

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2019

Système de financement d'une amélioration de la qualité de service des transports en commun *par l'implantation d'un péage urbain (Tours)*

L'amélioration d'un système de transport collectif peut-elle être financée par un péage urbain ?



Péage urbain de Singapour
Source : FranceInfo

Pierre LACOMME sous la direction de Sébastien LARRIBE

Système de financement d'une amélioration de la qualité de service des transports en commun *par l'implantation d'un péage urbain (Tours)*

L'amélioration d'un système de transport collectif peut-elle être financée par un péage urbain ?

**Directeur de recherche
LARRIBE Sébastien**

Pierre LACOMME

**2018-2019
Semestre 9**

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 de cette recherche a signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes 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'Ecole 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

J'adresse mes sincères remerciements au Directeur de recherche de ce PFE Monsieur Sébastien Larribe, Directeur du Département Aménagement et Environnement à Polytech Tours, pour m'avoir encadré, orienté et conseillé tout au long du projet.

Je remercie Monsieur Kamal Serrhini, Enseignant-Chercheur à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, Département Aménagement, pour m'avoir guidé et éclairé dans les questions de traitement géomatique.

Je tiens également à adresser mes remerciements à Monsieur Laurent Tournier, responsable produits chez Keolis, pour le temps accordé pour l'explication de la définition de l'offre de transport Fil Bleu.

Enfin, je remercie mon amie, Noémie Dusart et ma mère, Laurence Lacomme, pour leur encouragement et leur soutien inconditionnel.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	8
I. DÉTERMINER ET MONÉTARISER L'AUGMENTATION DE L'OFFRE PAR LA FRÉQUENCE	11
1. Calcul des fréquences horaires.....	11
2. Détermination du nombre de véhicules actuel et nécessaire	13
3. Coûts de mise en service des nouveaux véhicules	14
II. L'IMPLANTATION D'UN PÉAGE URBAIN	16
1. Péage de cordon à prix fixe	18
2. Péage de zone à prix fixe	21
3. Péage de zone à prix variable selon la distance parcourue	24
III. RÉSULTATS/BILAN.....	26
BIBLIOGRAPHIE.....	28
ANNEXE	30

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Fréquence horaire de la ligne 10.....	12
Figure 2 : Fréquence maximale pour chaque ligne	12
Figure 3 : Logigramme du calcul du nouveau nombre de véhicules.....	14
Figure 4 : Nombre de véhicules à ajouter par ligne pour une fréquence de 10 mn.....	14
Figure 5 : Logigramme du coût des nouveaux véhicules	15
Figure 6 : Réseau de 22 communes centré sur Tours	16
Figure 7 : Flux domicile-travail en provenance de/vers Tours.....	17
Figure 8 : Flux cumulés sur les tronçons du réseau routier	18
Figure 9 : Flux par tronçon par barrière de péage	19
Figure 10 : Logigramme du financement par un péage de tronçon	20
Figure 11 : Flux Domicile-Travail selon le couple Origine-Destination	22
Figure 12 : Logigramme du financement par un péage de zone à prix fixe.....	23
Figure 13 : Flux selon la distance parcourue.....	24
Figure 14 : Logigramme de financement par le péage de zone selon la distance parcourue .	25
Figure 15 : Financement pour une fréquence de 10 mn en heures de pointe des transports en commun	26

INTRODUCTION

Le transport routier est un des secteurs les plus polluants en zone urbanisée. Au niveau national, il est responsable de 54% des émissions de NOx ou encore 15% des émissions de particules fines (PM10). Selon une commission du Sénat¹, 48 000 décès prématurés par an en France seraient liés à la pollution de l'air. Le trafic routier engendre des coûts de plus en plus importants en fonction de la densité urbaine, dont les automobilistes ne s'acquittent que très peu par des prélèvements. Le péage urbain est un moyen d'internaliser toutes ces externalités négatives. Il correspond à « toute forme quelconque de paiement imposé aux automobilistes pour pouvoir circuler en certains endroits de certaines parties des zones urbaines (André Lauer – CERTU)² ». Il se caractérise par la taxation de tous les véhicules qui circulent dans un périmètre donné et diffère d'une zone à faibles émissions (« Low Emission Zone ») qui interdit simplement la circulation aux véhicules les plus polluants.

Il peut être déployé à des fins environnementales, afin de faire payer les nuisances environnementales que les automobilistes imposent aux habitants, ou de décongestion et faire payer aux usagers de la voirie les pertes de temps qu'ils font subir aux autres utilisateurs. Les deux objectifs sont souvent liés. Il s'agit de modifier les comportements des automobilistes, en les orientant vers des modes de transports plus respectueux de l'environnement, grâce à une incitation économique et une modification de leur prix de déplacement.

Nous distinguons les péages urbains selon leur couverture spatiale :

- Le péage de cordon, où les utilisateurs payent à chaque point d'entrée d'une aire délimitée, telle que le péage de Stockholm
- Le péage de zone, où la taxation est liée à la circulation au sein d'une zone délimitée et non à son franchissement.

L'ADEME³ recense 10 péages urbains de type cordon ou zone dans le monde, dont 8 en Europe. Ces péages urbains à vocation environnementale et de décongestion sont mis en fonctionnement durant la semaine sur une certaine amplitude de la journée, afin d'agir sur le comportement des automobilistes lorsque le trafic est dense. Le tarif peut être modulable en fonction de la plage horaire de circulation. Les résultats sont unanimement convaincants quant à la réduction du trafic et l'amélioration de la qualité de l'air dans les villes concernées.

La nouvelle loi française d'Orientation des Mobilité 2018 devait effectivement ouvrir la possibilité aux collectivités de plus de 100 000 habitants de disposer d'un péage urbain sur leur territoire. Mais l'article a finalement été retiré sous la pression d'un certain nombre d'élus, du Conseil Economique, Social et Environnemental (CESE) et du mouvement des gilets jaunes, craignant tous une augmentation de la fracture territoriale. Ce questionnement législatif est la preuve d'une problématique bien actuelle.

¹ Sénat – Rapport d'information, 2018

² Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

³ Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Une autre conséquence directe pour la quasi-totalité de ces villes dotées de péage urbain est l'augmentation de la demande de transports en commun. L'augmentation de l'offre de transports publics est a priori prévue dans la conception du projet, comme nous le montre l'exemple de Stockholm. Dans la capitale suédoise, un péage de cordon avec 18 points d'entrées à la ville a été installé avec un tarif plus élevé durant les heures de pointe du matin et du soir. En 2014 a été constatée une réduction de 20% de la circulation en centre-ville par rapport à 2007. Le péage a permis de diminuer le niveau de congestion et tous les polluants au sein du centre-ville. Tandis que la baisse de circulation est drastique, certains usagers de la voirie se reportent sur un autre mode de transports, majoritairement les transports en commun. Les recettes engendrées par le péage sont principalement redirigées vers l'augmentation de l'offre de transports. En effet, la totalité de ces excédents est reversée dans les transports, répartis entre amélioration des transports en commun, et aménagement des infrastructures routières⁴, sans pour autant augmenter notablement les coûts des transports en commun pour les usagers. Aujourd'hui, le péage urbain de Stockholm fait consensus notamment en raison de l'amélioration induite des transports en commun.

Les recettes d'un péage urbain devraient donc être redirigées vers les transports collectifs urbains qui font face à de nombreux défis afin d'être attractifs, notamment en termes d'amélioration de qualité de service. Le service est « l'ensemble des prestations auxquelles le client s'attend, au-delà du service de base, en fonction du prix, de l'image et de la réputation en cours » (INRETS, 1999). Dans un système de transports en commun, le client est juge de la qualité de service. C'est le niveau de satisfaction du client, son jugement et sa façon d'interpréter son environnement qui est devenue la norme pour définir une qualité de service. Ce concept de qualité peut se décliner sous diverses formes (fiabilité du service, qualité des aspects matériels du réseau, disponibilité, sécurisation, écoute du client...) et il convient d'attribuer plusieurs indicateurs, comme le proposent Francis Kühn et Saïd Hayat de l'INRETS⁵ : L'Accueil, le Confort, les Equipements, les Caractéristiques Temporelles (dépendant essentiellement de la vitesse commerciale et de la fréquence). Ces indicateurs apportent une vision globale de la satisfaction client dans un système de transport.

L'amélioration du système de transport collectif de Tours peut-elle être financée par un péage urbain ?

Le but de cette recherche est de savoir si, et à quelle hauteur, un péage urbain peut financer le fonctionnement optimisé d'une offre de service public. Ce raisonnement de type pollueur-payeur consisterait donc à internaliser les coûts des automobilistes en zone urbaine et les rediriger vers l'optimisation d'un service de transports en commun. Un grand nombre de variables existe pour qualifier la qualité d'un service. Mais dans un raisonnement qui oppose la voiture au transport collectif, nous simplifions le problème et limitons la question de l'amélioration de la qualité de service d'un transport en commun à la fréquence. Elle correspond à l'intervalle temporel entre deux véhicules successifs et semble un critère primordial. En effet, un travail sur un large panel de critères relatif à la qualité de service serait difficilement réalisable. L'élaboration d'un système de financement de l'augmentation de la fréquence des transports en commun en heures de pointe par l'implantation d'un péage urbain sera traitée à Tours. Seuls les déplacements domicile-travail d'un réseau de communes l'agglomération tourangelle seront étudiés pour la mise en place d'un péage urbain.

⁴ A Stockholm un contournement routier a rendu plus acceptable le péage par la population

⁵ Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité

La métropole est dotée d'un réseau de transports déjà bien maillé et performant et pourrait donc justifier l'implantation d'un péage urbain. Cette amélioration spécifique de la qualité de service pourrait développer l'attractivité des transports en commun et entrer dans le cadre d'un des objectifs du PDU⁶ souhaitant le passage de 24 millions de voyageurs en 2011 à 40 millions de voyageurs sur le réseau urbain de Tours en 2023. Il est à noter qu'une deuxième ligne de tramway est prévue à l'horizon 2025 afin de créer un nouvel axe structurant Est-Ouest.

L'objectif est la maximisation de la fréquence de passage des véhicules en heures de pointe sur chaque ligne du réseau de transports de Tours. Bien entendu, certains « usagers » ne pourront jamais être captifs des transports publics du fait par exemple de leur éloignement trop important des zones urbaines. Bien que cette fréquence soit aussi en amont définie par la fréquentation de la ligne, l'hypothèse est de « booster » cette fréquence. Cela pourrait être un levier pour favoriser la plus large attractivité possible et un report modal vers les transports publics, notamment pour les communes urbaines et périurbaines disposant d'une faible offre de transports. Cette augmentation va générer un plus grand nombre de véhicules à déployer et un surcoût. Il conviendrait de définir un système permettant de le financer par un péage urbain.

Tout d'abord une méthode permettant de calculer le coût total de l'augmentation de la fréquence maximale des transports en commun sera mise en évidence. Ensuite, différents systèmes de péage et scénarii seront proposés pour apporter des recettes financières et tenter de répondre à cette amélioration de la fréquence des transports publics.

Le péage urbain est une incitation financière forte qui implique forcément un changement de comportement plus ou moins important chez les automobilistes. Il peut se traduire par l'utilisation d'itinéraires alternatifs, ou bien-même d'un report modal (un des objectifs souhaités d'un tel système). Cette perte potentielle d'automobilistes ne pourra pas être prise en compte et les flux automobiles observés seront considérés fixes dans l'analyse.

⁶ Plan de Déplacement Urbain

I. Déterminer et monétariser l'augmentation de l'offre par la fréquence

L'objectif de cette première étape est l'amélioration du réseau de transports en commun de la Métropole de Tours (réseau Fil Bleu) par la maximisation de la fréquence de passage en heures de pointe des véhicules sur toutes les lignes.

Le réseau Fil Bleu se compose de 29 lignes régulières⁷ avec une certaine hiérarchie : Lignes à haut niveau de service, lignes fortes, lignes urbaines, suburbaines. L'objectif est donc d'atteindre une fréquence optimale et homogène sur l'ensemble de ces lignes⁸ en heures de pointe et ainsi permettre la meilleure attractivité possible, notamment pour les communes urbaines et périurbaines disposant d'une très faible fréquence horaire sur les lignes de transports en commun dont elles bénéficient. La première partie consiste à estimer une fréquence actuelle de passage pour chacune des 29 lignes de transport en commun, selon les périodes horaires de la journée. Ensuite, l'amélioration de la fréquence sur certaines de ces lignes permettra de calculer le nombre de bus nécessaires à ajouter et ainsi le coût total ajouté. Ces calculs de fréquences horaires et de nombre de bus nécessaires sont calculés avec la base de fiches horaires pour l'ensemble des lignes Fil Bleu.

1. Calcul des fréquences horaires

Le calcul des fréquences horaires est effectué à partir de l'arrêt médian de chaque ligne, considéré comme point de référence, dans un sens comme dans l'autre de la ligne.

Selon Fil Bleu, la journée se décompose en heures creuses (avant 7 heures et après 20 heures), en heures de journée (entre 9 h et 16h) et en heures de pointe (entre 7h et 9h et entre 16h et 19h). Le nombre de passage d'un véhicule de transport en commun - c'est-à-dire le nombre de rotations - à un arrêt devrait donc être relativement homogène à l'intérieur de chacune de ces périodes horaires. C'est pourquoi le nombre de rotations d'un véhicule est calculé au sein de chacune de ces périodes, puis ramené par heure. Il est ensuite transformé en fréquence horaire, c'est-à-dire correspondant au nombre de bus disponibles à un arrêt donné sur une heure donnée. Cette fréquence est donc considérée constante au sein de chacune de ces périodes. Les fréquences horaires ne seront pas calculées en heures creuses, en raison de la variabilité des amplitudes horaires de chacune des lignes.

⁷ Et 18 lignes „spéciales“ : Renforcement ponctuel de lignes existantes, dessertes touristiques spécifiques, que nous excluons de notre raisonnement

⁸ A,2,3,4,5,10,11,12,14,15,16,17,18,19,20, C,30,31,32,34,35,36,50,51,52,53,54,56,57

10 : Justices ==> Paul

Arrêt médian : Jean Jaurès	7:00/8:59	9:00/15:59	16:00/18:59	19:00/19:59
Amplitude (minutes)	119	419	179	59
Nombre de rotations	7	24	12	1
Nombre de rotations rapporté sur une heure	3,5	3,4	4	1
Fréquence de bus (1 bus toutes les x mn)	17	17	15	59

10 : Paul ==> Justices

Arrêt médian : Liberté	7:00/8:59	9:00/15:59	16:00/18:59	19:00/19:59
Amplitude (minutes)	119	419	179	59
Nombre de rotations	8	22	11	2
Nombre de rotations rapporté sur une heure	4,0	3,2	3,7	2
Fréquence de bus (1 bus toutes les x mn)	15	19	16	30

Figure 1 : Fréquence horaire de la ligne 10

Le PDU (Plan de Développement Urbain) de la métropole de Tours définit un axe structurant de transport urbain comme doté d'une fréquence d'au moins 10 minutes en journée. En poursuivant ce raisonnement, nous pourrions faire de chaque ligne de transports en commun un axe structurant **avec une fréquence maximale de 10 mn au moins aux heures de pointe**. Actuellement, cet objectif est respecté sur les lignes dites « fortes » du réseau (A, 2, 3, 4, 5) avec une fréquence horaire en heures de pointe inférieure à 10 minutes. En revanche, il n'est pas respecté sur les 24 autres lignes considérées. La ligne 10 ci-dessus en est un exemple : Au mieux, la fréquence de passage d'un bus est de 15 minutes en heures de pointe. Selon le même modèle, les 24 lignes de bus affichent une fréquence horaire maximale bien supérieure à 10 mn en heures de pointe.

Ligne	A	2	3	4	5	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20
Fréquence maximale actuelle (en mn)	7	8	10	10	9	15	17	15	16	20	15	20	60	60	40
Ligne	C	30	31	32	34	35	36	50	51	52	53	54	56	57	
Fréquence maximale actuelle (en mn)	15	40	40	> 60	> 60	40	60	22	45	36	60	36	20	> 60	

Figure 2 : Fréquence maximale pour chaque ligne

Il conviendrait d'appliquer cet objectif de fréquence sur toutes les lignes considérées, quel que soit leur hiérarchie initiale afin d'augmenter l'attractivité du réseau. Si c'est cette fréquence horaire qu'il faut ajuster pour certaines lignes, il est bien nécessaire d'estimer le nombre de bus minimal à ajouter pour satisfaire cette nouvelle fréquence, pour ensuite définir un coût supplémentaire. Il faut donc utiliser une méthode pour déterminer le nombre de véhicules minimal à ajouter pour satisfaire une fréquence maximale donnée.

2. Détermination du nombre de véhicules actuel et nécessaire

Afin de déterminer le nombre de bus nécessaire pour atteindre une fréquence de 10 minutes en heures de pointe, il est indispensable dans un premier temps de déterminer le nombre de bus actuel (selon les fréquences horaires calculées).

Ce dimensionnement du nombre de bus minimal nécessaire sur une ligne est effectué selon la période avec la fréquence horaire relevée la plus élevée de la journée. En effet, la fréquence maximale d'une ligne (visible ci-dessus) donne le nombre minimal de bus dont la ligne doit disposer.

Calculer le nombre minimal de bus nécessaire pour assurer une fréquence horaire revient à calculer l'intervalle de temps à partir duquel un bus sera à nouveau disponible pour desservir l'arrêt, divisé par la fréquence horaire maximale de la journée sur la ligne considérée. Cette amplitude horaire est égale au double du temps de parcours total de la ligne (aller-retour), auquel est donc ajouté 2*5 minutes ; 5 minutes étant considéré comme le temps nécessaire entre l'arrêt du bus à son terminus et son redémarrage dans l'autre sens.

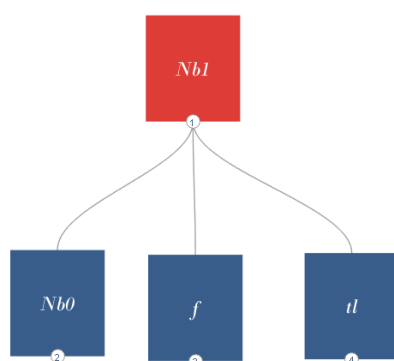
$$Nb \text{ bus actuel} = (t*2 + 10) / f$$

Nous obtenons un nombre actuel de bus pour chaque ligne de 178 véhicules (16 tramways et 162 bus), dépendant du temps de parcours et de la fréquence de passage.

Fil Bleu indique une quantité de 184 véhicules⁹ sur le réseau. Le calcul est donc proche de la réalité.

Une fois cette quantité déterminée, il convient d'appliquer la même formule pour une fréquence maximale en heures de pointe que nous souhaitons atteindre sur toutes les lignes considérées du réseau : 10 mn. La différence entre le nouveau nombre de bus souhaité et le nombre de bus actuel Nb0 nous donnera le nombre de bus nécessaire à ajouter Nb1.

Pour ce calcul comme pour tous les suivants, nous utilisons un modèle¹⁰ qui nous permet une représentation sous la forme d'un logigramme avec la modification possible et directe de toutes les variables d'entrée.



⁹ 21 rames de tramway et 163 bus (dont 4 bus électriques de la ligne C), avec 3 tramway et certains bus toujours en maintenance, et qui n'ont donc pas pu être considérés dans le calcul

¹⁰ Logiciel Toaster

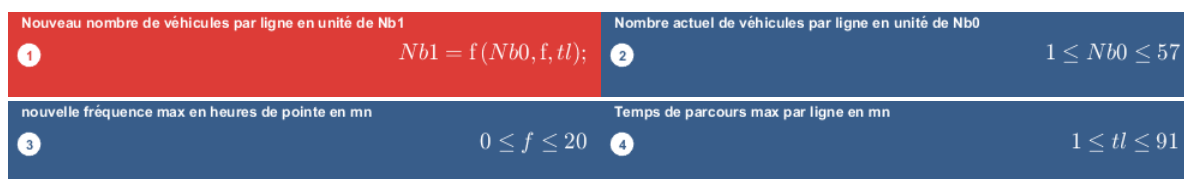


Figure 3 : Logigramme du calcul du nouveau nombre de véhicules

Lignes	1	2	3	4	5	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20
Nombre de véhicules à ajouter	0	0	0	0	0	4	4	4	8	9	3	6	6	7	2
Lignes	C	30	31	32	34	35	36	50	51	52	53	54	56	57	Total
Nombre de véhicules à ajouter	1	2	3	7	9	4	6	9	4	4	9	6	3	10	130

Figure 4 : Nombre de véhicules à ajouter par ligne pour une fréquence de 10 mn

Nous obtenons un nombre total Nb1 de 130 véhicules à ajouter, soit un passage de 178 véhicules à 308. Puisque la ligne A, seule ligne de tramway actuellement, possède déjà une fréquence inférieure à 10 mn, nous pouvons certifier que ces véhicules correspondent exclusivement à des bus. Ce nouveau dimensionnement du nombre de bus minimal est effectué pour satisfaire la fréquence horaire maximale et peut donc s'adapter aux périodes de pointe de la journée. De ce fait, il sera alors tout à fait possible d'appliquer sur toutes les lignes une fréquence moindre en journée avec cette nouvelle flotte de véhicules, telle que 15 mn.

3. Coûts de mise en service des nouveaux véhicules

Des coûts sont à prévoir compte tenu du besoin de ces nouveaux bus Nb1 :

- Des coûts d'investissement : COT
- Des couts de fonctionnement : Clt

La flotte de bus à ajouter, puisqu'elle ne concerne pas les lignes fortes avec véhicules articulés, est considérée composée uniquement de bus standards *Van Hool New A330* (déjà majoritaires sur le réseau). L'achat du matériel neuf est considéré à 200 000 euros/bus. Nous y appliquons un taux d'intérêt de 2% et un temps d'amortissement du véhicule de 15 ans, correspondant à la durée de vie de la flotte et à son temps de renouvellement. Par conséquent, les coûts d'investissement sont considérés constants au fil du temps, soit environ **13 900 €/an** par bus.

Les transports publics ont aussi un coût de fonctionnement annuel, plus difficilement identifiable dans un contexte de contractualisation entre les autorités organisatrices de transport et les exploitants qui s'est durcie sur ces dernières années. Le cout de fonctionnement du matériel se décompose en un coût moyen d'exploitation et de maintenance préventive.

Nous relevons la valeur moyenne de la Centrale d'Achat du Transport Public de 214 260 € pour un bus thermique. Avec un système de renouvellement de bus tous les 15 ans, nous obtenons un coût de fonctionnement d'environ **14 300 €/an** par bus.

Ce logigramme représente donc le calcul du coût de l'augmentation de la fréquence sur le réseau de transports Fil Bleu. La fréquence maximale de 10 mn (f) est l'objectif que nous souhaitons atteindre. Notons que cette variable est ajustable et que sa redéfinition engendrerait un coût C différent.

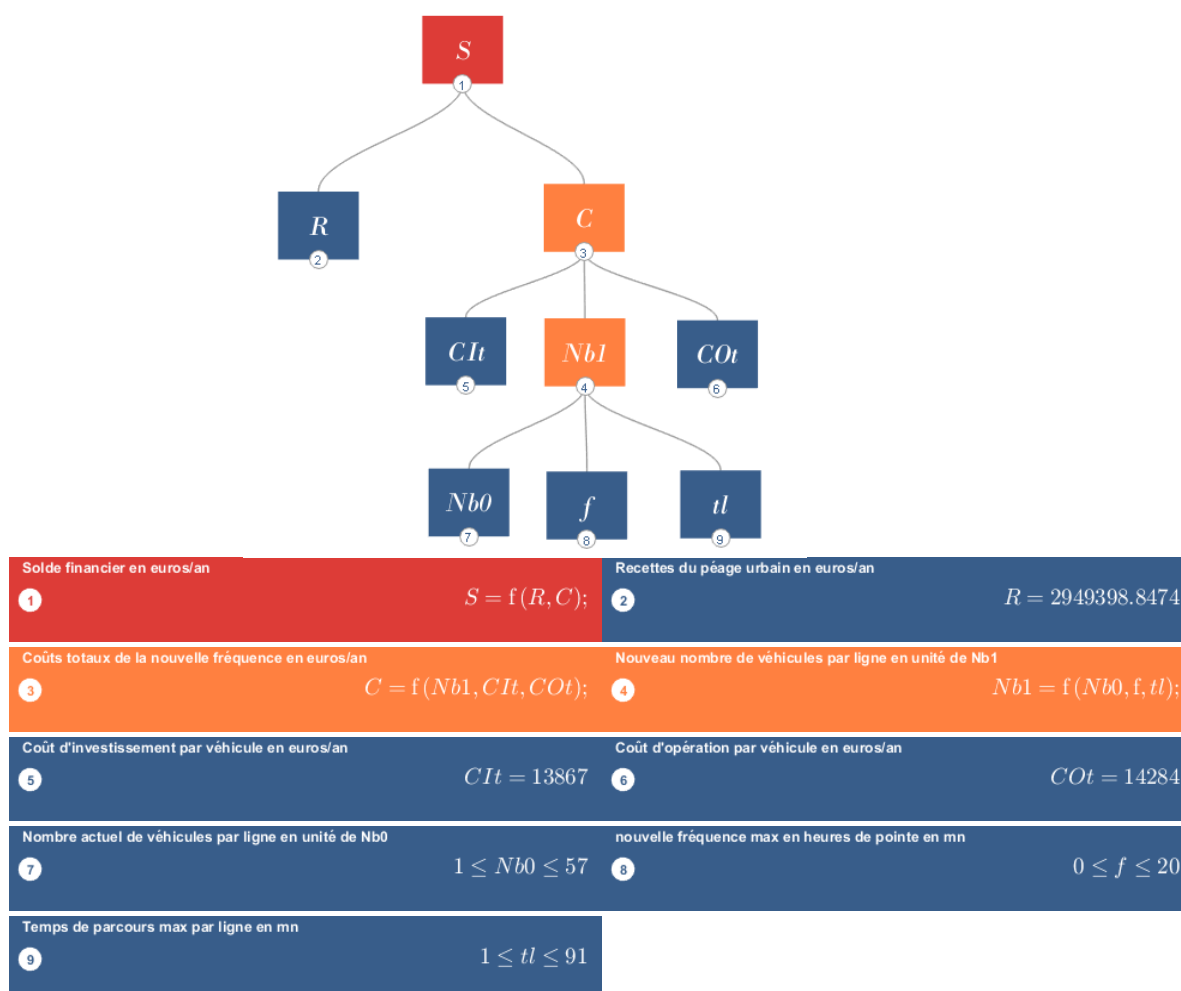


Figure 5 : Logigramme du coût des nouveaux véhicules

Ainsi, en appliquant une fréquence maximale de 10 mn, nous obtenons une augmentation du coût annuel des véhicules de **3 660 000 €**. Actuellement, le coût annuel du matériel roulant dont le réseau dispose est de 8 986 230 €, en appliquant ce même calcul et intégrant le coût des véhicules articulés et des tramway (disponible en Annexe). Cette amélioration de la fréquence engendrerait donc une augmentation des coûts de 40 %, moins significative que l'augmentation de 73% du matériel roulant. Elle s'explique par le coût très important des tramways, rames que nous n'ajoutons pas avec l'ajustement de la nouvelle fréquence.

Cette première partie représente la base des coûts dans le système de financement. L'objectif est de neutraliser ces coûts par l'engendrement de recettes financières (R) et d'obtenir un solde financier nul. Nous allons maintenant examiner comment financer cette nouvelle qualité de service en envisageant différents scénarii de péage urbain à Tours.

II. L'implantation d'un péage urbain

Les scénarii d'implantation de péage urbain sont élaborés suivant les flux domicile travail de la base Insee 2015 pour un réseau de 22 communes centré sur Tours : 16 communes de Tours Métropole Val de Loire (Fondettes, Saint-Genouph, Ballan-Miré, Joué-lès-Tours, La Riche, La Membrolle-sur-Choisille, Mettray, Chanceaux-sur-Choisille, Saint-Cyr-sur-Loire, Notre-Dame-d'Oé, Parçay-Meslay, Rochecorbon, Tours, Saint-Pierre-des-Corps, Saint-Avertin et Chambray-les-Tours) et 6 communes de la communauté de communes Touraine-Est-Vallées (Larçay, Veretz, La-Ville-aux-Dames, Montlouis-sur-Loire, Vouvray et Vernou-sur-Brenne). Par choix de simplification, ces flux sont considérés unimodaux avec une utilisation de la voiture particulière uniquement -sans prendre en compte d'autres modes de transport- et utilisant donc le réseau routier.

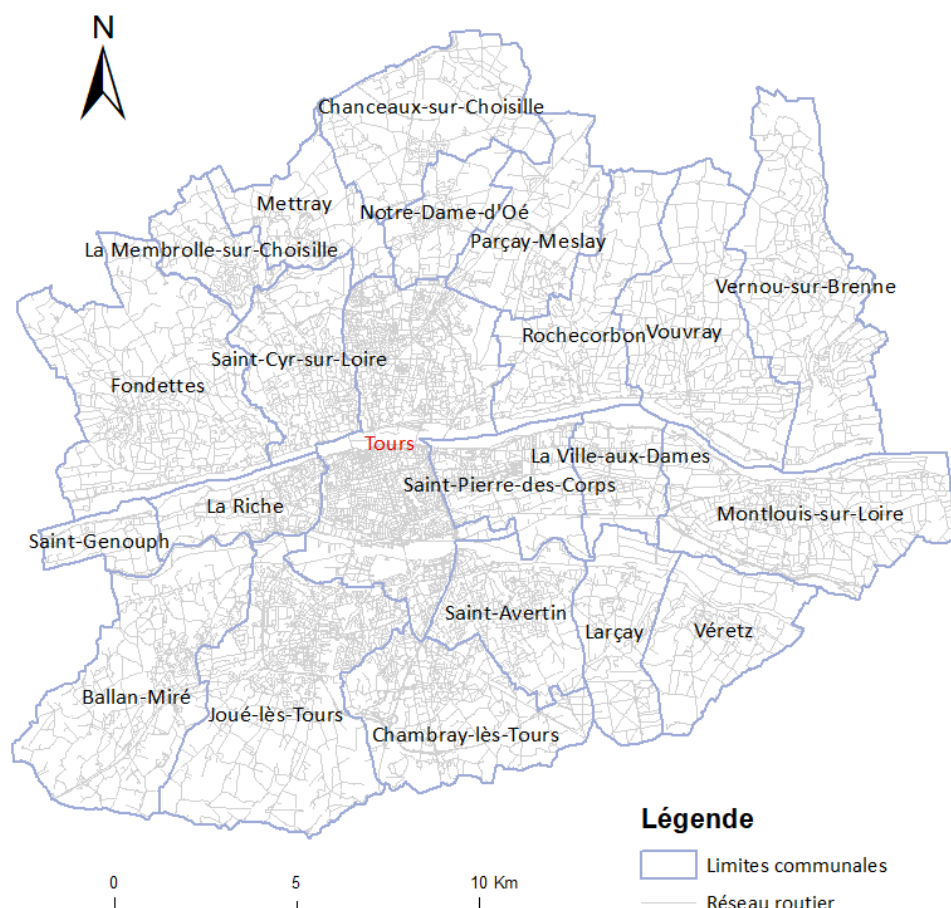


Figure 6 : Réseau de 22 communes centré sur Tours

Aussi, seuls les flux ayant pour origine ou destination Tours seront traités. Nous utiliserons donc un jeu de 43 flux Origine-Destination. Cela représente une très faible part des flux réels mais cette estimation minimale permet tout de même de constituer une base de modélisation par un système logique.

Pour la suite de ces calculs, nous considérerons le déplacement d'une personne sur le réseau routier comme égale à 1 Unité de Véhicule Particulier (uvp)¹¹, correspondant à un véhicule léger. En effet, une automobile est généralement occupée par un seul individu pour ce motif de déplacement.

Commune d'origine	Commune de destination	Flux (uvp/jour)
Ballan-Miré	Tours	1016
Chambray-lès-Tours	Tours	1216
Chanceaux-sur-Choisille	Tours	713
Fondettes	Tours	1579
Joué-lès-Tours	Tours	3764
Larçay	Tours	438
La Membrolle-sur-Choisille	Tours	428
Mettray	Tours	358
Montlouis-sur-Loire	Tours	971
Notre-Dame-d'Oé	Tours	649
Parçay-Meslay	Tours	397
La Riche	Tours	1407
Rochechouart	Tours	419
Saint-Avertin	Tours	2031
Saint-Cyr-sur-Loire	Tours	2510
Saint-Genouph	Tours	178
Saint-Pierre-des-Corps	Tours	1450
Véretz	Tours	518
Vernou-sur-Brenne	Tours	207
La Ville-aux-Dames	Tours	578
Vouvray	Tours	348

Commune d'origine	Commune de destination	Flux (uvp/jour)
Tours	Tours	16917
Tours	Fondettes	446
Tours	Rochechouart	185
Tours	Vouvray	174
Tours	Saint-Cyr-sur-Loire	1266
Tours	Saint-Genouph	40
Tours	Vernou-sur-Brenne	62
Tours	Saint-Pierre-des-Corps	1888
Tours	Saint-Avertin	806
Tours	La Ville-aux-Dames	165
Tours	Parçay-Meslay	539
Tours	La Membrolle-sur-Choisille	136
Tours	Joué-lès-Tours	1636
Tours	Montlouis-sur-Loire	370
Tours	Mettray	185
Tours	Chanceaux-sur-Choisille	81
Tours	Larçay	79
Tours	Notre-Dame-d'Oé	240
Tours	Ballan-Miré	201
Tours	Chambray-lès-Tours	1654
Tours	Véretz	39
Tours	La Riche	544

Figure 7 : Flux domicile-travail en provenance de/vers Tours

Grâce à un outil de représentation sur un logiciel de Système d'information Géographique¹², ces flux domicile-travail vont pouvoir être affectés sur le réseau routier avec l'algorithme de Dijkstra, calculant le plus court chemin entre une origine et une destination. Les itinéraires sont modélisés par la suite entre le centroïde de Tours et le centroïde de la commune d'origine ou de destination. Cette affectation des flux va être à l'origine de différents scénarii de système de péage urbain à Tours.

Pour tous les scénarii suivants de péage urbain, le tarif du péage s'applique sur l'ensemble des 270 journées de semaine de l'année entre 0 et 24h. Il n'est pas cumulable plusieurs fois dans la journée.

¹¹ Cette unité se décline comme suit : un véhicule léger ou une camionnette = 1 UVP, un poids lourd de 3,5 tonnes et plus = 2 UVP, un cycle = 0,3 UVP

¹² Network Analyst sous ArcGis

1. Péage de cordon à prix fixe

Avec ce système, les automobilistes aux entrées de Tours sont taxés quotidiennement sur les cinq jours de la semaine sur des tronçons définis. Les migrants alternants des communes alentour se dirigeant vers Tours seront concernés en début de journée, tout comme les résidents de Tours qui rentrent chez eux en fin de journée. Après plusieurs étapes de traitement géomatique nous obtenons les flux cumulés dans les deux sens sur chaque arc de tronçon routier, nécessaires pour choisir au mieux l'implantation des péages de cordon.

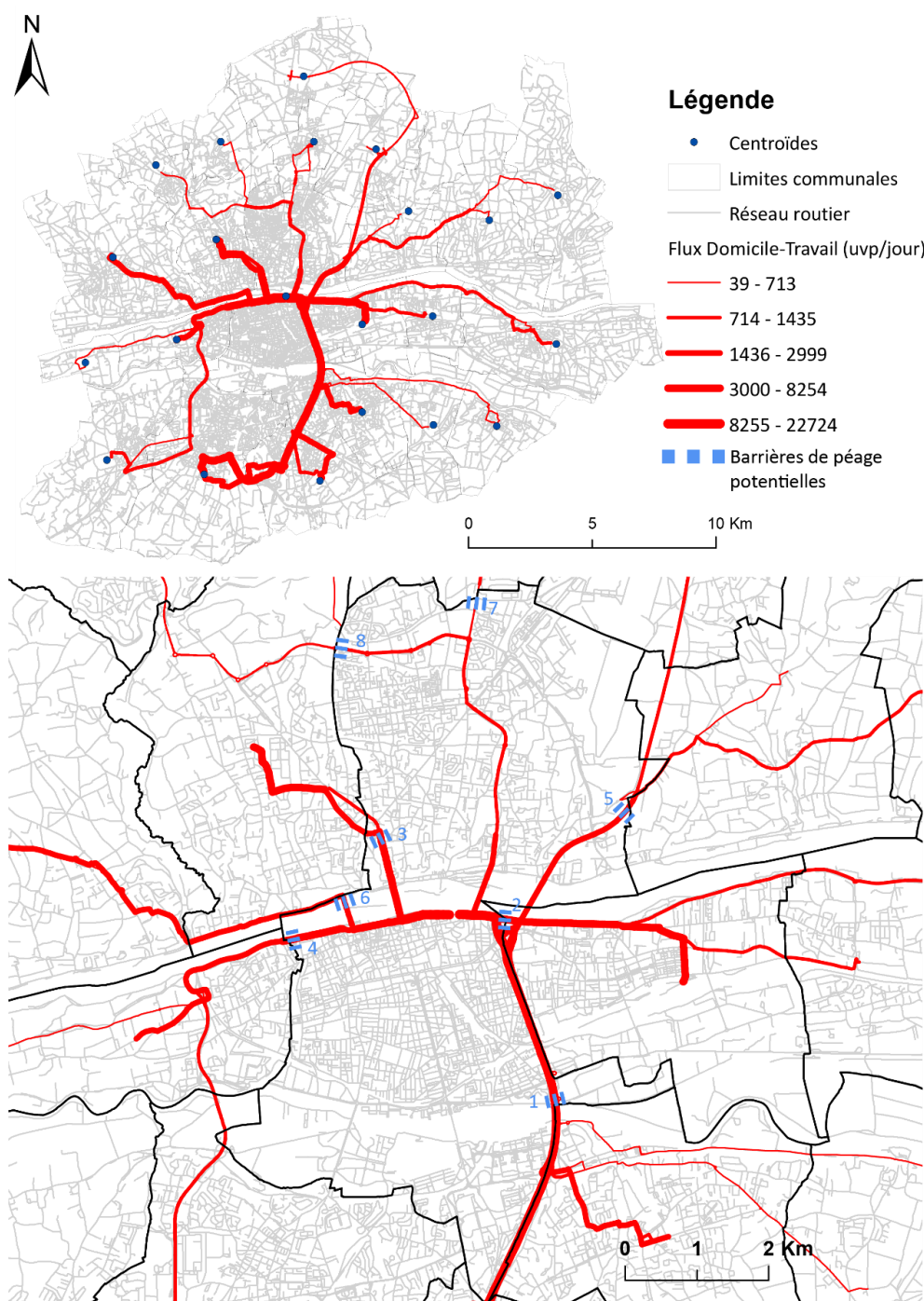


Figure 8 : Flux cumulés sur les tronçons du réseau routier

Le tableau ci-dessous associe à chaque cordon possible de péage le flux affecté sur le tronçon. Chaque jour, 31 354 unités de véhicules particuliers pourraient donc être soumis au péage.

Flux par tronçon (uvp/jour)	Numéro de la barrière de péage
11624	1
5422	2
3776	3
3386	4
3125	5
2025	6
1107	7
889	8

Figure 9 : Flux par tronçon par barrière de péage

Cela nous permet d'élaborer une priorisation dans les tronçons soumis au futur péage de cordon. Effectivement, l'implantation d'un portique de péage représente un certain coût et la combinaison des flux affectés sur le tronçon et du tarif de passage doit permettre une rentabilité de chaque cordon. L'emplacement des cordons de péage est défini à chaque entrée de ville, de sorte à ce que chaque automobiliste effectuant son trajet domicile-travail ne soit soumis qu'à un seul péage sur son itinéraire (en provenance ou à destination de Tours).

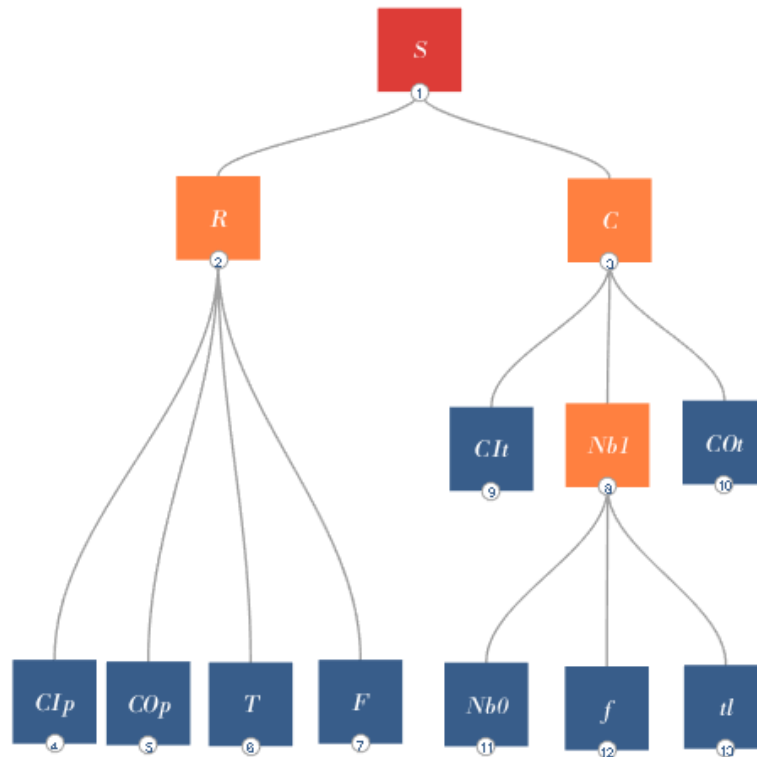
Nous utilisons le même système qu'à Stockholm : Une reconnaissance optique automatique des plaques d'immatriculation par des caméras situées sur des bornes de péage permettant un contrôle sans arrêt du véhicule. Les barrières de péage ont aussi un coût d'investissement et de fonctionnement, rapporté en euros/an. A Stockholm¹³, en considérant un prix fixe pour chaque barrière de péage et en divisant par les 18 portiques implantés, il en découle un coût d'exploitation annuel d'environ 833 300 € par portique. L'investissement total par portique est de 11 100 000 €. Nous considérons une durée de vie illimitée du portique, avec une étude et amortissement de l'investissement sur 30 ans, avec un taux d'intérêt de 2% également. Soit un investissement annuel de 378 000 €. Le coût total par barrière est donc de 1 211 300 €/an.

La première étape est la définition des barrières de péage rentables, c'est-à-dire lorsque les recettes engendrées par le paiement d'un certain tarif des automobilistes fréquentant le tronçon sont supérieures à son coût total annuel. Le prix de passage est considéré fixe tout au long de la journée et le péage est valable sur les 270 jours de semaine de l'année.

Ensuite, le bilan financier correspond à la différence entre les recettes annuelles nettes du péage urbain et le coût de l'amélioration des transports en commun. Il nous permettra d'étudier la faisabilité d'un tel dispositif.

¹³ Selon Trésor Gouv <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/22c983e3-42c8-4986-9205-97fdd76b781c/files/3a6f6aa2-0948-48f9-bc75-cd67a5543490>

Deux variables sont exogènes et modifiables dans le système : le tarif du péage, et la fréquence maximale des transports en commun en heures de pointe.



Solde financier en euros/an 1 $S = f(R, C);$	Recettes du péage urbain en euros/an 2 $R = f(CIp, COp, T, F);$
Coûts totaux de la nouvelle fréquence en euros/an 3 $C = f(Nb1, CIIt, COt);$	Coût d'investissement par portique en euros/an 4 $CIp = 377778$
Coût de fonctionnement par portique en euros/an 5 $COp = 833333$	Tarif journalier du péage en euros 6 $0 \leq T \leq 2.5$
Flux/tronçon par entrée de ville en uvpl/jour 7 $889 \leq F \leq 11624$	Nouveau nombre de véhicules par ligne en unité de Nb1 8 $Nb1 = f(Nb0, f, tl);$
Coût d'investissement par véhicule en euros/an 9 $CIIt = 13867$	Coût d'opération par véhicule en euros/an 10 $COt = 14284$
Nombre actuel de véhicules par ligne en unité de Nb0 11 $1 \leq Nb0 \leq 57$	nouvelle fréquence max en heures de pointe en mn 12 $0 \leq f \leq 20$
Temps de parcours max par ligne en mn 13 $1 \leq tl \leq 91$	

Figure 10 : Logigramme du financement par un péage de tronçon

Après une itération automatisée sur le tarif de passage, le solde financier quasiment nul est obtenu lorsque ce tarif vaut **1,34 €/jour**. Un tel tarif permet de financer les nouveaux véhicules afin d'atteindre la fréquence maximale de 10 minutes en heures de pointe, en n'imposant de ne mettre en place que 2 des 8 portiques de péage potentiels¹⁴ : numéros 1 et 2 sur la figure 9, correspondant aux entrées de Tours sur l'A10 au Sud et sur le quai de la Loire en provenance de Saint-Pierre-des-Corps à l'Est. Seuls 17 046 automobilistes seront chaque jour effectivement soumis au péage mais suffiront pour financer un tel système, soit seulement 54% des flux entrants sur la commune.

Rappelons que le tarif du péage est non cumulable plusieurs fois dans la journée, fixe et valable durant la journée entière. A titre de comparaison, le tarif à Stockholm varie selon l'heure de passage entre 2€ en heures de pointe et 1€ en périodes de « trafic modéré » et le montant cumulable peut s'élever jusqu'à 6€ par jour. Malgré ces différences de fonctionnement et d'application, l'ordre de grandeur de ce tarif semble acceptable, d'autant plus que l'avant-projet de Loi d'Orientation des Mobilités prévoyait une autorisation de 2€50 maximum par passage de véhicule soumis au péage urbain pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants.

En diminuant la fréquence maximale des transports en commun en heures de pointe à 15 mn pour les lignes ne disposant pas encore d'une telle fréquence aujourd'hui (Fixer f à 15), ce tarif atteindrait seulement 0.88 €/jour.

2. Péage de zone à prix fixe

Avec ce deuxième scénario, tous les véhicules circulant au sein de la commune de Tours sont taxés de façon unique dans la journée, les jours de semaine. Ce système a l'avantage de prendre en compte tous les flux ayant pour origine ou destination Tours, mais également les flux internes à Tours.

Ce système peut éviter l'installation et la maintenance de portiques et nous imaginons maintenant un système de péage qui s'affranchit de coûts d'installation ou de fonctionnement. En effet, avec l'essor de différents systèmes permettant la géolocalisation par satellite, nous pourrions imaginer que les véhicules soient directement tracés via une balise GPS dont ils s'acquitteraient eux-mêmes, ou une application smartphone. C'est techniquement réalisable même si cela pose des questions d'éthique avec la génération d'informations relatives à la vie privée.

De la même façon, Network Analyst sous ArcGis permet d'affecter sur le réseau routier les flux selon le chemin le plus court. Les automobilistes des 43 itinéraires seront bien concernés par le péage de zone puisque leur itinéraire intersecte la commune de Tours.

¹⁴ Les 2 barrières de péage à installer représentent donc un coût de 2 422 600 €/an

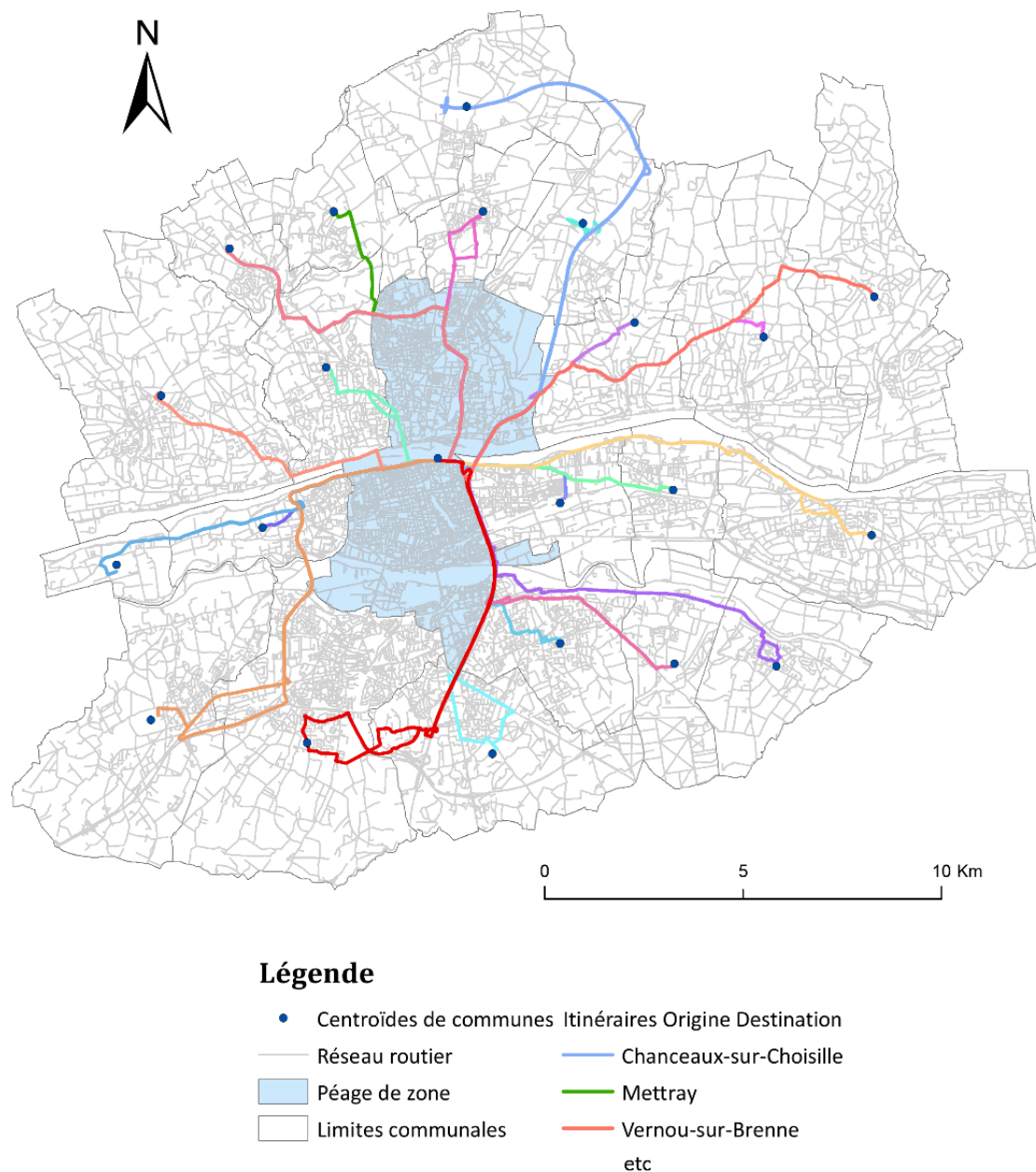
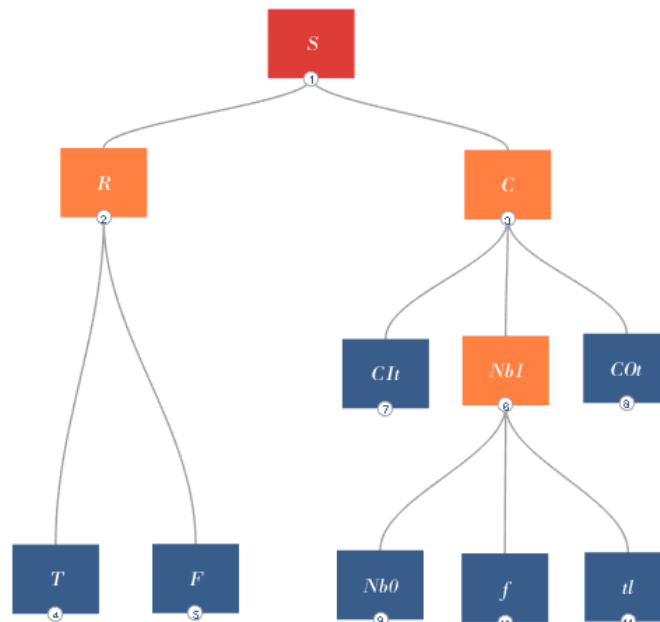


Figure 11 : Flux Domicile-Travail selon le couple Origine-Destination

Cela génère un nombre d'automobilistes soumis au péage plus important, soit un total de 48 828 uvp/jour. Les automobilistes seront taxés de façon unique dans la journée à partir du moment où leur itinéraire intersecte la zone de péage.



Solde financier en euros/an 1 $S = f(R, C);$	Recettes du péage urbain en euros/an 2 $R = f(T, F);$
Coûts totaux de la nouvelle fréquence en euros/an 3 $C = f(Nb1, CI, CO);$	Tarif journalier du péage en euros 4 $0 \leq T \leq 2.5$
Flux/tronçon par entrée de ville en uvp/jour 5 $39 \leq F \leq 16917$	Nouveau nombre de véhicules par ligne en unité de Nb1 6 $Nb1 = f(Nb0, f, tl);$
Coût d'investissement par véhicule en euros/an 7 $CI = 13867$	Coût d'opération par véhicule en euros/an 8 $CO = 14284$
Nombre actuel de véhicules par ligne en unité de Nb0 9 $1 \leq Nb0 \leq 57$	nouvelle fréquence max en heures de pointe en mn 10 $0 \leq f \leq 20$
Temps de parcours max par ligne en mn 11 $1 \leq tl \leq 91$	

Figure 12 : Logigramme du financement par un péage de zone à prix fixe

Afin d'obtenir un solde financier nul chaque année, chaque automobiliste devra payer **0.29 €/jour**. Ce tarif est très faible et s'explique par :

- La prise en compte de tous les flux domicile travail liés à Tours dont les nombreux flux internes à Tours (de l'ordre de 16 919 uvp/jour). 48 828 véhicules particuliers sont soumis au péage chaque jour, contre 31 354 dans le premier scénario, soit une augmentation de 256%.
- L'affranchissement des coûts d'un tel système, contrairement au cas précédent où seuls les tronçons rentables étaient pris en compte.

3. Péage de zone à prix variable selon la distance parcourue

Toujours selon un péage de zone correspondant à l'intérieur de la commune de Tours, les automobilistes sont désormais taxés de façon unique dans la journée selon la distance qu'ils parcourent. Les mêmes automobilistes que précédemment seront concernés par le péage mais le prix à payer est donc proportionnel à la distance parcourue. Cette méthode peut sembler injuste socialement puisqu'une partie de la population habite plus en périphérie pour des raisons financières et l'éloignement au centre-ville rend de moins en moins accessibles les transports en commun. En revanche, ce système pourrait permettre de taxer les automobilistes de façon plus équitable en fonction des nuisances environnementales qu'ils émettent, une des raisons premières de l'existence des péages urbain.

Le fonctionnement spatial du péage ne change pas mais la distance de parcours associée à chaque flux Tours → Origine/Destination nous intéresse dorénavant.

Commune d'origine	Commune de destination	Flux (uvp/jour)	Distance (km)	Commune d'origine	Commune de destination	Flux (uvp/jour)	Distance (km)
Tours	Tours	16917	0,00	Mettray	Tours	358	9,87
Tours	St-Pierre	1888	4,04	Tours	Mettray	185	9,91
St-Pierre ¹⁵	Tours	1450	4,07	Larçay	Tours	438	9,96
Tours	St-Cyr-sur-Loire	1266	4,50	Tours	Larçay	79	10,12
St-Cyr-sur-Loire	Tours	2510	4,55	Saint-Genouph	Tours	178	10,50
La Riche	Tours	1407	5,68	Tours	Saint-Genouph	40	10,54
Tours	La Riche	544	5,72	Tours	Vouvray	174	11,07
Tours	La Ville-aux-Dames	165	6,27	Vouvray	Tours	348	11,19
La Ville-aux-Dames	Tours	578	6,30	La Membrolle	Tours	428	11,58
Tours	Rochecorbon	185	7,14	Tours	La Membrolle ¹⁶	136	11,60
Saint-Avertin	Tours	2031	7,15	Tours	Montlouis ¹⁷	370	12,20
Rochecorbon	Tours	419	7,25	Véretz	Tours	518	12,32
Tours	Saint-Avertin	806	7,25	Tours	Véretz	39	12,39
Notre-Dame-d'Oé	Tours	649	7,62	Montlouis	Tours	971	12,52
Tours	Notre-Dame-d'Oé	240	7,72	Tours	Joué-lès-Tours	1636	12,90
Tours	Fondettes	446	8,71	Joué-lès-Tours	Tours	3764	13,17
Fondettes	Tours	1579	8,75	Tours	Ballan-Miré	201	13,30
Tours	Parçay-Meslay	539	8,84	Ballan-Miré	Tours	1016	14,12
Chambray-lès-Tours	Tours	1216	9,45	Tours	Vernou ¹⁸	62	14,39
Parçay-	Tours	397	9,70	Vernou	Tours	207	14,50
Tours	Chambray-lès-Tours	1654	9,73	Chanceaux ¹⁹	Tours	713	16,45
				Tours	Chanceaux	81	17,82

Figure 13 : Flux selon la distance parcourue

¹⁵ Saint-Pierre-des-Corps

¹⁶ La Membrolle-sur-Choisille

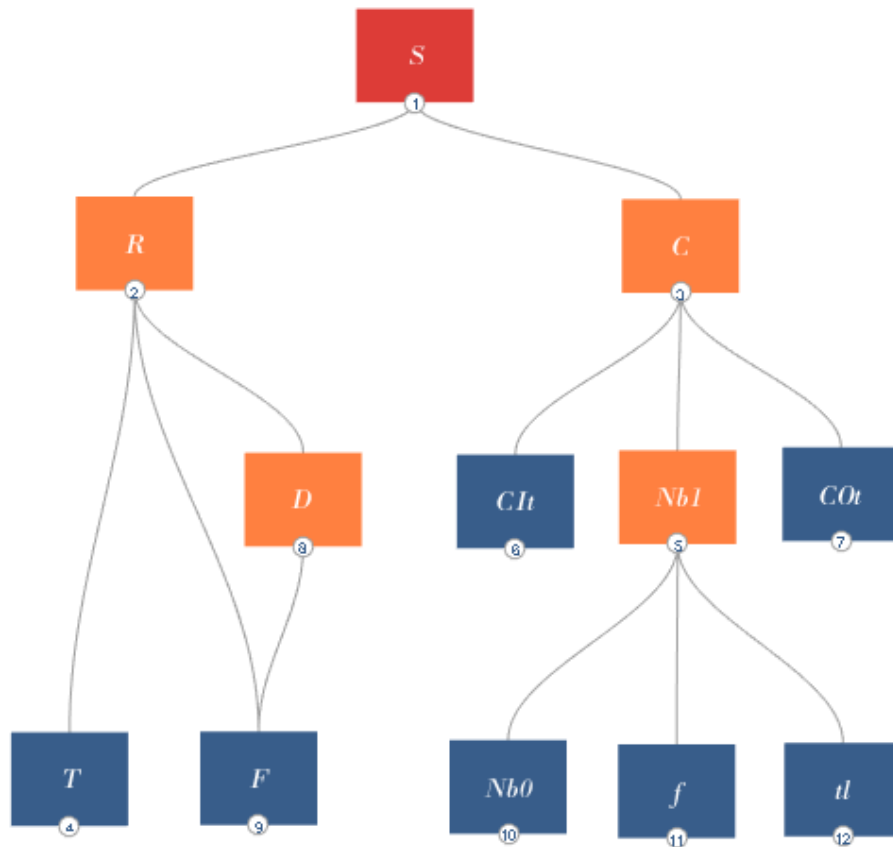
¹⁷ Montlouis-sur-Loire

¹⁸ Vernou-sur-Brenne

¹⁹ Chanceaux-sur-Choisille

Les recettes financières engendrées sont calculées selon la distance moyenne parcourue en km/jour par les automobilistes et un tarif en euros/km.

Puisque les itinéraires sont calculés d'un centroïde à un autre, la distance kilométrique interne à Tours ne peut être calculée et va donc réduire la distance moyenne parcourue des automobilistes par rapport à la réalité.



Solde financier en euros/an 1 $S = f(R, C);$	Recettes du péage urbain en euros/an 2 $R = f(T, F, D);$
Coûts totaux de la nouvelle fréquence en euros/an 3 $C = f(Nb1, CI, CO);$	Tarif journalier du péage en euros/km 4 $0 \leq T \leq 2.5$
Nouveau nombre de véhicules par ligne en unité de Nb1 5 $Nb1 = f(Nb0, f, tl);$	Coût d'investissement par véhicule en euros/an 6 $CI = 13867$
Coût d'opération par véhicule en euros/an 7 $CO = 14284$	Distance moyenne parcourue en km 8 $D = f(F);$
Flux/tronçon par entrée de ville en uvpi/jour 9 $0 \leq F \leq 16917$	Nombre actuel de véhicules par ligne en unité de Nb0 10 $1 \leq Nb0 \leq 57$
nouvelle fréquence max en heures de pointe en mn 11 $0 \leq f \leq 20$	Temps de parcours max par ligne en mn 12 $1 \leq tl \leq 91$

Figure 14 : Logigramme de financement par le péage de zone selon la distance parcourue

Ainsi, les automobilistes soumis au péage de zone doivent payer **0.05 €/jour** par kilomètres parcourus.

Il peut être intéressant de comparer cette somme au prix de revient kilométrique d'une automobile. Il est calculé sur la base de différents postes de dépenses d'un véhicule automobile tels que les frais d'achat et de financement d'un véhicule, le kilométrage annuel moyen, la consommation de carburant, le type de conduite, le montant de l'assurance... Selon l'ADETEC²⁰, le prix de revient automobile en 2012 était de 0,5 euro/km. En y ajoutant la taxation du péage de zone selon la distance parcourue, les automobilistes devraient alors voir leur prix de revient kilométrique augmenter de 11 %.

III. RESULTATS/BILAN

	Tarif à payer par automobiliste	Nombre de véhicules (automobilistes) soumis au péage (uvp)	Coût pour une fréquence de 10 mn en heures de pointe	Coût du système de péage
Scénario 1 : Péage de tronçon	1,34 €/jour	17 048	3 660 000 €/an	2 422 600 €/an
Scénario 2 : Péage de zone	0,29 €/jour	48 828		X
Scénario 3 : Péage de zone selon la distance parcourue	0,05 €/jour/km	48 828		X

Figure 15 : Financement pour une fréquence de 10 mn en heures de pointe des transports en commun

En ayant considéré des coûts -réduits à l'ajout d'une flotte de bus standards- pour atteindre une fréquence optimale sur le réseau de transports en commun et une utilisation unimodale de la voiture particulière pour les déplacements domicile-travail sur ce réseau de 22 communes centré sur Tours, on obtient un tarif à payer par automobiliste. Si le scénario 1 requiert une installation de portiques électroniques, les deux autres systèmes s'affranchissent de coûts de système de péage.

Finalement, bien que le nombre d'usagers soumis au péage urbain varie entre le scénario 1 et les scénarii 2 et 3, les tarifs semblent tous tout à fait acceptables. Le 1^{er} système est légèrement plus onéreux mais il pourrait apparaître comme le plus judicieux pour répondre et contrôler un des objectifs premiers du péage urbain : La congestion routière. En effet, seuls les tronçons rentables pour l'installation des portiques seraient taxés, ce qui induirait une taxation des tronçons les plus empruntés.

Le modèle élaboré permet aussi d'ajuster la fréquence, bien que la question traite ici de la possibilité ou non de satisfaire une fréquence de passage de 10 mn sur les lignes du réseau. L'annexe 1 montre qu'il serait très compliqué de financer une fréquence maximale de 5 minutes quel que soit le scénario choisi. En revanche, les tarifs de péage urbain apparaissent comme dérisoires en ajustant à 15 mn la fréquence maximale en heures de pointe pour les lignes qui n'en disposent pas encore.

²⁰ Bureau d'études au service des politiques alternatives de déplacement

CONCLUSION

L'objectif de cette recherche était de savoir si un péage urbain peut financer raisonnablement le fonctionnement optimisé d'une offre de service public. Avec l'optimisation de la qualité de service réduite à la notion de fréquence, l'étude se centre sur Tours et trois types de péage urbain sont testés pour financer. Ce système d'implantation d'un péage urbain à Tours permettrait donc de financer une amélioration de la qualité de service par l'atteinte d'une fréquence maximale de 10 minutes en heures de pointe pour toutes les lignes considérées du réseau. En exploitant uniquement les déplacements domicile-travail selon l'itinéraire le plus court d'un nombre de communes restreint et en appliquant tous ces déplacements à la voiture particulière, les automobilistes doivent s'acquitter d'un tarif qui reste abordable quel que soit le système de fonctionnement du péage. Il est à noter que ce nombre d'automobilistes soumis au péage est deux fois et demi supérieur pour les scénarii 2 et 3, ce qui explique un tarif encore plus abordable. Le choix du scénario de péage pourrait alors reposer sur d'autres critères : Le péage de tronçon semble plus adapté pour résoudre des problèmes de congestion, Tours n'étant tout de même pas une ville extrêmement congestionnée. Le péage de zone semble la solution la plus équitable pour que chaque automobiliste internalise toute ou partie des externalités qu'il crée. Enfin, le péage de zone selon la distance parcourue est la solution qui semble la juste : Un moyen de taxation en fonction des émissions environnementales. En revanche il pourrait développer une fracture territoriale.

Le report modal induit par le péage urbain n'est pas traité. Si le tarif à payer est très abordable comme nous l'avons mentionné, les usagers automobiles pourraient conforter ce moyen de transport, alors que l'objectif premier réside dans ce report modal que le péage devrait impliquer. Mais si le tarif fixé est nettement supérieur, l'incitation plus forte obligerait les automobilistes à se tourner davantage vers les transports collectifs et un autre équilibre pourrait être trouvé pour le financement de l'amélioration de la qualité de service des transports en commun. Cependant, cette solution plus tournée vers l'environnement pourrait créer des problèmes sociaux comme dans le troisième scénario : Les captifs de l'automobile, sans possibilité d'utiliser un autre moyen de transport, seraient encore plus contraints dans leur choix. La route deviendrait inaccessible pour une partie de la population, qui pourrait se retrouver cloisonnée. Il est aussi notable qu'une stratégie d'évitement pourrait être effectuée par les automobilistes en évitant tout simplement la zone de Tours et privilégiant un autre itinéraire.

Cette question a seulement été étudiée en considérant les flux domicile-travail d'un réseau de communes de l'agglomération tourangelle. Afin d'être plus précis dans la taxation et s'approcher de la réalité, d'autres motifs de déplacements tels que les déplacements domicile-loisirs pourraient être considérés. Le système a été réalisé selon des ordres de grandeur concernant les coûts de nouveaux véhicules. Effectivement, l'accès aux contrats d'investissement et de fonctionnement de la Métropole n'a pas été obtenu dans le contexte actuel de renouvellement de Délégation de Service Public. Mais le modèle permettrait toutefois d'être développé par la suite en y ajoutant par exemple des coûts salariaux adaptés au besoin de conducteurs associé à la mise en service des nouveaux bus. Alors que ces nouveaux véhicules satisfont une fréquence importante en heures de pointe des jours de semaine, il serait possible d'augmenter de façon moindre cette fréquence en heures creuses, et les week-end, jours fériés... et les coûts salariaux varieraient en conséquence.

BIBLIOGRAPHIE

- Ademe. « Etat de l'art des péages-urbains », 2016. Disponible sur <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/etat-de-l-art-peages-urbains-2016.pdf>.
- Association des Clients des Transports Publics. « Facteur d'attractivité d'un transport public structurant ». Disponible sur <http://www.actp.be/pdf/facteursdattractivite.pdf>.
- Bruno Cordier. « Le coût réel de la voiture en 2012 », Adetec, Juillet 2012. Disponible sur https://www.declimobilites.org/images/ressources/Quel_est_le_cout_reel_de_la_voiture_91872.pdf
- Centrale d'Achat du Transport Public. « Étude comparative sur les différentes motorisations de bus », 2016. Disponible sur <http://www.agir-transport.org/wp-content/uploads/2016/07/Etude-CATP-2016.pdf>.
- Coppe, Aurélie, et Axel Gautier. « Régulation et concurrence dans le transport collectif urbain ». *Reflets et perspectives de la vie économique* Tome XLIII, n° 4 (2004): 65-75. Disponible sur <https://www.cairn.info/revue-reflets-et-perspectives-de-la-vie-economique-2004-4-page-65.htm>
- Cosse, Emmanuelle. « Feu vert - Défendre la gratuité ». *Vacarme* N° 50, n° 1 (2010): 42-43.
- Duvet, Michel, Gérard Guilbert, Roger Feburie, et Christian Majcherek. « Siège de l'enquête : Communauté Urbaine de Dunkerque », Mars 2016. Disponible sur https://www.communaute-urbaine-dunkerque.fr/fileadmin/documents/enquetes_publicques/dk_plus_de_mobilite/dk_plus_de_mobilite_rapport_de_la_commission_d_enquete.pdf
- Francis Kühn, Saïd Hayat. Indicateurs de qualité de service et faits marquants sur 22 réseaux de transport urbain en Europe. INRETS n°33, Mai 1999. 204 p
- Forum, International Transport. *Tables rondes FIT Mettre en œuvre la tarification de la congestion*. OECD Publishing, 2010.
- Gostner, Carole. « Péages urbains : quels enseignements tirer des expériences étrangères ? " », Ministère de l'Economie et des Finances, Avril 2018. Disponible sur <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/22c983e3-42c8-4986-9205-97fdd76b781c/files/3a6f6aa2-0948-48f9-bc75-cd67a5543490>
- Guihaire, Valérie. « Modélisation et Optimisation pour le Graphicage des Lignes de Bus », 2009, 153. Disponible sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00477743/document>

Institute for Transportation and Development Policy. « The Case for Electronic Road Pricing - Development Asia ». Asia Development Bank, Mai 2016. Disponible sur <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:TIOkpR5fQHEJ:https://development.asia/printpdf/case-study/case-electronic-road-pricing+&cd=2&hl=fr&ct=clnk&gl=fr>

Inter-Environnement Bruxelles. « Brochure péage urbain », 2007. Disponible sur http://www.ieb.be/IMG/pdf/brochure_peage_urbain.pdf

Keller, Fabienne. « Sénat – Rapport d’information », 2018. Disponible sur <http://www.senat.fr/rap/r18-056/r18-0561.pdf>.

Kopp, Pierre. « Le péage de Stockholm : Evaluation et enseignements » Disponible sur [https://sorbonne.pierrekopp.com/downloads/LE%20PÉAGE%20DE%20STOCKHOLM%20\(Tra%20nsports\)%20revPK%2015%20juin.pdf](https://sorbonne.pierrekopp.com/downloads/LE%20PÉAGE%20DE%20STOCKHOLM%20(Tra%20nsports)%20revPK%2015%20juin.pdf)

Le Boennec, Rémi. « Externalité de pollution versus économies d’agglomération : le péage urbain, un instrument environnemental adapté ? », Cairn.info, 2014. Disponible sur <https://www.cairn.info/revue-d-economie-regionale-et-urbaine-2014-1-page-3.htm?1=1&DocId=156204&hits=315+308+305+137+136+126+#s1n4>.

Mirabel François. « Économie des transports urbains - François Mirabel et Mathias Reymond », Cairn.info », 2013. Disponible sur <https://www-cairn-info.proxy.scd.univ-tours.fr/economie-des-transports-urbains--9782707172938.htm>.

Raux, Charles, Stéphanie Souche, et Damien Pons. « Trois expériences de péage urbain en Europe: évaluation et bilan socio-économique. Rapport final », 2009. Disponible sur <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01708246/document>

Sugy, Paul. « Péages urbains : quand les grandes métropoles se transforment en «citadelles» », 2018. Disponible sur : <http://www.lefigaro.fr/vox/societe/2018/10/19/31003-20181019ARTFIG00243-peages-urbains-quand-les-grandes-metropoles-se-transforment-en-citadelles.php>.

Tours-Metropole. « Plan de Déplacements Urbains ». Disponible sur <http://www.mobilite.tours-metropole.fr/index.php?idtf=43>.

Transport Department (The government of the Honk Kong Administrative Region). « Electronic Road Pricing ». Disponible sur https://www.td.gov.hk/filemanager/en/content_524/erp_eng.pdf.

Union des Transports Publics et ferroviaires. « Les externalités du domaine des transports », 2017. Disponible sur https://utp.fr/system/files/201709_UTP_NoteEco_Externalites_du_domaine_des_transports.pdf.

ANNEXE

Le système est aussi applicable en ajustant la fréquence maximale souhaitée. Le calcul a donc aussi été effectué pour atteindre respectivement des fréquences de 5 et 15 mn. Les tarifs dont doivent s'acquitter les automobilistes ont été déterminés en conséquence.

	Fréquence maximale en heures de pointe		
	5 mn	10 mn	15 mn
Scénario 1 : Péage de tronçon	2,65 €/jour	1,34 €/jour	0,88 €/jour
Scénario 2 : Péage de zone	1,02 €/jour	0,29 €/jour	0,12 €/jour
Scénario 3 : Péage de zone selon la distance parcourue	0,17 €/jour/km	0,05 €/jour/km	0,02 €/jour/km

Afin d'atteindre une fréquence maximale de 5 minutes, il est également d'investir dans des bus articulés (lignes 2,3,4,5) et des nouveaux tramways (ligne A) comme nous le montre la figure 2. Toujours selon un taux d'intérêt de 2% et un amortissement tous les 15 ans des véhicules correspondant au temps de renouvellement de la flotte, les coûts annuels de 38 370€ par bus articulé²¹ et de 242 760 € par tramway²² sont intégrés au système.

Par conséquent, une fréquence de 5 minutes en heures de pointe semble encore discutable. Les tarifs quotidiens des scénarii 2 et 3 ne sont pas très onéreux, mais le tarif du scénario 1 pourrait commencer à constituer un frein.

Logiquement, les tarifs associés à une élévation de la fréquence maximale à 15 mn pour les lignes qui n'en disposent pas déjà sont encore plus acceptables qu'à 10 mn.

²¹ Pour des coûts initiaux de 350 000 € d'investissement et 214 260€ d'opération

²² Pour un coût initial d'investissement de 3 570 000 € d'investissement

Directeur de recherche :
Sébastien Larribe

Pierre LACOMME
PFE/DAE5
Option Réseau
2018-2019

Système de financement d'une amélioration de la qualité de service des transports en commun par l'implantation d'un péage urbain (Tours) :

L'amélioration d'un système de transport collectif peut-elle être financée par un péage urbain ?

Résumé :

Le péage urbain est un moyen d'internaliser toutes les externalités négatives apportées par le transport routier, principal polluant en milieu urbanisé. Les recettes financières engendrées peuvent, comme dans le cas de Stockholm, être redirigées vers l'amélioration des transports en commun et de leur qualité de service. La question traite d'un système de financement de l'amélioration de la qualité de service des transports en commun à Tours par l'implantation d'un péage urbain. L'amélioration de la qualité de service se restreint à l'amélioration de la fréquence de passage maximale en heures de pointe, l'objectif étant d'atteindre une fréquence de 10 minutes sur les lignes régulières du réseau de transport. Tout d'abord, les fréquences horaires de chacune des lignes sont calculées, dans le but de déterminer le nombre de nouveaux véhicules nécessaire pour satisfaire cette fréquence.

Ensuite, afin de parvenir à neutraliser ces nouveaux coûts, les automobilistes sont taxés selon trois types de fonctionnement de péage urbain mis en place : Un péage de cordon, avec des barrières de péage à des points d'entrée de la ville, un péage de zone correspondant à la ville de Tours, à tarif fixe, ou variable selon la distance parcourue. Les tarifs dont ils doivent s'acquitter varient selon le scénario de péage.

Mots Clés : Péage urbain, qualité de service, fréquence, investissement, exploitation, scénario, tarif, flux