

Table des matières

| | |
|--|----|
| Remerciements..... | 1 |
| Introduction..... | 2 |
| itiVélo : mobilité douce et partage des données..... | 4 |
| Le concours SITG: diffusion et utilisation de données publiques..... | 4 |
| L'enjeu de la mobilité douce..... | 5 |
| Outils : ArcGIS et Network Analyst..... | 7 |
| Traitement des données..... | 8 |
| Données utilisées..... | 9 |
| Table d'attributs: renseignements des données de sécurité..... | 10 |
| Assemblage et connectivité du réseau..... | 12 |
| Corrections attributaires: préparation des interdictions..... | 15 |
| Calcul des pentes..... | 19 |
| Fonctionnement du système de calcul..... | 22 |
| La distance..... | 22 |
| Le temps et l'effort..... | 22 |
| Le temps..... | 23 |
| L'effort..... | 26 |
| La sécurité..... | 31 |
| Trajets différenciés : un exemple..... | 34 |
| Limites et améliorations possibles..... | 35 |
| Le réseau itiVélo..... | 35 |
| Utilisateurs et ergonomie..... | 36 |
| Après itiVélo..... | 37 |
| Conclusion..... | 38 |
| Index des tables..... | 39 |
| Index des illustrations..... | 40 |
| Bibliographie..... | 41 |
| Annexe 1 : Champs du graphe itiVélo..... | 44 |
| Annexe 2 : Mode d'emploi d'itiVélo..... | 49 |

Remerciements

Je remercie Gregory Giuliani pour sa direction de ce travail, ainsi que Hy Dao et Alain Dubois, pour avoir accepté d'être membres du jury de mémoire.

Pour la mise en place du projet itiVélo, je remercie également tous ceux qui se sont impliqués dans le projet pour leur aide et leurs conseils.

Je remercie Jody Haussmann qui s'est occupé de la partie web de ce projet.

Enfin j'aimerais encore remercier tout particulièrement Alain Dubois, autant pour la construction du *Locator* créé pour ce projet, que pour son aide tout au long de la construction du réseau itiVélo.

Et sans oublier les cobayes d'itiVélo, merci à Tinou et Zoë pour avoir testé et utilisé l'application depuis sa mise en ligne, et ainsi rendu les premiers retours utilisateurs de ce projet. Merci encore à Guillaume Delapierre pour ses efforts de relecture.

Introduction

Le calculateur d'itinéraires cyclables itiVélo est conçu comme un outil pour aider les cyclistes à se déplacer dans Genève et l'agglomération. Spécialement construite pour smartphones, itiVélo est aussi utilisable depuis n'importe quel ordinateur en utilisant un navigateur web.¹ Cette application web cherche à rendre simple des besoins complexes pour les cyclistes. Dans le monde réel, les choix de trajets par les cyclistes changent selon les individus et dépendent d'une multitude de critères éminemment subjectifs. Il est toutefois possible d'identifier plusieurs types de critères qui déterminent les choix d'itinéraire par les cyclistes. En plus de la distance, trois parmi les plus importants ont été retenus: le temps de parcours, l'effort à fournir et le degré de sécurité dont peut bénéficier le cycliste.

L'utilisateur doit insérer l'adresse à laquelle il souhaite se rendre dans un champ texte, tandis que sa position est automatiquement reconnue par Global Positioning System (GPS), ou via l'adresse IP d'un Wi-fi. Quatre tracés sont dessinés sur le Plan Vélo du canton comme fond de carte, prenant en compte les sens uniques et autre interdictions de circuler aux vélos. Après avoir choisi parmi les quatre itinéraires proposés, une feuille de route comportant les indications de direction du parcours permet au cycliste de préparer et consulter les détails de son itinéraire en cours de route. Une estimation du temps de parcours est présentée avec la feuille de route.²

Ce projet a été conduit par une équipe de l'Université de Genève, composée à l'occasion d'un concours organisé par le Service d'Information du Territoire Genevois (SITG). Le concours « Un territoire mobile » visait la construction d'une application pour terminaux mobiles en utilisant les données et les services web associés hébergés par le SITG, afin de les populariser. Le projet de l'équipe itiVélo présenté ici n'a pas gagné le concours, mais celui-ci a été l'occasion d'un important travail sur les données de mobilité et sur la façon de les populariser et de rendre lisibles du point de vue d'un utilisateur, comme d'une réflexion sur l'opportunité de promouvoir d'une part la diffusion des données publiques, et d'autre part de comprendre et promouvoir et modéliser la circulation cycliste.

Le projet de construction du calculateur d'itinéraires itiVélo a débuté au début d'avril 2011 et s'est conclu par la mise en ligne du réseau et la remise de la présentation auprès du SITG le 3 juin 2011. L'équipe du concours a compris Jody Haussmann et moi-même. L'équipe itiVélo a aussi bénéficié de l'aide et des conseils d'Alain Dubois, Gregory Giuliani et Pierre Lacroix. Outre le réseau, que nous examinerons en détail plus bas, les principales composantes d'itiVélo sont un système de recherche d'adresses (*Address Locator*) et l'application web elle-même. Le *Locator* a été composé par Alain Dubois, en croisant des données du SITG pour Genève et de l'Institut Géographique National (IGN) pour la France voisine. L'application web, construite par Jody Haussmann utilise l'API Javascript d'ArcGIS server.

Le travail de construction du réseau étend les données de la mobilité du SITG vers un nouveau graphe qui n'existe pas, celui de la circulation proprement cyclable. Le cœur du travail d'itiVélo est la traduction d'éléments de mobilité dans un système de calcul. Cela demande des simplifications et des choix permettant de présenter une image du réel, non-pas exacte mais pertinente en fonction de critères réels. Le *workflow* général de ce travail est passé par la définition d'une stratégie pour construire dans un temps relativement court de deux mois, un système de calcul d'itinéraire pertinent pour les analyses de temps de parcours, d'effort et de sécurité sur des trajets à Genève et dans l'agglomération genevoise.

Deux principaux types de traitement des données ont été effectués lors de ce travail. D'une part, une intervention sur la géométrie des données a demandé l'utilisation des outils de digitalisation et de

1 « itiVélo », <http://sdi.unige.ch/itivelo/>

2 Un « mode d'emploi » de l'application est présenté dans l'Annexe 2.

géotraitement, afin de construire un graphe cohérent d'un point de vue topologique. D'autre part, les données de géométrie mises en place ont demandé d'être interprétées dans la table attributaire du graphe, demandant le calcul et l'interpolation de nombreux champs.

Avant d'entrer dans l'explication technique de la constitution de ce système d'itinéraires nous discuterons de deux questions importantes dans le cadre général de ce travail, à savoir la diffusion et l'ouverture des données et la question des modèles de mobilité. Ce chapitre, *Le projet de calculateur d'itinéraires itiVélo* présentera la philosophie englobant le projet. Les vues présentées ne reflètent ici que mon seul point de vue et pas nécessairement celui des autres participants à l'équipe itiVélo.

Nous verrons ensuite une brève présentation de Network Analyst, l'extension d'ArcGIS utilisée pour le projet. Le chapitre sur le *Traitemet des données* décrira les données utilisées et la stratégie de construction du réseau cyclable. Ce chapitre présentera la façon dont celles-ci ont été utilisées et enrichies afin de créer un réseau correspondant aux passages autorisés aux cyclistes. Sans encore s'arrêter sur la façon dont les itinéraires sont calculés, cette étape présente ses préalables : la connectivité et l'étendue géographique du graphe, la topographie et les renseignements spécifiques au vélo dans l'agglomération. Les opérations discutées au long de ce chapitre touchent autant à la géométrie qu'aux attributs du graphe.

Ces données ne permettent toutefois pas à elles seules de définir des itinéraires cyclables, à l'exception de la distance métrique. Le chapitre sur le *Fonctionnement du système de calcul* présentera donc la façon dont les informations attributaires, présentes dans les données originales, ou renseignées au cours de ce travail ont été utilisées pour calculer des itinéraires avec l'outil Network Analyst. Les algorithmes utilisés pour modéliser le temps, l'effort et la sécurité comme des valeurs de « coût ».

Enfin le dernier chapitre de ce mémoire discute les *Limites et améliorations possibles* du réseau itiVélo tant du point de vue de la qualité du réseau et du système de calcul que de l'application elle-même. Nous évoquerons un certain nombre d'améliorations envisageables. Enfin, nous évoquerons les possibilités de maintenance et d'actualisation du réseau en regard aux développements des politiques d'aménagement à Genève.

itiVélo : mobilité douce et partage des données

Avant de rentrer dans les points techniques de l'application itiVélo, il est utile de passer par une discussion du sens à donner à la construction d'itiVélo, d'un point de vue général sur les questions de la diffusion et l'ouverture des données, comme du cyclisme et de la mobilité douce en général.

Le concours SITG: diffusion et utilisation de données publiques

Le projet itiVélo a été conduit dans le cadre d'un concours lancé par le Service d'Information du Territoire Genevois (SITG), lancé en janvier 2011. Le but du concours était la construction d'une application pour terminaux mobiles pour le 3 juin 2011.

Afin de promouvoir l'utilisation des services en ligne du SITG et de valoriser le patrimoine informationnel des administrations genevoises, le Système d'Information du Territoire Genevois a décidé de lancer un concours aux milieux académiques et aux particuliers. Les participants sont invités à conceptualiser puis développer, sous forme de prototype, une application mobile unique et innovante, basée sur les web services du SITG. L'application devra être réalisée sur smartphone (Android, iPhone ou Windows Phone). Le prototype pourra être une application web (utilisant les fonctionnalités des navigateurs web mobile) ou une application à installer sur un des systèmes d'exploitation mobile.³

L'application itiVélo – et plus généralement le concours- offre un exemple des utilisations possibles par des tiers de données publiques au bénéfice du public et accessible de façon gratuite. Elle participe, ainsi que le mentionnait spécifiquement le concours du SITG, à une ouverture des données géographiques produites par l'Etat, au-delà des seuls professionnels de SIG (publics ou privés). Ce concours n'est pas la première (ni certainement la dernière) ou encore la plus aboutie des initiatives du SITG pour proposer un large accès aux données. Mais des applications tels que le géoportail en ligne MonSITG restent complexe d'utilisation pour un public non-professionnel.⁴ La diffusion de ce type de données en passant par la médiation d'une application orientée vers l'utilisateur présente une façon de faire bénéficier la population de données très riches, tant par l'éventail de ses thématiques que par leur qualité technique et leur traçabilité, rendue possible par des structures institutionnelles.

L'ouverture de plus en plus large du SITG vers l'accès facilité et la gratuité montre une conscience accrue des avantages tant pour le public que pour les producteurs des données d'une diffusion de plus en plus libre. La création d'applications géographiques pertinentes peut faire bénéficier directement un large public, de façon visible et permettant de comprendre l'intérêt des données SIG. Le public étant également le bailleur de fonds de la production de ces données, il aussi est justifié qu'il puisse y accéder. Ceci est d'autant plus souhaitable que sa richesse, au niveau local est bien plus grande que celle des applications géographique d'entreprises commerciales telle que Google, Bing Maps ou Michelin. Mais le potentiel pour les producteurs des données est également fort. Donner la possibilité de regard sur les données pour un large éventail d'usagers peut permettre de vérifier et valider leur pertinence et leur exactitude.

Le partage de données publiques peut donc générer de grands avantages tant pour les producteurs et utilisateurs professionnels de ces données que du point de vue du public. Mais les pratiques de validation, voir de production de données doivent aussi être considérées avec prudence. Ce type d'expérience peut également être vu et prévu par des administrations comme une simple façon

³ SITG, « Concours « Un territoire mobile », Règlement », 11.1.2011

⁴ « Portail Mon SITG », <http://etat.geneve.ch/geoportal/monsitg/>

d'économiser sur les coûts de leur production en déléguant à terme au maximum la production des données par le public.⁵ Autant une participation large du public et une interaction accrue entre les utilisateurs et les producteurs sont certainement un grand avantage qualitatif, autant un désengagement institutionnel peut mener à une perte considérable à laquelle chacun en paierait le prix.

L'enjeu de la mobilité douce

Le sens de ce travail n'est pas tout à fait anodin, alors que les enjeux de mobilité font régulièrement l'objet de débats publics passionnés. En Suisse, et notamment à Genève, de nombreuses initiatives politiques empoignent régulièrement la question de la mobilité. Le projet de construction traversée de la rade refaisant régulièrement surface depuis près d'un demi-siècle en est un exemple parmi tant d'autres.⁶ Le terme de « mobilité douce » comprend les déplacements utilisant la force musculaire, plus particulièrement le vélo et la marche à pied. Nous laisserons de côté cette dernière et présenterons ici une discussion sur l'intérêt de promouvoir la circulation à vélo.

Les discours et les pratiques dominantes de la mobilité se sont longtemps centrées sur le transport automobile, si bien que la structure des sociétés occidentales repose à bien des titres sur le moteur à essence, tant pour les transports que pour les individus. Portant un imaginaire d'ascension sociale et d'indice de développement économique, le transport automobile se retrouve dans bien des cas étouffé par lui-même. Autant rendu indispensable par l'absence d'alternative, que mortifère par sa propre prépondérance, le transport automobile, un jour symbole de liberté, devient synonyme d'encombrement, d'attente et de stress, et dans sa déclinaison la plus radicale, une métaphore de la guerre.⁷

Un certain nombre de changements dans les mentalités ont poussé un regard différent sur les pratiques de la mobilité, et parfois témoigné de renversements de vapeur. Le développement de zones piétonnes dans de nombreuses villes peut être vue comme l'une de ces manifestations. A Genève le changement le plus spectaculaire de ces dernières années est sans doute le développement de plusieurs lignes de tramway, pourtant éliminées il y quelques décennies à peine.⁸ Sans présenter une solution miracle à la problématique de la mobilité, la promotion du vélo représente l'une des alternatives possibles à la circulation automobile privée. Parmi d'autres solutions, le vélo permet de réduire l'impact environnemental et les encombremens routiers provoqués par l'usage de la voiture, tout en favorisant l'exercice physique pour ses utilisateurs.⁹ L'un des freins importants à son développement reste le danger constitué par l'utilisation de voies de circulations conçues et prévues pour les véhicules à moteur, plus lourds, plus rapides et par inertie, plus dangereux.¹⁰ Pourtant, cet état de fait est loin d'être une fatalité. Les développements d'aménagements cyclables, comme la proportion de cyclistes sur la route ont pour effet de réduire les dangers encourus par les usagers du vélo à mesure de leur visibilité.¹¹

Deux événements significatifs pour la mobilité douce à Genève se sont succédé cette année

5 Arleth, Mette, « GI-Based Application on Public Authorities' Web Sites and their nonprofessional Users », in Campagna, Michele (ed), *GIS for Sustainable Development*. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006., pp.71-84

6 Le Temps, « Un projet de traversée de la rade de Genève par pont tendu, en 1964 », 12.04.2011

7 Davis, Mike, *In Praise of Barbarians*, Haymarket Books, Chicago, 2007, pp.234-238

8 Feuille d'avis officielle, « Le tram à Genève: histoire de rails », 06.09.2006

9 Dill, J. « Bicycling for transportation and health: the role of infrastructure ». *Journal of public health policy* (2009): S95–S110.

10 Dill, J., et T. Carr. « Bicycle commuting and facilities in major US cities: If you build them, commuters will use them ». *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1828, n°. 1 (2003): 116–123.

11 Schepers, Paul. « Does more cycling also reduce the risk of single-bicycle crashes? » *Injury Prevention* (novembre 21, 2011)

(coïncidant avec la construction du projet itiVélo). La première est l'adoption par le conseil d'État de Genève du premier Plan directeur de la mobilité douce, en mars 2011. Ce document, qui cautionne formellement de nombreuses préoccupations environnementales comme pour la sécurité des cyclistes, fait office de document politique présentant formellement la mobilité douce comme le « troisième pilier » de la mobilité, à égalité avec l'automobile et les transports en commun. Le second événement, sans doute plus fort encore du point de vue symbolique et politique pour le développement futur du vélo -entre autres modes de transports « doux »-, est l'acceptation en votation populaire de l'« Initiative des villes » demandant explicitement la mise en place d'infrastructure sécurisées et continues pour les vélos sur l'ensemble du réseau routier genevois, d'ici huit ans après l'acceptation de l'initiative.¹²

Ce vote de très courte majorité (50.3%), qui a surpris la plupart des observateurs, devrait pousser encore vers la promotion du vélo, en particulier en ville de Genève, où l'initiative a obtenu ses plus hauts scores. Toutefois le rythme et la qualité des réalisations concrètes de ce projet d'envergure n'est pas réellement connu. On peut prévoir sans trop de risque que celui-ci sera sans doute émaillé de nombreuses controverses. Il dépendra largement des lignes de forces politiques, en particulier de la volonté politique des autorités cantonales, celle-ci étant loin d'être unies sur la question¹³, que d'autres acteurs politiques engagés sur le terrain de la mobilité, des partis et associations.

Ainsi les probables contradictions avec l'article de la constitution genevoise stipulant le « Libre choix du moyen de transport » -comprendre : de rouler en voiture¹⁴- sur tout le territoire, permet sans doute de prévoir un parcours semé d'embûches pour l'application concrète de l'initiative. Ainsi que prévenait, en gage d'avertissement, le Groupement Transport et Economie, faitière de clubs automobiles et associations patronales, dès le soir de la votation : « Si l'application se fait de manière stricte, elle entrera immanquablement en conflit avec d'autres lois. Il faudra alors s'attendre à voir fleurir oppositions et recours ».¹⁵

Cette discussion sur les politiques de la mobilité douce montre toutefois que les politiques et les comportements vis-à-vis de la mobilité sont en train de passer une période importante de transformations. Dans cette configuration, il est permis de penser que les SIG ont un rôle à jouer pour promouvoir ou pour analyser des moyens de transports dits doux, tels que le vélo ou les transports publics. La construction du réseau itiVélo peut se comprendre dans ce cadre comme un instrument possible pour accompagner et aider cette transformation. Sans qu'un système de calcul d'itinéraire soit déterminant celui-ci peut faciliter et populariser ce type de transport.

La modélisation de phénomènes de mobilité peut fonctionner alternativement de façon « active » ou « passive », selon l'expression de Boothby et Dummer.¹⁶ Une utilisation passive se réfère à l'analyse et l'évaluation de phénomènes de mobilité à différentes échelles, afin de proposer d'éventuelles transformations dans les infrastructures, tandis que les usages actifs se réfèrent aux systèmes d'aide à la mobilité, tels que les calculateurs d'itinéraires. La modélisation de l'un ou de l'autre n'implique pas tout à fait la même approche dans la construction du modèle. Notre modèle étant « actif », il n'a pas pour but de comprendre comment fonctionne la circulation à Genève, mais de conseiller des trajets, en fonction de la topographie et des aménagements sécurisés. Ce modèle est donc situé dans un cadre résolument légal, évitant trottoirs, parcs, contresens etc. Pour cette raison, itiVélo ne doit pas être vu comme une représentation des pratiques réelles du cyclisme urbain, mais comme représentatif des possibilités offertes aux cyclistes dans le cadre de la loi et un reflet des politiques actuelles de la mobilité.

12 Secrétariat du grand Conseil, « Initiative populaire «Pour la mobilité douce (Initiative des villes)», 10.2009

13 République et Canton de Genève, « Brochure votation cantonale du 15 mai 2011 », s.d

14 Secrétariat du grand Conseil, « Initiative populaire «Pour le libre choix du mode de transport », 06.1999

15 Tribune de Genève, « A Genève, les Villes imposent leur vision à la campagne », 15.05.2011

16 Boothby, John, et Trevor J. B. Dummer. « Facilitating Mobility? The Role of GIS ». *Geography* 88, n°. 4 (octobre 1, 2003): 300-311.

Outils : ArcGIS et Network Analyst

La construction du réseau s'est faite à l'aide des outils d'ArcGIS 10, et particulièrement de Network Analyst. Sans s'étendre en détail sur le fonctionnement de Network Analyst d'ArcGIS, il est important de garder en tête les possibilités que celui-ci offre pour les calculs d'itinéraires, ainsi que le type de données qui doivent être utilisées pour construire un réseau. Les données utilisées pour la construction d'un réseau avec ArcGIS sont des polylignes et ceux-ci doivent bénéficier d'une topologie propre, notamment être reliés à l'aide du *snapping* lors de leur construction sur ArcMAP. Les données doivent être situées dans un jeu de classes d'entités (*Feature Dataset*), qui fait lui-même partie d'une géodatabase (*File Geodatabase*, GDB). Il est dès lors possible de construire et de faire fonctionner un réseau pour calculer des itinéraires basés sur la distance la plus courte entre deux points.

La distance n'est toutefois de loin pas le seul critère qui soit pris en compte lors du choix d'un itinéraire, et ceci quel que soit le moyen de transport. Ainsi, comme nous l'avons annoncé dans l'introduction, le réseau itiVélo doit prendre en compte des critères de sécurité, de temps et d'effort. Network Analyst présente alors les possibilités de modéliser d'autres critères sous forme de « coût ». Cette fonction demande d'utiliser les tables attributaires du graphe pour y insérer des valeurs qui seront utilisées par Network Analyst.

Dans le cas des variables utilisées pour itiVélo, cette fonction de calcul de coût doit prendre en compte la direction. Chaque polyligne peut être lu dans deux directions, From-To et To-From (ou FT et TF) correspondant par défaut au sens de numérisation. Ceci permet de différencier les valeurs de coût sur le même objet géométrique, en fonction du sens de circulation. Une des fonctionnalités indispensables pour la construction de ce réseau utilisant les sens de circulation est la modélisation des interdictions de circuler, dans un seul des deux sens, mais également dans les deux. Les champs du réseau itiVélo utilisés par Network Analyst sont résumés dans le tableau suivant Tableau 1. Nous verrons au cours de ce travail comment leurs valeurs ont été calculées.

| Name | Usage | Units | Data Type | From-To Field | To-From Field |
|----------|-------------|---------|-----------|-------------------|-------------------|
| Effort | Cost | Unknown | Double | costenerg_ft | costenerg_tf |
| Meters | Cost | Meters | Double | Zlength | Zlength |
| Minutes | Cost | Minutes | Double | Minutes_ft | Minutes_tf |
| Oneway | Restriction | Unknown | Boolean | <i>expression</i> | <i>expression</i> |
| Securite | Cost | Unknown | Double | dg_length_ft | dg_length_tf |

Tableau 1: Champs utilisés par Network Analyst

Afin d'éviter des répétitions laborieuses au cours de ce travail. La plupart des exemples ne mentionneront que les champs From-To. La logique des opérations étant identique il serait redondant de mentionner les deux sens à chaque occasion. Lorsque plusieurs champs identiques, mais se référant aux directions opposées d'un polyligne sont mentionnés dans le corps du texte, ils suivent ce modèle, afin de ne pas alourdir le texte : [costenerg_ft] et tf].

Traitement des données

Ce chapitre décrit le travail mis en œuvre pour rendre possible le fonctionnement du réseau. Il ne s'agit pas encore de la mise en place du système de calcul, mais de son préalable. Les opérations de géotraitements et les renseignements attributaires décrits ici sont la construction du réseau comme un ensemble topologiquement correct et l'intégration des renseignements qui pourront ensuite être transformés dans un système de calcul. Malgré l'étendue thématique très large des données routière du SITG, il n'existe pas de graphe décrivant l'ensemble des données cyclables directement utilisables sur Network Analyst d'ArcGIS. Il a donc fallu en créer un nouveau contenant ces informations, à partir de données disponibles, celles-ci sont décrites plus bas, ainsi que les opérations nécessaires pour la création de ce nouveau graphe des aménagements cyclables dans l'agglomération genevoise. Ce chapitre décrit les étapes de travail nécessaires pour la préparation du système de calcul. Le schéma ci-dessous (Illustration 1) décrit la logique générale de ce *workflow*.

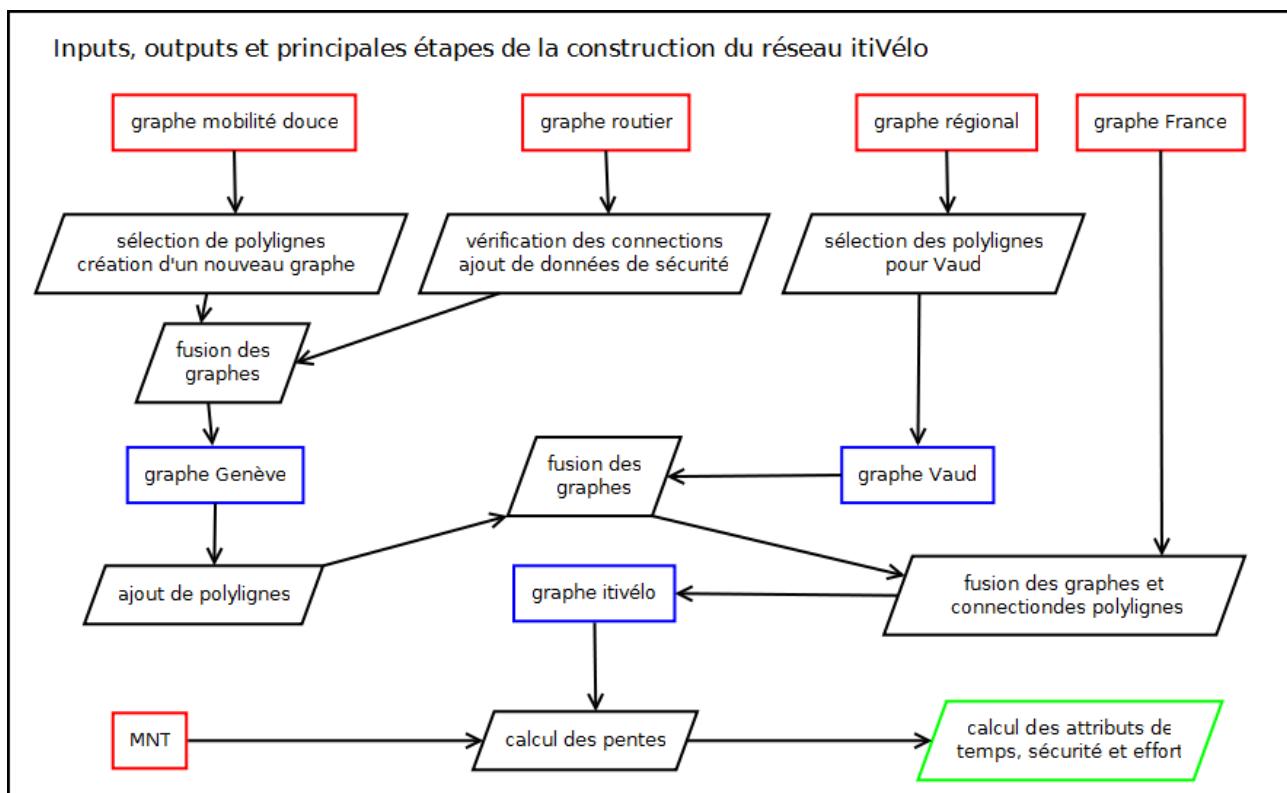


Illustration 1: Workflow: constitution du graphe itiVélo

La logique générale de ce travail s'est centrée sur les déplacements urbains. En conséquence, l'attention la plus forte s'est portée sur le centre du réseau, c'est-à-dire la ville de Genève, en élargissant la zone d'intérêt vers le canton, puis vers l'extérieur du canton. Cette logique s'exprime concrètement tant du point de vue des étapes de travail, en commençant à travailler sur les données centrales. Cela reflète aussi l'état de la précision des données. Plus l'on s'approche du centre plus les données sont complètes et précises, tandis que si l'on s'en éloigne, elles deviennent plus éparses. Ceci correspond à la nature des données utilisées, provenant essentiellement du SITG. Il est intéressant de noter que la qualité des données disponible correspond à leur statut vis-à-vis des institutions qui les produisent. Les données de Genève sont centrales du point de vue du SITG et situées sur un territoire exigu, alors qu'elles sont largement périphériques du point de vue de l'IGN, qui s'attache à collecter les données à l'échelle de la France.

Données utilisées

L'essentiel des données utilisées pour la construction du réseau proviennent du SITG et ont été téléchargées le 30 mars 2011, grâce à un compte d'extraction créé pour les participants au concours. D'autres données, des polylignes représentant les routes de France voisine, provenant de l'IGN et clippées en fonction de l'étendue de la carte genevoise du réseau cyclable y ont été jointes.

Le SITG met à disposition des couches de polylignes concernant les données de mobilité sur le canton d'une très grande qualité. D'une part leur étendue thématique est large, présentant différents graphes pour différents types de mobilité. Ceux-ci sont regroupés sous l'appellation générale très large du graphe de la mobilité et comprend tant le graphe des aménagements routiers, que des voies navigables et ferroviaires ainsi que la mobilité douce.

Les tableaux suivants (Tableau 2 et Tableau 3) décrivent les couches d'informations utilisées pour ce travail et le type de données auxquelles elles correspondent. Les couches marquées d'un astérisque ne proviennent pas du SITG ont été fournies par Alain Dubois pour ce travail. Le premier tableau est un sommaire des graphes utilisés pour la géométrie du réseau et le second décrit des couches utilisées comme sources d'information utilisées pour enrichir la table d'attribut du graphe itiVélo. Les graphes dont les noms sont en italiques ont été utilisés par le truchement des services web du SITG.

| | |
|---------------------------|--|
| Polylinnes | Raster |
| gmo_graphe_routier | rectangle_dem25* (MNT 25*25 mètres) |
| gmo_mobilite_douce | |
| gmo_graphe_routier_region | |
| routeIGN* | |

Tableau 2: Reprise des informations attributaires et géométries

| Polylinnes | Raster | Polygones |
|-------------------|-------------------------|--------------------------------|
| otc_amenag_2roues | <i>Plan_Velo</i> | <i>Mobilite_espace_routier</i> |
| otc_cyclevasions | <i>Orthophotos_2009</i> | otc_zone_30 |

Tableau 3: Utilisation des données comme sources d'informations

Le réseau utilisé pour le calcul d'itinéraires est constitué de cinq sources différentes. Le graphe routier (pour le canton de Genève), le graphe routier régional (pour le canton de Vaud) et les données de l'IGN (pour la France) en constituent l'armature principale. Des éléments du graphe de la mobilité douce sur lesquels la circulation cycliste est autorisée le complètent. Enfin, certains segments n'existant sur aucun de ces deux graphes ont également été ajoutés manuellement à l'aide de l'*Editor*.

La carte (Illustration 2) et le tableau (Tableau 4) suivant montrent la provenance des polylignes utilisés pour itiVélo. Notons que le nombre de polyligne ne doit toutefois pas tromper sur leur importance réelle dans le réseau. La centralité des données du canton Genève en font les éléments les plus importants du graphe, celui-ci étant non-traversable sans passer par le canton de Genève. Le graphe routier qui comprend toutes les routes *potentiellement* utilisables par des automobiles, présente l'armature principale de cet assemblage.¹⁷ Quant au moins de deux cents tronçons

¹⁷ La définition exacte du graphe routier est la suivante : « Sont comprises toutes les voies qui de part leur gabarit, leur construction et les obstacles permanents éventuellement présents peuvent permettre la circulation de véhicules automobiles, ceci même si la signalisation (non-phérique) ou des barrières amovibles

nouveaux ou provenant du graphe de la mobilité douce, ils sont indispensables à un fonctionnement correct du calculateur pour le centre du réseau.

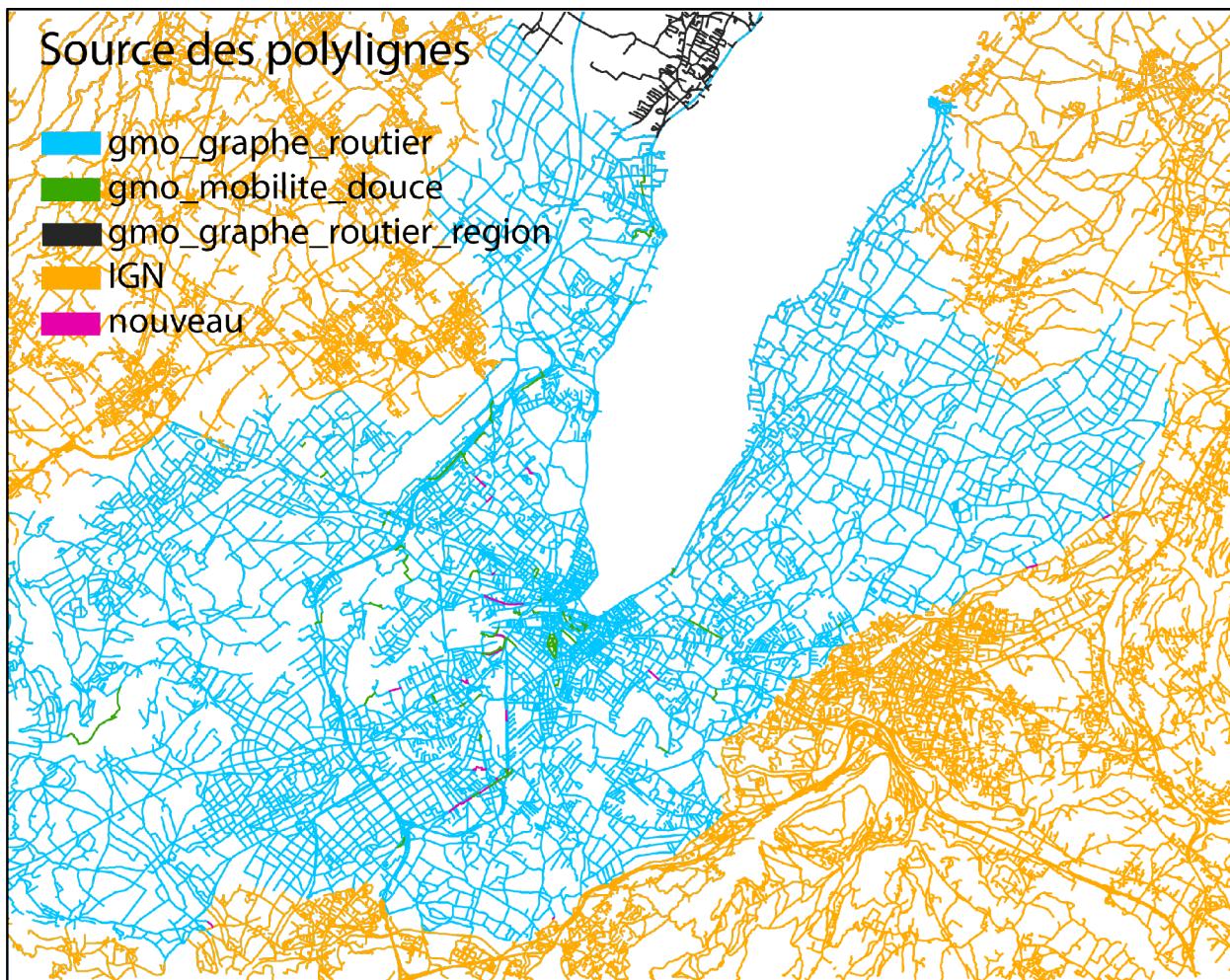


Illustration 2: Provenance des polylignes d'itiVélo

| Lieu | Graphe | Nom du layer | Nombre de polylignes |
|--------|-------------------------|---------------------------|----------------------|
| Genève | Graphe Routier | gmo_graphe_routier | 10'855 |
| | Mobilité douce | gmo_mobilite_douce | 159 |
| | Nouveaux | NA | 36 |
| Vaud | Graphe routier régional | gmo_graphe_routier_region | 297 |
| France | IGN | clip_IGN | 23'119 |

Tableau 4: Provenance des polylignes d'itiVélo

Table d'attributs: renseignements des données de sécurité

Le point focal du projet étant la construction d'un réseau représentant les déplacements cyclables à Genève, l'étape de construction des données de circulation représentait à la fois la première et la plus importante étape du projet itiVélo. Il n'existe pas encore de graphe du SITG prenant en compte

l'interdit. »

un réseau cyclable utilisable directement sur Network Analyst d'ArcGIS. Les données relatives aux pistes cyclables forment un archipel de polylignes déconnectés – à l'image du « réseau » d'aménagements cyclables présents à Genève (Illustration 3).

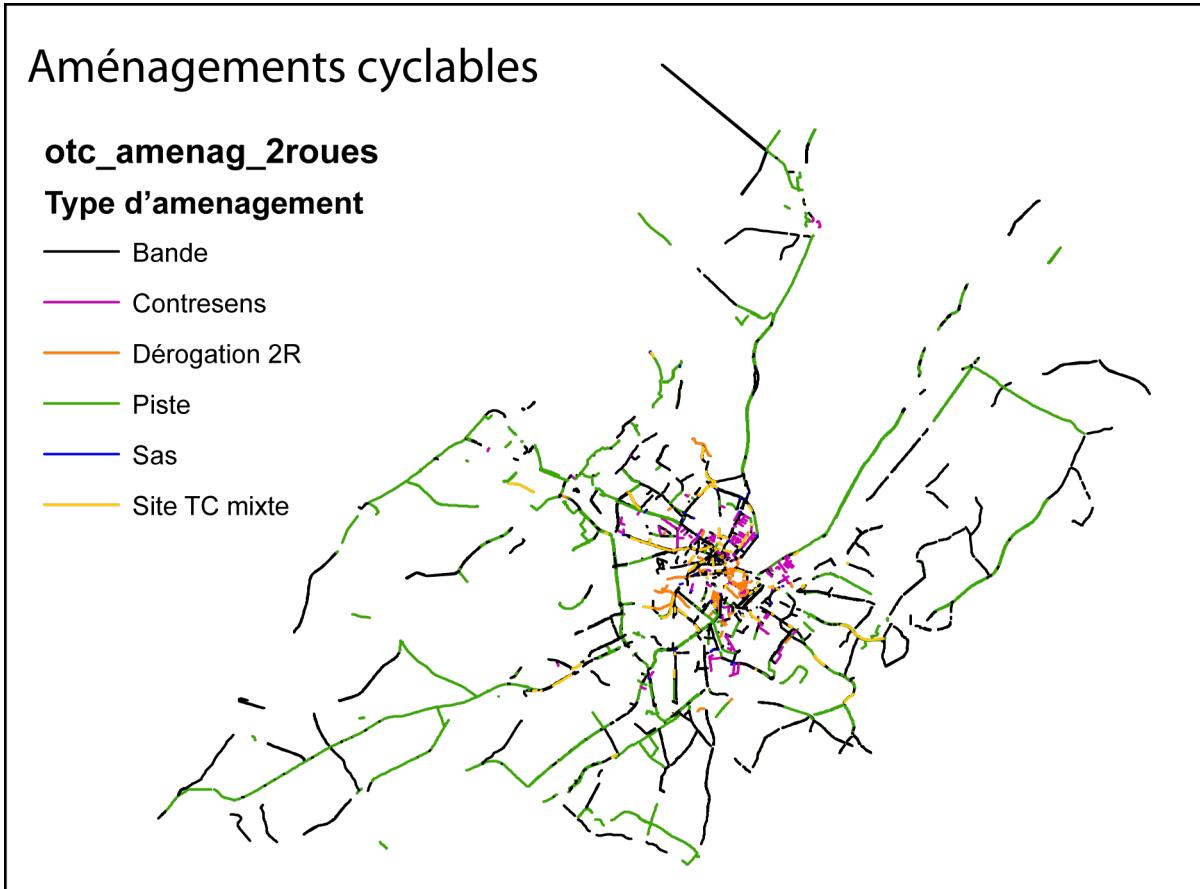


Illustration 3: Le graphe des aménagements cyclables

Le graphe des aménagements cyclables n'étant d'une part que partiellement complet, la stratégie retenue pour la construction du réseau a été de se servir des tables d'attributs du graphe routier et d'utiliser ce dernier comme base pour les calculs d'itinéraires. Afin d'effectuer des calculs relatifs à la sécurité, les segments ont été renseignés en fonction des différents aménagements cyclables (Piste, Bande, Contresens, Mixte avec les transports en commun) selon leur sens de circulation. Un tronçon de rue est considéré comme équipé quand la longueur de l'aménagement dépasse cinquante pour cent du segment.

La toute première étape de ce travail est la définition du domaine (*Domain*) « typam2r » pour les différents aménagements dans les propriétés de la géodatabase, en reprenant la terminologie utilisée dans le graphe des aménagements cyclables (Tableau 5). Cette définition des codes simplifiera le renseignement des champs typam2r_ft et typam2r_tf, permettant en particulier d'éviter les fautes de frappe. Cette classification correspond, incidemment, à une forme de hiérarchie de sécurité sur le réseau. A l'exception de la valeur 0, les autres codes évoquent une sécurité plus accrue si les chiffres sont bas. La piste est plus sûre que la bande, elle-même plus sûre que les sites mixtes pour vélos et TPG, et ainsi de suite. Les Sas vélos ne seront finalement pas renseignés, faute de temps, considérant que cet élément n'est pas le plus déterminant dans l'appréciation de la sécurité par les cyclistes.

| Description | Code | Objet |
|---------------|------|---|
| NR | 0 | Pas d'aménagement cyclable |
| Piste | 1 | Espace isolé physiquement de la route |
| Bandé | 2 | Défini par une peinture sur la route |
| Site TC mixte | 3 | Circulation des vélos sur les lignes TPG |
| Contresens | 4 | Circulation en contresens autorisé pour les vélos, pas de bande marquée |
| Dérogation 2R | 5 | Interdit à la circulation privée, autorisée pour les vélos |
| SAS | 6 | Espace d'arrêt réservé aux cyclistes avant un carrefour |

Tableau 5: Domaine de géodatabase pour les aménagements cyclables

Le domaine « oui_ou_non » (Tableau 6) a également été défini à cette occasion afin d'intégrer des informations de type booléennes facilement identifiables comme telles :

| Description | Code |
|-------------|------|
| Oui | 1 |
| Non | 0 |

Tableau 6: Domaine « oui_ou_non »

Les attributs ont été ajoutés au graphe en suivant visuellement le graphe des aménagements cyclables, en partant du centre-ville vers l'extérieur de la ville. Ce graphe n'étant toutefois pas totalement à jour, les orthophotos du SITG ont servi pour retrouver des bandes et pistes qui n'étaient pas présentes.

La couche de polygones des « Zones 30 » ont également été mises à contribution, considérées comme un élément pertinent pour définir la sécurité des routes. Celles-ci ont été renseignées dans le champ [zone30] en utilisant une sélection spatiale. Si le centroïde d'un polyligne se trouve dans une zone trente, le champ est renseigné, en utilisant le domaine de géodatabase, par « oui » ou par « non ». Cette sélection par centroïde visait à ne prendre en compte que les polylignes ayant une proportion considérable à l'intérieur des polygones et d'éviter les tronçons autoroutiers passant en dessous.

En utilisant le même domaine, les routes conseillées du Plan Vélo ont également été ajoutées manuellement en utilisant l'*Editor*. Cette étape s'est toutefois déroulée après l'assemblage des graphes. L'attribution de valeurs différencier pour la France voisine étant l'un des buts de cet opération, permettant de pallier le manque de renseignements disponibles de l'autre côté de la frontière.

Assemblage et connectivité du réseau

Le premier travail pour la construction du graphe itiVélo est la vérification de la connectivité du graphe routier. En clair, il s'agit de s'assurer que l'ensemble des routes du canton sont bien reliées, *snappées* entre elles. Cette première étape s'est faite en lançant des séries de recherches d'itinéraires,

basées sur la seul distance, pour chercher d'éventuelles anomalies, tout particulièrement le long de routes comptant des bandes et pistes cyclables. Deux polylinéaires sont apparus déconnectés lors de cette étape, sur la route de Peney. Ceux-ci ont été ensuite connectés par *snapping*. Cette étape a aussi été l'occasion de créer un champ [trans_geom] pour notifier tout polylinéaire dont la géométrie serait transformée lors de ce travail. Un autre champ [trans_attrib] notifiant des transformations attributaires a également été créé par anticipation de changements attributaires. Le domaine « oui_ou_non » a été assigné à ces deux nouveaux champs.

La question de la construction des connectivités par *snapping* s'est toutefois manifestée plus fortement lors de la jointure des différents graphes composant itiVélo. Le *workflow* de l'étape de jointure des graphes est schématisé ci-dessous (Illustration 4), fonctionnant de façon concentrique, depuis le canton de Genève, puis vers l'agglomération. Comme nous l'avons mentionné plus haut, certains éléments sont issus du graphe de la mobilité douce. Des éléments nouveaux ont été ajoutés manuellement sur la base des orthophotos de 2009 du canton de Genève. Enfin la partie vaudoise d'itiVélo provient du graphe routier régional, et la partie française provient de l'IGN.

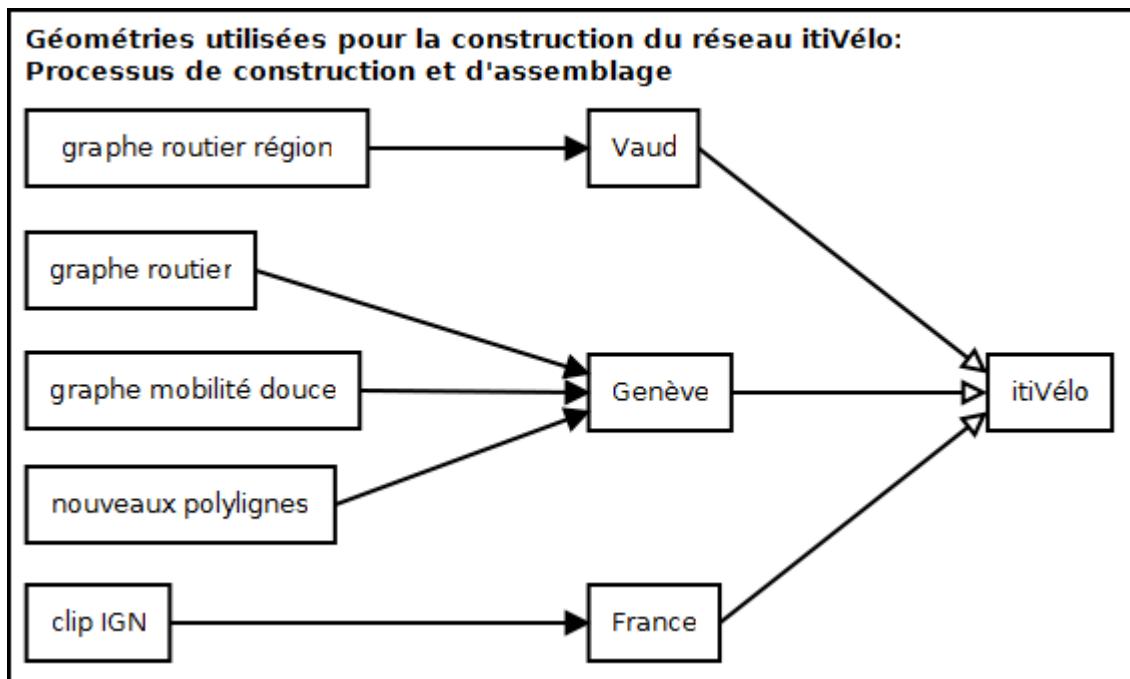


Illustration 4: Workflow: assemblage des graphes

Le premier assemblage de ce travail visait à la jointure du graphe routier avec celui de la mobilité douce. Celui-ci est défini comme « la forme géométrique des tronçons, des cheminements et passages pour piétons, vélo ou autre moyen de déplacements à propulsion musculaire qui ne sont pas déjà dans le graphe routier, ainsi que les attributs spécifiques à ce graphe ».¹⁸ L'ensemble des tronçons de ce graphe ne font toutefois pas partie des aménagements légalement utilisable par les cyclistes, la plupart étant réservée aux piétons. Un champ spécifique « graph_orig » défini dans la table attributaire de ce graphe nous permet de retrouver les polylinéaires concernés.¹⁹

Nous avons pu isoler ces données grâce à une sélection attributaire et créer une nouvelle couche que nous avons fusionnée (*Merge*) avec le graphe routier. La plupart des tronçons du graphe de la mobilité douce sont directement connectables avec le graphe routier. Cette opération de fusion nous a toutefois demandé un certain nombre de traitements d'édition dans les cas où l'extrémité d'un polylinéaire touchait une arrête (*edge*) du graphe routier, la *Connectivity Policy* du réseau itiVélo étant

18 SSIG, « Rapport SSIG pour 2004 », 21.12.2004

19 Domaine de la géodatabase : « oui_ou_non »

définie aux extrémités (*end*). L'éditeur permet alors de créer un nouveau *vertex* et de sectionner le polyligne. C'est notamment le cas autour du Barrage du Seujet, où plusieurs tronçons ont dû être sectionnés pour assurer la connectivité entre les deux graphes. Les polylinéaires en bleu sur l'image suivante (Illustration 5) ont du être modifiés pour assurer la connectivité du réseau.



Illustration 5: Le barrage du Seujet

L'utilisation du graphe de la mobilité douce ne suffit pas pour faire fonctionner parfaitement le nouveau graphe, certains passages existants n'étant présents dans aucun des deux graphes genevois. Trente-six polylinéaires ont donc du être ajoutés manuellement au graphe en construction. Une zone mixte piétons-cyclistes à Saint-Jean, absente du graphe de la mobilité douce, par exemple, est présentée en jaune sur l'image suivante (Illustration 6).

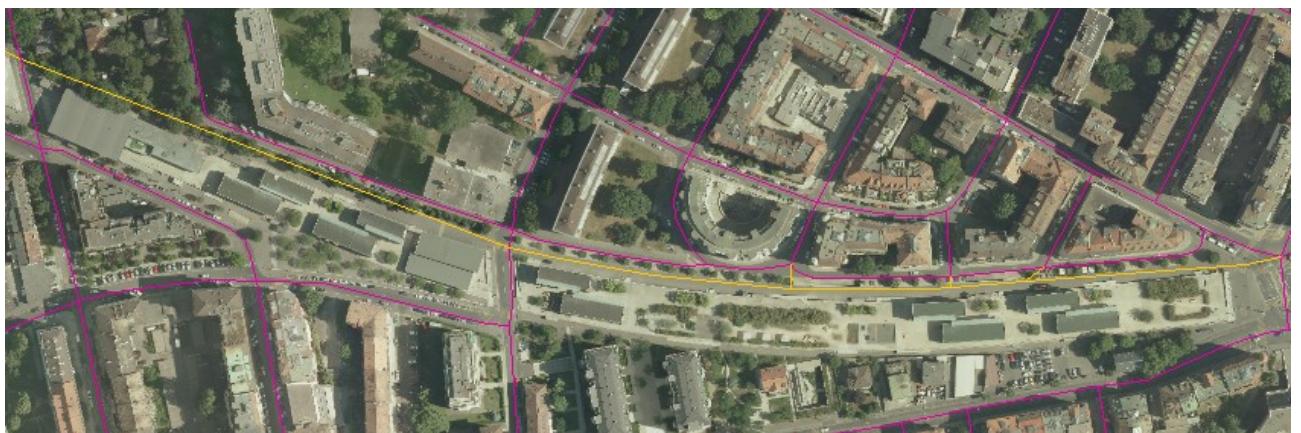


Illustration 6: Zone mixte piétons/cyclistes à Saint-Jean

L'assemblage du graphe régional demandait préalablement des opérations de clip des données, en fonction de l'étendue de la carte vélo, puis d'enlever les données genevoises, déjà présentes dans le graphe routier. Le graphe routier régional étant une compilation de données provenant du SITG, les connections étaient déjà fonctionnelles et n'ont pas demandé de transformations. C'est l'étape de jonction des données avec la couche provenant de l'IGN qui a demandé le plus de *snapping*. La majorité de l'ensemble des transformations géométriques opérées sur le graphe routier concerne cette opération. Le choix s'est porté sur la transformation des géométries d'un graphe ou de l'autre selon les cas, de manière à ajouter le moins de vertex possibles sur un graphe ou l'autre. Il a fallu parcourir l'ensemble de la zone frontière en s'aidant des orthophotos de 2009 pour situer au mieux les zones où connecter les données. L'étendue des orthophotos mordant légèrement de l'autre côté de la frontière.

Corrections attributaires: préparation des interdictions

Une fois les connectivités établies, l'aspect le plus important pour le fonctionnement du réseau est la définition des interdictions et autorisations de circuler (Illustration 7). Les sens uniques à vélo ne sont pas tout à fait les mêmes que pour les automobiles. Le champ [oneway] (*Data Type : Text*) est créé dans la table du graphe, dans lequel les sens de circulation, autorisés ou interdits, seront spécifiés pour chaque polyligne (Tableau 7).

| Oneways | |
|----------------|--|
| Règle générale | restricted = False |
| From-To | Case "N", "TF", "T": restricted = True |
| To-From | Case "N", "FT", "F": restricted = True |

Tableau 7: Règle des sens uniques

L'attribut « N » bloque complètement la circulation sur les polylignes concernés, tandis que « FT » et « TF » n'interdisent le passage que dans le sens indiqué. Les tronçons traversables dans les deux sens sont laissés tels quels (« NULL »). Les autoroutes et tunnels autoroutiers sont interdits grâce à cette commande, repérés grâce au champ [nomvoie] en Suisse, qui permet de retrouver l'Autoroute de contournement, et par le champ [NATURE] en France, qui indique notamment les autoroutes et escaliers urbains. Cette première étape passe par des sélections attributaires et un calcul de champ texte « N ». Ce même champ [NATURE] permet également utilement d'exclure des escaliers urbains -renseignés dans la partie IGN d'itiVélo- des calculs d'itinéraires (Tableau 8).

| | | |
|-----------------------|---------|--------|
| Interdictions totales | Suisse | France |
| Champ utilisé | nomvoie | NATURE |

Tableau 8: Champs utilisés pour retrouver les autoroutes

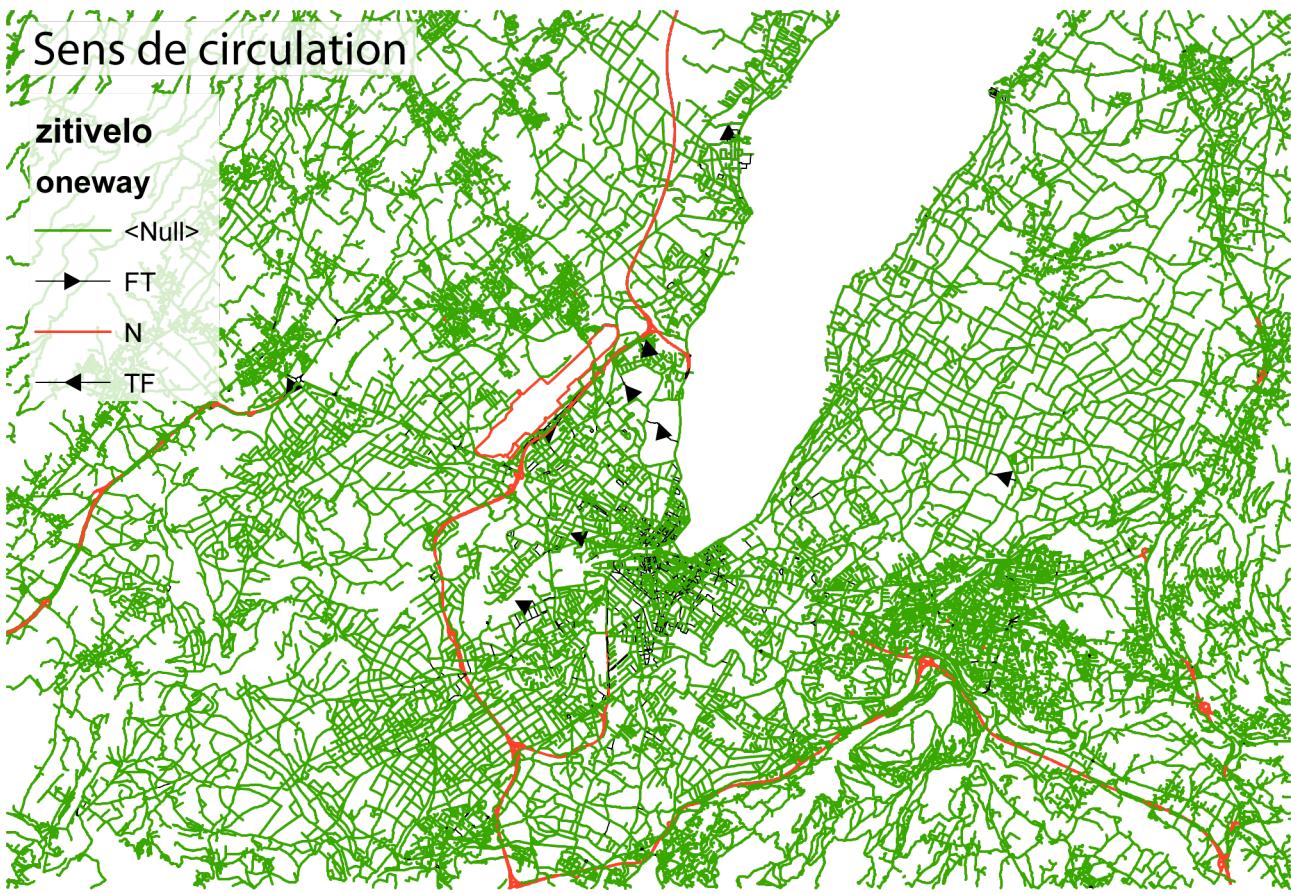


Illustration 7: Sens uniques sur itiVélo

La seconde étape visant à l'attribution d'interdiction FT et TF est toutefois sensiblement plus subtile. Elle passe par l'utilisation des champs déjà renseignés des sens uniques dans le graphe routier. (champ [sens_unique] et attributs « dans le sens », « contresens », « interdit » et « libre ») Ceux-ci concernent la circulation automobile et ne peuvent donc pas être repris tels quels.

Cette opération est donc également l'occasion de s'assurer qu'il n'existe pas d'anomalies dans les données du SITG. Lorsqu'une anomalie est trouvée, il est possible de vérifier d'où vient l'erreur grâce aux orthophotos. (Il s'agissait alors d'orthophotos de 2009, celle de 2011 prises en hiver et ne comportant pas les feuilles des arbres n'étant malheureusement pas encore composées au printemps.) La sélection suivante (Tableau 9) permettent de vérifier qu'il n'y a pas de contradictions entre les données de nombre de voies de circulation et les sens uniques :

| Sens | Sélection attributaire |
|---------|---|
| From-To | "sens_unique" = 'dans le sens' AND "nb_voie_ft" = 0 |
| To-From | "sens_unique" = 'contresens' AND "nb_voie_tf" = 0 |

Tableau 9: Identification d'anomalies de sens dans le graphe routier

Trois rues ont présenté des contradictions avec cette sélection.²⁰ Les attributs du nombre de voies étant inversé, il a suffit de changer les valeurs contenues dans les deux champs FT et TF. L'attribut « contresens » étant correct, il n'a pas été nécessaire d'y toucher. Quant à la sélection inverse (), elle

20

Il s'agit de des tronçons suivants : id_gm_troncon 116960, Rue Agasse ; id_gm_troncon 120741, Chemin Neuf ; id_gm_troncon 117438, Rue de la Pisciculture

n'a révélé aucune anomalie, puisqu'aucun tronçon n'y correspond.

Les données de sécurités renseignées précédemment nous permettent de définir les interdictions et éventuellement les autorisations pour les cyclistes. En premier lieu, les lieux où la circulation est interdite aux voitures seront autorisés pour itiVélo car ils correspondent aux zones pour riverains ou livreurs uniquement. Cette interdiction ne s'appliquant pas aux cyclistes ce champ restera défini comme « NULL » dans [oneways]. Les opérations pour définir le sens de circulation autorisé se feront donc uniquement sur les segments qui ne sont pas marqués comme « interdit ». Pour les lieux où la circulation est autorisées dans un seul sens, on s'assure qu'il n'y a pas de circulation cyclable autorisée en sens inverse par une sélection attributaire. Si il y a un aménagement cyclable en sens contraire, le champ [oneway] prend la valeur « NULL » (Tableau 10).

| Sélection attributaire | Attribut de [oneway] |
|--|----------------------|
| "sens_unique" <> 'interdit' AND "nb_voie_ft" = 0 AND "typam2r_ft" <> 0 | NULL |
| "sens_unique" <> 'interdit' AND "nb_voie_tf" = 0 AND "typam2r_tf" <> 0 | NULL |

Tableau 10: Définir la circulation autorisée dans les deux sens

Les tronçons sélectionnés sont donc traversable dans les deux sens pour les vélos. Ils prennent la valeur « NULL ». Inversement, les sélections suivantes permettent d'identifier les polylignes sur lesquelles il n'existe pas d'autorisation de circuler pour les vélos en sens unique. La première définit les interdictions en FT et la seconde les interdictions en TF (Tableau 11).

| Sélection attributaire | Attribut de [oneway] |
|---|----------------------|
| "sens_unique" <> 'interdit' AND "nb_voie_ft" = 0 AND "typam2r_ft" = 0 | TF |
| "sens_unique" <> 'interdit' AND "nb_voie_tf" = 0 AND "typam2r_tf" = 0 | FT |

Tableau 11: Définir la circulation autorisée dans un seul sens

L'opération d'attribution des sens de circulation a permis de s'assurer que le réseau présente un certain réalisme dans le détail. Les échangeurs et les rond-points du le graphe IGN étant numérisés précisément, leur sens de circulation a du être spécifié dans [oneway]. Leur sélection et l'attribution de valeurs FT et TF toutefois demandé un repérage visuel de chaque rond-point, les informations attributaires sur ces objets n'étant pas présents sur le graphe IGN. Cela concerne 789 polylignes, pour une centaine de rond-points du graphe (Illustration 8).

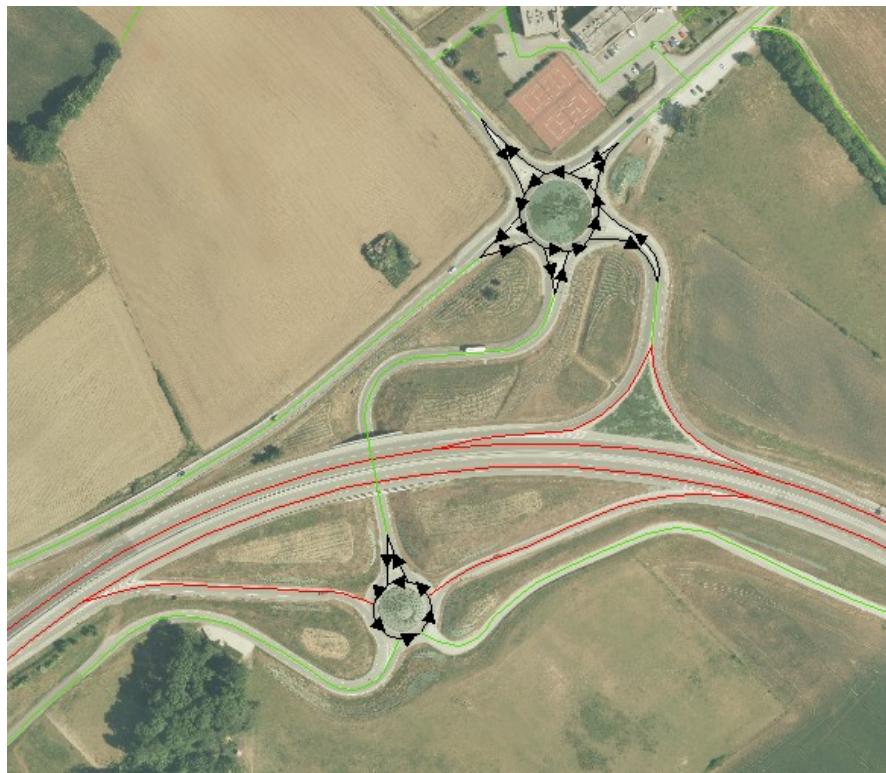


Illustration 8: France: rond-points et autoroute

Cette construction d'un réalisme précis des itinéraires possible permet de présenter une image crédible des itinéraires lorsqu'ils sont visualisés dans le détail avec la fenêtre des *Route Directions*. Elle est parfois également la seule possibilité de connectivité pertinente, et est nécessaire pour donner des indications de distance pertinentes à l'utilisateur. Une attribution minutieuse des sens de circulation pour l'échangeur de Bellevue (Illustration 9) est par exemple indispensable pour faire fonctionner correctement le système de calcul.



Illustration 9: La définition des interdictions permet de modéliser les trajets sur des échangeurs.

Calcul des pentes

Le graphe itiVélo constitué, il est possible d'effectuer les calculs nécessaires pour obtenir les valeurs de pentes grâce à un modèle numérique d'altitude. La chaîne d'opérations nécessaire est toutefois la plus complexe de ce travail. La première étape pour calculer les pentes des routes sur l'agglomération genevoise passe par la transformation du graphe itiVélo en graphe tridimensionnel (*Polyline Z*) à l'aide d'un modèle numérique d'altitude (MNA) ayant une étendue couvrant l'agglomération. L'outil utilisé pour cette étape est *Interpolate Shape*, de l'extension 3D Analyst, qui permet d'intégrer les données 3D d'un MNA à une couche vectorielle.

Nous disposons, avec les données SITG, à la fois des modèles numériques de terrain (MNT), qui prennent l'altitude du terrain sans le bâti et la végétation et de surface (MNS), qui comportent tous les éléments de bâti et de végétation. Chacun de ces deux types de rasters comprennent des avantages et des inconvénients pour le calcul que nous souhaitons faire. Les MNT ont le désavantage de ne pas comporter les ponts et tunnels du canton, mais restent tout de même préférables aux modèles de surfaces, car les arbres jouxtant les routes y sont présents et risqueraient de fausser le calcul sur de nombreux polylignes. Le raster utilisé pour cette étape est un clip de celui de l'agglomération, avec des cellules de 25*25 mètres. Il existe des rasters MNT bien plus précis du canton, mais ceux-ci ne couvrent pas l'ensemble de l'étendue du graphe itiVélo. Le niveau de précision altimétrique visé pour le calcul des pentes est d'obtenir des valeurs d'altitudes au centimètre, et des valeurs de pentes pour chaque demi-segment.

Le besoin de résultats, d'une part, précis (centimétrique), et d'autre part directionnels, demandent une série d'opérations pour être pertinent dans itiVélo. En premier lieu, si l'extension 3D Analyst dispose de calculs automatisés pour les moyennes de pentes sur des polylignes 3D.²¹ Cependant, ceux-ci n'en indiquent pas la direction. Une série d'opération permet toutefois de les obtenir grâce à d'autres fonctions de *Calculate Geometry*²² permettant de connaître les altitudes de début, milieu et fin d'un polyligne et les insérer dans des champs [Zstart], [Zmid] et [Zend] de type *Double*. Les pentes et longueurs 3D des polylignes peuvent ensuite être calculées par trigonométrie.

Toutefois le logiciel ArcGIS simplifie certaines fonctions de calculs en ne restituant que des entiers, c'est-à-dire dans notre cas, des altitudes au mètre près. Des valeurs d'une précision d'un mètre pour des calculs de pentes sur des distances relativement courtes sont exclus. Les exagérations comme les sous-évaluations des pentes seraient trop importantes.

Il est pourtant possible d'obtenir une bonne précision en contournant cette limite d'ArcGIS. Un second polyligne Z est construit à partir du graphe itiVélo à l'aide de l'outil *Interpolate Shape* en précisant un *Z Factor* de 100. Ce graphe ne sera utilisé que pour les calculs de points d'altitude, qui seront comprises entre 33000 et 170000 mètres, dans l'orbite terrestre... Il est ensuite possible d'extraire les données de points d'altitude de ce graphe et de les reporter sur le graphe itiVélo avec des dimensions normales, à l'aide d'une jointure attributaire basée sur l'[OBJECTID] des deux graphes. Les données d'altitude dans les trois champs [Zstart], [Zmid] et [Zend] du graphe aux dimensions terrestres (entre 330 et 1700 mètres) peuvent être intégrées en divisant les valeurs par 100. Cette opération donne la précision centimétrique nécessaire aux calculs ultérieurs. La table jointe peut être enlevée.

Les trois champs [Zstart], [Zmid] et [Zend] renseignés, des calculs de trigonométrie permettent d'obtenir la dénivellation et calculer les pentes et les longueurs de chaque demi-polyligne. La longueur est calculée automatiquement par ArcGIS et intégrée dans la colonne [Shape Length] des tables attributaires des couches de polylignes. Les quatre champs qui contiendront les valeurs de pentes sont [pente_ft1], ft2], tf1] et tf2], tandis que la longueur 3D sera intégrée dans le champ [Zlength].

21

3D Analyst Tools/Functional Surface/Add Surface Information

22

Clic-droit au dessus d'un champ de la table d'attributs.

Schéma de calcul de pentes et champs pour un tronçon From-To

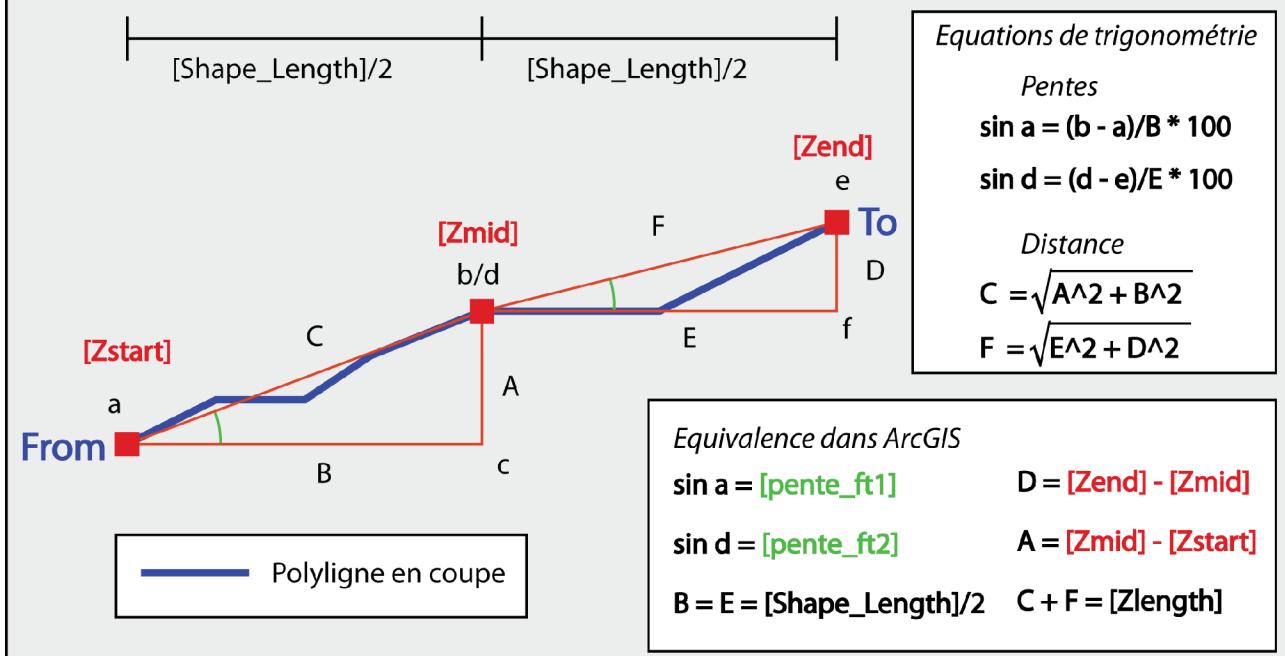


Illustration 10: Calcul des pentes

Les valeurs à intégrer sont en rouge (longueur) et en vert (pente) dans l'image ci-dessus (Illustration 10). Si le point [Zmid] est plus bas que [Zstart] , la valeur de pente est négative. (Et si les deux valeurs d'altitude sont égales, la pente est de 0. Mais ce n'est le cas sur aucun des polylignes.) Ceci se traduit dans en fonction du nom des nouveaux champs par un calcul de trigonométrie pour les pentes des segments From-To. Les pentes en To-From sont ensuite simplement obtenues en multipliant les valeurs From-To par -1, donnant les valeurs opposées (Tableau 12).

| Calcul des pentes en % | |
|--|--|
| From-To | To-From |
| $[\text{pente_ft1}] = ([\text{Zmid}] - [\text{Zstart}]) / ([\text{Shape_Length}] / 2) * 100$ | $[\text{pente_tf2}] = [\text{pente_ft1}] * -1$ |
| $[\text{pente_ft2}] = ([\text{Zend}] - [\text{Zmid}]) / ([\text{Shape_Length}] / 2) * 100$ | $[\text{pente_tf1}] = [\text{pente_ft2}] * -1$ |

Tableau 12: Calcul des pentes en %

La longueur 3D des tronçons est obtenue en additionnant la longueur 3D des deux moitiés de chaque tronçon routier. Ce champ sera utilisé dans Network Analyst pour les calculs de distance, ainsi que pour les autres calculs de coût, impliquant la distance (Tableau 13).

| |
|---|
| $[\text{Zlength}] = \text{Sqr} (([\text{Zend}] - [\text{Zmid}])^2 + ([\text{Shape_Length}/2]^2) + \text{Sqr} (([\text{Zmid}] - [\text{Zend}])^2 + ([\text{Shape_Length}/2]^2))$ |
|---|

Tableau 13: Calcul de la longueur 3D en mètres

Le calcul des pentes demande finalement une correction manuelle sur les polylignes représentant des ponts surplombant l'Arve ou le Rhône. Les calculs ayant pris les altitudes des cours d'eau

comme midpoint dans le champ [Zmid], ceux-ci se retrouvent avec de fortes valeurs de pente. La correction est ici opérée par sélection manuelle de ces ponts (à l'exception du Pont de Sous-Terre qui compte une pente réelle) et en attribuant à ces segments des valeurs de pente de 0%.

Fonctionnement du système de calcul

Le réseau itiVélo permet de modéliser des itinéraires de cyclistes sur le canton de Genève. L'application ne présente pas de calculs personnalisés, mais présuppose quatre types de préférences : la plus courte distance, le temps de parcours le plus court, celui du moindre effort et celui du niveau de sécurité le plus élevé. La construction de tout modèle implique un niveau de simplification important, et la mise à l'écart d'événements non-modélisables, ou tout au moins difficilement intégrables à un système de calcul automatisé. Le chapitre qui suit doit donc plus être lu comme une proposition que comme une affirmation.

La distance

Le calcul des distances sur polylignes constitue la particule élémentaire du fonctionnement de Network Analyst. Celle-ci est calculée automatiquement par ArcGIS sur les couches de polylignes. Afin d'affiner l'estimation de distance, ce calcul est réglé dans Network Analyst sur le champ [Zlength] qui prend en compte la distance en trois dimensions.

Le temps et l'effort

Le fonctionnement de ce moyen de transport grâce à la force musculaire représente un aspect important susceptible de faire varier la façon dont se déplacent les cyclistes. Les calculs du temps et de l'effort passent par la prise en compte de critères sensiblement plus complexes que la distance. Ceux-ci passent par l'estimation d'un « coût ». Ici le coût d'un parcours correspond à la distance mise en relation avec les pentes et le nombre de carrefours sur le trajet. Il a fallu définir un(e) cycliste type pour itiVélo. Le système de calcul sur l'effort est basé sur une vitesse fixe moyenne de 20 km/h sur le plat et pesant un total de 90 kilos, vélo compris. La prise en compte de cette vitesse et de ce poids type peuvent être discutés, certains cyclistes roulant à des vitesses plus ou moins élevées.

Les temps de parcours estimés ne peuvent pas être considérés comme réalistes pour chaque utilisateur. Toutefois, du point de vue de la logique formelle du système, les résultats du choix de parcours seront eux, très proches, même si les poids et vitesses réels diffèrent. D'un point de vue du coût, les pentes ont l'effet (dans les deux cas de l'effort et du temps de parcours) de faire augmenter la valeur des variables si elles sont positives (montée), et de les faire baisser si elles sont négatives (descente).

Le poids des carrefours dans le calcul est également important, car ils présupposent un certain nombre de ralentissements, dans le cas des priorités de droite, par exemple. Des arrêts et de redémarrages dans le cas de feux et stops sont également à prendre en compte. Les « cédez-le-passages » impliquent également l'un ou l'autre des cas de figures. Cela se traduit dans la variable du temps par un rallongement du trajet et dans la variable de l'effort par une augmentation de l'effort physique nécessaire pour repartir.

Bien que simplifié, ce modèle présente une complexité accrue du fait de combiner des variables en progression arithmétique, d'autres en progression géométrique, ainsi que des constantes. Les équations utilisées pour définir le temps et l'effort dans le système de calcul itiVélo sont inspirées du travail de Manuel Barranco²³, et de deux des documents utilisés pour son travail, produit par

23 Barranco, Manuel, *Optimisation d'un trajet cycliste en ville de Genève selon diverses variables*, Mémoire de certificat de géomatique, Université de Genève, 2002

Christian Jaeger²⁴ et Nicolas Mercat²⁵, qui a fait un important travail de traductions d'algorithmes prenant en compte les champs de forces auxquels est soumis un cycliste. Cependant, les algorithmes originaux n'ayant pas été prévus pour être intégrés dans un SIG, certaines complications et contradictions apparaissent lors de leur intégration dans ArcGIS, comme des vitesses fantaisistes sur des pentes très raides.

La présence de ces contradictions dans le modèle a nécessité un important travail d'évaluation et de test de ces deux modèles de temps et d'effort dans ArcGIS. Surtout, l'aide de logiciels plus adaptés aux calculs mathématiques que sont Calc et Maple. Il a ainsi été possible, grâce aux travaux de Barranco Jaeger et Mercat cités plus haut de les réviser et de donner une plus grande cohérence à ces valeurs de temps et d'effort dans ArcGIS.

Le temps

Le calcul du temps de parcours est estimé en fonction de la distance à parcourir et de la vitesse du cycliste. Cette dernière étant fonction de la pente. Une équation permet de simuler les diminutions et augmentations de vitesse dans les montées et descentes. Celle-ci est empruntée aux travaux de Manuel Barranco et Christian Jaeger de l'EPFL (Illustration 1).²⁶ L'algorithme utilisé permet de calculer les variations de vitesse du cycliste en fonction de la pente, en considérant une vitesse de base sur le plat. L'équation change sensiblement en fonction de la vitesse de base choisie. La vitesse au plat pour itiVélo est estimée à 20 km/h.

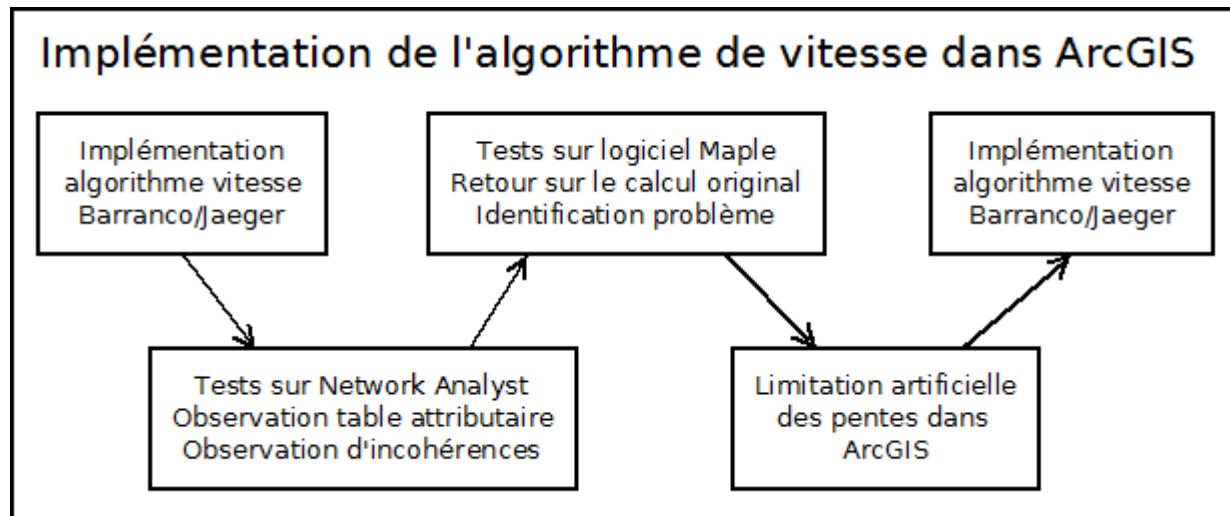


Illustration 1: Workflow: calculer la vitesse

Les champs [vitesse_ft1], ft2], tf1] et tf2] seront peuplés avec des vitesses en kilomètre par heure. L'équation représentant le rapport entre vitesse et déclivité est décrite dans le tableau suivant (Tableau 14), avec les variables correspondantes dans les champs du graphe itiVélo.

²⁴ Jaeger, Christian, *Les Voies Urbaines: Évolution, Usage Et Aménagement*. Cahier « Transport-Environnement-Aménagement » 8. Lausanne: EPFL ITEP, 1995.

²⁵ Mercat, Nicolas, *Modelling of Bicycle Journeys : Using Energy Expended rather than Journey Time or Distance*, Conference Proceedings of Velo-City '99, Graz – Maribor, 1999, pp. 557-561

²⁶ Barranco, p11 et Jaeger, p.227

| | |
|-----------------------------------|--|
| Variables | $x = \text{pente en \% ; } v = \text{vitesse en fonction de la pente en km/h}$ |
| Equation | $v=0.0208x^3 + 0.003x^2 - 3.7329 x + 20$ |
| Equation dans le Field Calculator | $[vitesse_ft1] = 0.0208 * [pente_ft1]^3 + 0.003 * [pente_ft1]^2 - 3.7329 * [pente_ft1] + 20$ |

Tableau 14: Calcul de la vitesse

Cette équation permet de simuler l'augmentation ou la diminution de la vitesse en fonction de la pente. Naturellement, la vitesse diminue en montée et augmente en descente. La particularité de cette équation est qu'elle permet de décrire un infléchissement de cette progression. En descente, l'accélération se fait moins forte à partir d'une certaine seuil, simulant la force des frottements qui empêchent une augmentation continue de la vitesse. Dans le sens de la montée, la vitesse diminue régulièrement en fonction de pente. Celle-ci décline toutefois moins à partir d'une certaine pente, reflétant l'importance de ne pas descendre au-delà d'une certaine vitesse pour l'équilibre du cycliste (Illustration 2).

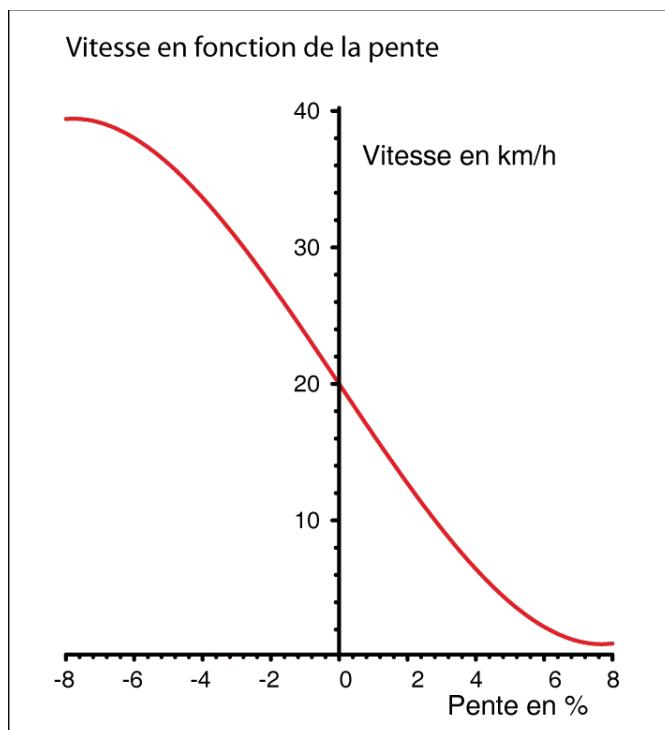


Illustration 2: Algorithme de vitesse sur des pentes modérées

Un point important de cette équation, est que son intervalle de pertinence est limité. La variable pente étant déclinée au carré et au cube, la courbe de vitesse ne suit pas une simple progression arithmétique. L'algorithme permettant de calculer la vitesse est opérante dans un intervalle de pente compris entre 8% et -8%, après quoi les valeurs de vitesse ne sont plus cohérentes. L'intervalle de l'ensemble des valeurs de pentes comprises dans itiVélo étant bien plus large, avec de nombreuses valeurs autour de 20 à 30 %.²⁷ Un graphe présentant les vitesses potentiellement calculées (Mach 2, et... -Mach 2) nous montre que des opérations de corrections sont nécessaires (Illustration 3).

27 L'intervalle va jusqu'à 66/-66 %, mais il s'agit d'un seul polygone.

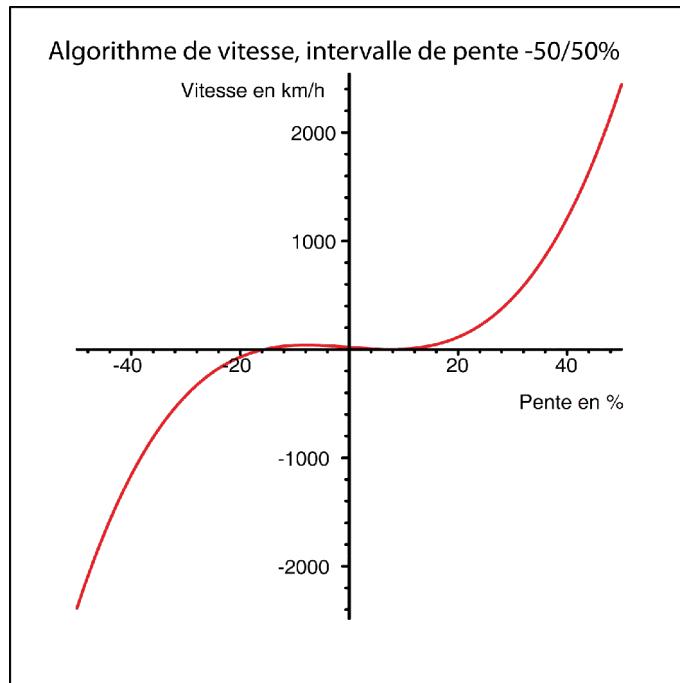


Illustration 3: Algorithme de vitesse dans un intervalle de pente de 50/-50%

Le graphe itiVélo comptant 5945 valeurs sortant de cet intervalle dans chaque sens de circulation, des corrections artificielles des pentes ont été nécessaires dans ArcGIS. Les valeurs de pentes ont donc été bridées artificiellement à -8% et 8% lorsque celles-ci dépassaient ces valeurs en négatif et en positif. Il est ensuite possible de calculer les valeurs de vitesses grâce à l'algorithme présenté ci-dessus sans que celles-ci ne deviennent totalement incohérentes. Cette opération (Tableau 15) a été faite à l'aide de l'outil *Select by Attributes* et du *Field Calculator*. Après ce calcul, l'intervalle des vitesses possibles sur itiVélo se situe entre 0.9 et 39.5 km/h.

| Sélection par attribut | Opération dans le <i>Field Calculator</i> |
|------------------------|---|
| "pente_ft1" > 8 | [pente_ft1] = 8 |
| "pente_ft1" < -8 | [pente_ft1] = -8 |

Tableau 15: Brider les valeurs de pente

La carte ci dessous (Illustration 4) montre les tronçons concernés pour [pente_ft1].

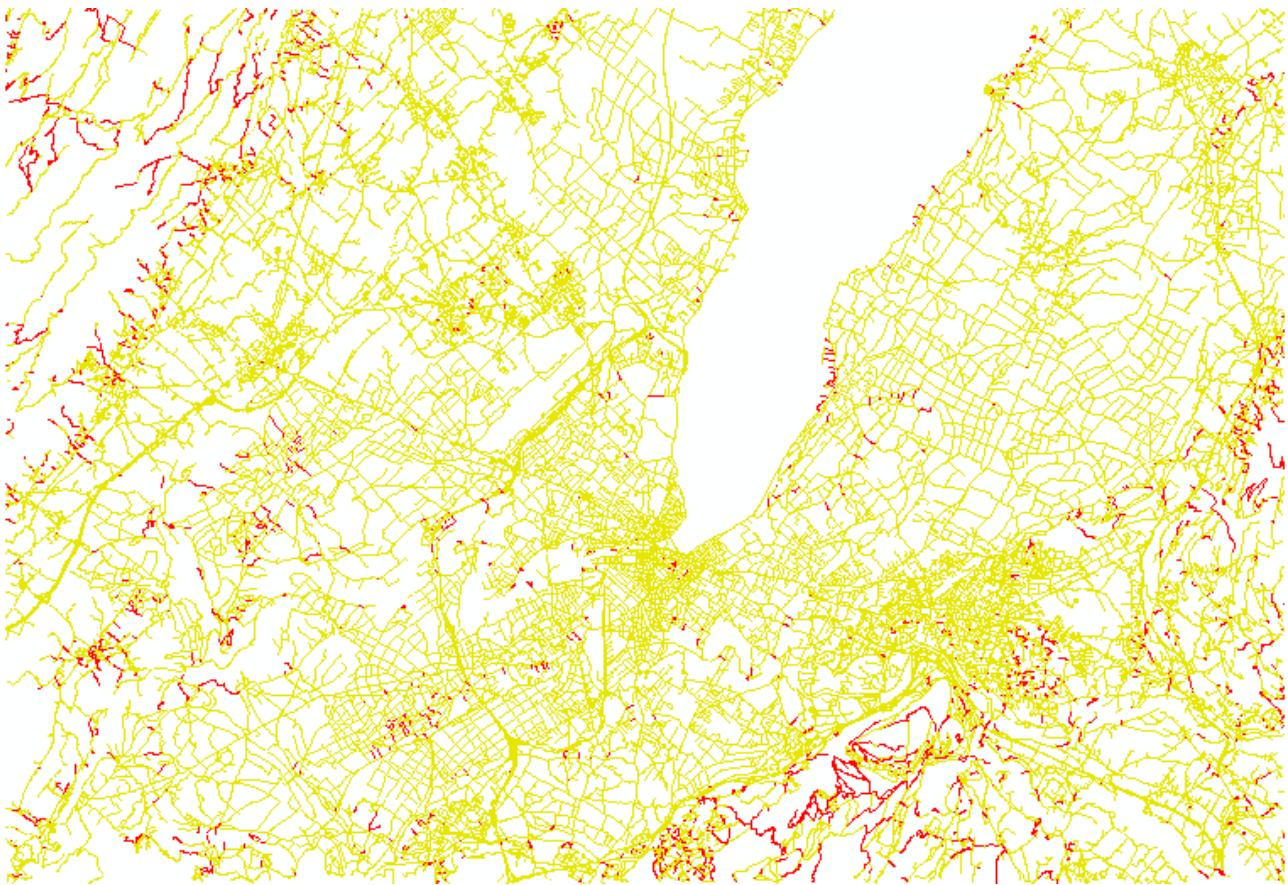


Illustration 4: Les tronçons rouges dépassent 8% ou -8% en [pente_ft1]

Le calcul de vitesse obtenu permet ensuite de connaître le temps nécessaire pour parcourir chaque segment, en mettant en relation la vitesse et la longueur du tronçon. Le calcul des minutes peut alors être effectué dans les deux champs correspondants dans ArcGIS, [Minutes_ft] et [Minutes_tf], qui seront utilisées par Network Analyst (Tableau 16).

$$[\text{Minutes}_\text{ft}] = ([\text{Zlength}] / 2 / 1000 / [\text{vitesse}_\text{ft1}] * 60) + ([\text{Zlength}] / 2 / 1000 / [\text{vitesse}_\text{ft2}] * 60)$$

Tableau 16: Calcul du temps de parcours en minutes

Le calculateur de temps ne prend toutefois pas en compte les temps d'arrêts aux carrefours. Il aurait été possible de définir un temps d'arrêt moyen pour chaque carrefour, ou plutôt, un temps d'arrêt tous les quelques carrefours, afin de favoriser les longs segments de route. Cette possibilité a été laissée de côté au vu de la difficulté d'estimer les temps d'arrêt en fonction des différents carrefours. Quel temps d'arrêt moyen pour un stop, un feu rouge, ou un cedez-le-passage? Au vu de la construction d'une couche de connectique pour le canton, il serait pourtant intéressant aujourd'hui de définir des temps d'arrêt, ou calculer des ralentissements pour les carrefours renseignés.

L'effort

Le calcul d'effort correspond à une équation plus complexe prenant en compte la vitesse du cycliste et les frottements auxquels il est soumis, soit: le poids du cycliste (estimé ici à 90 kg), la résistance à l'air et le roulement du vélo. L'énergie cinétique nécessaire pour démarrer le vélo est également

prise en compte.²⁸ Notre modèle considère que le cycliste doit s'arrêter tous les quatre carrefours. Ce coût en énergie supplémentaire lié aux arrêts favorise légèrement les trajets comprenant le moins de carrefours.

Le principe du calcul d'effort est de calculer un ensemble des forces contre lesquelles le cycliste doit lutter pour faire avancer le vélo. L'ensemble de ces forces équivaut en effet à l'énergie nécessaire pour faire avancer le cycliste, calculée en Joules. Les forces prises en compte dans itiVélo comprennent la force aérodynamique (F.aéro), le frottement (F.roul) dû au roulement et le poids du cycliste (F.poids). Ces trois forces représentent la trainée totale produite par le cycliste. Afin de prendre en compte l'énergie dépensée pour les arrêts au long de la route, on additionnera l'énergie cinétique (E.cin) nécessaire à chaque « démarrage » du vélo.

Les variables sont considérablement simplifiées par rapport au monde réel. Le modèle ne prend notamment pas en compte la direction ou la force du vent. Par ailleurs le poids du cycliste pris en compte est fixe (90 kg), de même que le nombre d'arrêts sur un trajet (un arrêt tous les quatre tronçons), et la surface du cycliste est estimée grossièrement à 1m². Cette surface est certainement exagérée, mais elle permet de simuler la complexité du passage des flux d'air autour des formes complexes que sont le cycliste et son vélo. La vitesse correspond au modèle calculé précédemment pour une vitesse de base de 20km/h.

Le modèle utilisé pour le calcul de pentes reprend les travaux de Nicolas Mercat et Manuel Barranco. Un certain nombre d'inconsistances et de contradictions sont apparues lors de l'application du modèle dans ArcGIS et celui-ci a demandé différentes modifications. L'utilisation des logiciels de calcul Calc et Maple ont permis de mieux comprendre la logique et le fonctionnement des algorithmes et appliquer les changements nécessaires à la cohérence du calcul d'effort (Illustration 5).

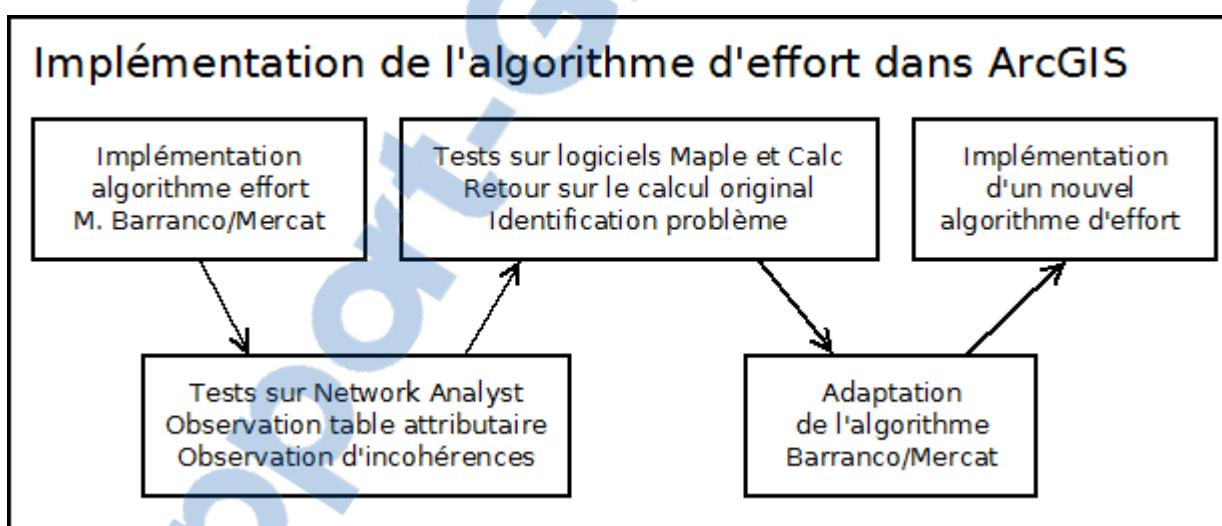


Illustration 5: Workflow: calcul d'effort

Les équations nécessaires pour résumer ces forces sont les suivantes (Tableaux 17, 18, 19 et 20) :

$$F.aéro = \rho/2 * S * C_x * v^2$$

| Variables | P (Rho) | S | C _x | v ² |
|----------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Description | Masse volumique de l'air | Surface exposée du cycliste | Coefficient de pénétration dans l'air | Vitesse au carré |
| Valeurs dans itiVélo | 1.29 | 1 | 0.4 | ([vitesse_ft1] / 3.6) ² |
| Unités | kg/m ³ | m ² | NA | m/s |

Tableau 17: La force aérodynamique

$$F_{roul} = m * g * fr$$

| Variables | m | g | fr |
|----------------------|-------------------|------------------|------------|
| Description | Masse du cycliste | Force de gravité | Frottement |
| Valeurs dans itiVélo | 90 | 9.81 | 0.003 |
| Unités | kg | Constante | Constante |

Tableau 18: La force de friction

$$F_{poids} = m * g * \sin a$$

| Variables | m | g | sin a |
|----------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| Description | Masse du cycliste | Force de gravité | Pente |
| Valeurs dans itiVélo | 90 | 9.81 | [pente_ft1]/100 |
| Unités | kg | Constante | % |

Tableau 19: La force de poids

$$E_{cin} = nb\ stops/2 * m * v^2$$

| Variables | nb stops | m | v ² |
|----------------------|--|-------------------|-----------------------|
| Description | Nombre d'arrêts du cycliste | Masse du cycliste | Vitesse au carré |
| Valeurs dans itiVélo | 0.25 (Un arrêt tous les quatre tronçons) | 90 | (20/3.6) ² |
| Unités | NA | kg | m/s |

Tableau 20: L'énergie cinétique

C'est l'addition de ces forces qui permettent la modélisation de l'effort sur le réseau itiVélo. Celles-ci sont toutefois de nature différente et leur addition peuvent provoquer une augmentation de

l'énergie, ou au contraire s'annuler selon le degré et le sens de la pente. Les forces de friction et l'énergie cinétique sont des constantes, ne changeant pas en fonction de la pente, et présentent donc les forces les plus simples du calcul. Notons toutefois que l'énergie cinétique n'est prise en compte que lorsque la pente est positive, l'effort de démarrage d'un vélo en descente étant négligeable, voire nul.

On appliquera sur chaque tronçon l'une ou l'autre des deux équations suivantes, si la pente est positive ou négative, en utilisant le *Field Calculator* après des sélections attributaires. ($[pente_ft1] \geq 0 ; [pente_ft1] < 0$)

Si la pente est positive, la trainée totale ($F.aéro + F.roule + F.poids$) est multipliée par la distance et l'énergie cinétique ($E.cin$) est additionnée. Les trois forces participant à la trainée totale sont multipliées par la distance parcourue par le cycliste pour obtenir l'énergie dépensée. Le nombre d'arrêts, ici un tous les quatre carrefours est additionné à la trainée totale. Quatre nouveaux champs [$enertot4_ft1$, $ft2$, $tf1$, $tf2$] sont peuplés avec ces valeurs (Tableau 21).

| Pente positive (Sélection par attributs : "pente_ft1" ≥ 0) | |
|--|--|
| Equation | $d * (\rho/2 * S * C_x * v^2 + m * g * fr + m * g * \sin a) + nb_stops/2 * m * v^2$ |
| Field Calculator | $[Zlength] / 2 * 0.5 * 1.29 * 0.4 * ((0.0208 * [pente_ft1]^3 + 0.003 * [pente_ft1]^2 - 3.7329 * [pente_ft1] + 20) / 3.6)^2 + [Zlength] / 2 * 90 * 9.81 * 0.003 + [Zlength] / 2 * 90 * 9.81 * [pente_ft1] / 100 + 0.25 * 90 * (20 / 3.6)^2$ |

Tableau 21: L'effort en montée

Si la pente est négative, la trainée totale ($F.aéro + F.roule + F.poids$) est multipliée par la distance (Tableau 22) :

| Pente négative (Sélection par attributs : "pente_ft1" < 0) | |
|---|---|
| Equation | $d * (\rho/2 * S * C_x * v^2 + m * g * fr + m * g * \sin a)$ |
| Field Calculator | $[Zlength] / 2 * 0.5 * 1.29 * 0.4 * ((0.0208 * [pente_ft1]^3 + 0.003 * [pente_ft1]^2 - 3.7329 * [pente_ft1] + 20) / 3.6)^2 + [Zlength] / 2 * 90 * 9.81 * 0.003 + [Zlength] / 2 * 90 * 9.81 * [pente_ft1] / 100$ |

Tableau 22: L'effort en descente

Les trois graphes suivants décrivent comment ces équations se traduisent sur un tronçon routier d'une distance de 50 mètres. Le premier (Illustration 6) décrit l'action des différentes forces sur l'effort en fonction de la pente.

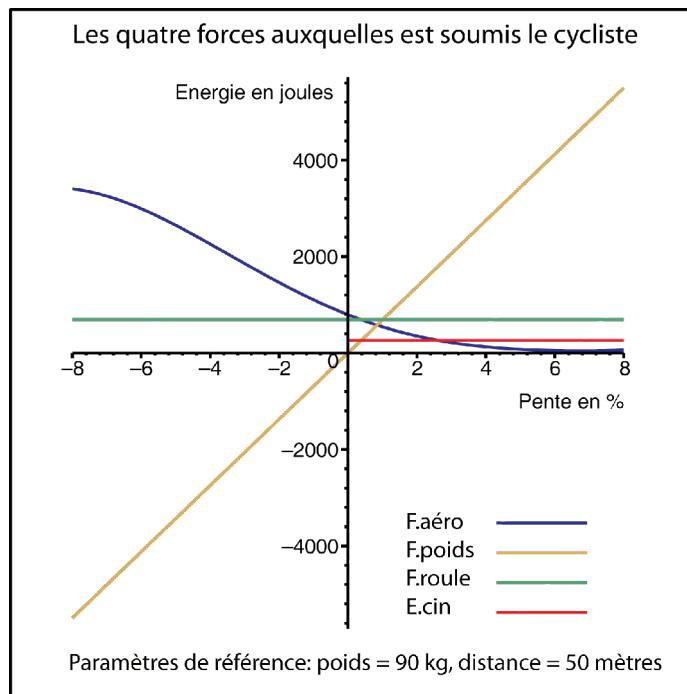


Illustration 6: Calcul d'effort: ensemble des forces

Ces graphes (Illustration 7) montrent l'effet combiné des forces, en pente positive, puis en pente négative.

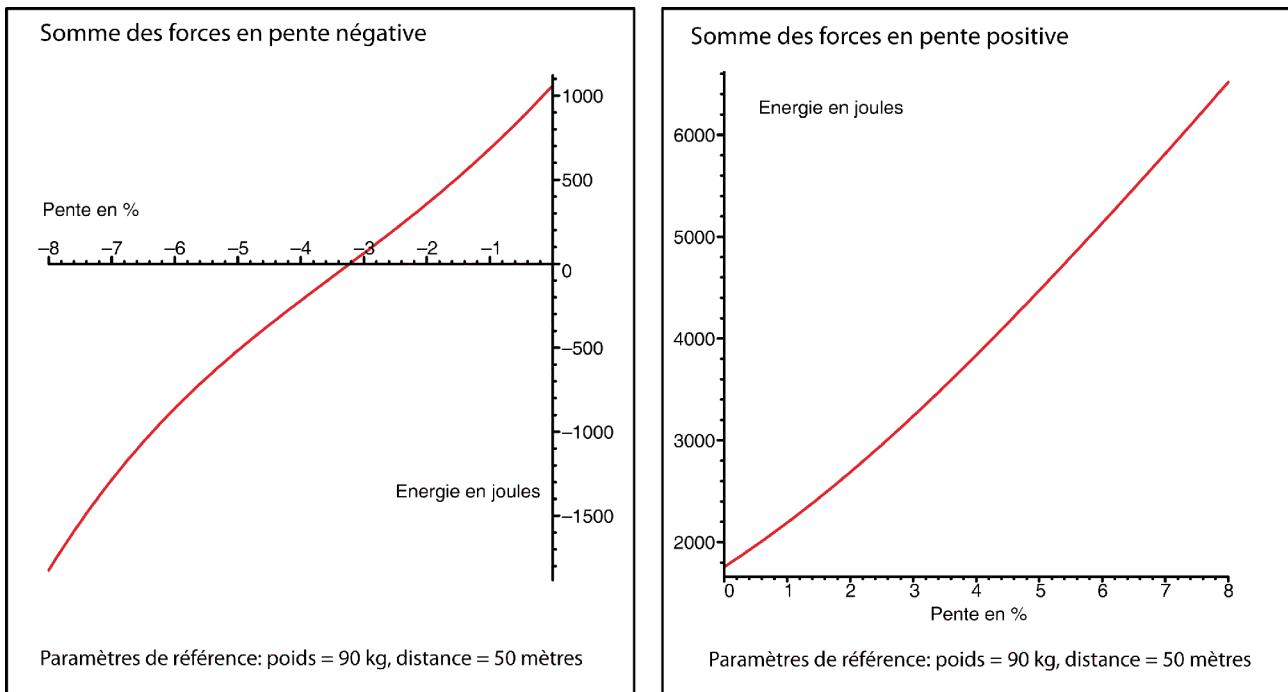


Illustration 7: Calcul d'effort: somme des forces

La force du poids décrit une progression arithmétique, progressant régulièrement en fonction de la pente, tandis que la force aérodynamique décrit une progression géométrique dans la direction inverse. La résistance à l'air étant fonction de la vitesse, son importance augmente dans une pente négative. Ces deux forces peuvent donc selon les cas faire augmenter conjointement l'énergie ou au

contraire s'annuler. A partir d'un certain degré de pente négative, le bilan énergétique devient négatif.

Dans le cas d'un calcul d'effort pour le cycliste, l'énergie dépensée sur un tronçon de route peut être considérée comme négative uniquement si elle correspond à un élan pris avant une montée. Cependant ce calcul ne peut être réellement applicable que sur un seul tronçon. En effet, rien ne permet de prévoir sur itiVélo si le cycliste devra s'arrêter au prochain carrefour. Nous ne considérons donc l'élan pris par le cycliste comme ayant une influence que pour un seul tronçon. Cela signifie que si le tronçon ft1 ou tf1 est négatif, ces valeurs pourront être ensuite soustraite à ft2 et tf2, mais pas dans l'autre sens. Si, sur la deuxième partie du tronçon, l'énergie est négative, itiVélo considère que l'énergie dépensée est égale à zéro. C'est également le cas lorsque les valeurs d'effort sont négatives (Tableau 23).

| Logique des opérations sur les demi-segments |
|---|
| $\text{enertot4_ft1} >= 0 \rightarrow \text{enertot4_ft1} = \text{enertot4_ft1}$ |
| $\text{enertot4_ft2} >= 0 \rightarrow \text{enertot4_ft2} = \text{enertot4_ft2}$ |
| $\text{enertot4_ft2} < 0 \rightarrow \text{enertot4_ft2} = 0$ |

Tableau 23: Prise en compte de l'élan sur les polylignes par demi-segment

Dans le monde réel cette configuration correspond à un tronçon à forte pente, suivi d'un adoucissement de l'inclinaison, voir d'une remontée. (Dans ArcGIS, l'opération consiste à sélectionner les tronçons ft2 et tf2 à valeur négative et à calculer le champ comme égal à zéro.) Une deuxième opération de correction (Tableau 24) est ensuite effectuée dans les champs [enertot_ft], tf], si l'addition présente toujours une valeur négative. Cette mise à zéro du bilan en énergie correspondrait dans le monde réel à l'absorption par les freins du vélo de la somme des forces à chaque carrefour.

| Logique du calcul des totaux |
|--|
| $\text{enertot4_ft} >= 0 \rightarrow \text{enertot4_ft} = \text{enertot4_ft}$ |
| $\text{enertot4_ft} < 0 \rightarrow \text{enertot4_ft} = 0$ |

Tableau 24: Ajustement des calculs d'énergie sur les polylignes entiers

Une fois calculées les sommes de toutes les valeurs, celles-ci sont ensuite recopiées dans les champs [costenerg_ft], tf], pour être utilisées dans Network Analyst avec un nom plus explicite.

La sécurité

L'estimation d'un niveau de sécurité sur des tronçons routier ou un parcours est sans doute le calcul le plus sujet à controverse de ce travail, car difficile à objectiver (Illustration 8). Le sentiment de sécurité est un élément très subjectif et changeant selon les individus. La tentative de classer et mettre en place ce système est donc une mécanique complexe, non-pas destinée à présenter une hiérarchie définitive des dangers sur la route, mais comme une tentative d'aide au choix selon des critères considérés comme influent la sécurité du parcours, et faisant l'objet de politiques de travaux publics. La hiérarchie de calcul elle-même est destinée à être confrontée, discutée, éventuellement réfutée, mais surtout améliorée.

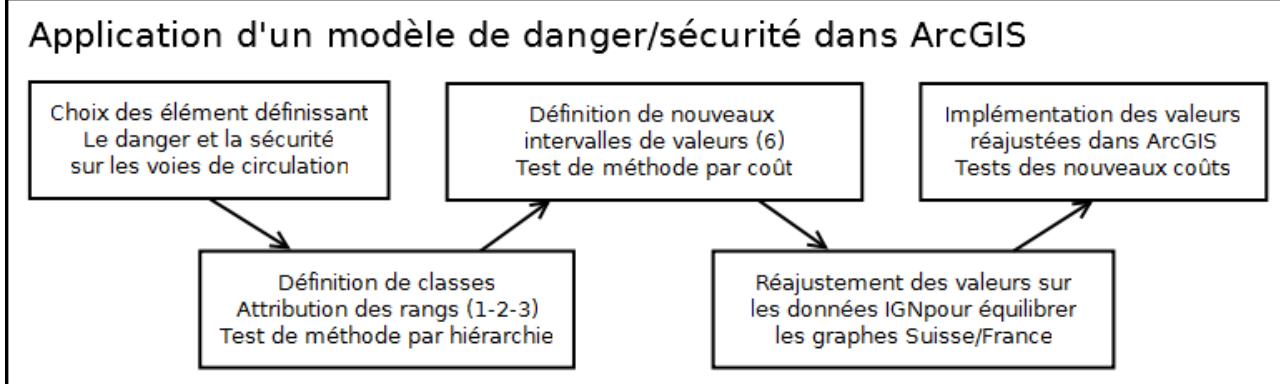


Illustration 8: Workflow: calcul de sécurité

Avant d'entrer dans la discussion sur le calcul actuellement utilisé par itiVélo, il est intéressant de noter ici une première tentative de calcul pour itiVélo, en utilisant le système de hiérarchies de Network Analyst. Ce système est construit pour favoriser certains types de routes lors de calculs d'itinéraires, selon un classement en trois ordres, entre *primary*, *secondary* et *local roads*. Une tentative de définir cet ordre en fonction des aménagements cyclables et en définissant les routes munies de pistes comme *primary*, permettait de créer une recherche automatique des routes munies d'aménagements cyclables. Cela fonctionne plutôt bien en centre-ville de Genève: les routes munies d'aménagements sont clairement favorisées, sans pour autant faire de très grands détours.

Cette tentative s'est cependant révélée totalement inutilisable en dehors du centre-ville, l'outil n'étant pas construit de façon à redescendre dans les ordres de route, et remonter ensuite. Destiné aux trajets sur les routes principales, cet outil se révèle donc inutilisable pour un modèle non-automobile. Cette tentative relève toutefois d'un aspect intéressant des aménagements cyclables dans le canton: leur disconnection. On peut noter que si celle-ci a échoué, une solution de ce type n'est pas nécessairement destinée à se terminer ici. Cette solution pourrait être repensée dans un avenir de moyen-long terme si le réseau routier devait disposer d'aménagements cyclables véritablement connectés et sécurisés.

Le système itiVélo devra toutefois se passer de cette solution dans l'immédiat et passer par les calculs de coûts de Network Analyst. La solution retenue pour ce calcul est de définir un indice de sécurité (*d'insécurité*, en réalité), que nous appellerons indice de danger : les valeurs les plus élevées désignant les routes les plus dangereuses. L'indice de danger est ensuite mis en relation avec la longueur des segments par multiplication afin que le calculateur ne fasse pas de détours déraisonnablement longs pour rouler sur des routes aménagées.

Le calcul de sécurité est basé sur un indice de danger de 1 à 6. Celui-ci est construit en fonction du nombre de voies de circulation sur une route et du niveau de protection offert par les aménagements cyclables. La présence des zones limitées à 30 km/h et les conseils du plan vélo du canton de Genève sont également pris en compte, de même que le graphe de la mobilité douce. Les routes comportant le plus de voies font augmenter l'indice de danger. Tandis que les aménagements cyclables le font diminuer. Des « plus » et des « moins » de danger s'additionnent ainsi pour toute l'agglomération. L'indice de danger postule toutefois que les voies isolées physiquement de la route, les pistes et les tronçons du graphe de la mobilité douce, disposent du plus haut niveau de sécurité possible, quelle que soit la route environnante.

Le tableau suivant (Tableau 25) représente la façon dont les valeurs sont calculées:

| Critères | Score | Score positif (+4) | Score affecté par d'autres critères | Champs utilisés pour sélectionner les polylignes (Genève) |
|-----------------------|-------|--------------------|-------------------------------------|---|
| Graphe mobilité douce | -3 | 1 | Non | "graph_orig" |
| Piste | -3 | 1 | Non | "typam2r_ft"; |
| Bandé | -3 | 1 | Oui | "typam2r_tf" |
| Contresens et mixt TC | -2 | 2 | Oui | |
| Zone 30 | -1 | 3 | Oui | "zone30" |
| Itinéraires plan vélo | -1 | 3 | Oui | "planV" |
| 1 voie | 0 | 4 | Oui | "nb_voie_ft"; |
| 2 voies | 1 | 5 | Oui | "nb_voie_tf" |
| 3 ou 4 voies | 2 | 6 | Oui | |

Tableau 25: Scores de sécurité/danger

Nous pouvons calculer toutes ces valeurs grâce aux champs déjà présents dans la table attributaire. L'ensemble des valeurs négatives ont été insérées précédemment grâce à des opérations d'édition. Tandis que les valeurs positives sont reprises des graphes originaux pour Vaud [nb_voies] et Genève [nb_voies_ft], tf]. Les indications malheureusement moins précises du graphe français inscrites dans le champ [NATURE] de l'IGN, à l'exception de quelques tronçons autoroutiers ou de piste cyclable²⁹ nous limite dans les possibilités de calcul.

Les tronçons français ayant très peu de valeurs négatives (essentiellement issues du plan Vélo) et pas de renseignements sur le nombre de voies nous optons pour n'attribuer qu'une voie par sens de circulation pour le graphe de l'IGN. Cela permet d'éviter de donner un indice de danger qui pénaliserait trop les tronçons français par la suite. Les données du canton de Vaud sont quant à elles toutes renseignées comme ayant une voie dans chaque sens (champ [nb_voies])

Afin de garder les traces de l'opération nous construisons quatre champs pour évaluer le danger dans nos deux sens. Les valeurs positives sont calculées dans le champ [dg_plus_ft], tf] et négatives dans [dg_moins_ft], tf], additionnées dans un champ [dg_sum_ft], tf]. Ce champ comportant des valeurs négatives, nous additionnons finalement 4 à toutes les valeurs, dans le champ [Nsum_ft], tf] pour obtenir un minimum de 1 pour les tronçons les plus sécurisé. C'est ce champ qui sera multiplié par la longueur de chaque tronçon et permet d'obtenir le coût de sécurité.

L'écart des valeurs permet maintenant de favoriser les trajets les mieux équipés. Les tests effectués sur différents trajets permettent de voir des différences de longueur de trajet, d'identique jusqu'à 30% plus longs qu'avec les autres critères, et mettent bien en évidence le passage par des itinéraires mieux équipés en aménagements cyclables. Les propositions peuvent bien entendu être discutées. Quelle distance additionnelle est prêt à faire un cycliste pour aller d'un point à un autre de façon plus sûre? Sans doute, certains cyclistes, sont prêt à en faire plus, d'autres moins. Cela dépend d'une part de chaque cycliste, mais aussi si le but est le transport pendulaire ou le loisir.

Le choix proposé à l'utilisateur du vélo ne présente donc ici que l'une des options possibles, et il serait souhaitable de mettre à disposition plusieurs niveaux d'exigence de sécurité. Si le principe de

²⁹ 648.091697 mètres pour un total de 2392.580 kilomètres pour la totalité du graphe de l'IGN. Un chiffre sans doute plus élevé dans la réalité, mais pour lequel nous n'avons aucune donnée.

la hiérarchie choisie est considéré pertinent, il suffirait alors diminuer ou d'augmenter les différences entre les valeurs de coût utilisées pour obtenir des écarts plus ou moins importants.

Trajets différenciés : un exemple

Une fois toutes les valeurs intégrées dans des champs propres. Le champ [Directions] créé à partir des noms de rues des différents graphes sera utilisé par la feuille de route. Ces champs sont assignés aux différents critères dans les propriétés du réseau et il est possible de lancer des calculs différenciés. L'exemple ci-dessous montre trois trajets possibles en fonction des critères de temps, d'effort et de sécurité (Illustration 9), et les résultats chiffrés de l'analyse (Tableau 26).

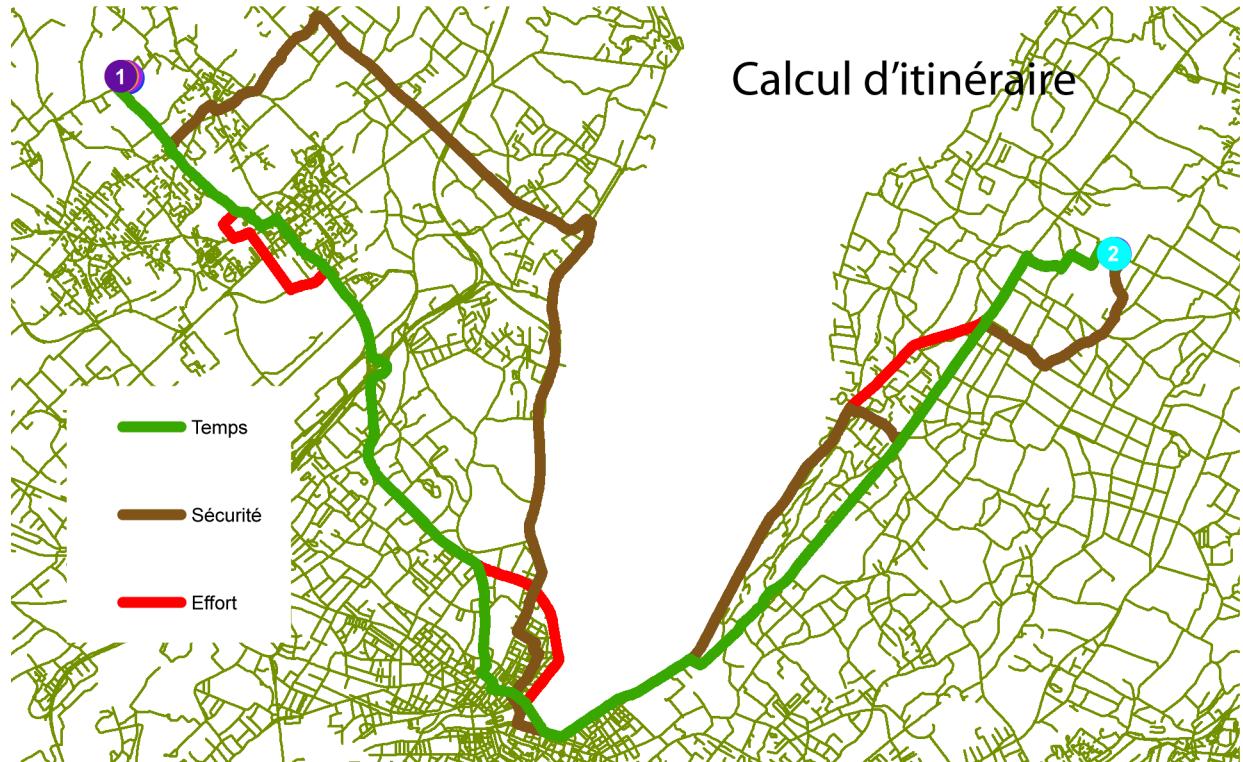


Illustration 9: Itinéraires différenciés avec Network Analyst

| Impédance | Total_Minutes | Total_Meters | Total_Effort | Total_Securite |
|-----------|---------------|--------------|--------------|----------------|
| Temps | 61.6 | 20188.85 | 290630.88 | 60809.46 |
| Sécurité | 78 | 25332.11 | 358159.03 | 43029.64 |
| Effort | 63.98 | 20973.83 | 280385.06 | 63744.75 |

Tableau 26: Itinéraires différenciés en chiffres

Limites et améliorations possibles

Le réseau itiVélo

Le cadre du concours SITG n'ayant laissé qu'une courte période de délai pour la construction du réseau. Nous nous sommes limités aux fonctionnalités les plus essentielles pour son fonctionnement. La limite et sans doute l'amélioration la plus cruciale à apporter à itiVélo est sans doute d'y ajouter des éléments de connectique. Celle-ci existe désormais, mise en place au cours de l'année 2011. Un projet utilisant cette couche (moyennant quelques adaptations à la circulation cyclable) permettrait sans doute de combler la lacune la plus urgente du réseau itiVélo.

La question de la précision et de l'homogénéité de la qualité des données est importante dans la construction d'un système de calcul. Ainsi que nous l'avons vu plus haut, un certain nombre de limites se présentent de ce point de vue. Le réseau étant essentiellement centré sur Genève, l'intégration de données extérieures est limitée par la nature des données en entrée. La richesse des données de sécurité permet une grande précision du système de calcul pour le canton de Genève, tandis que pour la France, celles-ci restent limitées à des données plus éparses. La nature concentrique du réseau genevois nous permet toutefois de garder une certaine pertinence du point de vue du conseil à l'utilisateur transfrontalier, mais demanderait un effort accru pour pouvoir être utilisé sur des trajets uniquement français. Autrement dit, le niveau de pertinence est le plus élevé dans les trajets centre-centre, moyen pour les trajets périphérie-centre-périphérie et beaucoup moins dans des itinéraires périphérie-periphérie. On peut encore noter que la logique du calculateur itiVélo, centrée sur la ville gagnerait à être enrichie de calcul centrés sur les loisirs.

Ce modèle de calcul d'itinéraires propose quatre choix aux cyclistes. A l'heure de développements importants pour la mobilité douce à Genève, comme l'*« Initiative des villes »* ou le Plan directeur de la mobilité douce, ce modèle sera inévitablement amené à évoluer afin de s'adapter aux nouveaux aménagements et probablement aux nouveaux comportements induits. Il demandera nécessairement des ajustements ultérieurs.

Du point de vue du calcul des itinéraires, d'autres critères permettront de l'enrichir. Le réseau bénéficierait notamment de l'introduction d'éléments plus subjectifs qui participent beaucoup aux choix des cyclistes, en particulier celui du confort sur le parcours, favorisant par exemple la proximité d'espaces verts ou de plans d'eau. Des itinéraires différenciés en fonctions des heures de la journée et leur charges de trafics respectives apporteront à terme une importante plus-value.

La plus grande limite sur l'analyse des déplacements réels sur itiVélo est sans doute la barrière conceptuelle du réseau légal. Sans revenir sur la pertinence, discutée plus haut, de construire un réseau excluant les pratiques courantes mais interdites, le principal défaut de ce principe quand il est appliqué aux recherches d'itinéraires est qu'il ne prend pas en compte les flexibilités légales du vélo. La possibilité de garer son vélo à peu près n'importe où (préférablement à un poteau) couplée avec la possibilité de descendre du vélo pour le pousser sur de petites distances, permet dans la réalité de faire des déplacements de porte à porte, par opposition aux véhicules motorisé, qui produisent des itinéraires de parking à parking, parfois à de relativement longues distances des lieux réels de départ et de destination.

Intégrer ce type de fonctionnalités pourrait passer par l'intégration d'élément de multimodalité, simulant les trottoirs ou les parcs. En définissant des possibilités de la marche à pied pour les débuts et les fins de parcours. Une telle option, utilisant le graphe de la mobilité, comme trottoirs et comme parcs traversables à pied permettrait entre autres de modéliser des trajets passant par les services de prêts de vélos « Genève Roule ».³⁰ Une expérience similaire ayant actuellement cours à Paris afin

d'intégrer les Vélib' au très beau calculateur Géovélo³¹, il serait intéressant d'en suivre les développements de près.³²

Enfin, il serait intéressant de mettre en lien une application itiVélo à d'autres modes de transport à longue distance, tels que le réseau des CFF. Une telle fonctionnalité, incluant les horaires des trains permettraient de dépasser le cadre genevois, pour éventuellement se connecter à des calculateurs d'itinéraires dans d'autres villes de Suisse ou ailleurs, et ainsi permettre de planifier des parcours multimodaux complets sur de grandes distances. Une telle fonctionnalité demanderait toutefois un travail important sur la compatibilité des données, et bien sur d'adapter en fonction de la topographie et de la sécurité propre à chaque ville.

Utilisateurs et ergonomie

D'un point de vue technique, le projet d'amélioration d'itiVélo gagnera à l'introduction de nouvelles fonctionnalités. La séparation entre l'utilisation du calculateur d'itinéraire pour un ordinateur et pour une application smartphone permettrait d'exploiter au mieux les possibilités offertes par ces deux types d'interfaces. Ainsi, des fonctionnalités permettant de prévoir à l'avance son parcours, en imprimant carte et feuille de route depuis un ordinateur, afin de les avoir en format transportable non-électronique. L'utilisation d'un ordinateur devrait permettre d'utiliser la précision par clic de souris pour choisir un itinéraire, qui est plus compliqué depuis un smartphone.

Du point de vue d'une application smartphone, les possibilités offerte par le GPS intégré, déjà présent sur l'actuelle application pourraient être développées plus avant, si intégrées dans une application à installer sur le téléphone. Le plus grand avantage que pourrait apporter ces possibilités seraient sans doute de pallier la difficulté pour un cycliste de regarder son téléphone tout en roulant. Un système d'instructions audio transmises par oreillette au cycliste permettrait alors une utilisation facilitée, gardant son téléphone dans la poche tout en bénéficiant des indications de la feuille de route.

Le développement futur d'un calcul d'itinéraires cyclables aurait également beaucoup à gagner en se dirigeant vers des formes d'utilisations interactives et participatives, en utilisant notamment le *crowdsourcing*, pour signaler des erreurs ou des lacunes sur le réseau, par exemple. En augmentant le contrôle par les utilisateurs sur le calcul des itinéraires, cela aurait également le bénéfice d'accroître la confiance que ceux-ci peuvent accorder à une application, tout en bénéficiant d'une rapidité de réaction inégalable. Des corrections sur le réseau devraient sans doute être générées de façon centralisée. Mais on peut également imaginer l'intégration d'autres type de d'informations, entièrement *crowdsourcées* dans l'application, par l'utilisation d'algorithmes de confiance basés sur le comportement humain permettant d'exclure des utilisateurs mal-intentionnés.³³

L'utilisation d'autres types de données provenant du SITG ou d'autres sources pourraient également enrichir l'application. La possibilité de prévisualiser son parcours en 3D pourrait être appliquée en mettant l'application en lien avec Google Street View, ou les bâtiments 3D du SITG. L'intégration de données issues de points noirs cyclistes sur la carte des itinéraires pourraient permettre aux utilisateurs de comparer les itinéraires proposés à des avis issus de *crowdsourcing*. Un élément de cette nature, avec la possibilité pour l'utilisateur d'ajouter des barrières sur les carrefours qu'il ne souhaite pas traverser permettrait également de personnaliser de façon efficace les itinéraires d'itiVélo.

31 http://www.geoveloo.fr/

32 Sauvanet, Gaël, *Recherche de chemins multiobjectifs pour la conception et la réalisation d'une centrale de mobilité destinée aux cyclistes*, Thèse de Doctorat, Université de Tours, 2011, pp.199-133

33 Deriaz, Michel, Di Marzo Serugendo, Giovanna, *A Social Semantic Infrastructure for Decentralised Systems Based on Specification-Carrying Code and Trust*, In Hales et Edmonds (dir), *Proceedings of the Socially-Inspired Computing Workshop*, 2005, p.147

Après itiVélo

En reprenant la terminologie de Boothby et Dummer, évoquée plus haut, l'application itiVélo peut être vu comme un SIG actif pour la mobilité. Cependant, si la construction de ce réseau était essentiellement pensé de cette façon là, d'autres aspects d'analyse ont également été pensés, et une série de procédures a été appliquée afin de rendre le travail fait ici au moins partiellement réutilisable pour des modèles, dits passifs, d'analyse. Ainsi les transformations effectuées ont soigneusement été notées afin de pouvoir faire des jointures, soit attributaires, soit géométriques, ou encore pour être intégrée à des modèles multimodaux. Aussi ce modèle peut servir de base pour des calculs ultérieurs, et intégrée à des modèles plus portés sur l'analyse que le conseil aux cyclistes.

Les principes du modèles itiVélo sont par ailleurs partiellement exportables et adaptables à d'autres villes pour y créer des systèmes de calcul similaires. Une telle opération demanderait toutefois d'être adaptée aux données disponibles, celles-ci étant certainement construites et structurées de façons différentes. Il est cependant probable que les principes généraux d'itiVélo restent valides. Ainsi, une automatisation de certaines taches, par exemple à l'aide de Python, permettrait de systématiser des parties du *workflow* de ce travail, tout en réduisant le nombre de champs du graphe. Les calculs liés aux pentes, au temps et à l'effort pourraient par exemple efficacement être systématisés dans un seul outil en présentant des algorithmes différenciés pour les poids et forces différentes des cyclistes.

Un autre chantier important est celui de son maintien et de son adaptation à venir aux politiques publiques d'aménagement. Le Plan directeur de la mobilité douce, et de façon plus forte encore l'*« Initiative des villes »* sont annonciateurs de changements profonds dans la manière de gérer la mobilité dans le canton de Genève. En parallèle le développement inexorable de l'intégration d'une agglomération dépassant les frontières demandera de façon accrue un regard de plus en plus large et une vision étendue au large pour le développement de la mobilité. De telles transformations demanderont immanquablement des changements sur le modèle.

Ces changements sur le modèle pourraient naturellement inclure des éléments de multimodalité, mais ils devront surtout répondre et refléter les transformations à venir en matière d'aménagements. La densification du réseau des aménagements cyclables est à prévoir. Il sera donc nécessaire de suivre attentivement la façon dont ceux-ci seront mis en place concrètement, à quelle vitesse et de quelle qualité. Quel qu'en soit le rythme, il faudra rapidement prendre en compte des changements prévisibles –même s'ils se révèlent minimes vis-à-vis de l'esprit de l'*« Initiative des villes »*– afin de les inclure progressivement dans le modèle de réseau. Cela représente dès le court terme une question technique qui demandera une réflexion sur la façon de mettre à jour le modèle.

Au-delà de la question technique, c'est peut-être la question même de l'architecture du modèle qui demandera à être révisée et repensée, pour au moins deux raisons. D'une part malgré l'inconnue du temps d'application de l'*« Initiative des villes »*, l'hypothèse la plus probable au moyen et long terme verra sans doute la construction d'un réseau cyclable, plus que des actuels appendices au réseau routier, sans pour autant que celui-ci soit auto-suffisant pour les déplacements cyclables. Un tel développement signifierait donc d'une part que la question de la sécurité reste une problématique présente, pour laquelle les SIG ont des solutions, ou des propositions, à apporter, sous la forme d'analyse de parcours et de calcul d'itinéraire, notamment. Mais d'autre part il signifierait un changement de paradigme important de la nature du réseau, plus qu'un simple changement quantitatif du nombre de voies cyclables.

Une telle évolution demanderait sans doute à repenser le modèle à la façon d'un couple de réseaux connectés. Si la création d'un nouveau modèle est prématuré aujourd'hui, la réflexion de la traduction des changements à venir du réel au modèle, ou la transition entre deux modèles, demande déjà à être anticipée. Un autre événement probable est l'augmentation du nombre d'usager du vélo –

perceptible déjà depuis plusieurs années³⁴- à mesure que la possibilité de circuler en sécurité augmentera. Si un tel phénomène devait apparaître, d'autres questions se poseront à l'analyse des itinéraire et de la circulation cycliste, par l'augmentation du nombre, qui pourraient créer un phénomène nouveau d'embouteillages cyclistes. Mais la fréquentation accrue des voies par les cyclistes pourrait créer un effet boule de neige, voyant évoluer avec le nombre de cyclistes, leur importance politique, et par la même accélérer la construction de nouveaux aménagements.

Conclusion

Le concours SITG « Un territoire mobile » a été l'occasion de proposer une réflexion sur la façon de modéliser des itinéraires cyclables dans l'agglomération genevoise, autant que d'explorer une façon d'exploiter des données rendues disponibles pour favoriser un mode de transport doux pour Genève. Le calculateur d'itinéraires itiVélo est aujourd'hui un objet fonctionnel permettant d'aider les cyclistes dans leurs mouvements en ville. Encore sommaire cet outil peut servir de base pour la construction d'application pour ordinateurs et smartphones, servant comme un outil d'incitation à utiliser le vélo. Le futur d'un tel outil est d'une part tributaire d'améliorations du réseau et du système de calcul comme de l'application elle-même, vers un éventail plus large de fonctionnalités. Les propositions énoncées d'améliorations et d'explorations se veulent une piste pour une réflexion sur l'ensemble des choix à proposer aux utilisateurs, dans le système de calcul ou des ajouts à proposer.

Nous avons cherché à montrer comment un SIG peut être utilisé pour l'aide concrète à la mobilité douce. Le développement d'outils de calcul de plus en plus affinés tout comme l'enrichissement thématique des données disponible est désirable et permettront certainement une appréhension des questions de mobilité d'autant plus pertinente. Gardons toutefois en tête que tous les progrès techniques ne pourront jamais faire disparaître la frontière entre modélisation de la réalité et monde réel. Certaines subjectivités peuvent sans doute être modélisées à partir de constats sociologiques, comme la perception du danger pour un cycliste. Il restera toujours une part d'imprécision dans tout modèle qui ne le rendra jamais totalement comparable au monde réel. Pourtant, on peut croire que de bonnes modélisations passeront donc autant par des solutions techniques, que par l'observation des usagers du vélo.

Enfin, on peut noter qu'un calculateur d'itinéraires ne jouera certainement pas de rôle déterminant en faveur d'un mode de transport. En revanche s'il peut aider à accompagner et rendre plus confortable et rassurante une transition vers la mobilité douce, même pour un nombre limité d'individus, il aura déjà rempli un rôle important. L'application itiVélo peut être vue comme un premier pas dans cette direction, à poursuivre...

34 Office Fédéral de la Statistique, *La mobilité en Suisse: Principaux résultats du microrecensement 2005 sur le comportement de la population en matière de transports*, Neuchâtel, 2007, p.7

Index des tables

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Champs utilisés par Network Analyst..... | 7 |
| Tableau 2: Reprise des informations attributaires et géométries..... | 9 |
| Tableau 3: Utilisation des données comme sources d'informations..... | 9 |
| Tableau 4: Provenance des polylinéaires d'itiVélo..... | 10 |
| Tableau 5: Domaine de géodatabase pour les aménagements cyclables..... | 12 |
| Tableau 6: Domaine « oui_ou_non »..... | 12 |
| Tableau 7: Règle des sens uniques..... | 15 |
| Tableau 8: Champs utilisés pour retrouver les autoroutes..... | 15 |
| Tableau 9: Identification d'anomalies de sens dans le graphe routier..... | 16 |
| Tableau 10: Définir la circulation autorisée dans les deux sens..... | 17 |
| Tableau 11: Définir la circulation autorisée dans un seul sens..... | 17 |
| Tableau 12: Calcul des pentes en %..... | 20 |
| Tableau 13: Calcul de la longueur 3D en mètres..... | 20 |
| Tableau 14: Calcul de la vitesse..... | 24 |
| Tableau 15: Brider les valeurs de pente..... | 25 |
| Tableau 16: Calcul du temps de parcours en minutes..... | 26 |
| Tableau 17: La force aérodynamique..... | 28 |
| Tableau 18: La force de friction..... | 28 |
| Tableau 19: La force de poids..... | 28 |
| Tableau 20: L'énergie cinétique..... | 28 |
| Tableau 21: L'effort en montée..... | 29 |
| Tableau 22: L'effort en descente..... | 29 |
| Tableau 23: Prise en compte de l'élan sur les polylinéaires par demi-segment..... | 31 |
| Tableau 24: Ajustement des calculs d'énergie sur les polylinéaires entiers..... | 31 |
| Tableau 25: Scores de sécurité/danger..... | 33 |
| Tableau 26: Itinéraires différenciés en chiffres..... | 34 |
| Tableau 27: Champs automatiques..... | 44 |
| Tableau 28: Champs du graphe de la mobilité..... | 44 |
| Tableau 29: Champs du graphe IGN..... | 45 |
| Tableau 30: Champs du graphe routier régional..... | 46 |
| Tableau 31: Champs itiVélo..... | 48 |

Index des illustrations

| | |
|--|----|
| Illustration 1: Workflow: constitution du graphe itiVélo..... | 8 |
| Illustration 2: Provenance des polylignes d'itiVélo..... | 10 |
| Illustration 3: Le graphe des aménagements cyclables..... | 11 |
| Illustration 4: Workflow: assemblage des graphes..... | 13 |
| Illustration 5: Le barrage du Seujet..... | 14 |
| Illustration 6: Zone mixte piétons/cyclistes à Saint-Jean..... | 14 |
| Illustration 7: Sens uniques sur itiVélo..... | 16 |
| Illustration 8: France: rond-points et autoroute..... | 18 |
| Illustration 9: La définition des interdictions permet de modéliser les trajets sur des échangeurs.... | 18 |
| Illustration 10: Calcul des pentes..... | 20 |
| Illustration 1: Workflow: calculer la vitesse..... | 23 |
| Illustration 2: Algorithme de vitesse sur des pentes modérées..... | 24 |
| Illustration 3: Algorithme de vitesse dans un intervalle de pente de 50/-50%..... | 25 |
| Illustration 4: Les tronçons rouges dépassent 8% ou -8% en [pente_ft1]..... | 26 |
| Illustration 5: Workflow: calcul d'effort..... | 27 |
| Illustration 6: Calcul d'effort: ensemble des forces | 30 |
| Illustration 7: Calcul d'effort: somme des forces | 30 |
| Illustration 8: Workflow: calcul de sécurité..... | 32 |
| Illustration 9: Itinéraires différenciés avec Network Analyst..... | 34 |
| Illustration 10: Poster itiVélo..... | 49 |

Bibliographie

Arleth, Mette, « GI-Based Application on Public Authorities' Web Sites and their nonprofessional Users », in Campagna, Michele (ed), *GIS for Sustainable Development*. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006., pp.71-84

Davis, Mike, *In Praise of Barbarians*, Haymarket Books, Chicago, 2007

Jaeger, Christian, *Les Voiries Urbaines: Évolution, Usage Et Aménagement*. Cahier « Transport-Environnement-Aménagement » 8. Lausanne: EPFL ITEP, 1995

Sauvanet, Gaël, *Recherche de chemins multiobjectifs pour la conception et la réalisation d'une centrale de mobilité destinée aux cyclistes*, Thèse de Doctorat, Université de Tours, 2011

Mémoires de géomatique

Barranco, Manuel, *Optimisation d'un trajet cycliste en ville de Genève selon diverses variables*, Mémoire de certificat de géomatique, Université de Genève, 2002

Tseng, Yi-hui, *La mobilité douce, un vecteur de durabilité*, Mémoire de certificat de géomatique, Université de Genève, 2006

Articles

Boothby, John, et Trevor J. B. Dummer. « Facilitating Mobility? The Role of GIS ». *Geography* 88, n°. 4 (octobre 1, 2003): 300-311.

Dill, J. « Bicycling for transportation and health: the role of infrastructure ». *Journal of public health policy* (2009): S95–S110.

Dill, J., et T. Carr. « Bicycle commuting and facilities in major US cities: If you build them, commuters will use them ». *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1828, n°. 1 (2003): 116–123.

Schepers, Paul. « Does more cycling also reduce the risk of single-bicycle crashes? » *Injury Prevention* (novembre 21, 2011). <http://injuryprevention.bmjjournals.org/content/early/2011/11/21/injuryprev-2011-040097.abstract>.

Stigell, Erik, et Peter Schantz. « Methods for determining route distances in active commuting - Their validity and reproducibility ». *Journal of Transport Geography* 19, n°. 4 (juillet 2011): 563-574.

Tilahun, N.Y., D.M. Levinson, et K.J. Krizek. « Trails, lanes, or traffic: Valuing bicycle facilities with an adaptive stated preference survey ». *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 41, n°. 4 (2007): 287–301.

Actes de colloques

Deriaz, Michel, DI MARZO SERUGENDO, Giovanna, *A Social Semantic Infrastructure for Decentralised Systems Based on Specification-Carrying Code and Trust*, In HALEs and

EDMONDS (direction), *Proceedings of the Socially-Inspired Computing Workshop*, 2005,
p.147

Mercat, Nicolas, *Modelling of Bicycle Journeys : Using Energy Expended rather than Journey Time or Distance*, Conference Proceedings of Velo-City '99, Graz – Maribor, 1999, pp. 557-561

Articles de journaux

Feuille d'avis officielle, « Le tram à Genève: histoire de rails », 06.09.2006
<http://www.ge.ch/fao/2006/doc/20060908.pdf>

Le Temps, « Un projet de traversée de la rade de Genève par pont tendu, en 1964 », 12.04.2011
<http://www.letemps.ch/Page/Uuid/7c556a2a-647b-11e0-87e3-0d5f8c36aeb1>.

Tribune de Genève, « A Genève, les Villes imposent leur vision à la campagne », 15.05.2011
<http://www.tdg.ch/geneve/actu/geneve-villes-impose-vision-geneve-campagne-2011-05-15>.

Sites internet

« Géovélo, votre calculateur d'itinéraire à vélo », <http://www.geovelo.fr/>.

« Genève Roule », <http://www.geneveroule.ch/>

« itiVélo », <http://sdi.unige.ch/itivel0/>

« Portail Mon SITG », <http://etat.geneve.ch/geoportal/monsitg/>

Autres documents

Office Fédéral de la Statistique, *La mobilité en Suisse: Principaux résultats du microrecensement 2005 sur le comportement de la population en matière de transports*, Neuchâtel, 2007

République et Canton de Genève, « Brochure votation cantonale du 15 mai 2011 », s.d.
http://www.ge.ch/votations/20110515/doc/prise_position_cantonale.pdf.

République et Canton de Genève, « Plan directeur de la mobilité douce », 31.03.2011
http://etat.geneve.ch/dt/SilverpeasWebFileServer/PMD_6_avril.pdf?ComponentId=kmelia752&SourceFile=1302085348436.pdf&MimeType=application/pdf&Directory=Attachment/Images/.

Secrétariat du grand Conseil, « Initiative populaire «Pour la mobilité douce (Initiative des villes)», 10.2009 <http://www.ge.ch/grandconseil/data/texte/IN00144.pdf>

Secrétariat du grand Conseil, « Initiative populaire «Pour le libre choix du mode de transport », 06.1999 http://www.ge.ch/legislation/initiatives/f/IN_114.html

SITG, « Concours « Un territoire mobile », Règlement », 11.1.2011

http://etat.geneve.ch/geoportail/website_sitg/Documents/actualites/concours_mobile/reglement.pdf.

SITG, « Open Data », 24.11.2011 <http://www.slideshare.net/patgen/open-data-cfu-sitg-24112011>.

SSIG, « Rapport SSIG pour 2004 », 21.12.2004

http://etat.geneve.ch/dt/SilverpeasWebFileServer/Rapport_SSIG_pour_2004.pdf?ComponentId=kmelia183&SourceFile=1105106582026.pdf&MimeType=application/pdf&Directory=Attachment/Images/.

Annexe 1 : Champs du graphe itiVélo

L'ensemble des 115 champs d'itiVélo sont représentés dans les tableaux suivants (Tableaux 27, 28, 29, 30 et 31), avec leur nom et le type de données auxquelles ils correspondent. Les en-têtes de chaque tableau indiquent leur graphe de provenance. Le dernier tableau liste les champs propres au graphe itiVélo. Les données utilisées par Network Analyst sont indiquées en gras.

| Champs automatiques des couches de polylignes (3) | |
|---|-----------|
| Field | Data Type |
| OBJECTID_1 | Object ID |
| Shape | Geometry |
| Shape_Length | Double |

Tableau 27: *Champs automatiques*

| Graphe de la mobilité – Graphe routier et Graphe de la mobilité douce (18) | |
|--|--------------|
| Field | Data Type |
| id_gm_troncon | Long Integer |
| code_voie | Text |
| voie | Text |
| hierarchie | Text |
| classification | Text |
| no_ordre | Text |
| tyvoie | Text |
| liant | Text |
| nomvoie | Text |
| nb_voie_ft | Long Integer |
| nb_voie_tf | Long Integer |
| sens_unique | Text |
| largeur_max | Text |
| hauteur_max | Text |
| poids_max | Text |
| longueur_max | Text |
| commentaire | Text |
| date_maj | Date |

Tableau 28: *Champs du graphe de la mobilité*

| Graphé IGN (31) | |
|-----------------|---------------|
| Field | Data Type |
| OBJECTID | Long Integer |
| ID | Text |
| PREC_PLANI | Double |
| PREC_ALTI | Double |
| NATURE | Text |
| NUMERO | Text |
| NOM_RUE_G | Text |
| NOM_RUE_D | Text |
| IMPORTANCE | Text |
| CL_ADMIN | Text |
| GESTION | Text |
| MISE_SERV | Text |
| IT_VERT | Text |
| IT_EUROP | Text |
| FICTIF | Text |
| FRANCHISST | Text |
| LARGEUR | Double |
| NOM_ITI | Text |
| POS_SOL | Short Integer |
| INSEECOM_G | Text |
| INSEECOM_D | Text |
| CODEVOIE_G | Text |
| CODEVOIE_D | Text |
| TYP_ADRES | Text |
| BORNEDEB_G | Double |
| BORNEDEB_D | Double |
| BORNEFIN_G | Double |
| BORNEFIN_D | Double |
| ETAT | Text |
| Z_INI | Double |
| Z_FIN | Double |

Tableau 29: Champs du graphe IGN

| Graphe routier régional (16) | |
|-------------------------------|--------------|
| Field | Data Type |
| FID_gmo_graphe_routier_region | Long Integer |
| id_graphe_routier_regional | Long Integer |
| origine | Text |
| id_source | Text |
| statut | Text |
| nom | Text |
| fonction_mmt | Text |
| classification_source | Text |
| niveau_admin | Text |
| acces | Text |
| nb_voies | Text |
| sens | Text |
| position_sol | Text |
| modele_multi_transfron | Text |
| FID_perimetre_reseau_region | Long Integer |
| Name | Text |

Tableau 30: Champs du graphe routier régional

Champs itiVélo (47)

| Field | Data Type | |
|---------------------|---------------|-----------------------|
| typam2r_ft | Short Integer | Domain « typam2r » |
| typam2r_tf | Short Integer | Domain « typam2r » |
| hierarch_ft | Short Integer | |
| hierarch_tf | Short Integer | |
| position | Text | |
| graph_orig | Short Integer | Domain « origine » |
| circul_velo | Short Integer | |
| zone30 | Short Integer | Domain « oui_ou_non » |
| oneway | Text | |
| trans_geom | Short Integer | Domain « oui_ou_non » |
| trans_attrib | Short Integer | Domain « oui_ou_non » |
| length_voie | Float | |
| dg_plus_ft | Short Integer | |
| dg_plus_tf | Short Integer | |
| dg_moins_ft | Short Integer | |
| dg_moins_tf | Short Integer | |
| dgsum_ft | Short Integer | |
| dgsum_tf | Short Integer | |
| Nsum_ft | Short Integer | |
| Nsum_tf | Short Integer | |
| dg_length_ft | Double | |
| dg_length_tf | Double | |
| planV | Short Integer | Domain « oui_ou_non » |
| id_itivelo | Long Integer | |
| Zstart | Double | |
| Zmid | Double | |
| Zend | Double | |
| Zlength | Double | |
| pente_ft1 | Double | |
| pente_ft2 | Double | |
| vitesse_ft1 | Double | |
| vitesse_ft2 | Double | |
| pente_tf1 | Double | |
| pente_tf2 | Double | |

| | |
|---------------------|---------------|
| vitesse_tf1 | Double |
| vitesse_tf2 | Double |
| Minutes_ft | Double |
| Minutes_tf | Double |
| enertot4_ft1 | Double |
| enertot4_ft2 | Double |
| enertot4_tf1 | Double |
| enertot4_tf2 | Double |
| enertot4_ft | Double |
| enertot4_tf | Double |
| costenerg_ft | Double |
| costenerg_tf | Double |
| Directions | Text |

Tableau 31: Champs itiVélo

Annexe 2 : Mode d'emploi d'itiVélo

Ce document présentant un mode d'emploi d'itiVélo était initialement un poster réalisé pour l'occasion de la 10^{ème} Journée du SITG, le 24 juin 2011.

The poster for itiVélo is titled "Calculateur d'itinéraires itiVélo" and highlights four key criteria: Temps (Time), Distance, Effort, and Sécurité (Safety). It features a central smartphone displaying the website <http://sdi.unige.ch/itivelo/>, which shows a map of Geneva with several colored routes. Below the phone are six smaller smartphones illustrating different search results and route details for each criterion.

Le calculateur d'itinéraires cyclables itiVélo est un outil pour aider les cyclistes à se déplacer dans Genève et son agglomération. Compatible avec iPhone, Android et Windows Mobile, cette application web cherche à rendre simples des besoins complexes pour les cyclistes. Les choix de trajets par les cyclistes changent selon les individus et dépendent de différents critères. Nous avons choisi quatre parmi les plus importants: le temps de parcours, l'effort à fournir et le degré de sécurité dont peut bénéficier le cycliste en fonction des aménagements routiers ainsi que la distance.

itiVélo tient compte de ces quatre critères, en donnant la possibilité à l'utilisateur d'en choisir un. La position du cycliste est reconnue par GPS ou via l'adresse IP d'un Wi-fi, tandis que celui-ci est invité à introduire son adresse de destination dans un champ texte. Quatre tracés sont proposés automatiquement, prenant en compte les sens uniques et autres interdictions de circuler aux vélos. Ayant choisi parmi les quatre itinéraires proposés, une feuille de route comportant les indications de direction et la carte accompagnera le cycliste dans son parcours.

Le cycliste indique la destination désirée dans la zone de texte.

Une liste de résultats apparaît. L'utilisateur fait son choix en touchant l'écran.

Quatre routes sont proposées, pour la distance, le temps, l'effort et la sécurité.

Le choix du parcours se fait en touchant le critère voulu sur l'écran.

Temps

Distance

Sécurité

Effort

Pablo de Roulet
Certificat de Géomatique, Université de Genève
pablo.cleroulet@gmail.com

Jody Hausmann
Programmeur, ISS, CUI, Université de Genève
jody.hausmann@unige.ch

UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Rapport gratuit mondial du Mémoire

Illustration 10: Poster itiVélo