



POLYTECH[®]
TOURS

Département
Aménagement et Environnement



Ecole d'ingénieurs
polytechnique
de l'université de Tours

CITERES
UMR 6173
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement, Paysage,
Environnement

Projet de Fin d'Etudes

Transports : Impacts d'une 2ème ligne de tramway à Tours sur les flux



2016-2017

S9

Baptiste Hervé

DEBAETS Kévin LARRIVEE Arnaud

Transports : Impacts d'une 2ème ligne de tramway à Tours sur les flux

Baptiste Hervé

**Kévin Debaets
Arnaud Larrivée**

2016

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

Les auteurs de cette recherche ont signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ETUDES EN GENIE DE L'AMENAGEMENT

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenions à remercier Monsieur Baptiste, notre tuteur, pour son aide et ses conseils.

Nous voulions également remercier l'ensemble du corps enseignant de l'option RESEAU, Monsieur Serrhini et Monsieur Maizia pour leur disponibilité et leur bienveillance à notre égard.

Enfin, nous souhaitons adresser nos remerciements à nos proches pour leur soutien durant toute la durée de notre projet de fin d'études.

SOMMAIRE

Avertissement.....	6
Formation par la recherche et projet de fin d'études.....	8
Remerciements.....	10
1 Introduction	14
2 Définition du tracé	17
2.1 Phase préliminaire	17
2.2 La ligne A2 PAPOTERIE – Verdun	18
2.3 Ligne B Est-Ouest	19
3 Méthodologie.....	20
3.1 Quelques éléments d'introduction.....	20
3.1.1 Qu'est-ce qu'un flux ?.....	20
3.1.2 Qu'est-ce qu'un modèle gravitaire ?	21
3.1.3 Démarche suivie	22
3.2 Détermination des flux générés par la nouvelle infrastructure	22
3.2.1 Le modèle de Huff.....	23
3.2.2 Établissement des données	25
1. Le réseau	25
2. Le poids d'attraction.....	25
3. Le nombre d'habitants à moins de 5 min de chaque arrêt.....	26
4. La distance séparant chaque arrêt l'un de l'autre	28
5. Résumé des données.....	28
3.3 Détermination de la capacité des lignes A2 et B.....	30
3.3.1 Etablissement des données :	34
3.4 Détermination de la capacité/charges sur les arcs du réseau.....	34
3.5 Nos hypothèses.....	38
4 Résultats et analyse.....	39
4.1 Quelles conséquences nos hypothèses ont-elles engendré sur notre matrice des flux ?.....	40
4.2 Quelle flotte et fréquence de passage doit être offerte aux usagers ?	41
4.2.1 Capacité des deux lignes	41
4.2.1.1 Ligne A2	41
4.2.2 Ligne B.....	42
4.3 Quelles charges sont affectées à notre réseau et quels sont les impacts de l'arrivée des lignes A2 et B ?.....	43
5 Conclusion.....	47
Bibliographie	48

1 Introduction

Les transports occupent, aujourd’hui, une place importante à la fois dans l’espace urbain mais également dans le temps urbain. Les transports urbains concernent l’ensemble des moyens de transport inhérents à un milieu urbain et adaptés à celui-ci. Cependant, il n’est pas rare qu’ils soient confondus avec la terminologie « transports en commun ». En effet, lorsque l’on évoque les transports urbains, nous englobons les transports collectifs ainsi que les transports individuels comme la voiture par exemple. Dans un contexte démographique et géographique souvent contraint, les politiques urbaines en matière de mobilité doivent s’adapter au cadre et à la pression urbaine. La gestion et l’exploitation des différents modes de transport doivent aussi s’accommoder de la pression citadine. Le choix du mode de transport s’avère donc un choix crucial. Celui-ci dépend principalement du nombre de clients potentiels mais pas uniquement. La vitesse commerciale et/ou le confort souhaité, l’environnement proche ou plus simplement le coût financier sont autant de facteurs qui privilégient tel ou tel moyen de transport au détriment des autres. Parmi toutes les formes existantes de transport en commun urbain ou interurbain, le tramway est le mode de déplacement motorisé consommant le moins d’énergie par kilomètre et par personne. En capacité, il est équivalent à 3 bus et 177 automobiles¹. De plus, la vitesse commerciale du tramway est plus élevée en ville que ne l’est celle de la voiture. Sa consommation par passager peut-être 15 fois moindre que celle d’une voiture.

L'une des principales causes du réchauffement climatique réside en l'émission de gaz à effet de serre, en particulier le CO₂. De nombreux secteurs d'activité sont concernés. Les transports le sont d'autant plus compte-tenu du fait qu'ils restent, aujourd'hui encore, le premier secteur émetteur de gaz à effet de serre selon les chiffres fournis par le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. Ils seraient responsables de 27,8% des émissions françaises, le transport routier étant à l'origine de 92% de ces émissions (57% de ces dernières sont dues à l'usage des véhicules particuliers). 16% des émissions de gaz à effet de serre en France résultent donc de l'usage de la voiture personnelle. Pour y remédier, l'objectif de l'Union Européenne est de promouvoir une politique de transports écologiquement viable et durable². En intervenant notamment sur la fiscalité et le cadre juridique relatif aux transports, elle vise à encourager l'utilisation de modes de transport respectueux de l'environnement. Pour cela, l'Union Européenne incite la création d'infrastructures de transport en commun. C'est dans ce contexte que s'inscrivent les nouvelles politiques de transport urbain. Tours a bénéficié de ces aides pour la création de sa première ligne de tramway. Le financement de cette infrastructure a ainsi été fourni par l'Europe, l'Etat (via le Grenelle de l'environnement), la région, la taxe versement transport et un emprunt.

Malgré les efforts accomplis par l'ensemble des réseaux de transport urbain et notamment celui de Tours, la voiture jouit encore d'une image positive auprès des citoyens (liberté, confort, flexibilité). Toutefois, la voiture, autrefois reine dans la ville de Tours, a subi la politique du transport urbain mené par Jean Germain, maire de Tours de 1995 à 2014. A son arrivée Jean Germain a déjà en tête l'idée d'un tramway. Il pense, à l'instar de certains adjoints, que le réseau urbain doit changer d'image et de priorités. Selon lui, les autobus doivent évoluer dans des sites « propres » où la fluidité

¹ <http://padambus.com/titre/complementarite-entre-voiture-et-transports-en-commun/>

² Le conseil européen de Göteborg a adopté en 2001 une stratégie de développement durable européenne dont l'objectif était d'améliorer la qualité de l'environnement, de renforcer la cohésion sociale et de faire évoluer la croissance économique. Parmi les thèmes prioritaires, figurait celui de la mobilité et des transports. Cette stratégie est applicable à tous les pays d'Europe de l'Union. *Kévin Debussche*, *L'actualité de l'environnement/transports/transport durable*, consulté le 18.11.2016]

du trafic sera optimale. Dès lors, l'agglomération se lance dans un véritable projet urbain : transport en commun en site propre (TCSP), bus à haut niveau de service (BHNS), parking-relais, voies cyclables, etc. En somme, les élus donnent la part belle aux modes doux pour faire face à la montée en puissance de la voiture dans les villes. La création de la première ligne de bus en site propre a lieu en 1997. Les voies réservées pour autobus se sont alors multipliées. Lesquels autobus sont de plus en plus confortables, ponctuels et moins polluants. Des parkings-relais ont surgi pour donner aux citadins la possibilité de relier le centre-ville sans leur voiture. Des pistes cyclables et un service de location de vélo « vélociti » sont créés. La rue Nationale passe en site propre dès 1999. Les voitures y sont interdites.

Dans la continuité des actions engagées depuis 2003, le Plan de Déplacements Urbains (PDU) de 2013 poursuit l'encouragement à l'évolution des pratiques de mobilité. L'usage de la voiture domine encore à Tours (55% de répartition modale des déplacements en 2008), notamment sur les trajets de courtes distances, ce qui laisse la possibilité aux modes alternatifs une progression intéressante. C'est pourquoi les actions publiques doivent poursuivre les actions en faveur des modes alternatifs à la voiture individuelle. L'objectif que s'est ainsi fixé la mairie de Tours est de réduire à 47% l'usage de la voiture d'ici 2023³.

« Il y aura, bien sûr, une seconde ligne de tramway, mais le choix du parcours n'est pas simple car les études en faveur de tel ou tel tracé ne sont pas convaincantes. C'est nettement moins évident que le cas de la ligne 1 avec son axe nord-sud », Jean Germain, maire de Tours.

De nombreuses réflexions ont été engagées par les élus depuis quelques années maintenant sur le développement à terme du transport en commun dans l'agglomération tourangelle. En 2013, la plupart des maires de l'agglomération et le SITCAT s'accordaient sur l'urgence d'attendre avant de s'engager sur la création d'une seconde ligne de tramway. En effet, 2013 est l'année durant laquelle, le nouveau Plan de déplacements urbains (PDU) se finalisait. Dans le même temps, le Schéma de cohérence territoriale (SCOT) était en révision. De plus, il convenait d'attendre la mise en marche de la première ligne pour en tirer des enseignements (fiabilité technique, fréquentation, phasage avec les bus, efficacité des P+R, perception par les usagers, etc.). Autre frein à la création de cette deuxième ligne de tramway, son coût, même si ce dernier sera logiquement inférieur à celui qui avait été engagé pour la première ligne (centre de maintenance existant). Les conditions de financement ne sont plus aussi favorables qu'à l'occasion de l'établissement de la première ligne. Quid des aides de l'Etat et de l'Europe ?

Ces tractations n'empêchent toutefois pas de réfléchir, dès à présent, sur le tracé de cette seconde ligne sachant qu'il n'est pas aisé de définir précisément le parcours d'un tramway. D'ailleurs, avant même la mise en service de la première ligne à Tours, les premières bases de réflexion concernant la mise en place d'une deuxième ligne commencent à émerger au sein des élus communautaires. Les maires des communes, potentiellement concernés par la nouvelle ligne, n'hésitent pas à défendre fermement les intérêts de leurs communes. Cependant, tous les décideurs s'accordent sur l'obligation de desservir des lieux denses et des équipements importants. Mais plusieurs questions subsistent :

- Faut-il privilégier un axe est-ouest ?

³ L'objectif 2023 est fixé sur la délimitation du Périmètre de Transports Urbains de 2012 (25 communes).

- Faut-il passer par Saint-Pierre-des-Corps pour créer une intermodalité supplémentaire avec la gare ?
- Faut-il que la ligne poursuive son parcours vers le sud de l'agglomération ?
- Faut-il desservir l'hôpital Trousseau, un équipement au très fort potentiel en termes de voyageurs ?
- Pourrait-on desservir le pôle universitaire de Grandmont ?

Toutes ces interrogations sont d'autant plus délicates que le choix du tracé imposera de déterminer le passage par telle ou telle commune. Or, les élus ont bien conscience que le tramway représente un plus non négligeable d'un point de vue politique, économique, urbanistique et social.

De nombreuses villes dont la population de l'aire urbaine dépasse les 340 000 habitants comme Orléans, Le Mans, Angers sont déjà dotées d'une deuxième ligne de tramway. Tours est l'une des dernières villes en France de cette taille à ne pas être équiper de la sorte. L'objectif de ce projet de recherche n'étant pas de définir le tracé idéal, nous avons convenu d'étudier le tracé de la seconde ligne de tramway proposé par l'ADTT, l'Association pour le Développement du Transport collectif en Touraine. Pour cela, nous nous sommes fixés comme objectif de répondre à la problématique suivante :

- Quels pourraient être les impacts en termes de flux sur le réseau de transport en commun de la ville de Tours si une deuxième ligne de tramway était créée ?

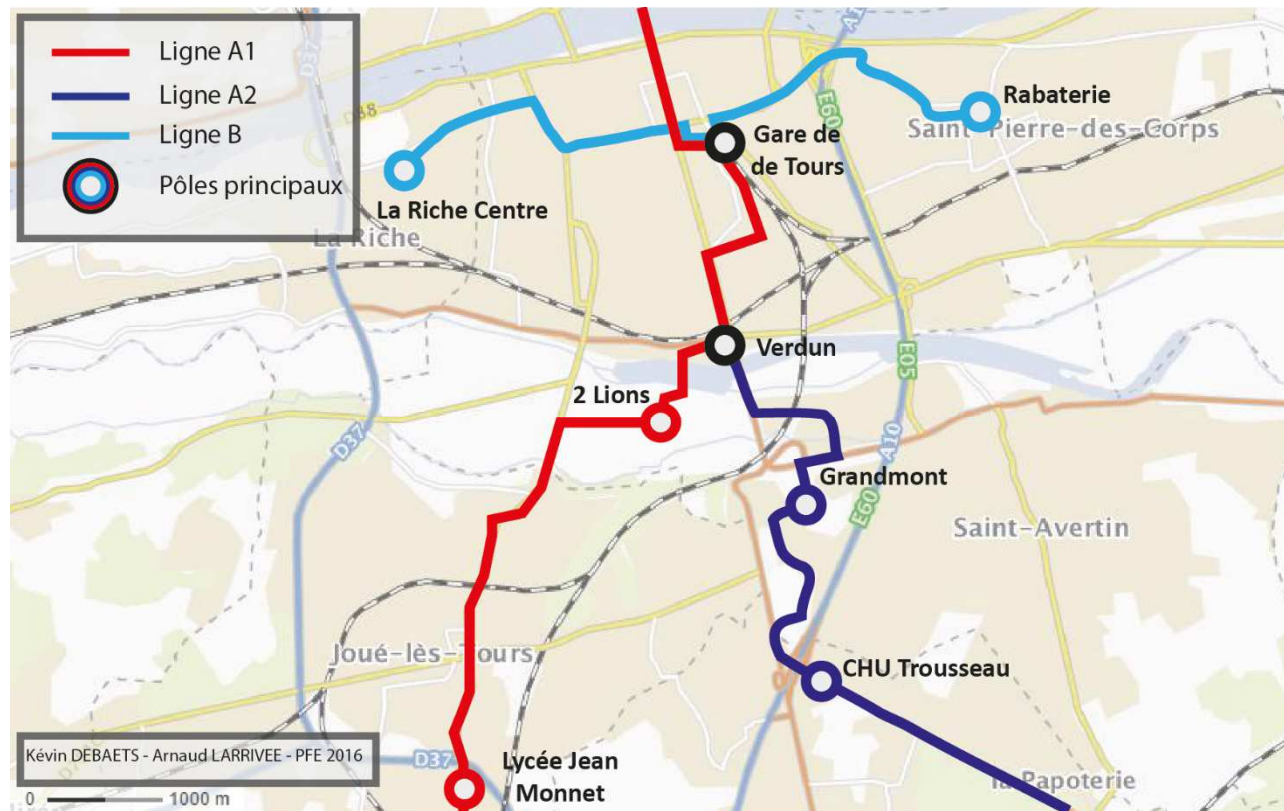
Ainsi, nous présenterons, dans une première partie, les propositions soumises par l'ADTT pour le développement du réseau de transport en commun de l'agglomération tourangelle, Fil Bleu, ainsi que la méthodologie employée tout au long de notre projet de recherche. Dans un second temps, nous exposerons les résultats de nos analyses et commenterons ces derniers ainsi que le choix du tracé proposé par l'ADTT.

2 Définition du tracé

2.1 Phase préliminaire

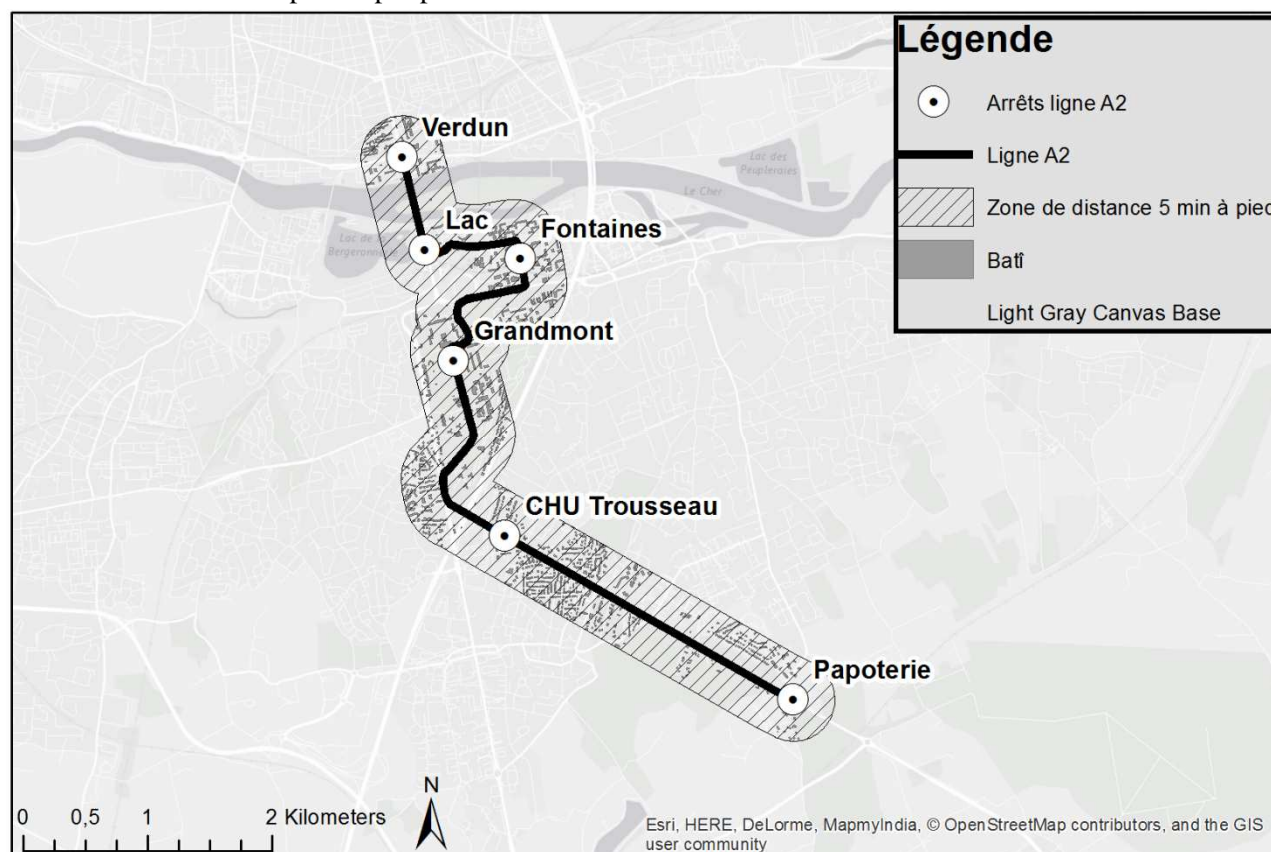
Afin de déterminer le tracé que nous allons par la suite utiliser pour étudier l'impact sur les flux lors de la mise en service d'une nouvelle ligne de tramway, nous avons fait appel à différentes sources. Dans un premier temps, nous avons esquissé nous-mêmes, le tracé qui nous paraissait le plus approprié et qui desservirait les pôles attracteurs et générateurs de flux principaux. Par la suite, une recherche bibliographique pointilleuse a été effectuée, notamment à l'aide de la presse écrite (le quotidien « La Nouvelle République » notamment) qui est une source d'information non négligeable. En effet, celle-ci permet de relayer le discours des pouvoirs publics locaux (dans notre cas : Tour(s) Plus) ayant la compétence transports. De plus, nous avons eu en notre possession, une lettre d'information de l'ADTT (Association pour le Développement du Transport Collectif en Touraine). Cette dernière était consacrée à la suggestion d'un nouveau plan de transports en commun avec notamment, le tracé d'une nouvelle ligne de tramway. Etant donné la légitimité de l'association qui œuvre depuis 20 ans pour favoriser les transports en commun en ville, nous avons fait le choix de nous appuyer fortement sur leurs recommandations.

Après avoir étudié les différentes sources disponibles, voici le réseau qui a été déterminé. Il est composé de deux nouvelles lignes (A2, B) qui répondent aux différentes interrogations émises lors de l'introduction de ce projet de recherche. La première ligne assure la liaison entre le CHU Trousseau et le pôle multimodal de Verdun. Ces deux pôles génèrent un très fort potentiel en termes de voyageurs. La seconde traverse, quant à elle, d'est en ouest le territoire communautaire, en connectant le quartier de la Rabaterie et le centre-ville de Saint-Pierre-des-Corps avec le centre-ville de la Riche.



2.2 La ligne A2 PAPOTERIE – Verdun

Avant même la mise en service de la première ligne de tramway tourangelles, les élus de l'agglomération émettaient déjà des hypothèses pour le tracé d'une deuxième ligne. Chaque élu défendait ses positions fermement. Il y avait cependant un accord commun sur la nécessité de desservir le CHU Trousseau qui est une « ville à lui tout seul » (Source : Nouvelle République, Gérard Paumier). Cette ligne A2 assure la desserte d'autres équipements importants comme le campus universitaire de Grandmont et le Centre aquatique du Lac. De plus, le corridor défini emprunte les quartiers peuplés des Fontaines, des Grands Champs et d'Horizon Vert à Chambray-lès-Tours. Sa connexion avec le pôle intermodal de Verdun permet de rejoindre par la suite l'ensemble du territoire grâce à un report modal facilité par la présence de multiples lignes de transports en commun. La possibilité de réaliser un P+R aux alentours de la Papoterie n'est pas à négliger pour les véhicules arrivant depuis la périphérie.



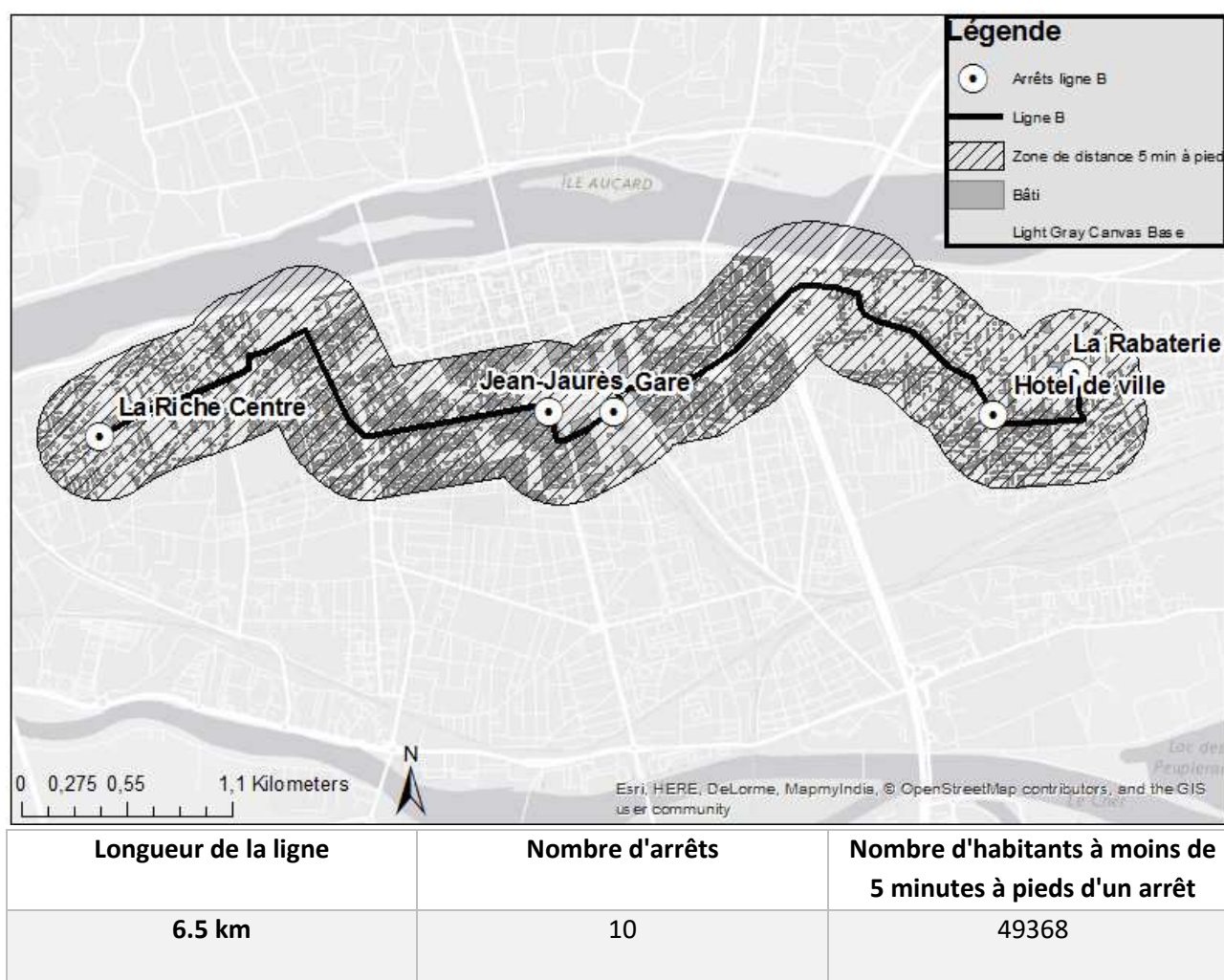
LONGUEUR DE LA LIGNE	NOMBRE D'ARRETS	NOMBRE D'HABITANTS A MOINS DE 5 MINUTES A PIEDS D'UN ARRET
7 KM	8	16905

Nous avons pris le parti de considérer que les potentiels voyageurs sont « attirés » par la nouvelle ligne dans une zone qui correspond à une distance de 5 minutes à pied (soit 333 mètres si l'on estime que le piéton marche à une vitesse moyenne de 4 km/h). Bien que dans la réalité, ce ne soit pas totalement le cas, d'autres composantes entrent en compte pour définir la zone d'attraction qui peut dépendre selon l'arrêt.

L'importance de la population à proximité d'une ligne de transport nous est apparue comme étant un critère pertinent pour justifier la légitimité du tracé choisi. Cependant, la méthode pour estimer le nombre de personnes par bâtiment connaît ses limites et donne une estimation approximative de la réalité.

2.3 Ligne B Est-Ouest

Pour Marie France Beaufils, le quartier de la Rabaterie qui est en plein renouvellement urbain, se doit d'être desservi par une ligne de transport en commun avec un cadencement élevé. Effectivement, la Rabaterie est le seul des 3 quartiers en rénovation urbaine à ne pas être desservi par une ligne de tramway. Cela pourrait contribuer à la « renaissance du quartier de la Rabaterie » selon M.F Beaufils qui compte aujourd'hui plus de 5000 habitants. C'est pourquoi, nous avons arrêté notre choix sur un tracé Est-Ouest reliant La Rabaterie et La Riche Centre. Cette ligne B dessert les équipements publics majeurs de Saint-Pierre-des-Corps (Mairie, poste, salle des fêtes, médiathèque) et de nombreux commerces et des zones d'habitats denses à la Riche. Sa connexion avec le pôle intermodal de la Gare permet un report modal vers d'autres lignes de transport en commun reliant l'agglomération tourangelles.



La ligne B ainsi défini emprunte un corridor passant par des zones à forte densité de population qui légitime le choix de son tracé car cela représente un fort potentiel en termes de voyageurs.

3 Méthodologie

3.1 Quelques éléments d'introduction

3.1.1 Qu'est-ce qu'un flux ?

Avant d'analyser l'impact sur les flux d'une deuxième ligne de tramway à Tours, il nous a paru essentiel de définir précisément ce qu'était un flux. Selon le Larousse, un flux est un « écoulement normal ou pathologique d'un liquide organique », il s'oppose à l'idée de stock. Cette notion prend sens dans différents domaines tels que dans l'économie où elle désigne « la somme des échanges effectués par les divers agents de la vie économique » ainsi que dans la métallurgie. En géographie, plusieurs types de flux majeurs sont identifiés :

- **les flux immatériels** : flux économiques et financiers, flux d'informations, flux de communication,
- **les flux matériels** : flux de matières premières, flux de marchandises, flux de personnes au sein d'une infrastructure de transport.

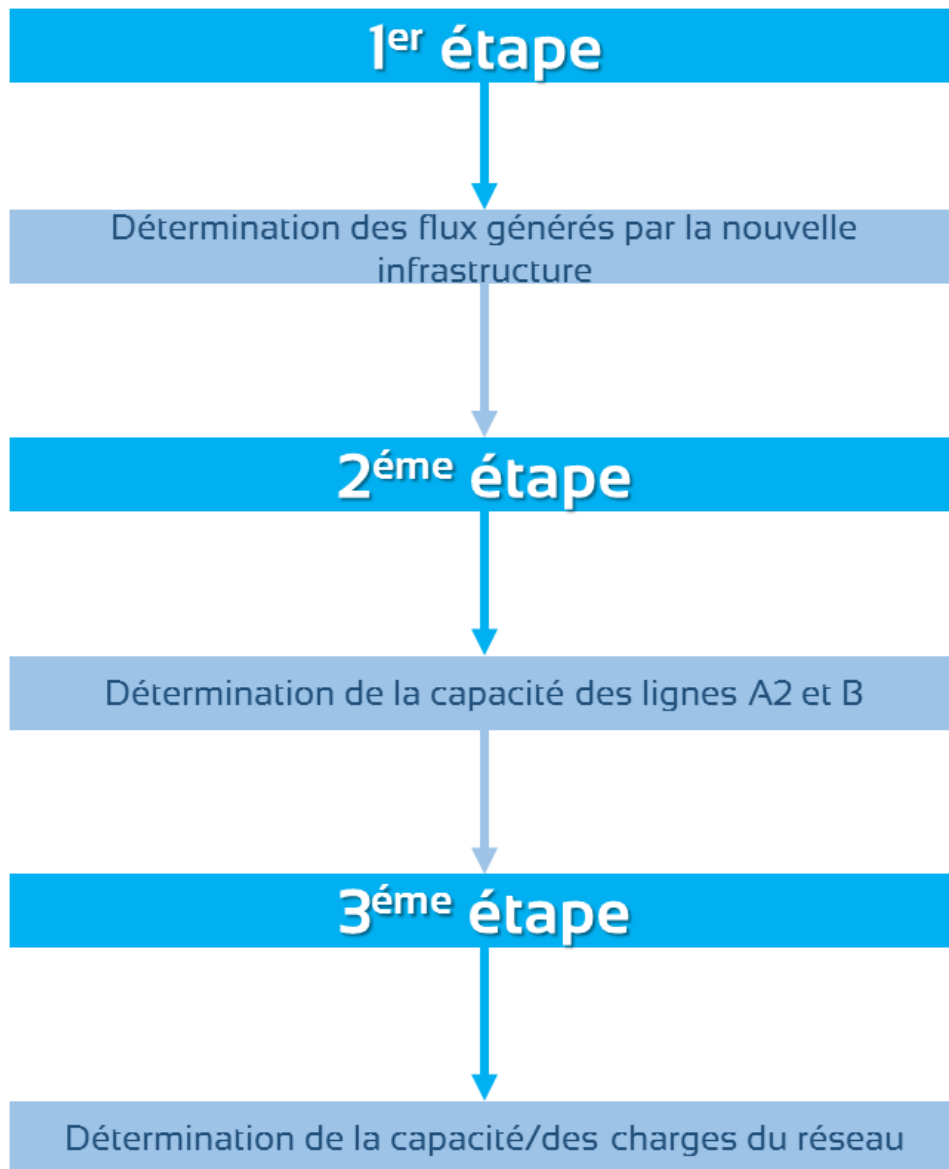
Ce sont ces derniers types de flux qui vont nous intéresser. Ils désignent l'écoulement, le transfert d'une quantité de personnes transporté par un moyen de communication, par le biais d'un réseau. Les flux de personnes existent depuis que l'Homme se déplace, mais ils ont fortement évolué. La mondialisation les a accentués en multipliant les réseaux et en facilitant la mobilité. La mise en service d'infrastructures de grandes ampleurs toujours plus performantes et efficaces a permis de diminuer considérablement les distances. Selon Géoconfluence : « La différenciation spatiale engendre nécessairement des flux entre des espaces complémentaires. Mais, si les flux sont révélateurs de différenciations spatiales, ils sont aussi facteurs de leur apparition ou de leur maintien ».

Les flux sont directement liés à un débit. Effectivement, on mesure les flux en fonction de la quantité transportée par rapport à la distance parcourue : passagers/km dans le cas du tramway. Lorsque l'on intègre la notion de temps, on obtient alors un débit passagers/heure. La représentation des flux demande une analyse détaillée de ses différents paramètres qui peuvent être expliqués et modélisés au travers d'un modèle gravitaire.

Un flux est la traduction d'un besoin de déplacement pour un motif donné. Ces motifs peuvent être catégorisés en deux parties, d'une part les motifs personnels (loisirs par exemple) et d'autre part les motifs professionnels (lieu de travail). Chaque déplacement est lié à un motif, dès que l'on change de motif, on effectue un nouveau déplacement. A noter qu'il est possible de se faire succéder deux déplacements sans changer de motifs (intermodalité).

3.1.2 Qu'est-ce qu'un modèle gravitaire ?

Jusqu'en 1960, il n'existait pas de modèle méthodologique permettant la planification des transports urbains. Il a fallu attendre les programmes d'autoroutes urbaines lancés aux Etats-Unis pour voir apparaître les premiers modèles permettant le dimensionnement et dans le même temps le financement des infrastructures de transport. Ils ont ensuite été développés en Europe et notamment en France vers 1963-1964 par des ingénieurs des Ponts et Chaussée qui ont replacé les transports en commun au premier rang des préoccupations donnant lieu au RER parisien. Le modèle gravitaire permet d'étudier et de prévoir la géographie des flux ou des interactions. Il est basé par analogie à la loi de la gravitation universelle de Newton qui décrit que deux corps s'attirent proportionnellement à leur masse et à la distance qui les sépare. Chaque lieu est alors assimilé à une force d'interaction selon son attractivité qui lui est propre. Par exemple, les échanges entre deux établissements publics (hôpitaux, université, etc...) seront d'autant plus importants que leurs poids est grand et d'autant plus faibles que la distance les séparant est importante.



3.2 Détermination des flux générés par la nouvelle infrastructure

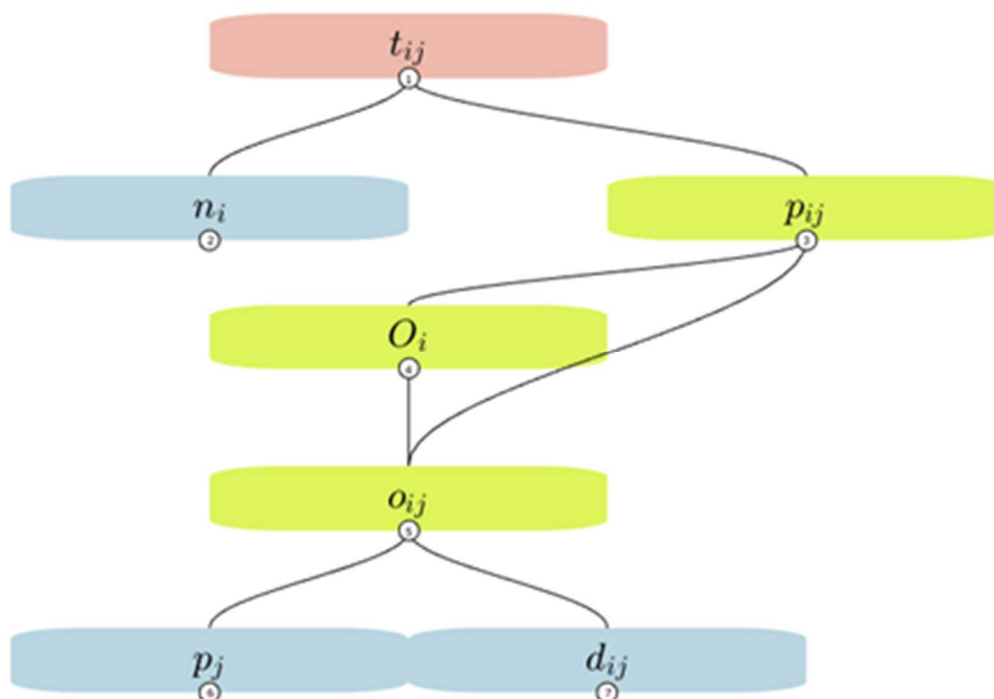
Le modèle à 4 étapes, le plus connu et encore le plus utilisé suit, de manière séquentielle, les étapes suivantes :

- génération de la demande de déplacement (combien de déplacements ?)
- distribution des déplacements (entre où et où s'effectuent les déplacements ?)
- répartition modale (quels modes de transport utilisés pour effectuer ces déplacements ?)
- affectation des déplacements (quels itinéraires pour effectuer ces déplacements ?)

3.2.1 Le modèle de Huff

La 1ère étape étant de générer la demande de déplacement, nous avons décidé d'utiliser la seconde généralisation de la loi de Reilly (modèle de Huff) pour le faire. Ce modèle s'inspire de la loi de gravitation universelle découverte par Isaac Newton. Cette loi décrit la gravitation comme suit : « deux corps ponctuels de masse respective MA et MB s'attirent avec des forces de mêmes valeurs (mais vectoriellement opposées), proportionnelles à chacune des masses, et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare ». Si l'on transpose cette loi au cas des transports, on peut dire que le flux allant de la zone A à la zone B est supposé proportionnel au potentiel d'émission de la zone A , au potentiel d'attraction de la zone B et à une fonction décroissante de la distance ou du temps de trajet entre A et B .

Nous avons modélisé le modèle de Huff au travers d'un logigramme à l'aide de l'interface Toaster.



La probabilité pour un individu de se rendre d'une zone i à une autre zone j est liée à deux données qui sont la distance euclidienne qui sépare l'arrêt d'origine de tous les autres et le poids d'attraction. Contrairement au modèle lié au coût généralisé, ici, il n'y a pas d'impact du coût du transport sur les flux étant donné qu'il n'y a pas de choix modal.

Plus la distance est importante et le poids est faible, moins la probabilité pour un individu de rejoindre un autre quartier est grande. Une personne a donc plus de chance de se rendre dans une zone ayant un poids d'attraction important. Grâce à ce modèle de génération, nous sommes capables de générer la matrice de flux t_{ij} qui sera ensuite utilisée à l'étape suivante afin de déterminer la capacité de notre ligne de transport. Cette matrice définit les flux probables entre chaque arrêt. Ces derniers sont fonction de la distance et du poids d'attraction qui a été défini.

Nous admettons l'hypothèse suivante : quel que soit l'individu le comportement est le même pour tous (dans certains modèles, le comportement change selon la classe sociale, son lieu de vie, etc.).

t_{ij} : Flux probables d'utilisateurs entre les points i et j en pers
1 $t_{ij} = n \otimes p_{ij};$
n_i : Nombre d'individus situé en un point i en unité
2 $0 \leq n_i \leq 10000$
p_{ij} : Probabilité de se rendre d'un point i à un point j en unité
3 $p_{ij} = o_{ij} / O;$
O_i : Total des opportunités de destination que possède chaque individu situé en i en unité
4 $O_i = \sum (o_{ij}, 2);$
o_{ij} : Opportunité pour un individu de se rendre depuis un point i à un point j en unité
5 $o_{ij} = p_j \otimes d_{ij}^{(-2)};$
p_j : Pouvoir d'attraction du point j à un instant t en unité
6 $0 \leq p_j \leq 100$
d_{ij} : Distance séparant le point i du point j en m
7 $1 \leq d_{ij} \leq 20000$

Dans notre cas, il a fallu déterminer plusieurs données de base, afin de générer les déplacements :

1. Le **réseau** à étudier,
2. Le **poids** d'attraction de chaque arrêt de notre réseau de transports,
3. Le **nombre d'habitants** utilisant les transports en commun, localisés à moins de 5 minutes à pieds de chaque arrêt,
4. La **distance** séparant chaque arrêt l'un de l'autre.

3.2.2 Établissement des données

1. Le réseau

Nous avons fait le choix de sélectionner seulement certaines lignes existantes pour déterminer le réseau sur lequel nous allions étudier l'impact sur les flux. Ce choix s'est basé d'une part sur l'importance de chaque ligne selon leur fréquentation quotidienne et d'autre part sur le fait que nous désirions avoir un réseau maillant l'ensemble du territoire étudié. Notre réseau est donc composé :

- de l'actuelle ligne de tramway A_1 ⁴
- des deux nouvelles lignes A_2 et B
- des lignes de bus 2, 3 et 5.

Quant au choix des arrêts, il s'est effectué selon la même approche que pour les différentes lignes de transports. Ceux retenus observent de fortes fréquentations au regard de la totalité du réseau et ils correspondent aux pôles générateurs et attracteurs les plus importants. Ils permettront de dimensionner la capacité de la nouvelle infrastructure au moment où les fréquentations seront les plus élevées.

2. Le poids d'attraction

Nous avons contacté les services de fil bleu qui nous ont communiqué la fréquentation de chaque arrêt de transports en commun de notre réseau. Grâce à cela, nous avons assimilé la masse d'un arrêt à un coefficient, compris entre 0 et 1. Le pôle multimodal de la gare étant le plus fréquenté du réseau, il lui a donc été attribué une masse P_j de 1, s'en est suivi un rapport de proportionnalité avec la fréquentation de chaque arrêt par rapport à celle de la gare. Les résultats sont exprimés dans le tableau ci-dessous.

Le poids d'attraction des arrêts de notre réseau aurait pu dépendre d'autres choses que la fréquentation actuelle (nombre de montées), par exemple le nombre d'emplois à proximité des arrêts, le nombre d'équipements aux alentours. **Nous avons, cependant, émis l'hypothèse que le nombre de descentes à un arrêt équivalait au nombre de montées à ce même arrêt.**

Il n'existe pas de corrélation évidente entre la fréquentation d'un arrêt et la population y habitant à proximité. Prenons les exemples suivant, les arrêts Docteur Fournier et Rabièr ont plus de 4000 habitants situés à moins de 5 minutes à pieds de chaque arrêt cependant ils observent une faible fréquentation et un poids qui l'est aussi. Il y a d'autres exemples qui permettent de confirmer ce postulat, l'arrêt Sanitas/Palais des sports possède un poids plus faible que celui de L'Heure Tranquille/Fac des 2 Lions alors qu'il existe une différence notable de 5000 habitants entre les deux arrêts.

⁴ La fréquentation quotidienne est supérieure à 45 000 voyageurs.

ARRET	MASSES P _j
LYCEE JEAN MONNET	0,109
RABIERE	0,080
L'HEURE TRANQUILLE/FAC	0,374
2 LIONS	
VERDUN	0,397
LIBERTE	0,370
SANITAS/PALAIS DES SPORTS	0,274
GARE DE TOURS	1,000
JEAN JAURES	0,989
ANATOLE-FRANCE	0,482
FONTAINES	0,090
LYCEE GRANDMONT	0,189
PAPOTERIE	0,001
BOISDENIER	0,062
LA RICHE CENTRE	0,040
LES ATLANTES	0,082
TRANCHEE	0,198
VAUCANSON	0,137
CHU TROUSSEAU	0,069
ST PIERRE CENTRE	0,016
LA RABATERIE	0,053
L'ESSART/GRANGES	0,013
GALAND	
LAC	0,048
DOCTEUR FOURNIER	0,020

3. Le nombre d'habitants à moins de 5 min de chaque arrêt

Pour constituer cette donnée, nous disposions du nombre d'habitants par commune de l'agglomération. Nous cherchions à ventiler cette population au sein de l'ensemble des territoires communaux au travers du bâti. Il a donc été nécessaire de déterminer dans un premier temps la surface développable par bâtiment qui dépend du nombre d'étages et de la surface unitaire. Nous avons, dans un second temps, ventilé la population au travers des zones IRIS de l'agglomération. Pour enfin pouvoir attribuer à chaque bâti des différentes zones, le nombre de personnes y habitant proportionnellement à la surface développable. Cette donnée est une approximation de la réalité, mais il nous a semblé que cette méthode était la plus pertinente par rapport aux données initiales dont nous disposions. Elle connaît cependant ses limites, par exemple l'arrêt CHU Trousseau a un nombre d'habitants à proximité qui est faible (600) alors qu'il représente un pôle d'emploi très élevé avec quasiment 10 000 employés.

Nous admettons l'hypothèse qu'une partie des habitants seulement, utilise les transports en commun. Nous avons donc affecté un facteur de 0,15, correspondant au 15% de part modale que nous avons estimé possible d'atteindre suite à la mise en service d'une deuxième ligne. Le PDU de l'agglomération Tour(s)plus, réalisée en 2008, visait les 13% d'ici à 2023. Nous avons donc estimé qu'il n'était pas invraisemblable de viser les 15 % avec l'arrivée d'une seconde ligne de tramway. En effet, en 2008, l'agglomération Tour(s)Plus envisageait une augmentation de 8 à 13% des déplacements via les transports en commun. Cette augmentation pouvait être attribuée à l'effet de la première ligne de tramway. Une distance de 5 minutes à pied correspond à environ 333 mètres si l'on estime qu'un individu moyen marche à 4 km/h. Des zones tampons ont donc été dessinées à chaque arrêt du réseau pour déterminer le nombre d'habitants situé à moins de 5 minutes à pied. Les résultats sont exprimés dans le tableau ci-dessous.

ARRET	POPULTION A MOINS DE 5 MIN	POPULATION PONDEREE DE 15% A MOINS DE 5MIN
LYCEE JEAN MONNET	556	83
RABIERE	4397	660
L'HEURE TRANQUILLE/FAC 2 LIONS	1207	181
VERDUN	3469	520
LIBERTE	7477	1122
SANITAS/PALAIS DES SPORTS	6255	938
GARE DE TOURS	6674	1001
JEAN JAURES	6486	973
ANATOLE-FRANCE	2343	351
FONTAINES	5536	830
LYCEE GRANDMONT	1918	288
PAPOTERIE	232	35
BOISDENIER	5564	835
LA RICHE CENTRE	3712	557
LES ATLANTES	1546	232
TRANCHEE	2407	361
VAUCANSON	755	113
CHU TROUSSEAU	600	90
ST PIERRE CENTRE	2491	374
LA RABATERIE	3586	538
L'ESSART/GRANGES GALAND	642	96
LAC	353	53
DOCTEUR FOURNIER	4473	671

4. La distance séparant chaque arrêt l'un de l'autre

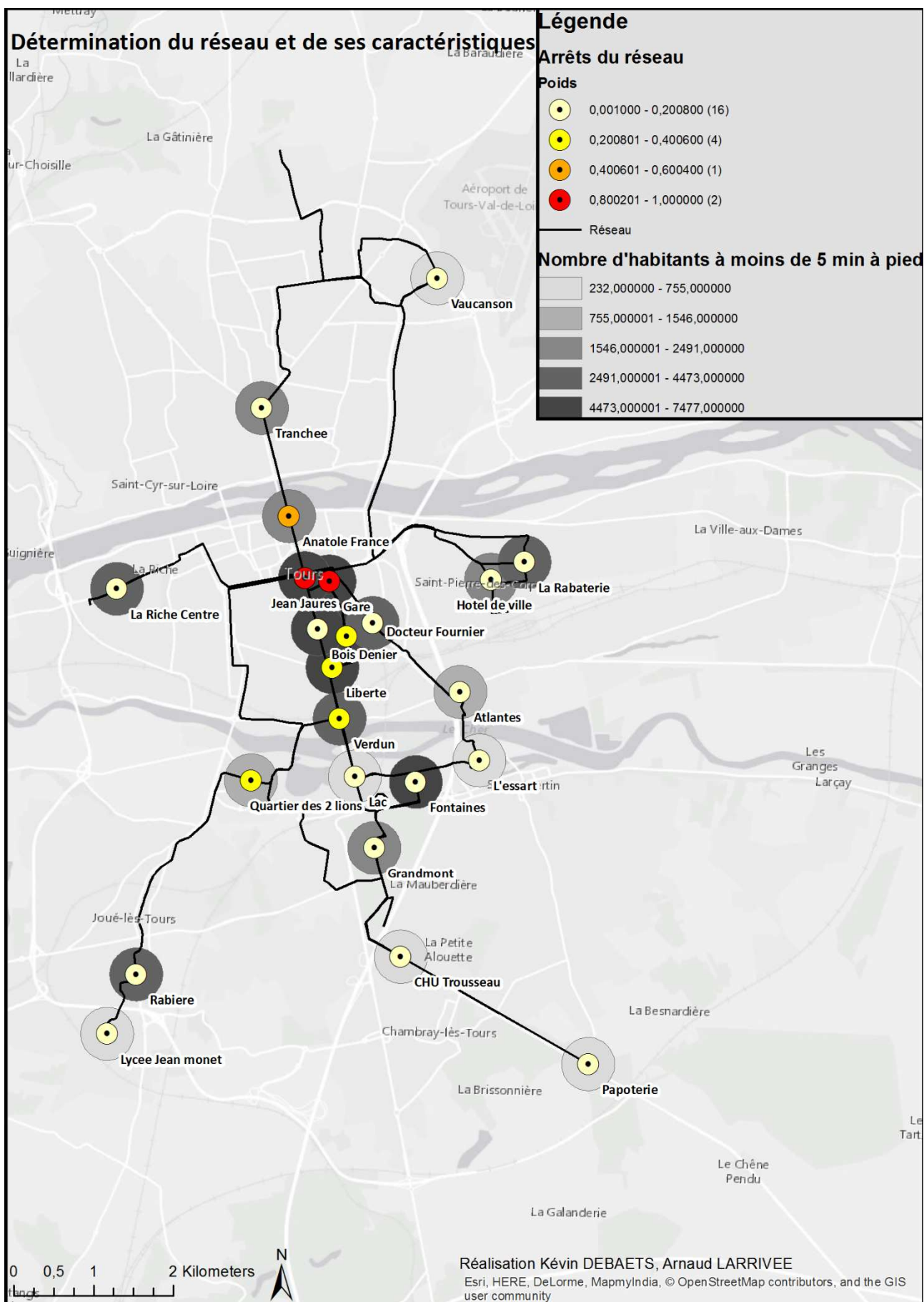
Etant donné que la probabilité qu'un individu se rende d'un quartier à un autre est directement fonction de la distance le séparant de l'arrêt où il veut se rendre, il est nécessaire de générer cette donnée pour appliquer par la suite notre modèle de Huff. Après avoir modélisé notre réseau au travers du logiciel ArcGis, nous avons déterminé la matrice 23x23⁵ répertoriant 'l'ensemble des distances séparant chaque arrêt l'un de l'autre à l'aide de l'application Network Analyst. Cette dernière utilise l'algorithme des plus court chemin : l'algorithme de Dijkstra. Les distances sont exprimées en mètres. Nous faisons l'hypothèse de choisir les chemins les plus courts en termes de distance et non les plus rapides en termes de temps.

5. Résumé des données

Afin de permettre aux lecteurs de se représenter nos choix et nos données, nous avons résumé sous forme de carte l'ensemble des informations explicitées précédemment. Sur celle-ci est indiquée l'importance des poids de chaque arrêt, le réseau et le nombre d'habitants par arrêt.

On peut remarquer que les arrêts en hypercentre sont ceux ayant les poids d'attractions et le nombre d'habitants à proximité les plus élevés. Ils représentent la colonne vertébrale du réseau. Ils sont situés sur l'actuelle ligne de tramway faisant la liaison entre le Lycée Jean Monnet et Vaucanson. Ce sont ces arrêts qui ont les taux de fréquentation les plus forts du réseau Fil Bleu actuel. (Cf. page suivante). A noter que le nombre d'habitants à moins de 5 minutes à pieds représenté sur la carte n'est pas celui qui est directement utilisé dans notre modèle. En effet, nous avons pondéré ce nombre par un facteur de 0,15 pour l'inclure dans notre modèle de Huff.

⁵ 23 arrêts composent notre réseau ce qui explique le format de notre matrice.



3.3 Détermination de la capacité des lignes A2 et B

La création d'une ligne de transport en commun nécessite au préalable de déterminer la capacité de cette ligne indifféremment de son mode de transport (bus, tramway, etc.). Il convient également de visualiser les arrêts et les horaires sujets à congestion. Afin d'éviter ces phénomènes d'engorgement, nous avons donc souhaité définir le nombre de tramways nécessaires pour que les déplacements domicile-travail s'effectuent sans difficultés particulières pour les usagers.

D'après le modèle reprenant le principe de la mécanique des fluides, nous avons entrepris de formaliser sous forme graphique le problème qui nous était ainsi posé (cf figure 1 ci-dessous).

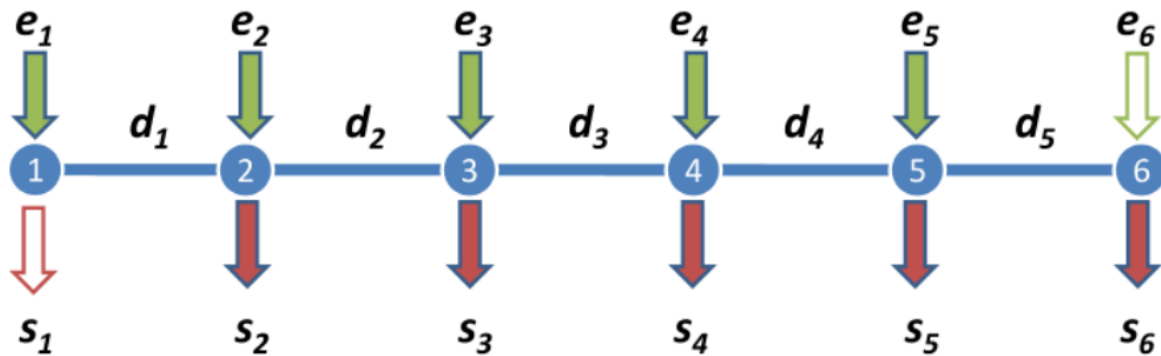


Figure 1: Modélisation d'une ligne de transport en commun (source : Mindjid Maizia)

Chaque ligne de transport en commun est assimilable à un ensemble d'arcs orientés. Ici, chaque nœud numéroté de 1 à 6 représente un arrêt de cette ligne. A chacun de ces arrêts, des usagers montent ou descendent. Ainsi, le nombre de voyageurs entrant dans le tramway à chaque arrêt i est noté e_i , celui sortant du tramway est quant à lui noté s_i . Le nombre d'individus transportés de i à $i+1$ est noté d_i . Les nœuds 1 et 6 représentent les terminus de la ligne étudiée. Par conséquent, personne ne peut sortir à l'arrêt 1, ni entrer à l'arrêt 6. Par conséquent, le nombre d'usagers allant de l'arrêt 1 à l'arrêt 2 (d_1) est égal aux nombres d'individus entrant à l'arrêt 1 (e_1).

$$\text{Soit : } d_1 = e_1 - s_1 = e_1, \text{ avec } s_1 = 0$$

Le nombre de personnes voyageant entre le point d'arrêt 2 et le point d'arrêt 3 s'obtient en faisant la différence entre le nombre d'entrants en 2 moins le nombre de sortants en 2, sans oublier d'ajouter les individus déjà présents dans le tramway.

Nous obtenons ainsi : $d_2 = d_1 + e_2 - s_2$

Cette logique se répétant indéfiniment entre chaque arrêt, il convenait de la généraliser de la façon suivante :

$$d_n = \sum_{i=1}^n (e_i - s_i)$$

Finalement, le nombre de personnes transportées entre chaque arrêt équivaut à la somme cumulée des différences entre les entrants et les sortants du tramway.

Désormais, nous cherchons à obtenir le nombre de voyageurs entrants et sortants du tramway à chaque arrêt et ce dans un sens de circulation donnée. Autrement dit, nous cherchons à définir e_i et s_i dans le sens étudié. Par conséquent, nous pouvons définir le nombre de personnes entrant dans le tramway comme étant le nombre de voyageurs se déplaçant de i vers j avec toujours j en aval de i . Le nombre d'usagers entrant à l'arrêt i et se dirigeant vers des j en amont de ligne ne sont ainsi pas pris en compte. Ils empruntent un autre tramway effectuant le chemin inverse. Nous obtenons alors : t_{ij} ⁶ l'ensemble des flux entre les i et les j et k_{ij} ⁶, la partie de ces flux empruntant le sens de circulation étudié (direction le terminus).

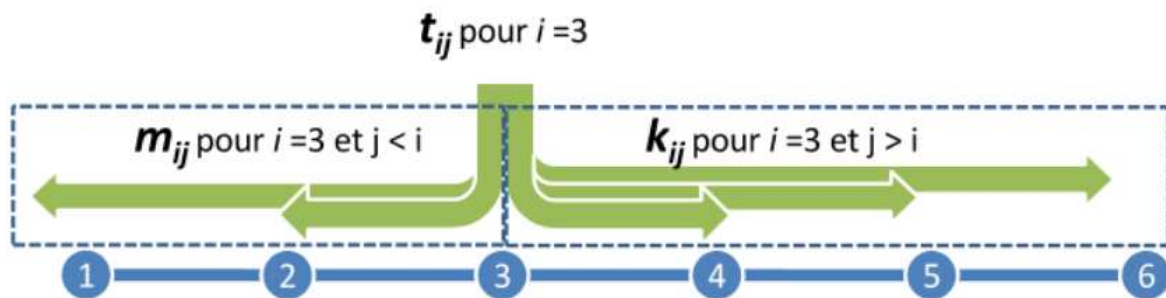


Figure 2: Modélisation du nombre d'entrants et de sortants dans le tramway à chaque arrêt (source : Mindjid Maizia)

Le modèle ainsi développé décrit uniquement les flux journaliers observés à l'entrée ainsi qu'à la sortie de la ligne de transport en commun. Il ne possède aucune propriété dynamique. Pour remédier à ce manque, nous devons, premièrement, introduire une période de temps durant laquelle les flux se réalisent. Il est également nécessaire de fixer l'allure du débit correspondant autrement dit la fonction reliant le débit au temps. Afin d'être en accord avec la réalité, il est préférable que l'hypothèse de distribution des flux soit fondée sur des observations ou des explications plausibles. C'est pourquoi, nous avons opté pour une hypothèse de distribution suivant les pics de fréquentation habituellement observés sur le réseau de transport en commun de Tours (cf.graphique). Pour introduire une dimension temporelle au flux journalier, il est indispensable de ventiler ce dernier dans une période de temps à l'aide d'une fonction de distribution adéquat.

A chaque instant t de la période étudiée, la ligne de transport en commun se doit d'être en mesure de répondre à la demande de l'arrêt pour lequel la demande est la plus importante. En répondant à cette demande, on s'assure alors de répondre à celles de tous les autres arrêts.

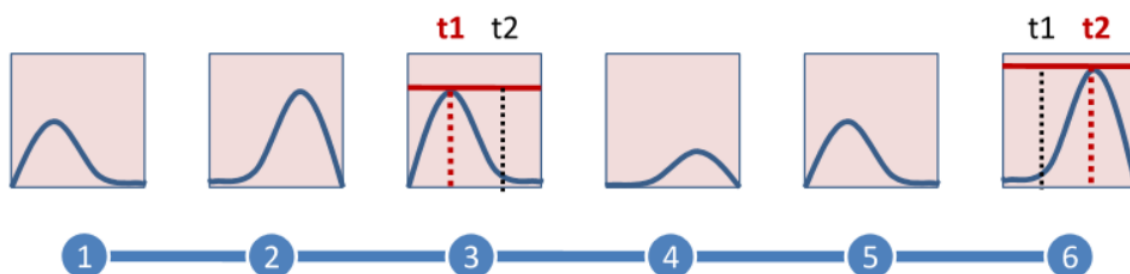


Figure 3: Modélisation de la demande à chaque arrêt à chaque instant t de la période de mobilité étudiée

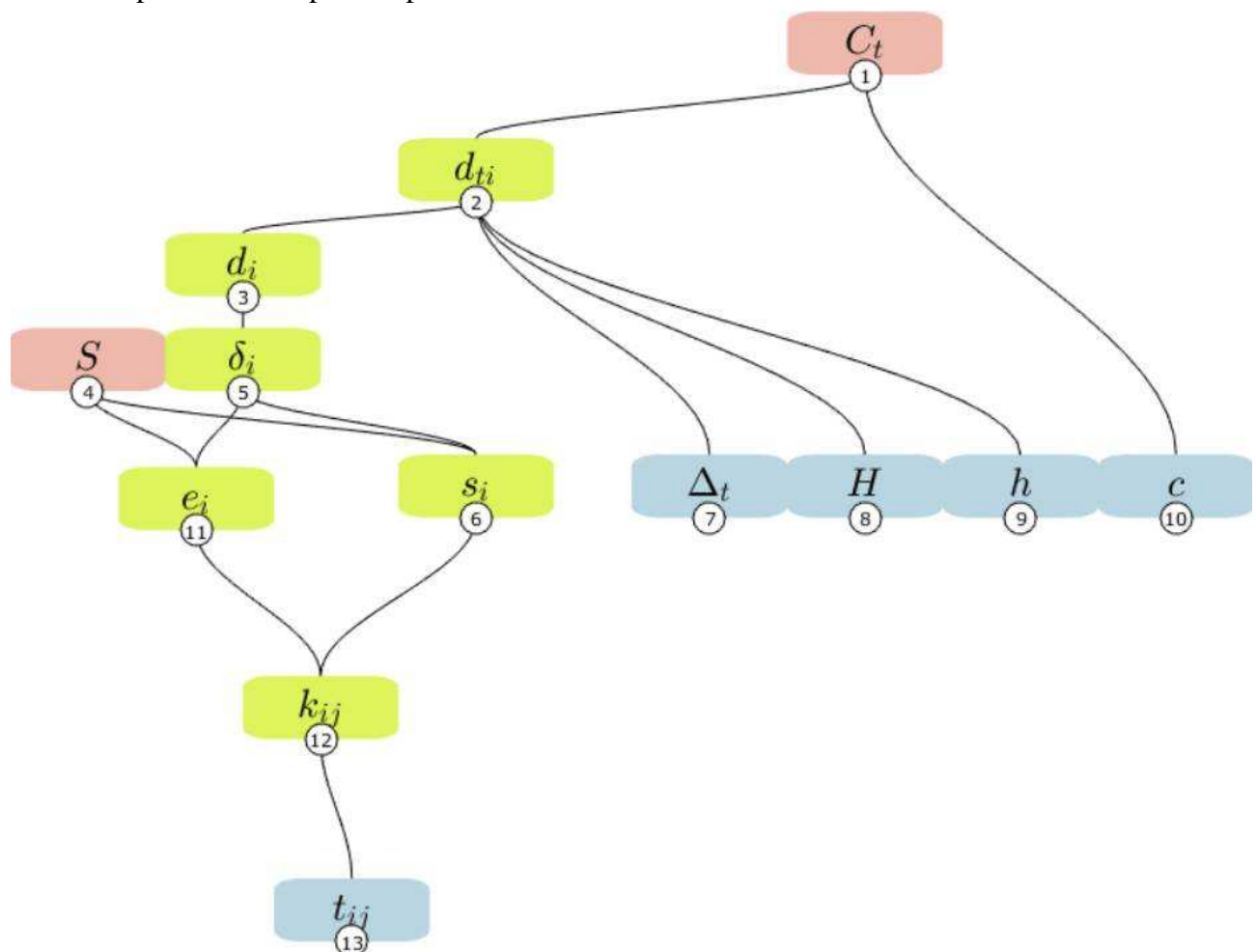
⁶ Les variables t_{ij} et k_{ij} correspondent à des matrices.

Prenons, l'exemple ci-dessus, à t_1 , c'est l'arrêt 3 qui connaît la demande la plus importante et qui par conséquent définit la capacité de toute la ligne de transport en commun, tandis qu'à t_2 , c'est l'arrêt 6 que détermine cette capacité.

C'est pourquoi, il est impératif de répondre à la demande maximale observée pour chaque arrêt et ce pour chaque instant t . Ceci permet alors de déterminer la capacité finale que l'exploitant doit offrir aux usagers de la ligne de tramway. Pour l'exploitant, cette capacité s'exprime en nombre de tramways. On obtient cette donnée en divisant le débit exprimé en personnes/minutes par la capacité c de chaque voiture.

Dans notre cas, nous étudierons la tranche horaire de 7h- à 9h qui correspond à l'heure de pointe du matin. Ceci nous permettra par la suite de déterminer la capacité maximale et donc de dimensionner l'infrastructure par rapport à la période critique et aux flux domicile-travail, domicile-étude les plus importants. Nous aurions pu nous appuyer sur la tranche horaire du soir mais nous avons choisi de ne pas le faire sachant que celle-ci est plus étalée dans le temps.

Le logigramme ci-dessous permet de **déterminer la capacité d'une ligne de transport** suivant les différents paramètres explicités précédemment.



C_t : Capacité demandée en voit/min

$$1 \quad C_t = \frac{d_{ti}, \lfloor, 2}{c};$$

d_{ti} : Débit en pers/min

$$2 \quad list = 'constant', 'cosinus', 'exponential', 'rand', 'gaussian'; d_{ti} = \text{histn}(d_i, \Delta$$

d_i : Nombre de personnes transportées à partir de l'arrêt i jusqu'à l'arrêt $i+1$ en unité

$$3 \quad d_i = \text{cumsum}(\delta_i);$$

S : Flux de Sankey en pers

$$4 \quad S = [e_i(:) - s_i(:)];$$

δ_i : Soldes des entrants et des sortants à chaque arrêt i en unité

$$5 \quad \delta_i = e_i(:) - s_i(:);$$

s_i : Nombre de personnes sortant du bus à l'arrêt i en unité

$$6 \quad s_i = \sum(k_{ij}, 1);$$

Δ_t : Durée de l'analyse en h en unité

$$7 \quad 0 \leq \Delta_t \leq 5$$

H : Hypothèse de distribution des flux en unité

$$8 \quad 1 \leq H \leq 5$$

h : Ajustement en unité

$$9 \quad 0.01 \leq h \leq 5$$

e_i : Nombre de personnes entrant dans le bus à l'arrêt i en unité

$$11 \quad e_i = \sum(k_{ij}, 2);$$

k_{ij} : Flux avals entre les arrêts i et j en unité

$$12 \quad k_{ij} = \text{triu}(t_{ij}, 1);$$

t_{ij} : Flux entre les arrêts i et j en unité

$$13 \quad 0 \leq t_{ij} \leq 806.535$$

3.3.1 Etablissement des données :

Afin de déterminer la capacité des nouvelles lignes de tramway, il est nécessaire de définir combien de personnes sont transportables dans un tramway. L'actuel tramway tourangeau peut transporter jusqu'à 280 personnes⁷ (source : Citadis de Tours, Fiche de référence Transports d'Alstom), nous nous baserons donc sur cette donnée chiffrée par souci d'harmonisation du réseau.



Figure 4 : Tramway de Tours (Source : rcp.fr)

Nous avons besoin d'une deuxième donnée essentielle qui est la matrice des flux entre les arrêts i et j : T_{ij} déterminée lors de la première étape de génération de notre modèle au travers du modèle de Huff.

3.4 Détermination de la capacité/charges sur les arcs du réseau

Dans les années 70, les réseaux étaient dimensionnés pour accueillir le flux maximal détecté entre une origine et une destination. Il considérait qu'il n'y avait qu'un itinéraire pouvant rejoindre les deux points. On construisait alors l'infrastructure pouvant répondre à cette demande sans se préoccuper des possibilités que le réseau pouvait présenter en dehors. Aujourd'hui, on ne conçoit non pas une seule infrastructure de grande ampleur, on s'appuie sur plein de petits « tuyaux » pour répartir les flux sur le réseau pour des raisons de coûts et de sécurisation de ce dernier. On parle, ici d'un réseau maillé.

C'est pourquoi après avoir déterminé la capacité de notre ligne de tramway, il convenait d'étudier à plus grande échelle celle du réseau. Pour cela, tout comme précédemment, nous nous sommes appuyés sur les flux simulés entre les différents points d'arrêts que nous avons choisi de sélectionner. L'objectif de cette simulation est donc de quantifier les charges sur les tronçons du réseau Fil Bleu. Autrement dit, nous cherchons à simuler le trafic à un instant t ou pour une période de temps donnée afin de vérifier si les flux hypothétiques peuvent traverser ou non le réseau sans en provoquer la congestion.

Cependant, affecter en temps réel un flux à un réseau n'est pas chose aisée. Ceci implique des traitements longs et répétitifs que seule l'informatique peut résoudre en peu de temps. De nombreux modèles ont ainsi été développés pour rendre le trafic plus fluide. Les simulateurs agissent selon des règles bien précises qui ne sont toujours pas explicitées (partis-pris notamment). On dit qu'il fonctionne comme des boîtes noires. Il nous est alors difficile d'en comprendre les rouages.

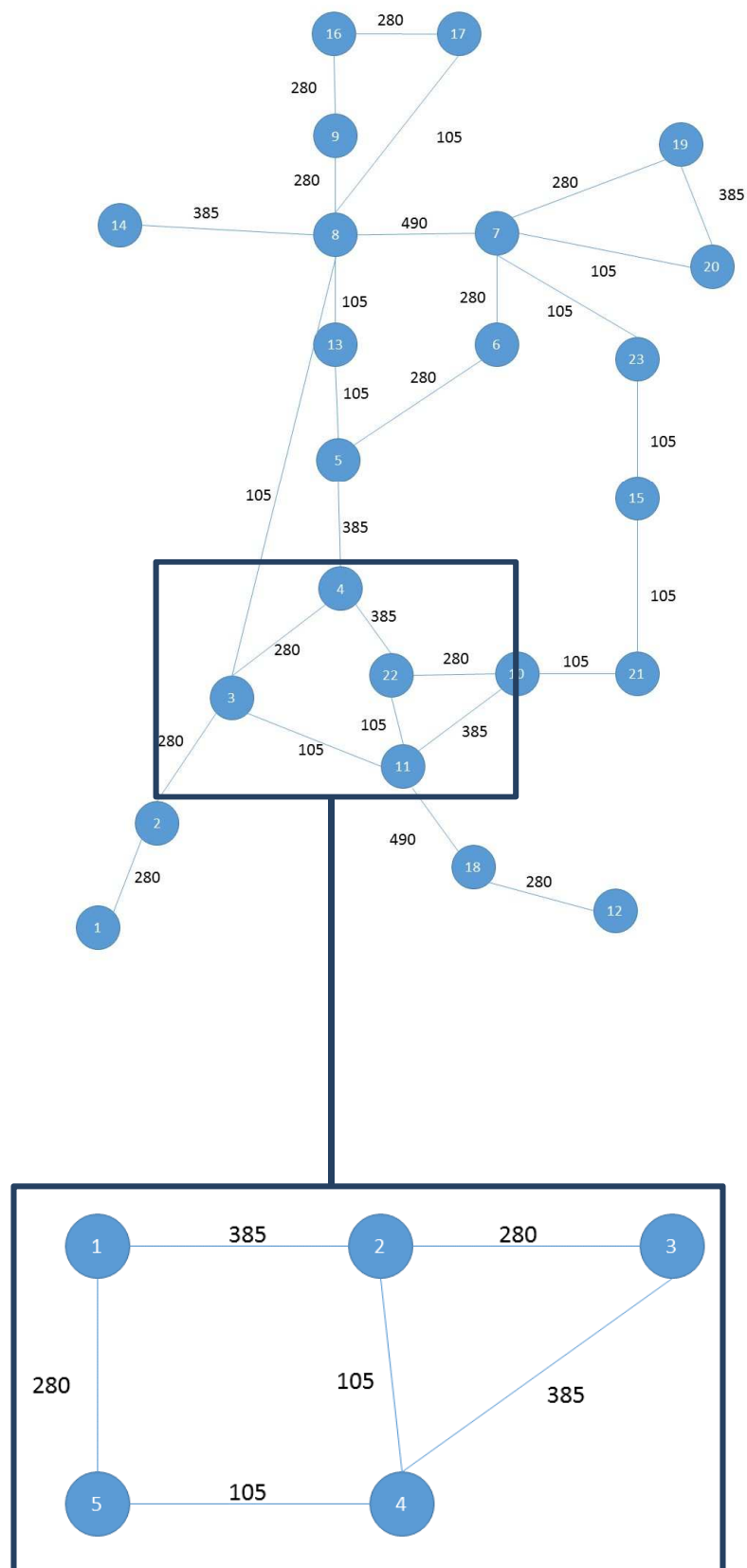
⁷ Citadis de Tours, Fiche de référence Transports d'Alstom

Le logiciel leader mondial d'analyse et de prévision du trafic et de gestion de données orientées SIG, PTV Visum modélise ainsi tous les usagers du trafic et leurs interactions de manière cohérente et constitue un standard reconnu dans le domaine de la planification du trafic. Les ingénieurs du trafic utilisent donc ce type de produit pour analyser/maximiser des flux de trafic, planifier l'offre de transports en commun etc. La méthodologie sur laquelle nous nous sommes basés fonctionne sur les mêmes principes développés par ces logiciels. Celle-ci nous a été présentée par Mindjid Maizia, enseignant-chercheur à l'Université François Rabelais de Tours.

Considérons un réseau composé de tronçons de capacités données C_{ij} reliant différents arcs. C_{ij} représente également la matrice d'adjacence du réseau. La capacité de chaque arc dépend donc de la capacité du bus et/ou du tramway qui relie les deux points d'arrêts. La capacité des bus articulés utilisés par le réseau Fil Bleu sur les principales lignes de bus (2, 3, 4 et 5) atteint, places assises et places debout confondues, 105 unités⁸. Un tramway peut, quant à lui, accueillir 280 voyageurs. Pour savoir si notre réseau peut supporter le passage des flux F_{ij} , nous avons affecté ces flux à chaque arc ij en tenant compte de la capacité de ces derniers. La matrice d'affectation Q_{ij} représente la charge supportée par chaque arc du réseau lorsqu'on lui injecte les flux F_{ij} et C_{ij} symbolise la capacité résiduelle du réseau : $C_{rij} = C_{ij} - Q_{ij}$. Lorsque la capacité résiduelle de chaque arc est nulle, cela veut dire qu'il est saturé.

Que l'on soit exploitant ou usager d'un réseau de transport en commun, l'objectif n'est pas le même. L'un cherche à maximiser les flux afin d'éviter la saturation de son réseau et permettre à tous ces clients de se rendre d'un point A vers un point B, c'est l'exploitant. De l'autre côté, on souhaite optimiser l'utilisation du réseau en atteignant au plus vite sa destination (chemin le plus court, le plus rapide et avec le moins de correspondance possible). C'est pourquoi, nous nous sommes placés du point de vue de l'utilisateur pour affecter au réseau C_{ij} les flux F_{ij} . Pour cela, nous avons recherché le chemin le plus court entre les origines et les destinations de F_{ij} à l'aide de l'algorithme de Dijkstra. En théorie des graphes, ce dernier sert à résoudre le problème du plus court chemin. Il permet, par exemple de déterminer un plus court chemin pour se rendre d'une ville à une autre connaissant le réseau routier d'une région. Il calcule des plus courts chemins à partir d'une source dans un graphe orienté pondéré par des réels positifs. Ensuite, nous affectons à chaque arc de ce chemin la valeur de flux correspondante (la charge Q_{ij}).

⁸http://www.mercedesbenz.fr/content/france/mpc/mpc_france_website/fr/home_mpc/bus/home/new_buses/models/regular_service_busses/Citaro_c2/facts/technical_data_e6.html



Afin d'expliciter notre problème, nous avons fait le choix d'isoler une petite partie de notre réseau pour faciliter la compréhension de notre modèle. Le numéro de chaque arrêt a cependant été modifié pour simplifier l'explication. Ils sont ainsi numérotés de 1 à 5. Les capacités de chaque tronçon restent quant à elle inchangées.

1^{ère} étape : La matrice C_{ij} exprime la capacité de chaque arc du réseau choisi. Elle représente également la matrice adjacente au réseau.

$$C_{ij} = \begin{vmatrix} 0 & 385 & 0 & 0 & 280 \\ 0 & 0 & 280 & 0 & 105 \\ 0 & 0 & 0 & 385 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 105 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$C_{ij} = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 385 \\ 2 & 3 & 280 \\ 2 & 4 & 105 \\ 1 & 5 & 280 \\ 5 & 4 & 105 \\ 4 & 3 & 385 \end{vmatrix}$$

2^{ème} étape : On affecte un flux de 105 entre le point 1 et le point 4. Le chemin reliant 1 à 4 {1, 2, 4} pour un flux de 105 réduit donc la capacité initiale des arcs de ce chemin d'une charge de 105 et laisse donc disponible une capacité résiduelle de 280 entre 1 et 2 et de 0 entre les points 2 et 4.

$$\begin{array}{l} F_{ij} = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 105 \\ 1 & 2 & 385 \\ 2 & 3 & 280 \\ 2 & 4 & 105 \\ 1 & 5 & 280 \\ 5 & 4 & 105 \\ 4 & 3 & 385 \end{vmatrix} \end{array} \quad \begin{array}{l} Q_{ij} = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 105 \\ 2 & 4 & 105 \end{vmatrix} \\ \\ Cr_{ij} = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 280 \\ 2 & 3 & 280 \\ 2 & 4 & 0 \\ 1 & 5 & 280 \\ 5 & 4 & 105 \\ 4 & 3 & 385 \end{vmatrix} \end{array}$$

3^{ème} étape : Supposons à présent que l'on souhaite injecter un flux de 385 entre 5 et 3. Pour savoir si le chemin {5, 4, 3} est capable de recevoir le flux qu'on lui affecte, il convient de s'assurer si celui-ci n'est pas supérieur à sa capacité. En effet, on sait que la capacité d'un chemin est toujours déterminé par l'arc qui possède la plus petite capacité (l'arc (5,4) dans l'exemple). On remarque alors que le chemin n'est pas en mesure de recevoir ce flux car l'arc (5,4) est saturé. Sa capacité résiduelle est nulle. L'arc (5,4) ne peut donc plus être emprunté pour permettre le passage du flux résiduel (280) entre 5 et 3. Il disparaît donc virtuellement de la matrice d'adjacence et de capacité C_{ij} . Le flux entre 5 et 3 est alors affecté dans un second temps au 2^{ème} chemin possible {5, 1, 2, 3}.

$F_{ij} =$	1 4 105		$Q_{ij} =$	1 2 105
	5 3 385			2 4 105
$C_{ij} =$				5 4 105
				4 3 105
				5 1 280
				1 2 280
				2 3 280
$C_{ij} =$	1 2 385		$C_{r_{ij}} =$	1 2 0
	2 3 280			2 3 0
	2 4 105			2 4 0
	1 5 280			5 1 0
	5 4 105			5 4 0
	4 3 385			4 3 280

Si un flux de 280 est injecté entre 4 et 3, alors notre réseau deviendra totalement saturé (la capacité résiduelle du réseau $C_{r_{ij}}$ est alors vide). Il deviendra alors impossible d'injecter entre 5 et 3 un flux supérieur à 385 sachant que tous les arcs ont été saturés par les flux entre 1 et 4, entre 4 et 3 et entre 5 et 3. Tout flux supplémentaire ne peut dans ce cas être injecté au réseau, on appelle ce reliquat, le flux résiduel Fr_{ij} .

Attention ! A noter que selon que l'on débute l'affectation par un flux ou un autre, il est possible que le passage des flux ne soit que partiel dans certains cas alors que les matrices d'affectation et les capacités résiduelles, autrement dit les conditions de trafic sont parfaitement identiques. Ceci montre combien l'ordonnancement des affectations des flux sur les arcs du réseau agit sur les modalités de trafic et sur la signification des résultats finaux.

3.5 Nos hypothèses

Afin de mettre en évidence les hypothèses que nous avons posées tout au long de notre démarche méthodologique nous avons choisi de les référencer sous forme de listes, ci-dessous.

1. Le **réseau** que nous avons imaginé **n'est pas conforme à la réalité**. Notre réseau ne comprend que les lignes A, 2, 3 et 5 du réseau réel Fil Bleu.
2. Le nombre de **descentes** à un arrêt équivalait au nombre de **montées** à ce même arrêt.

3. Seules les personnes **habitant à moins de 5 minutes** à pied d'un arrêt sont potentiellement attirés par la ligne de transports en commun.
4. Nous avons **exclu le choix modal**. En s'affranchissant du choix modal, on considère ainsi que toute la population n'a d'autres choix que de prendre les transports en commun. Dans les données d'entrée de notre modèle, nous n'avons cependant sélectionné que 15% de cette population.
5. On considère que toute la population que nous avons considérée se déplace en même temps, à l'heure de pointe du matin entre 7 Heure et 9 Heure. Nous considérons donc que les individus ont un **comportement homogène**.
6. La **fréquentation** actuelle de chaque arrêt permet de définir le **poids d'attraction**.
7. Nous avons admis que **l'individu s'intéresse au chemin le plus court** en termes de distance euclidienne.

Nous expliciterons dans la dernière partie les conséquences de nos hypothèses sur les résultats obtenus à la suite de nos calculs.

4 Résultats et analyse

Dans cette partie, nous expliciterons nos résultats et essayerons de les analyser afin de mettre en évidence leur impact à l'échelle de la nouvelle infrastructure de transport mais aussi à celle du réseau que nous avons choisi d'étudier. Cette partie suivra la même logique que la précédente. L'ensemble des hypothèses que nous avons ainsi formulé dégradent la pertinence et la robustesse de notre modèle. Ces partis-pris avaient pour objectif de simplifier la démarche. C'est pourquoi, nous tenterons d'expliquer nos résultats en essayant de les rapporter à la réalité.

Dans un premier temps, nous verrons les conséquences de nos hypothèses sur la matrice des flux déterminée avec le modèle de Huff. Ensuite, nous déterminerons quelles sont les capacités de chacune des lignes A2 et B. Ces dernières nous ont permis ensuite de calculer quelle fréquence de passage il est nécessaire d'offrir pour satisfaire les besoins en heures de pointe. Enfin, nous essayerons de comparer le réseau avant et après la mise en place des nouvelles lignes de tramway pour savoir lequel est le plus performant.

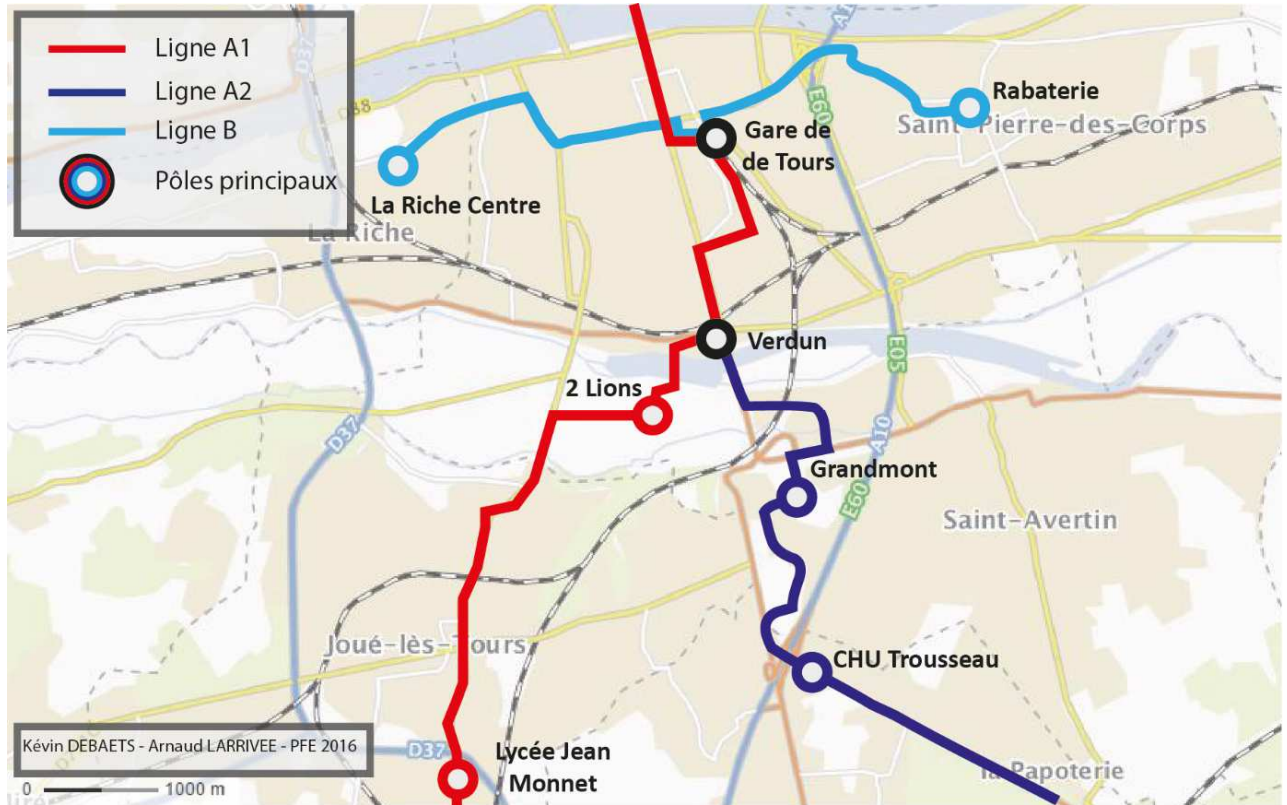
4.1 Quelles conséquences nos hypothèses ont-elles engendré sur notre matrice des flux ?

L'attraction de nos points d'arrêts s'appuie sur des données de fréquentation actuelle. Ceci ne présage donc pas de l'importance que certains arrêts pourraient prendre s'ils étaient eux-mêmes desservis par une ligne à haut niveau de service comme une ligne de tramway par exemple. Prenons en exemple, les poids que nous avons respectivement affecté aux arrêts Fontaines (0,090), La Riche Centre (0,040) et Saint-Pierre Centre (0,016). Ces derniers possèdent pourtant un fort potentiel en termes de population, une population qui pourrait être amené à utiliser davantage le réseau Fil Bleu une fois la nouvelle ligne de tramway créée. En outre, dans notre nouveau réseau à deux lignes de tramway, ces arrêts se trouveraient non plus desservis par des lignes de bus (3 et 5 dans ce cas) dont la fréquence de passage en heures de pointe atteint les dix minutes mais par une ligne de tramway à plus haute fréquence (passage toutes les 6 minutes en heures de pointe sur la ligne A). La desserte d'un arrêt par un tramway lui assure, presque à coup sûr, une fréquentation élevée. En effet, si l'on se réfère aux données que nous avons obtenues auprès de l'exploitant du réseau, on s'aperçoit que parmi les 29 points d'arrêts que possèdent la ligne A de tramway, seuls 3 d'entre eux (Stade Jean Bouin, Pont Volant et Monconseil) ne font pas partis du top 50 des arrêts les plus fréquentés du réseau Fil Bleu. Le premier arrêt non desservi par le tramway et le plus fréquenté du réseau, l'arrêt Lycée Grandmont, n'arrive qu'à la dixième position de ce classement. Quand on sait que le réseau Fil Bleu compte près de 700 points d'arrêts, on s'aperçoit de l'impact que peut engendrer la création d'une deuxième ligne de tramway sur la fréquentation de certains arrêts. C'est pourquoi, certains flux reliant les arrêts Fontaines, La Riche Centre ou encore Saint-Pierre Centre sont sous-estimés par notre modèle.

Le fait que nous ayons considéré que 15% de la population habitant à moins de cinq minutes à pied d'un arrêt implique que nos flux calculés soient également sous-estimés. Dans la réalité, les flux observés seraient plus conséquents sachant que la population pouvant être attirée par la présence d'une ligne de transport en commun ne se limite pas à un rayon de 330m autour de l'arrêt.

4.2 Quelle flotte et fréquence de passage doit être offerte aux usagers ?

Pour rappel, voici les deux lignes déterminées précédemment, la ligne A2 faisant la liaison entre Papoterie-CHU Trousseau et Vaucanson à Tours Nord. Un tramway partant de Vaucanson est directement attribué soit à la ligne A1 ou A2 pour indiquer aux usagers la direction qu'ils prendront à partir de Verdun (Lycée Jean Monnet où Papoterie-CHU Trousseau).



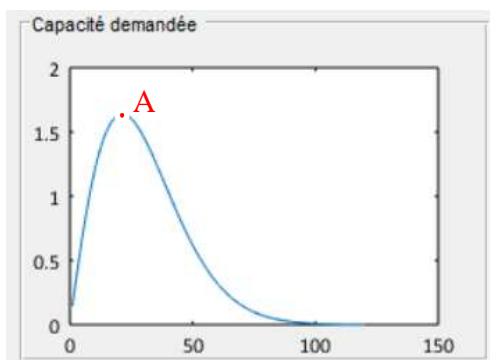
4.2.1 Capacité des deux lignes

4.2.1.1 Ligne A2

Après avoir calculé les flux entre chaque arrêt de notre réseau, nous avons ventilé ces flux dans chacune des lignes de tramway. Cette ventilation suit une distribution de type exponentiel :

$$- t \cdot e^{-10 \cdot t^{(h)}}$$

Cette équation dépend du paramètre h qui est un coefficient d'ajustement compris entre 0,01 et 5. Dans notre cas, nous l'avons fixé de telle sorte que la période où les flux sont les plus forts soit comprise entre 7 heures et 9 heures du matin pour représenter l'heure de pointe. L'axe des abscisses représente le temps en minute, on peut remarquer que la courbe est comprise entre 0 et 120 soit les deux heures de pointes étudiées.



Il a été possible de calculer la capacité maximale demandée nous donnant par la suite le nombre de voitures par minute et donc la fréquence de passage du tramway.

Dans notre cas, la capacité maximale demandée se situe en **A** et elle est de **1,6 voiture/minute**. Soit **un tramway toutes les 40 secondes**. Cette fréquence élevée vient du fait que nous avons considéré dans nos calculs la ligne faisant Papoterie/Vaucanson. Effectivement, cette dernière est située dans des zones d'habitats denses en centre urbain. Par conséquent, elle attire beaucoup de personnes suivant l'hypothèse émise : « un individu est attiré par le tramway s'il est situé à moins de 5 minutes à pied d'un arrêt de la ligne ». De plus, dans la réalité, les 15 % de personnes utilisant les transports en commun que nous avons choisi d'affecter à notre ligne ont à leur disposition d'autres lignes de transports en commun. Il n'y a donc pas la totalité des usagers de transports en commun qui emprunte le tramway, ils peuvent utiliser le réseau de bus.

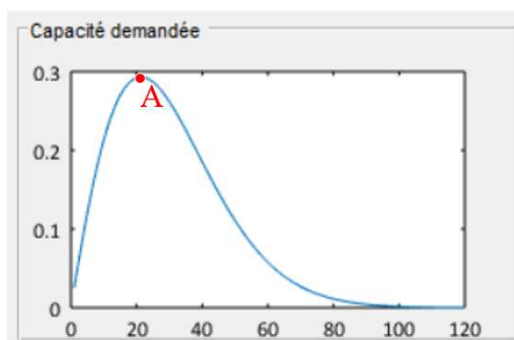
$$\text{Flotte tramway A2} = \frac{\text{Temps de parcours du tramway entre les deux terminus de la ligne (aller-retour)}}{\text{capacité de la ligne}}$$

En considérant que la longueur de la ligne A2 est de 16.27 km et la vitesse commerciale du tramway de 19.5 km/h nous obtenons un temps de parcours aller-retour de 1 heure et 45 minutes (105 minutes).

$$\text{Flotte tramway A2} = \frac{105}{1.6} = 65,625 \text{ soit une flotte totale de 66 tramways}$$

Ce résultat n'est évidemment pas réaliste et découle des hypothèses que nous avons posées notamment que les usagers empruntent le tramway pendant la même période de 7 heures à 9 heures alors que dans la réalité il y a des personnes qui l'utilisent avant 7 heures et après 9 heures. Etant donné que nous avons considéré la population comme ayant un comportement homogène afin de réaliser les calculs, il existe une part d'erreur qui provient de cette hypothèse. Contrairement à la mécanique des fluides, les usagers d'une infrastructure de transport ont une conscience et un comportement difficile à prévoir. Notre hypothèse n'est valide que pour des flux dits « naturels » comme l'eau, l'énergie, etc. qui circulent selon des lois indépendantes du réseau qu'elles traversent. L'eau circule dans un réseau selon la loi de la gravité en fonction de la pesanteur sans « conscience » de la forme du réseau.

4.2.2 Ligne B



Nous avons effectué les mêmes calculs pour la ligne B. La capacité maximale observée en A est de **0.3 voiture/minute** soit un tramway toutes les **3 minutes et 20 secondes**. Contrairement à la ligne A2, nous obtenons ici un résultat plus réaliste dû à des flux plus faibles liés directement à la longueur du tracé, aux arrêts pris en compte et à la population attirée par l'infrastructure.

En considérant que la longueur de la ligne B est de 6.16 km et la vitesse commerciale du tramway de 19.5 km/h nous obtenons un temps de parcours aller-retour de 38 minutes.

$$\text{Flotte tramway B} = \frac{38}{0.3} = 12.667 \text{ soit une flotte totale de 13 tramways.}$$

Ce résultat est plus réaliste et se rapproche de la flotte actuelle (21 rames). Ceci provient du fait que la ligne B est plus courte que la ligne A2.

Selon la méthode de calcul suivie, il est nécessaire d'offrir aux usagers en heures de pointes :

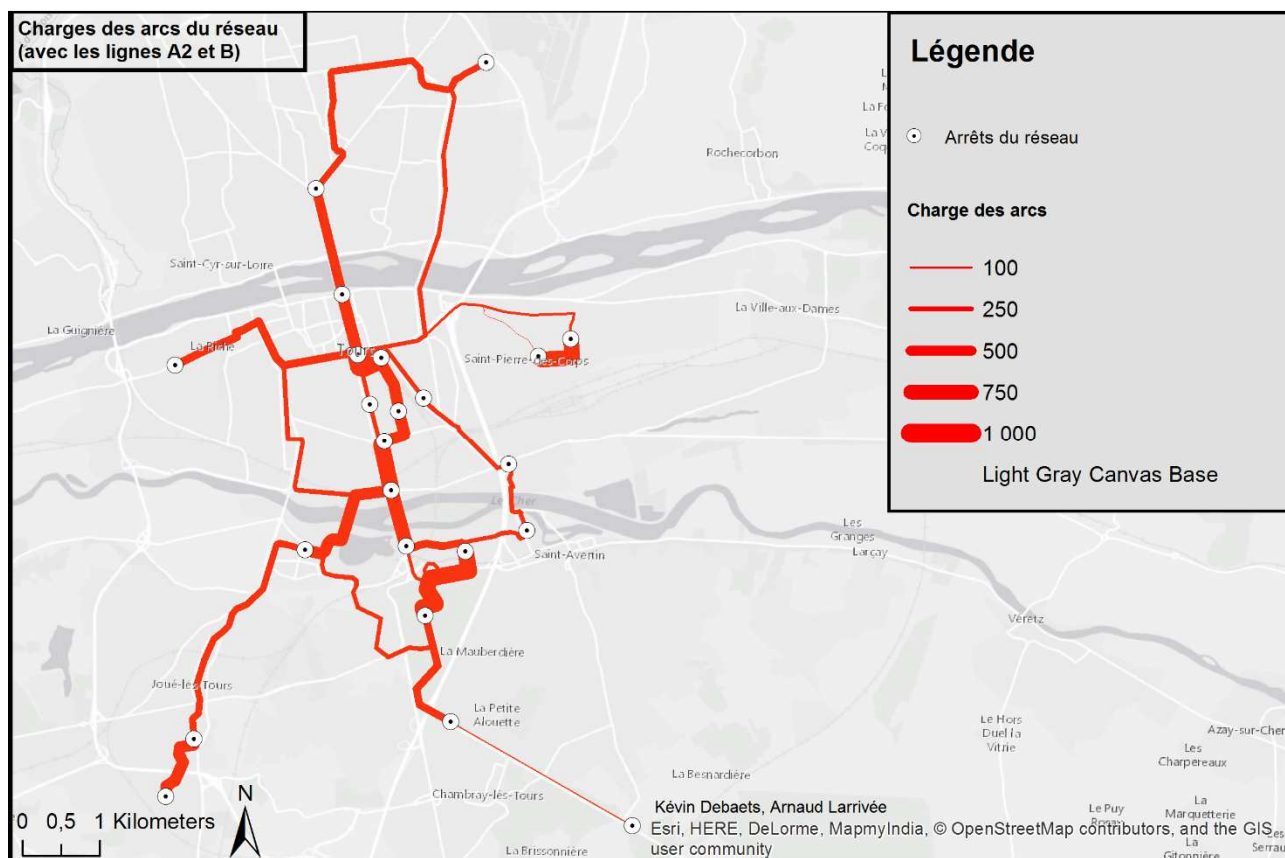
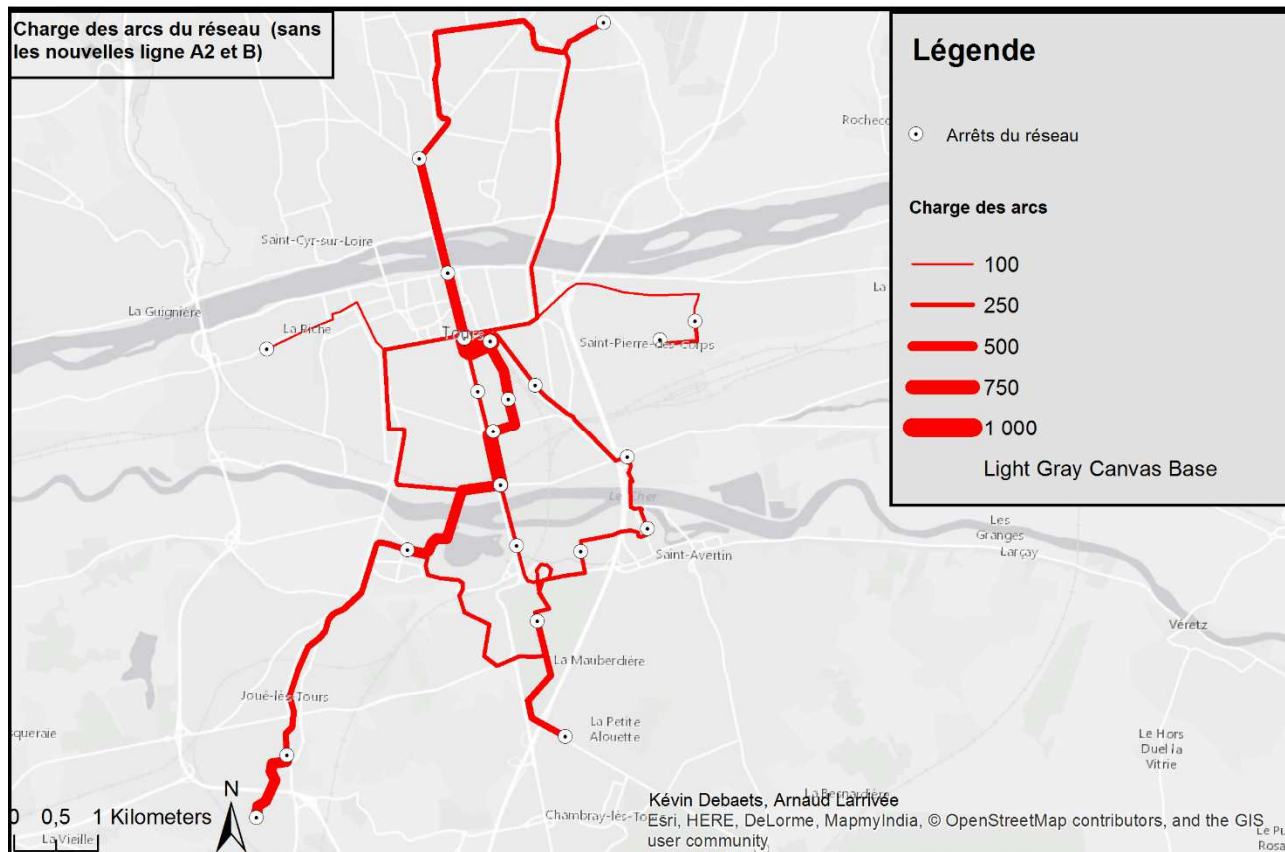
- Pour la ligne B, un tramway toutes les **3 minutes et 20 secondes**,
- Pour la ligne A2 un tramway toutes les **40 secondes**

4.3 Quelles charges sont affectées à notre réseau et quels sont les impacts de l'arrivée des lignes A2 et B ?

Toutes nos hypothèses nous font dire que notre matrice des flux serait sous-estimée. Par conséquent, les charges sur les arcs de notre réseau que nous obtenons devraient être plus élevées. Notre réseau comme nous l'avons imaginé serait probablement saturé, la capacité de nos arcs serait alors trop faible pour pouvoir accueillir autant de voyageurs. Cependant, il convient de nuancer notre propos. En effet, le réseau que nous avons développé ne prend en compte qu'une partie du réseau réel. Par conséquent, le nombre de chemins et/ou d'itinéraires potentiellement empruntables reste limité. Dans la réalité, les usagers du réseau possèdent de multiples possibilités pour se rendre d'un point i vers un point j, alors que notre modèle n'en proposait que certaines d'entre elles. Dans le domaine des transports, on considère cependant que les usagers ne connaissent que les 2 ou 3 meilleurs chemins les plus courts pour atteindre leur destination.

De plus, nous avons considéré que le voyageur s'intéressait au chemin le plus court en termes de distance euclidienne. Dans la réalité, ce n'est pas le cas. Un usager préférera emprunter l'itinéraire lui permettant de se rendre au plus vite d'un point i à un point j et ce en limitant le nombre de correspondances et non celui lui imposant une distance minimale, même si les deux sont souvent corrélés : plus la distance séparant deux points est faible, plus il est rapide de se rendre d'un point à un autre.

Le modèle développé pour affecter à chaque arc les charges définies nous a permis de représenter la différence entre le réseau initial sans les lignes A2 et B avec le réseau défini comprenant les deux nouvelles lignes de tramway. Nous avons choisi de représenter cette différence sous forme de cartes avec dans un premier temps celle représentant la situation initiale et une deuxième incluant les lignes A2 et B.



Sur la première carte représentant la charge des arcs du réseau sans les nouvelles lignes de tramway, on remarque que les arcs possédant les charges les plus élevées sont situés dans le centre-ville de Tours. Le tronçon entre le Quartier des deux lions et Jean Jaurès, passant par le quartier du Sanitas et celui dont la charge est la plus importante du réseau. Ce tronçon est emprunté par l'actuelle ligne de tramway expliquant ainsi son importance par rapport aux autres arcs.

Au regard des fréquentations par arrêt qui nous ont été transmises par l'exploitant du réseau, Kéolis, les résultats que nous obtenons sont en adéquation avec la réalité. En effet, les arrêts Jean Jaurès, Verdun, Liberté, Gare, Nationale, Anatole France, Fac des 2 Lions font partie des 8 arrêts les plus fréquentés du réseau (seul l'arrêt Beffroi possède une fréquentation plus élevée que celle de l'arrêt Fac des 2 Lions). En outre, nous pouvons observer sur cette carte, l'importance de la liaison entre la fac Grandmont et le CHU Trousseau appuyant le choix du tracé de la ligne A2 définie par l'ADTT. Actuellement, sur l'axe de la future ligne B, la charge paraît faible selon le réseau que nous avons décidé d'étudier, ceci est dû au fait qu'il n'y ait qu'une ligne de bus (ligne 3) qui passe par ce tronçon (La riche centre – Hôtel de ville de Saint-Pierre-des-Corps). Cette carte met une nouvelle fois en évidence l'importance de l'actuelle ligne de tramway.

La seconde carte prend en compte les deux nouvelles lignes A2 et B. En comparant les deux cartes, nous nous apercevons que la liaison entre l'arrêt Fontaines et Fac de Grandmont pourrait profiter de l'arrivée du tramway. Cette dernière engendrera alors une hausse de la fréquentation. Cette observation peut être transposable à la liaison entre Saint-Pierre-des-Corps centre et le quartier de la Rabaterie.

De manière générale, les axes empruntés par les deux nouvelles lignes A2 et B, verront leur fréquentation augmenter suite à la mise en service des nouvelles infrastructures.

On pourrait très bien croire que la hausse de fréquentation due à l'arrivée du tramway est logique compte tenu du fait que nous augmentons la capacité des arcs. Cependant, les axes CHU Trousseau/Papoterie et Gare/Saint-Pierre-des-Corps, également desservi par une ligne de tramway, ne profitent pas de l'arrivée des deux nouvelles lignes. D'après nos simulations, la liaison CHU Trousseau/ Papoterie n'est utilisée qu'à hauteur de 9.3%.

Afin de comparer le réseau initial et celui tel que l'ADTT l'a imaginé et tel que nous l'avons modélisé, nous avons entrepris de calculer le ratio entre la capacité utilisée de nos arcs et la capacité utilisable. Pour cela, nous avons fait la somme de la capacité de chacun de nos arcs pour le réseau actuel et le réseau tel que nous l'avons imaginé. Ces deux données ont ensuite été divisées respectivement par la capacité utilisable du réseau actuel et celle du nouveau réseau.

$$\frac{\sum \text{capacité utilisée de chaque arc}}{\sum \text{capacité utilisable de chaque arc}}$$

Part du réseau actuel utilisée = $(8875/9800) \times 100 = 91 \%$

Part du nouveau réseau utilisée = $(11404/14280) \times 100$

On remarque que la part du réseau actuel utilisée est supérieure à celle du nouveau. Cela est dû principalement au fait que nous avons surdimensionné le nouveau réseau pour les flux actuels. En effet, comme nous l'avons mentionné auparavant nous pensons que la matrice des flux est sous-estimée. Il est cependant essentiel de prendre en compte que l'arrivée d'une nouvelle ligne de tramway engendrera une augmentation de la part modale et par conséquent une augmentation de la fréquentation du réseau.

5 Conclusion

En quelques décennies, la société a connu des évolutions majeures et rapides qui ont considérablement transformé la vie quotidienne de chacun d'entre nous. Nos modes de vie évoluent constamment : les nouvelles technologies ont démultiplié les moyens de communication, l'évolution de l'organisation du travail a modifié notre rapport au temps, l'étalement urbain a grignoté l'espace rural, l'allongement de la durée de vie a donné naissance à différents profils de seniors, le développement durable et la prise de conscience environnementale ont pris une place prépondérante dans les préoccupations des citoyens... Tous ces phénomènes ont évidemment animé et continuent d'influer sur les habitudes de déplacement des citoyens. Ce sont eux qui génèrent continuellement de nouveaux besoins de mobilité. Ces derniers impliquent l'évolution des flux de transports de voyageurs et l'évolution de la part modale. Soucieux de répondre au plus près aux attentes de tous les usagers dans leur diversité et d'assurer au mieux leur mission de service public, le prestataire de service d'un réseau urbain de transport ainsi que les services publics se doivent donc d'être en mesure d'adapter leur offre aux évolutions de la société et aux mutations des territoires. Par conséquent, il convient d'assurer la conciliation entre développement soutenable et augmentation des flux de transports. Celle-ci nécessite, par conséquent, une modification des modes de transports et une évolution des pratiques de mobilité. Par ailleurs, d'après une étude réalisée en 2012 par le ministère de l'écologie et du développement durable, la part modale de la voiture particulière baissait très légèrement depuis 2007 au profit des transports collectifs. L'attractivité durable du transport public sur l'ensemble d'un territoire devient alors un enjeu primordial.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la création d'une deuxième ligne de tramway à Tours. Au travers de ce projet de recherche, nous avons ainsi tenté de définir quels pourraient être les effets de la mise en concurrence de plusieurs lignes de tramway au sein du réseau de transport en commun de l'agglomération tourangelle. A défaut d'obtenir des résultats en phase avec la réalité du terrain, les modes opératoires et les hypothèses auxquels nous avons fait appel, tout au long de notre projet, nous auront permis de mobiliser des concepts inhérents à l'ingénierie des transports. Ces derniers constituent des préalables impératifs à l'établissement d'une offre de transport. Les décideurs politiques auront alors tout le loisir d'élaborer des préconisations concrètes d'évolution de l'offre de transport public pour conquérir et fidéliser de nouveaux clients estampillés Fil Bleu.

BIBLIOGRAPHIE

Livres et articles scientifiques

- Bonnel, P. (2016). *La modélisation des déplacements : Qu'est-ce qu'un modèle, pour qui et pourquoi?*. [online] Docplayer.fr. Available at: <http://docplayer.fr/2640000-La-modelisation-des-deplacements-qu-est-ce-qu-un-modele-pour-qui-et-pourquoi.html> [Accessed 7 Oct. 2016].
- Désveaux, D., Richez, T., Blerot, F., Cottet, V. and Cuillier, F. (2013). *Tramways à la française*. 1st ed. Paris: Archibooks + Sautereau.
- Huré, M. (2016). *Philippe Hamman (dir.), Le Tramway dans la ville. Le projet urbain négocié à l'aune des déplacements. 2011, Presses Universitaires de Rennes, Rennes*. [online] Metropoles.revues.org. Available at: <https://metropoles.revues.org/4459#text> [Accessed 11 Oct. 2016].
- Merlin, P. (1992). *Les transports urbains*. 1st ed. Paris: Presses universitaires de France (41-Vendôme : Impr. des PUF).

Sites web visités

- Agglo-tours.fr. (2016). *Mobilité - Tour(s)plus - Communauté d'Agglomération*. [online] Available at: <http://www.agglo-tours.fr/index.php?idtf=21> [Accessed 27 Sep. 2016].
- Bleu, R., réseau, D., Tram, R. and Tram, R. (2016). *Transport multimodal Bus et tram - Fil Bleu agglomération Tourangelle - Fil Bleu, réseau de bus-tram-vélo de l'agglomération Tourangelle*. [online] Filbleu.fr. Available at: <https://www.filbleu.fr/reseau-fil-bleu/decouvrir-le-reseau/le-reseau-bus-tram> [Accessed 21 Sep. 2016].
- Hypergeo.eu. (2016). *Modèle gravitaire - Hypergeo*. [online] Available at: <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article76> [Accessed 11 Oct. 2016].
- Lanouvellerepublique.fr. (2016). *Recherche de « tramway » – Page 1 – Recherche –*. [online] Available at: <http://www.lanouvellerepublique.fr/content/search?SearchText=tramway&ie=UTF-8> [Accessed 29 Sep. 2016].
- Info Tours.fr. (2016). *Deuxième ligne de tram : les études présentées début 2017*. [online] Available at: <http://www.info-tours.fr/articles/tours/2016/11/21/5135/deuxieme-ligne-de-tram-les-etudes-presentees-debut-2017/> [Accessed 7 Dec. 2016].
- Info Tours.fr. (2016). *Transports à Tours : pas de décollage immédiat*. [online] Available at: <http://www.info-tours.fr/articles/tours/2016/09/12/4680/transports-a-tours-pas-de-decollage-immediat/> [Accessed 7 Dec. 2016].

CITERES

UMR
6173

*Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés*

*Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement,
Paysage,
Environnement*



35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

**Directeur de recherche :
Hervé Baptiste**

**Debaets Kévin
Arnaud Larrivée
Projet de Fin d'Etudes
DAE5
2016-2017**

Transports : Impacts d'une 2ème ligne de tramway à Tours sur les flux

Résumé : La mise en service de la deuxième ligne de tramway « ne se fera pas avant 2023 » d'après le vice-président de Tour(s)Plus en charge des transports. Soit dix ans après l'inauguration de l'actuelle ligne A. De nombreuses études concernant les flux ont cependant déjà été réalisées afin de définir quelles étaient les demandes en terme de desserte les plus prégnantes. Les résultats de ces enquêtes ne seront consultables par les élus que début 2017, ces dernières étant toujours en cours. Plusieurs itinéraires ont ainsi été envisagés. Certains d'entre eux reprennent sûrement les préconisations faites par l'Association pour le Développement des Transports collectifs en Touraine (ADTT). Nous concernant, nous nous sommes appuyés sur leurs recommandations afin de définir quels seraient les impacts sur les flux du réseau Fil Bleu suite à la création de deux nouvelles lignes de tramway. Pour cela, nous avons dans un premier temps entrepris de calculer les flux théoriques reliant les points d'arrêts que nous avons défini au préalable. Ces derniers ont ensuite constitué la base de notre travail. En effet, ils nous ont permis par la suite de déterminer la capacité de nos deux lignes ainsi que la flotte nécessaire au passage de l'ensemble de nos flux. Nous nous sommes également évertués à indiquer quelles pourraient être les charges potentielles affectées à notre réseau en heures de pointe, de 7 heures à 9 heures du matin. Enfin, l'ensemble des résultats que nous avons obtenus ont fait l'objet d'une analyse autocritique : remise en cause des partis-pris, conséquences de nos hypothèses sur les résultats, etc.

Mots Clés : Transports, modèle, tramway, flux, capacité, tracé, impacts, attraction, génération, flotte, réseau.