
DeSIGeo : Projet continu

BIKE : Bicycle Itinerary Knowledge Estimate

Etude qualitative et quantitative des pistes cyclables en France



Introduction	3
Problématiques liées aux pistes cyclables	3
Principaux aspects du sujet d'étude	4
Préparation des données	6
Choix de la source de données	6
Quelles sources pour les aménagements cyclables	6
Quel choix	8
Les autres sources	9
Extraction, Transformation, Chargement des données	11
Organisation Segment vs. Aménagement	11
Répartition des aménagements	12
Linéarisation des métriques : segment vs. linéaire	13
Qualification des données / attribution de notes	14
Differentes métriques	17
Domaine de l'étude	17
Choix d'échelles adaptées	17
Deux départements tests pour l'étude de la continuité	18
Métriques « simples », au niveau national	18
Ordres de grandeur issue de nos sources actuelles	18
Valorisation des types d'aménagements	19
Corrélations avec d'autres dimensions	20
Budget par habitant	20
Des résultats sous forme de tableaux Interactifs	21
Analyse statistique	24
Premières analyses statistiques	24
Analyses en composantes principales	25
Conclusion de l'analyse statistique	28
Définition de la continuité	28
Etude de réseau	29
Choix de l'outil	29
Utilisation des graphes	29
Plug-in d'analyses de réseau	30
Outils natifs	32
Choix réalisé	35
Métriques réalisées	36
Chemin le plus long	36
Combien de portions de réseau	38
Qualité du réseau	38
Conclusions	39
Annexes	40

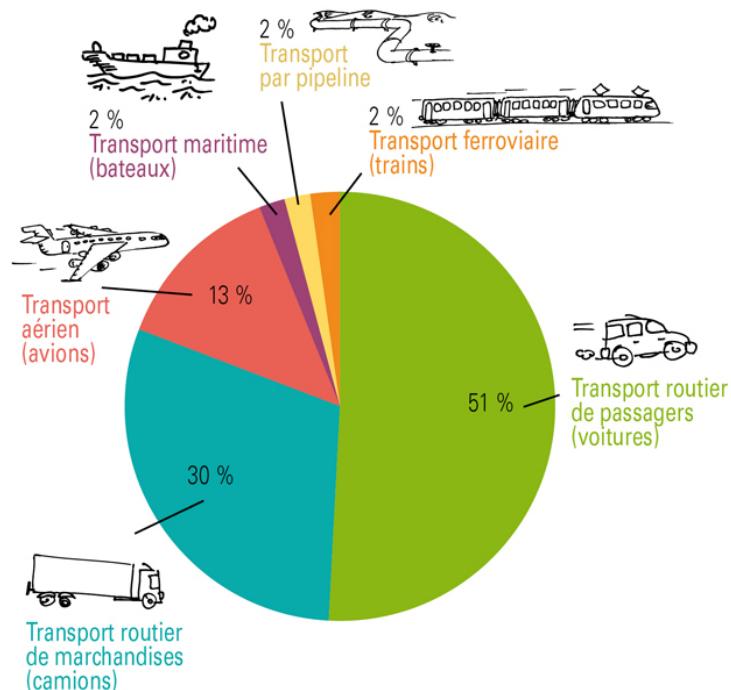


1. Introduction

1.1. Problématiques liées aux pistes cyclables

Depuis la première conférence mondiale sur le climat de 1979 à Genève, la prise de conscience des effets de l'Homme sur l'environnement est de plus en plus tangible. Les différentes conférences des parties (COP) qui se sont tenues depuis 1995 et les différents rapports du groupe d'experts international sur l'évolution du climat (GIEC) sont autant d'étapes dans la prise de conscience des enjeux climatiques actuels. La population mondiale ne peut plus exclure sa contribution au réchauffement climatique constaté sur la Terre, au travers de ses diverses activités.

Le transport des marchandises et des personnes est responsable d'une grande part des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le monde : près de 14% du total de ces émissions. Certes, une part non négligeable de ces émissions est dûe à la mondialisation et au secteur industriel, mais la part prépondérante incombe (51% d'après "les cahiers du développement durable" ¹), au transport routier de passagers en voiture (figure 1). Ce mode de déplacement est utilisé pour de nombreux objectifs professionnels (travail, voyage d'affaires, visites chez les clients, etc.), mais également pour tous les autres domaines de notre vie (l'école, le club sportif, la famille et les amis, le shopping, le week-end à la campagne, les vacances, etc.).



Répartition des émissions de Gaz à Effet de Serre par mode de transport
(source : <http://les.cahiers-developpement-durable.be/outils/transports-climat/>)

¹ Les cahiers du développement durable: <http://www.cahiers-developpement-durable.be>

La prise de conscience de cette situation pousse des acteurs de tout niveau (étatique, administratif, individuel, etc.) à promouvoir des solutions qui permettront de limiter la part des moyens de transport dans le réchauffement climatique. Le développement de moyens de transport alternatifs est une piste majeure pour limiter l'émission des GES.

Dans ce cadre, le développement du déplacement à vélo est une solution apparaissant simple et sans doute efficace. Ainsi, nous pouvons constater la construction de pistes cyclables un peu partout en France et donc voir que ce moyen de locomotion semble plébiscité. Ainsi, en 2021 et d'après "France vélo tourisme"², la France dispose de 18 848 km d'itinéraires aménagés et projette d'atteindre 25 587 km à l'horizon 2030. Toutefois, l'expérience de chacun apporte des vues divergentes de la qualité de ce réseau cyclable : tel peut être satisfait, alors que tel juge que leur qualité ou quantité est insuffisante. En effet, certains itinéraires apportent toute satisfaction, permettant de se rendre d'un point d'intérêt à un autre sans (ou avec peu) de limitations. Dans le même temps, d'autres situations montrent l'absence ou l'inadaptation du réseau cyclable en place et donc un manque évident. Pour illustrer la complexité du sujet, on peut comparer les chiffres de "France vélo tourisme" avec le Tableau des aménagements cyclables de Géovélo³ qui annonce, en 2022, 74177 km d'aménagement cyclable, dont 19864 km de voie verte.

1.2. Principaux aspects du sujet d'étude

Sans chercher à répondre ici à toutes les questions inhérentes aux pistes cyclables, nous chercherons dans ce document à établir la qualité du réseau des aménagements cyclables en France et en particulier à évaluer la continuité de celles-ci.

En premier lieu, il convient de définir ce qu'est une piste cyclable, car bien qu'évoquant un objet apparemment simple, ce terme ne l'est pas tant. Plutôt que piste cyclable, il est tout d'abord plus juste d'employer le terme 'aménagement cyclable', qui regroupe toutes les installations destinées à recevoir des cycles (que ce soit de manière spécifique ou en partage avec d'autres types d'usage). Cet aménagement cyclable peut être une piste cyclable, une voie verte ou simplement une route à faible circulation jalonnée.

Les pistes cyclables sont exclusivement réservées aux cyclistes. Ces aménagements vélo peuvent être matérialisés sous la forme d'une voie séparée de la chaussée dédiée à tous les véhicules, ou y être adjacente. Les pistes cyclables sont différentes des "bandes cyclables" qui sont seulement un marquage au sol sur une chaussée classique.

Les voies vertes sont des voies réservées à la circulation non motorisée, destinées aux piétons, cyclistes, rollers, personnes à mobilité réduite et parfois aux chevaux.

Enfin, certains itinéraires cyclables empruntent des petites routes à faible trafic pour relier des pistes et voies vertes entre elles.

Par ailleurs, le réseau cyclable français s'inscrit également dans un ensemble de 17 itinéraires européens, dont 10 traversent la France. De plus, la France dispose déjà d'un large réseau de véloroutes (itinéraires vélos nationaux) pour se lancer dans l'itinérance à vélo sur plusieurs jours, avec des parcours reliant les départements et régions entre eux.

Ainsi, le terme aménagement cyclable sera choisi pour l'ensemble de ce rapport et englobera l'ensemble des types vus ci-dessus.

² France vélo tourisme:

<https://www.francevelotourisme.com/conseils/preparer-mon-voyage-a-velo/reseau-cyclable-france>

³ Tableau des aménagements cyclables de Géovélo: <https://amenagements-cyclables.fr/fr/stats>



(source : <https://www.francevelotourisme.com/conseils/preparer-mon-voyage-a-velo/reseau-cyclable-france>)

Ensuite, les notions de continuité et de qualité doivent à leur tour être définies.

La continuité est définie (Larousse) comme le caractère de ce qui est continu, et est synonyme de permanence, de persistance. En mathématiques, la continuité d'une fonction peut désigner le tracé du graphe d'une fonction sans lever le crayon sur un intervalle (nous laisserons de côté des exemples différent : courbes fractales et escalier de Cantor, par exemple). Toutefois, hors ces premières définitions, nous pouvons également définir la continuité comme le fait de durer sans interruption *ou presque* (CNTRL : Centre national de ressources textuelles et lexicales) ou encore en entreprise le plan de continuité d'activité fait référence à la gestion de crise et au moyen de garantir ou reprendre une activité opérationnelle (guide pour réaliser un plan de continuité d'activité du secrétariat général de la Défense et de la sécurité nationale). Ainsi, la continuité peut définir un objet qui ne s'arrête pas ou presque pas. Nous retiendrons donc pour ce rapport et pour l'heure, la notion de continuité comme le fait de durer sans s'arrêter ou dont l'arrêt est suffisamment court pour ne pas perturber le fonctionnement. Nous rappellerons cette définition et caractériserons plus précisément la métrique "continuité" dans la partie 4 de ce document.

La qualité quant à elle revêt de nombreuses définitions relevant du champ d'utilisation étudié.

Il peut s'agir de l'ensemble des caractères, des propriétés qui font que quelque chose correspond bien ou mal à sa nature, à ce qu'on en attend (Larousse). Nous trouvons également que la qualité est la nature ou valeur appréciée du point de vue de l'intérêt du consommateur (CNTRL), ou encore le niveau de finition ou de perfection d'exécution d'une action ou d'un produit (wiktionnaire). Nous définirons donc la qualité des aménagements cyclables comme le niveau de satisfaction, par le cycliste, de la perfection de leur exécution, c'est-à-dire la qualité de leurs tracés. L'état des aménagements cyclables, quoiqu'étant une métrique très intéressante, ne sera pas traité ici par manque de ressources.

Enfin, afin de répondre de manière satisfaisante et structurée à la question posée concernant les aménagements cyclables, nous devons nous interroger sur le degré de granularité de l'étude. Certes, une étude globale à l'échelle nationale peut paraître séduisante, voire satisfaisante. Toutefois, afin d'atteindre une plus grande exhaustivité dans les résultats de notre recherche et également être plus représentatif de la réalité constatée sur le terrain, il nous faut comprendre qui supporte la charge de ces aménagements et la capacité de prendre des décisions les concernant. En l'occurrence et en application de l'[article R. 411-25 du code de la route](#)⁴, la création d'une bande ou d'une piste cyclable sur la chaussée constitue un changement d'exploitation de la voirie concernée. Dès lors, elle est subordonnée à la prise d'un arrêté de l'autorité détentrice du pouvoir de police de la circulation, qui peut être le maire, le président de l'établissement public de coopération intercommunale ou de la métropole, le président du

⁴ Article R. 411-25 du code de la route

<https://www.lagazettedescommunes.com/704577/le-departement-peut-il-financer-une-piste-cyclable-reliant-deux-communes-rurales/>

conseil départemental ou le préfet, en fonction du statut de la voie et de sa localisation à l'intérieur ou en dehors du périmètre de l'agglomération. Nous constatons donc qu'il y a 4 autorités distinctes pour la création et le maintien en condition des aménagements cyclables (citées plus haut), qui peuvent le cas échéant être amenées à travailler de concert : intersection de voies à responsabilités différentes. Lors de cette étude nous ne chercherons pas à établir précisément les continuités (ou discontinuités) observées entre ces différents niveaux et étudierons l'ensemble du réseau disponible quelque soit son ou ses commanditaires. Toutefois, des hypothèses d'analyse issues de notre étude seront apportées lors du travail réalisé ici. Les rapports entre ces autorités, dans le cadre des aménagements cyclables, ne seront donc pas l'objet de cette étude et pas traités directement, non plus que leur implication potentielle directe dans la continuité et/ou la qualité des aménagements cyclables.

Ces quelques définitions étant établies, nous pouvons donc mieux préciser l'objet de notre étude. Il s'agira de décrire la qualité des aménagements cyclables en France, en faisant apparaître le critère central de continuité, suivant le maillage territorial du réseau des aménagements cyclables à une certaine échelle donnée.

Ce rapport comprend quatre parties principales comme suit :

- préparation des données : pourquoi et comment ont été choisies les données de l'étude ;
- premières métriques : analyses initiales des données ;
- définition des métriques liées à la qualité des aménagements cyclables : quelles seront les métriques particulières recherchées dans cette étude ;
- étude de réseau : choix de l'outil et calcul des métriques recherchées.



2. Préparation des données

2.1. Choix de la source de données

2.1.1. Quelles sources pour les aménagements cyclables

En première approche, de nombreuses sources de données ont été envisagées. On notera par exemple :

- BDTopo de l'IGN⁵

L'IGN est l'Agence Nationale de la cartographie pour la France, c'est la source d'autorité pour les données géographiques et à ce titre l'institut présente la meilleure qualité de donnée pour de nombreux types de données et domaines (routes, activités économiques, constructions...), notamment grâce à des spécifications rigoureuses.

- Initiatives locales

De nombreuses entités (départements, communauté de communes, régions) publient leurs divers plans vélo. On retrouve alors diverses sources potentielles de données, restreintes à des communautés urbaines ou des départements sur des sites comme transport.data.gouv.fr⁶, data.gouv.fr⁷ ou, encore, directement sur des sites dédiés à l'open data et mis en place par les communautés précédentes (tel que par exemple <https://data.strasbourg.eu/>⁸).

⁵ BDTopo de l'IGN: <https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdtopo>

⁶ Site transport.data.gouv.fr: <https://transport.data.gouv.fr/datasets?q=v%C3%A9lo>

⁷ Site data.gouv.fr: <https://www.data.gouv.fr/>

⁸ Open Data Strasbourg : https://data.strasbourg.eu/explore/dataset/amg_cycl_bnac/information

- OpenStreetMap (OSM)

OSM possède un schéma complet de descripteurs dédiés au domaine du vélo⁹. Cependant, comme toute source de Données Géographiques Collaboratives (Crowdsourcing: produites par la foule), celle-ci est susceptible de présenter des exhaustivités et représentativités spatiales hétérogènes.

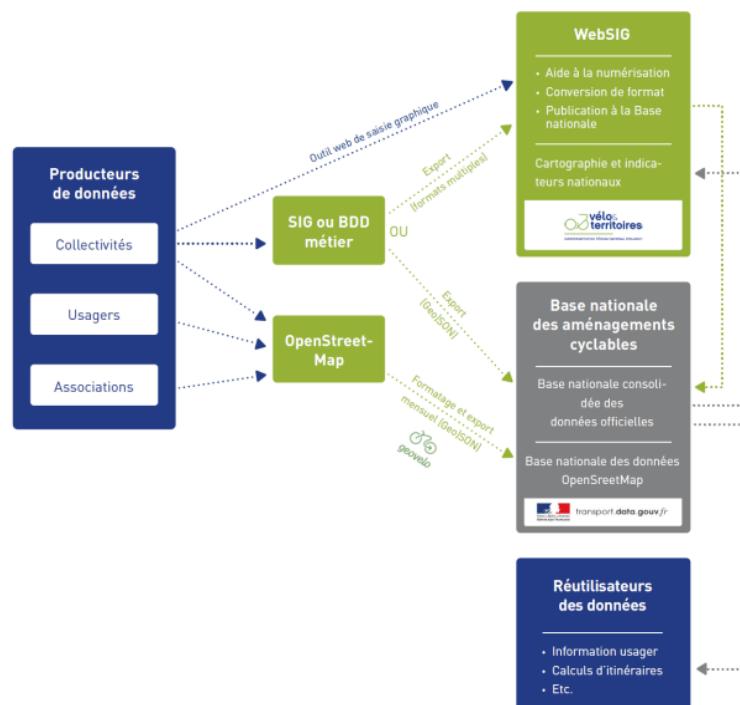
- L'export Base Nationale des Aménagements Cyclables (BNAC) produit par Géovélo¹⁰

La Base National des Aménagements Cyclables est constituée de différentes parties. Le projet intègre un schéma de données élaboré en concertation avec une trentaine d'acteurs du secteur, la documentation¹¹ nécessaire à sa prise en main ainsi que la diffusion en OpenData. La base de données elle-même (BNAC) contient l'ensemble des aménagements cyclables de France métropolitaine numérisé dans OpenStreetMap et traité par Géovélo¹² afin d'être diffusé selon le schéma national des aménagements cyclables. A noter que Géovélo participe à l'enrichissement de la base en tant que contributeur actif d'OpenStreetMap (avec la présence d'un géomètre dédié dans l'équipe).

- Le travail de Vélo et Territoire

Le jeu de données extrait d'OSM est souvent assimilé à la BNAC à lui seul (la faute au nom qui lui a été donné sur transport.data.gouv). Vélo et Territoire travaille à produire une couche des données d'aménagements cyclables unique qui intègre les données des collectivités en priorité, et propose la données OSM partout ailleurs. Cette couche est consultable et téléchargeable¹³ sur internet.

On note à travers les échanges avec les différents intervenants du projet BNAC une rivalité stimulante qui pousse chaque producteur/acteur à se dépasser dans le cadre d'une saine émulation. Géovélo met en avant le passage par OpenStreetMap. Vélo et Territoire donne la priorité aux données des collectivités formatées suivant le Schéma National des Aménagements Cyclables.



Contexte de la Base Nationale des données OpenStreetMap¹⁴

⁹ Schéma des données liées au cyclisme et aux aménagements cyclables dans OSM <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/FR:Bicycle>

¹⁰ Export au format BNAC produit par Géovélo:

<https://transport.data.gouv.fr/datasets/amenagements-cyclables-france-metropolitaine/>

¹¹ Notice de numérisation au format/schéma BNAC:

https://www.velo-territoires.org/wp-content/uploads/2021/09/AC_NOTICE_NUMERISATION_0.3.3.pdf

¹² Fiche Géovélo sur le site transport.data.gouv.fr:

<https://transport.data.gouv.fr/datasets/amenagements-cyclables-france-metropolitaine/>

¹³ Outil proposé par Vélo et Territoire: https://on3v.veremes.net/vmap/?mode_idvmap&map_id108

¹⁴ Notice de Numérisation Vélo et Territoire:

https://www.velo-territoires.org/wp-content/uploads/2021/09/AC_NOTICE_NUMERISATION_0.3.3.pdf

Dans notre rapport, nous utilisons parfois le terme BNAC comme un raccourci pour désigner: "la Base Nationale des données OpenStreetMap exportée par Geovelo au format BNAC". Ceci est en partie lié au fait que cette source est nommée ainsi sur le site transport.data.gouv.fr¹⁵.

2.1.2. Quels critères

Les critères pour le choix de nos sources de données portent essentiellement sur la disponibilité et l'homogénéité spatiale (en prévision d'une généralisation de nos conclusions), une variété des types d'aménagements la plus exhaustive possible (pour permettre une meilleure qualification de ceux-ci), ainsi que la fraîcheur des données (régularité des mises à jour).

Bien que, finalement, notre étude ne porte que sur deux départements, la source sélectionnée doit nous permettre de généraliser l'étude au moins à l'ensemble de la France métropolitaine.

Un dernier critère de sélection est la facilité d'accès aux données : celui englobe un accès simple (téléchargement) aux fichiers et la simplicité de la structure et de la documentation de ces fichiers.

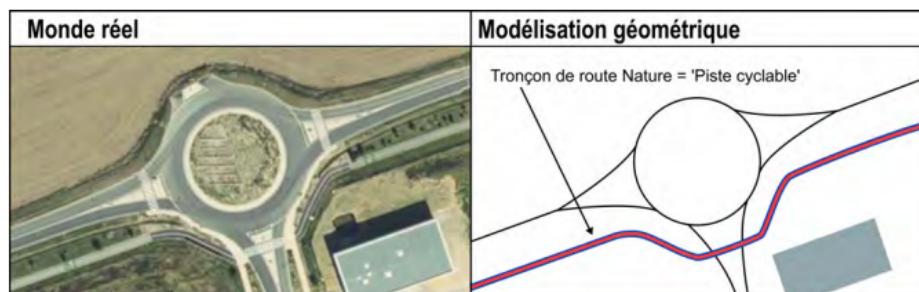
2.1.3. **Quel choix**

Du fait du critère de généralisation, nous avons exclu les inventaires locaux tels que ceux produits par des communes, métropoles ou département. Ceux-ci sont sans doute plus précis, puisque produits par les entités qui sont aussi responsables des aménagements (ceci est une hypothèse optimiste, certains témoignages n'allant pas en ce sens), mais ils sont produits à un moment donné, et suivant une nomenclature pas toujours normalisée.

Une autre source intéressante est bien sur l'IGN, source de données d'autorité par définition. L'IGN fournit de par son statut et sa méthodologie des données homogènes sur l'ensemble de la surface du territoire français. Le domaine des aménagements cyclables n'est cependant pas sa priorité et les spécifications retenues actuellement introduisent des limitations ayant un impact bloquant sur l'exhaustivité de pistes cyclables présentes dans la BD-Topo. Outre cette limitation sur les caractéristiques des pistes cyclables retenues (uniquement celles de plus de 200m), c'est la dispersion des aménagements cyclables en général qui nous a fait mettre de côté cette source de données potentielle. Au vu de la faiblesse des aménagements cyclables en France, il est en effet nécessaire de s'intéresser à plusieurs types d'aménagements (Piste, Bandes, Voie Vertes, goulotte...). Or nous n'avons pas trouvé de vue particulière sur ce regroupement de données, contrairement à ce qui a été proposé sous la forme d'un schéma synthétique par l'association Vélo et Territoire.

Sont exclues :

- les pistes cyclables de longueur < 200 m,
- les pistes cyclables situées parallèlement à la chaussée principale **sur le même revêtement** que la route, même protégées par des barrières (sauf si les distances aux axes sont respectées),
- les **bandes cyclables** situées parallèlement à la chaussée principale **si elles utilisent le même revêtement que la route** (voir attribut 'Bande cyclable').
- les pistes cyclables sur trottoir et non séparées de la route par un espace physique (pots de fleurs, espace piéton) ou si l'axe de la piste est située à moins de 5 m de l'axe de la route.



Extrait des spécifications de la BD-Topo de l'IGN¹⁶

Le **Schéma des Aménagements Cyclables** est le résultat d'une concertation d'un groupe de travail

¹⁵ Site transport.data.gouv.fr : <https://transport.data.gouv.fr/datasets/amenagements-cyclables-france-metropolitaine>

¹⁶ Spécification de la BD-Topo de l'IGN: https://geoservices.ign.fr/sites/default/files/2022-02/DC_BDTOPO_3-0.pdf

composé d'une trentaine de producteurs et utilisateurs de données, animé par Transport.data.gouv et Vélo & Territoires.

Parmi les objectifs de ce schéma de données sur les aménagements cyclables, édictés par ses futurs utilisateurs, on note :

- permettre de parler un langage commun ;
- permettre l'interopérabilité des données entre les collectivités françaises et à l'échelle de l'Union Européenne ;
- être compatible avec OpenStreetMap, que de nombreuses collectivités utilisent déjà ;
- améliorer la qualité de l'information mise à disposition des usagers du vélo et le calcul d'itinéraires.

Ainsi le schéma de données des aménagements cyclables définit une structure de données et un vocabulaire commun pour décrire les infrastructures existantes en France.

Au-delà du schéma, le groupe propose deux stratégies d'agrégation des données réalisées soit par Géovélo (via OpenStreetMap), soit par Vélo et Territoire (complément de l'export Géovélo par des bases fournies par les communautés). Ces deux bases sont connues sous le signe BNAC (Base Nationale des Aménagement Cyclables).

En conclusion de notre exploration, la BNAC propose le projet le plus dynamique. Le dispositif inclut des contributeurs institutionnels, soit assistés par l'association "Vélo et Territoire" ou Géovélo, soit déjà autonomes sur OpenStreetMap, mais aussi tout individu ou association intéressé par le sujet.

Au sein de ce dispositif, Géovélo joue le rôle d'un contrôle qualité par l'établissement des filtres import/export en sortie d'OpenStreetMap. On pourra librement consulter les filtres appliqués sur le gitlab des requêtes¹⁷ utilisées par Géovélo pour son export.

Choix de la version de l'export.

Malgré une procédure d'export régulière et bien rodée, le fichier proposé n'est pas à l'abri d'erreur de parcours. En effet, en mars, Géovélo a procédé à un changement de filtre d'export qui a généré une erreur dans l'attribution des types d'aménagement. Le côté positif de l'expérience vécue est que notre protocole de préparation des données nous a permis de rapidement détecter le bug. Nous avons pu échanger avec Géovélo qui nous a confirmé l'existence de l'erreur, et annoncé une correction à venir, sans toutefois s'engager sur un délai. Nous attendons encore.

Ayant de notre côté nos propres échéances, nous avons dû revenir à une version antérieure des fichiers d'export, celle de décembre 2021, afin de produire une étude cohérente dans les temps impartis.

2.1.4. Les autres sources

Au delà des aménagements cyclables eux même, nous avons voulu introduire d'autres dimensions aux données, afin d'évaluer des corrélations possibles et aussi proposer des métriques permettant de comparer les efforts d'aménagement, par exemple en fonction des besoins et moyens de chaque commune, ou encore en fonction de diverses caractéristiques de la commune, comme par exemple la surface de forêt ou la longueur des routes. Les possibilités sont diverses et nous les affinerons lors de l'étude des corrélations.

Une comparaison simple de longueur des aménagements cyclables nous révèlera, peut-être, que les métropoles ont plus de moyens que les villages. Cette remarque évidente ne nous intéresse pas. Nous chercherons donc à explorer les efforts de mise en place d'aménagements en regard d'autres dimensions, par exemple le budget par habitant ou la longueur des routes dédiées aux voitures.

Les données INSEE

En tout premier lieu et avec évidence, nous avons opté pour les données concernant les communes diffusées par l'INSEE afin de compléter notre set de données.

En effet, celles-ci disposent de plusieurs données tout à fait pertinentes dans le cadre de notre étude : la population ou la surface des communes en tout premier lieu. La qualité et le niveau de ces données nous permet en effet de les exploiter avec assurance (qualité de la source) et simplement (sagacité des

¹⁷ Gitlab des requêtes Aménagement cyclables :

https://gitlab.com/Géovélo-public/requetes_amenagements_cyclables

données disponibles). Plus loin, leur agrégation, et donc le changement d'échelle, est facilitée grâce aux nombreux identifiants potentiels inclus au premier rang desquels le code INSEE des communes.

Le budget des communes

Nous avons recherché des informations sur les communes de l'INSEE, principalement concernant la population.

Pour ce qui est des budgets des communes, nous avons bénéficié du travail d'agrégation de données issues du site [impot.gouv](#), compilé par Christian Quest¹⁸ et repartagé sur [opendata.gouv](#)¹⁹.

Le choix de cette dernière source n'est pas anodin. On notera d'abord l'intérêt du travail de bénévoles qui rendent la donnée publique plus accessible. En effet, lors de l'exploration de sources institutionnelle telles que le site des impôts,²⁰ force est de constater que le travail de réflexion sur l'accès aux données mériterait plus d'investissement. Au point que le site [impot.gouv.fr](#) lui-même, indique d'aller chercher l'information ailleurs!

[Des exports globaux au format CSV des données sont disponibles sur le site data.gouv.fr \(recherche : comptes individuels\)](#)

Pour compléter ces difficultés d'accès aux données, le formulaire du site des impôts a été inaccessible sous Google Chrome à l'occasion de nos multiples visites, à plusieurs semaines d'intervalle. Nous pouvons toutefois minimiser la situation : le site fonctionne sous Firefox : étonnant, toutefois, de ne pas fonctionner avec le navigateur le plus utilisé au monde²¹.

Un incident est survenu lors de la consultation de l'application.
Veuillez cliquer sur le lien suivant pour retourner à la page d'accueil.

[Lien de reconnexion](#)

Message d'erreur sur le site [impots.gouv.fr](#)²²

Au-delà de ce premier problème, le site ne propose pas de vue agrégée de l'information : il est nécessaire de télécharger les budgets commune par commune. C'est là que le travail d'agrégation réalisé par Christian Quest nous a fait gagner énormément de temps.

Cette expérience nous a néanmoins aussi confronté à la limite du passage par le bénévolat de développeurs experts, puisque le travail du bénévole s'est arrêté en 2018.

L'IGN et la BD TOPO

Concernant les données d'occupation des sols, la BD TOPO a été choisie pour sa qualité et son homogénéité sur l'ensemble du territoire. En effet, cette base de données nous a permis d'acquérir des données sur la surface de forêt pour chaque zone étudiée. Cette information nous semble en première approche pouvant avoir un impact sur la quantité et la qualité des aménagements cyclables étudiés.

Nous nous sommes toutefois limités aux forêts et avons laissé de côté d'autres surfaces particulières (agricoles, industrielles, etc.). Elles pourraient être étudiées ultérieurement pour identifier si, à leur tour, elles pourraient influencer significativement la qualité des aménagements cyclables.

Les autres niveaux de découpage

¹⁸ Budget des communes, compilé par le bénévol Christian Quest:

http://data.cquest.org/dgfp_comptes_collectivites/communes/

¹⁹ Dataset Comptes individuels des communes:

<https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/comptes-individuels-des-communes>

²⁰ Site des impôts: <https://www.data.gouv.fr/en/datasets/comptes-individuels-des-communes/>

²¹ Chrome, le navigateur le plus utilisé au monde, et de loin:

<https://fr.statista.com/infographie/25319/parts-de-marche-des-navigateurs-web-dans-le-monde-chrome-safari-edge-firefox/>

²² site [impots.gouv.fr](#): <https://www.impots.gouv.fr/cil/zf1/accueil/flux.ex>

Une autre source de l'INSEE²³ a été exploitée, celle des départements. Elle propose sur une page l'ensemble des collectivités territoriales (Communes, Cantons, Départements, Régions) ainsi que les évolutions de ces entités (fusion de communes par exemple).

2.2. Extraction, Transformation, Chargement des données

2.2.1. Nettoyage initial

La donnée principale est le fichier france-20211201.geojson issu du jeux de données "Aménagements cyclables France Métropolitaine"²⁴ du site data.gouv.fr. Cette base est aussi parfois appelée BNAC (Base National des Aménagements Cyclables) même si Vélo et Territoire considère que celà est un abus de langage (les aménagements non répertoriés dans OpenStreetMap en étant exclus).

La première étape consiste à ouvrir le fichier dans QGIS afin d'en enregistrer une copie avec le SRID attendu (conversion de "EPSG:4326 WGS 84" vers "EPSG:2154 RGF93 / Lambert-93"). Pour mémoire, cette opération nécessite un export des données (un changement simple du SRID n'affecte pas les coordonnées).

2.2.2. Code

L'intégralité de nos codes est disponible dans le repository git suivant : https://github.com/pascalpvk/BIKE_DeSIGeo.

Nous y trouverons par exemple le traitement réalisé sous PostgreSQL pour préparer les données et en extraire les premières métriques : [explore DataBIKE.sql](#)²⁵.

Dans ce rapport, des renvois vers le code SQL seront indiqués sous le format SQL_x.x.x qui permet de retrouver la requête ayant permis d'obtenir un résultat donné.

Les traitements réalisés avec R-Studio y sont également disponibles.

2.2.3. **Organisation Segment vs. Aménagement**

Les inventeurs du "Schéma de données des aménagements cyclables" ont fait un choix politique assez fort en structurant la description des aménagements comme étant de part et d'autre d'une voirie. L'hypothèse de départ est qu'un aménagement cyclable n'arrive par défaut qu'en complément d'une voirie dédiée en priorité à la voiture. Le choix a été fait de numériser les aménagements sur l'axe de la chaussée. Un tronçon de route accueillant une bande cyclable de chaque côté par exemple ne sera numérisé géographiquement qu'une seule fois.

Un objet géométrique pouvant représenter deux aménagements différents situés de part et d'autre, le schéma intègre une liste de champs descriptifs de l'aménagement cyclable de droite tout comme pour l'aménagement de gauche. Droite et gauche sont déterminées par le sens de numérisation du tronçon. Une liste de choix quant à la typologie d'aménagement est proposée²⁶.

Bien sûr, il est possible de jouer avec la spécification et de décrire, par exemple, une piste cyclable ne longeant pas de chaussée automobile (ce qui est une qualité majeure pour une piste cyclable). Il est cependant beaucoup plus difficile, à partir de la BNAC seule, de faire la différence entre les deux configurations suivantes, qui ne sont dans la réalité pas du tout de qualité équivalente:

- Deux pistes cyclables unidirectionnelles, de part et d'autre d'une départementale à fort trafic routier.
- Une piste cyclable bidirectionnelle traversant une forêt.

Ce genre d'ambiguité n'est, hélas, pas une exception dans le schéma actuel :

²³ Source Département: <https://www.insee.fr/fr/information/5057840>

²⁴ Base Nationale des Aménagements Cyclables - Export national OpenStreetMap:

<https://transport.data.gouv.fr/datasets/amenagements-cyclables-france-metropolitaine>

²⁵ [exploreDataBIKE.sql](#) sur GitHub:

https://github.com/pascalpvk/BIKE_DeSIGeo/blob/main/sql/exploreDataBIKE.sql

²⁶ Schéma de données des aménagements cyclables:

<https://www.velo-territoires.org/politiques-cyclables/data-velo-modeles-donnees/schema-donnees-amenagements-cyclables/>

Incertitudes d'interprétation dues aux manque de précision du Schéma de données des aménagements cyclables		
ame_d - Aménagement côté gauche	ame_g - Aménagement côté droit	Incertitudes (liées aux spécifications de "vélo et territoires")
PISTE CYCLABLE	PISTE CYCLABLE	deux pistes cyclables de chaque côté d'une route ou une piste cyclable détachées et à double sens?
AMENAGEMENT MIXTES PIETON VELO HORS VOIE VERTE	AMENAGEMENT MIXTES PIETON VELO HORS VOIE VERTE	deux aménagements de chaque côté d'une route ou un aménagement détaché et à double sens?
VOIE VERTE	VOIE VERTE	deux voies vertes de chaque côté d'une route ou voie verte détachées. Sachant qu'une Voie Verte n'est généralement pas à sens unique.
AUTRE	AUTRE	L'inconnu ! (aucune définition claire)
PISTE CYCLABLE	AUCUN	Une piste cyclable détachée ou une piste cyclable à gauche de la voie
COULOIR BUS+VELO	AUCUN	Un couloir de bus sur la droite d'une route, ou un couloir de bus détaché et à double sens?
VOIE VERTE	AUCUN	Une voie verte séparée ou une voie verte

On voit ainsi que quelques erreurs d'interprétation peuvent être réalisées lors de la consultation de ces données.

2.2.4. Répartition des aménagements

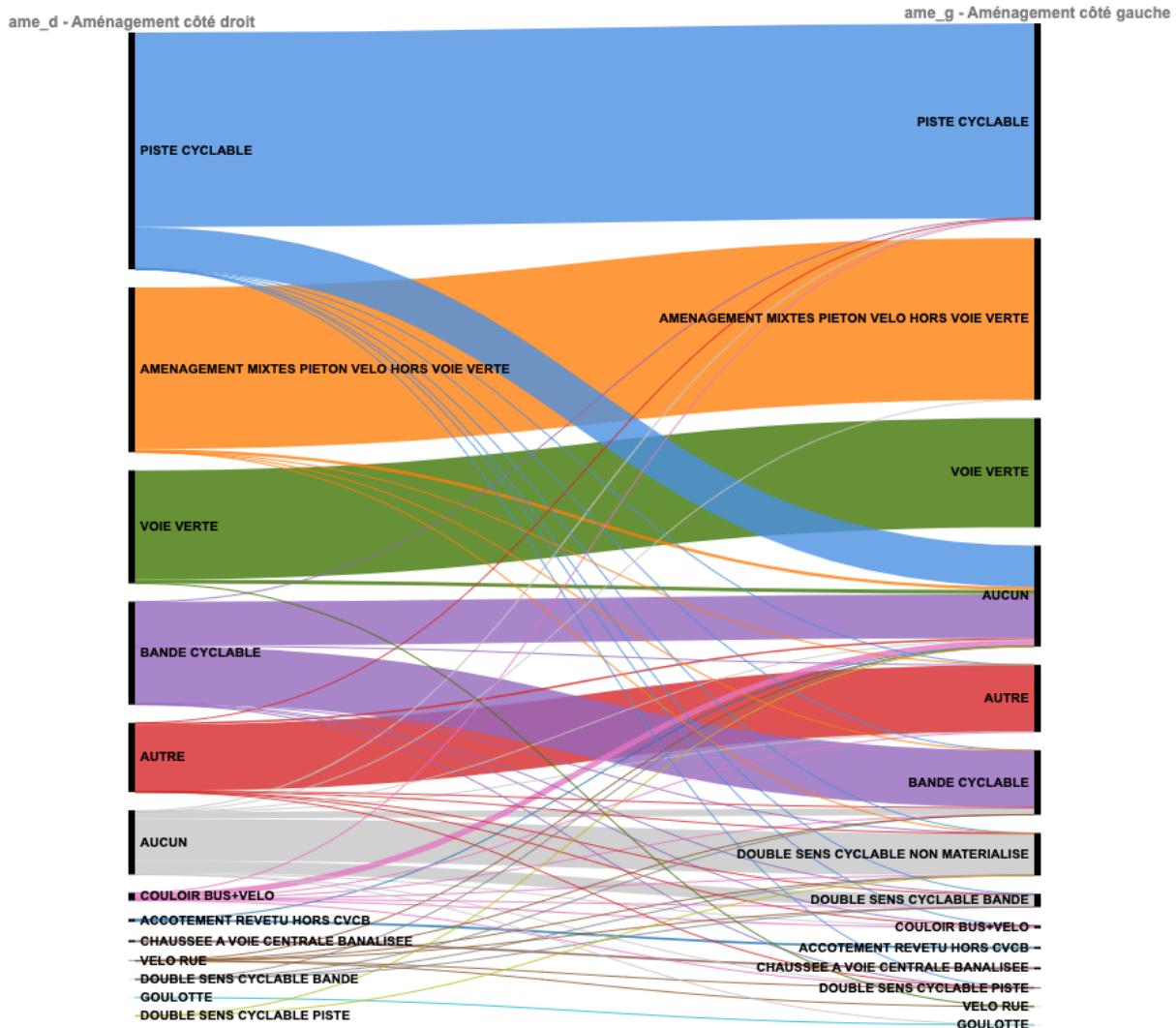
En phase exploratoire des données, nous avons fait ressortir au niveau français la répartition des aménagements en termes de regroupement aménagement gauche/aménagement droit. En voici deux présentations. La première sous forme de tableau permettant de quantifier en terme de nombre de segments, mais surtout en terme de longueur, puis une version plus synthétique se concentrant sur la répartition par longueur.

nombre de segments	pourcent (%) des segments	longueur cummulée (en m)	pourcent (%) de longueur	ame_g - Aménagement côté gauche	ame_d - Aménagement côté droit
56954	17.86	15747021	25.45	PISTE CYCLABLE	PISTE CYCLABLE
80532	25.26	13068250	21.12	AMENAGEMENT MIXTES PIETON VELO HORS VOIE VERTE	AMENAGEMENT MIXTES PIETON VELO HORS VOIE VERTE
37078	11.63	8834171	14.28	VOIE VERTE	VOIE VERTE
14660	4.6	5386208	8.71	AUTRE	AUTRE
22221	6.97	4619151	7.47	BANDE CYCLABLE	BANDE CYCLABLE
32547	10.21	3554615	5.75	AUCUN	BANDE CYCLABLE
25589	8.03	3379189	5.46	DOUBLE SENS CYCLABLE NON MATERIALISE	AUCUN

20037	6.28	3359124	5.43	AUCUN	PISTE CYCLABLE
6963	2.18	991576	1.6	DOUBLE SENS CYCLABLE BANDE	AUCUN
3912	1.23	534908	0.86	BANDE CYCLABLE	AUCUN
4417	1.39	488332	0.79	AUCUN	COULOIR BUS+VELO
2155	0.68	308178	0.5	AUCUN	VOIE VERTE
1539	0.48	249909	0.4	AUCUN	AMENAGEMENT MIXTES PIETON VELO HORS VOIE VERTE
494	0.15	190218	0.31	ACCOTEMENT REVETU HORS CVCB	ACCOTEMENT REVETU HORS CVCB
782	0.25	177538	0.29	CHAUSSEE A VOIE CENTRALE BANALISEE	CHAUSSEE A VOIE CENTRALE BANALISEE

Le tableau a été tronqué pour ce rapport, le [tableau complet est disponible en ligne](#)²⁷

Voici par ailleurs une présentation plus synthétique:



²⁷ Répartition des segments par couple d'aménagement Gauche / Droit:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1_bZ3a8YPmeFRE1WyljidxPkhcoulfJF49F1G6NZglBw0/edit?usp=sharing

2.2.5. Linéarisation des métriques : segment vs. linéaire

Si nous devions comparer les couples d'aménagement gauche/droite, l'observation du tableau précédent nous amènerait à devoir considérer au moins 68 couples distincts (déjà existants).

Afin de simplifier la comparaison des équipements, nous avons procédé à la séparation des aménagements en convertissant la notion de "segment + deux aménagements potentiels" en deux "Linéaires Cyclables" séparés (SQL_6.2.3).

En première approche, on double ainsi de fait le métrage. Puis on effectue deux ajustements. D'abord, on supprime les linéaires dont le type d'aménagement est "AUCUN" (SQL_6.3.1), puis l'on multiplie par deux les linéaires donnés comme bidirectionnels (SQL_6.3.2).

Le cas des voies vertes

A noter, de nouveau, que le schéma actuel et ses incertitudes nous amène à compter deux fois les voies vertes qui sont par définition bidirectionnelles, mais qui sont dans le schéma conceptualisé comme deux aménagements Gauche/Droite associé à une route inexistante.

Le choix même de cet encodage par Géovélo est surprenant. Il aurait semblé être plus correct de coder les Voies Vertes comme un unique aménagement bidirectionnel.

Suivant cette stratégie, il n'y a pas moyen de faire la différence entre une voie verte clairement isolée des routes automobiles, de deux voies verte de part et d'autre d'une chaussée.

En pratique, l'analyse détaillée de la BDD Géovélo (en SQL_6.2.8), en observant les valeurs pour les attributs sens (sens_g et sens_d) nous permet d'isoler uniquement deux configurations

- 94,5% : ame_d = ame_g = 'VOIE VERTE' ET sens_d = sens_g = 'UNIDIRECTIONNEL'
- 5,5% : ame_d = 'VOIE VERTE' ET sens_d = 'UNIDIRECTIONNEL' ET ame_g = AUCUN
 - Les ¾ font moins de 200m (SQL_6.2.9)

Asymétrie des aménagements

Au moment du nettoyage, nous avons pu effectuer une constatation intéressante.

Pour presque 22% (21,64%) des segments possédant au moins un aménagement cyclable, il n'y a qu'un seul sens d'aménagement disponible (SQL_6.2.5 et controleQualite.calca).

Dit autrement, ***en France, quand vous empruntez un aménagement cyclable, une fois sur 5, vous ne pourrez pas faire le trajet retour en sécurité (= "il n'existe un aménagement que dans un sens").*** Un avertissement de précaution s'impose. Comme pour l'ensemble des conclusions émises dans le cadre de cette étude, il est important de rappeler leur relativité. Ces affirmations sont dépendantes de données issues d'OpenStreetMap qui sont des données de type Données géographiques collaboratives, c'est-à-dire des données géographiques produites par la foule.

A titre d'illustration, à ce stade, une anomalie explique des variations marginales de certaines mesures: il existait en décembre 2021 6 segments dont les couples d'aménagement étaient "AUCUN/AUCUN" (SQL_6.2.7). Ceux-ci seront considérés alors comme non significatifs.

2.2.6. Qualification des données / attribution de notes

Arrivé à ce stade, on se retrouve avec potentiellement 13 métriques possibles si nous nous attelons à vouloir comparer les efforts d'aménagement en différenciant les types d'aménagements, ou l'on peut alternativement additionner brutalement les linéaires sans les différencier.

Aucune de ces deux propositions n'est satisfaisante. Dans un cas, la complexité de la réponse ne permet pas de comparer aisément les politiques vélos de différentes communes (une commune sera meilleure dans un type d'aménagement et moins performante dans un autre), dans l'autre, agglomérer les différents types d'aménagement revient à féliciter les maires qui se contenteraient de peindre quelques vélos en jaune sur des routes où la voiture continue de dominer l'espace public.

Nous établissons néanmoins à ce stade le total des aménagements cyclables au niveau de la France métropolitaine, afin de pouvoir comparer ces résultats avec d'autres sources.

Nous développerons par ailleurs notre proposition un peu plus loin.

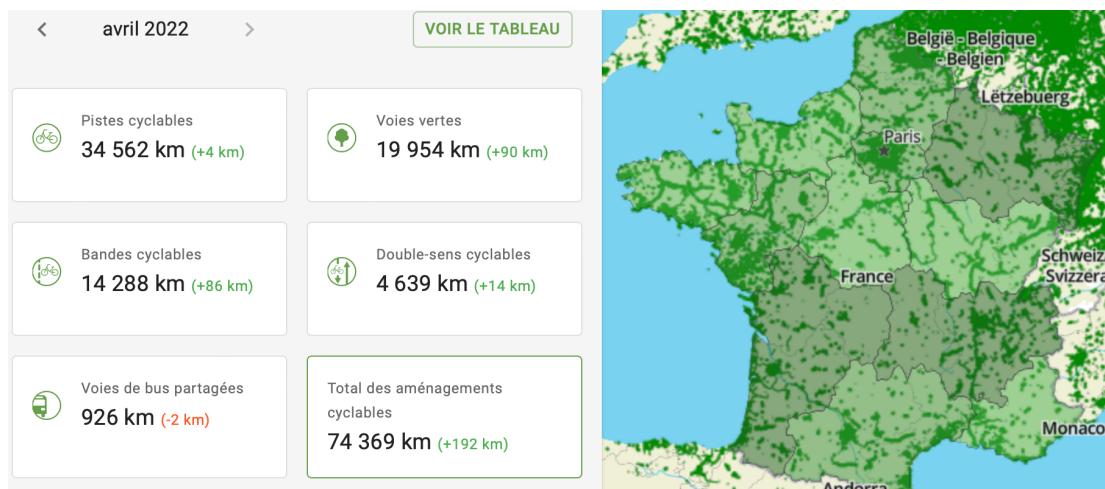
	Aménagement	Linéaire	
1	PISTE CYCLABLE	35 106.41 km	31.79%
2	AMENAGEMENT MIXTES PIETON VELO HORS VOIE VERTE	26 391.66 km	23.90%
3	voie verte	17 976.60 km	16.28%
4	BANDE CYCLABLE	13 593.99 km	12.31%
5	AUTRE	11 025.91 km	9.98%
6	DOUBLE SENS CYCLABLE NON MATERIALISE	3 444.95 km	3.12%
7	DOUBLE SENS CYCLABLE BANDE	1 089.66 km	0.99%
8	COULOIR BUS+VELO	887.60 km	0.80%
9	ACCOTEMENT REVETU HORS CVCB	429.94 km	0.39%
10	CHAUSSEE A VOIE CENTRALE BANALISEE	355.08 km	0.32%
11	DOUBLE SENS CYCLABLE PISTE	53.11 km	0.05%
12	VELO RUE	52.67 km	0.05%
13	GOULOTTE	18.49 km	0.02%
	Total	110 426.07 km	

Tableau des Linéaires Cyclables Totaux pour la France métropolitaine (SQL_6.4.2)

L'option suivie par Géovélo, dans son très instructif dashboard interactif "Aménagements cyclables"²⁸ a consisté à se restreindre à la présentation des 5 types d'aménagement principaux parmi les 13. Les résultats présentés en 2.2.3 justifient un tel choix.

L'option suivie par Géovélo traduit une volonté de présenter un traitement neutre de l'information et correspond au devoir de réserve de la compagnie qui ne peut se permettre de critiquer les pratiques de ces clients potentiels (les communes et autres EPCI).

On note que malgré cette volonté d'objectivité, Géovélo effectue de fait un choix parmi les différents types d'aménagement cyclable.



Aménagements cyclables par Géovélo

La disparition par exemple des aménagements de type "AMENAGEMENT MIXTES PIETON VELO HORS VOIE VERTE", pourtant la deuxième catégorie en terme de linéaire, est un choix fort, qui traduit une des cibles de Géovélo: les cyclistes non équipés de VTT (vélos tout terrain) ou VTC (vélos tout chemin).

Il en est de même de l'absence du type émergent des "Vélo Rue"²⁹. Ce concept existe fréquemment en Europe, notamment au Pays-Bas, au Danemark et en Allemagne.

²⁸Aménagements cyclables par Géovélo: <https://amenagements-cyclables.fr/fr/stats>

²⁹ La Vélo Rue: <https://www.cc37.org/la-velorue-nouvel-amenagement-cyclable/>

Les Vélo Rues sont des rues résidentielles où la priorité est donnée à la circulation des vélos. Tout dépassement de cycliste y est interdit.

Au vu de la faible présence de ce type d'aménagement et du choix de sa non représentation, nous pouvons estimer qu'il s'agit, potentiellement, d'un choix délibéré visant à masquer le retard de la France dans ce domaine.

Un autre choix éditorial de Géovélo a consisté à rassembler les doubles sens cyclables, qu'ils soient matérialisés ou non par une bande cyclable clairement visible par les conducteurs. Cette matérialisation est pourtant un enjeu important du point de vue de la sécurité des cyclistes.

Ces restrictions sont la raison principale de la différence de total linéaire entre notre résultat (110 426.07 km) et celui de Géovélo (74 369 km). La deuxième raison, plus anecdotique, est visible dans les totaux par aménagement et correspond à la différence de date entre les deux calculs (Avril 2022 pour Géovélo présente une augmentation de 3% des métriques sélectionnés par rapport à décembre 2021 pour notre étude).

La sécurité et la perception de sécurité des cyclistes

En effet, du côté des cyclistes, la sensation de sécurité et la sécurité effective apportée par de véritables pistes cyclables par exemple, n'ont absolument rien à voir avec un double sens cyclable non matérialisé. Ce dernier type d'aménagement reste, certes, un vrai bénéfice pour les cyclistes adultes habiles à partager la route avec les SUV roulant en tous sens, mais il n'est pas une réponse pour les déplacements familiaux. Il ne mérite pas la même reconnaissance par les cyclistes et signifie du véritable intérêt porté aux cyclistes, notamment au travers de son faible coût de mise en place.

A noter par ailleurs que l'affichage d'un total de linéaires seul ne permet pas de comparer l'effort réellement consenti par les communes, et les autres acteurs du développement du réseau des aménagements cyclables en France, puisque chacun dispose de moyens et de besoins différents.

Pondération de valeur des aménagements cyclables

Afin de poursuivre notre analyse, nous proposons d'introduire une **pondération des aménagements cyclables en fonction d'un critère de qualité des aménagements**.

La pondération proposée ici est d'abord une **illustration subjective de cette proposition**. Elle est intuitivement interprétable, mais une telle proposition de pondération mériterait une analyse plus poussée afin de refléter objectivement la qualité des aménagements cyclables en fonction de critères à déterminer en suivant l'objectif de la métrique à proposer.

Il est ainsi possible de pondérer en fonction du nombre d'accidents observés, ou en fonction du coût linéaire suivant que l'on s'intéresse au bien-être des cyclistes ou à l'effort budgétaire.

Dans le cadre du projet courant, la **pondération suivante est basée sur la sensation relative de sécurité** apportée par chaque aménagement et suivant la perception subjective des rapporteurs du projet.

Pondération des aménagements par sensation de sécurité et de bien-être (proposition)	
aménagement	poid
PISTE CYCLABLE	10
VOIE VERTE	9
AMENAGEMENT MIXTES PIETON VELO HORS VOIE VERTE	8
VELO RUE	7
BANDE CYCLABLE	6
COULOIR BUS+VELO	5
GOULOTTE	5
AUTRE	4
CHAUSSEE A VOIE CENTRALE BANALISEE	3
DOUBLE SENS CYCLABLE BANDE	2
ACCOTEMENT REVETU HORS CVCB	2
DOUBLE SENS CYCLABLE NON MATERIALISE	1

A partir de cette pondération, nous générerons deux valeurs:

- Un linéaire pondéré des aménagements cyclables
- Un degré de qualité des aménagements

Nous développerons ces métriques dans les chapitres suivants (Cf 3.2.2 et 5.2.3).



3. Différentes métriques

Ce chapitre vise à réaliser les premières exploitations des données façonnées lors de l'étape précédente. Cette étape nous permettra de consolider notre connaissance de celles-ci et d'identifier quelques-unes de leurs caractéristiques. L'ensemble des résultats présentés ici a été obtenu à partir de l'export Géovélo/BNAC datant de décembre 2021.

3.1. Domaine de l'étude

3.1.1. Choix d'échelles adaptées

Après avoir pris identifiés plusieurs niveaux administratifs intervenant dans la politique des aménagements cyclables nous avons pris le parti de réaliser nos métriques à trois niveaux distincts, en vue de réaliser différentes mesures pertinentes à différentes échelles.

Nous avons tout d'abord recherché le niveau qui permettrait de mesurer des métriques liées à la continuité à une échelle assez petite pour avoir une vision suffisamment large et assez grande pour ne

pas risquer de conclusions trop ponctuelles et donc non représentatives. De là, le choix de rechercher ces métriques à l'échelle du département est apparu le plus pertinent.
Ponctuellement, nous avons également utilisé des données au niveau national pour certaines métriques simples et au niveau des communes pour l'illustration de la pondération des aménagements cyclables.

3.1.2. Deux départements tests pour l'étude de la continuité

Pour la réalisation des calculs à l'échelle des départements, nous avons choisi d'exploiter les données concernant deux départements.

Ceux-ci ont été choisis suffisamment différents pour, dans un premier temps, identifier d'éventuelles erreurs dans nos méthodes d'exploration et de calculs. Dans un second temps, nous souhaitons conserver une vision arbitraire et non artificiellement tronquée par des départements trop similaires quant à leurs organisations. Par ailleurs, il était souhaitable d'éviter les extrêmes, tels que les départements incluant les plus grandes villes françaises ou les "déserts démographiques".

De là, nous avons décidé de choisir un département avec une ruralité assez forte : l'Ain, et un département disposant d'un urbanisme plus développé : l'Essonne.

3.2. Métriques « simples », au niveau national

3.2.1. Ordres de grandeur issue de nos sources actuelles

La base Géovélo (export de décembre 2021) est constituée de 318 852 segments (SQL_1.1) qui représentent une longueur totale de 61 862 994,64 m, soit environ 61 863 km (SQL_1.2). Ce total de longueurs de segments est à comparer aux **110 426 km de linéaire cyclable** qui correspond au dépliage en deux côtés réduit des segments avec un unique aménagement.

Autre niveau de comparaison, en 2020, le réseau routier français propose 1 105 191 km³⁰, soit 2,2 millions de linéaire routier (la simplification ne tenant pas compte des sens uniques). Les voitures disposent donc de 20 fois plus de linéaire dédié que les vélos. Par ailleurs, en 2021 on a acheté largement plus de vélos que de voitures en France (2,7 millions de vélos neufs se sont vendus, contre 1,8 million de trottinettes électriques et 1,65 million de voitures)³¹(nous pouvons dans le même temps noter l'essor considérable des trottinettes, malgré le danger nouveau pour les cyclistes traditionnels au vu de la vitesse qu'elles peuvent atteindre, et les vélos électriques).

Le Segment le plus long de l'export BNAC est de 25,8 km (SQL_1.3)³² et fait parti de la Via Rhôna³³.

Au 1er janvier 2022, la France compte 34 954 communes dont 34 825 en France métropolitaine et 129 dans les DOM³⁴. Notre source d'information sur le budget des communes date de 2018 et comprenait à cette époque 35 595 communes. En effet, il y a eu depuis de nombreux regroupements de communes réalisés en France (SQL_3.1.2).

Le nombre total de communes comprenant des aménagements cyclables (de part et d'autre d'un segment) est de 12 957 communes sur 34 825, soit 37% (SQL_1.4 et SQL_6.4.4).

De la non importance des segments dans l'analyse.

Les "segments" sont très dépendants des contributeurs d'OpenStreetMap. Un même équipement peut être représenté par un unique segment ou par plusieurs connectés, suivant les habitudes du contributeur. Les données nous permettent par exemple d'observer par exemple que 80% des segments ont une longueur de moins de 960 m, et seuls 11 segments font plus de 8 km. Au travers d'une

³⁰ Site développement durable.gouv.fr

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-transports-2022/pdf/page/s/partie7/partie7.pdf>

³¹ France Inter:

<https://www.franceinter.fr/economie/en-2021-on-a-achete-plus-de-velos-que-de-voitures-en-france#:~:text=Selon%20l'Union%20Sport%20%26%20Cycle,1%2C65%20million%20de%20voitures.>

³² Via Rhôna : <https://www.openstreetmap.org/way/159210490>

³³ <https://www.francevelotourisme.com/itineraire/viarhona>

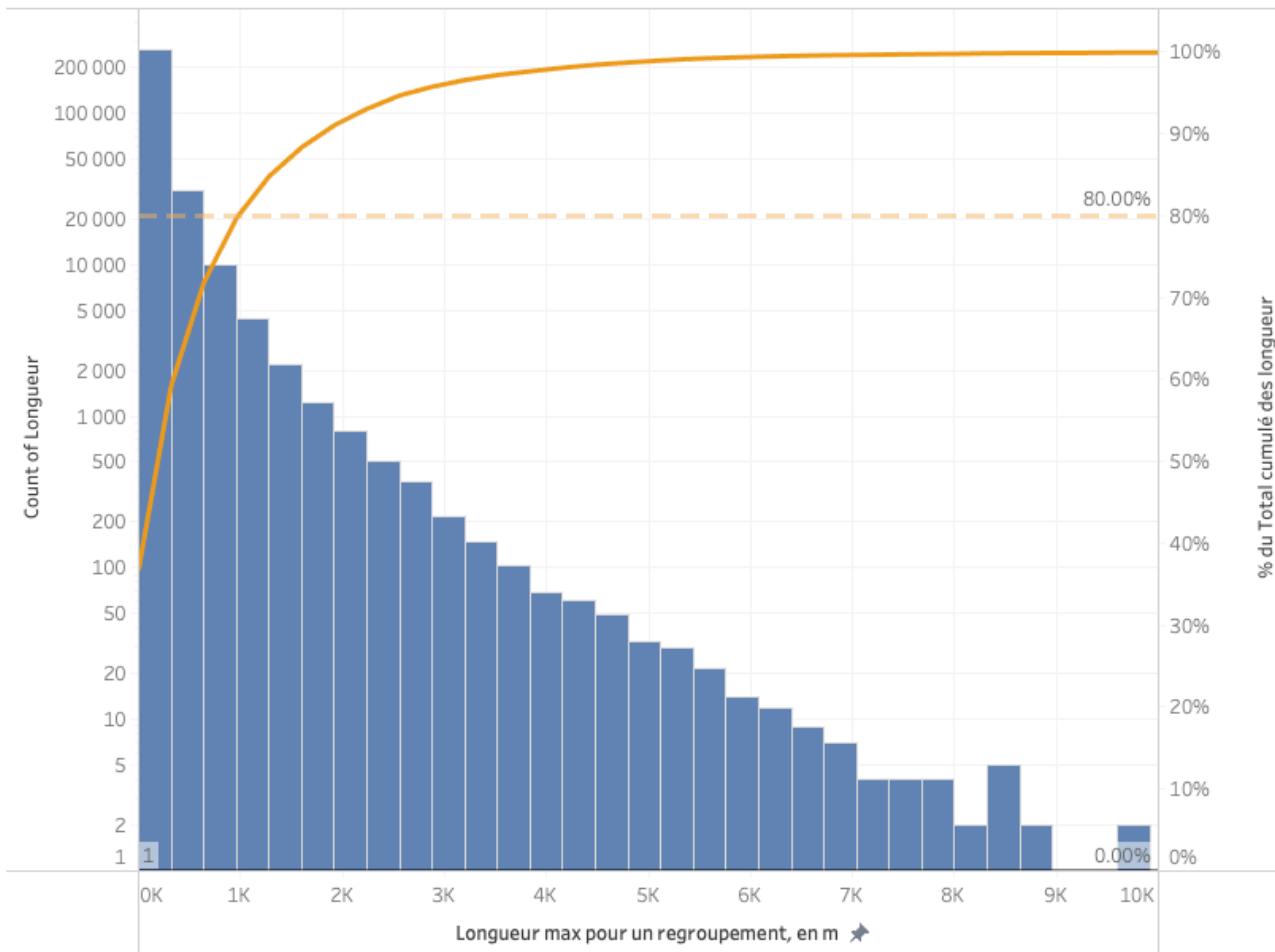
³⁴ Nombre de commune

https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_communes_nouvelles_cr%C3%A9%C3%A9es_en_2022

représentation graphique harmonieuse, cette observation des segments nous confirme que la quantité "nombre de segment" n'a pas d'intérêt dans notre étude actuelle.

Histogramme des segments (Echelle logarithmique)

Diagramme de Pareto



(SQL_2.2 + Visualisation sous Tableau)

3.2.2. Valorisation des types d'aménagements

En 2.2.5, nous avons expliqué le cheminement vers la proposition d'une pondération des linéaires cyclables en fonction de la sécurité (réelle ou ressentie) des aménagements.

Classement des villes en linéaire non pondéré.

À noter que sur toute la France, seules six villes sont équipées des 12 différents types d'aménagements cyclables (Metz, Avignon, Strasbourg, Mulhouse, Toulouse, Nantes : SQL_6.4.4).

Si nous considérons que tous les aménagements cyclables étaient équivalents, voici le top 10 des villes les plus cyclables de France (SQL_6.4.5) que nous obtiendrions.

Place	Total Linéaire Non Pondéré	Code Commune	Commune
1	905.10 km	31555	TOULOUSE
2	534.77 km	44109	NANTES
3	487.02 km	67482	STRASBOURG
4	450.01 km	35238	RENNES
5	386.25 km	33063	BORDEAUX

6	343.57 km	49007	ANGERS
7	316.53 km	37261	TOURS
8	303.68 km	59350	LILLE
9	294.08 km	34172	MONTPELLIER
10	254.42 km	84007	AVIGNON

En considérant que nous ne pouvons pas apprécier de la même manière une voie verte et une bande cyclable, nous appliquons une pondération et nous obtenons un résultat différent (SQL_7.1.2)

Pour rappel, le coefficient de qualité est le rapport entre le total linéaire pondéré et le total linéaire non pondéré). Une ville ayant fait le choix de s'équiper principalement en pistes cyclables et voie verte obtiendra un coefficient de qualité entre 80% et 100%.

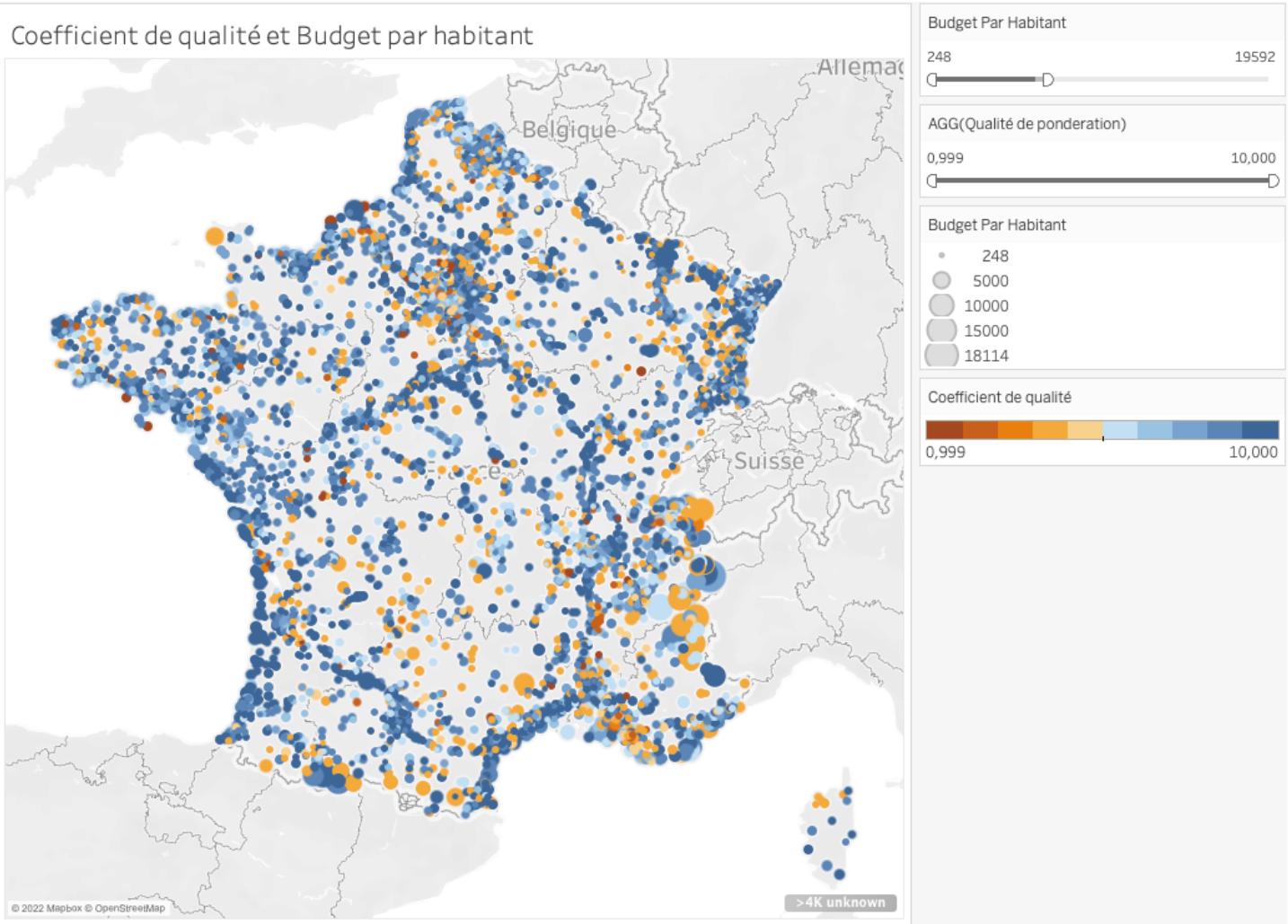
Une ville dont l'argument vélo se résume à dessiner quelques bande jaune le long des routes rapides tombera sous les 20%.

Place	Total Linéaire Pondéré	Code Commune	Commune	Coefficient de qualité (en %)	Coefficient de qualité (1-10)
1	674.83 km	31555	TOULOUSE	75%	7.5
2	404.80 km	67482	STRASBOURG	83%	8.3
3	383.49 km	44109	NANTES	72%	7.2
4	315.68 km	35238	RENNES	70%	7.0
5	245.41 km	74010	ANNECY	71%	7.1
6	245.08 km	34172	MONTPELLIE R	83%	8.3
7	239.72 km	49007	ANGERS	70%	7.0
8	214.83 km	37261	TOURS	68%	6.8
9	210.25 km	33063	BORDEAUX	55%	5.5
10	197.53 km	76351	HAVRE (LE)	79%	7.9

A ce niveau, il serait possible de classer les villes en fonction du coefficient de qualité seul, mais il apparaît alors que de nombreux petits villages avec parfois juste quelques centaines de mètres de piste cyclable uniquement et sans autre aménagement, se retrouvent avec un coefficient de 100%. Il est dès lors nécessaire de présenter ces résultats avec des dimensions supplémentaires, que nous avons agrégé sous Tableau (*nota* :dans cet environnement nous avons choisi de restituer le coefficient de qualité sur une échelle de 1 à 10, pour une meilleure compréhension).

3.2.3. Corrélations avec d'autres dimensions

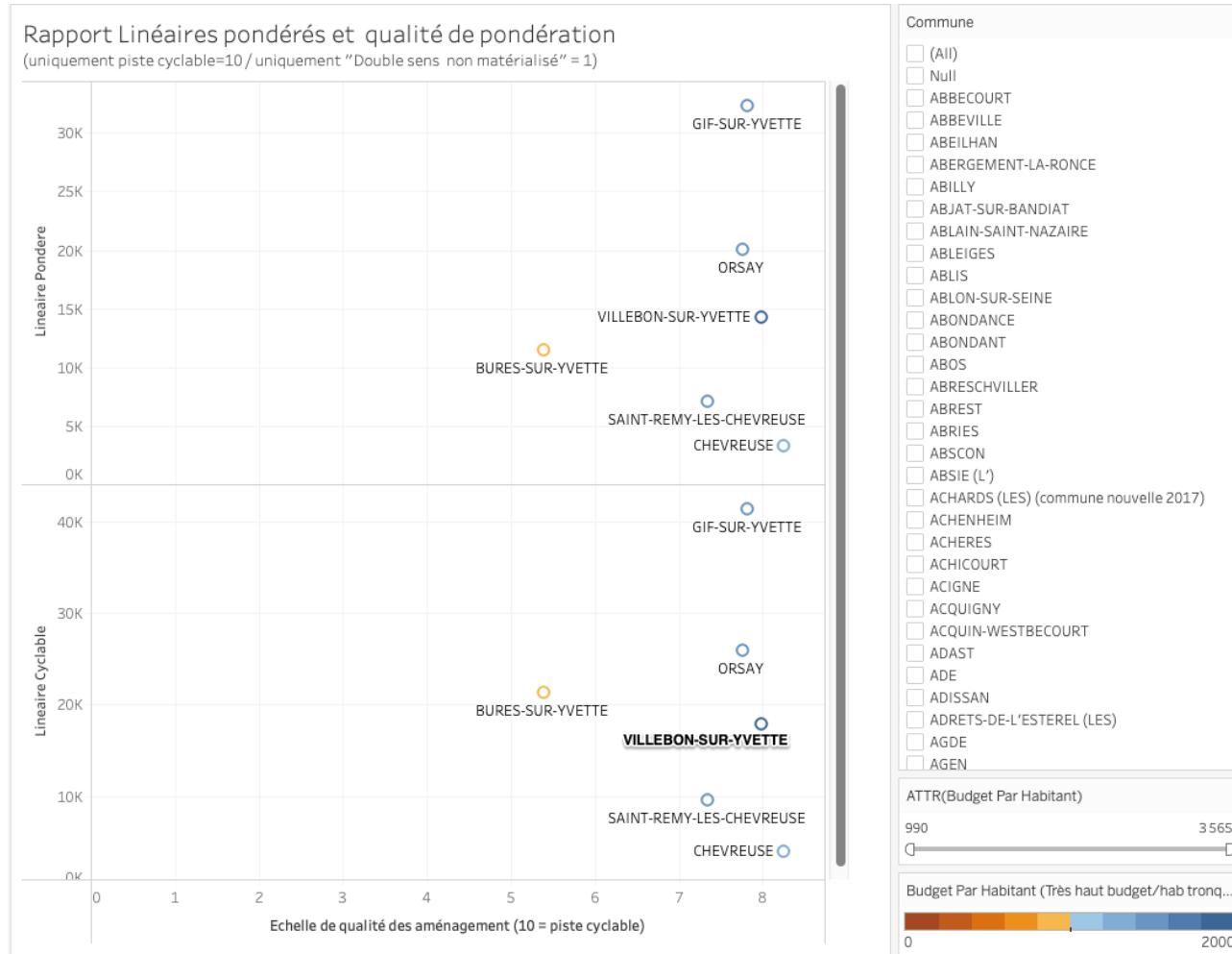
3.2.3.1. Budget par habitant



[Dashboard interactif sous Tableau: coefficient de qualité et budget par habitant](#)

3.2.4. Des résultats sous forme de tableaux Interactifs

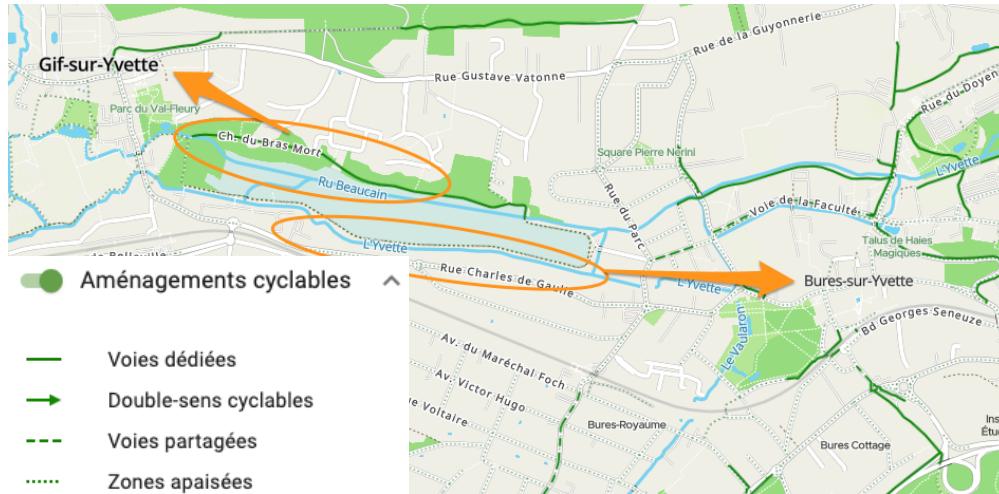
Comme pour l'image précédente, on présente ici une visualisation interactive réalisée avec le logiciel Tableau. Ces captures présentent seulement des extraits figés de l'outil, lequel permet d'explorer plus intuitivement le jeu de données.



Rapport Linéaires pondérés et qualité de pondération

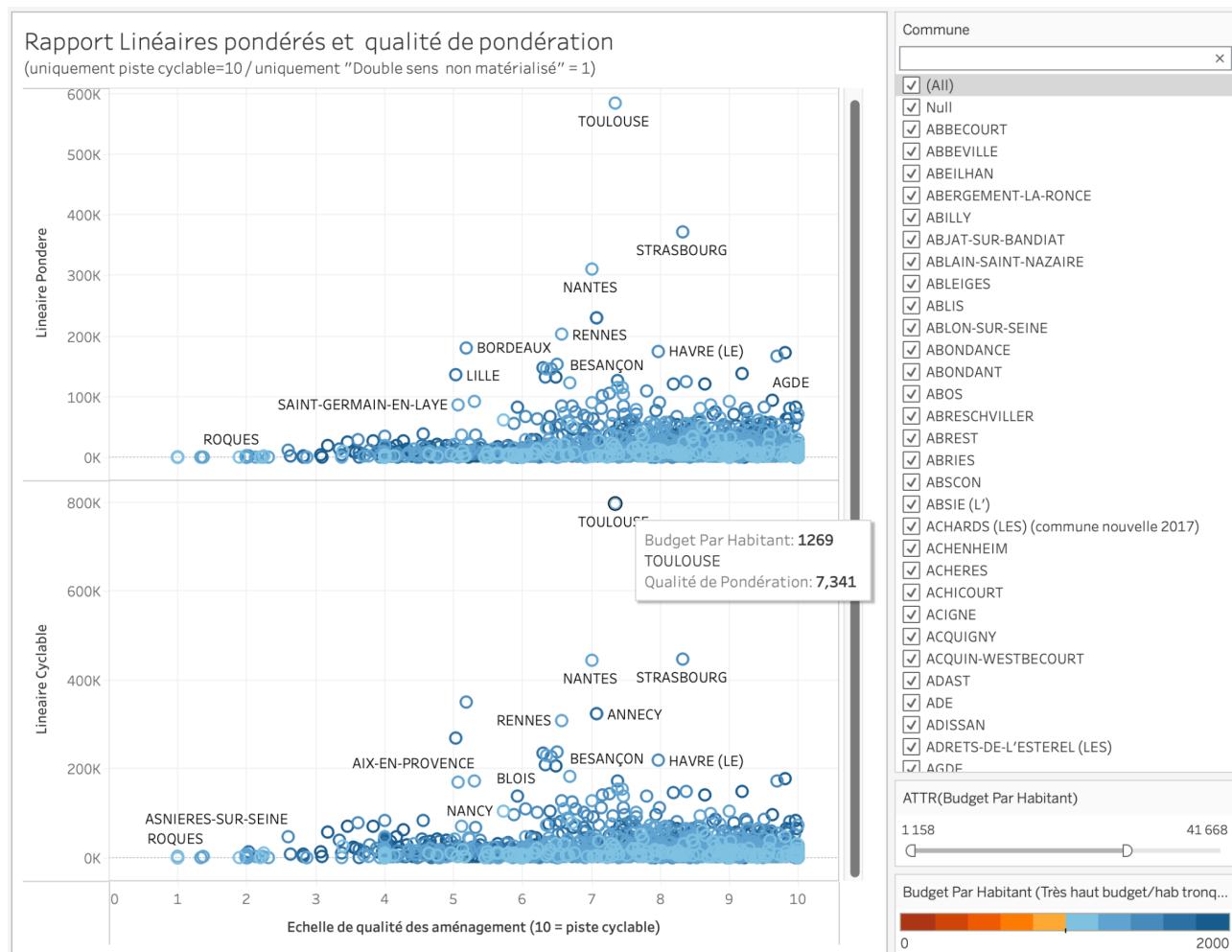
Sur la configuration ci-dessus, on propose la sélection d'un ensemble de villes proches et présentes dans un même contexte (celui d'un fond de vallée). Il s'agit des villes de la partie basse de la vallée de Chevreuse. On illustre par exemple qu'une ville telle que Bures-sur-Yvette, avec un budget par habitant moindre que celui des villes avoisinantes, et ayant un linéaire total tout type confondu plus important que Villebon-sur-Yvette propose de fait des aménagements de moins bonne qualité et perd une place dans le classement lorsque l'on s'intéresse aux linéaires pondérés.

Comme souvent, ce genre d'analyse doit surtout être utilisé pour faire réagir les parties prenantes. Les chiffres seuls cachent toujours des réalités plus complexes. A titre d'exemple, observons le bassin de Gif-Bures, à la limite entre les deux villes; et plus particulièrement le chemin qui en fait le tour. Du côté de Gif, le contributeur OpenStreetMap a déclaré ce chemin en tant que "path", ce qui lui vaut une interprétation en tant que voie verte au nord, par Géovélo. Au sud, sur le territoire de Bures sur Yvette, le chemin est plus large, plus praticable et donc en particulier empruntable par d'éventuelles voitures dans le cadre de l'entretien des lieux. Il est donc codé en tant que "highway=track" sur OSM, ce qui se traduit sur Géovélo comme une voie partagée, et donc de moindre intérêt pour les cyclistes, alors qu'elle est sur le terrain plus intéressante et correspond parfaitement à l'esprit d'une Voie Verte ... mais cependant sans le panneau C115, qui pourrait l'officialiser comme tel. Cette présentation devrait encourager les maires et responsables à officialiser de plus nombreux aménagements en tant que Voie Verte afin de corriger les biais de qualification.



Au niveau France

Globalement, il faut avoir un budget par habitant suffisant pour s'engager dans l'aventure du vélo, mais au-delà d'un seuil (proche de 1000 euro par habitant), le classement semble plus dépendre du choix politique que du budget. Rappelons que le graphique suivant est une capture d'un outil interactif. Précédemment, nous avions fait avec le même outil la sélection d'un nombre réduit de villes. Ici, nous capturons la présentation de villes présentant un budget par habitant de plus de 1158 euro. En ajustant le slider en bas à droite, nous pourrions faire apparaître les villes avec de plus faible revenu (en couleurs chaudes).



3.3. Analyse statistique

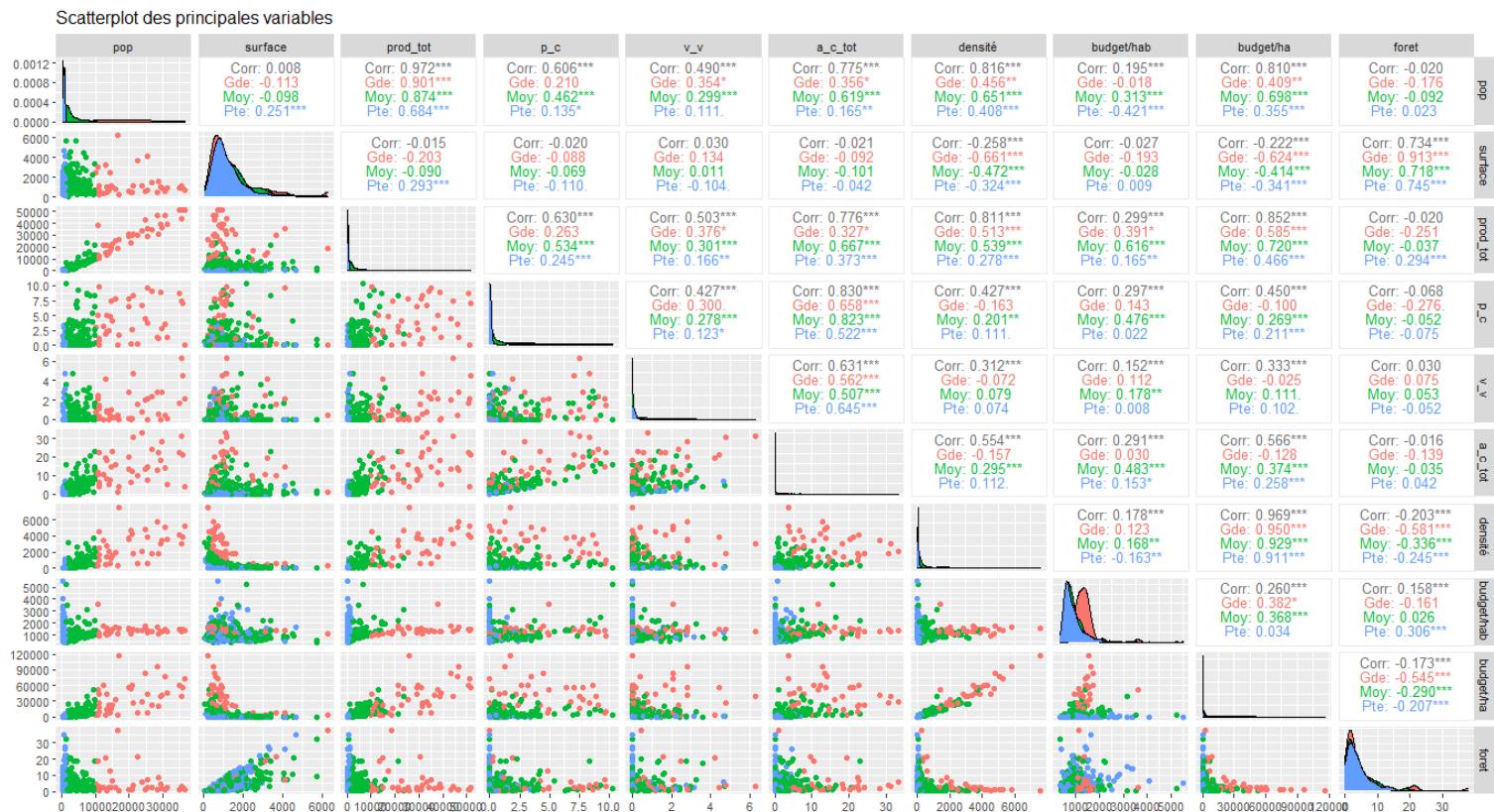
Afin de poursuivre l'appropriation des données collectées et modelées précédemment nous allons réaliser une étude statistique de celles-ci. Pour ce faire, nous utiliserons le logiciel R, notamment pour réaliser des plots permettant une visualisation globale des données et une première identification de relations. Par la suite, nous réaliserons une analyse en composantes principales (ACP) afin de compléter ces premières conclusions.

3.3.1. Premières analyses statistiques

En premier lieu, nous avons réalisé des 'ScatterPlots' des jeux de données que nous avons constitués (un sur l'Ain, un sur l'Essonne et un en cumulant les données des deux précédents) afin de mettre en évidence d'éventuelles premières relations (linéaires ou peu complexes) entre les différentes données acquises lors des étapes précédentes.

Ces premières analyses ne nous ont pas permis de détecter de lien évident entre les données concernant les aménagements cyclables et les autres données exploitées, non plus qu'entre les divers types d'aménagements cyclables. On pourra toutefois noter une relation quasi linéaire entre la population et le budget des communes ou par ailleurs entre la surface totale et la surface de forêts de celles-ci, mais cela reste en dehors de notre champ d'étude.

Scatterplot des communes de l'Ain et de l'Essonne



Légende du Scatterpot :

Diagonale : densité des variables

Moitié gauche/basse : nuage de points représentant les variables indiquées en abscisse et en ordonné.

Moitié droite/haute : coefficient de corrélation entre les variables indiquées en abscisse et en ordonné.

Couleurs : bleu = commune < 1000 hab., vert = 1 000 hab. < commune < 10 000 hab., rouge > 10 000 hab.

Données : les 10 variables estimées principales en premières approches (p_c : piste cyclable, v_v : voie verte, a_c_tot : total des aménagements cyclables).

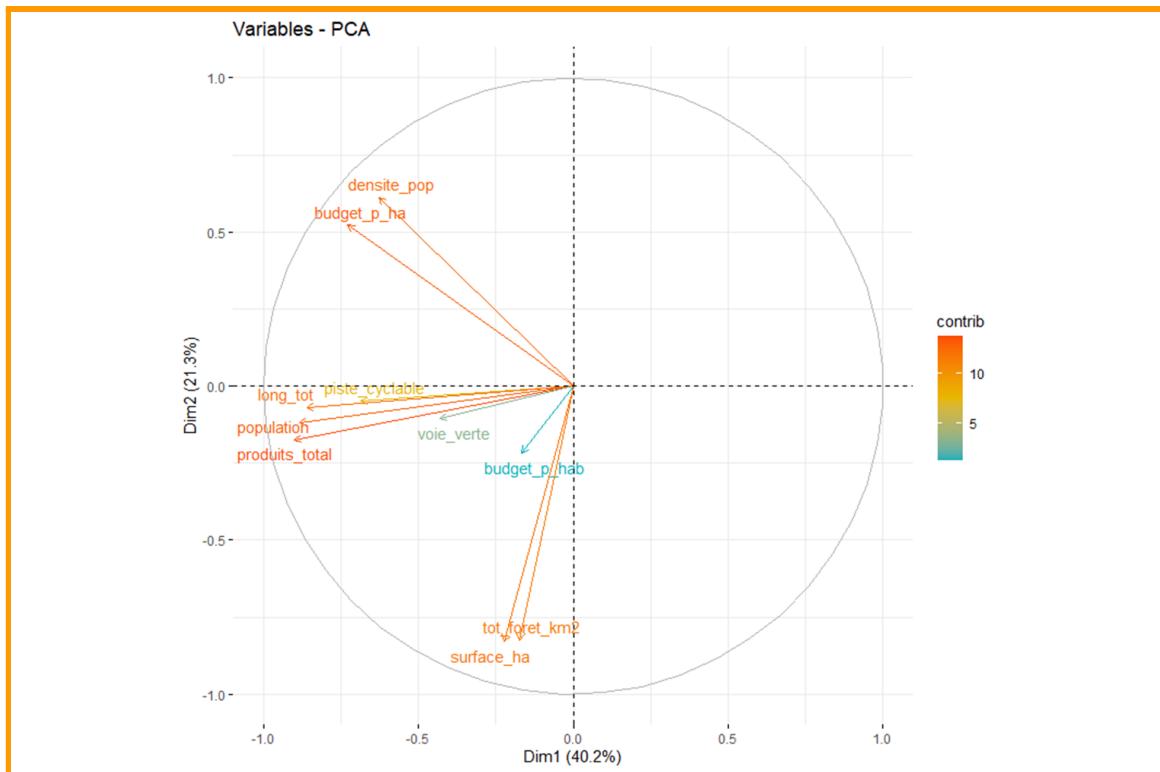
3.3.2. Analyses en composantes principales

Suite aux résultats peu probants des scatterplots, nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) sur les mêmes données.

Nous espérons ainsi mettre en relief des relations qui ne seraient pas évidentes.

Dans un premier temps nous allons exploiter les mêmes jeux de données que ceux employés dans la partie "[premières analyses statistiques](#)".

Première ACP : l'Ain : (61,5 % capturé)



Légende de l'ACP :

- Chaque donnée étudiée est représentée sous la forme d'un vecteur dont la taille indique l'importance (ainsi que la couleur : contrib) et l'orientation la relation avec les deux dimensions retenues (axes horizontal et vertical).
- Les pourcentages portés sur les axes d'abscisse et d'ordonnée correspondent au taux de capture de chacune des dimensions retenues.

Cette première ACP fait apparaître 3 groupes remarquables de données :

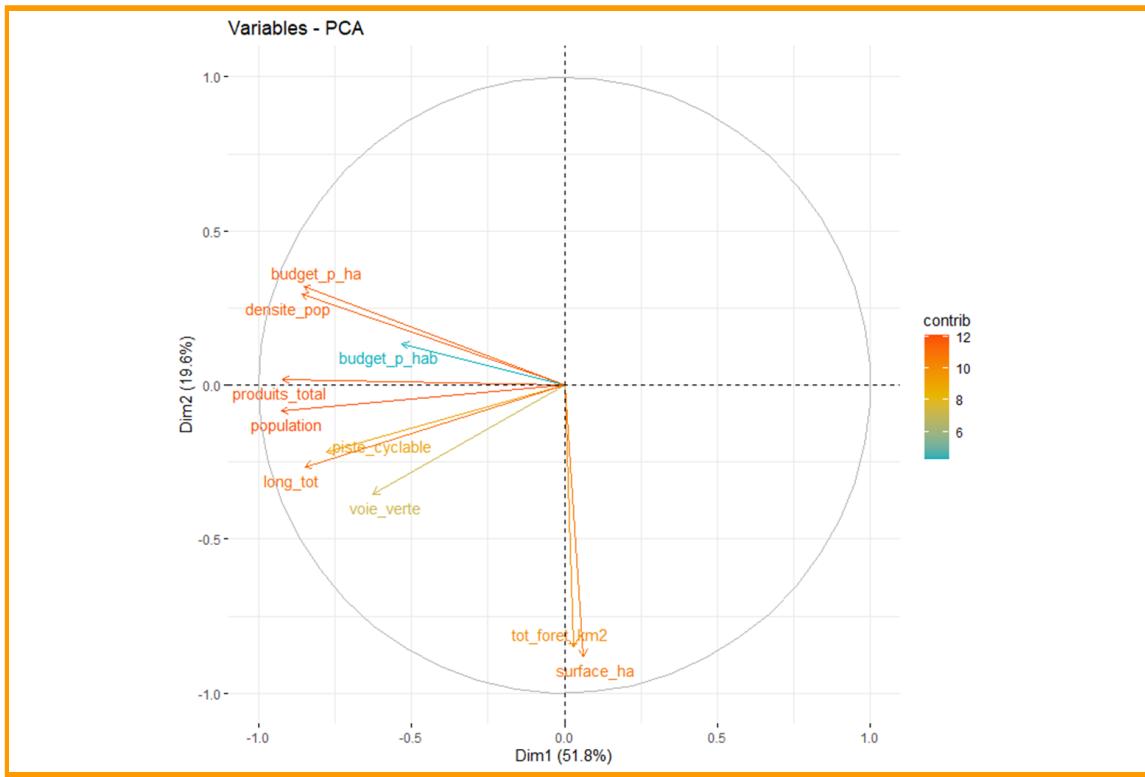
- Groupe 1 : densité de population et budget par surface de commune ;
- Groupe 2 : population, produits total (dépenses par commune), longueur totale d'aménagements cyclables, pistes cyclables et voies vertes ;
- Groupe 3 : surface totale de forêt, surface du département.

Le budget par habitant, quant à lui, semble être peu lié aux autres catégories : faible orthogonalité et faible contribution à l'ACP.

Les données au sein de chaque regroupement sont fortement liées, nous pouvons ainsi déjà identifier des données plus fortement corrélées que d'autres (au sein des groupes). De même, l'orthogonalité entre certains groupes tend à montrer l'indépendance de leurs données respectives et donc leur non corrélation.

Le groupe 1, dont les données sont issues d'un calcul entre les données des deux autres groupes (respectivement population et surface puis produit total et surface), semble effectivement être liés aux deux autres groupes, de manière relativement équivalente.

Seconde ACP : l'Essonne : (71,4 % capturé)



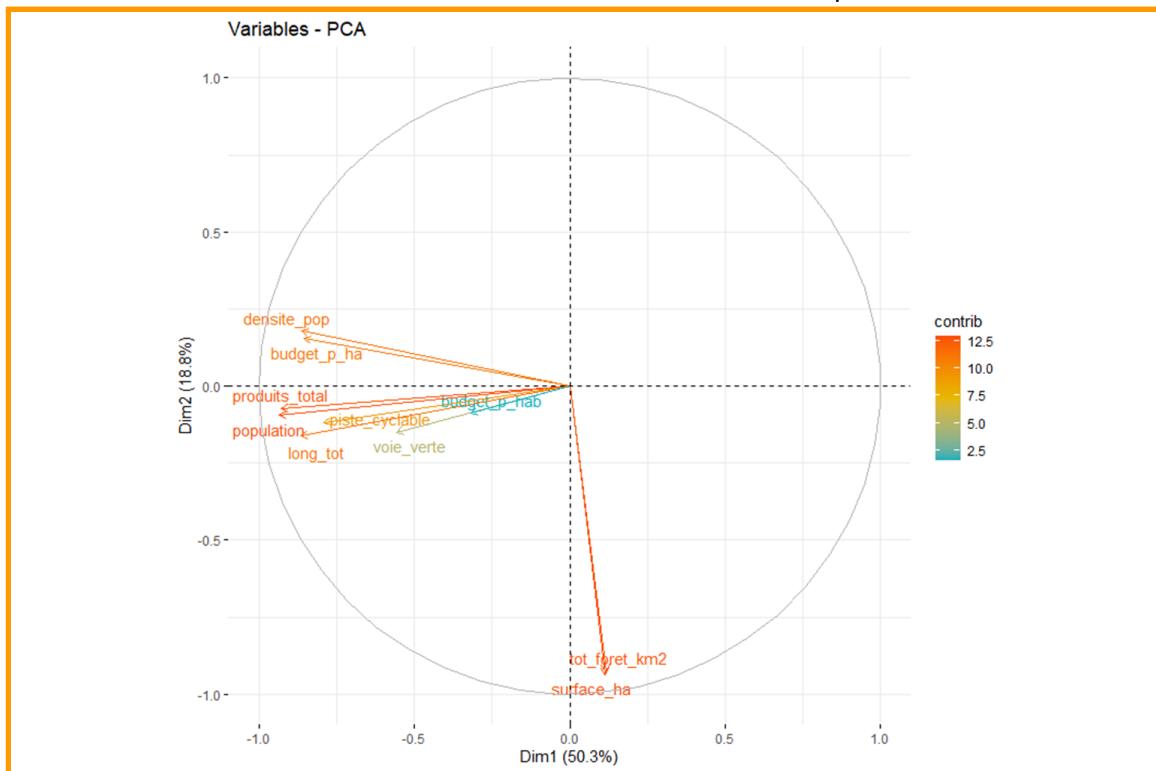
Nous pouvons retrouver le groupe 3 (surface totale de forêt et surface du département) fortement indépendant des autres données, de la même manière que lors de l'ACP précédente.

En revanche, les données du groupe 2 montrent quant à elles une relative corrélation entre les divers aménagements cyclables étudiés ici et la population et le produit total.

Le point particulier à cette nouvelle ACP est l'apparition d'un lien plus fort entre les données du groupe 1 et celles du groupe 2.

Nous choisissons d'additionner les deux jeux de données et de réaliser une ACP sur le nouveau jeu obtenu.

Troisième ACP : Ain + Essonne : (69,1 % capturé)



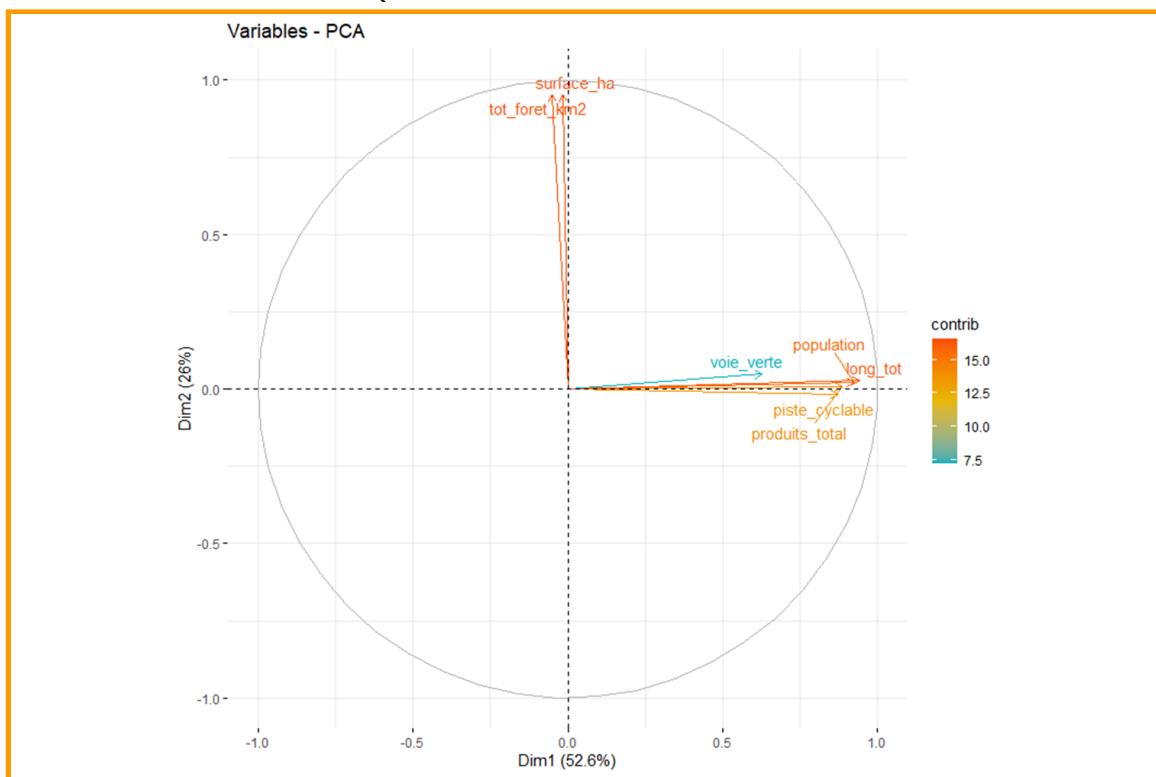
Identiquement aux plots réalisés précédemment (partie 3.3.1 [Premières analyses statistiques](#)), nous allons mêler les deux jeux de données pour permettre de faire émerger des relations notables.

Le résultat de cette ACP est très semblable à celui obtenu avec le département de l'Essonne. Effectivement ce département comporte des mesures supérieures à celles du département de l'Ain (notamment la population, le budget, la distance totale d'aménagements cyclables) et pourrait constituer une explication satisfaisante de l'ACP observée. Mais plutôt que conserver une allure générale proche et légèrement déformée par les données de l'Ain, il semble plutôt que la somme des données des 2 départements aient permis d'amplifier les observations faites quant au département de l'Essonne.

En effet, l'apparition de deux groupes fortement non liés est plus évidente. Nous constaterons donc la consolidation d'un premier groupe liant surface totale et surface boisée des départements. Par ailleurs, les autres catégories semblent plus fortement liées entre elles après avoir réalisé cette opération d'addition.

Nous pouvons donc établir une première conclusion selon laquelle les aménagements cyclables semblent liés à la population des communes, ainsi que leurs budgets. Les ressources seraient ainsi plus prépondérantes que les données physiques dans le cadre de la création des aménagements cyclables.

Quatrième ACP : Ain + Essonne :



Nous avons choisi de diminuer le nombre d'attributs étudiés dans l'ACP afin de mettre en exergue les premières orientations issues des 3 ACP précédentes.

En effet, le budget par surface de commune et la densité par commune étaient deux métriques calculées à partir de données présentes dans les deux groupes principaux détectés. Leurs utilisations étaient, sans doute, plus perturbantes que pertinentes.

De plus, nous avons également retiré le budget par habitant qui était une autre métrique calculée à partir des données initiales et qui nous avait semblé pertinente initialement. Toutefois, force est de constater que l'emploi de données calculées dans une ACP à partir d'autres y étant également présentes peut s'avérer inutile, comme nous le constatons ici.

Cette dernière ACP souligne avec une forte évidence les conclusions de la précédente.

En conclusion aux analyses en composantes principales réalisées, il apparaît assez nettement que la quantité d'aménagements cyclables réalisés par commune est fortement liée aux nombres d'habitants et au budget de celle-ci. En revanche, la taille et la surface de forêts des communes influent peu, voire pas, sur la densité de ces aménagements cyclables.

3.3.3. Conclusion de l'analyse statistique

L'analyse statistique réalisée avec R nous a permis de tirer quelques conclusions intéressantes liées aux pistes cyclables et leur nombre.

Les premières observations n'ont pas pu mettre en exergue de relations entre les différentes catégories des données recueillies préalablement. En effet, les plots réalisés n'ont pas mis en relief de relations évidentes.

Toutefois, la réalisation d'analyses en composantes principales ont permis quant à elles d'identifier des relations fortes au sein des jeux de données étudiés.

Ainsi, nous avons pu déterminer que la longueur totale de pistes cyclables au sein d'une commune semble liée à la population et aux ressources budgétaires de celle-ci. En revanche, la surface totale ou la surface boisée de cette commune n'influeraient pas sur le nombre d'aménagements cyclables.



4. Définition de la continuité

Nous avons déjà abordé la notion de continuité dans l'introduction de ce document et l'avions alors brièvement définie comme le fait de durer sans s'arrêter ou dont l'arrêt est suffisamment court pour ne pas perturber le fonctionnement.

Nous allons préciser ici cette notion centrale de la problématique étudiée et y associer certaines métriques.

Principalement, la continuité sera vue comme la possibilité pour un cycliste de se déplacer avec son cycle à l'intérieur du réseau d'aménagements cyclables sans avoir à le quitter, c'est-à-dire sans emprunter un axe de déplacement différent d'un aménagement cyclable. Ainsi et afin de quantifier cette métrique, il s'agira de fournir la distance maximale que pourra emprunter un cycliste au sein d'un certain réseau d'aménagements cyclables. Elle résultera de la somme des longueurs de tous les tronçons atteignables dans ces conditions et ceci au sein d'une emprise géographique définie (le niveau d'étude : commune, département ou autre). Cette distance sera donc la distance maximale totale parcourable, tous azimuts, au sein du réseau de l'aire étudiée.

Tous les tronçons disponibles du réseau, quelque soit leurs caractéristiques, seront pris en compte pour ce calcul afin d'identifier la plus longue portion d'aménagements empruntables.

Ponctuellement, cette continuité pourra faire l'objet d'amendement, c'est-à-dire d'éventuelles interruptions, sans que cela soit considéré comme une réelle discontinuité. Cette discontinuité sera limitée à une longueur déterminée (20 m ou 50 m, suivant) continue et maximale qui pourrait correspondre aux plus grandes intersections de voiries observées au sein du réseau et pouvant justifier une absence de continuité stricte (sans interruption, donc). Plusieurs interruptions pourront être réalisées le long de l'itinéraire étudié tant que les limites établies ne seront pas dépassées pour chaque occurrence.

Chemin le plus long

=

Longueur de l'itinéraire continu maximal au sein du réseau étudié (suivant les critères de continuité vus plus haut)

En plus de cette première métrique, une seconde sera calculée complémentairement : la qualité de cet itinéraire. Cette nouvelle notion permettra d'établir une note globale qui qualifiera l'état du réseau sur lequel le cycliste pourra se déplacer avec les critères de continuité donnés plus haut. Il s'agira de faire la somme des distances de chaque tronçon emprunté, pondéré par sa note (voir partie préparation des

données/transformation des données/ attribution de notes), divisée par la longueur totale du réseau visité.

Qualité du réseau

=

Somme des distances de tous les tronçons pondérés / distance totale des tronçons



5. Etude de réseau

Afin de répondre à la notion de continuité dans le cadre défini précédemment, nous allons essentiellement nous appuyer sur des outils d'analyse de réseau appliqués sur les aménagements cyclables et ainsi calculer les métriques choisies.

En vue de cet objectif, nous passerons en revue quelques-uns des outils disponibles et apparaissant susceptible de répondre à nos besoins afin de sélectionner le plus pertinent. Nous réaliserons ensuite l'analyse proprement dite sur les jeux de données sélectionnés et préparés en amont. Le résultat de ce travail nous permettra alors de déterminer le plus long parcours réalisable au sein des réseaux des aménagements cyclables sélectionnés et enfin calculer les métriques recherchées, liées à la continuité du réseau existant.

5.1. Choix de l'outil

Il existe de nombreux outils d'analyse de réseau, très variés, et pour lesquels la littérature et les articles disponibles sur internet sont nombreux. Ils possèdent parfois des particularités propres, mais dans la très grande majorité des cas ils visent à mesurer le plus court chemin (c'est le cas pour tous les outils étudiés). Ce plus court chemin peut être défini suivant divers critères et vise à établir le chemin le plus court (en fonction des distances), le plus rapide (en fonction des distances et des vitesses) ou encore le plus économiquement viable (en fonction de divers facteurs liés aux coûts du trajet et donc également sa longueur). Il peut être établi entre un point et un ou plusieurs autres points, ou depuis un point et au travers d'un réseau, suivant des critères particuliers (distance maximale ou autre).

Nous avons choisi dans le cadre de notre analyse de nous attacher à l'utilisation du plus court chemin qui nous permettra, ce qui peut paraître paradoxal en première approche, de répondre à la recherche du plus long parcours réalisable au travers du réseau des aménagements cyclables (ce qui nous permettra de mesurer la continuité que nous recherchons). En effet, en définissant une limite haute suffisamment élevée pour la distance maximale parcourable au sein du réseau (caractéristique demandée dans l'ensemble des outils de calcul d'itinéraire), l'outil déterminera tous les sous-réseaux continus constitutifs du réseau étudié, et par là le plus long, c'est-à-dire celui que nous cherchons.

5.1.1. Utilisation des graphes

Une première solution envisageable est de transformer les données liées au réseau (extrémités et lignes) en graphe (nœuds et arcs) afin d'étudier le réseau obtenu. Ainsi, nous essaieront quelques outils de ce type, disponible sur QGis.

- Igraph³⁵:

Il s'agit d'un package disponible sur R pour l'analyse de réseaux. Il dispose notamment d'une extension Python.

³⁵ Communautés, QGIS, R (igraph) et Python: <https://groupefmr.hypotheses.org/2005>

Cet outil sera rapidement écarté car son objectif n'apparaît pas être l'analyse de distance, c'est à dire ce que nous recherchons, mais plutôt l'analyse de communautés via les réseaux qui lient les constituants.

- NetworkX³⁶:

Il s'agit d'une bibliothèque python destinée à l'analyse de graphe. Principalement, cet outil permet de créer des graphes spatiaux.

L'analyse est faite ensuite au travers d'un plug-in quelconque sur QGIS (network analysis, par exemple (développé par Serge Lhomme)).

Cet outil n'a pas pu être exploité par notre équipe. Un problème de configuration ou une difficulté d'intégration ne nous l'ont pas permis. Afin de ne pas perdre de temps dans l'avancée de notre travail, nous avons délibérément choisi de ne pas pousser les investigations plus avant. Cet outil n'a donc pas été mis en œuvre.

- PyGis³⁷:

Il s'agit de scripts python qui permettent d'appeler le module d'analyse de QGis depuis les versions 3.x . Cet outil vise à construire un graphe qui servira ensuite à l'analyse du réseau. Cet outil ne nous a pas semblé pertinent parce que nous pouvons exploiter le module d'analyse directement et plus simplement depuis QGis.

Dans le cadre d'une généralisation ou d'une automatisation des calculs, étape que nous ne réaliserons pas ici, l'emploi de cet outil pourrait être pertinent.

Ainsi, les outils liés à l'emploi de graphs testés n'ont pas paru pertinents, ou n'ont pas pu être mis en œuvre. Nous ferons donc le choix de ne pas les employer dans le cadre de notre projet. Toutefois, nous avons pu noter la possibilité de généralisation que ceux-ci pourraient apporter ultérieurement.

5.1.2. Plug-in d'analyses de réseau

Après ces premiers outils, nous avons étudié deux plug-ins dédiés à l'analyse de réseau, dans l'environnement QGis.

- Networks³⁸

Il s'agit d'un plug-in dédié à l'analyse de réseau reposant sur l'algorithme Djikstra) et offrant de nombreuses fonctionnalités (voir ci-contre) allant de la préparation des données jusqu'à leur analyse.

L'outil repose sur la création de réseaux Musliw : réseaux créés par le Centre d'Etudes Techniques De L'Equipement Nord Picardie (CETE Nord Picardie) à fin d'étude des réseaux dont il a la responsabilité et dont il a permis la libre circulation.

Ainsi, outre, la génération de graphe, le calcul d'accessibilité et le dessin des isochrones, "*MUSLIW permet notamment de calculer les plus courts chemins en temps généralisé dans un réseau multimodal en tenant compte des horaires et du calendrier des services et d'affecter la demande correspondante en choisissant un jour et une heure soit de départ, soit d'arrivée. MUSLIW permet également de tenir compte de temps de pénalités de mouvement tournant ou de temps de correspondance spécifiques définis par l'utilisateur ainsi que des temps de parcours routiers en fonction de l'heure et du calendrier, de l'ouverture à la circulation sur une période restreinte de la journée et/ou à certains jours seulement. MUSLIW est un outil interne au CETE Nord-Picardie. Ses fonctionnalités sont développées au fur et à mesure des besoins de celui-ci et ne sont parfois pas encore complètement mises en œuvre. Pour la maintenance du logiciel, il convient de s'adresser au CETE Nord-Picardie directement.*"³⁹

La prise en main de cet outil est apparue complexe (particulièrement pour la création des réseaux MUSLIW) et plus de temps que celui disponible (au vu des autres tâches à réaliser) serait nécessaire pour l'employer.

³⁶ QGIS et l'analyse de graphe: <https://groupefmr.hypotheses.org/1254>

³⁷ PyQgis et l'analyse réseau: <https://www.champs-libres.coop/blog/post/2019-10-21-pyqgis-analyse-reseau/>

³⁸ Github traitant de l'emploi de Networks / Musliw : <https://github.com/crocovert/networks/>

³⁹ Documentation MUSLIW :

<http://prd59.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/cete-np/c59ouv00124315.pdf>

Ainsi, nous n'avons pas cherché à employer cet outil prioritairement. Toutefois, il semble que son emploi ultérieur puisse être pertinent dans le cadre de l'analyse de réseau, sous réserve d'une appropriation préalable de l'outil.

- QNEAT3⁴⁰: (QGis Network Analysis Toolbox)

QNEAT3 est un outil d'analyse reposant sur le calcul du plus court chemin, avec l'algorithme Dijkstra, et proposant 3 catégories de fonctionnalités : *distance matrices*, *iso-areas* et *routing*.

- "Distance Matrices" : matrices des distances

Ces matrices de distances calculent le coût de déplacement sur le réseau (soit la distance routée, soit le temps routé) entre toutes les combinaisons de points dans une couche. Elles permettent d'obtenir le coût de déplacement sur le réseau sans calculer la géométrie du plus court chemin.

Cette méthode prend en entrée le réseau, les points de départs et les points d'arrivées, ainsi que différents éléments descriptifs du réseau pour calculer le coût total. Le résultat obtenu se présente sous la forme d'une table de lignes représentant tous les couples point de départ/point d'arrivée et leurs coûts associés.

La particularité de cette méthode est de ne pas calculer le coût à l'aide du calcul du plus court chemin. Dès lors, cet outil ne nous a pas paru satisfaisant dans le cadre de notre étude et nous avons choisi de ne pas l'utiliser.

- "Iso-areas" : calcul des aires d'accessibilité (~ buffer de network)

Les iso-zones sont essentiellement la version réseau des tampons. Ils répondent à des questions telles que 'Jusqu'où puis-je aller sur un réseau en parcourant 2500 mètres à partir d'un point de départ donné sur un réseau routier ?'. Plusieurs approches pour calculer les iso-zones sont implémentées.

Le résultat est visuellement intéressant pour l'identification des zones accessibles et chaque méthode proposée apporte sa singularité et son intérêt particulier. Ces différences reposent sur la qualité des données en entrée (couche ou point) et sur la représentation choisie (nuage de points, contour de zones ou polygones).

Afin d'illustrer les résultats obtenus, nous proposons deux exemples, parmi les plus représentatifs.

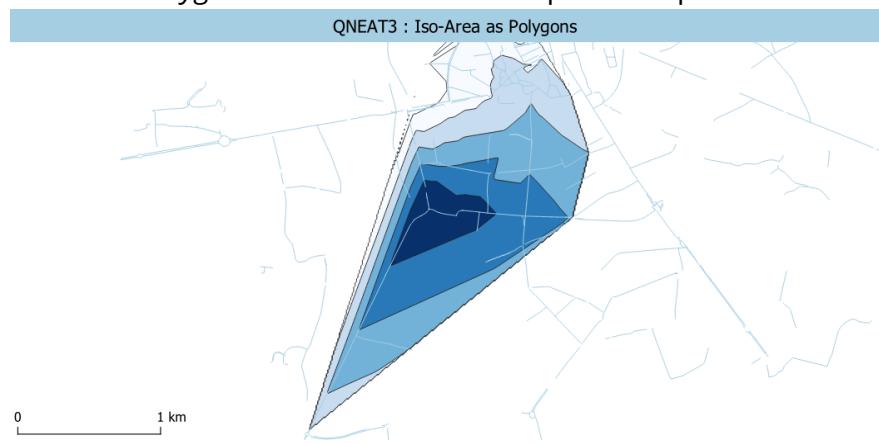
- Exemple 1 : Iso-Area as Pointcloud : points compris dans les iso-zones calculées.

Cet outil identifie les noeuds du réseau atteignables depuis un point ou un fichier de points, suivant plusieurs paramètres. Les principaux paramètres sont la taille de l'iso-area (son rayon), le critère d'optimisation (vitesse ou distance), la vitesse de déplacement ou encore la tolérance liée à la continuité au sein du réseau (quel distance maximale est autorisée entre deux noeuds, sans qu'ils soient connectés au sein dudit réseau).

Le résultat est une couche contenant les noeuds et dont la table attributaire présente la distance entre chaque noeud et le(s) point(s) origine(s), avec la valeur attribuée (distance ou temps de trajet, suivant le paramètre initial choisi).

Cet outil, quoique simple et efficace, ne montre pas d'intérêt dans le cadre de notre travail et nous ne l'utiliserons pas ici. Nous pouvons toutefois aisément identifier des cas d'utilisation directs : identifier les arrêts desservis le long d'un itinéraire de transport en commun, etc.

- Exemple 2 : Iso-Area as Polygons : iso-zones calculées par l'interpolation



⁴⁰ Présentation de QNEAT 3 : <https://root676.github.io/>

Cet outil identifie des buffers correspondant aux emprises accessibles suivant le réseau défini depuis le(s) point(s) de départs identifié(s). Divers paramètres peuvent être adaptés, tels que : la distance maximale d'étude, la taille des intervalles des buffers et plus loin la vitesse de déplacement ou la tolérance aux discontinuités du réseau.

Les iso-zones obtenues permettent d'identifier rapidement les zones atteignables en fonction de la distance (ou le temps) pour y accéder, comme représenté sur la figure ci-dessus.

Cette représentation simple et efficace comporte à notre sens un bémol correspondant aux limites extérieures des polygones obtenus. En effet, afin de réaliser le polygone cherché, l'outil relie arbitrairement les points situés à la distance voulue. Ainsi, plus on s'éloigne de ces points moins la représentation est significative.

Hormis cette remarque, les Iso-Areas représentent une première approche intéressante dans l'analyse de réseau et la simplicité de mise en œuvre en fait un outil aisément utilisable. Malheureusement, cet outil ne nous permettra pas de calculer les métriques visées et nous ne le retiendrons pas.

- Routing : Shortest path algorithms

Cet outil utilise l'algorithme de Dijkstra pour le calcul de la géométrie et des coûts le long du chemin le plus court entre deux points.

A l'identique des autres outils proposés dans le plug-in QNEAT3, cet outil est très simple à mettre en œuvre.

Il suffit d'entrer le shapefile du réseau, de sélectionner un point de départ et un point d'arrivée (sur le panneau de visualisation) et d'indiquer quelques caractéristiques (distance ou temps, vitesse, tolérance, etc.) pour obtenir l'itinéraire le plus court entre ces deux points.

Il est notable de constater que les points de départ et d'arrivée n'ont pas besoin d'appartenir au réseau pour être validé. L'outil cherchera le chemin le plus court pour les relier au réseau et réaliser ensuite le calcul demandé, en incluant les distances hors réseau.

L'emploi de la tolérance topologique présente quelques éléments perturbants dans la recherche du plus court chemin. En effet, l'emploi d'une tolérance dans le réseau ne se traduit pas seulement comme la possibilité de joindre une extrémité de tronçon à une autre qui ne seraient pas connectées en étant séparées d'une distance inférieure à celle tolérée. Ainsi, tout point d'un des tronçons (même intérieur) se situant à une distance d'un autre point d'un autre tronçon inférieure à celle indiquée comme tolérance est valable. L'algorithme choisit alors des itinéraires possibles très éloignés de la réalité et de ce que nous recherchons.

Au regard de cette situation, nous accepterons donc une tolérance maximale de 20 (ou 50) m dans l'exploitation de l'outil afin de limiter des incohérences pouvant être trop forte, tout en se permettant d'occulte certaines particularités de construction (non représentation d'aménagements cyclables dans les carrefours) et les éventuels défauts de construction du réseau (non raccordement de tronçons).

En conclusion, QNEAT3 est un plugin disponible sur QGis et qui présente des fonctionnalités intéressantes dans l'analyse des réseaux. En particulier, l'outil routing apparaît approprié dans le cadre de notre étude. En effet, il nous permettra de déterminer plus grand itinéraire empruntable dans le réseau étudié, en fonction des paramètres choisis (tolérance en particulier). Ce résultat permettra de calculer la métrique que nous recherchons : la continuité au sein du réseau étudié.

A ce stade, cet outil apparaît comme probant et nous permettra d'obtenir la métrique recherchée concernant la continuité.

5.1.3. Outils natifs

Qgis dispose nativement d'une boîte à outils dédiée à l'analyse de réseau dont l'utilisation repose sur l'algorithme de Dijkstra. Cette boîte à outils est composée de 5 outils, répartis au sein de deux familles : "chemin le plus court" et "zone de desserte".

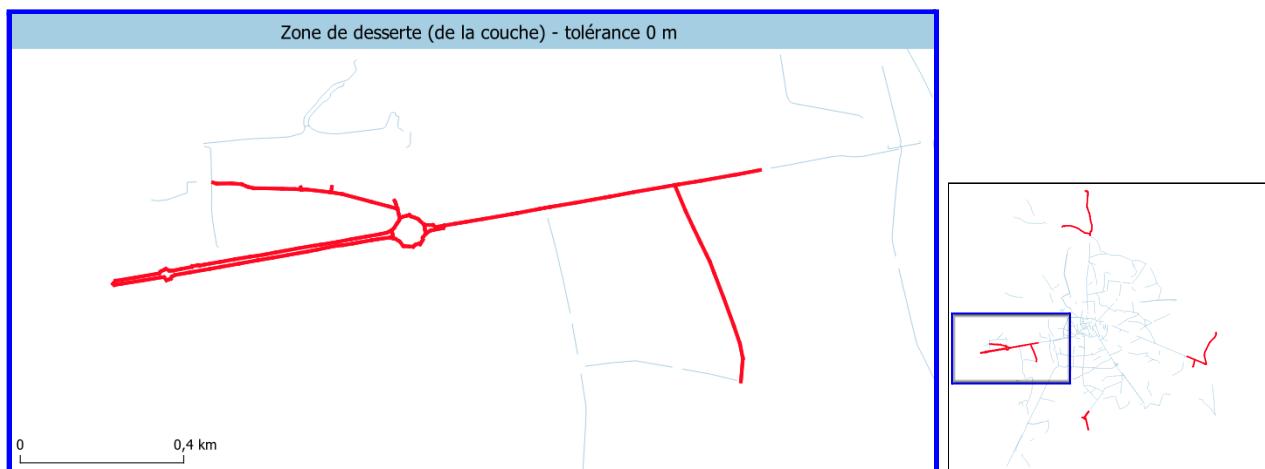
- Zone de desserte :

Les deux outils liés à la zone de desserte sont différenciés par les données en entrée : une couche de points dans la première situation (de la couche) et sélection d'un point du réseau (avec le pointeur) dans la seconde (du point). Nous testerons l'outil "zone de desserte".

- Test 1 de "zone de desserte de la couche" (tolérance topologique = 0) :

- Paramétrage :

- Couche vecteur : shapefile du réseau étudié
 - Type de trajet à calculer : le plus court (évaluation du trajet en fonction de la distance)
 - Couche de départ : shapefile contenant 4 points (fixés arbitrairement et aléatoirement aux 4 points cardinaux et appartenant au réseau étudié)
 - Coût du voyage : distance maximale autorisée (ici 50 km : suffisamment grand pour ne pas limiter la recherche du plus long chemin)
 - Tolérance topologique : 0 m (pas de discontinuité dans le réseau)



Les itinéraires obtenus correspondent parfaitement au réseau : la tolérance topologique égale à 0 m interdisant de s'affranchir des discontinuités.

Ce résultat permet donc d'obtenir une visualisation très précise et conforme aux données disponibles. La table attributaire de ce vecteur contient l'intitulé des points de départs, avec leur coordonnées, et la distance maximale qui peut être parcourue au sein du réseau, aller/retour (on parcourt tout le réseau disponible, jusqu'à revenir au point de départ).

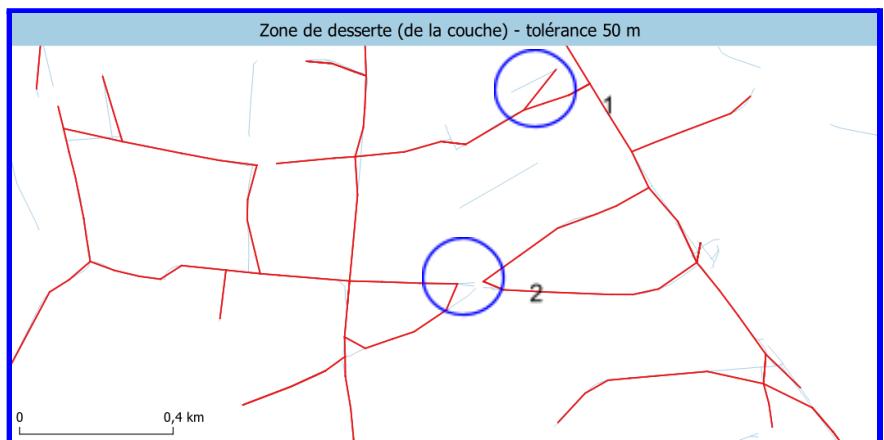
Cet outil permettrait ainsi de répondre en l'état à la recherche de la plus grande longueur pouvant être parcourue au sein du réseau, c'est-à-dire la première métrique de continuité recherchée ([définition de la continuité](#)).

Il permet également de constater qu'il y a un très grand nombre de discontinuités dans le réseau.

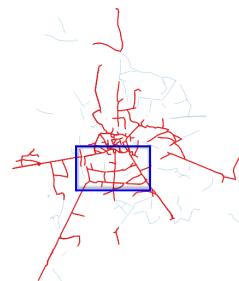
- Test 2 de "zone de desserte de la couche" (tolérance topologique = 50 m) :

- Paramétrage :

- Identique à celui du test 1, sauf :
 - tolérance topologique : 50 m



exemple de Bourg-en-Bresse, (zoom à gauche) tolérance = 50 m



Le résultat est globalement satisfaisant et correspond assez bien au résultat que l'on attendrait : les itinéraires alors obtenus semblent bien identifier les chemins parcourables au sein du réseau étudié. Toutefois, ce résultat n'est pas tout à fait satisfaisant. En effet, l'extrait proposé (figure ???) permet d'identifier quelques points d'attention :

- 1 : une portion de l'itinéraire généré relie un tronçon déconnecté et suivant un tronçon de plus de 50 (supérieur à la tolérance indiquée).
- 2 : deux tronçons de l'itinéraire distant de moins de 50 m ne sont pas reliés, alors qu'ils devraient l'être d'après la tolérance fixée.

Le calcul de l'itinéraire en appliquant une certaine tolérance perturbe donc le résultat obtenu et ce choix revêt donc une importance particulière dans la recherche de l'itinéraire le plus court.

Plus loin, il est nécessaire de prendre conscience que les obstacles ayant pu conduire aux extrémités de pistes ne sont pas ici pris en compte. S'il s'agissait d'une extrémité infranchissable (fleuve, à-pic, autoroute, etc.) le calculateur s'en affranchirait, d'où une analyse erronée possible au niveau de "sauts de discontinuité".

- Chemin le plus court :

Ces outils permettent de déterminer le plus court chemin entre un point et une couche de points ou entre deux points, suivant un réseau, et avec les mêmes paramètres associés que pour les zones de dessertes.

Ces outils étant relativement proches, nous étudierons seulement 3 cas afin d'en déterminer la sagacité.

- Chemin le plus court, de la couche vers le point (tolérance topologique = 0 m) :
 - Couche vecteur du réseau : shapefile du réseau étudié
 - Type de trajet : le plus court (évaluation de la distance au sein du réseau)
 - Couche de départ : shapefile contenant 4 points (fixés arbitrairement et aléatoirement aux 4 points cardinaux et appartenant au réseau étudié)
 - Point d'arrivée : sélection d'un point au sein du réseau
 - Tolérance topologique : 0 m

L'utilisation de cet outil permet d'obtenir l'itinéraire le plus court suivant le réseau donné en entrée et les points de départ vers un point d'arrivée. En cas d'itinéraire inexistant, l'outil ne renvoie rien, sinon il renvoie une couche correspondant au trajet le plus rapide entre le(s) point(s) de départ et le point d'arrivée. Si le point d'arrivée n'est pas sur le réseau, le trajet obtenu s'arrête au plus près de celui-ci, sur un tronçon du réseau (la distance entre le tronçon et le point d'arrivée n'est pas prise en compte dans le calcul de la longueur totale).

La distance obtenue correspond à celle du point de départ vers le point d'arrivée, suivant le réseau.

- Chemin le plus court, de la couche vers le point (tolérance topologique = 50 m) :
 - Paramètres identiques au test précédent à l'exception de la tolérance topologique
 - Tolérance topologique : 50 m

Chemin le plus court - tolérance 50 m



S'appuyant sur le réseau, l'outil établit un itinéraire reliant le point (les points, le cas échéant) de départ à celui d'arrivée en s'affranchissant d'éventuels discontinuités, qui seraient inférieures à la tolérance topologique choisie (figure ci-dessus).

Toutefois, nous pouvons émettre les mêmes remarques que celles du second test de l'outil zone de desserte : le réseau n'est pas suivi très précisément et il est difficile de s'assurer que les « sauts » réalisés au sein de l'itinéraire obtenu puissent être possibles dans la réalité ou pertinents.

- Chemin le plus court, de point à point (tolérance topologique = 0 m) :
 - Couche vecteur du réseau : shapefile du réseau étudié
 - Type de trajet : le plus court (évaluation de la distance au sein du réseau)
 - Point de départ : sélection d'un point au sein du réseau
 - Point d'arrivée : sélection d'un point au sein du réseau
 - Tolérance topologique : 0 m

Le résultat obtenu est identique à celui des autres outils du chemin le plus court. La différence réside dans la sélection des points qui doivent être tous deux (départ et arrivée) sélectionnés manuellement. L'ajoute d'une tolérance topologique permet de retrouver encore les mêmes résultats et les mêmes remarques que précédemment.

5.1.4. Choix réalisé

Nous avons pu constater que de nombreux outils permettent d'effectuer des analyses de réseaux et lors de nos recherches d'autres outils encore ont pu être recensés : Hqgis plugin (HERE), ORS Tools plugin (openrouteservice.org) ou TravelTime platform plugin (TravelTime platform)⁴¹. Parmi les différentes approches existantes, nous retiendrons principalement l'emploi des graphes (liés à la théorie des graphes) et l'utilisation de l'algorithme de Dijkstra.

Les outils requérant la théorie des graphes sont souvent plus difficiles à mettre en œuvre, notamment en ce qui concerne la préparation des données. Tandis que les outils disponibles nativement ou via des plugins dans QGis sont plus aisés à utiliser. De plus, ces outils disponibles dans QGis sont fluides et efficaces. Ainsi, notre choix se portera naturellement vers ceux-ci, eu égard à ces remarques issues de nos tests et en prenant en compte nos compétences préalables et le temps disponible pour l'assimilation de ces nouveaux outils.

⁴¹ Anita Graser aka Underdark : <https://anitagraser.com/2019/07/07/five-qgis-network-analysis-toolboxes-for-routing-and-isochrones/>

Au sein de la boîte à outils d'analyse de réseau, l'outil "zone de desserte (de la couche)" nous a permis d'acquérir aisément et efficacement un résultat qui nous permettra d'obtenir la métrique désirée concernant la continuité. En effet, cet outil permet d'obtenir la distance parcourable au sein d'un réseau en entrée, depuis n'importe quel noeud de celui-ci, et donc la plus grande, c'est-à-dire ce que nous cherchons.

En conclusion, à l'issue de cette phase exploratoire, nous ferons donc le choix d'utiliser l'outil "zone de desserte (zone de la couche)", afin d'obtenir les données nécessaires au calcul des métriques désirées liées à la continuité.



5.2. Métriques réalisées

5.2.1. Chemin le plus long

En vue d'effectuer la recherche du plus long chemin au sein du réseau (métrique 1), il faut préalablement préparer une couche de noeuds contenant seulement les extrémités des tronçons du réseau. En effet, les points de construction intermédiaires sont inutiles lors de cette étape et complexiferaient le calcul du plus long chemin.

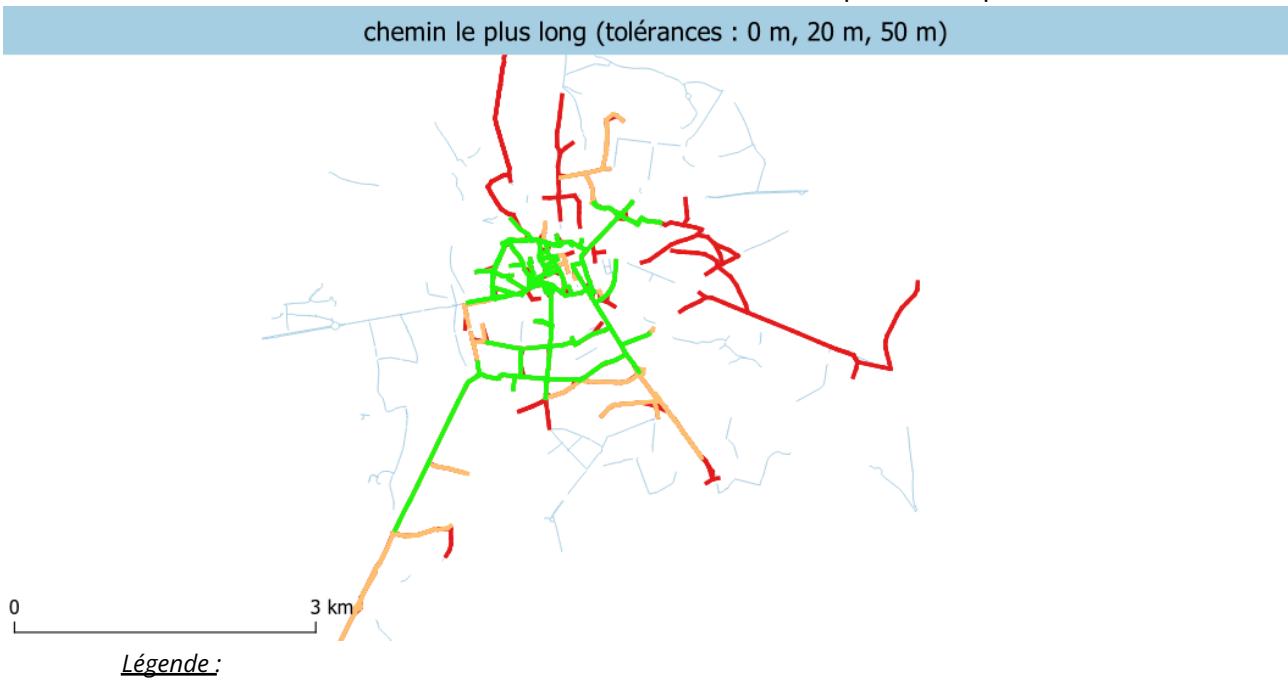
Pour cette étape, nous utilisons l'outil "créer graphe" de la boîte à outil "Networks/Réseau" pour obtenir une couche des noeuds du réseau simplifiée.

La couche ayant été créée, nous pouvons l'utiliser à travers l'outil "Zone de desserte (de la couche)" de la boîte à outils "Analyse de réseau".

En résulte alors une table contenant tous les itinéraires réalisables au sein du réseau, depuis chaque noeud, vers chaque noeud atteignable en suivant le réseau donné en entrée. Il est nécessaire ensuite de créer un attribut supplémentaire correspondant à la longueur de chaque tronçon. Ensuite, nous sélectionnons parmi cette table le parcours le plus long qui correspond donc à la longueur maximale parcourable au sein du réseau, c'est-à-dire notre métrique 1.

Nous pouvons réitérer l'expérience avec des tolérances différentes afin de prendre en compte une potentielle discontinuité qui correspond toutefois aux spécifications que nous aurons fixées : 20m puis 50 m.

Ci-dessous, le résultat obtenu avec des tolérances de 0, 20 et 50 m pour le département de l'Ain.



- vert : 00 m de tolérance (~ 15 km)
- jaune : 20 m de tolérance (~ 30 km)
- rouge : 50 m de tolérance (~ 45 km)

Sans réelle surprise, le chemin le plus long dans le département de l'Ain appartient à l'agglomération burgienne (de Bourg-en-Bresse).

On notera également que la tolérance choisie apporte des différences très importantes pour l'établissement de ce plus long chemin, avec une ampleur tout à fait remarquable : du simple au double, puis au triple.

Le processus choisi nous permet ainsi de déterminer le tronçon le plus long du réseau étudié ainsi que sa longueur : la première métrique recherchée : le CPL (Chemin le Plus Long).

CPL (Ain) = 19.425 km

CPL (Essonne) = 28.475 km

Plus loin, nous pouvons également ramener cette métrique à la longueur totale du réseau et établir une nouvelle métrique liée à la continuité du réseau des aménagements cyclables : nous la noterons QAC1 (Qualité des Aménagements Cyclables 1)

QAC1 (Ain) = 4,1 %

QAC1 (Essonne) = 2,76 %

Ces métriques ont été calculées pour les départements tests de l'Ain et de l'Essonne, en appliquant certaines tolérances (0 m, 20 m, 50 m). Les résultats sont inscrits dans le tableau ci-après.

département	tolérance	CPL	Longueur totale réseau	QAC1
Ain	0 m	19.425 km	473.066 km	4.10 %
Ain	20 m	30.515 km	473.066 km	6.45 %
Ain	50 m	46.585 km	473.066 km	9.85 %
Essonne	0 m	28.475 km	1032.377 km	2.76 %
Essonne	20 m	89.056 km	1032.377 km	8.63 %
Essonne	50 m	95.66 km	1032.377 km	9.27 %

Après l'obtention de ces métriques, nous pouvons constater que les aménagements cyclables présentent une continuité assez faible. En effet, avec une tolérance maximale (50 m) et les incertitudes liées, nous ne parvenons pas à obtenir une portion continue du réseau des aménagements cyclables supérieure à 10 % du réseau total étudié. Nous dépassons à peine 4% avec une tolérance de 0 m, c'est-à-dire la situation décrite par les vecteurs disponibles.

Ainsi, les réseaux à l'échelle départementale s'apparente plus à une somme de réseaux locaux (et de portions éparses) et ne montrent pas de cohérence globale. Cette situation nous amène à penser que la politique de gestion de ces aménagements est donc majoritairement réalisée au niveau des communes.

Nous rappellerons, à nouveau, encore que les incertitudes liées à la nature des petites discontinuités observées au sein du réseau (franchissement réel possible de ces discontinuités) et les "sauts" réalisés par l'outil utilisé (parfois au travers du bâti) doivent être prises en compte et amène à minorer la qualité du calcul du plus court chemin en acceptant une tolérance. La résolution de cette problématique a fait l'objet de nombreuses recherches de solution, mais nous n'avons pu aboutir, dans l'état actuel de notre travail. Nous supposons que la résolution de cette difficulté pourrait représenter à elle seule un futur sujet de projet.

5.2.2. Combien de portions de réseau

La table obtenue lors des opérations exécutées pour la recherche du plus long chemin va permettre, par ailleurs, d'identifier les différents tronçons constituant le réseau. De là, nous pouvons établir le nombre de sous-réseaux continus qui constituent le réseau global : c'est-à-dire les différentes portions constitutives du réseau.

A partir de l'exemple de l'Ain vu dans le paragraphe précédent ([5.2.2](#)) nous parvenons ainsi à identifier 680 portions continues dans le réseau des aménagements cyclables, variant de 19,425 km à 1.5 m, lorsque nous appliquons une tolérance de 0 m.

Ces chiffres ont été calculés pour les départements tests de l'Ain et de l'Essonne, en appliquant certaines tolérances (0 m, 20 m, 50 m). Les résultats sont inscrits dans le tableau ci-après.

département	tolérance	Nombre portions	Plus long	Plus court
Ain	0 m	680	19.425 km	1.5 m
Ain	20 m	530	30.515 km	210 m
Ain	50 m	407	46.585 km	50 m
Essonne	0 m	1530	28.475 km	0.4 m
Essonne	20 m	1013	89.056 km	20.9 m
Essonne	50 m	502	95.66 km	50 m

L'application d'une tolérance plus grande (i.e. on accepte des bonds plus importants entre les différentes entités) permet logiquement de réduire le nombre de tronçons constitutifs du réseau étudié. Une tolérance de 50 permet ainsi de réduire par près de 3 le nombre de tronçons total.

Toutefois, ces résultats mettent encore en avant la discontinuité des réseaux étudiés. En effet, quoique la forte densité d'aménagements cyclables permettent d'obtenir une continuité locale assez forte, nous constatons qu'il y a de nombreux tronçons épars et ainsi non reliés au sein d'un réseau global.

Cette observation nous pousse à consolider nos premières impressions, émises lors du calcul des CPL et QAC1, selon lesquelles les aménagements cyclables sont plus largement le fruit de politique locale, à l'échelle des communes. Le niveau départemental n'apparaît pas prépondérant quant à l'établissement des aménagements cyclables et ne permet pas d'obtenir une cohérence globale.

5.2.3. Qualité du réseau

En utilisant le tableau de pondération des aménagements cyclables établis plus tôt ([2.2.5 Qualification des données / attribution de notes](#)), nous pouvons attribuer une note établissant la qualité moyenne du réseau des aménagements cyclables étudié, qui correspond à une nouvelle métrique visée dans le cadre de notre étude. Nous la noterons QAC2 (Qualité des Aménagements Cyclables 2).

Les résultats obtenus sont les suivants :

- Pour l'Ain :

longueur totale	poids total	QAC2
472,429	3650,389	7,73

- Pour l'Essonne :

longueur totale	poids total	QAC2
1032,356	7533,609	7,30

Ces résultats nous permettent de constater que la qualité moyenne des aménagements cyclables est plutôt satisfaisante et que ceux-ci sont majoritairement constitués de pistes cyclables, voies vertes et âmes mixtes hors voies vertes.

Toutefois, lors du calcul de cette métrique, nous avons constaté que la qualité des données utilisées lors de l'étude était très perfectible. En effet, malgré les 12 types d'aménagements cyclables distincts, presque 10 % de ceux-ci sont classés dans autre. Ceci laisse à penser que la qualité de création et de mise à jour des données concernant les aménagements cyclables devrait encore être améliorée afin de permettre de mieux les qualifier et ainsi permettre aux usagers de mieux connaître les réseaux décrits.



6. Conclusions

6.1. Conclusions techniques

Cette étude a été une opportunité formidable de mettre en œuvre une large panel d'outils liés aux données géographiques et leur analyse, pour la plupart découverts ou approfondis durant la formation reçue cette année. De plus, elle a permis de conduire un projet de bout en bout et se confronter, à nouveau, aux impédimentas liés.

6.2. La dynamique des sources de données

Le domaine du déplacement à vélo et plus précisément des aménagements cyclables est dynamique. Il s'est construit, en France, autour de l'OpenData, avec de nombreuses entités, et surtout deux leaders (Vélo et Territoires et Géovélo) et un service de l'état (les animateurs du site transport.data.gouv.fr). Notre choix de sources a ainsi été principalement déterminé par la dynamique existante. Ce choix a guidé notre processus (ETL) et le type de données analysées (VGI).

Nous avons suivi deux démarches principales: d'une part l'extraction de métriques générales et la proposition d'une pondération des aménagements, et d'autre part, une démarche plus géomatique d'analyse de la continuité d'un réseau.

Magrit aurait écrit: "Ceci n'est pas une piste cyclable !"

Derrière le terme "Aménagement Cyclable" se cachent une multitude de configurations, d'interprétations ou d'usages. L'interprétation prête à confusion, voire parfois à la manipulation. Quand un maire veut améliorer son bilan, un trait de peinture sur le sol lui permet, tel un coup de baguette magique, de démultiplier son score de linéaire cyclable. Pourtant la sécurité d'un contresens cyclable n'a pas de rapport avec celle d'une piste cyclable indépendante. C'est ce qui nous a amené à proposer une pondération des aménagements, ainsi qu'une métrique de qualité globale du réseau cyclable étudié.

6.3. Quelle continuité, quelle limite

Au-delà de la longueur des linéaires cyclables, c'est le concept de continuité qui permet de rassurer ceux qui vont adopter le vélo comme moyen de déplacement. Il faut d'ailleurs noter la différence entre l'utilisation du vélo en temps que sport (les cyclistes en lycra, de par leur déplacement en groupe, restent sur la route et ne s'intéressent pas aux aménagements cyclables) et le vélo comme mode de déplacement éco responsable (et ceci à plusieurs niveaux).

Au bilan, nous considérons que la continuité des aménagements cyclables est peu satisfaisante : il est difficile, au moins, d'espérer se déplacer au sein d'un réseau global sur le territoire. Celui-ci n'est au mieux qu'un agglomérat de multiples portions de tailles et qualités variables. Cette situation est le résultat de politiques erratiques, transcription pour les aménagements cyclables du fameux "milles-feuilles" administratif français, dont les caractéristiques ne sont plus à décrire.

Par ailleurs, quoique la qualité moyenne puisse satisfaire à première vue, il est utile de rappeler qu'il s'agit d'une moyenne. Ainsi les efforts des uns sont justes suffisants pour pallier les manques des autres et la volonté de créer un réseau de qualité doit être poursuivie.

Enfin, il est également nécessaire de pointer du doigt la qualité des données décrivant ces aménagements cyclables. Il apparaît nécessaire de poursuivre les efforts de vectorisation (qualité et quantité) de ces données. En particulier, la possibilité pour les porteurs de projet de pouvoir intégrer leur réseau créé ou mis à jour à la banque nationale de données concernée semble une option simple et efficace pour améliorer la qualité de l'existant. Cela limiterait les intermédiaires ou une vectorisation par un tiers non spécialiste ou partisan.

Optons toutefois pour l'optimisme et souhaitons que les nouvelles politiques de mobilité et d'environnement françaises (amplifiées par la situation géopolitique actuelle) atteindront leurs ambitions et participeront de la création d'un réseau d'aménagements cyclables français équivalents à ceux que nous pouvons observer dans les autres pays européens (notamment le Nord de l'Europe).

6.4. Quelle continuité, quelle limite

Les diverses contraintes rencontrées durant la réalisation de cette étude ne nous ont pas permis de réaliser tout ce qui avait été initialement espéré. Il serait ainsi satisfaisant de pouvoir approfondir l'emploi de tout ou partie des outils identifiés pour l'analyse de réseau.

De plus, il serait pertinent de généraliser cette étude à tout le territoire français (à plusieurs échelles : communale, départementale, régionales et nationale). De même, plusieurs autres facteurs d'influence n'ont pas été pris en compte et mériteraient d'être étudiés (par exemple : les surfaces industrielles, les terres agricoles, le réseau routier, etc.).



Annexes

L'ensemble des annexes est disponible sous la forme d'un repository git sous GitHub:

https://github.com/pascalpvk/BIKE_DeSIGeo

Les principaux documents disponibles sont listés dans le README du repository.

Bookmakographie du projet:

<https://raindrop.io/PascalVuylsteker/projet-pistes-cyclables-bike-21436758>