



HAL
open science

Le potentiel d'un modèle Espérance de vie-Période-Cohorte pour projeter la demande automobile en France

Jean-Loup Madre, Yves Daniel Bussière

► **To cite this version:**

Jean-Loup Madre, Yves Daniel Bussière. Le potentiel d'un modèle Espérance de vie-Période-Cohorte pour projeter la demande automobile en France. *RTS. Recherche, transports, sécurité*, 2022, 2022, 16p. 10.25578/RTS_ISSN1951-6614_2022-06 . hal-03593155

HAL Id: hal-03593155

<https://hal.science/hal-03593155>

Submitted on 3 Mar 2022

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

Le potentiel d'un modèle Espérance de vie-Période-Cohorte pour projeter la demande automobile en France

The potential of a Life Expectancy-Period-Cohort model for forecasting car traffic in France

Jean-Loup Madre, Yves Daniel Bussière

© Univ Gustave Eiffel 2022

Résumé Dans les pays industrialisés, après des décennies de croissance, la circulation automobile a stagné dans les années 2000. Phénomène attribué aux facteurs économiques classiques (revenus, prix des carburants) et à une certaine ré-urbanisation, mais aussi à des facteurs démographiques (vieillesse, allongement des étapes du cycle de vie). Une modeste reprise économique et la baisse du prix du pétrole en 2014 ont favorisé un certain renouveau de la croissance du trafic. Il n'y a pas de consensus sur les causes du plafonnement de la circulation et sur sa persistance, sauf que ses causes sont multiples (démographie, densité urbaine, revenu, prix, politiques, technologie, accessibilité, mentalités). Nous ne prétendons pas pouvoir prendre en compte tous ces facteurs mais proposons une approche prospective démographique qui considère au niveau national, la croissance de la population, les changements de comportement à travers les générations, ainsi que les effets de période représentés par le revenu réel par unité de consommation et le prix du carburant.

Nous avons déjà traité cette question via des modèles Âge-Période-Cohorte (APC). Nous comparons ici les résultats d'un modèle APC avec ceux d'un modèle Espérance de vie-Période-Cohorte (EPC) en remplaçant l'âge par l'espérance de vie, contournant ainsi la sur-détermination du modèle

Jean-loup Madre (✉)
Univ Gustave Eiffel, AME-DEST,
F-77454 Marne - la- Vallée, France
Courriel : jean-loup.madre@univ-eiffel.fr

Yves Daniel Bussière (correspondant principal) (✉)
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP),
Faculté d'Économie, av. 22 Sur y San Claudio S/N,
San Manuel, Cd. Universitaria, Puebla, Pue., Mexico 72570
Courriel : ydbussiere@yahoo.ca

APC. Nous projetons le km annuel par adulte à partir des données du panel Parc-Auto Kantar-SOFRES 1994-2018.

Nous proposons ainsi un cadre méthodologique de prévision avant la pandémie de Covid-19 et en l'absence de ruptures de tendances. À court terme (2007-2017), APC reconstruit mieux les kilomètres parcourus que le modèle EPC surtout avant la soixantaine, ce qui indiquerait que l'augmentation de l'espérance de vie a peu d'influence sur les comportements de mobilité.

Mots-clés motorisation individuelle, kilométrage parcouru, espérance de vie, facteurs démographiques et économiques, prospective

N.B. : Le présent article s'inspire largement d'une communication présentée en mai 2019 à Mumbai pour la Conférence Mondiale sur la Recherche dans les Transports [1].

Abstract In industrialized countries, after decades of growth, car traffic stagnated in the 2000s. A phenomenon attributed to traditional economic factors (income, fuel prices) and to a certain re-urbanization, but also to demographic factors (aging, lengthening of the stages of the life cycle). A modest economic recovery and the fall in the price of oil in 2014 encouraged a certain revival in traffic growth. There is no consensus on the causes of the traffic peak and its persistence, except that its causes are multiple (demography, urban density, income, prices, policies, technology, accessibility, mentalities). We do not pretend to be able to take into account all these factors but propose a demographic prospective approach which considers at the national level, population growth, behavior changes across generations, as well as period effects represented by real income per consumption unit and fuel price.

We have already addressed this question via Age-Period-Cohort (APC) models. Here, we compare the results of an APC model with those of a Life Expectancy-Period-Cohort (EPC) model by replacing age with life expectancy, thus bypassing the over-determination of the APC model. We project the annual km per adult based on data from the Parc-Auto Kantar-SOFRES 1994-2018 panel survey. We thus propose a methodological forecasting framework before the Covid-19 pandemic and in the absence of breaks in trends. In the short term (2007-2017), APC better reconstructs the kilometers traveled than the model EPC, especially before the age of sixty, which would indicate that the increase in life expectancy has little influence on mobility behavior.

Keywords individual motorization, annual mileage, life expectancy, demographic and economic factors, prospective

N.B.: This article is largely inspired by a communication at WCTR 2019, Mumbai [1]

1. Introduction

Après une expansion rapide dans les années 1960 et 1970, la croissance du kilométrage automobile par habitant a ralenti au début des années 2000 dans un certain nombre de pays industrialisés. S'agit-il d'une interruption de la croissance à long terme en raison de la conjoncture économique (prix élevé du carburant, puis récession), ou d'un maximum dû à la saturation, voire un tournant avant un déclin à long terme ? [2]. Ce plafonnement de la circulation automobile, soit une stabilisation succédant à une phase de croissance, avec un avenir incertain est souvent désigné par *peak car*. On l'attribue à une multitude de facteurs - économiques (croissance des revenus plus lente, volatilité à la hausse du prix du carburant, etc.), démographiques (ralentissement de la croissance et vieillissement de la population), sociaux (changement dans les mentalités [3], et nouvelles générations moins dépendantes de l'automobile), ainsi que spatiaux (métropolisation, c'est-à-dire de plus en plus de personnes vivant dans de grandes zones urbaines) [4].

La plupart des articles sur ce phénomène [5, 6, 7, 8] sont basés sur des données collectées avant 2010. Des données plus récentes indiquent des tendances diverses. On a observé des augmentations significatives du trafic automobile depuis 2015 aux États-Unis, en Allemagne, au Royaume-Uni et en France [9]. S'agit-il uniquement d'un phénomène à court terme dû à un carburant moins cher depuis 2014 ? Il est difficile de généraliser. Dans la région métropolitaine de Montréal, par exemple, des données récentes tirées des enquêtes Origine-Destination indiquent qu'entre 2013 et 2018, alors que la population augmentait de 3%, l'usage de la voiture diminuait de 1% et l'usage du transport collectif augmentait de 4%. Par

ailleurs, l'usage combiné des modes de transport collectif et de l'automobile augmentait de 8% [10].

Les facteurs structurels (principalement démographiques comme le vieillissement) sont-ils toujours actifs pour modérer la croissance du trafic automobile ? Jusqu'à présent, nous avons schématisé ces phénomènes en utilisant le modèle Âge-Période-Cohorte, qui pose cependant des problèmes de sur-détermination pour identifier ses différents paramètres [11]. Les effets de Période représentent les facteurs économiques. Nous les avons limités au revenu et au prix des carburants, qui sont souvent retenus comme principaux facteurs explicatifs des évolutions de la demande. Or l'âge, la période et l'année de naissance sont liés, entraînant un problème de colinéarité. Nous tentons donc de remplacer l'âge par l'espérance de vie en nous inspirant de d'Albis et Badji [12]. Cette formulation permettra-t-elle une meilleure adéquation aux données observées ? Ces questions seront étudiées à partir des données de l'enquête panel Parc-Auto Kantar-SOFRES pour la France de 1994 à 2018.

Nous nous pencherons de manière particulière sur le comportement des milléniaux (nés dans les années 1980 et 1990) et leur impact sur la croissance du trafic, vu le contraste de leur comportement par rapport à celui des générations antérieures et leur importance dans l'évolution future de la mobilité.

Après une revue de la littérature (section 2), nous présenterons la méthodologie adoptée : approche individuelle imbriquée (être titulaire du permis de conduire / avoir sa voiture / rouler) et les deux modèles d'inspiration démographique alternatifs testés (section 3). Suivra une analyse descriptive de l'utilisation de l'automobile (section 4). Nous présenterons ensuite l'estimation des paramètres des deux modèles et la comparaison des projections pour le kilométrage annuel par adulte (section 5), enfin, suit une conclusion (section 6).

2. Revue de la littérature

Le prix des carburants et le niveau d'activité économique ont le plus souvent été considérés comme les facteurs dominants pour expliquer les variations dans la demande automobile. Le Bureau australien des infrastructures, des transports et de l'économie régionale, à l'aide de longues séries chronologiques pour 25 pays, explique le ralentissement de la conduite automobile par habitant essentiellement via le prix du carburant, le niveau d'activité économique, et à long terme par la croissance de la population [13]. Une analyse globale des tendances de la demande mondiale de transport au cours des 40 prochaines années a été présentée par le Forum International des Transports en mai 2011 à Leipzig et

régulièrement mise à jour dans ses «Perspectives» (voir le site Internet de l'ITF) [14, 15].

La plupart des articles sur ce sujet étaient axés sur les facteurs économiques prenant en compte les changements de comportement (croissance économique et prix du carburant), mais les facteurs démographiques, hormis la pure croissance de la population, ont été négligés pour expliquer le plafonnement de la circulation [16, 17, 18, 19].

Lors de la diffusion de la voiture particulière, les générations successives d'hommes et de femmes ont accru leur motorisation tout au long de leur cycle de vie. Cependant, la possession et l'utilisation d'une voiture sont spécifiques à chaque génération [20, 21, 22]. Les cohortes récentes se sont développées dans une société où la voiture particulière tend à devenir un bien individuel en raison de la diffusion du permis de conduire et du multi-équipement [23]. La modélisation Âge-Cohorte a déjà permis d'anticiper des phénomènes tels que la diminution du taux de motorisation des habitants de la Ville de Paris à partir de 1990, qui s'est propagée à la banlieue dans les années 2000 [24].

En utilisant des séries chronologiques de données annuelles pour la période 1977-1994, l'introduction d'effets de période montre l'influence plus importante de la croissance des revenus (élasticité France entière de 0,55) que du prix des carburants (élasticité France entière de -0,09) sur l'évolution de la circulation. On montre aussi l'importance de la densité : la sensibilité au revenu était moindre dans les villes-centre qu'en banlieue et en périphérie. L'élasticité-prix des carburants se situe aux alentours de -0,14 dans les grands bassins de province ainsi que dans les villes-centre des petits bassins, par rapport à -0,05 et -0,07 dans les banlieues et périphéries des petits bassins. Dans les zones à dominante rurale l'effet revenu est plus élevé (0,67) et l'effet prix moins sensible (-0,11) [11].

Bastian et Börjesson (2015) expliquent le plafonnement de la circulation en Suède par le PIB et le prix du carburant [25]. Ils concluent que ces facteurs expliquent la plupart des tendances agrégées des distances parcourues en voiture par adulte, jusqu'à 80 % au cours des années 2002 à 2012, avec des élasticités plus élevées parmi les populations urbaines et dans les municipalités à forte densité, faible revenu moyen et forte proportion de résidents nés à l'étranger. Ils soulignent l'influence de la précision des hypothèses adoptées pour la croissance économique et les prix du carburant sur la qualité des projections. En outre, les élasticités-prix ont tendance à être plus marquées à des niveaux de prix élevés et pendant les périodes de hausse rapide [26].

Une vaste revue de la littérature économétrique par Goodwin et al. s'appuyant principalement sur des séries chronologiques agrégées dans les pays développés a

montré que le niveau des élasticités-revenu a tendance à être supérieur à celui des élasticités-prix d'un facteur de 1,5 à 3 et que les élasticités à long terme sont supérieures aux élasticités à court terme par un facteur de 2 à 3. Aussi, les élasticités de la consommation de carburant sont plus élevées que les élasticités du trafic par un facteur de 1,5 à 3. Par ailleurs les élasticités peuvent varier considérablement selon la période et si elles sont de court terme (1an) de long terme (3-5ans) ou statiques (sans référence au temps). À titre d'exemple, pour la période post 1981 l'élasticité moyenne des véhicule-km au prix du carburant était respectivement de -0,10, -0,29 et -0,24. Les élasticités des véhicule-km au revenu étaient respectivement de 0,30, 0,73 et 0,49 [18].

Stapleton et al. (2017) montrent des résultats pour la Grande-Bretagne (1970-2012) : un rebond de 26% de l'usage de l'automobile dû essentiellement à des effets de revenu, baisse du coût du carburant et urbanisation - d'autant plus que l'élasticité-revenu à court terme des déplacements en voiture s'avère nettement supérieure à l'élasticité-prix [27].

Un autre facteur évoqué pour expliquer que la demande de déplacements a atteint un niveau de saturation serait la stabilisation de la distance moyenne parcourue. Metz (2010), en se basant sur les enquêtes nationales de déplacements en Grande-Bretagne (NTS), enquêtes remontant aux années 1972-73 et très détaillées, arrive au constat que depuis plus de 30 ans les temps de déplacements moyens des résidents sont restés stables ainsi que la fréquence des déplacements, aux environs de 1 000 déplacements par personne par année, alors que la distance moyenne parcourue est passée de 4 500 miles par personne par année à 7 000 entre 1970 et 2000 dont les 4/5 en automobile, pour se stabiliser ensuite [28].

D'autres facteurs de nature socio-démographique, et des effets de génération (les milléniaux nés dans les années 1980 et 1990 et les personnes âgées) plus difficiles à discerner ont aussi joué un rôle important dans les préférences des usagers de transports individuels et leurs comportements.

Une étude de Sivak et Schoettle sur plus de 15 pays développés, puis étendue à 14 autres pays, montre une diminution, au cours des 25 dernières années, du pourcentage de jeunes titulaires d'un permis de conduire, mais une augmentation pour les personnes âgées [29]. Les données sur la région parisienne mentionnées par Courel et Bouleau confirment ces tendances avec un seuil vers 2001 et une croissance significative de la mobilité automobile des retraités [30].

À l'aide des enquêtes sur les Budgets de Famille et des enquêtes déplacements à différents moments au cours du temps, Yoann Demoli montre l'influence des caractéristiques socioprofessionnelles, en particulier les différences entre les cols blancs des secteurs public et

privé [31]. Grâce à des enquêtes qualitatives menées à Lyon et à Montréal, Ortat et Vincent-Geslin montrent, dans le contexte d'un accès plus tardif des jeunes adultes à l'autonomie, qu'il est moins important de passer le permis que de quitter le foyer de leurs parents et d'avoir un emploi; la conscience environnementale émerge avec l'allongement des études supérieures ; enfin, la jeune génération prévoit beaucoup moins de déménager en banlieue, mais préfère rester dans un environnement dense, offrant beaucoup plus d'opportunités multimodales (vélo et covoiturage, transports en commun, etc.), où l'usage de la voiture est de plus en plus considéré comme une contrainte coûteuse [32].

Sur la base des enquêtes nationales sur les déplacements 1995-2009, menées en continu aux Pays-Bas, et d'une enquête qualitative ponctuelle, KiM fait l'hypothèse que les Néerlandais n'auront pas moins de voitures, mais les auront plus tard, une tendance confirmée - le nombre de voitures particulières a augmenté de 15 % entre 2005 et 2015 [33, 34].

Garikapati et *al.*, selon une analyse longitudinale des enquêtes américaines sur l'emploi du temps 2003-2013 par rapport aux générations récentes concluent : les milléniaux (nés entre 1979 et 2000) se trouvent, au début de l'âge adulte, à voyager moins, à posséder moins de voitures, avec des taux de permis de conduire plus bas et utilisent davantage les modes alternatifs [35]. En avançant en âge, ils présentent toutefois des profils d'activité et d'emploi du temps similaires à ceux des générations précédentes, bien que certaines différences persistent, en particulier en ce qui concerne le temps passé au volant d'une voiture. Mais dans quelle mesure sera-ce toujours le cas quand les milléniaux traverseront les différentes phases de leur cycle de vie ?

La génération des milléniaux semble accuser un retard dans l'adoption des schémas d'activité des générations précédentes en raison des étapes retardées de leur cycle de vie (terminer ses études, trouver un emploi, se marier et avoir des enfants). Retard dû aussi aux effets persistants d'une récession économique, suggérant que la demande de déplacements en voiture pourrait reprendre sa croissance dans le futur. Dans quelle mesure cette reprise est-elle liée à l'avancée dans le cycle de vie, ou dépend-elle d'un retour d'une croissance plus forte ?

Chatterjee et *al.* rappellent que la tendance à la désaffection de l'automobile pour les jeunes adultes au Royaume-Uni a commencé il y a environ 25 ans, expliquée par des différences de conditions de vie (démographie, situation économique précaire, augmentation des coûts de la motorisation individuelle), contrairement aux baby-boomers qui ont connu une croissance rapide et prolongée de la détention de permis de conduire, de la possession d'une voiture et de son utilisation [36]. Ils ne prédisent qu'un changement modeste vers une plus grande possession de voitures pour les milléniaux au

cours des 10 à 15 prochaines années, et seulement pour ceux qui obtiennent un emploi stable à temps plein.

Circella et *al.* dans une étude basée sur un sondage en ligne en Californie auprès d'un échantillon de 2 400 résidents, y compris des milléniaux, montrent l'importance des changements d'attitude, et que les différences associées au lieu de résidence sont remarquablement plus grandes que les différences observées parmi les groupes d'âge [37, 38] :

- les citoyens font systématiquement état d'attitudes plus favorables à la politique environnementale que les non-urbains ;
- les milléniaux urbains sont de grands adeptes de la technologie, des applications pour smartphone en particulier, et utilisent ces services plus souvent à diverses fins, notamment pour accéder à des informations sur les moyens (ou la combinaison de moyens) de transport à utiliser pour un voyage, trouver des informations sur les différentes options possibles pour un déplacement (par exemple se rendre à un café ou un restaurant), ou naviguer en temps réel pendant un déplacement ;
- de grandes différences sont également observées dans l'adoption de la mobilité partagée entre les groupes d'âge et les populations urbaines par rapport aux populations non urbaines ; sans surprise, les milléniaux ont tendance à adopter ces services technologiques plus souvent que la génération X (nés dans les années 1970), en particulier dans les zones urbaines.

Circella et *al.* ont ensuite analysé les relations entre l'accessibilité et l'adoption de plusieurs modes de transport (*multimodalité* et/ou *intermodalité*) parmi les différents sous-segments de la population. Pour cette analyse, ils ont classé les milléniaux en deux groupes : indépendants et dépendants (vivant chez les parents). En fait, le lieu de résidence où vivent les milléniaux dépendants est probablement le résultat des choix de leurs parents, et non des milléniaux eux-mêmes. L'accessibilité de modes et la multimodalité sont généralement corrélées positivement. Les milléniaux dépendants tirent le meilleur parti du potentiel de leur environnement bâti, soit en raison de choix individuels, soit de la présence (ou du manque) de contraintes de déplacement. Ils sont moins susceptibles d'être des conducteurs solos et plus susceptibles d'être des navetteurs multimodaux, même s'ils vivent souvent dans des quartiers moins favorables à de tels comportements. Les milléniaux indépendants choisissent plus souvent de vivre dans des endroits accessibles et ont tendance à adopter plus souvent des options de déplacements non motorisées et multimodales.

Zhong et *al.*, à partir d'une étude dans la région de Puget Sound dans l'État de Washington expliquent la majeure partie du déclin de la conduite depuis le milieu des années 2000 par des facteurs socioéconomiques, la réduction de la possession de voitures en raison de la zone de résidence, en particulier dans les quartiers denses [39].

D'après une étude récente de Lee et *al.* en Californie, les milléniaux ont davantage recours à la multimodalité que la génération précédente tout en demeurant majoritairement des conducteurs monomodaux [40]. Krueger et *al.* à partir d'une étude de cas en Allemagne, arrivent aussi à la conclusion que les milléniaux ont davantage recours à la multimodalité et à l'usage du transport collectif, mais que les 2/3 de la diminution de l'usage de l'auto serait attribuable aux effets de période (prix et conjoncture économique) et que l'accroissement de l'usage du vélo serait attribuable aux effets de cohorte (mentalités) [41].

Une étude récente sur l'agglomération de Lyon de Bayart et *al.* à propos de la baisse de la possession du permis de conduire et de l'usage de l'automobile au cours des périodes 1995-2006 et 2006-2015 montre que les changements de comportements des jeunes (18-34 ans) sont dus principalement à des changements dans les mentalités et facteurs socio-économiques et à leur préférence pour le milieu de vie dans la ville centrale [3].

Patrick Rérat nous rappelle qu'en Suisse, comme dans plusieurs pays occidentaux, la proportion de jeunes de 18 à 24 ans titulaires d'un permis de conduire est passée de 70,7 % en 1994 à 58,7 % en 2010, avant de remonter légèrement à 61,0 % en 2015. Entre 1994 et 2015, on note une très légère baisse chez les 25-44 ans (88,9 % vs 87,8 %) et une augmentation de 10 points chez les 45-64 ans (79,5 % vs 89,8 %). Il y a des changements significatifs chez les personnes âgées de 65 à 79 ans (50,6 % contre 79,0 %) et celles de plus de 80 ans (de 19,7 % à 45,0 %). Ces augmentations de près de 30 points s'expliquent par l'arrivée dans ces tranches d'âge de femmes qui ont eu un accès plus important à la voiture que celles des générations précédentes. Ainsi, depuis 2005, il y a proportionnellement plus de 60-70 ans qui ont un permis de conduire que de jeunes adultes. Le culte de la voiture pourrait être en déclin. L'âge pour l'obtention du permis de conduire semble le facteur déterminant et, si globalement les jeunes adultes obtiennent leurs permis plus tardivement, il existe aussi un effet de rattrapage [42, 43].

Newman et Kenworthy nous rappellent qu'aujourd'hui un objectif majeur du design urbain est de réduire l'usage de l'automobile pour des villes plus soutenables et une meilleure qualité de vie [7]. Par ailleurs, Metz voit une tendance à la saturation de la demande de déplacement dans les pays développés, un signe encourageant pour des villes soutenables [28].

On est encore loin d'une explication unique par les économistes sur les facteurs explicatifs (prix et conjoncture économique vs changements de valeurs) de la demande de transport individuelle et sur les tendances futures les plus probables.

Bastian et *al.* montrent que les variables traditionnelles PIB et prix du carburant sont suffisantes pour expliquer les tendances observées du trafic automobile dans tous les pays inclus dans leur étude (USA, France, Royaume-Uni, Suède, Australie, Allemagne). L'effet de la flambée du prix des carburants au début des années 2000 a été sous-estimé dans de nombreuses études [26]. Ils nous rappellent que même si les variables économiques permettent une explication statistique des tendances agrégées de l'utilisation de la voiture, d'autres variables plus difficiles à évaluer, peuvent aussi jouer un rôle important, notamment les changements dans les modes de vie et les attitudes.

Il n'y a pas de consensus sur les causes du plafonnement de la circulation et sur sa persistance, sauf que ses causes sont multiples. La littérature économique privilégie évidemment les facteurs économiques tels que l'impact des revenus et des prix grâce à l'abondance de données et à la possibilité de modéliser, notamment par l'économétrie. Ces deux seuls facteurs, revenus et prix, auxquels s'ajoute la densité urbaine, expliquent dans la majorité des cas, et en grande partie, la saturation de l'usage de l'automobile des années 2000. On a vu aussi qu'il y a des exceptions et que une décennie ou deux plus tard dans plusieurs cas, la mobilité motorisée a continué à croître. L'évolution de la demande de transport est le plus souvent un phénomène local. Des facteurs socio-démographiques sont également pris en compte mais dans des études souvent plus descriptives et le plus souvent plus difficiles à modéliser. Une littérature abondante sur les milléniaux, génération des jeunes nés dans les années 1980-90 s'intéresse aux changements de comportements de cette génération par rapport à ceux des baby-boomers, plus axés sur les modes soutenables et la multimodalité impliquant souvent les modes actifs et les transports publics. Constat important d'où l'importance d'analyser les comportements des milléniaux, car ce sont ces jeunes générations qui détermineront les patrons de mobilité du futur. Aussi, les personnes âgées d'aujourd'hui ont changé leurs comportements par rapport aux générations antérieures et deviennent plus mobiles mais toujours attachés au mode automobile. À long terme les facteurs démographiques, avec le vieillissement rapide et généralisé dans les pays développés, devraient avoir un impact sur la persistance de la saturation des déplacements, le maximum de la mobilité étant vers la quarantaine suivi d'une décroissance constante avec l'âge. Aussi, n'oublions pas l'impact de l'évolution des mentalités sur les politiques de transport, qui pourront être déterminantes dans l'évolution de la mobilité.

Le résultat final dépendra d'une combinaison de facteurs : démographie, densité urbaine, revenu, prix, mentalités, politiques, technologie, accessibilité. On assistera peut-être aussi à des ruptures de tendances comme celle de la pandémie Covid-19 des années 2020-2021 qui laisseront des séquelles. Nous ne prétendons pas pouvoir prendre en compte tous ces facteurs mais proposons

une approche démographique qui considère au niveau national, la croissance de la population, les changements de comportement à travers les générations, ainsi que les effets de période représentés par le revenu réel par unité de consommation et le prix du carburant.

3. Méthodologie

3.1. Les données

Notre analyse est basée sur 25 vagues annuelles du panel KANTAR-SOFRES Parc-Auto (de 1994 à 2018). Il repose sur un questionnaire auto-administré rempli en début d'année par un échantillon représentatif de ménages volontaires résidant en France.

Il décrit :

le ménage (commune de résidence, revenu en tranches, etc.) et jusqu'à six de ses membres (sexe, âge, profession et catégorie socioprofessionnelle, permis de conduire, etc.), jusqu'à trois des véhicules dont il dispose (marque et modèle, conducteur principal, kilométrage parcouru au cours de l'année écoulée, etc.).

Malheureusement, ces données ne permettent pas des analyses en termes d'attitudes, ni de préférences.

Le ménage est l'unité d'échantillonnage traditionnelle pour les enquêtes. Cependant, une approche basée sur le ménage ne permet pas de comprendre clairement le comportement individuel, en particulier pour les jeunes adultes, qui n'ont pas encore fondé un ménage autonome, mais jouent néanmoins un rôle crucial pour le plafonnement de la circulation ; ils connaissent une transition de plus en plus longue entre vivre chez leurs parents et fonder leur propre ménage.

Pour permettre une analyse par individus, un fichier de 277 060 adultes (personnes de 18 ans ou plus, c'est-à-dire en âge d'avoir le permis de conduire en France) a été constitué sur la base des données par ménage. Il comporte essentiellement :

- le sexe et l'âge de l'individu,
- la détention du permis de conduire,
- le fait qu'il soit conducteur principal d'une voiture (obtenu par appariement avec les véhicules du ménage),
- le kilométrage annuel de cette voiture.

3.2. Une approche individuelle et imbriquée : de la détention du permis de conduire au kilométrage annuel

L'utilisation de la voiture au niveau individuel a été décomposée en trois étapes [44] :

- Être titulaire du permis de conduire,
- Avoir sa voiture, c'est-à-dire être le principal utilisateur d'un véhicule du ménage,
- Rouler (kilométrage annuel de la voiture).

Le kilométrage annuel moyen par adulte (pour 2018) est calculé de la façon suivante : % de détenteurs du permis (91%) x % d'utilisateurs principaux parmi les titulaires du permis (72%) x kilométrage annuel moyen par voiture (11 900 km) = 7 797 km.

Au niveau global, on agrège sur l'ensemble des adultes, l'utilisation de la voiture individuelle :

Circulation totale = (kilométrage/adulte) x (population des adultes)

3.3. Une approche démographique

3.3.1 Trois dimensions inter-dépendantes

Les phénomènes démographiques peuvent être schématisés par trois facteurs :

- l'étape dans le CYCLE DE VIE ou influence de l'âge sur les comportements,
- la COHORTE, considérant que chaque génération partage des expériences communes,
- la PÉRIODE, qui rend compte des facteurs socio-économiques influant simultanément sur les agents économiques (coût du carburant, etc.).

Mais ces facteurs sont mécaniquement liés :

$PÉRIODE (date) = COHORTE (année de naissance) + \hat{A}ge$

... ce qui interdit d'exprimer ces 3 dimensions dans la même unité année. Or, un enjeu important est de faire la part entre les contributions de la conjoncture morose des années 2000 et les préférences des diverses générations, en particulier les nouvelles, dans l'explication du plafonnement de la circulation [40]. Nous rendrons donc compte des effets de période en introduisant comme variables explicatives leurs principaux déterminants : le revenu par unité de consommation du ménage fourni par le panel, et l'indice du prix relatif des carburants fourni par l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE). Plusieurs spécifications sont susceptibles de démêler les effets d'âge, de génération et de période, par exemple le modèle log-normal hiérarchique Bayésien multivarié de Poisson comme le soulignent Krueger *et al.* [41]. Nous allons en tester deux sur l'exemple du kilométrage annuel parcouru par les automobilistes français.

3.3.2 Le modèle Âge-Période-Cohorte (APC) (équation 1)

Il s'écrit :

$$K(a,t) = gAGE + cGEN + rREVENU + \text{PRIX} \quad (1)$$

avec :

- $K(a,t)$: kilométrage moyen par adulte d'âge a à la date t
- AGE : indicatrices d'âge
- GEN : indicatrices de cohorte
- REVENU = niveau de vie (Revenu/u.c. du ménage)
- PRIX = indice France entière du prix des carburants

3.3.3 Le modèle Espérance de vie-Période-Cohorte (EPC) (équation 2)

Ce modèle remplace l'âge par l'espérance de vie. Pourquoi ?

D'abord en raison de l'absence de colinéarité avec Période et Cohorte, et aussi parce que les étapes du CYCLE DE VIE s'allongent :

- poursuite des études,
- arrivée plus tardive des enfants,
- recul de l'âge de la retraite.

Le modèle s'écrit :

$$K(a,t) = vEV + wEV^2 + cGEN + rREVENU + \text{prix} \quad (2)$$

avec :

$K(a,t)$: kilométrage moyen par adulte d'âge "a" à la date "t"

GEN : indicatrices de cohorte

EV(a,t) : espérance de vie à l'âge "a" l'année "t"

Introduire EV et EV^2 rend compte de la convexité de la courbe: km maximum vers 50 ans, alors qu'il est avant la quarantaine pour le modèle APC (tableau 2).

4. Utilisation de l'automobile : le kilométrage annuel par adulte

Le kilométrage annuel par adulte selon l'âge est en forme de cloche, avec un maximum plat dans la quarantaine, comme le montrent les données du tableau 1 et les coefficients d'âge du modèle APC (tableau 2). Les personnes nées dans les années 1920 ou avant conduisent moins, ainsi que celles nées dans les années 1990, tandis que le maximum est observé pour celles nées entre les années 1960 et le début des années 1980.

Ces changements correspondent à des écarts de génération dans le niveau de vie, à l'âge, et à des étapes retardées du cycle de vie pour les générations les plus récentes [12]. Par exemple, moins de 70 % des 18-22 ans étaient étudiants parmi ceux nés à la fin des années 1970, alors que c'est presque 90 % chez ceux nés vers le milieu des années 1990 ; de même, 94 % vivent avec leurs parents (c'est-à-dire sont plus de 20 ans plus jeunes que le chef de ménage) chez ces derniers, alors que c'était 85 % pour ceux nés vers la fin des années 1970.

L'utilisation de l'automobile varie considérablement selon les générations et le cycle de vie comme l'indiquent les données du panel Parc-Auto 1994-2015 (tableau 1). Ainsi, les jeunes de 18-22 ans de la génération 1990-1993 ont parcouru 3 295 km, soit nettement moins que les générations 1986-1989 (3 550), 1982-1985 (3 899) ou 1978-1981 (3 751). On observe une tendance analogue pour les groupes d'âge de 23-27 à 33-37, les générations les plus récentes ayant un km annuel inférieur. Si l'on remonte ensuite aux générations plus anciennes, après un pic de km annuel autour de 10 000 dans les groupes d'âge situés dans la trentaine et la quarantaine le km annuel diminue constamment à partir de la cinquantaine jusqu'aux âges avancés. Par ailleurs, les personnes âgées des générations plus récentes (les baby-boomers 1946-1943) maintiennent ou augmentent leur km [1].

Tableau 1. Kilométrage annuel par adulte selon le cycle de vie par colonne, 1994-2015.

Âge	18-22	23-27	28-32	33-37	38-42	43-47	48-52	53-57	58-62	63-67	68-72	73-77	78-82	83-87	88-92
Individus nés en :															
Tous	3 509	8 640	10 631	10 845	10 577	10 344	9 564	8 647	7 614	6 998	5 860	4 615	3 374	2 239	1 451
1914-1917													2 547	2 268	980
1918-1921													2 932	1 697	582
1922-1925												4 568	3 262	2 378	1 603
1926-1929											5 196	4 561	3 477	2 294	
1930-1933										6 773	5 791	4 380	3 486		
1934-1937									7 369	7 099	5 989	5 003			
1938-1941									7 846	7 310	6 399				
1942-1945								9 305	8 243	7 349	6 495				
1946-1949							9 514	8 623	7 478	6 949					
1950-1953						10 343	9 567	8 586	7 235						
1954-1957					10 118	10 339	9 127	8 367							
1958-1961				10 234	10 382	9 736									
1962-1965			10 831	10 694	10 508	10 195									
1966-1969		10 749	11 023	10 892	10 093										
1970-1973		8 955	11 387	11 005	10 924										
1974-1977	3 282	8 497	10 662	10 855											
1978-1981	3 751	8 800	10 489												
1982-1985	3 899	8 340	9 717												
1986-1989	3 550	7 786													
1990-1993	3 295														

Source : Parc-Auto panel survey 1994-2015.

4.1. En maintenant les comportements fixes par âge

La courbe de mobilité des conducteurs selon l'âge en forme de cloche montre bien que la démographie est un facteur important expliquant le plafonnement de l'usage de l'automobile. En effet, une combinaison

directe de mobilité fixe par groupe d'âge à la date t^0 avec l'évolution du nombre d'habitants suggère que la transition démographique (c'est-à-dire une pyramide des âges vieillissante) implique une lente diminution du kilométrage annuel en tant que conducteur de voiture [45].

Cependant, le choix de la date de référence t^0 montre une certaine influence des modifications de comportement : en effet, en raison d'un effet de génération, la mobilité des personnes âgées est aujourd'hui plus élevée qu'auparavant, essentiellement à cause des femmes (par exemple, entre 68 et 72 ans, en 2013-2018 les hommes parcouraient 8 763 km et 9 383 en 1994-2000 alors que pour les femmes les données respectives étaient de 4 416 km vs. 1 661 km. Pour les deux sexes réunis, la projection du kilométrage annuel pour 2027 par rapport à 2007 est une diminution de 6,99 % avec la référence 1984-86, alors qu'elle n'est que de 4,11 % avec une période de référence 2013-2015 (tableau 4).

Pour combiner les effets de cycle de vie (AG) et de génération, nous introduisons des indicatrices de cohorte (GEN) [22]. Pour les deux modèles, les paramètres estimés du kilométrage annuel moyen par adulte 2000-2018 et l'estimation des facteurs économiques sont présentés dans le tableau 2. Les résultats des projections (2007-2057) sont présentés dans le tableau 4.

4.2. Âge-Période-Cohorte (APC)

Pour la période 2000-2018, les indicatrices d'âge reconstituent bien une courbe en cloche du km annuel moyen par adulte, avec une montée rapide jusqu'à la trentaine, suivie d'un maximum légèrement supérieur à 10 000 km, puis à partir du milieu de la quarantaine d'une lente et constante décline pour atteindre un minimum de 2 467 km dans le groupe d'âge 93 et plus (tableau 2). Prenant comme référence la génération née vers 1960 (1956-65), les coefficients de cohorte qui représentent les décalages entre générations sont de plus en plus négatifs quand on va vers les générations nées au début du siècle dernier, c'est-à-dire bien avant l'essor de l'automobile ; par contre, quand on va vers les jeunes générations, les décalages deviennent légèrement négatifs mais peu significatifs. L'effet des facteurs économiques est sensible (élasticité de -0,20 au prix du carburant et de 0,24 au revenu) ; il est comparable à ce que l'on retrouve dans la littérature, avec des effets-revenus plus importants que les effets-prix (tableau 2).

4.3. Espérance de vie-Période-Cohorte (EPC)

Compte tenu des étapes plus longues du cycle de vie présentées dans la revue de littérature ainsi que dans l'analyse descriptive, le modèle Espérance de vie-Période-Cohorte peut sembler attractif. Contrairement à l'Âge-Période-Cohorte, il n'est pas soumis à des problèmes de colinéarité pour l'estimation [12].

Prenant toujours comme référence la génération née vers 1960, les coefficients de cohorte pour le km annuel par adulte sont à nouveau de plus en plus négatifs quand on va vers les générations nées au début du siècle dernier ; par contre, quand on va vers les jeunes générations, ces coefficients deviennent positifs et significatifs, avec

seulement un rebroussement pour la génération née après 1985.

Enfin, la fonction quadratique de l'espérance de vie rend compte de la courbe en cloche du km en fonction de l'âge, avec un maximum dans le groupe d'âge 33-37 ans d'espérance de vie mais elle impose la symétrie autour de ce maximum, alors que la montée jusqu'à la trentaine est plus rapide que le déclin vers la fin du cycle de vie.

Ici aussi, l'effet des facteurs économiques est modeste avec des effets-revenus plus significatifs que les effets-prix (élasticité de -0,05 au prix du carburant et de 0,28 au revenu). Résultats compatibles avec ce que l'on peut trouver dans la littérature (tableau 2).

4.4. Validation des modèles sur la période 2007-2017

Le tableau 3 compare les résultats des deux modèles avec les données observées pour la période 2007-2017 (voir aussi la figure 1). Les deux modèles reproduisent différemment les données observées sur cette période. Le modèle APC performe mieux avec une erreur moyenne de 0,8% vs. 4,1% pour EPC. Le modèle EPC reconstitue moins bien les données que le modèle APC pour toutes les tranches d'âge. Les écarts sont particulièrement importants avant la trentaine, à la quarantaine et à la cinquantaine, mais relativement plus faibles chez les septuagénaires. Aussi, en raison de sa faible sensibilité au prix (-0,05) le modèle EPC ne retrace pas la baisse du kilométrage liée au renchérissement des carburants en 2012.

4.5. Simulations de long terme 2007-2057

Nos simulations ont été faites, toutes choses égales par ailleurs, avant la pandémie Covid-19 qui a débuté à l'automne 2019 et n'en tiennent donc pas compte. Bien entendu, les simulations sur un horizon si lointain (2057) ne prétendent pas représenter la réalité future mais visent à expliciter les différences entre les deux modèles de projection.

Sur une période de 20 ans (2007-2027) en maintenant pour les générations futures les décalages observés pour la cohorte née après 1985, et aux conditions de prix et de revenu observées en 2017, le modèle APC projette à l'horizon 2027 un kilométrage de 7 468 par rapport à 7 788 en 2007 soit une diminution de 4,12 % alors que le modèle EPC projette une augmentation de 6,61 % (8 497 vs. 7 970 km) suivie d'un plateau dans les deux modèles (tableau 4).

Tableau 2. Paramètres spécifiques à chaque modèle, APC et EPC, pour le kilométrage annuel moyen par adulte et facteurs économiques 2000-2018.

Effet	Variable	EPC		APC	
		Valeur estimée	Significativité	Valeur estimée	Significativité
Revenu réel	REVUC	0,109	***	0,092	***
Prix du carburant	PXCARB	-0,380	**	-1,488	**
ESPERANCE DE VIE	EV	495,63	***		
	EV ²	-7,48	***		
COHORTE					
Individus nés :					
Avant 1926	GEN1920	-1 961	***	-1 824	**
1926-35	GEN1930	-1 876	***	-1 471	*
1936-45	GEN1940	-1 685	***	-1 158	*
1946-55	GEN1950	-1 356	***	-616	*
1956-65	GEN1960	0	0	0	0
1966-75	GEN1970	1 766	***	-181	*
1976-85	GEN1980	2 138	***	-50	*
Après 1985	GEN1990	1 668	***	-185	**
ÂGE					
18-22	AG20			3 375	***
23-27	AG25			7 635	***
28-32	AG30			10 247	***
33-37	AG35			10 517	***
38-42	AG40			10 107	***
43-47	AG45			9 642	***
48-52	AG50			9 128	***
53-57	AG55			7 697	***
58-62	AG60			7 414	***
63-67	AG65			7 361	***
68-72	AG70			6 779	***
73-77	AG75			5 911	***
78-82	AG80			4 801	***
83-87	AG85			3 768	***
88-92	AG90			2 849	*
93 ou plus	AG95			2 467	*
R car, ajust,		0,457		0,466	
Elasticités aux :					
Revenu		0,28		0,24	
Prix		-0,05		-0,20	

Source : Estimé sur le panel Parc Auto 2000-2018.

Légende :

Niveau de significativité (valeur-p) : *** : $P < 0,0001$; ** : $0,0001 \leq p < 0,0005$; * : $p \geq 0,0005$

Guide de lecture : Pour les deux modèles, les effets-revenu sont plus significatifs que les effets-prix. Les décalages entre générations sont significatifs pour EPC, alors qu'ils ne le sont un peu que pour les cohortes extrêmes pour APC; par contre, ce sont les effets d'âge qui sont significatifs jusqu'à 85 ans pour APC.

Tableau 3. Projections du km avec le modèle APC et EPC à prix des carburants et revenus constants, 2007-2017.

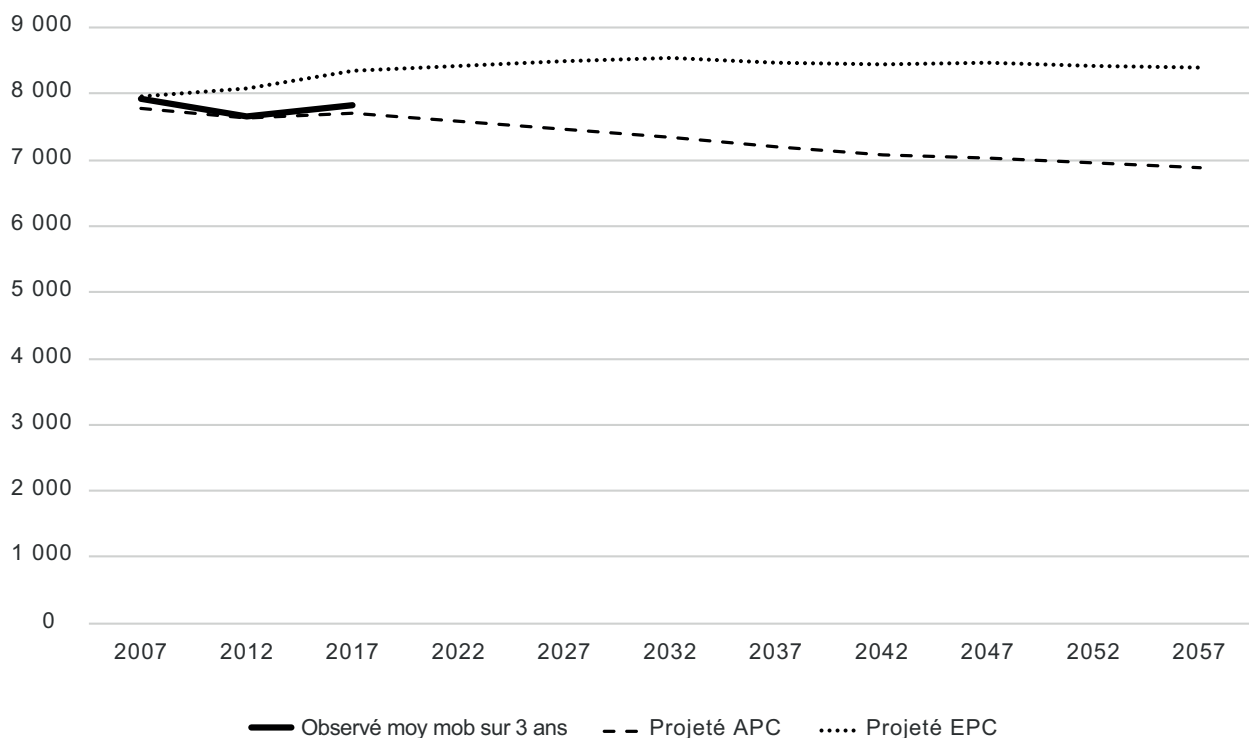
Modèles EPC et APC	Validation des projections 2007-17			Moyenne des écarts avec les observations sur 2007-17
	2007	2012	2017	
Ensemble				
Observé moy mob sur 3 ans	7 917	7 663	7 821	
Projeté APC	7 788	7 633	7 705	92
Projeté EPC	7 970	8 077	8 352	333
18-22 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	3 658	2 903	2 771	
Projeté APC	2 794	2 895	3 038	379
Projeté EPC	5 093	4 816	4 547	1 708
23-27 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	9 061	7 739	8 216	
Projeté APC	8 555	8 088	8 293	311
Projeté EPC	7 792	6 965	6 835	1 142
28-32 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	10 735	10 167	11 026	
Projeté APC	10 663	10 636	10 282	428
Projeté EPC	9 531	9 267	8 590	1 513
33-37 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	10 748	10 763	11 031	
Projeté APC	10 677	10 632	10 746	162
Projeté EPC	10 226	10 465	10 376	492
38-42 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	10 595	10 119	10 605	
Projeté APC	10 294	10 392	10 468	237
Projeté EPC	10 921	10 928	11 315	615
43-47 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	10 109	9 762	9 837	
Projeté APC	9 974	10 115	10 354	335
Projeté EPC	9 620	11 408	11 577	1 292
48-52 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	9 191	9 552	9 000	
Projeté APC	9 251	9 254	9 531	296
Projeté EPC	9 875	9 903	11 838	1 291
53-57 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	8 148	7 977	8 802	
Projeté APC	8 211	8 363	8 585	222
Projeté EPC	8 490	9 963	10 214	1246
58-62 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	7 348	7 187	7 767	
Projeté APC	7 219	7 321	7 588	147
Projeté EPC	8 043	8 267	9 839	1 283
63-67 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	7 137	6 721	7 198	
Projeté APC	6 968	6 827	7 019	151
Projeté EPC	7 076	7 626	7 908	559
68-72 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	6 369	6 348	5 933	
Projeté APC	6 089	6 229	6 184	217
Projeté EPC	6 128	6 472	7 074	502

73-77 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	4 693	5 051	5 525	
Projeté APC	4 721	5 278	5 447	111
Projeté EPC	4 794	5 423	5 735	227
78-82 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	3 625	3 637	4 462	
Projeté APC	3 623	3 750	4 349	76
Projeté EPC	3 697	4 020	4 608	200
83-87 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	2 278	2 540	3 055	
Projeté APC	2 206	2 659	2 848	133
Projeté EPC	2 585	2 973	3 261	315
>87 ans				
Observé moy mob sur 3 ans	1 203	1 310	1 793	
Projeté APC	1 165	1 213	1 825	56
Projeté EPC	704	804	1 148	550

Source : Calculs sur la base du panel Parc Auto KANTAR-SOFRES 1994-2018.

Guide de lecture : Séparément pour les modèles APC et EPC, on compare par tranches d'âge les observations (2006-08, 2011-13 et 2016-18) avec les projections pour 2007, 2012 et 2017; la dernière colonne donne la moyenne de ces 3 écarts qui constitue un indicateur de qualité des projections.

Figure 1. Projections km/adulte modèle APC et EPC 2007-2017 et 2017-2057 avec revenus et prix du carburant de 2017 et en maintenant le décalage de génération née après 1985.



Sur le très long terme (2007-2057) en maintenant pour les générations futures les décalages observés pour la cohorte née après 1985 et toujours aux conditions de prix et de revenu de 2017, le modèle APC projette à l'horizon 2057 un kilométrage de 6 890 (-11,53 %) vs. 8 393 (+5,31 %) avec le modèle EPC, soit un écart important, le gros de l'augmentation ayant lieu en début de période, suivie d'un plateau (tableau 4 et figure 1).

Si on prolonge symétriquement le rebroussement des décalages de génération observé à partir de celui des années 1990, le kilométrage annuel du modèle EPC tombe à 7 729 km en 2057 (-3,02% sur 2007-2057), soit un résultat plus proche du modèle APC (-11,53%). Le résultat des modèles dépend grandement de leur calibration.

Tableau 4. Projections du kilométrage annuel moyen par adulte avec les modèles APC et EPC et facteurs économiques en maintenant le décalage de la génération née après 1985 (2007-2017-2027-2057).

		2007	2012	2017	2022	2027	2032	2037	2042	2047	2052	2057	2027/ 2007	2057/ 2017	2057/ 2027	2057/ 2007
Comportements fixés en :	1984-86	5 165	5 068	4 973	4 885	4 804	4 736	4 685	4 643	4 613	4 590	4 571	-6,99%	-8,08%	-4,85%	-11,50%
	2013-15	7 623	7 532	7 453	7 384	7 310	7 227	7 154	7 090	7 045	7 010	6 983	-4,11%	-6,31%	-4,47%	-8,40%
APC avec :													APC			
Revenu réel	Prix du carburant															
en 2017	en 2017	7 788	7 633	7 705	7 576	7 468	7 350	7 190	7 084	7 019	6 949	6 890	-4,12%	-10,57%	-7,73%	-11,53%
+1%/an linéaire	en 2017	7 788	7 633	7 705	7 680	7 675	7 661	7 601	7 701	7 634	7 664	7 706	-1,45%	0,02%	0,41%	-1,05%
+1%/an linéaire; fixe > 62 ans	en 2017	7 788	7 633	7 705	7 647	7 606	7 552	7 451	7 512	7 405	7 395	7 397	-2,34%	-3,99%	-2,74%	-5,02%
en 2017	+1%/an	7 788	7 633	7 705	7 553	7 422	7 277	7 090	7 061	6 863	6 762	6 671	-4,70%	-13,41%	-10,11%	-14,34%
+1%/an linéaire	+1%/an	7 788	7 633	7 705	7 656	7 627	7 588	7 502	7 470	7 478	7 477	7 487	-2,07%	-2,82%	-1,83%	-3,86%
EPC													EPC			
en maintenant le décalage de la génération née après 1985		7 970	8 077	8 352	8 428	8 497	8 528	8 474	8 450	8 474	8 419	8 393	6,61%	0,49%	-1,22%	5,31%
avec rebroussement des décalages de génération		7 970	8 077	8 335	8 376	8 393	8 357	8 223	8 103	8 015	6 835	7 729	5,31%	-7,27%	-7,91%	-3,02%

Sources : Calculs des auteurs sur la base du panel Parc Auto et des projections démographiques INSEE.

Guide de lecture : Au moins à court terme l'effet des facteurs économiques devrait être important : si l'on se fie aux élasticités estimées par le modèle APC, une baisse de 10 % des revenus (uniforme pour toutes les tranches d'âge) pourrait diminuer la circulation de 3 % ; alors qu'une baisse de 10 % du prix des carburants liée à l'effondrement du marché du pétrole, pourrait relancer la circulation de 6 %.

Que pourrait être l'influence des facteurs économiques sur les projections par le modèle APC (tableau 4) ? Une hausse modérée du prix des carburants (+1 % par an) conduirait à une baisse de 13,41 % du kilométrage entre 2017 et 2057, contre 10,57% si le prix de 2017 était maintenu. Quant au revenu, une hausse linéaire de 1 % par an dans toutes les tranches d'âge neutraliserait la baisse du kilométrage projetée dans le scénario central (prix et revenus de 2017). Suivant l'exemple de la hausse de la contribution sociale généralisée (CSG) sur les retraites mis en œuvre en 2018, si les revenus stagnaient pour les plus de 62 ans alors qu'ils augmentaient de 1 % par an pour les plus jeunes, le kilométrage baisserait de 3,99 % dans l'ensemble. Enfin, si l'on combine des hausses de 1 % des revenus et du prix des carburants, le kilométrage baisserait de 2,82 % seulement.

Selon le modèle Âge-Période-Cohorte la tendance du km moyen par adulte serait vers une diminution, bien que faible. Le modèle APC reflète bien la baisse observée entre

2007 et 2017 (-1,1 % vs -1,2 % observé) contrairement au modèle EPC et cette tendance se poursuit tout au long de la période de projection pour atteindre un total de -10,57 % entre 2017 et 2057.

Une des grandes inconnues est évidemment de déterminer quels seront les impacts de la pandémie Covid-19 actuelle à court et surtout à moyen et long terme. La longue période de confinement a fait découvrir le potentiel énorme du télé-travail, des télé-conférences, du télé-enseignement dont l'usage pourrait perdurer au moins en partie car il s'est avéré efficace et économe, ce qui pourrait avoir un impact significatif sur une baisse de la mobilité motorisée et finalement bénéfique pour l'environnement.

5. Conclusion

En avançant en âge, l'espérance de vie diminue. On pourrait être tenté de remplacer l'âge par l'espérance de vie parmi les trois composantes d'un modèle Âge-Période-Cohorte. Cette approche permet d'éviter la colinéarité entre ces composantes quand on les exprime en unités de temps (généralement années). La colinéarité disparaît d'ailleurs quand on explicite les effets de période via des facteurs économiques. En effet, dans un contexte de volatilité de la croissance des revenus et de prix du carburant, il est important de prendre en compte leur impact en tant qu'effets de période. Le modèle APC est notamment plus sensible qu'EPC au prix des carburants, ce qui rend mieux compte des effets de sa volatilité dans les années 2000.

En introduisant l'espérance de vie sous une forme quadratique dans le modèle EPC, on impose la symétrie entre la croissance rapide des kilométrages dans les jeunes années et leur déclin à un âge avancé, dont on a montré qu'elle retrace mal les données observées.

La comparaison des données modélisées pour le kilométrage moyen par adulte avec les observations sur la période 2007-2017 montre la meilleure fiabilité du modèle Âge-Période-Cohorte à court terme et au moins jusqu'à la soixantaine. Même si les démographes fournissent toutes les données nécessaires pour estimer le modèle EPC et l'utiliser en projection, on perd en précision dans la façon de mesurer l'avancée en âge, puisqu'on remplace une donnée certaine (l'âge atteint) par l'espérance de vie, moyenne à caractère statistique, calculée pour une année donnée, qui gomme les différences importantes liées au genre, à la zone de résidence, à la profession et au revenu. De plus, il n'est pas sûr que les automobilistes aient une conscience suffisamment claire de l'allongement de leur espérance de vie pour que cela influe sur l'usage de leur voiture.

La mécanique du modèle nous a permis de prolonger les projections jusqu'à 2057. Pour ce faire, nous avons dû extrapoler les coefficients de cohorte pour les générations dont nous n'avons pas encore pu observer les comportements ; leurs faibles évolutions à partir des générations nées dans les années 1970, d'ailleurs peu significatives selon le modèle APC, peut légitimer de maintenir le décalage observé sur la cohorte née dans les années 1990 pour les générations ultérieures.

La spécification adoptée ici pour EPC comme pour APC est suffisamment flexible pour permettre de construire des scénarios différenciés d'évolution des prix du carburant et de croissance des revenus à différentes étapes du cycle de vie et moduler dans le temps les élasticités prix et revenu.

Lors de travaux futurs, compte tenu de leur influence importante sur les comportements vis-à-vis de l'automobile, des facteurs spatiaux pourraient être intégrés selon les données disponibles pour chacun des deux modèles en les estimant sur des types de zones contrastées. On pourrait aussi estimer l'effet de l'homogénéisation des comportements en considérant séparément les femmes et les hommes.

En conclusion, le modèle EPC, bien qu'il élimine le problème de colinéarité, n'arrive pas à performer mieux que le modèle APC.

Remerciements

Outre Jimmy Armoogum pour ses précieux conseils en économétrie, nous remercions l'ancien ministre des Transports d'avoir financé le projet PREDIT ANDEMO, ainsi que le CEREMA qui a parrainé la thèse de doctorat de Richard Grimal, qui a inspiré ce document. Nous remercions également, au Mexique, le CONACYT et la BUAP pour leur soutien.

Les versions préliminaires de cet article ont été discutées lors d'un séminaire international organisé par la BUAP à Puebla en décembre 2016, aux Rencontres Francophones Transport et Mobilité de Lyon et Journées INSEE de Méthodologie Statistique de Paris (juin 2018), ainsi qu'au WCTR de Mumbai en juin 2019.

6. Références

1. Madre JL, Y Bussière, R Grimal (2020) A Life Expectancy-Period-Cohort model to project private car fleet and traffic applied to France, *Transportation Research Procedia* 48 (2020) 1526-1545, Elsevier, ISSN 2352-1465, 20 p
2. Goodwin P (2010-2011) «Peak Car», series of five articles in *Local Transport Today*, June 2010-June 2011», *Local Transport Today*, London, 14 p
3. Bayart C, N Haveta, P Bonnel, et al. (2020) Young people and the private car: A love-hate relationship. *Transportation Research Part D*
4. Koffi V. K. (2019) Dynamiques de l'étalement urbain et de la mobilité quotidienne. Thèse de l'Université Paris-Est
5. Litman T (2009) «Evaluation of Public Transit Benefits and Costs. Best Practices Guidebook». Victoria Transport Policy Institute. www.vtpi.org
6. Millard-Ball A, Schipper L (2010) Are We Reaching Peak Travel? Trends in Passenger Transport in Eight Industrialized Countries. *Transport Reviews*, Volume 31, Issue 3, May 2011, p 357-378
7. Newman P, J Kenworthy (2011) 'Peak Car Use': Understanding the Demise of Automobile Dependence. *World Transport, Policy & Practice*, Vol. 17.2, June, 14 p
8. Madre JL, Y Bussière, R Collet, I Tapia-Villareal (2012) Are We Heading Towards a reversal of the trend for ever-greater mobility ? Roundtable on Long-Run Trends in Travel Demand, OECD, International Transport Forum, Discussion Paper 2012-1629-30 nov., 27 p

9. CGDD (Commissariat Général au Développement Durable) (2017) «Les comptes de transport en 2016 – Tome 1 – 54^e rapport de la Commission des comptes des transports de la Nation », Datalab, no.23, Juillet 2017 <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-comptes-des-transports-en-2016-tome-1-54e-rapport-de-la-commission-des-comptes-des-transports>
10. ARTM (Autorité régionale de transport métropolitain). Enquête Origine-Destination 2018. Faits saillants de l'état de la mobilité des personnes dans la région métropolitaine de Montréal. 28 p <https://www.artm.quebec/planification/enqueteod/>
11. Berri, A, JL Madre, Y Bussière (2005) Étalement urbain, contexte économique et croissance de la circulation automobile des ménages en France : projections à l'horizon 2020. Recherche, Transports, Sécurité, Lavoisier, n° 89, p 305-326
12. d'Albis H., Badji I., (2017) Les inégalités de niveaux de vie entre les générations en France. Économie et Statistique/ Economics and Statistics, 491-492, p 71-92. DOI: 10.24187/ecostat.2017.491d.1906
13. BITRE (Bureau of Infrastructure, Transport and Regional Economics) (2012) «Traffic Growth: Modelling a Global Phenomenon», Report 128, Canberra ACT
14. International Transport Forum (ITF) website "Outlooks"
15. OECD/ITF Organisation for Economic Co-operation and Development/International Transport Forum (2011) «Peak car travel in advanced economies: permanent or transitory phenomenon?», Chapter 3, Transport Outlook: Meeting the Needs of 9 Billion People, Paris
16. Mannering F, Clifford W (1985) A Dynamic Empirical Analysis of Household Vehicle Ownership and Utilization. RAND Journal of Economics, The RAND Corporation, vol 16 (2), p 215-236, Summer
17. Hensher D, F Milthorpe, N Smith (1990) The demand for vehicle use in the urban household sector : theory and empirical evidence. Journal of Transport Economics and Policy, 24, p 119-137
18. Goodwin P, J Dargay, M Hanly (2004) Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: A review. Transport Reviews, 24 (3), p 275–292
19. Pirotte A, JL Madre (2012) Déterminants du trafic des véhicules légers et élasticités: une approche spatiale sur données régionales françaises. Économie et Statistique, année 2012/457-458/p 141-159
20. Gallez C., (1994) Modèles de projection à long terme de la structure du parc et du marché de l'automobile. Sous la dir. de Madre J-L et Gardes F. Université Paris 1 Panthéon Sorbonne. Thèse soutenue à Paris le 14 octobre 1994
21. Dargay et al. (2000) Car Ownership Dynamics Seen Through the Follow-Up of Cohorts: Comparison of France and the United Kingdom. Transportation Research Record of the Transportation Research Board, 1733(1), p 31-38, January
22. Dejoux, V, Y Bussière, JL Madre, J Armoogum (2009) Projection of the daily travel of an ageing population : The Paris and Montreal case, 1975-2020. VaTransport Reviews, Vol. 30 issue 4 2010 (pp. 495-515) (ISSN : 1464-5327 (electronic) 0144-1647 (paper))
23. Roux S (2012) Transition de la motorisation en France au XX^e siècle», Doctorat en Démographie, Paris I - Panthéon - Sorbonne
24. Bussière Y, JL Madre, J Armoogum (1996) Vers la saturation ? Une approche démographique de l'équipement des ménages en automobile dans trois régions urbaines. Population, n° 4/5, p 955-977
25. Bastian, A, M Börjesson (2015) Peak car? Drivers of the recent decline in Swedish car use. Transport Policy 42 (2015), p 94-102
26. Bastian, A, M Börjesson, J Eliasson (2016) Explaining 'peak car' with economic variables. Transport Research Part A, 88, p 236-250
27. Stapleton, L et al. (2017) Peak car and increasing rebound : A closer look at car travel trends in Great Britain. Transportation Research Part D 53 (2017), p 217-233
28. Metz, D (2010) Saturation of Demand for Daily Travel. Transport Reviews, 30 : 5, 659-674
29. Sivak M, B Schoettle (October 2011) Recent changes in the age composition of drivers in 15 countries. UMTRI, University of Michigan Transportation Research Institute. Report no. UMTRI-2011-43. 27 p
30. Courel, J., M Bouleau (avril 2013) "Peak-car": la baisse de la mobilité automobile est-elle durable ? Note rapide. Mobilité, no. 620, avril. 4 p
31. Demoli, Y (2015) The social stratification of the costs of motoring in France (1984-2006). International Journal of Automotive Technology and Management, 2015, vol. 15, issue 3, p 311-328
32. Ortat N, S Vincent-Geslin (2017) The decline of car use. A long-lasting effect? French and Canadian young adults' relationship with mobility. Conference paper. ECEEE summer study proceedings, p 967-973
33. KiM Netherlands Institute for Transport Policy Analysis. Mobility Report 2014
34. KiM Netherlands Institute for Transport Policy Analysis. Mobility Report 2016
35. Garikapati V. M., R. M. Pendyala, E. A. M., P. L. Mokhtarian et al. (May 2016) Activity patterns, time use, and travel of millennials: a generation in transition? Transport Reviews, vol. 36, Issue5, p 558-584
36. Chatterjee K, P Goodwin, T Schwanen, et al. (2018) Young People's Travel – What's Changed and Why? Review and Analysis. Report to Department for Transport. UWE Bristol, UK. www.gov.uk/government/publications/young-peoples-travel-whats-changed-and-why, 85 p
37. Circella, G, Fulton, L et al. (May 2016) What Affects Millennials' Mobility? PART I : Investigating the Environmental Concerns, Lifestyles, Mobility-Related Attitudes and Adoption of Technology of Young Adults in California. NCST, 119 p
38. Circella, G, L Fulton et al. (March 2017) What Affects Millennials' Mobility? PART II: Investigating the Environmental Concerns, Lifestyles, Mobility-Related Attitudes and Adoption of Technology of Young Adults in California. NCST, 93 p
39. Zhong L, L Bumssoo (2017) Carless or Car Later? Declining Car ownership of millennial households in the puget sound region, Washington state. 10 p.
40. Lee Y, G Circella, P L Mokhtarian, et al. (2020) Are millennials more multimodal? A latent-class cluster analysis with attitudes and preferences among millennial and Generation X commuters in California. Transportation 47, 2505–2528, <https://doi.org/10.1007/s11116-019-10026-6>

41. Krueger R., T H Rashidi, A Vij (2020) X vs. Y : an analysis of intergenerational differences in transport mode use among young adults. *Transportation* 47, 2203–2231. <https://doi.org/10.1007/s11116-019-10009-7>
42. Rérat P, (2018) A decline in youth licensing : a simple delay or the decreasing popularity of automobility? *Applied Mobilities*, DOI: 10.1080/23800127.2018.1545737
43. OFS, et ARE (2017) Comportement de la population en matière de transports : Résultats de micro-recensement mobilité et transports 2015. Office fédéral de la statistique et Office fédéral du développement territorial. Neuchatel : OFS
44. Grimal R. (2015) L'auto-mobilité au tournant du millénaire : une approche emboîtée, individuelle et longitudinale. Thèse de doctorat sous la direction de Madre J.-L., Univ. Paris- Est, 2 déc.
45. Bussière, Y, JLMadre, I Tapia-Villareal (2019) Will Peak Car Observed in the North Occur in the South? A Demographic Approach with Case Studies in Montreal, Lille, Juarez and Puebla. *Journal : Economic Analysis and Policy : Future of the Car* " supplement p 39-54. Queensland University of Technology, Garden's Point, Brisbane, Australia. ISSN 013- 5926