



HAL
open science

Évolution globale de la sécurité des déplacements, à l'échelle de l'agglomération, après la mise en service d'un réseau de tramway

Thierry Brenac, Jean-Yves Fournier, Nicolas Clabaux

► To cite this version:

Thierry Brenac, Jean-Yves Fournier, Nicolas Clabaux. Évolution globale de la sécurité des déplacements, à l'échelle de l'agglomération, après la mise en service d'un réseau de tramway. *RTS. Recherche, transports, sécurité*, 2019, 2019, 17p. 10.25578/RTS_ISSN1951-6614_2019-02 . hal-02068159

HAL Id: hal-02068159

<https://hal.science/hal-02068159v1>

Submitted on 14 Mar 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Évolution globale de la sécurité des déplacements, à l'échelle de l'agglomération, après la mise en service d'un réseau de tramway

Overall change in traffic safety, at the city scale, after opening a tram network

Thierry BRENAC, Jean-Yves FOURNIER, Nicolas CLABAUX

© IFSTTAR 2019

Résumé La mise en œuvre de tramways dans les villes françaises s'accompagne de changements marqués dans l'aménagement des axes concernés par le tramway, et tend à réduire la place de l'automobile, le volume de trafic et le nombre d'accidents sur ces axes. Cet article traite de l'évolution de la sécurité des déplacements observable au niveau plus global de l'agglomération, pour 7 villes françaises ayant mis en service un tramway entre 2005 et 2016, par comparaison avec 22 autres villes (sans tramway). Il apparaît que dans ces 7 villes, le nombre d'accidents (entraînant une hospitalisation) décroît entre la période avant tramway et la période après tramway, mais qu'en moyenne cette diminution est considérablement plus faible que celle observée dans les 22 autres villes (sans tramway). L'évolution moins favorable dans les villes s'étant équipées d'un tramway peut difficilement être interprétée comme traduisant l'effet du tramway en lui-même. Une interprétation possible, qui resterait à étayer, serait que cette évolution résulte de choix plus généraux de politique urbaine ou de tendances préexistantes liées au contexte local ou

régional, qui pourraient impliquer un accroissement du trafic automobile dans ces villes, à l'échelle de l'agglomération.

Mots-clés tramway, sécurité de la circulation, accident, planification urbaine.

Abstract Tram networks implemented in French cities involve noticeable changes in the layout of the streets affected by the tram, and tend to reduce the space dedicated to cars. This leads to decreases in traffic volume and accidents in these streets. The present paper deals with the changes in traffic safety observable at the more global level of the city (including its suburbs), in 7 French cities that have implemented a tramway between 2005 and 2016, as compared to 22 other cities (without tram). It appears that, in these 7 cities, the number of accidents (involving injuries needing hospitalisation) decreases between the pre-tram and post-tram periods. However, this accident reduction is on average considerably smaller than the decrease observed in the 22 other cities (without tram). The less favourable change in cities equipped with a tramway can hardly be interpreted as reflecting the effect of the tramway itself. One possible interpretation, which remains to be substantiated, would be that this evolution results from broader urban policy choices or pre-existing trends related to the local or regional context, which could involve an increase in car traffic, at the whole city scale, in cities implementing these systems.

Keywords tramway, traffic safety, accident, urban planning.

Thierry BRENAC (✉)
IFSTTAR, TS2, LMA,
F-13300 Salon de Provence, France
Courriel : thierry.brenac@ifsttar.fr

Jean-Yves FOURNIER (✉)
IFSTTAR, TS2, LMA,
F-13300 Salon de Provence, France
courriel : jean-yves.fournier@ifsttar.fr

Nicolas CLABAUX (✉)
IFSTTAR, TS2, LMA,
F-13300 Salon de Provence, France
Courriel : nicolas.clabaux@ifsttar.fr

Introduction

La réintroduction depuis le milieu des années 1980 de réseaux de tramways dans les centres urbains est, en matière de transports, l'un des faits marquants des dernières décennies. Cette renaissance, qui a succédé à une longue période de démantèlement des réseaux datant de la fin du XIX^e et du début du XX^e siècle, n'a pas concerné que la France, mais aussi d'autres pays, comme par exemple les États-Unis, l'Australie, le Royaume-Uni, l'Espagne [1-3]. Elle a donné lieu à un certain nombre de travaux de recherche sur les conséquences de cette réinsertion du tramway dans l'espace urbain. Des travaux se sont intéressés notamment aux effets sur la fréquentation des transports publics et les pratiques de mobilité [2, 4-8], montrant notamment que la mise en service d'un tramway conduit généralement à une augmentation significative de la fréquentation des transports collectifs, mais n'a qu'une incidence très limitée sur le report modal de l'automobile vers ces modes de transport public. D'autres travaux ont étudié les effets de la mise en place d'un réseau de tramway sur le marché de l'immobilier, et mettent en évidence un renchérissement du prix des logements situés à proximité des stations de tramway [9-11]. S'agissant des impacts sur l'activité commerciale, les évaluations réalisées [12, 13] ne font pas apparaître de tendance très claire. Les auteurs insistent en effet sur les difficultés à isoler l'effet du tramway de tendances préexistantes dans les agglomérations étudiées [12, 13]. Le tramway semble en revanche jouer un rôle d'accélérateur de ces tendances. Quelques recherches portent sur les incidences des réseaux de tramway à un niveau plus individuel, et suggèrent que l'ouverture d'une station de tramway dans un quartier peut avoir des effets bénéfiques sur l'activité physique des habitants, sur l'obésité et plus globalement sur l'état de satisfaction générale des individus [14, 15]. Enfin, d'autres travaux ont porté sur plusieurs de ces différents aspects, leurs conclusions concordant dans l'ensemble avec les résultats que nous venons d'évoquer [16], ou ont tenté de conduire une évaluation socio-économique globale [17]. Cette dernière recherche tend à conclure que les gains économiques liés à la mise en service du tramway sur les boulevards des Maréchaux à Paris sont largement compensés par les coûts liés à la congestion routière et aux émissions de gaz à effet de serre induits [17]. Notons en outre que ces auteurs observent également un très faible report modal de la voiture vers le tramway.

En matière de sécurité des déplacements, des recherches ont également été conduites. Elles ont montré que les tramways posent des problèmes de sécurité, qu'il s'agisse des tramways d'implantation ancienne [18-21], ou des réseaux de tramway redéployés à la fin du XX^e siècle [22-26]. Un examen de la littérature scientifique internationale montre que les problèmes de sécurité liés aux tramways ne se limitent pas aux collisions impliquant directement les rames, ou les impliquant indirectement (tram masquant la visibilité, traversée précipitée vers un tram), mais concernent aussi les accidents dans lesquels les aménagements mis en place pour le tramway ont joué un rôle, sans qu'une rame de tramway ne soit nécessairement présente [20, 22, 27].

En particulier, s'agissant des réseaux mis en service au cours des dernières décennies dans de nombreuses villes françaises, une partie des problèmes de sécurité sur les espaces viaires réaménagés pour le tramway tient à certaines spécificités des nouveaux aménagements. La segmentation de l'espace public et la matérialisation des sites propres, notamment, engendrent une complication de l'espace et des effets de coupure, qui sont à l'origine d'une accidentologie spécifique, comme l'ont montré des travaux récents [22-24].

Cependant, d'un point de vue quantitatif, une recherche conduite sur une grande agglomération française a montré que le nombre d'accidents baisse considérablement après la mise en service du tramway sur les axes concernés, ce qui s'explique sans doute principalement par la réduction du nombre de voies de circulation automobile et la forte baisse du volume de trafic sur une grande partie de ces axes [24]. Ces auteurs évoquent néanmoins la possibilité de reports de trafic et d'accidents sur d'autres parties du réseau, qui pourraient conduire à un bilan global moins favorable.

Aucune recherche, à notre connaissance, n'a étudié l'évolution globale de la sécurité des déplacements, sur l'ensemble de l'agglomération, consécutive à la mise en service d'un réseau de tramway. C'est l'objet du présent article.

Il est en effet légitime de s'intéresser aux évolutions observables à l'échelle globale de l'agglomération, car la mise en place d'un tramway ne modifie pas seulement l'offre de transports publics dans les espaces centraux. Elle s'accompagne, en France du moins, d'une requalification de l'espace public et d'une forte réduction de la place de l'automobile (en matière de circulation et de stationnement) sur les axes concernés, susceptible de modifier sensiblement les pratiques de déplacement – et donc la sécurité des déplacements –

aussi bien en centre-ville qu'entre les périphéries et le centre. Plus généralement, des travaux antérieurs ont montré que des opérations touchant des périmètres limités, dans des quartiers centraux (comme une opération de piétonisation en centre-ville), peuvent avoir également des incidences sur les comportements de déplacement dans les espaces périphériques [28].

D'autres auteurs se sont d'ailleurs intéressés à l'évolution de la mobilité à l'échelle de l'agglomération, au travers des enquêtes ménages-déplacements, suite à la mise en place de réseaux de tramways. Ils montrent, comme nous l'avons mentionné plus haut, que la mise en service d'un tel réseau conduit souvent à l'augmentation de la fréquentation globale des transports publics [4, 5]. Cependant, elle n'est pas nécessairement de nature à réduire la part modale de l'automobile, qui continue même de croître dans de nombreux cas [4, 7, 29].

On peut alors émettre l'hypothèse que l'évolution de la sécurité de la circulation, sur l'ensemble de l'agglomération, n'est probablement pas aussi favorable que celle mise en évidence dans les recherches antérieures portant sur les seuls axes empruntés par le tramway, du fait de l'absence de baisse notable du trafic automobile à l'échelle de l'agglomération.

Les analyses présentées dans cet article reposent sur l'étude comparée de l'évolution de la sécurité de la circulation sur 7 unités urbaines équipées d'un système de tramway entre 2005 et 2016 et 22 unités urbaines de référence.

La section suivante (deuxième section) de cet article présente la démarche générale de la recherche et les données utilisées. La troisième section présente des analyses ville par ville pour chacune des sept unités urbaines s'étant équipées d'un tramway, par comparaison avec l'ensemble des unités urbaines de référence. La quatrième section vise à estimer une évolution moyenne pour les sept unités urbaines d'intérêt, globalement puis en détaillant par catégories d'accidents selon les types d'usagers impliqués. La discussion des résultats et les principaux enseignements à tirer de cette recherche font l'objet de la cinquième section.

Démarche générale et données utilisées

2.1. Démarche générale

L'objectif général est d'examiner si, après la mise en œuvre d'un système de tramway, une évolution particulière de l'insécurité des déplacements peut être observée à l'échelle de l'agglomération. Pour cela, nous quantifions l'évolution des nombres d'accidents de la circulation entre une période « avant », antérieure aux travaux de réalisation du tramway, et une période « après », postérieure à la mise en service du tramway. Puis nous comparons cette évolution à celle observée sur un ensemble d'agglomérations de référence, comparables en termes de taille (population), n'ayant pas été équipées de systèmes de tramway.

Cette démarche, cependant, ne vise pas à tenter d'estimer « l'effet du tramway » en lui-même en défalquant de l'évolution observée sur les agglomérations équipées de tramway, celle constatée sur les agglomérations de référence. Il s'agit plutôt ici de mettre en évidence l'existence éventuelle de différences d'évolution entre les deux groupes d'agglomérations, et le cas échéant, de tenter d'interpréter ces différences, qui pourraient tenir en partie au tramway mais aussi à d'autres développements concomitants des politiques urbaines, ou à d'autres évolutions du contexte local ou régional, dans les villes concernées.

2.2. Données d'accidents

En France, un accident de la circulation entraînant des dommages corporels doit faire l'objet d'un procès-verbal d'accident corporel, réalisé par les forces de l'ordre (généralement la police ou la gendarmerie) à l'intention du procureur de la République. L'accident fait aussi l'objet d'un enregistrement dans le fichier national des accidents corporels (fichier BAAC, géré par l'Observatoire national interministériel de la sécurité routière) : une partie des informations issues du procès-verbal est codée dans ce fichier, sous forme d'une soixantaine de variables relatives aux caractéristiques générales de l'accident, aux lieux, aux véhicules et aux personnes impliquées¹.

Pour la présente recherche, les accidents pris en considération, sur la base du fichier national des accidents corporels qui vient d'être mentionné, sont les accidents entraînant des blessures nécessitant au moins

¹ Pour davantage de détails le lecteur pourra se reporter au site : <https://www.data.gouv.fr/en/datasets/base-de-donnees-accidents-corporels-de-la-circulation>.

une hospitalisation (de plus de 24 h)² pour une des victimes concernées, ou provoquant un décès. Ces accidents sont en effet mieux enregistrés, dans ces données rassemblées par les forces de l'ordre, que les cas d'accidents plus bénins dont seule une faible proportion est recensée [30, 31]. La notion de blessé hospitalisé n'étant utilisée dans le fichier BAAC que depuis l'année 2005, les analyses avant-après n'ont pu s'appuyer que sur des cas permettant de disposer d'une période d'observation « avant » débutant en 2005 ou postérieurement.

Cette recherche portant sur l'insécurité des déplacements à l'échelle de l'agglomération et non sur la seule commune-centre, nous avons pris en compte les accidents (entraînant au moins une hospitalisation ou un décès) dans l'ensemble des communes de chacune des *unités urbaines*³ sélectionnées pour cette recherche. L'unité urbaine ne rend compte qu'approximativement de la notion d'agglomération puisque certaines des communes d'une unité urbaine peuvent comporter une partie de territoire hors zone agglomérée. Mais s'appuyer sur la délimitation de secteurs agglomérés à une échelle infra-communale aurait induit des contraintes rédhibitoires pour le traitement des données d'accidents⁴. Pour chacune de ces unités urbaines, la même délimitation, c'est-à-dire la même composition communale, a bien entendu été retenue pour les deux périodes d'analyse. La délimitation retenue est celle définie par l'INSEE en 2010 [32].

² Dans la suite, nous utiliserons les termes « hospitalisation » et « hospitalisé » au sens de « hospitalisation de plus de 24 h » et « hospitalisé plus de 24 h », et l'expression « blessé non hospitalisé » désignera les autres blessés (soins médicaux hors hôpital, et blessés n'étant pas admis à l'hôpital pour une durée supérieure à 24 h).

³ Au sens de l'INSEE, une unité urbaine est une commune ou un ensemble de communes présentant une zone de bâti continu (pas de coupure de plus de 200 mètres entre deux constructions) qui compte au moins 2 000 habitants. En outre, chaque commune concernée possède plus de la moitié de sa population dans cette zone bâtie (source : INSEE, <https://www.insee.fr/fr/information/2115018>). L'unité urbaine se distingue de l'aire urbaine, qui est un ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain (unité urbaine) de plus de 10 000 emplois, et par des communes rurales ou unités urbaines (couronne périurbaine) dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle ou dans des communes attirées par celui-ci (source : INSEE, <https://www.insee.fr/fr/information/2115011>).

⁴ Cela aurait en effet impliqué une vérification manuelle de la localisation des accidents, imposant souvent le retour au procès-verbal de police ou de gendarmerie, sur un ensemble total d'accidents représentant de l'ordre de 20 000 cas sur les 29 agglomérations prises en compte ; cela n'était pas compatible avec le temps imparti pour cette recherche. De telles contraintes devraient diminuer à l'avenir, la localisation des accidents par coordonnées GPS dans le fichier BAAC s'étant développée ces dernières années.

Un autre choix possible, et logique – s'agissant d'examiner les incidences de choix de politique de transport – aurait été de retenir comme périmètre d'analyse le périmètre des transports urbains (PTU, désormais appelé, depuis 2015, « ressort territorial des autorités organisatrices de la mobilité »), qui regroupe des communes s'accordant pour organiser ensemble les transports publics. Cependant, ces périmètres dépendent beaucoup des conditions politiques locales et correspondent de ce fait à des entités relativement disparates sur le plan géographique, ce qui ne permettrait pas de mettre en œuvre des analyses comparatives cohérentes. Pour cette raison, le périmètre d'analyse retenu est celui de l'unité urbaine, qui correspond à la notion d'agglomération, et se situe à une échelle souvent comparable à celle du PTU⁵.

2.3. Sélection des unités urbaines équipées de tramway

Les périodes d'observation des accidents devant être comprises entre 2005 et 2016⁶, nous avons sélectionné l'ensemble des unités urbaines ayant mis en place un système de tramway pendant cette période. La comparaison portant sur une période « avant » et une période « après » – chacune d'au moins deux ans – excluant les années de travaux ainsi que l'année de mise en circulation du tramway, il a fallu écarter les agglomérations pour lesquelles des travaux étaient déjà engagés en 2005 ou en 2006. De même, les unités urbaines dans lesquelles des travaux de réalisation ou d'extension du réseau de tramway se sont poursuivis jusqu'en 2015 ou 2016 ont aussi été écartées.

Compte tenu de ces contraintes, sept unités urbaines ont été retenues : celles d'Angers, Besançon, Brest, Dijon, Le Havre, Reims et Tours. La population de ces unités urbaines variait entre 134 000 et 345 000 habitants (en 2006). Aucune de ces agglomérations ne disposait, dans les années précédant la mise en œuvre du projet de tramway étudié, de système de transport de type métro ou de ligne de tramway déjà en fonctionnement (même

⁵ S'agissant des sept villes considérées s'étant équipées d'un tramway : les PTU de Brest, Dijon, Le Havre, et Reims (avant la modification de 2013) correspondent approximativement à l'unité urbaine correspondante et concernent une population représentant de 100% à 106% de celle de l'unité urbaine. Pour deux autres villes (Angers et Besançon), le PTU est notablement plus vaste que l'unité urbaine (la population du PTU y représente respectivement 124% et 134% de celle de l'unité urbaine), et dans le cas de Tours, le PTU est au contraire plus réduit que l'unité urbaine (il représente 86% de sa population).

⁶ Dernière année pour laquelle les données d'accidents sont accessibles, au moment de la recherche rapportée dans cet article.

si toutes ont connu des systèmes de tramway au début du vingtième siècle).

Quelques éléments sur les unités urbaines retenues et leurs réseaux de tramway sont présentées dans les

tableaux 1 et 2. La population mentionnée est la somme des populations municipales des communes de l'unité urbaine.

Tableau 1. Nombre de communes et population des unités urbaines retenues

Unité urbaine	Nombre de communes	Population en 2006	Population en 2015	Évolution 2006-2015
Angers	10	219 558	225 978	+2,9 %
Besançon	11	134 952	135 448	+0,4 %
Brest	7	202 886	200 530	-1,2 %
Dijon	15	238 088	243 244	+2,2 %
Le Havre	18	247 624	237 578	-4,1 %
Reims	7	212 022	212 949	+0,4 %
Tours	36	344 469	353 042	+2,5 %

Tableau 2. Éléments sur les réseaux de tramways des unités urbaines retenues

	Longueur (km)	Nombre de lignes	Nombre de stations	Exploitation	Matériel roulant	Début des travaux	Mise en service
Angers	12,3	1	25	Keolis	Alstom	2007	2011
Besançon	14,5	2	31	Keolis	CAF SA	2010	2014
Brest	14,3	1	28	Keolis	Alstom	2009	2012
Dijon	19,0	2	35	Keolis	Alstom	2010	2012
Le Havre	13,0	2	23	Transdev	Alstom	2009	2012
Reims	11,2	2	23	Transdev	Alstom	2008	2011
Tours	14,8	1	29	Keolis	Alstom	2010	2013

Le tramway d'Angers dispose d'une ligne qui traverse deux communes de l'unité urbaine (Angers et Avrillé). Une seconde ligne est prévue dont les travaux doivent débuter en 2019. Le réseau de tramway de Besançon comporte deux lignes, dont une partie en tronc commun (8,5 km), et traverse deux communes de l'unité urbaine (Besançon et Chalezeule). Dans le cas de Brest, une seule ligne est en fonctionnement ; elle est située sur la commune de Brest mais dispose de trois terminus aux portes des communes de Plouzané, Gouesnou et Guipavas. Une seconde ligne, prévue pour 2025, est en projet.

Le tramway de Dijon dispose de deux lignes, dont une partie en tronc commun (1 km) ; ces lignes traversent trois communes de l'unité urbaine (Dijon, Quetigny et Chenôve). Quant au réseau de tramway du Havre, il comporte deux lignes, dont une partie en tronc commun (4 km) ; ces lignes se situent sur la commune du Havre, reliant la ville basse à deux quartiers de la ville haute : les quartiers de Mont-Gaillard au nord, en bordure de la commune d'Octeville, et de Caucriauville à l'est, à proximité de la commune de Harfleur. Dans le cas de Reims, le réseau est composé de deux lignes, dont une partie de huit kilomètres en tronc commun. L'ensemble

de ce réseau se situe dans la commune de Reims, hormis une station desservant la gare TGV située sur la commune rurale de Bezannes en dehors de l'unité urbaine de Reims. À Tours, le réseau de tramway est constitué d'une ligne, qui traverse deux communes de l'unité urbaine (Tours et Joué-lès-Tours). Une seconde ligne est en projet.

2.4. Sélection des unités urbaines de référence

De façon à constituer une base de comparaison satisfaisante, les unités urbaines de référence ont été sélectionnées selon les critères suivants :

- taille d'agglomération comprise entre 100 000 et 399 999 habitants (en 2006),
- absence d'équipement de transport collectif de type tramway ou métro mis en service au cours de la période 2005-2016 ou déjà en service au début de cette période.

L'application de ces critères a conduit à retenir les 22 unités urbaines suivantes : Amiens, Angoulême, Annecy, Bayonne, Béthune, Chambéry, Creil, Dunkerque, La Rochelle, Limoges, Lorient, Maubeuge, Metz, Montbéliard, Nîmes, Pau, Perpignan, Poitiers, Saint-Nazaire, Thionville, Troyes, Valence.

2.5. Analyses mises en œuvre

Dans un premier temps nous avons procédé à une analyse distincte pour chacune des sept unités urbaines étudiées ayant été équipée d'un système de tramway sur la période 2005-2016. Pour chacune d'entre elles prise individuellement, l'évolution des accidents entre la période avant travaux et la période après mise en service du tramway est mise en évidence puis comparée à celle observée, sur les mêmes périodes, sur l'ensemble des unités urbaines de référence. Il est alors possible de conclure, pour chacune des sept unités urbaines équipées d'un système de tramway, à une évolution plus favorable ou moins favorable (ou similaire) par rapport à celle observée sur les unités urbaines de référence. Pour ces analyses ville par ville, les périodes d'étude sont en moyenne de 4 ans avant travaux et 3,85 ans après mise en service.

Dans un second temps, nous avons cherché à quantifier l'évolution moyenne des accidents sur l'ensemble des sept unités urbaines considérées, et nous l'avons comparée à l'évolution observée sur les unités urbaines de référence. Pour cela, il a été nécessaire de considérer une période « avant » commune, donc antérieure aux travaux du tramway pour la totalité des sept unités urbaines concernées (soit une période réduite aux années 2005 et 2006), et une période « après » également valable pour ces sept unités urbaines (soit une période réduite aux années 2015 et 2016). Des techniques d'analyse statistique, que nous décrivons plus loin (dans la section 4.1), ont permis d'agrèger les évolutions observées sur ces sept unités urbaines, et d'autre part sur les unités urbaines de référence, et d'établir une comparaison. Les mêmes analyses ont été ensuite réitérées en se focalisant sur certains groupes d'accidents, selon la catégorie (piétons, usagers de vélos, usagers de deux-roues à moteur, et usagers d'autres véhicules motorisés) des victimes hospitalisées ou décédées.

3. Analyses ville par ville

3.1. Principe de l'analyse de l'évolution des nombres d'accidents

L'évolution, entre la période « avant » et la période « après », des nombres d'accidents de la circulation entraînant au moins une hospitalisation (ou un décès)⁷ a

été quantifiée selon la méthode décrite ci-après, pour chaque unité urbaine concernée.

Un indicateur de l'évolution du nombre annuel d'accidents entraînant au moins une hospitalisation est le rapport du nombre annuel d'accidents en situation « après » à ce qu'il était en situation « avant ». L'estimation de cet indice d'évolution est alors :

$$e = (x_2/t_2)/(x_1/t_1) \quad (1)$$

où x_1 et x_2 représentent les nombres d'accidents entraînant au moins une hospitalisation constatés dans l'unité urbaine sur la période « avant » et sur la période « après », respectivement, et où t_1 et t_2 représentent les nombres d'années correspondant à la période « avant » et à la période « après », respectivement.

Une valeur de e de 0,7 correspond par exemple à une baisse de 30% du nombre annuel d'accidents entre les deux périodes. Il faut noter que cet indice traduit l'évolution de l'enjeu accidentologique (en termes d'accidents entraînant au moins une hospitalisation), et non pas celle du niveau de sécurité du système de déplacements (ce qui supposerait de prendre en compte aussi le volume des déplacements, et donc de disposer de données suffisantes sur la mobilité). L'estimation e peut être complétée par le calcul d'un intervalle de confiance. Les nombres d'accidents x_1 et x_2 sont considérés comme des réalisations de variables de Poisson⁸ X_1 et X_2 . L'indice d'évolution peut être alors appréhendé comme un rapport de taux de Poisson, et son intervalle de confiance à 95 % est estimé comme suit⁹ [35] :

$$IntConf_{95} = [(x_2/t_2)/(x_1/t_1)] \times \exp(\pm 1,96\sqrt{1/x_1 + 1/x_2}) \quad (2)$$

L'indice d'évolution et l'intervalle de confiance ainsi obtenus peuvent être alors comparés à l'évolution observée, entre les deux mêmes périodes, sur les unités urbaines de taille comparable n'ayant pas été équipées de systèmes de tramway. Cette évolution sur l'ensemble

⁸ La loi de Poisson, particulièrement adaptée à l'étude des événements rares et indépendants, est classiquement utilisée dans le domaine de l'accidentologie, et cette utilisation a été également justifiée par des travaux empiriques comme ceux de Nicholson et Wong [33].

⁹ Cet intervalle de confiance approché repose sur le caractère approximativement normal de la distribution de $\log[(x_2/t_2)/(x_1/t_1)]$, de variance estimée $(1/x_1 + 1/x_2)$. Cette approximation est moins bonne dans le cas de petits nombres : cet intervalle tend en effet à devenir excessivement « conservatif », c'est-à-dire trop large, lorsque les espérances de X_1 et X_2 deviennent faibles (inférieures à une dizaine), si l'on se réfère aux travaux de Graham, Mengersen et Morton [34].

⁷ Dans la suite, nous emploierons « accident entraînant au moins une hospitalisation » dans le sens de « accident entraînant au moins une hospitalisation ou un décès ».

de référence peut être caractérisée de la même façon par un indice d'évolution et un intervalle de confiance.

Le degré de signification statistique de l'éventuelle différence d'évolution entre l'unité urbaine étudiée et l'ensemble d'unités urbaines de référence peut être appréhendé au moyen d'un test du χ^2 réalisé sur le tableau 2×2 constitué par les nombres (x_1, x_2, z_1, z_2) où z_1 et z_2 représentent les nombres d'accidents entraînant au moins une hospitalisation observés sur l'ensemble des unités urbaines de référence, sur la période « avant » et sur la période « après » respectivement.

3.2. Résultats des analyses ville par ville concernant l'évolution des nombres d'accidents

Pour chacune des villes s'étant équipées d'un tramway, les résultats concernant l'évolution des nombres d'accidents entraînant au moins une hospitalisation entre la période avant travaux et la période après mise en service, par comparaison entre l'unité urbaine concernée et les unités urbaines de référence considérées dans leur ensemble, sont rapportés dans le tableau 3.

Tableau 3. Analyses ville par ville de l'évolution du nombre annuel d'accidents entraînant au moins une hospitalisation comparée à celle observée sur les unités urbaines de référence

Unité urbaine	Périodes d'étude		Unité urbaine d'intérêt		22 unités urbaines de référence		K χ^2 <i>p</i> -value		
	Avant	Après	Nb. d'accidents sur les périodes avant et après	Indice d'évolution du nombre <i>annuel</i> d'accidents (et i. c. à 95 %)	Nb. d'accidents sur les périodes avant et après	Indice d'évolution du nombre <i>annuel</i> d'accidents (et i. c. à 95 %)			
Angers	2005 à 2006	2012 à 2016	168	384	0,91 (0,76 à 1,10)	4032	5840	0,58 (0,56 à 0,60)	<0,001 (S)
Besançon	2005 à 2009	2015 à 2016	407	127	0,78 (0,64 à 0,95)	8786	2241	0,64 (0,61 à 0,67)	0,053 (NS)
Brest	2005 à 2008	2013 à 2016	215	209	0,97 (0,80 à 1,18)	7206	4571	0,63 (0,61 à 0,66)	<0,001 (S)
Dijon	2005 à 2009	2013 à 2016	516	200	0,48 (0,41 à 0,57)	8786	4571	0,65 (0,63 à 0,67)	<0,001 (S)
Le Havre	2005 à 2008	2013 à 2016	325	345	1,06 (0,91 à 1,24)	7206	4571	0,63 (0,61 à 0,66)	<0,001 (S)
Reims	2005 à 2007	2012 à 2016	226	236	0,63 (0,52 à 0,75)	5707	5840	0,61 (0,59 à 0,64)	0,831 (NS)
Tours	2005 à 2009	2014 à 2016	900	697	1,29 (1,17 à 1,42)	8786	3427	0,65 (0,62 à 0,68)	<0,001 (S)

Notes :

- (S) désigne les résultats statistiquement significatifs au seuil de 0,05, et (NS) les résultats non significatifs.
- Chaque unité urbaine s'étant équipée d'un tramway est comparée à l'ensemble des 22 unités urbaines de référence.

Les différences, d'une ligne du tableau à l'autre, entre les nombres d'accidents des unités urbaines de référence s'expliquent par le fait que les périodes d'étude considérées peuvent varier selon les dates de travaux et de mise en service du tramway dans l'unité urbaine d'intérêt.

Il apparaît dans le tableau 3 que dans le cas d'Angers, l'indice d'évolution, entre la période avant travaux et la période après mise en service, est de 0,91, ce qui correspond à une baisse du nombre annuel d'accidents (entraînant au moins une hospitalisation) de 9 %. Mais,

entre ces deux mêmes périodes, la baisse observée sur les unités urbaines de référence a été de 42 % (indice d'évolution de 0,58). Cette différence d'évolution entre l'unité urbaine d'Angers et les unités urbaines de référence est significative sur le plan statistique (*p*-value inférieure à 0,001). On peut donc conclure qu'entre ces deux périodes, la sécurité des déplacements a évolué de façon moins favorable dans l'unité urbaine d'Angers que dans les unités urbaines de référence.

Une évolution significativement moins favorable, après mise en service du tramway, dans l'unité urbaine concernée par rapport aux unités urbaines de référence

peut être également relevée dans les cas de Brest (-3 % *versus* -37 %), du Havre (+6 % *versus* -37 %), et de Tours (+29 % *versus* -35 %). Dans le cas de Besançon, si l'évolution paraît moins favorable que dans les unités urbaines de référence (-22 % *versus* -36 %), cette différence n'est cependant pas statistiquement significative au seuil de 0,05 (*p*-value de 0,053).

À l'inverse, dans le cas de Dijon, l'évolution observée du nombre annuel d'accidents ayant entraîné une hospitalisation entre les deux périodes (-52 %) est une baisse plus forte que la baisse observée parallèlement sur les unités urbaines de référence (-35 %). Cette différence d'évolution est statistiquement significative (*p*-value inférieure à 0,001). Enfin, dans le cas de Reims, la baisse observée (-37 %) n'est pas notablement ni significativement différente de celle observée sur les unités urbaines de référence (-39 %).

En bref, il ressort de ces analyses ville par ville que, relativement aux évolutions observables sur les unités urbaines de référence, la mise en place d'un système de tramway s'est accompagnée :

- pour quatre des sept unités urbaines concernées, d'une évolution significativement moins favorable du nombre d'accidents entraînant au moins une hospitalisation ;
- pour une autre de ces unités urbaines, au contraire, d'une évolution significativement plus favorable (par rapport aux unités urbaines de référence) ;
- pour les deux unités urbaines restantes, d'une évolution non significativement différente sur le plan statistique de celle observée sur les unités urbaines de référence.

4. Analyse pour l'ensemble des villes

4.1. Méthode

L'objectif est d'estimer un indice d'évolution commun (ou un indice d'évolution moyen) pour les sept agglomérations étudiées considérées conjointement, et de le comparer à l'évolution sur les agglomérations de référence. Une telle démarche n'a réellement de sens que s'il s'agit d'une évolution entre une période « avant » et une période « après » qui soient communes à l'ensemble des agglomérations étudiées. De ce fait, comme nous l'avons mentionné plus haut, nous avons considéré pour cette analyse une période « avant » constituée des années 2005 et 2006, antérieures aux travaux du tramway pour l'ensemble des sept villes étudiées, et une période « après » constituée des années 2015 et 2016, postérieures à la mise en service du tramway pour l'ensemble de ces sept villes.

Les indices d'évolution sur chacune des sept unités urbaines étudiées, entre les périodes 2005-2006 et 2015-2016, ont été estimés en utilisant la méthode déjà présentée plus haut au début de la section 3.

L'agrégation de ces résultats a été ensuite réalisée au moyen de la méthode usuellement employée pour les méta-analyses portant sur des rapports de taux, telle que décrite par exemple dans la référence [36] (page 20 et suivantes ; voir aussi [37-40]). Cette méthode permet d'une part d'estimer, sous une hypothèse d'homogénéité des évolutions entre ces différentes agglomérations, l'*indice d'évolution commun* et son intervalle de confiance (mais ce calcul n'est pas valide en présence d'hétérogénéité). Elle permet d'autre part de tester l'hypothèse d'homogénéité et, dans le cas fréquent où cette hypothèse est rejetée, de calculer néanmoins un *indice d'évolution moyen*, assorti d'un intervalle de confiance.

Nous présentons ici brièvement le principe du calcul de ces indices d'évolution commun ou moyen. Pour chaque entité (unité urbaine) étudiée i , la quantité $e_i = (x_{2i}/t_{2i})/(x_{1i}/t_{1i})$ représente une estimation de l'indice d'évolution pour cette entité considérée individuellement, qui est le rapport de taux $r_i = (m_{2i}/t_{2i})/(m_{1i}/t_{1i})$ où m_{1i} et m_{2i} sont les espérances mathématiques, non connues, des variables de Poisson X_{1i} et X_{2i} (dont x_{1i} et x_{2i} sont des réalisations). Les périodes d'observation avant et après, de durées t_1 et t_2 , sont identiques pour toutes les entités étudiées. Dans l'hypothèse d'homogénéité, où tous les rapports de taux r_i sont supposés identiques ($r_i = r$ pour tout i), les quantités $(x_{2i}/t_{2i})/(x_{1i}/t_{1i})$ sont différentes estimations du même indice, qui est l'indice d'évolution commun (r). L'estimation de r repose sur la combinaison de ces différentes estimations, ou plus précisément de leurs logarithmes $\log(e_i)$, avec des poids w_i tenant compte de leur robustesse (poids inversement proportionnel à la variance de $\log(e_i)$: $w_i = 1/[1/x_{1i} + 1/x_{2i}]$). L'estimation de $\log(r)$ est ainsi égale à $[\sum w_i \log(e_i)]/(\sum w_i)$ et permet de déduire ensuite, par exponentiation, celle de r . La statistique d'hétérogénéité Q de DerSimonian et Laird [40], calculée à partir des écarts entre les $\log(e_i)$ et l'estimation de $\log(r)$, permet de tester l'hypothèse d'homogénéité des rapports de taux r_i entre les entités. Si l'hypothèse d'homogénéité n'est pas retenue, le calcul d'un indice d'évolution commun n'est plus légitime, mais il reste possible d'estimer un indice d'évolution moyen – qui ne représente plus une évolution commune aux différentes entités, mais plutôt un comportement moyen – en utilisant une pondération modifiée, dépendant de la valeur de Q . Pour davantage

de détails sur la méthode et les calculs mis en œuvre, le lecteur peut se reporter notamment à la référence [36] (p. 20 et suivantes).

Les résultats obtenus pour les unités urbaines s'étant équipées d'un tramway peuvent alors être comparés à l'indice d'évolution estimé pour les unités urbaines de référence sur les mêmes périodes. Pour ces unités de référence, il est possible en effet d'estimer un indice commun ou moyen, obtenu en appliquant la même méthode.

4.2. Résultats globaux

La mise en œuvre des méthodes mentionnées plus haut a conduit à mettre en évidence la présence d'hétérogénéité entre les unités urbaines, aussi bien dans le groupe des unités urbaines s'étant équipées d'un tramway que dans celui des unités urbaines de référence. Les résultats présentés (Tableau 4) sont donc les indices d'évolution moyens (et non communs) correspondant à chacun de ces deux groupes, assortis d'intervalles de confiance à 95 %.

Tableau 4. Estimation de l'indice d'évolution moyen sur les unités urbaines étudiées et sur les unités urbaines de référence (accidents entraînant au moins une hospitalisation)

Groupe d'unités urbaines	Indice d'évolution moyen du nombre annuel d'accidents entre les périodes 2005-2006 et 2015-2016 (et intervalle de confiance à 95 %)
Unités urbaines où un tramway a été mis en service ($n = 7$)	0,77 (0,57 à 1,02)
Unités urbaines de référence ($n = 22$)	0,55 (0,50 à 0,60)

L'évolution des nombres d'accidents entraînant au moins une hospitalisation apparaît moins favorable en moyenne pour les unités urbaines ayant été équipées d'un système de tramway entre ces deux périodes (baisse d'environ 23 %) que pour les unités urbaines de référence n'ayant pas été équipées d'un tel système (baisse d'environ 45 %).

Pour apprécier le degré de signification statistique des différences d'évolution entre les unités urbaines étudiées et les unités urbaines de référence, un test de Mann-Whitney a été mis en œuvre sur les rangs des indices d'évolution observés pour chaque unité urbaine,

comparant ainsi la distribution de ces indices pour ces deux groupes d'unités urbaines. Ce test conduit à conclure à une différence statistiquement significative entre les deux groupes d'unités urbaines ($p = 0,008$).

La figure 1 représente les estimations (assorties d'intervalles de confiance à 95 %) des indices d'évolution du nombre annuel d'accidents entraînant au moins une hospitalisation, entre la période 2005-2006 et la période 2015-2016, pour les différentes unités urbaines concernées.

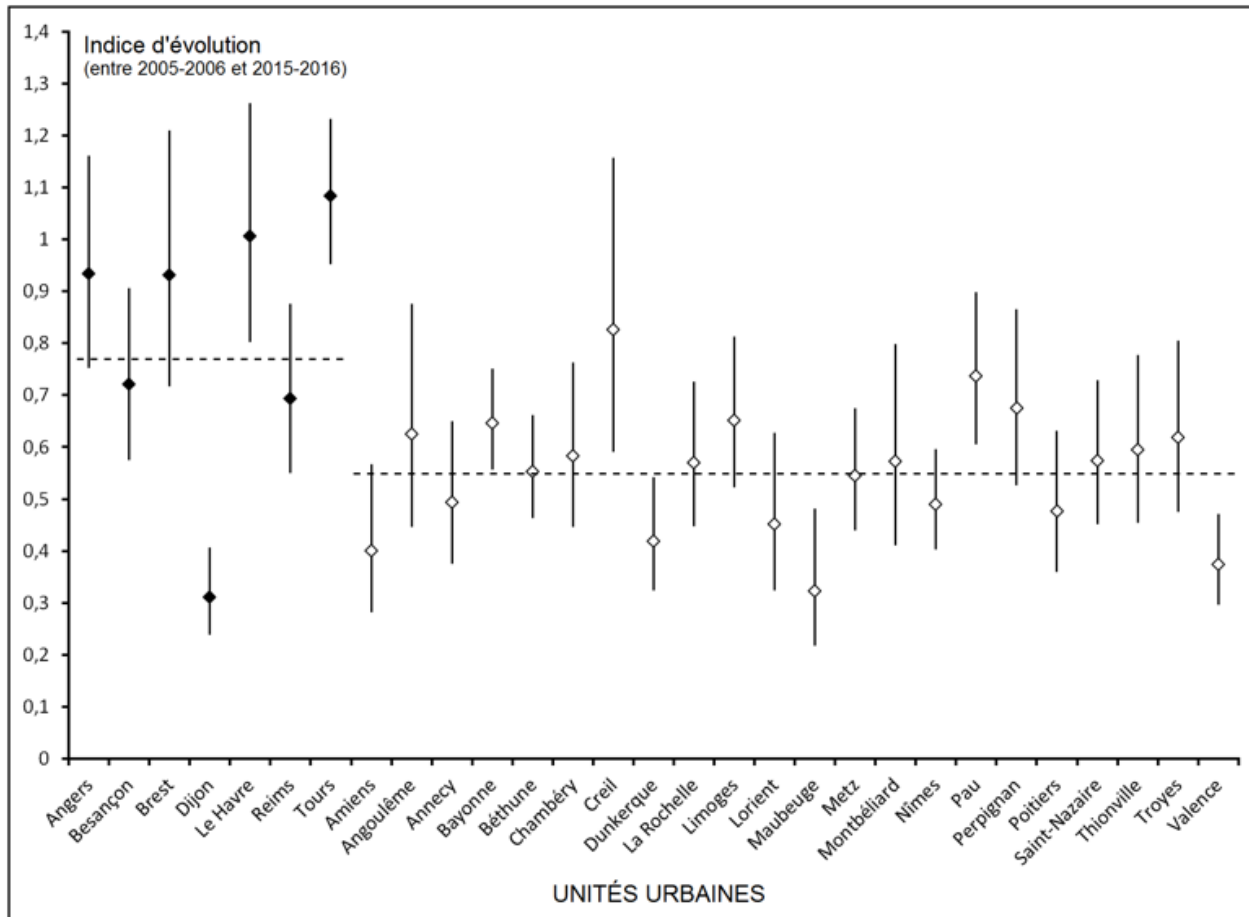


Fig. 1. Indices d'évolution entre 2005-2006 et 2015-2016, pour les unités urbaines équipées d'un tramway (losanges noirs) et pour les unités urbaines de référence (losanges blancs), assortis de leurs intervalles de confiance (les traits en pointillés représentent les indices d'évolution moyens)

4.3. Résultats par catégories d'usagers

La même procédure a été appliquée à chacune des catégories d'accidents ci-après, considérée isolément :

- les accidents entraînant au moins une victime piétonne blessée et hospitalisée ou décédée,
- les accidents entraînant au moins une victime cycliste blessée et hospitalisée ou décédée,
- les accidents entraînant au moins une victime usager de deux-roues motorisé blessée et hospitalisée ou décédée,
- les accidents entraînant au moins une victime usager d'un véhicule d'une autre catégorie (occupant d'un véhicule hors deux-roues et cycles) blessée et hospitalisée ou décédée.

Quelques chevauchements entre ces différentes catégories sont possibles (par exemple dans le cas d'un

accident entre deux-roues motorisé et piéton engendrant des blessures nécessitant une hospitalisation pour les deux protagonistes), mais ils sont peu nombreux et ne sont pas de nature à perturber les analyses mode par mode, qui sont réalisées de façon indépendante, ni l'analyse concernant les accidents impliquant tous types d'usagers, qui porte sur des chiffres sans double compte.

Les nombres d'accidents des différentes catégories, pour l'ensemble des unités urbaines équipées de tramway entre les deux périodes étudiées, et pour l'ensemble des unités urbaines de référence, figurent dans le tableau 5.

Les procédures d'analyse décrites plus haut, appliquées à ces différentes catégories d'accidents, ont également mis en évidence la présence d'hétérogénéité des

évolutions, au sein du groupe des unités urbaines d'intérêt comme parmi les unités urbaines de référence. Aussi les résultats se présentent-ils sous la forme d'indices d'évolution moyens, traduisant une tendance moyenne pour chaque groupe d'unités urbaines et non une évolution commune à toutes les unités urbaines du groupe.

L'indice d'évolution moyen du nombre annuel d'accidents (de chacune de ces catégories), pour le groupe des unités urbaines s'étant équipées d'un tramway, est présenté dans le tableau 6, ainsi que l'indice d'évolution moyen pour les unités urbaines de référence.

Tableau 5. Nombres d'accidents entraînant au moins une hospitalisation pour les différentes catégories d'usagers

	Nombre total d'accidents entraînant au moins une hospitalisation parmi				
	– l'ensemble des usagers	– les piétons	– les usagers de bicyclettes	– les usagers de deux-roues motorisés	– les usagers d'autres véhicules
Unités urbaines avec mise en service d'un tramway					
Période avant (2005-2006)	1453	390	123	556	402
Période après (2015-2016)	1213	309	139	386	384
Unités urbaines de référence					
Période avant (2005-2006)	4032	840	251	1588	1383
Période après (2015-2016)	2241	602	184	798	672

Tableau 6. Indices d'évolution moyens (entre 2005-2006 et 2015-2016) pour les deux groupes d'unités urbaines, et signification statistique des différences entre les deux groupes, pour chaque catégorie d'usager

	Indice d'évolution moyen (et intervalle de confiance à 95 %) du nombre annuel d'accidents entraînant au moins une hospitalisation parmi				
	– l'ensemble des usagers	– les piétons	– les usagers de bicyclettes	– les usagers de deux-roues motorisés	– les usagers d'autres véhicules
Unités urbaines avec mise en service d'un tramway	0,77 (0,57 à 1,02)	0,79 (0,56 à 1,10)	1,08 (0,70 à 1,68)	0,66 (0,52 à 0,89)	0,81 (0,57 à 1,14)
Unités urbaines de référence	0,55 (0,50 à 0,60)	0,72 (0,64 à 0,81)	0,76 (0,62 à 0,93)	0,49 (0,44 à 0,56)	0,49 (0,43 à 0,55)
<i>p</i> -value du test de Mann-Whitney	0,008 (S)	0,231 (NS)	0,078 (NS)	0,048 (S)	0,005 (S)

S'agissant des accidents avec une victime piétonne hospitalisée ou décédée, la baisse entre les deux périodes n'est pas notablement ni significativement différente sur les unités urbaines ayant été équipées d'un tramway (-21 %) et sur les unités urbaines de référence (-28 %).

Dans le cas des accidents avec des victimes cyclistes, une hausse de 8 % est observée pour les unités urbaines ayant été équipées de tramway, et une baisse de 24 % pour les unités urbaines de référence. Cette différence notable n'est cependant pas statistiquement significative au seuil de 0,05 ($p = 0,078$), ce qui pourrait tenir aussi aux faibles effectifs considérés pour cette catégorie d'usager (voir tableau 5).

Concernant les accidents entraînant au moins une hospitalisation pour un usager de deux-roues à moteur, l'évolution apparaît significativement moins favorable

sur les unités urbaines équipées de tramway (-34 %) que sur les unités urbaines de référence (-51 %). Ce résultat ne peut s'expliquer par une évolution différenciée de la structure par âge de la population (qui pourrait avoir une incidence sur l'usage de ces véhicules) : nous avons vérifié que cette structure par âge n'avait pas évolué de façon sensiblement différente entre les deux groupes d'unités urbaines¹⁰.

Enfin, s'agissant des accidents entraînant au moins une hospitalisation parmi les usagers d'autres types de véhicule, l'évolution est significativement moins favorable sur les unités urbaines équipées de tramway

¹⁰ En nous appuyant sur les statistiques mises en ligne par l'INSEE (www.insee.fr/fr/statistiques, fiches synthétiques « Évolution et structure de la population ») pour les unités urbaines considérées.

(-19 %) que sur les unités urbaines de référence (-51 %).

5. Discussion et conclusions

Les travaux que nous venons de présenter suggèrent que, dans les agglomérations qui ont été équipées d'un réseau de tramway dans une période récente (entre 2005 et 2016), l'évolution des accidents de la circulation (entraînant au moins une hospitalisation ou un décès) sur l'ensemble de l'unité urbaine, après la mise en service du tramway, est en moyenne moins favorable que dans les agglomérations n'ayant pas été équipées d'un tel réseau.

Certes, sur la période étudiée, l'évolution moyenne est favorable sur les villes s'étant dotées d'un tramway (-23 %) comme sur les unités urbaines de référence (-45 %), du fait notamment des tendances nationales d'amélioration liées à la politique de sécurité routière et à d'autres évolutions générales (évolutions technologiques, par exemple). Mais la différence d'évolution entre les deux groupes d'unités urbaines suggère qu'il existe d'autre part des facteurs d'évolution spécifiques (changements défavorables à la sécurité, ou augmentation particulière de la circulation) sur les unités urbaines s'étant dotées d'un tramway – ou du moins sur la plupart d'entre elles – qui viendraient en partie compenser la tendance générale à la baisse.

Il serait cependant abusif de conclure que cette différence d'évolution traduit nécessairement « l'effet du tramway » en lui-même, car elle pourrait tenir aussi, comme nous l'avons mentionné plus haut, à d'autres développements concomitants des politiques urbaines, ou à des dynamiques et tendances d'évolution préexistantes qui différencieraient les villes ayant opté pour ce mode de transport et les autres villes, et qui conditionneraient notamment l'évolution de la mobilité (et de la circulation automobile en particulier). Nous faisons référence ici aux travaux d'Offner [41] qui, sur la question plus générale des évolutions socio-économiques attribuées aux infrastructures de transport, note qu'il est illusoire de prétendre isoler « l'effet » d'une grande infrastructure, dans une vision déterministe, et relève que « les travaux empiriques rigoureux ne concluent, au mieux, qu'à une amplification et une accélération de tendances préexistantes » (p. 233). D'autres auteurs évoquent la notion de « sentier de dépendance » (ou dépendance au sentier, *path dependence*) pour exprimer l'idée que les décisions en matière de politique de transport sont en partie contraintes par le contexte préexistant et les décisions antérieures [42].

Bien entendu, la mise en place d'un tramway est néanmoins susceptible d'avoir des incidences directes et indirectes sur le nombre d'accidents de la circulation routière. La modification localisée des conditions de circulation, liée aux aménagements dédiés au tramway, peut influencer sur les risques d'accident indépendamment du volume de circulation, dans un sens favorable (réduction du nombre et de la largeur des voies, par exemple) ou défavorable (complication des espaces, effets de coupure)[22, 24], mais sur un linéaire faible, si on le rapporte à l'échelle de l'unité urbaine. Le report d'une partie du trafic vers d'autres rues peut aussi modifier le niveau de risque auquel ce trafic reporté est exposé. Mais, parmi les facteurs explicatifs du nombre d'accidents de la circulation, le volume de trafic est de façon générale un facteur largement prédominant, dans les modélisations cherchant à établir les corrélations entre une grande variété de variables explicatives et les nombres d'accidents observés [43]. Sur ce point, s'agissant du volume de trafic automobile, l'introduction d'un réseau de tramway, en tant que nouvelle offre de transport public, est *a priori* susceptible de favoriser un report modal de la voiture vers les transports collectifs, du moins pour certains trajets¹¹. La réduction de l'espace alloué à la circulation et au stationnement sur les axes réaménagés pour le tramway peut aussi contribuer à un tel report modal. Mais la nouvelle offre de transport public peut aussi avoir d'autres effets et favoriser de nouveaux déplacements ou des déplacements à plus longue portée, et encourager des reports de circulation ou de nouveaux trafics automobiles (entre des périphéries et des parcs de stationnement en extrémité de ligne, par exemple). L'effet global sur le volume de circulation automobile à l'échelle de l'unité urbaine reste incertain. L'absence de données de mobilité suffisantes, sur les périodes avant et après, ne nous permet pas d'apporter d'éléments empiriques à ce sujet¹². La littérature antérieure tend à montrer que la mise en place d'un tramway conduit à une augmentation sensible de la fréquentation des transports publics, mais ne se traduit généralement pas par une réduction de la part modale de l'automobile [4, 7]. Cependant, il n'existe pas à notre connaissance

¹¹ Ce report n'est pas nécessairement immédiat, puisque l'augmentation de l'usage des transports collectifs après la réalisation d'un réseau de tramway ne semble pleinement acquise qu'à partir de la deuxième année après la mise en service [7].

¹² Cela n'a pas été possible dans la mesure où aucune des sept agglomérations ayant mis en place un tramway au cours de la période étudiée ne disposait d'enquêtes ménages-déplacements (répondant aux standards méthodologiques reconnus), à la fois pour la période avant aménagement et pour la période après aménagement.

de travaux suggérant que l'introduction d'un réseau de tramway, en elle-même, puisse conduire à une augmentation importante de la circulation automobile, plus importante qu'en l'absence de tramway¹³.

Il est envisageable d'autre part que d'autres développements des politiques locales d'aménagement et de déplacements, concomitants de l'introduction d'un réseau de tramway, aient pu contribuer à favoriser l'augmentation du trafic automobile dans les villes s'étant dotées d'un tel système de transport. Par exemple, pour 6 des 7 unités urbaines étudiées, des aménagements significatifs de voirie (réalisation de plusieurs kilomètres de rocade) ont été mis en œuvre sur la période étudiée, ce qui n'était le cas que pour 9 des 22 unités urbaines de référence. Frenay avait déjà relevé lors de travaux antérieurs que l'ouverture d'infrastructures de contournement, permettant l'accroissement de la fonction de transit, a souvent été concomitante de la mise en place d'un réseau de tramway, et il suggère que ces réalisations d'infrastructures routières ont pu aussi libérer des capacités de circulation sur d'autres voiries [46]. S'agit-il là de coïncidences, ou bien tramway et aménagement de voiries routières en périphérie s'inscrivent-ils dans une même stratégie d'ensemble? Répondre à cette question supposerait de mettre en œuvre des analyses qualitatives approfondies des politiques conduites localement dans ces différentes villes, ce qui n'était pas envisageable dans le cadre de la présente recherche, mais pourrait faire l'objet de travaux ultérieurs. De façon plus générale, Reigner et Hernandez [47] ont montré les ambivalences des politiques locales de mobilité, sur la base de l'analyse approfondie des plans

¹³ De façon générale, l'exploitation des enquêtes nationales sur les transports et les déplacements réalisées en 1994 et 2008 a montré que, dans les aires urbaines de plus de 100 000 habitants comme dans les unités urbaines qui en constituent les pôles, la mobilité individuelle locale (à moins de 80 km du domicile) en voiture tend à stagner sur cette période, en nombre de déplacements par personne, ou à augmenter légèrement si on prend en compte les distances parcourues [44, 45]. Cela suggère que, dans ces espaces, les distances totales parcourues en automobile (dans le cadre de la mobilité locale) tendent globalement à augmenter au moins au même rythme que l'accroissement démographique, sur cette période. Les quelques données ponctuelles disponibles sur une période plus récente (2005-2016), issues d'enquêtes ménages-déplacements réalisées dans certaines villes, restent trop peu nombreuses pour confirmer ou infirmer cette tendance, pour cette dernière période. Le nombre de déplacements en voiture par jour et par personne est en baisse dans quelques villes, mais il stagne ou est en légère augmentation dans d'autres villes (Rouen, Lille, par exemple). Source : CEREMA, www.cerema.fr/system/files/documents/2018/03/TableauxMobilités_EDVM_280218_1.xls (accès le 5 décembre 2018).

de déplacements urbains élaborés dans les villes de Marseille, de Grenoble et d'Aubagne dans les années 2000. Pour ces auteurs, les politiques conduites s'inscrivent principalement dans une recherche d'attractivité, cette notion étant associée d'une part à une certaine rapidité d'accès et à une bonne connexion aux différents réseaux de transport à longue distance (y compris routiers), et d'autre part à une certaine qualité environnementale, qui résulterait notamment d'aménagements et d'actions visant à se préserver des nuisances de l'automobile en favorisant les modes non motorisés et les transports publics. Selon ces auteurs, ces objectifs en partie antinomiques « cohabitent grâce à un partage territorial : aux centres-villes historiques et aux centralités secondaires la protection vis-à-vis de l'automobile, aux périphéries urbaines les grandes infrastructures routières » [47, p. 25]. Néanmoins, pour que ce cadre d'analyse puisse contribuer à expliquer nos résultats, il faudrait faire l'hypothèse que les villes qui s'inscrivent le plus fortement dans le registre de la mobilité durable et de ses outils symboliques (au point d'investir dans un réseau de tramway) cherchent en même temps à développer, plus que d'autres, des infrastructures pour l'automobile dans leurs périphéries, dans le cadre d'une recherche plus globale d'attractivité. Cette hypothèse resterait à mettre à l'épreuve dans de futurs travaux.

Enfin, une autre source possible de changement serait l'évolution de la place des villes étudiées dans leur environnement régional : les villes s'étant dotées d'un tramway seraient-elles par ailleurs touchées par des dynamiques plus fortes en matière de développement économique, d'étalement urbain ou d'attraction vis-à-vis d'autres pôles urbains? De telles dynamiques pourraient en effet influencer sur le développement des flux à longue distance et des flux entre les unités urbaines et les communes périurbaines qui les entourent. Un bref examen des données rassemblées par l'INSEE pour cette période ne conforte pas, en première analyse, l'hypothèse d'un développement plus marqué de ces unités urbaines s'étant équipées d'un tramway : les évolutions, entre 2006 et 2015, de la population des unités urbaines (+0,5 % en moyenne pour les unités urbaines d'intérêt, +2,1 % en moyenne pour les unités urbaines de référence), ou des emplois (-1,2 % et -1,1 % respectivement) ne suggèrent pas de différence

marquée¹⁴. De même, concernant l'étalement urbain, l'accroissement plus faible de la population des unités urbaines par rapport aux aires urbaines qui les entourent confirme que ce processus est toujours en cours, mais le constat ne diffère pas entre les villes s'étant dotées d'un tramway (+0,5 % en moyenne sur les unités urbaines concernées, contre +3,3 % en moyenne sur les aires urbaines qui les entourent) et les villes de référence (+2,1 % en moyenne sur ces unités urbaines, contre +4,6 % à l'échelle des aires urbaines)¹⁵. Des investigations plus approfondies et territorialisées, resteraient cependant nécessaires concernant en particulier la périurbanisation mais aussi l'évolution des flux à longue distance, qui ne peuvent être négligés [48], et des trafics de transit traversant les unités urbaines étudiées.

Les résultats exposés dans le présent article suggèrent également que les évolutions sont variables selon les catégories d'usagers. Globalement, la sécurité des piétons n'évolue pas différemment dans les agglomérations étudiées, par rapport aux agglomérations de référence. Mais l'évolution est significativement moins favorable pour les automobilistes et usagers de deux-roues.

Concernant les deux-roues à moteur, dans de nombreuses villes, de façon générale, la plus grande difficulté à circuler et à stationner dans les espaces centraux des villes a contribué à une augmentation de l'usage de ce mode de déplacement depuis une vingtaine d'années [49, 50]. Ces évolutions pourraient être plus marquées dans les villes s'étant dotées d'un tramway, du fait d'une réduction encore plus forte de l'espace alloué à la voiture, en particulier sur les axes où circule le tramway [51]. Cela pourrait expliquer en partie l'évolution moins favorable des nombres d'accidents liés à ce mode de déplacement dans les unités urbaines ayant opté pour le tramway. Cette hypothèse resterait à démontrer, mais elle nous semble toutefois plausible. Les plus grandes difficultés de circulation, si elles se traduisent par davantage de congestion, pourraient d'autre part favoriser les pratiques de « remontées de file » par les deux-roues

motorisés, qui correspondent à des risques d'accidents élevés [52].

S'agissant des cyclistes, une évolution particulière de l'usage de la bicyclette après mise en place du tramway, tenant à l'aménagement ou aux politiques de mobilité mises en œuvre sur la même période, ne peut être exclue. Le fait que la mise en œuvre du tramway se soit accompagnée, pour 3 des 7 villes concernées (soit 43 %), de la mise en place d'un système de vélos en libre-service n'en constitue pas, il est vrai, un indice probant : en effet, une proportion peu différente (32 % soit 7 sur 22) des unités urbaines n'ayant pas opté pour le tramway ont également mis en place un système de vélos en libre-service. Cependant, en ce qui concerne l'évolution des infrastructures, il faut noter que les réaménagements liés aux tramways incluent souvent des équipements cyclables, car ces travaux peuvent être considérés comme relevant de la rénovation de voies urbaines, pour laquelle la réalisation d'aménagements cyclables est obligatoire depuis 1996 (article L228-2 du Code de l'environnement) ; il est possible que ces équipements tendent à induire davantage de déplacements à bicyclette, ce qui pourrait favoriser l'augmentation du nombre d'accidents touchant des cyclistes.

Certaines limites des travaux rapportés dans cet article doivent être soulignées. Tout d'abord, notons que la démarche suivie reste globale et macroscopique. En effet, l'objectif de cet article était d'examiner l'évolution globale de l'insécurité des déplacements dans le périmètre des unités urbaines étudiées, et non d'examiner plus en détail la nature des changements à l'œuvre, comme l'évolution de la répartition spatiale des accidents au sein de chaque unité urbaine, ou l'évolution des mécanismes accidentels (sur la base de l'analyse des procès-verbaux de police). Du fait du nombre relativement important d'unités urbaines étudiées (29 au total), il n'a pas été possible de procéder à ces approfondissements. Ceux-ci restent cependant nécessaires et pourraient faire l'objet de futurs travaux dans le cadre d'approches plus territorialisées, portant sur un plus petit nombre de terrains. L'indisponibilité de données sur la mobilité est une autre limite importante du travail présenté dans cet article ; les interprétations avancées restent de ce fait, en grande partie, à l'état d'hypothèse. Un prolongement nécessaire consisterait à coupler l'analyse de l'évolution des accidents et celle de l'évolution des comportements de mobilité, ce qui supposerait de disposer d'enquêtes sur les déplacements avant et après aménagement. Les périodes d'étude considérées n'ont pas permis, d'autre part, de prendre en

¹⁴ Tous les chiffres cités dans ce paragraphe sont issus de l'analyse des statistiques mises en ligne par l'INSEE (www.insee.fr/fr/statistiques, fiches synthétiques « Évolution et structure de la population » et « Population active, emploi et chômage ») pour les unités urbaines et aires urbaines considérées.

¹⁵ Il s'agit d'évolutions à périmètre géographique constant.

compte d'éventuels effets à long terme du déploiement du tramway, liés notamment à la mobilité résidentielle (densification de l'habitat autour des gares, ou à l'inverse développement possible de l'habitat dans les communes de périphérie ou les communes périurbaines ayant un accès assez rapide aux terminus des lignes de tramway, par exemple). Enfin, si nos résultats mettent en évidence une évolution moins favorable, en moyenne, après mise en service du tramway, ils montrent aussi que les évolutions observées sont hétérogènes, et peuvent être plus favorables pour certaines villes. Les approfondissements évoqués pourraient aussi viser à mieux comprendre ces différences entre villes.

Les conclusions de la présente recherche, malgré les limites qui viennent d'être mentionnées, apportent un éclairage complémentaire par rapport aux travaux antérieurs, notamment ceux portant sur les effets observés sur les seuls axes desservis par le tramway, qui mettaient en évidence une forte baisse du nombre d'accidents corporels, sur ces voies, suite à la mise en service du tramway [24]. L'ensemble de ces résultats suggère que la mise en service d'un réseau de tramway, si elle peut réduire le nombre d'accidents sur les axes directement concernés, ne semble pas, en général, s'accompagner d'une amélioration de la sécurité des déplacements à l'échelle de l'agglomération, du moins

s'agissant des villes françaises qui se sont équipées de tramway dans une période récente.

Remerciements

Ce travail a été réalisé avec le soutien de l'Agence nationale de la recherche (ANR), dans le cadre du projet ANR-RED (Risques émergents de la mobilité durable). Les auteurs remercient d'autre part les évaluateurs (évaluatrices) anonymes pour leurs commentaires avisés et constructifs.

Annexe

L'analyse globale présentée dans la section 4 s'appuie sur des données d'accidents portant sur des périodes d'études homogénéisées, réduites aux années 2005-2006 pour la période avant, et 2015-2016 pour la période après. Les nombres d'accidents et les indices d'évolution correspondants, pour chacune des villes s'étant équipées de tramway, diffèrent donc légèrement de ceux donnés dans le tableau 3 (section 3) qui portaient sur des périodes d'étude différentes. Nous donnons donc dans le tableau 7 ci-après, à titre d'information, les chiffres pour les périodes 2005-2006 et 2015-2016.

Tableau 7. Évolution entre les périodes 2005-2006 et 2015-2016 des nombres d'accidents (entraînant au moins une hospitalisation) sur les unités urbaines s'étant équipées d'un tramway

Unité urbaine	Nombre d'accidents par an et pour 1000 habitants en période avant (2005-2006)	Nombre d'accidents en période avant (2005-2006)	Nombre d'accidents en période après (2015-2016)	Indice d'évolution du nombre annuel d'accidents (et i. c. à 95 %)
Angers	0,38	168	157	0,93 (0,75 à 1,16)
Besançon	0,65	176	127	0,72 (0,57 à 0,91)
Brest	0,29	116	108	0,93 (0,72 à 1,21)
Dijon	0,48	228	71	0,31 (0,24 à 0,41)
Le Havre	0,30	149	150	1,01 (0,80 à 1,26)
Reims	0,41	173	120	0,69 (0,55 à 0,88)
Tours	0,64	443	480	1,08 (0,95 à 1,23)

Références

1. King DA, Fisher LA (2016) Streetcar projects as spatial planning : a shift in transport planning in the United-States. *Journal of Transport Geography*, 54:383-390
2. Knowles RD (1996) Transport impacts of Greater Manchester's Metrolink light rail system. *Journal of Transport Geography*, 4:1-14
3. Pazos-Otón M (2012) Le retour du tramway dans les villes espagnoles : situation actuelle et perspectives. *Revue géographique de l'Est*, 52(1/2), mis en ligne le 16/10/2012, URL : <http://rge.revues.org/3524> (consulté le 08/06/2017)
4. Bonnel P, Cabanne I, Massot MH (2003) *Évolution de l'usage des transports collectifs et politiques de déplacements urbains*. La Documentation Française, Paris, 81 p
5. Beaucire F (2006) *Transports collectifs urbains : quelle contribution au développement urbain durable et par quels moyens ?* Institut Veolia Environnement, Paris, 49 p
6. Senior M (2009) Impacts on travel behaviour of Greater Manchester's light rail investment (Metrolink Phase 1): evidence from household surveys and census data. *Journal of Transport Geography*, 17:187-197
7. Gagnière V (2012) Les effets du tramway sur la fréquentation du transport public. Un bilan des agglomérations françaises de province. *Revue géographique de l'Est*, 52(1/2), mis en ligne le 16/10/2012, URL : <http://rge.revues.org/3508> (consulté le 25/04/2017)
8. Mercier A (2008) *Accessibilité et évaluation des politiques de transport en milieu urbain : le cas du tramway strasbourgeois*. Thèse de doctorat. Université Lumière Lyon 2, Lyon, 304 p
9. Chen H, Rufolo A, Duecker K (1998) Measuring the impact of light rail systems on single-family home values: a hedonic approach with geographic information system application. *Transportation Research Record*, 1617:38-43
10. Lewis-Workman S, Brod D (1997) Measuring the neighborhood benefits of rail transit accessibility. *Transportation Research Record*, 1576:147-153
11. Fritsch B (2007) Tramway et prix des logements à Nantes. *L'Espace géographique*, 36/2:97-113
12. CERTU (2005) *Déplacements et commerces, impacts du tramway sur le commerce dans différentes agglomérations françaises*. CERTU, Lyon, 53 p
13. Hass-Klau C, Crampton G, Benjari R (2004) *Economic impact of light rail – the results of 15 urban areas in France, Germany, UK and North America*. Environmental and Transport Planning, Brighton, 187 p
14. Brown B, Werner CM (2008) Before and after a new light rail stop: resident attitudes, travel behavior, and obesity. *Journal of the American Planning Association*, 75:5-12
15. Cao J (2013) The association between light rail transit and satisfactions with travel and life: evidence from Twin Cities. *Transportation*, 40/5:921-933
16. Gadzinski J, Radzimski A (2016) The first rapid tram line in Poland: how has it affected travel behaviours, housing choices and satisfaction, and apartment prices ? *Journal of Transport Geography*, 57:451-463
17. Prud'homme R, Koning M, Kopp P (2011) Substituting a tramway to a bus line in Paris: costs and benefits. *Transport Policy*, 18:563-572
18. Beer S, Brenac T (2006) Tramway et sécurité routière, l'expérience des pays germanophones. *Transport, environnement, circulation*, 190:40-47
19. Cheung C, Shalaby AS, Persaud BN, Hadayeghi A (2008) Models for safety analysis of road surface transit. *Transportation Research Record*, 2063:168-175
20. Shahla F, Shalaby AS, Persaud BN, Hadayeghi A (2009) Analysis of transit safety at signalized intersections in Toronto, Ontario, Canada. *Transportation Research Record*, 2102:108-114
21. Naznin F, Currie G, Logan D (2016) Exploring the impacts of factors contributing to tram-involved serious crashes on Melbourne tram routes. *Accident Analysis and Prevention*, 94:238-244
22. Maître É (2015) Public spaces re-designed for trams in French cities: safety concerns. *Advances in Transportation Studies*, 37:119-128
23. Maître É (2017) *Le tramway dans l'espace public: entre complication des espaces et complexité des processus de conception*. Thèse de doctorat. Aix-Marseille Université, Aix-en-Provence, 427 p
24. Clabaux N, Maître É, Dehecq K (2015) Effets sur la sécurité de l'insertion du tramway dans l'espace public : une étude avant-après. *Carnets d'accidentologie*, 2015:1-14
25. Millot M (2016) LRT safety in France – how are pedestrians involved? *Transportation Research Circular*, EC213:140-148
26. Fontaine L, Novales M, Bertrand D, Teixeira M (2016) Safety and operation of tramways in interaction with public space. *Transportation Research Procedia*, 14:1114-1123

27. Maître É (2016) L'ambivalence de l'insertion du tramway dans les espaces publics des villes françaises. *Urbia, Les Cahiers du développement durable* (hors-série n°3), HS3:127-143
28. Parkhurst G (2003) Regulating cars and buses in cities: the case of pedestrianisation in Oxford. *Economic Affairs*, 23/2:16-21
29. Kaufmann V (1997) *Sociologie de la mobilité urbaine : la question du report modal*. Thèse de doctorat. École polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, 326 p
30. Amoros E, Martin JL, Laumon B (2006) Under-reporting of road crash casualties in France. *Accident Analysis and Prevention*, 38/4:627-635
31. Martin JL, Wu D (2015) *Accidentologie des piétons*. Rapport de recherche. IFSTTAR, Marne-la-Vallée, 59 p
32. Clanché F, Rascol O. (2011) Le découpage en unités urbaines de 2010. *INSEE Première*, n° 1364. INSEE, Paris, 4 p.
33. Nicholson A, Wong YD (1993) Are accidents Poisson distributed? A statistical test. *Accident Analysis and Prevention*, 25/1:91-97
34. Graham PL, Mengersen K, Morton AP (2003) Confidence limits for the ratio of two rates based on likelihood scores: non-iterative method. *Statistics in Medicine*, 22/12:2071-2083
35. Rothman KJ, Greenland S (1998) *Modern Epidemiology*. Lippincott-Raven, Philadelphia, 737 p
36. Elvik R, Høye A, Vaa T, Sørensen M (2009) *The Handbook of Road Safety Measures*, 2nd edition. Emerald, Bingley (UK), 1124 p
37. Higgins JP, Green S (2008) *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Wiley, New York, 672 p
38. Hasselblad V, McCrory DC (1995) Meta-analytic tools for medical decision making: a practical guide. *Medical Decision Making*, 15:81-96
39. Greenland S, Robins JM (1985) Estimation of a common effect parameter from sparse follow-up data. *Biometrics*, 41:55-68
40. DerSimonian R, Laird N (1986) Meta-analysis in clinical trials. *Controlled Clinical Trials*, 7:177-188
41. Offner JM (1993) Les "effets structurants" du transport : mythe politique, mystification scientifique. *L'espace géographique*, 22/3:233-242
42. Kaufmann V, Sager F (2009) Amarrer le développement urbain aux infrastructures de transport publics: examen comparatif des politiques locales de quatre agglomérations suisses. *Environnement Urbain/Urban Environment*, 3/2009 (<https://journals.openedition.org/eue/948>)
43. Brenac T (1995) Concepts de risque et d'exposition en matière de sécurité des aménagements routiers. *Recherche Transports Sécurité*, 49:35-42
44. Quételard B (2010) Se rendre au travail ou faire ses courses motive toujours un déplacement quotidien sur deux. Le recours à la voiture se stabilise. *La Revue du CGDD*, 2010/12:25-47
45. Hubert JP, Delisle F (2010) L'allongement des déplacements quotidiens contribue à l'émergence d'espaces urbains multipolaires, tandis que la mobilité baisse au centre des grandes agglomérations. *La Revue du CGDD*, 2010/12:49-64
46. Frenay P (2004) Le tram, outil au service du développement durable ? Réflexions tirées d'une comparaison entre quelques villes moyennes françaises et allemandes. *Transport Environnement Circulation*, 184:62-69
47. Reigner H, Hernandez F (2007) Les projets des agglomérations en matière de transport : représentations, projets, conflits et stratégies de « détournement » des réseaux. *Flux*, 69(2007/3):21-34
48. Orfeuill JP (2015) La mobilité, vers de nouveaux modèles. Communication aux Rencontres de l'ADEUS, 16 juin 2015, Strasbourg, 15p
49. Haworth N (2012) Powered two-wheelers in a changing world – Challenges and opportunities. *Accident Analysis and Prevention*, 44:12-18
50. Massot MH, Offner JM (2014) Politiques publiques et mobilités professionnelles. Forum Vies Mobiles, URL : <http://fr.forumviesmobiles.org/regards-croises/2014/06/24/politiques-publiques-mobilites-professionnelles-2459> (consulté le 16/09/2016)
51. Bouf D, Hensher DA (2007) The dark side of making transit irresistible, the example of France. *Transport Policy*, 14:523-532
52. Clabaux N, Fournier JY, Michel JE (2017) Powered two wheeler riders' risk of crashes associated with filtering on urban roads. *Traffic Injury Prevention*, 18:182-187