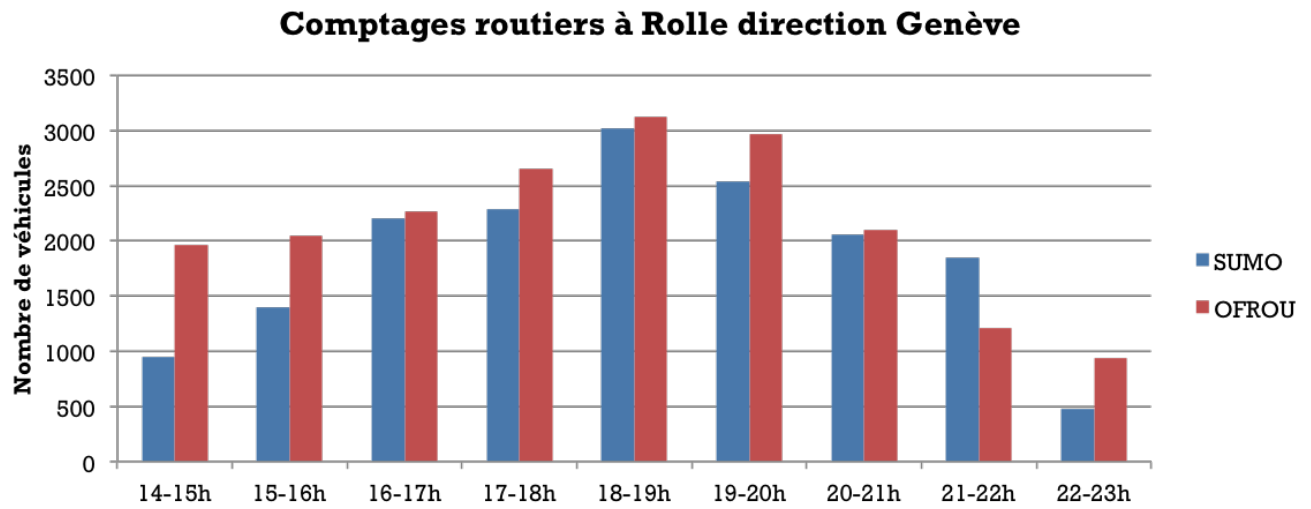


FIGURE 4.9 – Comparaison des comptages sur l’autoroute à Rolle.

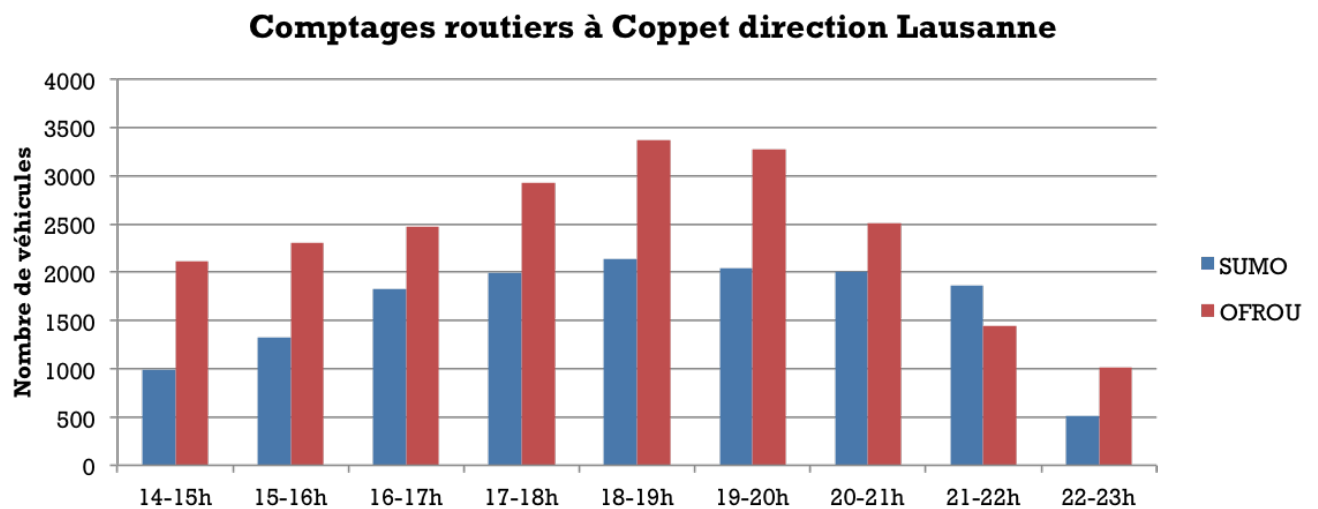


FIGURE 4.10 – Comparaison des comptages sur l’autoroute à Coppet.

Chapitre 5

Discussion

Embouteillages

Les vitesses moyennes du graphique "Sortie Gland dir. Genève" de la figure 4.6, montrent que le trafic à la sortie d'autoroute de Gland est relativement fluide pendant presque toute la simulation. Ceci s'explique principalement par le fait que les véhicules venant de Lausanne s'arrêtent seulement pour céder le passage aux voitures peu nombreuses venant de Gland. Il y a tout de même une légère baisse de vitesse de 18 à 19 heures, mais seulement une petite file de voiture a le temps de se créer.

Toutefois, en réalité, cette intersection est souvent très chargée aux heures d'affluence même en dehors de la semaine de Paléo. Le trafic venant de Gland est donc sous-estimé dans la simulation. Des congestions devraient apparaître le long de la sortie d'autoroute et peut être même remonter jusque sur l'autoroute. Dans la simulation, il faudrait donc augmenter le flux de trafic en provenance de Gland. Cependant, il n'existe pas d'estimation ou de poste de comptage à cet endroit. Pour améliorer la simulation, il serait nécessaire de recueillir des données à cette intersection pendant Paléo. Par exemple, des observations de terrain permettraient d'estimer les embouteillages. Des compteurs routier temporaires pourraient également être utiles.

Du côté de la sortie de Nyon, la circulation est rythmée par les feux de circulation. Sans ces feux, il est probable que le trafic s'écoulerait de manière beaucoup plus fluide et les embouteillages seraient moins importants. Les feux sont donc des éléments essentiels à intégrer à la simulation. En revanche, les temps de feux calculés par SUMO n'ont pas été modifiés, ils ont été laissés par défaut. Avec SUMO, il est possible de les contrôler précisément. Il faudrait donc, au préalable, mesurer les temps de feux soit par des observations de terrain, soit en se renseignant auprès de la gendarmerie locale.

Sur le graphique "Rue des Fontaines" de la figure 4.7, on observe une diminution des vitesses moyennes entre 19 et 20 heures, ce qui indique qu'une congestion se forme à ce moment. Elle est causée par le flux de véhicules important provenant de l'échangeur de Nyon. En effet, les voitures doivent céder la priorité aux véhicules venant de Nyon. En réalité, il est possible que l'ampleur du ralentissement soit réduit par la présence d'un gendarme qui règle la circulation ou par la courtoisie de certains véhicules sur la route principale qui cèdent parfois le passage. La simulation ne permet pas de prendre en compte ce genre de situation, lorsque les véhicules roulent au pas.

De même, des embouteillages se forment sur la route Blanche. On observe que les vitesses moyennes chutent et atteignent la valeur la plus basse entre 19 et 20 heures. C'est un cas similaire à celui de la rue des Fontaines. Les voitures doivent céder la priorité aux voitures venant de Nyon.

Heures d'arrivée

Le graphique "Parking Est" de la figure 4.6 montre la distribution par heure des véhicules arrivant au parking est. Cette distribution des flux est proche de l'affluence à l'entrée à l'entrée (voir figure 3.2). En revanche, entre 19 et 20 heures, l'affluence est trop faible, comparativement à la figure 3.2, car une partie des véhicules a changé de destination vers le parking ouest. On observe ainsi un pic sur le graphique "Parking Ouest" de la figure 4.7, causé par les véhicules qui proviennent de Lausanne.

Cette distribution n'est correcte que dans la mesure où on peut réellement se baser sur les affluences aux entrées. Afin de calibrer la simulation, il serait utile d'avoir des compteurs aux entrées des parkings pour mesurer les flux.

Origines des spectateurs

L'hypothèse a été faite, que le lieu de domicile des acheteurs est le même que celui pour se rendre au Paléo. D'après l'enquête 2012, c'est le cas pour environ 81% des festivaliers, tout mode de transport confondu. Ce pourcentage diminue probablement avec l'augmentation de la distance à Paléo. En effet, des spectateurs habitant loin auront certainement plus tendance à se loger au camping ou proche du festival, d'autant plus s'ils y participent plusieurs jours d'affilées.

L'année de différence entre les données des billets et de l'enquête n'a pas été prise en compte. On suppose que la population se rendant au Paléo ne diffère pas beaucoup d'année en année. En effet, d'après le sondage des festivaliers 2013, environ 84% des répondants se disent prêts à revenir l'année prochaine et 76.5% ont déjà participé à plus de 3 éditions.

Afin de consolider cette hypothèse, il faudrait représenter la répartition des acheteurs par code postal ou par district au fil des ans à l'aide de la base de données des billets des années précédentes. Ces informations sont probablement disponibles sur plusieurs années, puisque ELCA, l'entreprise s'occupant de la billetterie, est partenaire du Paléo depuis plus de 10 ans¹.

Pour les éditions futures, afin de pouvoir exploiter au mieux ces données, une attention devrait être portée sur la façon de stocker l'adresse des acheteurs. En effet, un travail de mise en forme des données a dû être effectué lors de cette recherche. Certains codes postaux dans la base de données n'existaient pas ou alors l'espace était tout simplement vide. Une solution plus rigoureuse devrait être trouvée pour éviter les erreurs de saisies, par exemple, à l'aide d'un menu déroulant.

Destination

La destination des festivaliers est déterminée en fonction de leur origine. Pour respecter le plan de mobilité de Paléo, les festivaliers provenant de Lausanne sont dirigés vers le parking est, alors que ceux venant de Genève ont comme destination le parking ouest. Pour les spectateurs qui résident dans les zones de découpages de Nyon, NStCM, Chésereux et Prangins, et qui n'ont pas besoin d'emprunter l'autoroute, le parking le plus proche a été choisi comme destination (voir le tableau 4.1 pour le détail).

Selon les estimations de ce travail, le nombre de spectateurs ayant comme destination le parking ouest est de 4'028, et de 6'712 pour le parking est. Si une partie des véhicules venant de Lausanne ne changeaient pas de destination pendant la simulation, la capacité du parking est serait donc excédée (voir le tableau 4.2). Dans la réalité, pendant le festival, il est fort probable qu'une partie des spectateurs venant de Lausanne préfèrent emprunter la sortie de Nyon plutôt que celle de Gland.

1. <https://www.elca.ch/fr/paleo-festival-et-le-groupe-elca-plus-de-10-ans-de-reussite>. Consulté le 3 juin 2014.

Cette situation n'est pas forcément problématique. Il faudrait pouvoir comparer l'ampleur des embouteillages aux deux sorties d'autoroute afin de déterminer s'il est nécessaire d'entreprendre des actions pour encourager encore plus de spectateurs à emprunter la sortie de Gland pour décharger celle de Nyon.

Temps de parcours

En observant les temps de parcours des véhicules (figure 4.8), on remarque qu'ils sont beaucoup plus courts que ceux estimés dans l'enquête 2012. Les découpages Franche-Comté, Yverdon-les-Bains et Fribourg-Valais n'étant pas entièrement couvertes par le réseau modélisé, un tel résultat est donc attendu. Par exemple, une voiture provenant de Sierre est injectée sur le réseau dans le découpage Fribourg-Valais qui correspond plutôt aux alentours de Montreux, ce qui explique un temps de parcours plus court.

En revanche, les temps de déplacement pour les zones couvertes par le réseau devraient être plus proches des estimations de l'enquête 2012, ce qui n'est pas le cas. Cette différence est probablement causée par le trop faible trafic régulier injecté dans le réseau qui est très simplifié et principalement concentré dans la région nyonnaise. En dehors de cette région, le trafic régulier est quasiment inexistant à part sur l'autoroute entre Lausanne et Genève. Dans la simulation, les véhicules provenant de l'extérieur de la région nyonnaise connaissent donc peu de ralentissements causés par le trafic régulier.

En outre, le trafic autoroutier est sous-estimé. En effet, les figures 4.9 et 4.10 montrent une bonne similarité entre les données réelles de l'OFROU et la modélisation alors que les flux de la simulation devraient être supérieurs. Les données de l'OFROU correspondent à une moyenne annuelle et l'effet d'un flux de trafic exceptionnel causé par une manifestation devrait être modéré. Le trafic autoroutier pendant Paléo devrait être supérieur. La calibration de la simulation est donc à améliorer.

Pour une meilleure estimation du temps de parcours, il faudrait non seulement augmenter le nombre de véhicules sur l'autoroute, mais également exploiter d'autres pistes pour simuler le trafic régulier hors de cet axe. Par exemple, l'application "dfrouter" de SUMO permet de générer la demande de trafic à partir des données des postes de comptages routiers. Par ailleurs, les caractéristiques des voitures sont identiques et donc elles roulent à la même vitesse sur l'autoroute ce qui rend le trafic très fluide. Il serait possible de modéliser des véhicules plus lents comme des camions, bus ou camionnettes en adaptant les paramètres des véhicules.

Des temps de parcours trop faibles peuvent aussi être expliqués par une estimation basse du nombre de spectateurs se rendant en voiture. En effet, au total, seulement 10'740 véhicules de spectateurs ont été injectés dans la simulation alors que les organisateurs comptent entre 10'000 et 12'000 véhicules par jour. Ces chiffres du Paléo correspondent à des estimations et sont sujets à une certaine incertitude. La simulation correspond donc à un scénario plutôt optimiste du point de vue des embouteillages.

Peu de véhicules ont été ajoutés dans la simulation pour se rapprocher des estimations faites sur la base du sondage 2013. En effet, d'après cette source, environ 55% des spectateurs se rendent en voiture, sur les 36'000 spectateurs par jour, cela représente donc 19'800 passagers ou conducteurs. Toujours selon la même source, le taux de remplissage est d'environ 2.6 personnes par voitures, cela fait donc environ 7'615 véhicules par jour. Ce chiffre est inférieur de plus de 4'000 aux estimations de l'occupation des parkings de Paléo en 2012, qui est d'environ 12'000 après correction (ADD REF). Pour clarifier la raison de cette différence, il pourrait être utile de revoir la procédure de comptage des parkings ou d'installer des compteurs routiers aux entrées de parkings.

Réseau

L'élaboration du réseau routier s'est révélée une étape assez longue car, malgré la richesse des données Openstreetmap, elles comportent parfois des erreurs. Des modifications ont donc été apportées mais, à

cause de l'étendue du réseau, il n'a pas été possible de vérifier toutes les routes. La zone d'intérêt et en particulier les abords du festival ont fait l'objet d'une plus grande attention.

Par ailleurs, les contributions à Openstreetmap ne sont pas homogènes. Les grandes villes, en particulier Genève, ont été éditées de manière plus détaillée que certains petits villages ou villes moyennes du canton de Vaud, par exemple. Les corrections apportées ont donc été ciblées.

De plus, on trouve aussi beaucoup de différences dans la classification des routes, ce qui est probablement dû à des contributions d'auteurs différents. Ceci est problématique dans la mesure où la sélection s'est faite sur la classification des routes et donc certaines routes ont peut-être été supprimées, alors qu'elles n'auraient pas dûes l'être. En particulier, il semble qu'il y ait une confusion entre l'utilisation de la classe résidentielle (*residential*) et la classe service d'Openstreetmap. La ville de Nyon en est l'exemple, puisque presque toutes les routes résidentielles ont été classifiées en routes de service. Ces routes n'ayant pas été retenues, il a fallu changer la classification des routes de service en résidentielles pour les inclure dans la simulation.

Il a également été nécessaire d'identifier les routes à accès limités comme les routes agricoles ou les chemins privés qui sont nombreux dans la région. L'information est parfois disponible dans Openstreetmap mais pas toujours. Les routes proches du festival ont donc été étudiées plus en détail soit par l'observation d'image "Street View" de Google², soit en utilisant ma connaissance personnelle du terrain.

Itérations

En effectuant des itérations, les véhicules cherchent des itinéraires plus courts en considérant le trafic et tendent vers un équilibre où plus aucune voiture ne peut améliorer son temps de parcours sans augmenter le temps des autres. Cet état d'équilibre correspond généralement à une situation où les voitures font plusieurs fois le parcours comme des pendulaires (Santi, 2012). Dans le cas d'une manifestation temporaire, cette hypothèse n'est pas forcément réaliste puisqu'il faut que les spectateurs participent à plusieurs éditions du festival pour trouver le chemin le plus adéquat. Le cas du Paléo fait exception puisqu'on sait que les festivaliers sont fidèles au Paléo (voir ci-dessus) et connaissent souvent des "astuces" pour éviter le trafic.

Correction du nombre de billets par code postal

Sur la figure 4.2, il est possible que certaines communes soient sur- ou sous-représentées. En effet, en raison d'une erreur de formatage des cellules sous Microsoft Excel, le zéro devant les codes postaux français était absent.

Le département de l'Ain est particulièrement concerné puisque le code de ce département est 01, et que les codes postaux français sont précédés par ce code. Dans la base de données, les codes postaux français, normalement composés de 5 chiffres, ont été tronqués et mélangés avec les codes postaux suisses à 4 chiffres. En conséquence, le nombre de billets de certains codes postaux suisses était trop élevé.

Néanmoins, cette erreur a été corrigée pour les codes postaux limitrophes. Certains numéros postaux à 4 chiffres ne correspondaient à aucun code postal suisse et il a suffi de rajouter un zéro devant le code postal. Les autres ont été corrigés en comparant le pourcentage de participation à l'enquête 2012 avec le pourcentage des billets par code postal. Cette solution n'est pas idéale, mais elle permet tout de même de rectifier sensiblement les résultats. Les codes postaux concernés par ces rectifications sont résumés dans le tableau 5.1.

2. <https://www.google.com/maps/views/streetview?gl=ch&hl=fr>. Consulté le 20 juin 2014.

TABLEAU 5.1 – Codes postaux correspondants au nombre de billets rectifié.

Codes postaux français	Codes postaux suisses	Noms des codes postaux suisses†
01170	1170	Aubonne
01220	1220	Les Avanchets
01630	1630	Bulle
01210	Inexistant	-
01710	Inexistant	-

Chapitre 6

Conclusion

Les grandes manifestations doivent souvent faire face à d'importants flux dus aux déplacements des spectateurs. C'est pourquoi une bonne gestion de la mobilité est essentielle. Cependant, l'estimation de ces flux n'est pas une chose facile.

Cette recherche avait pour **objectif** principal de modéliser, à l'aide de simulations multi-agents, les flux des spectateurs se rendant au Paléo Festival de Nyon, dans le but général de permettre une meilleure gestion de l'accès au site.

Les **données** principales utilisées proviennent de la billetterie internet 2013 de Paléo, qui contient les codes postaux des acheteurs et le nombre de billets vendus, ainsi que l'enquête 2012, menée par le Lasur¹ sur l'évaluation de l'accès au site. Cette enquête renseigne notamment sur les moyens de transport utilisés par les spectateurs.

La trafic a été simulé à l'aide du logiciel de microsimulation, **SUMO** (Simulation of Urban Mobility), développé par l'Institut des Systèmes de Transport du Centre allemand pour l'aéronautique et l'aérospatial. Ce logiciel permet de simuler les comportements individuels des véhicules sur un réseau routier et de les visualiser à l'aide de l'interface graphique.

Le **réseau** routier provient de la base de données du projet communautaire Openstreetmap². Deux niveaux de détails du réseau ont été créés, l'un plus précis, qui englobe la région de Nyon et l'autre plus large, qui s'étend sur l'arc lémanique, de Genève à Montreux et au nord jusqu'à Yverdon-les-Bains. Le trafic simulé et la répartition des flux ont été observés aux abords du festival.

De manière générale, la simulation a montré des **résultats** concordants avec les conditions de trafic pendant Paléo. Une grande affluence a ainsi été observée aux sorties d'autoroute de Gland et de Nyon. En revanche, la fluidité du trafic en ces deux sorties est très différente.

A Gland, les véhicules roulent de manière fluide pendant presque toute la simulation. Cette situation est probablement trop optimiste, puisqu'en réalité, il est possible d'observer des congestions en cet endroit même en dehors du festival.

A la sortie de Nyon, des embouteillages importants sont constatés sur plusieurs axes qui mènent au parking ouest. Les plus importants sont situés sur la rampe de la sortie d'autoroute venant de Genève, ensuite sur la route Blanche en direction de Nyon et enfin sur une route secondaire menant au village de Signy.

Il a également été remarqué qu'une proportion de véhicules venant de Lausanne utilise la sortie d'autoroute de Nyon plutôt que celle de Gland, contrairement à ce qui est prévu par le plan de mobilité. Cet état de fait n'est pas forcément problématique dans la mesure où l'ampleur des congestions est similaire aux

1. lasur.epfl.ch. Consulté le 19 juin 2014.

2. <http://www.openstreetmap.org>. Consulté le 19 juin 2014.

deux sorties, ce qui signifierait que le trafic est bien distribué.

Néanmoins, il a été montré que la simulation n'est pas correctement **calibrée**, c'est-à-dire, que les flux simulés ne correspondent pas avec les données réelles de postes de comptage routier. En particulier, le trafic régulier simulé est probablement insuffisant et trop simplifié.

Par ailleurs, les estimations du nombre de véhicules se rendant au Paléo souffrent d'un manque de cohérence. En effet, il a été calculé qu'il existe une différence d'environ 4'000 véhicules entre les estimations par les organisateurs de l'occupation des parkings et les résultats des sondages. Des comptages plus rigoureux seraient donc bénéfiques.

Dans l'ensemble, les objectifs de ce travail, qui étaient principalement d'utiliser la modélisation multi-agents pour simuler les flux des véhicules privés se rendant au Paléo, ont été atteints. En revanche, la simulation proposée manque de données d'observation pour obtenir une meilleure calibration. Une fois la simulation parfaitement calibrée, il serait possible de tester des **alternatives** au plan de mobilité et de représenter d'autres scénarios comme le plan pluie ("Diluvio").

6.1 Perspectives

Comme il a été mentionné ci-dessus, la simulation souffre d'une mauvaise calibration. Pour l'améliorer, il serait nécessaire de recueillir des données supplémentaires.

Tout d'abord, il faudrait obtenir une meilleure estimation du nombre de véhicules se rendant au Paléo. Ceci peut se faire en effectuant des comptages aux entrées de parkings. Ces comptages peuvent être réalisés manuellement ou à l'aide de senseurs. Il existe des appareils temporaires permettant de mesurer les flux de trafic à travers la mise en place de tubes en caoutchouc sur la route mesurant les changements de pression lorsqu'un véhicule passe dessus. Par exemple, l'entreprise Metrocount³ produit ce type d'appareil. En revanche, ils sont très onéreux.

Ces données permettraient d'avoir une base solide à confronter avec les estimations de l'occupation des parkings et des sondages. De plus, en connaissant le nombre de véhicules par parking, il serait possible d'estimer le nombre de véhicules empruntant l'une ou l'autre des sorties d'autoroute. Par ailleurs, dans le cas où un plan pluie est mis en place, la différence du nombre de véhicules dans les parkings par rapport au scénario beau temps serait également une information précieuse.

Ensuite, il faudrait effectuer des observations sur le terrain pendant le festival pour quantifier l'ampleur des embouteillages. Les endroits stratégiques sont évidemment les deux sorties d'autoroutes mais également les autres routes mentionnées plus haut. L'emploi de drones permettrait d'appuyer ces observations en effectuant des images aériennes du trafic.

La modélisation des flux sortant pourrait faire l'objet de futures recherches. En effet, les temps d'attente pour sortir des parkings sont parfois très longs. Pour représenter cette situation, il faudrait avoir recours à une simulation plus détaillée des parkings. Il n'est pas nécessaire de modéliser l'ensemble de l'arc lémanique, puisque, une fois que les véhicules sont sortis des parkings, la circulation devient fluide.

Par ailleurs, cette recherche s'est focalisée uniquement sur le scénario beau temps ("Azzuro"), dans lequel tous les parkings sont utilisables. Or, il arrive que certaines éditions du festival connaissent de fortes pluies rendant les parkings impraticables. C'est généralement dans ces conditions que la gestion du trafic est la plus compliquée puisqu'il faut gérer l'utilisation des parkings en fonction de leur état et diriger les spectateurs vers des parkings alternatifs. Il serait donc utile de modéliser plusieurs scénarios "Diluvio" qui permettraient de prédire le trafic dans ces conditions.

3. <http://metrocount.com/>. Consulté le 19 juin 2014.

La gestion de la mobilité lors de grandes manifestations inclut également les transports en commun. Dans un premier temps, les objectifs de ce travail concernaient également la modélisation des flux des spectateurs se rendant au Paléo en transports publics. Cependant, la simulation du trafic routier a demandé trop de temps. Une modélisation des flux des transports en commun permettrait d'évaluer l'utilisation du réseau et de détecter les nœuds sensibles.

Annexe A

Plan des transports en commun 2014 du Paléo Festival

TRANSPORTS EN COMMUN DU PALÉO FESTIVAL NYON

TRAINS CFF

TRAINS NSTCM

BUS PISCINE

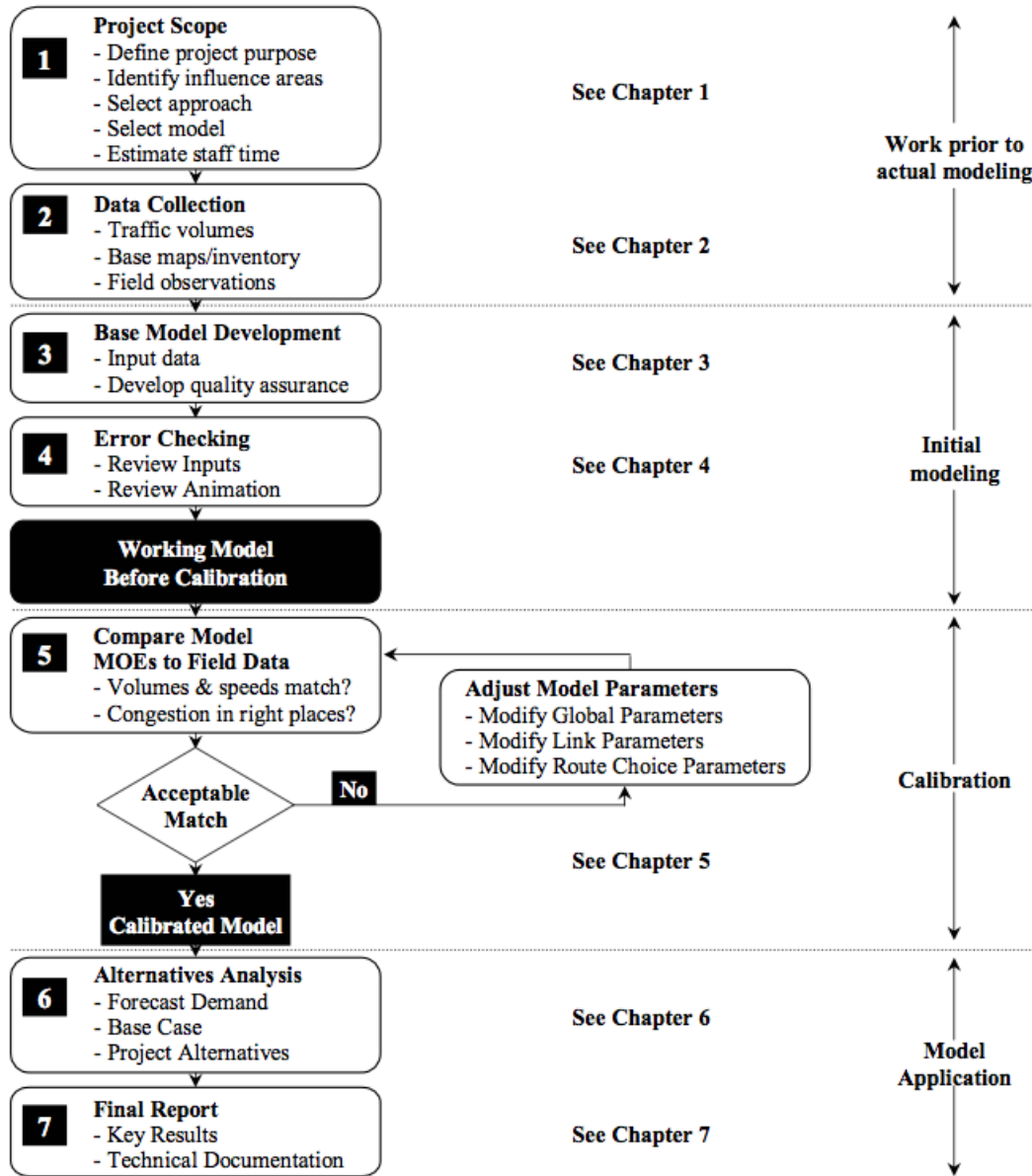
CARS TCS

BUS CAR POSTAL



Annexe B

Ligne directrice du département américain des transports



Developed by the FHWA Traffic Analysis Tools Team and later adapted from *Advanced Corsim Training Manual*, Short, Elliott, Hendrickson, Inc., Minnesota Department of Transportation, September 2003.

FIGURE B.1 – Les 7 étapes pour l’utilisation de logiciels de microsimulation du trafic routier. D’après Dowling et al. 2004.

Bibliographie

- [Amouroux et al., 2009] Amouroux, E., Chu, T.-Q., Boucher, A., and Drogoul, A. (2009). GAMA : an environment for implementing and running spatially explicit multi-agent simulations. In *Agent computing and multi-agent systems*, pages 359–371. Springer.
- [Barceló, 2010] Barceló, J. (2010). *Models, Traffic Models, Simulation, and Traffic Simulation*. Springer.
- [Behrisch et al., 2011] Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., and Krajzewicz, D. (2011). Sumo-simulation of urban mobility-an overview. In *SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation*, pages 55–60.
- [Bovy et al., 2003] Bovy, P., Potier, F., and Liaudat, C. (2003). Les grandes manifestations. *Planification, gestion des mobilités et impacts, éditions de l'Aube, France*.
- [Cetin et al., 2003] Cetin, N., Burri, A., and Nagel, K. (2003). A large-scale agent-based traffic microsimulation based on queue model. In *IN PROCEEDINGS OF SWISS TRANSPORT RESEARCH CONFERENCE (STRC), MONTE VERITA, CH*. Citeseer.
- [Dallmeyer et al., 2014] Dallmeyer, J., Lattner, A. D., and Timm, I. J. (2014). GIS-based traffic simulation using OSM. In *Data Mining for Geoinformatics*, pages 65–82. Springer.
- [Dias et al., 2013] Dias, J. C., Abreu, P. H., Silva, D. C., Fernandes, G., Machado, P., and Leitao, A. (2013). Preparing data for urban traffic simulation using SUMO.
- [Dijkstra, 1959] Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische mathematik*, 1(1) :269–271.
- [Dowling et al., 2004] Dowling, R., Skabardonis, A., and Alexiadis, V. (2004). Traffic analysis toolbox volume III : Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software.
- [Egger, 2010] Egger, C. (2010). Paléo festival nyon : mesures environnementales pour la mobilité des festivaliers.
- [Flötteröd et al., 2012] Flötteröd, G., Chen, Y., and Nagel, K. (2012). Behavioral calibration and analysis of a large-scale travel microsimulation. *Networks and Spatial Economics*, 12(4) :481–502.
- [Frantzeskakis and Frantzeskakis, 2006] Frantzeskakis, J. M. and Frantzeskakis, M. J. (2006). Athens 2004 olympic games : Transportation planning, simulation and traffic management. *ITE Journal*, 76(10).
- [Gabel and Riedmiller, 2013] Gabel, T. and Riedmiller, M. (2013). The cooperative driver : Multi-agent learning for preventing traffic jams. *International journal of traffic and transportation engineering*, 1(4) :67–76.
- [Gawron, 1998] Gawron, C. (1998). An iterative algorithm to determine the dynamic user equilibrium in a traffic simulation model. *International Journal of Modern Physics C*, 9(03) :393–407.
- [Krajzewicz, 2009] Krajzewicz, D. (2009). Kombination von taktischen und strategischen einflüssen in einer mikroskopischen verkehrsflusssimulation. *Fahrermodellierung in Wissenschaft und Wirtschaft, 2. Berliner Fachtagung für Fahrermodellierung*, pages 104–115.
- [Krajzewicz, 2010] Krajzewicz, D. (2010). Traffic simulation with SUMO—simulation of urban mobility. In *Fundamentals of Traffic Simulation*, pages 269–293. Springer.
- [Krajzewicz et al., 2005a] Krajzewicz, D., Brockfeld, E., Mikat, J., Ringel, J., Rössel, C., Tuchscheerer, W., Wagner, P., and Wösler, R. (2005a). Simulation of modern traffic lights control systems using the open source traffic simulation SUMO. In *Proceedings of the 3rd industrial simulation conference*, volume 2205.

- [Krajzewicz et al., 2012] Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., and Bieker, L. (2012). Recent development and applications of SUMO—simulation of urban mobility. *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, 5(3 and 4) :128–138.
- [Krajzewicz et al., 2005b] Krajzewicz, D., Hartinger, M., Hertkorn, G., Mieth, P., Rössel, C., Zimmer, J., and Wagner, P. (2005b). Using the road traffic simulation “SUMO” for educational purposes. In *Traffic and Granular Flow'03*, pages 217–222. Springer.
- [Krajzewicz et al., 2005c] Krajzewicz, D., Hertkorn, G., Ringel, J., and Wagner, P. (2005c). Preparation of digital maps for traffic simulation ; part 1 : Approach and algorithms. In *Proceedings of the 3rd Industrial Simulation Conference*, volume 2005, pages 285–290.
- [Krajzewicz et al., 2002a] Krajzewicz, D., Hertkorn, G., Rössel, C., and Wagner, P. (2002a). Sumo (simulation of urban mobility). In *Proc. of the 4th middle east symposium on simulation and modelling*, pages 183–187.
- [Krajzewicz et al., 2002b] Krajzewicz, D., Hertkorn, G., Wagner, P., and Rossel, C. (2002b). An example of microscopic car models validation using the open source traffic simulation SUMO. In *Proceedings of Simulation in Industry, 14th European Simulation Symposium*, pages 318–322.
- [Krauss, 1998] Krauss, S. D. F. f. L.-u. R. e. V. (1998). Microscopic modeling of traffic flow : investigation of collision free vehicle dynamics.
- [Maciejewski, 2010] Maciejewski, M. (2010). A comparison of microscopic traffic flow simulation systems for an urban area. *Transport Problems*, T. 5, z. 4 :27–38.
- [Meister et al., 2010] Meister, K., Balmer, M., Ciari, F., Horni, A., Rieser, M., Waraich, R. A., and Axhausen, K. W. (2010). Large-scale agent-based travel demand optimization applied to switzerland, including mode choice.
- [Moresino et al., 2013] Moresino, F., Tuberosa, J., Turin, N., Caliskan, M., and Salim, S. (2013). Sondage sur la satisfaction des visiteurs du paléo festival 2013.
- [Mori et al., 2006] Mori, H., Kitaoka, H., and Teramoto, E. (2006). Traffic simulation for predicting traffic situations at expo 2005. *R&D Review of Toyota CRDL*, 41(4) :45–51.
- [Nguyen et al., 2012] Nguyen, Q. T., Bouju, A., and Estrailier, P. (2012). Multi-agent architecture with space-time components for the simulation of urban transportation systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54 :365–374.
- [Niebel and Flötteröd, 2008] Niebel, W. and Flötteröd, G. (2008). SOCCER - TRAFFIC SURVEILLANCE AND FORECAST FOR LARGE-SCALE EVENTS, monitoring and simulating the world youth day 2005 and the soccer world cup 2006.
- [Papaleondiou and Dikaiakos, 2009] Papaleondiou, L. G. and Dikaiakos, M. D. (2009). Trafficmodeler : A graphical tool for programming microscopic traffic simulators through high-level abstractions. In *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th*, pages 1–5. IEEE.
- [Papaleontiou, 2008] Papaleontiou, L. G. (2008). High-level traffic modelling and generation. Master's thesis, University of Cyprus.
- [Perroud, 2012] Perroud, M. (2012). Etude du choix modal pour un déplacement occasionnel : Le cas du paléo festival.
- [Preuilh et al., 2003] Preuilh, P., Ksouri, S., Garica, L., and Ondine, G. (2003). Grands événements et gestion des flux.
- [Raney and Nagel, 2003] Raney, B. and Nagel, K. (2003). Truly agent-based strategy selection for transportation simulations. In *Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, DC, Paper 03*, volume 4258.
- [régional du district de Nyon, 2011] régional du district de Nyon, C. (2011). Quel développement pour le district de nyon ?
- [Santi, 2012] Santi, P. (2012). *Mobility Models for Next Generation Wireless Networks : Ad Hoc, Vehicular and Mesh Networks*. John Wiley & Sons.

- [Septarina, 2012] Septarina, S. (2012). Micro-simulation of the roundabout at idrottsparken using aimsun : A case study of idrottsparken roundabout in norrköping, sweden.
- [Taillandier et al., 2010] Taillandier, P., Vo, D.-A., Amouroux, E., Drogoul, A., and others (2010). GAMA : bringing GIS and multi-level capabilities to multi-agent simulation. In *European Workshop on Multi-Agent Systems*.
- [YU et al., 2008] YU, C., ZHANG, X., WANG, J., HUANG, D., and ZHOU, Y. (2008). Traffic organization with simulation for vehicles on beijing olympic venues. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 8(6) :25–31.
- [Zilske et al., 2011] Zilske, M., Neumann, A., and Nagel, K. (2011). OpenStreetMap for traffic simulation. In *Proceedings of the 1st European State of the Map–OpenStreetMap conference*, pages 126–134.