

L'AUTOPARTAGE : OUI, MAIS SEULEMENT EN COMPLEMENT D'ALTERNATIVES A LA VOITURE EN SOLO

Analyse de l'impact potentiel de son développement sur les émissions de CO₂

Note d'analyse

Une grande partie de l'opinion publique et des classes économique et politique considère le développement de l'autopartage comme une clef essentielle de la mobilité verte du futur. Or, peu d'études existent concernant l'effet réel de l'autopartage sur l'environnement. *The Shift Project* a donc souhaité estimer le bilan CO₂ de l'autopartage et montre que l'effet positif de ce dernier est loin d'être évident : significatif en complément d'alternatives à la voiture en solo, il est au contraire négligeable si ces alternatives ne sont pas développées sur les territoires.

Auteur : Nicolas RAILLARD, *The Shift Project*



The Shift Project tient à remercier Francisco Luciano et Frédéric Héran (université Lille 1) pour leur relecture et commentaires sur cette note. Le contenu de cette note n'engage que son auteur. Les interprétations, positions et recommandations y figurant ne peuvent être attribuées aux relecteurs.

TABLE DES MATIERES

Table des matières

Table des matières	3
Résumé	4
Introduction	5
Enquête nationale 2012 (6-t, 2013).....	5
Enquête nationale sur l'autopartage (6-t, 2016)	5
Analyse.....	7
Les différents effets en jeu	7
Etude de l'effet parc.....	8
Etude de l'effet démotorisation	8
Etude de l'effet trafic	9
Interaction entre les trois effets.....	11
Potentiel actuel de réduction des émissions de CO2 due aux effets démotorisation et trafic	12
Zones à faible alternative à la voiture (FAV)	12
Zones à haute alternative à la voiture (HAV)	13
Bilan CO2.....	14
Conclusions.....	14
Références.....	16
Annexes.....	17
Définition et analyse des effets parc et démotorisation	17
Effet parc (EP).....	17
Effet démotorisation (ED).....	23
Part d'usage du parc de voitures	24
Auteur	26
The Shift Project	26

RESUME

Les enquêtes nationales existantes ne proposant pas d'estimation de l'impact CO₂ de l'autopartage (AP), l'objet de cette analyse est d'apporter une telle estimation. Cette note traite d'autopartage en boucle (la voiture, en libre-service, est prise à une station donnée, et doit être déposée à cette station à la fin du trajet ; les tarifs sont adaptés pour un usage à l'heure de la voiture).

L'autopartage peut induire différents effets sur la composition du parc de voitures, sur l'usage de ce parc et, par conséquent, sur ses émissions de CO₂ (au sens de l'Analyse de Cycle de Vie, ACV) :

- Un effet d'accélération du renouvellement du parc de voitures (appelé *effet parc* dans cette note), qui se traduit par l'intégration de voitures neuves dans le parc de voitures.
- Une réduction du nombre de voitures à l'échelle du parc (*effet démotorisation*).
- Un effet de réduction du trafic de voitures (*effet trafic*) dû au moindre usage de la voiture observé en moyenne chez les usagers d'autopartage.

Nous montrons que le développement de l'autopartage aura des effets différents selon qu'il s'établisse dans les zones à haute alternative à la voiture (HAV), ou dans des zones à faible alternative à la voiture (FAV).

Dans les zones HAV, les effets démotorisation et trafic se combinent aux alternatives à la voiture. Ces zones ne se concentrent pour l'instant que dans l'urbain dense des grandes agglomérations, où la présence de la voiture est déjà faible. Ainsi, seules 6 % des distances quotidiennes¹ parcourues par des voitures en France métropolitaine sont potentiellement concernées. Les 94 % restantes sont parcourues par des habitants des zones FAV, où seul l'effet démotorisation existe. Le potentiel maximal de réduction des émissions par l'AP est actuellement d'environ 6 %, en tenant compte de ses (faibles) effets dans les zones FAV (effet démotorisation seul), et de ses effets (démotorisation et trafic) combinés aux alternatives à la voiture, dans les zones HAV. Quant à l'effet parc, nous montrons qu'il a un effet haussier ou au mieux négligeable sur les émissions de CO₂ (en ACV).

Sans extension des zones HAV aux zones moyennement denses et aux agglomérations de taille moyenne et petite (c'est-à-dire sans développement d'une offre d'alternatives efficaces à la voiture dans ces zones), l'autopartage, même implanté massivement (remplacement de tout le parc de voitures en France métropolitaine) ne peut pas espérer réduire de plus de 6 % les émissions de CO₂ de la mobilité.

Dans chaque zone FAV qui devient HAV, ce potentiel passe de 4 % à plus de 30 %. Ainsi, pour que l'AP ait un impact carbone positif significatif, il doit constituer un complément à une offre d'alternatives efficaces à la voiture (que ce soit par une réduction du besoin en mobilité, ou par un report modal vers des modes moins carbonés).

¹ Restant dans un rayon de 80 km du domicile

INTRODUCTION

Cette note traite d'autopartage en boucle (la voiture, en libre-service, est prise à une station donnée, et doit être déposée à cette station à la fin du trajet ; les tarifs sont adaptés pour un usage à l'heure de la voiture). Cette forme d'autopartage est en effet celle qui entraîne les changements de comportement les plus significatifs. L'autopartage en trace directe (la voiture est prise à une station et peut être déposée à une autre station) a un effet mesurable sur l'usage de la voiture, mais 3 à 4 fois moindre que l'autopartage en boucle (6-t bureau de recherche, ADEME, 2014). La location de voiture entre particuliers (autopartage entre particuliers) a quant à elle un effet négligeable sur la mobilité des locataires comme sur celle des propriétaires du véhicule (6-t bureau de recherche, ADEME, 2015). Nous rappelons dans un premier temps les résultats clés de deux enquêtes nationales relatives à l'autopartage en boucle, commandées par l'ADEME et réalisées par 6-t. L'une est la première enquête nationale sur l'autopartage, réalisée en 2012, et l'autre est la mise à jour la plus récente de cette enquête, en 2016. Nous interprétons dans un second temps ces résultats, puis estimons l'impact CO₂ de l'autopartage à la lumière des résultats.

ENQUETE NATIONALE 2012 (6-T, 2013)

Cette enquête concerne essentiellement l'autopartage (AP) en boucle. Les résultats clés tirés de cette enquête sont les suivants :

- Les usagers de l'autopartage, concomitamment à leur adhésion à ce service, parcourent significativement moins de kilomètres en voiture (de 437 km/mois avant l'inscription au service d'autopartage, à 260 km/mois après inscription). En moyenne nationale, une voiture roule 13 500 km/an² soit 1 125 km/mois. Les usagers interrogés ont donc une mobilité très spécifique avant même d'adopter l'autopartage : ils sont très peu utilisateurs de la voiture.
- L'adhésion à un service d'autopartage est concomitante à une augmentation de la marche à pied, de l'usage du vélo, des transports en commun (TC), et du train. Cela dénote la présence préalable au passage à l'autopartage d'une offre alternative à la voiture efficace, et de la possibilité d'adopter un mode de vie plus local (commerce de proximité dans les centres urbains denses des grandes agglomérations).
- Environ 60 % des interrogés considèrent que leur adhésion à un service d'AP n'est pas la cause principale de leurs changements d'habitude de mobilité. 40 % considèrent donc que ça l'est.

ENQUETE NATIONALE SUR L'AUTOPARTAGE (6-T, 2016)

Cette enquête, réalisée 4 ans après l'enquête ci-dessus, concerne également essentiellement l'autopartage (AP) en boucle. Les résultats clés tirés de cette enquête sont les suivants :

- L'autopartage n'est implanté que dans les grandes agglomérations.
- L'adhésion au service d'AP coïncide avec une démotorisation pour 54 % des personnes qui passent à l'autopartage, il permet d'éviter l'achat d'une première voiture pour 21 % des usagers, et permet de donner accès à la voiture pour 22 % des usagers.
- L'usage de la voiture ne baisse significativement qu'en présence d'un système vélo efficace (10 % des usagers) ou si de multiples modes alternatifs à la voiture (transports en commun, marche, vélo) sont présents (9 % des usagers). En l'absence de ces alternatives à la voiture, soit aucun changement de comportement de mobilité n'est observé lorsque l'utilisateur adhère à l'autopartage, soit une augmentation de l'usage de la voiture est observée. Autrement dit, dans ce dernier cas, l'utilisateur d'autopartage utilise toujours autant, ou plus, la voiture qu'avant son inscription au service d'autopartage. En moyenne, l'adhésion à l'AP est accompagnée d'une réduction des distances parcourues en voiture de 36 %.
- Environ 70 % des interrogés considèrent que leur adhésion à un service d'AP n'est pas la cause principale de leurs changements d'habitude de mobilité. 30 % considèrent que ça l'est. L'autopartage est donc en

² Voir (CGDD, 2010), p15

majorité perçu comme un complément de mobilité dans un environnement permettant de se passer de voiture, préexistant à l'offre d'autopartage.

- Les usagers de l'autopartage ne sont pas représentatifs de la population nationale en termes de mobilité : en moyenne, avant de passer à l'autopartage, ils utilisaient leur voiture 6 jours par mois, le vélo 10 jrs/mois, et les transports collectifs 12 jrs/mois. A titre de comparaison, hors des villes-centres des grandes et moyennes agglomérations ou de la petite couronne parisienne, la voiture est utilisée tous les jours (plus de 60 fois par mois³). Les usagers de l'autopartage proviennent donc de zones denses et couvertes par les alternatives à la voiture.
- Pour ces usagers utilisant rarement la voiture, la possession de la voiture n'est pas pertinente d'un point de vue économique. C'est cette raison qui pousse les usagers à adopter l'autopartage (et peu une préoccupation écologique).
- L'impact de la mise en place de l'autopartage sur l'espace pris par la voiture est quantifié dans l'enquête. Le gain d'espace est très important : une voiture partagée remplace environ 10 voitures individuelles, dont 5 ont en fait été remplacées pour une raison autre que l'adhésion à l'AP. On peut donc estimer que la mise à disposition d'une voiture en AP conduit au retrait de 5 unités du parc automobile.

³ D'après des calculs basés sur l'ENTD (CGDD, 2008)

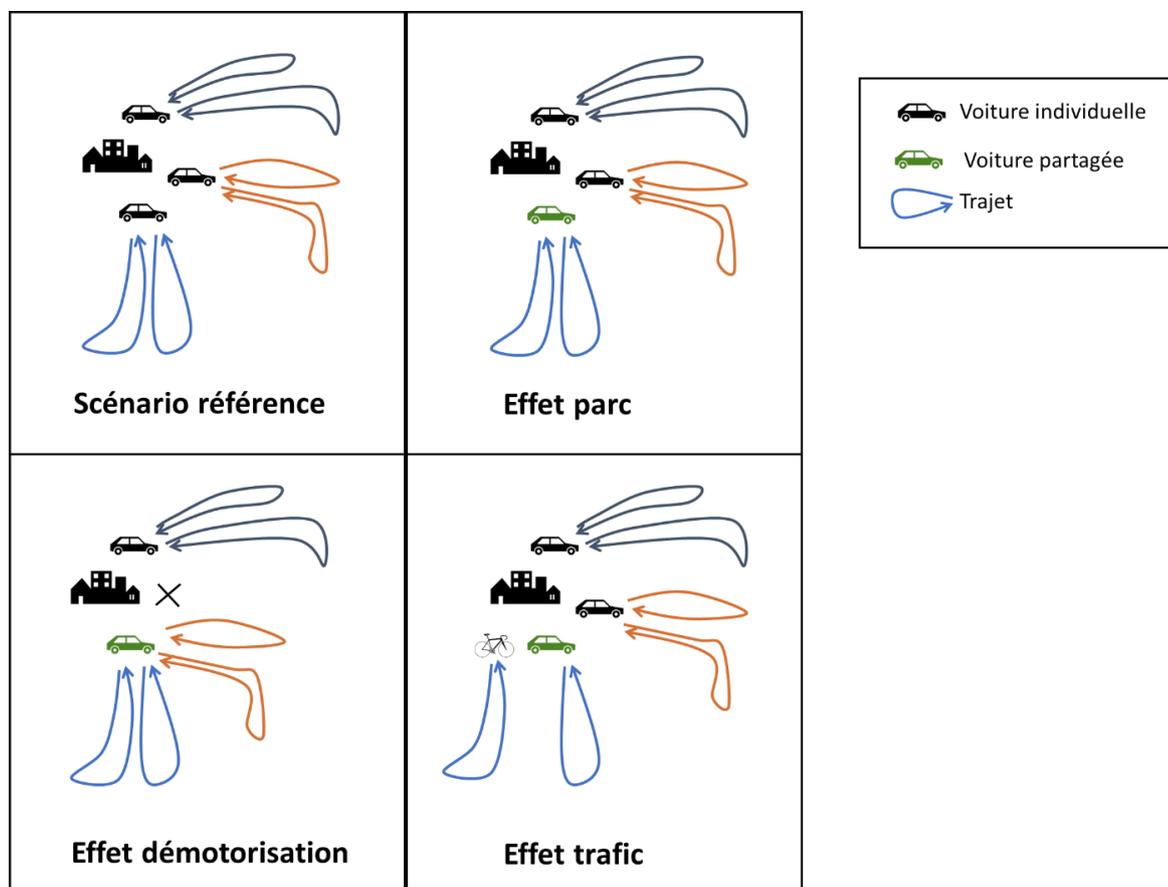
ANALYSE

LES DIFFERENTS EFFETS EN JEU

Ces enquêtes nationales ne proposent pas d'estimation de l'impact CO₂ de l'AP. L'objet de cette analyse est d'apporter une telle estimation.

L'autopartage peut avoir plusieurs effets distincts quant aux émissions de CO₂ :

- Un effet d'accélération du renouvellement du parc de voitures, que nous appelons **effet parc**. Cet effet décrit l'intégration de voitures neuves dans le parc de voitures. Nous estimerons les impacts possibles de l'effet parc sur les émissions de CO₂, selon diverses hypothèses, et comparés à un scénario Référence dans lequel cet effet n'a pas lieu.
- Un effet de démotorisation globale, que nous appelons **effet démotorisation**. Il ne s'agit pas de la démotorisation locale mesurée au niveau de l'individu par les deux études de l'ADEME, qui estiment les chances qu'un individu « se sépare » de sa voiture lorsqu'il s'inscrit à un service d'autopartage. Le fait qu'un ou plusieurs individus se séparent de leur(s) voiture(s) ne dit rien sur le nombre global de voitures dans le parc national. En effet, les voitures en question sont-elles revendues en seconde main, auquel cas elles restent dans le parc ? Ou bien sont-elles mises à la casse, auquel cas elles en sortent ? Ou encore, sont-elles revendues par un intermédiaire à l'étranger ? Nous estimerons les impacts possibles de l'effet démotorisation sur les émissions CO₂, avant d'estimer le potentiel de l'autopartage pour générer cet effet en France métropolitaine.
- Un effet de réduction du trafic de voitures, que nous appelons **effet trafic**, dû au moindre usage de la voiture observé en moyenne chez les usagers d'autopartage.



Etude de l'effet parc

L'annexe en p.17 étudie l'effet parc. Cet effet parc est étudié seul, c'est-à-dire que l'on suppose, dans un scénario AP, l'intégration prématurée d'une voiture neuve dans le parc de voiture, avant que la voiture âgée qu'elle remplace dans le parc n'arrive en fin de vie. Dans le scénario Référence (sans effet parc), la voiture neuve est mise en service au moment de la fin de vie de la voiture qu'elle remplace (c'est le comportement attendu du marché de la voiture : lorsqu'une voiture part à la casse et quitte le parc, une voiture est achetée et entre dans le parc⁴). Ces deux scénarios sont comparés en termes de leurs émissions de CO₂ en analyse de cycle de vie (ACV).

Cette analyse permet de conclure que la mise en service prématurée de voitures neuves génère :

- Des émissions de CO₂ plus grandes que dans le scénario Référence, lorsque les voitures neuves sont mises en service sans sortie prématurée du parc des voitures qu'elles vont remplacer. Ces émissions supplémentaires sont dues au fait que lorsque l'on attend la fin de vie des voitures remplacées, alors les voitures neuves intègrent les dernières avancées en termes de réduction de leurs émissions de CO₂ (en ACV). Une légère augmentation des émissions apparaît donc avec leur mise en service prématurée.
- Dans le cas où les voitures neuves excluent prématurément les voitures âgées qu'elles remplacent (les voitures âgées sont donc envoyées à la casse avant leur fin de vie « naturelle »), alors plusieurs effets entrent en jeu :
 - Une obsolescence prématurée des voitures âgées, qui induit une augmentation des émissions unitaires (en ACV) de ces voitures, car amorties sur moins de kilomètres.
 - Une mise en service prématurée des voitures neuves, menant à l'effet précédemment décrit de moindre intégration des avancées technologiques en termes d'émissions de CO₂ en ACV.
 - Des émissions unitaires en usage plus faibles sur les kilomètres parcourus par les voitures neuves alors qu'ils auraient été parcourus en voitures âgées sans leur exclusion prématurée du parc.

Les deux premiers effets mènent à des émissions de CO₂ plus élevées, alors que le troisième mène à une réduction des émissions. L'étude conclut qu'une très faible réduction des émissions peut être obtenue par l'effet parc si l'écart entre les émissions unitaires des voitures neuves et des voitures âgées est très important. Par exemple, remplacer prématurément (d'un an) des diesels âgés par des voitures électriques permet une réduction de 1 % des émissions par rapport à leur remplacement non prématuré. Dans les autres cas, le remplacement prématuré mène à une **augmentation** des émissions de CO₂. Le plus efficace en termes d'émissions CO₂ est donc d'attendre la mise au rebut de la voiture âgée avant de la remplacer.

Etude de l'effet démotorisation

Cet effet se mesure à l'échelle du parc. En effet, on ne peut raisonner à l'échelle de l'individu pour estimer la réduction des émissions de CO₂ dus à la démotorisation. L'étude à l'échelle de l'individu est pertinente pour mesurer les effets de la démotorisation sur l'individu lui-même (pouvoir d'achat, changements de comportements individuels...), mais pas pour mesurer des effets globaux, tels que les externalités du système de mobilité.

Dans l'étude en annexe p.23 on modélise le remplacement d'un ensemble de voitures individuelles âgées par un ensemble de voitures neuves partagées. On suppose que le trafic de voitures reste constant (pas d'effet trafic). Les voitures partagées sont supposées être moins nombreuses que les voitures âgées qu'elles remplacent. Ainsi, elles sont utilisées plus intensément, et cette flotte est renouvelée plus rapidement⁵, intégrant plus souvent les avancées en termes de réduction des émissions de CO₂, que dans le scénario Référence. Dans ce scénario Référence, les voitures âgées sont remplacées par un ensemble de voitures neuves non partagées, et donc aussi nombreuses que les voitures âgées qu'elles remplacent. L'étude compare ces deux scénarios en termes d'émissions de CO₂ (en ACV).

⁴ Ce n'est cependant pas forcément la même personne qui met sa voiture à la casse et qui en rachète une.

⁵ On suppose que l'entretien des voitures est équivalent entre les voitures individuelles et partagées, et donc que la durée de vie kilométrique est la même pour les deux types de voitures. Une étude sur l'effet de l'entretien des voitures pourrait être réalisée indépendamment de l'autopartage.

L'étude conclut que plus l'évolution technologique du parc de voitures neuves en vente est rapide et plus le nombre de voitures âgées remplacées par rapport au nombre de voitures neuves mises en service est grand, plus la réduction des émissions de CO₂ est grande. Pour une diminution de 2 %/an⁶ des émissions de CO₂ en ACV des voitures neuves, on obtient les résultats suivants (voir Figure 1) :

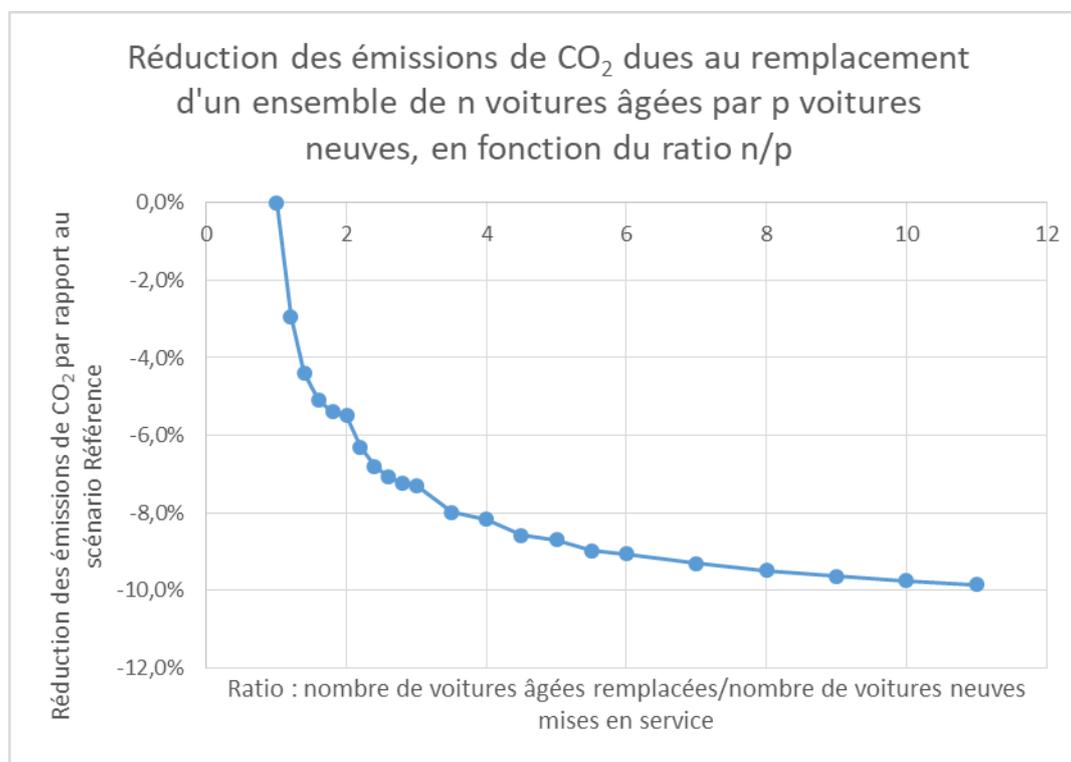


Figure 1: Réduction des émissions de CO₂ due au remplacement d'un ensemble de voitures âgées par un ensemble de voitures neuves, pour une amélioration technologique permettant une réduction de 2 %/an du bilan carbone des voitures neuves.

Clé de lecture : Si 10 voitures âgées sont remplacées par 7 voitures partagées neuves (soit un ratio $n/p = 10/7 = 1,4$), alors 4,4 % des émissions du parc de voitures en ACV sont évitées par rapport au cas où les 10 voitures âgées sont remplacées par 10 voitures neuves.

Il est important de noter que l'effet démotorisation impacte les émissions de CO₂ tant que les émissions de CO₂ en ACV progressent continuellement. Dès lors que les progrès stagnent, l'effet démotorisation n'a plus d'impact CO₂.⁷

Etude de l'effet trafic

L'effet trafic exprime le fait que l'adhésion à un service d'autopartage peut s'accompagner d'une modification des habitudes de mobilité, tels qu'une relocalisation du mode de vie⁸, ou des reports modaux de la voiture (qu'elle soit partagée ou individuelle) vers des modes moins carbonés⁹.

Les enquêtes nationales sur l'AP montrent que l'adhésion à ce service :

⁶ Les émissions unitaires moyennes en usage (sous les conditions de tests NEDC) des voitures neuves baissent d'environ 3 %/an depuis 2008 (ADEME, 2017). Par manque de séries temporelles, il est difficile d'estimer l'évolution de la baisse en ACV. Les estimations réalisées dans cette note prennent une hypothèse de 2 % de réduction par an en ACV pour fixer les ordres de grandeur.

⁷ La réduction dépend du ratio n/p , mais également de la vitesse des progrès faits par l'industrie automobile en termes de CO₂ en ACV, et de la durée de vie kilométrique moyenne des voitures, voir annexe p22.

⁸ Voir les différents moyens permettant d'éviter des déplacements (télétravail et livraison des achats) dans (The Shift Project, 2017).

⁹ Voir les différents modes moins carbonés que la voiture et qui sont pertinents dans les zones de moyenne densité dans (The Shift Project, 2017)

- Peut n'être associée à aucune démotorisation, ou à une démotorisation partielle des ménages (qui abandonnent leur seconde ou troisième voiture). L'AP est alors utilisé comme une voiture complémentaire qui ne sert qu'occasionnellement. Dans ces cas, les comportements de mobilité changent peu (en moyenne 10 % des v.km sont évités, et 15 % des v.km sont effectués en voiture partagée, les 75 % restants étant effectués en voiture personnelle¹⁰).
- Peut-être associée à une démotorisation complète des ménages. C'est dans ce cas que les changements de comportements individuels sont les plus grands (de l'ordre de 66 % de réduction des v.km).

En termes d'incitation individuelle, la démotorisation complète associée à une adhésion à l'autopartage induit une modification de la perception de la mobilité en voiture : celle-ci passe de l'utilisation d'un actif possédé à l'usage d'un service de mobilité, donc moins centré sur la voiture dès lors que des alternatives à la voiture existent. De plus, lorsque ces alternatives existent, la démotorisation complète associée à l'adhésion à un service d'autopartage permet de fidéliser les usagers à ces alternatives.

Ainsi, les effets significatifs en termes d'émissions de CO₂ n'émergent que lorsque l'autopartage constitue une offre complémentaire à un réseau dense d'alternatives à la voiture (relocalisation des activités plus près du lieu de vie, marche, cycles, transports publics, covoiturage)¹¹. Sans ce réseau d'alternatives, l'AP ne peut pas induire une démotorisation complète des ménages, et ne peut donc pas générer un effet trafic fort. On appelle ici les zones qui proposent un tel réseau d'alternatives « zones à haute alternative à la voiture », ou zone HAV.

L'autopartage suit ainsi deux régimes :

- Un régime de changement de possession (la voiture individuelle devient une voiture partagée) mais sans changement des comportements individuels, appelé « régime d'optimisation du parc » dans cette note.
- Un régime de changement de possession *et* de changement des comportements individuels (moindre usage de la voiture au global), appelé « régime de mobilité écologique » dans cette note.

Le régime d'optimisation du parc permet une optimisation du parc global de voitures sans changer la mobilité des individus. En effet, la somme des besoins instantanés en disponibilité de voitures fait apparaître un effet de foisonnement : la courbe du besoin agrégé sur une population, en nombre de voitures à un instant donné, est lissée, malgré la présence de pics de demande agrégée. Sur un parc entier de voitures, on s'aperçoit qu'à aucun moment de la semaine toutes les voitures ne sont utilisées en même temps. Il existe donc une marge d'optimisation du parc, qui représente la part du parc qu'on pourrait théoriquement supprimer tout en assurant exactement la même mobilité individuelle de chacun, et à condition de pouvoir partager de manière totalement fluide¹² les voitures restantes (voir courbe orange sur la Figure 2).

Le régime de mobilité écologique émerge lorsque, en plus du régime d'optimisation du parc, des alternatives à la voiture sont mises en place (on est donc en zone HAV). Dans ce cas, le besoin de mobilité en voiture peut être réduit (c'est dans ces conditions que l'effet trafic émerge), ce qui permet de réduire encore plus la taille du parc de voitures (voir courbe bleue sur la Figure 2).

¹⁰ Voir (6-t, 2016), Tableau 5, p54

¹¹ Un tel système est appelé « système de transport écologique » en Allemagne (Verkehrsmittel des Umweltverbundes). Voir (Brög & Erl, 1996).

¹² C'est-à-dire, sans aucune perte de temps pour les individus, par exemple pour réserver la voiture, pour l'atteindre, pour la prendre en main.

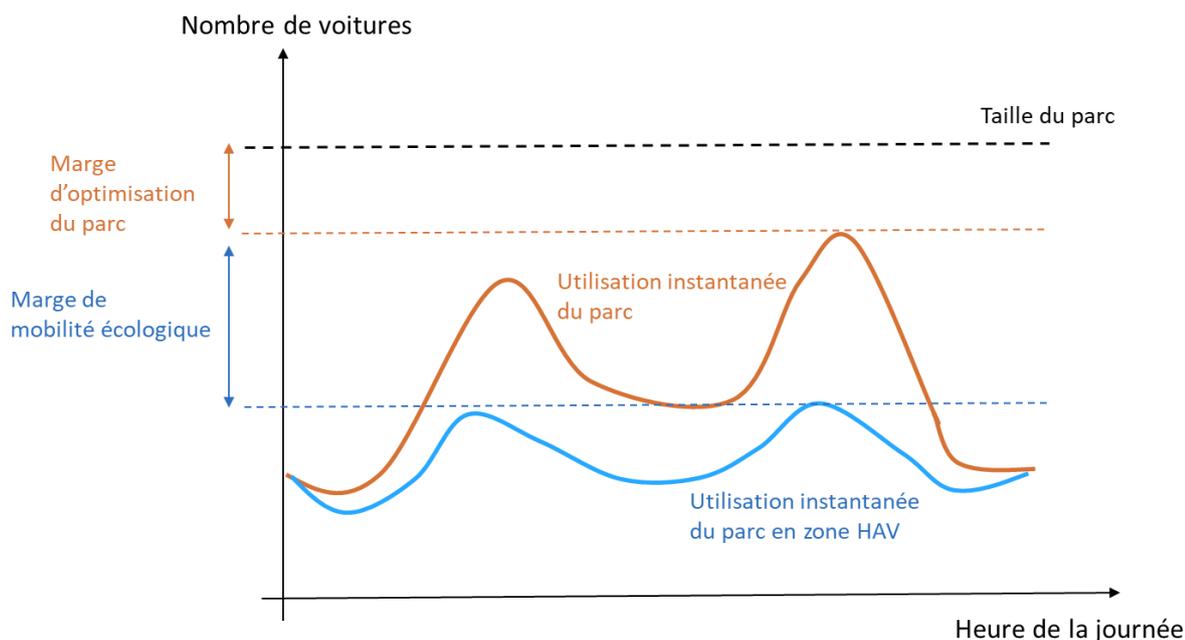


Figure 2 : Illustration des possibilités d'optimiser le parc grâce au partage des voitures en régime d'optimisation du parc pur, et en régime de mobilité écologique. La courbe orange représente la part du parc en utilisation à chaque heure de la journée dans une situation où il n'existe pas d'alternative à la voiture ; la courbe bleue représente la part du parc en utilisation à chaque heure de la journée dans la situation où des alternatives à la voiture ont été développées (zone HAV).

Les conditions pour que l'autopartage soit en régime de mobilité écologique (la présence de zones HAV) n'existent pour l'instant de manière significative que dans l'urbain dense. C'est pourquoi on considère dans cette étude que l'effet trafic n'émerge (à l'heure actuelle) que dans l'urbain dense.

Autrement dit, en présence d'alternatives à la voiture, la souscription à une offre d'autopartage peut être associée à une réduction du nombre de kilomètres parcourus en voiture, kilomètres soit reportés vers d'autres modes, soit évités par une relocalisation du mode de vie. Sont concernés les ménages qui se séparent de toutes leurs voitures, et les ménages qui, bien que conservant une ou plusieurs voitures, réduisent leur nombre de kilomètres en voiture. Au contraire, sans ces alternatives à la voiture, la souscription au service d'autopartage n'est associée qu'à un changement de mode de possession de la voiture, mais l'usage global de la voiture est inchangé.

Interaction entre les trois effets

L'effet parc est négatif ou très faible. On supposera donc pour la suite de cette étude qu'il est négligeable, et invoquer une réduction des émissions de CO₂ pour promouvoir l'effet parc (qu'il émerge par la mise en place de l'AP ou par des politiques de type zone à circulation restreinte pour les voitures âgées, ou par des aides à l'achat couplées avec mise à la casse, qui peuvent elles-aussi avoir pour conséquence une mise au rebut prématurée d'anciennes voitures) ne nous paraît pas pertinent.

Comme mentionné précédemment, les effets démotorisation et trafic sont partiellement liés. On peut obtenir au mieux l'effet démotorisation seul dans les zones à faible alternative à la voiture (FAV). On considèrera dans cette étude que les zones à faible alternative à la voiture sont les zones rurales et de moyenne densité¹³.

Dans les zones HAV, les deux effets interagissent positivement : la réduction de trafic permise par les alternatives à la voiture permet une démotorisation encore plus importante. On considèrera dans cette étude que les zones HAV sont les zones denses¹⁴.

¹³ Voir les éléments de zonage de (The Shift Project, 2017).

¹⁴ Appellées « centre urbain » dans (The Shift Project, 2017).

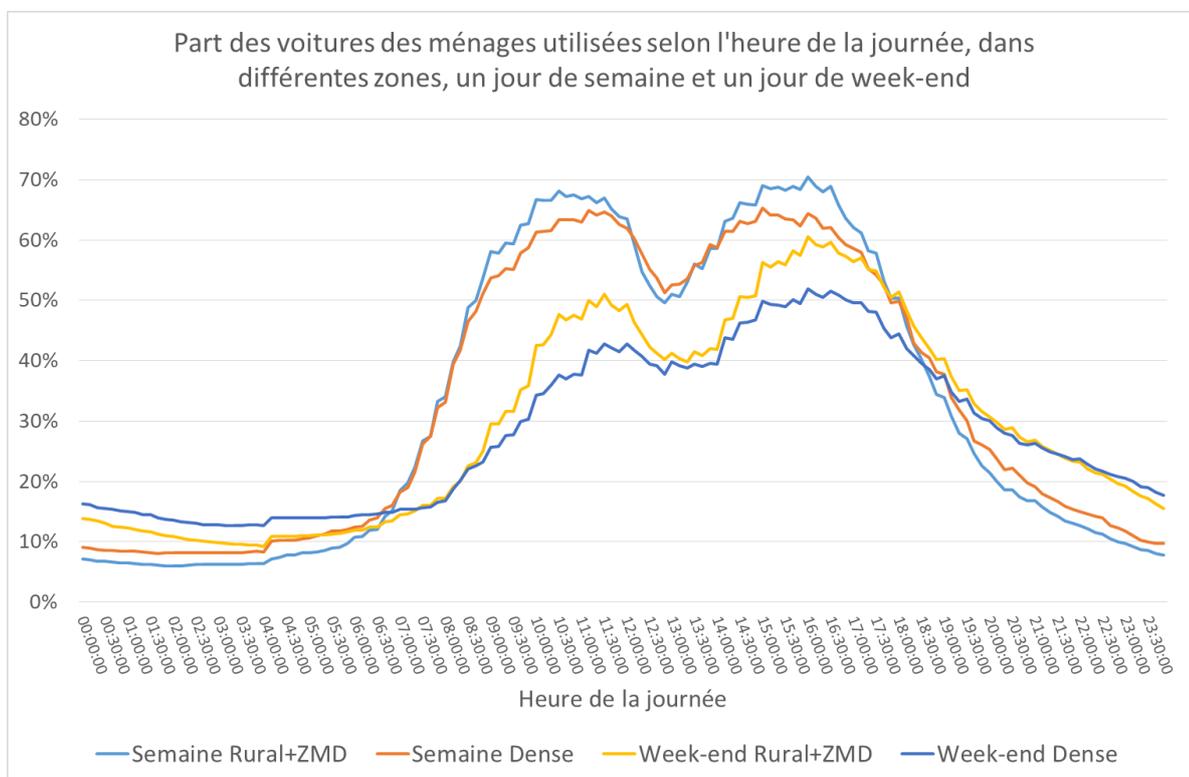
POTENTIEL ACTUEL DE REDUCTION DES EMISSIONS DE CO2 DUE AUX EFFETS DEMOTORISATION ET TRAFIC

On suppose ici qu'on remplace **l'ensemble** des voitures de France métropolitaine par un parc optimisé (c'est-à-dire, de plus faible effectif possible) de voitures partagées, afin d'estimer les impacts maximaux de l'AP sur les émissions de CO₂.

Zones à faible alternative à la voiture (FAV)

On considère que dans les zones à faible alternative à la voiture (le rural et les zones de moyenne densité, ZMD), dites FAV, l'effet trafic est négligeable (il n'y a d'ailleurs pas de retour d'expérience dans ces zones, les expériences d'autopartage ayant lieu dans les zones denses). Ainsi, seul le potentiel de réduction des émissions de CO₂ dû à l'effet démotorisation est estimé pour ces zones, ce qui revient à en estimer la marge d'optimisation du parc de voitures (voir Figure 2).

Une analyse des données de l'ENTD 2008¹⁵ présentée en p.24 permet d'obtenir les résultats suivants :



On observe que dans les zones à faible alternative à la voiture, un maximum de 70 % du parc est utilisé (vers 16h) un jour de semaine « normal ». D'une part, ces données correspondent à une journée d'enquête donnée. Le parc est certainement plus utilisé en pointe que ce jour-là sur d'autres jours de l'année, par exemple des jours de départ en vacances. Ainsi, le potentiel d'optimisation est certainement plus faible que 3/10. D'autre part, ce niveau d'optimisation global est contraint par la nécessité d'une « fluidité » du partage à l'échelon local (notamment, les voitures doivent être disponibles localement au moment du besoin en déplacement, aussi facilement accessible que lorsque la voiture est possédée¹⁶).

¹⁵ (CGDD, 2008)

¹⁶ S'il existe des disparités géographiques dans l'usage du parc, certaines voitures disponibles ne sont pas situées là où le besoin de mobilité s'exprime. Dans ce cas, la marge d'optimisation calculée à l'échelon global surestime la marge d'optimisation réellement exploitable en tenant compte du local.

Notons que la différence entre les zones denses et les zones moins denses (rural et ZMD) n'est pas très importante, car le parc de l'urbain dense est déjà optimisé (en moyenne les ménages y possèdent déjà moins de voitures¹⁷, qui sont donc utilisées aussi intensément que dans les zones moins denses).

On considère cependant pour ces zones, de manière conservatrice (« optimiste »), que 7 voitures partagées neuves peuvent remplacer 10 voitures individuelles âgées.

En exploitant les résultats de la Figure 1 avec un ratio n/p de **10/7=1,4**, on obtient une réduction due à l'effet démotorisation de 4 % des émissions unitaires de CO₂. On obtient donc une réduction de 4 % des émissions annuelles dans les zones FAV, étant donné qu'on y suppose l'effet trafic négligeable.

D'autre part, les zones FAV représentent 94 % du trafic quotidien annuel en France métropolitaine¹⁸, et la même proportion d'émissions de CO₂.

Zones à haute alternative à la voiture (HAV)

Dans les zones HAV, on considère que l'effet trafic est non négligeable, et qu'il interagit avec l'effet démotorisation. Afin d'estimer ces deux effets combinés, nous nous basons sur l'étude de 6-t (6-t, 2016) : d'après cette étude (p42), le parc de voitures des usagers a été réduit de 70 % environ. Sans données sur ce que deviennent les voitures remplacées (sont-elles envoyées à la casse ou non ?), nous supposons de manière très conservatrice (« optimiste ») qu'elles sortent **toutes** du parc de voitures (aucune vente en seconde main). Ainsi, en utilisant les résultats de la Figure 1 avec un ratio n/p de 100/30 = 3,3, on obtient une réduction des émissions unitaires en ACV dues à l'effet démotorisation de 8 %.

L'effet trafic estimé dans cette même étude est une réduction du trafic de 36 % (voir Tableau 4, p 54), menant en première approximation à une réduction de 36 % des émissions dues à ce trafic. Sur ces 36 %, on suppose ici que :

- les 2/3 sont reportés vers le vélo ou sont évités par une réduction des distances parcourues (relocalisation de la vie), i.e. se reportent vers une mobilité décarbonée, et que
- 1/3 se reportent vers les TC¹⁹, qu'on suppose composés de transports en commun urbains émettant en moyenne 3 fois moins que la voiture par p.km²⁰. Sous ces hypothèses, les TC accueillant ce report modal

émettent $\frac{1}{3} \times \frac{36\%}{3} = 4\%$ des émissions du trafic quotidien des zones denses en France métropolitaine.

Au final, l'effet trafic a un potentiel de réduction des émissions annuelles dues à la mobilité quotidienne dans les zones denses en France métropolitaine de CO₂ de 36 - 4 = 32 %. Cette réduction est relative à l'usage de la voiture. Afin de la rapporter au cycle de vie complet de la voiture, nous considérons que les émissions de CO₂ dues à la fabrication des voitures représentent 20 % des émissions sur le cycle de vie (fabrication + usage)²¹. Ainsi la réduction de 32 % ne s'applique que sur 80 % des émissions en ACV, soit une réduction en ACV de 32 % * 80 % = 26 %.

D'autre part, les zones HAV, assimilées de manière conservatrice aux zones denses (qui incluent par exemple toute la première couronne de l'Ile-de-France), représentent 6 % du trafic quotidien annuel de la France métropolitaine²².

¹⁷ On peut estimer que les ménages des zones denses possèdent en moyenne 0,9 voiture, ceux des zones rurales et ZMD en possédant 1,4, par traitement de (CGDD, 2008).

¹⁸ Il s'agit du trafic quotidien (distances parcourues par des voitures dans le cadre de la mobilité locale, tous motifs inclus) dont l'origine et la destination sont hors des zones denses, comparé au trafic quotidien, en France métropolitaine. Le trafic est le nombre de v.km parcourus par des voitures.

¹⁹ Ces ordres de grandeur se basent sur le fait que les individus dont la mobilité change significativement se reportent pour moitié vers le vélo, et pour moitié vers un mix de vélo et TC, d'après (6-t, 2016).

²⁰ La voiture neuve émet environ 105 gCO₂/p.km et les TC sont ici supposés émettre environ 35 gCO₂/p.km en moyenne.

²¹ En se basant sur l'étude (ADEME, 2011), qui donne pour le véhicule thermique 4,7 t de CO₂ à la fabrication et 154 gCO₂/km à l'usage sur une durée de vie de 150 000 km, soit 23 t de CO₂ à l'usage, d'où une part d'environ 20 % de la fabrication sur le cycle de vie complet.

²² Cette estimation inclut l'ensemble du trafic quotidien dont l'origine et la destination sont en zone dense, et rien que ce trafic.

Bilan CO2

Les réductions des émissions de CO₂ pouvant ainsi être associées à l'AP (en supposant que tout le parc de voitures est remplacé par une flotte de voitures partagées) se calculent ainsi :

$$R = (1 - R_{HAV}) * \%E_{HAV} + (1 - R_{FAV}) * \%E_{FAV} \quad (1)$$

Avec $\%E_{HAV} = 6\%$, la part des émissions que représente le trafic quotidien dans les zones HAV,

$\%E_{FAV} = 94\%$, la part des émissions que représente le trafic quotidien dans les zones FAV,

$R_{HAV} = 1 - (1 - 8\%) * (1 - 26\%) = 32\%$, le potentiel de réduction des émissions annuelles dans les zones HAV tenant compte des effets démotorisation et trafic combinés.

$R_{FAV} = 4\%$, le potentiel de réduction des émissions annuelles dans les zones FAV due à l'effet démotorisation seul.

Le potentiel maximal de réduction des émissions due à la mise en place de l'autopartage et à la présence d'alternatives à la voiture est ainsi de $R = 6\%$ (voir tableau ci-dessous).

	Part des trajets quotidiens	Part des émissions	Effet démotorisation (réduction des émissions unitaires en ACV)	Effet trafic (réduction des émissions annuelles)	Effet démotorisation + trafic	Réduction des émissions annuelles
Zones HAV	6%	6%	-8%	-26%	-32%	-1,9%
Zones FAV	94%	94%	-4%	0%	-4%	-3,8%
Total	100%	100%	-	-	-	-5,7%

Ainsi, si les alternatives efficaces à la voiture ne sont pas développées en dehors des zones urbaines denses, un **maximum** de 6 % des émissions de CO₂ dues à la mobilité quotidienne peut être évité par une combinaison de mise en place massive de l'AP (remplacement **complet** du parc national de voitures) et des alternatives à la voiture déjà présentes.

Toute extension des zones HAV par la mise en place d'alternatives efficaces à la voiture dans les zones faiblement ou non couvertes par ces alternatives, en combinaison avec la mise en place de l'autopartage, permet d'augmenter très significativement le potentiel de réduction des émissions de CO₂ sur les zones concernées (de 4 % de réduction si l'autopartage seul est mis en place, à 32 % de réduction).

CONCLUSIONS

L'autopartage (AP) peut induire différents effets sur la composition du parc de voitures, l'usage de ce parc et, par conséquent, les émissions de CO₂ (au sens de l'Analyse de Cycle de Vie, ACV) de ce parc : l'effet parc, considéré comme négligeable, l'effet démotorisation (existant dans les zones FAV et HAV) et l'effet trafic (négligeable dans les zones FAV, mais significatif dans les zones HAV).

Les HAV ne se concentrent pour l'instant que dans l'urbain dense des grandes agglomérations, où la présence de la voiture est déjà faible. Ainsi, seules 6 % des distances quotidiennes²³ parcourues par des voitures en France métropolitaine sont potentiellement concernées. Le potentiel maximal de réduction des émissions par l'AP est actuellement d'environ 6 %, en tenant compte de ses (faibles) effets dans les zones FAV (effet démotorisation seul), et de ses effets (démotorisation et trafic) combinés aux alternatives à la voiture dans les zones HAV.

²³ Restant dans un rayon de 80 km du domicile

Sans extension des zones HAV aux zones moyennement denses et aux agglomérations de taille moyenne et petite (c'est-à-dire sans développement d'une offre d'alternatives efficaces à la voiture dans ces zones), l'autopartage, même implanté massivement (remplacement de tout le parc de voitures en France métropolitaine) ne peut pas espérer réduire de plus de 6 % les émissions de CO₂ de la mobilité.

Dans chaque zone FAV qui devient HAV, ce potentiel passe de 4 % à plus de 30 %. Ainsi, pour que l'AP ait un impact carbone positif significatif, il doit constituer un complément à une offre d'alternatives efficaces à la voiture (que ce soit par une réduction du besoin en mobilité, ou par un report modal vers des modes moins carbonés).

REFERENCES

- 6-t. (2013). *Enquête nationale sur l'autopartage - l'autopartage comme déclencheur d'une mobilité alternative à la voiture particulière*. ADEME.
- 6-t. (2016). *Enquête nationale autopartage - Mise à jour 2016 - Analyse des enquêtes*. ADEME.
- 6-t bureau de recherche, ADEME. (2014). *ENA. 3 Enquête sur l'autopartage en trace directe*.
- 6-t bureau de recherche, ADEME. (2015). *Enquête nationale sur l'autopartage entre particuliers*.
- ADEME. (2011). *Elaboration selon les principes des ACV des bilans énergétiques, des émissions de gaz à effet de serre et des autres impacts environnementaux induits par l'ensemble des filières de véhicules électriques et de véhicules thermiques*.
- ADEME. (2017). *Evolution du taux moyen d'émissions de CO2 en France*. Récupéré sur Car labelling ADEME - Véhicules particuliers neufs: <http://carlabelling.ademe.fr/chiffrescler/r/evolutionTauxCo2>
- Brög , W., & Erl, E. (1996). *Réduire ou repenser la mobilité urbaine quotidienne ? Allemagne*. rapport de la 102e table ronde d'économie des transports, CEMT, OCDE.
- CGDD. (2008). *Fichiers détail de l'Enquête nationale transports et déplacements 2008*. Récupéré sur http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/transports/r/transport-voyageurs-deplacements.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D=22128
- CGDD. (2010). *La mobilité des Français - Panorama issu de l'enquête nationale transports et déplacements 2008*.
- CGDD. (2017). *Analyse coûts bénéfiques des véhicules électriques - Les voitures*. Théma Analyse.
- Kolli, Z. (2011). Cars longevity: a biometric approach. *Young Researchers Seminar 2011*, (pp. 1-24). Denmark. Récupéré sur http://www.ectri.org/YRS11/Documents/YRS11Book%20of%20papers_final.pdf
- The Shift Project. (2017). *Décarboner la mobilité dans les zones de moyenne densité*. Etude réalisée par le groupe de travail Mobilité. Récupéré sur <http://www.theshiftproject.org/fr/cet-article/publication-du-rapport-decarboner-la-mobilite-dans-les-zones-de-moyenne-densite-cest-pos>

ANNEXES

DEFINITION ET ANALYSE DES EFFETS PARC ET DEMOTORISATION

On distingue dans cette annexe trois effets que l'autopartage peut générer :

- l'effet parc (EP), qui désigne le remplacement prématuré d'une voiture âgée par une voiture neuve afin d'intégrer dans le parc des voitures qui émettent moins de CO₂.
- L'effet démotorisation (ED), qui désigne la réduction de la taille du parc global de voitures, entraînant son renouvellement plus rapide, permettant une intégration plus rapide de voitures neuves dont les émissions sont moindres que les voitures âgées.
- L'effet trafic (ET), non étudié dans l'annexe, qui désigne la moindre utilisation de la voiture par les usagers de l'AP, qui peut arriver dans certaines conditions lors de la mise en place de l'AP.

Effet parc (EP)

On cherche ici à estimer cet effet seul, sans l'effet ET ni l'effet ED. Par conséquent, on suppose dans cette section que l'effet ET est nul (pas de changement d'usage de la voiture), et que la voiture neuve introduite dans le cadre de l'autopartage ne remplace qu'une voiture âgée (le besoin en nombre de voitures ne décroît pas avec le partage de voitures). Ainsi, dans ce scénario, l'autopartage ne constitue qu'un changement de modèle de possession de la voiture.

L'effet EP étudié est le même que celui obtenu par les régulations qui incitent à se séparer prématurément d'un véhicule âgé pour en acheter un neuf, afin de pouvoir circuler dans certaines zones « à faible émission ».

Nous nous donnons un scénario de référence ainsi : le besoin de mobilité en voiture reste constant, et aucune offre d'autopartage n'est introduite. Ainsi, on a un renouvellement « de référence » du parc de voitures, sans présence de l'autopartage.

Le parc de voitures est régi par des lois de type stock-flow (voir Figure 3).

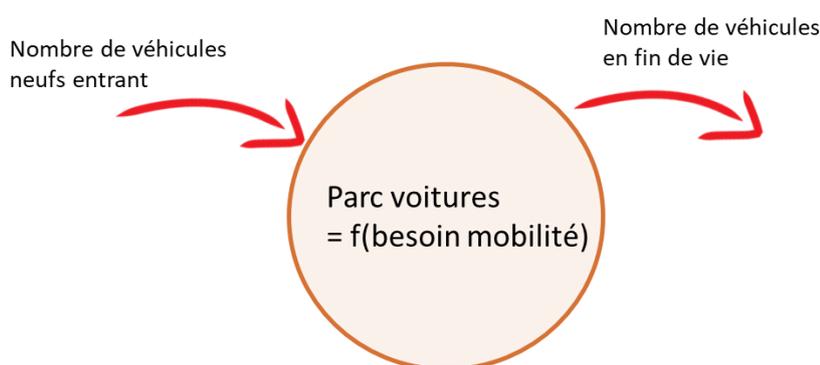


Figure 3 : Illustration du fonctionnement global régissant le nombre de voitures dans un parc donné. Chaque année un certain nombre de voitures neuves entrent dans le parc, et un certain nombre de voiture en fin de vie sortent du parc. La différence entre les deux mesure l'accroissement annuel du parc. Cet accroissement est à regarder à la lumière du besoin en voitures, qui dépend des besoins en mobilité de la population et du système de mobilité en place.

Nous développons ici le scénario « autopartage », AP, dans lequel une voiture d'autopartage est introduite dans le parc²⁴. L'objectif est d'estimer l'impact CO₂ global de cette introduction. On suppose ici que le besoin global de mobilité en voiture reste constant, c'est-à-dire que le parc global n'a pas besoin de grossir²⁵. Plusieurs cas sont définis en fonction de ce qu'il advient de la voiture âgée remplacée :

- Au moment de l'introduction de la voiture partagée, la voiture âgée arrivait en fin de vie. Dans le scénario de référence, cette voiture aurait été remplacée par une voiture neuve (individuelle). Dans le scénario AP, elle est remplacée par une voiture neuve (partagée). Il n'y a donc pas d'effet EP sur le parc²⁶, ce dernier n'évoluant pas du tout.
- La voiture partagée vient grossir le parc (elle n'est pas directement compensée par la sortie de la voiture âgée). Par conséquent, les kilomètres qu'elle parcourt annuellement sont des kilomètres qui, au global, ne seront pas faits par les autres voitures du parc annuellement. On a alors deux cas :
 - Premier cas (AP1) : l'introduction de la voiture partagée n'accélère pas la sortie de la voiture âgée. Autrement dit, cette dernière reste légèrement plus longtemps dans le parc (avec sa motorisation plus émissive), en parallèle de la voiture neuve (partagée), puis, en fin de vie, elle laisse finalement place à la voiture neuve seule. Pendant ce temps, les kilomètres parcourus sont partagés entre les deux voitures. Dans ce cas, par hypothèse, la voiture âgée a roulé autant que dans le scénario de référence, mais sur un temps légèrement plus long. Ses émissions globales sont donc les mêmes pour les deux scénarios. La voiture neuve est cependant mise en service légèrement plus tôt dans le scénario AP1 que dans le scénario Référence (Réf), donc elle est tendanciellement *moins bien* motorisée que dans le scénario Référence (voir Figure 4). Elle roule moins au début de sa vie (car les kilomètres parcourus sont partagés entre la voiture neuve et la voiture âgée), et finit donc sa vie en même temps que dans le scénario Référence.
 - Deuxième cas (AP2) : l'introduction de la voiture partagée accélère la fin de vie d'une voiture individuelle (par une incitation réglementaire par exemple, ou par effet de mode). Dans ce cas, la voiture individuelle n'a pas été utilisée à son plein potentiel, il s'agit d'un actif échoué par rapport au scénario Réf. Son bilan en analyse de cycle de vie s'en trouve dégradé (les externalités dues à la production et à la gestion de sa fin de vie sont amorties sur un kilométrage total moindre) par rapport au scénario Réf. La voiture âgée cesse d'émettre plus tôt dans le scénario AP que dans le scénario Réf, mais la voiture neuve est également mise en service plus tôt, donc elle est tendanciellement *moins bien* motorisée que dans le scénario Réf (voir Figure 4).

²⁴ Par mesure de simplification, on raisonne sur une seule voiture, le raisonnement restant valable pour l'introduction d'une flotte de n voitures partagées remplaçant n voitures âgées.

²⁵ En cas de besoin en voitures supplémentaires, le raisonnement reste le même pour les voitures introduites au-delà de ce besoin. Pour les voitures introduites en-deçà de ce besoin, alors le scénario de Référence aurait mené à introduire des voitures neuves (individuelles) dans le parc, alors que le scénario AP mène à introduire des voitures neuves (partagées) dans le parc. Ainsi, pour ces voitures qui comblent le manque de voitures, l'effet EP de l'AP est nul (le parc global est le même dans les deux scénarios). Nous nous ramenons donc uniquement au cas des voitures introduites au-delà du besoin, ce qui revient à dire que le besoin est constant et qu'une voiture est ajoutée.

²⁶ On suppose que la voiture neuve introduite dans le scénario AP et dans le scénario Réf est la même. Ce cas est en fait équivalent au cas où on ajoute une voiture en-deçà du besoin. Le scénario AP est le cas limite où le besoin augmente (car une voiture arrive en fin de vie) au moment-même de l'introduction de la voiture partagée.

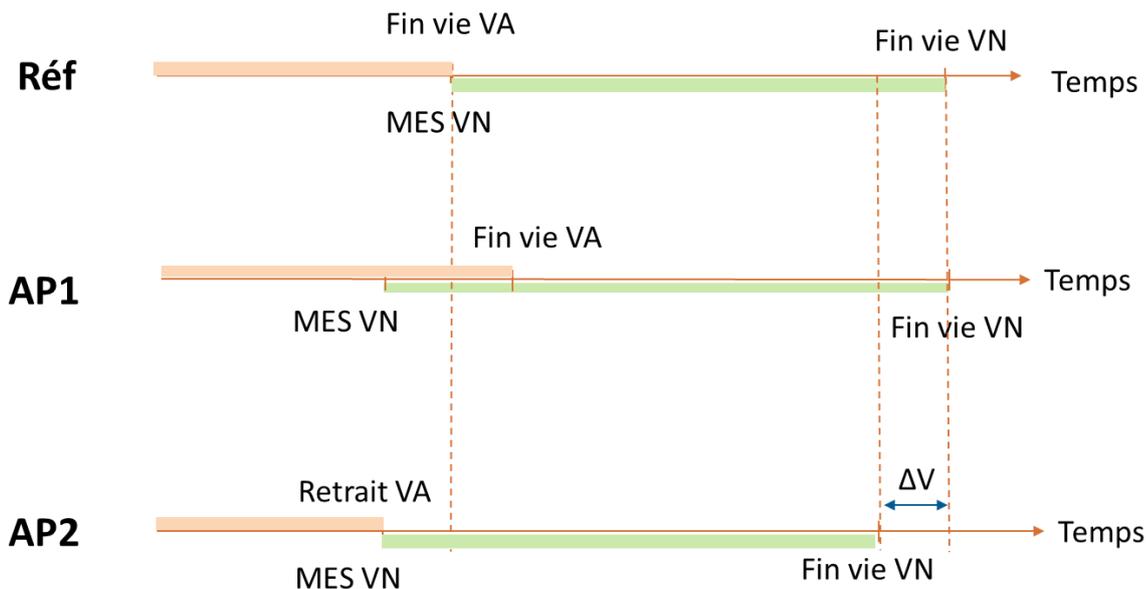


Figure 4 : Localisation dans le temps des événements dans le scénario de référence (Réf), dans le cas 1 du scénario autopartage (AP1), et dans le cas 2 du scénario autopartage (AP2). VA fait référence à la voiture âgée (qui arrive en fin de vie) ; VN fait référence à la voiture neuve (qui est mise en service, MES).

On pose :

$$E_{ACV,VA} = KV * FE_{VA} + E_{ind,VA}$$

$E_{ACV,VA}$ est la quantité d'émissions de CO₂ de la voiture âgée (VA) en analyse de cycle de vie (ACV)

KV est le kilométrage sur la durée de vie de la VA dans le scénario de référence (supposée égale à 150 000 km, voir (Kolli, 2011)). Par la suite, cette valeur est utilisée comme le kilométrage marquant la fin de vie « naturelle » des VA comme des VN.

FE_{VA} est le facteur d'émission de la VA en usage (supposé égal à 154 gCO₂/km²⁷).

$E_{ind,VA}$ est la quantité d'émissions indirectes de CO₂ de la VA (relatives à sa production et à la gestion de sa fin de vie), supposée égale à 4 700 kg²⁸.

Scénario de Référence (Réf)

On calcule les émissions **unitaires** (c'est-à-dire, en gCO₂/v.km) moyennes dans le scénario de Référence (Réf), ainsi :

$$E_{Ref} = \frac{E_{ACV,VA} + E_{ACV,VN}}{2 * KV} \quad (2)$$

$E_{ACV,VN}$ est la quantité d'émissions de CO₂ de la voiture neuve (VN) en ACV. Elle est supposée égale à 22 tCO₂²⁹. On suppose également que les progrès en termes d'émissions des véhicules sur leur cycle de vie est de 2 %/an, soit 21 % de réduction sur la durée de vie d'une voiture. Ainsi, $E_{ACV,VA}$ est égale à 22/(1-21%) = 27,8 tCO₂.

Au final, $E_{Ref} = \frac{27,8t+22t}{2*150000} = 160g/km$.

²⁷ Ce chiffre est basé sur l'ACV d'un véhicule diesel (ADEME, 2011)

²⁸ Ibid.

²⁹ Ibid.

Scénario AP1

On calcule les émissions **unitaires** moyennes dans le scénario AP1, ainsi :

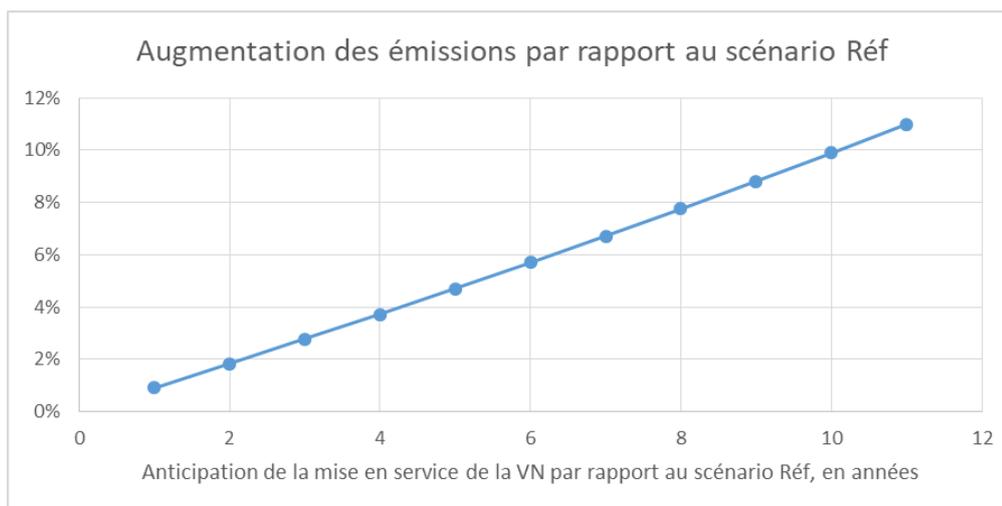
$$E_{AP1} = \frac{E_{ACV,VA} + E_{ACV,VN-}}{2 \cdot KV} \quad (3)$$

$E_{ACV,VN-}$ fait référence à la quantité d'émissions de CO₂ de la voiture neuve mise en service en avance dans ce scénario par rapport au scénario Réf. On suppose pour les calculs qu'elle est mise en service un an plus tôt que dans le scénario Référence ($\Delta V = 1 \text{ an}$). On suppose également que les progrès en termes d'émissions des véhicules sur leur cycle de vie est de 2 % par an.

Etant donné que $E_{ACV,VN-} > E_{ACV,VN}$, on en déduit que $E_{AP1} > E_{Ref}$; l'écart des émissions entre ces deux scénarios est de $\frac{E_{ACV,VN-} - E_{ACV,VN}}{2 \cdot KV} = \frac{451 \text{ kg}}{2 \cdot 150000} = 2 \text{ g/km}$.

Le scénario AP1 induit des émissions supplémentaires négligeables (+ 1%) par rapport au scénario Réf. Notons que ce résultat relatif est indépendant du nombre de voitures remplacées (si on applique le raisonnement à 2 voitures remplacées, alors les émissions du scénario Réf et celles du scénario AP1 sont multipliées par 2, si bien que le ratio ne change pas).

Par contre le résultat dépend du moment de mise en service de la VN. Une analyse de sensibilité confirme que plus elle est mise en service tôt, plus les émissions sont élevées par rapport au scénario Réf (Figure ci-dessous).



Scénario AP2

On calcule les émissions **unitaires** moyennes dans le scénario AP2 sur la durée $T_{\Delta V} = 2DV - \Delta V$ (voir Figure 4), ainsi :

$$E_{AP2} = \frac{E_{ind,VA} + KV_- * FE_{VA} + E_{ACV,VN-}}{2 \cdot KV - \Delta KV} \quad (4)$$

$\Delta KV = KV - KV_-$ est l'écart de kilométrage de la VA sur son cycle de vie entre le scénario Réf et le scénario AP2 (il est de 13 000 km, la distance parcourue pendant $\Delta V = 1 \text{ an}$).

KV_- est le kilométrage de la VA sur sa durée de vie dans le scénario AP2 (supposée écourtée de ΔV , soit $KV_- = 150000 - 13000 = 137000 \text{ km}$).

On note DV la durée de vie d'une voiture dans le scénario Réf (supposée égale à 11,5 ans, soit une circulation de 13 000 km/an³⁰).

On note $t = \frac{\Delta KV}{KV} = \frac{\Delta V}{DV} = \frac{1}{11,5} = 9\%$ le pourcentage de distance non parcourue par la VA dans le scénario AP2 sur son cycle de vie.

L'écart entre les émissions du scénario Réf et celles du scénario AP2 compte 3 composantes :

$$E_{AP2} - E_{Ref} = \frac{\Delta KV}{2 \cdot KV - \Delta KV} * E_{Ref} + \frac{\Delta E_{ACV, VN}}{2 \cdot KV - \Delta KV} - \frac{FE_{VA} \cdot \Delta KV}{2 \cdot KV - \Delta KV} \quad (5)$$

$$= \frac{t}{2 - t} * E_{Ref} + \frac{\Delta E_{ACV, VN}}{(2 - t) \cdot KV} - \frac{t}{2 - t} \cdot FE_{VA}$$

Avec :

$\Delta E_{ACV, VN} = E_{ACV, VN-} - E_{ACV, VN}$ sont les émissions totales supplémentaires dans le scénario AP2 dues à la mise en service de la VN plus tôt que dans le scénario Réf (ce terme dépend donc de t , t représentant la précocité de mise en service de la VN et déterminant donc l'accumulation de progrès technologique entre la date de mise en service de la VN dans le scénario AP2 et celle de mise en service dans le scénario Réf).

La première composante de l'équation (6) représente les émissions annuelles supplémentaires dans le scénario AP2 dues à la moindre durée de vie du tandem (VA, VN) (les émissions en ACV sont réparties sur $(2 - t) \cdot KV = 137000 \text{ km}$ au lieu de $2 \cdot KV = 150000 \text{ km}$).

La seconde composante représente les émissions annuelles supplémentaires dans le scénario AP2 dues à la mise en service de la voiture neuve plus tôt que dans le scénario Réf, qui ne bénéficie donc pas des mêmes progrès sur la réduction des émissions dans l'ACV des voitures que dans le scénario Réf.

La troisième composante représente les émissions annuelles évitées dans le scénario AP2 dues aux kilomètres non parcourus par la VA dans ce scénario, par rapport au scénario Réf.

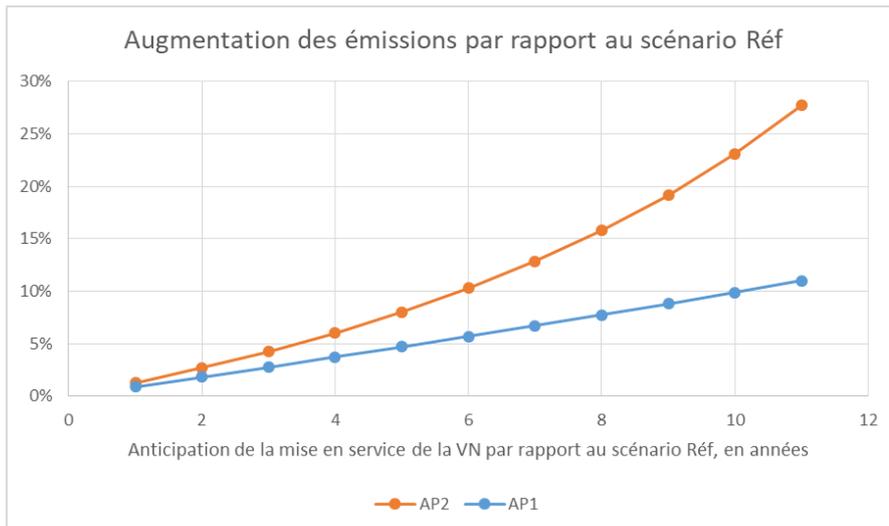
Le bilan est le suivant :

$$E_{AP2} - E_{Ref} = \frac{0,1}{1,9} * 160 + \frac{451000}{1,9 * 150000} - \frac{0,1}{1,9} * 134 = 8 + 2 - 6 = 4 \text{ gCO}_2/\text{km} \quad (6)$$

Soit une augmentation des émissions négligeables (+2%) dans le scénario AP2 par rapport au scénario Réf.

On voit sur la figure ci-dessous l'effet de la date de mise en service de la VN sans induire une obsolescence prématurée de la VA (scénario AP1), et l'effet de cette date en tenant compte de la sortie du parc prématurée de la VA (scénario AP2).

³⁰ Voir (CGDD, 2017), p14



Afin que l'obsolescence prématurée de la VA soit plus que compensée par les moindres émissions en circulation, il faut nécessairement que :

$$E_{Ref} < FE_{VA} \quad (7)$$

C'est-à-dire :

$$KV.(FE_{VA} - FE_{VN}) > E_{ind,VA} + E_{ind,VN} \quad (8)$$

Afin que le remplacement prématuré d'une VA par une VN soit justifié du point de vue des émissions CO₂, il faut que l'écart entre les émissions directes de la VA et de la VN sur leur durée de vie soit supérieur à la somme des émissions indirectes de la VA et de la VN (production et fin de vie des voitures).

Si on remplace une VA qui est un diesel par une VN qui est une voiture électrique³¹, alors $FE_{VN} = 16 \text{ g/km}$, $FE_{VA} = 154 \text{ g/km}$, $E_{ind,VA} = 4700 \text{ kg}$, $E_{ind,VN} = 6700 \text{ kg}$.

$$KV.(FE_{VA} - FE_{VN}) = 150000 * (0,154 - 0,16) = 21t$$

$$E_{ind,VA} + E_{ind,VN} = 11,4t$$

A priori, ce remplacement permet donc une baisse des émissions de CO₂. En effet, en négligeant l'augmentation des émissions due à la mise en service prématurée de la voiture électrique, qui bénéficie donc moins des améliorations sur les émissions à la production de la voiture et de ses batteries (seconde composante de l'équation (6)), mettre en service une VE prématurément d'un an mène à éviter 1 % des émissions par rapport au scénario Réf.

Si on la met en service prématurément de 6 ans alors 9 % des émissions sont évitées. Si on met à la casse immédiatement la VA en sortie de sa production pour la remplacer par une voiture électrique, alors ce sont 25 % des émissions du scénario Réf qui sont évitées. Ce cas « limite » mène cependant à produire une voiture qui ne sert pas. Il aurait donc mieux valu remplacer la voiture âgée précédente directement par la voiture électrique.

Ces considérations permettent d'affirmer que le plus efficace en termes d'émissions de CO₂ est d'attendre la fin de vie des voitures avant de les remplacer, à moins que le mode de substitution soit extrêmement peu émissif en usage (voiture électrique, autre technologie neutre en carbone, vélo, etc.) devant les émissions de la voiture âgée (rupture technologique, ou rupture modale).

³¹ Nous utilisons les données de (ADEME, 2011).

Effet démotorisation (ED)

Imaginons dans un scénario AP2,1 que la sortie du parc en fin de vie de deux VA puisse être compensée par l'entrée dans le parc d'une seule VN, partagée. Dans le scénario Référence, ce sont 2 VN non partagées (qui parcourent donc deux fois moins de kilomètres annuellement que la voiture partagée) qui entrent dans le parc. Ces deux VN restent donc en moyenne deux fois plus de temps dans le parc que celles du scénario AP2,1.

On peut arguer que le bénéfice de la voiture partagée est de pouvoir être remplacée deux fois plus tôt, permettant de bénéficier des avancées des progrès en termes de motorisation.

On compare donc les émissions en ACV de n VN non partagées (scénario Réf), aux émissions en ACV de p VN partagées ($p \leq n$) qui assurent le même nombre de kilomètres dans le parc³² (scénario AP n,p), mais qui sont renouvelées plus vite que celles du scénario Référence, car elles roulent davantage à l'année (voir Figure 5 Toutes les VN ont une durée de vie de 150 000 km par hypothèse.

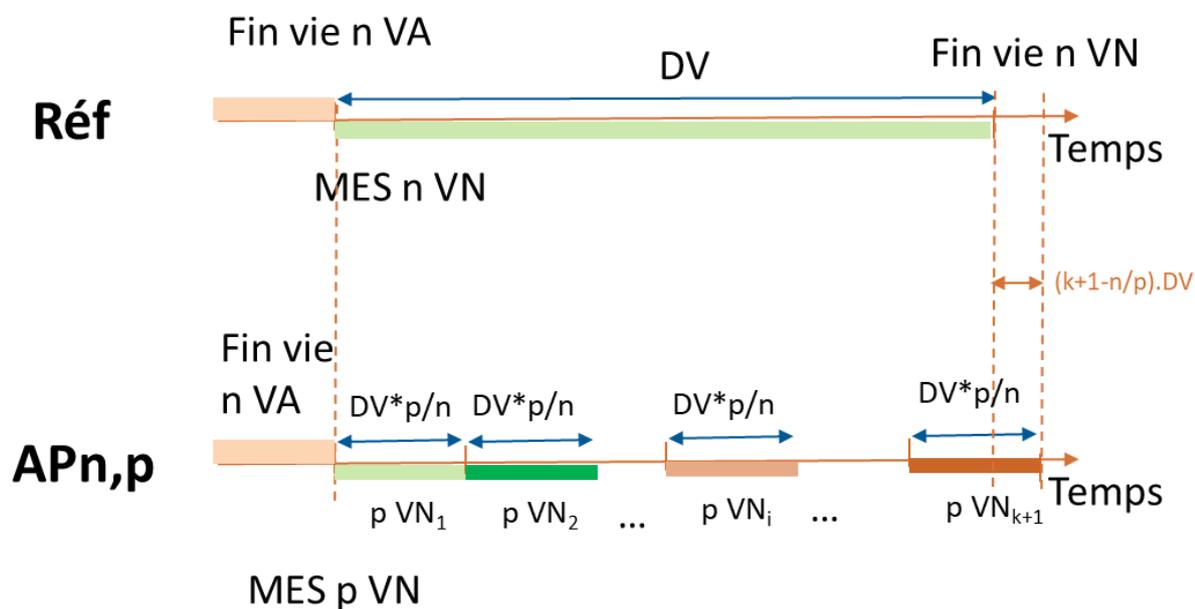


Figure 5 : Localisation dans le temps des événements dans le scénario de référence (Réf) et dans le scénario autopartage (AP n,p). VA fait référence aux voitures âgées (qui arrivent en fin de vie) ; VN fait référence aux voitures neuves (qui sont mises en service, MES). n et p représentent respectivement le nombre de voitures âgées remplacées et le nombre de voitures partagées neuves mise en service. k est la partie entière de n/p . k représente donc le nombre de renouvellement de la flotte de p voitures partagées sur la durée DV .

Les émissions du nouveau scénario Référence sont les suivantes :

$$E_{Ref} = \frac{n \cdot E_{ACV,VN}}{n \cdot KV} = \frac{22083}{150000} = 0,147 \text{ kg/km} \quad (9)$$

Les émissions du scénario AP sont les suivantes :

$$E_{AP} = \frac{\sum_{i=1}^{k+1} E_{ACV,VN_i} - (p \cdot (k+1) - n) \cdot E_{ACV,VN_{k+1}}}{n \cdot KV} \quad (10)$$

³² On suppose que l'entretien des voitures est équivalent entre les voitures individuelles et partagées, et donc que la durée de vie kilométrique est la même pour les deux types de voitures. Une étude sur l'effet de l'entretien des voitures pourrait être réalisée indépendamment de l'autopartage.

Avec k la partie entière de n/p , et $k+1-n/p$ la portion de durée de vie de la dernière VN au-delà de nKV , qu'on retranche pour comparer les émissions de deux scénarios qui permettent de parcourir nKV . On compte ainsi les émissions de la dernière (la $k+1$ -ème) VN au *prorata* des kilomètres parcourus jusqu'à ce que les VN du scénario AP aient parcouru nKV .

Par conséquent, en tenant compte de l'amélioration des émissions au cours du temps :

$$E_{AP,n,p} = \frac{\sum_{i=0}^k p \cdot E_{ACV,VN} (1-\sigma)^{i \cdot \frac{p \cdot DV}{n}} - (p \cdot (k+1) - n) \cdot E_{ACV,VN} \cdot (1-\sigma)^{k \cdot \frac{p \cdot DV}{n}}}{n \cdot KV} \quad (11)$$

$$= \frac{\sum_{i=0}^k r \cdot E_{ACV,VN} (1-\sigma)^{i \cdot r \cdot DV} - (r \cdot (k+1) - 1) \cdot E_{ACV,VN} \cdot (1-\sigma)^{k \cdot r \cdot DV}}{KV}$$

Avec $\sigma = 2\%$ la réduction annuelle des émissions en ACV des voitures neuves, et $r = \frac{p}{n}$.

Par exemple, pour $n=2$ et $p=1$: $E_{AP_{2,1}} = \frac{\left[22083 + 22083 \cdot (1-2\%)^{\frac{11,5}{2}} \right]}{2 \cdot 150000} = \frac{22083 + 19654}{300000} = 0,139 \frac{kg}{km} = 139g/km.$

La Figure 6 illustre la réduction des émissions obtenue par effet ED en fonction du nombre moyen de voitures âgées remplacées par une voiture neuve partagée.

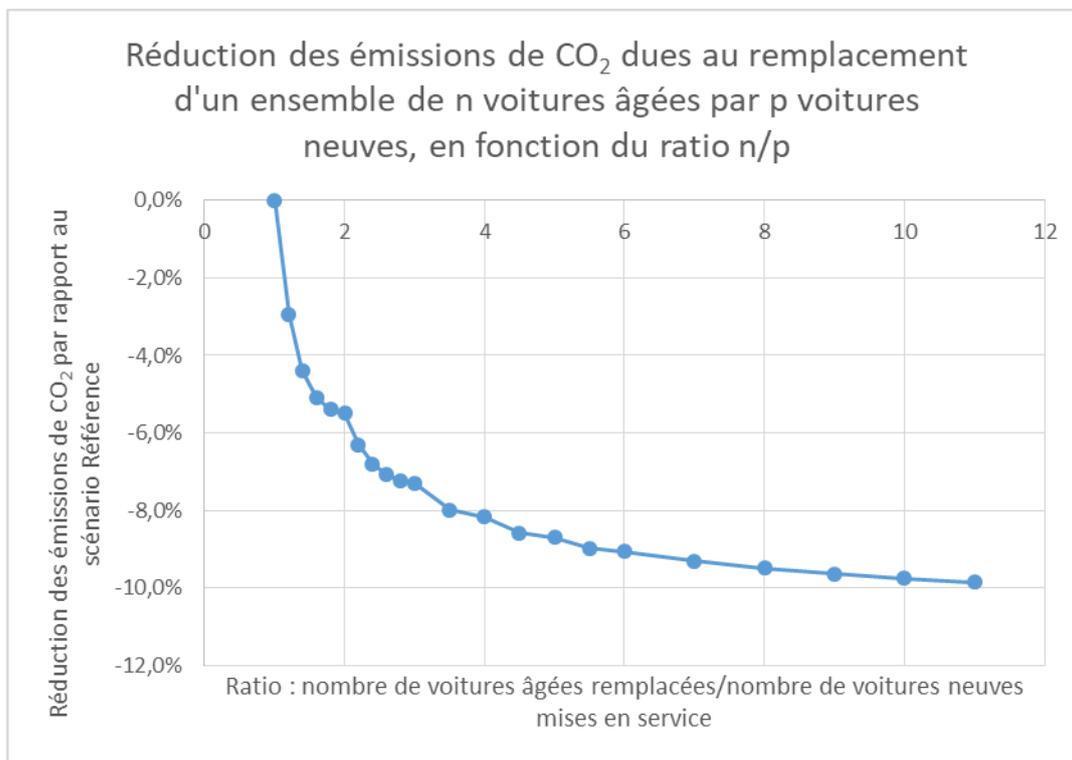


Figure 6 : Réduction des émissions de CO2 due au remplacement d'un ensemble de voitures âgées par un ensemble de voitures neuves.

PART D'USAGE DU PARC DE VOITURES

Calcul de la part du parc de voitures en usage à chaque heure de la journée, un jour de la semaine et un jour de week-end, pour les zones denses et pour les zones combinant rural et moyenne densité.

Ce calcul se base sur les données de (CGDD, 2008), plus spécifiquement les fichiers « détail » relatifs aux déplacements locaux (K_deploc) et à l'équipement des ménages (Q_ménage), ainsi que sur le zonage décrit dans (The Shift Project, 2017) (la zone « centre urbain » correspondant ici à la zone dite « dense »).

Les données utilisées dans K_deploc, qui décrit l'ensemble des trajets parcourus en France métropolitaine selon différents jours de la semaine, sont les suivantes :

- V2_MTP : le mode de transport principal du trajet. Seuls les trajets faits en voiture ont été conservés pour le calcul.
- MVEH : l'identifiant de la voiture utilisée par le ménage (s'agit de la première, seconde, ... i-ème voiture du ménage ?).
- V2_MMOTIFORI : le motif à l'origine du trajet. Cette donnée a été utilisée pour savoir si la voiture est à domicile au départ du trajet.
- V2_MMOTIFDES : le motif à destination du trajet. Cette donnée a été utilisée pour savoir si la voiture est à domicile à la destination du trajet.
- V2_TYPIJOUR : le trajet est-il effectué un jour de semaine ou un jour de week-end ?
- V2_MORIHDEP : l'heure de départ du trajet
- V2_MDESHARR : l'heure d'arrivée du trajet

Les données utilisées dans Q_ménage, qui décrit l'ensemble des véhicules possédés par les ménages sondés, sont les suivantes :

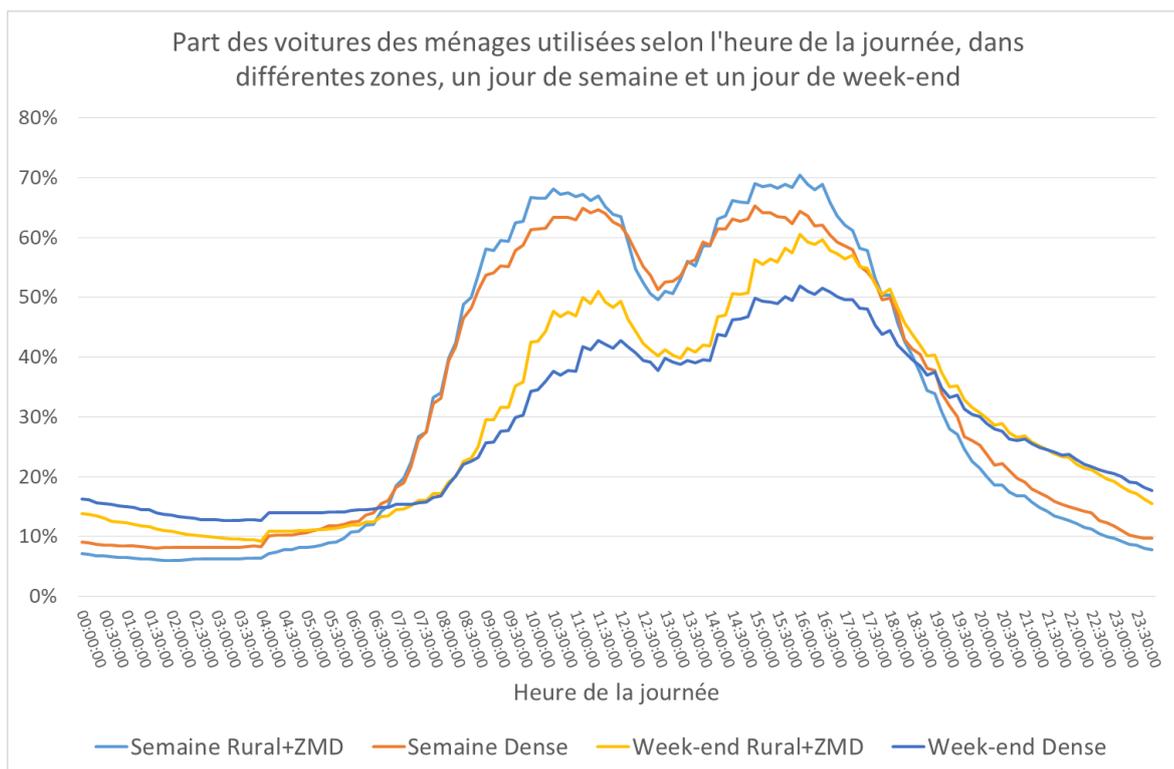
- idENT_MEN : l'identifiant du ménage interrogé
- PONDV1 : la pondération affectée à ce ménage
- V1_JNBVEH : le nombre de voitures du ménage
- V1_JNBCCVUL : le nombre de VUL (véhicule utilitaire léger), camping-car... du ménage
- V1_JNBVPHS : le nombre de voitures hors d'usage du ménage
- V1_JNBCCHS : le nombre de camping-cars hors d'usage du ménage
- V1_JNBVULHS : le nombre de VUL hors d'usage du ménage

Le calcul consiste en plusieurs étapes, qui sont réalisées pour chaque type de zone étudiée (dense, ou rural + moyenne densité) et pour chaque type de journée étudiée (semaine ou week-end) :

- Pour une heure h donnée de la journée considérée :
 - On détermine pour chaque ménage sondé si la voiture considérée est disponible à domicile à l'heure h en prenant en compte tous les trajets de la journée par ce ménage.
 - Pour cela, on détermine en fonction de l'enchaînement des trajets, de leurs horaires de départ et d'arrivée, et de leurs motifs à origine et à destination, les moments de la journée où la voiture est disponible à domicile (on la considère alors « non utilisée »³³).
 - On en déduit le nombre de voitures disponibles à domicile pour chaque ménage, en supposant que si la i-ème voiture du ménage est utilisée à l'heure h, c'est que toutes les voitures précédentes sont également utilisées à l'heure h.
 - On pondère ce résultat par le poids de chaque ménage, et on somme sur l'ensemble des ménages, pour obtenir le nombre total de voitures utilisées par les ménages sondés.
 - On rapporte le total obtenu au nombre de voitures considérées dans le sous-ensemble de ménages sondés, associés au sous-ensemble de trajets étudiés (les trajets réalisés en voiture dans le type de jour sélectionné, et selon la zone étudiée).
- On fait ensuite varier h de 4h du matin à 3h59 le jour suivant (l'enquête ENTD questionne les individus sur cette plage horaire) afin d'obtenir le taux d'utilisation (de non disponibilité) des voitures pour chaque heure de la journée.

Cette analyse mène aux résultats suivants :

³³ On définit ici l'utilisation d'une voiture comme le fait que la voiture n'est pas disponible à domicile (même si elle ne roule pas). Par exemple, la voiture garée sur le parking du supermarché pendant que le conducteur fait ses courses est considérée comme utilisée. La voiture utilisée par un travailleur pour aller au travail est considérée utilisée pendant toute la journée de travail.



AUTEUR

Nicolas RAILLARD

Chef de projet – + 33 (0)6 46 35 43 70 | nicolas.raillard@theshiftproject.org

Nicolas Raillard a rejoint le Shift après avoir été ingénieur en stratégie système pendant 4 ans. Diplômé de l'ISAE-Supaéro et du Georgia Institute of Technology (USA), il a obtenu le mastère spécialisé « Environment International Management » des Mines ParisTech / Tsinghua University (Chine). Il met aujourd'hui en œuvre ses compétences en gestion des systèmes complexes dans la transition écologique, et notamment dans la mobilité périurbaine et les systèmes électriques.

THE SHIFT PROJECT

The Shift Project est un think tank qui œuvre en faveur d'une économie post-carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, notre mission est d'éclairer et influencer le débat sur la transition énergétique en Europe. Nos membres sont de grandes entreprises qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité.

Contact presse : Jean-Noël Geist, Chargé des affaires publiques et de la communication
+ 33 (0) 6 95 10 81 91 | jean-noel.geist@theshiftproject.org