



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et
de la communication (DETEC)

Office fédéral des transports OFT

Programme Stratégie énergétique 2050 des transports publics
(SETP 2050)

Outil d'aide à la décision pour la mise en place d'un réseau de mobilité dans son contexte énergétique

P-133

Rapport final

Magalie Bassan, Service de la Mobilité

Magalie.bassan@prakriti.online, <https://www.vs.ch/web/sdm>

Helena Pereira, HES-SO Valais-Wallis, Institut Informatique de Gestion

Helena.Pereira@hevs.ch, www.hevs.ch

Gilbert Morand, HES-SO Valais-Wallis, Institut Energie et Environnement

Gilbert.morand@hevs.ch, www.hevs.ch

Mariatharsan Arumugam, HES-SO Valais-Wallis, Institut Energie et Environnement

mariatharsan.arumugam@hevs.ch, www.hevs.ch

David Wannier, HES-SO Valais-Wallis, Institut Informatique de Gestion

David.Wannier@hevs.ch, www.hevs.ch

Jean-Marie Alder, HES-SO Valais-Wallis, Institut Informatique de Gestion

jean-marie.alder@hevs.ch, www.hevs.ch

Vlado Mitrovic, HES-SO Valais-Wallis, Institut Informatique de Gestion

easilab@hevs.ch, www.hevs.ch

Groupe d'accompagnement

M. Philippe Schwery, Service de la Mobilité
M. Léonard Evéquoz, Agglomération Valais Central
M. Eric Imstepf, La Poste

Mentions légales

Éditeur :

Office fédéral des transports OFT
Programme : Stratégie Énergétique 2050 dans les transports publics (SETP 2050)
CH-3003 Berne

Conduite du programme

Tristan Chevroulet, OFT

Numéro de projet: 133

Source

Accessible gratuitement par Internet

www.bav.admin.ch/energie2050

Seul l'auteur (e) ou les auteurs (es) sont responsables du contenu et des conclusions de ce rapport.

Sion, le 27 octobre 2021

Table des matières

Executive Summary Deutsch	2
Résumé exécutif en français	2
Executive Summary in English.....	3
Zusammenfassung	4
Résumé en français	9
1. Situation de départ.....	14
2. Objectifs du travail.....	14
3. Approche adoptée et état des connaissances actuelles.....	15
3.1 Développement : Interface de développement.....	17
3.1.1 Bases de développement théorique.....	17
3.1.2 Bases pour l'analyse des bus électriques à la demande	27
3.1.3 Gestion des données de l'interface de développement	31
3.2 Développement : Plateforme GIS de Visualisation.....	39
3.2.1 Processus de développement	39
3.2.2 Analyse et définition des besoins	39
3.2.3 Fonctionnalités de la plateforme	39
3.2.4 Choix technologiques	42
3.2.5 Développement Agile selon des cycles itératifs	44
4. Résultats	46
4.1 Résultats : Interface de développement.....	46
4.1.1 Fonctionnalités de l'outil et présentation du mode d'emploi.....	46
4.1.2 Outil de définition des comptages routiers et des charges routières	46
4.1.3 Outil de gestion des TP urbains	50
4.1.4 Répartition modale TP/TIM.	51
4.1.5 Répartition modale MD/TIM	51
4.1.6 Résultats du processus de calage	52
4.1.7 Performance du modèle	55
4.1.8 Détermination de la MOD	56
4.1.9 Résultats de l'analyse de la mise en place de bus électriques à la demande	58
4.2 Résultats : Plateforme GIS de Visualisation et Comparaison	70
4.2.1 Présentation des fonctionnalités	70
5. Discussions	78
5.1 Principaux apports novateurs et impact du projet	78
5.2 Analyse des données communément accessibles.....	78
5.3 Méthodologie d'analyse du réseau de mobilité	79
5.4 Anayse de scénarios	79
5.5 Evaluation de systemes de bus electriques ou TP a la demande.....	80
5.6 Réalisation des interfaces de développement et de visualisation GIS.....	81

6. Conclusions et recommandations	82
6.1 Recommandations.....	82
6.2 Conclusions	83
Liste des symboles et abréviations	84
Liste des illustrations	84
Liste des équations	86
Liste des tableaux	86
Abréviations	87
Références	87
Annexes.....	89
7.1 Planification des délivrables Scrum.....	89
7.2 Mode d'emploi de l'outil de développement	90
7.2 Mockups de la plateforme GIS de visualisation.....	115

Executive Summary Deutsch

Ein Entscheidungsunterstützungsmittel, das die Einschränkungen und lokalen Anforderungen berücksichtigt und mit dem den Politikern die Effizienz der Massnahmen betreffend die Mobilität gezeigt werden kann, wurde in zwei Schnittstellen entwickelt. Die verwendeten Daten sind den Behörden alle frei zugänglich.

Es wurde ein Modell geschaffen, um eine Herkunft-Ziel-Matrix zu generieren, die die Realität geeicht auf die Strassenzähler zeigt. Die Daten konnten für die individuellen motorisierten Transporte und die öffentlichen städtischen Transporte analysiert werden. Die Fahrten werden anhand ihrer Gründe dargestellt.

Szenarien mit dem Ziel zur Optimierung der Mobilität können manuell ab der Änderung implementiert werden über:

- Das Strassennetz (inklusive Parkplätze),
- Das öffentliche städtische Verkehrsnetz,
- Die Bevölkerung mit ihren Wohn- und Arbeitsorten,
- Die Sehenswürdigkeiten.

Mit einer GIS-Visualisierungsplattform können eine einfache Visualisierung der zu verbessernden Punkte in einer Grundsituation geschaffen und die verschiedenen Szenarien verglichen werden.

Die Analyse der Verkehrsverlagerung und der Darstellung der Bewegungen des Langsamverkehrs konnte infolge fehlender Daten und schnell verfügbarer Modelle nicht dargestellt werden. Diese Situation ist repräsentativ für die aktuellen Herausforderungen bei der Optimierung der Mobilität.

Die quantitative Bewertung der Inbetriebnahme von Elektrobussen konnte realisiert werden. Zukünftige Entwicklungen könnten einerseits die « Elektrobus »-Lösung modellieren und andererseits Typenszenarien vorschlagen, die für mehrere städtische Regionen der Schweiz anwendbar sind. Die Analyse dem Elektrobus hat bewiesen, dass die Smartgrid-Studie nicht nötig ist im aktuellem Zustand.

In der jetzigen Form konnten viele Funktionalitäten zusammengeführt werden, um den Politikern mittels realistischer und messbarer Grundlage zu helfen, die richtigen Entscheidungen zu treffen.

Résumé exécutif en français

Un outil d'aide à la décision prenant en compte les contraintes et demandes locales et permettant aux politiques de visualiser l'efficacité des mesures sur la mobilité a été développé en deux interfaces. Les données utilisées sont toutes accessibles librement aux autorités.

Un modèle a été créé pour générer une matrice origine-destination représentative de la réalité et calée sur les comptages routiers. Les données ont pu être analysées pour les transports individuels motorisés et les transports publics urbains. Les déplacements sont représentés en fonction de leur motif.

Des scénarios visant à optimiser la mobilité peuvent être implémentés manuellement à partir de modifications sur :

- Le réseau routier (incluant les parkings),
- Le réseau transports publics urbains,
- La population, avec les lieux de résidence et de travail,
- Les lieux d'intérêts.

Une plateforme de visualisation GIS permet une visualisation facile des points à améliorer dans une situation de base et de comparer différents scénarios.

L'analyse du transfert modal et la représentation des déplacements effectués en mode doux n'ont pu être représentés faute de données et de modèles rapidement disponibles. Cette situation est représentative des enjeux actuels de l'optimisation de la mobilité.

L'évaluation quantitative de la mise en place de bus électrique a été réalisée. De futurs développements pourraient être réalisés pour d'une part modéliser la solution « bus électrique », et d'autre part proposer des scénarios types applicables à plusieurs régions urbaines de Suisse. L'analyse des bus électriques a démontré que l'étude smartgrid n'était pas utile à ce stade.

En l'état, de nombreuses fonctionnalités ont pu être réunies pour aider les politiques sur des bases réalistes et mesurables à prendre de bonnes décisions.

Executive Summary in English

A decision aid tool was developed in two parts, which considers the constraints and local demands. This allows politicians to visualize the efficiency of mobility measures. The data used are all easily accessible by local authorities.

A model was created to generate an Origin-Destination Matrix that represent the reality and is calibrated on traffic counting radars. The data were analyzed for individual motorized transportation, and urban public transportation. The trips were represented based on their purposes.

Scenarios aiming to optimize the mobility can be tested manually, when changing:

- The road network (including parking),
- The public transportation network,
- The population, with residence and workplaces,
- The points of interest.

A GIS platform for visualization allows to have an easy look on the potential improvement points, based on an existing situation, and to compare different scenarios.

The analysis of the modal transfer and the representation of the realized trips in soft transport modes was not made due to the lack of easily available data and models. This situation is representative of the current challenges in the mobility domain.

The quantitative evaluation of the implementation of electric busses was realized. Further developments could be realized to, on one hand model the solution “electrical bus”, and, on the other hand, test ready-made scenarios, which could be applied to various regions of Switzerland. The analysis of electric bus has demonstrated that Smartgrid studies are not useful at this stage.

Currently, several tools are compiled to help politicians to take decisions based on realistic measures.

Zusammenfassung

Zusammenhang und Ziele

Die Dimensionierung eines öffentlichen Verkehrsnetzes (ÖV) wird oft aufgrund wenig repräsentativer Statistiken realisiert. Damit kann kein Netz geschaffen werden, das den Bedürfnissen der Benutzer entspricht, weder das Hauptverkehrsaufkommen noch den Energieaufwand verringert. Es gibt Programme zur Netzdimensionierung, deren Verwendung teuer ist, und mit denen keine einfache Darstellung gezeigt werden kann, die die Politiker anspricht.

Das Ziel des Projektes ist die Umsetzung eines Entscheidungsunterstützungsmittels unter Beachtung der Einschränkungen und Anforderungen im Bereich der Mobilität mit folgenden Ausgangszielen:

- Die einfach zugängliche Datenanalyse für eine Schweizer Stadt oder Agglomeration,
- Die Umsetzung einer Analysenmethodologie eines Mobilitätsnetzes auf dieser Grundlage,
- Die Szenario-Analyse, die in mehreren städtischen Situationen der Schweiz getestet werden kann,
- Die Bewertung des Einsatzes von Elektrobussen oder Systemen auf Anfrage,
- Die Entwicklung von Schnittstellen zur Einführung der Daten und deren Visualisierung.

Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungsmittels

Analysen, Überlegungen, Datensammlungen und Realisierung von Entwicklungsschnittstellen und die Visualisierungsplattform wurden durch ein pluridisziplinäres Team von Nobility Lab in Sitten ausgeführt.

Es wurde entschieden, die Entwicklungsschnittstelle auf einer Herkunft-Ziel-Matrix (nachstehend MOD genannt) zu basieren, definiert auf bestehenden Daten, welche die wirkliche Ausgangslage am besten darstellen. Es geht darum, die MOD für jede Stunde eines typischen Tages zu bestimmen, die der Strassenzählung am nächsten kommt. Das Schaffen einer MOD wurde nach einem Zufallszielverfahren in Zusammenhang mit der geografischen Wohnsitzdichte, den Arbeitsstellen, den Einkaufs- und Freizeitmöglichkeiten mit drei Modellen aufgebaut:

- Ein Gravitations-Emitter-/Attraktor-Modell, das die Herkunft und Ziele der ausgeführten Routen aus einem bestimmten Grund angibt, ohne die benutzte Route anzugeben.
- Ein «Router»-Modell, das die Bewegungen mit dem Dijkstra-Algorithmus, welcher Routen optimiert indem er die Distanz und die Zeit verkürzt, und einem vom Benutzer/in definierten Wert simuliert.
- Ein Verfahren zur Eichung mit den Strassenzählungsdaten, das eine Sensibilisierungsmatrix beinhaltet unter Beachtung, dass bestimmte Routen mehrmals und andere nicht verbucht werden. Auf dieser Grundlage wird eine Anpassung gemacht, um die Bewegungsgründe mit einzubeziehen.

Die analysierten und integrierten Daten kommen von verschiedenen Quellen her, mit den Informationen für die drei Bewegungsarten (ÖV, MIV = motorisierter Individualverkehr, LV = Langsamverkehr, siehe Darstellung 1). Es wurden Werkzeuge entwickelt, um auf optimale Weise die integrierten Daten ab OpenStreetMap (OSM) und die verschiedenen erhaltenen Dateien zu vervollständigen. Damit können die wirkliche Situation dargestellt, analysiert (z.B. Verkehrsüberlastungspunkte) und Szenarien implementiert werden, indem einer oder mehrere Aspekte manuell verändert werden.

Logische Gruppierung	Gesuchte Informationen/Ziele	Datenquelle	Entwickelte Funktionalität
Geografische Grundlage	1. Strassennetz 2. ÖV-Netz 3. Dichte Residenz/Arbeitsplätze 4. Zonendefinition	OSM OSM Geo-Karte + BFS : AHV	Netzerstellung und -änderung Netzerstellung und -änderung Repräsentation, Änderung Schaffen von Analysenbereichen
Fahrten	5. Reisegründe 6. MIV : Strassenzählung 7. ÖV : Frequentierung 8. LV : Analyse	BFS Daten Swisstrafic/ Mobilitätsdienst Posterhebung Mobilitätsdienst	- Modellierung und Eichung (MOD) Modellierung und Eichung -

Darstellung A: Art analyserter Daten mit deren Herkunft und entwickelten Funktionalitäten, zwecks deren Darstellung.

Folgende Schnittstellen und Werkzeuge wurden unter anderem entwickelt:

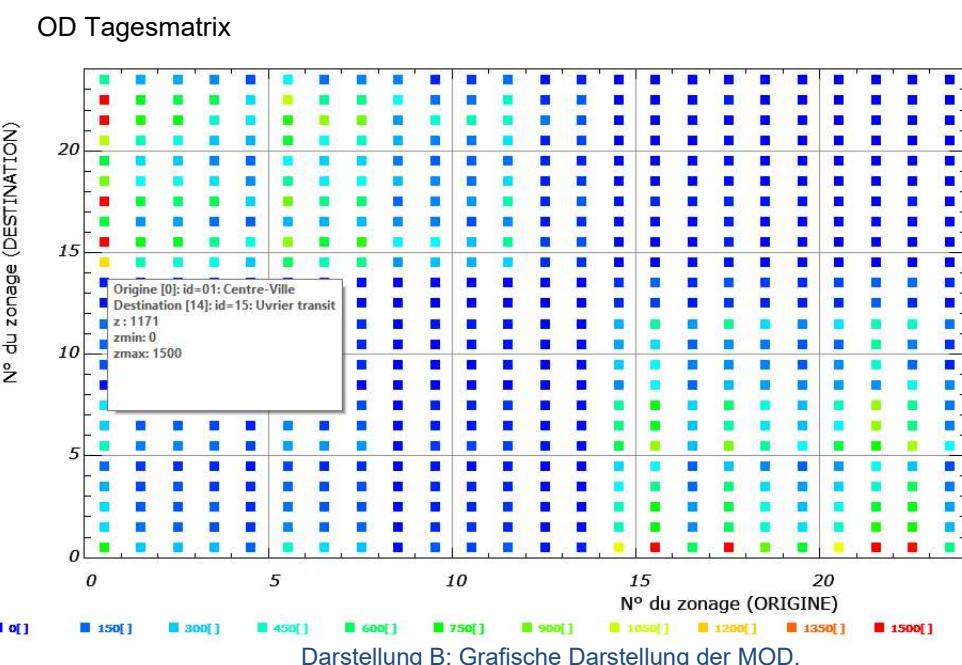
- Ein Werkzeug für das Strassennetz (Abschnitte, Kreuzungen, Geschwindigkeit, Verkehrsrichtung...), das die Informationen des Netzes und der Strassenbelastung kombiniert.;
- Ein Werkzeug für das ÖV-Netz (Haltestellen, Linien, Fahrzeiten...), das die Informationen über die Linien und deren Frequentierung (ohne interurbane Transporte) kombiniert) ;
- Ein Werkzeug für die Parkplätze (Preis und Anzahl Plätze);
- Ein Werkzeug, mit dem die Wohn- und Arbeitsorte der Bevölkerung geändert werden können.
- Ein Werkzeug zum Schaffen von Bereichen, welches die Analyse in Form von Quartieren oder Transitzenen erleichtert.
- Ein Modell, das die Fahrten aufgrund der vom Bundesamt für Statistik [2] beobachteten Reisegründe, (Ausbildungsarbeit (37%), Einkauf (16%), Freizeit (37%), Begleitung (5%)); generiert

Die GIS-Visualisierungsplattform repräsentiert die Mobilität, um das Verständnis der zu optimierenden Elemente und den Szenario-Vergleich mittels mit der Mobilität in Zusammenhang stehenden Entscheidungen zu erleichtern. Die Visualisierungsplattform wurde zur ergonomischen und leichten Verwendbarkeit entwickelt. Sie ist open-source und via einer Web-basierten Schnittstelle unter dem Server <https://vlhmobetic.hevs.ch/> zugänglich. Die technologischen Wahlmöglichkeiten haben dazu geführt, dass die Schnittstelle in zwei aufgeteilt wurde; das Backend für den Datentransfer und die -speicherung und das Frontend für die Visualisierung.

Ergebnisse

Die diesem Dokument beigelegte Bedienungsanleitung ist ein Bedienerhandbuch des Entscheidungsunterstützungsmittels. Es stellt die verschiedenen Funktionalitäten der Entwicklungsschnittstelle dar. Es ist möglich, Dateien im XML-Format zu senden, um die Daten auf der GIS-Plattform zu visualisieren.

Die MOD wurde im Testgebiet Sitten definiert und geeicht. Der Korrelationskoeffizient zwischen den Werten der Strassenzählung und denen von der Modellierung war 0.615. Bei Anwendung der Standardinterpretation des Korrelationskoeffizienten bedeutet dies 61.5% der Varianz der Strassenzähler, was sich durch das Modell erklärt. Eine schematische Darstellung der täglichen MOD ist in Darstellung B mit den Zielzonen auf der X-Achse und auf der Y-Achse den Herkunftszenen gegeben. Jede Farbe stellt eine Anzahl Fahrten von einem Punkt zum andern dar. Die Matrix ist symmetrisch, denn durch Vereinfachung wurden alle Fahrten als Hin und Zurück betrachtet.



Mit dieser MOD können folgende Szenarien durch Verändern der Variablen getestet werden:

- Änderung des Strassennetzes, z.B. um den Verkehr im Stadtzentrum zu verringern (Änderung von Kreuzungen, Geschwindigkeit, Verkehrsrichtung...)

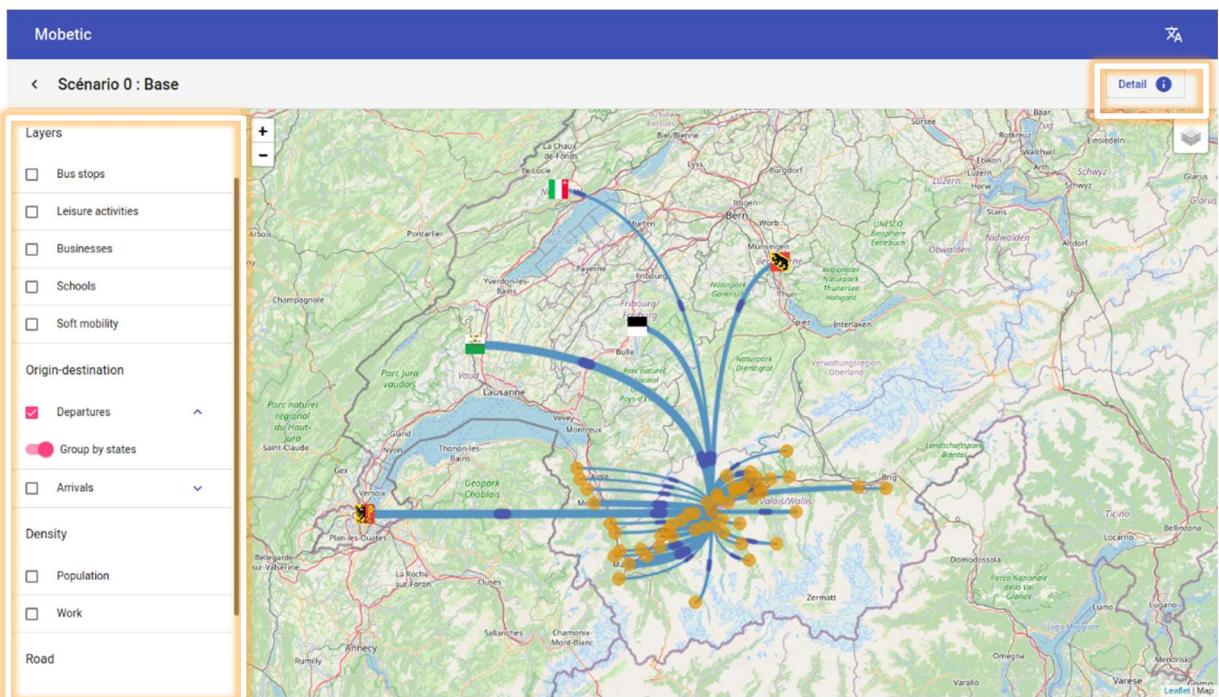
- Änderung des ÖV-Netzes, z.B. um die Kadenz ab den P+R-Punkten am Stadtrand zu erhöhen oder die Wege zwischen den Haltestellen zu ändern,
- Evaluieren Sie die potenzielle Reduzierung der Energiekosten durch den Umstieg von thermischen Bussen mit festem Fahrweg und Fahrplan auf elektrische Busse auf Abruf.
- Die Grösse der Parkplätze ändern, um die Fahrten an diese Art von Anziehungspunkten zu beeinflussen (z.B. weniger Parkplätze im Stadtzentrum und mehr in der Peripherie,
- Die Bevölkerung oder den Zustrom nach einer der Sehenswürdigkeiten zu erhöhen.

Es wurde eine Analyse von zwei städtischen Buslinien durchgeführt, die die potenziellen Vorteile des Einsatzes von Elektrobussen auf Abruf nachweist. Diese 6 Meter langen Busse sind mit geringen Investitionen verbunden und erhöhen die Betriebskosten nicht. Die Berechnungen zeigen jedoch, dass eine Verkehrsverlagerung von 25 % erreicht werden könnte, da Abrufbusse einen Mehrwert für den öffentlichen Verkehrsdiest darstellen. In Darstellung C wird die Energiebilanz zwischen der derzeitigen Situation und einer Situation mit 2 elektrischen Abrufbuslinien verglichen.

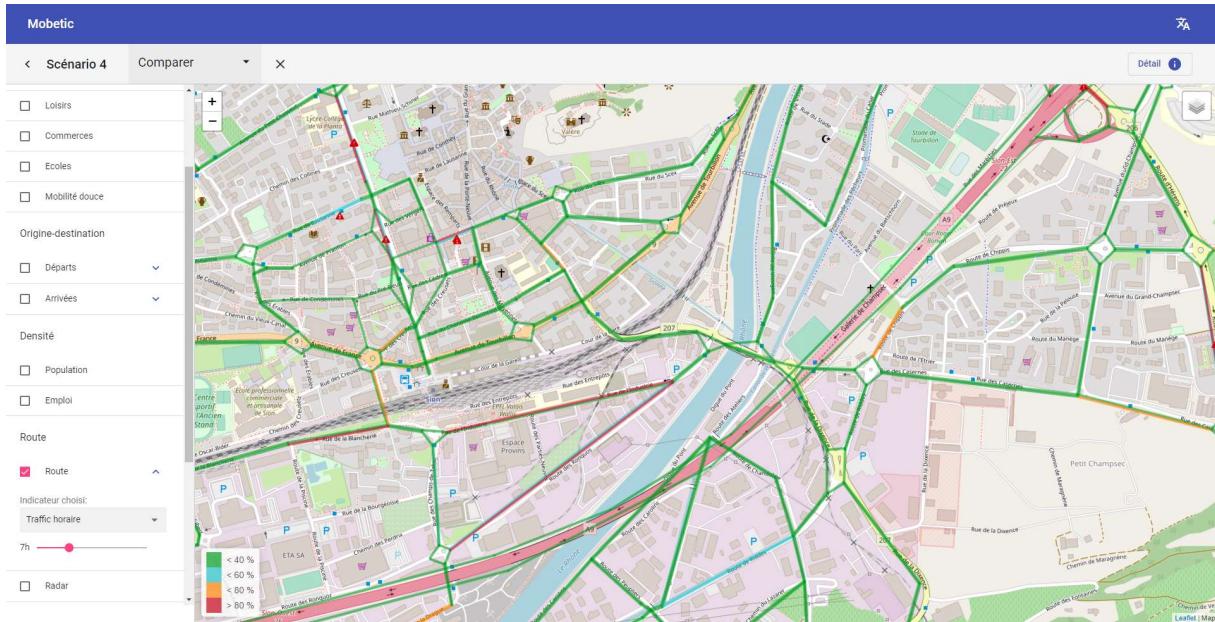
Darstellung C: Vergleichende Energiebilanz von aktuellen Linienbussen und elektrischen Abrufbussen.

	Linienbusse mit Verbrennungsmotor	Elektrische Abrufbusse
Tagesbilanz	800 l Diesel 8000 kWh	600 kWh
Tägliche Reduzierung der CO2-Emissionen	2.1 t CO₂	
Jährliche Reduzierung der CO2-Emissionen	528 t CO₂	

Mit der GIS-Plattform können die Daten des Grundszenarios visualisiert und verglichen werden, um die Effizienz der Massnahmen anderer Szenarien zu testen. Eine Karte gruppiert die Hauptfunktionalitäten mit einem Menu links, mit dem die zu visualisierenden Schichten und die Details des laufenden Szenarios angezeigt werden können. Es ist möglich, mehrere Informationen wie die Herkunfts- und Zielorte von/nach der Studienzone aus beruflichen Gründen (Darstellung 3) oder die Staupunkte zur Hauptverkehrszeit (Darstellung 4) zu visualisieren.

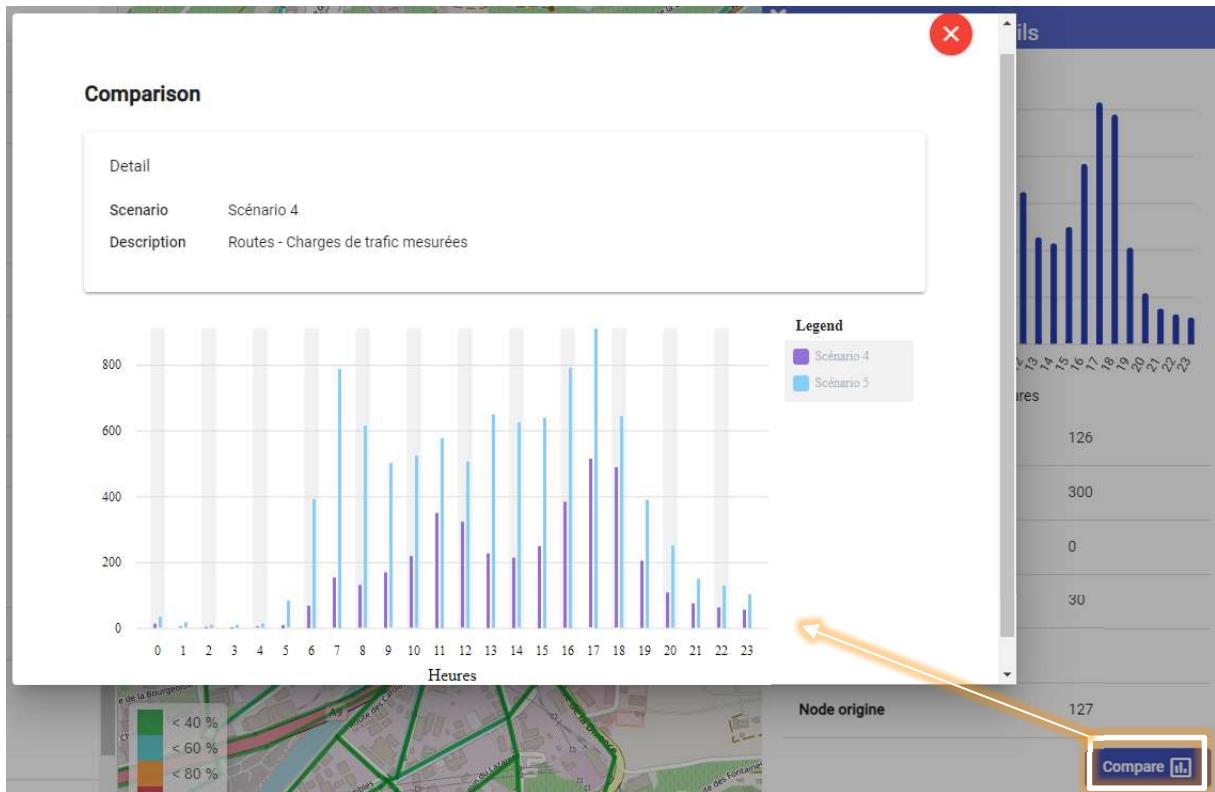


Darstellung D: Karte mit Herkunft-Zielen von und zur Stadt Sitten; der grüne Block stellt die Schichten dar.



Darstellung E: Strassenkarte des Studienbereichs (Sitten) und Prozentsatz der Verkehrsbelastung zur gewählten Zeit (12 Uhr)

Die analytischen Details können visualisiert werden, z.B. auf einem Strassenabschnitt. Damit kann z.B. die Verkehrssituation zwischen einem Szenario und einem andern (Darstellung 5) verglichen werden.



Darstellung F : Seite Verkehrsanalyse auf einem Abschnitt und Vergleichsanalyse zwischen zwei Szenarien.

Diskussion und Empfehlungen

Dieses Projekt wurde auf einer sehr ehrgeizigen Basis initiiert, sowohl auf der Stufe theoretischer zu integrierenden Elemente, auf der Stufe verlangter Details um die Realität darzustellen, als auch auf der Stufe ihrer geografischen Anwendung in der Region Sitten.

Die leicht zugängliche Datenanalyse für eine Stadt oder eine Agglomeration in der Schweiz konnte ausgeführt werden, was eine echte Herausforderung darstellte. Die verwendeten Daten sind alle « open source ». Dies ist ein grosser Mehrwert des Entscheidungsunterstützungsmittel, insbesondere für kleinere Orte oder für eine Vorstudie, bei der die Behörden die Probleme bei der Mobilität in ihrem Bereich verstehen können.

Für den MIV konnte eine wichtige Arbeit ausgeführt werden und das Werkzeug schlägt eine Integration der seitens der lokalen Behörden häufig erhobenen Daten vor. Die Integration der Frequentation des städtischen ÖVs wird auch ausgeführt, da die Werkzeuge zum Erstellen der Linien vorhanden sind und die Daten über den Auf- und Abstieg der Busse aufgrund eines gleichen Formats wie jenes des Verkehrszähleradars analysiert wurden. So sind die ungefähren Anteile der Fahrten im städtischen ÖV und MIV möglich. Im Falle einer weiteren Entwicklung könnten diese Daten mit innerstädtischen Transportdaten der SBB vervollständigt werden.

Die Integration der LV-Bewegungen ist eine der aktuellen grossen Herausforderungen in Sachen Mobilität. Das Fehlen von Daten zu diesem Thema war effektiv eine Hauptschwierigkeit dieses Projekts, auch wenn eines ihrer Ziele darin bestand, die Verkehrsverlagerung vom MIV zum ÖV und LV bewerten zu können. Diese Schwierigkeit ist für die nötige Entwicklung der Mobilität in unseren Städten und Agglomerationen repräsentativ und ein Paradigmenwechsel, der eine echte Entwicklung ermöglicht. Auch die Darstellung der Verkehrsverlagerung war eine Schwierigkeit im Projekt. Ein fehlt tatsächlich ein einfaches Modell, das den Prozentsatz von Personen bewertet, die ihr Verhalten nach den Netzänderungen ändern, und für den Studienbereich anwendbar ist

Mehrere Grundszenarien, die in mehreren urbanen Gebieten in der Schweiz getestet werden können, konnten mit den lokalen Behörden diskutiert werden. Diese Szenarien können manuell implementiert werden. Ebenso wurde eine Diskussion über die Indikatoren geführt, womit die Szenarien verglichen werden können, und die auf der Visualisierungsschnittfläche erscheinen sollten. Indikatoren, für welche Daten verfügbar sein können, sind:

- Die Verkleinerung der Überlastungssereignisse der Strassenkapazitäten (Staus),
- Der modale Transfer des MIV auf andere Arten,
- Die Verringerung der CO₂-Emissionen und des Lärms,
- Der Rückgang der Energieausgaben infolge von Fahrten.

Die Bewertung und die Einführung von Elektrobussen oder Systemen auf Anfrage im Studienbereich des Mittelwallis konnten nicht realisiert werden. Es wurde bald festgestellt, dass die Entwicklung des bestehenden Netzes und der Grundfunktionalitäten des Werkzeuges realisiert werden sollten, bevor man einen Vergleich der innovativen Szenarien des ÖV, insbesondere die Bewertung eines ÖV-Systems auf Anfrage erstellen kann.

Schlussendlich konnten die beiden Schnittstellen (Entwicklung und Visualisierung) implementiert und ein Verlagerungssystem der Daten umgesetzt werden. Die erste Schnittstelle benötigt den Eingriff von Personen, die das Netz gut kennen, auf denen die Szenarien getestet werden sollten. Mit der Visualisierungsplattform sind die Daten Personen zugänglich, die die Details des Netzes nicht kennen. Die Funktionalität dieser zweiten Schnittstelle wurde entwickelt, damit die Szenarien auf einfache Art verglichen werden können. Diese beiden Schnittstellen stellen die Realität aufgrund der open-source Datenbank gut dar.

Résumé en français

Contexte et objectifs

Le dimensionnement d'un réseau de transports public (TP) est souvent réalisé sur la base de statistiques peu représentatives. Cela ne permet pas d'assurer un réseau qui satisfasse les demandes des usagers, ni de réduire les pics de trafic ou les dépenses énergétiques. Il existe des logiciels pour le dimensionnement de réseaux, dont l'utilisation est couteuse et ne permet pas une représentation simple qui parle aux politiques.

Le projet vise à mettre en place un outil d'aide à la décision prenant en considération les contraintes et les demandes en mobilité avec les objectifs initiaux suivants :

- L'analyse des données facilement accessibles pour une ville ou une agglomération en Suisse,
- La mise en place d'une méthodologie d'analyse d'un réseau de mobilité sur cette base,
- L'analyse de scénarios pouvant être testés dans plusieurs situations urbaines en Suisse,
- L'évaluation de la mise en place de bus électriques ou de systèmes à la demande,
- L'élaboration d'interfaces pour l'introduction des données et pour leur visualisation.

Développement de l'outil d'aide à la décision

Les analyses, réflexions, les collectes de données et la création de l'interfaces de développement et de la plateforme de visualisation ont été réalisées par une équipe pluridisciplinaire du Mobility Lab de Sion.

Il a été décidé de baser l'interface de développement sur une Matrice Origine Destination (ci-après MOD) définie sur des données existantes et représentant au mieux la situation réelle de départ. Il s'agit de déterminer la MOD pour chaque heure d'un jour type, qui se rapproche au mieux des comptages routiers. La création de la MOD s'est basée sur des processus de tirages aléatoires liées à la densité géographique des résidences, des emplois, des commerces et des loisirs, qu'il s'agit de caler sur les mesures des comptages routiers.

Pour atteindre cet objectif, deux modèles et une méthode de calage innovante ont été développés.

- Un modèle gravitationnel émetteur / attracteur, livrant les origines et les destinations des trajets effectués pour un motif donné, sans déterminer le chemin emprunté. Ce modèle presuppose que tout déplacement a comme raison le travail, les loisirs, le commerce ou l'accompagnement (par exemple à l'école).
- Un modèle « router » simulant les déplacements, avec l'algorithme de Dijkstra qui permet de déterminer les trajets en minimisant soit la distance à parcourir, soit la durée du parcours, soit une fonction de coût qui peut être librement définie par l'utilisateur/trice du logiciel.
- Une méthode de calage avec les données de comptages routiers permet de minimiser la simulation des charges de trafic par des techniques de Monte-Carlo avec les comptages routiers enregistrés. Une matrice de sensibilité du système du comptage routier a été déterminée. Chaque composante de la matrice mesure, pour chaque raison du déplacement, le nombre de comptages routiers enregistrés.
- Les données analysées et intégrées proviennent de différentes sources avec les informations pour les trois modes de déplacement (TP, TIM = Transport Individuel Motorisé, MD = Modes Doux, voir Figure 1). Des outils ont été développés pour compléter de manière optimale les données intégrées depuis OpenStreetMap (OSM) et les différents fichiers obtenus. Ces outils permettent de représenter la situation existante, de l'analyser (par exemple points de surcharge de trafic) et d'implémenter des scénarios en changeant un ou plusieurs aspects manuellement.

Tableau 1. Type de données analysées, avec leur source et les fonctionnalités développées pour les représenter.

Regroupement logique	Informations/objectifs recherchés	Source de données	Fonctionnalité développée
Base géographique	1. Réseau routier 2. Réseau TP 3. Densité résidence/emplois 4. Définition des zones	OSM OSM Map-géo + OFS : AVS Interface d'édition	Création & modification réseau Création & modification réseau Représentation, modification Création de zone d'analyse
Déplacements	5. Motifs de déplacement 6. TIM : Comptages routiers 7. TP : Fréquentation 8. MD : Analyse	OFS Données Swisstrafic/SDM Relevé de la Poste Service de la mobilité	- Modélisation et calage (MOD) Modélisation et calage -

Les interfaces et outils de développement suivants ont entre autres été implémentés :

- Un outil pour le réseau routier (tronçons, carrefours, vitesses, sens de circulation, ...), combinant les informations sur le réseau et la charge routière ;
- Un outil pour le réseau TP (arrêts, lignes, horaires, ...), combinant les informations sur les lignes et leur fréquentation (sans les transports interurbains) ;
- Un outil pour les parkings (prix et nombre de places) ;
- Un outil permettant de modifier les lieux de résidence et de travail de la population ;
- Un outil pour la création de zones facilitant l'analyse sous forme de quartier ou zone de transit ;
- Un modèle générant des déplacements sur la base des motifs de déplacement statistiquement observés par l'Office Fédéral des Statistiques [2] (Travail et formation (37%), achat (16%), loisirs (37%), accompagnement (5%)).

La Plateforme GIS de visualisation permet la représentation de la mobilité pour faciliter la compréhension des éléments à optimiser et la comparaison de scénarios pour l'aide aux décisions liées à la mobilité. La plateforme de visualisation a été développée pour être ergonomique et facile d'utilisation. Elle est basée sur des technologies open-source et accessible par une interface web qui est hébergée sur le serveur <https://vlhmobetic.hevs.ch/>. Les choix technologiques ont mené à scinder la plateforme en deux parties, le backend pour le transfert et le stockage de données, et le frontend pour la visualisation.

Résultats

Le mode d'emploi, annexé au présent document, constitue le manuel utilisateur de l'outil d'aide à la décision. Il présente les diverses fonctionnalités de l'interface de développement. Il est possible d'enoyer des fichiers sous format XML pour visualiser les données sur la plateforme GIS.

La MOD a été définie et calibrée pour la zone test de Sion. Le coefficient de corrélation entre les valeurs des compteurs routiers et celles découlant de la modélisation a été calculé à 0.615. En appliquant l'interprétation standard du coefficient de corrélation, cela signifie que 61.5 % de la variance des compteurs routiers s'expliquent par le modèle. Une représentation schématique de la MOD journalière est visible sur la Figure 1, avec en abscisse les zones de destination et en ordonnée les zones d'origine. Chaque couleur représente une quantité de déplacements d'un point à l'autre. La matrice est symétrique, car par simplification, tous les déplacements ont été considérés en aller-retour.

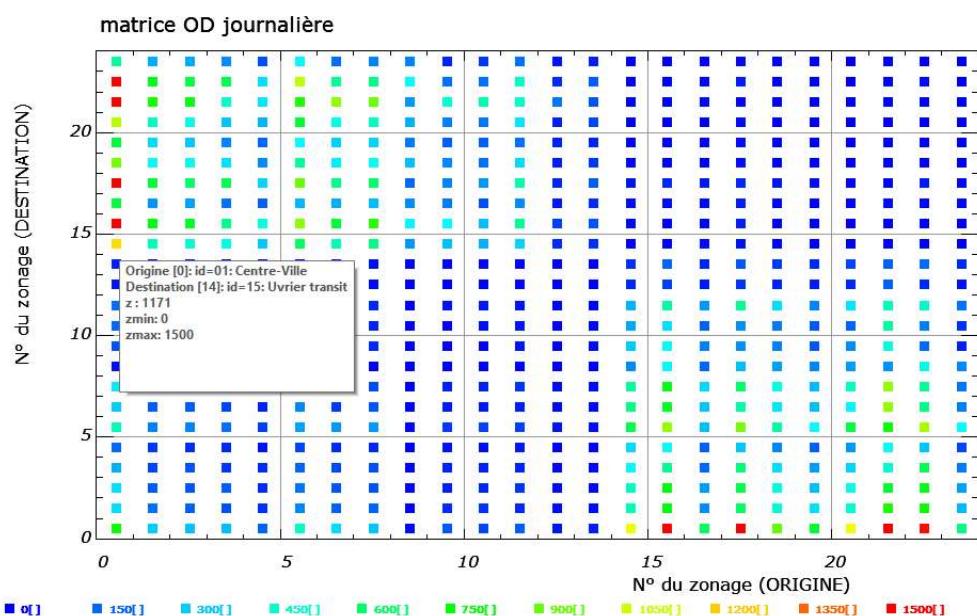


Figure 1. Représentation graphique de la MOD.

Sur la base de cette MOD, il est possible de tester les scénarios suivants en modifiant des variables :

- Modifications du réseau routier, par exemple pour réduire le trafic au centre-ville (modification de carrefours, de vitesse, de sens de circulation, ...),
- Modification du réseau TP, par exemple pour augmenter la cadence depuis des points P+R en bordure de ville ou modifier des parcours entre les arrêts,
- Evaluer la potentielle réduction des dépenses énergétiques en passant de bus thermiques avec un parcours et des horaires fixes vers des bus à la demande électriques,

- Modifier la taille des parkings pour influencer les déplacements vers ce type d'attracteurs (par exemple moins de parking au centre et plus en périphérie),
- Augmenter la population ou l'affluence vers un des attracteurs (point d'intérêt).

Une analyse a été menée sur deux lignes de bus urbaines, prouvant le potentiel bénéfice de la mise en place de bus électriques à la demande. Ces bus de 6m impliquent des investissements limités et n'augmentent pas les charges d'exploitation. Toutefois, les calculs montrent qu'un transfert modal de 25% pourrait être réalisé, car des bus à la demande apportent une plus-value au service de TP. Le Tableau 2 permet de comparer le bilan énergétique entre la situation actuelle et une situation avec 2 lignes de bus électriques à la demande.

Tableau 2. Bilan énergétique comparatif des bus de ligne actuels et des bus électriques à la demande.

	Bus de ligne thermiques	Bus électriques à la demande
Bilan journalier	800 l de diesel 8000 kWh	600 kWh
Réduction journalière des émissions CO₂	2.1 t CO₂	
Réduction annuelle des émissions CO₂	528 t CO₂	

La plateforme open-source GIS permet de visualiser les données du scénario de base et de comparer pour tester l'efficacité des mesures d'autres scénarios. Une carte regroupe les fonctionnalités principales, avec un menu à gauche permettant d'afficher les couches à visualiser et les détails du scénario en cours. Il est possible de visualiser plusieurs informations, comme les lieux d'origine et de destination de/vers la zone d'étude pour des raisons professionnelles (Figure 2), ou les points de surcharge de trafic aux heures de pointe (Figure 3).

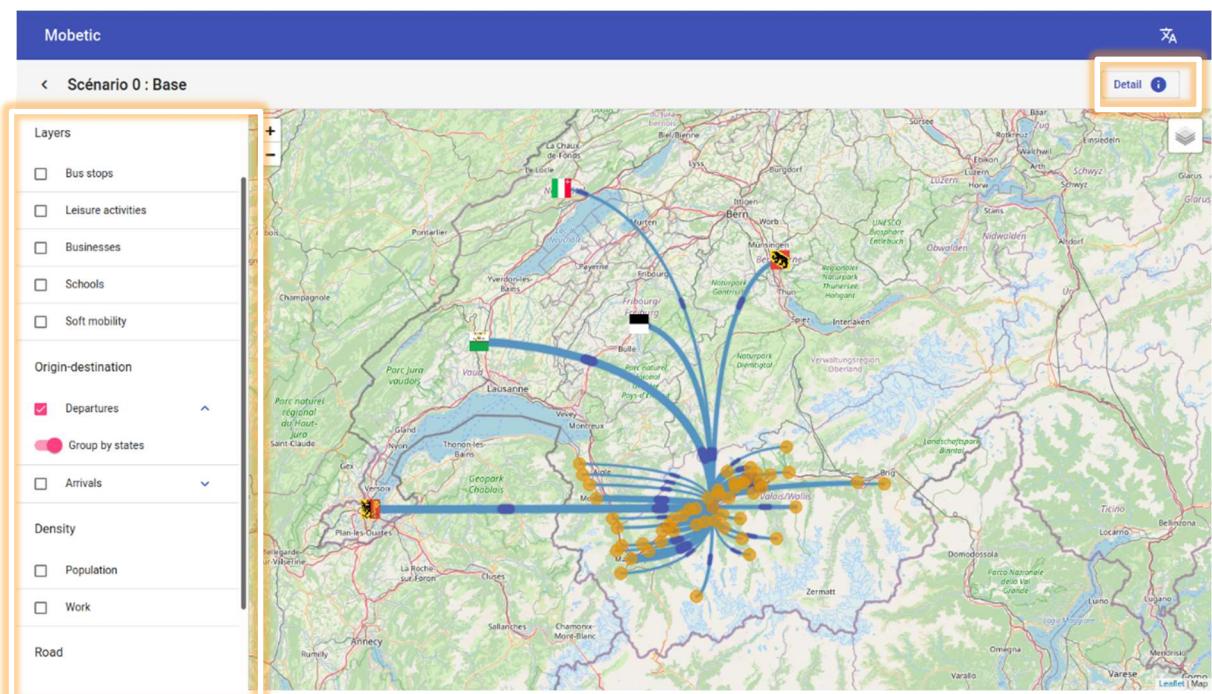


Figure 2. Carte avec les Origine-Destination de et vers la Ville de Sion, le bloc de gauche présente les couches.

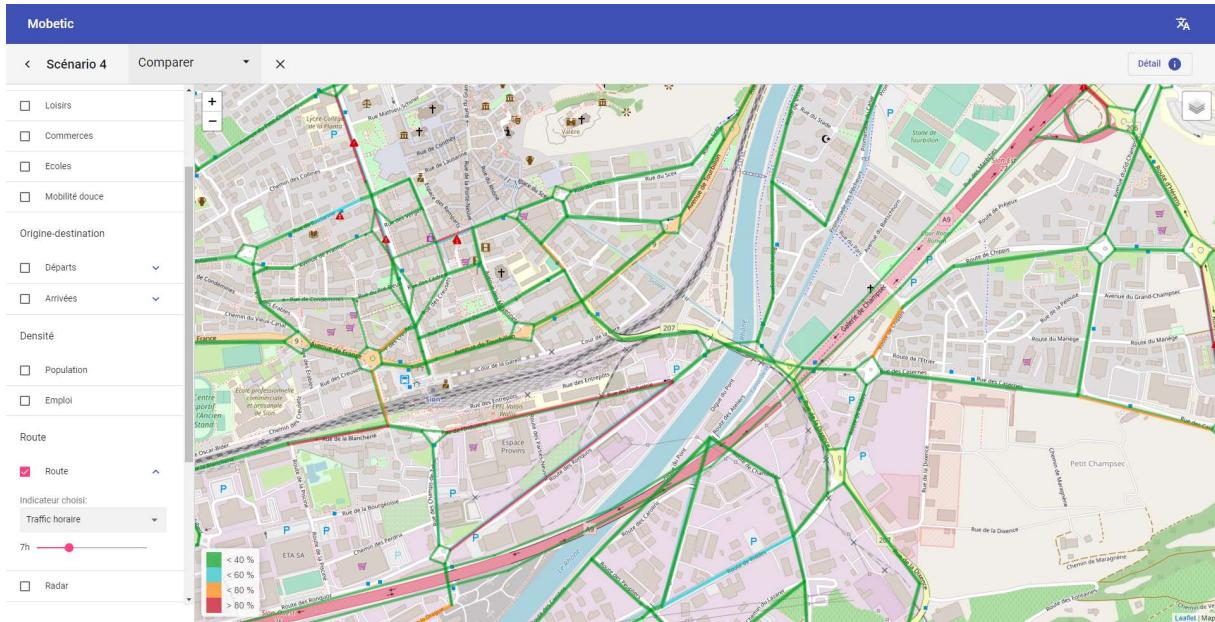


Figure 3. Carte des routes de la zone d'étude (Sion) et le rapport entre la charge de trafic réelle et la capacité théorique pour l'heure choisie (12h).

Des détails analytiques peuvent être visualisés, par exemple sur un tronçon de route. Cela permet de comparer par exemple la situation de trafic entre un scénario et un autre (Figure 4).

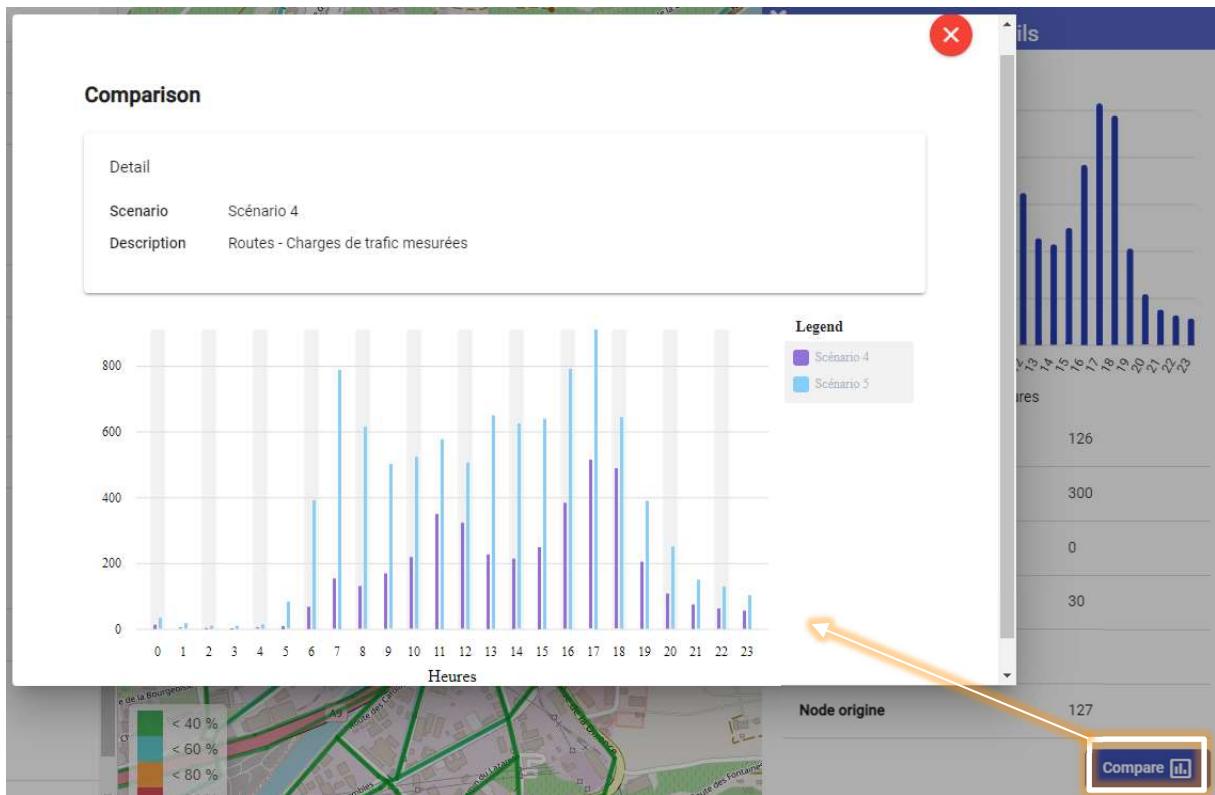


Figure 4. Page d'analyse du trafic sur un tronçon et de comparaison entre deux scénarios.

Discussion et recommandations

Ce projet a été initié sur des bases très ambitieuses, tant au niveau des éléments théoriques à intégrer, au niveau de détail requis pour représenter la réalité, qu'au niveau de son application géographique à la région de Sion.

L'analyse des données facilement accessibles qui constituait un réel enjeu pour une ville ou une agglomération en Suisse a pu être effectuée. Les données utilisées sont toutes « open source ». Cela apporte une plus-value importante à l'outil d'aide à la décision, particulièrement pour des petites localités, ou pour une pré-étude permettant aux autorités de comprendre les enjeux de la mobilité dans leur zone.

Un important travail a pu être effectué pour les TIM, et l'outil propose une intégration des données fréquemment relevées par les autorités locales. L'intégration de la fréquentation des TP urbains est aussi effectuée, étant donné que les outils de création de lignes sont existants, et que les données sur les montées et descentes des bus ont été analysées sur la base d'un même format que celle des radars de comptage routiers. Ainsi, l'évaluation des proportions approximatives de déplacements en TP urbains et en TIM est possible. Il est aussi possible d'évaluer la réduction des dépenses énergétiques en cas de transfert de bus thermiques vers des bus à la demande électriques. En cas de développement ultérieur, ces données pourraient être complétées avec les données des transports inter-villes des CFF.

L'intégration des déplacements MD est un des grands défis actuels de la mobilité. En effet, le manque de donnée à ce sujet a constitué un défi majeur dans ce projet, alors même qu'une de ses visées était de pouvoir évaluer le transfert modal des TIM vers les TP et les MD. Cette problématique est représentative de l'évolution nécessaire de la mobilité dans nos villes et agglomération, et d'un changement de paradigme qui permettra une réelle évolution. De même, la représentation du transfert modal a constitué un défi du projet. En effet, un modèle simple permettant d'évaluer le pourcentage de personnes changeant de comportement pour donner suite à des modifications de réseau et applicable à la zone d'étude manque.

Plusieurs scénarios de base pouvant être testés dans plusieurs zones urbaines en Suisse ont pu être discutés avec les autorités locales. Ces scénarios peuvent être implémentés manuellement. Une discussion a aussi été menée sur les indicateurs permettant de comparer les scénarios, et pour qu'ils apparaissent sur l'interface de visualisation. Les indicateurs pour lesquelles des données peuvent être disponibles sont :

- La réduction des évènements de surcharge des capacités routière (bouchons),
- Le transfert modal des TIM vers d'autres modes,
- La diminution des émissions de CO₂ et du bruit,
- La diminution des dépenses énergétiques due aux déplacements.

L'évaluation de la mise en place de bus électriques ou de systèmes à la demande dans la zone d'étude du Valais Central, a été réalisée. Une amélioration importante est possible en utilisant des véhicules électriques de petite taille, circulant à la demande. Cette solution a aussi un potentiel avantage, favorisant le transfert modal TIM → TP. De plus, la charge des bus électriques à la demande peut facilement être réalisée sur la base du réseau électrique existant.

En conclusion, les deux interfaces (développement et visualisation) ont été implémentées et un système de transfert de données a été mis en place. La première interface de développement nécessite l'intervention de personnes connaissant le réseau sur lequel des scénarios devraient être testés. La plate-forme de visualisation permet l'accès aux données à des personnes ne connaissant pas les détails du réseau. Les fonctionnalités de cette deuxième interface a été développées afin de comparer des scénarios de manière facile. Ces deux interfaces offrent une bonne représentation de la réalité basée sur des données open-source.

1. Situation de départ

Le dimensionnement d'un réseau de transports publics est encore souvent réalisé sur la base de statistiques peu représentatives et de parti pris, comme le rabattement de toutes les lignes de bus sur des gares CFF. Cela ne permet souvent pas d'assurer un réseau qui satisfasse les demandes des usagers, ni de réduire les pics de trafic ou d'optimiser les dépenses énergétiques liées au transport.

Il existe des logiciels d'aide à la décision pour le dimensionnement de réseaux, dont l'utilisation entraîne cependant souvent des coûts importants et ne permet pas une représentation simple et directe par les autorités.

La recherche de solutions de mobilité pour l'Agglomération du Valais Central et de la région de Sion est un bon exemple de cette problématique, due entre autres au manque de centralisation des nombreuses données influençant la mobilité et d'une visualisation globale de la situation.

Cette région dynamique est en pleine expansion. Elle constitue donc une zone d'étude et de développement intéressante. Dans ce cadre, l'existence du Mobility Lab, partenariat entre le Service de la Mobilité, la HES-SO, la Poste, l'Agglomération Valais Central, et Oiken (fournisseur d'électricité) donne une opportunité unique de collaboration. Le Mobility Lab facilite en effet les synergies entre les mondes académiques, institutionnels et économique pour le développement de projets interdisciplinaires autour de la mobilité. Tout au long du projet, les contraintes des différents acteurs peuvent donc être discutées.

L'analyse des données disponibles, leur centralisation et leur intégration dans un outil d'aide à la décision qui soit « open source » et facilement implantable par les institutions est donc utile. Le développement d'un outil en vue d'une visualisation rapide de la situation de départ et d'une comparaison de différents scénarios constitue un apport important dans le contexte actuel où la mobilité est un enjeu crucial des villes et agglomérations.

2. Objectifs du travail

Le projet vise à mettre en place un outil d'aide à la décision et de planification prenant en considération les contraintes et les demandes en mobilité. Les aspects énergétiques devaient initialement aussi être intégrés.

L'outil d'aide à la décision doit permettre un choix cohérent et factuel des ressources investies tout en assurant une offre optimisée. Pour cela, le projet a visé :

- L'analyse des données facilement accessibles pour une ville ou une agglomération en Suisse,
- La mise en place d'une méthodologie d'analyse d'un réseau de mobilité sur la base de ces données,
- L'analyse de scénarios de base pouvant être testés dans plusieurs situations urbaines en Suisse,
- L'évaluation de la mise en place de bus électriques ou de systèmes à la demande dans la zone d'étude du Valais Central,
- La mise en place d'une interface de développement pour l'entrée des données et des scénarios à tester,
- La mise en place d'une plateforme GIS de visualisation pour faciliter l'aide à la décision.

3. Approche adoptée et état des connaissances actuelles

Le développement de l'outil d'aide à la décision a été réalisé par le biais des étapes majeures suivantes :

1. La mise en place d'un groupe de réflexion intégrant les organes de décision locaux pour définir les besoins et affiner les objectifs de l'outil,
2. L'évaluation des données disponibles,
3. L'identification des modèles à développer et l'élaboration des bases théoriques (modèles concernant le besoin en mobilité, les infrastructures, l'analyse des données, Section 3.1),
4. La définition de l'interface de développement et du flux du logiciel,
5. La mise en place d'outils dans la zone test,
6. La définition des éléments à représenter sur l'interface de visualisation pour faciliter aux politiques l'accès aux informations cruciales,
7. Le développement de la plateforme de visualisation GIS à partir des données analysées sur l'interface de développement (Section 3.2).
8. Analyse de la possibilité et de l'amélioration potentielle de la mise en place de bus à la demande électrique sur deux lignes urbaines dans la zone d'étude.

Le projet est organisé en 6 workpackages qui sont :

- WP 0 : Gestion de projet
- WP 1 : Analyses au niveaux mobilité (territoire), énergie, vision politique et financière
- WP 2 : Identification des scénarios permettant de répondre aux questions de mobilité et d'énergie
- WP 3 : Simulation et suivi de l'évolution dans le temps
- WP 4 : Optimisation selon les objectifs visés
- WP 5 : Outil de visualisation et reporting

Le groupe de réflexion est constitué de représentant-e-s de deux laboratoires de la HES-SO Valais-Wallis pour le développement des interfaces de développement et de visualisation GIS, du service de la mobilité pour l'intégration de la vision cantonale et de l'Agglomération pour la compréhension des besoins des politiques. Les aspects ont été priorisés comme suit :

1. Compréhension des aspects concernant la mobilité pour que les aspects énergétiques et environnementaux reposant sur des informations cohérentes,
2. Intégration des données réelles afin de répondre aux questions pratiques des organes de décision locaux,
3. Développement d'un outil fonctionnant sur des données gratuites et accessibles pour faciliter son utilisation,
4. L'élaboration de scénarios comparables facilitant la prise de décision, intégrant comme indicateurs :
 - a. Le nombre de km total parcouru en véhicule thermique (tous véhicules et modes de transport confondus, convertible en émission CO₂),
 - b. La répartition modale (utilisation de véhicules individuels (ci-après nommé TIM pour Transport Individuel Motorisé), utilisation des transports publics (TP), déplacement en modes doux (MD = à pied, vélo, trottinette, etc...)),
 - c. L'impact sur la qualité de vie et des espaces publics (bruit, pollution, zone piétonne, commerces, etc...).
5. L'évaluation de la mise en place d'une ligne de bus électrique et de son impact énergétique.

Ces priorités ont été définies sur la base des hypothèses suivantes :

1. La connaissance des déplacements réels est déterminante pour l'établissement d'un outil d'aide à la décision ;
2. L'élaboration d'une matrice origine destination (ci-après appelée MOD) permet de représenter ces déplacements ;
3. Suffisamment de données sont disponibles gratuitement auprès des services techniques et opérateurs de mobilités pour élaborer la MOD ;
4. La situation initiale d'infrastructures, des besoins et des comportements de mobilité peut aussi être représentée sur la base de données disponibles gratuitement pour les trois modes de transports (TIM, TP, MD) ;
5. Sur la base de la MOD et de la situation initiale, les éléments critiques de la mobilité peuvent être identifiés, puis des scénarios développés et comparés ;
6. La comparaison de scénarios facilite les décisions de mobilité en considérant les données énergétiques.

L'interface de développement permet à une personne connaissant la situation de mobilité dans sa région de rentrer toutes les données nécessaires au développement des scénarios. La Figure 5 présente les différents éléments constitutifs de l'interface de développement. Ceux-ci dépendent de données importées (blocs bleus en haut et à gauche), qui sont analysées par les processus et modèles (à droite), pour générer les résultats attendus (en bas).

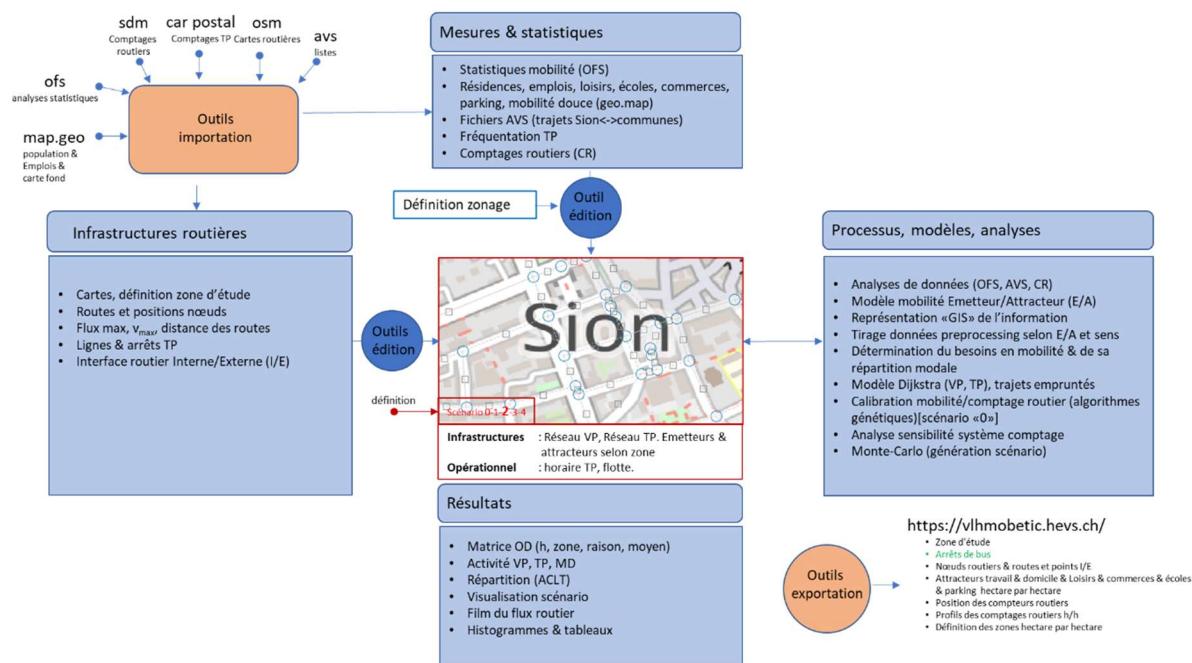


Figure 5. Diagramme de flux, des processus en jeu et des outils développés.

Des outils d'importation des données permettent de placer l'ensemble des données sur une même plateforme de développement. Des outils d'édition donnent la possibilité à l'utilisateur de l'interface de développement de définir des scénarios. Enfin, un outil d'exportation permet de publier les données sur une plateforme de visualisation. La plateforme de visualisation GIS permet d'identifier les points critiques, de visualiser des scénarios, et permet une analyse facilitée aux autorités locales.

Les données à disposition ont passablement influencé le développement de l'interface de développement étant donné la décision de fournir un outil qui fonctionne sur des données librement accessibles. Ce point a constitué un élément critique dans le développement de l'outil. En effet, l'intégration des données a dû être réduite aux TIM. Cet aspect est développé dans le chapitre 3.1, dans la partie « données analysées et intégrées ».

Un autre aspect critique s'est révélé être les raisons de déplacement et du choix modal (TIM / TP / MD). Il a rapidement été reconnu que les recherches à ce sujet sont encore en cours, et que l'intégration de ces éléments dans l'outil était prématurée.

3.1 DÉVELOPPEMENT : INTERFACE DE DÉVELOPPEMENT

Il a été décidé de baser l'interface de développement sur une MOD définie sur des données existantes représentant au mieux la situation réelle de départ. Cette MOD dépend principalement de la population, de son comportement et des infrastructures. Sur cette base, les déplacements sont ensuite modélisés. Le système de comptage routier (nombre de véhicules par heure à des points donnés) permet de calibrer le modèle, en particulier la MOD et de mesurer la justesse de celui-ci. Les scénarios pour l'amélioration de la situation de mobilité peuvent être comparés en modifiant différentes variables. La priorité a été mise sur des scénarios permettant de comparer :

- L'infrastructure routière,
- Les conditions de circulation (vitesse, sens de circulation, capacité routière),
- Les zones de la région d'étude,
- Les lignes, les horaires, la flotte des transports publics (TP),
- La densité des résidents et des places de travail.

3.1.1 Bases de développement théorique

Pour définir une MOD représentative des déplacements dans la situation de base, il s'agit de déterminer la MOD pour chaque heure d'un jour de semaine type, à partir des comptages routiers horaires. La MOD [1] [2] est établie suivant un modèle basé sur des émetteurs (Origine) et des attracteurs (Destination), *ci-après appelé modèle E/A*, qui représente le besoin en mobilité d'une région sans pour autant indiquer le chemin emprunté. La création de la MOD est basée sur des processus de tirages aléatoires liées à la densité géographique des résidences, des emplois, des commerces et des loisirs. Cela nécessite d'évaluer :

- Le nombre de trajets effectués durant une heure à partir des comptages routiers pour toutes les heures d'un jour type de semaine,
- Le nombre de trajets entrants sortants de la zone, le nombre de trajets internes,
- La proportion de trajets suivant le motif de déplacement journalier et le profil horaire selon le motif,
- La durée et les distances parcourues par les véhicules privés dans la zone étudiée pour un jour type de semaine,
- L'efficacité du système de comptage.

La méthode créée dans ce projet pour atteindre ces objectifs s'appuie largement sur des techniques de Monte-Carlo [5]. Un certain nombre de définitions sont faites ci-dessous avant de montrer les relations qui les lient.

Définitions pour le développement de la MOD

Interfaces routières de la zone étudiée : Certains nœuds routiers, placés proche de la limite de la zone étudiée forment le lien entre l'intérieur et l'extérieur de la région (*ci-après connexion I/E*. I/E pour Intérieur/Extérieur).

nIEx désigne le nombre de connections I/E pour la région étudiée. Dans l'exemple de la Figure 6 le nombre de connexion I/E est égal à 4.

Trajet aller / retour : Tout déplacement comporte un « sens aller » et un « sens retour ». Le sens aller est défini comme celui qui a le lieu de résidence comme origine, et le sens retour celui qui a comme destination le lieu de résidence.

Pour des raisons de simplification, et dans cette première étape de développement, les trajets ont tous été considérés comme des trajets aller-retour, et ce depuis le lieu de résidence.

Type de trajets : Un trajet peut, dès lors, avoir les caractéristiques suivantes : il peut être de sens aller ou retour, interne, entrant ou sortant.

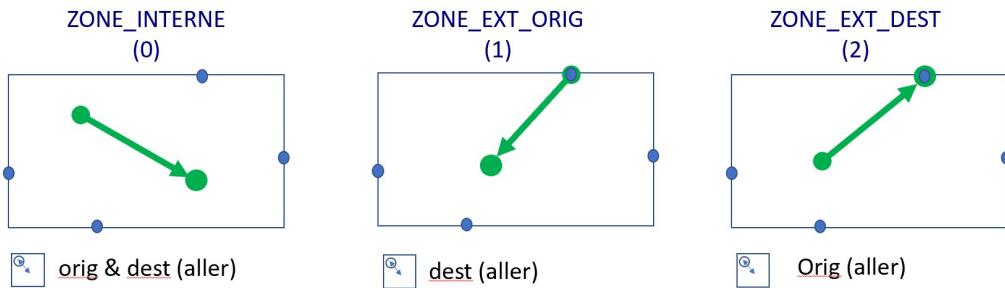


Figure 6. Définition des types de trajet.

Un trajet interne reste interne pour ses deux sens. Un trajet entrant à l'aller est sortant pour le retour, et inversement.

Tableau 2. Relation entre le type de trajet (ZONE), le sens du trajet avec son interprétation.

ZONE[N°code zone]	SENS	Interprétation
ZONE_INTERNE[0]	Aller	Interne
ZONE_INTERNE[0]	Retour	Interne
ZONE_EXT_ORIG[1]	Aller	Sortant
ZONE_EXT_ORIG[1]	Retour	Entrant
ZONE_EXT_DEST[2]	Aller	Sortant
ZONE_EXT_DEST[2]	Retour	Entrant

Le vecteur de comptage horaire $\vec{x}(h)$: La dimension du vecteur $\vec{x}(h)$ est n_x donnée par l'expression suivante :

$$n_x = 2 \cdot n_{IE} + 1^2$$

Équation 1. Dimension du vecteur de comptage horaire.

Chaque composante du vecteur de comptage horaire contient un nombre de trajets de véhicule. Le Tableau 3 donne la signification détaillée pour chaque composante du vecteur $\vec{x}(h)$.

Tableau 3. Description des composantes du vecteur \vec{x} .

Composante du vecteur \vec{x}		Interprétation	N°code zone
0		Nombre de trajets internes pour l'heure h	-
1		Nombre de trajets aller entrant pour l'heure h	0
2		Nombre de trajets aller sortant pour l'heure h	0
3		Nombre de trajets aller entrant pour l'heure h	1
4		Nombre de trajets aller sortant pour l'heure h	1
5		Nombre de trajets aller entrant pour l'heure h	2
6		Nombre de trajets aller sortant pour l'heure h	2
...

Attracteur et Emetteur : Tout déplacement est effectué suivant un motif. Si le motif ou la raison du déplacement est, par exemple le commerce, l'émetteur de ce trajet pour le sens aller sera le lieu résidence et l'attracteur sera l'emplacement d'un commerce.

Le Tableau 4 donne pour chaque motif de déplacement journalier, le ou les attracteurs considérés. Dans un premier temps, et pour des raisons de simplifications, l'émetteur est toujours considéré comme étant le lieu de résidence. Découlant de cette définition, le Tableau 2 correspond bien au sens aller. Pour le sens retour, le tableau est similaire. Seuls, les colonnes Emetteur et Attracteur sont échangées.

Tableau 4 - Relation entre les motifs de déplacement les émetteurs et les attracteurs.

Motif de déplacement	Emetteur	Attracteur
Travail	Résidences	Emplois ou places de travail
Accompagnement	Résidences	Ecoles
Commerce	Résidences	Commerces, kiosques,
Loisirs	Résidences	Restaurants, fitness, bars, ...

Développements de modèles

Pour définir la MOD et permettre la comparaison de scénarios, un certain nombre de modèles ont dû être développé. Il s'agit du :

- modèle gravitationnel émetteur / attracteur,
- modèle router pour simuler les déplacements, avec l'algorithme de Dijkstra,
- modèle de calibration avec les données de comptages routiers.

Modèle gravitationnel émetteur/attracteur (E/A) [6]

Ce modèle développé se base sur le principe suivant :

Pour un trajet interne :

- La probabilité $P(\vec{X}_{origine})$ qu'un point ($\vec{X}_{origine}$) soit l'origine d'un déplacement est proportionnelle à la densité géographique des résidents.
- La probabilité $P(\vec{X}_{destination})$ qu'un point ($\vec{X}_{destination}$) soit la destination d'un déplacement est proportionnelle à la densité géographique de l'attracteur lié au motif de déplacement.

En s'inspirant du modèle gravitationnel [6], la probabilité pour qu'un trajet effectué dans une région ait comme origine $\vec{X}_{origine}$ et comme destination à $\vec{X}_{destination}$ s'exprime de la manière suivante :

$$P(\vec{X}_{origine}, \vec{X}_{destination}) \propto \frac{P(\vec{X}_{origine}) \cdot P(\vec{X}_{destination})}{(\vec{X}_{origine} - \vec{X}_{destination})^2}$$

Équation 2. Probabilité d'un trajet selon le modèle attractif gravitationnel.

Pour un trajet entrant ou sortant :

- Dans le cas d'un trajet entrant dans la zone, la probabilité $P(\vec{X}_{origine})$ est égale à l'unité.
- Dans le cas d'un trajet sortant c'est la probabilité $P(\vec{X}_{destination})$ qui est égale à l'unité.

Dans le modèle programmé, la dépendance de la probabilité suivant la distance entre l'origine et la destination peut être paramétrée pour chacun des motifs de déplacement. Ce paramètre de dépendance, pour la zone test étudiée a été négligée, car la zone était suffisamment restreinte.

La probabilité d'un trajet est le produit des densités de l'émetteur et de l'attracteur, comme le montre l'Equation 3.

$$P(\vec{X}_{origine}, \vec{X}_{destination}) \propto P(\vec{X}_{origine}) \cdot P(\vec{X}_{destination})$$

Équation 3. Probabilité d'un trajet selon le modèle simplifié. Le modèle simplifié ne tient pas compte de la distance entre l'origine et la destination.

Le tirage d'une variable aléatoire est un tirage **avec remise** suivant une technique nommée « roue de la fortune », comme présenté à la Figure 7.

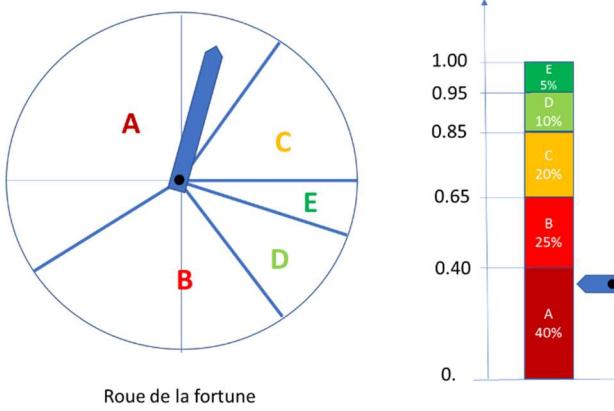


Figure 7. Fonctionnement de la roue de la fortune, mise en place pour le tirage des trajets (avec remise) mis en place pour le modèle gravitationnel.

Le processus de tirage aléatoire exige que la somme de toutes les probabilités soit normée à l'unité. Comme la probabilité de destination dépend de l'origine, suivant l'Équation 3, la normalisation doit être recalculée avant chaque tir aléatoire. Ce processus peut être gourmand en temps de calcul.

Le modèle gravitationnel livre les origines et les destinations d'un certain nombre de trajets effectués pour un motif donné.

Modèle de type « router » avec l'algorithme de Dijkstra

Connaissant l'origine et la destination d'un trajet, le modèle de type « router » doit être capable de déterminer le chemin emprunté par le véhicule, la distance parcourue ainsi que le temps de déplacement. Le choix, pour remplir cette tâche (celle que doit remplir tout GPS), s'est porté sur l'algorithme de Dijkstra (ci-après Dijkstra) [7].

L'algorithme de Dijkstra optimise les trajets en minimisant (Figure 8) :

- Le temps de parcours
- La distance parcourue
- Une valeur définie par l'utilisateur

Optimisation selon
<input type="radio"/> distance
<input type="radio"/> temps théorique (vitesse permise)
<input checked="" type="radio"/> temps selon charge statique & vitesse
1 + <input type="text" value="5.00"/> max facteur multiplicatif
Nombre de tirage <input type="text" value="1000"/>

Figure 8. Interface de l'outil de développement, quant au choix des paramètres de l'algorithme de Dijkstra.

Pour éviter qu'un seul chemin ne soit considéré pour une même origine et une même destination, une composante aléatoire multiplicative sur chaque tronçon de route peut être appliquée. Dijkstra propose alors plusieurs trajets, comme présenté à la Figure 9.

Réseau routier VP (test de Dijkstra)

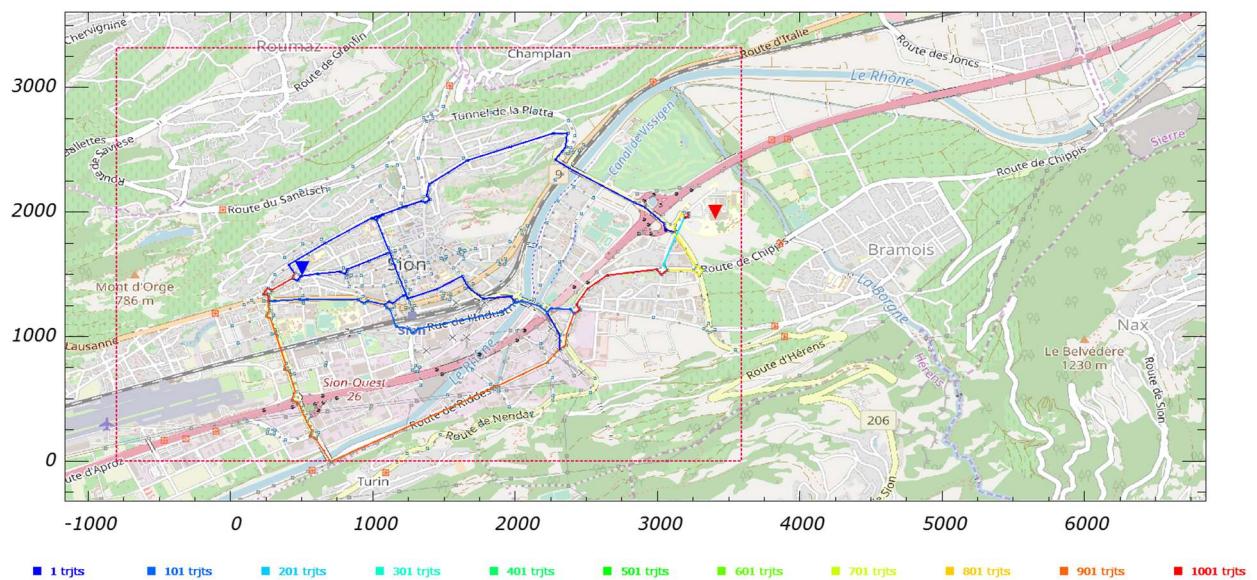


Figure 9. Interface de l'outil de développement, montrant les chemins possibles lors de l'application de l'algorithme de Dijkstra.

Le modèle « router » avec Dijkstra nécessite un tirage de données pour effectuer un pré-processing, selon un zonage du périmètre d'étude défini préalablement :

- Un certain nombre de trajets sont générés de manière aléatoire selon une méthode détaillée ci-dessous. Ces trajets ont leurs origines et leurs destinations selon un modèle E/A.
 - Dijkstra détermine les trajets empruntés par les véhicules (ci-après données de pré-processing).
 - Une première fois, le tirage des origines-destinations permet de compléter les données par le numéro de zonage de départ et de destination. Puis les enregistrements sont stockés dans une base de données.
 - Dans un deuxième passage, les chemins possibles entre le point d'origine et le point de destination sont déterminés par l'algorithme de Dijkstra.

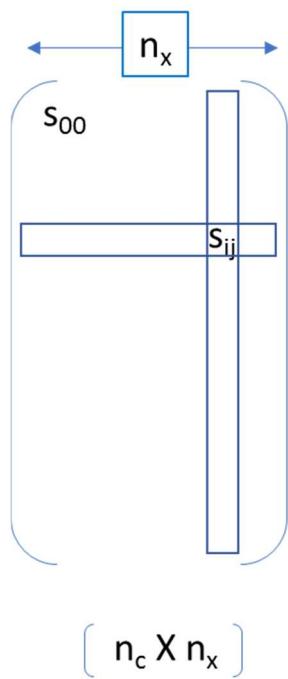
Les données de pré-processing sont gérées par deux entités :

- La première entité décrit le trajet (ci-après Description trajet) par son origine, sa destination, sa distance à vol d'oiseau, les nœuds les plus proches de l'origine et de la destination, les zones auxquelles l'origine et la destination appartiennent, l'attracteur appliqué, les caractéristiques du trajet (trajet interne, sens aller ou retour, la composante du vecteur \vec{x} en jeu).
 - La seconde entité décrit le détail du trajet. Le détail du trajet est le résultat de l'algorithme Dijkstra. L'information détaillée consiste en la suite des nœuds parcourus, le temps théorique, la distance, le poids choisi à minimiser pour l'algorithme de Dijkstra.

Modèle de calibration avec les données de comptages routiers

La calibration est faite sur la base des comptages routiers. Une matrice de sensibilité a été développée pour tenir compte du fait que certains trajets sont comptabilisés plusieurs fois par les radars routiers, et d'autres pas. Sur la base de cette matrice de sensibilité, un ajustement est fait pour prendre en compte des motifs de déplacements. Ces deux éléments affinent la calibration de la MOD.

Calcul et exemple de développement pour la matrice de sensibilité



La matrice de sensibilité comporte n_c lignes, où n_c est le nombre de compteurs routiers. La matrice de sensibilité comporte n_x colonnes (Tableau 8).

La composante S_{ij} de la matrice de sensibilité correspond à la probabilité qu'un trajet de type i déclenche le compteur routier numéroté j .

Par exemple S_{00} est la probabilité qu'un trajet interne déclenche le compteur « 0 ».

La somme des composantes d'une ligne entière de la matrice de sensibilité donne la probabilité que le trajet soit détecté par le compteur désigné par la ligne (i).

A chaque attracteur et à chaque sens (aller ou retour), correspond une matrice de sensibilité différente. Les matrices de sensibilité ne dépendent pas de l'heure du jour.

Ces probabilités sont déterminées par l'analyse statistique des trajets obtenus dans la phase de pré-processing.

Figure 10. Représentation de la matrice de sensibilité.

$$S \cdot \vec{x} = \vec{C}$$

Équation 4: Relation entre la matrice de sensibilité et le comptage routier.

Exemple concernant la matrice de sensibilité

Pour illustrer la méthode, une zone très simple comportant uniquement deux connections IE nommée ici IE0 et IE1, ainsi que quatre compteurs routiers bidirectionnels ont été choisis.

L'attracteur est supposé défini et unique. L'heure en question est l'heure h .

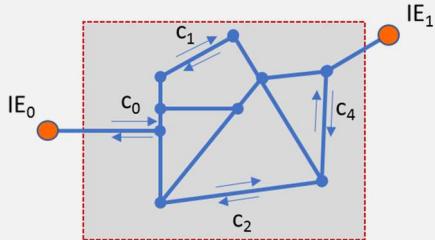


Figure 11. Zone d'étude simplifiée comportant deux interfaces d'entrée et quatre comptages routiers.

$$S \cdot \vec{x}(h) = \vec{C}(h)$$

Équation 5. Relation entre la matrice de sensibilité et les comptages routiers horaires.

Dans l'exemple choisi, $n_x = 5$ et $n_c = 8$. Le système d'équations à résoudre pour l'heure h , est un système surdéterminé comportant plus d'équations que d'inconnues.

La solution sera donc celle qui minimise le résidu $\vec{\varepsilon}^2$.

$$\vec{\varepsilon}^2 = \| \vec{C} - S \cdot \vec{x} \|^2$$

Equation 6. Expression du résidu à minimiser.

La matrice de sensibilité

Disposant du réseau, ainsi que des positions des comptages, le suivi de chaque parcours permet de comptabiliser les résultats de comptage simulés, et de déterminer une sensibilité du système de comptage en fonction des types de trajets possibles.

Détermination des motifs de déplacement

Des simplifications importantes sont faites à ce niveau pour permettre les premiers développements de l'outil. Dans le but de déterminer la proportion des motifs de déplacement, deux outils ont été développés, qui se basent sur l'information de l'activité routière :

- Le premier outil utilise la différence de motif de déplacement entre un « jour de semaine » (du lundi au vendredi), le samedi et le dimanche.
- Le second outil calcule la répartition des motifs de déplacements en connaissant le profil horaire lié à chaque motif.

Premier outil :

Les proportions ainsi que leurs incertitudes selon les trois motifs de déplacements considérés pour le samedi et le dimanche (valeurs mises en italique dans le Tableau 5) sont d'abord estimées par l'utilisateur. La valeur de référence, définie comme l'unité, correspond à la valeur pour un jour de semaine. Le Tableau 5 montre les valeurs choisies par l'utilisateur. L'outil tire des valeurs suivant les distributions caractérisées par les proportions données, puis détermine les répartitions des motifs pour l'ajuster au mieux à la mesure de l'activité routière.

Tableau 5. Evaluation de la proportion de trafic avec son incertitude.

	Motif de déplacement						
Jour de la semaine	Travail	Loisirs	Commerce				Mesure de l'activité routière
	Proportion +/- incertitude	Proportion +/- incertitude	Proportion +/- incertitude				
Lundi au vendredi	1.00 0.05	1.00 0.05	1.00 0.05	1.00 0.05	1.00 0.05	1.00 0.05	1.00
Samedi	0.05 0.05	0.80 0.10	1.50 0.15				0.64
Dimanche	0.05 0.05	1.00 0.10	0.50 0.10				0.53

Le résultat livré par cet outil, consiste en plusieurs distributions pour chacun des motifs, comme montré dans la Figure 12.

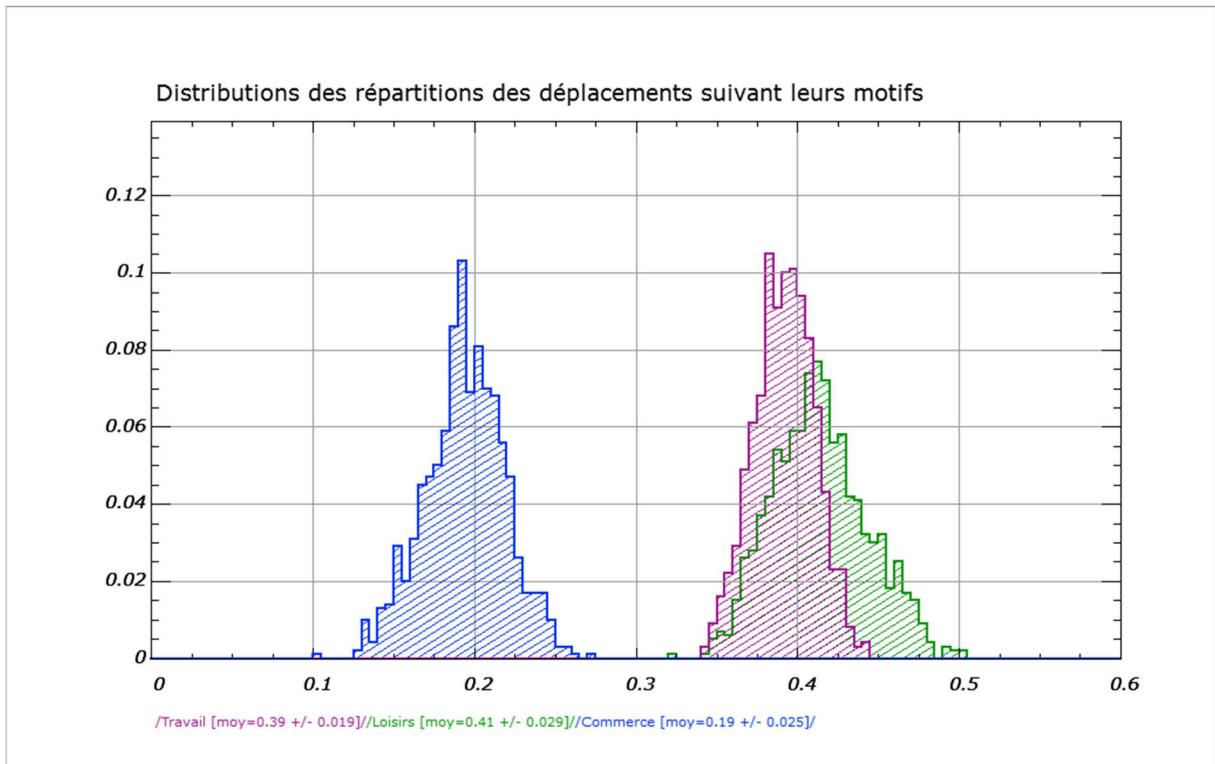


Figure 12. Distributions des répartitions suivant les trois motifs considérés (Travail, Loisirs, Commerce).

Second outil :

Il a pour objectif de déterminer la proportion du motif de déplacement, en connaissant les profils horaires selon le motif et le sens, estimés par l'utilisateur ($P_{motif}(h)$). L'outil ajuste les poids des profils pour que les déplacements correspondent au mieux à l'activité routière horaire. Le problème consiste à déterminer les α_{motif} de telle manière que la grandeur R soit minimale. La grandeur $AR(h)$ est l'activité routière pour l'heure h .

$$R = \sum_{motif=A,C,L,T} \sum_{h=0}^{23} [\alpha_{motif} \cdot P_{motif}(h) - AR(h)]^2$$

Équation 7. Ajustement des motifs de déplacements

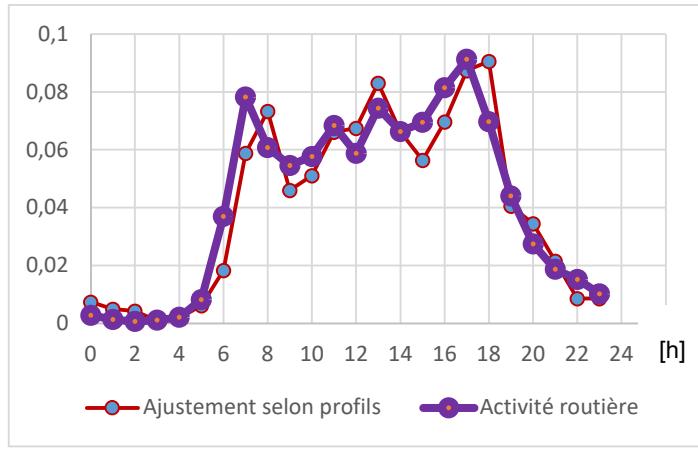


Figure 13. Activité routière et ajustement selon les profils donnés par l'utilisateur.

Le Tableau 6 montre les profils horaires et les valeurs α_{motif} qui ajoutent au mieux les profils à l'activité routière.

Tableau 6. Profils horaires suivant le motif de déplacement et estimation des proportions par un ajustement sur l'activité routière.

Heure	α_c	α_L	α_T	α_A
	0.13	0.38	0.39	0.07
	Commerce	Loisir	Travail	Acompagnement
0	-	0.011	0.008	-
1	-	0.011	0.002	-
2	-	0.011	-	-
3	-	0.002	-	-
4	-	-	0.005	-
5	-	-	0.016	-
6	-	-	0.047	-
7	0.010	0.023	0.125	-
8	0.060	0.034	0.094	0.213
9	0.100	0.046	0.031	0.043
10	0.090	0.046	0.016	0.213
11	0.080	0.046	0.094	0.021
12	0.090	0.046	0.094	0.021
13	0.100	0.046	0.094	0.213
14	0.080	0.046	0.094	0.021
15	0.080	0.069	0.047	0.021
16	0.100	0.092	0.016	0.213
17	0.110	0.092	0.094	0.021
18	0.100	0.092	0.110	-
19	-	0.092	0.016	-
20	-	0.092	-	-
21	-	0.057	-	-
22	-	0.023	-	-
23	-	0.023	-	-

Les statistiques OFS sur la mobilité ainsi que les deux outils développés donnent les répartitions selon les motifs de déplacement. Ces éléments sont résumés dans le Tableau 7.

Tableau 7. Répartition des motifs selon les motifs de déplacement.

	Statistique OFS	Premier outil	Second outil	Proportions utilisées dans le logiciel
Accompagnement	0.05	-	0.07	-
Travail	0.37	0.39	0.39	0.4
Loisirs	0.42	0.41	0.38	0.4
Commerce	0.16	0.19	0.13	0.2

Finalisation de la calibration de la MOD

A ce point du développement, les matrices de sensibilité sont définies sur la base de données pré-processées mettant en jeu les différents attracteurs considérés.

Tableau 8. Matrice de sensibilité selon motif de déplacement.

Poids de chaque attracteur	Profil horaire	Matrice de sensibilité	Interprétation
α_C	$P_C(h)$	S_C	Matrice de sensibilité, pour l'attracteur est le Commerce.
α_L	$P_L(h)$	S_L	Matrice de sensibilité, pour l'attracteur Loisir.
α_T	$P_T(h)$	S_T	Matrice de sensibilité, pour l'attracteur Travail.
α_A	$P_A(h)$	S_A	Matrice de sensibilité, pour l'attracteur Accompagnement.

Pour l'heure h , le problème à résoudre est le suivant :

$$S(h) \cdot \vec{x}(h) = \vec{C}(h)$$

Avec

$$S(h) = \alpha_A \cdot P_A(h) + \alpha_C \cdot P_C(h) + \alpha_L \cdot P_L(h) + \alpha_T \cdot P_T(h)$$

Équation 8. Sensibilité horaire

Dans le cas de la zone test de Sion et, pour exemple, le nombre de compteurs routiers est de 88 ($n_c = 88$) la dimension du vecteur $\vec{x}(h)$ à déterminer pour chacune des heures de la journée est ($n_x = 25$).

Pour résoudre un système surdéterminé d'équations, la méthode de pseudo-inversé [3] a été appliquée. Cette méthode est efficace et directe, mais ne gère pas d'éventuelles contraintes supplémentaires. L'application de cette méthode, livre comme résultat le vecteur $\vec{x}(h)$ qui minimise le résidu (équation 6) sans contrainte. Quand une ou plusieurs des composantes du vecteur résultat sont négatives, il est nécessaire de résoudre le système surdéterminé en y imposant des contraintes supplémentaires.

Pour résoudre ce problème d'optimisation sous contraintes, le choix s'est porté sur une classe d'algorithmes génétiques, qui ont fait leurs preuves dans plusieurs projets réalisés [4].

Une fois le vecteur $\vec{x}(h)$ connu, il s'agit de choisir dans les données pré-processées, le nombre de trajets que la composante du vecteur indique. La matrice OD pour l'heure considérée se crée ainsi par comptage des zones de d'origine et de destination des trajets.

La somme des composantes des MOD horaires donne une MOD journalière. La matrice OD journalière, qui est définie comme la somme de toutes les matrices OD horaires, devrait être une matrice symétrique, parce que tout trajet « aller » à son correspondant « retour » dans le modèle mis en place.

La MOD a été basé sur l'étude des TIM et est utilisée ci-dessous pour l'analyse du transfert modal vers les bus électriques, réduisant les dépenses énergétiques liées au trafic.

3.1.2 Bases pour l'analyse des bus électriques à la demande

Contexte

L'amélioration des TP permet une optimisation potentielle de la situation de mobilité d'une ville. Ainsi, les différentes actions suivantes sont souvent entreprises :

- Encourager le parking en périphérie de la ville, avec des systèmes P+R
- Assurer un TP efficace jusqu'au centre-ville, là où se trouvent les attracteurs de la mobilité,
- Agir au niveau de l'exploitation des transports publics par diversification énergétique en agissant sur la flotte choisissant des véhicules moins gourmands en énergie fossile,
- Adapter la taille des véhicules des TP, de manière flexible, au besoin en mobilité,
- Adapter au mieux les horaires des TP.

Des solutions alternatives, comme « le transport public à la demande » (ci-après bus à la demande) sont très intéressantes d'un point de vue service, mais posent des questions d'ordre énergétique, logistique et financier. Avant de révolutionner le fonctionnement des transports publics, il est fondamental d'avoir un état des lieux de la situation actuelle en termes de services, de logistique et d'efficience énergétique, pour proposer des changements là où les améliorations ont un réel potentiel. Pour cette raison, une analyse statistique a été réalisée sur deux lignes internes de la région de Sion, faisant ainsi un état des lieux du transport public sur la durée de toute une année pour deux lignes :

- Gare ↔ Hôpital de Sion (ci-après Suva)
- Gare ↔ EMS de Gravelone (ci-après Gravelone)

Les résultats de l'analyse sont présentés dans le chapitre suivant.

En utilisant les outils développés dans le cadre du projet, la MOD des besoins en mobilité a été déterminée, qui permette de couvrir les attracteurs proches des zones desservies par les deux lignes internes étudiées. En prenant pour hypothèse un transfert modal de 25% du TIM au TP, généré par la mise en place de bus à la demande, il est possible de déterminer les besoins que devraient satisfaire les bus électriques engagés pour répondre à cette nouvelle demande. Une analyse plus poussée permet aussi de voir quelle part modale peut-être transférée des TIM au TP à la demande en fonction du nombre de véhicules en circulation et de chauffeurs à disposition.

L'efficience énergétique des TP

« Le voyageur-kilomètre ou passager-kilomètre est une unité de mesure de quantité de transport correspondant au transport d'une personne sur un kilomètre. Pour tenir compte de la finalité du transport, des personnes ou du fret, les statisticiens rapportent l'efficacité énergétique à la charge utile et à la distance, en kWh/100 voyageur-kilomètre (ou passager-kilomètre) ou en kWh/100 tonne-kilomètre. » [5]. Cette grandeur est fortement dépendante du nombre de passagers. Il arrive même, lorsqu'un bus voyage à vide, que les valeurs en kWh/100 voyageur-km soient infinies. Pour cette raison, la littérature donne des valeurs qui varient selon le taux de remplissage supposé.

Le Tableau 9 donne, à des fins de comparaison, un ordre de grandeur de l'efficience énergétique suivant le moyen de transport [6] [7].

Tableau 9: kWh par voyageur au km suivant le mode de transport.

Moyen de transport ou de déplacement	kWh / voyageur-km
Voiture électrique	0.15 à 0.25
Voiture thermique	0.50 à 1.50
Bus	0.3 à 0.5 par usager
Tram / train	0.1 à 0.3 par usager

Analyse statistique de l'efficience énergétique des TP

L'étude présentée ci-dessous, se base sur des documents de très bonne qualité transmis par La Poste, couvrant des relevés du 9.12.2018 au 14.12.2019, soit 12 mois d'exploitation des deux lignes internes de la ville de Sion. A l'aide des outils développés, les lignes de bus, sujet de l'étude, sont dessinées par une succession de clics sur la carte présentant le réseau routier dans la zone d'étude. Les distances entre arrêts sont déterminées. La Figure 14 montre la ligne Gare-Gravelone.

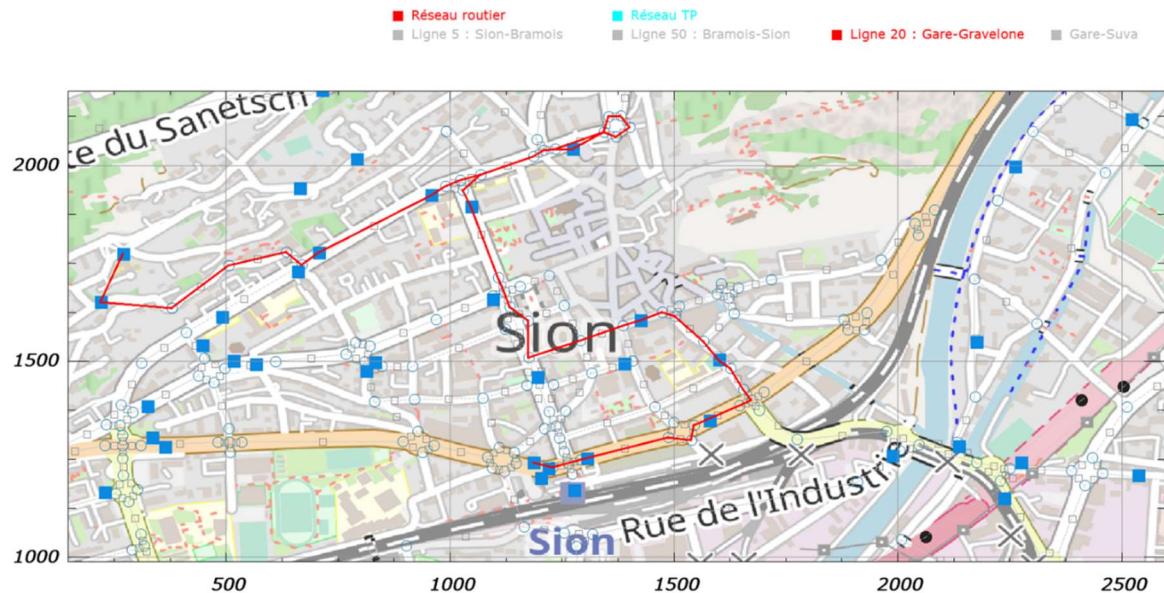


Figure 14. Ligne Gare-Gravelone

Le bus à la demande

Sur la base des développements effectués, l'objectif de ce volet énergétique est d'évaluer le potentiel d'amélioration de l'efficience énergétique mesuré en voyageur-km par le remplacement d'un bus de ligne urbain par un système de bus électriques à la demande. Comme il a été évoqué, l'efficience énergétique est principalement liée au nombre d'usagers et dans une moindre mesure au type de bus en service.

L'idée étudiée consiste à remplacer les bus thermiques (de 12 m) par des minibus 100% électrique (de 6 m) pour les faire fonctionner à l'intérieur de la ville comme bus à la demande, tout en engageant le même nombre de chauffeurs que sur les deux lignes urbaines actuelles (Gravelone et Suva).

Pour estimer la demande potentielle des usagers pour le bus à la demande, deux scénarios ont été analysés :

- Un transfert modal de 25% a été pris comme hypothèse du TIM vers le bus à la demande,
- Une évaluation du potentiel transfert modal optimal sans changer ces aspects logistiques sur la base du même nombre de chauffeurs et de bus.

L'estimation du besoin en mobilité qui est fait ici se base sur le modèle des attracteurs et des émetteurs de mobilité, telle que développée dans ce projet. Le chapitre Demande potentielle et bassin de desserte ci-dessous décrit le calcul effectué pour obtenir la MOD du besoin potentiel en mobilité pour le bus à la demande.

La partie logistique, c'est-à-dire, définition du processus de la réservation, estimation des prix et des coûts, des durées et des délais du service ne sont pas traités, car cela sort du cadre du projet. Il est, toutefois, important de souligner que dans le cadre de ce projet de nombreux outils ont été développés (horaires, visualisation des arrêts, lignes de bus, zones d'intérêt, centres d'attraction, Dijkstra, etc...). Ces derniers peuvent apporter des réponses chiffrées aux questions logistiques, une fois celles-ci clairement posées.

Les véhicules de TP proposés pour fonctionner comme « bus à la demande » sont de petite taille (6 mètres) et 100% électrique. La Figure 15 et la Figure 16 montrent l'extérieur et l'intérieur d'un tel bus électrique. Les aspects techniques de ce type de bus sont donnés dans le Tableau 10.



Figure 16. Aperçu intérieur des bus proposés comme bus à la demande

Figure 15. Aperçu extérieur des bus proposés pour remplir la tâche de bus à la demande

Tableau 10. Performance des bus proposés pour assurer la tâche de « bus à la demande » [13]

KARSAN JEST ELECTRIQUE (6 m navette urbaine)	
Autonomie	210 km NEDC ¹
Capacité des batteries	88 kWh
Consommation du véhicule	0.41 kWh/km
Nombre de passagers	10 places assises et deux sièges rabattables (soit 12 places assises)

Considérations analytiques

- Dans un système de bus à la demande, quand il n'y a pas de demande, le bus ne roule pas. Le bus ne roule donc jamais à vide.
- Quand un bus à la demande ne roule pas et qu'il est à l'un des points de recharge, il peut être rechargé.
- La zone comprend les deux trajets des bus actuellement en service. Les bus à la demande couvrent l'ensemble des arrêts des deux lignes analysées.
- Dans la configuration actuelle, 3 bus au minimum sont nécessaires pour parcourir ~640 km de manière journalière pour un total de plus de ~40 heures-chauffeur par jour. Ce calcul arithmétique montre que la limitation du fonctionnement des bus électriques à la demande est plus grande par le facteur humain (les chauffeur(s)) que par le facteur technique (la capacité des batteries).
- Connaissant la vitesse moyenne du minibus à la demande, le nombre de chauffeurs engagés et le taux de remplissage du bus, il est possible de déterminer l'efficience énergétique du transport et la performance du service.
- La vitesse moyenne d'un minibus à la demande sera plus grande que la vitesse d'un bus s'arrêtant à tous les arrêts, bien que certains soient facultatifs. Selon la modélisation effectuée dans l'outil d'aide à la décision, les véhicules privés circulent avec une vitesse moyenne de 30 km/h,

¹ New European Driving Cycle

les bus sur les lignes internes à la ville avec une vitesse moyenne de moins de 20 km/h. Les raisons tiennent au fait que le « bus standard » doit respecter un horaire prédéterminé, d'une part et d'autre part, qu'il doit compter sur le temps de montée et de descente des usagers.

- Les bus électriques à la demande engagés n'ont pas besoin d'avoir des grandes phases de recharge durant la journée pour assurer le service de bus à la demande sur une journée entière. Les phases de recharge, peuvent se faire durant les phases creuses de l'activité routière. Sur une borne de recharge de 100 kW, la charge 10-80% d'un minibus à la demande est effectuée en 40 minutes environ.
- Un minibus de petite taille 100% électrique pourrait circuler dans des zones à mobilité douce (par exemple celle qui lie la place du Midi et le Grand-Pont) sans engendrer de pollution locale, ni de nuisances phoniques.

Demande potentielle et bassin de desserte

Le bassin de déserte a été défini à l'aide d'un outil développé dans le cadre de ce projet. Chaque hectare est assigné à une zone d'intérêt pour l'analyse engagée. La Figure 17 montre en rouge la zone autour de la gare, en vert la zone englobant la ligne Gravelone et en bleu celle englobant la ligne Suva.

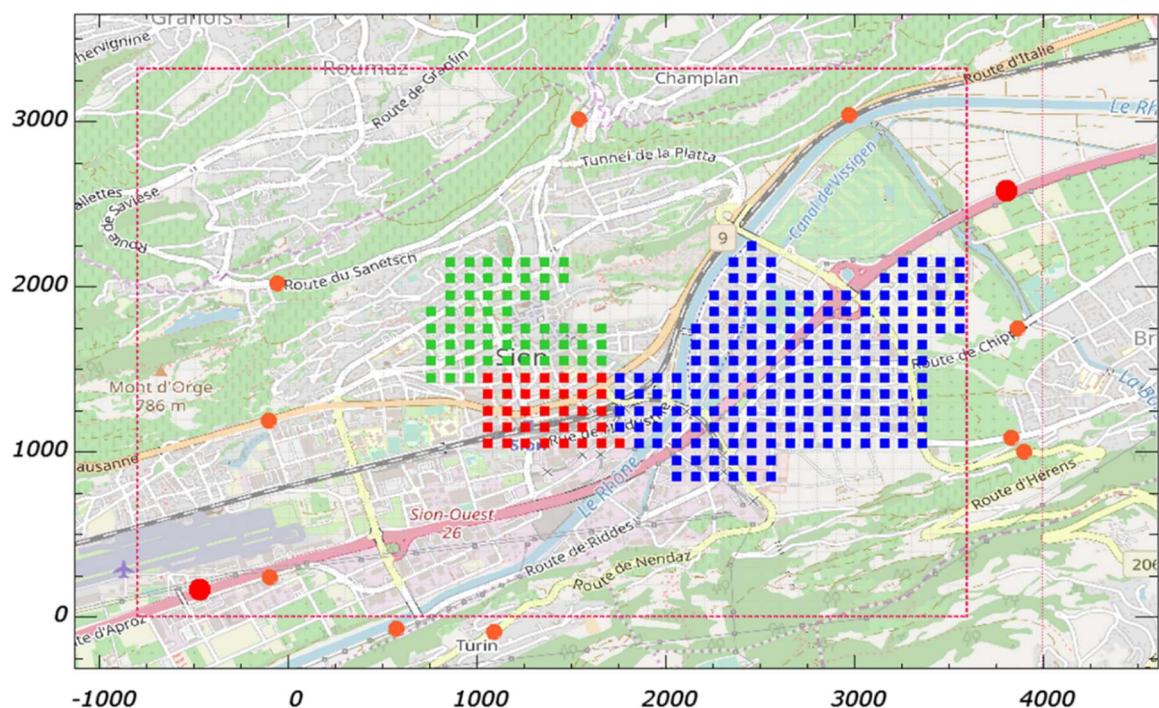


Figure 17: Définition des zones d'intérêt avec l'outil développé

Flotte active sur les lignes Gravelone et Suva

Selon les informations transmises par la Poste, en 2019, 36 chauffeurs étaient engagés pour conduire les 18 bus (8 maxi, 8 articulés, 2 hybrides) sur les quatre lignes de la ville.

Deux chauffeurs assuraient le service sur la ligne de Gravelone et 5 chauffeurs celui de la ligne Suva.

Bien que très variable, une consommation de **31 litres** de diesel aux 100 km, nous a été communiquée par La Poste et sera considérée pour la suite calculs.

Considérations à retenir pour les bus à la demande

Suite à l'analyse détaillée de ces deux lignes, nous pouvons imaginer le gain effectué en convertissant les bus de type thermique en bus électrique à la demande.

Les aspects logistiques humains ayant une influence significative, nous conserverons le même nombre de chauffeurs pour notre analyse détaillée.

3.1.3 Gestion des données de l'interface de développement

Les données analysées et intégrées proviennent de différentes sources, comme montré dans le Tableau 11. Elles sont représentées sur une base géographique pour faciliter la compréhension des données importées dans l'outil d'aide à la décision. L'interface de développement a été prévue pour pouvoir intégrer divers types de données (csv, xml, excel) et que tout soit convertit vers un format XML pour permettre le transfert de données vers la plateforme de visualisation.

Tableau 11. Regroupement logique des données intégrées à l'interface de développement.

Regroupement logique	Informations/objectifs recherchés	Origine et source des données	Type
Bases géographiques	1. Réseau routier 2. Réseau TP 3. Densité résidence/emplois/... 4. Définition des zones	OSM (Open Street Map) OSM Map-géo + OFS : AVS Interface de développement	XML XML CSV BIN
Déplacements	5. Motifs de déplacement 6. TIM : Comptages routiers 7. TP : Fréquentation 8. MD : Analyse	OFS (Office Fédérale Stat.) Base de données Swisstrafic Relevé de la Poste (fichiers) Service de la mobilité	CSV EXCEL CSV XML

Données concernant les bases géographiques

Réseau routier :

Usuellement, un réseau routier est défini par :

- Un ensemble de nœud, représentant une intersection
- Un ensemble de jonction entre nœuds, représentant une route

Un nœud routier est caractérisé par :

- Une position géographique
- Ses nœuds voisins (jonction)
- Son type (TIM, TP)

Une jonction entre deux nœuds (route) est caractérisée par :

- La vitesse maximale autorisée
- La charge de trafic maximale associée à l'infrastructure de la route
- La distance à vol d'oiseau
- Le sens autorisé

Pour gérer un réseau routier les fonctionnalités suivantes ont été développées sur l'outil d'aide à la décision. Ces fonctionnalités sont utiles pour les trois modes de transport (TIM, TP, MD) :

- Définir un nœud, créer un lien entre deux nœuds
- Dessiner un réseau (ensemble de nœud et de liens entre les nœuds)
- Représenter un flux de mobilité
- Intégrer aux données existantes
- Définir un chemin d'un nœud d'origine à un nœud de destination (un router) en minimisant une grandeur physique (Temps de trajet, distance, ...)

Depuis OpenStreetMap [4], les informations routières se trouvant dans une zone à définir peuvent être téléchargées dans un fichier XML. Ce fichier contient une liste de nœuds avec les informations suivantes :

- La distance entre deux nœuds
- La vitesse maximale entre deux nœuds
- La position géographique des nœuds
- Le sens de circulation entre deux nœuds
- Le nom de la rue où se trouve le nœud

Les nœuds sont présents à chaque intersection. Une interface a été développée pour assigner ou compléter les informations d'un nœud. Une seconde interface a été développée pour générer un réseau

simplifié. En effet, le réseau téléchargeable depuis OpenStreetMap contient beaucoup de nœuds intermédiaires. Cette quantité de données importante prolonge le temps de calcul et rend compliqué le calage de la MOD.

Les parkings ont été intégrés depuis OpenStreetMap [4]. Les informations sur les parkings se trouvant dans une zone peuvent être téléchargées dans un fichier XML. Une interface a été développé pour placer les parkings sur une carte. Les informations de prix et du nombre de places peuvent être ajoutées. Ces informations doivent être entrées par les personnes utilisant l'outil et peuvent être modifiées pour générer des scénarios différents.

Réseau TP :

Le réseau de transport public diffère du réseau routier par le fait qu'il comporte des arrêts de bus considérés comme des nœuds virtuels. Une ligne de bus est définie par une suite de jonctions du réseau TP (nœuds routiers et arrêts de bus). L'ensemble des lignes de bus constitue le réseau TP.

Les arrêts de bus ont été intégrés depuis OpenStreetMap [4], les informations sur les arrêts de bus se trouvant dans une zone peuvent être téléchargées dans un fichier XML. Ce fichier contient une liste des arrêts de bus avec les informations suivantes :

- Le nom de l'arrêt de bus
- La position géographique de l'arrêt de bus

Les horaires de toutes les lignes des TP sont publics. La poste a fourni, en plus des horaires sous forme tabulaire, la fréquentation des TP (montée et descente des bus par arrêt), qu'elle exploite, sur 19 de ses lignes sur la région de Sion. L'année utilisée pour l'analyse est celle de 2019, 2020 n'était pas une année représentative d'utilisation des TP. Ainsi, pour la partie d'analyse de la mise en place de bus électriques et à la demande, les arrêts, horaires et fréquentations pour l'année 2019 sont utilisés.

A partir des positions géographiques des arrêts de bus, des positions des résidences et des emplois, il est possible de déterminer la distance médiane et moyenne jusqu'à un arrêt de bus. La Figure 18 montre les résultats obtenus.

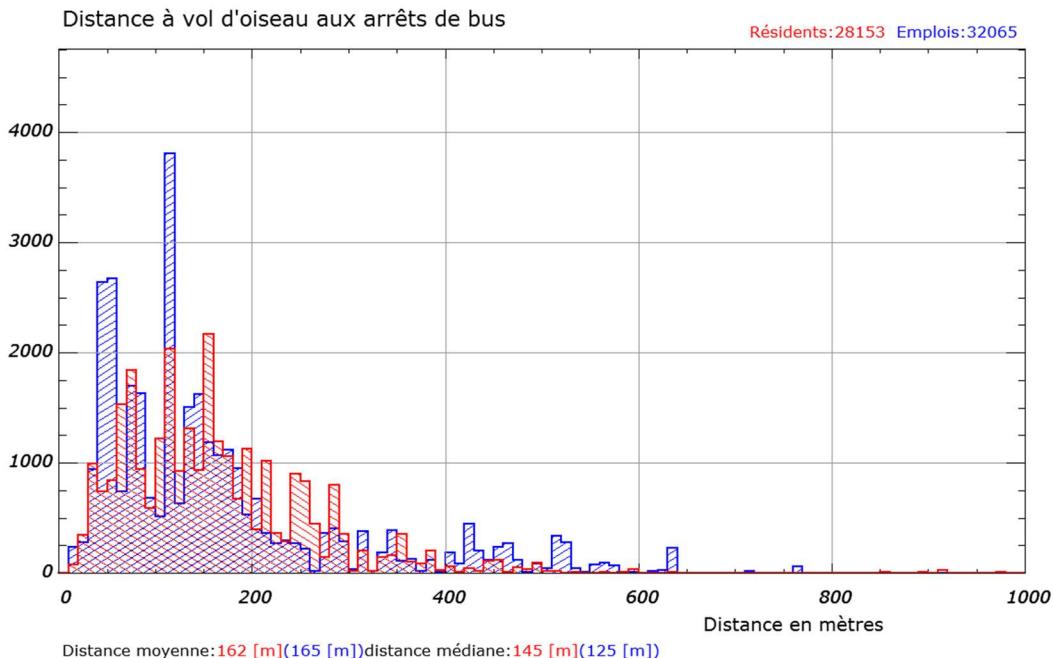


Figure 18. Distribution des distances entre le lieu de résidence, d'emploi et les arrêts de bus les plus proches.

Le Tableau 12 donne pour tous les attracteurs la distance moyenne et médiane jusqu'aux arrêts de bus.

Tableau 12. Distance à vol d'oiseau entre les attracteurs et les arrêts de bus.

	Nombre []	Distance moyenne [m]	Distance médiane [m]
Résidents	28'153	162	145
Emplois	32'065	165	125
Ecoles	17	129	95
Commerce	140	132	105
Centres d'intérêt	322	178	155

Pour compléter les données concernant le réseau TP, un fichier avec les montées et descentes à la Gare de Sion pour le train RegionAlps a été fourni. L'analyse a été faite uniquement pour les transports urbains. En cas de développement ultérieur, ces données devraient être complétées avec les données des transports inter-ville des CFF.

Densité résidence-emploi :

L'office fédéral de la statistique tient à jour le nombre d'habitant et de place de travail par hectare pour toute la Suisse. Les données ont été filtrées, gardant pour chaque hectare l'information suivante :

- La position géographique selon les coordonnées Suisse [8]
- Le nombre d'habitants
- Le nombre d'emplois par secteur d'activité (primaire, secondaire et tertiaire)

Des fichiers mis à jour par l'OFS donne les statistiques sur la commune de résidence et la commune de travail pour l'ensemble de la Suisse. Ce fichier sur base des données issues de l'AVS est utilisé pour l'analyse des déplacements pour des raisons professionnelles. Les résultats de l'analyse pour la région étudiée sont résumés dans le Tableau 13.

Tableau 13 - Résidents et emplois.

Résidents	Emplois
28'505	32'107
604 hectares avec résidents	545 hectares avec emplois
349 résidents dans l'hectare le plus dense	1525 emplois dans l'hectare le plus dense (hôpital de Sion)

Les densités géographiques des résidents et des emplois sont représentées dans une carte interactive, comme montré dans la Figure 19.

Hectares, emplois et résidents

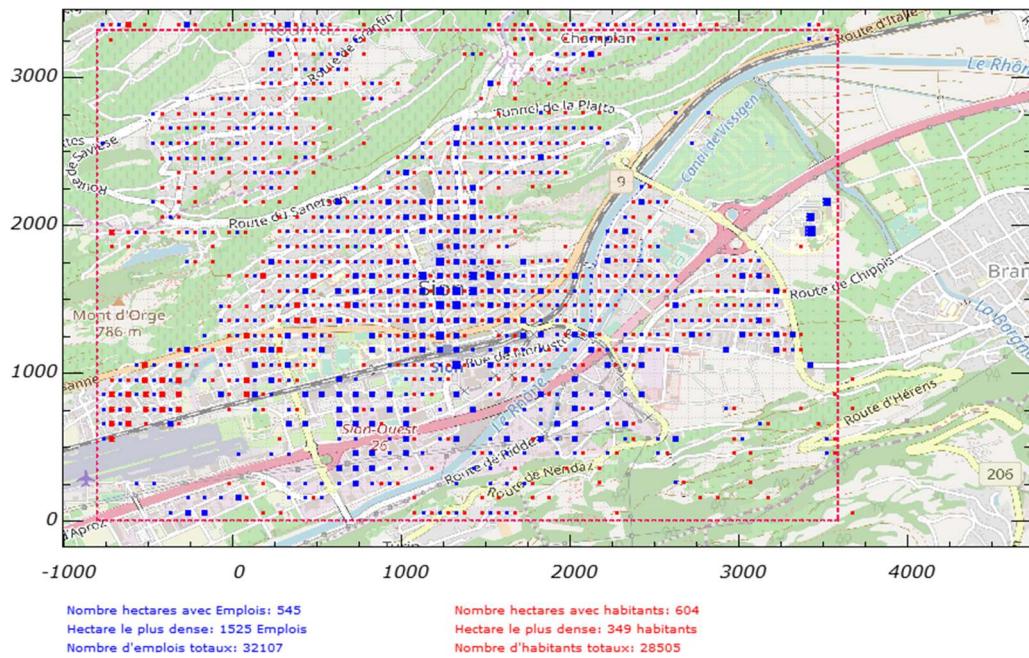


Figure 19. Représentation de la densité des emplois et des résidents de la région étudiée.

Définition des zones :

Un outil, permettant d'associer chaque hectare à une zone, facilite la vue d'ensemble en termes de mobilité. Le zonage se définit par l'assignation d'un numéro de zone à chaque hectare de la zone étudiée, comme présenté dans la Figure 20. Un zonage peut être associé à :

- Un quartier
- Une zone de transit : Elle définit l'interface entre l'intérieur et l'extérieur de la zone étudiée.

Zonage bis (hpoint)

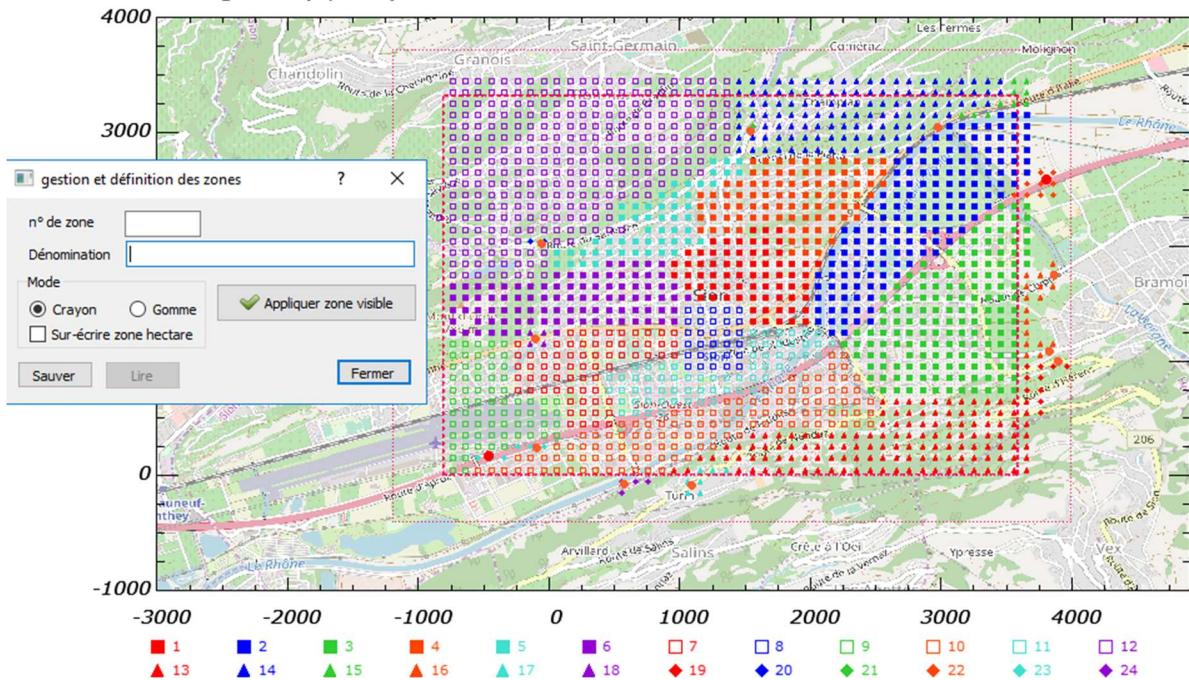


Figure 20. Interface d'utilisation de l'outil qui permet de définir les zones hectare- exemple de Sion.

Données concernant les déplacements

Le choix du moyen de transport dépend fortement de la région étudiée, du motif et de la distance du trajet. Les trois moyens de transports classiquement retenus sont les transports individuels motorisés (TIM), les transports publics (TP), la mobilité douce (MD).

L'interface de développement a dû être limitée aux TIM et TP pour des raisons de manque de données pour les MD principalement. Pour les TP, les données brutes sont intégrées et peuvent être comparées à celles de TIM.

Le développement des transports publics, la distribution géographique des lieux de résidence et des emplois jouent un rôle suffisamment important pour que les statistiques nationales soient vraies pour une région et non représentative pour une autre région.

Le Tableau 14 résume l'activité routière et l'activité des transports publics suivant le jour de la semaine considéré. Ces éléments sont détaillés plus bas.

Tableau 14 - Activité TIM et TP en fonction des jours de la semaine.

Jour de la semaine	Activité TIM	Activité TP
Lundi au vendredi	1.00	1.00
Samedi	0.64	0.41
Dimanche	0.53	0.16

Motifs de déplacement :

L'Office Fédéral des Statistiques définit les motifs de déplacement selon [2], comme montré dans la Figure 21. Il a été décidé, de les regrouper selon les motifs suivants :

- Travail et formation (37% [2])
- Achat (16% [2])
- Loisirs (37% [2])
- Accompagnement (5% [2])

Pour le développement de l'outil d'aide à la décision, chaque motif de déplacement journalier est associé à un profil horaire, comme indiqué à la Figure 21.

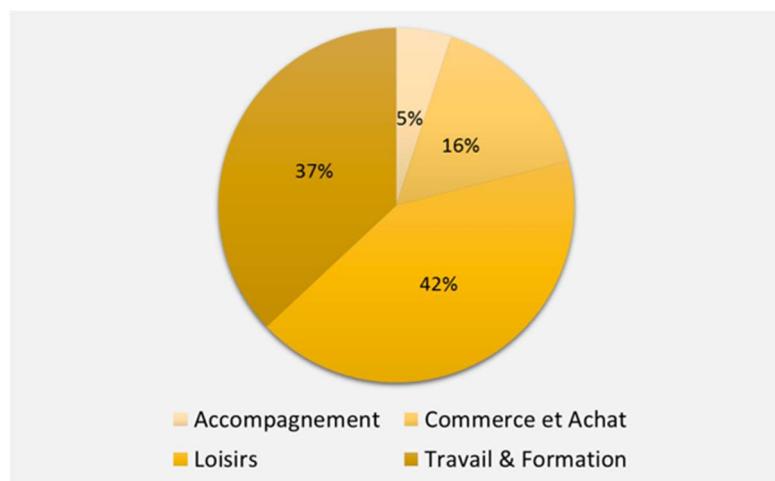


Figure 21. Répartition des motifs de déplacement selon l'OFS [2].

Pour définir l'ensemble des déplacements journaliers, il est nécessaire de connaître :

- Le lieu de résidences des habitants d'une région, comme discuté plus haut, ainsi que l'emplacement des places de travail, des commerces et des activités de loisir pour le motif associé.
- L'emplacement des places de travail a été complété avec les données AVS fournies par l'OFS, comme présenté ci-dessus.

Pour le reste, les informations sont intégrées depuis OSM et peuvent être corrigées et complétées par la personne utilisant l'outil d'aide à la décision.

Depuis OpenStreetMap [4], les informations sur les loisirs, les commerces et les écoles se trouvant dans une zone peuvent être téléchargées dans un fichier XML. Ce fichier contient une liste avec les informations suivantes :

- La désignation associée
- La position géographique

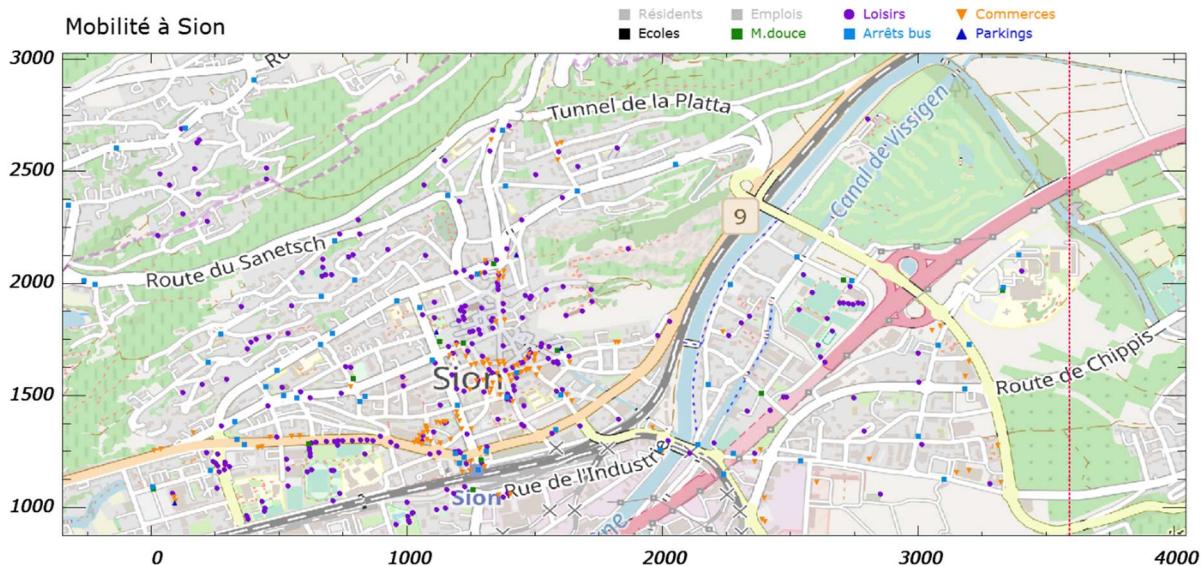


Figure 22. Interface d'utilisation du logiciel montrant la position des arrêts de bus des parkings, ainsi que la position des attracteurs.

TIM : comptages routiers

Le traçage des téléphoniques mobiles donnent des indications temporelles et géographiques sur les déplacements d'une population. L'utilisation de ces données a été évaluée et finalement abandonnée étant donné leur coût. Ces données sont fréquemment complétées avec des capteurs routiers mis en place dans la plupart des régions depuis de nombreuses années. Ces capteurs comptent le nombre de véhicule passant sur un tronçon de route sur une base horaire.

En plus des données relevées par des capteurs routiers, les données de charges routières normalisées telles que le sont présentées les informations dans les rapports fournis par des bureaux d'étude en mobilité peuvent être intégrées. Pour cela, le profil horaire des capteurs est appliqué à la charge de trafic quotidienne. Ainsi, des points de comptage « fictifs » peuvent être ajoutés pour compléter le réseau et affiner le calage en des points cruciaux.

La détermination de l'activité routière se base sur les données des comptages routiers. Pour chaque compteur routier, le nombre de véhicules comptés durant l'heure h est rapporté au comptage journalier, définissant ainsi le profil horaire $P_k(h)$.

$$P_k(h) = \frac{C_k(h)}{\sum_{h=0}^{<24} C_k(h)}$$

Équation 9. Profil horaire

L'activité horaire est définie comme la moyenne des profils horaires pour l'ensemble des compteurs routiers de la région étudiée. La Figure 23 liste l'activité routière obtenue.

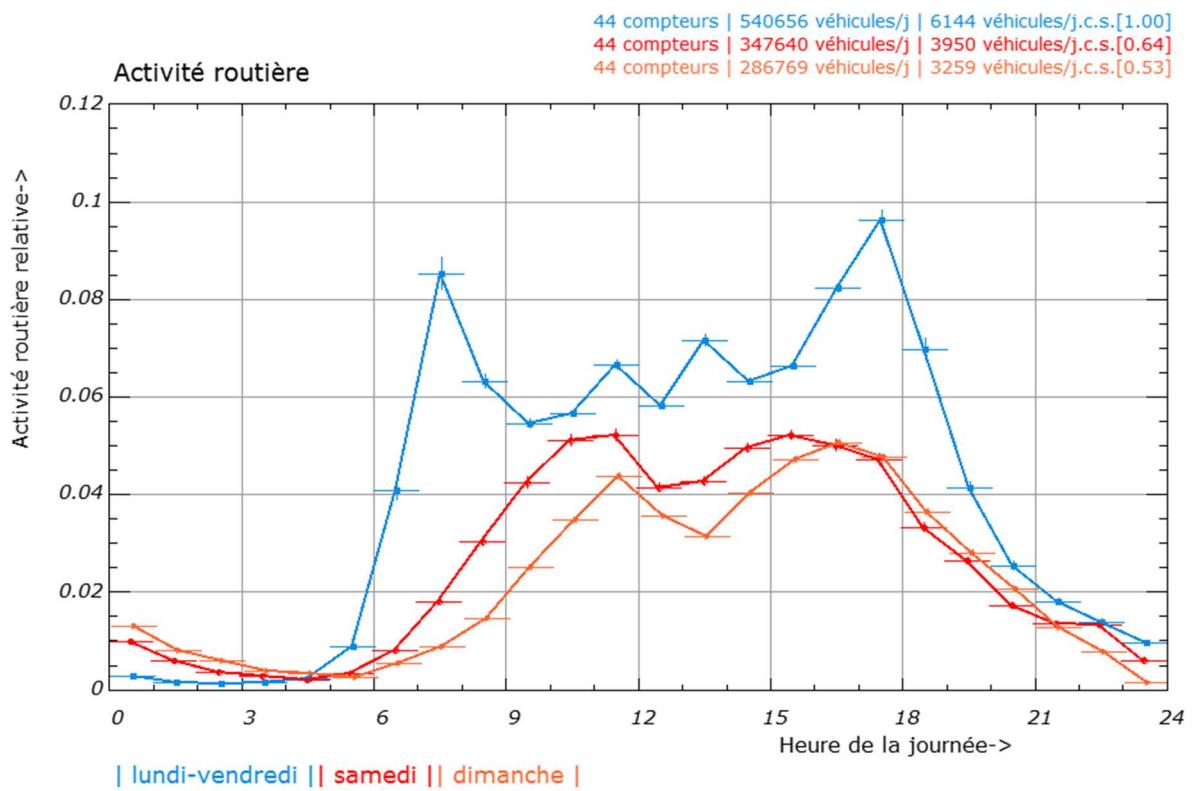


Figure 23. Profil de l'activité TIM pour trois jours type (lundi-vendredi ; samedi ; dimanche).

L'analyse des compteurs placés dans la région de Sion a permis de déterminer des moyennes horaires de passages de véhicules sur plusieurs tronçons de la ville de Sion. Comme certaines données de capteurs remontent à plus de 10 ans, il a été nécessaire d'extrapoler les données pour certains capteurs en ajustant le passage des véhicules suivant l'évolution des quartiers étudiés. Certains capteurs ne disposaient que du nombre de passages journaliers, un profil horaire type leur a été assigné. Les profils horaires et le nombre de passages journaliers sont stockés dans une base de données. Un outil spécifique a été développé pour assigner les comptages routiers de manière simple à un tronçon de route.

Des outils de navigation interactif dans les données comptages ont été développés pour faciliter l'accès à l'information des comptages routiers, comme le montre la Figure 23 et la Figure 24.

TP : Fréquentation

La poste tient à jour des tables comptabilisant, pour chaque ligne, le nombre de passagers montant et descendant à chaque arrêt. Grâce à ces fichiers, pour chaque ligne de bus de la région de Sion, une analyse de la moyenne des montées et des descentes des passagers à chaque arrêt a été réalisé pour l'horaire complet. La distinction entre les différents types de jour de la semaine a été faite, comme présenté à la Figure 24.

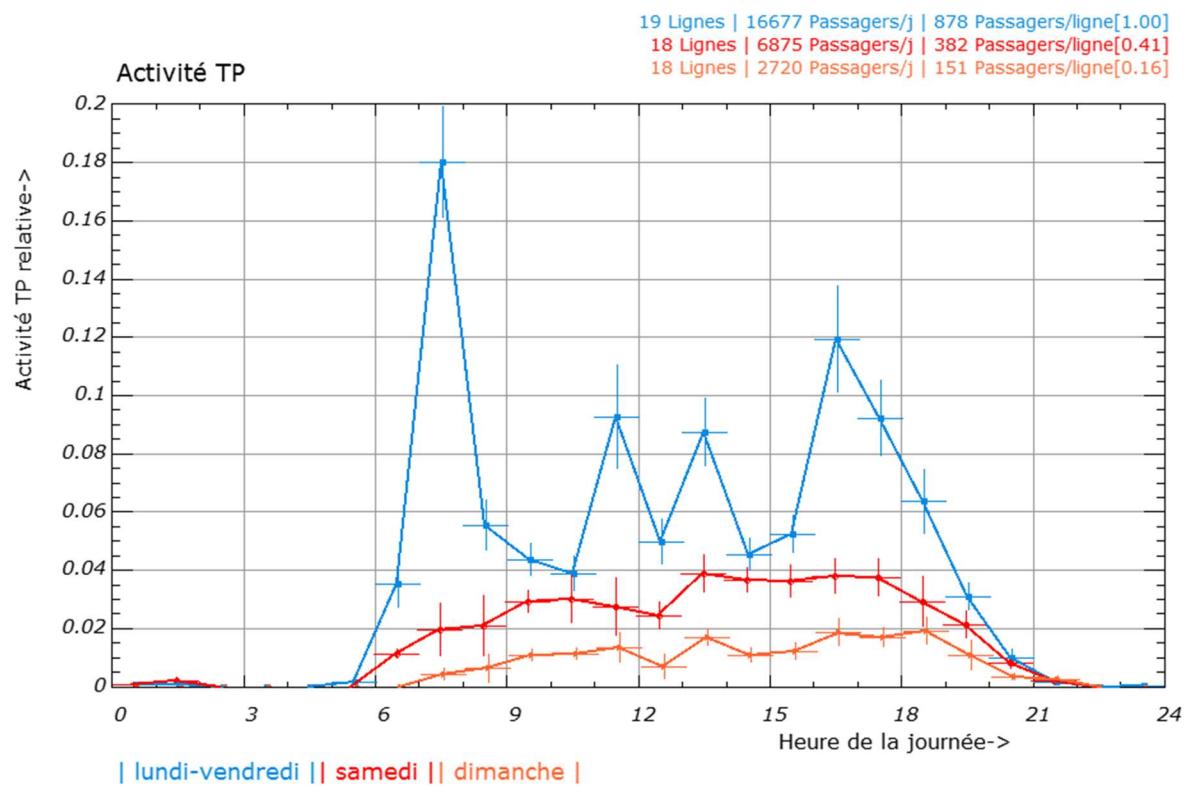


Figure 24. Fréquentation des Transports publics (TP) pour les 19 lignes analysées pour l'année 2018.

MD : Analyse

Les informations concernant les MD sont très lacunaires, voire inexistantes pour la zone étudiée. Une étude sommaire a été effectuée au centre de la ville de Sion pour obtenir des comptages. Cependant, le niveau de détail et le fait que les résultats ne peuvent être extrapolés pour des zones plus étendues a conduit ne pas intégrer les MD dans cette première étape de développement.

Sur le site OpenStreetMap [4], les informations sur de positionnement des vélos en libre-service Publicbike se trouvant dans une zone peuvent être téléchargées dans un fichier XML.

3.2 DÉVELOPPEMENT : PLATEFORME GIS DE VISUALISATION

Les principaux objectifs de la Plateforme GIS sont :la visualisation de la situation et la comparaison de scénarios/versions pour l'aide à la décision liée à la mobilité. Les fonctionnalités ont été développées pour faciliter la compréhension des éléments à optimiser en permettant la modification de critères et la mise en place d'une interface de visualisation ergonomique et facile d'utilisation.

3.2.1 Processus de développement

La méthodologie proposée est basée sur la démarche Two Track Unified Process (2TUP). Elle comprend 3 branches comme l'illustre la Figure 25:

- Analyse et définition des besoins (user stories, mockups)
- Choix technologiques (plateformes, langages, outils de développement)
- Développement agile selon des cycles itératifs (méthodologie Scrum)

Cette démarche est éprouvée et permet d'obtenir rapidement des résultats et de les améliorer en continu.

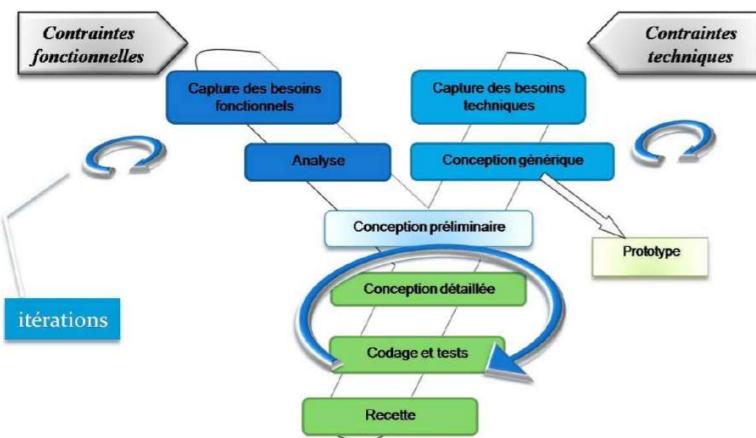


Figure 25. Diagramme du processus 2TUP [9].

3.2.2 Analyse et définition des besoins

La définition des besoins a découlé des discussions avec le groupe de réflexion et des éléments suivants :

- l'acquisition des données de base propre au périmètre d'étude telles que présentées dans la Section 3.1.2,
- l'identification des scénarios telles que décrite en Section 4,
- la représentation de la situation de base,
- la mise en place de l'outil de développement.

3.2.3 Fonctionnalités de la plateforme

L'analyse des besoins a permis de définir la liste des fonctionnalités comme décrite ci-dessous qui est développée sous forme de mockups.

Tableau 15. Liste des fonctionnalités.

Sprint	Id	Fonctionnalité (User Story)	Statut	Effort initial	Effort Réalisé
1	26473	Afficher un scénario	Réalisé	5	5
1	27046	Navigner à travers l'application web	Réalisé	6	6
1	27047	Mettre en place un environnement de travail	Réalisé	0	0
2	26475	Filtrer les indicateurs d'un scénario	Réalisé	2	2
2	32154	Corriger les erreurs	Réalisé	2	2
3	32189	Voir les commerces, écoles et couche de mobilité verte sur la carte	Réalisé	3	3
3	32147	Afficher la couche d'activités de loisirs sur la carte	Réalisé	3	3
5	32160	Voir les données AVS [population / travail] sur la carte (Arrivé / Départ Sion)	Réalisé	4	4
5	32150	Voir la couche population et emploi sur la carte	Réalisé	5	5
	32145	Intégration XML - l'état de retour du nouveau type de données est trompeur	Non planifié		
8	32161	Voir les autres indicateurs (graphiques, ...) sur le panneau de droite - charge de trafic par heure	Réalisé	5	5
	32161b	Voir les autres indicateurs (graphiques, ...) sur le panneau de droite - nbr km en voiture, coût des km parcourus	Non planifié	8	
7	32097	Voir la couche des lignes de bus sur la carte	Réalisé	5	5
6	32098	Voir la couche de zones sur la carte	Réalisé	5	5
8	26484	Comparez deux scénarios différents - carte du scénario de base et du scénario à comparer	Réalisé	5	5
8	26716	Voir le changement sur la carte appliqué par un scénario - points noirs de surcharge	Réalisé	2	2
5	Ajouté	Améliorer la visualisation Arrivée-Départ (Origine – Destination)	Réalisé	2	2
5	Ajouté	Afficher un itinéraire et calculer la distance (intégration des nœuds du jeu de données)	Réalisé	8	8
7	Ajouté	Voir les points de mesure (radars) sur la carte - importer des données statiques dans la base de données	Réalisé	2	2
7	Ajouté	Voir le% de charge sur une route par rapport à sa capacité (sélectionner l'heure)	Réalisé	2	2
7	Ajouté	Améliorer le défilement	Réalisé	1	1
9	Ajouté	Afficher les différences de 2 cartes au niveau de l'hectare (population / travail / trafic): carte1 - carte2 = résultat à afficher	Réalisé	8	8
9	Ajouté	Comparer la charge de trafic sur un segment d'itinéraire -> afficher le graphique sur un autre onglet (mockup_base.pdf - résumé de la version)	Réalisé	5	5
	Ajouté	Charge de trafic de comparaison d'exportation sur .csv	Non planifié	3	
				88	80

Mockups

La conceptualisation des interfaces utilisateurs de la plateforme GIS de visualisation a été réalisée à l'aide de maquettes (mockups). Ceux-ci ont été dessinées pour compléter la définition des fonctionnalités afin d'illustrer à toutes les équipes du projet la façon dont les utilisateurs voient la plateforme. Le développement ne commence qu'une fois que les mockups ont été acceptés. L'intégralité des mockups est présentée en Annexe 7.3 et les principales sont décrites ci-dessous.

Le mockup suivant montre la manière dont tout public intéressé par la transition de mobilité peut créer des versions du scénario de base (Figure 26). Le scénario de base est transmis par l'interface de développement qui est gérée par une personne chargée de la mobilité.

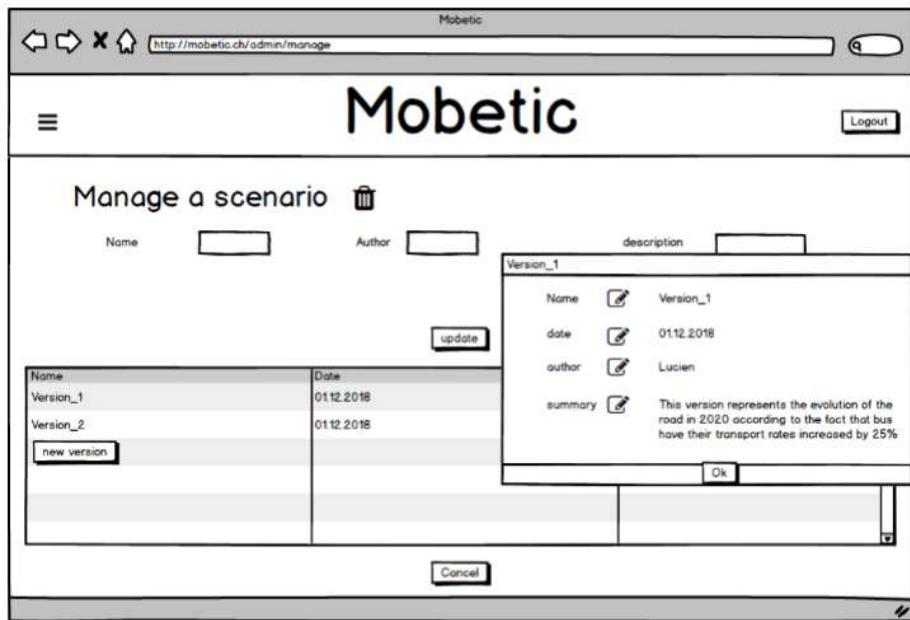


Figure 26. Mockup - Gestion des scénarios/versions

Cette plateforme de visualisation ergonomique permet la sélection de diverses couches et la comparaison multifenêtres (Figure 27).

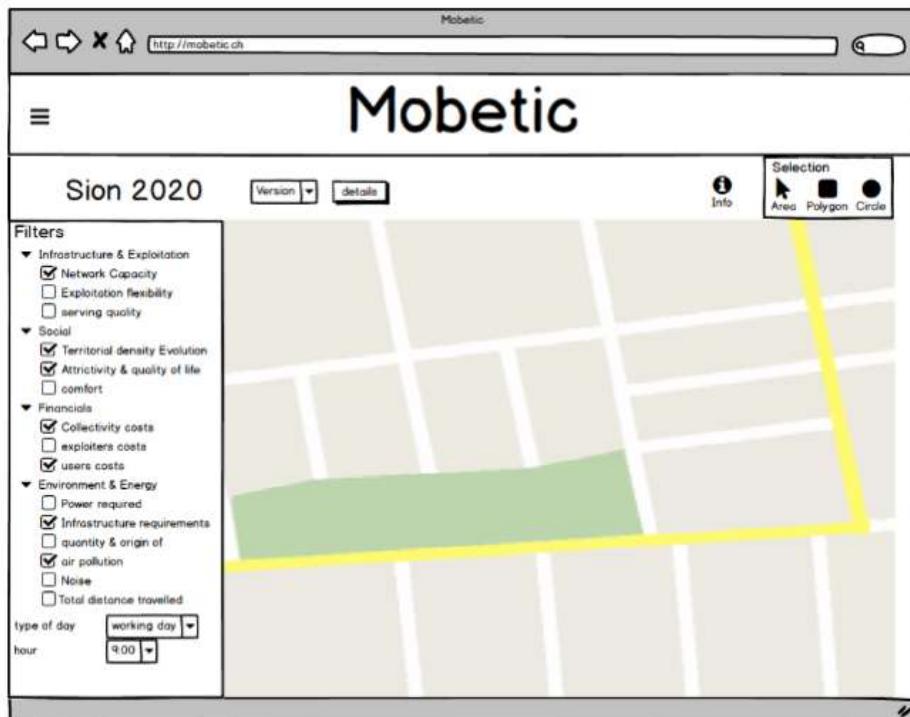


Figure 27. Mockup - Visualisation de la carte et des filtres/couches

Les discussions du groupe de réflexion ont permis de préciser les statistiques et indicateurs utiles pour comparer divers scénarios. Cette fonctionnalité est illustrée dans la Figure 28.

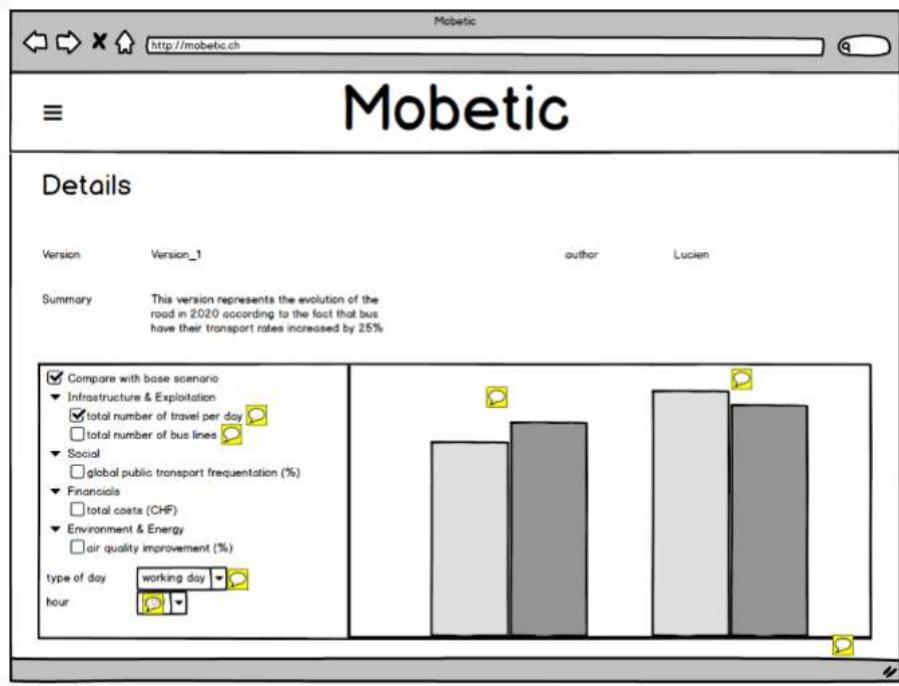


Figure 28. Mockup - Comparaison de scénarios et/ou versions

3.2.4 Choix technologiques

Résumé de l'architecture logicielle de la plateforme GIS

La plateforme de visualisation est accessible par une interface web qui est hébergée sur le serveur <https://vlhmobicic.hevs.ch/>. Une analyse des technologies open-sources a été réalisée et est décrite ci-dessous.

L'architecture de la plateforme a été scindée en deux parties, le backend et le frontend. Cela permet de séparer clairement les rôles de chaque partie et ainsi renforcer la maintenabilité et l'évolutivité de la plateforme. Quelques définitions ci-dessous aident à la compréhension de la Figure 29 concernant l'architecture logicielle de la plateforme GIS de visualisation.

Définitions pour comprendre l'architecture logicielle

Le Client est la personne qui souhaite accéder à la plateforme.

Le Reverse Proxy est un serveur qui fait la communication entre le client, le backend et le frontend.

Le backend est un terme désignant la couche d'arrière-plan invisible d'un logiciel. On l'oppose au **frontend** qui lui est la partie visible par l'utilisateur.

Dans le backend, c'est le framework **flask** qui est utilisé pour le développement web en **python**. Flask est un environnement sécurisé et reconnu des développeurs qui fournit une palette d'outils utile au développement et configuration du backend. Son but principal est d'être léger, afin de garder la souplesse de la programmation Python.

C'est aussi ici qu'est l'**API** (l'interface de programmation d'application). L'API est un ensemble normalisé de classes, de méthodes, de fonctions et de constantes qui sert de point d'entrée/sortie par laquelle il offre des services au frontend. C'est à travers de cette API que circulent les informations entre le backend et le frontend.

Le frontend est conçu en Angular 9. **Angular** est un environnement open-source conçu par Google qui permet la création d'application web accessibles via une page web unique qui permet de fluidifier l'expérience utilisateur. Cette technologie évite les chargements de page à chaque nouvelle action ce qui est très utilisé lorsqu'on utilise du GIS. Le routing se fait via le reverse proxy **traefik**.

La base de données open-source PostgreSQL (Figure 29) et son extension PostGIS ont été sélectionnés pour l'enregistrement des données provenant de l'Outil de Création de Scénarios.

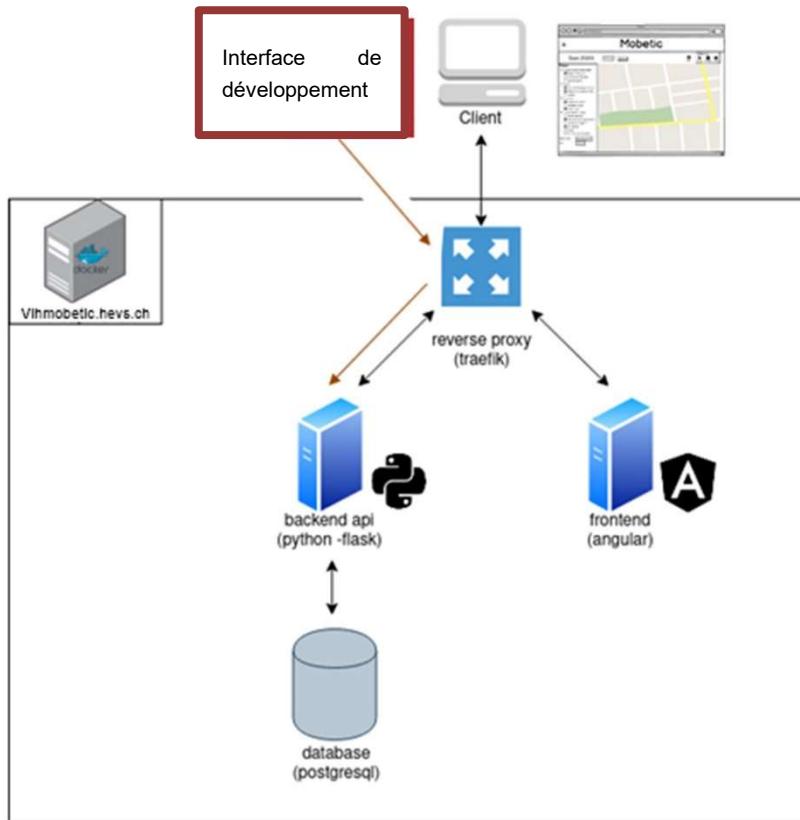


Figure 29. Architecture logicielle

Technologies analysées pour le développement du Frontend

Pour le frontend, plusieurs Framework javascript sont possibles : React, Angular JS et Vue.

- React est un des Framework les plus utilisés, il a été développé par Facebook en 2013 et permet une grande flexibilité. Il y a cependant peu de conventions de code communément acceptées et il peut devenir incompréhensible. Ce qui peut rendre difficile son évolution.
- Angular a été développé en 2009, il est pensé pour créer des applications très interactives et permet de bien organiser son code. Il est facilement applicable sur des grands projets, très réputé et efficace. Cependant, ses nombreuses possibilités de structure le rendent plus compliqué à apprendre.
- Vue a été développé en 2013, il est prévu pour être facilement scalable² et avoir des bonnes performances en raison de sa petite taille. Cependant, c'est le moins utilisé des trois Frameworks ce qui fait que certains problèmes peuvent être plus compliqués à résoudre.

Pour ce qui concerne la partie Frontend, nous avons sélectionné le Framework Angular. Il est très reconnu et apprécié des développeurs, il a une énorme communauté et il permet d'avoir des projets bien structurés et efficaces.

Technologies analysées pour le développement du Backend

Pour développer une plateforme web, nous nous sommes penchés sur trois possibilités : la spécification Jakarta EE (Java), le langage Python ou le Framework node.js (Javascript).

- Java est le langage le plus utilisé pour faire des applications utilisant le GIS, cela vient entre autres des applications Android qui sont souvent basées sur du Java. Cependant, les applications GIS en Jakarta EE ne sont pas légions et cette spécification, bien qu'elle soit efficace, est parfois un peu compliquée à implémenter et est peu documentée.

² Scalable : En informatique matérielle et logicielle et en télécommunications, l'extensibilité ou scalabilité désigne la capacité d'un produit à s'adapter à un changement d'ordre de grandeur de la demande (montée en charge), en particulier sa capacité à maintenir ses fonctionnalités et ses performances en cas de forte demande.

- Python est un langage particulièrement utilisé en recherche pour plusieurs raisons : il est relativement simple à utiliser et il existe de nombreuses librairies préexistantes. C'est un peu le couteau suisse de la programmation, peu-importe le problème, on peut le résoudre en Python. Au niveau des Framework utilisés : Flask est un Framework qui laisse beaucoup de liberté au développeur, il permet de savoir exactement ce qui est fait et de limiter son application au minimum. Django est bien plus classique, il permet d'avoir un code propre et structuré et il a également une grosse communauté.
- Node.js est un Framework Javascript. Si Node n'est actuellement pas le meilleur choix pour des projets de grande envergure, ce Framework reste relativement simple et permet de développer des sites rapides et efficaces. En revanche, pour des grands projets il perd ses avantages.

Pour le Backend, Node est très prometteur mais nous avons sélectionné Python pour jouer la carte de la sécurité. Il est plus répandu dans le domaine scientifique et gouvernemental et il permet une grande flexibilité. Nous utiliserons le Framework Flask avec une rigueur permettant d'avoir un projet structuré et solide dès le début afin d'appuyer le reste des phases de développement et construire l'application bloc à bloc.

Construction d'un Système d'Information Géographique (GIS)

Trois services sont nécessaires pour implémenter du GIS dans l'application :

- Stocker les données dans une base de données robuste et scalable.
- Lire et interpréter les données géographiques.
- Afficher les données sous forme de couches activables, les layers.

Pour la base de données, le système de gestion de base de données relationnelle et objet PostgreSQL a été sélectionné avec l'extension PostGIS. Ce sont des solutions reconnues qui sont sous la licence General Public Licence (GPL). Plusieurs bonnes expériences passées avec PostgreSQL ont conforté ce choix.

Concernant la lecture des données, Geoserver est un serveur open source et libre écrit en Java qui permet aux utilisateurs de partager et modifier des données géographiques.

Pour la visualisation des données, il a été décidé d'utiliser Leaflet, une bibliothèque Javascript libre de cartographie. Cette bibliothèque se marie parfaitement avec Angular, technologie choisie pour le Frontend.

3.2.5 Développement Agile selon des cycles itératifs

La méthodologie Scrum a permis de gérer le développement de manière itérative avec des revues de sprint (itérations) toutes les 3 semaines permettant au product owner d'ajuster le contenu des itérations futures et des fonctionnalités à développer. La release roadmap et les informations sur les itérations effectuées sont disponibles en annexe 7.1.

L'outil de gestion de cycles de vie d'applications Tuleap a été utilisé. Il s'agit d'une suite open-source qui est choisie également par de grandes entreprises. Il permet d'héberger son propre dépôt Git pour le stockage centralisé et organisé du code et d'activer des composants externes comme Jenkins pour l'intégration continue.

Industrialisation du développement du système d'information

L'industrialisation logicielle nécessite un processus d'intégration continue (IC) qui exécute les tests-unitaires lorsqu'une modification du code est apportée sur la plateforme (Figure 34) et déploie la solution automatiquement sur le serveur de développement.

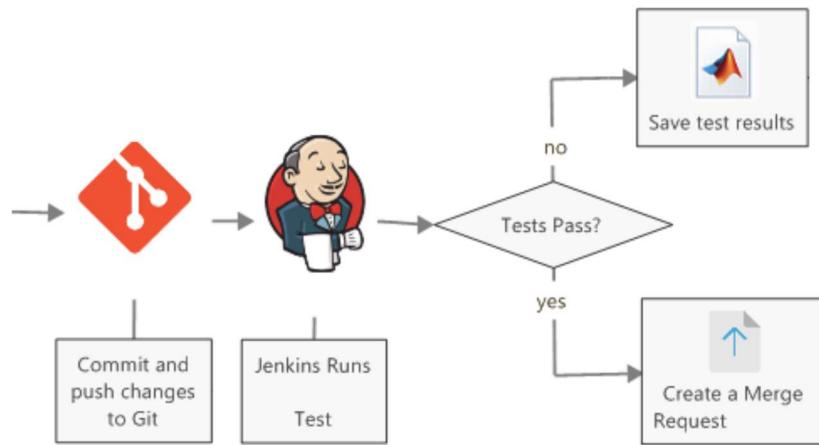


Figure 30. Processus d'intégration continue [8]

Des tests unitaires ont été implémentés dans le backend et son exécutés de façon continue par Jenkins. Les tests touchent principalement les couches arrêt de bus et nœuds routiers. Ils vérifient aussi que les données reçues depuis l'outil de développement sont conformes pour être affichés dans la plateforme GIS.

4. Résultats

4.1 RÉSULTATS : INTERFACE DE DÉVELOPPEMENT

4.1.1 Fonctionnalités de l'outil et présentation du mode d'emploi

Le mode d'emploi, annexé au présent document, constitue le manuel utilisateur du logiciel développé. Il présente les menus de navigation dans les données, dans une première partie, puis décrit le « comment » des diverses fonctionnalités suivantes :

- Générer base de données Osm & Mapgeo
- Générer carte et graphique
- Définir des zones
- Définir des lignes de bus
- Définir emplacements comptage
- Définir taille parking
- Définir affluence centres d'intérêt
- Définir les horaires de bus
- Définir information de nœuds routiers
- Définir un réseau de nœuds routiers
- Définir les liens entre les nœuds routiers
- Tester l'algorithme router « Dijkstra »
- Envoyer des fichiers vers <https://vlhmobetic.hevs.ch/>, l'interface de visualisation

Le mode d'emploi, en lui-même fait partie intégrante des résultats du projet. Sur la base de ces fonctionnalités, il est possible de générer des scénarios et de les comparer manuellement. La MOD de base a été définie et calibrée pour la zone d'étude de Sion. Sur la base de cette MOD, il est possible de tester les scénarios suivants :

- Modifications du réseau routier, par exemple pour réduire le trafic au centre-ville (modification de carrefours, de vitesse, de sens de circulation, ...),
- Modification du réseau TP, par exemple pour augmenter la cadence depuis des points P+R en bordure de ville ou modifier des parcours entre les arrêts,
- Modifier la taille des parkings pour influencer les déplacements vers ce type d'attracteurs (par exemple moins de parking au centre et plus en périphérie),
- Augmenter la population ou l'affluence vers un des attracteurs (point d'intérêt).

Les paragraphes suivants, décrivent les résultats obtenus, valorisant les sources de données pour les TIM et les TP dans les premières sections, puis les combinant pour analyser la répartition modale. Ensuite, les résultats de l'algorithme de calage avec les données des comptages routiers pour la zone test de Sion sont présentés. Les performances de l'algorithme et la précision du modèle sont également discutées. Finalement, l'analyse de l'optimisation énergétique par la mise en place de bus électriques à la demande est faite.

4.1.2 Outil de définition des comptages routiers et des charges routières

Cet outil combine les informations des comptages routiers et des informations sur le réseau routier. Les informations sont disposées sur une carte, et de manière similaire à toutes les cartes présentées, l'utilisateur peut interroger les points actifs, zoomer, et observer la situation à l'heure h, simplement en cliquant l'heure qui l'intéresse.

Dans, l'exemple montré dans la Figure 31 le rapport entre la charge à l'heure observée, et la charge de la route considérée par un jeu de traits de couleurs. Ainsi dès que ce rapport est supérieur à l'unité, cela correspond à un engorgement certain de ce tronçon de route.



Figure 31. Visualisation du rapport de la charge à 7h par rapport à la charge nominale des routes.

Dans l'exemple donné ici, on remarque que le tunnel de Platta est engorgé dans la septième heure du jour (avec 654 véhicules à l'heure), alors que, comme montré dans la Figure 32 l'engorgement disparaît dans l'heure qui suit (avec 479 véhicules à l'heure).

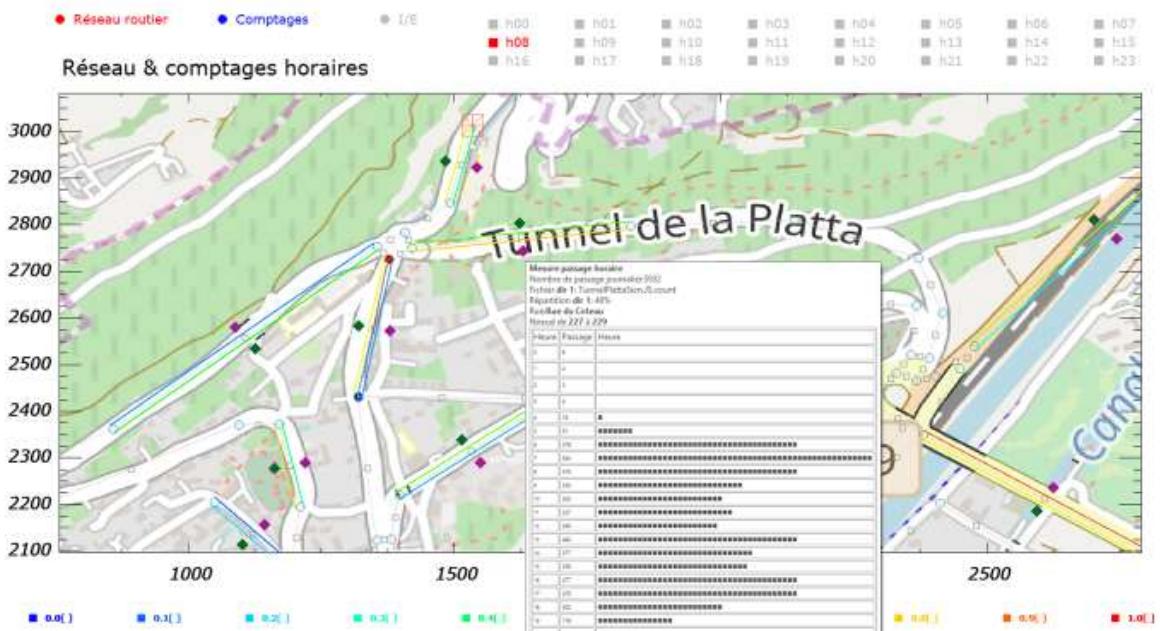


Figure 32. Visualisation du rapport de la charge à 8h par rapport à la charge nominale des routes.

Détermination de l'efficience du système de comptage routier

Le système de comptage indique uniquement le nombre de véhicules qui passent durant une heure donnée à un certain endroit, or ce qui nous intéresse, c'est le nombre de trajets effectués. En effet, plus les compteurs routiers sont nombreux, plus les comptages seront nombreux, sans pour autant correspondre au nombre de trajets. Le rapport entre le nombre de compteurs qui déclenche et le nombre de trajets considérés constitue l'efficience du système de comptage. En combinant les données de pré-processing, et les comptages routiers, il a été possible de déterminer cette efficience du système de comptage. Les trajets sont considérés suivant les caractéristiques suivantes. Il peut s'agir de

- trajets internes ou externes,
- trajets « aller » ou « retour »,
- trajets selon différents motifs (attracteurs).

La Figure 33 montre les résultats obtenus selon les caractéristiques considérées.

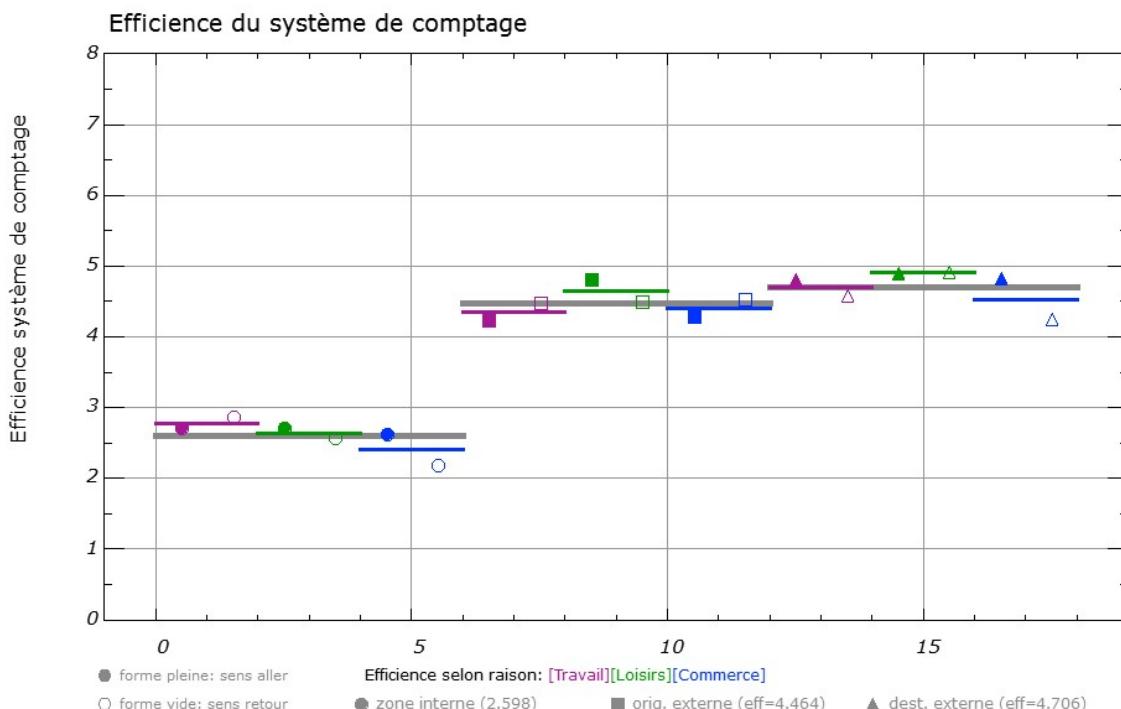


Figure 33. Efficience du système de comptage. Le chiffre mis en ordonnée correspond au nombre de fois que le trajet en question est détecté par le système de comptage.

Le Tableau 16 indique les valeurs d'efficience utilisées dans la suite du programme.

Tableau 16 - Efficience du système de comptage routier selon le type de trajet.

	Efficience du système de comptage
Trajet interne	2.6
Trajet entrant	4.5
Trajet sortant	4.7
Sans distinction du type de trajet	4.0

L'efficience pour les trajets internes est inférieure aux trajets externes, simplement parce que la distance parcourue pour un trajet externe est statistiquement plus grande que pour un trajet interne. La Figure 30 montre les distributions du nombre de détections pour les trajets internes en fonction de la distance parcourue à vol d'oiseau.

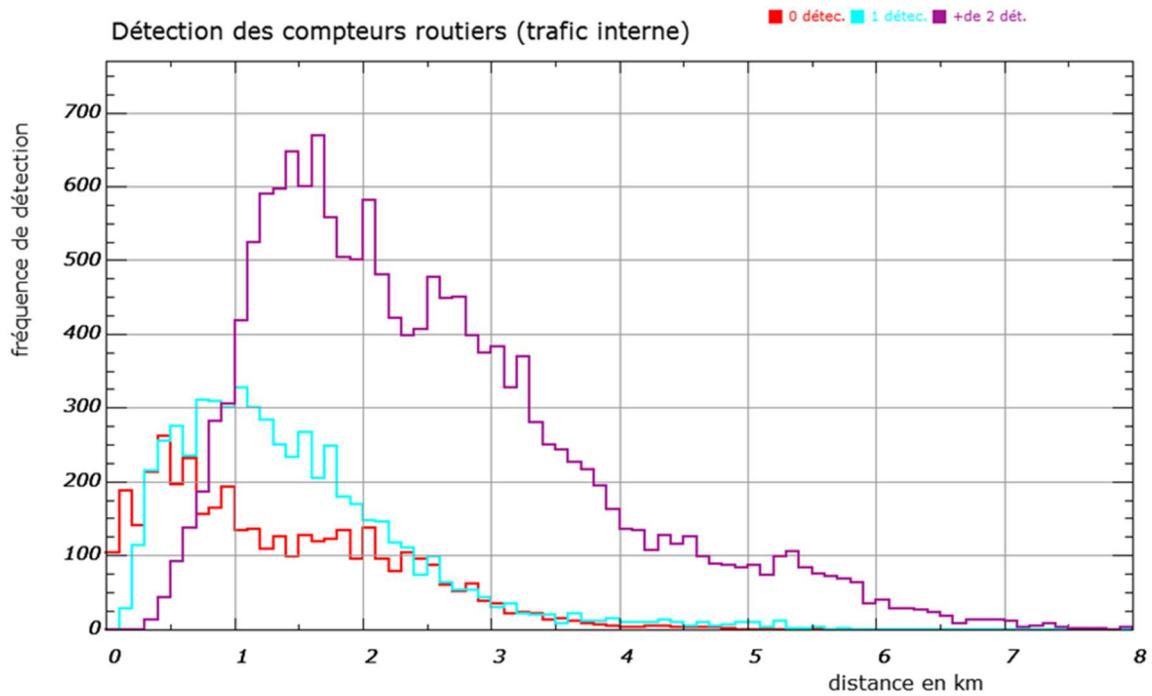


Figure 34. Distribution des détections des compteurs pour un trafic interne.

Corrélation comptage routier et activité routière

Pour déterminer l'activité routière, les corrélations entre le profil horaire de chaque compteur et l'activité routière ont été étudiée. Une corrélation est caractérisée par son coefficient de corrélation qui n'est pas sensible à l'échelle des deux grandeurs corrélées. Cette étude montre de fortes corrélations. Les distributions des corrélations sont montrées dans la Figure 35, et les valeurs moyennes sont données dans le Tableau 17.

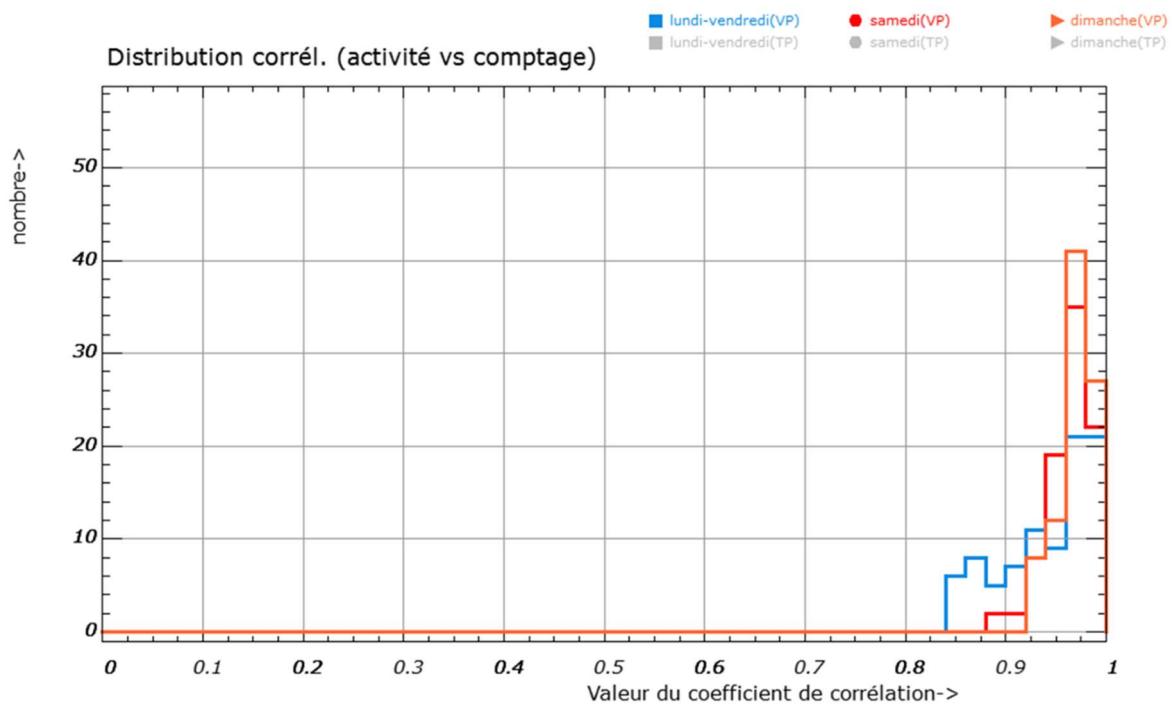


Figure 35. Distribution des coefficients de corrélation entre l'activité routière et la détection des comptages routiers.

L'étude des coefficients de corrélation entre la valeur horaire des compteurs et l'activité horaire montre que la moyenne de ces coefficients est très proche de 1. Cela implique qu'un calage journalier est suffisant pour déterminer la MOD.

Tableau 17 - Moyennes des coefficients de corrélation.

Jour type considéré	Moyenne des coefficients de corrélation
Lundi-vendredi	0.941
Samedi	0.964
Dimanche	0.970

Cette observation est d'importance, car elle simplifie fortement le processus de calage du modèle de mobilité avec les données des comptages routiers. Elle permet, en effet, de passer d'un calage horaire à un calage journalier. L'information journalière déterminée, il est possible passer à une information horaire par convolution avec le profil de l'activité routière.

4.1.3 Outil de gestion des TP urbains

L'utilisation des TP avec une forte répartition modale, tient dans la bonne combinaison des besoins en mobilité de la population, de l'existence de lignes de transport pour ces besoins, d'horaires adaptés, comme montré dans la Figure 36. L'engagement d'une flotte adaptée au besoin permet de baisser les coûts d'exploitation, et donne assurément une image très positive des TP.

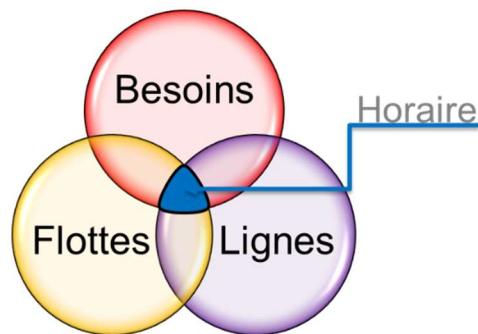


Figure 36. Diagramme de Venn des besoins, des flottes de véhicules, des lignes et des horaires.

Des interfaces utilisateurs permettent définir des lignes et des horaires de bus. Le réseau routier et l'emplacement des arrêts de bus permettent de définir les lignes de bus par simple clic. Une fois la ligne de bus enregistrée, un horaire est créé en indiquant l'heure de départ du bus en début de ligne. A chaque horaire peut être associé un bus de la flotte.

La Figure 37 montre la carte de la région étudiée avec les diverses lignes, l'emplacement des arrêts de bus et le réseau routier. L'application permet d'interroger les points actifs (arrêts de bus, nœuds routiers), de faire apparaître ou disparaître les lignes, ainsi que de zoomer sur des régions d'intérêt. Ces outils de base ont été utilisés pour l'analyse de la mise en place de bus électriques à la demande.

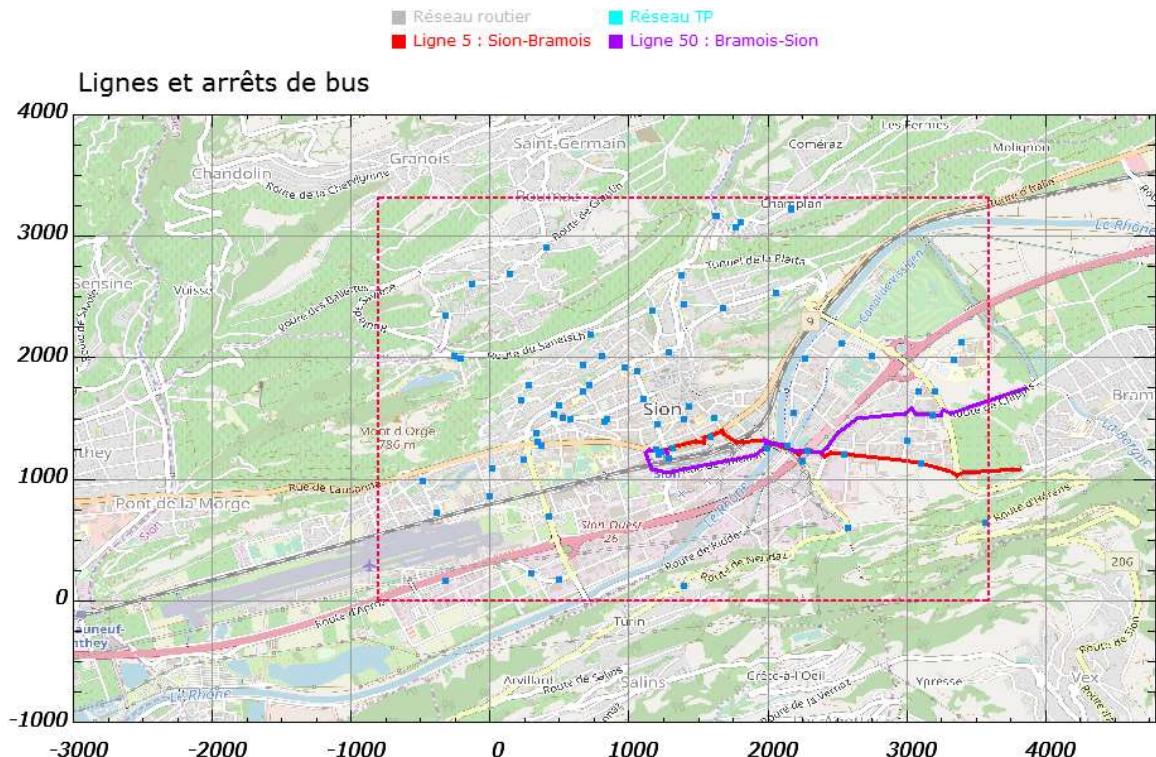


Figure 37. Ligne de bus, arrêts de bus et réseau routier.

4.1.4 Répartition modale TP/TIM.

En exploitant l'information sur l'efficience du système de comptages routiers et en les combinant à l'activité routière et à l'activité TP, il est possible, de tirer la répartition modale entre TP et TIM. Cette répartition simplifiée est définie par l'équation ci-dessous :

$$R_{\frac{TP}{TIM}} = \frac{\text{nombre de trajets TP}}{\text{nombre de trajets TIM}}$$

Équation 10. Définition de la répartition modale entre TP et TIM.

L'analyse des données TP (montées et descentes pour chacune des 19 lignes TP sur la zone test de Sion), comptait le nombre de trajets faits par les usagers. En appliquant le facteur d'efficience du système de comptage routier, préalablement déterminé, il est possible pour le TIM, de passer d'un nombre de véhicules détectés à nombre de trajets effectués. Le rapport des deux estimations indique la répartition modale entre TP et TIM, dont le résultat ici est de 12% pour un jour de semaine, comme montré dans le Tableau 18.

Tableau 18. Répartition modale entre TP et TIM.

	Activité routière Véhicules	Activité routière Relative	Trajets TIM	Activité TP [usagers]	Activité TP Relative	$R_{\frac{TP}{TIM}}$
Lundi – vendredi	540'656	1.0	135'000	16'677	1.0	12 %
Samedi	347'934	0.64	87'000	6'875	0.41	8%
Dimanche	286'830	0.53	71'500	2'720	0.16	4%

4.1.5 Répartition modale MD/TIM

Pour les trajets externes entrants ou sortants, le choix du mode de transport est clairement déterminé (TIM), alors que pour un trajet interne, le choix modal n'est pas encore fait. En effet, si le modèle de gravitationnel tire pour un trajet interne, dans la phase de pré-processing, une origine et une destination suffisamment proche, il est vraisemblable que le choix s'oriente vers la marche à pied. Les modes doux

(MD) hors marche à pied, comme le vélo et la trottinette n'ont pas été pris en compte dans le cadre de ce projet.

L'utilisateur du logiciel, donne la distance limite (ici 450 m) et l'incertitude sur cette limite en y adjoignant l'écart-type (ici 150 m), pour décider entre mode TIM ou MD. En compilant l'ensemble des données de pré-processing, la proportion de trajets courts est estimée entre 4% et 8% comme précisé dans le Tableau 19.

Tableau 19. Moyennes des distances des trajets internes suivant leur mode probable.

	Distance moyenne Tous trajets	Distance moyenne petits trajets (MD)	Proportion petits trajets (MD)	Distance Moyenne Grands trajets (TIM)	Proportion grands trajets (TIM)
Tous motifs	1485 m	406 m	6%	1558 m	94%
Travail	1677 m	418 m	4%	1728 m	96%
Loisirs	1436 m	416 m	6%	1504 m	94%
Commerce	1367 m	393 m	8%	1457 m	92%

La Figure 38 montre les distributions en fonction des distances à vol d'oiseau entre le point d'origine et de destination.

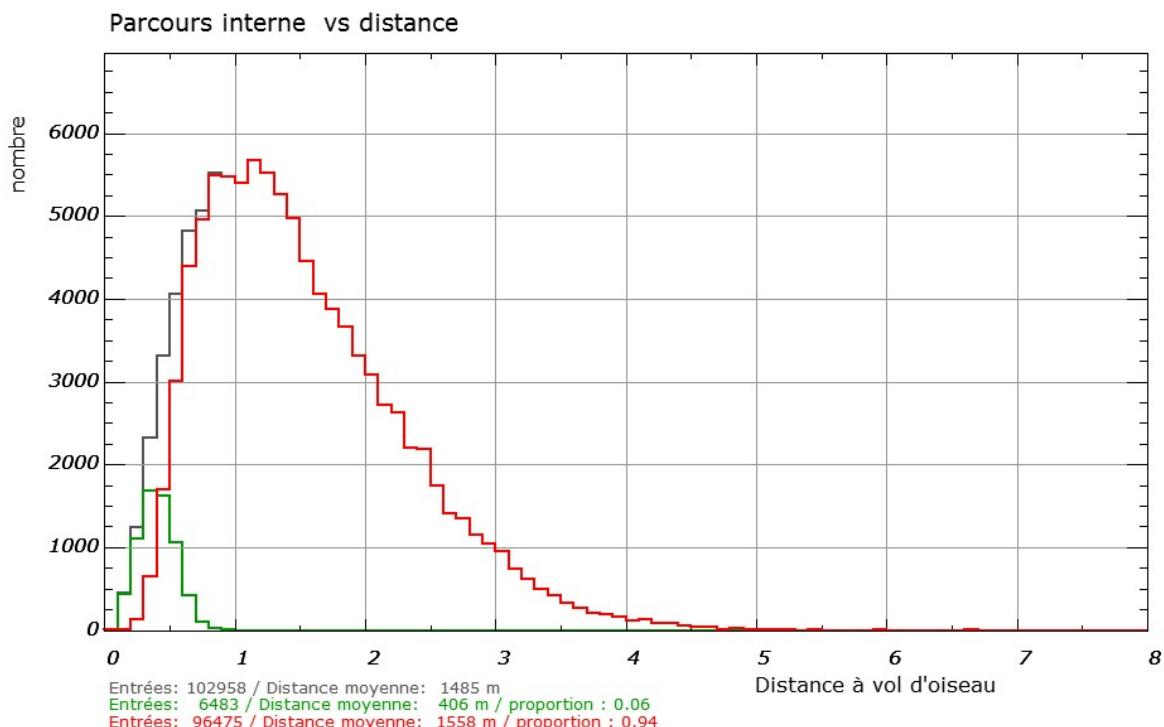


Figure 38. Distributions des trajets internes suivant leur mode probable.

4.1.6 Résultats du processus de calage

La résolution du système surdéterminé de 88 équations avec 25 inconnues, sans y imposer de contraintes, a livré les résultats dans la première colonne du Tableau 20. La solution livrée par l'algorithme est celle qui minimise le résidu de (équation résidu).

Dijkstra, détermine le chemin choisi, en minimisant, la durée totale du parcours, qui est la somme des durées sur chacun des tronçons parcourus. Les données de pré-processing ont été générées, dans deux cas différents quant à l'estimation du la durée de parcours sur un tronçon de route. Dans le premier cas, la durée de parcours sur un tronçon de route est le rapport entre la longueur du tronçon et la vitesse maximale permise. Dans le second cas, la durée pour parcourir un tronçon de route est corrigée par un facteur f qui prend en compte la charge théorique de la route. La Figure 39 montre la forme de la fonction choisie (appelée fonction utilisateur).

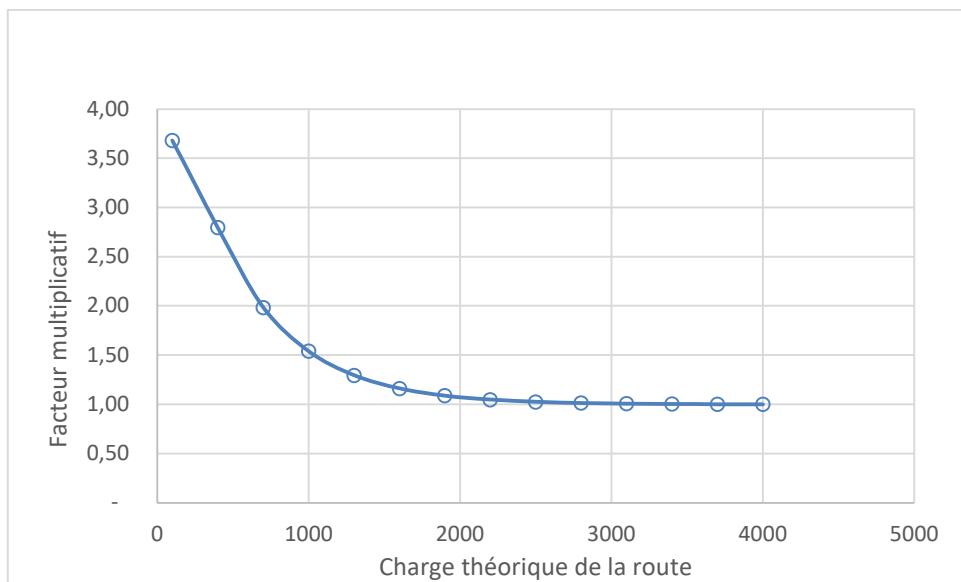


Figure 39. Fonction utilisateur pour estimation de la durée de parcours sur un tronçon de route.

Pour plusieurs points d'interface de la région étudiée, les valeurs de comptages sont négatives. Ce qui ne peut être le cas. Il s'agit du trafic pour la route de liaison avec Savièse, et les entrées d'autoroute (valeurs mises en gras dans la première colonne du Tableau 20).

Tableau 20. Résultats de l'optimisation.

Optimisation sans contraintes (minimise fonction utilisateur)	Optimisation sous contraintes (minimise fonction utilisateur)	Optimisation sous contraintes(minimise)	Optimisation sous contraintes Ajusté/retouché	Trafic Interne (0)	Trafic entrant (1)	Trafic sortant (2)	Point d'interface I/E
21764	15660	19037	15660	15660			Trafic interne
7083	7051	5958	7051		7051		Route Conthey
10795	11183	9278	11183			11183	Route Conthey
625	1208	787	1208		1208		Route de Riddes
3589	3775	3643	3775			3775	Route de Riddes
5550	5351	4789	5351		5351		Route Champlan
5287	4784	4174	4784			4784	Route Champlan
4612	4914	5416	4914		4914		Vex
4844	3949	4728	3949			3949	Vex
-3497	0	129	3931		3931		Savièse
-2209	102	0	3628			3628	Savièse
4519	4264	5274	4264		4264		Nendaz
888	1265	1683	1265			1265	Nendaz
3232	3240	2983	3240		3240		Routedes Iles (Aprox)
4597	4814	4464	4814			4814	Route des Iles (Aprox)
6420	6737	6677	6737		6737		Route Italie
4112	4243	4027	4243			4243	Route Italie
-1879	810	4153	810		810		Autoroute Conthey
11191	5259	7400	5259			5259	Autoroute Conthey
19085	14559	1259	14559		14559		Autoroute Sierre
-3719	2233	170	2233			2233	Autoroute Sierre
6171	5750	5879	5750		5750		Chippis
4020	2343	3261	2343			2343	Chippis
3060	3303	3291	3303		3303		Bramois
4488	4231	4392	4231			4231	Bramois

En mettant en place des algorithmes de types génétiques, il a été possible d'imposer des contraintes au système d'équation à résoudre, pour forcer les solutions à être positive. Les résultats obtenus sont listés dans la deuxième colonne du Tableau 20.

Toutes les solutions sont bien positives. Le trafic vers et de Savièse est assurément sous-estimé par le modèle. En effet un compteur routier mesure les échanges de trafic vers et de Savièse et ils indiquent des valeurs journalières de **3931** et **3628**. L'asymétrie des résultats de comptage sur les points d'entrées et sorties de l'autoroute est peu vraisemblable.

Pour la suite des calculs, les valeurs d'échanges avec Savièse sont fixées à celles mesurées par le comptage routier. Les valeurs fournies par le modèle, pour les entrées/sorties d'autoroute, restent inchangées, comme indiqué dans la troisième colonne du Tableau 20.

En observant la carte de la région étudiée, la plupart des emplacements des comptages coïncident avec les points d'entrées/sorties. Dans ce cas, Chaque trajet entrant ou sortant est systématiquement détecté, mettant la valeur de la composante y relative de la matrice de sensibilité à la valeur de 1.

La technique appliquée pour le point d'entrée/sortie de Savièse pourrait être appliquée sur tous les points de connection disposants d'une sensibilité proche de l'unité. Dans un tel cas, le modèle verrait une réduction significative de ses degrés de liberté, et perdrat de sa valeur. Les compteurs routiers périphériques indiqueront des valeurs qui seraient systématiquement exacts aux détriments des compteurs situés à plus à l'intérieur de la zone étudiée.

A l'inverse, si le nombre de degrés de liberté est augmenté, en raffinant le modèle, en y ajoutant des paramètres supplémentaires, jusqu'à atteindre le nombre de compteurs routiers, la solution devient exacte. Le modèle, dans ce cas perd aussi de sa valeur, car il devient trop spécifique à la zone étudiée.

En résumé, les seules informations dont le modèle dispose sont les densités des attracteurs et des émetteurs de mobilité. A partir de là, un algorithme d'optimisation détermine :

- le trafic interne,
- le trafic entrant, sortant des points d'interface

en ajustant au mieux les comptages routiers mesurés aux comptages routiers simulées.

4.1.7 Performance du modèle

Plusieurs indicateurs permettent de mesurer la performance du modèle :

- Le premier indicateur consiste à comparer le nombre total de détections simulées au nombre de détections enregistrées par le système de comptage.
Le détail des détections obtenus par simulation est présenté dans le Tableau 21. Le nombre total de détections simulées (**558'760**), correspond très bien avec le nombre de détections enregistrées par le système de comptage (**540'656**).

Tableau 21. Statistique des trajets et des comptages routiers, résultats de l'optimisation.

	Trajets	Nombre détections comptages routiers	Efficience système de comptage
Trafic interne	15'660	40'716	2.6
Trafic entrant	61'117	275'026	4.2
Trafic sortant	51'706	243'019	4.7
		558'760	

- Le deuxième indicateur mis en place consiste à mesurer le coefficient de corrélation entre les valeurs des compteurs routiers découlant de la mesure et provenant de la modélisation. Le plot de corrélation est montré en Figure 40. Le coefficient de corrélation calculé atteint la valeur de 0.615. En appliquant l'interprétation standard du coefficient de corrélation, cela signifie que 61.5% de la variance des compteurs routiers s'expliquent par le modèle.

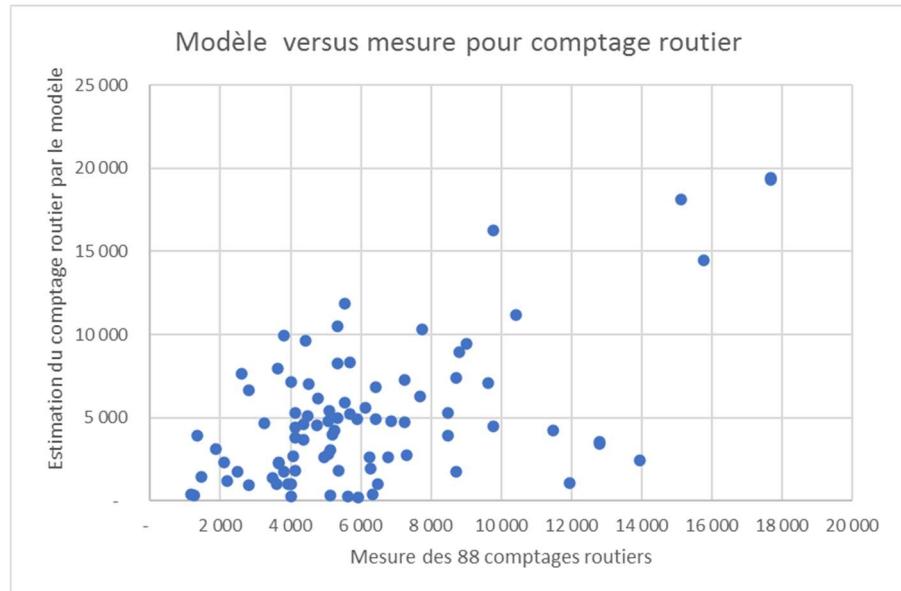


Figure 40. Plot de corrélation pour les comptages routiers mesurés et modélisés.

Le dernier indicateur, très pragmatique, consiste à représenter pour chaque comptage routier i le rapport R_i défini par l'Équation 12.

$$R_i = \left\{ \frac{\text{comptage routier modélisé}}{\text{comptage routier mesuré}} \right\}_i$$

Équation 12: Rapport pour le compteur i entre la valeur modélisée et la valeur mesurée

Le rapport R_i est montré sur une échelle logarithmique dans la Figure 41.

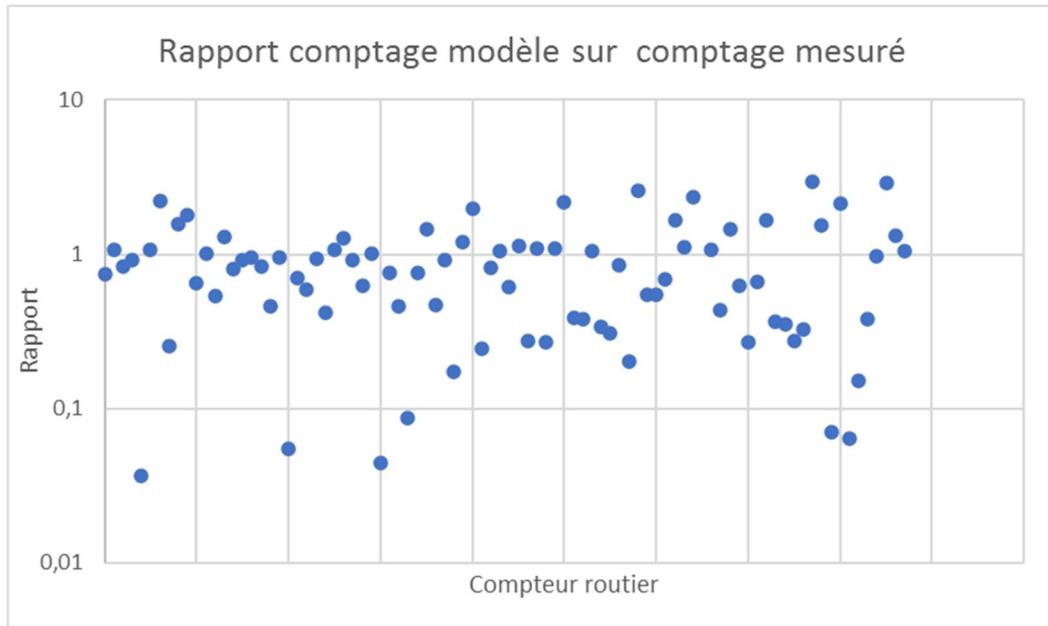


Figure 41. Rapport R_i pour tous les comptages routiers

La plupart des points sont distribués autour de l'unité, ce qui indique une bonne concordance entre le modèle et la mesure.

4.1.8 Détermination de la MOD

Dès que les départs journaliers pour les trajets internes et les trajets entrants ou sortants sont déterminés, le calcul de la MOD, consiste à « jouer les données » pré-processées et de comptabiliser les origines et les destinations de chaque trajet.

Une représentation interactive de la MOD a été réalisée. La Figure 42 montre une copie écran de la MOD journalière. La symétrie de la MOD est visuellement observable. Cela tient au fait que pour tout trajet « aller », il y a un trajet « retour » dans la journée. Les valeurs des composantes de la MOD entre deux points d'interface IE (transit) sont nulles par définition du modèle. Tout trajet entrant par un point d'interface IE aura comme destination uniquement un point attracteur à l'intérieur de la zone étudiée.

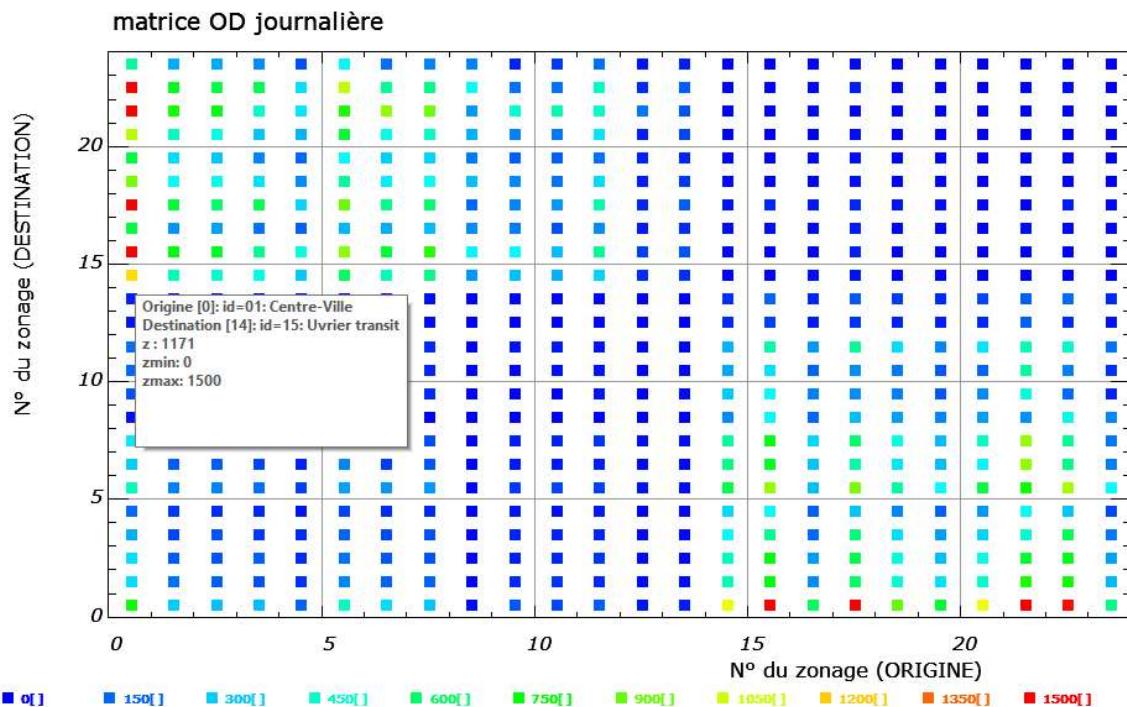


Figure 42. Représentation de la MOD.

Tout en remplissant les statistiques de la MOD, il est intéressant d'observer les distributions des durées et des distances ainsi que les vitesses pour les trajets internes ou externes

Pour déterminer le temps de déplacement sur les tronçons de route, plusieurs hypothèses ont été faites. Il est estimé que les véhicules roulent sur les tronçons de route à une vitesse maximale permise multipliée par un facteur multiplicatif f , distribué uniformément entre 0.6 et 0.9. Chaque rencontre d'un nœud, allonge le temps de trajet entre 2 et 4 secondes, également uniformément distribué entre ces deux bornes.

La compilation de l'ensembles des trajets donne les résultats montrés dans le Tableau 22.

Tableau 22. Distances et durées des trajets internes et externes.

	Trajets internes		Trajets externes	
	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane
Distance en mètres	2473 m	2125 m	3962 m	3825 m
Durée en minutes	4.6 min	4.3 min	6.6 min	6.6 min
Vitesse en km/h	31 km/h	30 km/h	36 km/h	33 km/h

La Figure 43 montre la distribution des vitesses obtenues pour les trajets externes.

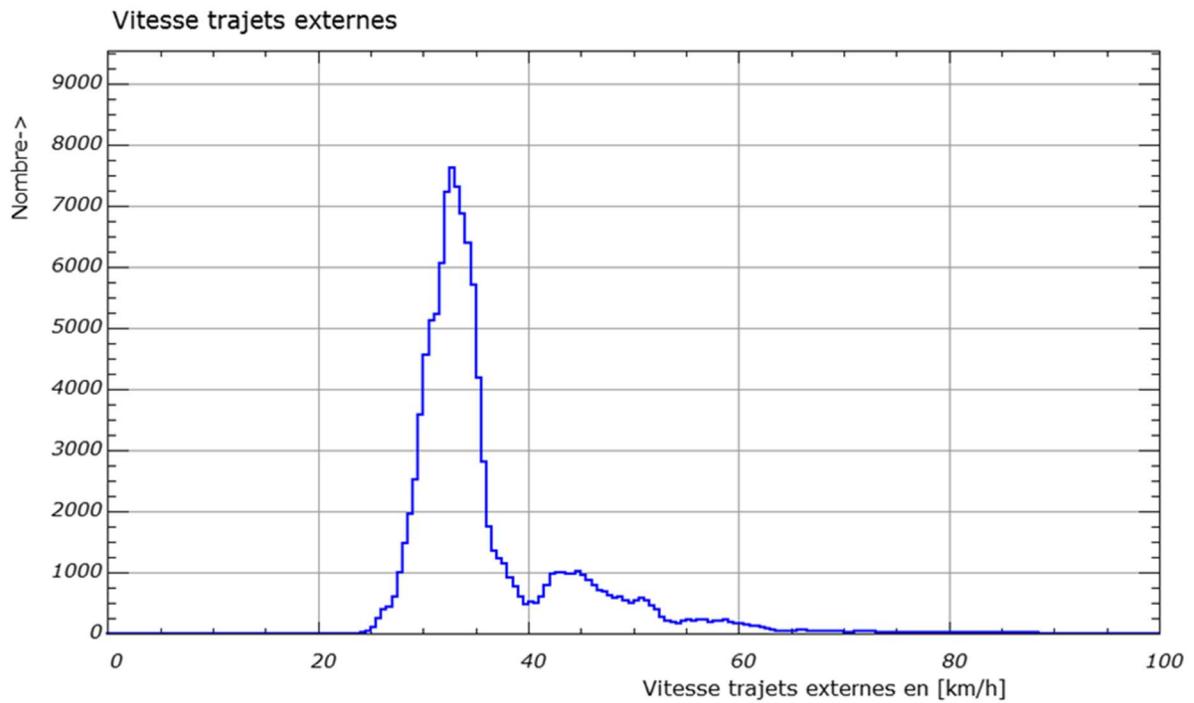


Figure 43. Distribution des vitesses pour les trajets externes.

Une fois la durée et la distance estimées pour chaque trajet et connaissant le nombre de trajets, il est aisément de déterminer la distance journalière parcourue pour tous les utilisateurs du réseau routier de la région étudiée. Le Tableau 23 donne l'estimation des résultats obtenus. Ces informations seront utiles pour de futurs développements de l'outil, entre autres, la comparaison des scénarios sur des bases de km parcourus ou de temps de parcours totaux.

Tableau 23. Distance et durée journalières en TIM.

Trajets journaliers effectués	Distance journalière totale parcourue	Durée journalière totale en TIM
135'000	526'000 km	14'800 h

4.1.9 Résultats de l'analyse de la mise en place de bus électriques à la demande

Passagers-km et efficience énergétique

A partir des horaires et des fréquentations mesurées, une analyse sur les deux lignes Gare-Suva et Gare-Gravelone a été réalisée. La compilation des montées descentes permet de déterminer le nombre de voyageur-km pour avoir une mesure objective de l'efficience énergétique. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 24 et le Tableau 25.

Tableau 24 : Résultats de l'analyse des deux lignes TP.

Ligne	Nombre de courses	Distance parcourue par course	Durée course un sens	Nbre bus minimum	Distance journalière parcourue
Gare ↔ Suva	58 courses de 6h03 à 20h56	~9.5 km aller & retour	16 minutes Vitesse moyenne 18 km/h	2	566 km
Gare ↔ Gravelone	10 courses de 6h20 à 18h54	~7.2 km aller & retour	13 minutes Vitesse moyenne 17 km/h	1	72 km

Tableau 25. Résultats de l'analyse des relevés de fréquentation des bus sur deux lignes internes de la ville de Sion.

Lignes	Nombre moyen de passagers par course	Distance journalière parcourue par le bus	Passager - km	kWh/ passager km
Gare ↔ Suva	→15.7 usagers ←12.4 usagers (14.0 en moyenne)	566 km	3150 7900 par multiplication	0.55
Gare ↔ Gravelone	→3.9 usagers ←2.2 usagers (3.0 en moyenne)	72 km	220 439 par multiplication	1.0

Pour l'année étudiée (2019), le nombre de voyageur-km est conséquent, due à la faible fréquentation sur ces lignes, principalement sur la ligne Gare-EMS Gravelone. La Figure 44 montre les efficiencies obtenues par l'analyse des données et les compare aux diverses efficiencies selon le mode de transport.

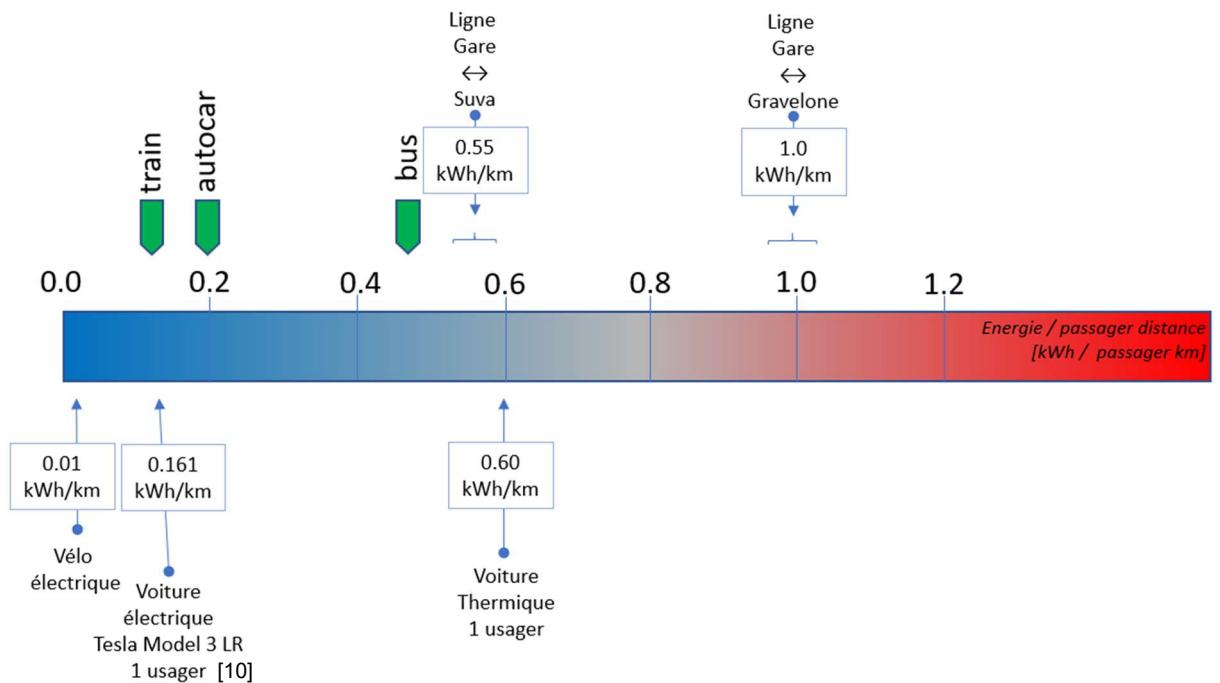


Figure 44. Comparatifs des diverses efficiencies énergétiques selon le mode de déplacement

La compilation des comptages des montées-descentes et des horaires pour les deux lignes analysées permet également d'obtenir l'activité horaire, telle que définie par l'Équation 9. La Figure 45 compare les résultats obtenus avec l'activité routière TIM.

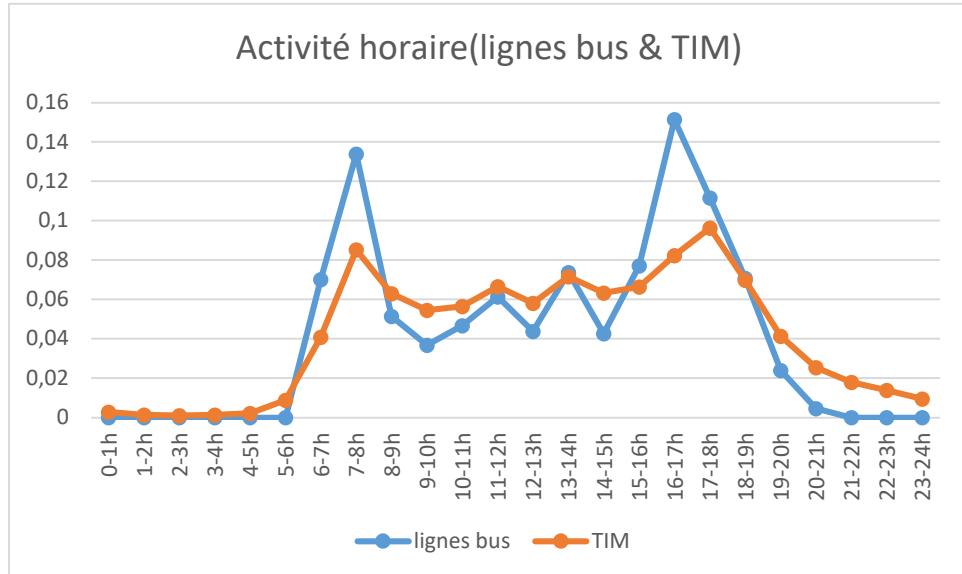


Figure 45: Activité horaire sur les deux lignes TP analysées.

Les pics d'activité sur les lignes Gravelone et Suva correspondent aux pics d'activité observés pour le TIM. Les amplitudes différentes des pics s'expliquent par le faible nombre d'usagers des TP (effet statistique).

Demande potentielle et MOD sur la zone de desserte

Pour déterminer la MOD, et donc les trajets pouvant être faits avec les bus à la demande, les attracteurs de mobilité ont été activés avec l'amplitude suivante :

- Commerce à 20%
- Loisirs à 40%
- Travail à 40%.

Les émetteurs étant les lieux de résidence dans le sens « aller ». De tous les trajets obtenus par tirage Monte Carlo, seulement les trajets ayant leur origine et leur destination dans les trois zones d'intérêt ont été gardés pour la construction de la MOD. On compte alors ~17'600 trajets.

Pour chacun de ces trajets, les arrêts de bus les plus proches, mais à moins de 250 m, de l'origine et de la destination sont déterminés. Si l'arrêt origine est le même que celui de destination, le trajet n'est pas considéré pour générer la MOD. L'ensemble des trajets constitutifs la MOD s'élèvent à ~14'000, et sont présentés dans les résultats.

La MOD obtenue comporte sur les axes X et Y (Figure 46) la liste de tous les arrêts de bus dans les zones d'intérêts. Le chiffre placé dans la matrice correspond au nombre de montées à l'arrêt de l'axe horizontal et de descente à l'arrêt de l'axe vertical sur toute une journée d'un jour ouvrable. La symétrie parfaite du nombre de montées et descentes tient au fait que le modèle considère les trajets « aller » et « retour ».

Dans cette matrice ne sont pas considérés les trajets d'un lieu de travail vers un commerce par exemple

X	Y	Casernes;bus_stop;	Abattoirs;bus_stop;	clinique;bus_stop;	Planta;bus_stop;	Strand detir;bus_stop;	Hôpital;bus_stop;	Pont-du-Rhône;bus_stop;	poste/gare;bus_stop;	Les Câbles;bus_stop;	Tourbillon;bus_stop;	Dames Blanches 1;bus_stop;	Gravelone;bus_stop;	Matzebus_stop;	Hôpital de Sion;bus_stop;	SUVA;bus_stop;	Sacré-Coeur;bus_stop;	Planta;bus_stop;	Post du Nord;bus_stop;	Vissigen;bus_stop;	Pont-du-Rhône;bus_stop;	Promenade du Rhône;bus_stop;	Manège;bus_stop;	Valais de Coeur;bus_stop;	Grand Champsec;bus_stop;			
2536.8	1208.3	Casernes;bus_stop;	0 16 26	21 9	2 2 2	15 17	10	7	3	13	9	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0			
1987.6	1258.6	Abattoirs;bus_stop;	16 0 20	19 3 1	5 6 6	6 6 6	6	4	8	10 0	0 2	16 1	24 7	75 62	8 43	12 30	36	1 18 4	8 10	7 22	13 5	5 15	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0		
1195	1458	clinique;bus_stop;	26 20 0	43 19 2	4 9 24	27 13	16	19 29	2 0	61 7	75 62	8 43	12 30	36	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0		
1095.1	1658	Planta;bus_stop;	21 19 43	0 16 2	5 9 31	33 7	11	16 14	2 1	41 10	66 33	4 20	11 19	27	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0		
3098.1	1126.7	Stand de tir;bus_stop;	9 3 19	16 0 2	2 8	10 12	4	2 11	16 0	0 20	2 49	23 4	19 5	13	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0		
3195.4	1727.8	Hôpital;bus_stop;	2 1 2	2 2 0	0 1	2 1	0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0	1 0 0		
2237.5	1148.9	Pont-du-Rhône;bus_stop;	2 5 4	5 2 0	0 0 3	0 4	2	1 2 5	0 0 0	10 12	10 12	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1		
1202.8	1199.9	poste/gare;bus_stop;	15 6 9	9 8 1	3 0 7	7 7	1	4 9 8	1 0 21	0 14	13 2	9 4 5	10 11 15	19	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0
1389.5	1492.8	Les Câbles;bus_stop;	17 6 24	31 10 2	0 7 0	23 6	3	16 21	0 0 46	2 57	23 3	24 11 15	19	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	1 1 1	0 0 0	
1579.1	1348.4	Tourbillon;bus_stop;	10 6 27	33 12 1	4 7 23	0 3	6	12 6	0 3 18	4 36	14 5 9 8 9 13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13		
958.4	1923.2	Dames Blanches 1;bus_stop;	7 6 13	7 4 0	2 1	6 3	0	1 1 4	0 1 12	5 22	2 5 3 2 6 6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
791.5	2015.1	Gravelone;bus_stop;	3 4 16	11 2 0	1 4 3	6 1	0	7 4	0 1 16	5 23	7 3 10 2 6 7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
832.6	1497	Matze;bus_stop;	13 8 19	16 11 0	2 9 16	12 1	7	0 8 1	2 22	7 38	9 6 8 10 4 8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
812.8	1473.6	Matze;bus_stop;	9 10 29	14 16 4	5 8 21	6 4 4	8	0 0 1	18 6 31	15 8 8 8 12 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
3329	1981.5	Hôpital de Sion;bus_stop;	0 0 2	2 0 0	0 0 0	0 1 0	0	0 0 1	0 0 2	0 4 0	0 0 1 1 0 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
3389.3	2127.2	SUVA;bus_stop;	0 2 0	1 0 0	0 0 0	0 0 3	1	1 2 1	0 0 1	0 2 3	0 0 1 0 2 1 1 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
1600.1	1502.4	Sacré-Coeur;bus_stop;	23 16 61	41 20 1	10 21 46	18 12	16	22 18	2 1 0	19 82	37 8 31 14 31 24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
1047.1	1893.4	Planta;bus_stop;	6 1 7	10 2 1	1 0	2 4	5	5 7	6 0 0	19 0 21	15 1 9 4 6 7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		

Figure 46. Matrice O/D zone déserte bus électrique à la demande

Evaluation des trajets pour la prise en charge des passagers

L'ensemble des trajets considérés pour l'optimisation de la durée des déplacements est représenté par la Figure 47. Le pont Sainte Marguerite, et certains axes du centre-ville sont des trajets très fréquentés. Dans une première étape, l'algorithme de Dijkstra propose des parcours qui détournent la ville en passant le nord de la ville et le tunnel de Platta soit en empruntant l'autoroute.

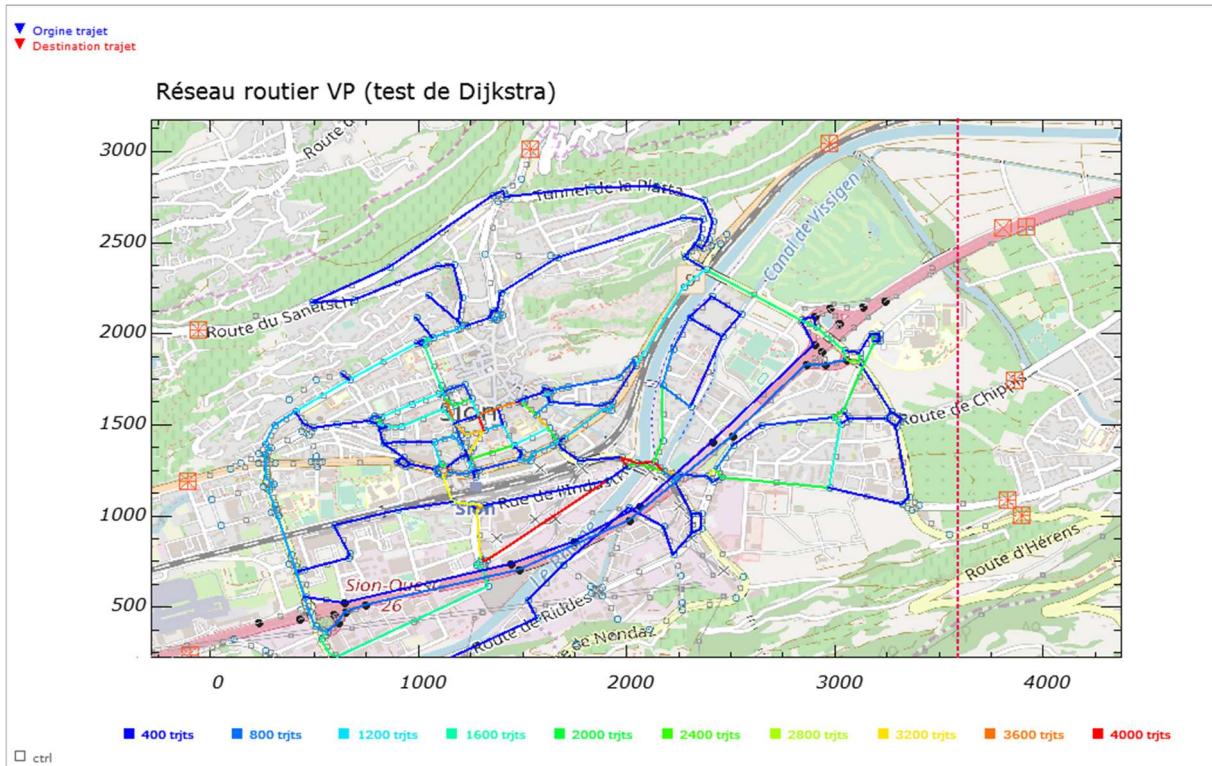


Figure 47. Trajets internes ayant leur origine et leur destination dans la zone d'intérêt (l'algorithme Dijkstra optimise la durée des déplacements).

Faire passer des minibus électriques à la demande par le tunnel de Platta ou par l'autoroute n'est guère approprié, puisque sur ces tronçons aucun arrêt n'existe. Pour privilégier le passage des minibus au centre-ville, et ainsi permettre la prise en charge d'autres usagers sur le passage, l'algorithme de Dijkstra a été paramétré pour minimiser la distance des parcours, comme le montre la Figure 48.

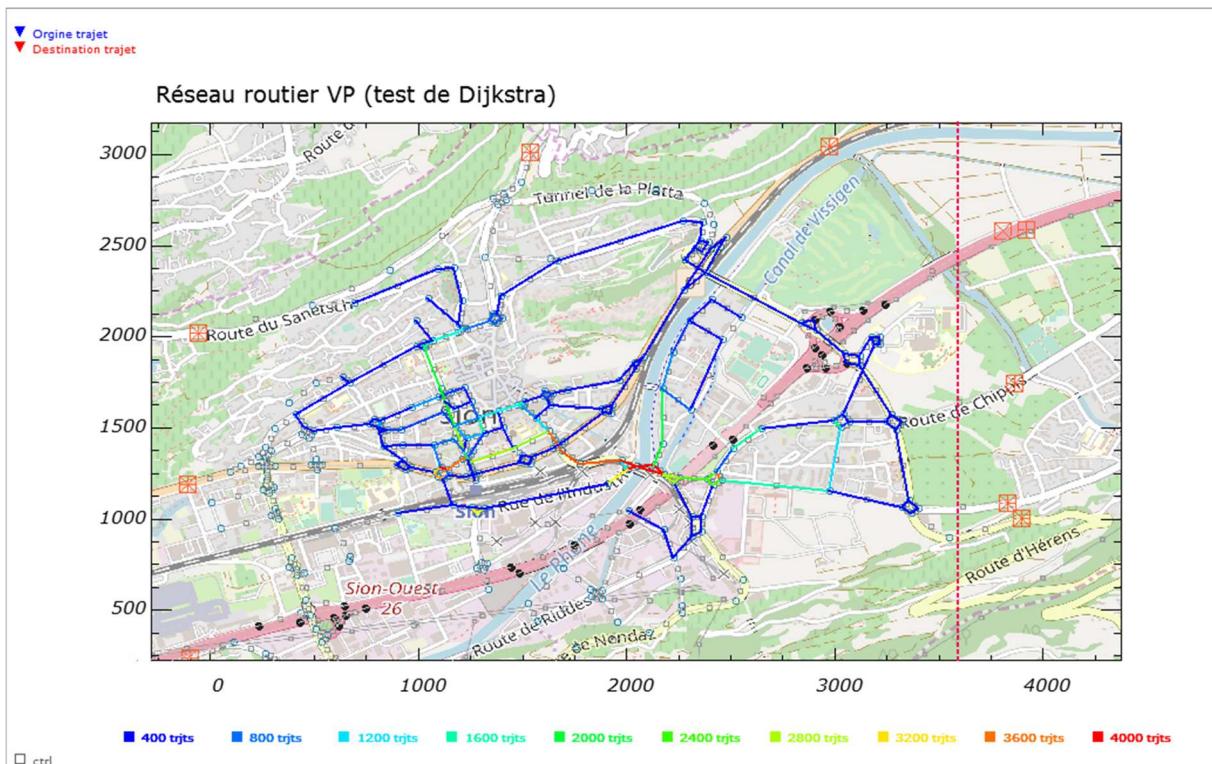


Figure 48. Trajets internes ayant leur origine et leur destination dans la zone d'intérêt (l'algorithme Dijkstra optimise la distance des déplacements).

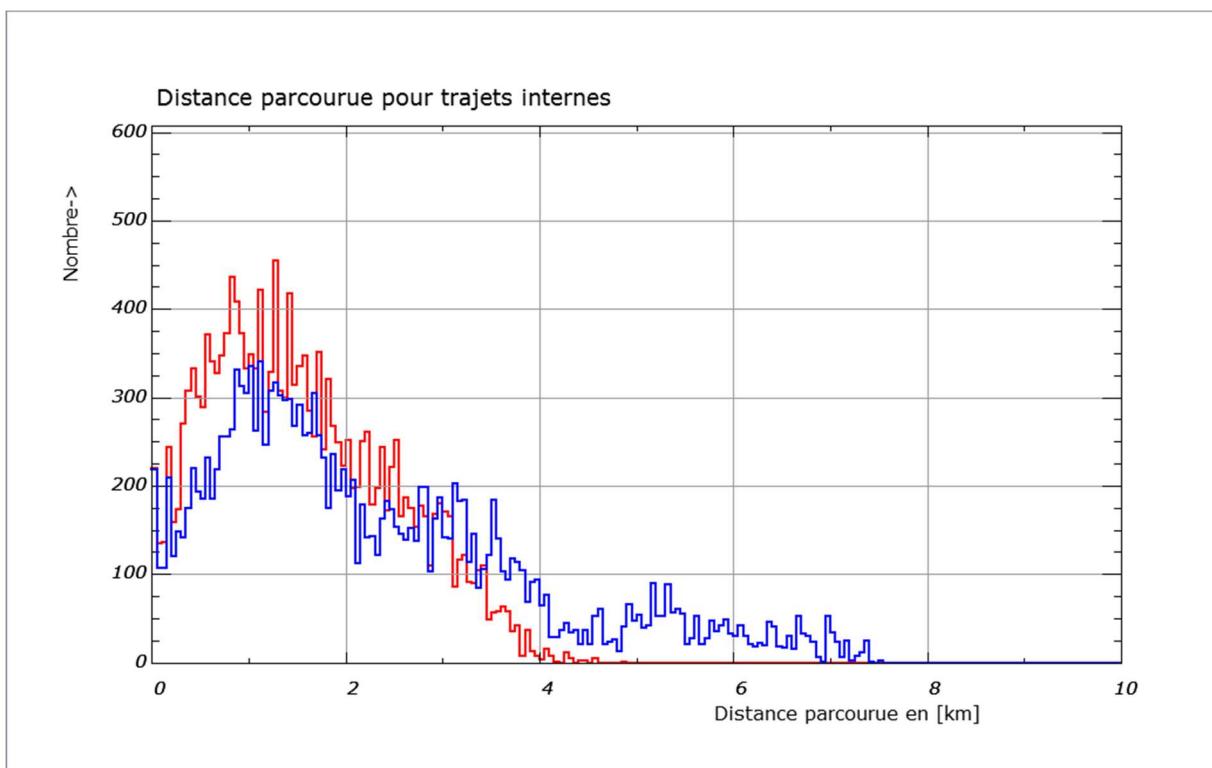
Trajets internes par application de Dijkstra.

Sans imposer de limitation sur les zones internes desservies par les bus à la demande, la distance médiane des parcours internes est de ~2.1 km. En imposant la prise en charge et la dépose des usagers dans la région desservie par les minibus à la demande comme montré dans la Figure 17, les distances de l'ensemble des trajets diminuent.

Le Tableau 26 indiquent les distances moyennes et médianes suivant les paramètres de l'optimiseur Dijkstra. La Figure 49 montre les distributions des distances des trajets suivant les paramètres de l'optimiseur Dijkstra.

Tableau 26 : Distances médianes et moyennes selon les paramètres du router Dijkstra.

Paramètre du router Dijkstra	Distance médiane [km]	Distance moyenne [km]
Charge statique et vitesse	1.67	2.07
Temps (durée)	1.82	2.26
<i>Distance</i>	1.45	1.54



Engagement des bus à la demande

Les bus à la demande doivent être capable de prendre en charge :

- Les usagers actuels des lignes Gravelone et Suva (N_{TP}). La valeur de N_{TP} est ~1700 usagers.
- Les usagers des CFF, ayant comme origine ou comme destination la gare (N_{gare}). Cette valeur est inconnue et difficile à estimer. Une partie des usagers CFF font leur chemin jusqu'à leur destination finale à pied. En effet, très proche de la gare de Sion, sont situés le campus HES-SO et l'antenne EPFL, le bâtiment Swisscom, les collèges des Creusets et de la Planta. La valeur de 600 usagers CFF qui utiliseraient le service de bus à la demande est proposé pour la suite des calculs.
- Les usagers actuels des TIM, prêts à passer au système de bus à la demande (N_{modal}). Actuellement ~14'000 trajets TIM sont effectués de manière journalière à l'intérieur de la zone desservie par les bus à la demande. Un transfert modal de 25 % de la mobilité TIM vers le bus à la demande a été supposé dans une première étape. Ce transfert modal correspond à 3500 trajets.

Dans l'exemple suivant, plus de 5800 trajets doivent être pris en charge par les bus à la demande.

Le tableau suivant résume les variables en jeu dans le calcul présenté ci-après. Il en donne également une description et des valeurs probables.

Tableau 27: Définition des variables permettant d'évaluer les implications de l'introduction de minibus à la demande.

Valeur de la variable	Unités	Dénomination de la variable	Description
0.25	[]	T_{modal}	Transfert modal de TIM vers Mobilité à la demande
1711	[]	N_{TP}	Trajets faits actuellement dans la zone desservie par les bus
14000	[]	N_{TIM}	Trajets faits actuellement dans la zone en TIM
600	[]	N_{gare}	Trajets faits par des voyageurs CFF
3500	[]	N_{modal}	Report modal de TIM vers Mobilité à la demande
1.54	[km]	$D_{moyenne}$	Distance moyenne des trajets par passager
5211	[]	N_{mbd}	Trajets à reprendre par la mobilité à la demande
6.4	[]	R_{moyen}	Remplissage moyen du bus
53	%		Nombre de voyageurs moyen rapporté au nombre de places assises.
25	[km/h]	$V_{moyenne}$	Vitesse moyenne du bus
	[]	$Profil_{activite}(h)$	Profil d'activité des voyageurs sur les deux lignes étudiées
	h	$D_{mbd}(h)$	Durée de déplacement des bus à la demande pour l'heure h
	h	D_{mbd}	Durée de déplacement des bus à la demande pour toute une journée

Le calcul proposé ici consiste à déterminer la durée d'engagement des bus à la demande D_{mbd} sur toute une journée pour satisfaire le besoin de mobilité à l'intérieur de la zone desservie actuellement par la ligne Suva et Gravelone.

D_{mbd} est une fonction de plusieurs variables. Elle s'exprime de la manière suivante :

$$D_{mbd} = \frac{D_{moyenne} \cdot (N_{TP} + N_{modal} + N_{gare})}{R_{moyen} \cdot V_{moyenne}}$$

Équation 13: Durée de déplacement des minibus à la demande durant la journée.

Sachant qu'un chauffeur travaille 8 heures durant une journée, si la valeur obtenue pour D_{mbd} est de 24 heures, cela implique qu'au moins 3 bus et 3 chauffeurs doivent être engagés pour assurer le service des bus à la demande.

Le besoin en déplacements suit un profil horaire particulier (Figure 45). Le nombre de bus à engager varie au cours des heures de la journée. L' Équation 14 exprime le nombre de bus à engager pour chaque heure de la journée.

$$D_{mbd}(h) = \frac{D_{moyenne} \cdot Profil_{activité}(h) \cdot (N_{TP} + N_{modal} + N_{gare})}{R_{moyen} \cdot V_{moyenne}}$$

Équation 14: Durée de déplacement des minibus à la demande durant l'heure h.

En engageant le même nombre de chauffeurs qu'en 2019 sur les deux lignes de Gravelone et de la Suva (7 au total), un système de bus à la demande (avec un taux de remplissage du minibus de ~50%) parvient à assurer le service de transport à la demande pour :

- Les utilisateurs actuels des TP
- Les 600 usagers journaliers des CFF
- Un transfert modal de 25% de TIM vers les bus à la demande.

Pour finaliser l'étude, la surface de réponse montrant le nombre de chauffeurs en fonction du taux de remplissage et de la vitesse moyenne des minibus a été produite.

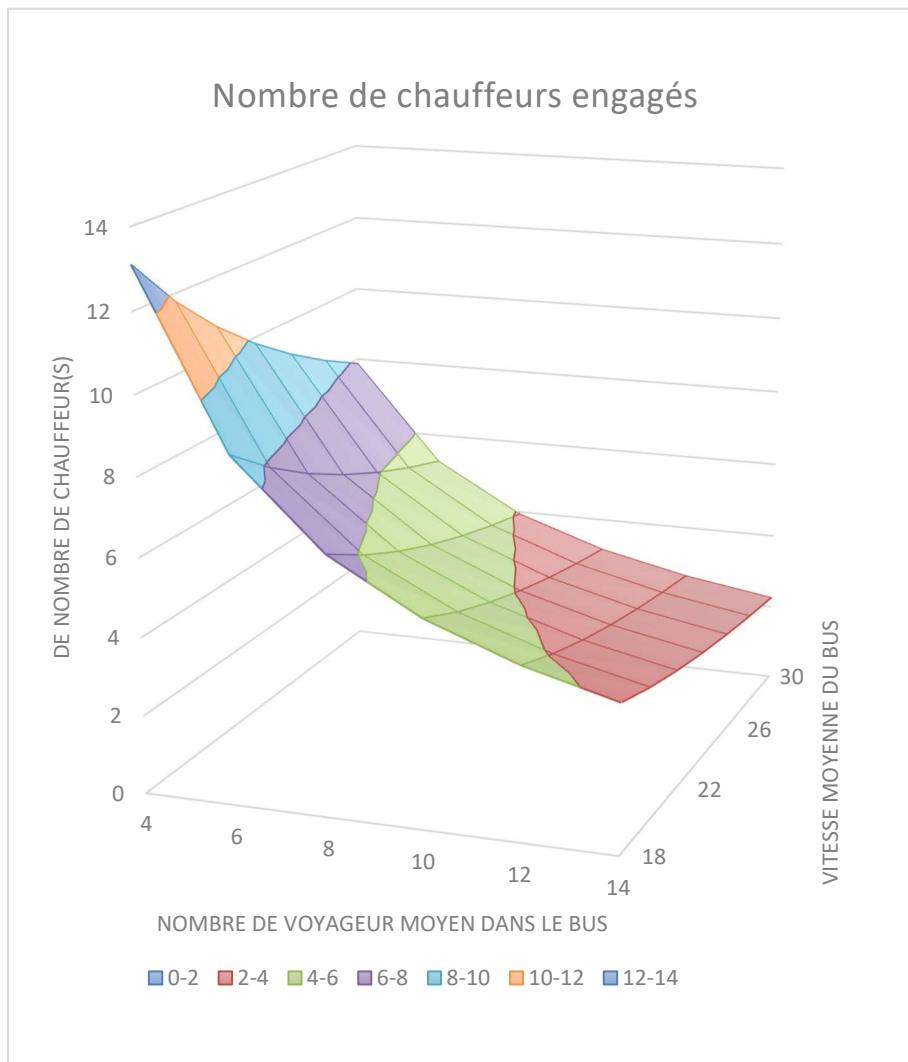


Figure 50: Surface de réponse du nombre de bus à la demande à engager en fonction de taux de remplissage des bus et de la vitesse moyenne.

Transfert modal

Par simple transformation algébrique de l'équation 10, le nombre de trajets pris en charge (N) par les bus à la demande s'exprime de la manière suivante :

$$N = D_{mbd} \cdot \frac{R_{moyen} \cdot V_{moyenne}}{D_{moyenne}}$$

Équation 15: Nombre de trajets pris en charge par les bus à la demande.

En faisant passer le taux de remplissage moyen du minibus de 50% à 75%, ce qui correspond à une moyenne de 8 usagers par course, 7 chauffeurs assurent ~7300 trajets de manière journalière.

A ce nombre, on doit retrancher les 1700 usagers des deux lignes actuelles ainsi que les 600 voyageurs supposés des CFF, ce qui donne ~5000 usagers de plus qu'en 2019 qui pourraient profiter du service de minibus à la demande.

Tableau 28: Variables utilisées pour l'évaluation du nombre de trajets pris en charge par les minibus à la demande.

Variable	Valeur choisie	Commentaire
Chauffeurs engagés	7 chauffeurs, soit 56 heures de conduite journalière (D_{mbd})	Ceci correspond au nombre de chauffeurs engagés sur les deux lignes étudiées en 2019.
Taux de remplissage du minibus	6 - 8 usagers, soit $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ des places assises.	Moins il y a d'usagers dans le bus, plus la vitesse moyenne du minibus sera grande, car moins de temps sera nécessaire pour la prise en charge (temps de montée et de descente du minibus).
Vitesse moyenne du minibus	25 km/h	La vitesse moyenne en dehors du centre-ville sera certainement plus haute que la vitesse moyenne proposée, et le taux de remplissage du minibus plus faible. Les deux effets se compensent.
Distance moyenne des trajets	1.54 km	Distance parcourue en moyenne pour un trajet par passager (trajet d'usager).

Bilan de service et énergétique

De manière journalière, entre 5400 et 7300 « trajets d'usager » doivent être effectués pour satisfaire le besoin de service de bus à la demande. Chaque « trajet d'usager » fait en moyenne 1.5 km.

Un chauffeur conduisant 8 heures par jour, roulant à une vitesse moyenne de 25 km/h parcourt une distance de 200 km. Il pourra ainsi effectuer 130 courses de 1.5 km, avec à bord de son véhicule entre 6 à 8 usagers. La distance parcourue par un chauffeur en 8 heures est inférieure à l'autonomie du minibus. Ceci implique que, dans la mesure où un chauffeur commence son service avec un minibus rechargeable, il n'a pas besoin de le recharger durant sa journée de travail.

Au vu de ces considérations, une optimisation du réseau d'électricité avec un système Smart Grid, n'est pas nécessaire pour assurer l'approvisionnement électrique des bus à la demande. Aucune infrastructure spéciale ne doit être développée pour remplir ce besoin.

S'il y a 7 minibus pour 7 chauffeurs, le service peut être assuré sans problème entre 6h du matin et 22h, comme c'était le cas en 2019. Dans l'attente d'usagers, les bus en service peuvent se recharger, si besoin est, dans lieux stratégiques ou une installation de charge électrique est disponible (Gare, Hôpital, rue de Loèche, Aéroport, ...).

Le temps de charge complet de ces bus de petite taille est raisonnable. Il permet une circulation toute la journée, et n'implique pas d'appel de puissance important.

Pour le cas de Sion, même si tous les bus urbains actuellement en circulation étaient remplacés par des bus électriques à la demande, le réseau d'approvisionnement en électricité existant serait suffisant. Ces estimations ont été fournies dès le début du projet par le fournisseur local. Elles peuvent être facilement confirmées étant donné qu'il y a 4 lignes opérées par les Bus Séduinois, parcourant des distances ne dépassant pas de plus de 20% de la distance parcourue pour la ligne SUVA. Il faudra, toutefois prévoir des stations de recharge électrique dans le dépôt où les bus sont garés lorsqu'ils ne roulent pas.

Pour évaluer le transfert modal potentiel, le calcul suivant est fait. Un chauffeur qui effectue 130 courses avec, à son bord, 6 à 8 usagers, réalise entre 780 et 1040 « trajets d'usager ». 7 chauffeurs peuvent

assurer 910 courses et effectuer entre 5460 et 7280 « trajets d'usager ». On constate qu'avec 7 chauffeurs engagés de manière journalière, le service de bus à la demande est assuré avec un transfert modal de 25% de TIM vers le bus à la demande.

Le tableau 29 montre le détail du calcul effectué pour arriver aux conclusions présentées ci-dessus.

Tableau 29: Résumé des valeurs définissant le service offert aux usagers des bus à la demande, avec estimation énergétique

	Description de la variable	Estimation valeur de la variable
Minibus	Taux de remplissage du minibus	6 – 8 passagers = $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ places assises
	Consommation minibus	0.41 kWh/km
	Autonomie minibus	210 km NEDC
	Vitesse moyenne durant les trajets	25 km/h
1 chauffeur	Distance moyenne parcourue par trajet	1.5 km
	Distance parcourue par un chauffeur de manière journalière.	8 h x 25 km/h = 200 km (inférieure à l'autonomie du véhicule)
	Nombre de courses effectuées par un chauffeur de manière journalière	(8 h x 25 km/h) / 1.5 km = 130 courses
	Nombre de personnes transportées par chauffeur de manière journalière	130 courses x (6 – 8 pers./courses) = 780 – 1040 trajets d'usager
Energie	Energie / (passager distance) (indépendant du nombre de chauffeur)	0.05 - 0.07 kWh/km
	Nombre de courses effectuées par 7 chauffeurs de manière journalière	910 courses
	Nombre de trajets d'usager assurés par 7 chauffeurs de manière journalière	5460 – 7280 trajets d'usager

Au niveau de l'efficience énergétique et des km-passagers, on peut estimer qu'avec des minibus à la demande une dépense énergétique de moins de ~0.04 kWh / km voyageur sera atteinte. C'est 25 fois moins que ce qui a été dépensé en 2019 avec une énergie non-renouvelable et seulement 4 fois plus qu'un vélo électrique.

Tableau 30: Résumé de l'amélioration énergétique avec un transfert modal de 25% des TIM vers des bus électriques à la demande

	Energie non renouvelable	Energie renouvelable
Consommation journalière des bus de la ligne gare-SUVA	1754 kWh	-
Consommation journalière des bus de la ligne gare-Gravelone	232 kWh	-
Consommation de diesel pour les deux lignes considérées	~200 litres ~2000 kWh	-
Consommation supposée de 25% du TIM (transfert modal) (Trajets TIM interne 2.47 km [tableau 43]) (consommation de 7 l/100km, correspond à 3500 trajets TIM)	~600 litres ~6000 kWh	-

Besoin en énergie pour assurer - le transfert modal de 25% de TIM vers bus à la demande - le remplacement du service de 2 lignes internes (Suva & Gravelone) - le service de 600 usagers des CFF qui doivent se rendre en ville	-	1400 km x 0.41 kWh/km =~600 kWh
Bilan journalier	800 l de diesel 8000 kWh	600 kWh
Réduction journalière des émissions CO₂	2.1 t CO₂	
Réduction annuelle des émissions CO₂	528 t CO₂	

La mise en place des bus à la demande implique une économie de diesel, qui ne sera brûlé à l'intérieur de la ville, donnant une image positive et attractive de la ville. De manière journalière, ~200 litres de diesel, ne seront plus utilisé par les bus de desserte thermiques. De plus, le transfert modal de 25% de TIM vers les bus à la demande permet d'économiser aussi ~600 litres de carburant non-renouvelable. Cette estimation minimise encore probablement la réduction de consommation de carburant fossile, étant donné qu'en permettant un transfert modal, l'engorgement des routes est réduit, et donc la consommation excessive de fuel dans les bouchons évitée.

En résumé, au niveau énergétique, la mise en place d'un système de bus à la demande, consomme 600 kWh d'électricité par jour et permet d'économiser 800 litres de carburant non renouvelable, soit 8000 kWh, avec un transfert modal de 25%.

4.2 RÉSULTATS : PLATEFORME GIS DE VISUALISATION ET COMPARAISON

La plateforme GIS de Visualisation est accessible partout via un navigateur sans licence nécessaire par toutes personnes intéressées par la transition de mobilité. L'outil a été adapté à tout type d'utilisateur en passant du novice au professionnel.

4.2.1 Présentation des fonctionnalités

La plateforme GIS nous permet de visualiser et d'analyser les données disponibles du scénario de base ainsi que la création de versions de scénarios de base et autres fonctionnalités décrites ci-dessous.

Visualisation GIS

La carte regroupe les fonctionnalités principales de cet outil. C'est à partir de cette page que les données correspondant au scénario choisi peuvent être visualisées. Le menu de gauche permet d'afficher les couches à visualiser sur la carte. Il est également possible d'afficher les détails du scénario en cours. La Figure 51 présente la description des couches disponibles sur l'interface.

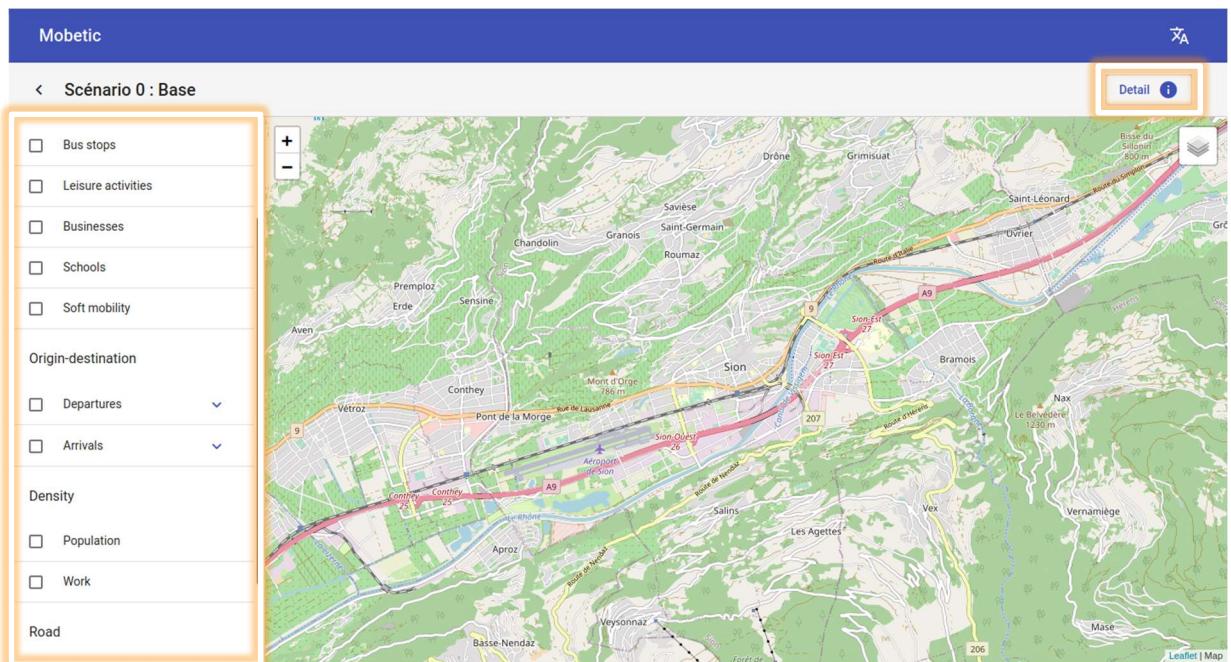


Figure 51. La carte principale

POI (Points of interests)

Les points d'intérêts (POI) permettent de visualiser sur la Figure 52 les localisations de la couche sélectionnée sous forme de points. L'exemple ci-dessous, montre l'emplacement des arrêts de bus de la Ville de Sion.

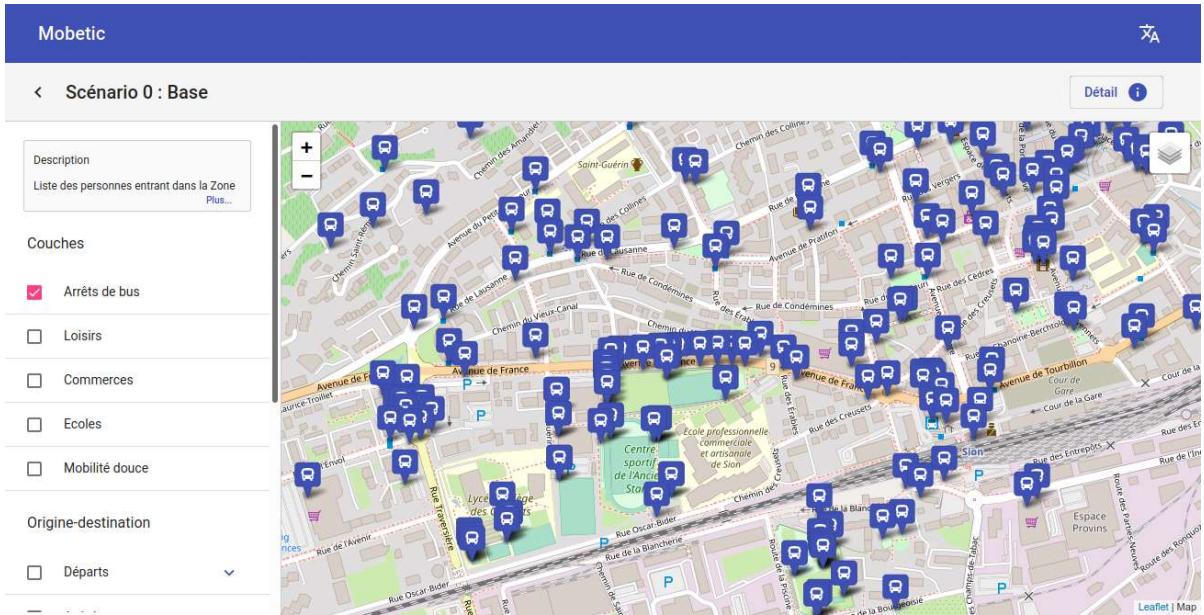


Figure 52. La carte avec les POI pour les arrêts de bus de la Ville de Sion

Origine – destination

Les données origine-destination représentent les lieux de départs/arrivés de la population arrivant/partant de la zone test, ici la ville de Sion (Figure 53). Par défaut celles-ci sont regroupées par canton et il est possible de les afficher par localité.

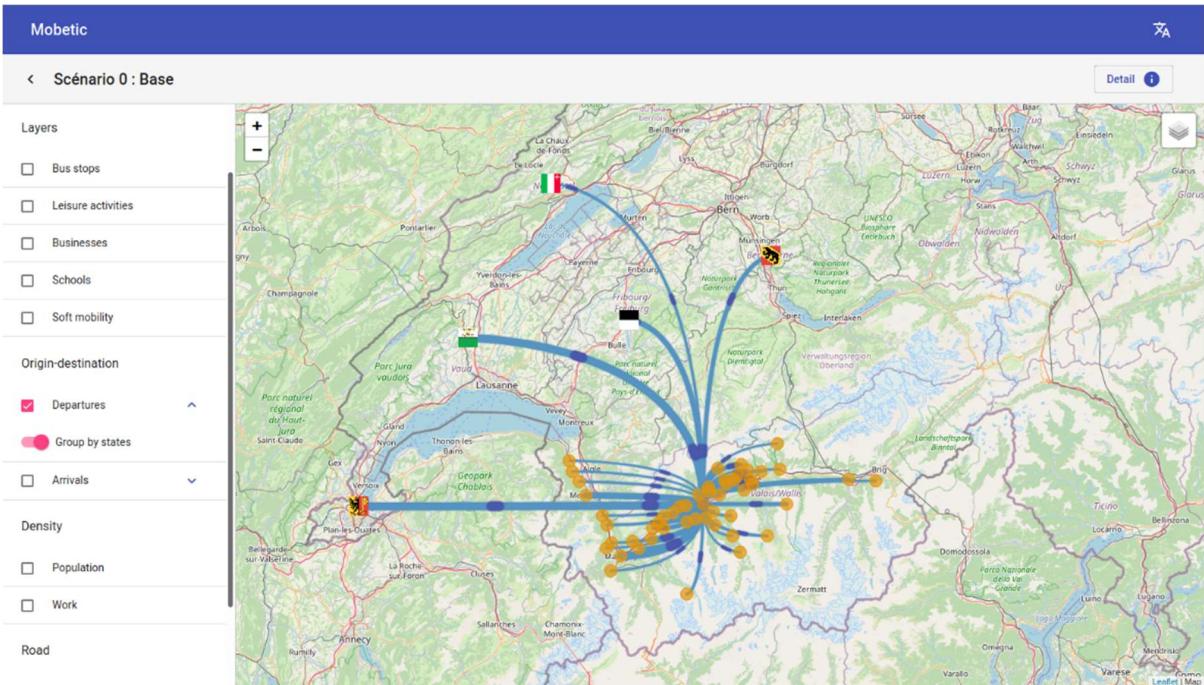


Figure 53. La carte avec L'Origine-Destination de la Ville de Sion

Densité

La densité nous permet de visualiser les concentrations d'habitants ou de places de travail disponibles par hectare. Pour avoir les détails d'une zone, il suffit de cliquer sur l'un des carrés sur la carte.

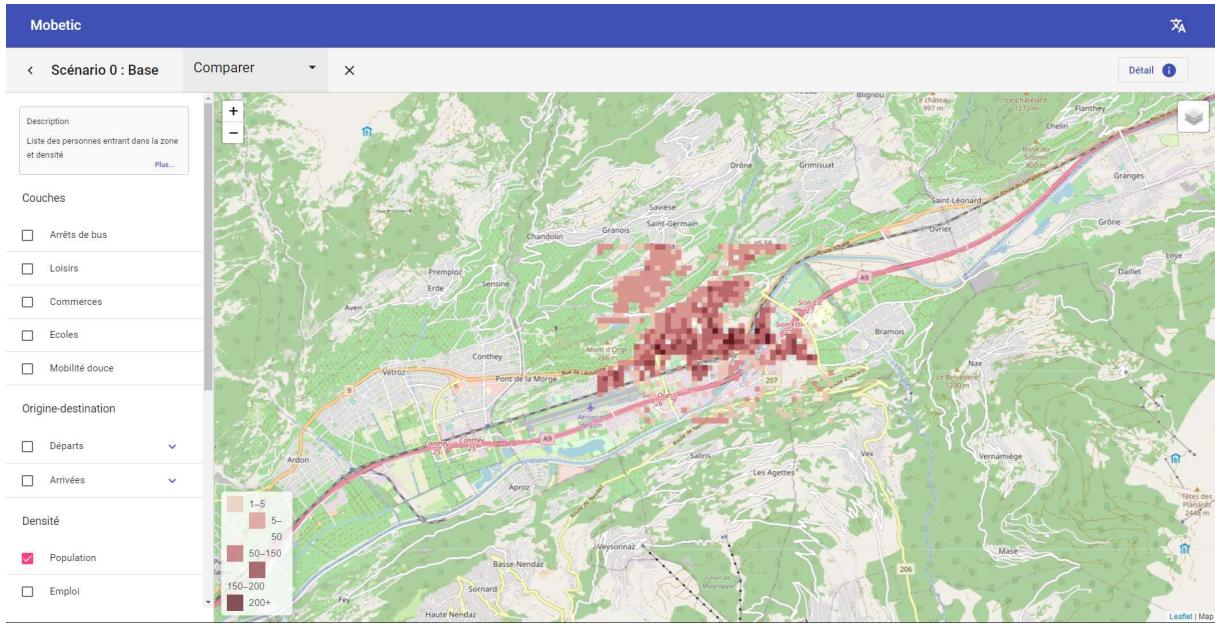


Figure 54. La carte avec la Densité de la Ville de Sion

Route

La couche Route nous permet de voir à quel point un tronçon est chargé en véhicules. Il existe également la possibilité de sélectionner l'heure à observer. La couleur de la route correspond au niveau de charge de la capacité de cette dernière.

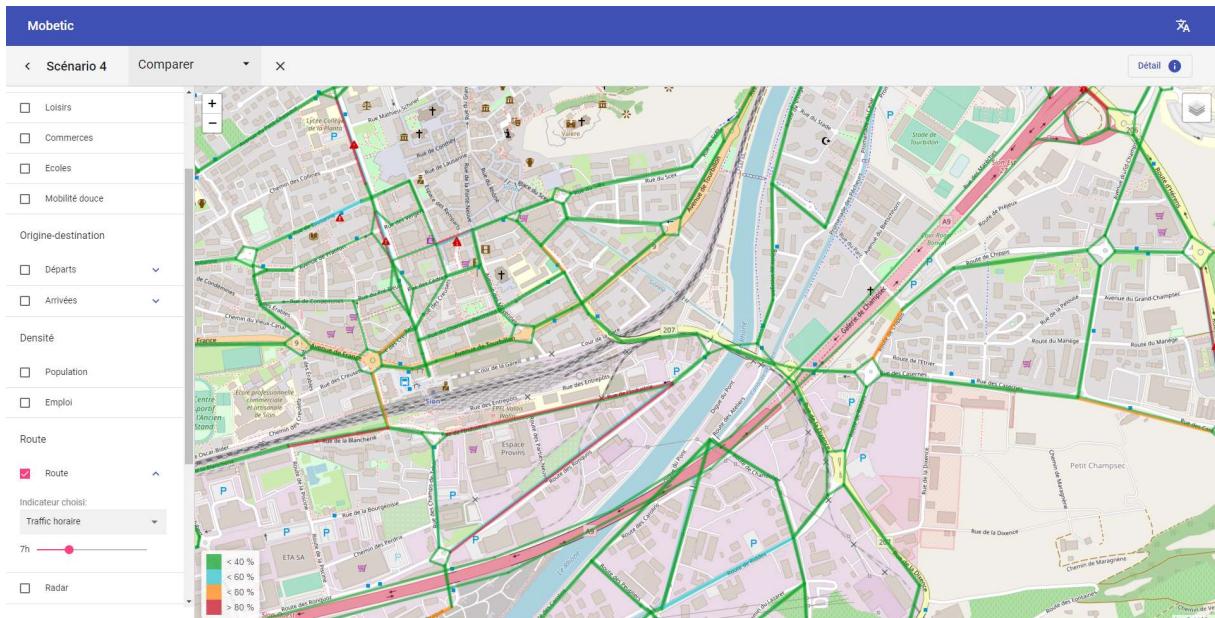


Figure 55. La carte avec la Route de la Ville de Sion

Il est également possible d'afficher les vitesses des tronçons ainsi que leurs capacités en cliquant sur la liste déroulante.

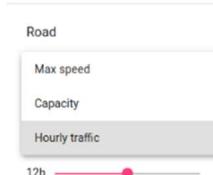


Figure 56. Les options de la couche Route

En cliquant sur un tronçon, une barre latérale (à droite) avec les détails de la route s'ouvre (Figure 57). Depuis là, il est possible de comparer le trafic avec les autres scénarios (Figure 58).

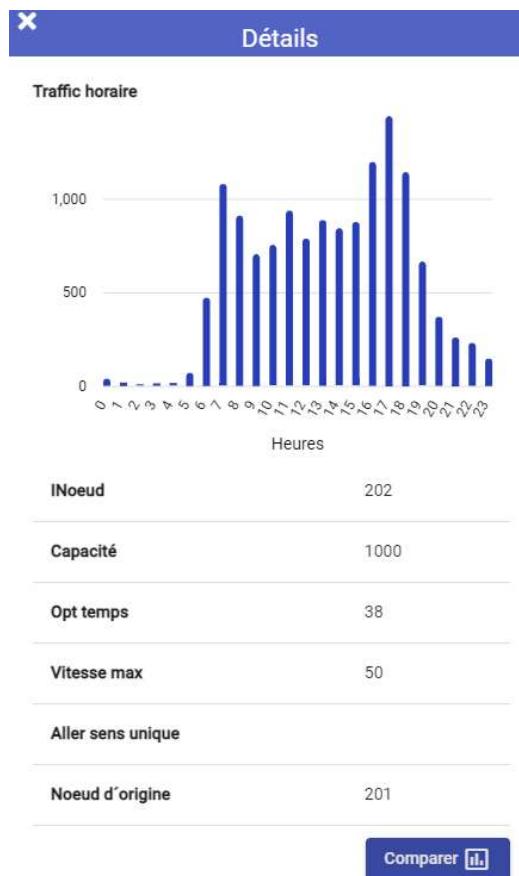


Figure 57. Panneau avec les informations de la route sélectionnée

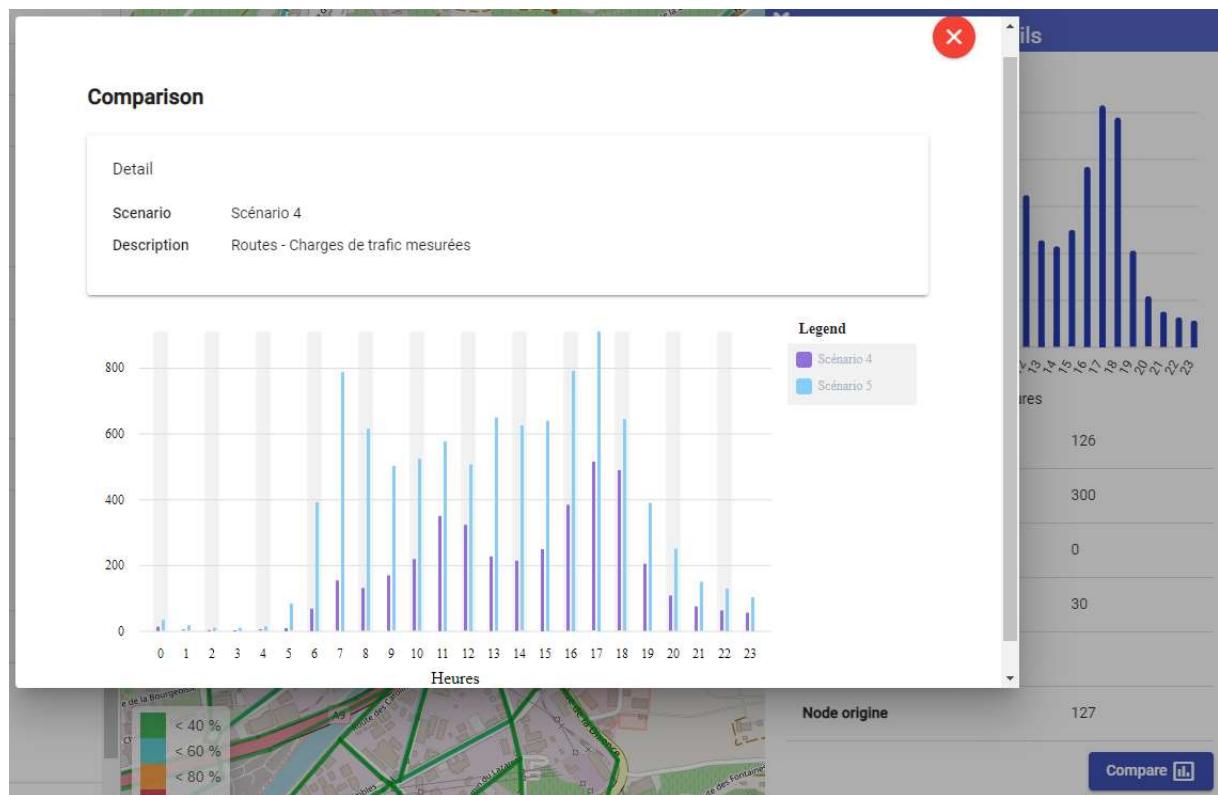


Figure 58: Page de comparaison de scénarios

Radar de comptage

Les radars permettent de visualiser les points de mesure de trafic routier. Lorsqu'un radar est placé à un endroit, il est visible sur la carte en forme de point (Figure 59).

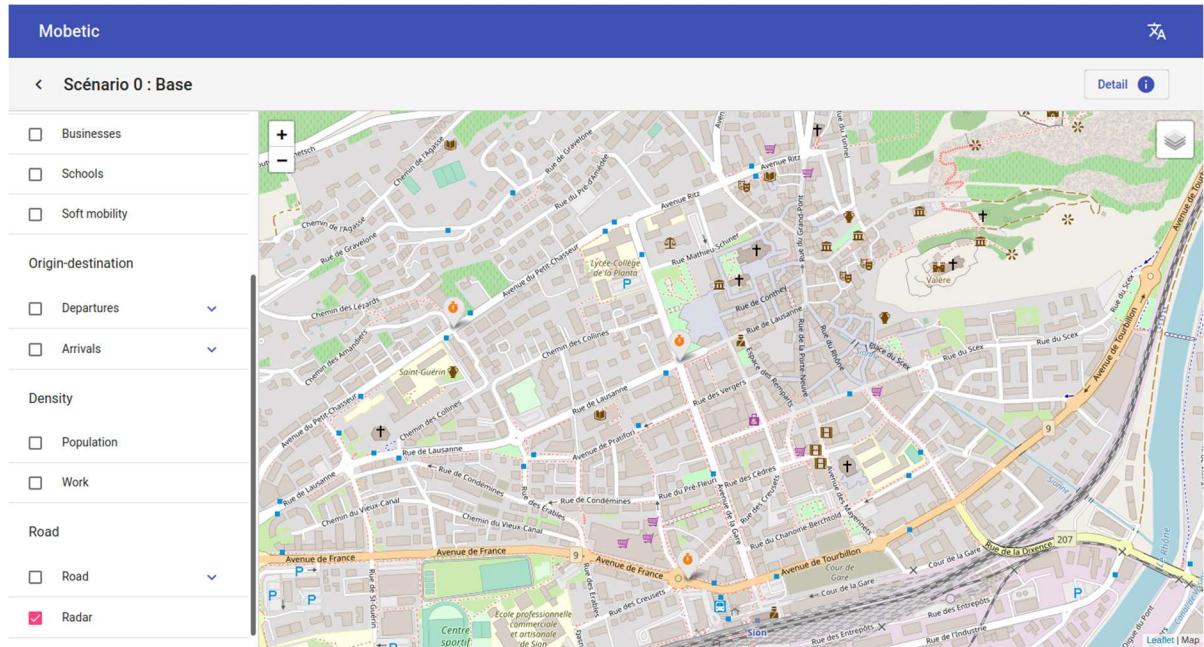


Figure 59. La carte avec les Radars

Comparaison de scénarios/versions

La fonctionnalité de comparaison de scénarios ou versions permettent de comparer des versions et scénarios entre eux dans les couches Densité et Route (Figure 54 et Figure 62). Cette fonctionnalité permet de simuler des scénarios et ainsi fournir une aide à la décision fiable. Il est possible de comparer des scénarios.

Pour créer des versions de scénarios de base il faut voir la Figure 63.

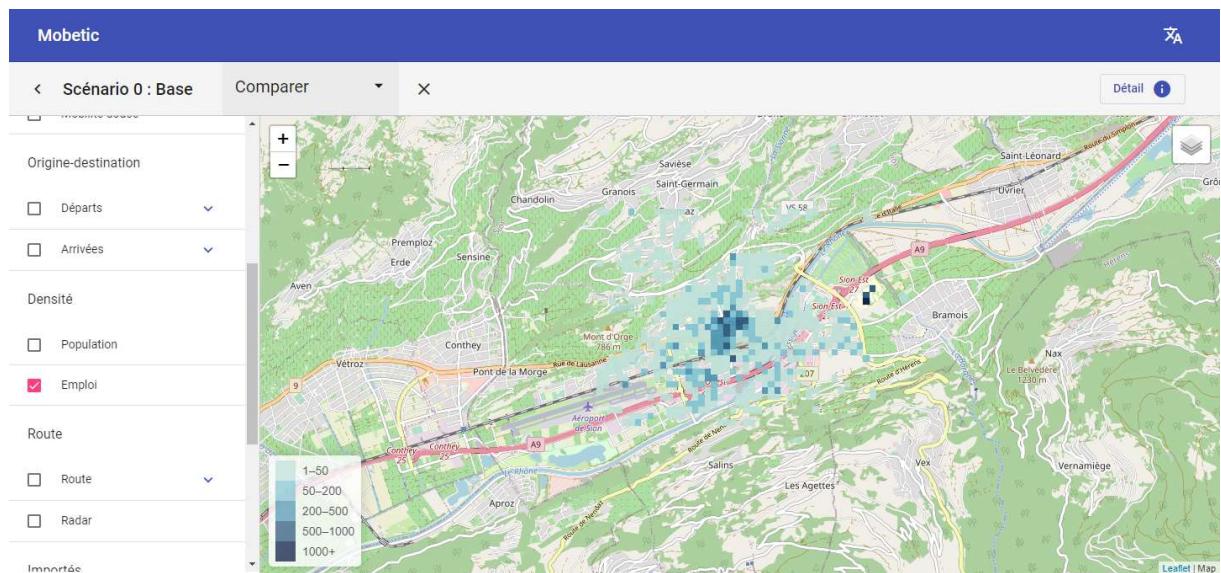


Figure 60. Comparaison entre deux scénarios de développement de population.

Gestion des scénarios et versions

Sur la page d'accueil la liste de tous les scénarios générés dans l'interface de développement est disponible. Il est possible de les visualiser, modifier et supprimer.

C'est à partir d'ici qu'un scénario peut être sélectionné, et au besoin, différentes versions peuvent être créées comme il est possible de voir en Figure 63. Il est également possible d'afficher le scénario de base via le bouton « Afficher le scénario basic » au dessus de la liste des scénarios.

Nom	Description				
Scénario 0 : Base	Liste des personnes entrant dans la Zone				
Scénario 1	Arrêt de bus				
Scénario 2 : Base	Liste des noeuds				

Figure 61. Liste des scénarios

Il est possible de créer une version à partir d'un scénario. Cette fonctionnalité illustrée à la Figure 62 est utile lorsque nous souhaitons augmenter/diminuer certains indicateurs (Trafic, Population, Travail, Arrivé, Départ). Cette augmentation/diminution se fait en pourcent. C'est ainsi qu'il est ensuite possible de simuler l'impact d'une décision sur les différentes couches.

Name	Description					
Scénario 0 : Base	Liste des personnes entrant dans la Zone					
Version name	Traffic	Population	Work	Arrival	Departure	
Base + 10% de population	1%	10%	--	--	--	
Version name	Traffic	Population	Work	Arrival	Departure	
Augmentation de 20% de trafic routier (TIM) et 5% population	20%	5%	--	--	--	
Scénario 2 : Base	Liste des noeuds					

Figure 62. Liste des scénarios et ses versions

La fonctionnalité de création d'une version à partir d'un scénario de base est illustrée dans la Figure 63. Ainsi, il est possible de surcharger les facteurs Traffic, Population, Travail, Arrivée et Départ pour simuler une version avec le scénario de base.

Pour créer une nouvelle version à partir du scénario ici « Scénario 0 : Base ».

Nom	Description			
Scénario 0 : Base	Liste des départs de la zone			
Nom de la version	Traffic	Population	Départ	
Version demo + 60% tim	60%	20%	20%	
Nom de la version	Traffic	Population	Départ	
Version x50	50%	--	--	
Nom de la version	Traffic	Population	Départ	
Augmentation de x % sur l'année 2008	20%	-60%	--	
Scenario 1				

Nouvelle version du Scénario 0 : Base

Nom de la version:

Traffic:

Population:

Travail:

Arrivée:

Départ:

Figure 63. Créer une version à partir d'un scénario

Ajout de couches personnalisées

Sur la page d'accueil, l'utilisateur peut importer ses propres couches de données provenant d'autres outils de développement sous forme Geotiff ou Geojson. Les fichiers Geotiff ou Geojson sont des formats de fichier qui permettent de représenter des données géographiques sur une carte. Il est possible de visualiser ces couches sur la carte de n'importe quel scénario. Les données doivent avoir le système de coordonnées WGS84 (epsg4326). Cette fonctionnalité offre la possibilité d'importer des données géographiques venant de services externes, par exemple des programmes de simulation.

La marche à suivre ci-dessous décrit comment intégrer une couche géographique des émissions CO₂ simulée avec NetLogo, un programme de simulation multi-agents (système composé de plusieurs agents intelligents et indépendants) [12]. Cet outil a été utilisé pour calculer une MOD à partir des données StatPop et StatEnt de l'OFS pour la zone d'étude. Cette matrice est utilisée pour calculer des chemins sur le graphique des routes. À la suite de cela, il est possible de simuler le nombre de véhicules qui se déplacent dans la zone d'étude. Il est aussi possible de simuler un transfert vers une autre technologie de propulsion que le moteur thermique via une interface (Figure 64). Enfin, la simulation est exportée en fichier ASCII Grid (.asc) pour être intégrée dans la plateforme de visualisation GIS Mobicet (Figure 66). Une transformation du type de fichier (de ascii à geotiff) ainsi que la transformation des coordonnées ont été effectuées pour pouvoir intégrer le résultat de la simulation dans l'outil de visualisation déjà en place.

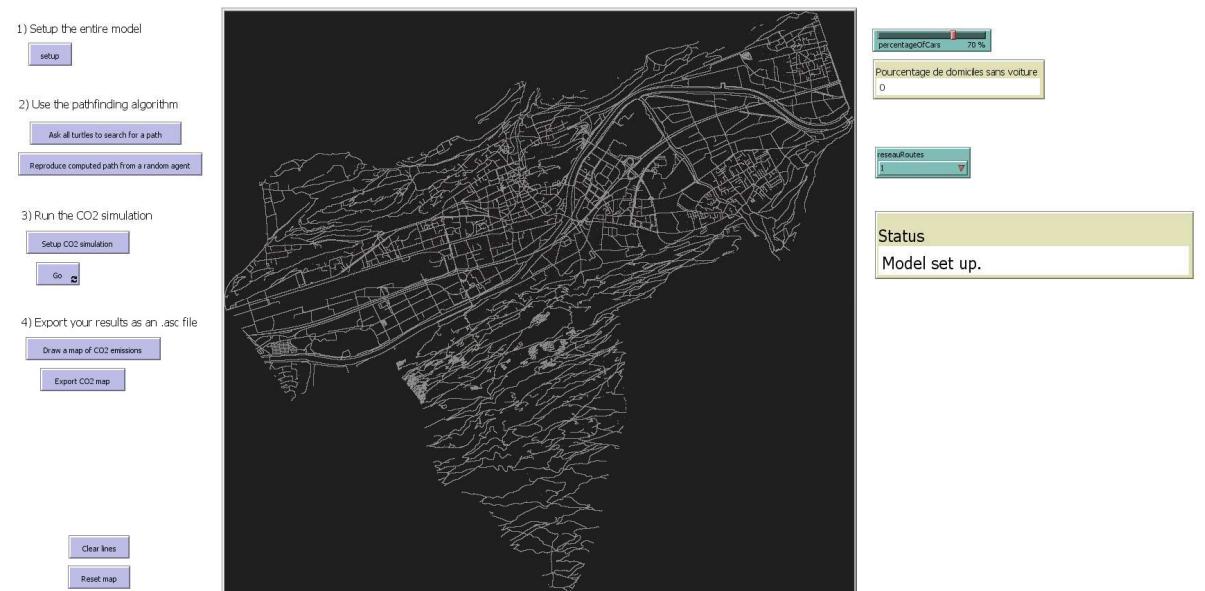


Figure 64: Interface du système multi-agents NetLogo



Figure 65: Importer un Geotiff ou Geojson

Sur la page de visualisation GIS, il est possible d'afficher la couche importée en utilisant la barre de menu à gauche sous la section « Importés » de n'importe quel scénario.

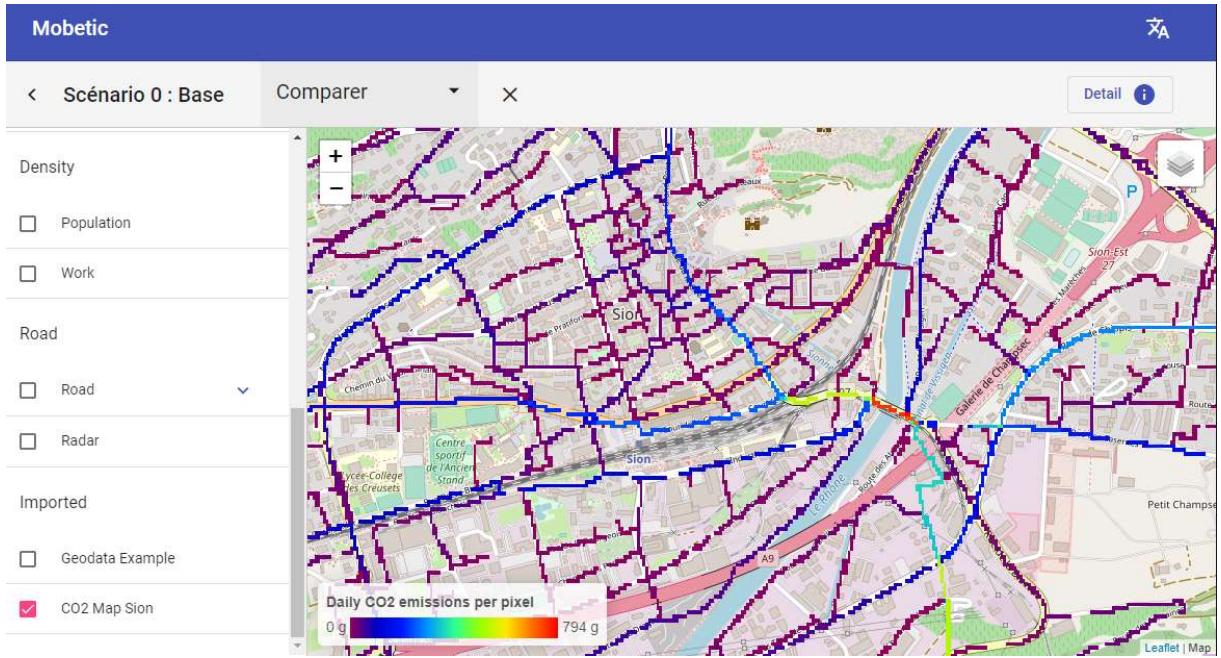


Figure 66: Visualisation d'une couche CO2 importée par l'utilisateur sur la carte

Dans l'exemple ci-dessus, le résultat de la simulation des émissions de CO₂ est représenté. Pour atteindre ce résultat, le réseau de route SwissTLM3D a été utilisé ainsi que les couches STATPOP (statistiques population) et STATENT (statistiques entreprises) afin d'extraire la position des habitants et des emplois dans la zone d'étude. Cette démarche est différente de celle développée pour le restant du projet. Il est considéré que chaque habitant représente un agent, qui est affecté à un emploi au hasard dans la zone. La simulation fait ensuite parcourir tous les agents depuis leur domicile au lieu de travail. La valeur d'un pixel correspond au nombre d'agents qui sont passés par celui-ci. Cette valeur est augmentée de 1 pour chaque passage aller-retour journalier d'un agent sur celui-ci. Le résultat de la simulation est ensuite exporté sous format ASCII Grid, puis transformé en geotiff.

Les émissions de CO₂ ont ensuite été estimées et reportées sur chaque pixel en fonction de la valeur moyenne d'émission d'un véhicule en Valais (145g CO₂/km [11]) et du nombre total des aller-retours. Un pixel mesure environ 5 mètres carrés. À noter que ces valeurs sont indicatives et que le but de cette démarche est de présenter la fonctionnalité d'ajouts de couches CO₂ personnalisées et le potentiel d'ouverture des outils développés dans le cadre de ce projet.

5. Discussions

Ce projet a été initié sur des bases très ambitieuses, tant au niveau des éléments théoriques à intégrer, au niveau de détail requis pour représenter la réalité, qu'au niveau de son application géographique à la région de Sion. Les objectifs sont repris ci-dessous avec une discussion des réalisations effectuées et des contraintes rencontrées. Dans un premier temps, les aspects innovants de ce projet sont présentés, puis plusieurs remarques sont faites en vue d'une continuité de développement de l'outil d'aide à la décision.

5.1 PRINCIPAUX APPORTS NOVATEURS ET IMPACT DU PROJET

L'élaboration de l'outil d'aide à la décision pour un réseau de mobilité dans son contexte énergétique a comme premier apport l'utilisation de raisonnement, de calculs analytiques, de développements d'algorithmes et de modèles, qui ont pu être calés sur des données de mesure. L'utilisation de méthodes analytiques constituait un enjeu important, étant donné la complexité du système à représenter.

Les outils développés facilitent la compréhension et la représentation d'une situation existante. Finalement, l'outil d'aide à la décision développé permet d'avoir une compréhension relativement rapide d'un système de mobilité et de ses enjeux.

S'ajoutent à cela le fait que tout le développement a été fait avec des outils informatiques « open source », rendant l'outil d'aide à la décision facilement accessible et extensible en fonction des besoins.

L'étude concrète de la mise en place de bus électriques à la demande révèle l'utilité de toutes les fonctionnalités développées, et la possibilité de comparer rapidement des situations. Cet élément constitue aussi un atout majeur de ce projet, qui se trouve de plus augmenté par l'interface de visualisation qui permet une compréhension rapide des points critiques à considérer pour la prise de décision.

D'un point de vue très concret, ce projet a aussi permis l'analyse de la situation de la mobilité pour la ville de Sion, révélant par exemple la possible amélioration majeure permise par des bus électriques à la demande. En effet, cette situation, considérée par les autorités locales, permet d'améliorer le service de TP, tout en réduisant les dépenses d'exploitation liées au coût du fuel, et de favoriser un transfert modal, qui contribue à améliorer la qualité de vie dans cette ville.

Au-delà du contexte de la ville de Sion, cette analyse montre en plus que la mise en place de bus électriques de petite taille, circulant à la demande, peut se faire avec un impact négligeable sur le réseau électrique. Cette solution constitue donc une vraie possibilité d'amélioration sur des lignes urbaines.

5.2 ANALYSE DES DONNÉES COMMUNÉMENT ACCESSIBLES

L'analyse des données facilement accessibles pour une ville ou une agglomération en Suisse, a pu être effectuée. Les données utilisées sont toutes « open source ». Cet élément apporte une plus-value importante à l'outil d'aide à la décision, particulièrement pour des petites localités, ou pour une pré-étude permettant aux autorités de comprendre les enjeux de la mobilité dans leur zone de compétence. Il peut être remarqué que :

- Ces données proviennent de sources très disparates et sont constituées de manières différentes, ce qui a rendu complexe leur adaptation pour les compiler sur un même outil.
- Un important travail a pu être effectué pour les TIM, et l'outil propose une intégration des données fréquemment relevées par les autorités locales pour passer d'une information ponctuelle sur le nombre de passage sur un tronçon routier (radars) à une représentation horaire de l'activité routière. De même, des données normalisées de charge de trafic peuvent être traitées et intégrées à cette même représentation horaire.
- La possibilité d'utiliser les données de Swisscom sur le déplacement des personnes en possession de smartphone a d'abord été évaluée. Bien qu'intéressante car permettant d'intégrer aussi un certain nombre d'informations sur les MD et sur les TP, cette option a été abandonnée car elle est très couteuse, d'autant plus que la zone d'analyse est grande.
- Concernant les TIM, une donnée importante pour l'analyse des déplacements et la comparaison multimodale reste la considération du nombre de personnes par véhicule. Ce niveau de détail n'a pas pu être atteint.
- L'intégration de la fréquentation des TP urbains est aussi effectuée, étant donné que les outils de création de lignes sont existants, et que les données sur les montées et descentes des bus ont été analysées sur la base d'un même format que celle des radars de comptage routiers. Ainsi, les proportions approximatives de déplacements en TP urbains et en TIM est possible.

- L'intégration des déplacements MD est un des grands défis actuels de la mobilité. En effet, le manque de donnée à ce sujet a constitué une difficulté majeure dans ce projet, alors même qu'une de ses visées était de pouvoir évaluer le transfert modal des TIM vers les TP et les MD. Cette difficulté est représentative de l'évolution nécessaire de la mobilité dans nos villes et agglomération, et d'un changement de paradigme qui permettra une réelle évolution.
- Les données Open Street Map, sur lesquelles il était initialement prévu de se baser sont utiles. Cependant leur utilisation seule s'est avérée insatisfaisante. Il est par exemple nécessaire qu'une personne connaissant bien la zone d'étude et qu'elle vérifie la précision de tous les éléments téléchargés car ils pourraient ne pas être à jour.

5.3 MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DU RÉSEAU DE MOBILITÉ

Une méthodologie d'analyse d'un réseau de mobilité sur la base des données présentées ci-dessus a pu être réalisée. Quelques commentaires importants à ce sujet sont :

- Certaines différences de comportement dans les déplacements ont pu être pris en compte, comme les différences entre les jours de semaine, le samedi et le dimanche. Il est connu que le comportement de la population varie aussi entre les jours de la semaine, surtout le mercredi, dû aux horaires scolaires. Cet élément pourrait facilement être intégré dans une étape ultérieure de développement.
- Une autre simplification importante qui mériterait d'être levée est que tous les déplacements sont considérés comme étant des aller-retours depuis le lieu de résidence. Cela impliquerait une meilleure compréhension des raisons de déplacements ainsi que des horaires de fréquentation des attracteurs.
- De plus, l'algorithme de Dijkstra utilisé pour créer les déplacements ne prends pas en compte la charge de trafic réelle. Ainsi, que le déplacement se fasse aux heures de pointe ou en dehors, le même trajet est sélectionné. Dans les faits, la personne en déplacement va souvent adapter son choix de trajet en fonction de la situation routière.
- D'autre part, la création du réseau routier à partir d'Open Street Map génère un nombre de nœuds et de données trop important pour permettre le calage de la MOD. Ainsi, un outil pour faciliter l'entrée de la structure du réseau routier a dû être développé. L'entrée des points, et des tronçons ainsi que des règles de circulation est donc faite manuellement. Cette étape prend un temps important et doit être effectué d'une manière minutieuse, faute de quoi la MOD ne peut être calée efficacement. En revanche, il est possible de gérer tous les détails du réseau routier pour générer facilement des scénarios modifiant les conditions de circulation.
- L'analyse et le développement de l'interface de base a demandé un investissement en temps et en recherche plus important qu'initialement estimé. Cette étape a finalement constitué l'enjeu principal de ce projet, et la mise en place de nombreux outils. Il semble que l'hypothèse que l'élaboration de la MOD permet de représenter les déplacements est vérifiée. Cependant, l'accèsibilité des données a compliqué son élaboration.
- De nombreux outils pour compléter les informations sur le réseau routier et TP ont aussi pu être élaborés, offrant une base intéressante d'une part pour la visualisation de la situation de mobilité dans une région, et d'autre part pour l'élaboration de scénarios permettant un choix stratégique pour améliorer cette dernière.
- La difficulté principale rencontrée concerne l'intégration des MD, qui dépendrait d'analyses de terrain et d'une étude plus poussée des comportements en Suisse ou dans la zone d'étude.

5.4 ANALYSE DE SCÉNARIOS

Plusieurs scénarios ont pu être discutés avec les autorités locales et des discussions menées pour la proposition de scénarios de base qui pourraient être testés dans plusieurs situations urbaines en Suisse. Ces derniers comptaient par exemple :

- La réduction de la capacité routière, dans une direction et/ou sur toute une zone critique (correspondant par exemple à des réductions de vitesse, des fermetures de route, des changements de carrefours, ou des sens-interdits) ;
- La réduction de l'attractivité des parkings au centre-ville (modification du nombre de place et/ou des prix) ;
- La priorisation de voies de bus, ou la création de voies « vertes » pour les MD ;
- Le changement du réseau de TP urbains (modèle de réseau, fréquence, amplitude horaire),
- Les modifications de quartiers ou zones, et de leur population.
- Un scénario en particulier a été plus largement étudié et discuté, celui de la mise en place de bus électriques à la demande. Ce dernier présente le double avantage de favoriser un transfert

modal, tout en réduisant les dépenses énergétiques. Le nombre de déplacement et le confort des usagers n'est pas diminué.

Un scénario en particulier a été plus largement étudié et discuté, celui de la mise en place de bus électriques à la demande, qui présente le double avantage de favoriser un transfert modal, tout en réduisant les dépenses énergétiques. Cela est un avantage notable, étant donné que le nombre de déplacement et le confort des usagers n'est pas diminué.

Ces scénarios peuvent être implémentés manuellement. Cependant, les interfaces ne comportent pas actuellement d'outil facilitant l'implémentation directe de l'un ou l'autre des scénarios.

Une discussion a aussi été menée sur les indicateurs permettant de comparer les scénarios, et qui devraient apparaître sur l'interface de visualisation. Des indicateurs faciles à appréhender et pour lesquelles des données peuvent être disponibles sont :

- La réduction des évènements de surcharge des capacités routière (bouchons),
- Le transfert modal des TIM vers d'autres modes,
- La diminution des émissions de CO₂ et du bruit,
- La diminution des dépenses énergétiques due aux déplacements.

L'amélioration de la qualité de vie dans les espaces urbains et l'attractivité des zones commerciales sont aussi considérées comme des indicateurs de l'amélioration d'un réseau de transports urbains, tout comme le confort et la satisfaction des usagers. Ces éléments ne sont pas faciles à mesurer et n'ont donc pas été retenus. Cependant, l'implémentation de bus électriques, de petite taille et fonctionnant à la demande auraient assurément un impact positif sur les aspects de qualité de vie dans le centre urbain.

Ces éléments sont en partie déjà présents sur l'interface de visualisation. Cependant, le développement de l'outil n'a pas permis de comparaison aboutie. D'autre part, la plupart de ces éléments dépendent encore du nombre de km parcourus en TIM. Ainsi, l'évaluation finale des données et la comparaison des scénarios au niveau environnemental, du bien-être social et énergétique, sur base de déplacement km total et par mode n'a pas pu être finalisée. Les principaux outils sont disponibles, mais de nombreux détails et développements fins devraient encore être réalisés en ce sens.

Une autre difficulté rencontrée a été la représentation fine du transfert modal. En effet, un modèle simple permettant d'évaluer le pourcentage de personnes changeant de comportement suite à des modifications de réseau et applicable à la zone d'étude manque. Une analyse sommaire à toutefois été faite pour évaluer le transfert modal potentiel suite à la mise en place de bus électriques à la demande.

5.5 EVALUATION DE SYSTEMES DE BUS ELECTRIQUES OU TP A LA DEMANDE

Les analyses menées ont montré qu'en préservant le nombre de chauffeurs et de bus nécessaires à l'exploitation des lignes Gravelone et SUVA de 2019, jusqu'à 35% des déplacements effectués en interne de la zone de desserte pourraient être reportés des TIM vers les bus électriques à la demande. Cependant, il est bien connu que le comportement des utilisateurs et utilisatrices ne dépend pas uniquement d'une offre améliorée. Ainsi, un transfert modal de 25 % pourrait être envisagé de manière plus vraisemblable, pour autant que d'autres mesures soient mises en place, réduisant l'attractivité du centre ville aux voitures individuelles. Un tel transfert modal semble ambitieux, mais toutefois réaliste si l'on considère les enjeux climatiques et les mesures appliquées dans plusieurs grandes villes de Suisse et d'Europe.

L'avantage de cette solution, appliquée aux deux lignes de Gravelone et de la SUVA est que les trajets sont petits. La charge des véhicules pourrait donc être faite principalement la nuit, et en complément en début et fin de parcours, sans impliquer de système smartgrid pour assurer la desserte en électricité. Ces véhicules de 6m impliquent un investissement initial modéré. Ils sont légers, impliquent un temps de charge limité, et un encombrement réduit dans le trafic. De plus, des bus électriques limitent les nuisances sonores et les émissions dans les zones piétonnes ou commerciales.

Les questions de logistique pour la mise en place de ce système restent à être détaillées, telles que le système de commande de bus, les questions de tarification, d'amplitude horaires, etc... La Poste, partenaire de ce projet est en recherche active à ce sujet.

5.6 RÉALISATION DES INTERFACES DE DÉVELOPPEMENT ET DE VISUALISATION GIS

Les deux interfaces (développement et visualisation GIS) ont pu être développées, et un système de transfert de données mis en place. La première interface nécessite l'intervention de personnes connaissant bien le réseau sur lequel des scénarios devraient être testés. L'interface de visualisation GIS permet l'accès aux données à des personnes ne connaissant pas les détails du réseau. Les fonctionnalités de cette deuxième interface ont été développées afin de comparer des scénarios. Actuellement certaines données manquent dans l'interface de développement pour permettre la comparaison, mais les outils sont implémentés.

Ce projet a nécessité un nombre important d'analyses et de recherches. Les outils proposés sont donc encore en cours de développement et ne sont pas directement implantables. Différents aspects à développer pour arriver à cette étape sont présentés à la section suivante.

6. Conclusions et recommandations

6.1 RECOMMANDATIONS

Plusieurs recommandations pour un développement potentiel de l'outil émanent des remarques faites en discussion :

- Concernant les TIM, l'analyse du nombre de personnes par véhicule permettrait de comparer d'une manière plus précise les déplacements TIM et TP. Cette information n'a que peu d'impact sur la charge de trafic, mais elle permettrait d'avoir un niveau de détail similaire que pour l'analyse de la fréquentation des TP. D'autre part, elle permettrait de tester l'efficacité de mesures telles que le covoitage.
- Une autre simplification importante qui mériterait d'être levée est que tous les déplacements sont considérés comme étant des aller-retours depuis le lieu de résidence. Cela impliquerait une meilleure compréhension des raisons de déplacements ainsi que des horaires de fréquentation des attracteurs.
- Quelques développements restent à faire pour intégrer les TP interurbains selon la base des arrivées et départs dans la zone concernée. Cette donnée importante complétera l'outil d'aide à la décision et permettra d'ajuster l'évaluation de la proportion des déplacements en TP et MD, étant donné qu'une partie importante des personnes arrivant en train se déplacera probablement par ces biais dans la ville. Toutefois, cet aspect est partiellement traité pour le cas des deux lignes ayant fait l'objet de l'analyse concernant les bus à la demande.
- Des analyses poussées sur l'utilisation des MD sont nécessaires pour permettre l'implémentation d'un outil considérant les trois modes. Le manque actuel de donnée et la difficulté de représenter les déplacements en MD est un indicateur du manque de considération pour ce mode de transport. Afin de permettre un réel développement de stratégies multimodales, les localités devraient donc évaluer les transports effectués en MD. Ces données permettront par exemple d'évaluer l'impact de la mise en place de voies vertes, comme cela l'a été fait dans plusieurs régions de Suisse.
- De manière similaire aux données MD, les données d'analyse des raisons de transfert modal et du pourcentage de changement de comportement pour les régions de Suisse ne sont pas facilement disponibles. Ainsi, dans un premier temps, de simples estimations pourraient être faites pour comparer des scénarios sur la base de courbes. Par exemple en comptant :
 - i) qu'avec une augmentation de 20% du temps de déplacements en TIM, seuls 5% des personnes en plus prendraient les TP, pour autant que l'offre corresponde aux périodes de déplacement,
 - ii) qu'avec une augmentation de 40% du temps de déplacement en TIM et la diminution du nombre de place de parking au centre-ville, ce chiffre augmenterait à 10%,Ce développement demande une étude plus précise de la littérature sur le transfert modal dans d'autres régions et l'évaluation d'un nombre important de possibilités pour créer des courbes vraisemblables. Cet élément crucial reste à développer pour permettre une comparaison efficace de scénarios implémentés à l'aide des outils développés.
- Le développement de scénarios peut actuellement être fait de manière manuelle. La proposition de scénarios « ready made » pourrait compléter l'outil et faciliter son utilisation des autorités locales. Cependant, plusieurs autres étapes sont nécessaires en amont. D'une part, une fois que les données TIM, TP et MD sont complétées, il s'agira de développer l'équation de transfert modal et d'intégrer les indicateurs numériques pour la comparaison des scénarios (nombre de km parcouru, temps de parcours, coût du déplacement, dépenses énergétiques, émissions CO₂, éventuellement émissions de bruit ou d'autres indicateurs de la qualité de vie).
- Ces étapes permettront d'intégrer l'analyse énergétique initialement prévue pour compléter le projet.

L'implémentation plus détaillée de scénarios dans la zone de Sion serait une première étape pour des développements futurs. En effet, une première étape est réalisée avec l'analyse de la mise en place des bus électriques à la demande. Une fois les outils et fonctionnalités optimisés, l'application de cet outil devrait être testée sur d'autres régions de Suisse. D'autres scénarios pourraient aussi être testés, tels que la modification des horaires des fonctionnaires et des écoles, pour aplatiser le pic de trafic aux heures de pointes.

Plusieurs possibilités se dessinent pour une potentielle suite à ce projet :

- Le complément de l'outil avec l'équipe de base n'est pas possible dû à plusieurs changements de postes. Cependant, une nouvelle équipe pourrait être créée et l'outil développé entre autres

avec l’Institut Informatique de Gestion et le GIS Lab de la HES-SO à Sierre. Une collaboration est déjà en discussion en ce sens avec l’Antenne Région Valais Romand, qui a aussi contribué au présent projet.

6.2 CONCLUSIONS

Malgré les nombreux objectifs ambitieux de ce projet, des données disparates et incomplètes, de nombreuses fonctionnalités ont pu être développées pour faciliter la prise de décision de la part d’autorités locales quant à leur système de mobilité. En effet, l’interface de visualisation met en avant les points problématiques ainsi que les horaires où se concentrent les embouteillages. De plus, la modification des réseaux TP et TIM est facilitée par l’interface d’utilisation.

Au regard des objectifs cités en début de ce rapport, les réalisations suivantes peuvent être présentées :

- La plupart des aspects concernant la mobilité ont pu être représentés. Les données manquantes pour comparer les scénarios et évaluer les impacts énergétiques et environnementaux ont été identifiés.
- Les données utilisées sont toutes des données réelles, ce qui permet de répondre aux questions pratiques des organes de décision locaux,
- Toutes les données et logiciels utilisés sont gratuits afin de faciliter l’utilisation de l’outil pour une base de discussion,
- L’élaboration de scénarios comparables facilitant la prise de décision est possible manuellement. Les données pour l’intégration d’indicateurs mesurables restent à compiler.
- L’évaluation de la mise en place d’un système de bus électriques fonctionnant à la demande est effectuée. Cette solution présente un très grand potentiel d’amélioration pour une petite ville comme Sion, contribuant de manière efficace à la réduction de l’impact énergétique, tout en limitant les investissements financiers et les dépenses d’exploitation.

Certaines fonctionnalités restent à être complétées pour une comparaison facile de différents scénarios.

Ce projet a permis une émulation autour des réflexions concernant la mobilité, l’accessibilité des diverses données et la prise de conscience de certaines problématiques au niveau régional. En effet, le développement de cet outil d’aide à la décision a constitué pendant plus de 2 ans une des activités principales du Mobility Lab. D’autre part, la présentation du projet au Mobility Forum de Verbier a généré beaucoup d’intérêt et permis d’élaborer d’autres synergies possibles autour de la mobilité. Enfin, l’approche multi-agents mise en place pour l’intégration de la visualisation des émissions de CO₂ intéresse de nouveaux partenaires rencontrés lors des présentations des résultats de ce projet au public.

Liste des symboles et abréviations

Liste des illustrations

Figure 1. Représentation graphique de la MOD	10
Figure 2. Carte avec les Origine-Destination de et vers la Ville de Sion, le bloc de gauche présente les couches.....	11
Figure 3. Carte des routes de la zone d'étude (Sion) et le rapport entre la charge de trafic réelle et la capacité théorique pour l'heure choisie (12h).	12
Figure 4. Page d'analyse du trafic sur un tronçon et de comparaison entre deux scénarios.....	12
Figure 5. Diagramme de flux, des processus en jeu et des outils développés.....	16
Figure 6. Définition des types de trajet.....	18
Figure 7. Fonctionnement de la roue de la fortune, mise en place pour le tirage des trajets (avec remise) mis en place pour le modèle gravitationnel.....	20
Figure 8. Interface de l'outil de développement, quant au choix des paramètres de l'algorithme de Dijkstra.....	20
Figure 9. Interface de l'outil de développement, montrant les chemins possibles lors de l'application de l'algorithme de Dijkstra.....	21
Figure 10. Représentation de la matrice de sensibilité.....	22
Figure 11. Zone d'étude simplifiée comportant deux interfaces d'entrée et quatre comptages routiers.	23
Figure 12. Distributions des répartitions suivant les trois motifs considérés (Travail, Loisirs, Commerce).	24
Figure 13. Activité routière et ajustement selon les profils donnés par l'utilisateur.	25
Figure 14. Ligne Gare-Gravelone.....	28
Figure 15. Aperçu extérieur des bus proposés pour remplir la tâche de bus à la demande	29
Figure 16. Aperçu intérieur des bus proposés comme bus à la demande	29
Figure 17: Définition des zones d'intérêt avec l'outil développé	30
Figure 18. Distribution des distances entre le lieu de résidence, d'emploi et les arrêts de bus les plus proches.....	32
Figure 19. Représentation de la densité des emplois et des résidents de la région étudiée.	34
Figure 20. Interface d'utilisation de l'outil qui permet de définir les zones hectare par hectare- exemple de Sion.	34
Figure 21. Répartition des motifs de déplacement selon l'OFS [2].....	35
Figure 22. Interface d'utilisation du logiciel montrant la position des arrêts de bus des parkings, ainsi que la position des attracteurs.	36
Figure 23. Profil de l'activité TIM pour trois jours type (lundi-vendredi ; samedi ; dimanche).....	37
Figure 24. Fréquentation des Transports publics (TP) pour les 19 lignes analysées pour l'année 2018.	38
Figure 25. Diagramme du processus 2TUP [9].....	39
Figure 26. Mockup - Gestion des scénarios/versions	41
Figure 27. Mockup - Visualisation de la carte et des filtres/couches	41
Figure 28. Mockup - Comparaison de scénarios et/ou versions.....	42
Figure 29. Architecture logicielle	43
Figure 30. Processus d'intégration continue [8]	45
Figure 31. Visualisation du rapport de la charge à 7h par rapport à la charge nominale des routes... ..	47

Figure 32. Visualisation du rapport de la charge à 8h par rapport à la charge nominale des routes ...	47
Figure 33. Efficience du système de comptage. Le chiffre mis en ordonnée correspond au nombre de fois que le trajet en question est détecté par le système de comptage.	48
Figure 34. Distribution des détections des compteurs pour un trafic interne.....	49
Figure 35. Distribution des coefficients de corrélation entre l'activité routière et la détection des comptages routiers.....	49
Figure 36. Diagramme de Venne des besoins, des flottes de véhicules, des lignes et des horaires...	50
Figure 37. Ligne de bus, arrêts de bus et réseau routier.....	51
Figure 38. Distributions des trajets internes suivant leur mode probable.	52
Figure 39. Fonction utilisateur pour estimation de la durée de parcours sur un tronçon de route.	53
Figure 40. Plot de corrélation pour les comptages routiers mesurés et modélisés.	56
Figure 41. Rapport Ri pour tous les comptages routiers	56
Figure 42. Représentation de la MOD.	57
Figure 43. Distribution des vitesses pour les trajets externes.....	58
Figure 44. Comparatifs des diverses efficiencies énergétiques selon le mode de déplacement.....	60
Figure 45: Activité horaire sur les deux lignes TP analysées.	60
Figure 46. Matrice O/D zone déserte bus électrique à la demande.....	61
Figure 47. Trajets internes ayant leur origine et leur destination dans la zone d'intérêt (l'algorithme Dijkstra optimise la durée des déplacements).	62
Figure 48. Trajets internes ayant leur origine et leur destination dans la zone d'intérêt (l'algorithme Dijkstra optimise la distance des déplacements).	62
Figure 49 : Distribution de distance des trajets (rouge: optimisation selon distance minimale; bleu: optimisation selon la durée du trajet minimale).....	63
Figure 50: Surface de réponse du nombre de bus à la demande à engager en fonction de taux de remplissage des bus et de la vitesse moyenne.	66
Figure 51. La carte principale.....	70
Figure 52. La carte avec les POI pour les arrêts de bus de la Ville de Sion.....	71
Figure 53. La carte avec L'Origine-Destination de la Ville de Sion.....	71
Figure 54. La carte avec la Densité de la Ville de Sion	72
Figure 55. La carte avec la Route de la Ville de Sion	72
Figure 56. Les options de la couche Route.....	72
Figure 57. Panneau avec les informations de la route sélectionnée	73
Figure 58: Page de comparaison de scénarios.....	73
Figure 59. La carte avec les Radars	74
Figure 60. Comparaison entre deux scénarios de développement de population.....	74
Figure 61. Liste des scénarios	75
Figure 62. Liste des scénarios et ses versions	75
Figure 63. Créer une version à partir d'un scénario.....	75
Figure 64: Interface du système multi-agents Netlogo	76
Figure 65: Importer un Geotiff ou Geojson.....	76
Figure 66: Visualisation d'une couche CO2 importée par l'utilisateur sur la carte.....	77
Figure 67. Release Roadmap finale.....	89
Figure 68: Vélocité	89

Figure 69. Mockup - Liste des scénarios	115
Figure 70. Mockup - Gestion des scénarios 1.....	115
Figure 71. Mockup - Gestion des scénarios 2.....	116
Figure 72. Mockup - Gestion des versions.....	116
Figure 73. Mockup - Crédit d'une version	117
Figure 74. Mockup - Affichage GIS selon les couches choisies	117
Figure 75. Mockup - Comparaison entre scénarios/versions.....	118

Liste des équations

Équation 1. Dimension du vecteur de comptage horaire.....	18
Équation 2. Probabilité d'un trajet selon le modèle attractif gravitationnel.	19
Équation 3. Probabilité d'un trajet selon le modèle simplifié. Le modèle simplifié ne tient pas compte de la distance entre l'origine et la destination.	19
Équation 4: Relation entre la matrice de sensibilité et le comptage routier.....	22
Équation 5. Relation entre la matrice de sensibilité et les comptages routiers horaires.....	23
Equation 6. Expression du résidu à minimiser.....	23
Équation 7. Ajustement des motifs de déplacements	24
Équation 8. Sensibilité horaire.....	26
Équation 9. Profil horaire	36
Équation 10. Définition de la répartition modale entre TP et TIM.	51
Équation 11 : Rapport pour le compteur i entre la valeur de modélisée et la valeur mesurée	56
Équation 12: Rapport pour le compteur i entre la valeur modélisée et la valeur mesurée	56
Équation 13: Durée de déplacement des minibus à la demande durant la journée.	65
Équation 14: Durée de déplacement des minibus à la demande durant l'heure h.	65
Équation 15: Nombre de trajets pris en charge par les bus à la demande.....	66

Liste des tableaux

Tableau 1. Type de données analysées, avec leur source et les fonctionnalités développées pour les représenter.	9
Tableau 2. Relation en le type de trajet (ZONE), le sens du trajet avec son interprétation.....	18
Tableau 3. Description des composantes du vecteur x^*	18
Tableau 4 - Relation entre les motifs de déplacement les émetteurs et les attracteurs.....	19
Tableau 5. Evaluation de la proportion de trafic avec son incertitude.	24
Tableau 6. Profils horaires suivant le motif de déplacement et estimation des proportions par un ajustement sur l'activité routière.....	25
Tableau 7. Répartition des motifs selon les motifs de déplacement.....	25
Tableau 8. Matrice de sensibilité selon motif de déplacement.	26
Tableau 9: kWh par voyageur au km suivant le mode de transport.....	27
Tableau 10. Performance des bus proposés pour assurer la tâche de « bus à la demande » [13]	29
Tableau 11. Regroupement logique des données intégrées à l'interface de développement.	31
Tableau 12. Distance à vol d'oiseau entre les attracteurs et les arrêts de bus.	33
Tableau 13 - Résidents et emplois.....	33

Tableau 14 - Activité TIM et TP en fonction des jours de la semaine.....	35
Tableau 15. Liste des fonctionnalités.....	40
Tableau 16 - Efficience du système de comptage routier selon le type de trajet	48
Tableau 17 - Moyennes des coefficients de corrélation.....	50
Tableau 18. Répartition modale entre TP et TIM	51
Tableau 19. Moyennes des distances des trajets internes suivant leur mode probable.	52
Tableau 20. Résultats de l'optimisation.....	54
Tableau 21. Statistique des trajets et des comptages routiers, résultats de l'optimisation.....	55
Tableau 22. Distances et durées des trajets internes et externes.....	57
Tableau 23. Distance et durée journalières en TIM	58
Tableau 24 : Résultats de l'analyse des deux lignes TP.....	59
Tableau 25. Résultats de l'analyse des relevés de fréquentation des bus sur deux lignes internes de la ville de Sion.	59
Tableau 26 : Distances médianes et moyennes selon les paramètres du router Dijkstra	63
Tableau 27: Définition des variables permettant d'évaluer les implications de l'introduction de minibus à la demande.....	64
Tableau 28: Variables utilisées pour l'évaluation du nombre de trajets pris en charge par les minibus à la demande.....	67
Tableau 29: Résumé des valeurs définissant le service offert aux usagers des bus à la demande, avec estimation énergétique	68
Tableau 30: Résumé de l'amélioration énergétique avec un transfert modal de 25% des TIM vers des bus électriques à la demande	68

Abréviations

GIS/SIG	Système d'information géographique
TIM	Transport Individuel Motorisé
MD	Mode Doux
TP	Transports publics
CO2	Formule chimique du dioxyde de carbone
MOD	Matrice Origine-Destination
OFS	Office Fédéral des Statistiques
SDM.....	Service de la Mobilité
OSM	OpenStreetMap
AVS	Assurance-vieillesse et survivants
CR	Comptages Routiers
VP	Véhicules Publics
OD	Origine-Destination
API.....	Interface de Programmation Applicative
ORM	Mapping Objet-Relationnel
GPL	General Public Licence
NEDC	New European Driving Cycle

Références

- [1] H. Raak: *Die 1-kW-SOFC-Brennstoffzelle zur Strom- und Wärmeerzeugung im Haushalt*, gwf – Gas Erdgas, 141, Volume 10, Pages 716 – 720, 2000.
- [2] *La mobilité en Suisse Résultats du microrecensement mobilité et transport 2010*
- [3] map.geo.admin.ch & www.bfs.admin.ch
- [4] www.openstreetmap.org
- [5] fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_de_Monte-Carlo
- [6] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Gravitation>
- [7] https://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme_de_Dijkstra
- [8] <https://medium.com/@lebridge/int%C3%A9gration-continue-avec-jenkins-e2ad29e071e2>

- [9] https://www.iwra.org/member/congress/resource/abs580_article.pdf
- [10] <https://ev-database.org>
- [11] Bruno Abgottspor, chef du SNC, Agenda 2030
- [12] <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- [13] <https://www.karsan.com/en/jest-electric-specs>

Annexes

7.1 PLANIFICATION DES DÉLIVRABLES SCRUM

Dans la Figure 67 , il est possible de voir les itérations (sprints) et suivre l'évolution des story points (unité d'effort de développement par fonctionnalité) réalisés.

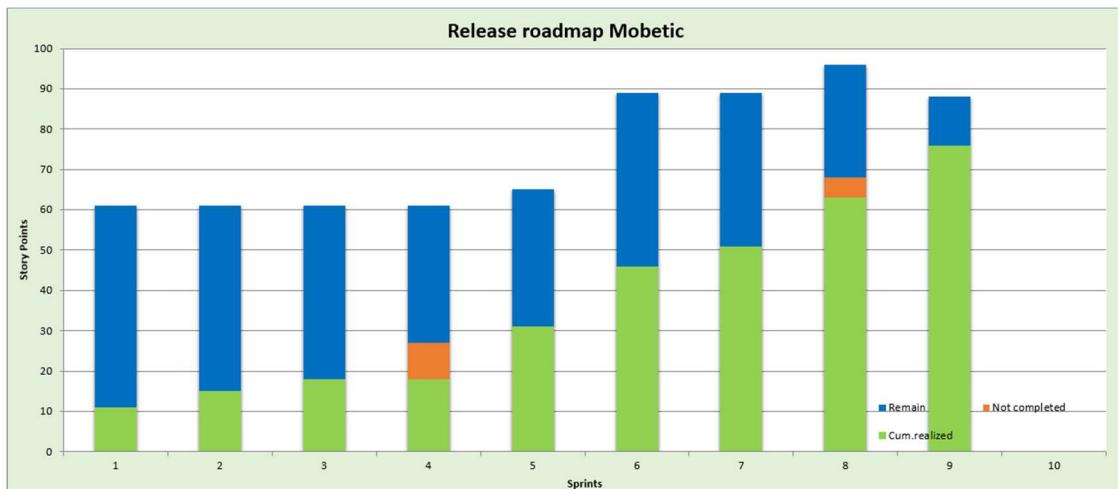


Figure 67. Release Roadmap finale

C'est avec la Figure 68 que nous pouvons connaitre la vélocité de l'équipe de développement avec le nombre de story points complétés par sprint.

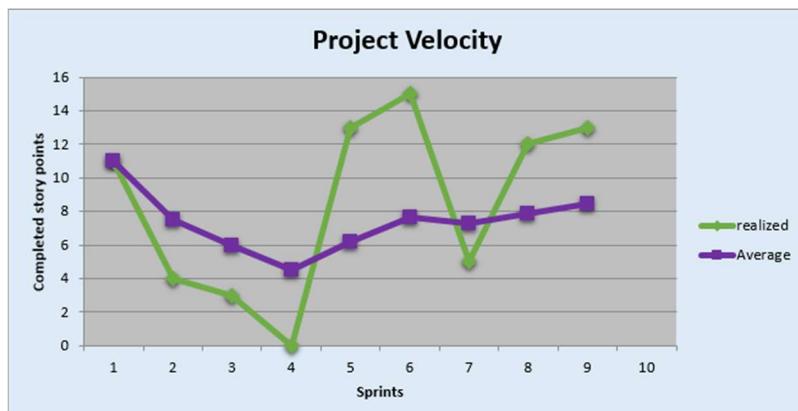


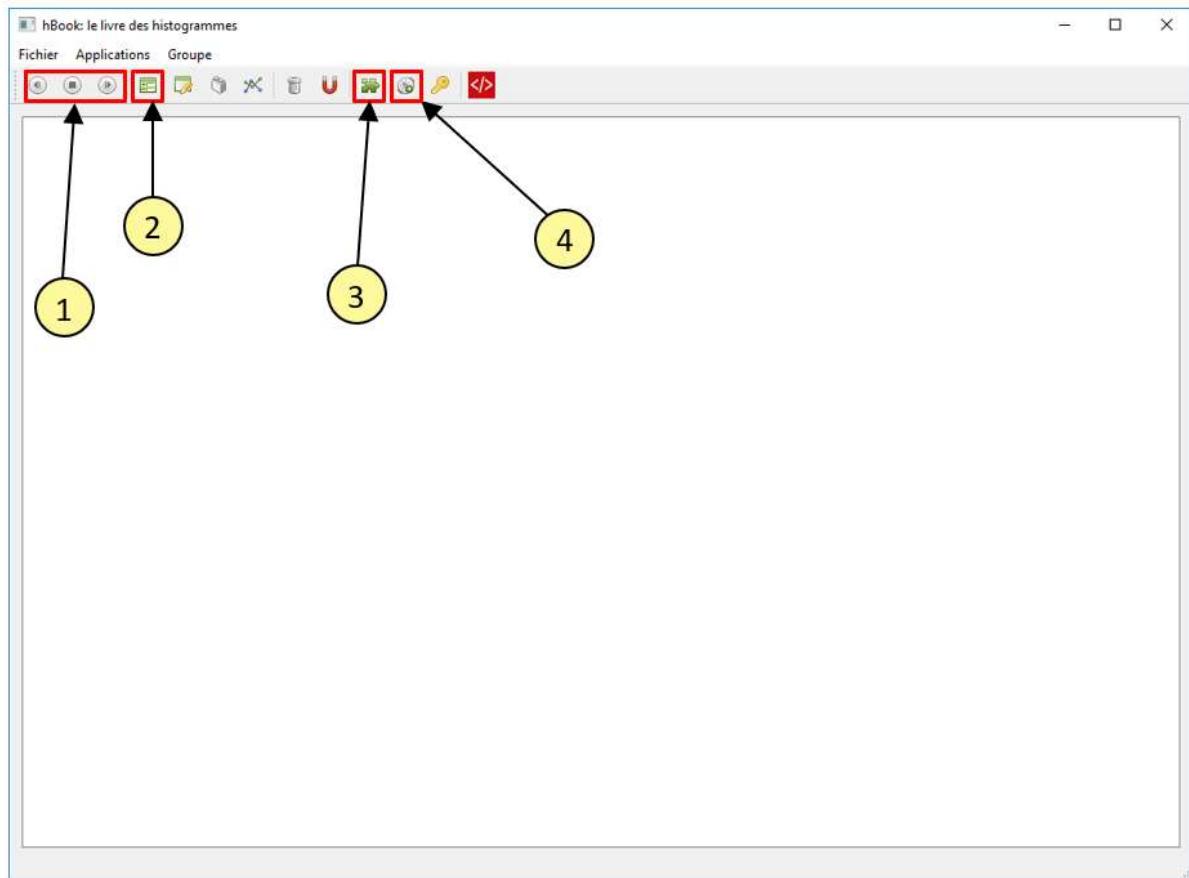
Figure 68: Vélocité

7.2 MODE D'EMPLOI DE L'OUTIL DE DÉVELOPPEMENT

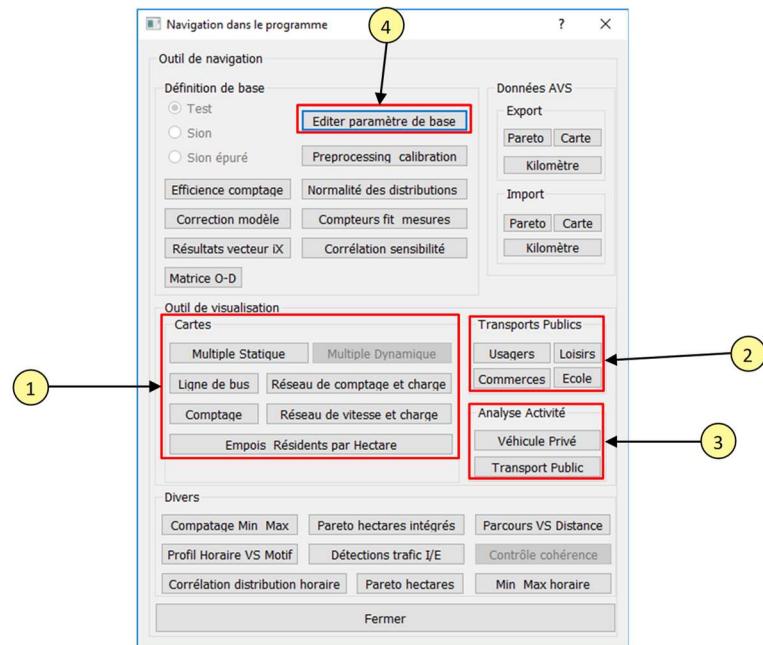
1. Menu

Les fonctionnalités sont présentées dans le menu comme suit :

1. Navigation dans les graphiques
2. Gestion des graphiques
3. Test et développement en cours
4. Navigation et Programme



1.1 Navigation et Programme



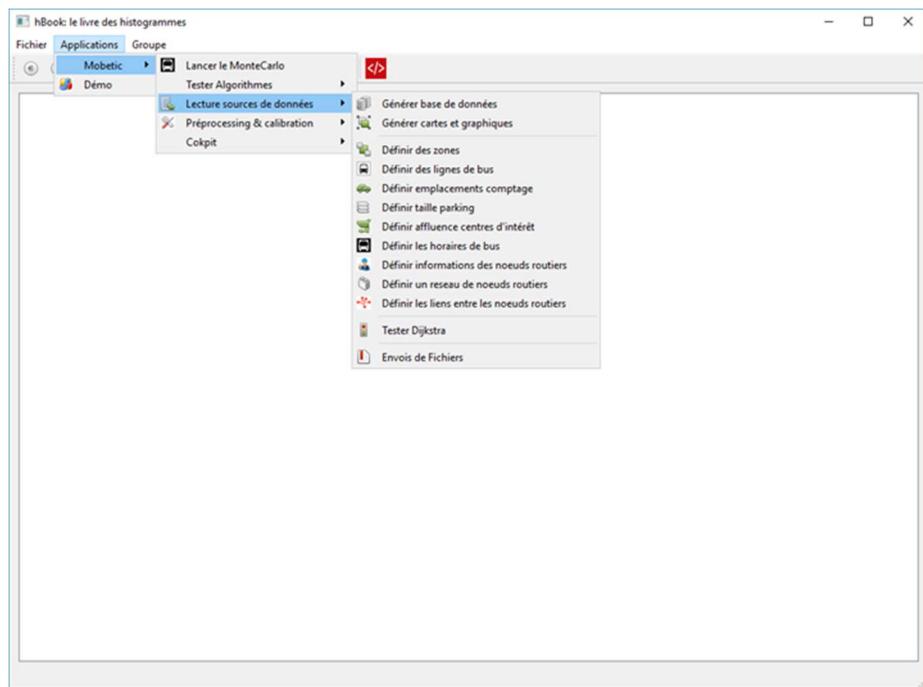
1. Cliquer sur la carte à afficher.
2. Cliquer sur le motif pour les transports public à afficher.
3. Cliquer sur le type d'activité routière à afficher.
4. Cliquer sur « Editer paramètre de base » pour éditer des paramètres du scénario. L'interface suivant apparaît :

1 Choisir le réseau

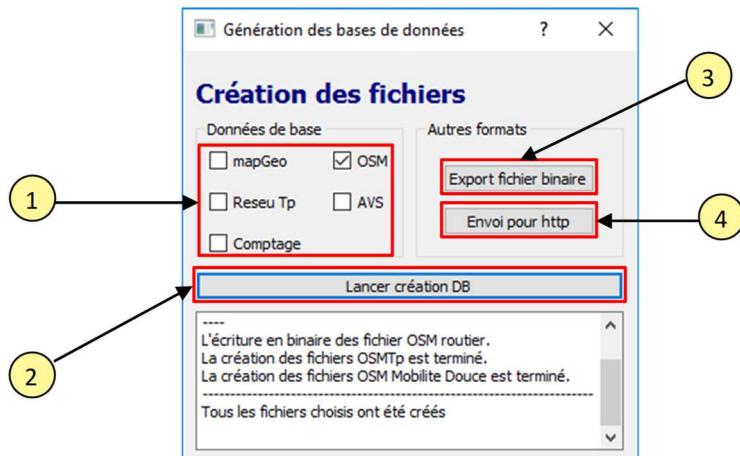
2 Rentrer les paramètres souhaités pour le scénario

3 Choisir les paramètres d'optimisation pour le préprocessing

1.2 Lecture source de données



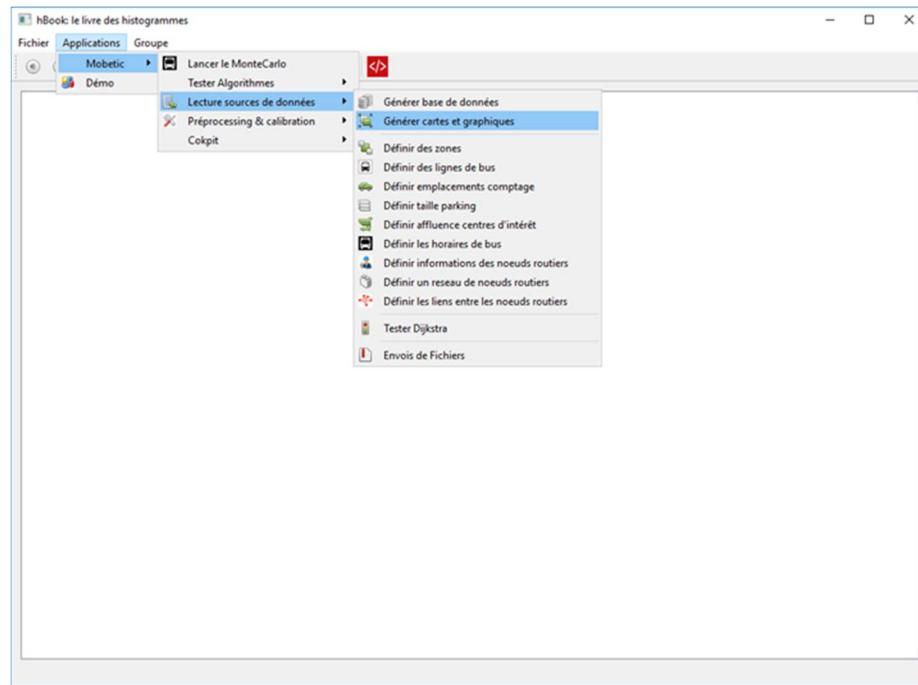
Une fenêtre avec une interface pour créer des fichiers apparaît.



1. Choisir les fichiers à créer.
2. Cliquer sur « **Lancer création DB** » une fois que les fichiers ont été choisis pour lancer la création.
3. Cliquer sur « **Export fichier binaire** » pour exporter les fichiers au format binaire.
4. Cliquer sur « **Envoi pour http** » pour envoyer les fichiers aux formats http pour affichage.
(N'est plus utiliser)

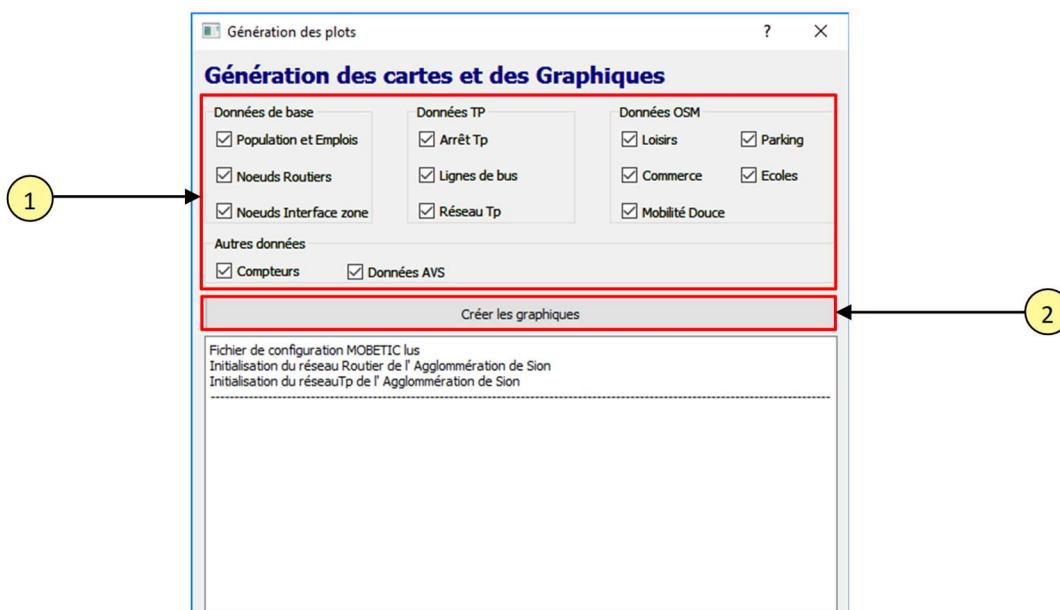
Les fichiers créés sont stockés dans un dossier. Cette opération est à réaliser uniquement lorsqu'il y a une modification de la zone ou du scénario. L'envoi par http n'est plus utile car le site est passé en https et l'envoi de fichier se fait par l'interface « **Envois de Fichiers** ». (Voir 1.13)

1.3 Générer carte graphique



Une fenêtre avec une interface pour créer les plots apparaît.

1. Choisir les cartes à afficher. Chaque élément à cocher est représenté sur une carte différente avec un numéro id de plot unique.

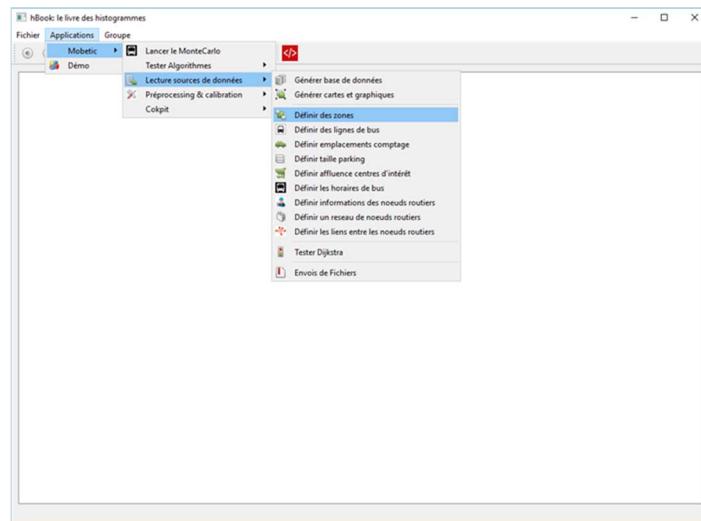


2. Cliquer sur « **Créer les graphiques** » pour lancer la création des plots.

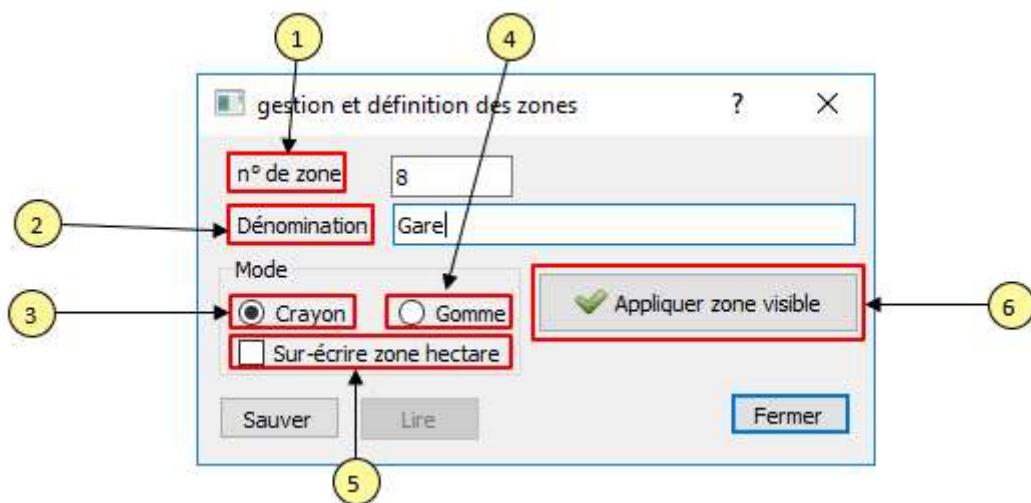
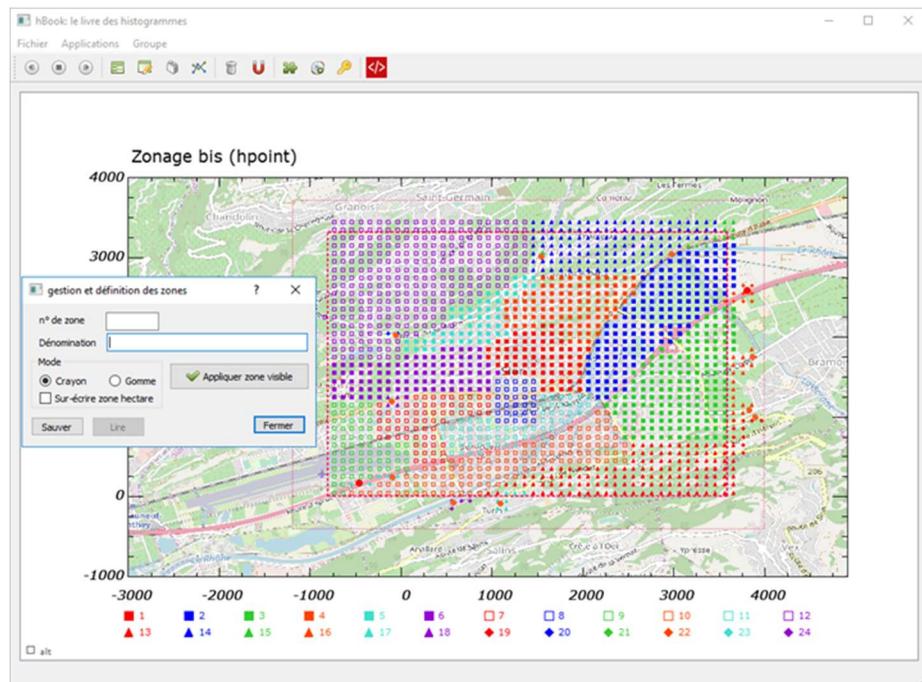
Quand tous les graphiques choisis ont été créés, un message apparaît dans la console.

Pour naviguer entre les graphiques, il faut utiliser les flèches du menu principal. (Voir 1.1)

1.4 Définir des zones



Une fenêtre avec la carte de la ville apparaît. Elle contient une interface pour définir les zones.



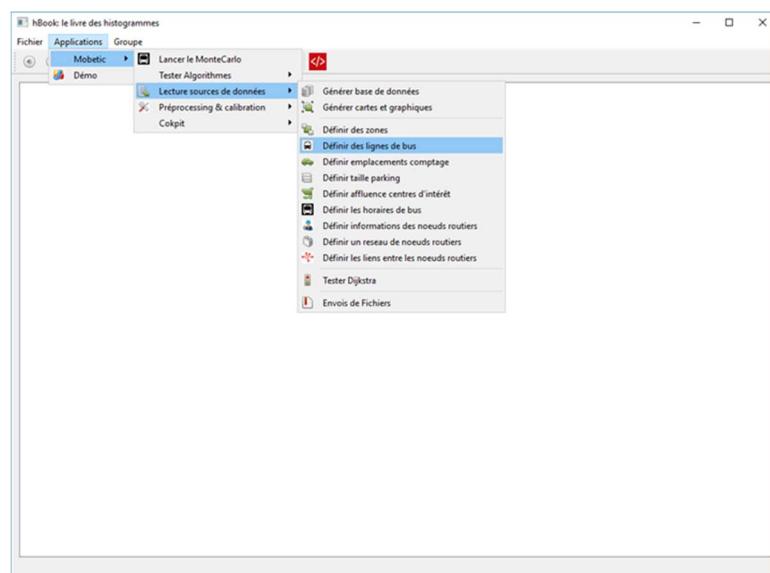
1. Choisir le n° de la zone

2. Choisir le nom de la zone
 3. Choisir le mode crayon pour « Colorer » l'hectare
 4. Choisir le mode gomme pour « Effacer » l'hectare
 5. Cocher la case pour « **Colorer** » un hectare qui a déjà une zone assignée.
 6. Cliquer sur « **Appliquer zone visible** » pour voir les zones dessinées.

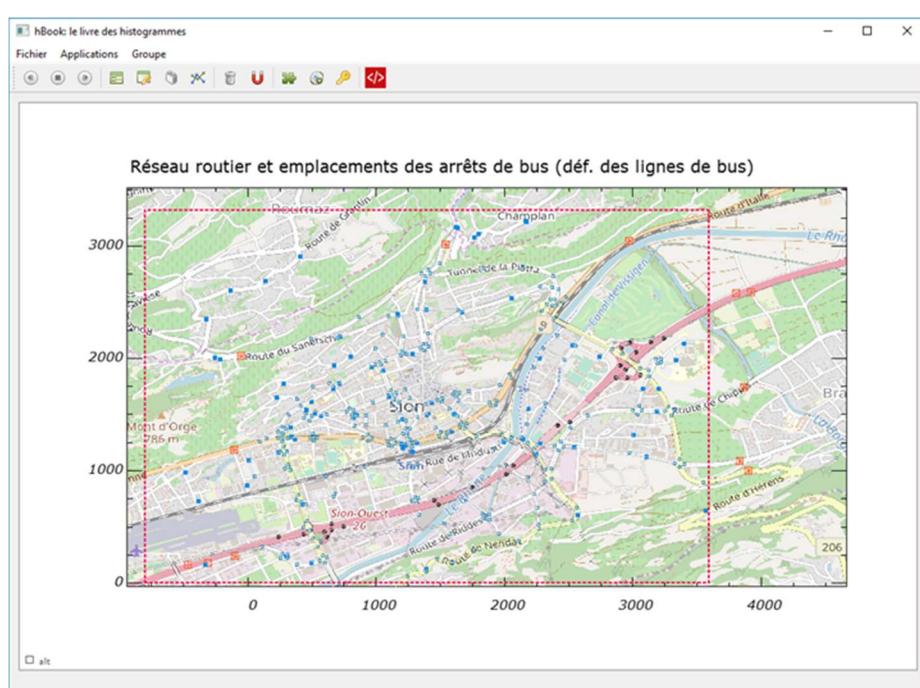
Une fois que les champs sont remplis, il suffit de cliquer sur les hectares qui doivent être dans la zone.

Dès que toutes les cases souhaitées ont été sélectionnées, il faut cliquer sur « **Sauver** » pour enregistrer les données dans un fichier.

1.5 Définir des lignes de bus

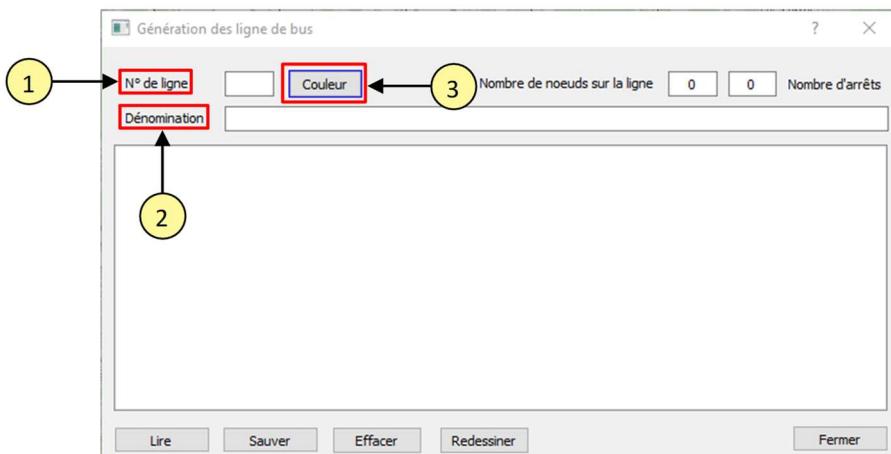


Une fenêtre avec la carte de la région qui contient les nœuds routiers ainsi que les arrêts de bus apparaît.



Les carrés bleus représentent les arrêts de bus. Le réseau routier est représenté par les cercles bleus qui sont reliés entre eux.

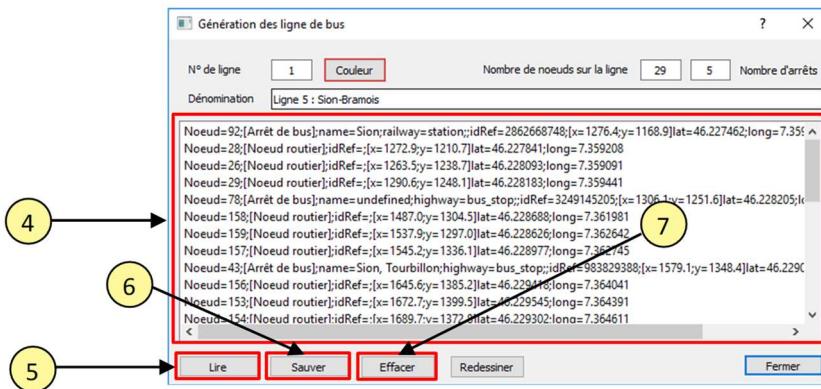
A noter qu'il n'y a aucun lien entre le réseau routier et les arrêts de bus. C'est à l'utilisateur de faire le lien en dessinant les lignes de bus à l'aide de l'interface suivant qui apparaît en cliquant sur « Alt » et un arrêt de bus pour commencer la ligne ou un **nœud E/I** (Voir 1.11) si le bus arrive de l'extérieur de la zone.



1. Choisir le numéro de la ligne de bus à dessiner. (Aller et Retour = 2 numéros différents)
2. Choisir le nom de la ligne de bus à dessiner. (Aller et Retour = 2 lignes différentes)
3. Choisir une couleur pour le visuel de la ligne sur la carte

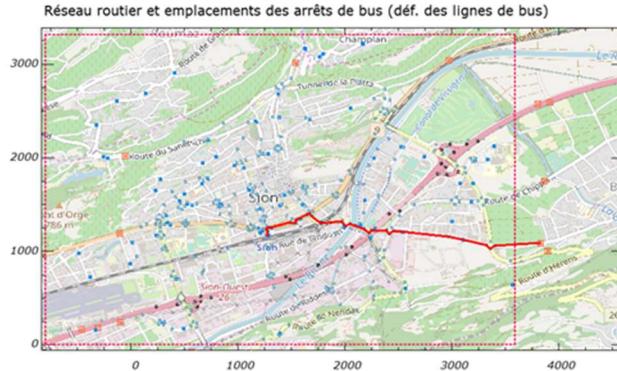
Ensuite, il faut dessiner la ligne de bus en dessinant le parcours qu'il va faire en passant par les nœuds routier et les arrêts de bus.

- Si un bus arrive depuis l'extérieur de la zone, il faut commencer par un nœud entrant. (Voir 1.11)
- Si un bus finit son trajet hors de la zone, il faut terminer par un nœud sortant. (Voir 1.11)



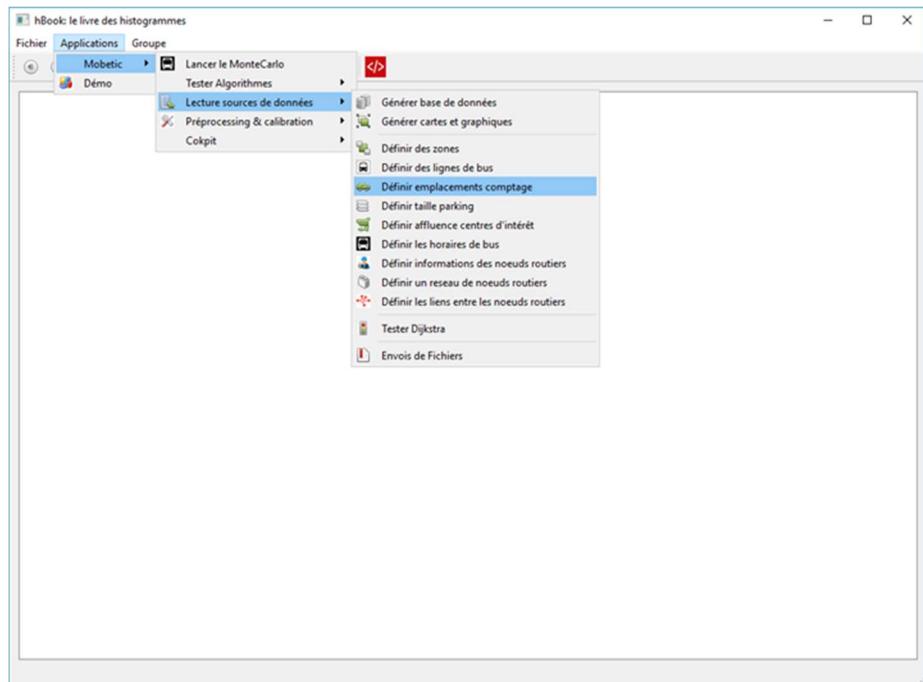
4. Liste des nœuds routiers et des arrêts de bus qui constituent la ligne dessiné.
5. Cliquer sur « **Lire** » pour lire les fichiers de lignes déjà existants. Il suffit de mettre le bon numéro de Ligne dans la case du point N° 1. Cliquer sur « **Effacer** » pour enlever un nœud dans la liste et un lien sur la carte. Attention, si le nœud du milieu est effacé, le lien se fait automatiquement avec le suivant. Il n'est pas possible d'ajouter un nœud au milieu de la liste.
6. Cliquer sur « **Redessiner** » pour mettre à jour la ligne en cours s'il y a eu une modification de nœud ou de couleur de ligne.

Voici un exemple de ligne dessinée. Elle part de la gare de Sion jusqu'à Bramois. Comme la destination Bramois se trouve hors de la zone, il faut aller jusqu'au nœud sortant qui se trouve sur le chemin pour aller à Bramois.

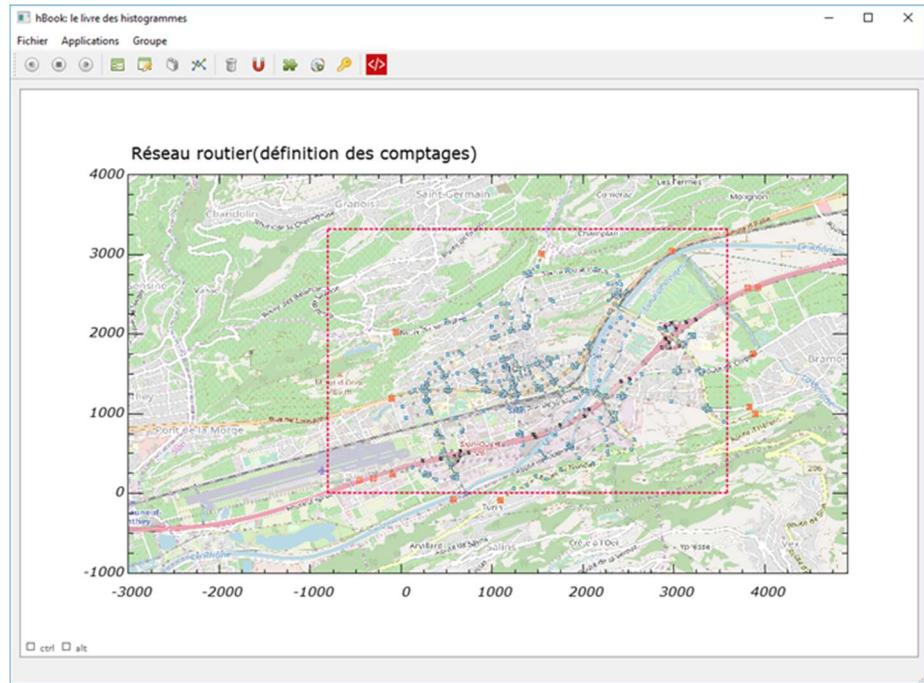


Pour la ligne « inverse » Bramois-Sion, il faut partir du Nœud entrant direction Sion depuis Bramois et aller jusqu'à la gare en utilisant les arrêts de bus qui se trouve du bon côté.

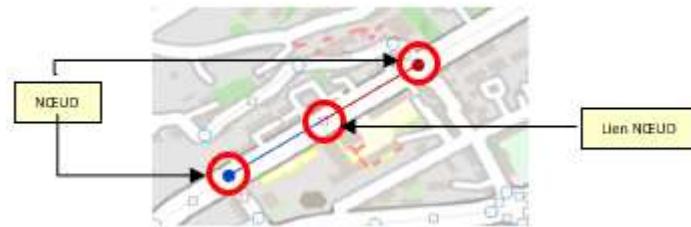
1.6 Définir emplacements comptage



Une fenêtre avec la carte de la ville apparaît. Elle contient le réseau routier nécessaire pour placer les compteurs.

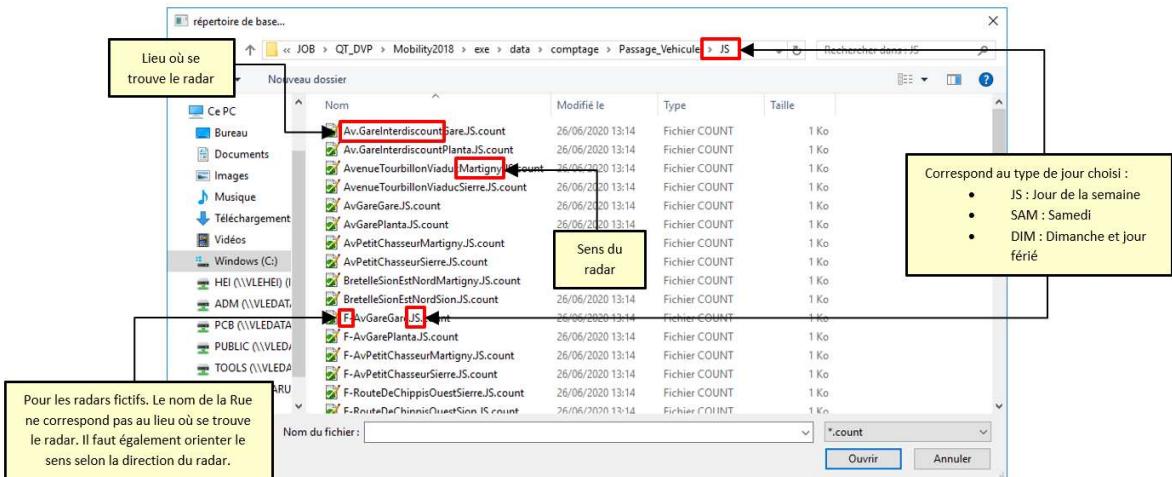


Un compteur se place sur un tronçon entre deux nœuds sur le petit carré qui est le lien NŒUD.



Pour placer ou modifier un compteur, appuyer sur la touche « Alt » et cliquer sur le Lien Nœud où le radar doit être placé ou modifié. Dès lors une petite fenêtre « **Gestion des compteurs** » s'affiche.

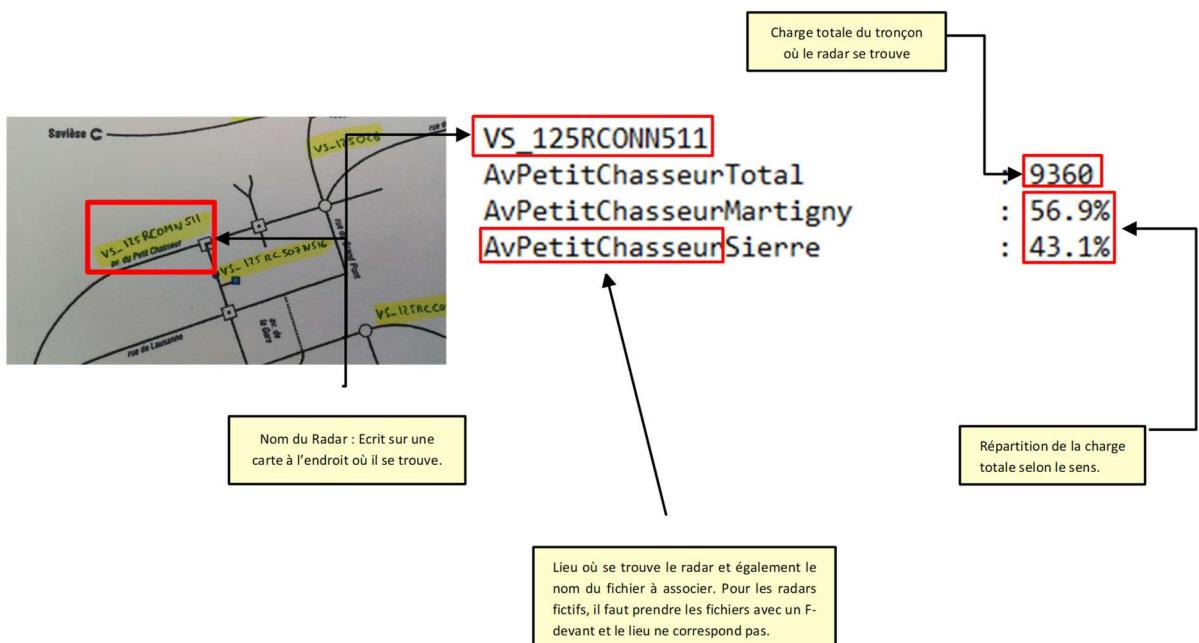
1. Choisir le type de jour pour lequel le fichier de comptage doit être pris en compte. Possibilité de faire pour les trois types de jours avant de sauvegarder.
2. Choisir la charge de véhicule total (dans les 2 sens) pour le tronçon de route où se trouve le radar. Pour chaque type de jour la valeur de charge de véhicules change. (La valeur de charge total se trouve en Annexe)
3. Cliquer sur l'icône avec les 3 points pour aller chercher le fichier de comptage.



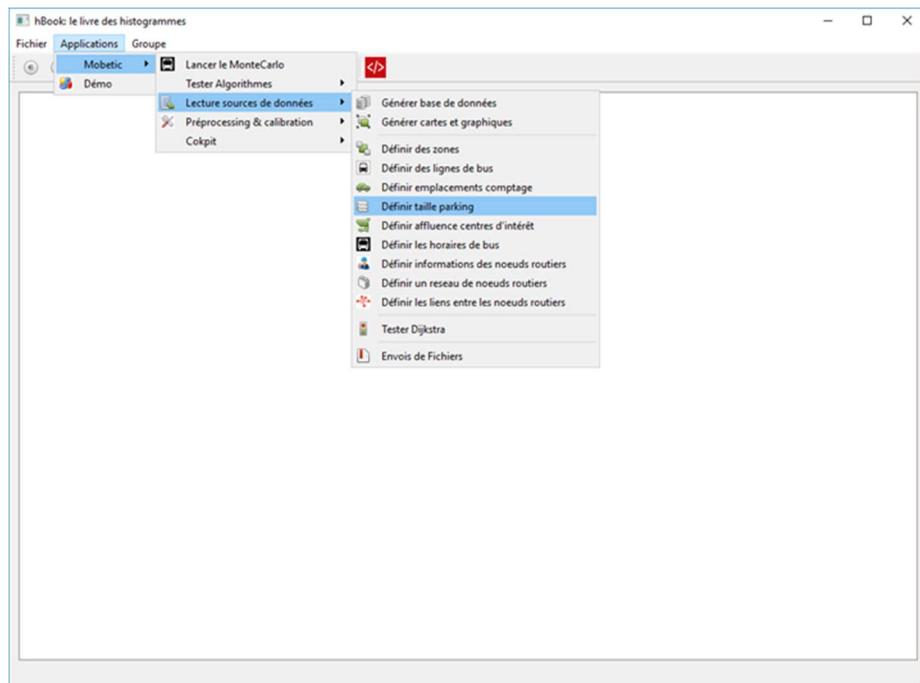
1. Régler le curseur pour la répartition de la charge entre les deux sens. Le pourcentage est affiché au-dessus du sens correspondant.
2. Cliquer sur « Effacer » pour enlever un radar déjà existant.
3. La rue où se trouve le radar est affiché automatiquement
4. Les numéros de nœuds des radars sont affichés automatiquement

Les informations pour placer les radars avec les bons fichiers et les bonnes valeurs de charge et de pourcentages se trouvent en annexe.

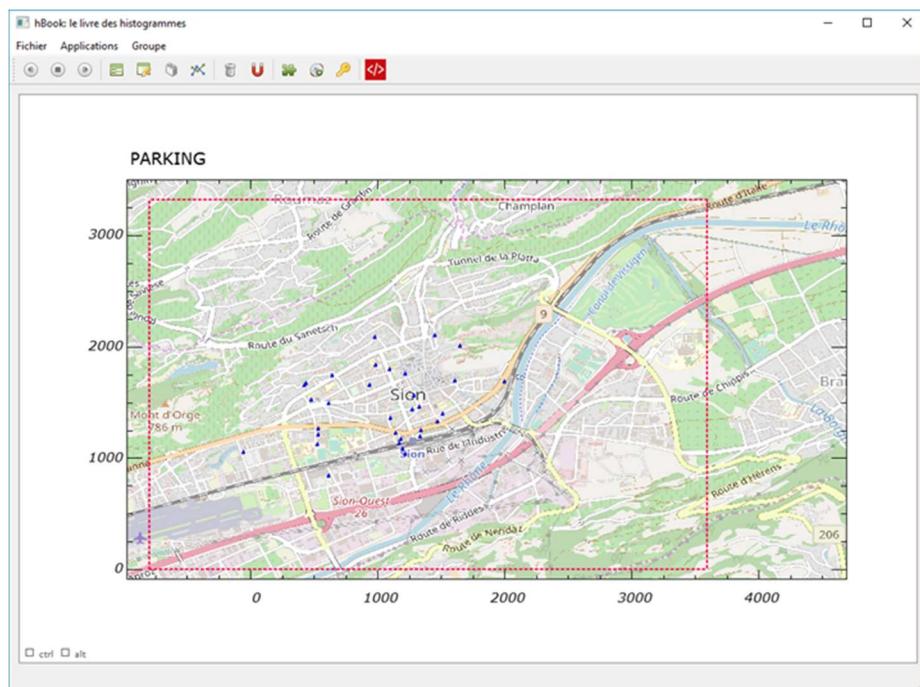
Pour la charge et la part selon le sens :



1.7 Définir taille parking



Une fenêtre avec la carte de la zone apparaît. Les parkings sont indiqués par un triangle bleu.



Pour ajouter ou modifier un parking, il faut appuyer sur la touche « Alt » et cliquer avec la souris à l'endroit où le nouveau parking doit apparaître ou l'ancien doit être modifié. Dès lors une petite fenêtre « Gestion des Parkings » s'affiche.



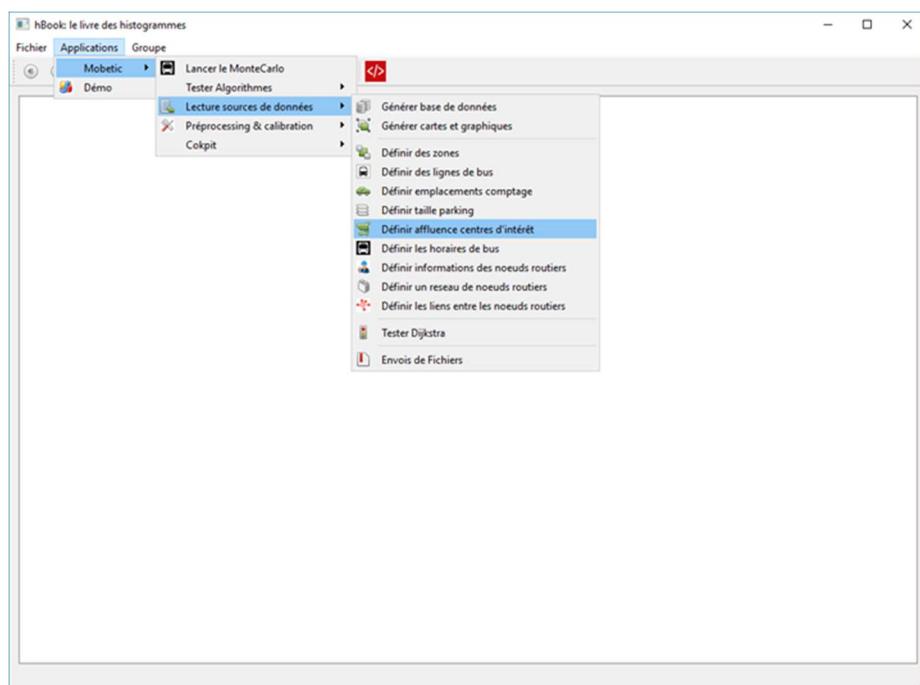
1. Rentrer le nom du parking
2. Rentrer le nombre de place public disponible
3. Rentrer le prix de l'heure fixe pour le parking
4. Cliquer sur « **Nouveau** » pour ajouter un nouveau parking
5. Cliquer sur « **Effacer** » pour supprimer un parking existant
6. Numéro du parking mis à jour automatiquement

Pour ajouter un nouveau parking, il faut appuyer sur la touche « **Alt** » et cliquer sur la carte à l'endroit où doit se trouver le nouveau parking. Une fenêtre « **Gestion des parkings** » va apparaître. Il faut cliquer sur « **Nouveau** » puis rentrer les données du parking.

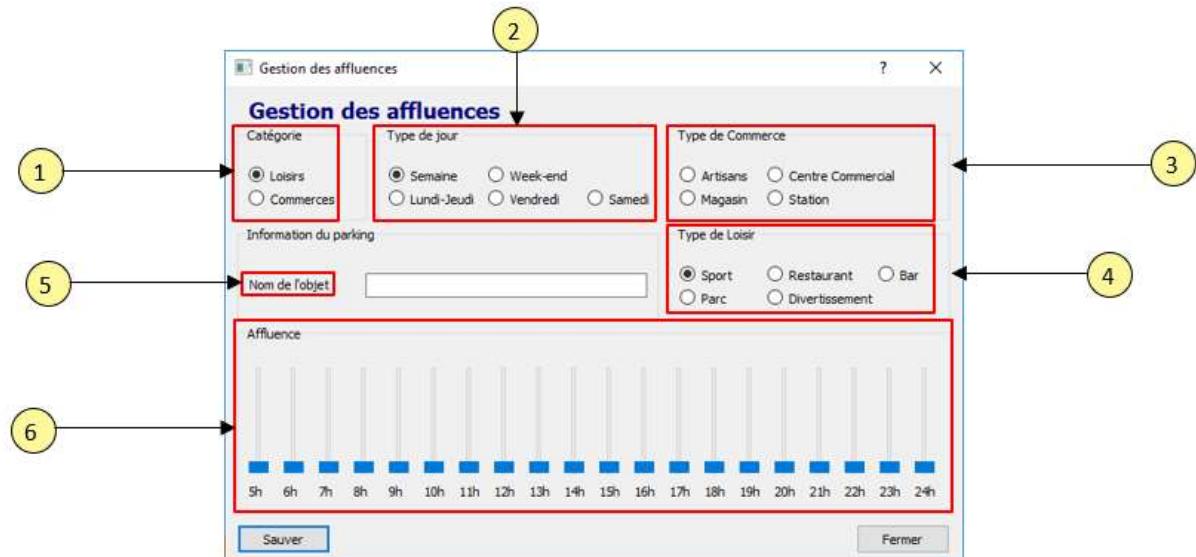
Quand les données sont rentrées, il faut cliquer sur « **Sauver** » pour enregistrer l'ajout du nouveau parking.

Pour modifier un parking existant, il faut appuyer la touche « **Alt** » et cliquer sur le parking à modifier. Les données du parking apparaissent dans la fenêtre de « **Gestion des parkings** ». Après avoir modifié, il faut cliquer sur « **Sauver** » pour enregistrer les données.

1.8 Définir affluence centres d'intérêt



Une fenêtre avec la carte de la ville apparaît. Elle contient une interface pour définir des points d'attractions avec leur affluence.

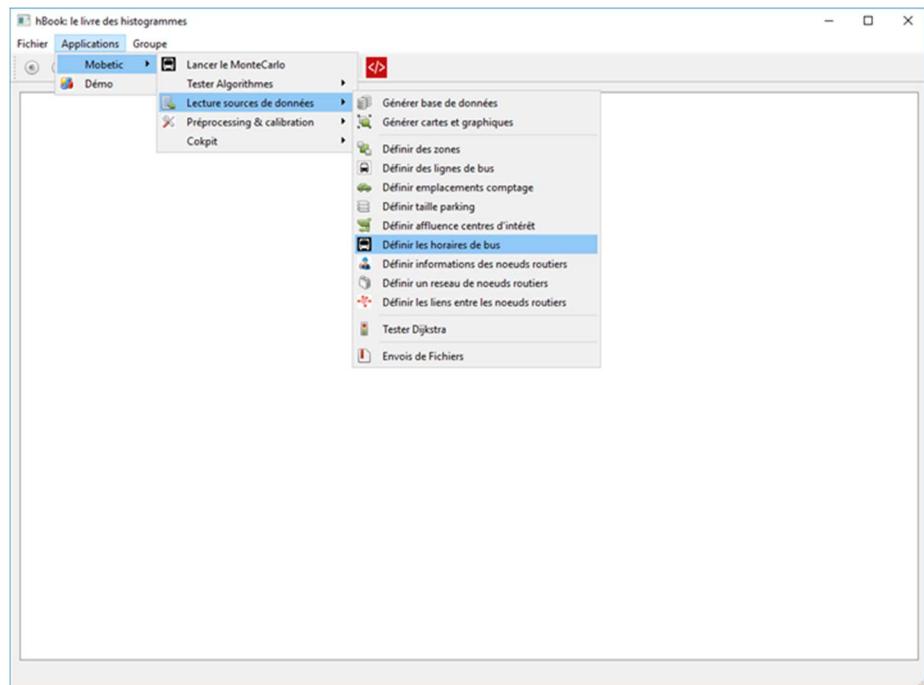


1. Choisir le type d'attraction.
2. Choisir le type de jour pour l'affluence. (L'affluence change en fonction du jour)
3. Choisir le type de commerce si la catégorie choisie en 1 est « Commerces ».
4. Choisir le type de loisir si la catégorie choisie en 1 est « Loisirs ».
5. Choisir le nom de l'établissement.
6. Définir l'affluence par heure à partir du total de la fréquentation de l'établissement. L'idée est de faire comme pour retrouver l'horaire d'affluence sur Google Maps.



Cette idée a été mis en stand-by car il fallait avoir les informations de fréquentation.

1.9 Définir les horaires de bus



Une fenêtre avec une interface pour créer les horaires apparaît.

The image contains two side-by-side screenshots of the "Generation des horaires TP" dialog box.

Left Screenshot (Step 1):

- The title bar says "Generation des horaires TP".
- The "Choix Ligne" section has a dropdown labeled "Choix de la ligne" with a yellow circle labeled "1" next to it. An arrow points from this circle to the dropdown.
- The dropdown list shows five bus lines: "Ligne 1 : Châteauneuf", "Ligne 2 : Vissign-Hôpital", "Ligne 3 : Graveline", "Ligne 4 : Platta-Urvier", and "Ligne 5 : Champrec - Bramois".
- The "Choix du Bus" section is empty.
- A "Calcul de l'horaire de Bus" table is below, with columns: Arrêt de départ, Heure de, Arrêt d'arrivé, Heure a, Nb noeuds, Distance [m], Durée [se]. It has 11 rows numbered 1 to 11.
- Buttons at the bottom: "Sauver", "Nouvel horaire", and "Fermer".

Right Screenshot (Step 2):

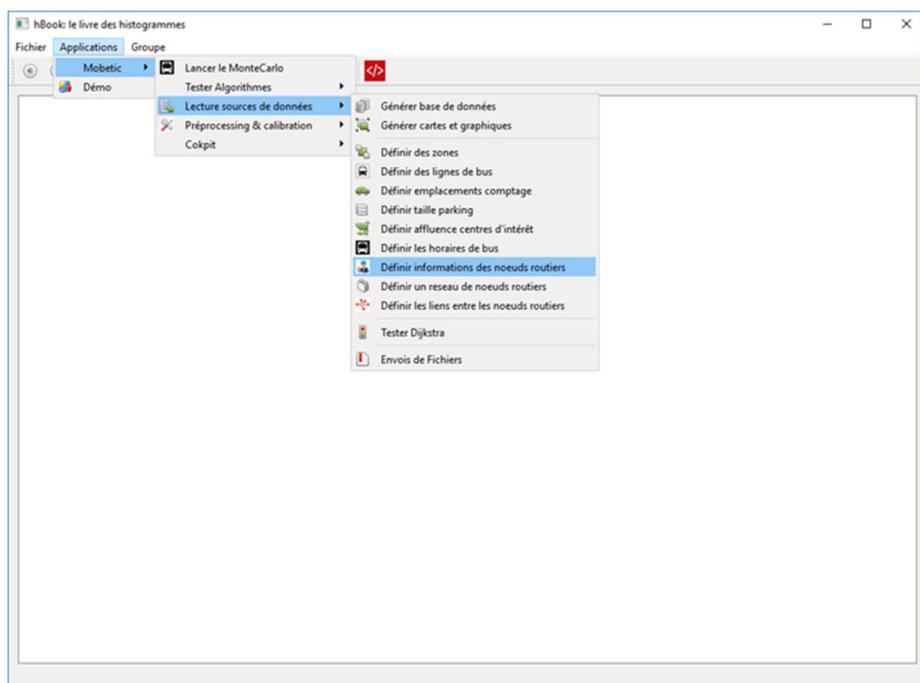
- The title bar says "Generation des horaires TP".
- The "Choix Ligne" section is empty.
- The "Choix du véhicule" section has a dropdown labeled "Choix du véhicule" with a yellow circle labeled "2" next to it. An arrow points from this circle to the dropdown.
- The dropdown list shows nine bus vehicles: "Bus N°1 : VS201901", "Bus N°2 : VS201902", "Bus N°3 : VS201903", "Bus N°4 : VS201904", "Bus N°5 : VS201905", "Bus N°6 : VS201906", "Bus N°7 : VS201907", "Bus N°8 : VS201908", and "Bus N°9 : VS201909".
- A "Calcul de l'horaire de Bus" table is below, identical to the one in the first screenshot.
- Buttons at the bottom: "Sauver", "Nouvel horaire", and "Fermer".

1. Choisir la ligne pour laquelle on veut faire l'horaire. La liste des lignes est créée à partir des fichiers lignes dessinés par l'utilisateur. (Voir 1.11)
2. Choisir le bus qui sera assigné à l'horaire. La liste des bus est créée par l'utilisateur dans un fichier txt.

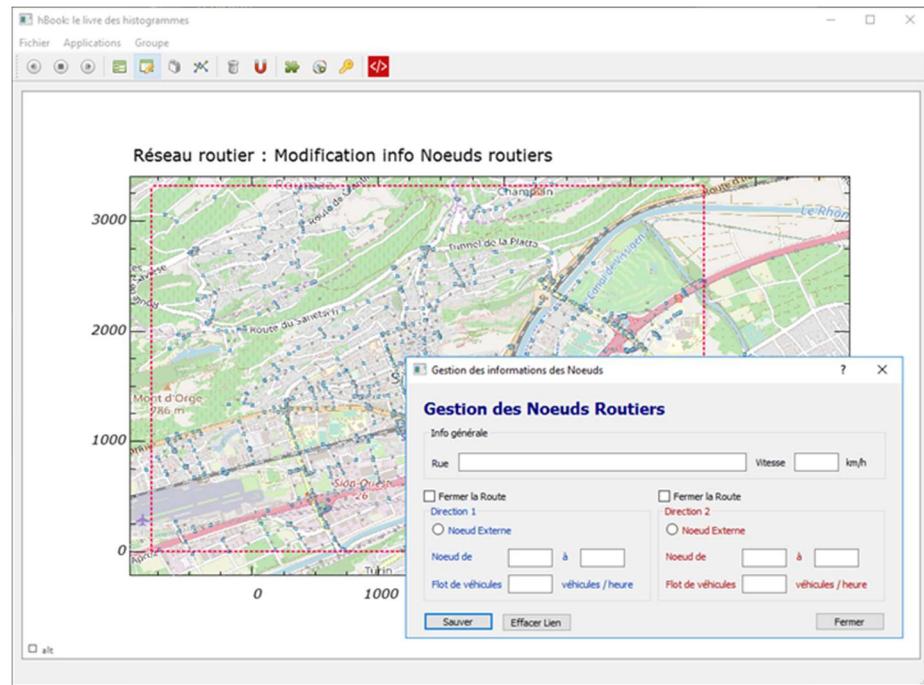
Arrêt	Heure de départ	Arrêt suivant	Heure d'arrivée
1 Champlan	14:30	2 Grimsuat, Les Places	
2 Grimsuat, Les Places		3 Sion, Pont-sur-la-Sionne	14:31
3 Sion, Pont-sur-la-Sionne		4 Sion, Brasserie	14:32
4 Sion, Brasserie		5 Sion, Post du Nord	14:36
5 Sion, Post du Nord		6 Sion, Planta	14:40
6 Sion, Planta		7 Sion, clinique	14:44
7 Sion, clinique			14:46

3. Choisir l'heure de départ du bus depuis le premier arrêt au début de la ligne.
4. Cliquer sur « **Calcul de l'horaire de Bus** » déterminer l'horaire complet pour chaque arrêt avec l'heure d'arrivée et l'heure de départ. Quand l'horaire est satisfaisant il faut cliquer sur « **Sauver** ».
5. Cliquer sur « **Nouvel horaire** » pour créer un nouvel horaire.
6. Horaire déjà existant pour la ligne choisie. (Heure de départ, arrêt de départ et le bus utilisé.)
7. Détails du bus choisi. (Nom, Type, Nombre de place et consommation)

1.10 Définir information de nœuds routiers



Une fenêtre avec la carte de la ville apparaît. Elle contient le réseau qui provient d'OpenStreetMap.



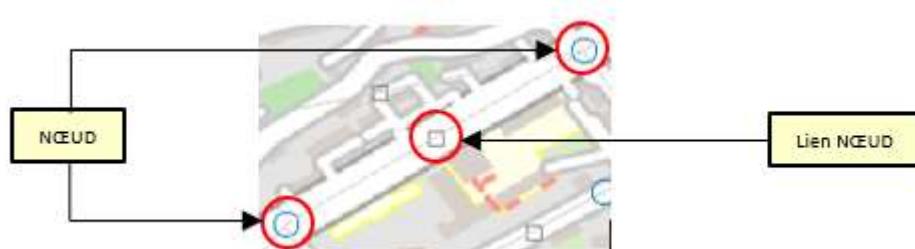
Dans cet outil, les informations suivantes peuvent être changer :

- Nom de la Rue
- Vitesse sur le tronçon entre deux nœuds routiers

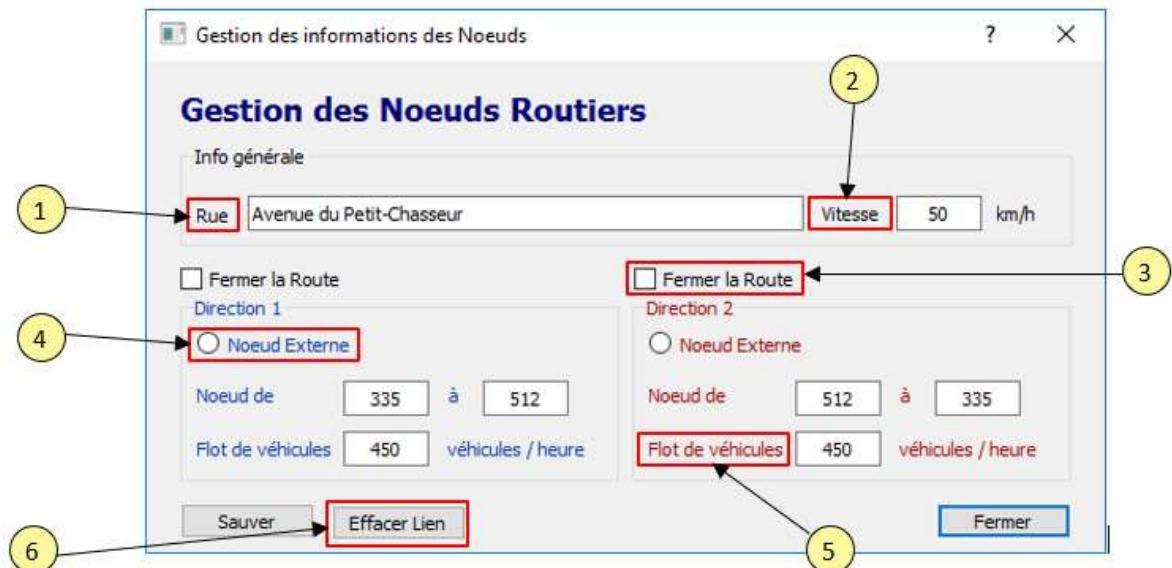
Et les informations suivantes sont à vérifier ou à entrer manuellement :

- Mettre une rue à sens unique
- Choisir si le nœud est externe
- Changer le flot de véhicule théorique par heure

Pour modifier un tronçon entre deux nœuds, il faut appuyer sur la touche « Alt » et cliquer avec la souris sur le petit carré entre 2 nœuds qui est le lien Nœud.



Dès lors une petite fenêtre « Gestion des Nœuds Routiers » va apparaître.



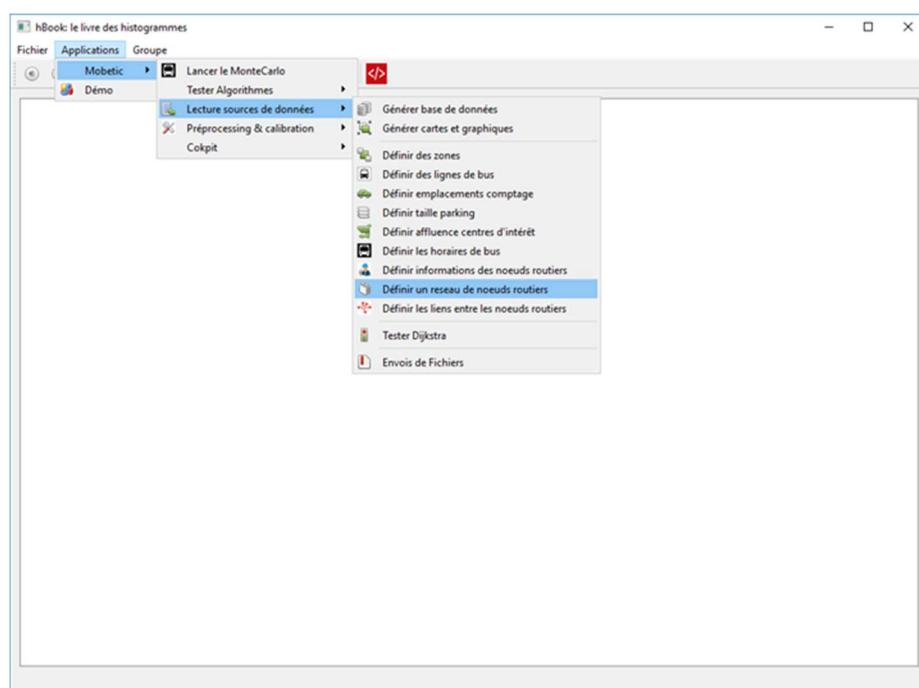
1. Choisir le nom de la rue de la route entre les deux nœuds.
2. Choisir la limite de vitesse entre les deux nœuds.
3. Cocher la case pour fermer la route si elle est sens unique
4. Cocher le cercle si le nœud est entrant et sortant de la zone.
5. Choisir le nombre de véhicules maximum en théorie qui peut passer sur un sens.
6. Cliquer sur « **Effacer Lien** » pour supprimer la route entre les deux nœuds.

Une fois que la modification est terminée il suffit de cliquer sur « **Sauver** » pour enregistrer.

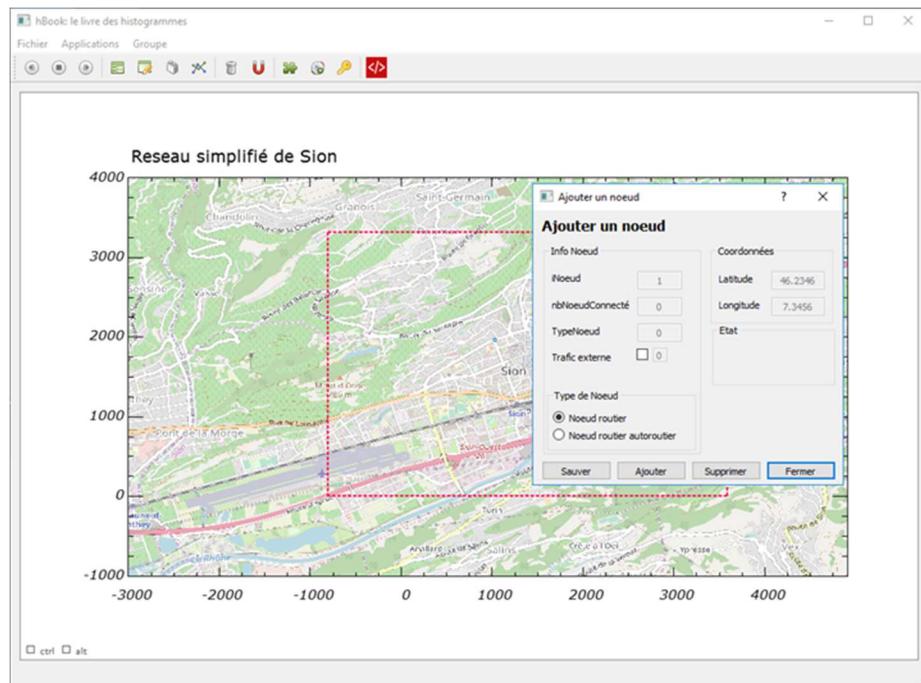


A noter que cet outil ne fonctionne uniquement avec le réseau routier importé d'OSM.

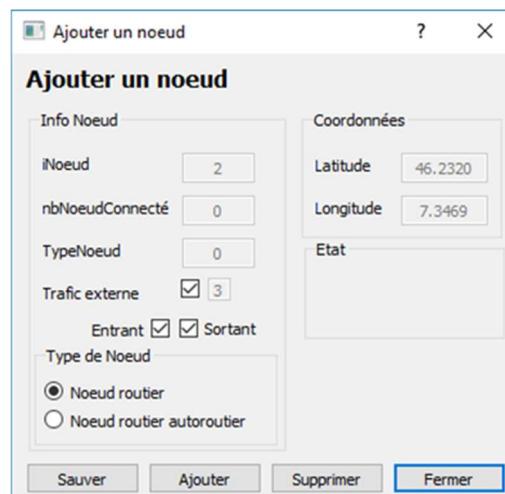
1.11 Définir un réseau de nœuds



Une fenêtre avec la carte de la ville apparaît. Elle contient le réseau simplifié de la zone.



Pour ajouter un nœud, il faut appuyer sur la touche « Alt » et cliquer avec la souris à l'endroit où le nouveau nœud doit apparaître. Dès lors une petite fenêtre « Ajouter un nœud » va apparaître.



Il y a 2 types de nœuds, les **nœuds internes** qui se trouvent dans la zone de test et les **nœuds externes** qui eux servent à rentrer et/ou sortir de la zone.

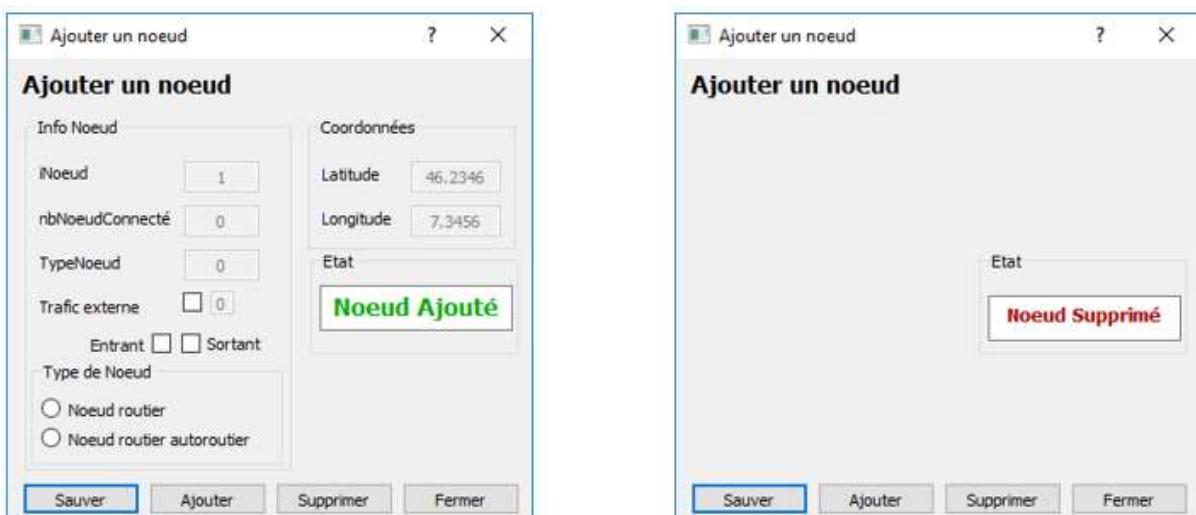
Interne	0
Externe Entrant	1
Externe Sortant	2
Externe Entrant et Sortant	3

Lors de l'ajout d'un nouveau nœud, s'il s'agit d'un **nœud interne**, il suffit de cliquer sur « **Ajouter** » puis « **Sauver** ».

Lors de l'ajout d'un nouveau nœud, s'il s'agit d'un **nœud externe**, il faut cocher la case Trafic externe puis choisir s'il s'agit d'un nœud externe Entrant et/ou Sortant puis cliquer sur « **Ajouter** » et finalement sur « **Sauver** ».



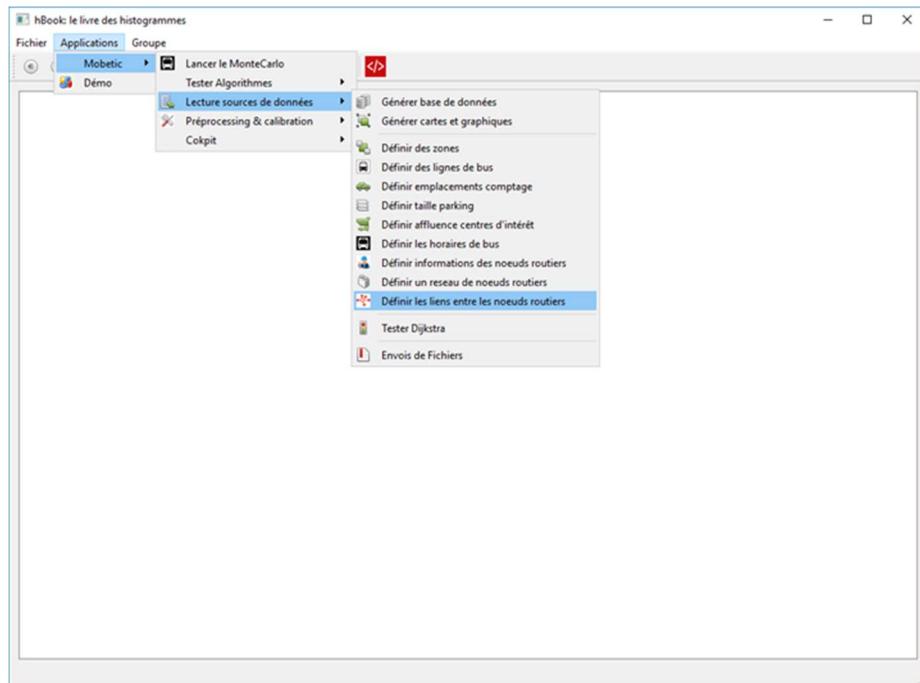
Une fois le nœud ajouté, il apparaît sur la carte sous la forme d'un cercle bleu.



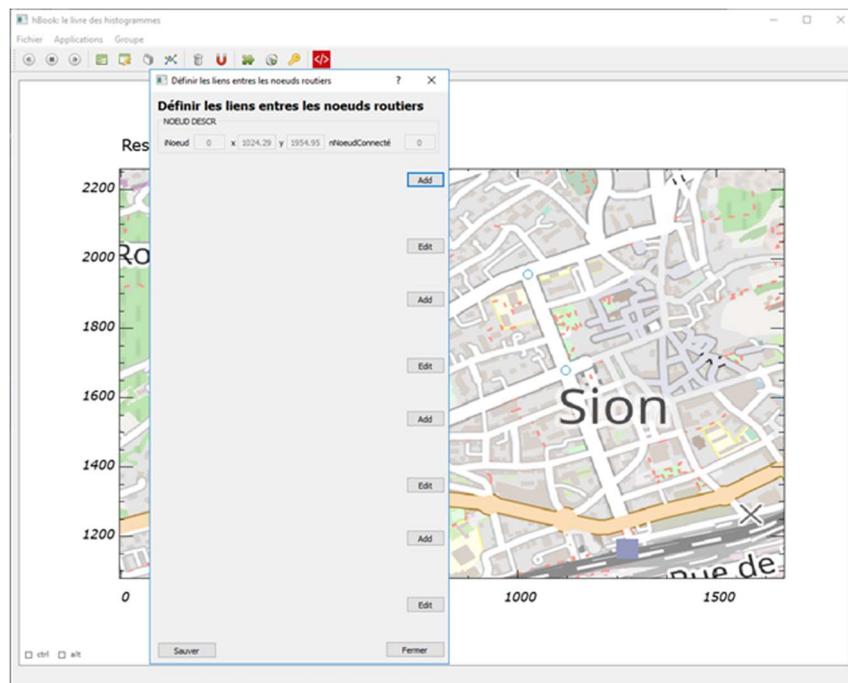
Il y a également la possibilité de supprimer un nœud existant. Pour cela, il suffit de cliquer sur le nœud à supprimer en appuyant sur la touche « **Alt** » et cliquer sur « **Supprimer** » puis « **Sauver** ».

A noter que cet outil fonctionne uniquement pour créer le réseau simplifié. Il ne peut pas être utilisé en complément du réseau OSM.

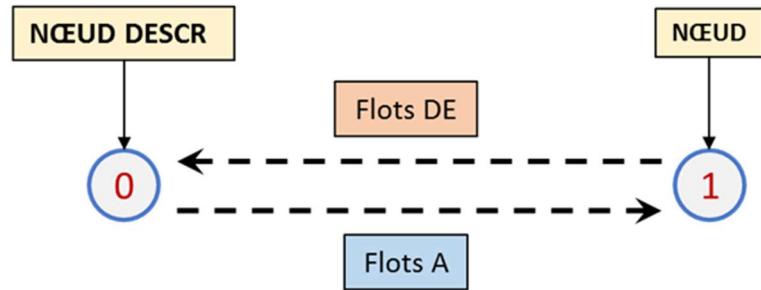
1.12 Définir les liens entre les nœuds routiers



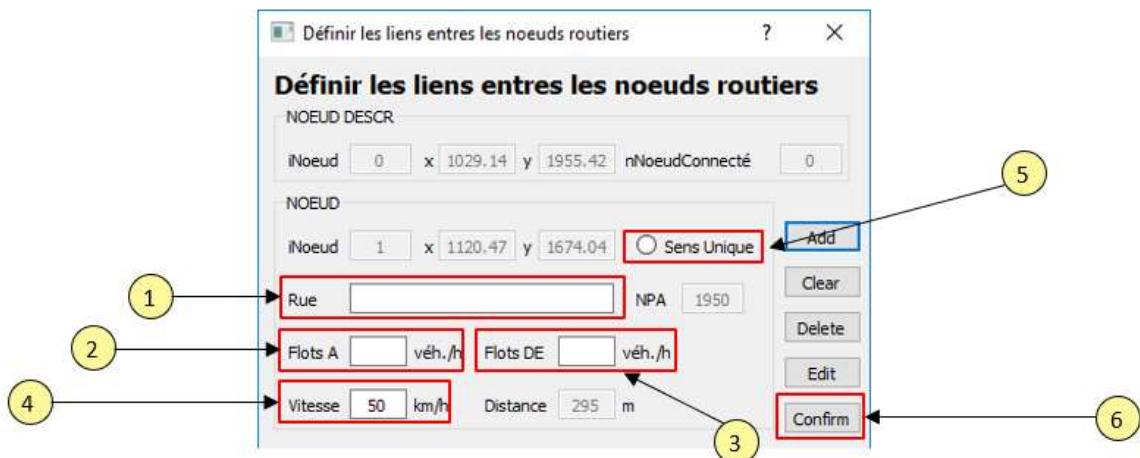
Une carte de la ville avec les nœuds dessinés dessus apparaît. Pour faire un lien entre 2 nœuds, il faut appuyer sur la touche « Alt » et cliquer avec la souris sur le « NŒUD DESC ».



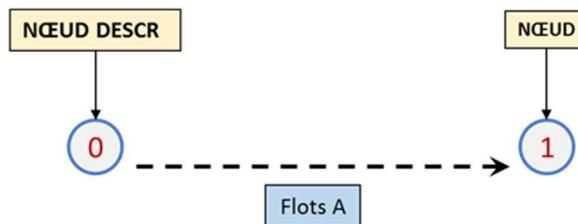
Le « NŒUD DESC » est le nœud duquel on part pour faire notre lien.



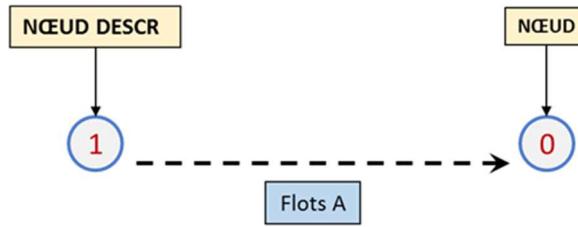
Dans la fenêtre qui s'ouvre pour ajouter un nœud il faut appuyer sur « **Add** ». La carte apparaît à nouveau. Il faut maintenant cliquer sur le « **NŒUD** » qu'on souhaite associer au « **NŒUD DESCRIPTIF** » pour créer notre lien et ainsi construire la route.



1. Choisir le nom de la rue de la route entre le « **NŒUD DESCRIPTIF** » et le « **NŒUD** ». Pour le sens inverse qui a logiquement le même nom, cela se fait automatiquement.
2. Choisir le nombre de véhicules maximum en théorie qui peut passer de « **NŒUD DESCRIPTIF** » à « **NŒUD** ».
3. Choisir le nombre de véhicules maximum en théorie qui peut passer de « **NŒUD** » à « **NŒUD DESCRIPTIF** ». (*Sens Inverse*)
4. Choisir la limite de vitesse entre le « **NŒUD DESCRIPTIF** » et le « **NŒUD** ». Pour le sens inverse qui a logiquement la même limite de vitesse, ça se fait automatiquement.
5. Cocher si la route est sens unique de « **NŒUD DESCRIPTIF** » à « **NŒUD** ».

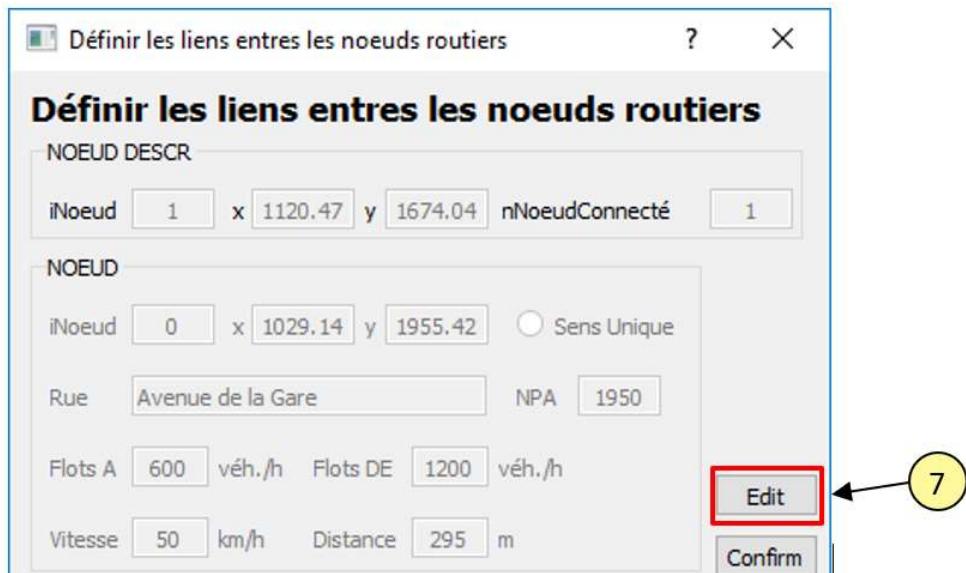


Si sens unique dans l'autre sens, il faut d'abord cliquer sur le « **NŒUD** » « **1** » pour qu'il soit « **NŒUD DESCRIPTIF** » « **1** » et ensuite sur « **NŒUD DESCRIPTIF** » « **0** » pour qu'il devienne « **NŒUD** » « **0** ».

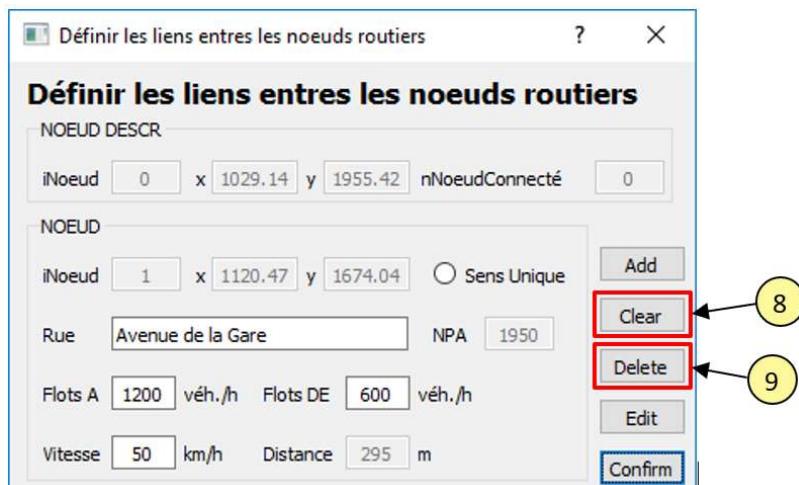


6. Cliquer sur « **Confirm** » pour valider avant cliquer sur « **Sauver** » pour enregistrer le noeud.

On peut corriger ou supprimer un lien entre deux nœuds en recliquant sur un nœud déjà relié.



7. Cliquer sur « **Edit** » pour modifier un nœud. Les cases qui sont modifiables apparaissent en blanc. Une fois que la modification est terminée il faut cliquer sur « **Confirm** » puis cliquer sur « **Sauver** » en bas de la fenêtre.



8. Cliquer sur « **Clear** » pour effacer toutes les données rentrées
 9. Cliquer sur « **Delete** » pour supprimer un lien qui existe déjà.

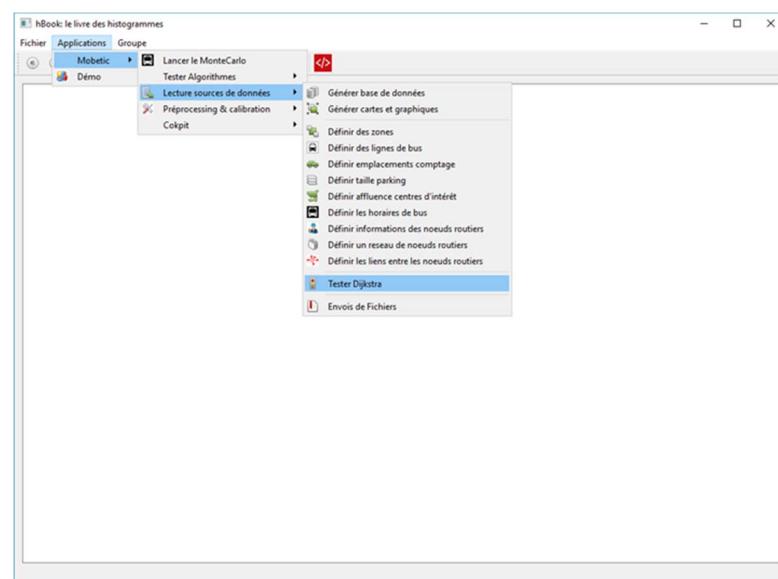


Traffic de 0 à 1 et de 1 à 0

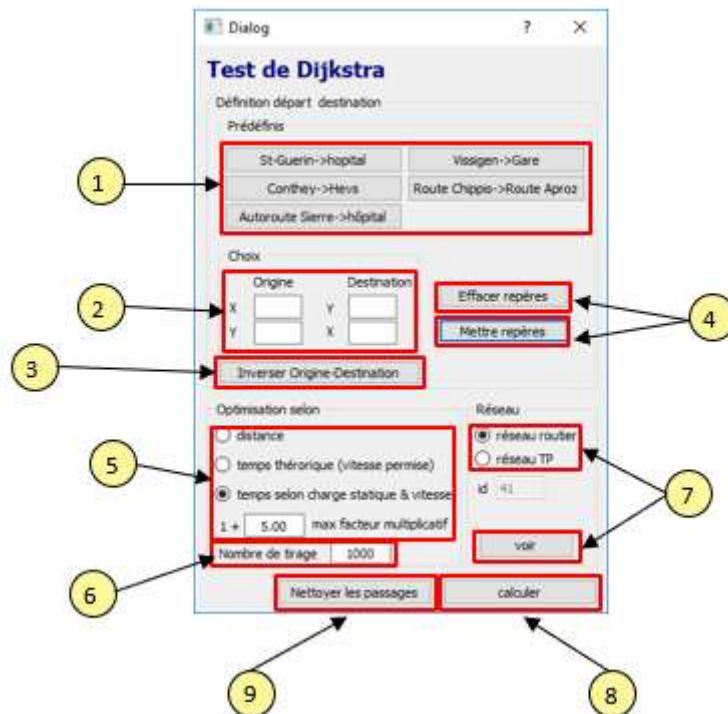
Traffic de 0 à 1

Traffic de 1 à 0

1.13 Tester Dijkstra



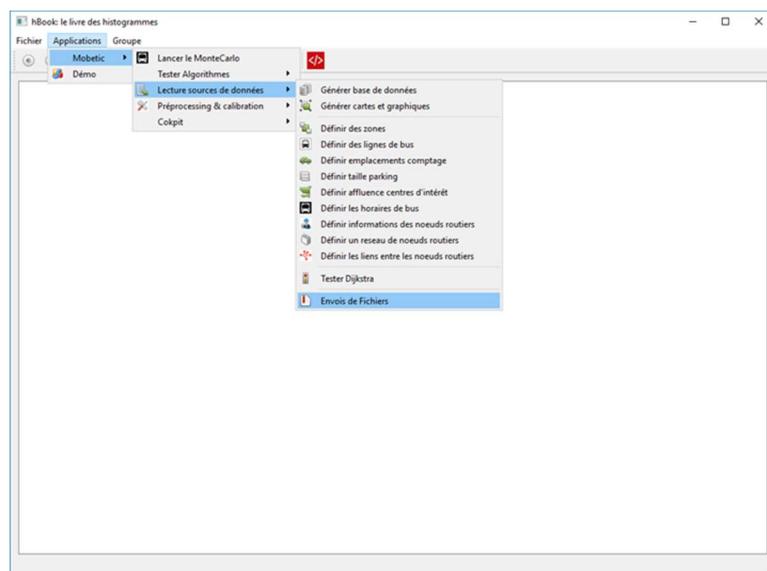
Une fenêtre avec une interface pour créer et tester l'algorithme de Dijkstra sur un trajet apparaît.



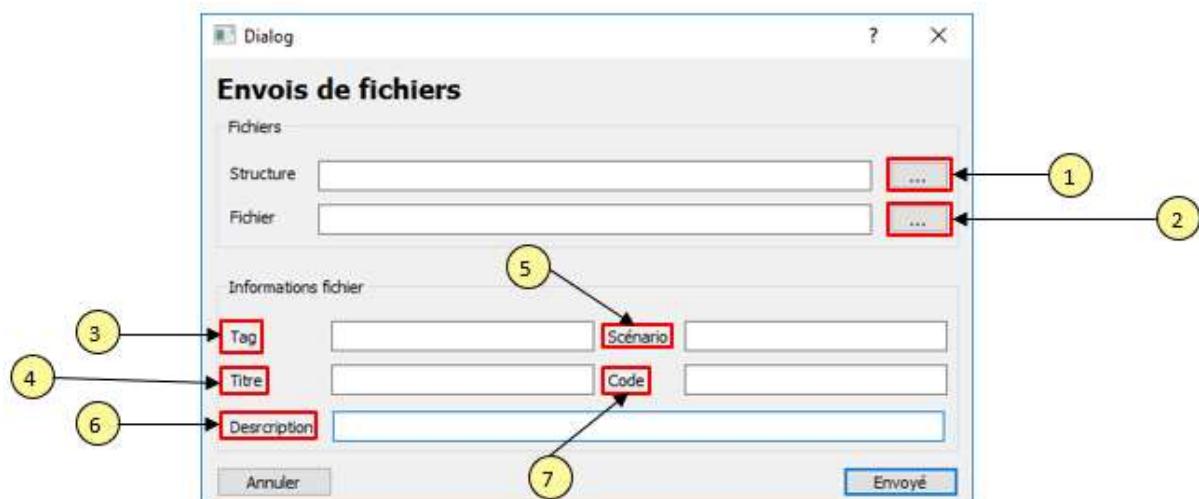
1. Cliquez pour choisir une origine et destination prédefinie.
2. Rentrer les coordonnées X et Y de l'origine et de la destination.
3. Cliquez sur « **Inverser Origine-Destination** » pour inverser Origine et Destination choisis
4. Cliquer pour mettre ou effacer les repères de l'origine et de la destination.
5. Choisir le mode d'optimisation ainsi que le facteur multiplicatif. Ce facteur multiplicatif va augmenter le temps de parcours ou la distance du chemin qui est normalement choisis par l'algorithme. Ainsi il va proposer d'autres trajets qui sont possible d'être utilisé en cas de bouchon.
6. Choisir le nombre de tirage qui va être fait pour aller de l'origine à la destination.
7. Choisir entre le réseau routier et le réseau Transport public. Cliquer sur « **voir** » pour afficher le réseau choisi.
8. Cliquez sur « **Calculer** » pour afficher sur la carte les trajets possibles selon les paramètres choisis précédemment.
9. Cliquez sur « **Effacer** » pour enlever les trajets qui sont montrés sur la carte.

Cette interface permet de vérifier si le réseau monté est correct.

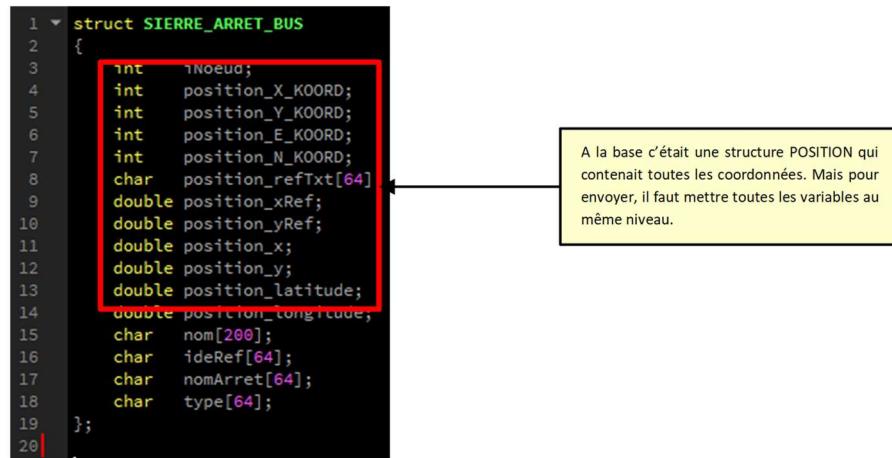
1.14 Envois de fichiers



Une fenêtre avec une interface pour transformer et envoyer les fichiers apparaît.



1. Cliquez sur l'icône avec les 3 petits points pour aller chercher le fichier de structure créé pour lire les données à envoyer.



```
1  struct SIERRE_ARRET_BUS
2  {
3      int    iNoeud;
4      int    position_X_KOORD;
5      int    position_Y_KOORD;
6      int    position_E_KOORD;
7      int    position_N_KOORD;
8      char   position_refTxt[64];
9      double position_xRef;
10     double position_yRef;
11     double position_x;
12     double position_y;
13     double position_latitude;
14     double position_longitude;
15     char   nom[200];
16     char   ideRef[64];
17     char   nomArret[64];
18     char   type[64];
19 };
20
```

A la base c'était une structure POSITION qui contenait toutes les coordonnées. Mais pour envoyer, il faut mettre toutes les variables au même niveau.

2. Cliquez sur l'icône avec les 3 petits points pour aller chercher le fichier de données à envoyer.
3. Rentrer le tag correspondant au type de données à envoyer. (Même que le 7.)
4. Rentrer un titre pour les données
5. Rentrer le numéro du scénario au quelle correspond les données
6. Rentrer la description des données
7. Rentrer le code correspondant au type de données à envoyer :
 - bus_stop
 - leisure_activity
 - business
 - school
 - soft_mobility

Une fois que toutes les informations sont rentrées, il faut cliquer sur « Envoyé ».

7.2 MOCKUPS DE LA PLATEFORME GIS DE VISUALISATION

Les mockups ont permis dans la phase de définition des besoins, de mettre sur forme les fonctionnalités ainsi que les processus nécessaires pour que la plateforme corresponde aux besoins.

Ci-dessous les mockups qui ont été dessinées :

- Liste des scénario Figure 69
- Gestion des scénarios Figure 70 et Figure 71
- Gestion des version Figure 72 et Figure 73
- Affichage des données sur la carte selon les filtres Figure 74
- Comparaison de scénarios Figure 75

The mockup shows a web browser window titled 'Mobiclic'. The URL bar contains 'http://mobiclic.ch'. The main content area has a title 'List of scenarios'. Below it is a table with three columns: 'Name', 'area', and 'author'. The table contains two rows:

Name	area	author
Sion 2020	Sion	Lucien
Sierre 2018	Sierre	Lucien

Each row has two buttons on the right labeled 'visualize' and 'details'.

Figure 69. Mockup - Liste des scénarios

The mockup shows a web browser window titled 'Mobiclic'. The URL bar contains 'http://mobiclic.ch/admin'. The main content area has a title 'List of scenarios' with a 'Logout' button on the right. Below it is a table with three columns: 'Name', 'area', and 'author'. The table contains two rows:

Name	area	author
Sion 2020	Sion	Lucien
Sierre 2018	Sierre	Lucien

A new button 'new scenario' is visible in the first column of the table. There is also a 'Export base scenario' button and a help icon (?) above the table.

Figure 70. Mockup - Gestion des scénarios 1

Mobetic

<http://mobetic.ch/admin/manage>

Mobetic

Logout

Manage a scenario trash

Name	<input type="text"/>	Author	<input type="text"/>	description	<input type="text"/>																					
<input type="button" value="update"/>																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Date</th> <th>author</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Version_1</td> <td>01.12.2018</td> <td>Lucien</td> <td><input type="button" value="remove"/></td> <td><input type="button" value="manage"/></td> </tr> <tr> <td>Version_2</td> <td>01.12.2018</td> <td>Lucien</td> <td><input type="button" value="remove"/></td> <td><input type="button" value="manage"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><input type="button" value="new version"/></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>						Name	Date	author			Version_1	01.12.2018	Lucien	<input type="button" value="remove"/>	<input type="button" value="manage"/>	Version_2	01.12.2018	Lucien	<input type="button" value="remove"/>	<input type="button" value="manage"/>	<input type="button" value="new version"/>					
Name	Date	author																								
Version_1	01.12.2018	Lucien	<input type="button" value="remove"/>	<input type="button" value="manage"/>																						
Version_2	01.12.2018	Lucien	<input type="button" value="remove"/>	<input type="button" value="manage"/>																						
<input type="button" value="new version"/>																										
<input type="button" value="Cancel"/>																										

Figure 71. Mockup - Gestion des scénarios 2

Mobetic

<http://mobetic.ch/admin/manage>

Mobetic

Logout

Manage a scenario trash

Name	<input type="text"/>	Author	<input type="text"/>	description	<input type="text"/>												
<input type="button" value="update"/>																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Date</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Version_1</td> <td>01.12.2018</td> </tr> <tr> <td>Version_2</td> <td>01.12.2018</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><input type="button" value="new version"/></td> </tr> </tbody> </table>						Name	Date	Version_1	01.12.2018	Version_2	01.12.2018	<input type="button" value="new version"/>					
Name	Date																
Version_1	01.12.2018																
Version_2	01.12.2018																
<input type="button" value="new version"/>																	
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Version_1</td> </tr> <tr> <td>Name</td> <td><input type="button" value="edit"/> Version_1</td> </tr> <tr> <td>date</td> <td><input type="button" value="edit"/> 0112.2018</td> </tr> <tr> <td>author</td> <td><input type="button" value="edit"/> Lucien</td> </tr> <tr> <td>summary</td> <td><input type="button" value="edit"/> This version represents the evolution of the road in 2020 according to the fact that bus have their transport rates increased by 25%</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;"><input type="button" value="Ok"/></td> </tr> </table>						Version_1		Name	<input type="button" value="edit"/> Version_1	date	<input type="button" value="edit"/> 0112.2018	author	<input type="button" value="edit"/> Lucien	summary	<input type="button" value="edit"/> This version represents the evolution of the road in 2020 according to the fact that bus have their transport rates increased by 25%	<input type="button" value="Ok"/>	
Version_1																	
Name	<input type="button" value="edit"/> Version_1																
date	<input type="button" value="edit"/> 0112.2018																
author	<input type="button" value="edit"/> Lucien																
summary	<input type="button" value="edit"/> This version represents the evolution of the road in 2020 according to the fact that bus have their transport rates increased by 25%																
<input type="button" value="Ok"/>																	
<input type="button" value="Cancel"/>																	

Figure 72. Mockup - Gestion des versions

Mobetic

[Logout](#)

Import a version

Name description summary

Population statistics OSM Leisure

Figure 73. Mockup - Crédation d'une version

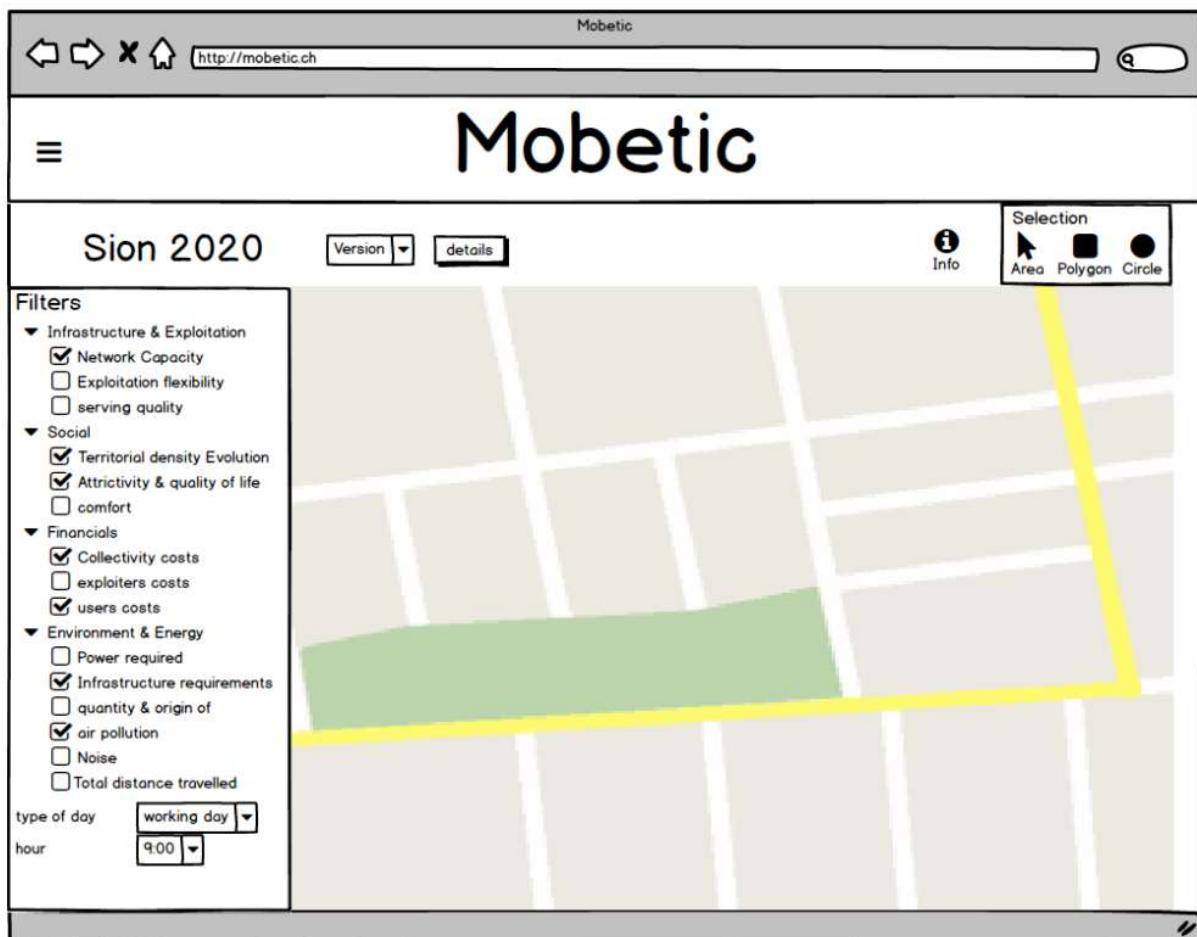


Figure 74. Mockup - Affichage GIS selon les couches choisies

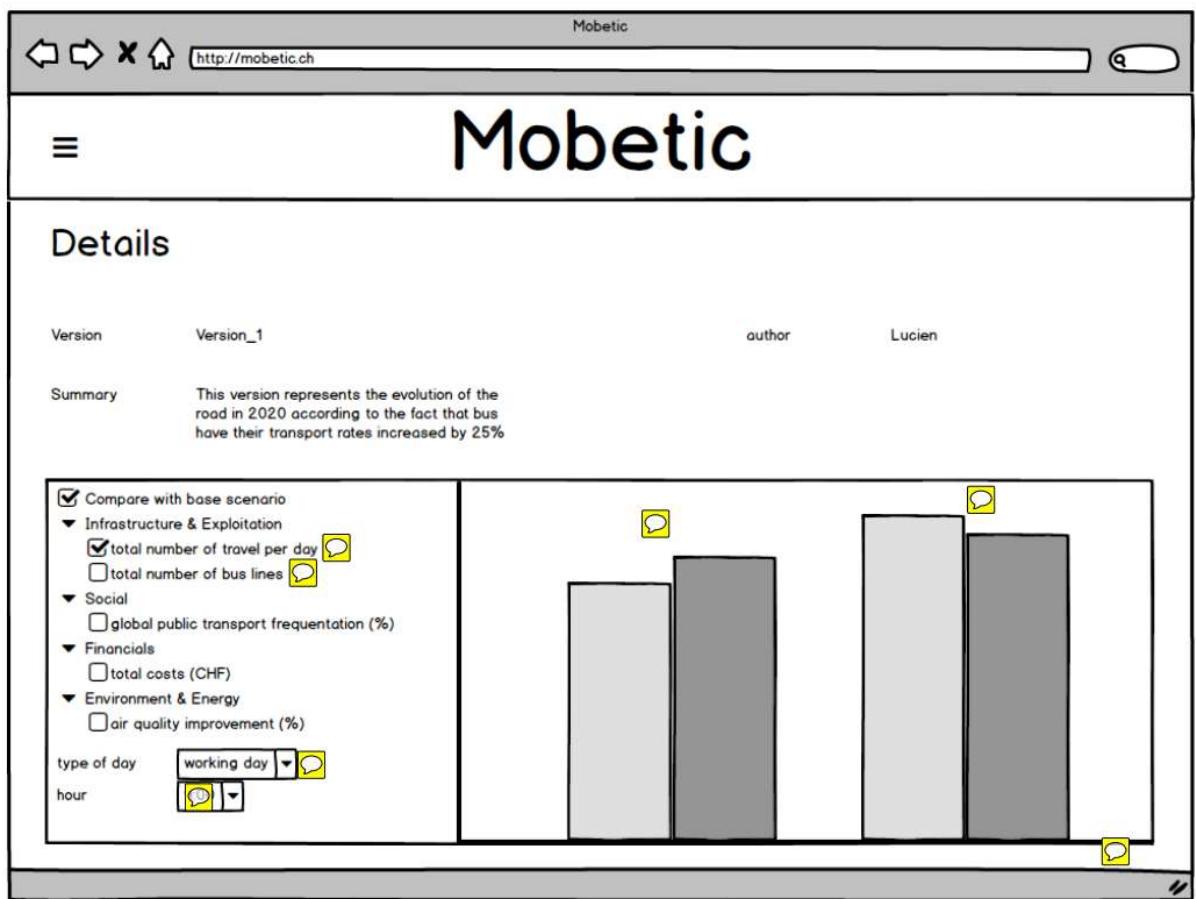


Figure 75. Mockup - Comparaison entre scénarios/versions