



POLYTECH[®]
TOURS

Département
Aménagement et Environnement



Ecole d'ingénieurs
polytechnique
de l'université de Tours

CITERES
UMR 7324
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés

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

Projet de Fin d'Etudes

Transport de marchandises au dernier kilomètre :

Quelle intégration au système de transport urbain ?



CLAUDE Martin & WERMUS Lucas

2017-2018

Directeur de recherche
MAIZIA Mindjid



Transport de marchandises au dernier kilomètre :
Quelle intégration au système de transport urbain ?

Directeur de recherche

Mindjid MAIZIA

Auteurs

Martin CLAUDE & Lucas WERMUS

Années

2017-2018

AVERTISSEMENT

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

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

Formation par la recherche, 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 Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

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

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

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

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons remercier tout particulièrement notre tuteur de projet M. Mindjid Maïzia qui a su nous orienter dans nos recherches et nos applications techniques.

Nous aimerions de même remercier toutes les personnes qui nous ont apporté des conseils avisés, notamment de la part de Lucas Brisotto qui fut toujours là lorsque nous avons eu besoin de lui.

SOMMAIRE

1. Introduction.....	9
2. Formulation du problème	10
3. Méthodologie	11
3.1. Logique générale du projet	11
3.2. Protocole de calcul des distances parcourues.....	12
4. Résultats et analyse	14
4.1. Scénario avec le protocole de tournée de véhicule.....	14
4.2. Scénario avec le protocole de la station la plus proche.....	16
4.3. Comparaison des scénarios	18
5. Conclusion et discussion	19
Références Bibliographiques	20
Annexes	21
1) Zone d'étude	21
2) Démarche de calcul à l'aide de l'outil Network Analyst sur ArcGis.	22
3) Codes du système logique (langage matlab)	23
 Figure 1 : système logique (voir les codes en annexe n°3)	11
Figure 2 : Carte d'une tournée de véhicules par camion.....	Erreur ! Le signet n'est pas défini.
Figure 3 : Carte d'une tournée de véhicules par camion et métro.....	Erreur ! Le signet n'est pas défini.
Figure 4 : Carte d'affectation des points livrés à leur station la plus proche	Erreur ! Le signet n'est pas défini.
Figure 5 : Comparaison des émissions de CO₂ pour le premier scénario	14
Figure 6 : Part de l'utilisation des transports en commun dans la tournée de véhicules	15
Figure 8 : Comparaison des émissions de CO₂ pour le second scénario.....	16
Figure 8 : Part du mode de déplacement doux dans les distances parcourues.....	17
 Tableau 1 : Comparaison des distances parcourues 1^{er} scénario.....	15
Tableau 2 : Comparaison des distances parcourues 2nd scénario	17
Tableau 3 : Comparaison des gains d'émissions selon le scénario et le cas.....	18

1. Introduction

Avec la démocratisation du e-commerce, le transport de marchandises en ville a considérablement augmenté ces dernières années. Ainsi les plateformes logistiques, permettant de couvrir le dernier kilomètre de livraison jusqu'au consommateur final, se multiplient. Mais la place pour en implanter de nouvelles vient déjà à manquer alors que les flux de marchandises continuent eux de croître rapidement. Ces plateformes doivent permettre d'optimiser l'usage d'une flotte de véhicules de livraison qui, malgré tout, est responsable du quart des émissions de gaz à effet de serre en ville, en France (selon France Stratégie). Face aux politiques publiques qui se font de plus en plus ambitieuses pour réduire la pollution et la place dédiée aux véhicules motorisés en ville, la livraison au dernier kilomètre devient un enjeu urbain majeur pour les années à venir.

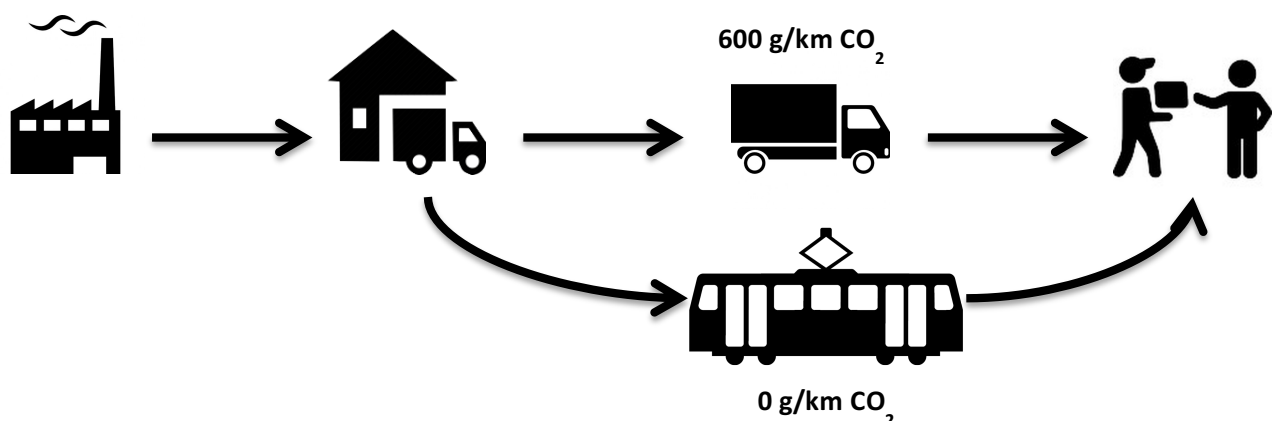
Afin de réduire la pollution liée au transport de marchandises, il est nécessaire de réussir à diminuer le flux de véhicules uniquement dédiés à cette tâche. Les plateformes logistiques, point de départ des colis, sont aujourd'hui considérées comme la composante d'un système de transport indépendant et isolé. Pourtant, si l'on observe le réseau routier emprunté par les véhicules de livraison de la plateforme jusqu'au domicile des clients, on constate qu'il se superpose souvent au réseau de transport en commun, ou du moins le croise en de nombreux points. On peut ainsi imaginer que sur certaines portions de l'itinéraire les marchandises transitent par transports en commun plutôt que par camions. Ce faisant, on mutualise l'usage d'un moyen de transport qu'est le métro, le tramway ou encore le bus, et on réduit par conséquent l'impact environnemental de la mobilité des biens de consommations livrés à domicile. De fait, les émissions de CO₂ sur ces portions sont comptées comme nulles dans notre bilan puisque d'ores et déjà existantes en dehors de notre système.

L'intégration d'une partie des flux de marchandises au système de transports en commun semble concrètement réalisable car les véhicules empruntent des circuits donnés sur lesquels des arrêts sont desservis à des horaires réguliers et connus à l'avance. En outre, les véhicules de transport en commun sont des véhicules de grande capacité. Y charger des marchandises paraît donc physiquement réalisable, ce qui n'aurait pas nécessairement été le cas si nous avions pris le parti d'investir des véhicules personnels par exemple.

L'objet de notre recherche est de modéliser des tournées de livraison sur l'agglomération lyonnaise, en empruntant autant que possible le réseau de transport en commun afin d'en limiter l'impact environnemental. On fait l'hypothèse qu'en intégrant ainsi le transport de marchandises au dernier kilomètre au réseau de transport urbain on peut réduire de plus d'un tiers les émissions de CO₂ qui y sont liées. Dans la première partie de cet article nous énonçons notre problème et les hypothèses faites pour y répondre. Nous présentons ensuite la méthodologie employée pour parvenir aux résultats, qui sont exposés dans la troisième partie de l'article. Enfin ces résultats sont discutés pour conclure sur l'intérêt de la démarche.

2. Formulation du problème

Le but de cette recherche est d'évaluer le potentiel de réduction des émissions de CO₂ liées au transport de marchandises si on l'intègre au système de transport urbain d'une grande ville, qui dans le cas de cet article est la métropole Lyonnaise (voir « zone d'étude » en annexe n°1). L'optimisation de l'usage d'une flotte de véhicules de livraison est ce que l'on appelle un problème de tournées de véhicules : on cherche à déterminer les tournées d'une flotte de véhicules pour livrer un certain nombre de clients en minimisant le coût de livraison des biens. Généralement on considère comme coût de livraison le temps passé pour livrer tous les clients ou encore la distance totale parcourue. Dans notre cas le coût de livraison considéré est la quantité totale de CO₂ dégagée. Nous formulons par ailleurs plusieurs hypothèses de calcul. Nous considérons seulement quatre plateformes logistiques sur notre zone d'étude, laquelle est alors divisée en quatre zones de livraison, chacune attribuée à une plateforme. Chaque plateforme a alors en charge de livrer tous les points de destination de sa zone de livraison. Sont considérés comme destinations les centroïdes de chaque IRIS¹ de la zone d'étude, ce qui représente 321 points de livraison. Enfin, l'étude n'est pas basée sur des données réelles de flux de marchandises, mais sur une comparaison entre une livraison théorique de tous les points de destination par camion d'une part, et un mix camion-métro et camion-métro-tramway d'autre part. On fait d'abord l'hypothèse que le protocole de livraison reste inchangé entre le scénario de base et le scénario intégrant le réseau de transports en commun, avant d'imaginer un second protocole de livraison où les marchandises ne feraient qu'un seul et unique trajet via les transports en commun. Enfin, deux cas sont étudiés dans le second protocole. Le premier implique un usage exclusif de véhicules et de transports en communs, tandis que le second propose l'intégration d'une livraison par mode de déplacement doux pour les faibles distances (transports au dernier mètre). Comme cela s'observe déjà dans les centres-villes des métropoles, les livraisons à pied, à vélo, ou en tricycle sont en plein essor. L'intégration de la possibilité d'utiliser une de ces solutions permet d'évaluer leur poids dans les réductions d'émissions d'un système de transport de marchandises multimodal.



¹ L'IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique) est un découpage géographique élaboré par l'INSEE, maille de base de la diffusion de statistiques infra communales. Il constitue une partition du territoire en "quartiers" dont la population est de l'ordre de 2 000 habitants. (Basé sur la définition de l'INSEE).

3. Méthodologie

3.1. Logique générale du projet

Afin de réaliser les calculs nécessaires pour estimer les émissions de CO₂ dues au transport de marchandises, nous établissons un système logique (voir figure 1 ci-dessous) qui fonctionne de la manière suivante : à partir du flux de véhicules entre les plateformes logistiques et les différents points livrés, on calcule le plus court chemin pour parcourir ces trajets au travers d'un réseau (routier ou routier + métro et tram). La somme des distances parcourues sur tous les trajets nous indique la distance totale nécessaire à la livraison de tous les points de destination. Il suffit alors de multiplier cette distance par l'émission moyenne au km du véhicule utilisé (camion ou métro dans notre étude) pour connaître le coût total en CO₂ de la livraison. Les calculs permettant d'obtenir les distances réseaux parcourues sont effectués à l'aide de l'outil Network Analyst (voir le détail de la démarche en annexe n°2) de ArcGIS².

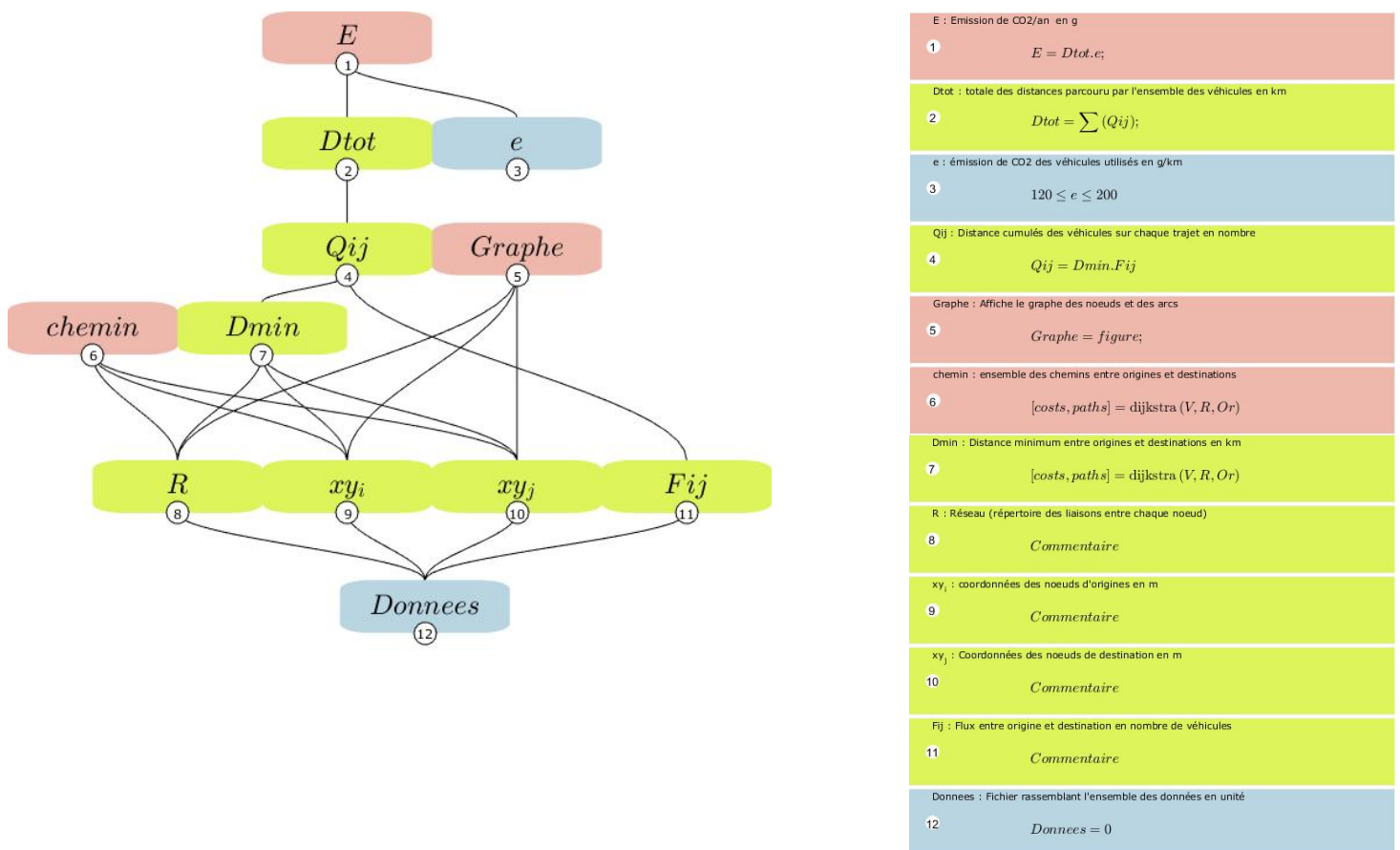


Figure 1 : système logique (voir les codes en annexe n°3)

² ArcGIS est une suite de logiciels d'information géographique développée par la société ESRI.

3.2. *Protocole de calcul des distances parcourues*

Afin de calculer les distances parcourues en camion, le protocole de livraison considéré est celui d'une tournée de véhicules, comparable à ce qu'effectue un facteur pour distribuer le courrier. Autrement dit, le véhicule emprunte le chemin le plus court permettant de livrer tous les points de distribution avant de retourner à la plateforme logistique. La carte ci-contre illustre ce protocole de livraison. Le tracé vert indique le chemin parcouru par le véhicule partant du point bleu, livrant l'ensemble des points verts avant de revenir au point bleu.

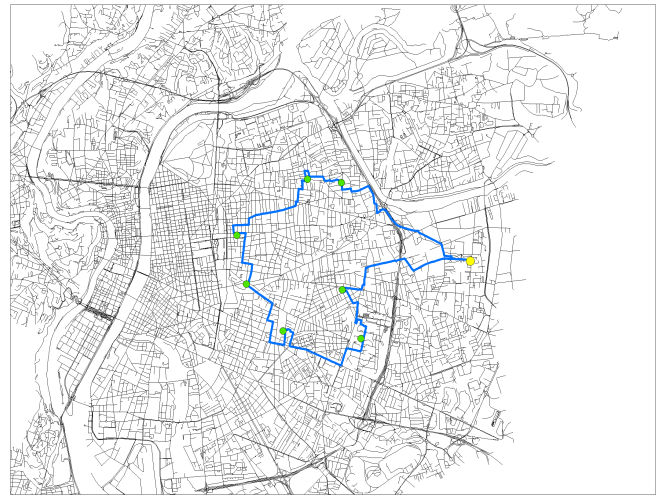


Figure 2 : Carte d'une tournée de véhicules par camion

Dans un premier temps, la comparaison avec l'utilisation du réseau de transport en commun ferré est effectuée sur la base du même protocole de livraison, mais en utilisant le plus possible le métro ou le tramway. L'objectif n'est alors plus de minimiser les distances totales parcourues mais de minimiser les distances réalisées par des véhicules uniquement dédiés à la livraison, au bénéfice des métros et tramways. La carte ci-contre illustre à partir de l'exemple précédent le changement d'itinéraire opéré afin d'utiliser autant que possible le réseau ferré. Une première comparaison est effectuée uniquement avec le réseau de métro, puis une seconde avec le réseau de métro et celui du tramway.

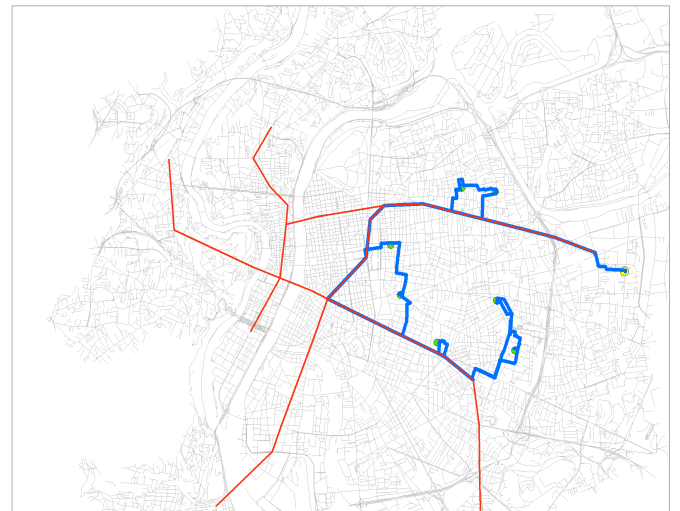


Figure 3 : Carte d'une tournée de véhicules par camion et métro

Cependant, l'hypothèse que le protocole de livraison reste le même dans les deux cas semble loin de la réalité. En effet, le protocole de tournée de véhicule implique ici qu'une marchandise à destination du point X puisse partir de l'entrepôt, prendre le métro, être chargée dans un véhicule distribuant des points Y, puis remonter dans le métro avant d'être chargée dans un autre véhicule pour être finalement livrée au point X. Le bon sens voudrait pourtant que les marchandises ne réalisent qu'un seul et unique voyage par transport en commun. Un second protocole de livraison est alors imaginé, dans lequel les marchandises sont chargées dans une rame de métro ou de tramway à la station la plus proche de la plateforme logistique, pour ensuite être déchargées à la station la plus proche de leur point de destination. La carte ci-dessous illustre l'affectation des points de livraison et des plateformes logistiques à leur station la plus proche (selon les distances réseau).

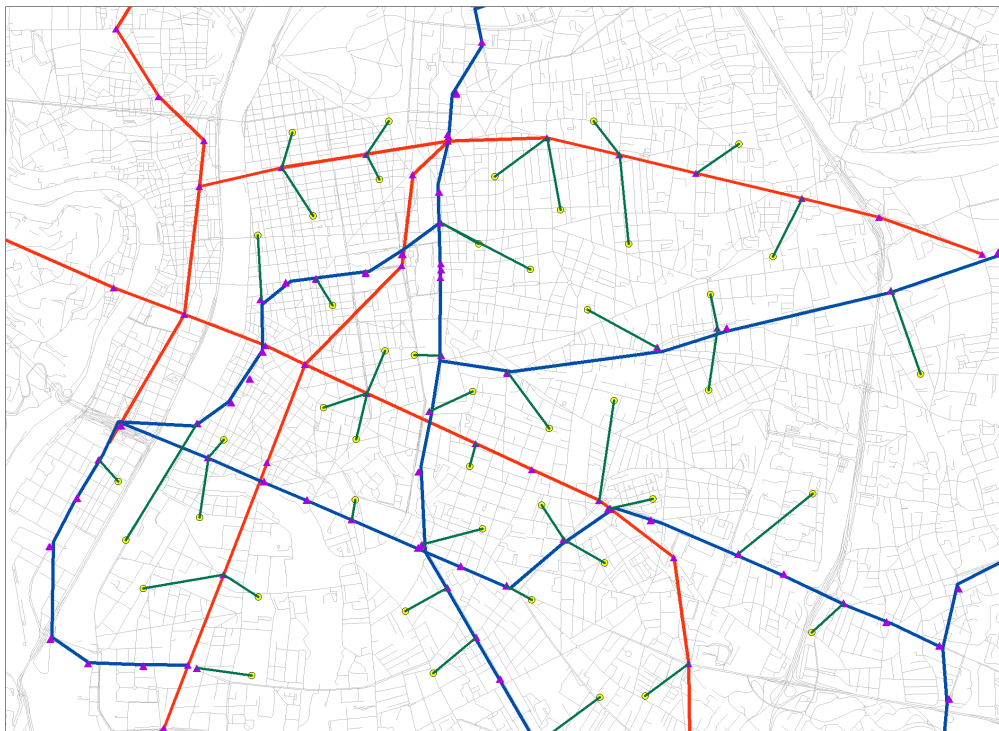


Figure 4 : Carte d'affectation des points de livraison à leur station la plus proche

4. Résultats et analyse

Cette section rend compte des résultats obtenus et compare le scénario de la tournée de véhicules par camion de livraison uniquement, appelé “scénario de base”, aux autres scénarios imaginés pour diminuer les émissions de CO₂. Les résultats sont dépendants de l’émission moyenne de CO₂ par kilomètre des camions. Dans cette étude, une moyenne de 600 g/km de CO₂ a été retenue³. De même les émissions moyennes des métros et tramways ont été mises à 0 g/km (au lieu de 4 ou 5 g/km) car le système étudié ici intègre le transport de marchandises à l’intérieur de transports en commun effectuant déjà les trajets. Autrement dit, le système optimise l’utilisation des métros et tramways en y ajoutant des marchandises lorsque cela est possible. Il n’y a donc pas de rames supplémentaires.

4.1. Scénarios ‘de base’, ‘1’ et ‘2’ : protocole de tournée de véhicule

Ici sont comparés les résultats obtenus pour différents scénarios utilisant tous le protocole de la tournée de véhicules. La possibilité d’emprunter le métro (scénario 1) permet une réduction de 15 kg des émissions de CO₂ par rapport au scénario de base, soit une baisse de 6,7%. Lorsque l’on ajoute à cela la possibilité d’emprunter le tramway (scénario 2), on réduit de 6 kg supplémentaires les émissions de CO₂, soit une diminution de 9,2% par rapport au scénario de base. Dès lors que l’on considère nulles les émissions de CO₂ des transports en commun, on peut faire baisser les émissions totales d’une tournée de véhicule si l’on substitue des portions de l’itinéraire réalisées en camion par des portions réalisées en métro et/ou tramway. Il semble évident que si l’on ajoute les lignes de tramways, les possibilités de déplacement en transport en commun sont plus importantes. Ces résultats viennent donc confirmer l’hypothèse selon laquelle plus le maillage du réseau de transport en commun est conséquent, plus il est permis d’espérer une réduction importante des émissions. Il serait donc très intéressant d’étudier les bénéfices que pourrait générer l’intégration du réseau de bus au système.

Scénario en tournées de véhicule

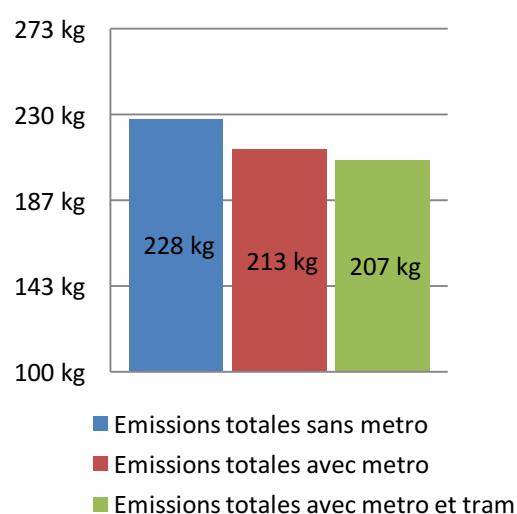


Figure 5 : Comparaison des émissions de CO₂ pour les scénarios ‘de base’, ‘1’ et ‘2’

³ Overblog : <http://pierre.parrillo.over-blog.fr/article-transports-comparatif-des-emissions-de-co2-48150947.html>

	Somme des distances parcourus	Somme des distances parcourues en metro ou tram	Evolution de la distance parcouru par les camions	Evolution des distances totales parcourues
sans metro	380,095 km	0 km		
avec metro	477,157 km	122,699 km	-6,74 %	26 %
avec metro et tram	612,043 km	267,067 km	-9,24 %	61 %

Tableau 1 : Comparaison des distances parcourues pour les scénarios 'de base', '1' et '2'

On parle plus haut de substituer « des portions de l'itinéraire réalisées en camion par des portions réalisées en métro et/ou tramway ». Plus exactement ici on ne substitue pas simplement des portions de l'itinéraire mais on le modifie de sorte qu'il emprunte les transports en commun lorsque cela est possible. Par conséquent les distances totales parcourues s'en trouvent rallongées, et de façon notable comme le montre le tableau ci-dessus : une augmentation de presque 100 km pour le scénario 1, soit 26% de plus que la distance nécessaire au scénario de base. Pour le scénario 2 la distance totale parcourue croît de 61%, soit une augmentation de 230 km par rapport au scénario de base. En faisant l'hypothèse que l'on peut conserver le protocole de la tournée de véhicules malgré l'intégration de la livraison au système de transport en commun on augmente de façon conséquente les distances totales parcourues.

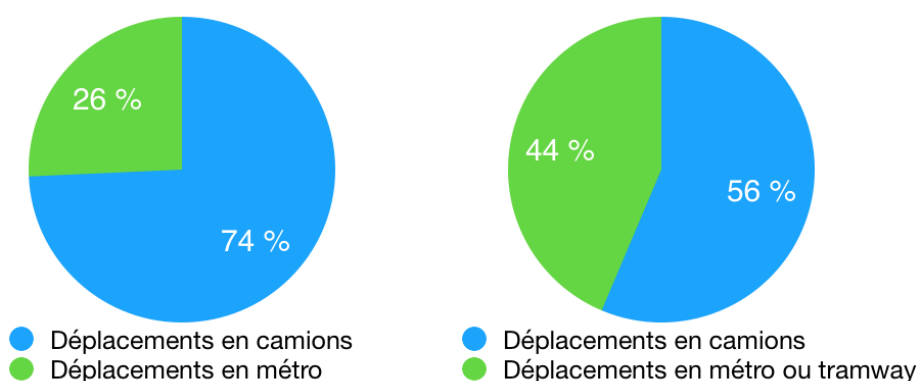


Figure 6 : Part de l'utilisation des transports en commun dans la tournée de véhicules

L'augmentation importante des distances parcourues entre le scénario 1 et le scénario 2 est l'augmentation tout aussi significative de la part de l'utilisation des transports en commun dans les itinéraires empruntés lors des tournées de véhicules. On passe ainsi d'une part de 26% des déplacements effectués en métro à 44% des déplacements effectués en métro ou tramway. Si l'objectif de réduction des émissions de CO₂ peut être atteint ainsi, nous nous devons de relever un manque de pertinence à un niveau plus global : conserver ce protocole rallonge considérablement les temps de livraison et implique de charger et décharger plusieurs fois les marchandises dans différents véhicules au cours d'une même livraison. C'est pourquoi d'autres scénarios avec un protocole de livraison différent sont testés, dont les résultats sont présentés dans la partie qui suit.

4.2. Scénarios '3' et '4' : protocole de la station la plus proche

Ici ont été comparées les émissions de CO₂ liées au scénario de base à celles engendrées par deux nouveaux scénarios (scénarios 3 et 4) intégrant les transports urbains et utilisant le protocole de la station la plus proche. Pour le scénario 3, lorsque les marchandises sont déchargées à la station la plus proche de leur point d'arrivée, elles sont toutes acheminées par camion. Pour le scénario 4, seules les marchandises ayant un trajet restant de plus d'un kilomètre sont acheminées par camion, tandis que les autres le sont par un mode de transport doux, qui n'émet donc pas de CO₂.

Bien entendu, on constate que le scénario 4 permet une plus grande diminution des émissions de CO₂. En effet, dans le scénario 3 la réduction des émissions est d'environ une quinzaine de kg de CO₂, soit une diminution de 5,85%, tandis que dans le scénario 4 cette réduction est bien plus importante, de l'ordre de 80 kg de CO₂, soit une diminution d'environ 35% des émissions par rapport au scénario de base.

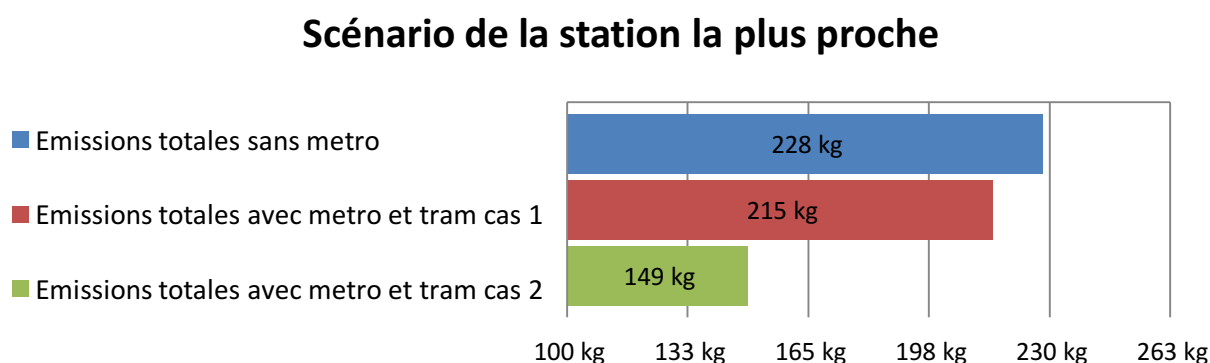


Figure 7 : Comparaison des émissions de CO₂ pour les scénarios 'de base', '3' et '4'

Ainsi, parmi les près de 360 km effectués pour une tournée de livraison type (hors trajets réalisés en métro ou tramway), on remarque que plus de 30% l'ont été par un mode de déplacement doux, soit environ 110 km, correspondant aux trajets de moins d'un kilomètre entre les stations de transport en commun et les points de livraison.

Total des distances parcourus (hors metro et tram)	Total distances parcourus en camion	Total parcouru en mode de déplacement doux
357,864 km	247,643 km	110,221 km

Tableau 2 : Comparaison des distances parcourues pour les scénarios 'de base', '3' et '4'

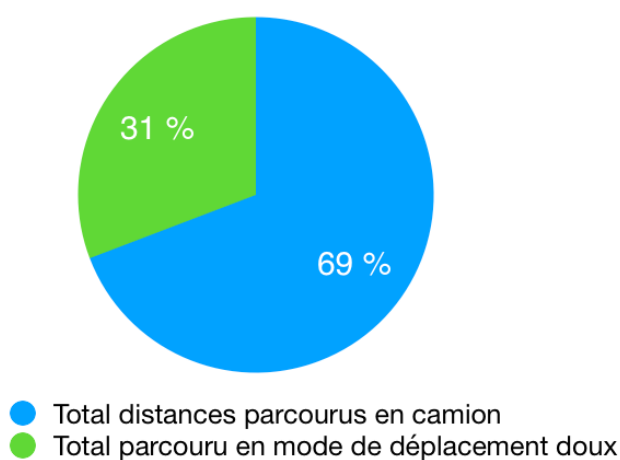


Figure 8 : Part du mode de déplacement doux dans les distances parcourues

4.3. Comparaison des scénarios

En modélisant nos deux premiers scénarios, on parvient à une réduction des émissions de CO₂ d'un peu moins de 10% par rapport au scénario de base, c'est à dire par rapport à la livraison de marchandises telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui. Face à l'incohérence qu'implique le protocole de tournée de véhicule dans notre cas, à savoir le fait de devoir charger et décharger plusieurs fois les marchandises au cours d'une même livraison, un second protocole est testé (protocole de la station la plus proche). Les premiers résultats pour l'utilisation de ce second protocole ne sont pas satisfaisants puisque cela permet seulement une réduction de 5,85%, inférieure donc à ce que permet le protocole de la tournée de véhicules, malgré les incohérences soulevées précédemment.

En revanche, dès lors que l'on prend le parti d'intégrer des modes de transport doux à la sortie du réseau ferré, pour les trajets inférieurs à 1km, on observe un gain théorique approchant les 35%, soit une réduction trois fois plus importante que pour le protocole de la tournée de véhicule. Ainsi, notre hypothèse de départ estimant à plus d'un tiers les réductions des émissions liées au transport de marchandises est validée uniquement dans le dernier cas (scénario 4). Ces résultats encouragent l'idée d'utiliser une diversité de mode de déplacements afin de réduire l'impact des émissions de CO₂ dans le secteur du fret, et donc de développer les plateformes multimodales permettant d'assurer la continuité entre les différents modes de déplacement.

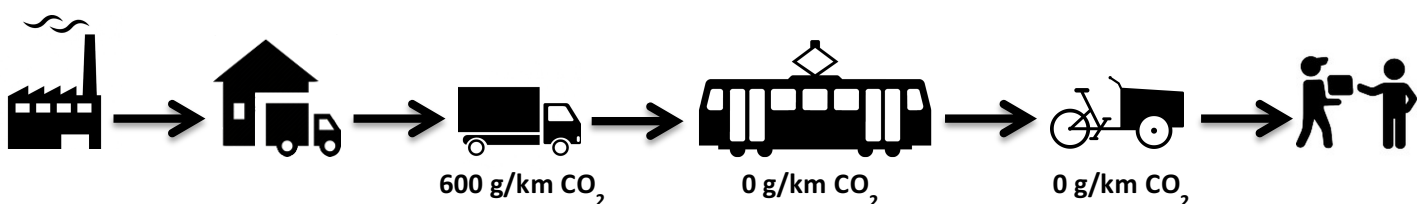
	Gain en émissions de CO ₂
Scénario 2 (Tournée de véhicules avec métro et tram)	-9,24 %
Scénario 3 (Station la plus proche avec métro et tram)	-5,85 %
Scénario 4 (Station la plus proche avec métro, tram et mode doux)	-34,85 %

Tableau 3 : Comparaison des gains d'émissions selon le scénario et le cas

5. Conclusion et discussion

Les alternatives logistiques à la livraison de marchandises en milieu urbain proposées ici reposent d'une part sur une intégration plus ou moins importante des flux de marchandises au réseau de transport en commun, et d'autre part sur un changement de protocole de livraison. La comparaison du scénario de base (c'est à dire de la livraison de marchandises au dernier kilomètre telle qu'elle est conçue aujourd'hui) avec un scénario utilisant le même protocole de livraison mais permettant d'emprunter les réseaux de métro et/ou de tramway montre un premier potentiel de diminution des émissions de CO₂. Toutefois dans ce cas les distances totales parcourues pour effectuer une tournée de véhicule s'en trouvent augmentées de façon très significative. Par ailleurs l'utilisation de ce système implique un certain nombre de transbordements de la marchandise au cours de la tournée, ce qui va à l'encontre de l'efficacité recherchée dans le domaine de la logistique. L'utilisation du protocole dit de 'tournée de véhicule' est donc remis en question si l'on souhaite intégrer les flux de marchandise au système de transports en commun. De nouveaux scénarios sont réalisés en utilisant le protocole dit de 'la station la plus proche'. Ce protocole consiste à relier en camion la plateforme logistique à la station de métro/tramway la plus proche puis à faire transiter les marchandises par le réseau ferré jusqu'à la station la plus proche de leur destination finale, jusqu'à laquelle elles sont acheminées de nouveau en camion. Les premiers résultats avec ce protocole ne sont guères convaincants. Toutefois, si l'on ajoute à la modélisation une condition spécifiant qu'une fois sorties

du réseau ferré les marchandises ayant moins d'un kilomètre à parcourir jusqu'à leur destination finale sont acheminées via un mode de déplacement doux, alors on obtient des résultats bien plus satisfaisants. De cette façon on parvient à réduire (théoriquement) de 35% les émissions de CO₂ liées au transport de marchandises au dernier kilomètre. Pour aller plus loin il serait intéressant d'intégrer également le réseau de bus à la modélisation, puis de considérer un nombre de plateformes logistiques plus important pour être plus proche de la réalité.



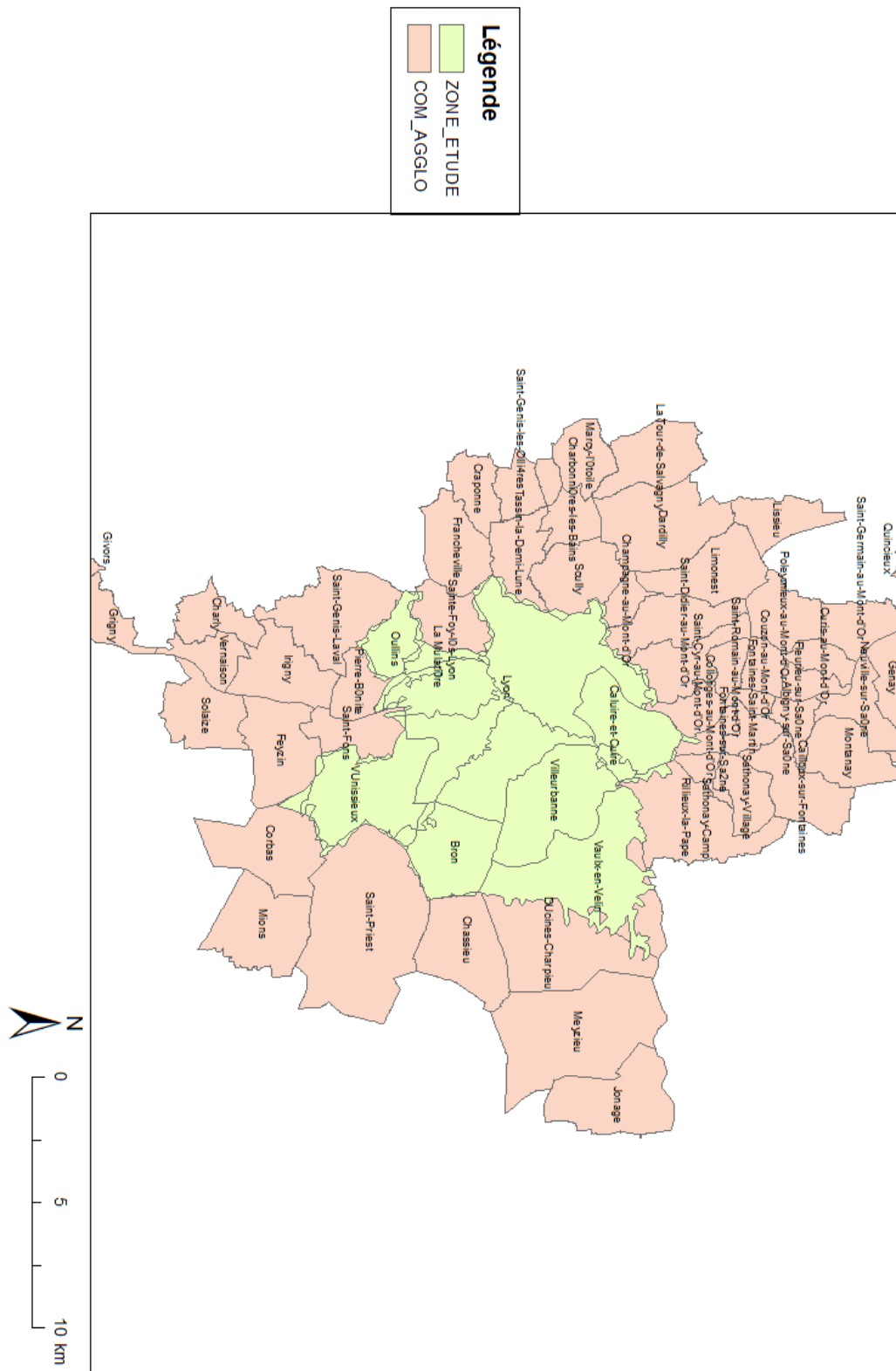
Références Bibliographiques

- Alexandra Reisman. « *Strategies for Reducing the Impacts of Last-miles Freight in Urban Business Districts* ». 2011. Rapport UEP-173 : Transportation planning. Disponible sur URL : <http://sites.tufts.edu/uepblog/files/2011/06/Reisman-Impacts-of-Last-Mile-Urban-Freight.pdf>
- Diana Diziain, Eiichi Taniguchi, Laetitia Dablane. « *Urban Logistics by Rail and Waterways in France and Japan* ». Procedia Social and behavioral science. Disponible sur URL : https://ac.els-cdn.com/S187704281401502X/1-s2.0-S187704281401502X-main.pdf?_tid=21416ef2-de6f-11e7-8bc5-00000aacb361&acdnat=1512995634_7875990319904310e65af19b1925bbaf
- Hervé Levifve, Pierre Berger (APUR). *Le projet Tram fret : Mise en place d'un transport de marchandises par le tramway*. Avril 2014. Note n°69 de l'APUR. Disponible en téléchargement sur URL : <https://www.apur.org/fr/nos-travaux/projet-tramfret-mise-place-un-transport-marchandises-tramway>
- Overblog. « *Transport : comparatif des émissions de CO₂* ». Avril 2010. Consulté le 12 octobre 2017. Disponible sur URL : <http://pierre.parrillo.over-blog.fr/article-transports-comparatif-des-emissions-de-co2-48150947.html>
- Place Publique. « *Les enjeux de la livraisons du « dernier kilomètre »* ». Mai-juin 2014. Dossier Nouvelles Mobilités. Disponible sur URL : https://www.codespar.org/fileadmin/site_codespar/accueil/projets/Logistique_urbaine/doc/P29_DOSSIER_logistique-urbaine.pdf

Annexes

1) Zone d'étude

La zone d'étude de cet article comprend 7 communes de l'agglomération Lyonnaise : Bron, Caluire-et-Cuire, La Mulatière, Lyon, Oullins, Villeurbanne, et Vunissieux. Cette zone correspond aux communes desservies par le métro lyonnais.



2) Démarche de calcul à l'aide de l'outil Network Analyst sur ArcGis.

La démarche de calcul détaillée ci-dessous a été effectuée quatre fois pour chaque zone de livraison et plateforme logistique. L'astuce utilisée pour affecter un coût d'utilisation du métro ou tramway beaucoup plus faible que celui d'un camion réside dans le temps de trajet. En effet, nous souhaitons récupérer uniquement les distances effectuées et n'avons donc pas besoin d'obtenir les temps de trajets réels. Ces temps de trajets ont été volontairement abaissés à une valeur très petite (0,0001 minute pour parcourir l'ensemble de chaque ligne de métro et tramway) afin que lors du calcul de l'itinéraire le plus court, soit automatiquement préférées les solutions utilisant les transports en communs.

Pour le protocole de « tournée de véhicule » :

1^{ère} étape : Création d'une « Matrice de coût OD » avec la plateforme logistique en Origine et les centroïdes des IRIS présents dans la zone de livraison en Destination. Indiquer dans les paramètres de calculs l'impédance (coût à minimiser) qui dans le cas présent est le temps de trajet.

2^{ème} étape : Création d'une « Tournée de véhicules » avec les centroïdes des IRIS en Ordres, la plateforme en Dépôt et la matrice de coût OD en itinéraires.

3^{ème} étape : Extraire la « feuille de route » du parcourt de la tournée de véhicule.

```
Début de l'itinéraire Emplacement 4 - Emplacement 20
1: Départ : Dep
2: Aller vers le nord sur Route 1 chaussee, PARC DES ERMS vers Route 1 chaussee, AV DE LA REPUBLIQUE
Conduite 54,3 m ~ < 1 min
3: Prendre à droite sur Route 1 chaussee, AV DE LA REPUBLIQUE
Conduite 523,6 m ~ < 1 min
4: Tourner à droite sur Route 2 chaussees AV JEAN JAURES
Conduite 233,5 m ~ < 1 min
5: Serrer à gauche sur Route 1 chaussee R EUGENE PELOUX
Conduite 129,6 m ~ < 1 min
6: Arriver à Emplacement 20, sur la gauche
7: Départ Emplacement 20
8: Revenir vers le sud-ouest sur Route 1 chaussee R EUGENE PELOUX
Conduite 89,9 m ~ < 1 min
9: Prendre à droite sur Route 2 chaussees R CARNOT
Conduite 201,0 m ~ < 1 min
10: Continuer sur Route 2 chaussees AV PIERRE SEMARD
Conduite 603,3 m ~ < 1 min
11: Continuer sur Route 1 chaussee, AV FRANCIS DE PRESSENSE
Conduite 711,2 m ~ < 1 min
12: Prendre à gauche sur Route 1 chaussee, CHE DE TACHE VELIN
Conduite 205,8 m ~ < 1 min
13: Prendre à gauche et immédiatement prendre à droite
Conduite 70,8 m ~ < 1 min
14: Prendre à droite
Conduite 278,0 m ~ < 1 min
15: Arriver à Emplacement 21, sur la droite
```

4^{ème} étape : Relever à partir de la feuille de route les distances effectuées en transports publics et celles effectuées en camions.

Pour le protocole de « station la plus proche »

Utilisation de l'outil emplacement-allocation avec les plateformes et les centroïdes des IRIS comme Ressources et l'ensemble des stations de métros et tramways en Points de demande. Dans ce cas-ci, l'impédance utilisée est la distance réseau et non le temps de trajet afin d'obtenir les distances minimales.

3) Codes du système logique (langage matlab)

$E = Dt_{\text{tot}} * e$; (Calcul les émissions totales de CO₂ émises)

$D_{\text{tot}} = \text{sum}(Q_{ij}(:,3))$; (Calcul le totale des distances parcouru par l'ensemble des véhicules)

Fonction Q_{ij} : (Calcul la distance cumulé des véhicules sur chaque trajet)

```
A=size(Fij);
for i=1:A(1)
    O=Fij(i,1);
    D=Fij(i,2);
    Qij(i,1)=O;
    Qij(i,2)=D;
    Qij(i,3)=Dmin(O,D)*Fij(i,3);
End
```

Fonction D_{min} : (Calcul la distance minimum entre origines et destinations)

```
V=[xy_i;xy_j];
A=size(xy_i);
for i=1:A(1);
    Or(1,i)=i;
end
[costs,paths] = dijkstra(V,R,Or);
Dmin=costs;
```

Affichage du graphe :

```
A=size(R);
B=zeros(A(1),A(1));
xy=[xy_i;xy_j];
for i=1:A(1)
    B(R(i,1),R(i,2))=1;
    B(R(i,2),R(i,1))=1;
end
Graphe=figure;
gplot(B,xy,'-*');
waitfor(Graphe);
```

Répertoire des itinéraires : (Chemin)

```
V=[xy_i;xy_j];
A=size(xy_i);
for i=1:A(1);
    Or(1,i)=i;
end
[costs,paths] = dijkstra(V,R,Or);
chemin=paths;
```

CITERES

UMR 7324
*Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés*

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



35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :
MAIZIA Mindjid

CLAUDE Martin & WERMUS Lucas
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2017-2018

Transport de marchandises au dernier kilomètre : Quelle intégration au système de transport urbain ?

Résumé :

L'objet de cet article est d'évaluer dans quelle mesure les émissions de CO₂ engendrées par la livraison de biens de consommation en milieu urbain peuvent être réduites au travers de la mutualisation des transports en commun. On cherche à montrer que l'intégration de ce transport de marchandises au réseau de transport urbain permet de réduire significativement les émissions de CO₂ qui y sont liées. La modélisation est appliquée au cas de la Métropole Lyonnaise et plusieurs scénarios selon différents protocoles de livraison sont comparés afin d'évaluer la pertinence d'un tel système. Il s'avère que la mutualisation des transports urbains afin de transporter des marchandises pourrait permettre de diminuer d'environ 1/3 les émissions de CO₂ liées à cette activité en plus de favoriser la décongestion des centres-villes et de réduire la place des véhicules thermiques dans l'espace public.

Mots Clés : transports, marchandises, intégration, émissions, transport public, logistique, multimodal, urbain, fret