

ÉCO-CONCEPTION D'UN SYSTÈME DE MOBILITÉ COMPRENANT VÉHICULES TOUT-ÉLECTRIQUES ET RÉSEAU DE RECHARGE

Une analyse multi-perspective basée sur un modèle de simulation de la
mobilité longue distance

Mars 2022

N° de contrat :
Projet de recherche collaboratif EcoSD 20.1 cofinancé par l'ADEME



SYNTHESE D'ETUDE

En partenariat avec :



REMERCIEMENTS

Comité de pilotage :

Flore Vallet (IRT SystemX et CentraleSupélec)

Julien Garcia (Stellantis)

CITATION DE CETTE SYNTHÈSE

Julien BALTAZAR, Flore VALLET, Julien GARCIA. 2021. Éco-conception d'un système de mobilité comprenant véhicules électriques et réseau de recharge : une analyse multi-perspective basée sur un modèle de simulation de la mobilité longue distance – Synthèse. 18 pages.

En français :

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

En anglais :

Any representation or reproduction of the contents herein, in whole or in part, without the consent of the author(s) or their assignees or successors, is illicit under the French Intellectual Property Code (article L 122-4) and constitutes an infringement of copyright subject to penal sanctions. Authorised copying (article 122-5) is restricted to copies or reproductions for private use by the copier alone, excluding collective or group use, and to short citations and analyses integrated into works of a critical, pedagogical or informational nature, subject to compliance with the stipulations of articles L 122-10 – L 122-12 incl. of the Intellectual Property Code as regards reproduction by reprographic means.

TABLE DES MATIERES

1. Enjeux scientifiques et techniques du projet	4
2. Contexte de la mobilité électrique	4
2.1. Contexte environnemental.....	5
2.2. Contexte industriel.....	5
2.2.1. Contexte technique	5
2.2.2. Contexte sociologique.....	6
2.3. Formulation du positionnement et de la problématique de l'étude.....	6
3. Résultats obtenus avec le simulateur de mobilité	7
3.1. Des inégalités entre les ICEV et les BEV de différentes gammes	7
3.2. Une influence significative du comportement des utilisateurs	8
3.3. Des impacts environnementaux dépendant du mix électrique et des batteries	9
3.4. Des besoins importants pour les stations de recharge ultra-rapide	10
3.5. Peu d'intérêts à resserrer le maillage du réseau de recharge	11
4. Recommandations	12
5. Conclusions / Perspectives	15
Index des tableaux et figures	16
Sigles et acronymes	16

Les travaux de ce PRC ont été valorisés grâce à la publication d'un article de synthèse. Il a été présenté le 28 mars 2022 lors de la conférence internationale **CIRP Design 2022**.

J. BALTAZAR, F. VALLET, J. GARCIA, A model for long-distance mobility with battery electric vehicles: a multi-perspective analysis.

Rédaction du livrable : Julien Baltazar

1. Enjeux scientifiques et techniques du projet

Ce projet de recherche collaboratif (PRC) 20.1 « Eco-conception d'un système d'infrastructures de recharge et de véhicules électriques dans une logique territoriale d'usages de mobilité » est co-financé par le réseau EcoSD (Eco-conception de Systèmes pour un Développement durable) et l'ADEME. Ce projet est porté par le Laboratoire de Génie Industriel de l'école CentraleSupélec – Université Paris-Saclay et par le groupe Stellantis. Dans ce PRC, nous proposons de s'intéresser à un système complexe composé d'un territoire, des véhicules électriques (VE) et des infrastructures de recharge qui s'y déploient ainsi que des usages de mobilité électrique. En première approche, il s'agit de s'intéresser aux choix de conception de ce système en étudiant la mobilité longue distance des véhicules tout-électriques car il s'agit d'un verrou majeur à leur adoption.

Effectivement, la relative difficulté pour effectuer des trajets longs en véhicule électrique à batterie (BEV, *Battery Electric Vehicles*) est due à la gestion de l'autonomie qui est limitée par rapport aux véhicules à moteur à combustion interne conventionnels (ICEV, *Internal Combustion Engine Vehicles*). Pour pouvoir étudier finement les enjeux associés, nous proposons de s'intéresser à la caractérisation du triplet incluant les BEV et leurs batteries (technologie, dimensionnements) ; le réseau de recharge (technologie, dimensionnements, densité) ; les usagers de mobilité électrique (comportement de conduite, gestion de l'autonomie). L'objectif est de **proposer une méthodologie pour comparer différentes stratégies territoriales de déploiement de la mobilité électrique en étudiant les interactions entre le triplet véhicules - réseau de recharge - usagers et les performances de la mobilité longue distance puis de proposer des préconisations pour l'électrification du parc automobile**. Les performances du système modélisé peuvent être évaluées à travers différents indicateurs comme un indicateur de satisfaction des attentes des usagers, les impacts environnementaux, la quantité d'infrastructures à installer, etc.

Par rapport aux études qui concernent la localisation des infrastructures de recharge électrique, l'originalité est d'adopter une approche systémique qui considère la mobilité électrique dans sa globalité en s'intéressant aux leviers d'action de l'ensemble des parties prenantes : constructeurs automobiles, gestionnaires d'infrastructures de recharge, usagers de la mobilité, gestionnaires d'autoroutes, etc. De plus, l'objectif est également de développer une réflexion multicritère pour pouvoir quantifier tous les compromis réalisés grâce aux différents indicateurs. Enfin, il s'agit également d'intégrer à l'étude une évaluation environnementale à l'échelle du système complexe avec une approche sur cycle de vie et multicritère.

Deux axes de travail principaux ont émergé au cours d'un premier atelier de lancement du projet :

1. Un volet d'optimisation avec **dimensionnement des batteries et des stations de recharge en fonction de la demande de mobilité sur un territoire** et évaluation des impacts environnementaux potentiels associés. Le périmètre privilégié est la mobilité longue distance sur autoroute.
2. Un volet plus exploratoire de **scénarisation des futurs usages de mobilité électrique**, qui propose des hypothèses sur l'évolution de la mobilité et de la part électrique (au plan national, territorial, à une échéance à préciser).

2. Contexte de la mobilité électrique

Cette partie décrit l'état actuel de la mobilité électrique et ses perspectives. De plus, elle met l'accent sur les éléments clefs permettant de penser la mobilité longue distance et donc de comprendre l'intérêt de cette étude et les choix qui y ont été faits. Ainsi, nous nous intéressons ici au contexte environnemental, au contexte industriel puis aux performances des véhicules à batterie (BEV) et enfin à la sociologie de leurs usagers.

2.1. Contexte environnemental

La mobilité individuelle et les véhicules particuliers reposent essentiellement sur les moteurs à combustion interne et le pétrole. Ainsi, ils sont une cause importante d'impacts environnementaux. En France, les activités de transport routier a été la source d'émission de 29 % des émissions de gaz à effet de serre internes dans le pays. D'autres problèmes sont identifiés comme les émissions de gaz et de particules toxiques, dont les oxydes d'azote, les forts niveaux de bruit constatés dans les villes notamment à cause des motorisations et la dépendance aux approvisionnement en carburants. Ainsi, différents acteurs cherchent à limiter les émissions et les impacts du transport en changeant les usages et les technologies utilisées, notamment en développant des alternatives aux véhicules conventionnels.

Sous ses différentes formes, la propulsion électrique semble une des voies appropriées pour y parvenir. **Les BEV sont dits « zéro-émission » à l'échappement**, c'est-à-dire, aucune émission de CO₂ ou d'autres polluants lorsqu'ils sont en train de rouler (hors pièce d'usure). Sous certaines conditions, leur développement pourrait permettre une forte réduction des impacts causés par les transports. Cependant, **la transition vers ce type de véhicule admet un risque de transfert d'impact** à cause des phases de fabrication et de fin de vie des VE ainsi que de l'approvisionnement en électricité avec lesquels les VE se rechargent.

En 2012, l'ADEME a réalisé une étude comparative entre les cycles de vie de différents types de véhicules en supposant une durée de vie de 150 000 km en France. Les résultats montrent que les BEV (ayant une batterie de 24 kWh) émettent 60 % moins de GES que les ICEV équivalents. En 2020, une nouvelle étude estime qu'un BEV en France d'une durée de vie de 225 000 km ayant une batterie de 58 kWh émet **quatre fois moins de GES** que son équivalent thermique essence sur cycle de vie. En revanche, comme **la batterie prend une place significative dans les analyses sur cycle de vie**, la maîtrise des impacts environnementaux liés à leurs cycles de vie est primordiale.

2.2. Contexte industriel

2.2.1. Contexte technique

Depuis le début des années 2010, un essor de la mobilité électrique a pu être observé dans le monde. Effectivement, le nombre de BEV et de PHEV (véhicules hybrides rechargeables) croît rapidement et se justifie notamment par **le soutien des gouvernements** et par **les contraintes de limitations d'émissions de polluants**. Cependant, les véhicules particuliers électriques sont aujourd'hui une petite fraction des voitures en circulation, c'est-à-dire, moins de 1 % à l'échelle mondiale, mais ils pourraient en représenter 7 à 12 % en 2030 selon les scénarios étudiés par l'IEA. Aujourd'hui, la France ne fait pas exception : **la part de VE est minoritaire** et, en 2019, seules 2 % des immatriculations de voitures neuves étaient des BEV.

De plus, **le nombre de points de recharge en France est encore limité** à l'échelle de la métropole malgré des objectifs ambitieux pour suivre et dynamiser la croissance du parc automobile électrique français. En particulier, le réseau de recharge rapide est encore très peu dense et performant.

Un des verrous actuellement identifiés est que **les usagers souhaiteraient pouvoir bénéficier d'une autonomie et d'une vitesse de recharge comparables à celles des ICEV** pour certains trajets de longues durées qui peuvent être occasionnels. Mais, par la nature des BEV et dans l'état actuel des technologies, certaines de leurs performances sont significativement différentes de celles des ICEV :

- **L'autonomie est limitée et chute avec la vitesse** à laquelle la voiture roule. La portée d'un BEV peut être contraignante pour les longs trajets à haute vitesse comme ceux réalisés sur autoroute à 130 km/h par exemple. Effectivement, le BEV moyen vendu en 2021 permet de circuler environ 1h05 à cette vitesse ce qui ne correspond pas au comportement historique d'un utilisateur d'un ICEV. Il est important de prendre en compte que l'autonomie réelle dépend de **l'état de santé des batteries qui se dégrade au cours de leurs utilisations, du dynamisme de conduite et des conditions météorologiques** car le froid dégrade les performances de la batterie notamment.
- **Recharger la batterie d'une voiture électrique prend significativement plus de temps que de remplir le réservoir d'une voiture thermique**. Une recharge pour un BEV moyen dure environ 25 min.

S'il est souhaité de pouvoir confortablement atteindre un rythme de cycles de 2h de circulation à 130 km/h puis de 20 min de pause, alors il faut disposer d'un véhicule ayant une batterie de l'ordre de 110 kWh qui peut être rechargée

par une puissance moyenne de 230 kW (allant jusqu'à 320 kW en pointe). Aujourd'hui, très peu de véhicules et d'infrastructures de recharge permettent de faire des recharges aussi puissantes.

2.2.2. Contexte sociologique

Pour pouvoir penser la mobilité électrique de demain, il est nécessaire de **placer leurs usagers au cœur de la réflexion**. Effectivement, il est capital d'analyser les usages de mobilité pour mieux comprendre les comportements des usagers, leurs choix en tant que consommateurs et leurs manières de s'approprier la technologie. Ceci permet de déterminer ce que les usagers attendent de la mobilité, les actions à réaliser pour privilégier la transition vers l'électrique et de savoir ce que doit devenir le VE pour qu'il soit largement adopté. C'est notamment en répondant aux besoins attendus et réels des consommateurs que le marché de l'automobile électrique pourra croître fortement et qu'il sera possible d'atteindre les objectifs environnementaux.

Aujourd'hui, **les BEV n'ont pas atteint le stade de maturité technologique** et sont choisis par des consommateurs qu'il est généralement possible d'identifier comme des innovateurs ou à des premiers adeptes. **Une plus large acceptabilité est conditionnée par les évolutions technico-économique mais également par l'évolution de la perception du VE**. Les éléments influents sur le choix d'un véhicule électrique sont de diverses natures. Dans le contexte d'utilisation que le consommateur projette d'avoir, il faut que l'évaluation des conséquences de choisir un BEV plutôt qu'un ICEV fasse rationnellement émerger plus d'avantages que d'inconvénients. Le consommateur doit également disposer d'une maîtrise de la technologie ou d'une certaine curiosité et volonté pour pouvoir se renseigner et accepter de choisir un véhicule d'un genre nouveau. Disposer d'une certaine sensibilité environnementale peut également rendre plus probable l'adoption d'un BEV. Les consommateurs souhaitant soutenir l'innovation technologique et qui ne craignent pas la désuétude face aux progrès technico-économiques peuvent également considérer plus favorablement l'achat d'un BEV.

De plus, **il est aussi nécessaire que la mobilité électrique soit attractive et pertinente pour ceux qui possèdent un VE**. Il est possible d'observer que **la capacité des véhicules à satisfaire les besoins des usagers paraît directement dépendant d'un dimensionnement suffisant de la taille de batterie**. Ensuite, **il ne paraît pas acceptable pour les consommateurs que les VE aient des performances techniques de conduite trop limitées** comparées à leurs homologues thermiques. Par exemple, une limitation technique de la vitesse à 120 km/h est mal perçue et ce serait donc un frein à la demande de véhicule électrique même si cela permet notamment d'augmenter l'autonomie des véhicules et de réduire les coûts économiques et environnementaux. En revanche, il a été constaté que les limites liées à l'autonomie et à la recharge d'un BEV font que leurs utilisateurs tendent à adapter leurs conduites pour qu'elles soient plus économes. Ils changent de pratiques notamment en utilisant des planificateurs de trajets pour déterminer les lieux pour effectuer les recharges, en faisant éventuellement coïncider les moments d'arrêt avec les pauses repas ou en choisissant les lieux d'arrêt à proximité de zones d'intérêts pour des loisirs (visite d'une ville par exemple).

Enfin, l'expérience des usagers vis-à-vis des bornes de recharge publiques est très importante à intégrer aux réflexions sur la mobilité électrique. Par exemple, les usagers se plaignent régulièrement des problèmes pour effectuer les recharges car **le réseau de recharge n'est pas assez dense, il y a un manque d'information sur la disponibilité en temps réel des bornes et elles ne sont pas évidentes à localiser**. Ils indiquent également qu'il y a parfois des bornes mal entretenues ou dysfonctionnelles.

2.3. Formulation du positionnement et de la problématique de l'étude

Pour les trajets longs qui sont l'objet principal de cette étude, les BEV dépendent d'un dimensionnement suffisant des batteries, d'infrastructures de recharge rapide adaptées et de la bonne gestion de leurs autonomies. Nous proposons donc de concevoir un outil permettant de comparer différentes stratégies de déploiement de la mobilité électrique selon différents critères d'évaluation.

Cet outil repose sur la modélisation du **système complexe formé par les véhicules électriques, leurs usagers, les territoires et leurs infrastructures de recharge**. L'objectif est de proposer une méthodologie permettant d'étudier ce système en comparant pour différentes stratégies les impacts environnementaux (dont la réduction est le principal intérêt de la mobilité électrique) et la satisfaction des usagers (qui est verrou majeur pour l'adoption des BEV). Pour les différents scénarios d'étude, les questions sont alors **quelle est l'influence entre les choix de dimensionnement des véhicules et des infrastructures, leurs technologies et leurs usages sur les impacts environnementaux et la satisfaction des usagers ?** La méthodologie repose alors sur un simulateur de mobilité électrique permettant d'étudier

l'impact de chaque choix sur les performances du système. La Figure 1 reprend schématiquement la problématique ainsi formulée.

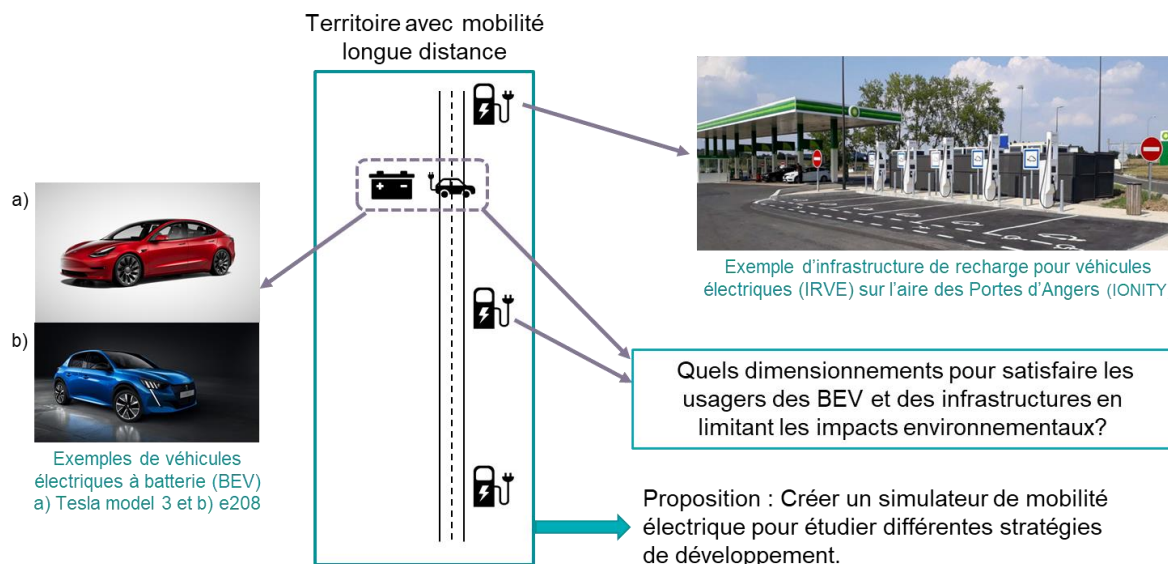


Figure 1 : Description initiale du problème de recherche traité dans ce PRC : la conception d'un système complexe de mobilité électrique

Certes, le dimensionnement d'un véhicule peut être pensé à l'échelle de ce seul véhicule et de son usager. Cependant, il existe une diversité importante dans les types de véhicules mais aussi dans le comportement de leurs usagers. Donc, une étude à l'échelle d'un seul véhicule ne permet de considérer cette hétérogénéité. De plus, le réseau d'infrastructure n'est pas conçu et implanté pour un seul véhicule mais plutôt pour un territoire car il est partagé par tous les usagers de mobilité y circulant. Ainsi, comme nous nous intéressons ici à des stratégies de déploiement et à différents usages de mobilité, il est donc nécessaire d'adopter un regard à la hauteur de l'ensemble du système, c'est-à-dire, le territoire. Dans le cadre de la mobilité longue distance, **notre méthodologie est donc cadrée à l'échelle d'un axe routier ou autoroutier.**

Ensuite, cette vision systémique et globale a l'avantage de **pouvoir inclure le point de vue de multiples parties prenantes aux considérations effectuées.** La réflexion à l'échelle territoriale permet donc d'inclure les choix des concepteurs de véhicules électriques, les comportements d'un ensemble d'usagers et des gestionnaires des infrastructures, mais également les propriétaires des aires d'autoroute, les gestionnaires des aires d'autoroute.

3. Résultats obtenus avec le simulateur de mobilité

Pour pouvoir développer une réflexion quantitative sur le futur de la mobilité électrique longue distance, la proposition a été de concevoir un simulateur de mobilité électrique permettant de comparer des stratégies de déploiement. Il a la particularité d'être basé sur une reconstitution des flux origine-destination qui a été utile pour déterminer la longueur des trajets réalisés et en déduire les besoins de recharge. De plus, il permet de simuler différentes flottes de véhicules et différents comportements d'usage. Différents indicateurs ont été mis en place pour évaluer les performances du système en fonction de différentes situations d'usage et différents scénarios. Le simulateur détermine notamment le nombre de bornes nécessaire pour chaque station, le temps de trajets moyen, les impacts environnementaux causés par l'usage des véhicules et la consommation d'électricité.

Cette partie à montrer les résultats obtenus et d'en tirer certains enseignements et recommandations. Les simulations présentées sont basées sur le cas d'étude de l'autoroute A6 qui relie Lyon et Paris.

3.1. Des inégalités entre les ICEV et les BEV de différentes gammes

Un des intérêts du simulateur est de **pouvoir comparer les temps de trajets de différents véhicules.** Les temps de trajet sont un critère majeur pour l'adoption des BEV par les automobilistes et les différences entre les gammes de véhicules est important pour les constructeurs vis-à-vis de leurs études de marché.

La Figure 2 compare les temps de trajet moyen de différents véhicules simulés sur l'autoroute. Si les véhicules circulent à 130 km/h, ils effectuent l'ensemble des trajets simulés avec un temps de circulation moyen de 1h21. Ce qui les différencie, c'est le nombre d'arrêts et le temps passé sur les aires de services. Pour les conducteurs de véhicules thermiques effectuant une pause de 20 min toutes les 2h de circulation, le temps de trajet moyen est de 1h33 (donc, en moyenne, les conducteurs font 12 min de pause). Pour comparer, le temps moyen pour effectuer ces trajets est de 1h58 pour le BEV moyen d'aujourd'hui (soit 37 min de temps de recharge en moyenne). En plus de souligner cet **écart entre véhicule thermique et véhicule électrique**, cette figure permet aussi d'**identifier les inégalités entre les BEV moyens et les BEV de la catégorie « Supérieure »**. Effectivement, ces derniers ont un temps moyen de trajet de 1h43 seulement (ils nécessitent en moyenne 22 min de temps de recharge) et sont donc significativement plus rapides.

Pour se projeter dans le futur et tenir compte des évolutions technologiques, les temps de trajet sont également calculés à l'horizon 2030. La Figure 2 montre que les temps de trajet devraient pouvoir être significativement réduits grâce à l'augmentation des autonomies et des vitesses de recharge. Les véhicules les plus haut-de-gamme pourraient même atteindre des temps de trajet similaires à ceux des ICEV s'ils peuvent bénéficier de l'utilisation d'infrastructures admettant des puissances de recharge de 350 kW.

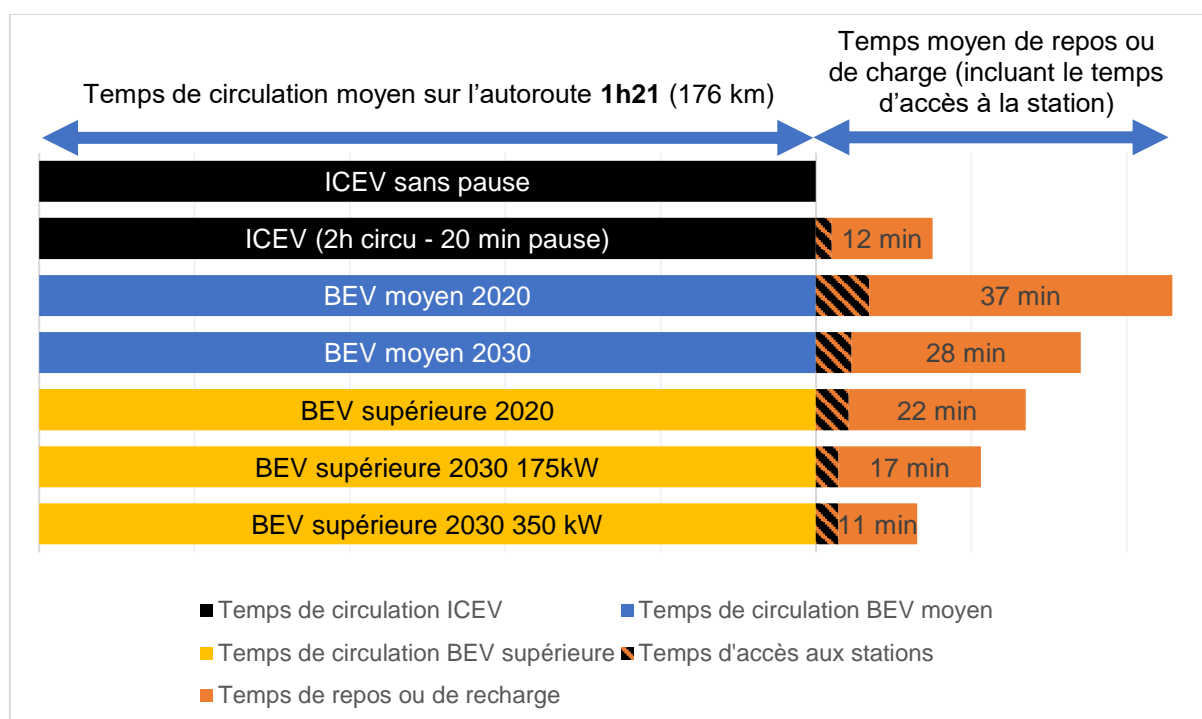


Figure 2 : Comparaison des temps de trajet pour différents types de véhicules en décomposant le temps de circulation à 130 km/h et le temps de pauses ou des recharges

3.2. Une influence significative du comportement des utilisateurs

L'analyse des temps de trajet moyen a permis d'identifier que **le comportement de l'utilisateur a un impact significatif sur les temps de trajet**. La Figure 3 montre l'effet du choix de la vitesse : en moyenne sur l'ensemble des BEV, circuler à 110 au lieu de 130 km/h augmente le temps de trajet total de seulement 4 % car l'augmentation du temps de circulation (+15 min) est en partie compensée par la diminution du temps de recharge (-10 min). Cela dit, cette stratégie a donc l'inconvénient de réduire le temps de repos aux stations. En revanche, circuler plus lentement permet de réduire la consommation d'électricité de 22 %, les coûts de recharge et le nombre de bornes nécessaires par 29 %. D'après la Figure 3, pour un véhicule « Supérieur », les écarts de temps de trajet sont plus marqués selon la vitesse choisie.

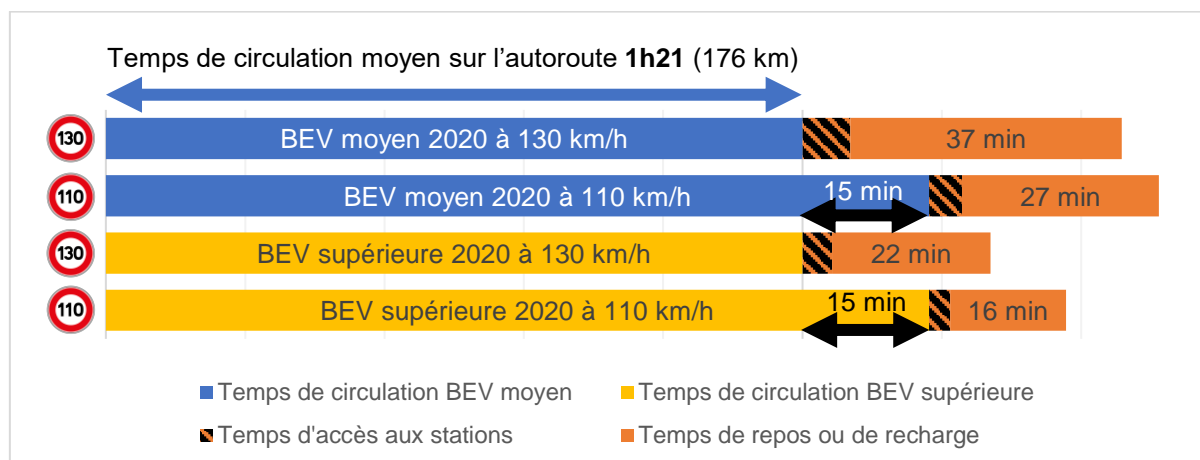


Figure 3 : Temps de trajet moyen en fonction de la vitesse de circulation de la flotte et du type de véhicule considéré

Enfin, **les conducteurs de BEV devraient réaliser des recharges plus courtes mais plus fréquentes** s'ils souhaitent diminuer leurs temps de trajet moyen. Arrêter sa recharge à 80 % d'état de charge plutôt qu'à 100 % réduit le temps de trajet moyen de 7 % (-9 min). À l'échelle de l'axe routier, ce gain de temps de recharge permet de gagner en efficacité et de diminuer le nombre de bornes nécessaire de 23 %.

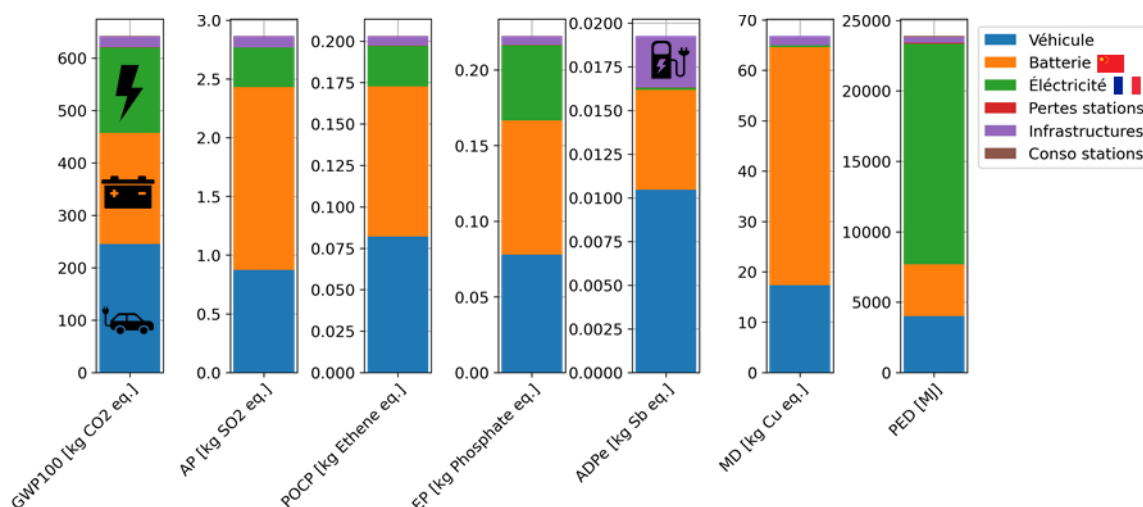
3.3. Des impacts environnementaux dépendant du mix électrique et des batteries

Ensuite, le simulateur a permis de **réaliser une évaluation des potentiels d'impacts environnementaux de la mobilité électrique sur le territoire**. Pour une simulation à l'horizon 2024, la Figure 4 montre les potentiels d'impact évalués en une heure moyenne de circulation.

Tout d'abord, la répartition des sources d'impacts sont significativement différentes selon le potentiel considéré. **Les batteries, qui sont au cœur de nos réflexions, prennent une place conséquente pour 6 des 7 indicateurs de potentiels d'impacts évalués.** La volonté de développer des capacités à forte capacité est dû aux besoins liés à la longue distance, ainsi **la maîtrise des impacts sur cycle de vie des batteries semble être une priorité**, particulièrement si la stratégie est d'augmenter encore davantage les capacités de ces batteries.

De plus, les résultats suggèrent que les infrastructures de recharge génèrent peu d'impacts par rapport aux autres sources. Effectivement, elles dépassent 10 % de contribution relative seulement pour le critère d'épuisement des ressources abiotiques à cause des besoins de cuivre. Cependant, il faut noter que seulement l'approvisionnement en matériaux ont été évalués, faute de données. Ainsi, tous les impacts relatifs à la fabrication, à la distribution, à l'installation, à la maintenance et à la fin de vie des bornes ne sont pas calculés.

Ensuite, la consommation d'électricité est une source minoritaire d'impacts pour 6 des 7 indicateurs évalués. Ceci se justifie par le fait que la France ait un mix électrique faiblement basé sur les énergies fossiles. Si le mix électrique est le mix moyen européen, les impacts liés à l'électricité y sont nettement plus importants (hors catégories d'impacts liés à la demande en matériaux ou en énergie) : par exemple, le potentiel total d'émission de gaz à effet de serre est 68 % plus élevé. Ceci met en évidence **l'importance de disposer d'un mix électrique décarboné** lorsqu'un territoire souhaite développer la mobilité électrique.



GWP100, global warming potential (100-year horizon)

AP, acidification potential

POCP, photochemical ozone creation potential

Figure 4 : Impacts environnementaux générés par les BEV sur l'A6 en une heure moyenne de circulation à l'horizon 2024 (mix électrique français) en incluant les impacts dus à l'usage des véhicules, à la consommation d'électricité induite, des pertes lors des recharges rapides et la consommation passive des bornes.

EP, eutrophication potential

ADPe, abiotic depletion potential

MD, metal depletion

3.4. Des besoins importants pour les stations de recharge ultra-rapide

Au court terme et moyen terme, **installer des bornes de 175 kW aujourd'hui paraît cohérent** par rapport aux performances des véhicules actuels et de ceux qui devraient se développer d'ici 2030. **Développer une minorité d'infrastructures de 350 kW** pour que les véhicules les plus haut-de-gamme puissent en profiter peut être envisagé. En revanche, cela pose un problème d'organisation : il faut pouvoir s'assurer que les bornes en question soient bien utilisées en priorité par les véhicules pour lesquels elles sont utiles.

À partir de deux scénarios de pénétration des BEV dans le parc automobile et de deux scénarios d'estimation d'évolutions technologiques, des simulations pour déterminer les besoins en bornes de recharge ont été réalisées pour chaque année entre 2020 et 2030. Les bornes installées sont de 175 kW et les stations de recharge correspondent à chaque aire de service. La Figure 5 montre les évolutions des besoins de bornes pour les 4 scénarios.

Tout d'abord, le nombre de bornes à installer sur le territoire dépend directement du scénario de pénétration considéré. Il est possible de comparer les estimations du simulateur aux objectifs pour 2023 formulés par le gouvernement dans le plan France Relance. Ce dernier annonce que, d'ici le 1er janvier 2023, toutes les aires de service seront équipées de stations avec au moins deux points de recharge à 150 kW minimum. Dans le cas de la section de l'A6 qui est modélisée, France Relance imposerait donc la présence d'au moins 50 bornes sur les stations service de l'A6. Quant à lui, le simulateur estime qu'entre 53 et 67 bornes sont nécessaires sur l'A6 en 2023, ce qui correspond à un investissement de 8 à 10 M€ environ. Les 50 bornes minimum à installer d'après France Relance correspondent aux besoins estimés par les simulations. **L'ordre de grandeur du nombre minimal de bornes à installer avant 2023 d'après France Relance paraît donc cohérent par rapport aux besoins estimés par le simulateur.**

De plus, à l'horizon 2030, le nombre de bornes à placer dépend du scénario de pénétration et du scénario d'évolution technologique. En cas de forte évolution technologique, le besoin de bornes est légèrement réduit car cette hypothèse induit des recharges moins nombreuses et plus rapides. À l'horizon 2030, les estimations sont comprises entre 158 et 281 bornes sur l'A6 modélisée.

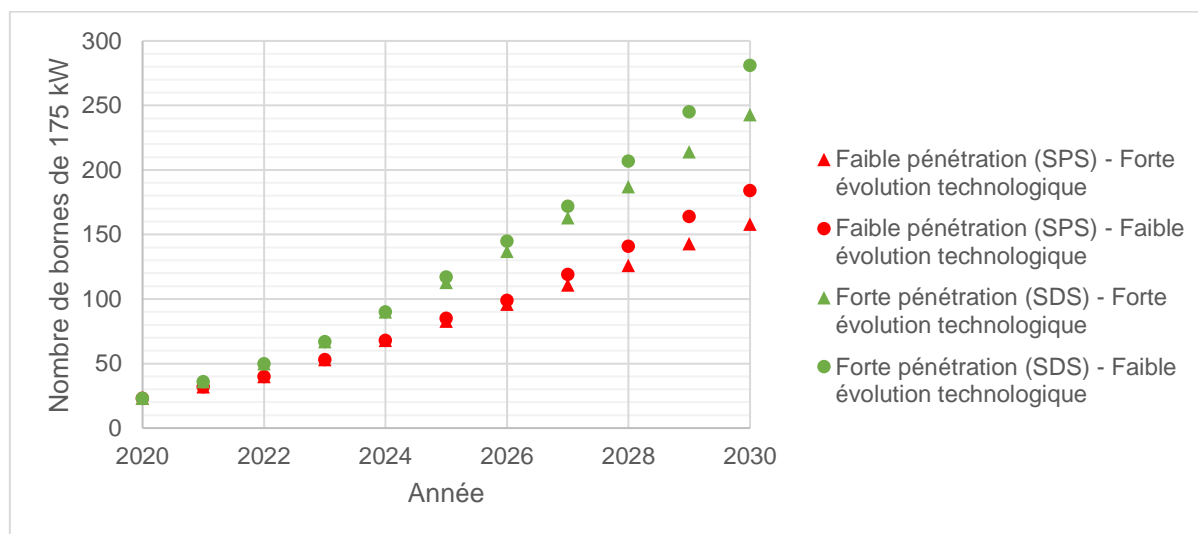


Figure 5 : Évolution du nombre de bornes de 175 kW nécessaires sur l'autoroute A6 entre 2020 et 2030 selon 4 scénarios

En extrapolant les résultats à l'ensemble du réseau autoroutier français, il a été estimé, qu'en 2023, il devrait avoir un besoin total s'élevant à 872 bornes, soit 2,4 bornes par station service en moyenne, ce qui est cohérent avec les objectifs de France Relance. Installer ces bornes demande un investissement évalué à 133 M€. À l'horizon 2030 et en faisant une moyenne pour les 4 scénarios, il devrait y avoir un besoin de plus de 3100 bornes sur le réseau, soit entre 8 et 9 bornes par stations en moyenne.

3.5. Peu d'intérêts à resserrer le maillage du réseau de recharge

Pour déterminer s'il était intéressant de réduire l'écart entre les stations, des simulations ont été effectuées pour évaluer **l'effet d'installer des bornes sur toutes les stations de repos et de service par rapport en installer uniquement sur les aires de service**. La Figure 6 montre que **cette stratégie ne diminue pas significativement le temps de trajets moyen**. En outre, cela **réduit un peu le nombre moyen de recharges par trajet** car le choix de la station de recharge est plus flexible. Enfin, **le besoin de bornes augmente** car il est nécessaire de couvrir l'ensemble des aires de repos mais ces bornes ont parfois des taux d'occupation faibles.

La densification du réseau de recharge n'apparaît pas comme étant une priorité. Disposer de bornes de puissance adaptée à chaque aire de service semble être un premier maillage intéressant compte-tenu de la demande actuelle et projetée pour les quelques prochaines années.

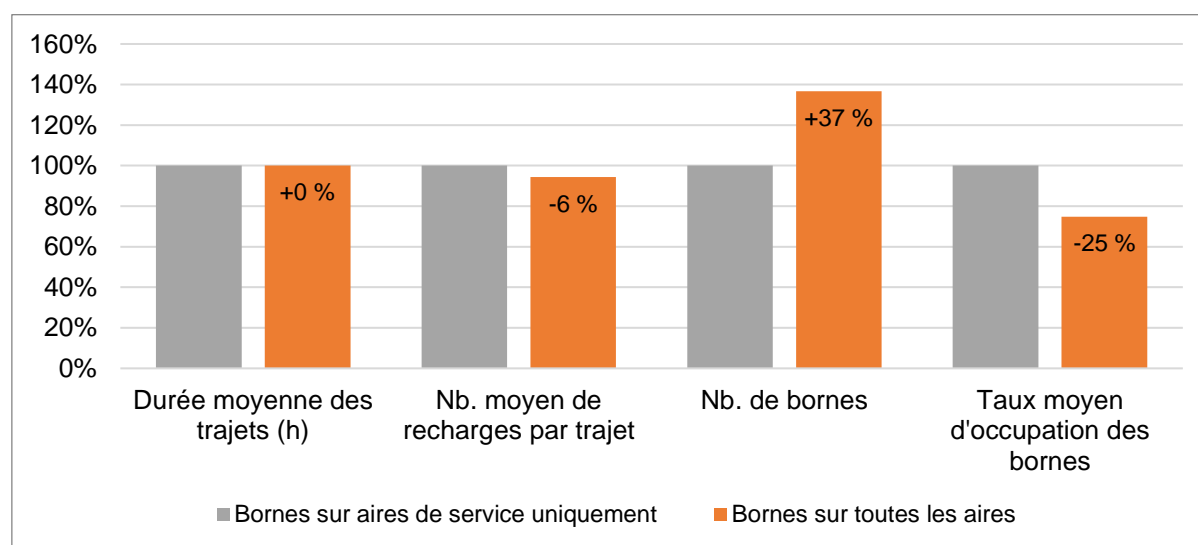


Figure 6 : Effet de l'installation des bornes sur toutes les aires au lieu de seulement sur les aires de service

4. Recommandations

L'étude qui est détaillée dans ce rapport permet de répondre à certaines interrogations et de formuler certaines recommandation vis-à-vis du développement de la mobilité longue distance avec les BEV. Cette partie vise à lister les éclairages apportés par les réflexions qui ont été menées au cours de la réalisation de ce projet de recherche. Cette partie est organisée sous forme de plusieurs questions qui permettent de se positionner à plusieurs échelles de réflexion : celle du véhicule, de l'usager et de la station, celle de l'axe routier, celle du parc automobile et du territoire complet.

1. Quelles performances de BEV faut-il viser pour la longue distance pour les prochaines années ?

En 2021, les BEV vendus avaient une capacité de batterie de 50 kWh en moyenne et une puissance admissible pour la recharge de 95 kW en moyenne. Ceci permet de rouler en faisant aisément des cycles de 1h05 de circulation à 120 km/h avec 25 min de pause. Pour comparer, les conducteurs de véhicules thermiques qui suivent les recommandations de la sécurité routière effectuent des cycles de 2h de circulation à 130 km/h et de 20 min de pause. **Il y a donc d'importantes inégalités entre les conducteurs de véhicules thermiques et de BEV vis-à-vis de la mobilité longue distance.** Ceci est un frein pour l'adoption des BEV. De plus, il y a également des écarts d'autonomie et de vitesse de charge importants entre les BEV de différentes gammes. Pour réduire ces inégalités et pour que les BEV atteignent les mêmes temps de trajet que les véhicules thermiques, il faudrait :

- **Augmenter la capacité des batteries et les performances des recharges.** À consommation identique, des batteries de l'ordre de 110 kWh, rechargeable à 230 kW en moyenne (320 kW en pointe environ) seraient nécessaires pour atteindre le rythme des ICEV.
- **Réduire la consommation des BEV.** C'est un levier d'action important pour atteindre l'autonomie et la vitesse de charge mentionnée : il est attendu que la consommation diminue grâce à l'optimisation des véhicules. En revanche, **le moyen le plus direct pour diminuer la consommation et de réduire les écarts de performances avec les véhicules thermiques est de limiter la vitesse de circulation.** Avec les consommations de 2021, faire des cycles de 2h de circulation à 110 km/h et de 20 min de pause demande des batteries de 60 kWh, rechargeable à 130 kW en moyenne (170 kW en pointe environ).

En absence d'évolution de la vitesse de circulation et si on considère 11 % de réduction de la consommation des BEV à l'horizon 2030, **le rythme de cycle 2h de circulation à 130 km/h et de 20 min de pause serait atteint avec des batteries d'environ 100 kWh, rechargeable à 210 kW en moyenne (soit, environ 290 kW en pointe).** Néanmoins, à cet horizon, **cet objectif semble difficilement atteignable**, par exemple, l'IAE estime que les BEV auront en moyenne seulement 85 kWh de capacité en 2030. En revanche, la course aux batteries hautes-performances admet des risques. **Des batteries avec de tels dimensionnements sont nécessairement plus coûteuses, nécessitent plus de matériaux critiques et d'énergie pour leur production et génèrent globalement plus d'impacts environnementaux.**

Pour limiter la course aux performances pour les batteries, il y a d'éventuelles alternatives qui peuvent être intéressantes. L'échange de batterie, l'utilisation d'extendeur d'autonomie, la recharge dynamique au cours de la circulation sont des pistes qui peuvent être intéressantes à développer et à expérimenter même si elles ne sont pas matures aujourd'hui. **Développer l'intermodalité** pour utiliser les BEV uniquement pour les courtes distances semble également pertinents, surtout dans les zones urbaines disposant des hubs ferroviaires importants.

2. Quelles bornes devraient être installées sur les autoroutes ?

La caractéristique principale pour les points de charge est la puissance de sortie. Elle est à dimensionner en fonction du parc de BEV. En 2021, le BEV moyen a une puissance de recharge maximale de 95 kW et les modèles haut de gamme atteignent en moyenne 180 kW. Cette caractéristique va probablement évoluer dans les prochaines années grâce aux évolutions technologiques et à l'augmentation des capacités des batteries. À l'horizon 2030, ces puissances pourraient être multipliées par 1,5 voir par 2. Le BEV moyen atteindrait donc dans le cas extrême 190 kW et le BEV haut-de-gamme environ 360 kW.

Ainsi, compte tenu des produits proposés par les constructeurs de bornes, il vaut mieux **privilégier l'installation d'infrastructures de 175 kW** pour le moment car c'est adapté à la plupart des véhicules d'aujourd'hui et des prochaines années. **Disposer d'une minorité de bornes de 350 kW ou prévoir la mise à niveau de certaines bornes pour qu'elle puissent atteindre des puissances supérieure pourrait être utile pour les véhicules haut-de-gamme** des années à venir. Cependant, il faut pouvoir **s'assurer que ces bornes seront en priorité utilisé par les usagers de véhicules pouvant profiter de telles puissances** de recharge pour que ce soit utile.

3. Quelle est la distance à préconiser entre les stations de recharge ?

Les véhicules de 2021 ont une capacité moyenne de 50 kWh. Pour des trajets longs avec une vitesse de circulation de 120 km/h, ceci correspond à une distance maximale de 130 km entre chaque charge. Or, sur le réseau autoroutier concédé, il y a en moyenne une aire de services tous les 50 km (et une aire de repos ou de service tous les 18 km en moyenne). Donc, a priori, **le premier niveau de maillage à réaliser correspond à une station de recharge toutes les deux aires de service pour couvrir le besoin minimal.**

Au plus long terme, avoir des bornes de recharge sur certaines aire de repos permettrait d'avoir un réseau plus dense et de limiter le stress lié aux recharges. Effectivement, un usager de BEV peut être inquiet s'il doute de pouvoir atteindre la prochaine aire équipée ou s'il a peur de rater la sortie d'autoroute pour aller faire sa recharge. En revanche, outre la réduction du stress et de la diminution du risque de panne, densifier le réseau de recharge ne semble pas améliorer les performances du système de mobilité car cela demande de placer plus de bornes sans apporter de réductions de temps de trajet.

4. *Quels sont les leviers pour réduire les besoins d'infrastructures de recharge ?*

À l'horizon 2025, il devrait y avoir environ 1400 bornes sur le réseau autoroutier concédé ce qui correspond à un coût d'investissement cumulé de 210 M€. Il paraît alors légitime de se demander comment il est possible de réduire ce nombre de borne car cela représente une quantité de matériaux importante pour leurs installations ainsi qu'un coût important. Les principaux leviers sont :

- **Réduire le trafic routier.** Diminuer le nombre de véhicules en circulation est un levier fondamental. Ceci peut se produire si la demande de mobilité diminue, si la part modale de transport par voiture diminue et si le taux d'occupation des véhicules augmente. Des leviers d'actions sont donc **la sobriété, le report modal vers le train par exemple, le covoiturage**, etc. En particulier, il est également possible de **cibler la réduction du trafic lors des périodes de fortes affluence**. Ce sont les trajets lors des week-ends d'été qui paraissent les plus exigeants pour les infrastructures : le trafic y est 3 fois plus dense qu'en moyenne annuelle et les trajets sont en moyenne environ 1,6 fois plus longs (estimation 2018). Ainsi, une solution pour réduire les besoins d'infrastructure est de **lisser la demande de mobilité lors de ces pics de trafic**. Par exemple, permettre de **diversifier les jours de départs et de retours de vacances** peut permettre une diminution des besoins de bornes. La réduction des pics de besoins de recharge permet également de réduire la surcharge imposée au réseau électrique.
- **Améliorer les performances des véhicules.** Effectivement, réduire la consommation des véhicules permet de réduire les besoins de recharge. De plus, augmenter les capacités des batteries permet de réduire les besoins de recharge car plus de véhicules sont capables de réaliser leurs trajets sans avoir besoin de recharges rapides. Enfin, augmenter les puissances de recharge admissible par les véhicules permet de faire des recharges plus rapides et donc de réduire les durées d'occupation par recharge. Ces leviers d'actions permettent tous de diminuer les besoins d'infrastructures mais, comme ce fut décrit pour la question 0, ils sont tous liés à des évolutions technologiques qui sont incertaines et de moyen terme.
- **Adapter les usages.** Réduire la vitesse de circulation permet de réduire la consommation et donc de réduire le besoin de bornes. Il y a également des bonnes pratiques à développer comme optimiser la puissance des recharges en faisant des pauses plus courtes mais plus fréquentes. De plus, il s'agit aussi de faire en sorte que les usagers de BEV utilisent en priorité les bornes de puissance adaptée à leurs véhicules et qu'ils ne bloquent pas l'accès à la borne une fois que leurs recharges sont terminées. Ces comportements d'usage sont assez directs à mettre en œuvre mais sont conditionnés par des conditions d'acceptabilité.

Enfin, comme il y a un **manque de données pour calculer les impacts environnementaux des bornes de recharge**, il est nécessaire de prévoir des études d'éco-conception approfondies pour pouvoir caractériser leur cycle de vie et optimiser leur développement.

5. *Faut-il réduire la limitation de vitesse sur autoroute pour favoriser la mobilité électrique ?*

Comme dit précédemment, à court terme, réduire la vitesse de circulation est la solution la plus efficace pour favoriser l'adoption des BEV, pour diminuer la consommation et les besoins d'infrastructures, pour réduire les inégalités entre les véhicules thermiques et les BEV de différentes gammes et pour atténuer la course aux batteries à haute performance. Pour toutes ces raisons, il paraît difficile de ne pas soutenir ce projet.

Pendant, l'abaissement de la vitesse de circulation est conditionnée à l'acceptabilité sociale qui n'a pas été étudiée dans ce rapport. **Ce type de mesure admet une opposition importante**, observée notamment lors de la limitation à 80 km/h sur une partie de routes nationales. Limiter à 110 km/h la vitesse sur autoroute était une proposition de la convention citoyenne pour le climat pour pouvoir réduire la consommation et les émissions des véhicules, mais

cette proposition a été déclinée. Peut-être qu'il serait envisageable de **proposer une solution plus mesurées**. Par exemple, la vitesse pourrait être réduite à 120 km/h seulement ou bien à 110 km/h mais uniquement pendant 5 ans. Il serait également possible de **cibler la réduction de vitesse pour les véhicules les plus polluants**. Mais, il faudrait pouvoir établir si ceci n'est trop difficile à mettre en œuvre ou trop injuste.

En pratique, les vitesses sur autoroute sont mesurées par la Sanef. En 2019, la vitesse moyenne des véhicules légers était de 129 km/h (138 km/h sur la voie de gauche) et 43 % des véhicules roulaient au-dessus de 130 km/h (dont 4 % au-dessus de 150 km/h). Ainsi, à défaut de changer la réglementation, **plus de sobriété dans la conduite des usagers pourrait être imposé par des contrôles plus stricts et plus systématiques**. Cela pourrait améliorer le sentiment de justice vis-à-vis de la vitesse réelle et pourrait inciter certains conducteurs à consommer moins d'énergie et à s'orienter vers une mobilité électrique plus lente.

6. Comment améliorer l'expérience des usagers de BEV effectuant des recharges rapides ?

Les constructeurs automobiles installant et gérant les infrastructures de recharge favorisent la recharge pour leurs propres véhicules. Cette stratégie liée à leurs modèles économiques n'est pas souhaitable pour l'acceptabilité des BEV par les consommateurs. **L'uniformisation de l'accès, des coûts et des modes de paiements permettrait de simplifier l'usage des bornes** et rendre le réseau de recharge plus efficace, moins exigeant en matériaux et moins coûteux.

Par ailleurs, les utilisateurs considèrent qu'il est nécessaire de **développer rapidement un outil permettant de savoir si les bornes d'une station sont utilisables et disponibles de manière dynamique, quel que soit son gestionnaire**. Effectivement, si un usager arrive à une aire de recharge en voulant se recharger mais que toutes les bornes sont occupées, il n'aura pas forcément assez d'autonomie pour aller jusqu'à la prochaine station et sera donc forcé d'attendre. Cet outil permettrait alors de réduire le stress lié à l'autonomie et de diminuer les temps de trajet en optimisant les files d'attente.

Enfin, les gestionnaires des autoroutes et des aires doivent **anticiper les changements de comportements des usagers s'arrêtant sur les aires pour recharger leurs BEV**. Effectivement, avec l'essor attendu des véhicules électriques, il est attendu qu'une partie des automobilistes s'arrêtent plus fréquemment et plus longtemps sur les stations. Il peut donc être pertinent d'anticiper le développement d'activités pour améliorer leurs expériences de la recharge.

7. Quel avenir pour la mobilité électrique longue distance en France ?

Dans l'état actuel, la mobilité longue distance est relativement compliquée pour les usagers de BEV, même s'il y a moins de difficultés pour les véhicules haut de gamme. Effectivement, l'autonomie à haute vitesse est limitée, les vitesses de recharge sont insuffisantes pour atteindre des temps de trajet proches de ceux obtenus en véhicule thermique et le réseau de recharge est encore très incomplet et difficile d'usage. Les perspectives d'amélioration techniques sont limitées à l'horizon 2030 et il est osé de pouvoir imaginer que les BEV pourront bientôt être utilisés de la même manière qu'un véhicule thermique, sauf peut-être pour les BEV les plus hauts de gamme. Il est clair que **les pratiques de mobilité longue distance vont être modifiées** avec le développement forcé des BEV. L'avenir des hybrides rechargeables, qui permettent d'éviter les problèmes d'autonomie, est par ailleurs incertain car leurs performances vis-à-vis des objectifs de décarbonation, de dépollution, de réduction de consommation de pétrole sont limitées.

Un problème identifié en question 0 est que la généralisation des BEV risque de faire apparaître des inégalités dans les usages des particuliers. Effectivement, les performances de BEV sont significativement dépendantes de la gamme de véhicule et donc de leurs prix. L'achat d'un BEV est encore un investissement conséquent aujourd'hui malgré les aides existantes. **Les personnes moins favorisées dans les zones peu desservies en transport en commun seront donc a priori significativement moins mobiles qu'aujourd'hui s'ils perdent accès aux véhicules thermiques et s'ils ne peuvent pas se permettre des BEV haut-de-gamme.**

8. Qu'en est-il des poids-lourds électriques et du fret ?

Les problèmes de taille de batterie, de temps de recharge et d'infrastructures se posent également pour les autres types de véhicules comme les camions de fret par exemple. Les futurs poids-lourds électriques nécessiteraient des bornes de recharge de puissance comprises entre 350 kW et 1 MW d'après l'IEA. Pour le futur du fret, les principales perspectives de décarbonation peuvent s'axer vers le développement du fluvial et du ferroviaire à condition de disposer d'infrastructures suffisantes mais les camions électriques peuvent aussi être une solution. Cependant, ils nécessitent soit de **mobiliser des batteries importantes et des bornes ultra-rapides**, soit de **disposer de moyens de recharge au cours de la circulation** (induction, rail, caténaire) ou soit de **les utiliser exclusivement pour les premiers ou derniers kilomètres en complément d'autres modes de transport (intermodalité)**.

La mobilité hydrogène des transports est aussi une option qui est considérée mais il ne faut pas oublier que la mobilité n'est pas l'objectif premier pour la filière de l'hydrogène décarboné. Effectivement, le plus urgent semble être le remplacement de l'hydrogène carboné utilisé aujourd'hui dans différents secteurs industriels (raffinerie, production d'ammoniac, de méthanol et chimie, métallurgie, etc.). En revanche, son utilisation pour les transports lourds dont notamment les camions ou la marine marchande pourrait être pertinente mais des études sont toujours en cours.

Il existe donc un vrai besoin d'améliorer la complémentarité entre les différents modes de transport routier-fluvial-ferroviaire pour maximiser le potentiel de décarbonation du secteur du transport. En revanche, cela pose de nombreux enjeux de **compétitivité** et d'organisation de la logistique et cela exige *a priori* des **renforcements des infrastructures** existantes (canaux, ponts, tunnels, rails, plateforme multimodales, etc.) ou de nouvelles créations.

5. Conclusions / Perspectives

La mobilité électrique est en plein développement et répond notamment aux objectifs contre le changement climatique et contre les pollutions urbaines. Effectivement, l'électrification des véhicules permet sous condition de réduire les gaz à effet de serre émis sur l'ensemble de leurs cycles de vie, de limiter les émissions de polluants lors de la circulation et de réduire les nuisances sonores. La mobilité électrique est alors soutenue par différents pays et par les constructeurs automobiles qui sont soumis aux évolutions des législations.

En outre, malgré ce potentiel clairement identifié, les ventes de véhicules tout-électriques restent encore minoritaires car **il existe encore un certain nombre de verrous sociaux, technologiques et économiques qui limitent son adoption** à plus large échelle. Le coût d'achat élevé des véhicules, les disponibilités incertaines de solutions de recharge et la difficulté de réaliser des trajets de longue distance ont été identifiés comme étant limitant.

Cette étude s'est alors particulièrement intéressé à **la mobilité longue distance des véhicules tout-électriques**. Effectivement, compte-tenu des contraintes d'autonomie, de vitesse de recharge et de densité du réseau de recharge, il paraît nécessaire de **déterminer comment les performances du système de mobilité comprenant véhicules, infrastructures de recharge et usagers évoluent en fonction des paramètres de conception et de décision**.

Les recherches effectuées pour répondre à cette problématique se sont structurées en trois axes. Tout d'abord, il y a eu un atelier avec 17 participants pour identifier les enjeux principaux. Puis, une étude bibliographique a été réalisée pour décrire la situation actuelle. Ensuite, **un simulateur de mobilité électrique à l'échelle d'un axe routier** a été conçu afin de pouvoir comparer différentes flottes de véhicules, différents comportements d'usage et différents scénarios d'évolution du système. La modélisation réalisée permet de **comparer dans différentes situations les performances du système de mobilité** en évaluant certains indicateurs comme le nombre de bornes à installer, les temps de trajet moyen, les potentiels d'impacts environnementaux, etc. Les situations testées peuvent être basés sur différents choix de paramètres d'entrée comme la puissance des bornes, la densité du réseau de recharge, la vitesse de circulation, la fréquence des recharge, le scénario de prévision des évolutions technologiques, etc.

L'ensemble des réflexions qui ont structuré l'étude de la mobilité longue distance a permis de dégager certaines **recommandations pour optimiser son déploiement**. Ces recommandations sont proposées à différentes échelles de la réflexion sur la mobilité électrique et visent par exemple les performances souhaitées pour les batteries, les types de bornes à installer, la densité du réseau à privilégier, le rôle de la réglementation de la vitesse de la circulation et les moyens pour limiter les besoins d'infrastructures.

Le constat est que **les BEV disposent de performances pour la mobilité longue distance limitantes par rapport aux véhicules thermiques** et qu'ils dépendent d'infrastructures encore peu développées. De plus, les caractéristiques des batteries sont très variables selon les gammes de BEV. Comme **les perspectives d'évolutions technologiques à l'horizon 2030 sont prometteuses mais incertaines**, il est important d'étudier les usages pour que le BEV soit adopté à large échelle. **Réduire la vitesse de circulation sur autoroute permettrait de réduire les écarts de performance entre les différents types de véhicules**. Cela favoriserait les BEV et ralentirait la course aux batteries à haute capacité mais l'acceptabilité de la mesure est incertaine. **Favoriser les bonnes pratiques lors de l'usage de BEV et d'infrastructures de recharge** est un levier important pour maximiser les performances du système de mobilité électrique. En parallèle, **développer l'intermodalité** et explorer le potentiel de systèmes tels que la recharge dynamique ou les prolongateurs sont des leviers importants pour pouvoir développer des BEV sobres, avec des capacités de batterie adaptées aux besoins moyens.

Index des tableaux et figures

Figure 1 : Description initiale du problème de recherche traité dans ce PRC : la conception d'un système complexe de mobilité électrique.....	7
Figure 2 : Comparaison des temps de trajet pour différents types de véhicules en décomposant le temps de circulation à 130 km/h et le temps de pauses ou des recharges	8
Figure 3 : Temps de trajet moyen en fonction de la vitesse de circulation de la flotte et du type de véhicule considéré ..	9
Figure 4 : Impacts environnementaux générés par les BEV sur l'A6 en une heure moyenne de circulation à l'horizon 2024 (mix électrique français) en incluant les impacts dus à l'usage des véhicules, à la consommation d'électricité induite, des pertes lors des recharges rapides et la consommation passive des bornes.....	10
Figure 5 : Évolution du nombre de bornes de 175 kW nécessaires sur l'autoroute A6 entre 2020 et 2030 selon 4 scénarios	11
Figure 6 : Effet de l'installation des bornes sur toutes les aires au lieu de seulement sur les aires de service	11

Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
ADPe	<i>Depletion of Abiotic Resources – Elements</i> (Déplétion des ressources abiotiques)
AP	<i>Acidification Potential</i> (Potentiel d'acidification)
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i> (Véhicule électrique à batterie)
EcoSD	Eco-conception de Systèmes pour un Développement durable
EP	<i>Eutrophication Potential</i> (Potentiel d'eutrophisation)
GES	<i>Gaz à Effet de Serre</i>
GWP	<i>Global Warming Potential</i> (Potentiel de réchauffement climatique)
ICEV	<i>Internal Combustion Engine Vehicle</i> (Véhicule à moteur à combustion interne)
IEA	<i>International Energy Agency</i> (AIE, Agence Internationale de l'Énergie)
MD	<i>Metal Depletion</i> (Déplétion des métaux)
PED	<i>Primary Energy Demand</i> (Demande d'énergie primaire)
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i> (Véhicule électrique hybride rechargeable)
POCP	<i>Photochemical Ozone Creation Potential</i> (Potentiel de création d'ozone photochimique)
PRC	Projet de Recherche Collaborative
VE	Véhicule électrique

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr

ABOUT ADEME

The French Environment and Energy Management Agency (ADEME) is active in the implementation of public policy in the areas of the environment, energy and sustainable development. The Agency provides expertise and advisory services to businesses, local authorities and communities, government bodies and the public at large, to enable them to establish and consolidate their environmental action. As part of this work ADEME helps finance projects, from research to implementation, in the areas of waste management, soil conservation, energy efficiency and renewable energy, air quality and noise abatement.

ADEME is a public agency under the joint authority of the Ministry for Ecology, Sustainable Development and Energy, and the Ministry for Education, Higher Education and Research.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr