

Projet de Fin d'Études (PFE) 2020-2021

Optimisation des ressources appliquée aux transports scolaires



Optimisation des ressources appliquée aux transports scolaires : Étude de cas pour Keolis Touraine.

Hervé Baptiste

Abigaïl Tourniaire

2022

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.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non-plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Études en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'École Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, 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 et de l'environnement 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 Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 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

Je voudrais remercier toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin à réaliser ce mémoire.

D'abord, merci à mon directeur de recherche, Hervé Baptiste. Merci pour votre disponibilité durant ce travail. Merci pour vos précieux conseils, qui ont alimenté ma réflexion au fil de l'eau.

Merci à Fanny Carré, ma tutrice professionnelle et responsable planning chez Keolis Touraine qui m'a donnée l'opportunité d'apprendre avec elle. Merci également à tous mes collègues qui m'auront permis de réaliser ce projet et de l'appliquer à leurs problématiques. Merci pour leurs conseils, leur disponibilité et leur réactivité dès que j'avais besoin d'eux.

J'adresse toute ma gratitude et ma reconnaissance à mes proches qui m'accompagnent au quotidien. Mes parents qui ont cru en moi et qui m'ont toujours encouragée, mes sœurs. Merci à Vincent pour sa présence et son soutien, j'adresse une pensée à toute sa famille. Merci à mes amis, et merci à Pépé et Mémé pour être mes plus grands supporters dans la vie.

Enfin, un grand merci à toutes ces personnes rencontrées à l'université, trop nombreux pour les citer. Merci à tous ces collègues d'écoles, amis, et professeurs. Merci à Salim et Dylan sans qui ces 3 années n'auraient pas été les mêmes.

SOMMAIRE

Table des matières

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Études en génie de l'aménagement et de l'environnement.....	4
Introduction.	8
1. État de l'art : les initiatives menées pour mieux gérer les ressources en heure de pointe. ..	10
1.2. <i>Le levier économique chez les actifs.</i>	12
1.3. <i>Initiatives côté scolaires.</i>	13
1.4. <i>Les enjeux des mobilités périurbaines.</i>	14
1.5. <i>Conclusion de l'état de l'art et pistes à explorer.</i>	16
2. Méthode de collecte et cadre d'analyse.	18
2.1. <i>Chercher le meilleur itinéraire : le trajet le plus court.</i>	18
2.2. <i>Desservir des arrêts : le type de graphe utilisé.</i>	21
2.3. <i>Quelles économies pour l'entreprise ?</i>	23
3. Application au cas des transports scolaires de l'est tourangeau.....	24
3.1. <i>Site d'étude : 4 communes de l'est tourangeau desservies par les transports Keolis Touraine.</i>	24
3.2. <i>Données observées et premières hypothèses.</i>	25
3.3. <i>Application des méthodes.</i>	28
3.3.1. La combinaison par nombre de voyageurs.	28
3.3.2. La combinaison par durée de course et distance parcourue.	29
3.4. <i>Résultats observés.</i>	30
3.5. <i>Estimation des gains / pertes réalisés.</i>	35
3.5.1. Une économie sur les dépenses de l'entreprise.....	35
3.5.2. Une durée de course plus longue pour l'utilisateur.	37
4. Conclusion et discussion.....	38
5. Annexes.	39
6. Bibliographie.....	46

Table des figures, tableaux et annexes.

Figure 1 : Nombre de validations sur la journée pour la ligne 2 Fil Bleu. Source : base de données Keolis Tours.	8
Figure 2 : Comparaison de la distribution des horaires d'arrivée au travail fixés par l'employeur et en horaires flexibles.	11
Figure 3 : Nombre de validations dans la ligne 2 de BHNS Fil Bleu, et la part d'étudiants (abonnement étudiant et 19-25 ans).....	13
Figure 4 : modes de transports privilégiés en fonction du lieu de résidence. Source : CEREMA 2018, observatoiredesterritoires.gouv.fr.....	14
Figure 5 : Mode de déplacements utilisés (en %) en fonction de la distance à parcourir. Source : INSEE 2017.	15
Figure 6 : Illustration de la combinaison de lignes souhaitée dans notre méthode. Auteure : Abigaïl Tourniaire.....	17
Figure 7 : Fonctionnement de l'algorithme de Dijkstra. Auteure : Abigaïl Tourniaire.	19
Figure 8 : Exemple de chemins eulérien et hamiltonien. Un graphe est eulérien s'il contient un cycle eulérien. Un graphe est hamiltonien s'il contient un cycle hamiltonien. Source : gymomath.ch.....	21
Figure 9 : Courbe de Peano. Auteure : Abigaïl Tourniaire.....	22
Figure 10 : principe de fonctionnement de la résolution du TSP par Arcgis, en utilisant l'algorithme de PEANO.	22
Figure 11 : Communes du site d'étude et les lignes scolaires les desservant.	24
Figure 12 : Service type effectué par un conducteur CPS. Source : OKAPI Keolis Touraine.....	25
Figure 13 : Pointage des arrêts des 2 lignes scolaires de la commune d'Azay-sur-Cher sur Arcgis.....	30
Figure 14 : Nouvel itinéraire optimal obtenu par combinaison de 2 lignes scolaires d'Azay-sur-Cher.	31
Figure 15 : Itinéraire optimal obtenu et sa feuille de route pour la fusion des lignes NE6-1 et NE6-5.	31
Tableau 1 : Exemple de l'algorithme de Dijkstra appliqué au réseau précédent (Figure 7).....	20
Tableau 2 : Détail des horaires de début et fin de cours dans les écoles concernées, ainsi que les lignes les desservant.....	25
Tableau 3 : Horaires des lignes scolaires concernées, leur durée et les kilomètres parcourus.	27
Tableau 4 : Nombre de montées réelles recensées dans les lignes scolaires du site d'étude.	27
Tableau 5 : Nombre de voyageurs obtenus en combinant 2 lignes scolaires à l'intérieur. En vert : < 60 personnes, en rouge > 60 personnes.	29
Tableau 6 : Distances et durées des nouvelles courses. En vert : celles inférieures à 41 minutes de trajet, en rouge, celles supérieures.	32
Tableau 7 : kilomètres recensés avant et après combinaisons des lignes.	34
Tableau 8 : évolution des durées de courses pour les nouvelles lignes scolaires.	37
Annexe 1 : Algorithme de Dijkstra. Source : pairform.....	39
Annexe 2 : Propriétés des itinéraires créés sur ArcGis.....	39
Annexe 3 : Fiches horaires des lignes scolaires d'Azay-sur-Cher.....	40
Annexe 4 : Fiches horaires des lignes scolaires de Montlouis-sur-Loire	42
Annexe 5 : Fiches horaires des lignes scolaires de Véretz.....	44
Annexe 6 : Fiches horaires des lignes scolaires de la Ville-aux-Dames	45

Introduction.

En France, les transports en commun attirent de plus en plus de voyageurs. En effet, depuis les 10 dernières années, une augmentation de 30% est observée dans la fréquentation des transports collectifs (mediatransport.com). Cependant, beaucoup restent partagés vis-à-vis de leurs avantages comparés à la voiture. D'après une étude Statista de 2018, 14% des Français utilisent les transports en commun tous les jours contre 31% qui ne les utilisent jamais. Ces utilisateurs représentent autant d'intérêts qu'il faut concilier dans l'optique de faire de l'utilisation des transports en commun une normalité.

Nous connaissons tous le phénomène d'heure de pointe du fait de notre expérience personnelle et ce quel que soit le mode de transport : trafic dense en voiture, ou surcharge de passagers dans les transports collectifs. Il s'agit des instants de forte affluence et de fréquentation dans une journée. Ici, nous nous intéresserons plutôt à la pointe dans les transports en commun. Ces heures suivent le mode de vie des actifs à savoir l'embauche, le midi, et la débauche. En Île-de-France, 86% des salariés arrivent au travail entre 7h30 et 9h30 (source : Région Île-de-France). Ce qui mène à des taux de remplissage allant de 40% en heure creuse, à 250% en hyper pointe dans les transports parisiens. Mais ces heures de pointes ne sont pas seulement liées à l'heure d'embauche mais surtout à un mode de vie qui va se construire autour : déposer et récupérer les enfants à l'école, faire des courses... L'heure de pointe se traduit donc comme un moment de forte affluence. En transports, ce sera un haut nombre de passagers (Figure 1) comme un trafic dense sur la route, mais ce pic peut autant se retrouver dans d'autres domaines : pic de consommation d'eau, d'électricité, etc.

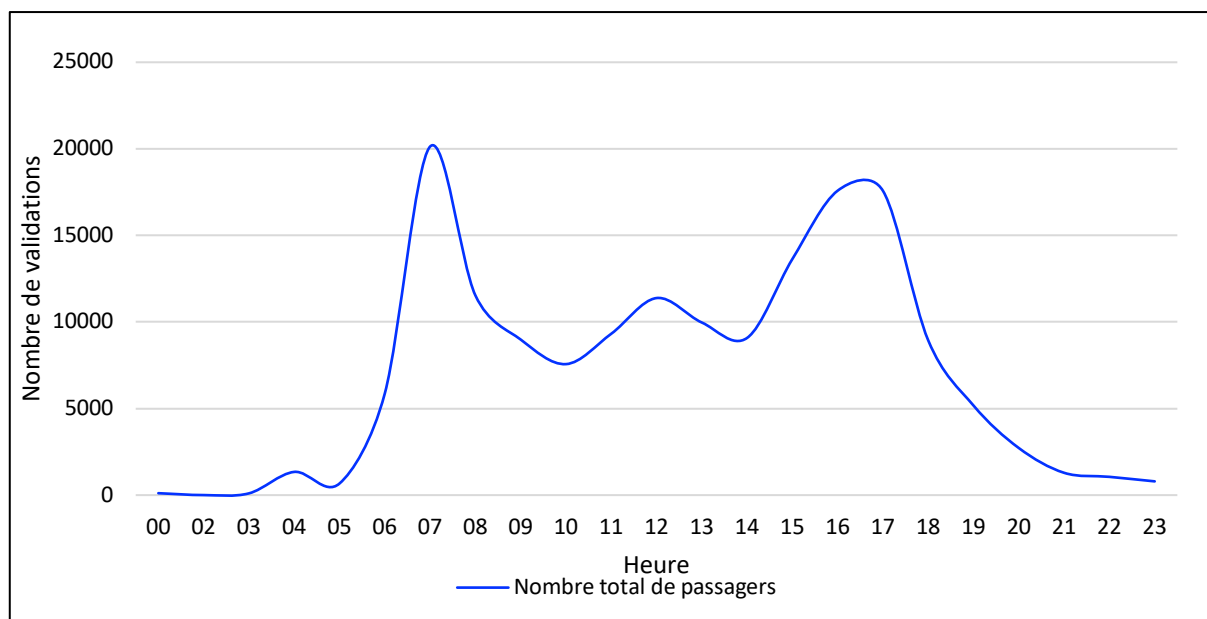


Figure 1 : Nombre de validations sur la journée pour la ligne 2 Fil Bleu. Source : base de données Keolis Tours.

Lorsque nous parlons de lisser les heures de pointe, il s'agit en fait d'étaler la courbe de charge de voyageurs sur la journée. Plutôt que celle-ci soit concentrée à deux moments dans la journée (vers 8h le matin et 17h le soir), nous voudrions l'homogénéiser de manière à répondre à différents enjeux. En effet, les pics de fréquentation des transports collectifs représentent différentes problématiques que ce soit du point de vue du transporteur comme du client.

Ces enjeux sont tous liés à des facteurs de qualité de services déterminants. Or, pour y répondre, il faudra autant prendre la place de l'utilisateur que du transporteur.

En effet, côté voyageur, un transport surchargé rend le trajet inconfortable comme stressant. De plus le temps par arrêt est multiplié, conduisant alors une moins bonne ponctualité ce qui atteint autant le passager que le transporteur pour lesquels un passage à l'heure est primordial. Enfin, l'accès pour les personnes à mobilité réduite est quasiment impossible lors des moments de forte charge.

Côté transporteur, il peut connaître une fraude démultipliée du fait d'un mauvais accès au valideur ou une montée par l'arrière d'un véhicule. De plus, et un enjeu majeur dans l'exploitation des lignes, est un fort déploiement des ressources matérielles et humaines qui engendre un surcoût nécessaire pour absorber une demande exacerbée. En effet, le transporteur s'adapte à la demande pour y répondre. Par « ressources », nous parlons d'un plus grand nombre de véhicules et de conducteurs sur place. Le coût est alors multiplié pour différentes raisons : le coût du conducteur allant avec son salaire, le coût du matériel et tout ce qu'il implique : carburant, maintenance mécanique, entretien. Ces coûts humains et matériels, nous pourrions les résumer en un coût par km les regroupant.

Une conséquence problématique rencontrée est notamment une mauvaise image véhiculée des transports collectifs, ce qui peut engendrer sur le long terme à l'usage de la voiture pour les trajets quotidiens.

Il faut alors réfléchir aux leviers sur lesquels jouer afin de forcer cet aplanissement de la pointe, et ce dans le sens des problématiques rencontrées par l'entreprise de mon contrat de professionnalisation : Keolis Touraine. Ce transporteur se compose de plusieurs lignes régulières, des trajets touristiques, mais surtout une grande majorité de transports scolaires. Ceci nous donne une idée du générateur de passagers sur lequel jouer. Ces transports scolaires ne fonctionnent aujourd'hui qu'en heure de pointe. En effet, les ressources sont déployées ponctuellement dans la journée afin de transporter les scolaires jusqu'aux écoles et assurer leur retour.

Notre site d'étude sera donc basé en Région Centre-Val-de-Loire, où Keolis Touraine agit sur 3 départements : l'Indre-et-Loire, l'Indre, et la Vienne. L'activité principale de cette entreprise sont les transports scolaires, avec une centaine d'établissements desservis par leurs lignes. Il s'agit donc d'un enjeu de taille pour ce transporteur, ainsi qu'un levier intéressant pour réaliser de potentiellement économie en coût d'exploitation de leurs lignes scolaires.

Dans ce projet de fin d'étude, nous réaliserons d'abord un état de l'art pour confronter ce qui a déjà été envisagé sur ce sujet. Puis, nous établirons un cadre d'analyse ainsi qu'une méthode de collecte d'informations pour mettre en place un modèle qui nous servira dans l'application au cas concret des transports de Keolis Touraine.

1. État de l'art : les initiatives menées pour mieux gérer les ressources en heure de pointe.

Il s'agira de comparer les lectures scientifiques actuelles, et confronter les méthodes existantes avec celles que nous envisageons. Le but étant d'englober toutes les contraintes imposées, nous verrons en quoi ces articles répondent ou non à l'ensemble des enjeux.

Les intérêts pour étaler l'heure de pointe sont multiples. Le principal est que le transporteur évite d'avoir des véhicules surchargés à certains moments de la journée, et sous-exploités à un autre moment. Si nous partions du principe que nous arrivions à obtenir une courbe de fréquentation parfaitement droite et constante (donc un débit de voyageurs égal à tout instant de la journée), cela signifierait que le transporteur pourrait parfaitement gérer sa ressource en véhicule qui aurait donc un rendement de 100% (ils seront toujours remplis parfaitement).

Pour répondre à ces enjeux et intérêts pour l'entreprise, nous pouvons distinguer 2 types d'ingénieries dans ce cas. L'ingénierie de correction et celle de conception. L'ingénierie de conception signifie dimensionner un dispositif qui s'adapte à la demande. Celle de correction veut dire l'inverse : adapter le besoin à l'offre déjà en cours. Cet état de l'art nous permettra de nous positionner sur ce que nous allons tenter de faire dans cette étude : revoir l'offre ou revoir la demande ?

Revoir la demande fait appel notamment à la notion d'effacement diffus par exemple. C'est un principe plus largement utilisé dans le domaine de l'électricité. D'après l'ADEME, l'effacement diffus se traduit comme : « *réduire temporairement la consommation d'électricité d'un grand nombre de petits sites, en particulier de logements. Il s'agit, par exemple, d'interrompre brièvement (au maximum 30 minutes), mais de façon coordonnée, l'alimentation de radiateurs [...] afin de réduire la demande totale d'une région* ». Cela va matériellement se traduire par une consommation d'électricité amoindrie pendant les heures de pointes et par un élargissement de la plage horaire d'utilisation.

Le parallèle peut se faire avec le transport : nous verrons les différentes initiatives qui permettent d'obtenir ce résultat à savoir d'influer sur la demande. La question est : comment faire pour que les usagers n'aient plus besoin de se déplacer au même moment ?

Revoir l'offre est l'exact inverse : on dimensionne un dispositif ou ici une flotte de véhicules qui puisse subvenir aux besoins et à la demande de passagers. Pour ce faire, nous pourrions tout simplement observer le nombre de personnes à transporter dans la journée et en déduire un nombre de véhicules. Mais, et si nous voulions minimiser cette flotte à déployer ? Nous verrons quels sont les modifications structurelles qu'il est possible d'apporter pour revoir cette offre.

Dans cet état de l'art, nous allons donc recenser les initiatives qui ont été menées jusqu'à maintenant dans le sens d'un étalement des heures de pointes. Nous verrons d'abord celles concernant les actifs, puis les scolaires, et enfin nous identifierons les problématiques du transport en périurbain comme les rencontre Keolis Touraine. En effet, il va s'avérer que la plupart des études menées ont pris pour objectif les transports collectifs en milieu urbain. Or, nous intéressent aux transports de Keolis Touraine, acteur des mobilités périurbaines de la Région Centre-Val-de-Loire, nous verrons en quoi les initiatives urbaines pourront ou non s'appliquer à leur cas.

1.1. Le levier de l'emploi du temps chez les actifs.

D'abord, une des premières solutions adoptées de manière générale en France est la flexibilité des horaires de travail. À savoir, des horaires bloqués sur certaines plages puis le reste est complété à la guise du collaborateur. Ceci est apparu comme être une solution à l'hyper pointe, suggérant que les collaborateurs n'étaient plus obligés d'être dans les transports à cette heure-là. Or, certains restent mitigés quant à la flexibilité des horaires comme réponse au lissage de l'heure de pointe. En effet, on peut déjà remarquer une différence entre flexibilité et variabilité (Emmanuel Munch, 2017). La flexibilité représente la possibilité pour un actif de décaler ses horaires, tandis que la variabilité représente ce qui est effectivement décalé. C'est cette différence qui fait que les horaires flexibles tels que nous les connaissons ne seraient pas efficaces contre les heures de pointe. C'est ce que Mc McCafferty & Hall montrent, en prouvant que même si les horaires des actifs sont flexibles, ceux-ci ont tout de même tendance à continuer de travailler à des horaires « classiques », sans changer leurs habitudes.

Une étude menée par le laboratoire logistique de Genève (Kahn, 2007) montre que 74% des actifs ayant des horaires flexibles se rendent sur leur lieu de travail entre 7h30 et 8h30. Nous pouvons confirmer ce phénomène notamment grâce aux données parisiennes qui dépeignent cette tendance comme partout ailleurs. En effet, 30% des franciliens actifs bénéficient d'horaires de travail flexibles (ENTD 2008). Face à cela, Emmanuel Munch et Laurent Proulhac (2019) se proposent de comparer l'intensité de l'hyper pointe sur la demi-heure entre populations à horaires fixes et flexibles. Cette comparaison met en avant un résultat : 23% des salariés à horaires flexibles arrivent avant 9h30 contre 19% des salariés à horaires fixes qui arrivent entre 8h30 et 9h00 (figure 2).

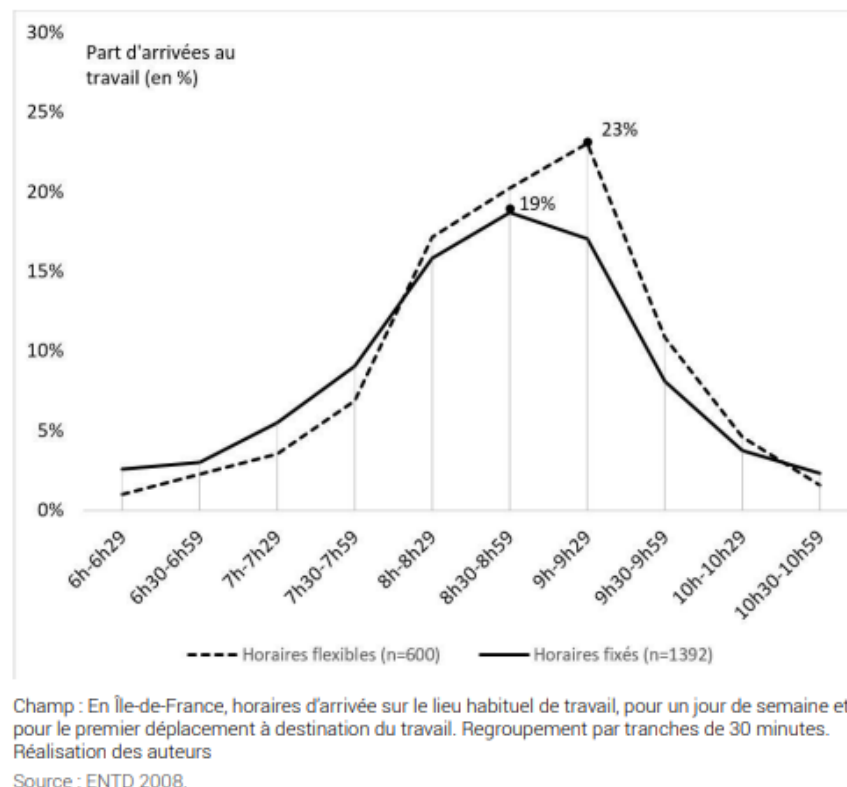


Figure 2 : Comparaison de la distribution des horaires d'arrivée au travail fixés par l'employeur et en horaires flexibles.

Ceci mène à une conclusion d'apparence paradoxale : les horaires flexibles auraient plutôt tendance à accentuer le phénomène de l'heure de pointe, plutôt que de le résoudre. En rendant les horaires flexibles, les transporteurs iraient donc dans la mauvaise direction pour répondre à problème

de l'heure de pointe. Il semblerait en fait qu'au-delà de donner la possibilité aux usagers de changer leurs horaires de déplacement, il faut que de leur côté il y ait une volonté de changer leurs habitudes de travail. Il apparaîtrait donc aux premiers abords que ce qui fonctionnerait sont les heures fixes mais décalées dans le temps.

Cependant, d'autres moyens tendent à montrer que certaines solutions fonctionnent. Aux États-Unis, une pratique visant à aller vers un désengorgement des transports, s'est largement développée (Emmanuel Munch, 2014). Il s'agit des « Alternate work Schedule » (AWS). D'après le site officiel du gouvernement américain, il s'agit d'un terme générique faisant référence à différents aménagements des horaires de travail de manière compressée. En fait, il s'agit de donner un nombre d'heures de travail à réaliser sur 10 jours, que l'employé organise à sa convenance.

En France, on trouve également des programmes et initiatives visant à lisser cette courbe de fréquentation. En effet, La Défense est à l'origine d'un projet depuis mars 2019. Les principaux acteurs sont la Région Île-de-France ainsi qu'un groupement d'une vingtaine d'entreprises (EDF, RATP, SNCF, HSBC...), qui ont pour but de décaler les heures de travail jusqu'à 45 minutes pour améliorer l'accessibilité et le confort des transports collectifs dans les trajets domicile-travail. Cette phase d'expérimentation permet de cibler 50 000 collaborateurs. Le but serait de réduire de 5 à 10% le taux d'engorgement des transports entre 8h30 à 9h30, soit entre 5 000 et 10 000 personnes en moins dans les transports. Un des réels enjeux ici pour les transporteurs est de résoudre le problème des transports surchargés en heures de pointes et presque vides en heures creuses.

1.2. Le levier économique chez les actifs.

À Singapour, le métro est gratuit pour les actifs arrivant avant 7h45 sur leur lieu de travail (Manon Couturier, 2014). Ce qui prouve bien que des initiatives sont prises pour lisser ces heures de pointes et que plusieurs leviers sont étudiés : ici, le levier économique. Cette discrimination tarifaire fait partie d'un management de la demande de transport dont nous connaissons les effets quotidiennement. Par exemple, il s'agit de ce phénomène lorsque les prix des billets SNCF augmentent fortement en cas de demande exacerbée. Ces expérimentations ont été menées par SYSTRA dans certaines villes d'Amérique latine avec plusieurs résultats observés. À Santiago, au Chili, cette tarification changeant avec les heures creuses et heures pleines ont engendré une diminution de la charge allant jusqu'à 17,5%.

De manière générale, la politique tarifaire des transports tente d'agir sur les usages des utilisateurs par deux moyens : le report temporel ou le report modal. La tarification dynamique des transports, ou encore du stationnement en centre-ville, comme la mise en place de parking relais, sont autant de moyens mis en place par les collectivités pour encourager le lissage de la pointe. On voit donc que cette démarche ne se fait pas uniquement sur les transports en commun, mais aussi sur l'usage des infrastructures routières.

En effet, on peut faire l'analogie de ces pratiques avec le yield management, qui se définit comme un ajustement des prix (des billets de trains, d'avions...) en fonction du comportement de la demande. Ceci a déjà été expérimenté en France sur les infrastructures autoroutières. En effet, depuis les années 1990 se pose la question du décongestionnement des autoroutes A1 et A14 au passage de Paris (G. DUMARTIN, 1993). Ici, on découpe la journée en plusieurs types d'heures plus ou moins problématiques du point de vue de la fréquentation automobile. Le but est ainsi d'étaler la fréquentation en augmentant le prix du péage en heure de pointe et en le baissant en période creuse dite « verte », le tout calculé par rapport à un tarif de base. Nous parlons ici d'une variabilité allant jusqu'à 25% d'augmentation en heure de pointe, et de diminution en heure creuse (14h30 – 16h30,

puis 20h30 – 23h30). Ces modifications tarifaires ont déjà fait leurs preuves, notamment sur les retours à Paris les dimanches avec 4% de trafic en moins sur les heures pleines et 7% d’augmentation du trafic en périodes vertes.

En France, la démarche générale est donc faite pour un décalage auprès des actifs. Mais dans notre cas, Keolis Touraine est composé en majorité de transports scolaires. Nous allons donc voir si le levier des scolaires a déjà été étudié.

1.3. Initiatives côté scolaires.

En effet, il est aussi intéressant de changer de référentiel et donc de générateur de passagers pour savoir comment il impacte la charge de passagers. Depuis les années 2000 en France, beaucoup d’initiatives sont menées vers les scolaires et plus précisément les étudiants d’université. En effet, les étudiants représentent un générateur intéressant d’abord car ils sont à l’origine de nombreux déplacements occasionnés au même moment. Il est donc facile de modifier leurs horaires de cours par exemple tout en ayant un grand impact sur la charge des transports par leur grand nombre. Par exemple, à Tours, près de 45% des validations journalières sont des étudiants (Figure 3). Ici, on confirme que les écoles sont de grands générateurs de déplacements sur lesquels les transports collectifs doivent s’aligner et se montrer attractif pour provoquer une utilisation régulière.

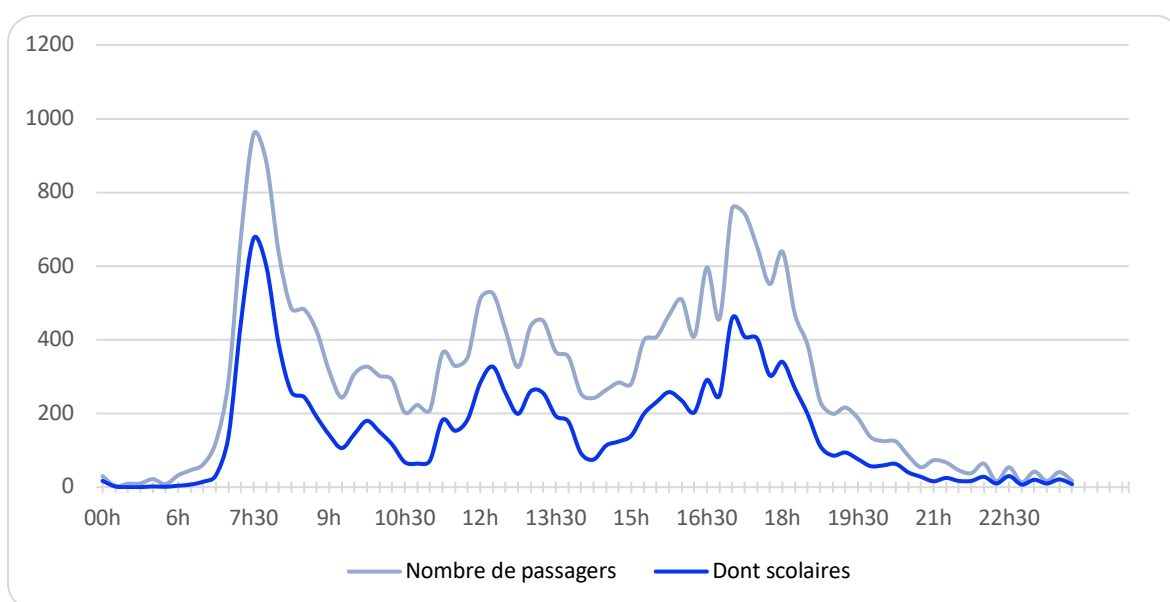


Figure 3 : Nombre de validations dans la ligne 2 de BHNS Fil Bleu, et la part d’étudiants (abonnement étudiant et 19-25 ans)

Keolis Rennes a déjà pris cette initiative du côté de ses universités de Rennes 2. Le principe a été de décaler les heures de sonneries de 15 à 30 minutes, et ce en identifiant les zones critiques, le but n’étant pas de décaler tout le monde. Ces zones dites critiques sont en réalité celles où on aura un amas de passagers accumulés. Par exemple, il s’agira d’un arrêt de bus desservant plusieurs écoles ayant les mêmes horaires de cours, et donc qui accumulera beaucoup d’élèves. D’après les résultats du groupe Keolis, la filiale rennaise aurait pu observer une diminution de 17% de la charge des transports. Même si ce pourcentage paraît faible, le groupe estime qu’il suffit une différence de 5% d’engorgement pour ressentir une réelle différence autant côté client que côté transporteur (Magali Tran, 2019). D’une part, on a un confort voyageur amélioré. Par exemple, cela représenterait une cinquantaine de personne en moins par rame de tramway. Ensuite, côté transporteur, Keolis Rennes a pu épargner 12 millions d’euros, ce qui équivaut à l’achat de 3 rames de métro. En effet, l’offre étant

stabilisée aux périodes chargées, la demande est donc par définition plus prévisible. Il est donc possible d'économiser certaines courses sous exploitées.

Une initiative similaire a été réalisée à Tours, dans le quartier universitaire des 2 Lions où les différentes écoles ont organisé leur début de cours de façon décalée par rapport aux autres écoles. En effet, alors que certaines universités vont commencer à 8h00 le matin (l'IAE), d'autres commenceront à 08h15 (Polytech). Cette expérience semble encourageante notamment du fait de sa facilité d'exécution. En effet, le décalage des horaires de cours est quasiment indolore du côté de l'université : de 15 à 30 minutes.

1.4. Les enjeux des mobilités périurbaines.

Nous constatons donc que la plupart des initiatives et études déjà menées ont concerné principalement les mobilités urbaines. Mais qu'en est-il du périurbain ? Nous intéressons ici aux transports de Keolis Touraine, acteur des mobilités périurbaines dans la Région Centre-Val-de-Loire, nous nous arrêterons sur comment sont régies ces déplacements et si une modification de la courbe de fréquentation des transports est possible.

Dans le périurbain et les mobilités interurbaines en général, la part de la voiture reste importante (Figure 4).

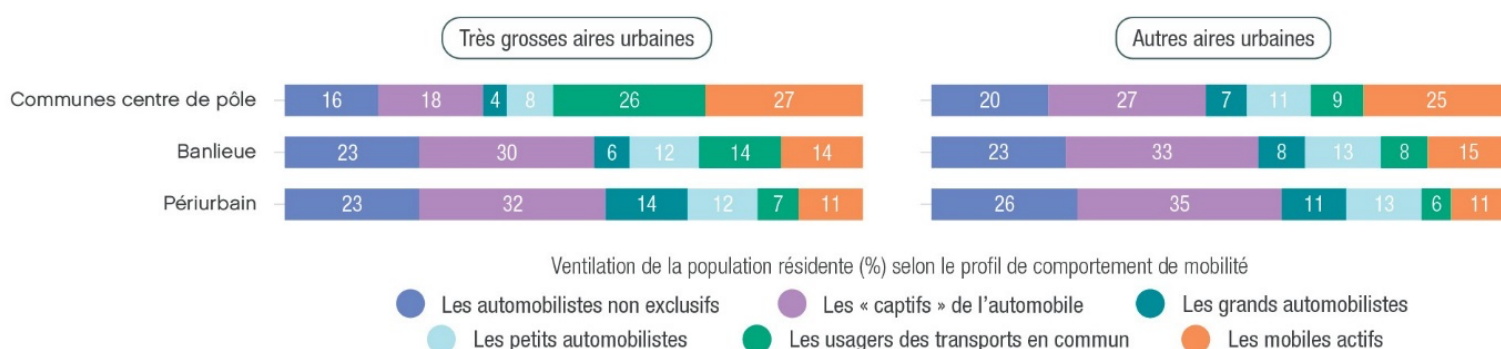


Figure 4 : modes de transports privilégiés en fonction du lieu de résidence. Source : CEREMA 2018, observatoiredesterritoires.gouv.fr

On remarque ici que les transports en communs sont plus largement utilisés dans les centres-villes. Dans le périurbain, leur utilisation reste faible. Cela peut s'expliquer de plusieurs manières :

- D'abord, les transports en commun sont en plus basses fréquences, de part une demande beaucoup moins exacerbée qu'en centre-ville.
- Les distances à parcourir pour ses déplacements quotidiens se voient augmentées, les pôles attractifs (centres d'affaires, commerces, écoles...) se trouvant en centre-ville. Le confort de la voiture et sa rapidité sont donc les privilégiés notamment des actifs (figure 3).
- Une clientèle bien plus dispersée pour les transporteurs du périurbain. Ceci engendre des lignes peu développées, et une couverture amoindrie du territoire par les transports. Le ciblage des potentiels clients est rendu plus compliqué car ceux-ci sont répartis sur des espaces beaucoup plus grands et moins concentrés qu'en ville.

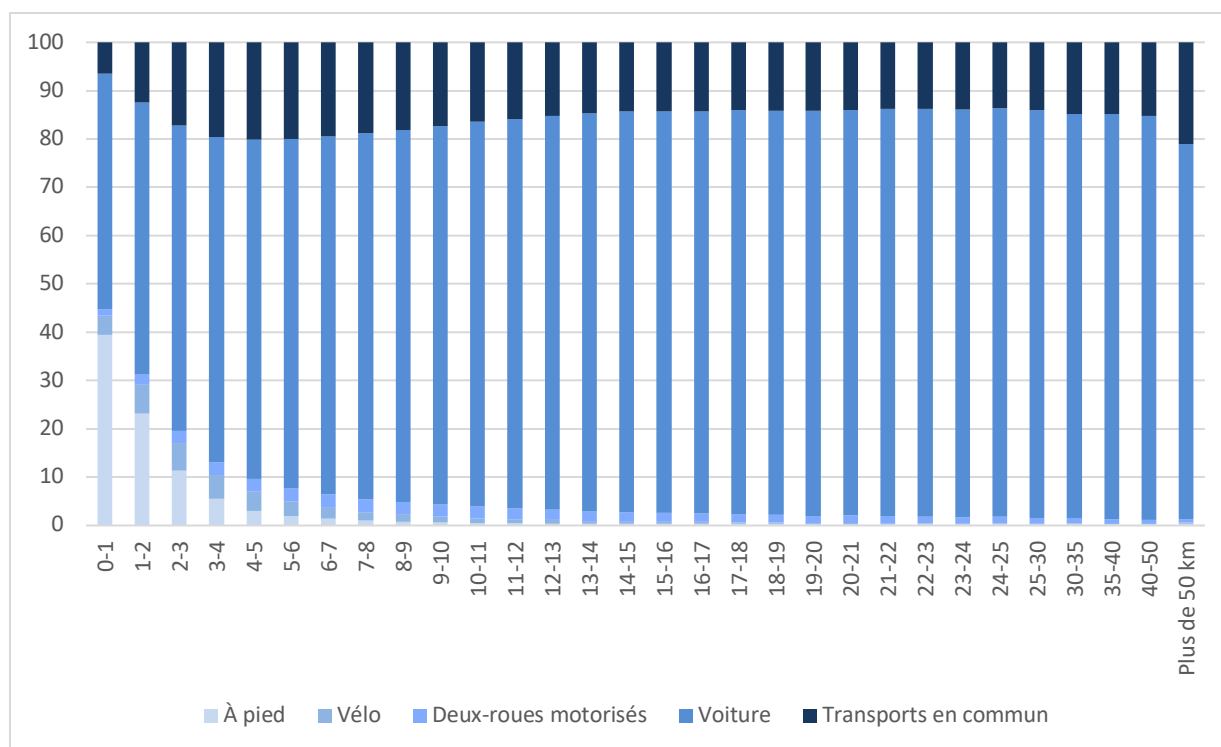


Figure 5 : Mode de déplacements utilisés (en %) en fonction de la distance à parcourir. Source : INSEE 2017.

Ce graphique confirme le fait que les clients potentiels sont plus difficiles à cibler. Même pour de très faibles distances, la voiture est toujours le mode de transport privilégié (50% des usagers vivant à 0-1 km et 56% vivant à 1-2 km de leur travail utilisent la voiture). Alors, dans le périurbain où les distances à parcourir vers les grands pôles sont plus longues, la part de la voiture reste constante à partir de 10km de distance et donc largement préférée par les usagers. En effet, 80% des usagers vivant à 10-11 km de leur travail utilise la voiture.

On peut donc se demander si toutes les préconisations réalisées plus haut dans le milieu urbain peuvent s'appliquer au milieu périurbain, par la différence des attentes et des besoins dans ces 2 échelles de territoires différentes.

Le transport scolaire en milieu périurbain est pourtant un enjeu de taille. En effet en Région Centre-Val-de-Loire, ce sont près de 115 000 élèves utilisant les cars scolaires régionaux pour 270 000 familles avec enfants de 3 à 17 ans (Insee, 2020). Ici, nous confirmons que les scolaires sont des générateurs de déplacements très importants du côté de l'opérateur de transport.

Par ailleurs, l'engorgement des lignes n'est ici pas l'enjeu concerné. En effet, d'après l'article R. 411-23-2 du code de la route, tous les voyageurs des transports scolaires doivent réaliser le trajet assis. Il n'y a donc aucune surcharge, le véhicule est soit exploité au maximum de sa capacité, soit sous exploité. L'enjeu auquel répondre est plutôt de l'ordre des économies monétaires pour l'entreprise.

Mais comment optimiser ces déplacements ? L'opérateur de transport, comme Keolis Touraine, doit déployer un grand nombre de ressources (véhicule et conducteur) afin d'acheminer tous ces élèves à l'école. Pour limiter ces ressources, peut-on appliquer les mêmes initiatives que mentionné plus haut, à savoir, répartir les heures de début et fin de cours sur la journée ? Ceci n'est possible que s'il y a une « solution de repli ». Par exemple, en décalant une sortie d'école de 30 minutes pour étaler la pointe de fréquentation des transports, sous-entend qu'il y aura un bus qui attendra les élèves 30 minutes plus tard. Dans le périurbain, ce n'est pas le cas. En effet, il n'y a pas de fréquence

de transport scolaires à proprement parlé. Cela signifie que ces trajets sont déclenchés ponctuellement dans la journée. Par exemple, aux heures du matin, toutes les écoles alentours commencent sensiblement au même moment donc tous les véhicules sont déployés à ce moment, et pareillement pour le retour de l'école en fin de journée.

On voit ici que l'optimisation des ressources déployées pour le transport scolaire ne sera pas un emploi du temps. En effet, on peut dire que les transports périurbains ne partent pas en fréquence suffisante pour absorber une demande qui serait plus étalée dans le temps. L'optimisation peut se faire dans l'offre de transports mais surtout dans la structure des lignes. En effet, on ne va pas chercher à créer cette fréquence qui sera coûteuse pour, en somme, une demande relativement faible et que l'on parvient à absorber aujourd'hui. L'optimisation peut se trouver dans une modification structurelle des lignes.

1.5. Conclusion de l'état de l'art et pistes à explorer.

Les lectures actuelles sur l'étalement des heures de pointe nous permettent de tirer un certain nombre de conclusions.

La plupart, concernant les actifs. Or, nous ne nous intéresserons pas à leur cas dans ce travail. En effet, ce sont des personnes difficiles à cibler : ils ne partent pas d'un générateur principal, nous pourrions avoir une idée de leur lieu d'entrée dans les véhicules (lieu de résidence) mais nous n'aurons pas la donnée de sortie (lieu de travail).

Ce n'est pas le cas des scolaires, en effet, dans le périurbain, les scolaires ont un véhicule à leur disposition. Les transports scolaires étant réglementés en France, chaque élève inscrit est sujet à ce que le transporteur connaisse son trajet. De ce fait, nous pouvons cibler à la fois un gros générateur de déplacements, une école, ainsi que toutes les origines de leurs élèves.

Or, nous pouvons observer une limite dans cet état de l'art. Que ce soit côté actif ou côté scolaire, un point commun : les lectures concernent le transport urbain. Il faudra alors prendre beaucoup de facteur en compte. Les transports périurbains ont leurs avantages pour cette étude : les passagers sont beaucoup moins volatiles, plus contrôlés, peu de fraude, et les scolaires sont, comme nous l'avons dit, beaucoup plus encadrés.

Cependant, la plupart des études actuelles permettent cet étalement des heures de pointe grâce à un levier commun : un emploi du temps. Qu'il s'agisse d'horaires flexibles, de décalage des horaires d'entrée et de sortie d'école, à une modification des tarifs dynamique en fonction des horaires... Toutes ces solutions trouvées dépendent d'un emploi du temps, d'un horaire. Or, ceci n'est possible que s'il y a une « solution de repli », ce qui n'est pas le cas dans le périurbain.

Nous pouvons donc tirer une dernière conclusion de cet état de l'art, à savoir si nous allons plutôt nous placer sur une ingénierie de correction : agir sur la demande, ou une ingénierie de conception : agir sur l'offre.

Comme nous l'avons vu, il n'est pas possible d'agir sur la demande à partir du moment où elle ne peut pas se reporter sur d'autres alternatives : il y a un passage de bus et pas de fréquences pour les scolaires. Par ailleurs, le transport scolaire est gratuit en région Centre-Val-de-Loire, en dehors du réseau métropolitain de Tours, Fil Bleu).

Nous pouvons donc agir sur l'offre pour optimiser les ressources d'exploitation pour les transports scolaires. Nous ne serons donc plus sur un étalement des heures de pointe du point de vue de la demande de transport. Mais plutôt sur une réduction de la pointe du point de vue du transporteur et des ressources qu'il déploie. De ce fait nous ne réduisons pas la pointe de la demande, mais la pointe de la production. La demande ne sera pas reportée ailleurs ni à un autre moment dans la journée, il s'agira d'un changement structurel des lignes.

Nous essaierons donc dans cette étude de répondre à une question : **Pouvons-nous réduire le nombre de véhicules et de conducteurs déployés pour les lignes scolaires, tout en gardant le même niveau de desserte ?**

Pour répondre à cette question, nous allons effectivement réaliser une modification structurelle des lignes actuelles. Pour ce faire, nous allons combiner les lignes pour lesquelles cela est possible. Cela se traduit par, à partir de 2 lignes, n'en construire qu'une. Il faudra donc recréer un itinéraire à partir des arrêts de ces 2 lignes (figure 6).

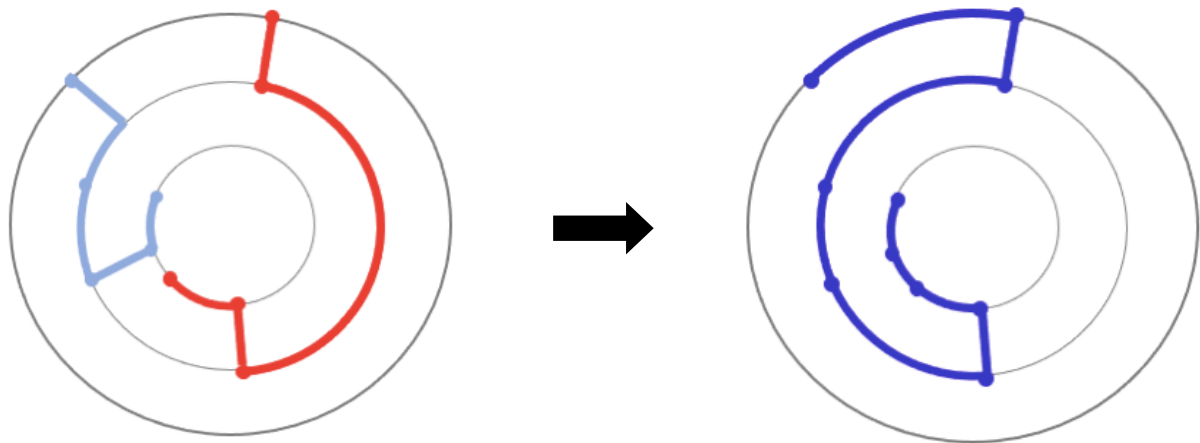


Figure 6 : Illustration de la combinaison de lignes souhaitée dans notre méthode. Auteure : Abigaïl Tourniaire.

Dans cet exemple, nous disposons à l'origine de 2 lignes dont les tracés sont distincts : les lignes rouge et bleue. Nous voudrions n'en obtenir qu'une seule : la ligne violette. Celle-ci devra passer par tous les arrêts desservis auparavant, comme c'est le cas ici. Cependant, nous voudrions également que le trajet ainsi réalisé soit d'une part le plus court possible en distance parcourue et en durée de la course.

C'est ce que nous allons maintenant aborder en explicitant la méthode de l'étude à suivre.

2. Méthode de collecte et cadre d'analyse.

Ici nous voudrions voir ce qui est perfectible dans le sens des lignes de Keolis Touraine dans le but de mieux gérer les ressources propres à l'exploitation. En effet, il s'agirait ici, à partir de l'ensemble des tâches relatives aux trajets scolaires, de construire le minimum de services possibles en modifiant des lignes qui peuvent être sous exploitées. Cela va se traduire, comme nous l'avons dit plus tôt, en créant un itinéraire contenant les arrêts de 2 lignes.

D'abord, on va fixer un certain nombre de contraintes auxquelles nous allons nous tenir :

- À commencer par le fait que nous ne pourrions fusionner des lignes que si le cumul d'élèves ne dépasse pas la capacité maximale d'un bus.
- Garder le même niveau de desserte signifie garder le même nombre d'arrêts
- On fixera également une durée limite pour effectuer une course. En effet, au-delà de l'optimisation de l'usage des ressources, il ne faudra pas non plus trop affecter l'expérience de l'utilisateur. On limitera donc la durée des courses construites à la durée maximale observée aujourd'hui.

Nous allons donc, pour répondre à notre problématique, décomposer cette méthode en plusieurs étapes. D'abord, nous chercherons l'itinéraire le plus court à réaliser. Nous mobiliserons l'algorithme de Dijkstra qui permet de chercher le « chemin le plus court », à savoir le moins coûteux en durée et en distance.

Ensuite, nous allons voir comment cet itinéraire pourra se rendre à des sommets stratégiques défini comme étant les arrêts. Cela va se traduire par le type de graphe dans lequel nous nous inscrirons : eulérien ou hamiltonien. Nous allons alors utiliser le problème du voyageur de commerce, qui permet autant de desservir ces arrêts tout en utilisant l'itinéraire le plus court.

Enfin, nous chercherons quelles seront les externalités pour l'entreprise et l'utilisateur. La combinaison de lignes permettra au transporteur de réaliser des économies monétaires dans l'exploitation de ses ressources humaines (le conducteur) et matérielles (le véhicule employé).

2.1. Chercher le meilleur itinéraire : le trajet le plus court.

Nous voudrions minimiser la distance en kilomètres parcourue par les véhicules. Il faudra donc construire l'itinéraire étant le plus court chemin. Par plus court chemin, nous voulons dire celui qui sera le moins coûteux selon un attribut : une distance, une durée... Pour trouver ce chemin, nous allons mobiliser l'algorithme de Dijkstra (Annexe 1). A partir d'un point origine source, il visite les sommets qui lui sont adjacents. Les arcs qu'il traverse ont tous un coût. Une fois qu'il aura visité ces sommets, il va de nouveau chercher les prochains qu'il n'aura pas encore visité, et ainsi de suite jusqu'à arriver à une destination. Il détermine donc les distances entre chaque sommet d'un réseau et somme celles permettant d'obtenir la distance la plus faible entre l'origine et la destination.

Dans notre cas, nous voudrions autant minimiser la durée de la course (donc un coût en temps minimal) ainsi que la distance parcourue (un coût en kilomètres minimal). La distance parcourue sera

la somme des coûts en distance de chaque arc par lesquels nous passerons. En ce qui concerne le coût en temps, et donc plus dépendant de la donnée, il peut être abordé par exemple par la vitesse maximale pratiquée sur chaque tronçon du réseau routier.

Sur ce réseau (figure 4), on voudra aller de A vers B. L'algorithme de Dijkstra va réaliser plusieurs itérations afin de déterminer le plus court chemin entre ces 2 points. A chacune d'entre elle, il va se positionner en un sommet (à l'origine, le point A), et va chercher tous ses sommets adjacents (pour le sommet A, les sommets 1 et 3). Ensuite, il marque le sommet pour qui le poids du trajet est moindre. Il se place en ce sommet et répète l'opération en cherchant ses sommets voisins, et ce pour tous les sommets du réseau. Enfin, il peut déterminer quel est le chemin le plus court pour aller de A vers B, via les sommets prédécesseurs. Le coût final sera la somme des coûts observés sur chaque arc.

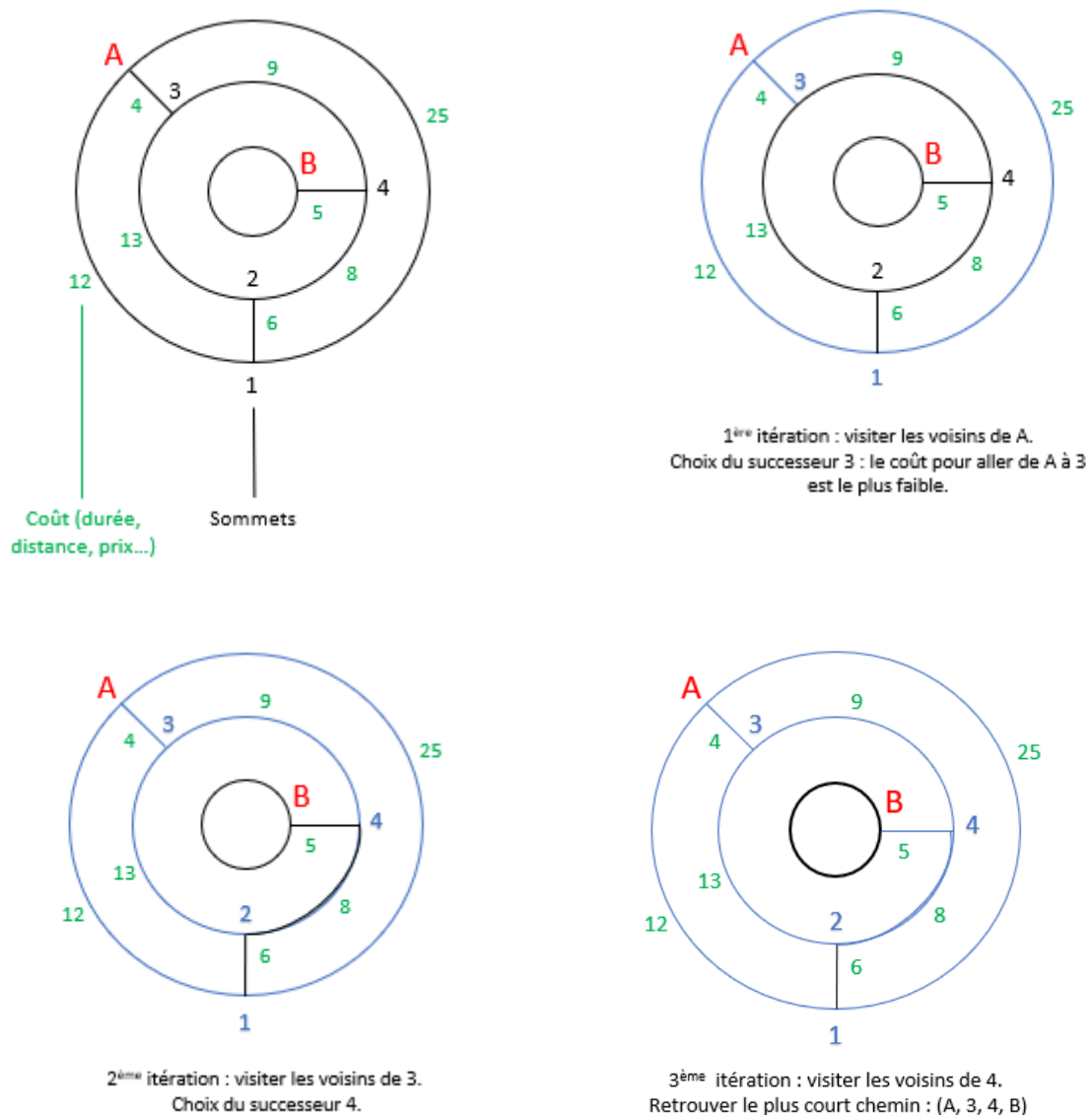


Figure 7 : Fonctionnement de l'algorithme de Dijkstra. Auteure : Abigaïl Tourniaire.

À l'initialisation de l'algorithme, nous créons la matrice qui recensera tous les sommets et les coûts qui des arcs qui permettent de les rejoindre un à un.

	A	1	2	3	4	B
A	0	∞	∞	∞	∞	∞

	A	1	2	3	4	B
A		12	∞	4	∞	∞

	A	1	2	3	4	B
A		12	∞	4	∞	∞
3		∞	13		9	∞
4		∞	8			5

Tableau 1 : Exemple de l'algorithme de Dijkstra appliqué au réseau précédent (Figure 7)

On initialise tous les coûts à la valeur infinie (tableau 1). En effet, à chaque itération, l'algorithme prend toutes les valeurs des arcs qui soient inférieures à cette valeur d'initialisation.

Par exemple, si nous parlons en distance, celle entre A et 3 est la plus courte : 4 kilomètres. Nous partirons ainsi de ces sommets dont la distance avec leur prédécesseur est la plus courte.

Nous pouvons arrêter la construction de cette matrice une fois que nous avons pu rejoindre l'origine, le point A, à la destination, le point B. Il reste ensuite à déterminer le chemin le plus court, en remontant cette matrice par le chemin que constitue la première colonne du tableau en partant par le sommet de destination : B – 4 – 3 – A, pour une distance de 18 kilomètres ici.

2.2. Desservir des arrêts : le type de graphe utilisé.

Nous avons donc le plus court chemin établi en un itinéraire le moins coûteux. À cela, nous voudrions ajouter quelque chose d'important dans la desserte d'arrêts de transports en commun : on voudra qu'il ne passe qu'une seule fois par arrêt. Nous allons donc nous inscrire dans un certain type de graphe, et allons en détailler 2 : le graphe Hamiltonien et le graphe Eulérien.

Dans un graphe eulérien, on passe par toutes les arêtes une seule et unique fois chacune. Il n'est pas exclu de repasser par les sommets qui composent ce réseau. On peut assimiler ce problème à un dessin sans jamais lever le crayon. Il est utile par exemple lorsqu'il faut organiser des tournées : éboueurs, facteur...

Ici, nous ne voulons pas passer par toutes les arêtes du réseau : le but n'étant pas de passer partout mais à des points précis du réseau correspondant aux arrêts de bus où seront rassemblés les usagers.

Dans un graphe hamiltonien, c'est le cas. On parle d'un graphe hamiltonien lorsque dans un réseau il existe un cycle qui dessert chaque sommet une seule et unique fois. Ces sommets desservis peuvent être assimilés à des arrêts de bus par exemple.

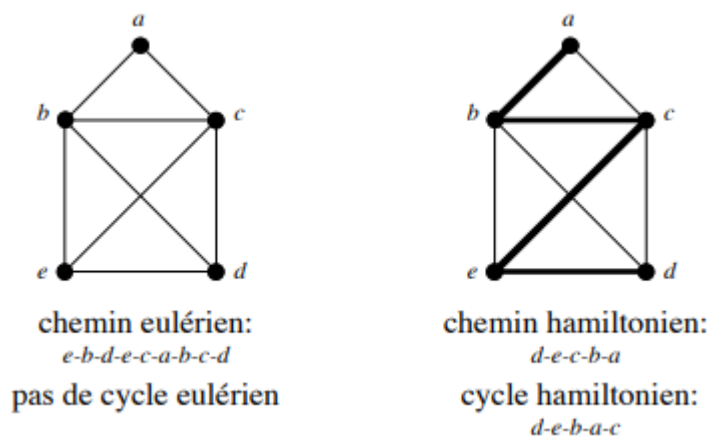


Figure 8 : Exemple de chemins eulérien et hamiltonien. Un graphe est eulérien s'il contient un cycle eulérien. Un graphe est hamiltonien s'il contient un cycle hamiltonien. Source : gymomath.ch

Nous savons donc que nous souhaitons nous inscrire dans un graphe Hamiltonien dont les sommets seraient les arrêts de bus. Mais, au-delà de cela, nous voulons également avoir l'itinéraire le plus court, ou le moins coûteux, du point de vue de la distance et de la durée. Nous ne sommes plus dans la recherche du plus court chemin mais dans la recherche du plus court cycle hamiltonien. Ce problème porte un nom : le problème du voyageur de commerce.

Or, le problème du voyageur de commerce ne trouve pas encore de solution exacte à proprement parlé. En effet, la recherche de tous les chemins possibles consisterait une solution exhaustive. Mais la complexité en temps de l'algorithme, rend cette possibilité impossible. En effet, la complexité du TSP est de l'ordre $O(0,5*(N-1) !)$. Cela signifie que si nous voulons faire une tournée dans 30 villes ($N=30$), il faudrait effectuer 4.10^{30} opérations. D'après *Datavis.com*, les calculateurs actuels peuvent faire 10.10^{18} calculs par seconde. Pour ces 30 villes, il faudrait 14 000 siècles pour calculer une liste exhaustive des possibilités. Il existe d'ailleurs toute une série de concours à travers le monde pour résoudre le problème du voyageur de commerce.

Il faudrait donc mobiliser une nouvelle notion pour y répondre de la meilleure manière possible. Par exemple, en utilisant la courbe de Peano, aussi appelée « courbe remplissante ». Il s'agit de la fonction qui « colorie toute une aire ». La courbe de Peano est une fonction continue qui passe dans chaque point du carré $[0,1]^2$.

Nous pouvons illustrer cette courbe par l'exemple. Prenons un carré dont nous voudrions passer par chaque endroit par une courbe. Nous pouvons par exemple prendre une grille de 3x3 et tracer la courbe de Peano, qui passe par chacun de ses parts (figure 9). Or, nous pourrions gagner en précision et couvrir d'autant plus de surface de cette grille. Une nouvelle itération permet de redécouper chaque part de cette grille en une grille de 3x3. Nous obtenons en fait une grille de 9x9.

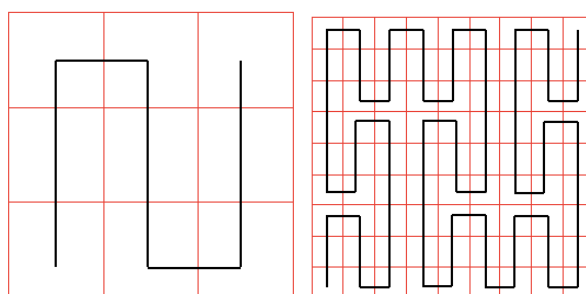


Figure 9 : Courbe de Peano. Auteure : Abigail Tourniaire.

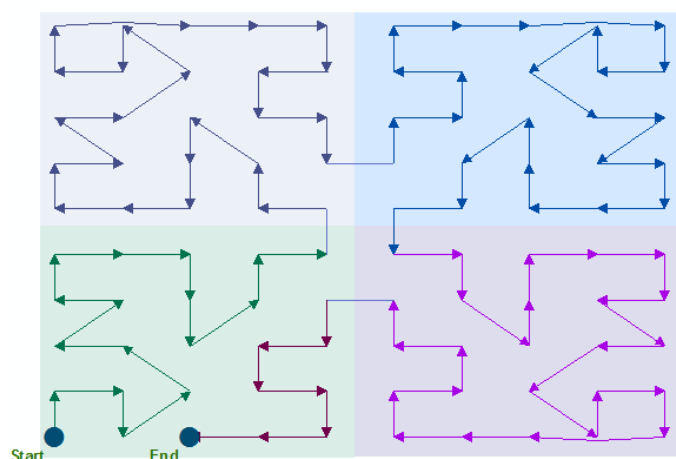


Figure 10 : principe de fonctionnement de la résolution du TSP par Arcgis, en utilisant l'algorithme de PEANO.

Plus concrètement, cela consisterait à décomposer les zones à desservir en voisinages. L'algorithme parcourt d'abord un voisinage en passant par tous ses sommets (plus rapprochés), puis passe au voisinage suivant.

Par ces méthodes, nous répondons à ce que nous voulons mettre en place pour renouveler le tracé actuel des lignes scolaires : établir l'itinéraire le moins coûteux, tout en passant par des arrêts obligatoires.

L'outil Arcgis et Network Analyst mobilisent toutes ces connaissances, nous utiliserons donc ce moyen pour cartographier nos résultats.

2.3. Quelles économies pour l'entreprise ?

L'intérêt de réaliser ce travail pour une entreprise va être de limiter ses coûts. En effet, dans l'exploitation de ses lignes entrent en compte une multitude de facteurs : le prix du véhicule utilisé, sa maintenance, le salaire du conducteur, le carburant ...

Ici, nous voudrions utiliser un prix au kilomètre que nous pourrions confronter au gain que nous espérons sur la distance parcourue des nouvelles lignes que nous voulons créer. Pour calculer ce prix au kilomètre, nous allons nous baser sur un véhicule type et sa durée de vie en temps et en kilomètres. Nous allons ainsi répertorier le plus de postes de dépenses qui y sont rapportés. Nous allons les classer en 2 catégories : les charges fixes et les charges variables. Les charges fixes correspondent aux dépenses qui ne dépendent pas du temps ou des kilomètres parcourus. Il s'agit par exemple de l'achat du véhicule, de la formation du conducteur, de l'immatriculation... Les charges variables interviennent ensuite comme ce qui justement va varier au cours du temps et des kilomètres. Ce peut être la maintenance, le prix du carburant ...

Il s'agira alors de sommer l'ensemble de ces charges et d'y retrancher la distance totale que parcourra le véhicule dans sa durée d'utilisation.

3. Application au cas des transports scolaires de l'est tourangeau.

Nous allons maintenant appliquer cette méthode au cas des transports scolaires exploités par Keolis Touraine. Nous nous intéresserons à 4 communes de l'est tourangeau desservies par leurs lignes scolaires.

3.1. Site d'étude : 4 communes de l'est tourangeau desservies par les transports Keolis Touraine.

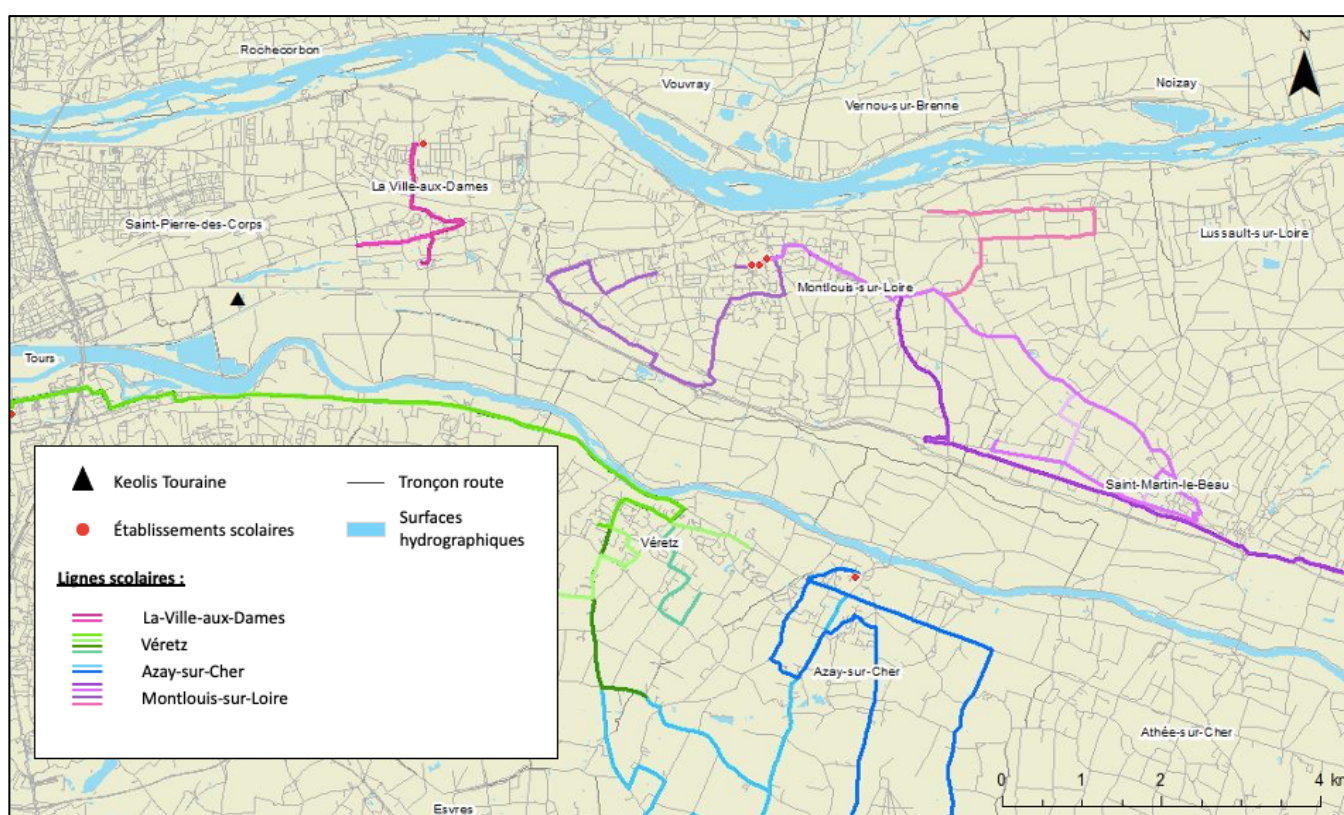


Figure 11 : Communes du site d'étude et les lignes scolaires les desservant.

Concernant le site d'étude, nous nous intéresserons aux ramassages scolaires des communes à l'est de Tours. Il s'agira donc de : Vêretz, Montlouis-sur-Loire, La Ville-aux-Dames et Azay-sur-Cher. Nous avons décidé de choisir ces villes pour plusieurs raisons : elles sont à proximité les unes des autres, ainsi que du dépôt de bus de Tours. Elles concernent aujourd'hui 5 établissements scolaires (tableau 2).

Les données des trajets de l'origine jusqu'à la destination d'un élève sont connues du transporteur. En effet, les transports scolaires sont très réglementés en France, pour lesquels l'autorité organisatrice est la Région. Par exemple, il est obligatoire que les enfants voyagent tous assis (article R. 411-23-2 du code de la route). Par conséquent, dans le but de dimensionner le type et le nombre de cars nécessaires, lors de l'inscription des enfants aux transports régionaux, il est impératif de connaître leur trajet quotidien. L'objectif ici sera de minimiser les kilomètres parcourus sur ces courses

scolaires, tout en limitant la durée de trajet pour l'utilisateur. Nous voudrions donc regarder les effets que cela pourra avoir, notamment en chiffrant les gains ou pertes pour chacun de ces 2 acteurs.

Commune	École	Ligne de desserte	Ouverture	Fermeture
Montlouis-sur-Loire	Collège Raoul Rebout	NE6 - 1,2,3,4,5	8h20	16h20
	École élémentaire Racault		8h20	16h20
	École élémentaire Gerbault		8h35	16h25
Véretz	Tours – Philippe de Commines	NE7 - 1,2,3,4,5	8h30	17h
La Ville-aux-Dames	École Marie Curie	NE8 – 1,2	8h30	16h30
Azay-sur-Cher	École élémentaire Maurice Genevoix	NE5 – 1,2	8h30	16h

Tableau 2 : Détail des horaires de début et fin de cours dans les écoles concernées, ainsi que les lignes les desservant.

À savoir que les horaires de sonneries sont toujours fastidieux à obtenir, les heures de cours ne correspondant pas toujours aux ouvertures de l'accueil ou des services administratifs. Ceux-ci ont été obtenu sur internet ou bien directement par téléphone avec les écoles.

Pour y parvenir, nous pourrions modifier le tracé des lignes selon la méthode expliquée précédemment. Nous voudrions conserver les arrêts actuels, mais incorporer certaines lignes dans d'autres, notamment pour une même commune.

3.2. Données observées et premières hypothèses.

En périurbain, les transports ne s'organisent qu'en heure de pointe. D'autant plus les transports scolaires. Ils sont en effet déclenchés ponctuellement dans la journée et sans fréquence. Voici un exemple du déroulé d'une journée pour un CPS, ou conducteur en période scolaire.

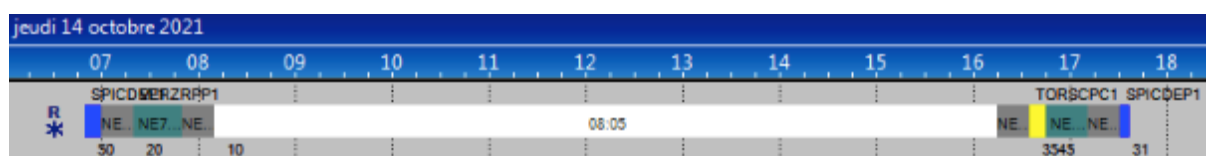


Figure 12 : Service type effectué par un conducteur CPS. Source : OKAPI Keolis Touraine.

Ce schéma est extrait de l'outil de planification OKAPI de Keolis. Il met en avant les différentes tâches du conducteur lorsqu'il réalise une course :

- La prise et la fin de service en bleu
- Les haut-le-pied, c'est-à-dire les trajets à vide du conducteur entre le dépôt et le premier arrêt de sa course, ainsi que son retour au dépôt à la fin de la course en gris
- En vert, la course effective réalisée
- Et enfin en blanc la coupure du conducteur.

Dans le contrat d'un CPS il y a une grande disponibilité en dehors des heures de pointe. Cela correspond à la partie blanche (figure 7) de son planning. Cette coupure de 08h05 ici est une période de la journée où le conducteur n'est pas sur la route. Dans la suite de l'étude, nous ne tiendrons donc pas compte de la disponibilité des conducteurs. Nous partirons du principe qu'ils seront en mesure d'assurer des courses sur ce temps de coupure.

À l'origine, notre souhait était d'étaler les heures de pointes en effectuant un décalage des horaires de cours. De ce fait, un conducteur et son véhicule auraient pu effectuer plusieurs courses de suite. Or, il est vite apparu que cela n'aurait pas été possible dans le sens pratique. En effet, les transports périurbains scolaires ne fonctionnent qu'en heure de pointe. De ce fait, l'absence totale de fréquence ne permet aucune « solution de repli », ou une autre course vers laquelle se diriger en tant qu'usager. De ce fait, nous n'allons pas nous diriger vers un emploi du temps, mais plutôt vers un changement matériel du tracé des lignes.

Le tableau ci-dessous (tableau 3) montre les durées des courses du matin. Celles-ci diffèrent d'une course à l'autre, allant de 15 minutes à 40 minutes. Dans l'optique de combiner certaines lignes, ces durées viendraient pour certaines à être augmentées. Mais en se positionnant du côté de l'usager, nous voudrions qu'elles ne soient pas décuplées pour autant. De ce fait, nous nous fixerons pour limite la course actuellement la plus longue, à savoir 40 minutes, que nous prendrons comme étant le budget temps maximal qu'une personne accorde à ses transports quotidiens.

Dans le but de rester attractif et conserver le nombre d'enfants inscrits, nous ne voudrions pas baisser le niveau de desserte, et ainsi conserver tous les arrêts actuels.

Enfin, il faudra également prendre en compte le nombre d'élèves. Dans les comptages d'élèves prenant ces lignes scolaires, on peut observer une tendance générale qui est que les bus utilisés sont sous exploités. En effet, le nombre moyen d'entrées réelles sur ces lignes est de 25 élèves, tandis que les bus utilisés ont entre 58 et 63 places (tableau 4). On peut donc présager que le nombre d'élèves contenus dans les bus n'est pas un facteur limitant dans la combinaison des lignes. Nous ferons tout de même attention à ce que le cumul d'élèves sur une ligne ne soit pas problématique. Auquel cas, nous laisserons la ligne telle qu'elle est actuellement.

Nous essaierons tout de même de combiner les lignes de manière que le nombre d'élèves ne dépasse pas la capacité d'un véhicule (tableau 4).

N° de ligne	H 1 ^{er} arrêt	H Arrivée	Durée de course	Km course
NE5_1 Primaire Azay	07h45	08h25	40	11
NE5_2 Primaire Azay	07h45	08h20	35	11
NE6_1 Montlouis collège & primaire	07h25	07h45	20	9
NE6_2 Montlouis collège et primaire	07h30	07h45	15	8
NE6_3 Saint-Martin-le-Beau / Montlouis Collège et primaire.	07h22	07h46	24	11
NE6_4 Saint-Martin-le-Beau / Montlouis Collège et primaire.	07h28	07h44	16	8
NE6_5 Saint-Martin-le-Beau/Montlouis Collège et primaire.	07h24	07h50	26	11
NE7_1 Véretz-Tours	07h15	07h50	35	12
NE7_2 Véretz-Tours	07h15	07h50	35	11
NE7_3 Véretz-Tours	07h20	07h50	30	11
NE7_4 Véretz-Tours	07h15	07h50	35	12
NE7_5 Véretz-Tours	07h20	07h50	30	11
NE8_1 La Ville-aux-Dames primaires	08h05	08h20	15	3,5
NE8_2 La Ville-aux-Dames primaires	08h05	08h20	15	3

Tableau 3 : Horaires des lignes scolaires concernées, leur durée et les kilomètres parcourus.

Lignes	Montées réelles	Capacité du véhicule	Charge maximale
NE5_1 - PRIMAIRES AZAY	20	63	32%
NE5_2 - PRIMAIRES AZAY	18	58	31%
NE6_1 - MONTLOUIS COLLEGE PRIMAIRES	30	62	48%
NE6_2 - MONTLOUIS COLLEGE ECOLES	25	63	40%
NE6_3 - SAINT MARTIN LE BEAU-MONTLOUIS SUR LOIRE	32	63	51%
NE6_4 - SAINT MARTIN LE BEAU-MONTLOUIS	32	63	51%
NE6_5 - MONTLOUIS-ST MARTIN LE BEAU	19	60	32%
NE7_1 - VERETZ-TOURS	46	62	74%
NE7_2 - VERETZ-TOURS	17	63	27%
NE7_3 - VERETZ-TOURS	34	61	56%
NE7_4 - VERETZ-TOURS	19	63	30%
NE7_5 - VERETZ-TOURS	23	63	37%
NE8_1 - LA VILLE AUX DAMES PRIMAIRES	15	61	25%
NE8_2 - LA VILLE AUX DAMES PRIMAIRES	21	63	33%

Tableau 4 : Nombre de montées réelles recensées dans les lignes scolaires du site d'étude.

On peut résumer l'ensemble des contraintes à suivre comme suit :

T : La durée de la course obtenue par fusion de 2 lignes.

T_{max} : La durée maximale de la course actuelle, de 40 min.

C : La capacité maximale d'un véhicule, ici de 60 personnes.

N : Le nombre d'élèves cumulés sur 2 lignes.

Si $N \leq C$ alors nous pouvons combiner les 2 lignes.

Si $T \leq T_{max}$ alors nous retenons la combinaison comme réalisable.

3.3. Application des méthodes.

L'objectif ici sera de minimiser les kilomètres parcourus sur ces courses scolaires, tout en limitant la durée de trajet pour l'usager. Nous voudrions donc regarder les effets que cela pourra avoir, notamment en chiffrant les gains ou pertes pour chacun de ces 2 acteurs. Nous allons donc fusionner les lignes pour lesquelles il est possible d'accumuler les élèves dans un même véhicule.

Pour ce faire, nous allons utiliser le logiciel ArcGis et son outil Network Analyst, qui mobilisent toutes les méthodes que nous avons vues précédemment (cf. *Méthode de collecte et cadre d'analyse p18*). Le but, combiner les lignes de bus tout en gardant tous les arrêts actuels.

Nous allons d'abord mettre au point la base que nous allons utiliser dans ce travail cartographique. Afin de créer ces itinéraires qui deviendront nos lignes de bus, nous devons utiliser une couche du réseau routier qui nous servira de base de données réseau. Nous utiliserons ici la couche de réseau routier du département 37 (BD TOPO geoservices.ign.fr). Les tronçons de route y sont répertoriés selon différents attributs : le type, la vitesse maximale autorisée... Ici, nous avons fait le choix de supprimer certains types de tronçons tels que les pistes cyclables, les sentiers, chemins... Toutes les voies par lesquelles on ne voudra pas que les itinéraires soient tracés.

Tout d'abord, nous allons donc nous intéresser au nombre d'élèves pour chaque course, afin d'assembler en priorité les courses qui, en cumulant les élèves, peuvent tous les accueillir. Nous nous baserons donc sur les montées réelles recensées (tableau 4). De plus, nous voulons respecter un budget temps de 40 minutes de course pour l'usager ($T_{max} = 40$ min).

Nous choisirons les combinaisons dont la durée de la course sera la plus faible, et ne dépassant pas les 60 passagers ($C = 60$ personnes/véhicules).

Nous allons donc voir les courses respectant ces 2 contraintes : $N \leq C$ et $T \leq T_{max}$.

3.3.1. La combinaison par nombre de voyageurs.

Comme dit précédemment, le nombre d'usagers est primordial car la loi impose que tous les élèves en transports scolaires soient assis. Ici, nous avons les données de validations entre la rentrée scolaire 2021 et le 7 décembre de cette même année.

Nous regardons donc d'abord les lignes pouvant être combinées du point de vue de la charge de passagers (tableau 5) :

	NE6_1 - MONTLOUIS COLLEGE PRIMAIRES	NE6_2 - MONTLOUIS COLLEGE ECOLIS	NE6_3 - SAINT MARTIN LE BEAU- MONTLOUIS SUR LOIRE	NE6_4 - SAINT MARTIN LE BEAU- MONTLOUIS	NE6_5 - MONTLOUIS-ST MARTIN LE BEAU
NE6_1 - MONTLOUIS COLLEGE PRIMAIRES	-	55	62	62	49
NE6_2 - MONTLOUIS COLLEGE ECOLIS	55	-	57	57	44
NE6_3 - SAINT MARTIN LE BEAU- MONTLOUIS SUR LOIRE	62	57	-	64	51
NE6_4 - SAINT MARTIN LE BEAU- MONTLOUIS	62	57	64	-	51
NE6_5 - MONTLOUIS-ST MARTIN LE BEAU	49	44	51	51	-

	NE7_1 - VERETZ-TOURS	NE7_2 - VERETZ-TOURS	NE7_3 - VERETZ-TOURS	NE7_4 - VERETZ-TOURS	NE7_5 - VERETZ-TOURS
NE7_1 - VERETZ- TOURS	-	63	80	65	69
NE7_2 - VERETZ- TOURS	63	-	51	36	40
NE7_3 - VERETZ- TOURS	80	51	-	53	57
NE7_4 - VERETZ- TOURS	65	36	53	-	42
NE7_5 - VERETZ- TOURS	69	40	57	42	-

	NE5_2 - PRIMAIRES AZAY
NE5_1 - PRIMAIRES AZAY	38
	NE8_1 - LA VILLE AUX DAMES PRIMAIRES
NE8_2 - LA VILLE AUX DAMES PRIMAIRES	36

Tableau 5 : Nombre de voyageurs obtenus en combinant 2 lignes scolaires à l'intérieur. En vert : < 60 personnes, en rouge > 60 personnes.

Il apparaît donc que certaines courses ne peuvent pas être combinées avec toutes les autres à l'intérieur d'une commune, voire avec aucune. Par exemple, la ligne NE7_1 Veretz-Tours transporte aujourd'hui trop de personnes pour accueillir une charge venant d'une autre ligne. Nous observerons donc directement les lignes pour lesquelles cela est possible.

3.3.2. La combinaison par durée de course et distance parcourue.

Nous allons donc utiliser Arcgis et l'outil Network Analyst dans un premier temps pour créer un itinéraire. Pour le réaliser, il s'appuie sur l'algorithme de Dijkstra que nous avons expliqué plus tôt. L'itinéraire devra passer par un certain nombre d'arrêts que nous pointons sur la carte comme les arrêts actuels de 2 lignes dont nous voulons garder le niveau de desserte bien qu'en les fusionnant.

Or, nous voulons également l'ordonnancement optimal des arrêts de manière à ce que nous ne passions qu'une fois par arrêt et que le chemin que nous créons soit le plus court cycle hamiltonien du réseau. Cela correspond à la fonction « Réorganiser les arrêts », qui répond au problème du voyageur de commerce par la courbe de Peano (méthode p.19).

On peut maintenant utiliser l'outil pour calculer les distances et nouvelles durées de courses pour les 15 possibilités que nous avons (15 combinaisons de lignes où $N \leq C$).

3.4. Résultats observés.

Pour illustrer cette application, nous allons d'abord détailler sa réalisation pour les lignes scolaires de la ville d'Azay-sur-Cher. En effet il est possible de fusionner les 2 lignes car elles n'accumulent que 38 personnes au total, qui rentreraient donc dans un seul bus (tableau 5).

Du point de vue du temps de trajet, il n'y a pas d'attribut de temps sur les tronçons de route. Nous nous confrontons donc à un problème de donnée auquel nous allons répondre par l'attribution d'une vitesse moyenne, celle pratiquée sur les trajets actuels. Cette vitesse moyenne est calculée à partir de la distance parcourue aujourd'hui par les véhicules pour chaque course et la durée de la course (tableau 3).

Le trajet serait donc de 16,6km pour une durée de 1 heure. On peut donc dire que ce trajet ne pourrait pas convenir car la durée de la course dépasse le budget temps que nous nous sommes accordés, à savoir 40 minutes. $T \geq T_{max}$: la combinaison n'est pas réalisable.

Par ailleurs, on remarque une limite évidente dans l'ordonnancement des arrêts. Même si ceux-ci sont organisés de manière à avoir la course la plus courte en kilomètres, la desserte engendre parfois des demi-tours pour desservir certains arrêts (figure 13). Ceci s'explique par le type de réseau pour lequel nous avons opté. En effet, un graphe hamiltonien passe certes par tous les sommets une seule et unique fois, mais sans contrainte sur le nombre de passages sur les arcs. De ce fait, il passe par tous les arrêts de bus quitte à emprunter plusieurs fois le même chemin ou à réaliser des demi-tours. Ceci ne serait pas arrivé dans un graphe eulérien, qui passe une seule et unique fois par chaque arc. Mais dans une desserte de transports de personnes, l'objectif n'est évidemment pas de passer par tous les arcs, même si on éviterait ce genre de problèmes.

A contrario, pour la fusion de 2 lignes scolaires (NE6-1 et NE6-5) de la commune de Montlouis, le trajet peut être réalisé en 35 minutes, en tenant compte de la vitesse moyenne actuelle observée sur ces courses (figure 14). Cette durée semble raisonnable et la fusion est donc possible dans nos conditions : $N \leq C$ et $T < T_{max}$.

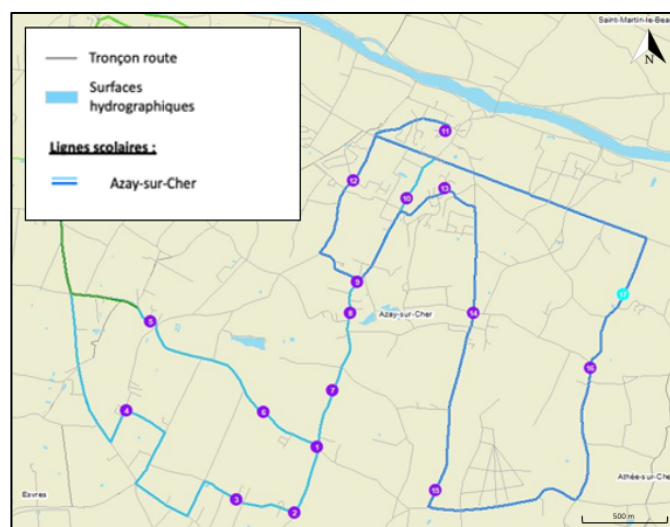


Figure 13 : Pointage des arrêts des 2 lignes scolaires de la commune d'Azay-sur-Cher sur Arcgis

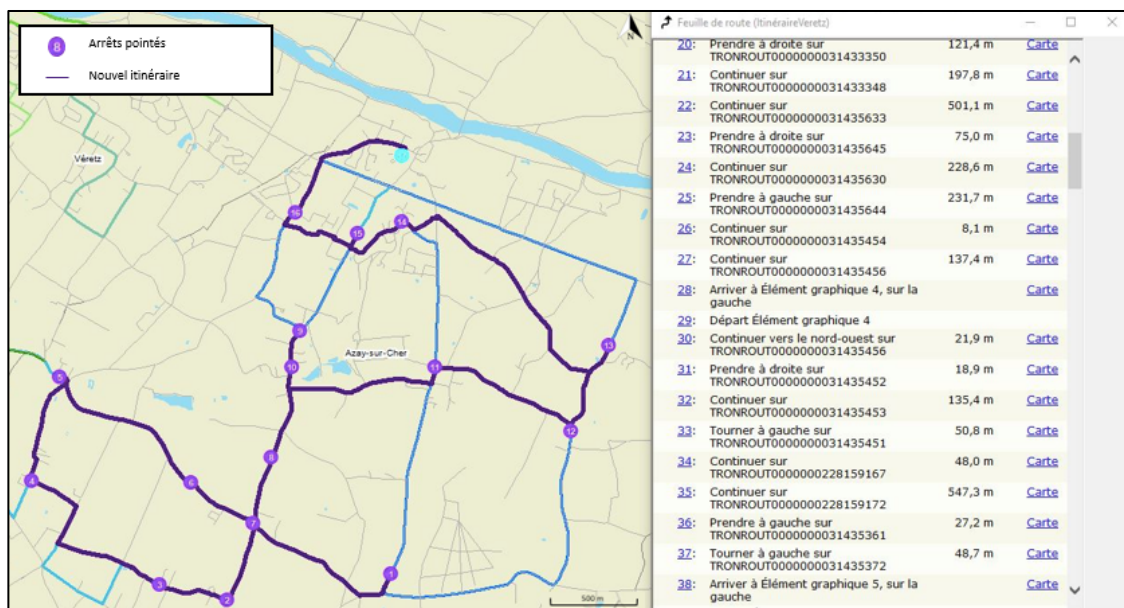


Figure 14 : Nouvel itinéraire optimal obtenu par combinaison de 2 lignes scolaires d'Azay-sur-Cher

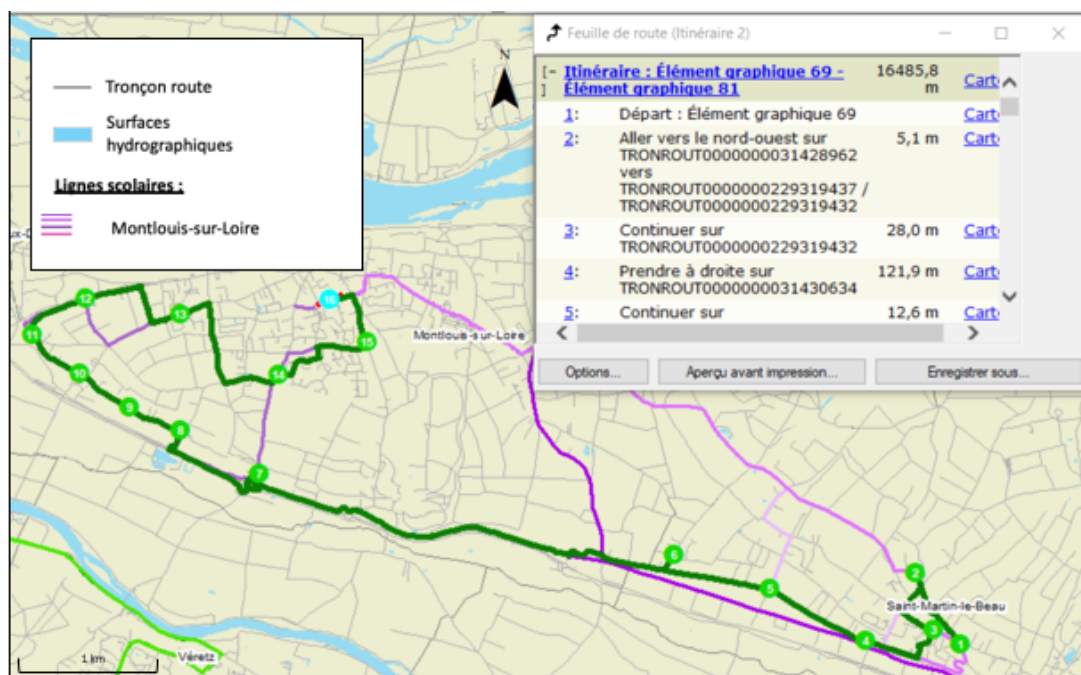


Figure 15 : Itinéraire optimal obtenu et sa feuille de route pour la fusion des lignes NE6-1 et NE6-5

Nous pouvons donc utiliser cette méthode pour toutes les combinaisons qui étaient déjà possibles du point de vue du nombre d'élèves accumulés par course. Nous pouvons représenter les résultats de la même manière que précédemment, mais en présentant une durée de course qui ne devra pas excéder 40 minutes.

	NE7_1 - VERETZ-TOURS	NE7_2 - VERETZ-TOURS	NE7_3 - VERETZ-TOURS	NE7_4 - VERETZ-TOURS	NE7_5 - VERETZ-TOURS
NE7_1 - VERETZ-TOURS	-	-	-	-	-
NE7_2 - VERETZ-TOURS	-	-	13,5 km / 39 min	15,2 km / 44 min	13,6 km / 39,5 min
NE7_3 - VERETZ-TOURS	-	13,5 km / 39 min	-	14,6 km / 42 min	12,2 km / 35,5 min
NE7_4 - VERETZ-TOURS	-	15,2 km / 44 min	14,6 km / 42 min	-	12,9 km / 37,5 minutes
NE7_5 - VERETZ-TOURS	-	13,6 km / 39,5 min	12,2 km / 35,5 min	12,9 km / 37,5 minutes	-

	NE6_1 - MONTLOUIS COLLEGE PRIMAIRES	NE6_2 - MONTLOUIS COLLEGE ECOLES	NE6_3 - SAINT MARTIN LE BEAU-MONTLOUIS SUR LOIRE	NE6_4 - SAINT MARTIN LE BEAU-MONTLOUIS	NE6_5 - MONTLOUIS-ST MARTIN LE BEAU
NE6_1 - MONTLOUIS COLLEGE PRIMAIRES	-	15,14 km / 32 min	-	-	16,5 km / 35 min
NE6_2 - MONTLOUIS COLLEGE ECOLES	15,14 km / 32 min	-	16,5 km / 35 min	11,5 km / 25 min	14,5 km / 31 min
NE6_3 - SAINT MARTIN LE BEAU-MONTLOUIS SUR LOIRE	-	16,5 km / 35 min	-	-	14 km / 30 min
NE6_4 - SAINT MARTIN LE BEAU-MONTLOUIS	-	11,5 km / 25 min	-	-	11 km / 23 min
NE6_5 - MONTLOUIS-ST MARTIN LE BEAU	16,5 km / 35 min	14,5 km / 31 min	14 km / 30 min	11 km / 23 min	-

	NE5_2 - PRIMAIRES AZAY	NE8_1 - LA VILLE AUX DAMES PRIMAIRES
NE5_1 - PRIMAIRES AZAY	16,6 km / 60 min	NE8_2 - LA VILLE AUX DAMES PRIMAIRES
		4 km / 17,5 min

Tableau 6 : Distances et durées des nouvelles courses. En vert : celles inférieures à 41 minutes de trajet, en rouge, celles supérieures.

Nous allons donc maintenant fusionner au sein de chaque commune, les nouvelles lignes qui correspondront à la combinaison de certaines d'entre elles. Comme nous avons utilisé la vitesse moyenne de chaque ligne, durée de course et distance parcourue sont intrinsèquement liées. Nous prendrons donc les plus faibles valeurs de ces attributs pour chaque commune.

Pour la commune de Véretz, la meilleure combinaison est celle des lignes NE7_3 et NE7_5. Les autres lignes se pouvant pas accumuler leurs élèves respectifs ou l'itinéraire total étant trop long, c'est la seule combinaison possible pour cette commune (tableaux 5 et 6). Nous passons donc de 2 courses de 10 et 10.5 km et de 30 minutes chacune à une seule et unique course de 12,2 km et d'une durée de 35 minutes (tableaux 3 et 6).

À Montlouis-sur-Loire, la combinaison la plus avantageuse est celle des lignes NE6_5 et NE6_4. Nous passerions de 2 lignes de 11 et 7 km pour 26 et 16 minutes de trajet, à une course de 11 km pour une durée de 23 minutes. Il reste donc les 3 première lignes, pour lesquelles le tracé combinant la NE6_1 et la NE6_2 est moins long en temps et en distance. On passe alors de 2 lignes de 8 km chacune pour 15 et 20 minutes de durées, à une ligne de 15 km pour 32 minutes de course (tableaux 3 et 6).

Comme vu précédemment, la combinaison des lignes d'Azay-sur-Cher n'est pas possible car trop longue. À l'inverse, La-Ville-aux-Dames peut voir ses lignes NE8_1 et NE8_2 rassemblées. Elles réalisent aujourd'hui 3 km chacune en 15 minutes, et pourraient devenir une seule course de 4 km en 17 minutes (tableaux 3 et 6).

Au total, ce sont donc 4 combinaisons possibles et nous passerions de 14 lignes au total à 10. En effet, les lignes pouvant être combinées compte tenu de nos contraintes sont les lignes : NE7_3 et NE7_5 ; NE6_5 et NE6_4 ; NE6_1 et NE6_2 ; NE8_1 et NE8_2. Allers-retours, nous passerions de 265 kilomètres de course sur toutes ces lignes à 218 kilomètres. Partant du principe qu'une année scolaire contient 180 jours, nous passerions de 47 700 km à 39 240 km (tableau 7). Reste à voir ce que cela peut représenter en économie pour l'entreprise.

Lignes avant combinaison	Km parcourus	Lignes après combinaison	Km parcourus
NE5_1 Primaire Azay	11	NE5_1	11
NE5_2 Primaire Azay	11	NE5_2	10
NE6_1 Montlouis collège & primaire	9	NE6_1 + NE6_2	15
NE6_2 Montlouis collège et primaire	8	NE6_3	11
NE6_3 Saint-Martin-le-Beau / Montlouis Collège et primaire.	11	NE6_4 + NE6_5	11
NE6_4 Saint-Martin-le-Beau / Montlouis Collège et primaire.	8	NE7_1	12
NE6_5 Saint-Martin-le-Beau/Montlouis Collège et primaire.	11	NE7_2	11
NE7_1 Véretz-Tours	12	NE7_3 + NE7_5	12
NE7_2 Véretz-Tours	11	NE7_4	12
NE7_3 Véretz-Tours	11	NE8_1 + NE8_2	4
NE7_4 Véretz-Tours	12		
NE7_5 Véretz-Tours	11		
NE8_1 La Ville-aux-Dames primaires	3,5		
NE8_2 La Ville-aux-Dames primaires	3		
Total aller-retour	265		218
Total sur l'année scolaire (180 jours)	47 700		39 240

Tableau 7 : kilomètres recensés avant et après combinaisons des lignes.

La combinaison des lignes permettant de passer de 14 à 10 lignes de bus scolaires différentes permettent à l'entreprise de réaliser 8 460 kilomètres en moins par année scolaire.

3.5. Estimation des gains / pertes réalisés.

3.5.1. Une économie sur les dépenses de l'entreprise.

Nous voudrions savoir si ces fusions de lignes nous permettraient de faire une économie sur plusieurs volets : le nombre de conducteurs impliqués, de véhicules, de maintenance, de carburant ... Tout cela étant rassemblé dans un coût au kilomètre.

Pour trouver ce coût au kilomètre, nous allons réunir toutes les charges fixes et variables et y retrancher le nombre de kilomètres que peut effectuer un bus dans sa durée d'utilisation. Dans un souci de disponibilité des données, nous ne prendrons pas en compte des frais tels que les impôts payés ou les frais d'infrastructures que nous estimerons extérieurs à l'utilisation d'un autocar.

Les charges fixes représentent celles qui ne seront pas modifiées ni par le temps ni par le nombre de kilomètres effectués : salaire, formation, matériel roulant, assurance. Les charges variables sont au contraire celles qui pourront évoluer à l'avenir : carburant, contrôles techniques, maintenance.

Nous allons donc chercher à trouver chacune de ces informations (tableau 8). Nous nous baserons sur un bus qui serait, neuf à l'achat, à 200 000€ et dont la durée d'utilisation serait de 20 ans durant laquelle il pourrait parcourir 600 000 km (*statistiques.developpement-durable.gouv.fr*).

Le conducteur de bus suit une formation parfois financée d'environ 3000€. Il doit par ailleurs suivre une formation continue FCO tous les 5 ans, à raison de 700€ par FCO. La plupart des conducteurs sont en temps partiels 24h par semaine au SMIC horaire. A cela, nous devons ajouter les charges patronales, soit au total 1385€.

D'après le simulateur du gouvernement, un certificat d'immatriculation coûterait environ 870€ pour ce type de véhicule. En ce qui concerne le carburant, dont le prix est très variable ces derniers temps, nous fixerons un prix de 1,45€ par litre. Un autocar ayant une consommation d'environ 30L/100km, cette même distance coûte environ 45€ à l'entreprise, et 370k€ sur la durée de vie totale du véhicule.

Ensuite, la maintenance. Tout d'abord, un car subit un contrôle technique obligatoire tous les 6 mois à raison de 250€ chacun. Sur 20 ans, cela représente 10k€. D'après une étude Théma (Commissariat général au développement durable) et sur l'appui des chiffres de la Centrale d'achat du transport public, le coût d'entretien (hors contrôle technique) s'élève à 0,21€/km et l'assurance d'un véhicule serait d'environ 1 400€ par an.

Charges fixes en €		Charges variables en €	
Salaire	332400	Carburant	369750
Formation	3000	Maintenance	168000
Bus	200000	CT	10000
Immatriculation	870	Total	547750
Assurance	28000		
FCO	2800		
Total	567070		

Tableau 8 : ensemble des charges fixes et variables pour un autocar parcourant 600 000 km sur 20 ans d'utilisation.

Finalement :

Cf : Les charges fixes

Cv : Les charges variables

Du : La distance parcourue sur la durée d'utilisation : 600 000 km

P : Le prix au kilomètre de l'utilisation d'un véhicule.

$$P = \frac{Cv + Cf}{Du} = \frac{547750 + 567070}{600\,000} = 1,9\text{€}$$

Nous arrivons donc à un prix de 1,9€ / km pour l'utilisation d'un autocar. Ce résultat paraît cohérent, bien que ce prix diffère d'une ville à l'autre, d'un matériel à l'autre, d'une entreprise à l'autre. Les lectures actuelles arrivent à un prix compris entre 1,2€/km et plus de 2€/km (*smt.d.fr*, *aurm.org*).

Nous avons obtenu précédemment une réduction des distances de parcours de 47 700 km à 39 200 km.

$Dp0$: La distance parcourue par les lignes scolaires avant la combinaison des lignes : 47 700 km

$Dp1$: La distance parcourue par les lignes scolaires après combinaisons : 39 200 km.

E : L'économie perçue par l'entreprise. $E = \Delta Dp * P$

D'après les données recensées (tableau 7) : $E = (47\,700 - 39\,200) * 1,9 = 16\,075\text{€}$ d'économisés par an.

On peut par exemple étendre cette économie sur la durée de vie d'un véhicule, que nous avons estimée à 20 ans. En effet, à la fin de celle-ci, cette économie serait de 321 480€, ou suffisamment pour mener un rachat de véhicule. À noter que cette économie peut être amenée à augmenter si nous élargissons cette étude sur l'ensemble des lignes scolaires du réseau. Ici, nous nous sommes arrêtés à 4 communes.

De plus, la combinaison des lignes diminue également le nombre de véhicules mobilisés. Ils pourraient être mobilisés sur d'autre course, ou bien tout simplement éviter l'achat de nouveaux bus dans le futur.

3.5.2. Une durée de course plus longue pour l'utilisateur.

Du côté de l'utilisateur, celui-ci verra dans tous les cas la durée de son trajet augmentée, même si nous nous sommes limités à un budget temps de 40 minutes.

Lignes	Durée avant combinaison (en minutes)	Durée après combinaison (en minutes)	Évolution durée
NE5_1	40	40	=
NE5_2	35	35	=
NE6_1 + NE6_2	20 / 15	32	+ 12 min / + 17 min
NE6_3	24	24	=
NE6_4 + NE6_5	16 / 20	23	+ 7 min / - 3 min
NE7_1	35	35	=
NE7_2	35	35	=
NE7_3 + NE7_5	30 / 35	35	+ 5 min / =
NE7_4	35	35	=
NE8_1 + NE8_2	15	17	+ 2 min

Tableau 9 : évolution des durées de courses pour les nouvelles lignes scolaires.

On remarque que certains changements n'impactent pas grandement la durée du trajet des usagers. Elle n'est problématique que pour une fusion : celle des lignes NE6_1 et NE6_2. Par problématique, on entend une augmentation significative. À savoir dans ce cas : la ligne NE_2 dont la course durait 15 minutes, se voit augmentée de 17 minutes après la fusion avec la ligne NE6_1. Ici, l'utilisateur voit donc la durée de son trajet doubler.

4. Conclusion et discussion.

Pour conclure, la combinaison de plusieurs lignes est possible. Elle permettrait à l'entreprise de réaliser des économies significatives, que nous avons estimé à 16k€ par année scolaire. Comme nous l'avons précisé, cette étude ne se base que sur certaines lignes scolaires que nous avons ciblées. Il faudrait élargir cette étude à la totalité des lignes.

L'économie est certes bénéfique pour le transporteur, mais il ne faut pas pour autant négliger l'usager. En zone périurbaine, l'usage de la voiture est encore bien majoritaire. De ce fait, la praticité que va offrir le transport collectif va être déterminante pour déclencher une utilisation régulière de la part d'un voyageur. Ici, la modification des lignes a des répercussions sur la durée de la course et donc la durée du trajet d'un usager. À Montlouis-sur-Loire, certains passeraient du simple au double. On peut présager que cette durée de trajet va être un frein à l'utilisation de ce transport scolaire. On pourrait alors penser à différentes façons de résoudre ce problème. D'abord, une confirmation que nos appréhensions soient réelles : une enquête pourrait être réalisée auprès des personnes concernées par ce rallongement de la durée de leur course. En effet, ceux-ci restent tout de même faciles à cibler et à identifier puisque le transport scolaire est sujet à une inscription au préalable. Cette enquête peut avoir lieu par exemple par contact direct ou pas le biais des inscriptions aux trajets scolaires.

On peut enfin souligner les quelques limites du modèle que nous avons rencontrées. En effet, l'application sur logiciel ne peut pas être suffisante. La réalité du terrain reste indispensable sur de nombreux points : minimiser le nombre de manœuvres (problème des demi-tours rencontré plus haut), sécurité des enfants, tronçons de route empruntés... De manière générale, chaque tracé de ligne nécessite au préalable de se rendre sur le terrain pour étudier de la praticité des lieux. En effet, le gabarit d'un car est tel qu'il ne peut pas se rendre en tout lieu, notamment le rayon de courbure nécessaire pour tourner. Par ailleurs, limiter le nombre de manœuvre est essentiel. En effet, dans un souci de sécurité, celles-ci sont à éviter, les angles morts étant importants sur ce type de véhicule et la visibilité relativement faible sur les autres usagers de la route. De ce fait, se rendre sur le terrain peut constituer une dernière confirmation du tracé obtenu.

5. Annexes.

Ci-dessous l'ensemble des fiches horaires des lignes scolaires concernées par l'étude.

Algorithme 7: Algorithme de Dijkstra

Données : Un graphe orienté pondéré $G = (X, A, W)$ et un sommet $s \in X$

Résultat : Le plus court chemin de s vers tous les autres sommets de G

// V : Tableau stockant les étiquettes des sommets de G

1 Initialiser V à $+\infty$

2 $V[s] = 0$

// P : Tableau permettant de retrouver la composition des chemins

3 Initialiser P à 0

4 $P[s] = s$

5 répéter

// Recherche du sommet x non fixé de plus petite étiquette

6 $V_{min} = +\infty$

7 pour y allant de 1 à N faire

8 si y non marqué et $V[y] < V_{min}$ alors

9 $x \leftarrow y$

10 $V_{min} \leftarrow V[y]$

// Mise à jour des successeurs non fixés de x

11 si $V_{min} < +\infty$ alors

12 Marquer x

13 pour tout successeur y de x faire

14 si y non marqué et $V[x] + W[x, y] < V[y]$ alors

15 $V[y] = V[x] + W[x, y]$

16 $P[y] = x$

17 jusqu'à $V_{min} = +\infty$

Annexe 1 : Algorithme de Dijkstra. Source : pairform

Propriétés de la couche

Général
Couches
Source
Paramètres d'analyse
Accumulation
Emplacements du réseau

Paramètres

Impédance :
Longueur (Mètres)

☐ Utiliser l'heure de début :

Heure du jour :
08:00

☒ Jour de la semaine :
Aujourd'hui

☐ Date spécifique :
31/12/2021

☐ Utiliser les fenêtres de temps

☒ Réorganiser les arrêts pour trouver l'itinéraire optimal :

☐ Conserver le premier arrêt

☒ Conserver le dernier arrêt

Demi-tours aux jonctions :
Autorisé

Type de forme en sortie :
Géométrie réelle avec mes

☐ Utiliser la hiérarchie

☒ Ignorer les emplacements non valides

Restrictions

Feuille de route

Unités de distance :
Mètres

☐ Utiliser l'attribut de temps :

☐ Ouvrir automatiquement la feuille de route

À propos de la couche d'analyse de l'itinéraire

OK
Annuler
Appliquer

Annexe 2 : Propriétés des itinéraires créés sur ArcGis.

Ligne : NE5_1 - PRIMAIRES AZAY

Validité du 02/09/2021 au 07/07/2022

Itinéraire : Scolaire

Calendrier Scolaire : Oui

Commune	Point d'arrêt	Itinéraires NE5_1a1 Im-jv---
AZAY-SUR-CHER	Ecole	07:45
	Claie (La)	07:52
	Tartifume	07:55
	Baugellerie (La)	07:57
	Buissonnet (Le)	08:02
	Le Fouteau	08:04
	Puits d'Abas (Le)	08:07
	LA FOLTIERE	08:11
	Marigny (Le)	08:14
	Lucterie	08:16
	Renardière (La) / Marquéterie	08:18
	Rochecave	08:20
	Ecole	08:25

Transporteur

KEOLIS TOURAINE

Calendrier Scolaire : Oui

Commune	Point d'arrêt	Itinéraires NE5_1r1 Im-jv---
AZAY-SUR-CHER	Ecole	16:10
	Rochecave	16:15
	Renardière (La) / Marquéterie	16:17
	Lucterie	16:19
	Marigny (Le)	16:21
	Claie (La)	16:22
	Tartifume	16:24
	Baugellerie (La)	16:26
	Buissonnet (Le)	16:32
	Le Fouteau	16:34
	Puits d'Abas (Le)	16:37
	LA FOLTIERE	16:41
	Ecole	16:51

Ligne : NE5_2 - PRIMAIRES AZAY

Validité du 02/09/2021 au 07/07/2022

Itinéraire : Scolaire

Calendrier Scolaire : Oui

Commune	Point d'arrêt	Itinéraires NE5_2a1 Im-jv---
AZAY-SUR-CHER	Ecole	07:45
	Haute Maison	07:55
	Pierre (La)	07:58
	Grais (Le)	08:03
	Serraults (Les)	08:06
	Baronnerie (La)	08:10
	Charpereaux (Les)	08:15
	Ecole	08:20

Transporteur

KEOLIS TOURAINE

Calendrier Scolaire : Oui

Commune	Point d'arrêt	Itinéraires NE5_2r1 Im-jv---
AZAY-SUR-CHER	Ecole	16:10
	Charpereaux (Les)	16:16
	Baronnerie (La)	16:21
	Serraults (Les)	16:25
	Grais (Le)	16:28
	Pierre (La)	16:33
	Haute Maison	16:36
	Ecole	16:44

Annexe 3 : Fiches horaires des lignes scolaires d'Azay-sur-Cher

Ligne : NE6_1 - MONTLOUIS COLLEGE PRIMAIRES

Validité du 02/09/2021 au 07/07/2022

Itinéraire : Scolaire

Calendrier Scolaire : Oui

Oui

Oui

A

Commune	Point d'arrêt	Itinéraires NE6_01a1 Im-jv---	NE6_01Ma1 --m----	NE6_01a2 Im-jv---
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Emile Zola	07:25	07:25	
	Gendarmerie	07:27	07:27	
	Thuisseau	07:30	07:30	
	Frelonnerie (La)	07:33	07:33	
	Vallées de Greux	07:35	07:35	
	Pousterie (La)	07:37	07:37	08:00
	Rochepinard	07:38	07:38	08:03
	Cantin	07:40	07:40	08:05
	Gaudellerie (La)			08:10
	Ecoles Racault-Desnos			08:22
	Ecole Gerbault			08:26
	Sablons (Les)	07:44	07:44	
	Collège Raoul Rebout	07:45	07:45	08:31

Calendrier Scolaire : Oui

Oui

Oui

Commune	Point d'arrêt	Itinéraires NE6_01Mr2 --m----	NE6_01r1 Im-jv---	NE6_01r2 Im-jv---
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Ecoles Racault-Desnos		16:30	
	Ecole Gerbault		16:35	
	Collège Raoul Rebout	12:23		17:15
	Emile Zola	12:24		17:19
	Gendarmerie	12:26		17:21
	Thuisseau	12:29		17:24
	Frelonnerie (La)	12:32		17:27
	Vallées de Greux	12:34		17:29
	Pousterie (La)	12:36	16:43	17:31
	Rochepinard	12:37	16:45	17:32
	Cantin	12:39	16:48	17:34
	Gaudellerie (La)		16:53	
	Ecoles Racault-Desnos		17:03	
	Sablons (Les)	12:40		17:35

Ligne : NE6_2 - MONTLOUIS COLLEGE ECOLES

Validité du 02/09/2021 au 07/07/2022

Itinéraire : Scolaire

Calendrier Scolaire : Oui Oui Oui				
Nota : A				
Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE06_02a1 Im-jv---	NE06_02Ma1 --m----	NE06_02a2 Im-jv---
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Bonde (La)	07:30	07:30	
	COUPE LA SOIF	07:31	07:31	
	Husseau (placette St Vincent)	07:32	07:32	
	Le Chapitre / La Barre (D40)	07:35	07:35	08:05
	Miltière 1 (La) Saint Aignan	07:37	07:37	08:07
	Miltière 2 (La)	07:38	07:38	08:08
	Miltière 3 (La)	07:39	07:39	08:09
	Laloux	07:41	07:41	
	Closerie (La)			08:12
	Orbinais (L')			08:14
	Madeleine Vernet			08:16
	Ecoles Racault-Desnos			08:22
	Ecole Gerbault			08:26
	Collège Raoul Rebout	07:45	07:45	08:31

Calendrier Scolaire : Oui Oui Oui				
Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE06_02Mr2 --m----	NE06_02r1 Im-jv---	NE06_02r2 Im-jv---
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Collège Raoul Rebout	12:28		17:15
	Laloux	12:33		17:20
	Miltière 3 (La)	12:35		17:22
	Miltière 2 (La)	12:37		17:24
	Miltière 1 (La) Saint Aignan	12:38		17:25
	Ecoles Racault-Desnos		16:32	
	Ecole Gerbault		16:35	
	Le Chapitre / La Barre (D40)	12:39	16:47	17:26
	Husseau (placette St Vincent)	12:41		17:28
	COUPE LA SOIF	12:42		17:29
	Miltière 1 (La) Saint Aignan		16:50	
	Miltière 2 (La)		16:52	
	Miltière 3 (La)		16:54	
	Closerie (La)		16:56	
	Orbinais (L')		17:00	
	Madeleine Vernet		17:02	
	Ecoles Racault-Desnos		17:10	
	Bonde (La)	12:44		17:31

Ligne : NE6_3 - SAINT MARTIN LE BEAU-MONTLOUIS SUR LOIRE

Validité du 02/09/2021 au 07/07/2022

Calendrier Scolaire : Oui Oui Oui				
Nota : A				
Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE06_03a1 Im-jv---	NE06_03Ma1 --m----	NE06_03a2 Im-jv---
SAINT-MARTIN-LE-BEAU	Chenonceaux (81 rue de)	07:22	07:22	
	Chenonceaux (51 rue de)	07:23	07:23	
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	ST MARTIN LE BEAU - Gare	07:27	07:27	
	Emile Zola			07:51
	Maison de Retraite (G. d'Estrées)			07:53
	Rillé			07:55
	Bourdaisière (La)			07:58
	La Gravelle / La Vallée			08:00
	Thuisseau			08:01
	Aujoux (Les)	07:34	07:34	08:05
	Gare d'Azay	07:36	07:36	08:06
	Cormier 3 (Le)	07:39	07:39	08:09
	Cormier 2 (Le)			08:10
	Laloux			08:11
	Ecoles Racault-Desnos			08:22
	Ecole Gerbault			08:25
	Collège Raoul Rebout	07:46	07:46	08:30

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE06_03Mr2 --m----	NE06_03r1 Im-jv---	NE06_03r2 Im-jv---
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Collège Raoul Rebout	12:25		17:15
	Cormier 3 (Le)	12:32		17:22
	Ecoles Racault-Desnos		16:32	
	Ecole Gerbault		16:35	
	Emile Zola		16:39	
	Maison de Retraite (G. d'Estrées)		16:42	
	Rillé		16:43	
	Bourdaisière (La)		16:45	
	La Gravelle / La Vallée		16:48	
	Thuisseau		16:50	
SAINT-MARTIN-LE-BEAU	Aujoux (Les)	12:34	16:54	17:24
	Gare d'Azay	12:35	16:55	17:25
	Chenonceaux (81 rue de)	12:43		17:34
	Chenonceaux (51 rue de)	12:44		17:35
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	ST MARTIN LE BEAU - Gare	12:47		17:38
	Cormier 3 (Le)		16:57	
	Cormier 2 (Le)		16:58	
	Laloux		16:59	
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Ecoles Racault-Desnos		17:04	

Ligne : NE6_4 - ST MARTIN LE BEAU-MONTLOUIS

Validité du 02/09/2021 au 07/07/2022

Itinéraire : Scolaire

Calendrier Scolaire : Oui Oui Oui				
Nota : A				
Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE06_04a1 lm-jv---	NE06_04Ma1 --m----	NE06_04a2 lm-jv---
SAINT-MARTIN-LE-BEAU	Rue de Saigne	07:28	07:28	
	Les Tilleuls	07:31	07:31	
	Les Jardins	07:32	07:32	
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Pasteur			07:48
	Saule Michaud (Le)			07:49
	Courteline			07:50
	Beau Rivage (TFV)			07:53
	Quai A.Bayet			07:55
	Bonde (La)			07:57
	COUPE LA SOIF			08:02
	Husseau (placette St Vincent)			08:04
	Husseau 2			08:06
	Ecoles Racault-Desnos			08:22
	Ecole Gerbault			08:26
	Collège Raoul Rebout	07:44	07:44	08:31

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE06_04Mr2 --m----	NE06_04r1 lm-jv---	NE06_04r2 lm-jv---
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Collège Raoul Rebout	12:25		17:15
SAINT-MARTIN-LE-BEAU	Les Jardins	12:37		17:17
	Les Tilleuls	12:38		17:20
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Ecoles Racault-Desnos		16:32	
	Ecole Gerbault		16:35	
	Pasteur		16:39	
	Saule Michaud (Le)		16:40	
	Courteline		16:42	
	Beau Rivage (TFV)		16:47	
	Quai A.Bayet		16:49	
	Bonde (La)		16:51	
	COUPE LA SOIF		16:58	
	Husseau (placette St Vincent)		17:00	
	Husseau 2		17:02	
	Ecoles Racault-Desnos		17:07	
SAINT-MARTIN-LE-BEAU	Rue de Saigne	12:41		17:26

Ligne : NE6_5 - MONTLOUIS-ST MARTIN LE BEAU

Itinéraire : Scolaire

Calendrier Scolaire : Oui Oui Oui				
Nota : A				
Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE06_05a1 lm-jv---	NE06_05Ma1 --m----	NE06_05a2 lm-jv---
SAINT-MARTIN-LE-BEAU	Vaumorin	07:24	07:24	
	Les Maraichers	07:27	07:27	
	Impasse des sables	07:29	07:29	
	La Bouteille	07:34	07:34	
	Ecole maternelle	07:36	07:36	
	Vieux Four	07:38	07:38	
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Gendarmerie			07:58
	Ormeaux (Les)			07:59
	Vallées de Greux			08:03
	Sablons (Les)			08:06
	Boisdenier - Bel-Air			08:11
	Ecoles Racault-Desnos			08:22
	Ecole Gerbault			08:25
	Collège Raoul Rebout	07:50	07:50	08:30

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE06_05Mr2 --m----	NE06_05r1 lm-jv---	NE06_05r2 lm-jv---
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Collège Raoul Rebout	12:25		17:10
SAINT-MARTIN-LE-BEAU	Vieux Four	12:37		17:22
	Ecole maternelle	12:39		17:24
	La Bouteille	12:41		17:26
	Impasse des sables	12:46		17:31
	Les Maraichers	12:48		17:33
MONTLOUIS-SUR-LOIRE	Ecoles Racault-Desnos		16:32	
	Ecole Gerbault		16:35	
	Gendarmerie		16:40	
	Ormeaux (Les)		16:41	
	Vallées de Greux		16:44	
	Sablons (Les)		16:47	
	Boisdenier - Bel-Air		16:52	
	Ecoles Racault-Desnos		17:00	
SAINT-MARTIN-LE-BEAU	Vaumorin	12:51		17:36

Annexe 4 : Fiches horaires des lignes scolaires de Montlouis-sur-Loire

Ligne : NE7_1 - VERETZ-TOURS

Validité du 02/09/2021 au 07/07/2022

Itinéraire : Scolaire

Calendrier Scolaire :		Oui	Oui
Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE07_01a1 lm-jv---	NE07_01Ma1 --m----
VERETZ	Clos de Justice (TFV)	07:15	07:15
	Teignard (Le) (TFV)	07:17	07:17
	Bourderie (La)	07:19	07:19
	Vitrie (La)	07:21	07:21
	Guérinière (La) (TFV)	07:23	07:23
	Ferranderie (La)	07:25	07:25
	Paul Louis Courier	07:30	07:30
	Collège Ph. De Commynes	07:50	07:50
TOURS			

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE07_01Mr1 --m----	NE07_01r1 lm-jv---
TOURS	Collège Ph. De Commynes	12:10	16:45
VERETZ	Paul Louis Courier	12:27	17:02
	Ferranderie (La)	12:30	17:05
	Guérinière (La) (TFV)	12:32	17:07
	Vitrie (La)	12:34	17:09
	Bourderie (La)	12:36	17:11
	Teignard (Le) (TFV)	12:38	17:13
	Clos de Justice (TFV)	12:40	17:15

Ligne : NE7_2 - VERETZ-TOURS

Calendrier Scolaire :		Oui	Oui
Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE07_02a1 lm-jv---	NE07_02Ma1 --m----
VERETZ	Chavonnière (Chemin de la) - 7 bi	07:15	07:15
	Croix de la Chavonnière	07:17	07:17
	Enaux (chemin des)	07:19	07:19
	Fier de Pied - Saveton	07:23	07:23
	Sables (Les)	07:25	07:25
	Collège Ph. De Commynes	07:50	07:50
TOURS			

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE07_02Mr1 --m----	NE07_02r1 lm-jv---
TOURS	Collège Ph. De Commynes	12:10	16:45
VERETZ	Sables (Les)	12:30	17:05
	Chavonnière (Chemin de la) - 7 bi	12:35	17:10
	Croix de la Chavonnière	12:37	17:12
	Enaux (chemin des)	12:39	17:14
	Fier de Pied - Saveton	12:43	17:16

Ligne : NE7_3 - VERETZ-TOURS

Calendrier Scolaire :		Oui	Oui
Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE07_03a1 lm-jv---	NE07_03Ma1 --m----
VERETZ	Jacques Brel	07:20	07:20
	Pidellerie (La)	07:23	07:23
	Isles (Les) (camping)	07:27	07:27
	Collège Ph. De Commynes	07:50	07:50
TOURS			

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE07_03Mr1 --m----	NE07_03r1 lm-jv---
TOURS	Collège Ph. De Commynes	12:10	16:45
VERETZ	Jacques Brel	12:30	17:05
	Pidellerie (La)	12:33	17:08
	Isles (Les) (camping)	12:37	17:12

Ligne : NE7_4 - VERETZ-TOURS

Calendrier Scolaire :		Oui	Oui
Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE07_04a1 lm-jv---	NE07_04Ma1 --m----
VERETZ	Vitrie (Chemin de la)	07:15	07:15
	Camille Claudel (Rue)	07:20	07:20
	Ferme des Ruaux	07:25	07:25
TOURS	Collège Ph. De Commynes	07:50	07:50

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE07_04Mr1 --m----	NE07_04r1 lm-jv---
TOURS	Collège Ph. De Commynes	12:10	16:45
VERETZ	Camille Claudel (Rue)	12:30	17:05
	Ferme des Ruaux	12:34	17:09
	Vitrie (Chemin de la)	12:38	17:13

Ligne : NE7_5 - VERETZ-TOURS

Calendrier Scolaire :		Oui	Oui
Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE07_05a1 lm-jv---	NE07_05Ma1 --m----
VERETZ	Droits de l'Homme (Place des)	07:20	07:20
TOURS	Collège Ph. De Commynes	07:50	07:50

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE07_05Mr1 --m----	NE07_05r1 lm-jv---
TOURS	Collège Ph. De Commynes	12:10	16:45
VERETZ	Droits de l'Homme (Place des)	12:35	17:10

Annexe 5 : Fiches horaires des lignes scolaires de Vétetz

Ligne : NE8_1 - LA VILLE AUX DAMES PRIMAIRES

Validité du 02/09/2021 au 07/07/2022

Itinéraire : Scolaire

Calendrier Scolaire : Oui

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE8_1a1 Im-jv---
LA VILLE-AUX-DAMES	LES PONEYS	08:05
	LES MOUTONS	08:07
	LES CHATONS	08:09
	LES POUSSINS	08:12
	LES LAPINS	08:14
	PARKING DES ECOLES - ALSH DOLTO	08:20

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE8_1r1 Im-jv---
LA VILLE-AUX-DAMES	PARKING DES ECOLES - ALSH DOLTO	16:40
	LES LAPINS	16:45
	LES POUSSINS	16:47
	LES CHATONS	16:49
	LES MOUTONS	16:50
	LES PONEYS	16:52

Ligne : NE8_2 - LA VILLE AUX DAMES PRIMAIRES

Validité du 02/09/2021 au 07/07/2022

Itinéraire : Scolaire

Calendrier Scolaire : Oui

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE8_2a1 Im-jv---
LA VILLE-AUX-DAMES	LES LIONS	08:05
	LES ELEPHANTS	08:11
	LES PANTHERES	08:13
	LES GIRAFES	08:14
	PARKING DES ECOLES - ALSH DOLTO	08:20

Commune	Itinéraires Point d'arrêt	NE8_2r1 Im-jv---
LA VILLE-AUX-DAMES	PARKING DES ECOLES - ALSH DOLTO	16:40
	LES GIRAFES	16:46
	LES PANTHERES	16:47
	LES ELEPHANTS	16:49
	LES LIONS	16:52

Annexe 6 : Fiches horaires des lignes scolaires de la Ville-aux-Dames

6. Bibliographie.

- McCafferty et F.L. Hall. « The use of multinomial logit analysis to model the choice of time to travel ». *Economic Geography*, 1982. <https://www.semanticscholar.org/paper/THE-USE-OF-MULTINOMIAL-LOGIT-ANALYSIS-TO-MODEL-THE-McCafferty/ebca8c259e8d2a8336b87f483295e77d50002130>.
- Manon Couturier. « Dessaturer les transports : des horaires décalés pour lisser l'hyper pointe. » Transport Shaker, s. d. [Désaturer les transports : les horaires décalés pour lisser l'hyper-pointe ? - TransportShaker - TransportShaker \(transportshaker-wavestone.com\)](https://transportshaker-wavestone.com).
- Emmanuel MUNCH. « Mais pourquoi arrivent-ils tous à la même heure ? Le paradoxe de l'heure de pointe et des horaires de travail flexibles. Enquête sociologique auprès de cadres franciliens ». École des Ponts Paris Tech, 2017. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01699034/document>.
- Emmanuel Munch et Laurent Proulhac. « Le paradoxe de l'heure de pointe et des horaires de travail flexibles ». *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement*, 8 novembre 2019. <http://journals.openedition.org/tem/5802>.
- Emmanuel Munch. « L'harmonisation des horaires de travail : en finir avec l'heure de pointe ? » *Metropolitiques*, 22 janvier 2014. <https://metropolitiques.eu/IMG/pdf/met-munch.pdf>.
- Dany Nguyen-Long. « Tableau de bord de la mobilité en Île de France. », s. d. institutparisregion.fr.
- Région Île-de-France. « Signature d'une Charte d'engagements sur l'expérimentation du lissage des heures de pointe dans les transports à Paris la Défense. », 2018. [Signature d'une Charte d'engagements sur l'expérimentation du lissage des heures de pointe dans les transports en commun à Paris La Défense | Région Île-de-France \(iledefrance.fr\)](https://iledefrance.fr/region/la-defense/la-region-ile-de-france-et-la-defense-lancent-moov-win).
- Magali Tran. « Désaturer les heures de pointe : la palette d'outils rennais. » *Objectif métropoles de France*, 25 mars 2019. [Désaturer les heures de pointe : la palette d'outils rennais ★ Objectif Métropoles de France \(objectifmetropolesdefrance.fr\)](https://objectifmetropolesdefrance.fr).
- Région Île-de-France. « Lissage des heures de pointe dans les transports en commun : Paris La Défense et la Région Île de France lancent Moov&Win. Agence 13 113. », s. d. [Lissage des heures de pointe dans les transports en commun : Paris La Défense et la Région Île-de-France lancent Moov&Win | Région Île-de-France \(iledefrance.fr\)](https://iledefrance.fr/region/la-defense/la-region-ile-de-france-et-la-defense-lancent-moov-win).

- Gilles DUMARTIN. « MODULATION DE PÉAGE : PREMIÈRE EXPÉRIMENTATION SUR L'AUTOROUTE A1 », 1993.
http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0046/Temis-0046841/NS_073_6.pdf.
- Pairform. « Algorithme de Dijkstra », s. d. <https://www.pairform.fr/doc/1/32/180/web/co/Dijkstra.html>.
- Datavis. « Le problème du voyageur de commerce : parcourir toutes les communes d'un département avec le plus court chemin. », 10 février 2021. <https://www.datavis.fr/index.php?page=salesman-problem>.
- Syndicat Mixte des Transports du Douaisis. « Délibération du comité syndical », 5 mai 2021.
<https://www.smt-d.fr/fileadmin/Public/mbrasme/publication/deliberation2021/202105-11.pdf>.
- Mon transport. « Ces charges qui composent les prix de transports », 27 septembre 2017.
<https://blog.montransport.com/les-charges-composant-prix-transport/>.
- Commissariat général au développement durable. « Analyse coûts bénéfices des véhicules électriques : les autobus et autocars ». Écologie.gouv, octobre 2018.
https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Analyse%20co%C3%BAts%20b%C3%A9n%C3%A9fices%20des%20v%C3%A9hicules%20%C3%A9lectriques_0.pdf.
- Service public. « Coûts certificat d'immatriculation », consulté le 7 janvier 2021.
<https://www.service-public.fr/simulateur/calcul/cout-certificat-immatriculation#main>.
- Agence d'urbanisme de la région mulhousienne. « Le coût réel des déplacements dans m2A : voiture, marche, vélo et transports collectifs », décembre 2017.
<https://www.aurm.org/uploads/media/5a54e65026088.pdf>.
- Frédéric Havet. « Graphe et applications aux réseaux », 24 novembre 2011.
<http://www-sop.inria.fr/members/Frederic.Havet/FeteScience/Graphes-reseaux.pdf>.

Directeur de recherche :

Hervé Baptiste

Abigaïl Tourniaire

PFE/DAE5

RÉSEAU

2020-2021

Optimisation des ressources appliquée aux transports scolaires : Étude de cas pour Keolis Touraine

Résumé : L'exploitation des lignes scolaires dans les zones périurbaines demande au transporteur de déployer un grand nombre de ressources, qu'elles soient humaines ou matérielles. Aux heures de pointes, celles-ci sont exacerbées. Pour les 4 communes de Azay-sur-Cher, Montlouis-sur-Loire, Véretz et la Ville-aux-Dames, ce ne sont pas moins de 14 lignes qui sont en course pour desservir leurs élèves en début et fin de journée. Ceci a évidemment un coût pour le transporteur en véhicule, personnel, carburant... Dans le but de limiter ce coût, nous voudrions ici réduire ce nombre de lignes de bus, pour limiter les kilomètres parcourus. Nous veillerons toutefois à ne pas impacter l'usager dans ses trajets du quotidien, le but étant de concilier économie pour l'entreprise et l'expérience des voyageurs. Pour ce faire, nous étudierons les possibles combinaisons de lignes existantes aujourd'hui. Nous voudrions créer une ligne scolaire en combinant les arrêts de 2 lignes actuelles par exemple. Nous nous attacherons cependant à respecter différentes contraintes : capacité des véhicules, durée de course maximale, arrêts à desservir. Enfin, nous pourrions relever une potentielle économie de kilomètres parcourus sur ces courses, et en tirer une économie monétaire. Nous établirons aussi la perte ou le gain en durée de trajet pour l'usager.

Mots Clés : Transports, tracé des lignes, économie des ressources d'exploitation.