

Plans de mobilité: Étude de la possibilité d'intégration de la  
pente dans l'analyse d'accessibilité en mobilité active

Université de Genève

Certificat complémentaire en géomatique



Janvier 2023

Etudiant : Alexander Skander Ben Hamadi  
Encadrants : Massimo Massera et Inès Ratsimalahelo (Mobilité)  
Directeur : Prof. Alain Dubois  
Jury : Prof. Hy Dao (UNIGE)  
Marion Planque (UNIGE)

## Table des matières

Résumé.....	7
1. Introduction .....	7
1.1 Présentation de l'entreprise .....	7
1.2 Tâches effectuées durant le stage .....	8
1.3 Conditions de déroulement du stage .....	8
1.4 Problématique du travail, objectifs et type de rendu.....	9
1.5 Fonctionnement de l'outil « Network Analyst – Service area layer » .....	11
2. Méthodologie.....	12
2.1 Démarches exploratoires.....	12
2.1.A Outil « Distance accumulation tool ».....	12
2.1.B Isodistances personnalisées, basées sur des rasters de pente .....	14
2.2 Données utilisées & acquisition .....	15
2.2.A Données utilisées.....	15
2.2.B Acquisition des données.....	16
2.3 Démarche finale.....	16
2.4 Apports d'un ModelBuilder.....	25
3. Résultats.....	26
3.1 Cartes comparatives .....	26
3.1.A Genève.....	27
3.1.B Lausanne .....	28
3.1.C Neuchâtel .....	29
3.1.D Ville de Sion .....	31
3.2 Interprétations et pistes explicatives.....	32
4. Discussion et réflexions .....	36
4.1 Apports pour l'entreprise.....	36
4.2 Limites, discussion et ouvertures .....	37

4.2.A Méthode de calcul de pente et de vitesse par segments .....	37
4.2.B Ajustement des pentes.....	38
4.2.C Prise en compte des restrictions de circulation.....	40
4.2.D Feux de signalisation.....	42
4.2.E Limites géographiques.....	42
4.2.F Autres éléments influençant le temps de trajet.....	42
4.2.G Direction d'analyse de l'isochrone .....	43
4.2.H Choix des vitesses des différents modes.....	43
4.2.I Utilisation de données « ouvertes » .....	44
5. Conclusion .....	45
6. Bibliographie.....	46
7. Annexes .....	49
8. Dossier restitué à l'entreprise.....	57

## Index des figures

Figure 1 : Isodistance d'exemple pour une distance de 6000 mètres depuis le site de Mobilité, effectuée sur ArcGIS.....	9
Figure 2 : Algorithme de calcul des isochrones (ESRI).....	11
Figure 3 : Etapes de l'exploration de l'outil "Distance accumulation tool".....	12
Figure 4 : Résultat en centre-ville de Genève pour l'outil "Distance accumulation tool".....	12
Figure 5 : Etapes de géotraitement pour les barrières paramétrables dans l'outil "Distance accumulation tool" .....	13
Figure 6 : Capture d'écran des segments selon la pente attribuée pour la zone de Soral .....	14
Figure 7 : Formule de vitesse développée par Manuel Barranco (2002).....	17
Figure 8 : Carte des restrictions de circulation en Suisse romande – tronçons d'autoroute.....	20
Figure 9 : Fonction de Tobler pour la marche.....	23

Figure 10 : Carte de la présence des sens uniques dans le quartier de la Place-Neuve à Genève.....	24
Figure 11 : Comparaison de la précision des segments.....	25
Figure 13 : Carte topographique de Genève.....	27
Figure 14 : Carte comparative pour Genève.....	27
Figure 15 : Carte topographique de Lausanne.....	28
Figure 16 : Carte comparative pour Lausanne .....	29
Figure 17 : Carte topographique de Neuchâtel.....	30
Figure 18 : Carte comparative pour la ville de Neuchâtel .....	30
Figure 19 : Carte topographique de la ville de Sion. Source : Topographic-map, 2023 ..	31
Figure 20 : Carte comparative pour la ville de Sion.....	32
Figure 21 : Carte des isodistances de Genève avec extrémités testées à vélo .....	34
Figure 22 : Graphique de la Fonction « $0.0204x^3+0.0553x^2-3.5323x+20$ » pour 20km/h.....	35
Figure 23 : Pentes moyennes sur la ville de Lausanne.....	36
Figure 24 : Capture d'écran de l'outil "Add Z information" .....	37
Figure 25 : Formule de vitesse développée par Manuel Barranco (2002).....	38
Figure 26 : Graphique de la fonction « $0.0152x^3+ 0.12x^2+3.257x + 15$ » pour 15km/h.....	38
Figure 27 : Graphique de la fonction " $-0.1x+6.5$ " .....	39
Figure 28 : Graphique de la fonction " $-0.5076x+30.3762$ " .....	39
Figure 29 : Comparaison des isodistances personnalisées sur Lausanne .....	40
Figure 30 : Carte de comparaison des deux isodistances avec un réseau personnalisé prenant en compte les sens uniques .....	41
Figure 31 : Image d'illustration.....	43

## Index des tableaux :

Tableau 1 : Données utilisées ou mentionnées dans ce travail.....	16
Tableau 2 : Calcul des attributs des différents modes de transport.....	19
Tableau 3 : Liste des attributs interdits à la circulation dans la colonne « OBJEKTART » du TLMSTRASSE .....	20
Tableau 4 : Attributs créés lors de la démarche finale .....	21
Tableau 5 : Distances simulées totales pour les routes analysées .....	33
Tableau 6 : Données issus des trajets effectués sur le terrain (Annexe 8-9-10-11-12).....	33

## Index des annexes :

Annexe 1 : Liste des restrictions considérées par ArcGIS.....	49
Annexe 2 : Répartition des cantons par zone linguistique .....	49
Annexe 3 : Carte comparative de Genève ainsi que l'analyse de route.....	50
Annexe 4 : Carte comparative de Lausanne ainsi que l'analyse de route.....	51
Annexe 5 : Carte comparative de Neuchâtel ainsi que l'analyse de route .....	51
Annexe 6 : Carte comparative de Sion ainsi que l'analyse de route.....	52
Annexe 7 : Carte des segments avec la pente entre 0% et 8% et supérieures à 8%.....	52
Annexe 8 : Capture d'écran de l'application « Polarflow » pour les informations de trajets testés – Bernex.....	53
Annexe 9 : Capture d'écran de l'application « Polarflow » pour les informations de trajets testés – Genthod.....	53
Annexe 10 : Capture d'écran de l'application « Polarflow » pour les informations de trajets testés – Vandoeuvres / Cologny.....	54
Annexe 11 : Capture d'écran de l'application « Polarflow » pour les informations de trajets testés – Meyrin.....	54
Annexe 12 : Tableau des valeurs entrées pour le Curve Fitting.....	55
Annexe 13 : Capture d'écran du Modelbuilder pour le projet initial.....	56

## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier Mobilidée pour l'opportunité exceptionnelle qui m'a été offerte en m'accueillant en tant que stagiaire au sein de leur entreprise.

Je souhaite aussi remercier Inès Ratsimalahelo. pour son aide infaillible et ses idées qui m'ont permis d'avancer aussi efficacement.

Massimo Massera pour ses conseils, la méthodologie générale et sa supervision, qui m'ont permis de ne pas perdre mon objectif de vue.

Prof. Alain Dubois pour sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils tout au long de ce travail.

Finalement, aux collègues de Mobilidée dont leur accueil chaleureux et leur gentillesse ont contribué à un environnement de travail tout simplement idéal.

## Résumé

Mobilidée propose depuis plusieurs années à ses clients des plans mobilité. Dans ce cadre-là, le but de ce stage a été d'évaluer le potentiel de prise en compte de la pente dans les analyses d'accessibilité proposées à leurs clients. Ce dossier de stage explique dans un premier temps le fonctionnement de l'extension « Network Analyst » et de son outil « Make service Area Layer », utilisés dans les analyses d'accessibilité de Mobilidée. Ensuite, nous présenterons un retour réflexif sur les différentes pistes étudiées afin d'intégrer la pente et une méthodologie finale, basée sur la construction d'un réseau personnalisé. Dans ce dernier, nous nous appuyons sur la formule proposée par Manuel Barranco (2002), afin de calculer une distance ajustée prenant en compte l'effort supplémentaire induit par la pente. Même si les résultats ne semblent aujourd'hui pas concluants, ce travail propose ensuite d'explorer les différentes limites de ce travail : qu'elles soient conceptuelles, à l'image de l'utilisation de formules de vitesses ou des limites induites par le manque de géodonnées de qualité, mais aussi théoriques, comme la non prise en compte de certaines dimensions humaines et environnementales. Finalement, le dernier chapitre prend la forme d'un guide, étape par étape, afin de pouvoir créer et utiliser ce réseau personnalisé dans ArcGIS.

## Mots clés :

Relation pente vitesse – Vélo - Mobilité active - Mobilité pendulaire – ArcGIS – Network Analyst - Isodistances

## 1. Introduction

### 1.1 Présentation de l'entreprise

Mobilidée est une entreprise binationale (Suisse et Canada) créée en 2004 proposant des solutions de mobilité, à la fois aux entreprises privées, publiques, ainsi qu'aux collectivités publiques. Avec des projets dans 10 pays différents, pour plus de 400 clients, elle est actuellement composée de 26 collaborateurs.trices (Mobilidée). Dans le cadre de ses activités, elle propose notamment des plans de mobilité, dans lesquelles des analyses d'accessibilité des collaborateurs.trices sont effectués. Ces analyses fait un état des lieux des possibilités de

mobilité de chaque personne et permet de mettre en lumière les changements de mobilité pendulaire compétitives par rapport aux transports individuels motorisés.

Au fil des années de collaborations avec les différentes entreprises et collectivités, Mobilidée a perfectionné ses services proposés et a modernisé ses infrastructures. C'est notamment le cas en 2006 où les premières solutions informatiques ont été intégrées, afin de pouvoir répondre plus efficacement aux enjeux de mobilités, ou encore en 2013, lors du lancement de l'application Fairpark (actuellement Fairmove). Ce dernier est un outil pilier de l'entreprise qui permet de gérer entre autres le parking et les prestations de mobilité, au sein de l'entreprise utilisatrice de l'outil. Concernant la géomatique, Mobilidée a commencé par utiliser des systèmes d'information géographique tels que MapInfo, pour aujourd'hui travailler principalement sur ArcGIS Pro.

## **1.2 Tâches effectuées durant le stage**

Durant ce stage, le temps de travail était réparti pour un total d'activité de 80% : 60% du temps était consacré au projet du stage, alors que les 20% restants étaient consacré à des tâches et analyses effectuées pour la clientèle de Mobilidée. Cela avait pour but de se familiariser avec les différents outils nécessaires aux analyses cartographiques dans les plans de mobilité proposés aux clients.

## **1.3 Conditions de déroulement du stage**

Le stage effectué chez Mobilidée est prévu pour une période de 6 mois (du 04.09.2023 au 29.02.2024). Bien qu'il ne soit pas encore terminé, le stage se déroule très bien. Il existe une grande confiance, et une très bonne relation s'est installée avec les autres collaborateurs.trices et la hiérarchie. L'organisation de l'emploi du temps est flexible, ce qui est très adapté en tant qu'étudiant.

Ce stage peut être conseillé à des personnes ayant un intérêt particulier dans les thématiques urbaines et de mobilité (par exemple des étudiants en sciences sociales ou en urbanisme). Il est aussi adapté aux personnes suivant le certificat de géomatique et qui possèdent des intérêts dans les thématiques de la mobilité. En termes d'adéquation des compétences de géomatique,



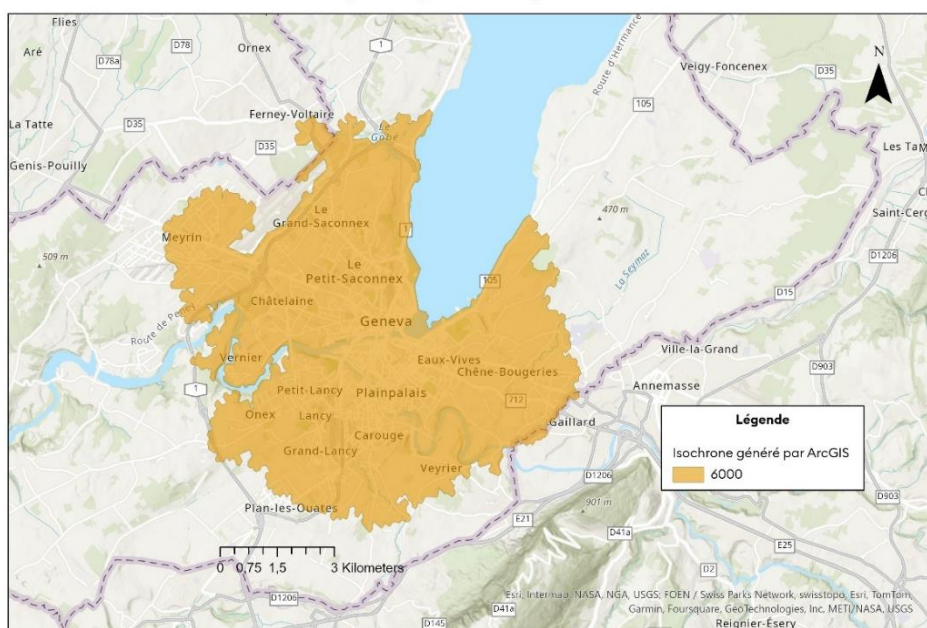
les analyses effectuées chez Mobilidée sont relativement accessibles aux étudiants ayant suivi des cours de géomatique. En revanche, le projet spécifique dans lequel s'est inscrit ce stage a dû s'accompagner d'autoformations supplémentaires, ainsi que de recherche de sources d'informations externes (tutoriels, forums ESRI, etc.).

L'adéquation du matériel informatique est aussi un élément qui peut influencer les conditions du travail. En effet, lors de mon arrivée chez Mobilidée, un nouvel ordinateur avec des capacités de calculs correctes m'a été fourni, ce qui m'a permis de pouvoir effectuer des analyses à une vitesse largement acceptable. En effet, un ordinateur moins performant aurait largement compliqué le travail à effectuer étant donné les grands volumes de données à traiter.

## 1.4 Problématique du travail, objectifs et type de rendu

Mobilidée propose à ses clients plusieurs types d'analyses, dont l'objectif principal est de déterminer l'accessibilité des collaborateurs.trices lors de leurs déplacements pendulaires. Une d'entre elles a pour but d'analyser les zones d'accessibilité du site en mobilité active (marche, vélo classique, vélo électrique 25km/h, vélo électrique rapide 45km/h que nous nommerons dans ce travail VAE), dans un intervalle de temps d'environ 20 minutes. L'analyse consiste dans un premier temps à importer les coordonnées X/Y du lieu de travail (appelé « site »), pour ensuite utiliser l'outil « Network Analyst » dans ArcGIS Pro. Les différentes distances

Isochrone généré par ArcGIS pour 6000 mètres



paramétrées sont entrées selon les différents modes de transport. Finalement, l'outil « Service Area Layer » va créer des isochrones (ou isodistances) sous formes de polygones, qui représenteront les zones d'accessibilités selon ces distances, ou selon une distance unique (Figure 1).

Selon le type de mobilité entré en paramètres, ArcGIS tient compte de nombreux éléments dans son réseau routier (Annexe 1). Malgré cette grande quantité de facteurs pris en compte, cette dernière ne tient pas compte de la pente qui, surtout dans le cas des vélos sans assistances (dits classiques), est un facteur déterminant dans l'acceptabilité de ce mode comme alternative à la voiture. Dès lors, les zones accessibles dans le temps prévu diffèrent grandement selon la topographie du paysage.

L'objectif de ce travail est donc de déterminer la possibilité d'intégrer la pente dans le calcul des isodistances de marche, vélo classique, vélo électrique (25km/h) et vélo électrique rapide VAE, afin que les distances calculées soient les plus réalistes possibles, notamment avec le vélo classique.

Cela permettrait de s'approcher de la réalité et de proposer des analyses davantage plausibles à la clientèle de Mobicidée. Finalement, cela peut aussi indirectement influencer la mobilité des collaborateurs.trices des analyses à venir. En effet, convaincre les pendulaires d'abandonner l'utilisation d'un véhicule thermique au profit d'une mobilité plus respectueuse de l'environnement est plus légitime avec des analyses réalistes que des analyses qui sous estiment leurs efforts. L'enjeu initial a été d'établir un premier diagnostic sur la possibilité d'intégrer les pentes dans les isochrones ; cependant, une première recherche documentaire n'a pas permis d'avoir la certitude de pouvoir considérer la pente tout en gardant exactement la même méthode d'analyse.

Le type de rendu du travail prendra donc la forme d'un dossier de stage, décrivant toutes les pistes explorées, ainsi qu'une méthode testée et rendue sous forme de projet ArcGIS, et d'un guide « pas à pas », permettant à toute personne réalisant les analyses géomatiques à Mobicidée d'intégrer la nouvelle méthode lors de la réalisation des isochrones de mobilité active.

## 1.5 Fonctionnement de l'outil « Network Analyst – Service area layer »

L'outil en question sert à générer des zones de chalandise en isochrones (ou isodistances), utilisant les infrastructures routières, jusqu'à ce qu'un critère de seuil soit atteint (ESRI, 2023). Ainsi, nous pouvons obtenir visuellement la zone d'accessibilité pour chaque site étudié. Par défaut, l'outil utilise principalement un algorithme de recherche (Figure 2). Il contient une équation qu'il va tenter de résoudre via un ensemble de solutions. Il va agir de la sorte à chaque itération (répétition) pour parvenir à cette résolution. Dans notre cas, l'équation est la suivante (ESRI, 2023) :

$$F(t) = THvalue - THvariable (DTpoly(Point(xy), t))$$

Figure 2 : Algorithme de calcul des isochrones (ESRI)

Où :

- THvalue : valeur de seuil (constante), fournie par l'utilisateur (par exemple une distance ou un temps de trajet)
- THvariable : variable de seuil utilisée dans l'analyse. DTpoly est enrichi avec cette variable à chaque itération.
- DTpoly(Point(xy), t) : le polygone en isochrone autour du site avec les coordonnées (xy) et la valeur d'unité de distance (t).

L'algorithme est répété en boucle jusqu'à ce que l'équation égale ou s'approche de 0, afin de pouvoir remplir les paramètres configurés. Lorsque cette condition est remplie, alors la valeur de "T" sera utilisée afin de générer l'isochrone sous la forme de polygone dans ArcGISPro. Dans notre cas, la fonction utilisée sera identique. Elle empruntera chaque segment exploitable et additionnera les distances jusqu'à atteindre le seuil paramétré au préalable pour au final générer DTpoly(Point(xy)) (ESRI, 2023).

## 2. Méthodologie

### 2.1 Démarches exploratoires

#### 2.1.A Outil « Distance accumulation tool »

Dans le cadre de ce travail, plusieurs pistes ont été explorées. La première a été celle de l’outil « Distance accumulation tool ». Cet outil permet de calculer une distance basée sur une surface coût, tout en ayant la possibilité d’y intégrer des barrières et d’autres considérations (ESRI, 2023).

Pour cela, nous avons commencé par explorer l’outil en l’utilisant directement depuis le site de Mobilidée (Figure 3 : image en haut à gauche). Faisant face à une absence totale d’infrastructure, nous avons ajouté des barrières afin de se rapprocher des infrastructures routières (Figure 3 : image en haut à droite).

Pour cela, nous avons utilisé la couche « Bâtiments Hors Sols » (Tableau 1). Ensuite, nous avons ajouté la présence du lac avec la couche « EMPRISE DU LAC LEMAN » (Tableau 1), ce qui nous a permis d’éviter de déborder sur les surfaces de ce dernier (Figure 3 : image en bas à gauche). Etant donné que le polygone est interrompu sur la surface du lac (Figure 3 : image en bas à gauche), ainsi que dans sa continuité (Rhône), nous avons manuellement découpé les polygones sur les ponts afin que l’outil puisse atteindre le seuil paramétré (Figure 3 en bas à droite).

Arrivé à ce stade, le polygone généré ressemblait à l’isochrone généré par ArcGIS (Figure 4). Afin de pouvoir tester l’application de l’outil dans des zones avec davantage de relief, nous avons choisis d’effectuer le même procédé dans la zone de Cologny/Vandoeuvre. Cependant, un autre problème apparut : en dehors de l’espace urbain, et en l’absence d’infrastructures bâties, l’outil traverse les surfaces de champs d’agricultures, les espaces verts, la forêt, etc.

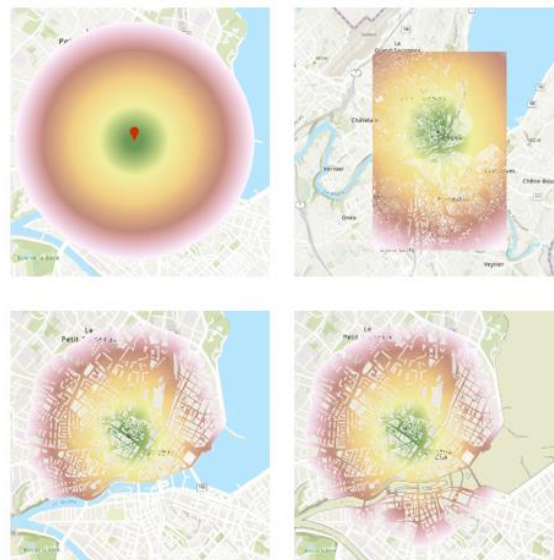


Figure 3 : Etapes de l’exploration de l’outil "Distance accumulation tool"

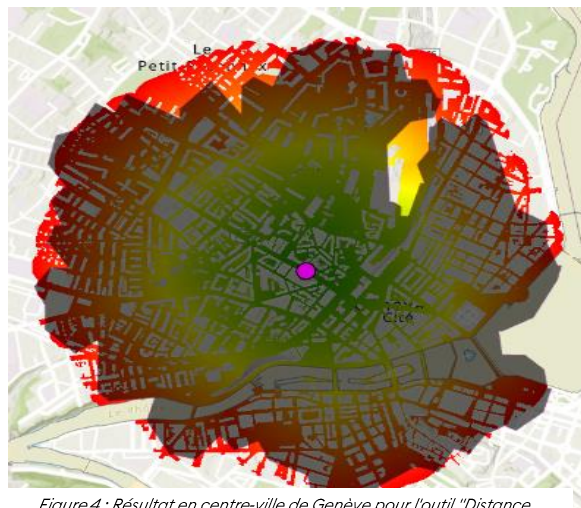


Figure 4 : Résultat en centre-ville de Genève pour l’outil "Distance accumulation tool"

Etant donné que les obstacles doivent être constituées de « barrières », nous avons besoin d'une couche de données représentant toute les infrastructures non « traversables ».

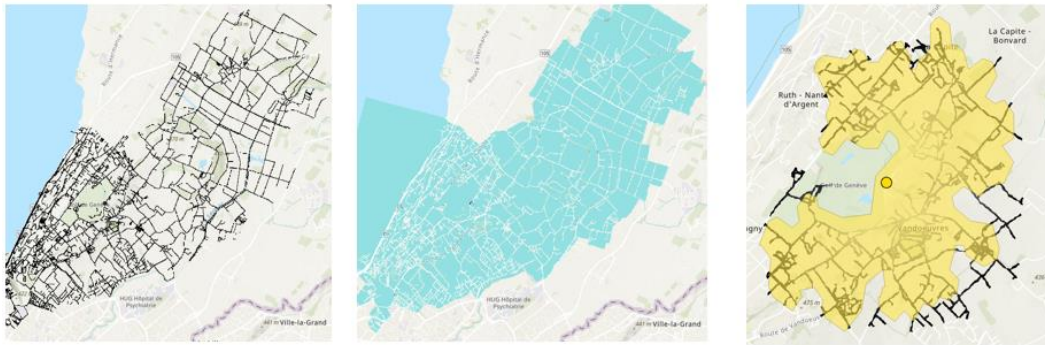


Figure 5 : Etapes de géotraitement pour les barrières paramétrables dans l'outil "Distance accumulation tool"

Face à l'absence de ces données, nous avons eu l'idée de convertir la couche « GRAPHE DE LA MOBILITE - GRAPHE ROUTIER REGIONAL » (Tableau 1) en raster (Figure 5 : image de gauche), ainsi que la couche « COMMUNES GENEVOISES » (Tableau 1), afin de pouvoir leur attribuer à chacun une valeur de 1 et de les additionner. Une fois cela effectué, il nous restera qu'à sélectionner les cellules qui ont une valeur de 1 (Figure 5 : image du milieu), qui seront intégrées comme barrières à l'outil (Figure 5 : image de droite). Finalement, la dernière étape aurait été d'ajouter des facteurs de coûts en relation avec la couche d'élévation « MNT - MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN 2019 » et de la configurer comme facteur de coût dans l'outil.

### **Résultat et réflexivité :**

Finalement, plusieurs raisons nous ont poussé à abandonner l'exploration de cette piste avant son aboutissement. Le polygone généré par l'outil « Distance accumulation » n'était pas utilisable. D'une part, parce que les traitements manuels (tels que les modifications faites pour les ponts) étaient beaucoup trop fastidieux, les géotraitements trop longs (calculs de raster et reconversion) et, impossibles à effectuer sur l'entièreté du territoire Suisse (même si un ModelBuilder aurait pu partiellement contribuer à automatiser les étapes). D'autre part, l'outil n'est principalement pas utilisé pour le milieu urbain. En effet, il ne calcule pas les segments traversés comme des infrastructures routières qui peuvent refléter des flux et des restrictions.

## 2.1.B Isodistances personnalisées, basées sur des rasters de pente

Une autre piste qui a été explorée est celle des isodistances personnalisées, basées sur des rasters d'élévation. En effet, en utilisant le modèle numérique de terrain (Tableau 1), nous pouvons générer un raster de pente avec l'outil « Slope – 3D analyst tool ». Une fois cela réalisé, nous avons créé un raster de coût de surface avec l'outil « Cost distance tool ». Cet outil permet de d'attribuer un coût proportionnel au changement de pente sur son parcours. Par la suite, nous avons créé une nouvelle colonne dans la table d'attribut de l'infrastructure routière « TLMSTRASSE » (« SWISSTLM3D, Tableau 1) nommée « pente ». Finalement, nous avons effectué une jointure spatiale entre les valeurs de « coût de surface » créés plus tôt et les segments de route. Finalement, l'idée était de pouvoir changer cette couche en tant que réseau personnalisé mais cela n'a pas fonctionné (Figure 6).

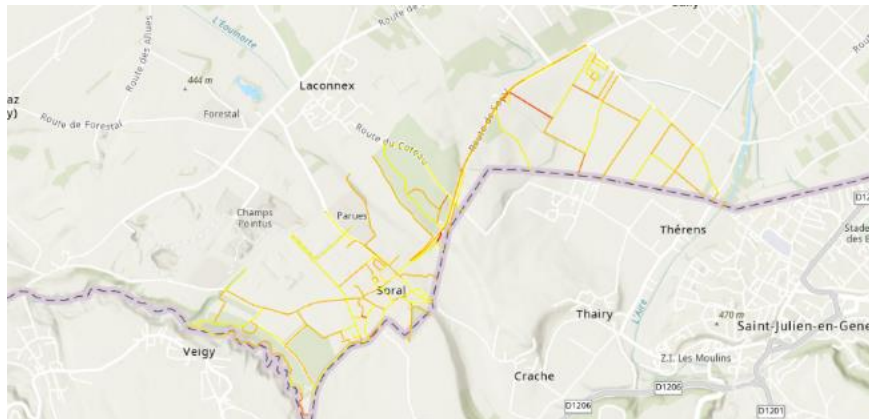


Figure 6 : Capture d'écran des segments selon la pente attribuée pour la zone de Soral

### **Résultat et réflexivité :**

L'approche utilisée dans cette option se rapproche le plus à la méthode finale utilisée dans ce travail, même si quelques problèmes ont été rencontrés. D'une part, la compréhension des outils n'était pas totale et il est certain que plusieurs erreurs de configuration ont été effectuées. De plus, la méthode d'attribution spatiale enlève toute la précision de ce travail étant donné que sur un tronçon de plusieurs centaines de mètres (donc une altitude variée) n'est attribué qu'un point basé sur le modèle numérique de terrain. Ensuite, les tests effectués pour cette piste ont dû se résumer à la commune de Soral, étant donné le trop grand volume de données à traiter et la lenteur de leur traitement, ce qui rendait cette option impossible à traiter à grande échelle (Figure 6). Finalement, même si les points précédents auraient pu être résolus, il nous manquait,

les connaissances nécessaires pour comprendre la distinction entre une couche de polylignes simple, et un fichier réseau « Network Dataset ».

### **Autres pistes annexes :**

D'autres pistes ont été rapidement explorées, dont notamment l'utilisation de l'outil « Accessmod », développé par un partenariat entre l'Organisation mondiale de la santé et plusieurs organismes, dont l'Université de Genève et bien d'autres (Accesmod, 2023). Bien que ce dernier puisse répondre aux besoins de ce travail (même si la méthode diffère complètement du Network Analyst), il sortait totalement du cadre du certificat et se résumait davantage à un outil déjà prêt à l'emploi.

## **2.2 Données utilisées & acquisition**

### **2.2.A Données utilisées**

La principale source de données utilisée est celle du SWISSTLM3D (Tableau 1) et contient la structure essentielle au bon fonctionnement de notre méthode. Alors que les données provenant d'Open Street Map et du Graphe de la mobilité étaient principalement utilisés pour essayer de paramétrer les restrictions routières, les autres données telles que le modèle numérique de terrain, la couche des bâtiments et du lac ont été utilisés lors des essais exploratoires dans d'autres outils. Finalement, que ce soit pour ces derniers, ou pour la méthode plus aboutie, les couches « TLM\_GRENZEN » et « COMMUNES GENEVOISES » ont été utilisées pour délimiter les zones d'analyse.

Tableau 1 : Données utilisées ou mentionnées dans ce travail

Organisme	Nom	Type de données	Format disponible	Description	Mode de distribution	Métadonnées	Date des données et fréquence de mise à jour
DI – Département des infrastructures	SIGNALISATION LUMINEUSE - BOITES A FEUX	Points	GDB, GML, KML, SHP	Utilisable comme addition de pénalité d'attente aux feux	OPEN DATA	<a href="https://ge.ch/sitg/fiche/6023">https://ge.ch/sitg/fiche/6023</a>	01.11.2023 - Quotidienne
DT – Département du territoire	BATIMENTS HORS SOL	Polygone	CSV, GDB, GML, KML, SHP	Utilisé pour définir les barrières dans l'outil « Accumulation distance tool »	OPEN DATA direct	<a href="https://ge.ch/sitg/fiche/9810">https://ge.ch/sitg/fiche/9810</a>	01.11.2023 - Quotidienne
DT – Département du territoire	COMMUNES GENEVOISES	Polygone	CSV, GDB, GML, KML, SHP	Utilisé pour délimiter les zones de calcul et de construction réseau	OPEN DATA direct	<a href="https://ge.ch/sitg/fiche/5661">https://ge.ch/sitg/fiche/5661</a>	04.12.2023 - Quotidienne
DT – Département du territoire	EMPRISE DU LAC LEMAN	Polygone	CSV, GDB, GML, KML, SHP	Utilisé comme barrière pour le lac léman dans l'outil d'accumulation de distance	OPEN DATA Direct	<a href="https://ge.ch/sitg/fiche/3951">https://ge.ch/sitg/fiche/3951</a>	01.11.2023 - Irrégulière
DT - Département du territoire	MNT - MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN 2019 (pixel 0.5 m)	Raster	ESRI ASCII GRID, GDB RASTER DATASET	DEM utilisé pour essayer de calculer la pente selon les segments	OPEN DATA Sur demande	<a href="https://ge.ch/sitg/fiche/8821">https://ge.ch/sitg/fiche/8821</a>	25.02.2020 - Irrégulière
DSM	GRAPHE DE LA MOBILITE - GRAPHE ROUTIER REGIONAL	Ligne	SHAPEFILE	Intégration des restrictions de circulation (sens interdits, autoroutes)	OPEN DATA Accessible aux partenaires SITG	<a href="https://ge.ch/sitg/fiche/3425">https://ge.ch/sitg/fiche/3425</a>	28.08.2023 - Annuelle
Open Street Map	Gis_osm_road_free_1	Polygone	SHAPEFILE	Intégration des restrictions de circulation (sens interdits, autoroutes)	OPEN DATA Direct	<a href="https://download.geofabrik.de/osm-data-in-gis-formats-free.pdf">https://download.geofabrik.de/osm-data-in-gis-formats-free.pdf</a>	29.04.2022 - Journalière
Swisstopo	SWISSTLM3D	Lignes / Points	SHAPEFILE	Utilisé comme base du réseau	OPEN DATA direct	<a href="https://www.swisstopo.admin.ch/fr/geodata/landscape/tlm3d.html#dokumente">https://www.swisstopo.admin.ch/fr/geodata/landscape/tlm3d.html#dokumente</a> (rubrique « documents »)	2023 - Annuelle
Swisstopo	TLM_GRENZEN	Polygone	SHAPEFILE	Utilisé pour délimiter les zones de calcul et de construction réseau	OPEN DATA direct	<a href="https://www.swisstopo.admin.ch/fr/geodata/landscape/boundaries3d.html#dokumente">https://www.swisstopo.admin.ch/fr/geodata/landscape/boundaries3d.html#dokumente</a>	01.01.2024 – Annuelle

## 2.2.B Acquisition des données

À l'exception de la couche du modèle numérique de terrain qui est commandée sur le site du SITG (et donc implique un délai), toutes les données utilisées dans ce travail sont disponibles en Open Data et/ou directement téléchargeables sur les liens fournis dans la colonne « Métadonnées » (Tableau 1).

## 2.3 Démarche finale

Lors de notre première entrevue avec Prof. Dubois, il a été convenu de créer un réseau personnalisé sur ArcGIS. La première étape a été de s'auto former aux fichiers réseaux sur ESRI, via le cours « Preparing for Network Analysis » (ESRI, 2023) qui m'a permis d'acquérir les connaissances théoriques et pratiques requises pour ce projet.

Afin de respecter le seuil paramétré, l'algorithme (CF. Chapitre 1.5) se réfère à la colonne d'une table d'attributs pour générer l'isochrone. L'objectif du travail est de pouvoir créer un réseau routier contenant une table d'attribut avec cette valeur. Initialement, et utilisé jusqu'à maintenant, le terme d'isochrone se réfère à une valeur de temps. Ici, nous proposons



une méthode qui utilisera une valeur de seuil en distance. Pour cela, nous allons dorénavant parler en termes d'isodistances.

Pour commencer, nous avons téléchargé et inséré la Geodatabase SwissTLM3D (Tableau 1) qui a deux objectifs : d'une part de constituer le « squelette » du réseau routier et d'autre part pouvoir obtenir l'information d'élévation. Ce réseau est composé d'une multitude de couches, dont deux nous intéressent : « TLM\_STRASSE » (polylignes contenant les segments), ainsi que TLM\_STRASSENINFO (points contenant les informations de jonctions entre chaque segment). Etant donné la grande quantité de segments contenue dans les deux tables d'attributs (2'038'749 segments, 1'605'300 points pour le territoire Suisse), il a été convenu de créer un réseau par région linguistique (Annexe 2), afin de ménager le matériel informatique et éviter les crashes.

Avant de commencer à créer le réseau, il était primordial de pouvoir trouver une formule mathématique pouvant calculer la pénalité induite par la pente sur une vitesse initiale. Après plusieurs recherches et sur conseil de Prof. Dubois, il a été choisi d'utiliser la formule développée par Manuel Barranco (Barranco 2002, p.9) (Figure 7) et utilisée entre autres par Pablo de Roulet dans son projet ItiVélo (De Roulet,2012). Une fois la pente fournie, cette formule calcule une vitesse en km/h selon une vitesse initiale de 20 km/h avec un intervalle de cohérence se situant entre [-8% et 8%] de pente (De Roulet 2012, p. 24).

L'équation pour la vitesse initiale de 20 km/h  
est la suivante:  
$$y = 0.0204x^3 + 0.0553x^2 - 3.5323x + 20$$

*Figure 7: Formule de vitesse développée par Manuel Barranco (2002) où x = pente [%] et y = vitesse [km/h]*

Nous rappelons ici que les analyses de Mobilité sont paramétrés initialement pour une vitesse de 18km/h et une durée de déplacement de 20 minutes, ce qui équivaut à une distance de 6000 mètres. Malgré nos recherches, nous n'avons pas trouvé de formule probante pour une vitesse de 18km/h. Ce point sera discuté plus tard dans le chapitre des limites de ce travail.

Grâce à l'outil « Add Z information », nous avons récupéré la pente moyenne pour chaque segment du « TLM\_STRASSE », ainsi que l'altitude (nommée « Z ») de chaque point pour

« TLM\_STRASSENINFO ». Nous avons nommé cette colonne « Avg\_slope\_FT » pour le « TLM\_STRASSE », FT signifiant « From-To » (direction « aller »), afin de définir la direction de digitalisation. Puis, nous avons commencé par ramener à 8% et -8% toutes les pentes supérieures à 8% et inférieures à -8% (515'103 sur 2'038'749 segments) afin que la formule de Barranco puisse être cohérente et applicable. Ensuite, nous avons créé une nouvelle colonne nommée « Avg\_slope\_TF », TF signifiant « To-From » (« retour ») dont la valeur est la pente moyenne multiplié par « -1 », ce qui permet d'obtenir les valeurs pour le sens inverse des segments.

Par la suite, nous avons calculé les vitesses pour chaque segment. Nous avons créé deux nouvelles colonnes nommées « Avg\_speed\_kmh\_FT » et « Avg\_speed\_kmh\_TF ». Dans celles-ci, les valeurs sont le résultat de la formule développée par Manuel Barranco et faisant appel à la colonne des pentes pour chaque segment :

**« Avg\_speed\_kmh\_FT » =**

$0.0204*(!Avg\_Slope\_FT!**3)+0.0553*(!Avg\_Slope\_FT!**2)-3.5323*(!Avg\_Slope\_FT!)+20$

**« Avg\_speed\_kmh\_TF » =**

$0.0204*(!Avg\_Slope\_TF!**3)+0.0553*(!Avg\_Slope\_TF!**2)-3.5323*(!Avg\_Slope\_TF!)+20$

Une fois cela a été effectué, nous avons créé de nouveau deux colonnes de conversion ([km/h] en [m/s]) afin que les attributs soient sur la même unité de mesure :

**« Avg\_Speed\_ms\_FT » = !avg\_speed\_kmh\_FT!/3.6**

**« Avg\_Speed\_ms\_TF » = !avg\_speed\_kmh\_TF!/3.6**

Maintenant que nous avons la vitesse en [m/s], ainsi que la colonne par défaut « SHAPE\_Length » qui nous indique la longueur de chaque segment, alors nous avons créé deux nouvelles colonnes contenant les temps de trajet de chaque segment en secondes :

**« Time\_travel\_FT » = !SHAPE\_Length!/!Avg\_speed\_ms\_FT!**

**« Time\_travel\_TF » = !SHAPE\_Length!/!Avg\_speed\_ms\_TF!**

Dans un deuxième temps, nous avons trouvé intéressant de pouvoir exprimer la pénalité imputée par la pente via une « distance simulée ». Nous avons donc calculé la différence entre le temps de trajet fictif (20 km/h constant) et le temps de trajet réel calculé au préalable (« Time\_travel\_FT » et « Time\_travel\_TF »). Pour cela, nous avons commencé par créer une

nouvelle colonne de temps de trajet fictive dans la table d'attribut, avec comme valeur 5.5 m/s (équivalent 20km/h) pour les deux sens :

$$\ll \text{Time\_travel\_base\_20} \gg = \text{!SHAPE\_Length!}/5.5$$

Ensuite, nous avons créé les attributs « Distance\_supplémentaire\_FT » et « Distance\_supplémentaire\_TF » en multipliant la différence par 5.5 [m/s], afin de la traduire en distance :

$$\ll \text{Distance\_supplémentaire\_FT} \gg = (\text{!Time\_travel\_FT!} - \text{!Time\_travel\_base\_20!}) * 5.55$$

$$\ll \text{Distance\_supplémentaire\_TF} \gg = (\text{!Time\_travel\_TF!} - \text{!Time\_travel\_base\_20!}) * 5.55$$

Finalement, nous calculons les distances simulées qui vont additionner les distances supplémentaires avec les distances par défaut (« SHAPE\_Length »), afin que la pente soit prise en compte. C'est cette colonne qui sera utilisée dans l'algorithme comme valeur de seuil à ne pas dépasser :

$$\ll \text{Distance\_ajustee\_FT} \gg = \text{!distance\_supplémentaire\_ft!} + \text{!SHAPE\_Length!}$$

$$\ll \text{Distance\_ajustee\_TF} \gg = \text{!distance\_supplémentaire\_tf!} + \text{!SHAPE\_Length!}$$

Une fois que cela est fait, nous pouvons donc créer encore 3 colonnes correspondant aux différents modes de transport restants (vélo électrique 25km/h, vélo électrique VAE), marche à pied). En ce qui concerne ces valeurs, nous leur attribuons une valeur qui sera constante (Tableau 2).

Tableau 2 : Calcul des attributs des différents modes de transport

« Velo_electrique »	!SHAPE_Length!/5.55
« VAE »	!SHAPE_Length!/8.3
« Marche »	!SHAPE_Length!/1.38

### **Création des attributs de restriction :**

Afin de pouvoir intégrer des restrictions de circulation, il est nécessaire de créer une nouvelle colonne nommée « Interdictions ». Dans ce travail, il a été choisi que les segments correspondants à des autoroutes (Figure 8), ou entrées / sorties d'autoroutes ne soient pas

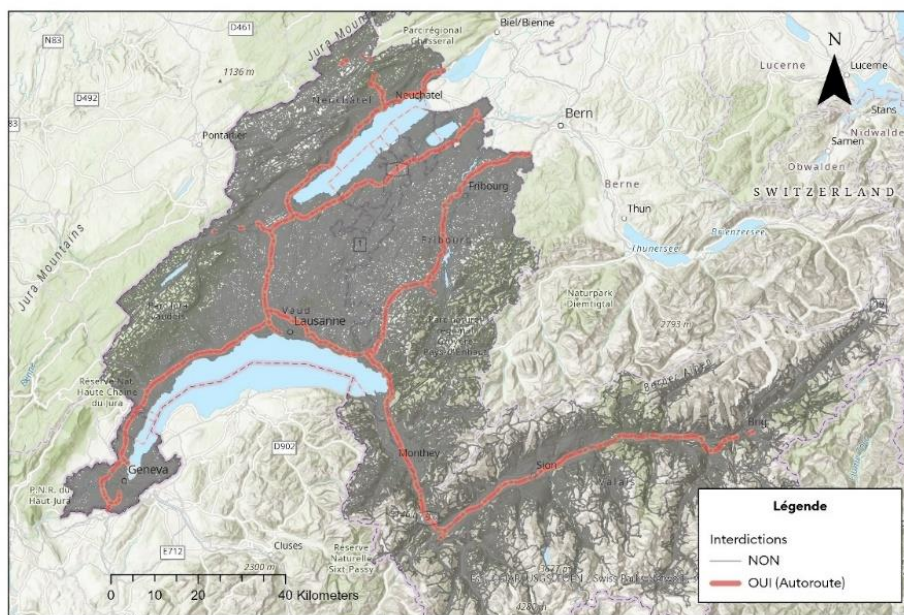
empruntées. Là encore, le « TLM\_STRASSE » (Tableau 1) informe sur cet attribut via son champ « OBJEKTART ».

Tableau 3 : Liste des attributs interdits à la circulation dans la colonne « OBJEKTART » du TLMSTRASSE

Sortie d'autoroute	0
Entrée d'autoroute	1
Autoroute	2

Dans un premier temps, nous effectuons une sélection d'attribut pour les valeurs 0, 1 et 2 (Tableau 3).

### Présence de restriction de circulation



Alexander Ben Hamadi

Figure 8 : Carte des restrictions de circulation en Suisse romande – tronçons d'autoroute

Dans un deuxième temps, nous calculons la valeur de la colonne « Interdictions » = « OUI » pour les segments sélectionnés. Finalement, nous pouvons calculer la valeur « Interdictions » = « NON » pour les segments restants en inversant la sélection.

Une fois cela effectué, nous pouvons passer à la configuration du réseau. Pour cela, nous devons sauvegarder le projet contenant les deux couches (TLMSTRASSE et TLMSTRASSENINFO) sur lesquelles nous avons travaillé. Dans un autre projet, sans insérer de carte, nous allons créer une nouvelle « Geodatabase », y insérer une « Feature Dataset » dans lesquelles nous allons importer nos deux couches. Une fois que cela est fait, nous pouvons

dans ce « Feature Dataset » créer un « Network Dataset », en sélectionnant les deux couches que nous avons importées.

### **Récapitulatif des attributs créés :**

*Tableau 4 : Attributs créés lors de la démarche finale*

<u>Attribut</u>	<u>Description</u>	<u>Champ calculé</u>
SHAPE_Lenght	Distance [m]	Présent dans TLM_Strasse
Avg_slope *	Pente moyenne [%]	Généré par l'outil "Add Z information".
Avg_speed_kmh *	Vitesse moyenne selon pente	$((0.0208 * (!Avg\_Slope!^{**3})) + 0.003 * (!Avg\_Slope!^{**2})) - (3.7329 * Avg\_Slope!) + 20$
Avg_speed_ms_convert*	Vitesse moyenne convertie en [m/s]	$!Avg\_speed\_kmh! / 3.6$
Time_travel*	Temps en [m/s] requis pour parcourir le segment	$!Shape\_length! / !Avg\_speed\_ms!$
Time_travel_base_20	Temps en [s] requis pour parcourir le segment en question, sur une base de 20km/h (5.5 [m/s])	$!Shape\_length! / 5.5$
Distance_supplementaire*	Distance du temps de parcours "ajouté" dû à la pente	$(!Time\_travel! - !Travel\_base\_20!) * 5.5$
Dist_ajustee*	Distance du temps de parcours ajouté additionné à la distance initiale	$!SHAPE\_Lenght! + !Distance\_supplementaire!$

Interdictions	Attribut informant des interdictions de circulation par le réseau	«OUI» = Présence d'une restriction «NON» = Absence d'une restriction
---------------	---	---

### **Configuration et paramétrage du réseau :**

Le « Network dataset » créé va nous permettre de configurer les couches en tant que réseau. On commence par s'assurer que les sources des segments soient bien paramétrées, ainsi que la source d'altitude pour les jonctions (« TLM\_STRASSENINFO »). Ensuite, nous pouvons aller dans l'onglet des « Travel attributes ». L'essentiel sera ici d'ajouter des coûts de déplacements qui seront appelés par notre table d'attribut. On va donc créer des coûts basés sur la distance en faisant appel à l'attribut « Distance\_ajustee\_FT » et « Distance\_ajustee\_TF » selon le sens de circulation indiqué.

Ensuite, nous faisons de même pour les autres modes de transport, qui eux seront basés sur le temps, étant donné qu'il s'agit d'une vitesse constante calculée sur l'attribut « SHAPE\_Length ». L'étape suivante est de configurer les restrictions (ici, les entrées, sorties et tronçons d'autoroutes) dans l'onglet « Restrictions ». Pour cela, nous paramétrons que tous les segments dont l'attribut « Interdictions » équivalents à « OUI » seront interdits à la circulation. Finalement, il suffit de paramétrer les modes de transports qui seront proposés dans le Network Analyst. Ici, nous allons sélectionner la « Distance ajustée » sur laquelle elle se basera pour effectuer les calculs de distance lors du paramétrage des CUTOFFS (intervalles des différents seuils souhaités). Enfin, il suffit de fermer la boîte de dialogue et de construire le réseau afin qu'il soit utilisable via l'outil « Make Service Area Layer Analysis ».

### **Défis rencontrés :**

La première difficulté consistait à trouver une formule cohérente pour calculer l'impact de la pente sur le temps de trajet d'un segment. La première piste explorée fut celle de la « Tobler's hiking function » (Figure 9). Elle nous est proposée de Waldo Tobler, un géographe féru de randonnée qui développa cette fonction après une analyse de données sur la relation entre la vitesse de marche et la pente (Goodchild 2020).

$$W = 6e^{-3.5 \left| \frac{dh}{dx} + 0.05 \right|}$$

$$\frac{dh}{dx} = S = \tan \theta$$

Figure 9: Fonction de Tobler pour la marche, où  $W$  = vitesse de marche [km/h],  $dh$  = différence d'élévation,  $dx$  = distance,  $S$  = pente,  $\theta$  = angle d'inclinaison. Source: Wikiwand, 2023.

Nous avons essayé de l'utiliser dans les étapes de création des attributs, tout en sachant que nous pourrions utiliser cette formule uniquement pour la marche, mais pour une raison inconnue, les valeurs de vitesses résultantes étaient totalement incohérentes. De plus, la marche n'étant pas le mode de transport prioritaire dans la problématique, cette fonction fut mise de côté. Après plusieurs discussions avec Prof. Dubois, nous avons trouvé une alternative, qui est donc celle de Manuel Barranco (2002), utilisée par Pablot Roulet (2012), dans son certificat de géomatique ItiVélo. Malgré les limites imposées par cette formule, elle est restée la formule principale utilisée dans ce travail.

### **Interdictions et restrictions :**

Un des points problématiques de cette méthode réside dans la prise en compte des restrictions de circulation autres qu'autoroutières (sens interdits, interdiction de circulation totale, zones piétonnes, hiérarchie des types de routes, etc.). En effet, la principale raison est le manque de données disponible pour l'ensemble de la Suisse. La couche TLMSTRASSE informe de la présence ou non d'une restriction de circulation, mais n'informe pas de son sens de restriction (Swisstopo, 2023). Les seules données que nous avons trouvées sont pour le canton de Genève, avec la couche « GRAPHE DE LA MOBILITE - GRAPHE ROUTIER REGIONAL » (Tableau 1). Après consultation auprès de collaborateurs.trices chez Swisstopo et de l'ASIT, il s'avère qu'il n'existe pas de données disponibles similaires pour l'ensemble du territoire Suisse. Dès lors, l'extraction de données provenant d'Open Street Map (OSM) a été considérée. Cependant, après étude, la qualité des données ne permettait pas d'obtenir des résultats concluants, étant donné qu'une seule direction de sens uniques est considérée (Figure 10).

### Comparaison des deux principales sources de données restrictions de circulation



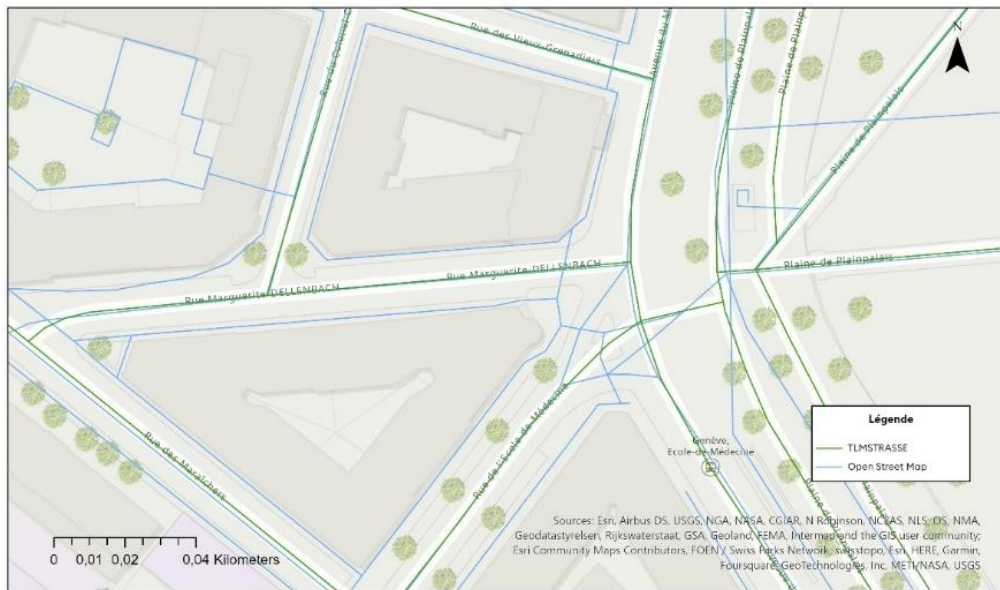
Alexander Ben Hamadi

Figure 10 : Carte de la présence des sens uniques dans le quartier de la Place-Neuve à Genève

En plus des problèmes de données manquantes / incomplètes, nous nous sommes aussi heurtés à un décalage de géométrie. En effet, après une vérification manuelle, nous avons constaté que la couche était incomplète, quel que soit la région observée. La précision des géométries différait entre les données d'Open Street Map et de SwissTLM3D (Figure 11). En l'occurrence, des jointures spatiales ont été testées avec un diamètre de 1 mètres, 2 mètres et 3 mètres afin de pouvoir augmenter le nombre de segments associés avec les informations de restrictions, mais cela présentait un risque de jointure erroné trop grand. Ces deux éléments nous ont donc poussé à ne pas utiliser ces données.



## Comparaison des deux principales sources de données d'infrastructures routières



Alexander Ben Hamadi

Figure 11 : Comparaison de la précision des segments

### **Calculs et bonne configuration du réseau :**

En dehors de ces points, d'autres problèmes plus techniques sont apparus. Par exemple, la configuration des bonnes directions des sens uniques dans le réseau n'a pas été aisée, et a dû être maintes fois modifiée. De plus, d'autres difficultés furent rencontrées tout au long des étapes de la création de l'infrastructure routière. En effet, il a fallu trouver des solutions pour les problèmes de géométrie, les problèmes de syntaxes invalides, sans compter les erreurs de calculs et de configuration du réseau. De manière générale, ces problèmes ont pu être résolus ou contournés grâce à des informations externes (forums ESRI ou tutoriels par exemple).

## 2.4 Apports d'un ModelBuilder

Dans ce travail, l'intégration d'un ModelBuilder présente de multiples avantages. Tout d'abord, il permet d'avoir une vision plus claire du projet dans son ensemble. Comme décrit dans le chapitre 2.3, il existe beaucoup d'étapes et de calculs dans notre méthode. L'utilisation d'un ModelBuilder permet donc d'éliminer les risques d'erreurs mathématiques (fautes de frappes, etc.), mais aussi de pouvoir suivre et comprendre la construction du réseau étape par étape.

De plus, il permet de faciliter l'analyse sur les zones souhaitées. En effet, étant donné que le seul élément à modifier par zone linguistique est la sélection des cantons, le ModelBuilder permet de pouvoir gagner un temps non négligeable lors de la construction. Dans cette optique, les étapes de sélection des cantons, ainsi que les noms attribués aux couches ont été configurés en « parameter », afin de pouvoir les modifier directement dans le modèle (Annexe 13).

Finalement, la plus-value réside aussi dans les mises à jour futures du réseau et les corrections. Etant donné que le Swisstopo met à jour chaque année la couche du SwissTLM3D, le modèle permet de le mettre à jour automatiquement en le lançant. Il en va de même dans le cas de corrections ou de changement de méthode de calcul, comme nous le verrons dans la suite de ce travail. Pour cela, il suffit d'insérer les deux nouvelles couches (« TLM\_STRASSE » et « TLM\_STRASSENINFO ») à la place des deux anciennes couches, qui sont aussi configurées en « parameter ».

### **3. Résultats**

#### **3.1 Cartes comparatives**

Le chapitre qui suit consiste à analyser et à comparer visuellement les isodistances de notre méthode « personnalisés » avec celles générés par ArcGIS. Ici, seulement le vélo classique sera testé. Etant donné que nous considérons que la pente n'impacte pas (ou très peu) les vélos électriques (25km/h) et les vélos électriques rapides (VAE – 45km/h), nous n'analyseront pas ces modes de transports. Il en va de même pour la marche, pour laquelle, d'une part, aucune formule probante n'a été trouvée et d'autre part, car l'impact que la pente occasionnée est moindre.

Nous avons fait le choix de tester ces isodistances dans les villes de Genève, Lausanne, Neuchâtel et Sion, afin de pouvoir comparer les isodistances entre elles. Il est important ici de rappeler que toutes les analyses ont été faites sur une base de 6000 mètres de distance, étant donné qu'il s'agit de la distance de référence pour les vélos classiques dans les analyses qu'effectue Mobilité, pour une vitesse moyenne de 18km/h, sans considération de la pente. Etant donné que ces analyses sans considération de la pente ne représentent pas la réalité, nous comparons ces isodistances même si les vitesses initiales ne sont pas les mêmes. Nous faisons de la sorte afin de pouvoir observer les différences tout en sachant que d'office, les isodistances générées par ArcGIS sont surestimées.

### 3.1.A Genève



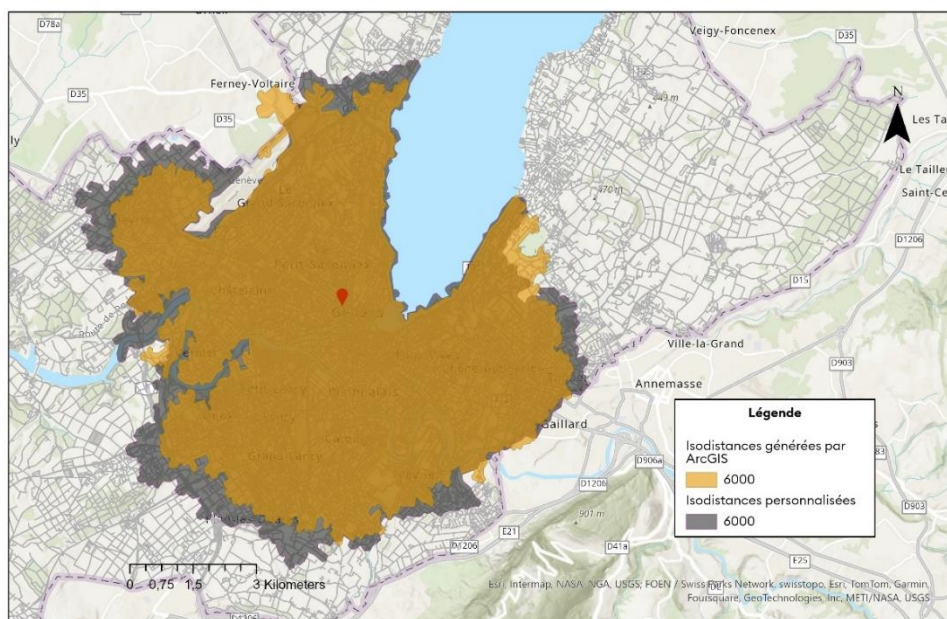
Figure 12: Carte topographique de Genève. Source: Topographic-map, 2023

Tout d'abord, nous avons choisi de tester le réseau dans la ville de Genève. D'une part parce que notre connaissance personnelle du terrain nous permet de pouvoir identifier les incohérences (même si les perceptions peuvent aussi être à l'origine de biais), mais aussi car la topographie de la zone présente un changement dénivelé relativement faible.

Malgré cela, des changements de dénivelé sont perceptibles dans la région de Vandoeuvres Cologny, Chênes-Bougeries Thônex, Troinex, Onex, Petit-Lancy, Meyrin, Vernier ainsi que le Grand Saconnex (Figure 13).

En ce qui concerne, le point de départ de l'isochrone, il se situe à l'emplacement des locaux de Mobilité. Nous avons fait le choix de nous situer au centre-ville afin de pouvoir analyser l'entièreté de l'isochrone. En effet, un emplacement situé davantage en région péri urbaine risquait de voir son isodistance s'interrompre au niveau des frontières Suisses.

Comparaison des isodistances pour Genève (6000 mètres)



Alexander Ben Hamadi

Figure 13: Carte comparative pour Genève

Pour le canton de Genève, les deux isodistances ont une forme similaire. Celui généré par ArcGIS semble cependant sous-estimer la distance parcourue sur presque l'ensemble de ses limites (Figure 14). Dans la zone de Cologny – Vandoeuvre, au Nord - Est du centre-ville, l'isodistance personnalisée sous-estime la valeur de seuil (maximum) comparé à celui généré par ArcGIS. Le même phénomène est observable au niveau de la frontière de Ferney-Voltaire, au Nord-Ouest. Cependant, dans les zones restantes, notamment au Nord (Versoix), à l'ouest (direction Meyrin) et au sud-ouest (Onex – Bernex), la tendance est inverse, malgré le fait que la topographie indique un dénivelé également plus élevé.

### 3.1.B Lausanne

Pour tester le modèle, nous avons effectué le même exercice pour la ville de Lausanne. Cette dernière a été choisie étant donné qu'elle présente une topographie foncièrement différente de celle de Genève et notamment, la pratique du vélo classique est entravée par des pentes plus importantes.

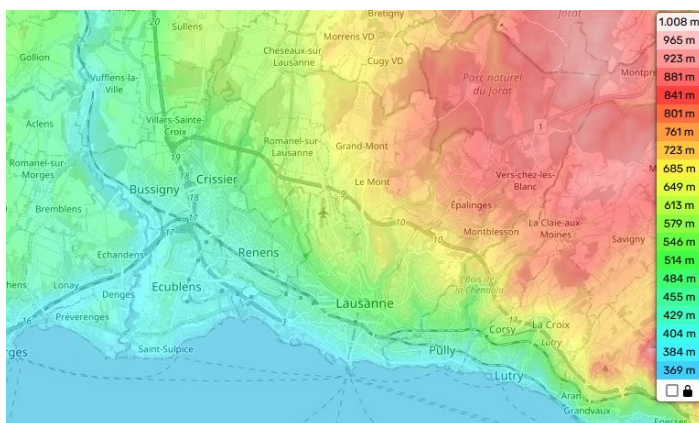


Figure 14 : Carte topographique de Lausanne. Source : Topographic-map, 2023

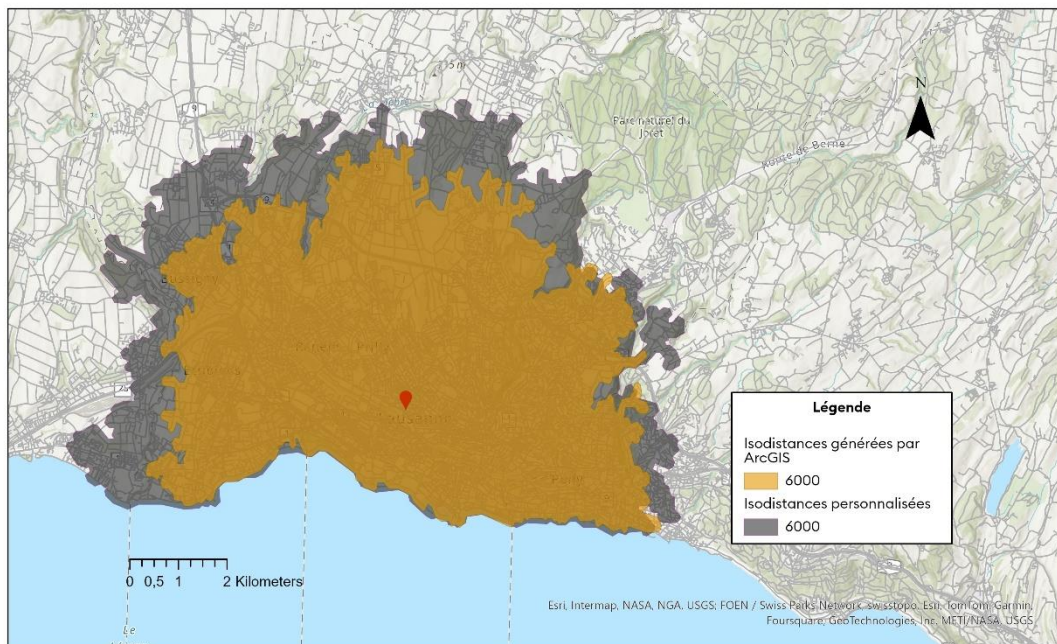
La gare de Lausanne qui se trouve au Sud de la carte se situe à une altitude relativement faible. Nous pouvons y apercevoir un changement de dénivelé relativement modéré en direction de l'Ouest (Renens et Ecublens).

Il en va de même en direction de l'est (Pully et Lutry). En revanche, nous pouvons observer un changement de dénivelé plus marqué du Nord / Nord-Ouest (Romanel-sur-Lausanne et Cheseaux-sur-Lausanne) ainsi qu'un changement encore plus marqué en direction du Nord-Est (Epalinges et Montblesson) qui continue d'augmenter dans cette direction (Vers-chez-les-Blanc et La Clairie aux Moines) (Figure 15).

En ce qui concerne le point de départ de la ville de Lausanne, nous avons choisi de le placer à l'emplacement de bus Couchirard, proche de la gare de Lausanne. Ce choix a été effectué afin

de pouvoir observer comment se comporte l'isodistance en direction du Nord : contrairement au Nord-Est, le changement d'altitude n'est pas continu, mais se comporte davantage en dénivelé positif suivi d'un plateau. Dans ce cas, nous pourrions ainsi observer la différence entre les deux types de topographie.

Comparaison des isodistances pour Lausanne (6000 mètres)



Alexander Ben Hamadi

Figure 15 : Carte comparative pour Lausanne

Ici, nous pouvons observer que dans l'ensemble, l'isodistance personnalisée va bien au-delà de l'isodistance générée par ArcGIS (Figure 16). L'isodistance personnalisée s'étend en direction des hauteurs du Nord-Est de la ville. En ce qui concerne le côté Nord, la différence est d'autant plus grande. Finalement, en direction du Nord-Ouest, ainsi qu'à l'Ouest (zone à dénivelé plus faible), l'isodistance est tout autant plus éloignée. Seul en direction de l'Est, l'isodistance est relativement similaire.

### 3.1.C Neuchâtel

Dans un troisième temps, il a été choisi d'analyser les isodistances pour la ville de Neuchâtel. En effet, cette ville possède une topographie intéressante avec à la fois un relief relativement modéré, mais qui présente aussi une accessibilité rapide à des dénivelés positifs marqués (Figure 17).

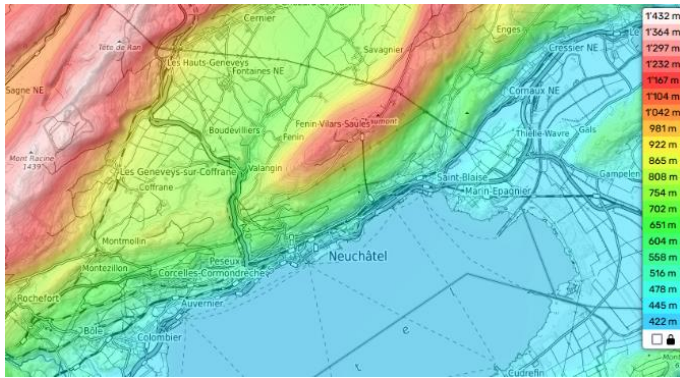
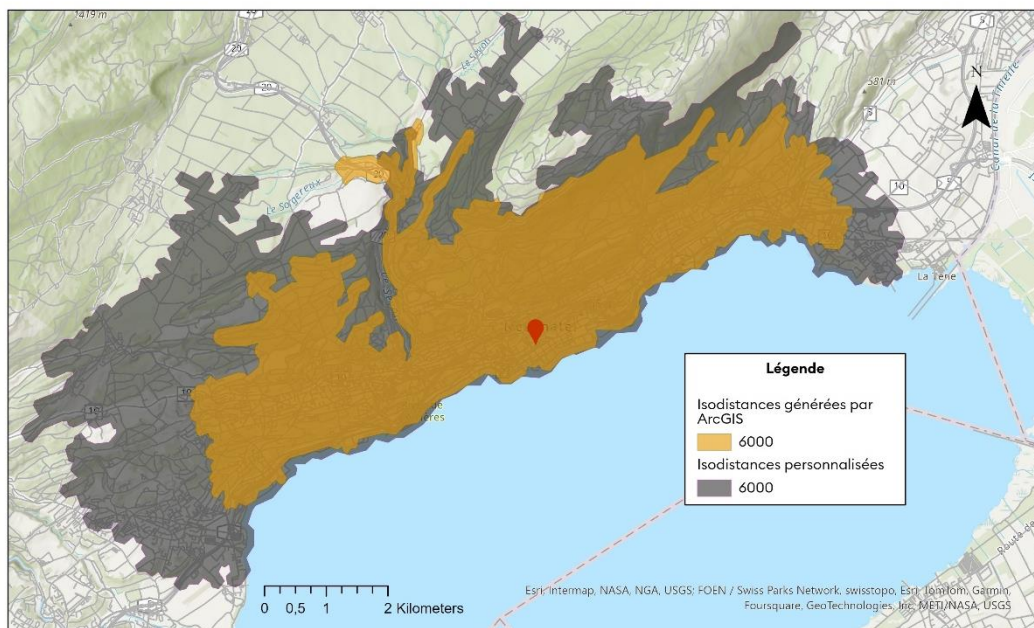


Figure 16 : Carte topographique de Neuchâtel. Source : Topographic-map, 2023

Nous pouvons observer que le centre-ville de Neuchâtel se situe à une altitude relativement basse. En direction du Sud-Ouest (même si davantage à Auvernier qu'à Montezillon), le dénivelé positif est relativement faible. Il en va de même au Nord-Est / Est (Saint-Blaise et Marin-Epagnier).

Enfin, le dénivelé est aussi faible au départ en direction du Nord, pour ensuite augmenter rapidement au niveau du Chaumont, où s'en suit une redescente à partir de la région du Val-de-Ruz.

Comparaison des isodistances pour Neuchâtel (6000 mètres)



Alexander Ben Hamadi

Figure 17 : Carte comparative pour la ville de Neuchâtel

Ici, le point de départ de cette analyse se situe au centre-ville de Neuchâtel, afin de pouvoir d'une part observer de manière optimale l'adaptation de l'isodistance à la pente, mais aussi de pouvoir les comparer aux autres régions dans le cas d'absence de dénivelé positif.

Ici, nous pouvons observer que les deux isodistances se comportent de manière similaire qu'aux autres régions étudiées (Figure 18). En effet, l'isodistance personnalisée surestime largement la distance de seuil comparé à celle générée par ArcGIS. Il surestime largement les seuils dans toutes les directions, à l'exception d'une seule zone située au Nord (Fenin et Boudevilliers). Malgré une altitude relativement similaire au Sud-Ouest, ainsi qu'à l'Est, l'isodistance semble d'autant plus surestimer la distance dans ces directions.

### 3.1.D Ville de Sion

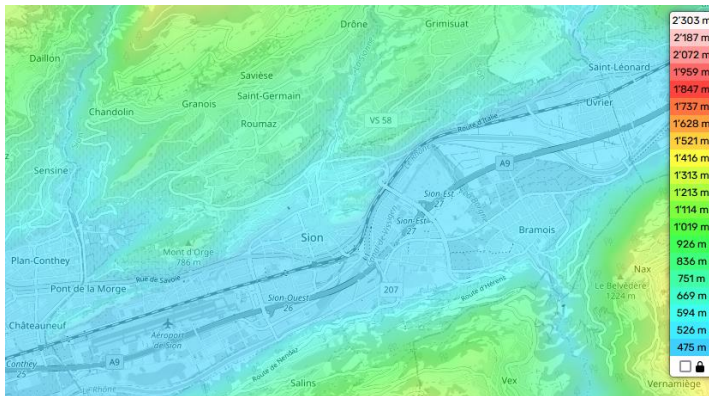


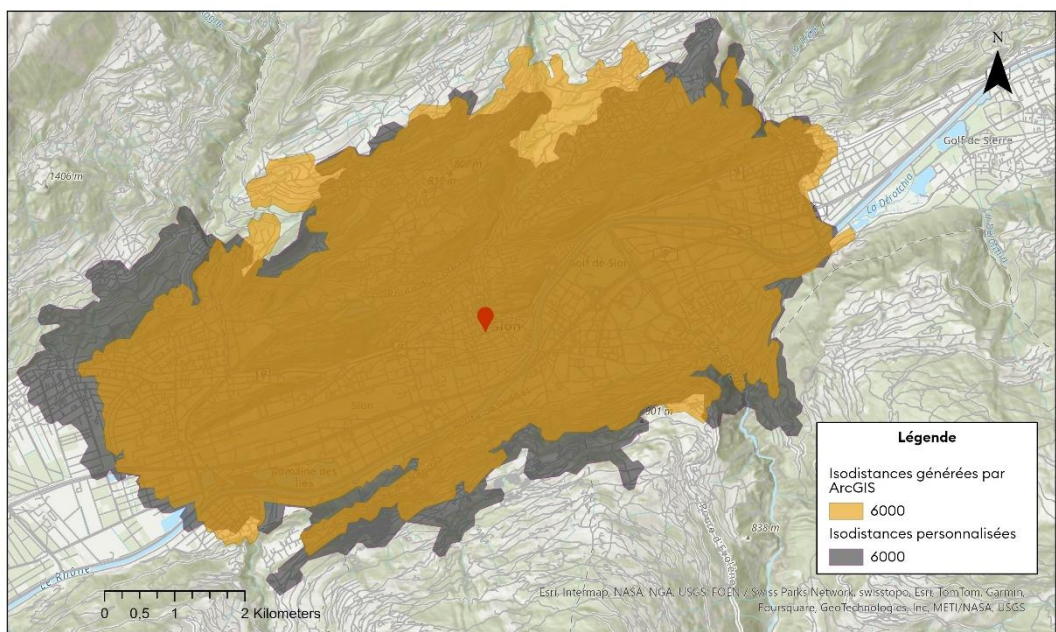
Figure 18 : Carte topographique de la ville de Sion. Source : Topographic-map, 2023

Pour la dernière ville d'étude choisie, la ville de Sion se présente comme une zone très intéressante. En effet, l'intérêt de cette région réside une fois de plus dans sa topographie : un centre-ville relativement plat, avec au Nord, ainsi qu'au sud, un dénivelé présent, bien que relativement faible

(Figure 19).

Ici encore, le point de départ a été placé au centre-ville afin de pouvoir observer comment se comporter l'isodistance générée.

### Comparaison des isodistances pour Sion (6000 mètres)



Alexander Ben Hamadi

Distance simulée : 6083,26 mètres

Figure 19: Carte comparative pour la ville de Sion

Dans ce cas, l'isodistance se comporte de manière similaire à celle analysée à Genève, malgré quelques exceptions (Figure 20). En effet, elles semblent particulièrement similaires, même si certaines zones isolées à plus haute altitudes sont sous évaluées par l'isodistance personnalisé. C'est notamment le cas au Nord (proximité de Drône et Mont d'Orge). A contrario, à l'Ouest, nous pouvons constater une grande différence. Il en va de même pour certaines zones au Sud, même si ici, les différences sont plus faibles.

### 3.2 Interprétations et pistes explicatives

De manière générale, nous pouvons constater que l'isodistance semble fournir des résultats très mitigés. En effet, les cartes comparatives de Genève (Figure 14) et de Sion (Figure 20) montrent les résultats se rapprochant le plus des isodistances générées par ArcGIS. Dans ces cas-là, plusieurs zones ayant été au préalable identifiées comme des zones à plus haut dénivelés montrent que la pente semble être prise en compte comme un facteur limitant la progression de l'isodistance personnalisée. Pour Genève, les zones de Ferney-Voltaire et Vandoeuvre –



Cologny (Figure 14) vont en ce sens. Il en va de même pour les zones de la Drôme et du Mont d’Orge à Sion (Figure 20).

Cependant, les résultats laissent penser que l’isodistance ne fonctionne pas du tout pour les régions à très hauts dénivelés. C’est notamment le cas pour la ville de Lausanne (Figure 16) où l’isodistance ne semble pas du tout cohérente, quel que soit la direction dans laquelle nous nous dirigeons. La ville de Neuchâtel suit cette tendance, avec une isodistance personnalisée beaucoup plus optimiste que celle générée par ArcGIS (Figure 18), malgré le fait que cette région aussi, présente un fort dénivelé positif en son Nord.

Afin de vérifier que la valeur de seuil (impédance) (et donc la distance simulée) configurée corresponde bien au seuil calculé lors de l’analyse, nous avons effectué des analyses de routes avec l’outil « Route Analysis » sur chacun des sites d’études, jusqu’à une extrémité de l’isodistance personnalisée, choisie aléatoirement. Globalement, les distances simulées ont été relativement respectées (Tableau 2).

Tableau 5 : Distances simulées totales pour les routes analysées

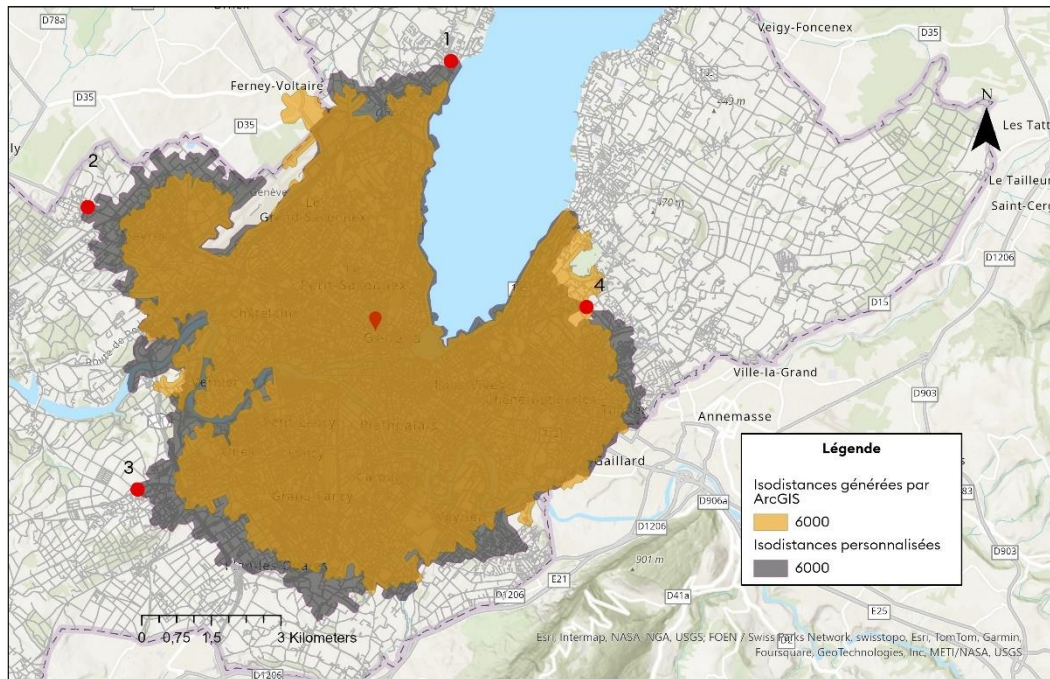
Zone d’étude	Distance simulée totale en [mètres]
Genève	6077, 82 (Annexe 3)
Lausanne	5970,03 (Annexe 4)
Neuchâtel	5974,04 (Annexe 5)
Sion	6083,26 (Annexe 6)

De plus, nous avons effectué un test de terrain en ce qui concerne le cas de Genève. 4 points ont été sélectionnés sur les abords de l’isodistance personnalisée (Figure 21 – Tableau 3), où nous nous sommes rendus à vélo, depuis les locaux de Mobilité (départ identique aux analyses), en utilisant la navigation Google Maps.

Tableau 6 : Données issus des trajets effectués sur le terrain (Annexe 8-9-10-11-12)

Destination	Temps de trajet	Distance totale	Vitesse moyenne	Dénivelé
Creux de Genthod (1)	00 :21 :43	7,25 km	20km/h	+30 / -35
Meyrin – Cern (2)	00 :28 :09	7,78 km	16,6 km/h	+70 / -40
Bernex – Luchepelet (3)	00 :27 :37	7,17 km	15,6 km/h	+80 / -60
Vandoeuvres (4)	00 :26 :00	6,16 km	14,2 km/h	+130 / -65

## Limites testées pour Genève



Alexander Ben Hamadi

Figure 20 : Carte des isodistances de la ville de Genève avec les extrémités testées à vélo

Bien que ces résultats soient à prendre avec parcimonie, ils confirment les interprétations effectuées plus haut. D'une part, nous pouvons constater que tous les temps de trajets dépassent les 20 minutes pré établis (Tableau 3). Pourtant, les vitesses moyennes semblent cohérentes selon le dénivelé présent sur le parcours (20km/h pour l'itinéraire 1 qui est le plus modéré alors que les autres enregistrent des vitesses moyennes réduites). Cependant, même si les routes empruntées par Google Maps ne sont pas les mêmes que celles utilisées par Network Analyst, les distances totales dépassent largement 6 kilomètres de distance, ce qui pose problème dans ce travail.

À notre sens trois différents facteurs peuvent expliquer ce dysfonctionnement. D'une part, nous pensons que le manque de données des restrictions routières impacte fortement les isodistances. En effet, la fonction emprunte tous les segments (sans distinction de leur type), sans prendre en compte les restrictions de circulation tels que les sens interdits, les temps d'attente au feux rouges, la présence de pistes cyclables, qui influencent le temps de trajet. En opposition, les critères respectés par ArcGIS sont beaucoup plus importants (Annexe 1). Nous pourrions émettre l'hypothèse que les villes à infrastructures réduites subiraient de manière moindre ce

manque d'information. L'analyse de la ville de Sion (Figure 20) irait dans cette direction. Cependant, l'analyse de la ville de Genève (Figure 14) contredit cette théorie.

D'autre part, nous pensons aussi que l'intervalle de cohérence imposée par la fonction de vitesse de Manuel Barranco (Figure 22) joue un rôle déterminant dans les zones à haut dénivelé.

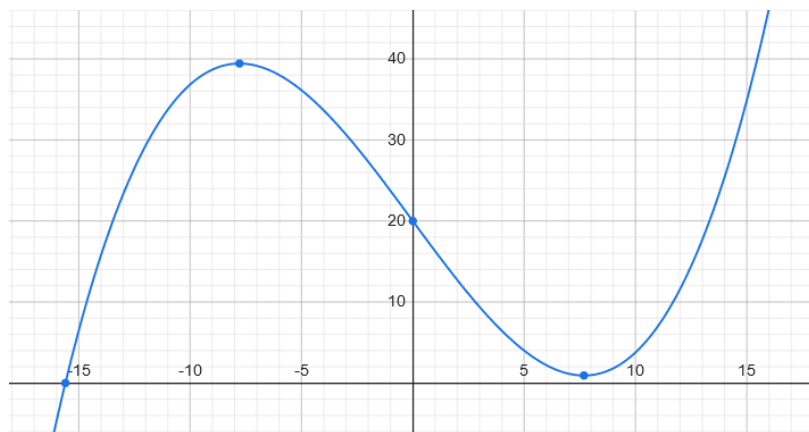
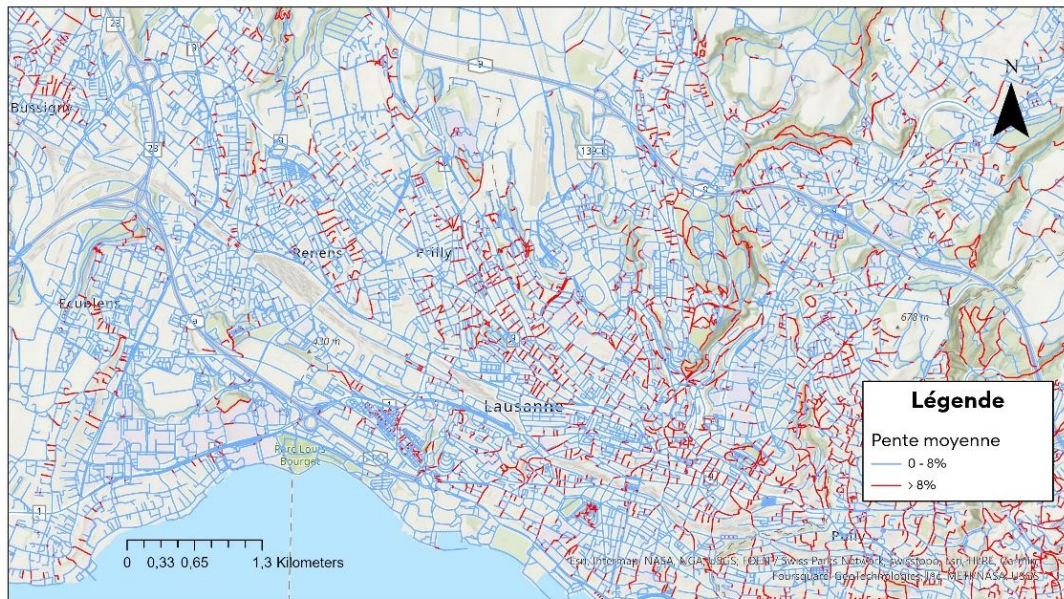


Figure 21: Graphique de la Fonction  $0.0204*x^3+0.0553*x^2-3.5323*x+20$  pour 20km/h, où  $x$  = pente [%] et  $y$  = vitesse [km/h]

En effet, un nombre non négligeable de segments dans la ville de Lausanne possèdent une pente supérieure à 8% (Figure 23). Dès lors, il est possible que l'isodistance reste trop optimiste et sous-estime le temps nécessaire pour parcourir chaque segment, au point même de ne pas compenser toutes les restrictions prises en compte par ArcGIS. Au vu de ces éléments, nous pourrions supposer que l'isodistance personnalisée serait davantage exploitable de manière plus fiable sur des zones géographiques dont les pentes ne sortent pas de l'intervalle de cohérence allant de [-8% à 8%]. Le chapitre des limites proposera des solutions afin de palier à ces problèmes.

Finalement, une dernière explication réside simplement dans la différence de paramétrage d'origine. Nous rappelons que les paramètres initiaux configurés par Mobilidée sont une distance de 6000 mètres pour une vitesse de 18km/h, ainsi qu'un temps de trajet de 20 minutes. Dans notre cas, nous utilisons une vitesse initiale de 20km/h, ce qui, en l'espace d'un temps de trajet de 20 minutes, augmente aussi la distance totale. Ainsi, une différence de 2km/h sur le même temps de trajet, induit une distance supplémentaire de 666,6 mètres ( $1200*20000/3600$ ), ce qui peut partiellement expliquer la surestimation de notre réseau.

## Pentes dans la région de Lausanne



Alexander Ben Hamadi

Figure 22 : Pentes moyennes sur la ville de Lausanne

## 4. Discussion et réflexions

### 4.1 Apports pour l'entreprise

Initialement, ce travail prévoyait de livrer une méthode ainsi qu'un projet ArcGIS directement utilisable pour les analyses d'accessibilité de Mobilidée. Cependant, les résultats ont montré que l'utilisation de ce réseau est difficilement envisageable étant donné ses incohérences notables. Malgré cela, ce projet n'est pas vain, et présente quand même quelques apports.

Tout d'abord, ce travail a permis de répondre à la problématique de la prise en compte de la pente dans les analyses d'accessibilité que propose Mobilidée. À travers les différentes pistes explorées, il a montré qu'il existe des possibilités d'intégrer la pente dans le calcul des isodistances, et nous aura appris que la construction d'un réseau personnalisé reste, pour l'instant, la meilleure option possible pour se rapprocher de ce but.

De plus, chez Mobilidée, ainsi que pour le domaine de la géomatique en général, ce travail a également rouvert le débat sur l'importance des géodonnées dans le secteur de la mobilité. En effet, qu'il s'agisse de leur existence, de leur disponibilité ou de leur accessibilité, cette étude a

d'une part, révélé les grandes disparités en termes d'existence et d'accessibilité entre les cantons. D'autre part, elle a aussi mis en évidence leur grande importance dans ce type de projet.

## 4.2 Limites, discussion et ouvertures

### 4.2.A Méthode de calcul de pente et de vitesse par segments

De manière générale, il existe beaucoup de méthodes différentes pour aborder ce travail. En ce qui concerne la pente, il a d'abord été considéré d'utiliser l'altitude de la jonction de départ ainsi que celui de l'arrivée, afin d'en déduire la différence et d'appliquer la pente résultante pour l'ensemble des segments. Rapidement, cette méthode a été mise de côté étant donné qu'elle ne pouvait pas être représentative de la réalité en termes d'effort (un itinéraire peut présenter beaucoup de pente malgré le fait que l'altitude d'arrivée et de départ soit similaire).

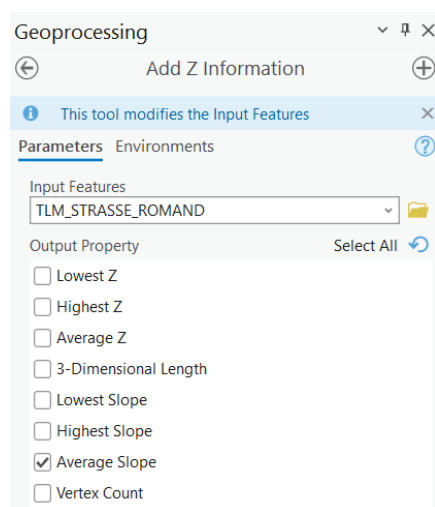


Figure 23 : Capture d'écran de l'outil "Add Z information"

Les possibilités qu'offre l'outil « Add Z information » sont multiples et simplifie grandement l'obtention de l'information de la pente, contrairement aux tentatives d'utiliser le Modèle Numérique de Terrain dans les chapitres précédents. À l'image de la méthode de calcul de Pablo De Roulet (De Roulet 2012, p.20), nous aurions aussi pu utiliser le « 3-Dimensional Length » pour calculer l'altitude sur plusieurs parties du tronçon. Après discussion, il a été décidé de d'utiliser la propriété *Average Slope* (Figure 24) directement dans l'outil étant donné sa fiabilité, sa précision et sa facilité d'extraction.

De la même manière, la méthode de calcul des vitesses peut aussi être remise en question. D'autres formules auraient pu être trouvées dans la littérature, tout comme nous aurions pu en développer une dans le cadre de ce travail. Cet exercice aurait pu être effectué, soit via une équation simple à l'aide de sites de « Curve Fitting », ou en récoltant des données sur le terrain pour ensuite les retranscrire selon les tronçons utilisés. Finalement, les tests effectués sur le

terrain nous ont permis de réaliser que la méthode de calcul de vitesse n'est pas sans faille : une vitesse selon une pente donnée n'est pas atteinte dès le début du tronçon franchi, mais dépend des facteurs physiques, ce qui induit aussi une surestimation générale des trajets effectués.

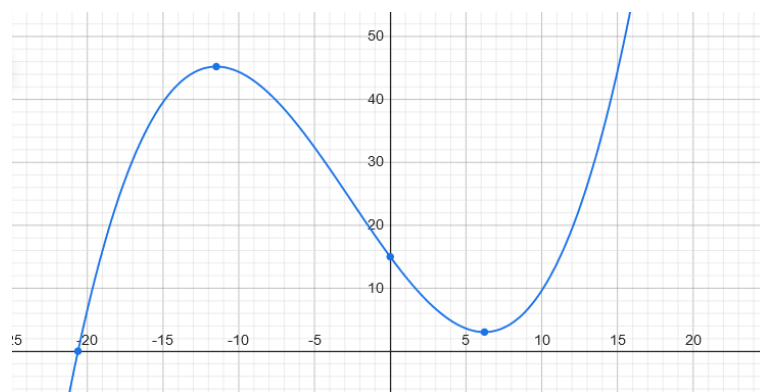
## 4.2.B Ajustement des pentes

Comme discuté précédemment, la formule de Manuel Barranco (2002) présente une limite non négligeable d'incohérence. Au début du travail, nous avons choisi de tester la formule pour une vitesse initiale de 15[km/h], également fournie par Manuel Barranco (2002) (Figure 25).

L'équation pour la vitesse initiale de 15 km/h est la suivante:  
$$y = 0.0152x^3 + 0.12x^2 - 3.257x + 15$$

*Figure 24: Formule de vitesse développée par Manuel Barranco (2002), où x = pente [%] et y = vitesse [km/h]*

Cela aurait permis de se rapprocher de la réalité en termes de vitesse initiale mais aussi de potentiellement avoir un intervalle de valeurs de pentes cohérentes plus grande que la formule précédente. Cependant, après avoir testé la formule dans ArcGIS et après avoir visuellement analysé la formule sous forme de graphique (figure 26), nous avons constaté que l'intervalle de cohérence de pente différerait grandement de la première formule en plus de son asymétrie globale.



*Figure 25: Graphique de la fonction « 0.0152x<sup>3</sup>+ 0.12x<sup>2</sup>-3.257x + 15 » pour 15km/h, où x = pente [%] et y = vitesse [km/h]*

Finalement, il serait possible d'appliquer une fonction personnalisée pour les segments en dehors de l'intervalle cohérent, en utilisant un site de « Curve fitting » tout en prenant comme référence les vitesses à 8% et -8%. Dans ce cas, pour les valeurs au-dessus de 8%, les vitesses pourront être calculées avec la formule :  $-0.1000x+6.5000$  (Figure 27) que nous avons créée via le site de « Curve fitting » « Planet Calc », en configurant que chaque intervalle de 1% équivaut à une perte de vitesse de 0.1 (Annexe 12).

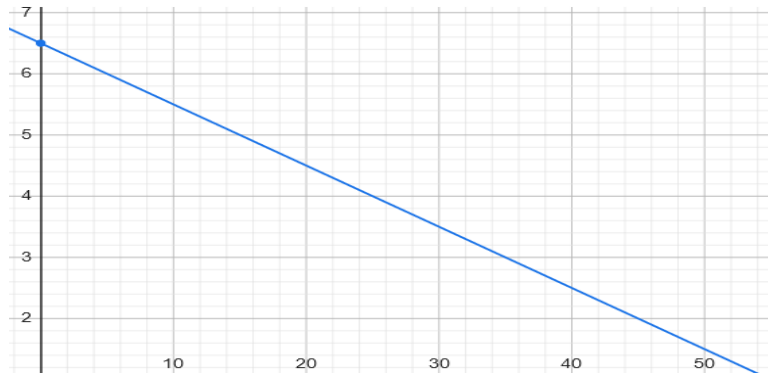


Figure 26 : Graphique de la fonction " $-0.1x+6.5$ " où  $x$  = vitesse [km/h] et  $y$  = pente [%]

Cette formule permettrait donc d'agrandir l'intervalle de cohérence à 20% pour atteindre finalement, une vitesse de 4.6 km/h (Figure 27). À partir de cette vitesse, nous pouvons considérer qu'il est impossible ou très difficile de faire du vélo sans mettre le pied à terre.

A contrario, pour les valeurs en dessous de -8%, les vitesses pourront être calculées avec la formule :  $-0.5076x+30.3762$  (Figure 28), que nous avons créé via le site de « Curve fitting » « Planet Calc », en configurant que chaque intervalle de 1% équivaut à une augmentation de vitesse de 0,5 km/h (Annexe 12).

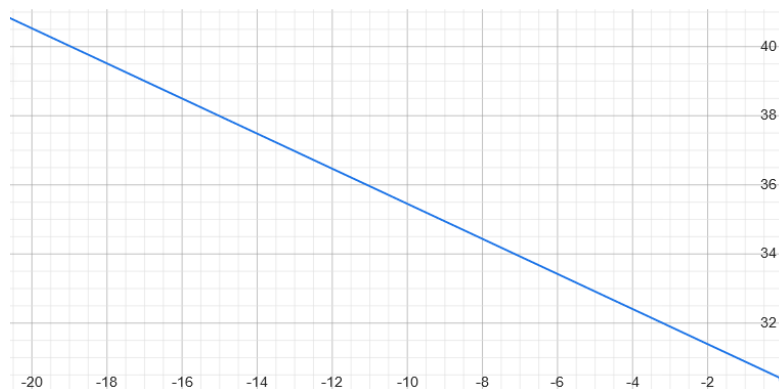
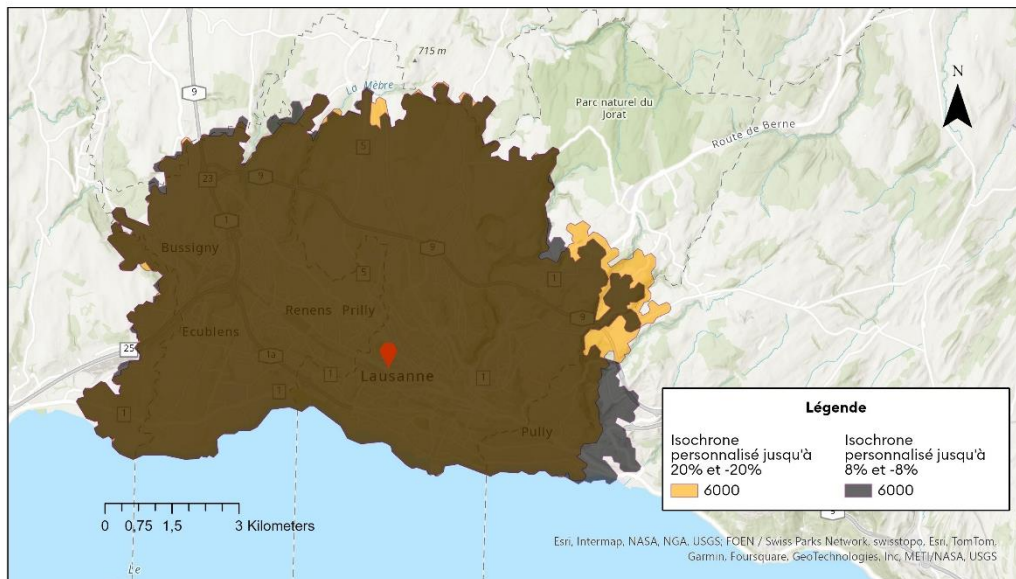


Figure 27 : Graphique de la fonction " $-0.5076x+30.3762$ ", où  $x$  = pente [%] et  $y$  = vitesse [km/h]

Ainsi, cette méthode a été testée en ouverture, pour les deux sens de circulation. Grâce au ModelBuilder, ces équations ont été rapidement intégrées comme étapes intermédiaires. Afin de tester l'impact de cette limite sur les isodistances, nous avons relancé l'analyse sur la ville de Lausanne, qui possède un grand nombre de segments avec une pente supérieurs à 8% dans nos cas d'études.

Comparaison des isochrones personnalisés pour Lausanne



Alexander Ben Hamadi

Figure 28 : Comparaison des isodistances personnalisées sur Lausanne

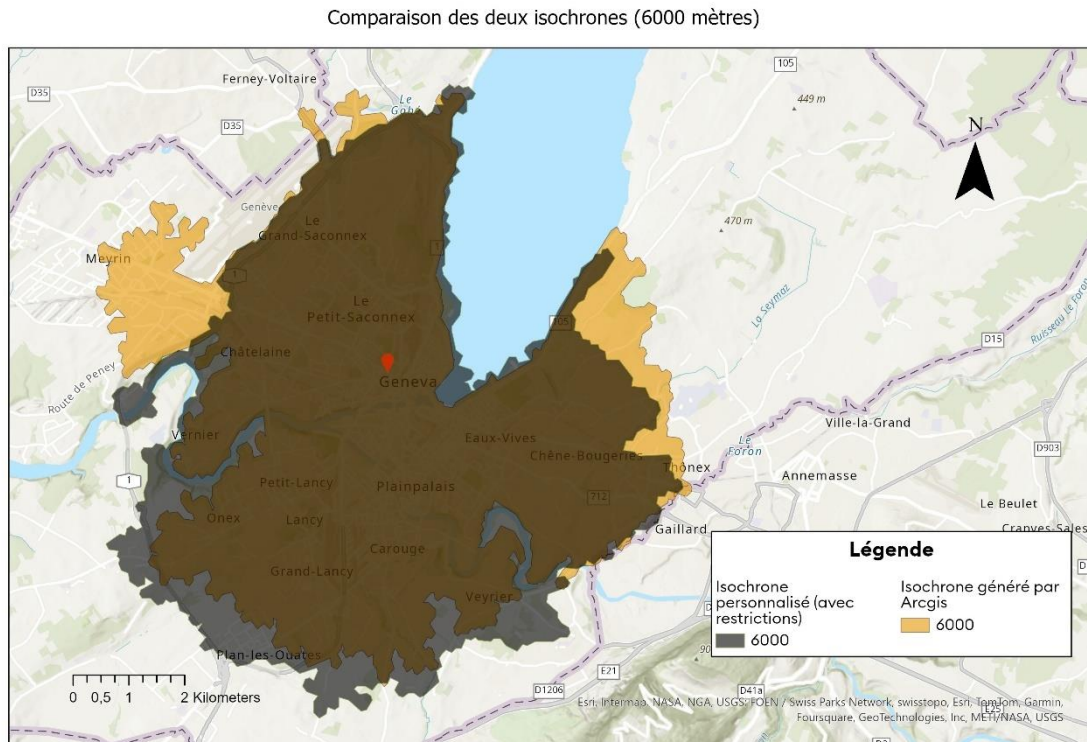
Finalement, nous ne voyons pas de différence marquante avec les isodistances construites précédemment (Figure 29). En effet, mis à part la direction du Nord Est qui paraît davantage surestimée, alors qu'à l'Est, l'inverse se dessine, le résultat semble presque identique. Ce résultat nous informe que soit la formule de Manuel Barranco (2002) ne fonctionne pas du tout, ou bien que le problème réside ailleurs.

#### 4.2.C Prise en compte des restrictions de circulation

Les restrictions de circulation restent une piste majeure pour expliquer le comportement du Network Analyst dans notre travail. Les données d'OSM n'ayant pas été suffisamment complètes pour pouvoir les utiliser, nous avons choisi de ne pas intégrer les restrictions de circulation, à l'exception des interdictions de circulation sur l'autoroute. Cependant, étant



donné que certaines données sont disponibles pour le Canton de Genève (Couche « GRAPHE DE LA MOBILITE - GRAPHE ROUTIER REGIONAL », Tableau 1), nous avons testé un réseau identique au notre, en prenant en compte ces restrictions (Figure 30).



Alexander Ben Hamadi

Figure 29 : Carte de comparaison des deux isodistances avec un réseau personnalisé prenant en compte les sens uniques

À la différence de notre analyse initiale pour Genève (Figure 14), nous pouvons observer que les zones au Nord (Ferney Voltaire), à l’Ouest (Meyrin), ainsi qu’à l’Est (Vandoeuvre - Cologny) sont encore plus sous-estimés (Figure 30). Cette rapide comparaison semble indiquer que la prise en compte des restrictions de circulations permettrait de se rapprocher de notre but.

Bien que ces résultats soient à prendre avec parcimonie (toutes les villes ne possèdent pas le même ratio de restrictions de circulation), cette dimension serait à explorer davantage dans un travail futur.

#### **4.2.D Feux de signalisation**

Un élément peu mentionné jusqu'à maintenant est la présence de feux de signalisation. De manière générale, cette thématique illustre parfaitement la question de l'équilibre entre la complexité d'intégration de certains facteurs et leur plus-value réelle finale. Une exploration des possibilités nous a tout de même montré qu'il n'existe pas d'information permettant d'y estimer une pénalité sur le parcours. Mis à part une couche de points informant de l'emplacement de boîtes à feux pour le canton de Genève (« SIGNALISATION LUMINEUSE - BOITES A FEUX ») (Tableau 1), rien d'autre n'a été trouvé. Cependant, les vitesses de trajet ont été revus à la baisse afin de compenser ces arrêts. Dans le cas où nous voudrions intégrer cette information, un travail de terrain aurait pu être envisagé sur plusieurs feux aléatoires, afin d'y calculer une moyenne d'attente généralisable et intégrable dans le fichier réseau.

#### **4.2.E Limites géographiques**

Le réseau routier personnalisé de ce travail repose sur le territoire Suisse. En effet, une des limites discutables de ce travail réside dans la non prise en compte des pays voisins. En effet, la thématique des travailleurs frontaliers dans certaines régions rend évident sa considération. Pour l'instant, ce travail ne prévoit pas d'intégrer les pays voisins, pour des raisons techniques (disponibilité des données, compatibilité des géométries, volume de données à traiter), mais cette option pourra être considérée à partir du moment que le réseau sera fonctionnel.

#### **4.2.F Autres éléments influençant le temps de trajet**

Les éléments pris en compte dans ce travail, ainsi que les choix méthodologiques ont été décidés en accord avec les collaborateurs.trices de Mobilidée et de leurs intérêts. Dans le cas où ce projet voudrait s'approcher un maximum de la réalité, nombreux seraient les éléments supplémentaires à prendre en compte, à commencer par la santé et la capacité physique de chacun. En effet, les performances sportives sont influencées par la santé globale ainsi que par la condition physique du cycliste. Dans la même idée, d'autres éléments comme les facteurs environnementaux, ont aussi un effet sur les temps de trajet. Sur un vélo, un vent contraire ralentit le cycliste (Barry, 2018). Il en va de même par exemple pour la température lors du

trajet (Peiffer et Abbiss, 2011) ou encore d'autres éléments hypothétiques comme la pluie qui aurait pour conséquence une plus grande prudence du cycliste. Finalement, il serait aussi intéressant d'inclure la présence d'infrastructures cyclables qui permettent le confort et la fluidité de conduite des cyclistes, selon les segments.

#### 4.2.G Direction d'analyse de l'isochrone



Figure 30 : Image d'illustration. Source : Mifiguemiraison, 2023.

Il est important de rappeler que lors de l'utilisation du Network Analyst, nous choisissons d'effectuer une analyse à partir du point de départ (« Away from facilities »). Cela inclut donc que la direction de « voyage » est définie par défaut comme celle du trajet « site-domicile » et que l'effort peut varier donc d'un sens à un autre. Nous pourrions envisager de générer deux isodistances (trajet domicile – travail / travail domicile) ou de créer une isodistance moyenne résultant des deux.

#### 4.2.H Choix des vitesses des différents modes

Construire un réseau implique un grand nombre de choix méthodologiques, à commencer par les vitesses de déplacement des différents modes. Les choix suivants ont été faits en accord avec les géomaticiens de Mobilidée, même si à l'exception du vélo classique, ils ne sont pas appliqués dans cette méthode.

##### Vélo classique :

Les formules de vitesses proposées par Manuel Barranco étaient 15km/h, 20km/h ou 25km/h. Nous avons choisi la vitesse de 20km/h principalement par élimination : La vitesse de 25km/h ne serait pas représentatif de la réalité de la forme physique d'une personne moyenne et la vitesse de 15km/h a présenté trop de limites d'application lors de son utilisation.

### Marche à pied :

Pour la marche à pied, une vitesse de 5km/h, constante, est considérée. Etant donné l'échec de l'application de la « Tobler's hiking function », nous partons du principe que seules les pentes très raides positivement influencent réellement la vitesse de marche. Dans le cas contraire, les pentes très raides (négativement) ne traduit pas que le marcheur se mette à courir, mais qu'au contraire qu'il retient ses pas et donc diminue sa vitesse.

### Vélo électriques (25km/h) :

En ce qui concerne les vélos électriques (25km/h), nous partons du principe que sa principale plus-value est l'assistance lors de montées. Hors de cette situation, l'utilisateur a souvent tendance à pédaler « contre le moteur ». Pour cette raison et du fait que nous ne prenons pas en compte les délais d'attente aux feux rouges (sachant que ces derniers ne sont pas automatiquement respectés, ou dotés d'une autorisation de tourner à droite pour les cyclistes, notamment à Genève) les vélos électriques limités à 25km/h sont configurés sur une vitesse constante de 20km/h.

### Vélo électriques VAE (45km/h) :

Finalement, pour les vélos électriques rapides, ce travail se basera sur une vitesse constante de 30km/h. Du fait que les vélos électriques rapides sont dotés d'une plaque d'immatriculation, nous partons du postulat que leurs utilisateurs auront tendance à davantage respecter les restrictions en milieu urbain. De ce fait, la vitesse maximale est très rarement atteinte (Cyclable 2023).

## **4.2.1 Utilisation de données « ouvertes »**

La tentative d'utilisation des données ouvertes (ici Open Street Map) dans ce travail met aussi en lumière le recul nécessaire sur celles-ci. Le fait qu'elles soient basées sur la contribution de tout un chacun nous expose, soit à un risque d'erreur, soit à une disparité de richesse d'informations selon les zones travaillées. Nous pensons que ces limites prennent d'autant plus d'importance dans le cas de grandes bases de données, comme la couche « GIS\_osm\_road\_free\_1 », qui contient 1'611'406 segments. Cependant, cela ne veut pas dire que nous ignorons toute la contribution des données ouvertes et leurs possibilités infinies.

## **5. Conclusion**

Ce travail avait pour but d'étudier les possibilités d'intégration de la pente dans le cadre d'analyses d'accessibilité chez Mobilidée. Après avoir suivi quelques pistes infructueuses, nous avons choisi de créer un réseau routier, intégrant des distances simulées précalculées selon la pente. Même si les limites sont nombreuses et que son utilisation n'est pas encore possible, ce travail aura mis la lumière sur la difficulté de se procurer des données fiables, mais aussi que la mobilité pendulaire est influencée par une multitude de facteurs externes, pas toujours simples à transcrire. En conclusion, ce travail nous aura permis de peut-être de réaliser que malgré son aspect systémique et technique, la mobilité reste fondamentalement humaine, d'où les seules façons de pouvoir réellement les simuler sont, peut-être, via les données des usagers eux-mêmes.

## 6. Bibliographie

1. Accessmod, 2023. Accessmod org [en ligne] .2023. [Consulté le 03.01.2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.accessmod.org/>
2. Barranco, 2002. Optimisation d'un trajet cycliste en ville de Genève selon diverses variables [en ligne]. Genève : Université de Genève. Mémoire de certificat de géomatique. [Consulté le 17.01.2024]. Disponible à l'adresse : <http://docplayer.fr/216832591-Optimisation-d-un-trajet-cycliste-en-ville-de-geneve-selon-diverses-variables.html>
3. Barry, 2018. A new method for analysing the effect of environmental wind on real world aerodynamic performance in cycling. In *Proceedings* [en ligne]. Février 2018. Vol. 2, No. 6, p. 211.[Consulté le 17.01.2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.mdpi.com/2504-3900/2/6/211>
4. Cyclable, 2023. In Les vélos électriques rapides [en ligne]. 2023. [Consulté le 31.12.2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.cyclable.com/les-velos-electriques-rapides>
5. De Roulet, 2012. ItiVélo – Développement d'un calculateur d'itinéraires vélo pour Genève. Genève : Université de Genève. Mémoire de Certificat de géomatique.
6. Esri, 2023. How distance accumulation works. In ESRI [en ligne]. 2023. [Consulté le 02.01.2024]. Disponible à l'adresse : <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-distance-accumulation-works.htm>
7. Esri, 2023. How Generate Threshold Drive Times works. In ESRI [en ligne]. 2023. [Consulté le 02.01.2023]. Disponible à l'adresse : <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/business-analyst/how-generate-threshold-drive-times-works.htm>

8. Esri, 2023. In Preparing for Network Analysis [en ligne].2023. [Consulté le 03.01.2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.esri.com/training/catalog/57630434851d31e02a43ef58/preparing-for-network-analysis/>
9. Goodchild, 2020. Beyond Tobler's hiking function.In *Geographical Analysis* [en ligne].2020. vol. 52, no 4, p. 558-569. [Consulté le 17.01.2024]. Disponible à l'adresse : [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gean.12253?casa\\_token=wLns6Ag5748AAAAA%3Aa49ssJbO097ck16K4Cgj-oVyBCZveITma\\_FoxAGSP0E1LET5wvpG348EnUjsukR2ZBdEBU6NxktHpVw](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gean.12253?casa_token=wLns6Ag5748AAAAA%3Aa49ssJbO097ck16K4Cgj-oVyBCZveITma_FoxAGSP0E1LET5wvpG348EnUjsukR2ZBdEBU6NxktHpVw)
10. Google, 2024. Comment les données de navigation améliorent Maps pour tous les utilisateurs. In : Aide Google Maps [en ligne].2024.[Consulté le 03.01.2024] Disponible à l'adresse : <https://support.google.com/maps/answer/10565726?hl=fr&co=GENIE.Platform%3DAndroid#zippy=%2Cfonctionnement-des-donn%C3%A9es-de-navigation>
11. Google, 2024.In Google Maps [en ligne]. 2024. [Consulté le 02.01.2024].Disponible à l'adresse : <https://www.google.com/maps>
12. Mifuguemiraison, 2017. Image en bande dessinée représentant le vallonnement et l'effort. In Mifuguemiraison [en ligne].Mise à jour le 08 août 2023. [Consulté le 31.12.2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.mifuguemiraison.com/fr/bretagne-finistere-voyage-velo/>
13. Mobilidée, 2023. In Qui sommes-nous ? [en ligne].2023.[Consulté le 03.01.2024]. Disponible à l'adresse : <https://mobilidee.ch/qui-sommes-nous/presentation/>
14. Office fédérale de la topographie Swisstopo 2023. SwissTLM3D [en ligne]. 2023. [Consulté le 30.01.2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.swisstopo.admin.ch/fr/modele-du-territoire-swisstlm3d>

15. Peiffer et Abbiss, 2011. Influence of environmental temperature on 40 km cycling time-trial performance. In *International journal of sports physiology and performance* [en ligne]. 2011. vol. 6, no 2, p. 208-220. [Consulté le 17.01.2024]. Disponible à l'adresse : <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijspp/6/2/article-p208.xml>
16. PLANETCALC, 2021. Curve fitting using unconstrained and constrained linear least squares methods [en ligne].2024. [Consulté le 31.12.2023]. Disponible à l'adresse : [https://planetcalc.com/8735/#google\\_vignette](https://planetcalc.com/8735/#google_vignette)
17. Topographic-map, 2023. Carte topographique Genève, altitude, relief [en ligne]. 2023.[Consulté le 17.01.2024]. Disponible à l'adresse : <https://fr-ch.topographic-map.com/map-p2tnx/Gen%C3%A8ve/>
18. Topographic-map, 2023. Carte topographique Lausanne, altitude, relief [en ligne]. 2023.[Consulté le 17.01.2024]. Disponible à l'adresse : <https://fr-be.topographic-map.com/map-2ztcz/Lausanne/?center=46.548%2C6.56433>
19. Topographic-map, 2023. Carte topographique Neuchâtel, altitude, relief [en ligne]. 2023.[Consulté le 17.01.2024]. Disponible à l'adresse : <https://fr-ch.topographic-map.com/map-xd2mt/Neuch%C3%A2tel/?center=47.01584%2C6.89941&base=2>
20. Topographic-map, 2023. Carte topographique Lausanne, altitude, relief [en ligne]. 2023.[Consulté le 17.01.2024]. Disponible à l'adresse : <https://fr-ch.topographic-map.com/map-qbjf3/Sion/?center=46.23994%2C7.34625>
21. Wikiwand, 2023. Tobler's hiking function [en ligne]. 2023. [Consulté le 24.01.2024]. Disponible à l'adresse : [https://www.wikiwand.com/en/Tobler%27s\\_hiking\\_function](https://www.wikiwand.com/en/Tobler%27s_hiking_function)



## 7. Annexes

Annexe 1 : Liste des restrictions considérées par ArcGIS – Network Analyst

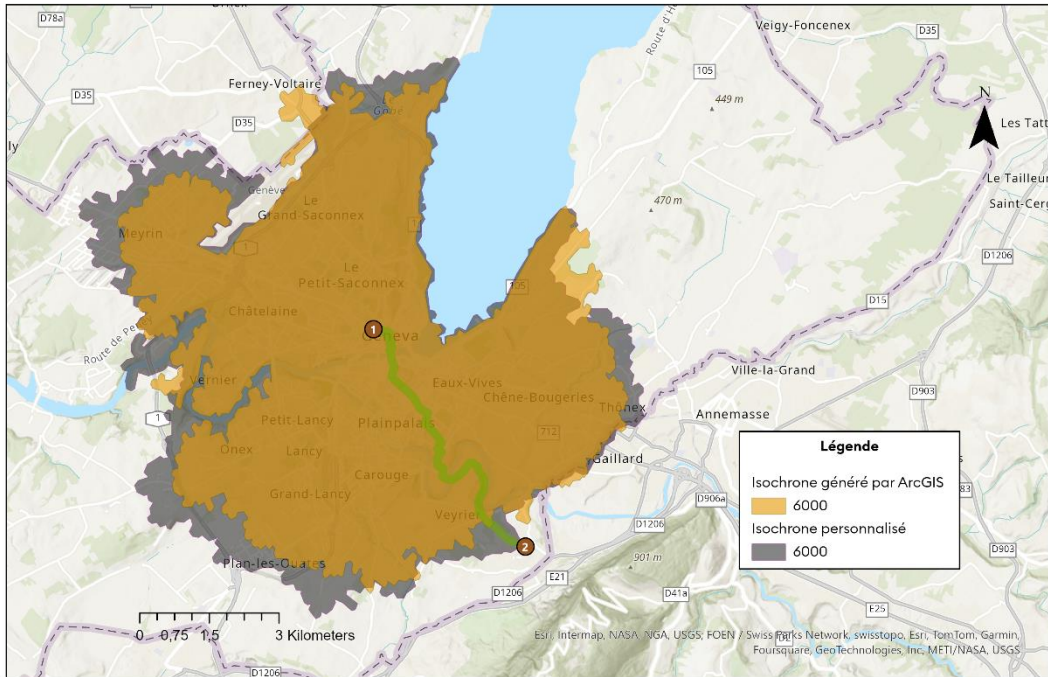
These are the available restrictions of the network data source. Choose the restrictions to apply to this network analysis layer.

Attribute	Parameters
<input type="checkbox"/> Any Hazmat Prohibited	Prohibited
<input type="checkbox"/> Avoid Carpool Roads	Prohibited
<input type="checkbox"/> Avoid Express Lanes	Prohibited
<input type="checkbox"/> Avoid Ferries	Avoid
<input type="checkbox"/> Avoid Gates	Avoid
<input type="checkbox"/> Avoid Limited Access Roads	Avoid
<input checked="" type="checkbox"/> Avoid Private Roads	Avoid
<input checked="" type="checkbox"/> Avoid Roads Unsuitable for Pedestrians	Avoid (high)
<input type="checkbox"/> Avoid Stairways	Avoid (high)
<input type="checkbox"/> Avoid Toll Roads	Avoid
<input type="checkbox"/> Avoid Toll Roads for Trucks	Avoid
<input type="checkbox"/> Avoid Truck Restricted Roads	Avoid (high)
<input type="checkbox"/> Avoid Unpaved Roads	Avoid (high)
<input type="checkbox"/> Axle Count Restriction	Prohibited; 0
<input type="checkbox"/> Driving a Bus	Prohibited
<input type="checkbox"/> Driving a Taxi	Prohibited
<input type="checkbox"/> Driving a Truck	Prohibited
<input type="checkbox"/> Driving an Automobile	Prohibited
<input type="checkbox"/> Driving an Emergency Vehicle	Prohibited
<input type="checkbox"/> Height Restriction	Prohibited; 0
<input type="checkbox"/> Kingpin to Rear Axle Length Restriction	Prohibited; 0
<input type="checkbox"/> Length Restriction	Prohibited; 0
<input checked="" type="checkbox"/> Preferred for Pedestrians	Prefer (low)
<input type="checkbox"/> Riding a Motorcycle	Prohibited
<input type="checkbox"/> Roads Under Construction Prohibited	Prohibited
<input type="checkbox"/> Semi or Tractor with One or More Trailers Prohibited	Prohibited
<input type="checkbox"/> Single Axle Vehicles Prohibited	Prohibited
<input type="checkbox"/> Tandem Axle Vehicles Prohibited	Prohibited
<input type="checkbox"/> Through Traffic Prohibited	Avoid (high)
<input type="checkbox"/> Truck with Trailers Restriction	Prohibited; 0
<input type="checkbox"/> Use Preferred Hazmat Routes	Prefer
<input type="checkbox"/> Use Preferred Truck Routes	Prefer
<input checked="" type="checkbox"/> Walking	Prohibited
<input type="checkbox"/> Weight per Axle Restriction	Prohibited; 0
<input type="checkbox"/> Weight Restriction	Prohibited; 0
<input type="checkbox"/> Width Restriction	Prohibited; 0

Annexe 2 : Répartition des cantons par zone linguistique

Suisse Romande	Suisse Allemande	Suisse Italienne
Genève	Bern	Grisons
Vaud	Berne	Tessin
Neuchâtel	Bâle ville	Grisons
Fribourg	Bâle campagne	
Valais	Argovie	
Genève	Appenzell Rhodes intérieur	
Jura	Appenzell Rhodes extérieur	
	Lucerne	
	Nidwald	
	Obwald	
	Soleure	
	Uri	
	Schwyz	
	Thurgovie	
	Zoug	
	Zurich	
	Saint Gall	
	Schaffhouse	
	Glaris	

### Analyse de route pour Genève

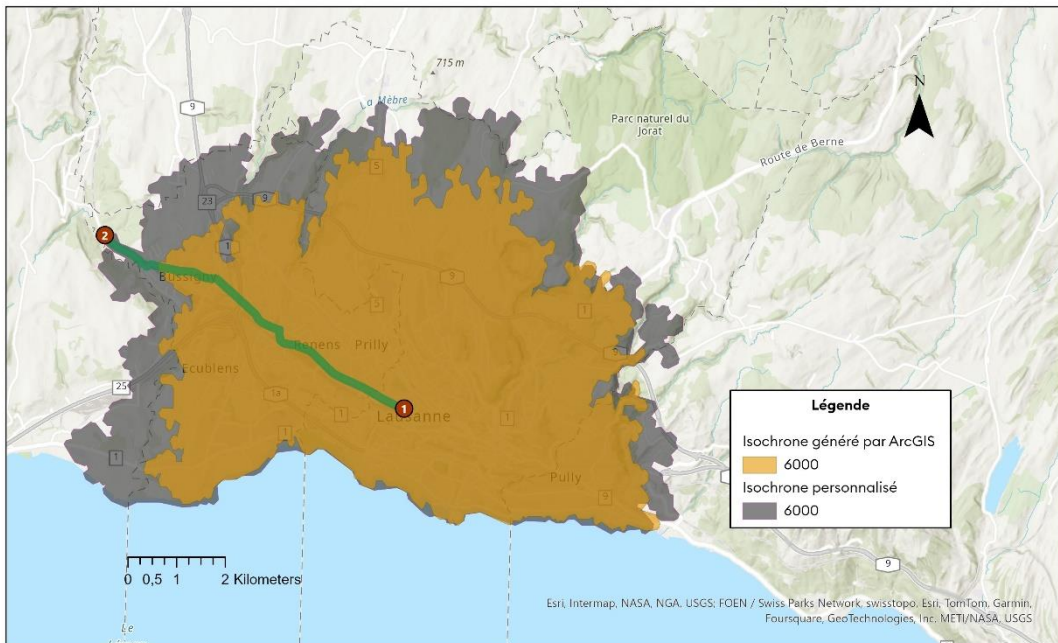


Alexander Ben Hamadi

Distance simulée : 6077,82 mètres

Annexe 3: Carte comparative de Genève ainsi que l'analyse de route

### Analyse de route pour Lausanne

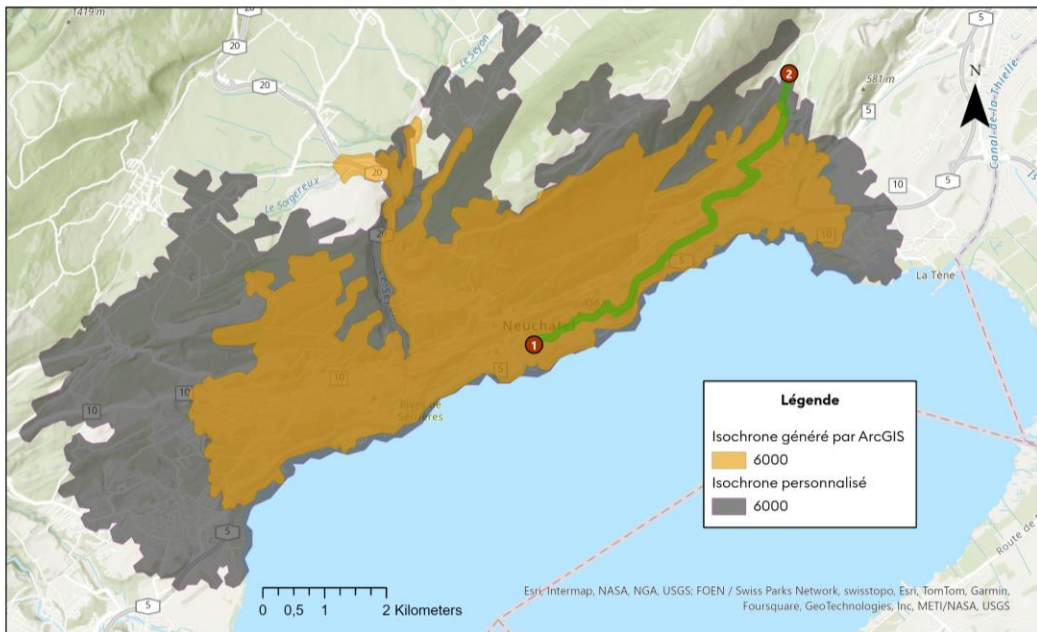


Alexander Ben Hamadi

Distance simulée : 5970,03 mètres

Annexe 4: Carte comparative de Lausanne ainsi que l'analyse de route

## Analyse de route pour Neuchâtel

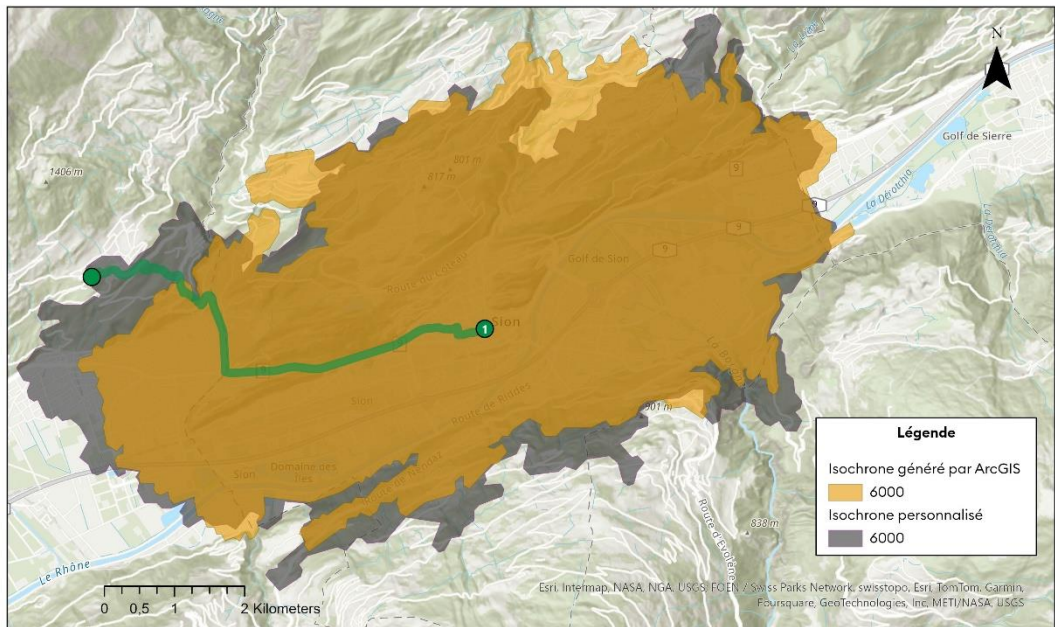


Alexander Ben Hamadi

Distance simulée : 5974,04 mètres

Annexe 5 : Carte comparative de Neuchâtel ainsi que l'analyse de route

## Analyse de route pour Sion

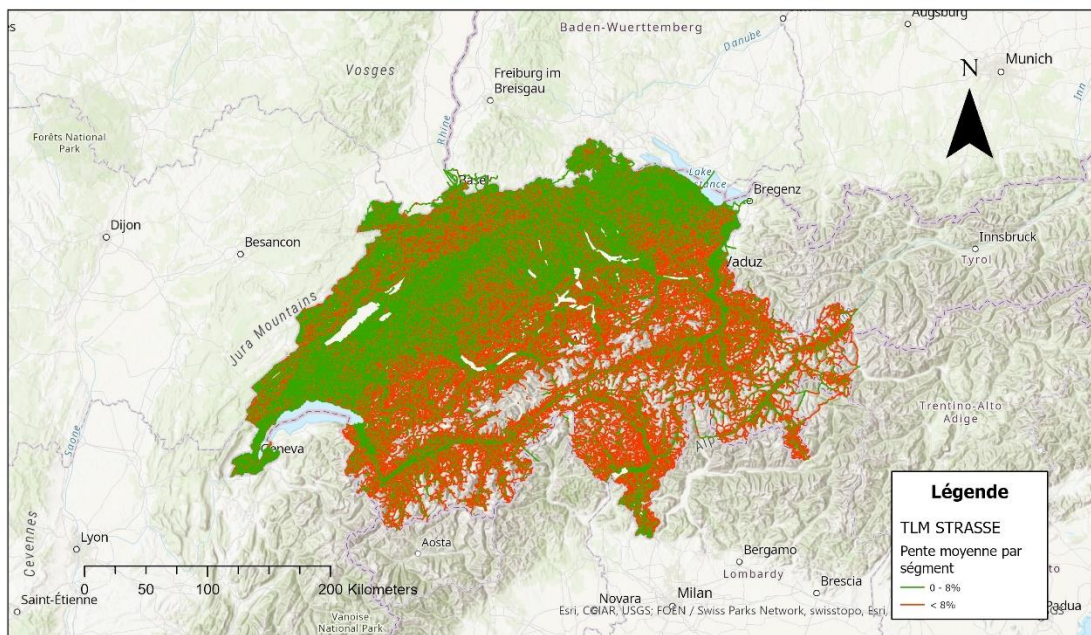


Alexander Ben Hamadi

Distance simulée : 6083,26 mètres

Annexe 6 : Carte comparative de Sion ainsi que l'analyse de route

## Pentes moyennes sur le territoire Suisse



Alexander Ben Hamadi

Annexe 7: Carte des segments dont la pente est entre 0 et 8%, ainsi que celles supérieures à 8%



Annexe 8 : Capture d'écran de l'application « Polarflow » pour les informations de trajets testés - Bernex



Annexe 9 : Capture d'écran de l'application « Polarflow » pour les informations de trajets testés - Genthod



Annexe 10 : Capture d'écran de l'application « Polarflow » pour les informations de trajets testés - Vandoeuvres / Coligny



Annexe 11 : Capture d'écran de l'application « Polarflow » pour les informations de trajets testés - Meyrin

Annexe I2 : Tableau des valeurs entrées pour le Curve Fitting

Intervalle en dessous de -8%													
X (pente)	-8%	-9%	-10%	-11%	-12%	-13%	-14%	-15%	-16%	-17%	-18%	-19%	-20%
Y (vitesse en km/h)	34,27	35	35,5	36	36,5	37	37,5	38	38,5	39	39,5	40	40,5
Intervalle au dessus de 8%													
X (pente)	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%
Y (vitesse en km/h)	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5





## 8. Dossier restitué à l'entreprise

Manuel de création d'un réseau personnalisé (Network Analyst)



Janvier 2024

Alexander Skander Ben Hamadi

## Table des matières

Généralités.....	54
Prétraitement des zones linguistiques.....	55
Calcul des informations d'attributs.....	56
Configuration du réseau.....	64
Utilisation du réseau.....	73

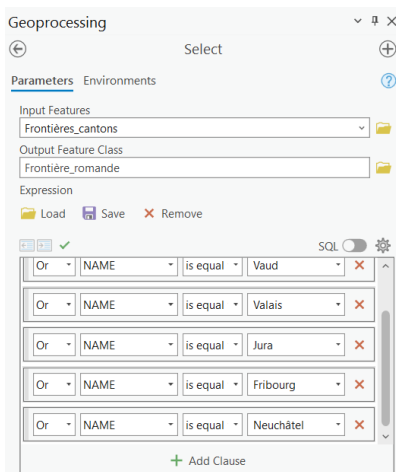
### Généralités :

Instructions générales :

- Veuillez souvent sauvegarder entre les étapes. Etant donné que vous travaillez avec des données lourdes, certaines étapes sont sensibles au crash et donc à la fermeture forcée d'ArcGIS.
- Pour toute création de colonnes dans la table d'attribut, vérifiez l'orthographe de chaque colonne car une fois sauvegardé, on ne peut plus faire de modification sans étape supplémentaire.
- Dès la 6<sup>ème</sup> étape, la plupart des instructions sont à faire deux fois (direction aller et retour). Toutes les étapes seront décrites, mais les captures d'écrans seront seulement disponibles pour la direction « aller ».

# 1. Prétraitement des zones linguistiques :

## 1.1 Sélection des zones d'intérêt :



Créez un nouveau projet. Dans le projet, utiliser *Connect Folder* et ajoutez le dossier « Frontières Suisses ». Ensuite, allez dans le catalogue et sous « Frontières Suisses » - « swissBOUNDARIES3D\_1\_4\_LV95\_LN02 » - « TLM\_GRENZEN » - « TLM\_KANTONSGBIET », glissez la couche sur une carte. Dans notre exemple, nous allons créer le réseau pour la Suisse romande. Nous allons donc utiliser l'outil « Select » en prenant en compte seulement les cantons qui parlent le français (Image 1).

Image 1

Une fois que cela est fait, cliquez de nouveau sur *Connect Folder* et ajoutez le dossier « swisstlm3D » : « SWISSTLM3D\_2023\_LV95\_LN02 » - « TLM\_STRASSEN » et glissez les couches « TLM\_STRASSE » et « TLM\_STRASSENINFO ».

## 1.2 Clip des couches

Effectuez un *Clip* sur les couches « TLM\_STRASSENINFO » (Image 2) et « TLM\_STRASSE » (Image 3) avec comme paramètre de *Clip Feature* la couche de la Suisse romande créée précédemment.

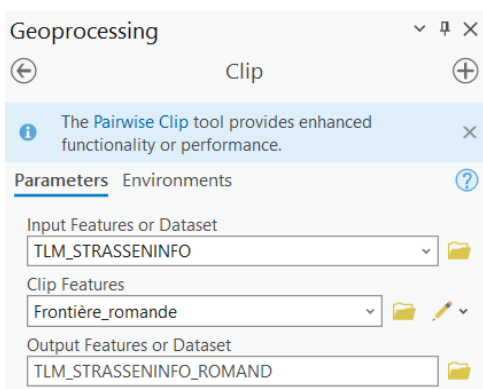


Image 2

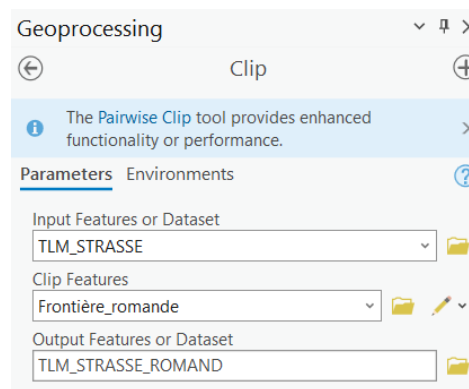


Image 3

## 2. Calcul des informations d'attributs :

### 2.1 Appel des informations de pente :

Dès que c'est fait, sélectionnez la couche « TLM\_STRASSE\_ROMAND » (créé à l'étape précédente) et cherchez l'outil *ADD Z information*. Dans la case *Input Features*, entrez la couche et dans *Output Property*, cochez la case « Average Slope » (Image 4). Une fois que l'outil a été « Run », une nouvelle colonne dans la table d'attribut apparaîtra, nommée « Avg\_Slope » informant sur la pente moyenne de chaque segment, en pourcentage. Ouvrez la table d'attribut et cliquez droit sur « Field » pour renommer la colonne créée en « Avg\_Slope\_FT ». NB : Il est possible que le changement de nom soit pris en compte mais ne s'affiche pas pour « Avg\_Slope\_FT ».

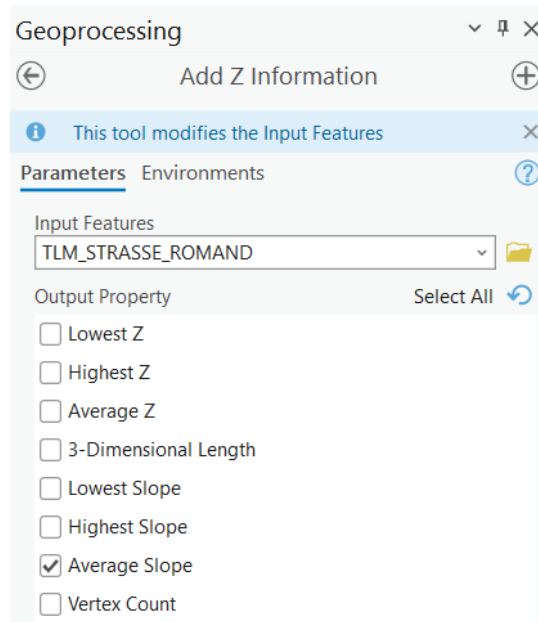


Image 4

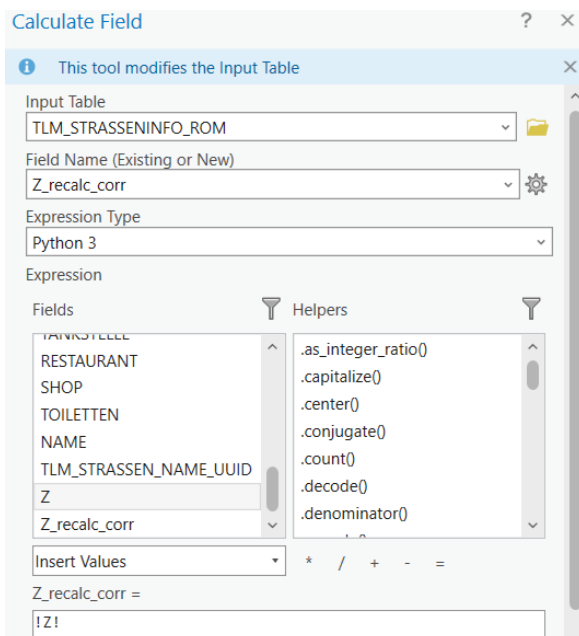


Image 5

Dès que c'est fait, utilisez de nouveau l'outil *Add Z information* sur la couche TLM\_STRASSENINFO en cochant cette fois la case « Spot Z Information ». Une fois que l'outil a été « Run », une nouvelle colonne dans la table d'attribut apparaîtra, nommée « Z », informant sur l'altitude de chaque jonction.

Ensuite, créez une nouvelle colonne dans la table d'attribut de TLMSTRASSENINFO et paramétrez-le *Data Type* en « Text ». Nommez cette colonne « Z\_recalc ». Ensuite, ouvrez le *Field Calculator* et remplissez-le de la manière suivante (Image 5) : « Z\_recalc » = !Z!

Dès que c'est fait, fermez et sauvegardez.

## 1.1 Modification des pentes :

De retour sur la couche TLM\_STRASSE, nous allons brider toutes les pentes inférieures à -8% et celles supérieures à 8%. Pour cela, nous cherchons l'outil *Select by attribute*, afin de sélectionner tous les segments dont les pentes moyennes sont supérieures à 8% (Image 6).

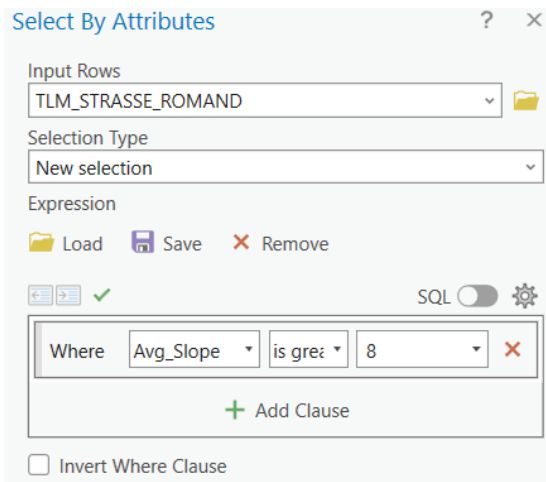


Image 6

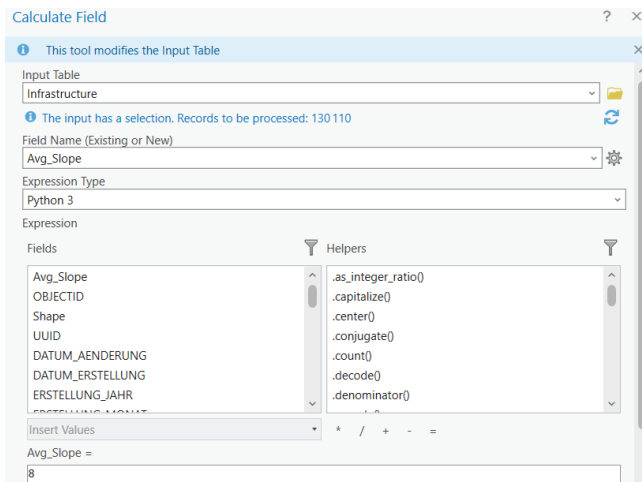


Image 7

Une fois que cela a été fait, il faut afficher les lignes concernées par la sélection et ensuite utiliser le *Calculate Field* en faisant un clic droit sur l'entête de la colonne « Avg\_Slope ». Dans ce dernier, nous allons remplir le champ « Avg\_Slope = » par « 8 » (Image 7).

## 1.2 Création de la pente moyenne pour la direction opposée :

Etant donné que les pourcentages sont exclusivement positifs, il faut créer une nouvelle colonne que l'on va appeler « Avg\_Slope\_TF » :

Ouvrez la table d'attribut et cliquez sur *Add* (Image 8) :

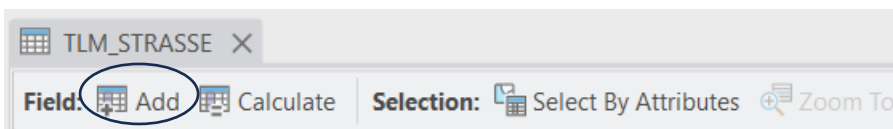


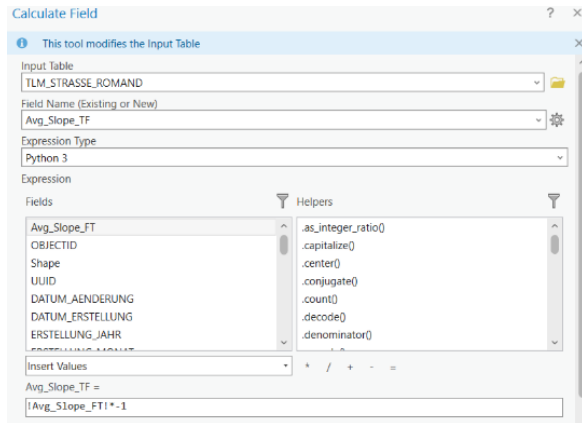
Image 8

Dans la ligne du bas, nommez la nouvelle ligne « Avg\_Slope\_TF », paramétrez-le *Data Type* « Double » et *Number Format* « Numeric » (Image 9).

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Avg_Slope_FT	Avg_Slope_FT	Double	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Avg_Slope_TF	Avg_Slope_TF	Double	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric

*Image 9*

Une fois que cela est effectué, en fermant l'onglet, appuyer sur **SAVE**.



*Image 10*

Pour la nouvelle colonne (« Avg\_Slope\_TF »), ouvrez le *Field calculator* comme précédemment et remplissez le champ «Avg\_Slope\_TF = » par

**!Avg\_Slope\_FT!\*-1» (Image 10).**

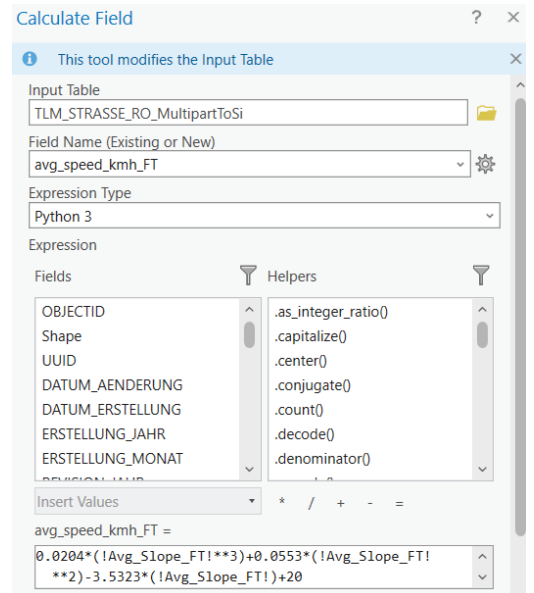
### 1.3 Création de la vitesse moyenne par segment :

Comme précédemment, créez deux nouvelles colonnes dans la table d'attribut et nommez-les : « Avg\_Speed\_Kmh\_FT » et « Avg\_speed\_Kmh\_TF ». Une fois que cela est fait, ouvrez le *Field Calculator* pour chacun et remplissez le champ de la manière suivante pour « Avg\_speed\_kmf\_FT » (Image 11) :

$$((0.0204*(!Avg\_Slope\_FT!**3))+0.0553*(!Avg\_Slope\_FT!**2))- (3.5323*!Avg\_Slope\_FT!)+20$$

Et de la manière suivante pour « Avg\_speed\_kmh\_TF » :

$$((0.0204*(!Avg\_Slope\_TF!**3))+0.0553*(!Avg\_Slope\_TF!**2))- (3.5323*!Avg\_Slope\_TF!)+20$$



*Image 11*

Une fois que cela est effectué, en fermant l'onglet, appuyez sur **SAVE**.

#### 1.4 Création de l'attribut de conversion :

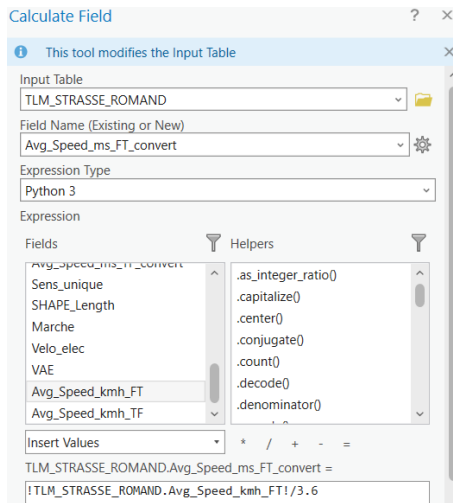


Image 12

Créez deux nouveaux attributs appelés « Average\_Speed\_ms\_FT\_convert » et « Average\_Speed\_ms\_TF\_convert » et paramétrez-le *Data Type* « Double » et *Number Format* « Numeric ». Dès que c'est fait, fermez l'onglet, sauvegardez, ouvrez le *Field Calculator* et remplissez de la manière suivante pour «Average\_Speed\_ms\_FT\_convert » (Image 12) :

**!Average\_Speed\_kmh\_FT!/3.6**

Et de la manière suivante pour « Average\_Speed\_ms\_TF\_convert » :

**!Average\_Speed\_kmh\_TF!/3.6**

#### 1.5 Création des attributs de temps de trajet :

Etant donné que nos vitesses sont déjà en [m/s], il suffit de multiplier la vitesse par la longueur. Créez deux nouvelles colonnes dans la table d'attribut, nommées « Time\_travel\_FT » et « Time\_travel\_TF » et paramétrez-le *Data Type* « Double » et *Number Format* « Numeric ».

Dès que c'est fait, fermez l'onglet, sauvegardez, ouvrez le *Field Calculator* et remplissez de la manière suivante pour «Time\_travel\_FT » (Image 13) :

**!ShapeLength!/!Avg\_Speed\_ms\_FT\_convert!**

Et de la manière suivante pour « Time\_travel\_TF » :

**!ShapeLength!/!Avg\_Speed\_ms\_TF\_convert!**

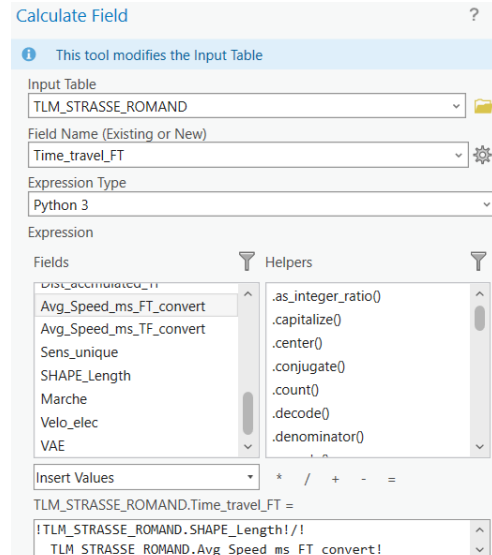


Image 13

## 1.6 Création des attributs de l'attribut de vitesse constante :

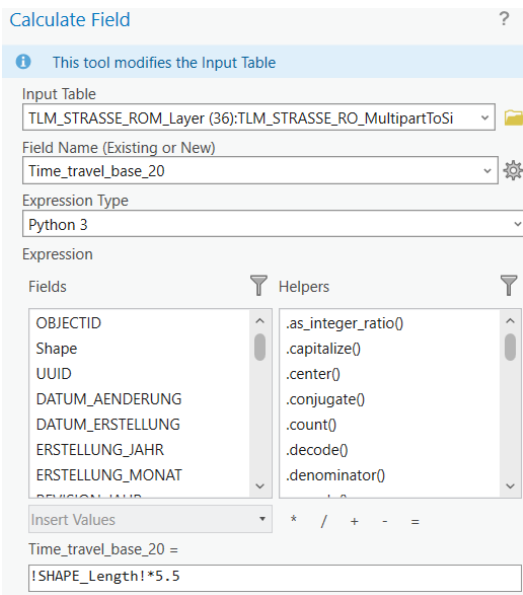


Image 14

Créez une nouvelle colonne nommée « Time\_travel\_base\_20 » et paramétrez le *Data Type* « Double » et *Number Format* « Numeric ».

Dès que c'est fait, fermez l'onglet, sauvegardez et ouvre le *Field Calculator* et remplissez de la manière suivante (Image 14) :

**!SHAPE\_Length!\*5.5**

## 1.7 Création des attributs de distance supplémentaire :

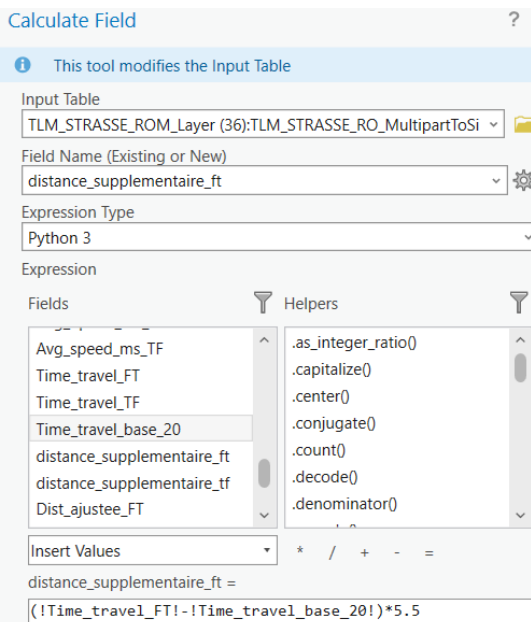


Image 15

Créez deux nouvelles colonnes nommées « Travel\_dist\_supp\_FT » et « Travel\_dist\_supp\_TF » et paramétrez le *Data Type* « Double » et *Number Format* « Numeric ».

Dès que c'est fait, fermez l'onglet, sauvegardez, ouvrez le *Field Calculator* et remplissez de la manière suivante pour « Travel\_dist\_supp\_FT » (Image 15) :

**(!Time\_travel\_FT!- !Time\_travel\_base\_20!)\*5.5**

Et de la manière suivante pour « Travel\_dist\_supp\_TF » :

**(!Time\_travel\_FT!- !Time\_travel\_base\_20!)\*5.5**



### 1.8 Création des attributs de distance ajustées :

Créez deux nouvelles colonnes nommées « Dist\_ajustee\_FT » et « Dist\_ajustee\_TF » et paramétrez-le *Data Type* en « Double » et *Number Format* en « Numeric ». Dès que c'est fait, fermez l'onglet, sauvegardez, ouvrez le *Field Calculator* et remplissez le de la manière suivante pour « Dist\_ajustee\_FT » (Image 16) :

**!SHAPE\_Length !+!Travel\_dist\_supplementaire\_ft!**

Et de la manière suivante pour « Dist\_ajustee\_TF » :

**!SHAPE\_Length !+!Travel\_dist\_supplementaire\_tf!**

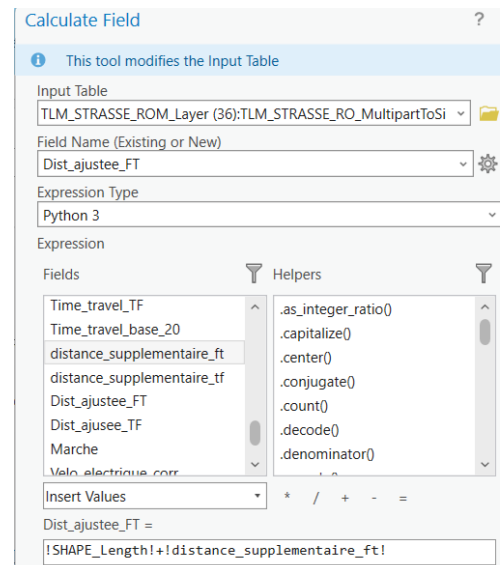


Image 16

### 1.9 Création des attributs de vitesses de marche, vélo électrique et VAE :

Créez trois nouvelles colonnes nommées « Marche », « Velo\_elec » et « VAE ». Paramétrez-le *Data Type* « Double » et *Number Format* « Numeric ». Dès que c'est fait, fermez l'onglet, sauvegardez et ouvrez le *Field Calculator* et remplissez de la manière suivante pour « Marche » (Image 17) :

**!SHAPE\_Length !/1.38**

De la manière suivante pour « Velo\_elec » (Image 18) :

**!SHAPE\_Length !/5.5**

Et de la manière suivante pour « VAE » (Image 19) :

**!SHAPE\_Length !/8.3**

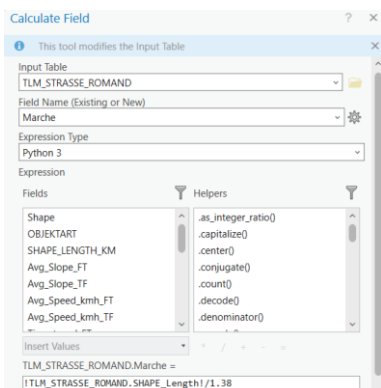


Image 17

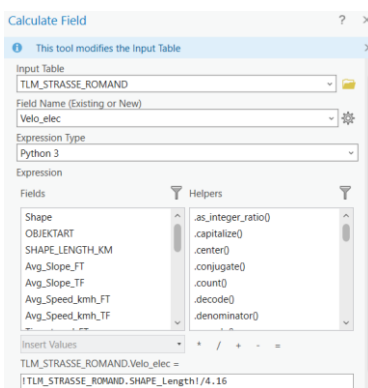


Image 18

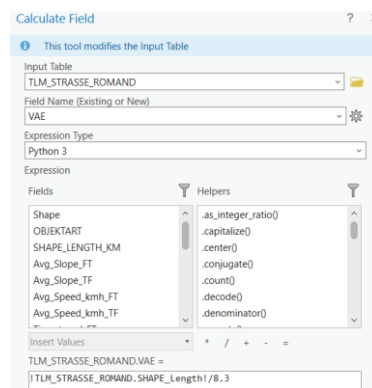


Image 19

### 1.10 Création des attributs d'interdictions (autoroutes) :

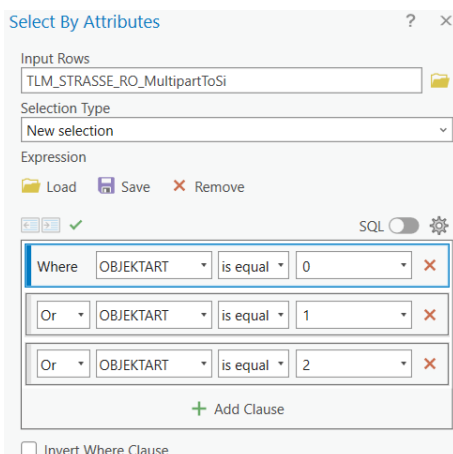


Image 20

Créez une nouvelle colonne appelée « Interdictions ». Paramétrez le *Data Type* en « Text ». Dès que c'est fait, fermez l'onglet et sauvegardez.

Effectuez un *Select by attribute* où la colonne « OBJEKTART » est égal à 0, 1, 2 tout en sélectionnant l'option « Or » sur la gauche (Image 20).

Affichez dans la table d'attribut uniquement les segments sélectionnés (trois traits bleus en bas à gauche de la table d'attribut), ouvrez le *Field Calculator* pour la colonne « Interdictions » et remplissez de la manière suivante (Image 21) :

Interdictions = «OUI»

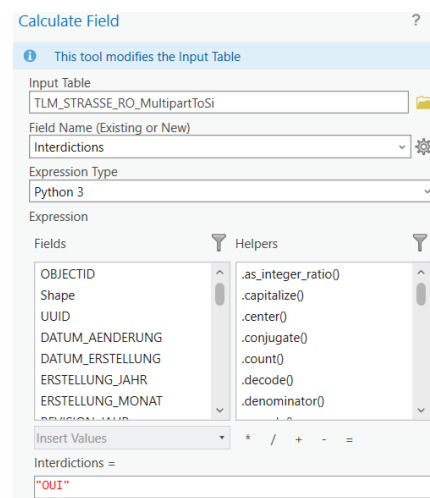


Image 21

Dès que c'est fait, fermez le *Field Calculator* et cliquez sur l'icône *Switch Selection* dans la table d'attribut (image 22) :

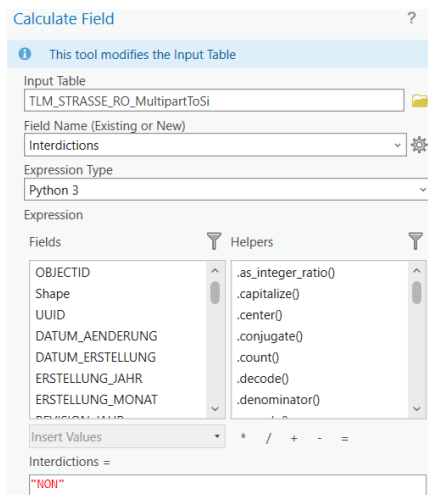


Image 23

Dès que c'est fait, ouvrez à nouveau le *Field Calculator* pour la colonne « Interdictions » et remplissez-le de la manière suivante (image 23) :

Interdictions = « **NON** »

Dès que c'est fait, fermez la table d'attribut et sauvegardez le projet.

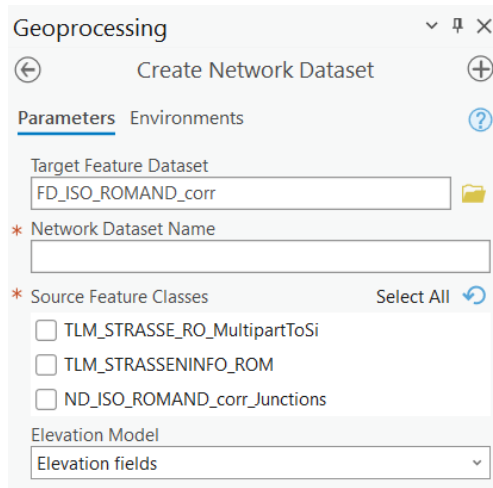
### 3. Configuration du réseau :

#### 3.1 Création du fichier réseau

Ouvrez un nouveau projet en sélectionnant « Start with no template ». Sauvegardez le projet et dans « Catalog », créez une nouvelle Geodatabase (GDB), via le clic droit.

Dès que c'est fait, cliquez droit sur la GDB et cliquez sur « New Feature Dataset ». Donnez un nom (par exemple FD\_projet\_romandie) et sélectionnez le système de coordonnées « CH 1903 + LV95 ».

Dès que c'est fait, cliquez droit sur votre Feature Dataset et cliquez sur « import » > « Feature Classes ». Dans « input Features », cherchez les deux couches principales configurées lors du chapitre dernier (« TLMSTRASSE » et « TLMSTRASSENINFO ») qui se trouvent dans votre projet initial.



Finalement, recliquez sur votre Feature Dataset et cliquez sur « New » > « Network Dataset ». Si toutes les étapes ont été correctement effectuées, les deux couches devraient apparaître dans la boîte de dialogue, sous « Sources Feature Classes » (Image 24).

Donnez un nom à votre Network Dataset (par exemple, ND, projet\_romandie) et sélectionnez vos deux couches dans « Source Feature Classes ». Laissez le champ « Elévation Model » tel qu'il est et cliquez sur « RUN ».

Maintenant, dans votre catalogue devrait apparaître fichier de type « FILE GEODATABASE NETWORK DATASET ». N'oubliez pas de sauvegarder votre projet.

Image 24

#### 3.2 Configuration du fichier réseau – Vérification des sources de données :

*NOTE: Dès que vous commencez votre configuration, vous n'aurez plus accès à votre table d'attribut. Afin de correctement faire appel aux valeurs de la table d'attribut, gardez en une capture d'écran ou enregistrez les noms des colonnes.*

Commencez par effectuer un clic droit sur votre Network Dataset et sur « Properties ». Dans le ruban latéral gauche, sous « General » dirigez-vous vers l'onglet « Indexes » et cochez la case « Service-Area Index ». Ensuite, dans le ruban latéral gauche, allez sous « Source Settings » et vérifiez que dans l'onglet « Sources » la couche TLMSTRASSE apparaît dans « Edges » et que dans « Junctions » apparaît la couche TLMSTRASSEFINFO (et éventuellement une couche nommée « ....\_Junctions ». Ensuite, dans l'onglet « Vertical Connectivity », dans l'onglet « Junctions » sélectionnez « Z\_recalc » sous Elévation Field (Image 25).

Name	Elevation Field
▼ Edges	
TLM_STRASSE_RO_MultipartToSi (From Node)	<None>
TLM_STRASSE_RO_MultipartToSi (To Node)	<None>
▼ Junctions	
TLM_STRASSENINFO_ROM	Z_recalc_corr

Image 25

Finalement, vérifiez que sous l'onglet « Group Connectivity », les paramètres sont les suivants (Image 26) :

Name	Policy	Groups
▼ Edges		
TLM_STRASSE_RO_MultipartToSi	Endpoint	<input type="radio"/>
▼ Junctions		
TLM_STRASSENINFO_ROM	Honor	<input checked="" type="checkbox"/>

Image 26

### 3.3 Configuration des attributs de coûts :

Dans le ruban latéral gauche, sous « Travel Attributes » allez dans l'onglet « Costs ». Ici, cliquez sur les trois traits horizontaux > « New ». Dans « properties », nommez le nouveau coût « distance\_simulee » et sélectionnez « Meters » pour *Units*, ainsi que « double » pour *data type*. Ensuite, dans *Evaluators*, commencez par sélectionner « Field script » dans la deuxième colonne de la première ligne (Image 27).

▼ Evaluators			
Source	Type	Value	
▼ Edges			
TLM_STRASSE_RO_MultipartToSi (Along)	Field Script	!Dist_ajustee_FT!	
TLM_STRASSE_RO_MultipartToSi (Against)	Field Script	!Dist_ajustee_TF!	
<Default>	Constant	0	

Image 27

Toujours pour la première ligne sous « Value », double cliquez jusqu'à ce qu'une croix verte apparaisse sur la droite. Cliquez dessus et remplissez le champ « Result » de la manière suivante :

**!Dist\_ajustee\_FT!**

Laissez le code block vide, assurez-vous que le langage est en « Python » et appuyez sur OK.

Procédez de la même manière pour la deuxième ligne, à l'exception de remplir le champ « Result » de la manière suivante :

**!Dist\_ajustee\_TF!**

Laissez le code block vide, assurez-vous que le langage est « Python » et appuyez sur OK.

Finalement, les deux lignes devraient correspondre à l'image ci-dessous (Image 28) :

Edges		
TLM_STRASSE_RO_MultipartToSi (Along)	Field Script	!Dist_ajustee_FT!
TLM_STRASSE_RO_MultipartToSi (Against)	Field Script	!Dist_ajustee_TF!
<Default>	Constant	0

*Image 28*

Dès que c'est fait, recréez un nouvel attribut de coûts pour le temps de trajet à vélo sur la base de 20km/h constante. Nommez l'attribut, paramétrez « Meters » pour « Units » et « Double » pour « Data Type ». Dans les « Evaluators », procédez de la même manière pour faire appel à la colonne « Time\_travel\_base\_20 » mais dans la deuxième colonne de la deuxième ligne, sélectionnez « Same as Along ». Les résultats devraient apparaître de la sorte (Image 29) :

Source	Type	Value
Edges		
TLM_STRASSE_ROM (Along)	Field Script	!Time_travel_base_20!
TLM_STRASSE_ROM (Against)	Same as Along	!Time_travel_base_20!
<Default>	Constant	0

*Image 29*

Une fois que cela est fait, répétez l'opération pour la marche, le vélo électrique et le vélo électrique VAE en faisant appel à la bonne colonne de la table d'attributs. Etant donné que les trois modes de transport sont considérés à vitesse constante, dans la deuxième ligne de la deuxième colonne, sélectionnez l'option « Same as along » comme au dernier exemple. Au final, les « Evaluators » devront ressembler aux images suivantes pour la Marche (Image 30), le vélo électrique (Image 31) et le vélo électrique rapide VAE (Image 32).

**Used By Travel Modes: Marche**

**Properties**

Name:

Units:

Data Type:

> Parameters

▼ Evaluators

Source	Type	Value
▼ Edges		
TLM_STRASSE_RO_MultipartToSi (Along)	Field Script	!Marche!
TLM_STRASSE_RO_MultipartToSi (Against)	Same as Along	!Marche!
<Default>	Constant	0
▼ Junctions		
ND_ISO_ROMAND_corr_Junctions	Same as Default	0
TLM_STRASSENINFO_ROM	Same as Default	0
<Default>	Constant	0
▼ Turns		
<Default>	Constant	0

*Image 30*

**Used By Travel Modes: Vélo électrique**

**Properties**

Name:

Units:

Data Type:

> Parameters

▼ Evaluators

Source	Type	Value
▼ Edges		
TLM_STRASSE_RO_MultipartToSi (Along)	Field Script	!Velo_electrique_corr!
TLM_STRASSE_RO_MultipartToSi (Against)	Same as Along	!Velo_electrique_corr!
<Default>	Constant	0
▼ Junctions		
ND_ISO_ROMAND_corr_Junctions	Same as Default	0
TLM_STRASSENINFO_ROM	Same as Default	0
<Default>	Constant	0
▼ Turns		
<Default>	Constant	0

*Image 31*

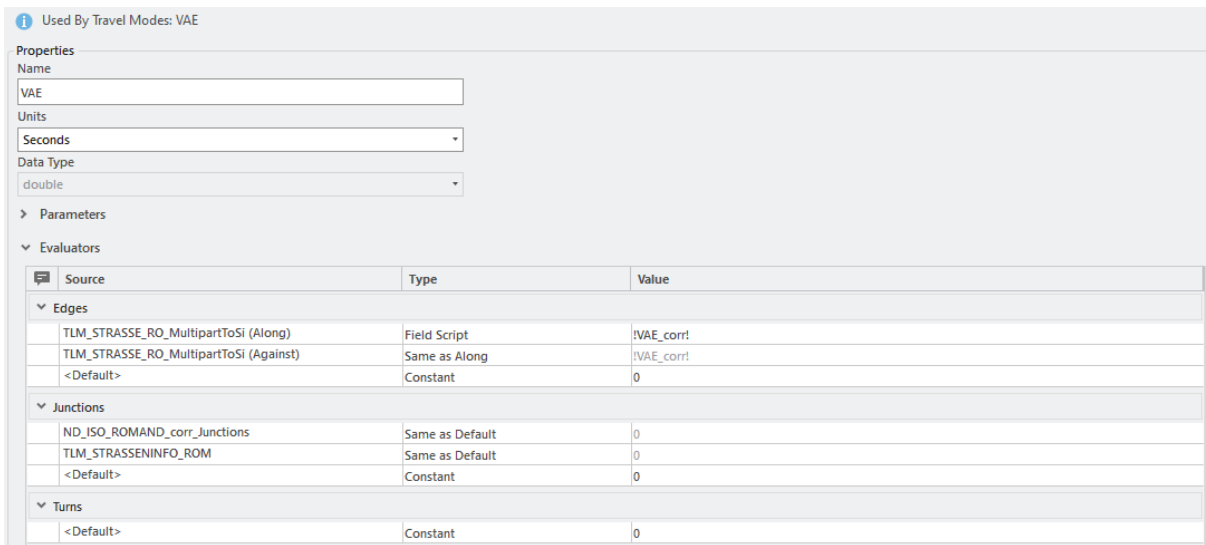


Image 32

### 2.3 Configuration des attributs de restriction :

Une fois que cela est fait, toujours dans le ruban latéral gauche, sous « Travel attributes », allez dans l'onglet « Restrictions ». Ici, cliquez sur les trois traits horizontaux > « New ». Dans les « Properties », nommez la nouvelle restriction « Autoroutes » et sélectionnez « Prohibited » pour *Usage Type*. Ensuite, dans Evaluators > Source, commencez par sélectionner « Field script » dans la deuxième colonne de la première ligne et sous « Value », double cliquez jusqu'à ce qu'une croix verte apparaisse. Cliquez dessus et remplissez le champ « Result » de la manière suivante :

**!Interdictions ! == « OUI »**

Laissez le code block vide, assurez-vous que le langage est en « Python » et appuyez sur OK. Pour la deuxième colonne de la deuxième ligne, sélectionnez « Same as Along ». Finalement, l'attribut de restrictions devrait ressembler à correspondre à l'image ci-dessous (Image 33) :

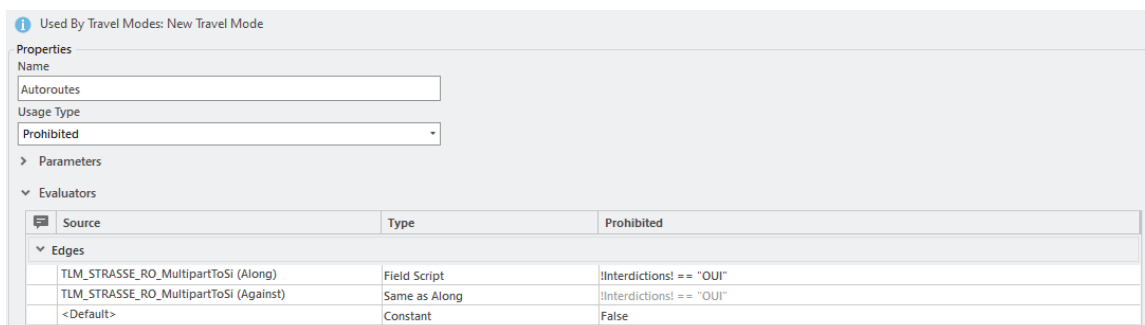


Image 33



## 2.4 Configuration des modes de transport :

Toujours dans le ruban latéral gauche, sous « Travel attributes », allez dans l'onglet « Travel modes ». Ici, cliquez sur les trois traits horizontaux > « New ». Nommez le nouveau mode de transport *Vélo selon pente* et donnez, si besoin, une description du mode de voyage. Dans « Type », sélectionnez *Others*. Pour « impedance » sélectionnez la *distance\_simulee* (créé à l'étape 2.2) et pour « Time cost », sélectionnez *Time\_travel\_base\_20 (facultatif)*. Finalement, assurez-vous que dans les « Restrictions » apparaisse la restriction des autoroutes et que cette dernière est cochée. Finalement, le mode de transport devrait correspondre à l'image ci-dessous (Image 34).

The screenshot shows a configuration window for a travel mode named "Vélo selon pente". The window has a title bar with a home icon and a menu icon. Below the title bar, there is a description field containing the text: "Collection of network dataset settings that define actions that are allowed on the network and how the actions can be performed." Below the description, there is a "Type" dropdown menu set to "Other". Under the "Costs" section, there are three dropdown menus: "Impedance" set to "distance\_simulee" with a unit of "meters", "Time Cost" set to "Time\_travel\_base\_20" with a unit of "seconds", and "Distance Cost" set to "distance\_simulee" with a unit of "meters". Under the "Restrictions" section, there is a table with two columns: "Attribute" and "Parameters". The table has one row with "Autoroutes" in the "Attribute" column and "Prohibited" in the "Parameters" column. The "Autoroutes" row is checked. Under the "U-Turns" section, there is a dropdown menu set to "All". At the bottom, there is an "Advanced" section that is currently collapsed.

Attribute	Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Autoroutes	Prohibited

Image 34

Une fois que cela est fait, vous pouvez faire de même avec les autres modes de transport (une fois par mode). A la différence des étapes précédentes, sélectionnez « Length » pour l'impedance, et pour le *Time Cost* sélectionnez Marche (Image 35), Velo\_electrique (Image 36) et VAE (Image 37).

These are the available travel modes of the network dataset.

Marche

Description  
Collection of network dataset settings that define actions that are allowed on the network and how the actions can be performed.

896 characters remaining

Type  
Other

Costs

Impedance  
Length meters

Time Cost  
Marche seconds


Distance Cost  
Length meters

Restrictions  
These are the available restrictions of the network dataset. Choose the restrictions to apply to this travel mode.

Attribute	Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Autoroutes	Prohibited

Parameter	Value
Restriction Usage	Prohibited

U-Turns  
Choose the types of street junctions where u-turns are allowed when traveling between locations.

 All

Advanced

Image 35

These are the available travel modes of the network dataset.

Vélo électrique

Description  
Collection of network dataset settings that define actions that are allowed on the network and how the actions can be performed.

896 characters remaining

Type  
Other

Costs

Impedance  
Velo\_electrique seconds

Time Cost  
Velo\_electrique seconds

Distance Cost  
Length meters

Restrictions  
These are the available restrictions of the network dataset. Choose the restrictions to apply to this travel mode.

Attribute	Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Autoroutes	Prohibited

Parameter	Value
Restriction Usage	Prohibited

U-Turns  
Choose the types of street junctions where u-turns are allowed when traveling between locations.

All

Advanced

Image 36

These are the available travel modes of the network dataset.

VAE

Description  
Collection of network dataset settings that define actions that are allowed on the network and how the actions can be performed.

896 characters remaining

Type  
Other

Costs

Impedance  
Length meters

Time Cost  
VAE seconds

Distance Cost  
Length meters

Restrictions  
These are the available restrictions of the network dataset. Choose the restrictions to apply to this travel mode.

Attribute	Parameters
<input checked="" type="checkbox"/> Autoroutes	Prohibited

Parameter	Value
Restriction Usage	Prohibited

U-Turns  
Choose the types of street junctions where u-turns are allowed when traveling between locations.

All

Advanced

Image 37

Une fois que vous avez terminé toutes les étapes, appuyez sur « OK ». Si aucun message d'erreur n'apparaît à la fermeture, cela veut dire que votre configuration a été effectuée correctement.

*NB : Si le message « The network was not updated » apparaît, il y a de fortes chances qu'il y a une erreur de frappe lors de l'entrée des attributs. Vérifiez bien les orthographes de tous les appels d'attributs*

## Etapes optionnelles – restrictions de circulation :

Dans le cas où des données de restriction de circulation sont disponibles, voici les étapes de la configuration. Généralement, les sens du sens interdits sont indiqués dans une colonne précise. Créez une nouvelle colonne nommée « Direction » de sorte à ce que :

Aucune restriction = « N »

Sens unique inverse dans le sens de digitalisation = « TF »

Sens unique dans le sens de digitalisation (contresens) = « FT »

Ensuite, créez une nouvelle restriction dans les *properties* en sélectionnant « Prohibited » pour *Usage Type* et dans les *Evaluators* > *Source*, commencez par sélectionner « Field script » dans la deuxième colonne de la première ligne et sous « Value », double cliquez jusqu'à ce qu'une croix verte apparaisse. Cliquez dessus et remplissez le champ « Result » de la manière suivante :

### SetOneway(!Direction!)

Et remplissez le champ « Code Block » de la manière suivante (Image 38) :

```
def SetOneway(value):  
  
if value and value.upper() in ('N', 'TF'):  
  
    return True  
  
    return False
```

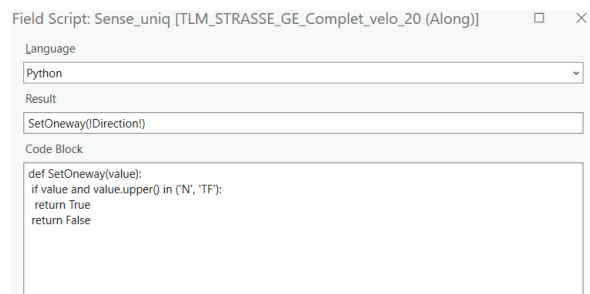


Image 38

Pour le sens inverse, remplissez le champ « Code Block » de la manière suivante :

### SetOneway(!Direction!)

Et remplissez le champ « Code Block » de la manière suivante (Image 39) :

```
def SetOneway(value):  
  
    restricted = False  
  
if value and value.upper() in ('N', 'FT'):  
  
    restricted = True  
  
    return restricted
```

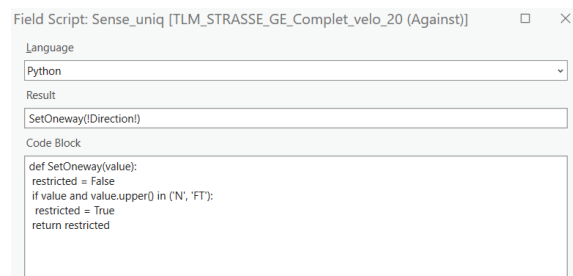


Image 39

Fermez, et appuyez sur « OK ».

NB : Dans le cas où un message d'erreur apparaît concernant la restriction, et qu'il n'y ait aucune erreur de frappe, essayez de sélectionner « Avoid (high) » dans *Usage type*.

## 4. Utilisation du réseau

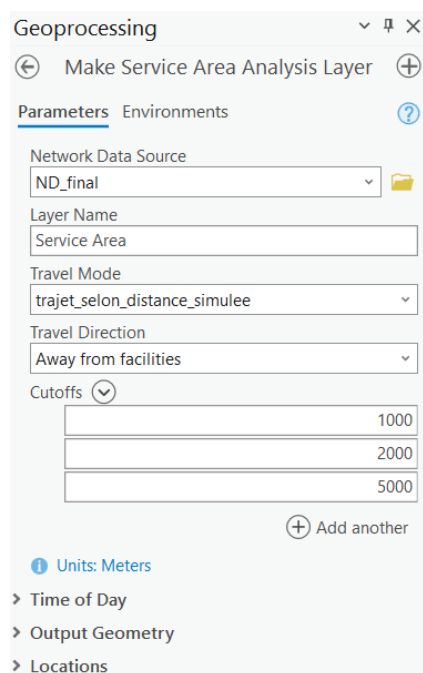


Image 40

Une fois que vous avez terminé toutes les étapes, appuyez sur « OK ». Cliquez droit sur votre Network Dataset > « Build » et cliquez sur « RUN ».

Une fois que cela est terminé, sauvegardez votre projet. Cliquez-en haut à gauche de votre écran sur « New Map ». Ouvrez l'outil « Make Service Area Analysis Layer ». Dans « Network Data Source », vous pourrez dès à présent choisir la source du réseau entre celui par défaut ou celui que nous venons de créer (Image 40). Vous pouvez ensuite nommer votre analyse, choisir le mode de transport (qui sera aussi modifiable directement dans la Service Area Layer) et les distances (ou temps) de seuil pour votre isochrone.

