

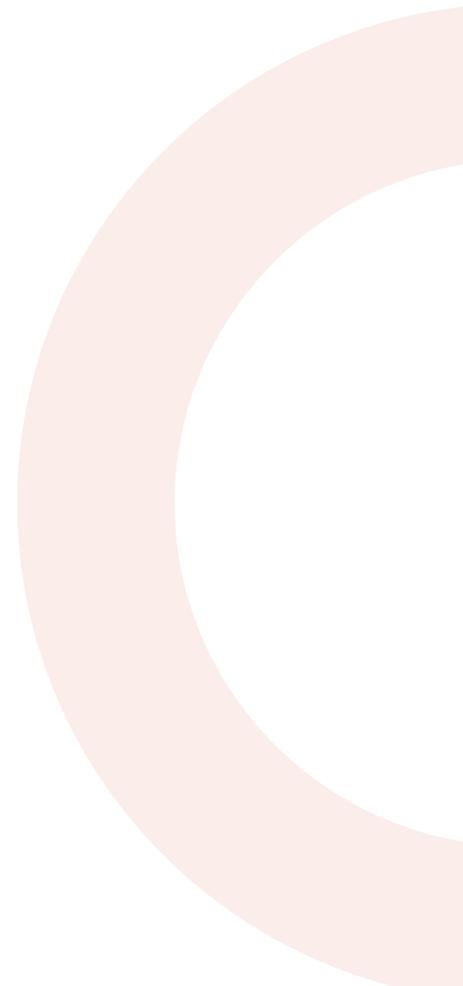


LIVRE BLANC

NOVEMBRE 2021

INFRASTRUCTURE DE RECHARGE AU SERVICE DE LA TRANSITION VERS LA MOBILITÉ ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Marie Rajon Bernard, Dale Hall, Nic Lutsey



www.theicct.org

communications@theicct.org

[twitter @theicct](https://twitter.com/theicct)

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée avec le soutien généreux de la Children's Investment Fund Foundation. Les auteurs remercient Mike Nicholas pour sa contribution relative aux étapes analytiques de calcul de la rotation du parc de véhicules, de l'allocation d'énergie et de la modélisation de l'utilisation des chargeurs. Nous remercions spécialement les responsables du Ministère de la Transition écologique et du Ministère des Transports qui nous ont offert une contextualisation et nous ont aidé à affiner le champ de l'étude et les questions de recherche. Nous sommes reconnaissants envers Mike Nicholas et Sandra Wappelhorst de l'ICCT ainsi que Lucien Mathieu de Transport & Environment pour leur examen critique et leurs apports constructifs pour les premières moutures de ce rapport. Ces révisions et ces participations n'impliquent aucune validation et quelconques erreurs reviendraient aux auteurs.

International Council on Clean Transportation
1500 K Street NW, Suite 650
Washington, DC 20005

communications@theicct.org | www.theicct.org | [@TheICCT](https://twitter.com/TheICCT)

© 2021 International Council on Clean Transportation

SYNTHÈSE

Ce rapport étudie la quantité, le type et la distribution de l'infrastructure de recharge qui sera nécessaire pour assurer la transition vers les voitures de tourisme, taxis, voitures de transport avec chauffeur et flottes de véhicules utilitaires légers électriques jusqu'en 2035 pour atteindre l'objectif de vente de 100% de véhicules complètement électriques en 2040. Le nombre de chargeurs est estimé au niveau des départements français pour six cadres de recharge : domicile, lieu de travail, dépôt, normale publique, urbaine rapide et autoroute rapide.

Les estimations en résultant pour les besoins de recharge rapide et normale publique sont indiquées en Figure ES1. Les cartes illustrent la recharge normale (gauche) et la recharge rapide (droite) en place en 2020 par comparaison avec les niveaux nécessaires en 2030 en phase avec la croissance projetée du parc de véhicules électrique. L'alimentation de 8,5 millions de véhicules hybrides rechargeables et électriques à batterie en 2030 va nécessiter 350 000 chargeurs publics, impliquant un taux de croissance annuel de 28% à partir de 2020. Dans l'ensemble, 8,6% et 12,7% des besoins de recharge publique normale et rapide (respectivement) en France étaient en place en 2020. Les résultats ont grandement varié dans toute la France, les départements s'étageant entre 1% et 25% de leurs besoins de recharge publique d'ensemble de 2030 couverts en 2020.

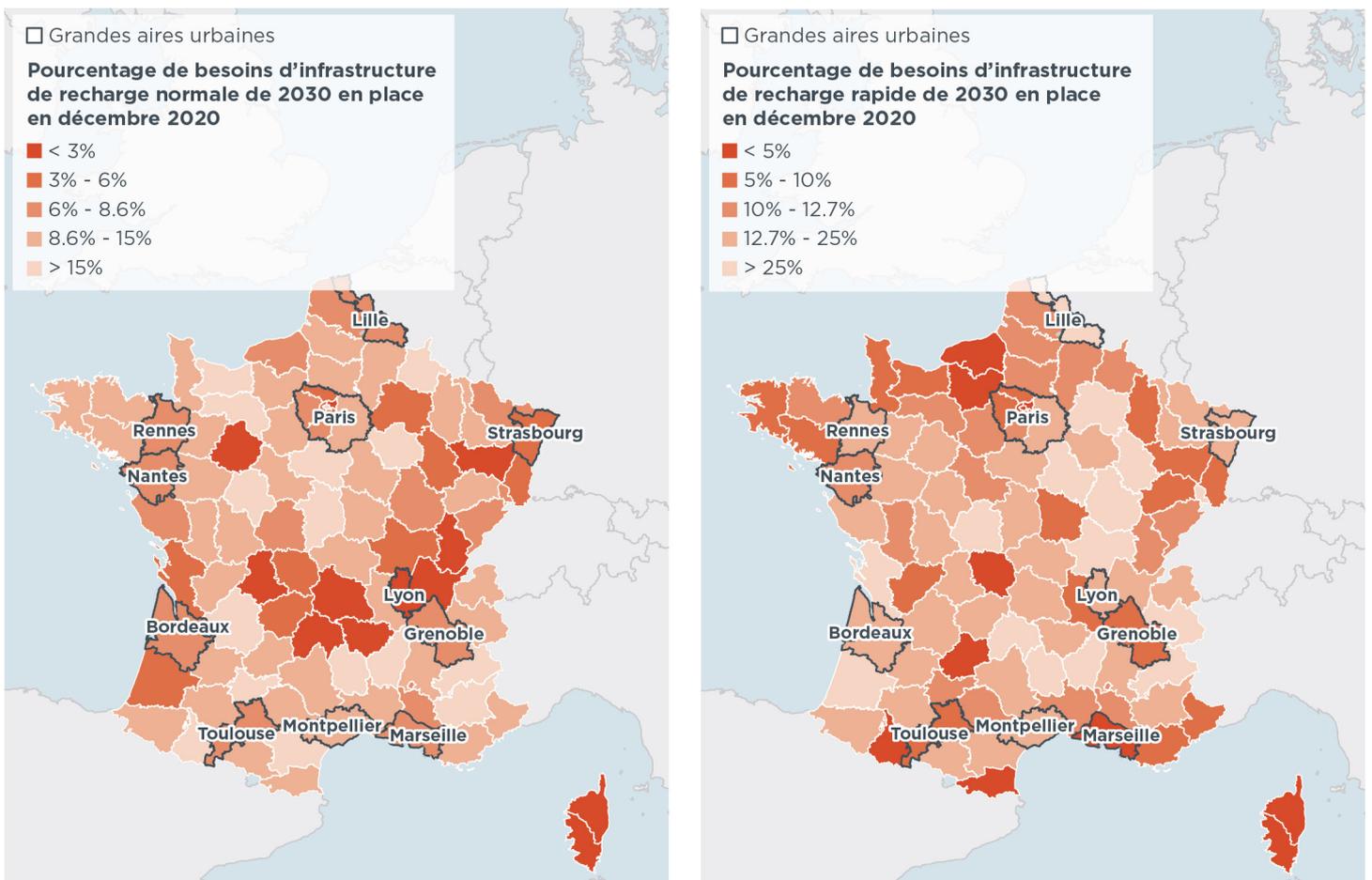


Figure ES1. Pourcentage de besoins d'infrastructure de recharge normale (gauche) et rapide (droite) publique de 2030 en place en 2020.

Les résultats d'analyse génèrent quatre conclusions essentielles :

La croissance du marché français du véhicule électrique exige une expansion conséquente du réseau d'infrastructure de recharge. Pour assumer une croissance de 470 000 véhicules électriques en 2020 à quelque 8,5 millions sur les routes de France en 2030 (incluant 1,1 million de véhicules utilitaires légers électriques), les chargeurs publics vont devoir porter leurs effectifs de 31 000 à près de 350 000 unités. En incluant les infrastructures publique et privée, 5,7 à 6 millions de chargeurs sont nécessaires pour 2030, 15% à 19% de moins que l'objectif initial de la France de 2015, soit 7 millions de chargeurs pour 2030. Néanmoins, dans un scénario alternatif où l'ensemble des ventes de véhicules neufs serait électrique dès 2035, 7,3 millions de chargeurs seraient nécessaires en 2030, incluant 430 000 chargeurs publics. L'accomplissement de l'objectif de 7 millions de chargeurs en 2030 pourrait donc mettre la France sur le chemin de l'électrification totale des ventes neuves dès 2035, cinq ans avant l'échéance actuelle. L'amélioration de l'accès à la recharge à domicile sera essentielle pour la gestion des besoins de recharge publique et une utilisation accrue des chargeurs publics ainsi que de meilleures rentabilités sont attendues à l'avenir.

Les aires urbaines, ayant tendance à mener le bal de l'essor du véhicule électrique, affichent la hausse la plus élevée des besoins de recharge mais un soutien d'infrastructure de recharge majeur est aussi nécessaire dans les zones rurales françaises. Les zones urbaines plus denses et riches, comme Paris et Marseille, affichent le niveau d'adoption le plus élevé des véhicules électriques en 2020. Ces espaces urbains manifestent le besoin le plus important en terme d'expansion de l'infrastructure de recharge publique d'ici 2030, partiellement en raison de la disponibilité inférieure de la recharge à domicile dans ces centres urbains densifiés. Afin que la France décarbone son secteur des transports et répartisse équitablement les avantages des véhicules électriques, l'adoption du véhicule électrique et l'infrastructure de recharge dans son ensemble (publique et privée) vont devoir augmenter plus rapidement dans les zones plus rurales et moins prospères.

La croissance projetée de la demande énergétique pour les véhicules électriques est gérable. Pour soutenir la croissance du véhicule électrique (VE), la demande annuelle d'énergie de recharge va croître de 1,0 terawatt-heure (TWh) en 2020 à 16 TWh en 2030, soit une hausse annuelle moyenne de 32%. La demande d'électricité des VE projetée pour 2035 s'élève à seulement 7% des 439 TWh de demande d'électricité de la France en 2020, tous secteurs confondus. La demande énergétique pour les véhicules électriques serait compensée, jusqu'en 2026, par les économies d'électricité annuelles de 7 TWh mobilisées par la Loi Énergie-Climat. Tous les impacts réseau de la demande énergétique des véhicules électriques sont estimés gérables lors des mises à niveau générales du réseau.

Une nouvelle stratégie de déploiement d'infrastructure de recharge coordonnée pourrait galvaniser les investissements. Bien qu'une couverture d'infrastructure de recharge de base soit importante pour susciter la confiance du marché à ses débuts, un déploiement ciblé des chargeurs est désormais nécessaire pour stimuler les investissements et assurer les besoins des conducteurs. Sur la base des développements en France et ailleurs, une approche prometteuse passerait par la mise en œuvre d'un processus d'installation de bornes de recharge coordonné sur la base de la demande de recharge identifiée auprès des conducteurs, des orientations claires pour assurer un accès équitable et des attributions de permis rationalisées. Ce faisant, les investissements pourraient être guidés, coordonnés et catalysés entre les différentes parties prenantes pour assurer la transition vers la mobilité électrique en France.

TABLE DES MATIÈRES

Synthèse	i
Introduction	1
Caractérisation du marché des véhicules électriques et de la recharge	2
Scénarios d'infrastructure de recharge des véhicules électriques	5
Aperçu de la méthodologie	5
Projection annuelle du parc électrique.....	7
Allocation des véhicules électriques aux groupes de besoins de recharge	8
Énergie nécessaire par catégorie de recharge.....	10
Temps de recharge demandé par catégorie de recharge.....	11
Chargeurs nécessaires par catégorie de recharge	12
Résultats	14
Demande énergétique des véhicules électriques	14
Évolution des véhicules électriques servis par chargeur	15
Nombre de chargeurs	16
Analyse de sensibilité.....	20
Comparaison des résultats	21
Besoins de recharge selon la situation économique.....	23
Recommandations de politiques publiques	25
Orientation et soutien des autorités locales.....	26
Soutien fiscal.....	28
Amélioration de l'expérience de recharge du propriétaire de VE.....	28
Conclusions	30
Références	32
Annexe	34

LISTE DES FIGURES

Figure ES1. Pourcentage de besoins d'infrastructure de recharge normale (gauche) et rapide (droite) publique de 2030 en place en 2020.....	i
Figure 1. Adoption des véhicules électriques de tourisme en France entre 2012 et 2020.....	2
Figure 2. La part du véhicule électrique parmi les voitures de tourisme neuves en 2020 (gauche) et le parc de voitures de tourisme électriques par million d'habitants sont superposés avec le nombre de chargeurs publics par million de personnes (droite).	3
Figure 3. Étapes de modélisation clés pour apprécier les besoins de recharge sur la base de l'adoption du véhicule électrique.	6
Figure 4. Parc de véhicules électriques en millions (axe gauche) et part des ventes de VE neufs et du parc électrique (axe droit) 2012-2035.....	7
Figure 5. Estimation de disponibilité de recharge à domicile des propriétaires de VE en 2020 (gauche) et en 2030 (droite).....	9
Figure 6. Demande énergétique (TWh) de la recharge de véhicules électriques par type de recharge.....	14
Figure 7. Nombre de VE par chargeur public (marron et axe gauche) et de VEB par chargeur rapide (bleu et axe droit).	16
Figure 8. Nombre de chargeurs normaux (gauche) et rapides (droite) publics nécessaires pour 2030 par département.	17
Figure 9. Part d'infrastructure de recharge publique en 2025 (gauche) et 2030 (droite) déjà en place à la fin 2020.	18
Figure 10. Nombre total estimé des chargeurs privés (marron) et publics (bleu et vert) pour 2025, 2030 et 2035.	19
Figure 11. Hausse projetée des VE par département comparée au PIB par habitant. Les carrés verts indiquent les 11 plus grandes aires urbaines hors région parisienne. Les carrés jaunes indiquent la région parisienne, incluant l'ensemble de la région Île-de-France. Les autres départements sont indiqués par des cercles bleus.	23
Figure 12. Infrastructure de recharge nécessaire comparée au PIB par habitant.	24
Figure A1. Numéros de département de France métropolitaine. Insert : Île-de-France	36
Figure A2. Demande énergétique contextualisée (en TWh) pour chaque région de France métropolitaine en 2025, 2030 et 2035.....	36
Figure A3. Chargeurs normaux (gauche) et rapides (droite) publics nécessaires pour 2030.....	37
Figure A4. Nombre de chargeurs publics nécessaires pour 2030 pour chaque région de France métropolitaine.....	38
Figure A5. Nombre de chargeurs urbains rapides et CA normaux en 2025 et 2030 pour les taxis et VTC dans les départements des plus grandes zones urbaines (Île-de-France pour la figure de gauche et autres grandes zones urbaines à droite avec une échelle différente).....	38

LISTE DES TABLES

Table 1. Principales sources de données des variables clés.....	6
Table 2. Allocation de besoins d'énergie par catégorie de conducteurs pour les voitures de tourisme privées.....	10
Table 3. Taux moyen de puissance soutirée pour différents chargeurs et véhicules au fil des années.....	12
Table 4. Résumé des besoins d'infrastructure de recharge.....	20
Table 5. Véhicules électriques de tourisme et chargeurs associés nécessaires jusqu'en 2035 - comparaison de cette analyse avec les trois autres.....	22
Table 6. Synthèse des recommandations de politiques publiques.....	25
Table A1. Résumé des hypothèses et entrées de données pour le modèle d'infrastructure de recharge (certaines entrées évoluent avec le temps entre la fin 2020 et 2035 alors que d'autres restent constantes).....	34
Table A2. Allocation des besoins énergétiques par catégorie de conducteur pour les véhicules utilitaires légers.....	35
Table A3. Allocation des besoins énergétiques par catégorie de conducteur pour les taxis et VTC.....	35
Table A4. Nombre total de chargeurs par région et par catégorie pour 2025, 2030 et 2035.....	39
Table A5. Nombre de chargeurs rapides sur autoroute par autoroute en 2025, 2030 et 2035.....	40

INTRODUCTION

En décembre 2019, le Gouvernement français a défini 2040 comme année cible de la fin de la commercialisation des voitures de tourisme et des véhicules utilitaires légers neufs alimentés aux énergies fossiles. La Maire de Paris a défini un objectif plus ambitieux pour la disparition des voitures à énergie fossile dès 2030 (Avere France, 2017). Le Président français a réitéré l'engagement de son gouvernement envers les véhicules électriques (VE, incluant les modèles électriques hybrides rechargeables et modèles à batterie) dans son plan France Relance (Ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance, 2020), une réponse à l'impact économique de la pandémie de COVID-19 de 2020. Les politiques inscrites dans ce plan incluent les subventions à l'achat de véhicule électrique, les programmes de prime à la casse, une exigence de progression constante de la part des véhicules électriques des flottes publiques et des cibles d'expansion de l'infrastructure de recharge. Le Président français a aussi fixé l'objectif de 1 million de véhicules électriques à batterie (VEB) et de véhicules électriques hybrides rechargeables (VHR) à produire en France dès 2025 et d'un million en circulation (600 000 VEB et 400 000 VHR) dès 2022 (Ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance, 2020).

Comme l'expose le plan France Relance, un réseau d'infrastructure de recharge fiable et dense est essentiel pour aboutir à l'adoption généralisée des véhicules électriques. Le plan inclut une cible de déploiement de 100 000 chargeurs publics dès 2021. (La France avait auparavant une cible de 7 millions de chargeurs publics et privés pour 2030.) Bien que, le plus souvent, la recharge se déroule au domicile ou sur le lieu de travail pour les précurseurs, le développement d'un réseau d'infrastructure de recharge publique est particulièrement important dans les zones urbaines denses où le stationnement hors rue n'est pas une option pour de nombreux conducteurs. Par exemple, seuls 27% des ménages vivant à Paris disposent d'une place de stationnement dédiée. Pour atteindre ses objectifs ambitieux d'électrification des transports, la France va devoir étendre significative son réseau d'infrastructure de recharge publique et privée.

Cette étude évalue l'infrastructure de recharge de véhicule électrique nécessaire en France métropolitaine pour 2035 comparée à celle installée en 2020. La France métropolitaine, aussi dénommée France européenne, inclut la France continentale et la Corse, elle exclut les départements d'outre-mer, et compte 96 départements qui sont des divisions administratives du territoire français. Ce rapport quantifie les besoins de recharge du pays cohérents avec un objectif 2040 de 100% de ventes de VEB (la cible de 0 véhicules à énergie fossile vendu après 2040 est assimilée à un équivalent de 100% de ventes de VEB). La priorité porte sur les besoins de recharge des voitures de tourisme, taxis, voitures de transport avec chauffeur (VTC) et véhicules utilitaires légers (VUL) et l'analyse intègre les tendances d'achat de véhicules et le comportement de recharge jusqu'en 2020. Les résultats de recharge sont fournis au niveau départemental pour six catégories de recharge : domicile privé, dépôt (pour véhicules utilitaires légers), lieu de travail privé, normale publique (incluant résidentiel et destination), urbaine rapide publique et rapide sur autoroute. Les considérations d'équité sont aussi analysées en intégrant la diversité des ressources financières des départements pour offrir une orientation approfondie aux gouvernements sur les besoins futurs d'infrastructure de recharge.

CARACTÉRISATION DU MARCHÉ DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES ET DE LA RECHARGE

Le développement du marché des véhicules électriques utilitaires légers et de tourisme en France a démarré relativement lentement dans les années 2010 mais a reçu une stimulation significative en 2020 comme illustré en Figure 1 ci-dessous. Au cours de ce rapport, nous analysons l'évolution des véhicules électriques (VE), incluant les véhicules électriques à batterie (VEB) et les véhicules électriques hybrides rechargeables (VHR), qui impactent différemment notre modélisation de l'infrastructure de recharge requise. Cette figure affiche le parc de VE utilitaires légers et de tourisme (incluant taxis et VTC) en bleu clair pour les VEB et bleu foncé pour les VHR (axe gauche) et la part combinée des ventes de VE de tourisme en rouge (axe droit) de 2012 à 2020. Les barres simples correspondent aux voitures de tourisme électriques et celles hachurées aux VE utilitaires légers. Sur la base des ventes de véhicules électriques jusqu'en 2020, la France comptait environ 330 000 VEB et 140 000 VHR en décembre 2020.

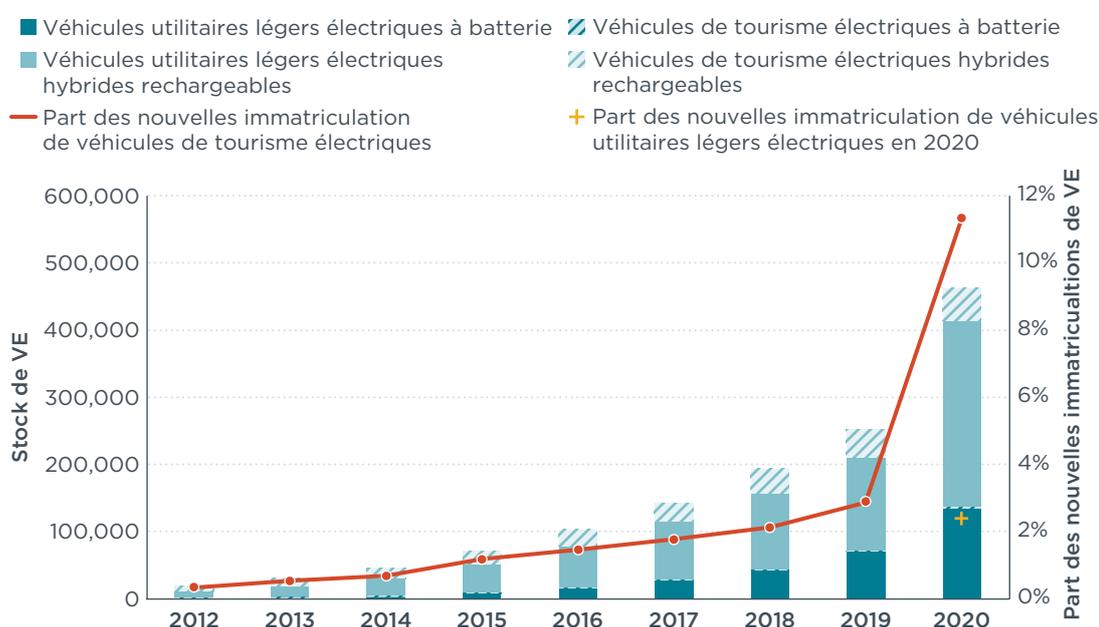


Figure 1. Adoption des véhicules électriques de tourisme en France entre 2012 et 2020.

La Figure 1 affiche une croissance sans précédent de la part des véhicules électriques de tourisme neufs (ligne rouge) en 2020, une période de perturbation majeure sur le marché global des véhicules du fait de la COVID-19. Les nouvelles immatriculations sont considérées comme équivalentes aux ventes de voitures neuves. La croissance globale a été largement alimentée par les constructeurs augmentant la disponibilité de leurs véhicules électriques en volume et en modèles sur tous les marchés pour respecter les normes exigeantes en matière de CO₂ de l'Union Européenne, définies initialement en 2009 puis révisées en 2014 et renforcées en 2019.

En 2020, les VE de tourisme représentaient 11,3% des ventes de véhicules de tourisme neufs (incluant taxis et VTC mais excluant les véhicules utilitaires légers - VUL), soit une hausse de 180% sur 2019. Les VE utilitaires légers s'arrogeaient une part inférieure des ventes à 2,4%. Ensemble, les ventes de véhicules électriques de tourisme et utilitaires légers s'élevaient à légèrement moins de 10% de toutes les ventes de véhicules neufs en 2020. D'un autre côté, les VE représentent seulement un peu moins de 1% du parc total de véhicules de tourisme et utilitaires légers avec environ 470 000 VE en circulation au 31 décembre 2020.

Ce parc de véhicules électriques bénéficiait de quelque 31 000 chargeurs publics à la fin de 2020. Les 31 000 chargeurs publics incluent 90% de chargeurs normaux en courant alternatif (CA), présentant typiquement une puissance nominale entre 3 et 22 kilowatts (kW) et 10% de chargeurs rapides, correspondant à 43 kW ou plus (Avere-France, 2021). Les chargeurs rapides peuvent fonctionner en CA mais fonctionnent la plupart du temps en courant continu (CC).

La Figure 2 indique les VE de tourisme de 96 départements de France métropolitaine (Rajon Bernard & Hall, 2021). Les cartes illustrent le développement du marché des véhicules de tourisme électriques par département en présentant la part de marché du véhicule électrique en 2020 et le déploiement per capita d'environ 410 000 VE de tourisme et 31 000 chargeurs publics dans toute la France pour la fin 2020. La carte de gauche affiche la part des ventes de VE 2020 et celle de droite le nombre de VE (nuance rouge) et de chargeurs (cercles bleus) par million de personnes. Les 11 plus grandes aires urbaines—zones urbanisées de plus de 700 000 habitants (selon la définition de l'Insee)—sont légendées et mis en exergue en noir (Insee, 2020). Chaque grande aire urbaine est composée d'un département, à l'exception de Paris qui recouvre la région d'Île-de-France comprenant 2 zones secondaires : la Métropole du Grand Paris (comprenant 4 départements incluant Paris) et le reste de la région (comprenant les 4 autres départements). La carte de gauche est fondée sur les immatriculations de VE de tourisme neufs, considérées comme un synonyme des ventes de VE de tourisme neufs.

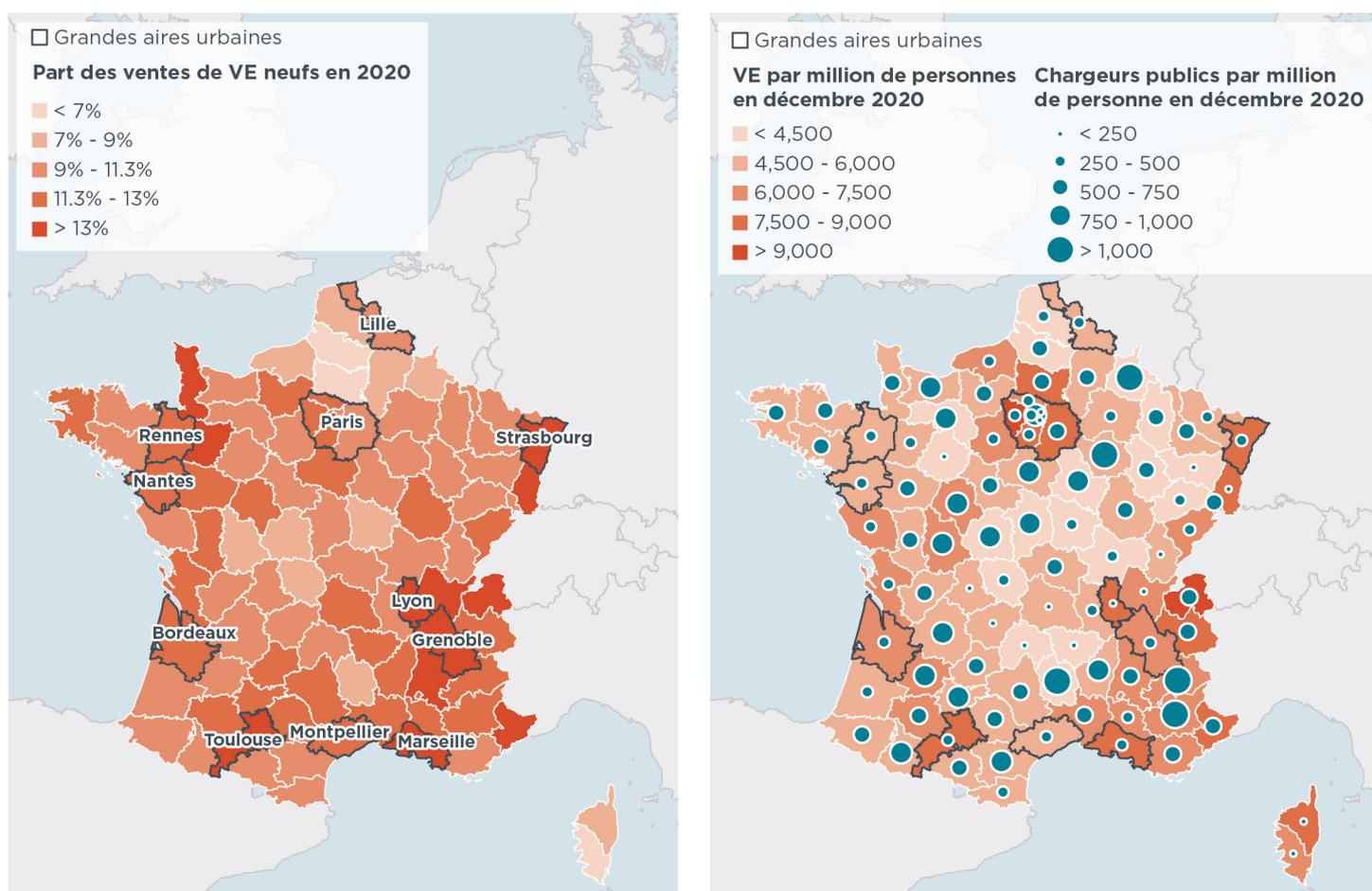


Figure 2. La part du véhicule électrique parmi les voitures de tourisme neuves en 2020 (gauche) et le parc de voitures de tourisme électriques par million d'habitants sont superposés avec le nombre de chargeurs publics par million de personnes (droite).

La carte de gauche de la Figure 2 indique que les taux d'adoption du véhicule électrique les plus élevés correspondent aux grandes aires urbaines. Les deux taux d'adoption de VE 2020 les plus élevés se retrouvent à Paris et dans les Bouches-du-Rhône (Marseille) avec 18,2% et 16,5% respectivement. Par contraste, des zones comme la Somme et l'Oise affichent des parts de VE de tourisme de 4,6% et 5,2%, respectivement. À nouveau, ces chiffres sont à comparer avec la moyenne nationale de 11,3% de ventes de VE de tourisme en 2020 pour la France dans son ensemble.

Sur la carte de droite de la Figure 2, nous constatons que les zones présentant un nombre élevé de VE par million de personnes (nuance rouge foncé) tendent à disposer de relativement peu de chargeurs publics par million de personnes (petits cercles bleus). Par exemple, l'Île-de-France (région de Paris) et Marseille comptent environ 410 et 350 chargeurs publics par million de personnes alors que les zones moins denses comme la Lozère et les Hautes-Alpes disposent de 1 200 et 1 460 chargeurs publics par million de personnes. Ces chiffres sont à comparer à la moyenne nationale de 480 chargeurs publics par million de personnes. Même si le nombre de chargeurs total—publics et privés—est supérieur dans les zones avec une adoption élevée des VE, ces régions comptent encore un nombre faible de chargeurs publics par million de personnes, suggérant un usage plus efficient des chargeurs publics et un besoin de davantage de chargeurs. En termes de nombre absolu de chargeurs publics (à la fois rapides et normaux CA), le département en comptant le plus est Paris—plus de 1 900.

SCÉNARIOS D'INFRASTRUCTURE DE RECHARGE DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Cette analyse calcule l'ampleur de l'infrastructure de recharge nécessaire pour faire face au niveau d'adoption du véhicule électrique jusqu'en 2035 pour que la France soit en bonne voie afin de respecter l'objectif de 100% des ventes de véhicule tout électrique dès 2040. Cette section fournit les étapes de modélisation clés et les données d'entrée pour identifier le nombre et le type de chargeurs nécessaires dans chacun des 96 départements de France Métropolitaine jusqu'en 2035. Les départements d'outre-mer n'ont pas été inclus dans l'analyse du fait du manque de données. La modélisation incorpore les données et tendance de recharge jusqu'en 2020 et tient compte des changements attendus de l'offre de véhicules, de la disponibilité de la recharge à domicile, de la vitesse de recharge, de la part des VEB et VHR parmi les VE et des kilomètres parcourus. Les estimations des besoins de recharge au domicile privé, en dépôt, au lieu de travail, normale CA publique, rapide urbaine et rapide sur autoroute pour chaque département reposent sur des caractéristiques comme la densité de population, le nombre de personnes effectuant un trajet pendulaire en voiture, l'accès à la recharge sur le lieu de travail, l'accessibilité d'emplacements de stationnement dédiés et le type de logement. Les besoins de recharge sont analysés selon les types de véhicule comme la voiture de tourisme, le taxi, la voiture de transport avec chauffeur (collectivement les véhicules de tourisme) et les véhicules utilitaires légers.

APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

La méthodologie employée pour apprécier les besoins de recharge en France métropolitaine jusqu'en 2035 est similaire à celle employée pour une étude récente concernant l'Espagne et développée plus en détails dans ce rapport (Nicholas & Wappelhorst, 2021). Un aperçu de l'approche de modélisation est fourni en Figure 3 à la suite. Les rectangles bleus représentent les étapes de modèle et débutent en haut à gauche. Les trapèzes jaunes indiquent les entrées de données et les hypothèses entre les étapes du modèle. Les ovales gris expliquent ce qui se passe à chaque étape sous forme plus lisible. Le rectangle supérieur gauche indique que le modèle commence par une projection des ventes de véhicules qui, à son tour, permet de suivre le parc de véhicules au fil du temps. L'étape suivante alloue ce parc à des groupes de conducteurs selon le type de voiture (VEB /VHR), la disponibilité de la recharge à domicile et le type de trajet pendulaire (avec/sans voiture ou pas de trajet pendulaire). Ensuite, l'énergie quotidienne nécessaire est prévue pour chaque groupe de conducteurs. Enfin, cette demande d'électricité est calculée pour chaque contexte de recharge et traduite en nombre de chargeurs nécessaires sur la base d'une estimation d'utilisation quotidienne.

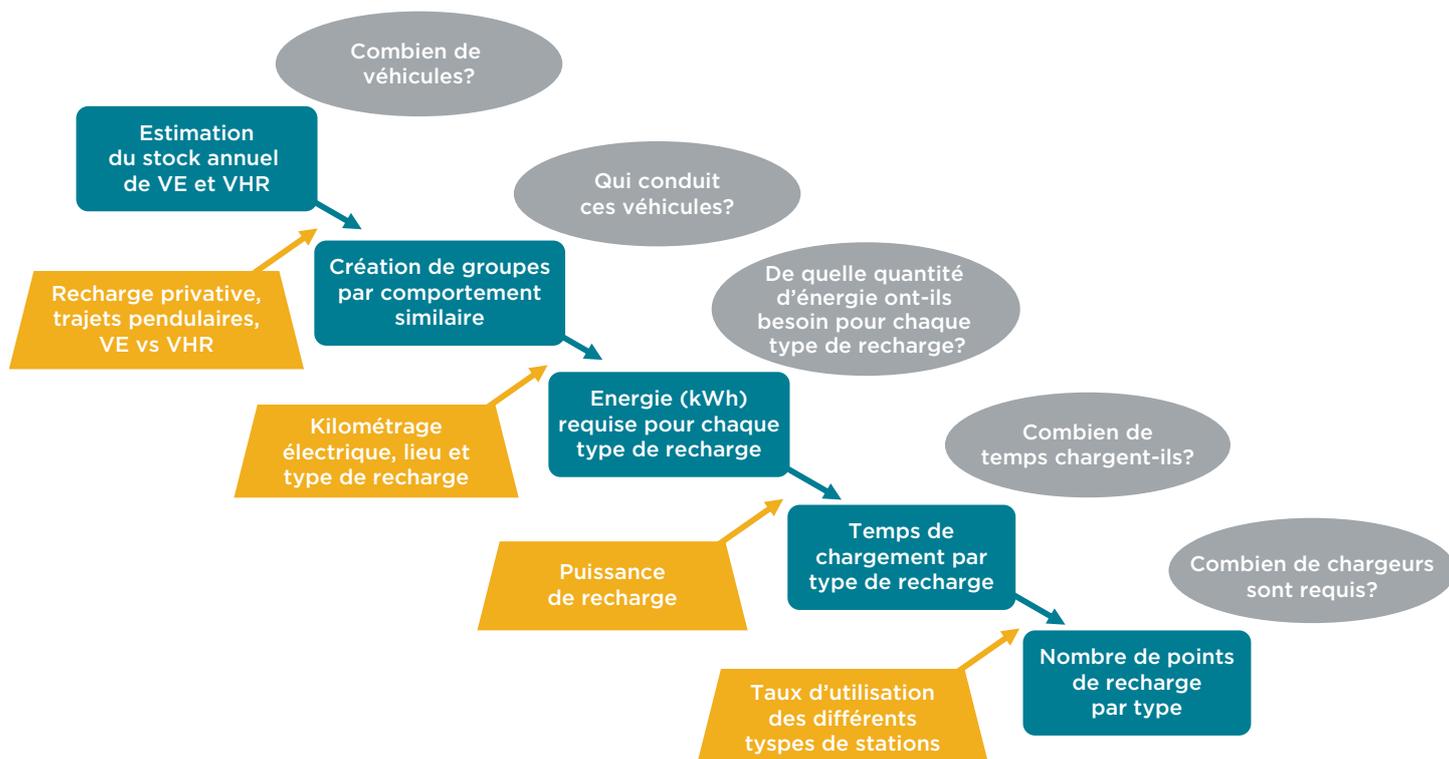


Figure 3. Étapes de modélisation clés pour apprécier les besoins de recharge sur la base de l'adoption du véhicule électrique.

Tous les résultats de cette analyse sont présentés par catégories de recharge : domicile privé, dépôt (pour les véhicules utilitaires légers), lieu de travail privé, normale CA publique, urbaine rapide publique et publique rapide sur autoroute. La catégorie domicile désigne les chargeurs privés dans une maison ou un complexe d'appartements. Les recharges publique et au travail sont souvent interchangeables. Nous faisons l'hypothèse que un tiers des recharges lors du temps de travail sont effectuées auprès de chargeurs normaux CA publics et que le reste est effectuée auprès de chargeurs privés.

Les trapèzes jaunes en Figure 3 représentent les entrées de données provenant de nombreuses sources et autres recherches analytiques. Les principales sources de ces domaines de données et les variables dépendant des données sont indiquées dans la Table 1 ci-dessous.

Table 1. Principales sources de données des variables clés.

Domaine de données	Variable	Source
Population	Population par département et municipalité	Insee, 2017
Logement	Nombre de maisons et d'appartements dans le département et accessibilité à un emplacement de stationnement dédié	Insee, 2017
Ventes et parc de voitures de tourisme, taxis, VTC et VUL	Immatriculations neuves et parc de véhicules électriques, incluant les véhicules électriques à batterie (VEB) et les véhicules électriques hybrides rechargeables (VHR).	SDES 2019 ; SDES 30 janvier 2020 ; SDES 12 octobre 2020
Infrastructure de recharge existante	Comptage des chargeurs rapides et normaux CA par département	Eco-movement, 2021
Comportement de recharge	Part observée de recharge dans différents cadres et usage des chargeurs publics	Nicholas & Wappelhorst, 2021 ; Enedis, 2021 ; Avere/Ipsos 2020
Kilomètres parcourus annuels	Sur la base de la part de population vivant dans les 6 zones urbaines différentes et l'accomplissement du trajet pendulaire en voiture	Insee, 2020
Informations de véhicule	Capacité de la batterie (kWh), taux d'acceptation de recharge (kW)	Sur la base des modèles communs de VEB et VHR en France ; Nicholas & Wappelhorst, 2021

PROJECTION ANNUELLE DU PARC ÉLECTRIQUE

La première étape de modélisation porte sur la prévision des ventes de véhicules électriques en pourcentage des ventes de voitures de tourisme annuelles. Cette modélisation respecte la cible de 100% de ventes de véhicules zéro émissions en 2040, définie par le Gouvernement français dans sa « Loi d'orientation des Mobilités » de décembre 2019. L'objectif de 100% de ventes et de parc de VEB est atteint avant 2040 en Île-de-France en tenant compte de la disparition progressive pour la Métropole du Grand Paris des moteurs thermiques de ses routes en 2030 et en 2035 pour l'ensemble de la région Île-de-France. La Figure 4 présente les estimations de parc de véhicules électriques de tourisme par année sur l'axe gauche (en bleu clair les VEB et en bleu foncé les VHR) et la part de ventes de VE neufs (en rouge) ainsi que le parc de VE (en vert) sur l'axe droit. La croix violette manifeste l'objectif 2022 du Gouvernement de 1 million de VE en circulation.

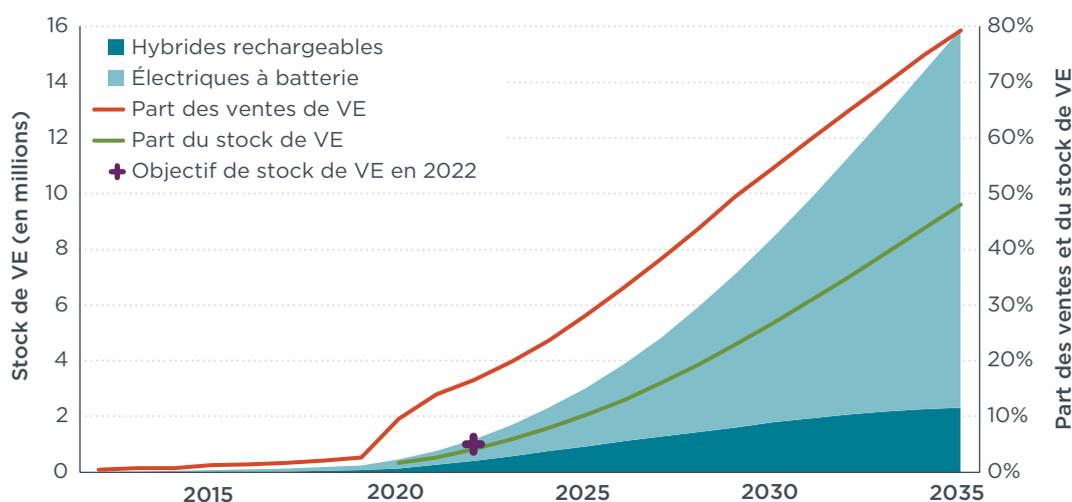


Figure 4. Parc de véhicules électriques en millions (axe gauche) et part des ventes de VE neufs et du parc électrique (axe droit) 2012-2035.

La Figure 4 indique la croissance des ventes de véhicules électriques neufs (ligne rouge) en 2020, suivie des projections pour aligner le marché sur la voie de l'objectif national de la France de 100% de ventes de VEB en 2040. De 2019 à 2020, bien que les ventes globales de véhicules aient chuté de plus de 20%, les voitures de tourisme électriques ont progressés de quelque 180% de sorte que la part des voitures de tourisme électriques a atteint 11% des ventes de véhicules de tourisme neufs en 2020. Cet essor a été largement suscité par le déploiement des constructeurs de davantage de modèles de VE afin de respecter les normes exigeantes de l'Union Européenne en matière de CO₂.

La trajectoire nationale pour la part des véhicules électriques de tourisme neufs suit une courbe en S démarrant à 11% de VE de tourisme neufs en 2020 pour une projection atteignant 31% en 2025, 56% en 2030 et 79% en 2035. Pour les VE utilitaires légers, nous modélisons un léger retard à court terme comparés aux véhicules de tourisme sur la base des données de 2020, aboutissant à 17% de ventes de VE en 2025 et 48% en 2030. Afin d'intégrer la préférence de marché croissante envers les VEB par rapport aux VHR, la part des ventes de VEB au niveau national devrait croître selon les projections de 60% des VE en 2020 à 75% en 2025, 86% en 2030 et 92% en 2035. Les chiffres pour les divers départements sont ajustés selon les parts de VE initiales inférieures ou supérieures en 2020 et des objectifs plus audacieux. Pour prendre deux exemples sur le fondement de ces cibles, hypothèses et développements du marché en 2020, nous prévoyons que la part de marché devrait atteindre 20% en 2025 et 43% en

2030 dans le département de Lille (Nord, 59) et 44% en 2025 puis 86% en 2030 dans le Val-d'Oise (95) en Île-de-France.

Les immatriculations de voitures neuves annuelles ont chuté en 2020 du fait de la pandémie globale. L'étude part du principe d'un rebond des immatriculations revenant aux niveaux de 2019 dès 2023 pour demeurer constantes dans les zones rurales et baisser légèrement dans les zones urbaines denses jusqu'en 2035 pour les voitures de tourisme, sur la base des données pour l'Île-de-France et du fait du souhait général d'encourager les modes de transport alternatifs en France (Apur, 2019). Bien que les ventes de véhicules utilitaires légers (contrairement aux voitures de tourisme) doivent aussi rebondir aux niveaux de 2019 en 2023, elles devraient augmenter de 2% par an jusqu'en 2028 afin de tenir compte des tendances récentes et de la hausse des livraisons par fret urbain inhérentes à l'e-commerce des années à venir (SDES, 2020). Enfin, pour refléter la redistribution des véhicules après la conclusion d'un leasing et des ventes de véhicules d'occasion, les immatriculations de véhicules électriques de tourisme et conventionnels per capita ont été comparées au parc de véhicules de tourisme per capita et redistribuées proportionnellement après une période de trois ans (la durée normale d'un leasing). Lorsque les cas locaux présentent plus d'immatriculations que le parc de véhicules suggèrent, les véhicules additionnels ont été redistribués vers des régions présentant des ventes inférieures comparées au parc.

La méthodologie susmentionnée s'applique aux voitures de tourisme et aux véhicules utilitaires légers. Une méthodologie différente est employée pour les taxis et VTC. Ces deux catégories affichent des développements de marché différents jusqu'en 2020 et leurs définitions diffèrent légèrement. Contrairement aux taxis, qui peuvent être hélés et réservés, les chauffeurs de VTC ont uniquement le droit de prendre des clients sur réservation préalable via des sites Web ou des apps mobiles. Le parc de ces flottes de taxis et de VTC suit une courbe en S atteignant 100% de VEB en 2030, en phase avec les engagements des exploitants, les objectifs des autorités locales et le taux de rotation des véhicules supérieur. Enfin, ces flottes devraient croître de 1% et 3% par an, respectivement, et même de 6,5% pour la flotte de VTC en Île-de-France jusqu'en 2025 puis rester constantes. Ces taux de croissance reposent sur le développement du marché jusqu'en 2020 (SDES, 2020).

ALLOCATION DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES AUX GROUPES DE BESOINS DE RECHARGE

La seconde étape de modélisation est l'allocation du parc de véhicules électriques à des groupes selon les besoins de recharge, chacun présentant un comportement de recharge distinct. Pour les voitures de tourisme privées, trois facteurs sont pris en compte : type de véhicule (VEB ou VHR), trajet pendulaire en voiture ou non et accès à la recharge à domicile. Le type de véhicule influence le nombre de kilomètres électriques parcourus par jour, l'efficacité de la voiture (kilomètres par kilowatt-heure [kWh]) et la puissance de recharge typique des chargeurs rapides et normaux CA (puissance en kilowatt [kW]). L'accomplissement du trajet pendulaire en voiture ou non est important pour déterminer le nombre de kilomètres parcourus et l'accessibilité aux chargeurs sur le lieu de travail. L'accès à la recharge à domicile influence l'ampleur du besoin de recharge publique et sur le lieu de travail. Dans l'ensemble, ces variables génèrent 8 groupes de besoins de recharge.

Les études Enedis et Avere/Ipsos susmentionnées sont utilisées pour l'estimation de la disponibilité de recharge à domicile nationale en 2020. La variation entre les départements en 2020 repose sur le parc de logement (appartements /maisons). Les données de l'Insee—obtenues via le recensement national de 2017 (Insee, 2017)—sur la disponibilité d'un emplacement de stationnement dédié servent à apprécier la disponibilité de la recharge à domicile en 2035 pour chaque département. Sur la base de l'étude Avere/Ipsos, nous partons du principe que 82% des propriétaires de

VE disposant d'un emplacement de stationnement dédié ont accès à une recharge à domicile de nuit.

La carte suivante affiche les estimations 2020 (gauche) et les prévisions 2030 (droite) de disponibilité de la recharge à domicile pour les propriétaires de VE pour chaque département. Cette étude estime que quelque 76% de tous les propriétaires de VE au niveau national disposent d'un accès à la recharge à domicile en 2020 ; les projections pour cette part devraient baisser à 60% pour 2035. La baisse de la disponibilité de la recharge à domicile jusqu'en 2035 repose sur un passage des précurseurs du VE (disposant généralement d'un emplacement de stationnement dédié) à des acheteurs conventionnels dont l'accès à un emplacement de stationnement dédié approche en définitive de la moyenne nationale (inférieure).

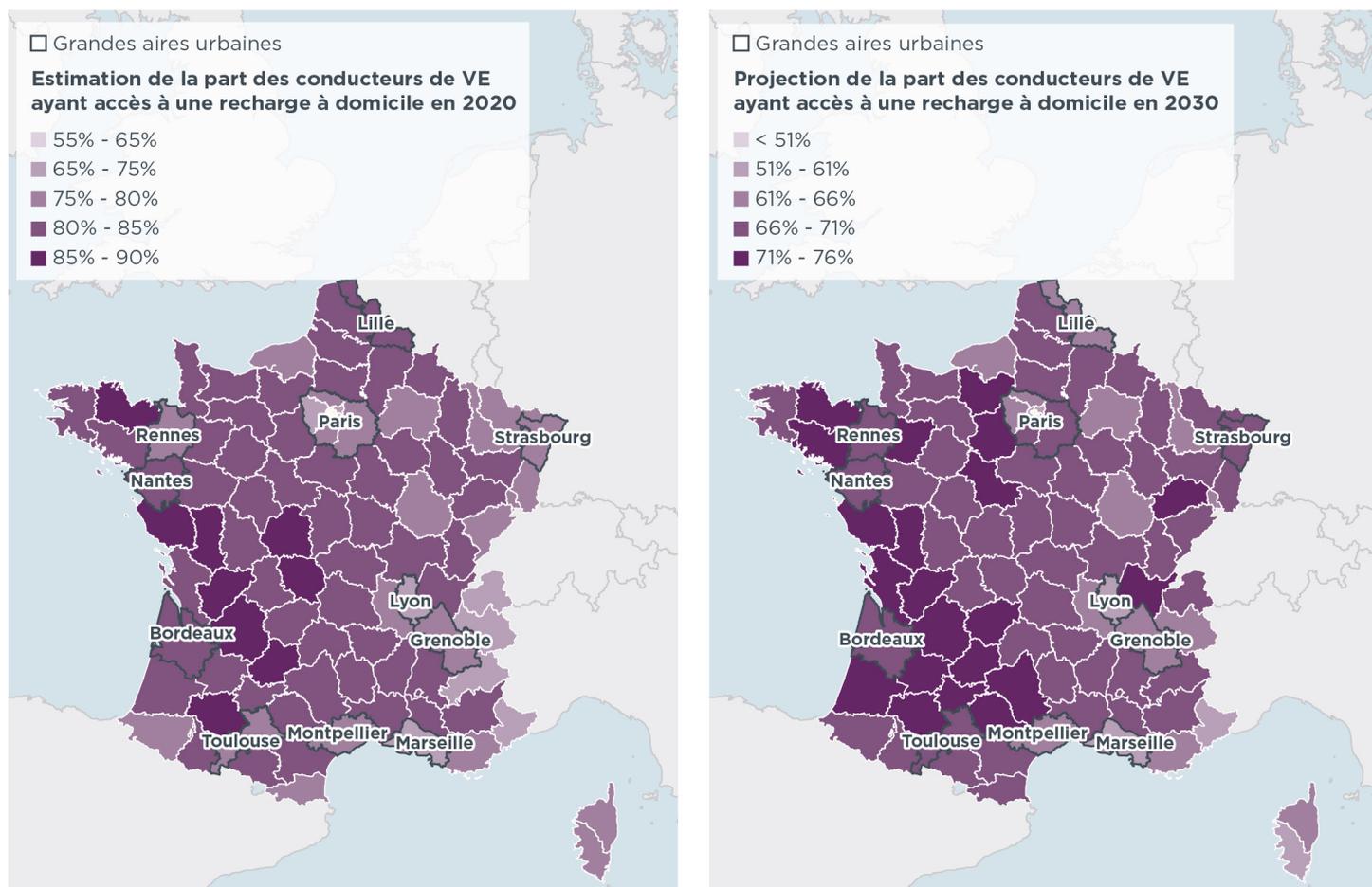


Figure 5. Estimation de disponibilité de recharge à domicile des propriétaires de VE en 2020 (gauche) et en 2030 (droite).

Les projections pour la plupart des grandes aires urbaines tablent sur un niveau inférieur de disponibilité de la recharge à domicile par rapport à la moyenne nationale jusqu'en 2035. En comparant les deux cartes, nous constatons que la part estimée de propriétaires de VE avec recharge à domicile est considérablement supérieure en 2020. Les différences relatives de disponibilité de la recharge à domicile sont maintenues à l'avenir. Pour prendre deux exemples de la figure, l'accès au domicile dans la région lyonnaise (Rhône, 69) est censé baisser de 70% en 2020 à 59% en 2030 alors que la Vendée (85) affiche une baisse de 86% à 76% sur la même période. Pour cette analyse, nous avons modélisé une baisse linéaire de la disponibilité de la recharge à domicile entre 2020 et 2035.

L'hypothèse de recharge à domicile est gérée différemment pour les autres types de véhicule. Nous partons du principe que, selon les kilomètres parcourus par jour, entre 75% et 90% de l'énergie pour les véhicules utilitaires légers professionnels provient de la recharge de nuit dans un centre de dépôt d'entreprise. Ce point est davantage détaillé dans la Table A2 en Annexe. Pour les taxis et les VTC, un tiers de conducteurs seulement ont accès à une recharge à domicile (Migette J.C., Petcu M., Delahaie H., Debbah F, 2019).

ÉNERGIE NÉCESSAIRE PAR CATÉGORIE DE RECHARGE

Pour la troisième étape de modélisation, l'énergie totale nécessaire pour chaque groupe de conducteurs est calculée et allouée à différents emplacements de recharge : domicile privé, dépôt privé, lieu de travail, normale CA publique et chargeurs rapides. Les hypothèses liées aux besoins en énergie de chaque groupe de conducteurs sont énoncées dans la Table 2 pour les voitures de tourisme, notamment les entrées pour les conducteurs de VEB et VHR et leur type de trajet pendulaire. Les véhicules effectuant des trajets pendulaires parcourent 43 km par jour en moyenne en 2020 comparés à 26 km pour les VE sans trajets pendulaires. La table offre des intrants qui clarifient davantage la ventilation de ce type de conduite sur la base de l'emplacement de recharge mais aussi la manière dont chaque groupe de véhicules change sur 2020-2035. La Table A2 et la Table A3 en Annexe procurent des informations et des hypothèses similaires liées aux véhicules utilitaires légers, aux taxis et aux VTC. Les trois premières colonnes indiquent le groupe de recharge, les quatre suivantes la part d'énergie soutirée à chaque emplacement puis les informations liées aux kilomètres parcourus en véhicule électrique et enfin la part des véhicules au niveau national relevant de chaque catégorie en 2020, 2030 et 2035.

Table 2. Allocation de besoins d'énergie par catégorie de conducteurs pour les voitures de tourisme privées.

Véhicule	Trajet pendulaire en voiture	Recharge à domicile disponible	Domicile	Travail	Normale publique	Rapide publique	Kilomètres parcourus en véhicule par jour en 2020	Part de kilomètres électriques	Part de parc de véhicules en 2020	Part de parc de véhicules en 2030	Part de parc de véhicules en 2035
VEB	Oui	Oui	75%	15%	5%	5%	43	100%	30%	28%	29%
		Non	0%	55%	20%	25%		100%	8,4%	14%	18%
	Non	Oui	85%	0%	5%	10%	26	100%	21%	22%	22%
		Non	0%	0%	45%	55%		100%	7,3%	14%	16%
VHR	Oui	Oui	75%	20%	5%	0%	43	70%	14%	8,5%	5,4%
		Non	0%	65%	35%	0%		40%	4,0%	4,1%	3,3%
	Non	Oui	90%	0%	10%	0%	26	50%	11%	6,1%	3,8%
		Non	0%	0%	100%	0%		10%	3,9%	3,2%	2,5%

*VEB= véhicule électrique à batterie et VHR= véhicule électrique hybride rechargeable

L'allocation de besoins d'énergie pour chaque groupe de conducteurs repose sur des études similaires (Nicholas & Wappelhorst, 2021) et la moyenne des kilomètres parcourus au quotidien provient de l'étude Enedis des conducteurs de VE susmentionnée. En outre, nous partons du principe que 5% des kilomètres parcourus sont alimentés par une recharge rapide sur autoroute, principalement destinée aux trajets sur de longues distances. La distance quotidienne parcourue varie entre et au sein des départements et repose sur 6 types différents de zones définies par l'Insee— des zones rurales aux zones urbaines denses de la région parisienne (Insee, 2020). Ces zones sont dénommées « aires d'attraction des villes » et définies comme la zone d'influence d'une ville sur les zones voisines. Ces kilomètres parcourus au quotidien baissent aussi avec le temps, allant de 0% par an dans les zones rurales à 1,3% au maximum dans les autres zones (Hubert J.P., Pistre P., & Madre J.L., 2016). Enfin, nous

partons du principe que les personnes n'utilisant pas leur voiture pour les trajets pendulaires parcourent en moyenne 60% des kilomètres des personnes effectuant des trajets pendulaires en voiture sur la base de l'étude nationale de 2020 sur la mobilité, concluant qu'une moyenne de 43% des kilomètres parcourus l'étaient dans un cadre professionnel (Forum vies mobiles, 2020).

La demande énergétique est déterminée sur la base des kilomètres parcourus électriques et de l'efficacité des véhicules. Les VEB et VHR de tourisme en 2020 présentent des efficacités de 0,16 et 0,23 kilowatt-heures par kilomètre (kWh/km), respectivement, et les VEB et VHR utilitaires légers de 0,21 et 0,27 kWh/km, respectivement. Ces éléments reposent sur une moyenne pondérée des modèles de VEB et VHR les plus courants en circulation en France pour les voitures de tourisme et les véhicules utilitaires légers, respectivement. À mesure des progrès technologiques, nous estimons que l'énergie nécessaire par km pour chaque catégorie de véhicules devrait baisser d'environ 5% jusqu'en 2030.

Les huit groupes précédents sont censés représenter des moyennes même si chacun est hétérogène, les spécifications des véhicules, les modes de conduite et les comportements de recharge variant grandement au niveau individuel. Par exemple, les personnes effectuant leur trajet pendulaire en voiture n'ont pas tous accès à une recharge sur le lieu de travail et les conducteurs ne disposent pas tous de prises de recharge à domicile. En outre, certains conducteurs de VHR ont accès à la recharge à domicile ou au travail mais ne s'en servent jamais, préférant plutôt conduire pratiquement exclusivement avec du carburant.

Plusieurs hypothèses additionnelles ont été effectuées pour modéliser la demande énergétique et de conduite annuelle des véhicules utilitaires légers, taxis et VTC. Les véhicules utilitaires légers parcourent entre 28km et 123km par jour selon leur type d'usage (personnel, professionnel pour le transport de marchandises, professionnel pour les services et autres usages professionnels) et leurs kilomètres journaliers parcourus restent constants jusqu'en 2035 (El Fadili S., Huitric C., & Moitry J., 2018). Les quatre types d'usage influencent non seulement les kilomètres journaliers mais aussi la proportion de l'énergie provenant de chaque cadre de recharge (domicile, dépôt, normale CA publique, publique urbaine rapide et publique rapide sur autoroute). Enfin, les taxis et VTC parcourent 143km par jour en moyenne et leurs kilomètres journaliers demeurent aussi constants jusqu'en 2035 (SDES, 2020). La Table A2 et la Table A3 des annexes procurent davantage de détails sur les hypothèses effectuées pour ces types de véhicule.

TEMPS DE RECHARGE DEMANDÉ PAR CATÉGORIE DE RECHARGE

Pour la quatrième étape de modélisation, nous estimons la puissance moyenne des chargeurs et la puissance acceptées par les véhicules. En effet, les deux sont importantes pour le prévisionnel de puissance pouvant être soutirée d'un chargeur. Par exemple, si un VHR est branché sur un chargeur de 22 kW mais peut uniquement soutirer 3,4 kW, la valeur de 3,4 kW est utilisée comme moyenne pondérée d'estimation de la puissance disponible de la station de recharge. Le taux moyen de puissance soutirée est identique pour toutes les catégories de véhicule (tourismes et utilitaires légers) et augmente au fil des années afin de refléter les progrès technologiques des véhicules et la plus grande disponibilité de la recharge à une puissance supérieure. La Table 3 affiche le taux moyen de puissance soutirée pour différents chargeurs au fil des années.

Table 3. Taux moyen de puissance soutirée pour différents chargeurs et véhicules au fil des années.

	VEB - Chargeur CA normal	VHR - Chargeur CA normal	Chargeur rapide urbain	Chargeur autoroutier
2020	8 kW	3,4 kW	35 kW	60 kW
2030	9,1 kW	4,8 kW	80 kW	120 kW
2035	9,5 kW	5,4 kW	90 kW	150 kW

Même si une puissance supérieure est possible en 2020, dans la pratique, le partage de puissance, la gestion de batterie sur un cycle de recharge complet et le coût inférieur d'une puissance inférieure suggèrent que les vitesses seront en moyenne inférieures au maximum. Ces hypothèses d'acceptation de puissance de véhicule et de recharge sont employées pour tous les types de véhicule en partant du principe de l'évolution des technologies de manière similaire pour la diversité des applications de véhicule électrique.

CHARGEURS NÉCESSAIRES PAR CATÉGORIE DE RECHARGE

L'étape finale est le calcul du nombre de chargeurs de divers types dans toutes les régions. Pour ce faire, nous prévoyons les heures par jour d'utilisation active (énergie soutirée) des différentes stations. Nous les multiplions ensuite par la sortie de puissance de chargeur en kW déterminée à l'étape précédente pour obtenir l'énergie quotidienne disponible en kWh. Enfin, l'énergie nécessaire pour les VE, déterminée à l'étape 3, est divisée par cette énergie disponible pour aboutir au nombre de prises nécessaires.

Le modèle reflète l'utilisation croissante en heures par jour avec une hausse de la pénétration du véhicule électrique pour les chargeurs rapides et normaux CA publics comme l'indiquent les autres études. De là différentes heures par jour de puissance soutirée entre les départements, avec un usage supérieur sur les marchés de VE à maturité. En utilisant des études référentielles appliquées lors d'analyses ICCT antérieures et en les adaptant au contexte français, l'usage croissant de la recharge normale en fonction de la part du VE dans le parc de véhicules peut être représenté par l'équation suivante :

$$\begin{aligned} & \textit{Utilisation moyenne journalière des chargeurs normaux} \\ & = 0.71 \times \ln(\textit{part du stock de VE}) - 4.52 \end{aligned}$$

L'usage d'une fonction de logarithme naturel (ln) évite la hausse du nombre d'heures au-delà d'un seuil pratique pour les pénétrations de marché élevées tout en autorisant une hausse rapide de l'utilisation lors des étapes initiales d'un marché du véhicule électrique. L'équation part d'une utilisation quotidienne moyenne nationale présumée de 1,6 heure en 2020, atteignant 4 heures en 2035. L'usage quotidien varie dans chaque département selon la pénétration du marché VE (représentée par la part du parc VE dans la formule précédente). En résultante, l'utilisation est typiquement supérieure à la moyenne nationale dans les plus grandes zones urbanisées si la concentration de VE et de chargeurs est supérieure, permettant des coïncidences plus fréquentes et pratiques entre les VE et les emplacements de chargeur. Par exemple, l'utilisation quotidienne dans le département de Paris passe de 2 heures en 2020 à 4,5 heures par chargeur normal en 2030.

Un modèle similaire est employé pour tenir compte de l'usage croissant de chargeurs rapides représenté par l'équation suivante :

$$\begin{aligned} & \textit{Utilisation moyenne journalière des chargeurs rapides} \\ & = 0.67 \times \ln(\textit{part du stock de VEB}) - 4.59 \end{aligned}$$

L'équation part d'une utilisation quotidienne moyenne nationale présumée de 1,6 heure en 2020, avec une projection de 4 heures en 2035. Comme pour les chargeurs

normaux CA, l'usage quotidien varie dans chaque département selon la maturité du marché, représentée par la part du parc VEB. Par exemple, l'utilisation quotidienne de chargeurs rapides dans le département de Paris passe de 1,9 heure en 2020 à 4,6 heures en 2030.

Les hypothèses d'utilisation décrites précédemment pour les chargeurs publics sont appliquées pour tous les types de véhicule : voitures de tourisme, véhicules utilitaires légers, taxis et VTC. Cependant, les hypothèses de recharge privée diffèrent pour les quatre catégories de véhicule.

La recharge sur le lieu de travail pour les voitures de tourisme est modélisée différemment de la recharge publique et nous partons du principe qu'elle demeure constante à 5 heures par jour ouvrable tout au long de la période d'étude car elle est liée à un usage routinier et peut se développer de manière plus prévisible. Comme les chargeurs sur le lieu de travail sont rarement utilisés le week-end, la moyenne quotidienne d'usage sur une semaine de sept jours est de 3,6 heures.

Les chargeurs à domicile utilisés par les conducteurs de voitures de tourisme sont calculés différemment, sans usage des paramètres d'utilisation décrits précédemment. En lieu et place, le décompte des chargeurs à domicile repose sur le nombre de conducteurs de VE ayant accès à la recharge à domicile, défini dans la section logement auparavant. La méthodologie part du principe d'un chargeur à domicile par VEB et tient compte du fait que certains domiciles peuvent partager un chargeur entre de multiples VHR (sauf pour les taxis et VTC).

Nous partons du principe d'une stratégie plus coordonnée pour la recharge en dépôt des VUL professionnels de sorte qu'un chargeur peut partager sa puissance entre deux VEB ou trois VHR. Cela est possible grâce à un partage de puissance sur le site entier entre de multiples ports de recharge, le partage de puissance via de multiples ports de recharge sur un chargeur ou le déplacement physique d'un port d'une voiture à l'autre. Grâce à la recharge de nuit, ces véhicules couvrent la majorité de leurs besoins de recharge quotidiens.

Enfin, alors que la méthodologie présentée en Figure 3 ci-dessus est appliquée à l'échelon du département pour les chargeurs urbains rapides et normaux CA publics et sur le lieu de travail, elle est appliquée au niveau national pour les chargeurs rapides sur autoroute. Le nombre de chargeurs sur autoroute est calculé au niveau national puis divisé par autoroute selon sa fréquentation quotidienne moyenne par des voitures de tourisme. Il est encore divisé par département sur la base de la fréquentation quotidienne moyenne par des voitures de tourisme de l'autoroute dans chaque département. La fréquentation quotidienne moyenne est obtenue en calculant la moyenne annuelle du nombre de véhicules circulant sur un tronçon spécifique durant une journée. Chaque tronçon relève d'une autoroute et est attribué au département où il débute (Data.gouv.fr, 2018).

Un résumé des entrées de données est fourni dans la Table A1 en Annexe.

RÉSULTATS

Nous présentons à la suite nos projections de hausse de la demande énergétique VE et le nombre résultant de chargeurs publics et privés nécessaires ainsi que l'évolution du nombre de VE servis par chargeur au fil du temps. Ces résultats dépendent de plusieurs hypothèses et l'impact des diverses hypothèses clés est présenté dans l'analyse de sensibilité concluant cette section.

DEMANDE ÉNERGÉTIQUE DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

La Figure 6 présente la demande énergétique totale de recharge en terawatt-heures (TWh) par an pour chaque contexte de recharge de VE de 2020 à 2035, incluant la recharge aux stations publiques et privées. La figure inclut les besoins de recharge des voitures de tourisme, des véhicules utilitaires légers, des taxis et des VTC. La demande énergétique pour la recharge de VE croît substantiellement d'une estimation de 1,0 terawatt-heures (TWh) d'électricité en 2020 à 5,7 TWh en 2025 puis 16 TWh en 2030. Comme indiqué, dès 2030, 10 TWh, soit 64% de l'énergie de recharge de VE totale, proviennent de la recharge privée. À titre indicatif, l'électricité totale consommée par toutes les applications en France en 2019 était de 439 TWh. Nos résultats pour 2030 s'élèveraient donc à 4% de ce total (SDES, 2020).

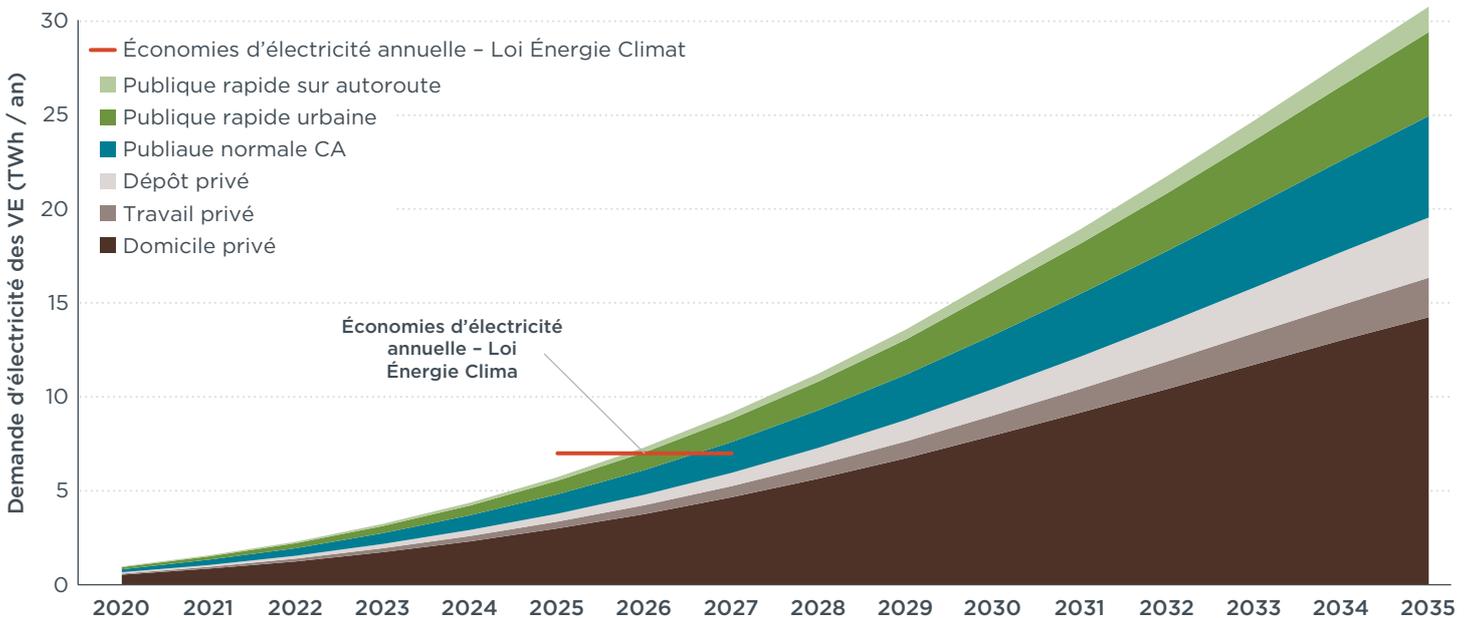


Figure 6. Demande énergétique (TWh) de la recharge de véhicules électriques par type de recharge

Une tendance évidente dans la figure est la part croissante de l'énergie allouée à la recharge au dépôt (marron clair). Comme le montre la Table A2, nous partons du principe que 75% à 90% de la recharge des véhicules utilitaires légers d'entreprise se déroule au dépôt. Cet effet est amplifié car les véhicules utilitaires légers s'arrogent une part supérieure de la flotte électrique totale au fil du temps. L'autre grande tendance est l'essor de la recharge publique. Alors que les besoins en électricité au domicile privé progressent avec les années, leur part de toute l'électricité nécessaire baisse du fait d'une diminution prévue de la part des propriétaires de VE disposant d'une recharge à domicile à mesure que les VE sont adoptés en masse.

Bien que cela ne soit pas indiqué dans la demande énergétique VE totale en Figure 6, si nous examinons les voitures de tourisme privées en particulier, la majorité de la demande énergétique continue de relever de la recharge à domicile. L'énergie pour la recharge de voitures de tourisme privées en 2030 s'élève à 12 TWh ventilés comme suit :

54% domicile, 6,6% lieu de travail privée, 21% normale publique CA, 14% rapide CC et 4,4% rapide sur autoroute CC. Il est intéressant de noter que, bien qu'en Île-de-France 47% de l'énergie totale provienne de la recharge à domicile, ce pourcentage grimpe à 56% dans le reste de la France. Cet écart de 9 points est expliqué du fait de la part relativement élevée des appartements en Île-de-France (spécialement à Paris) où il s'avère plus difficile de compter sur une recharge à domicile de nuit. La projection suggère que, à mesure que le marché évolue pour inclure plus de conducteurs de VE dans les logements collectifs, l'assurance de la croissance de la disponibilité de la recharge à domicile va s'avérer importante car c'est habituellement l'option de recharge la plus pratique et la moins chère pour les conducteurs de VE.

À un niveau plus précis, les départements présentant les besoins énergétiques majeurs en 2030 sont les plus grandes aires urbaines. Ces 11 aires représentent environ 44% et 51% de l'énergie totale et publique (respectivement) nécessaire en 2030. Cela est dû à une électrification en masse anticipée dans les grandes aires urbaines partiellement déclenchée par des politiques comme les zones à émissions faibles, à une population importante concentrée dans ces zones et à un nombre inférieur de personnes accédant à la recharge à domicile privée dans les aires urbaines les plus denses. À titre indicatif, ces 11 zones accueillent 43% de la population française.

En termes d'énergie publique par type de véhicule, les voitures de tourisme privées représentent la demande énergétique la plus élevée (67% en 2025) pour chaque région. L'Île-de-France affiche des particularités avec 63% de l'énergie relevant des voitures de tourisme et 21% des voitures de transport avec chauffeur en 2025 (comparés à 10% pour ce type de véhicule au niveau national). Cela est dû au fait que la région parisienne accueille un grand nombre de voitures de transport avec chauffeur et de taxis tout en comportant moins de personnes effectuant leur trajet pendulaire en voiture (par comparaison avec les autres régions), tout spécialement dans la Métropole du Grand Paris, entraînant une faible quantité de recharge sur le lieu de travail. Il y a aussi un mouvement vers une demande énergétique supérieure imputable aux véhicules utilitaires légers et de tourisme dans les années suivantes du fait de l'électrification en masse de ces flottes, survenant plus tard que l'électrification des taxis et des VTC.

Enfin, pour un contexte élargi, la France a adopté en 2019 la Loi Énergie-Climat pour respecter ses ambitions en matière de climat et d'environnement (LOI N° 2019-1147 du 8 Novembre 2019 relative à l'énergie et au Climat (1), 2019). Une mesure clé porte sur la hausse de l'efficacité énergétique de tous les bâtiments affectés d'une classe d'efficacité énergétique F ou G. Du fait de cette loi, la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie prévoit une baisse de la consommation d'énergie du secteur de la construction de 76 TWh entre 2023 et 2028 (Ministère de la Transition écologique, 2020). Comme près de 45% de cette énergie provient de l'électricité, cela génère une économie sur cinq ans d'environ 35 TWh, soit 6,9 TWh en économies d'électricité annuelles sur la période 2023-2028. Une autre étude prévoit des économies d'électricité annuelles de 7,1 TWh dès 2026 grâce à cette législation relative à l'efficacité énergétique (Sia Partners 2017). Comme l'illustre la Figure 6, les quelque 7 TWh d'économies annuelles compensent la hausse projetée de la consommation d'électricité par les véhicules électriques jusqu'en 2026.

La Figure A2 en Annexe propose une ventilation détaillée de la demande énergétique pour tous les segments de recharge et dans chaque région de la France métropolitaine en 2025, 2030 et 2035.

ÉVOLUTION DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES SERVIS PAR CHARGEUR

Sur la base d'une hausse de l'usage des chargeurs rapides et normaux CA publics mais aussi d'une concentration supérieure des VE et des chargeurs dans les mêmes régions,

Le nombre de VE par chargeur s'accroît jusqu'en 2035 même si la part des propriétaires de VE disposant d'une recharge à domicile baisse avec le temps. La Figure 7 illustre la croissance des VE par chargeur public (axe gauche et marron) et des VEB par chargeur rapide (axe droit et bleu) au fil du temps.

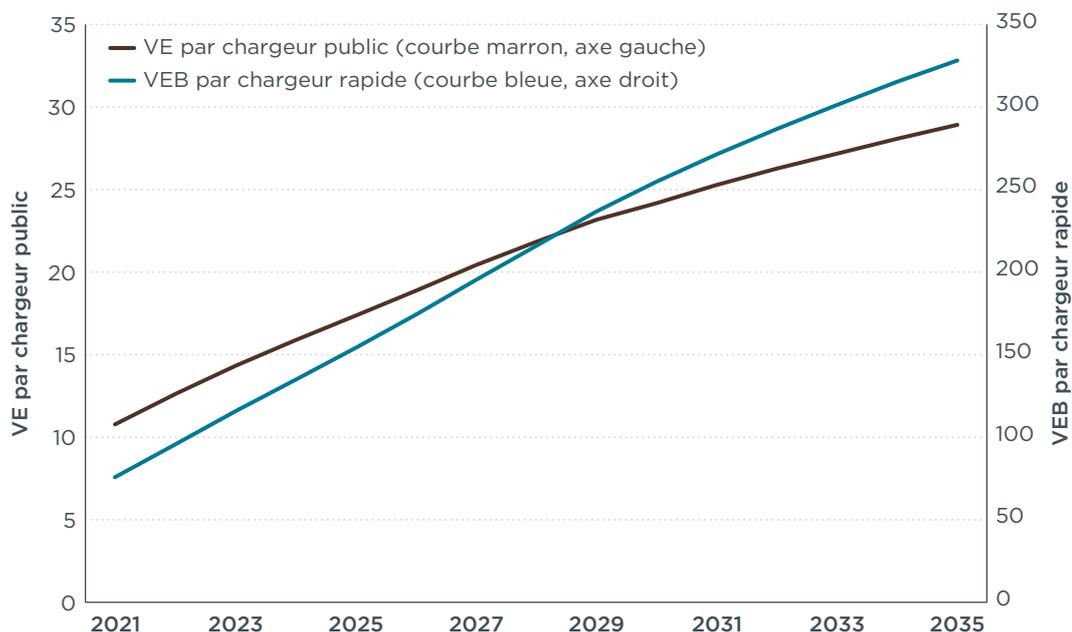


Figure 7. Nombre de VE par chargeur public (marron et axe gauche) et de VEB par chargeur rapide (bleu et axe droit).

Le nombre de VE par chargeur public au niveau national progresse de 17 en 2025 à 24 en 2030 sans cesser de croître jusqu'en 2035. Cependant, il convient de noter que lorsque le taux inclut également les chargeurs privés sur le lieu de travail (donc les VE par chargeur public plus privés sur le lieu de travail), ce taux est inférieur et atteint 13, 17 et 19 VE par chargeur en 2025, 2030 et 2035 respectivement. Simultanément, le nombre de VEB par chargeur rapide augmente au fil des ans pour atteindre 254 en 2030. Ces chiffres indiquent que les phases initiales du marché nécessitent une couverture géographique uniforme afin d'assurer un niveau minimum d'accès pour tous. Cependant, une couverture géographique uniforme implique invariablement une utilisation moindre dans certaines zones. Une fois cette couverture homogène atteinte, des chargeurs peuvent être ajoutés en fonction de la demande. À mesure que le marché se développe, l'utilisation augmente, aboutissant à davantage de VE par chargeur public et de VEB par chargeur rapide. Ces taux varient par département ; par exemple, le nombre de VE par chargeur public en 2030 à Paris approche 27 alors que ce rapport chute à 15 dans le département moins densément peuplé de la Vendée (85). Le graphique précédent représente la moyenne au niveau de la France.

NOMBRE DE CHARGEURS

Chargeurs publics. La Figure 8 présente le nombre de chargeurs normaux publics (gauche) et rapides publics (droite) nécessaires en France métropolitaine pour 2030. Plus la nuance bleue est foncée, plus le nombre de chargeurs nécessaires est élevé. Des cartes détaillées avec le nombre de chargeurs publics sont fournies en Annexe en Figure A3. De plus, la Figure A4 présente la répartition des différents segments publics en 2025, 2030 et 2035. Comme l'indiquent ces cartes, les départements présentant le nombre projeté le plus élevé de chargeurs rapides et normaux en 2030 se trouvent en région parisienne.

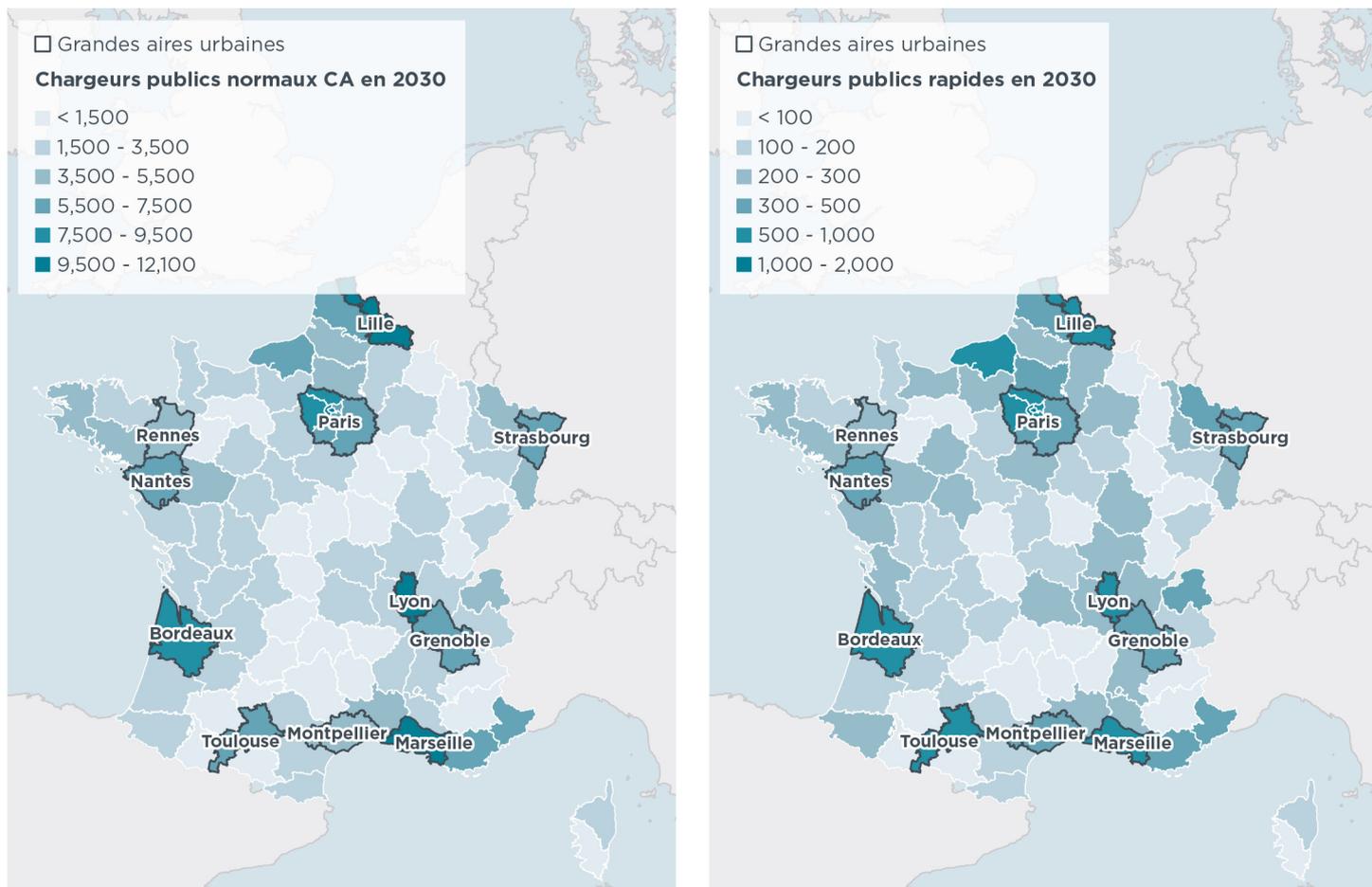


Figure 8. Nombre de chargeurs normaux (gauche) et rapides (droite) publics nécessaires pour 2030 par département.

Les cartes en Figure 8 montrent clairement que les chargeurs rapides et normaux seront nécessaires tout particulièrement dans les 11 plus grandes aires urbaines. Cela s'explique par au moins deux facteurs. Tout d'abord, ces zones présentent une concentration élevée de VE en circulation (du fait d'une population élevée et n'un niveau précoce d'adoption du VE) mais une part faible de recharge à domicile comparée à la moyenne nationale du fait d'une proportion supérieure de la population vivant dans des logements collectifs. Ensuite, ces zones affichent un nombre important de taxis et de VTC présentant un besoin particulier de recharge rapide en journée.

Bien que cela ne soit pas manifeste sur les cartes, le département de Paris aura besoin d'un parc supérieur de chargeurs normaux publics dès 2030, à hauteur de 11 600 chargeurs normaux et 1 900 chargeurs rapides. Pour l'Île-de-France (région parisienne), ses besoins de recharge publique devront atteindre 66 200 chargeurs normaux 6 640 chargeurs rapides. Cela est inhérent à l'ambition d'autoriser uniquement des VEB sur les routes de la Métropole du Grand Paris dès 2030 et pour l'ensemble de l'Île-de-France dès 2035.

La Figure 9 affiche les résultats d'une autre manière en présentant la part d'infrastructure de recharge publique en 2025 (gauche) et 2030 (droite) déjà en place à la fin 2020. Les départements en rouge clair sont plus près de respecter leur objectif d'infrastructure de recharge publique 2030 et ceux en rouge foncé plus éloignés et sous la moyenne nationale. Au niveau national, 17,8% de l'infrastructure de recharge de 2025 est déjà en place ; cette part est de 8,9% pour 2030. Les divers départements s'échelonnent entre 3% et 59% de leurs besoins de recharge publique d'ensemble de 2025 et 1% à 25% de leurs besoins de 2030.

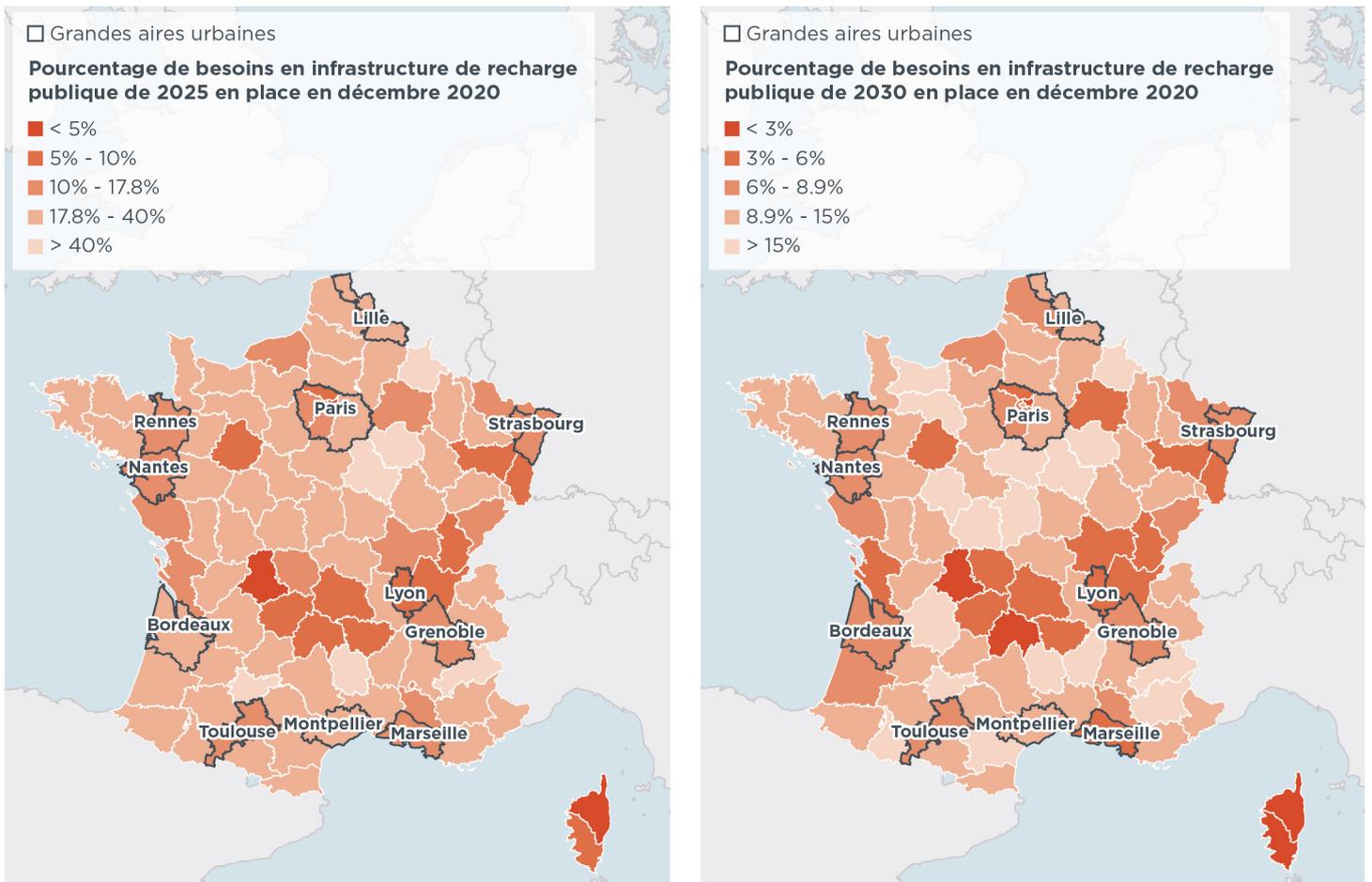


Figure 9. Part d'infrastructure de recharge publique en 2025 (gauche) et 2030 (droite) déjà en place à la fin 2020.

Ces cartes indiquent que nombre des plus grandes aires urbaines sont en rouge foncé. En d'autres termes, elles ont plus à parcourir pour couvrir leur besoin d'infrastructure de recharge de 2030. Pour 9 des 11 plus grandes aires urbaines, la part de l'infrastructure de recharge publique de 2030 déjà en place est inférieure à la moyenne nationale de 8,9%. Les deux autres sont uniquement légèrement au-dessus de la moyenne du pays. Par exemple, à la fin 2020, Marseille couvre 12% et 6% de ses besoins de recharge publique de 2025 et 2030, respectivement, alors que Lille les couvre à 20% et 9%, respectivement. De manière intéressante, en Île-de-France, le département de Paris présente la part la plus élevée d'infrastructure 2030 déjà en place (14%) bien que l'Île-de-France dans son ensemble soit sous la moyenne nationale avec seulement 7% de l'infrastructure de recharge nécessaire en 2030 déjà en place.

Ces estimations de nombre de chargeurs publics sont fournies pour tous les types de véhicule. La Figure A5 en Annexe présente une estimation du nombre de chargeurs urbains rapides et CA normaux pour les taxis et VTC en 2025 et 2030 dans les plus grandes zones urbaines. Cela peut s'avérer une aide pour les autorités nationales, régionales et locales dans la planification du déploiement de leur infrastructure de recharge. En effet, les chargeurs urbains rapides se trouvent principalement dans les gares ferroviaires, aéroports et autres lieux très touristiques alors que les chargeurs CA normaux sont destinés à la recharge de nuit des conducteurs et se situent donc à proximité de leur domicile, soit dans les zones moins denses et éloignées du centre des villes.

Chargeurs sur autoroute. Avec le développement d'un réseau de recharge publique fiable et la hausse de l'autonomie des VE, le public est plus à l'aise à l'idée d'emprunter un VE pour les longs trajets pour lesquels le déploiement de chargeurs autoroutiers

rapides publics s'avère spécialement important. Notre modélisation prévoit une hausse des chargeurs autoroutiers rapides jusqu'en 2035, à hauteur de 2 200 unités en 2025, 4 400 en 2030 et 6 800 en 2035. La Table A5 en Annexe fournit une ventilation détaillée par autoroute.

Chargeurs totaux. Le parc de chargeurs estimé dans chaque région, incluant les secteurs privé (marron) et public (bleu et vert), est fourni à la suite. Les segments en marron hachurés indiquent l'estimation de chargeurs à domicile à la fin 2020 et le hachurage en bleu le nombre de chargeurs publics à ce même stade. Comme indiqué, l'Île-de-France nécessite un total de 1 364 000 chargeurs en 2030, le besoin le plus élevé des 13 régions. Elle est suivie par l'Auvergne-Rhône-Alpes avec 672 000 chargeurs pour 2030. Pour la plupart, ces chargeurs sont de type domicile privé. La Table A4 en Annexe fournit le prévisionnel chiffré des chargeurs par région et par catégorie pour 2025, 2030 et 2035.

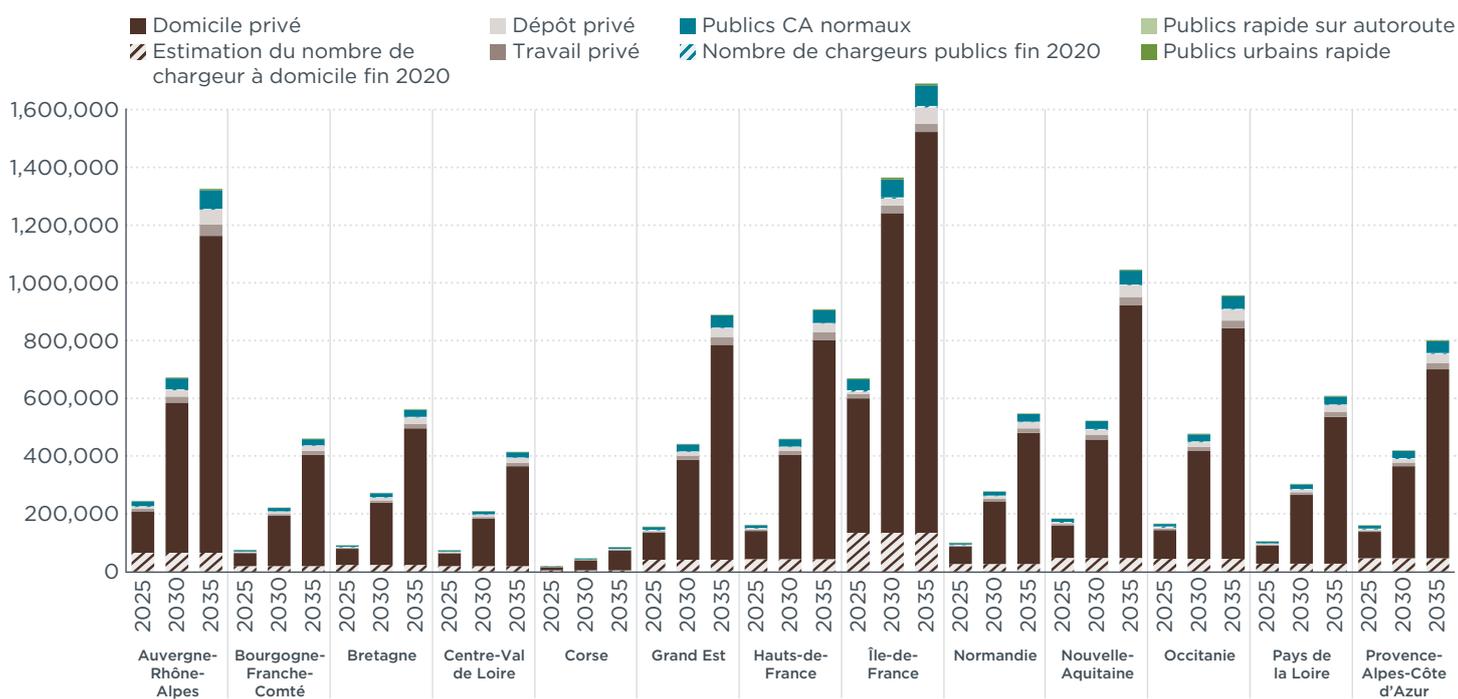


Figure 10. Nombre total estimé des chargeurs privés (marron) et publics (bleu et vert) pour 2025, 2030 et 2035.

Une estimation de 2,2 millions de chargeurs (privés et publics) seront nécessaires pour 2025, 5,7 millions pour 2030 et 10,3 millions en 2035. Bien que l'expansion de cette infrastructure exige des efforts accrus du Gouvernement et du secteur privé, notre projection de besoin de 5,7 millions en 2030 représente environ 81% de l'objectif annoncé de la France de 7 millions de chargeurs publics et privés de 2030 (LOI N° 2015-992 du 17 Août 2015 relative à la Transition énergétique pour la croissance verte, 2015). Cette différence est expliquée par les développements du marché jusqu'en 2020, un nombre inférieur de chargeurs par véhicule électrique à mesure de la maturité du marché, une accessibilité moindre à la recharge à domicile pour les dernières années et une meilleure perspective pour la recharge rapide.

Comme illustré en Figure 10, la région avec le nombre maximum de chargeurs nécessaires pour toutes les années est l'Île-de-France, la région la plus peuplée et accueillant la capitale française. Sur les 1 364 000 chargeurs de 2030, environ 90% sont à domicile. Même si l'Île-de-France présente une part faible de disponibilité de recharge à domicile comparée à la moyenne nationale, sa part du parc VE est élevée grâce à son niveau élevé d'adoption des VEB, aboutissant à un usage efficace des

chargeurs publics et à une baisse du nombre de chargeurs publics nécessaires. Avec le second nombre le plus élevé de chargeurs nécessaires, également la deuxième région française la plus densément peuplée, Auvergne-Rhône-Alpes compte 2 des 11 plus grandes aires urbaines : Lyon et Grenoble.

Enfin, la Table 4 résume les besoins d'infrastructure de recharge d'ensemble en France pour 2025, 2030 et 2035, notamment les résultats globaux des 11 plus grandes aires urbaines et des autres départements de France, et des comparaisons avec les chargeurs installés en 2020. Cette analyse indique que le nombre total de chargeurs rapides et normaux publics en France doit augmenter de 31 000 à la fin 2020 à 174 000 en 2025. Pour respecter les objectifs du véhicule électrique jusqu'en 2030, quelque 350 000 chargeurs seront nécessaires. Cette infrastructure correspond à environ 7,9 fois davantage de chargeurs publics en 2025 et près de 14 fois plus en 2030 qu'en 2020 dans les plus grandes aires urbaines. Ces rapports sont inférieurs pour les autres départements de France, indiquant un besoin supérieur en termes d'infrastructure de recharge publique dans les zones urbaines denses. Pour les mettre en perspective, ces résultats suggèrent qu'une croissance annuelle de 41% du nombre de chargeurs est nécessaire de 2020 à 2025 et de 27% par an de 2020 à 2030 pour respecter les objectifs de croissance du véhicule électrique. Comme indiqué, la hausse annuelle des chargeurs est supérieure pour les plus grandes aires urbaines.

Table 4. Résumé des besoins d'infrastructure de recharge

	Année	Plus grandes aires urbaines*	Autres départements de France	Pays entier
Chargeurs publics totaux (rapides et normaux publics)	2020	10 809	20 277	31 086
	2025	84 950	89 260	174 211
	2030	153 497	196 252	349 750
	2035	217 996	331 605	549 600
Parc de véhicules électriques	2020	233 958	236 337	470 295
	2025	1 673 673	1 348 973	3 022 646
	2030	4 140 654	4 313 934	8 454 588
	2035	6 647 251	9 247 630	15 894 881
Multiplis projetés des besoins de recharge publique futurs comparés à 2020	2025	7,9	4,4	5,6
	2030	14,2	9,7	11,3
	2035	20,2	16,4	17,7
Recharge publique 2020 sous forme de pourcentage des chargeurs futurs nécessaires	2025	13%	23%	18%
	2030	7%	10%	9%
	2035	5%	6%	6%
Hausse annuelle des chargeurs de 2020 à 2025, 2030 et 2035	2025	51%	35%	41%
	2030	30%	25%	27%
	2035	22%	20%	21%

*Les 11 plus grandes aires urbaines accueillent 43% de la population française.

ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Les hypothèses et résultats présentés à la section précédente représentent notre scénario de base. Cependant, le nombre de chargeurs est sensible à des hypothèses et des variables clés. Pour montrer l'effet des changements de ces hypothèses et variables, une analyse de sensibilité de trois variables importantes est présentée.

Trois scénarios additionnels ont été analysés en termes d'impact sur l'infrastructure de recharge nécessaire en 2030, comparée aux résultats susmentionnés. Le premier scénario apprécie l'impact de l'avancement à 2035 de la disparition pour 2040 des

ventes de moteurs thermiques. Le second évalue une baisse de la dépendance envers la voiture avec le temps, reflétant une chute des achats de voitures mais aussi des kilomètres parcourus par véhicule (synonyme, par exemple, d'un succès supérieur des politiques locales et d'un accroissement du télétravail). Le troisième scénario analyse l'impact d'un accès accru à la recharge à domicile avec 69% des propriétaires de VE disposant d'un accès à la recharge à domicile en 2030, comparés à 64,5% dans le scénario de base.

Les effets de ces cas, à mesure que le pourcentage change pour le nombre de chargeurs en 2030 par rapport au scénario de base, sont substantiels. Pour le scénario de fin des ventes de voitures à moteur thermique anticipée à 2035, le besoin de chargeurs privés, normaux CA publics, urbains rapides et rapides sur autoroute augmente de 28%, 22%, 28% et 35%, respectivement, pour une hausse de 23% du nombre total de chargeurs publics. Pour cette transition électrique accélérée, nous estimons un besoin total de 7,3 millions de chargeurs en 2030, incluant 430 000 chargeurs publics. L'accomplissement de l'objectif de 7 millions de chargeurs en 2030 pourrait donc mettre la France sur la voie de l'électrification totale des ventes dès 2035, cinq ans avant l'échéance actuelle. La seconde alternative, une baisse de la dépendance envers la voiture, aboutit à une réduction de 9% des besoins de recharge privée et de 14% des besoins de recharge publique. Ces deux scénarios démontrent que différents résultats d'infrastructure de recharge sont possibles en 2035 selon les priorités nationales et les développements technologiques.

Le troisième scénario—hausse de l'accès à la recharge à domicile—a un effet proportionnel sur le besoin de chargeurs publics. La hausse de 4,5 points (de 64,5% à 69%) de l'accès à la recharge à domicile diminue le besoin de chargeurs urbains publics (urbains rapides et CA normaux) d'environ 5%. Cela souligne l'importance d'un accès accru à la recharge de nuit, par exemple pour les résidents en appartement. En 2030, près de la moitié des propriétaires de véhicules électriques vivront en appartement et une estimation de 35% du parc de véhicules électriques de tourisme en France sera détenu par des foyers sans accès à la recharge à domicile. Indépendantes de ces décisions nationales, locales et d'entreprise, des stratégies efficaces accompagnées de politiques ciblées devraient être mises en œuvre pour assurer un développement efficace du réseau de recharge (Rajon Bernard & Hall, 2021).

COMPARAISON DES RÉSULTATS

Cette section compare les résultats avec des données de trois publications d'estimations de l'adoption du véhicule électrique et des besoins d'infrastructure de recharge à l'avenir en France : un rapport de 2019 commandité par le Ministère de la Transition écologique français et confié à Coda Stratégies (par la suite nommé l'étude « Coda », Migette J.C., et al., 2019), l'étude de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) 2020 (Ministère de la Transition écologique, 2020) et l'étude Transport & Environment (T&E) 2020 (Transport & Environment, 2020).

La Table 5 compare nos résultats avec ceux du scénario optimisé de l'étude « Coda », le scénario dynamique de l'étude PPE et le scénario Road2Zero de l'étude T&E. La comparaison est effectuée en termes d'estimations du nombre de véhicules électriques (les véhicules utilitaires légers sont exclus car toutes les études partent du principe qu'ils dépendent intégralement ou essentiellement de la recharge en dépôt privée) et de l'infrastructure de recharge publique pour faire face au parc croissant de véhicules électriques pour 2025, 2030 et 2035, en comparant les chiffres jusqu'à la fin 2020. Les données des colonnes du milieu suggèrent que les quatre études déterminent qu'au moins 12 fois plus de chargeurs publics seront nécessaires en 2030 comparés à 2020. Cependant, les valeurs pour les chargeurs publics nécessaires en 2030 s'échelonnent de 12 (PPE et ICCT) à 29 fois (Coda) la recharge en place en 2020. La table détaille aussi le nombre de VE de tourisme pour offrir une explication partielle de la différence

entre les chiffres absolus de chargeurs entre les quatre études. Cette analyse ICCT projette 7,4 millions de VE de tourisme en 2030, comparés à 5,3 millions dans Coda, 6,2 millions dans PPE et 6,3 millions pour Transport and Environment. Nous décrivons par la suite certaines des différences majeures sous-tendant les quatre études et entraînant plus ou moins de chargeurs pour les divers types.

Table 5. Véhicules électriques de tourisme et chargeurs associés nécessaires jusqu'en 2035 - comparaison de cette analyse avec les trois autres

		Référence 2020	2025				2030				2035	
			ICCT	Coda ^a	PPE ^b	T&E ^c	ICCT	Coda ^a	PPE ^b	T&E ^c	ICCT	PPE ^b
Véhicules électriques à l'exclusion des VUL (en milliers)	VEB	277	1 870	1 500	2 650	2 069	5 808	3 100	6 200	6 341	11 458	
	VHR	135	854	1 000			1 593	2 200			1 984	
Estimation du nombre de chargeurs publics (en milliers)		30	174	394	203	214	350	884	361	467	550	436
Véhicules électriques (à l'exclusion des VUL) par chargeur public		13,72	15,6	6,35	13,1	9,67	21,2	6,00	17,2	13,6	24,5	

^a scénario optimisé, ^b scénario dynamique, ^c scénario Road2Zero

Dans l'ensemble, nous prévoyons un nombre supérieur de VE en 2025 et 2030 que les autres études sur la base des développements du marché jusqu'en décembre 2020 et des engagements de la France liés à la part de marché VEB et aux VEB en circulation. Nous prévoyons aussi une utilisation quotidienne croissante des chargeurs publics, réduisant le parc de chargeurs publics nécessaires et augmentant le rapport de véhicules électriques par chargeur. Nous projetons le rapport VE de tourisme par chargeur le plus élevé des quatre études - 21,2 en 2030 - en partie du fait d'une pénétration du marché VE accrue. En outre, nos taux supérieurs résultent d'une attente : davantage de chargeurs rapides devraient se trouver dans des pôles urbains car le cas d'étude des pôles de recharge devient de plus en plus convaincant. Cela provient d'une recharge énergétique plus prévisible, d'un taux d'utilisation supérieur et de coûts de connexion au réseau inférieurs car répartis entre davantage de chargeurs par site. Enfin, nous partons également du principe que la recharge sur le lieu de travail privé va jouer un rôle important, expliquant dès lors nos taux supérieurs.

Nous relevons d'importants écarts pour les estimations d'infrastructure de recharge entre le rapport du consultant Coda de 2019 et notre étude. Ces différences tiennent principalement aux hypothèses associées aux VHR. L'étude « Coda » modélise d'abord une adoption du VHR supérieure à celle de l'ICCT et, plus important, elle part du principe que chaque VHR sans recharge à domicile bénéficie d'au moins une session de recharge normale publique chaque jour afin de maximiser sa part des kilomètres électriques. Cette hypothèse de Coda augmente le nombre de stations normales publiques pour les conducteurs de VHR. Quant au nombre total de chargeurs, alors que l'étude Coda prévoit un besoin de 6 millions d'unités, notre étude génère un résultat de 5,7 millions de chargeurs privés et publics en 2030. Notre estimation comme celle de Coda sont inférieures à l'objectif français de 7 millions de chargeurs privés et publics en 2030.

En regard de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), nos résultats en termes de VE par chargeur public sont supérieurs du fait de notre projection d'une adoption du VE et d'une disponibilité de la recharge à domicile toutes deux supérieures à la lumière des nouvelles lois accroissant l'accès à la recharge à domicile dans les logements collectifs. Enfin, par comparaison avec l'étude Transport & Environment, nous projetons un chiffre supérieur de VE et un rapport de VE par chargeur plus élevé. Une raison clé est notre prévision d'un usage plus efficient des chargeurs publics jusqu'en 2035, résultant d'une capacité en puissance supérieure des chargeurs et des véhicules et de temps d'inutilisation inférieurs du fait de la pénétration croissante du VE.

BESOINS DE RECHARGE SELON LA SITUATION ÉCONOMIQUE

Les résultats de l'analyse dépeignent des différences d'adoption du VE future et des besoins d'infrastructure de recharge entre les départements, à leur tour fonction d'autres variables comme la richesse. Le produit intérieur brut (PIB) par habitant d'un département offre une indication des investissements ou des soutiens financiers potentiellement disponibles pour combler les lacunes projetées de l'infrastructure de recharge. Afin de mieux comprendre l'impact des disparités départementales, nous utilisons le prisme du PIB par habitant (Eurostat, 2021) pour observer la hausse relative du nombre de VE en circulation entre 2020 et 2030 (Figure 11) et la part de l'infrastructure 2030 déjà en place en 2020 (Figure 12).

La Figure 11 affiche la hausse ciblée des VE en circulation entre la fin 2020 et 2030 par rapport au PIB par habitant. Elle couvre tous les départements métropolitains et met en exergue les 11 plus grandes aires urbaines, accueillant chacune plus de 700 000 habitants selon la définition de l'Insee (Insee, 2020). (Il est à noter que le nombre de VE en circulation—la valeur affichée sur l'axe y—diffère du nombre de VE immatriculés dans chaque département car nombre de VE neufs—41% en 2020—sont immatriculés au nom d'entreprises dans le département de leur siège social mais utilisés dans le département de résidence de leurs employés.) Les moyennes nationales de richesse et de croissance du VE sont indiquées avec la ligne verticale rouge pointillée (moyenne nationale du PIB par habitant) et la ligne horizontale rouge pointillée (moyenne nationale de hausse des VE).

La figure montre que les 11 plus grandes aires urbaines, qui sont aussi les plus riches, présentent typiquement la hausse du VE la plus faible relativement pour 2030 car les niveaux de propriété de VE sont déjà relativement élevés. Par contraste, le département avec le PIB par habitant le plus bas, la Creuse, affiche un nombre relativement bas de VE, impliquant une hausse supérieure pour respecter l'objectif national de 100% de ventes de VEB pour 2040. Il est prévu que son parc VE soit multiplié par 27 en dix ans. Le chiffre suggère qu'un soutien financier national pourrait s'avérer nécessaire dans les zones moins riches au fil des dix prochaines années pour assurer une transition équitable vers le véhicule électrique.

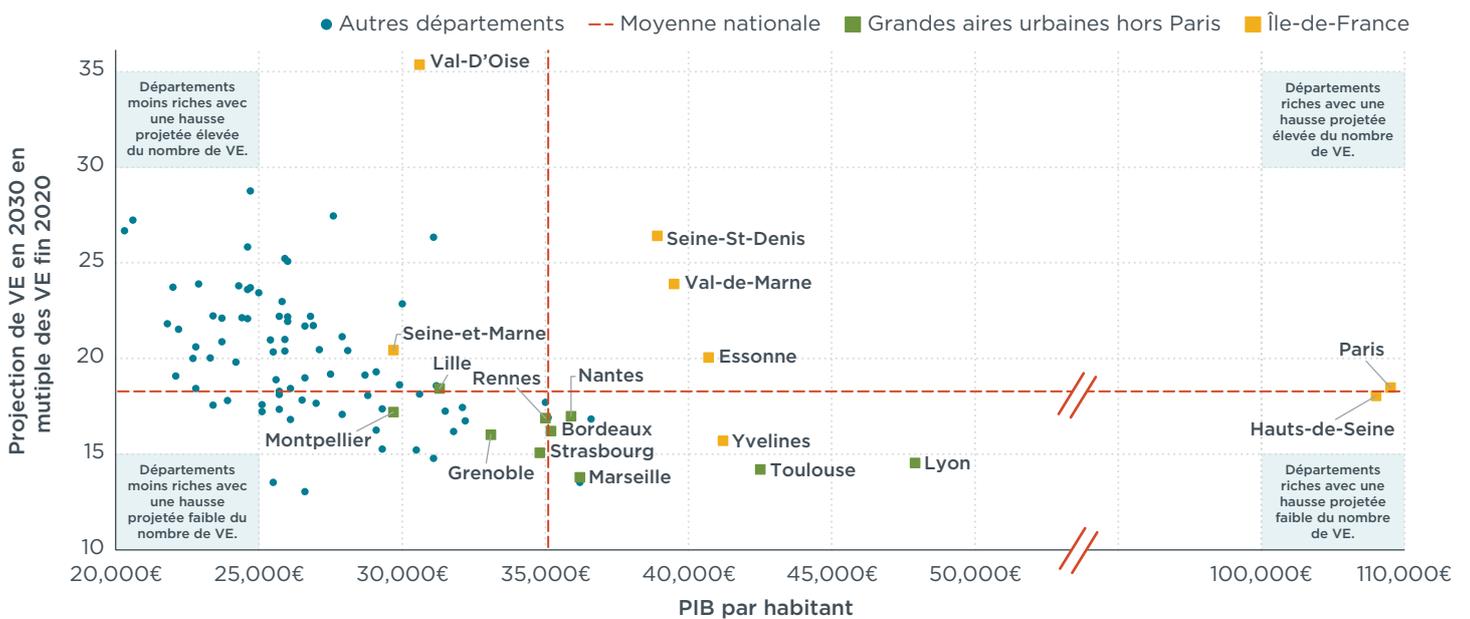


Figure 11. Hausse projetée des VE par département comparée au PIB par habitant. Les carrés verts indiquent les 11 plus grandes aires urbaines hors région parisienne. Les carrés jaunes indiquent la région parisienne, incluant l'ensemble de la région Île-de-France. Les autres départements sont indiqués par des cercles bleus.

La Figure 12 cartographie l'infrastructure de recharge de véhicule électrique déjà en place en 2020 comparée à richesse des départements. L'axe vertical indique la part nécessaire d'infrastructure en 2030 déjà en place à la fin 2020. L'axe horizontal indique le PIB par habitant. Les lignes pointillées en rouge reflètent les moyennes nationales de sorte que chaque quadrant indique le défi de recharge relatif et la richesse relative. Par exemple, dans le quadrant droit inférieur, Lyon se trouve dans un département plus riche mais compte uniquement 3% de ses besoins de recharge 2030 projetés déjà en place en 2020, suggérant un défi important mais aussi la capacité financière pour le relever. Les départements en bas à gauche présentent les ressources financières les plus basses et la hausse projetée la plus élevée en termes de besoins de recharge, indiquant un défi d'infrastructure de recharge plus important.

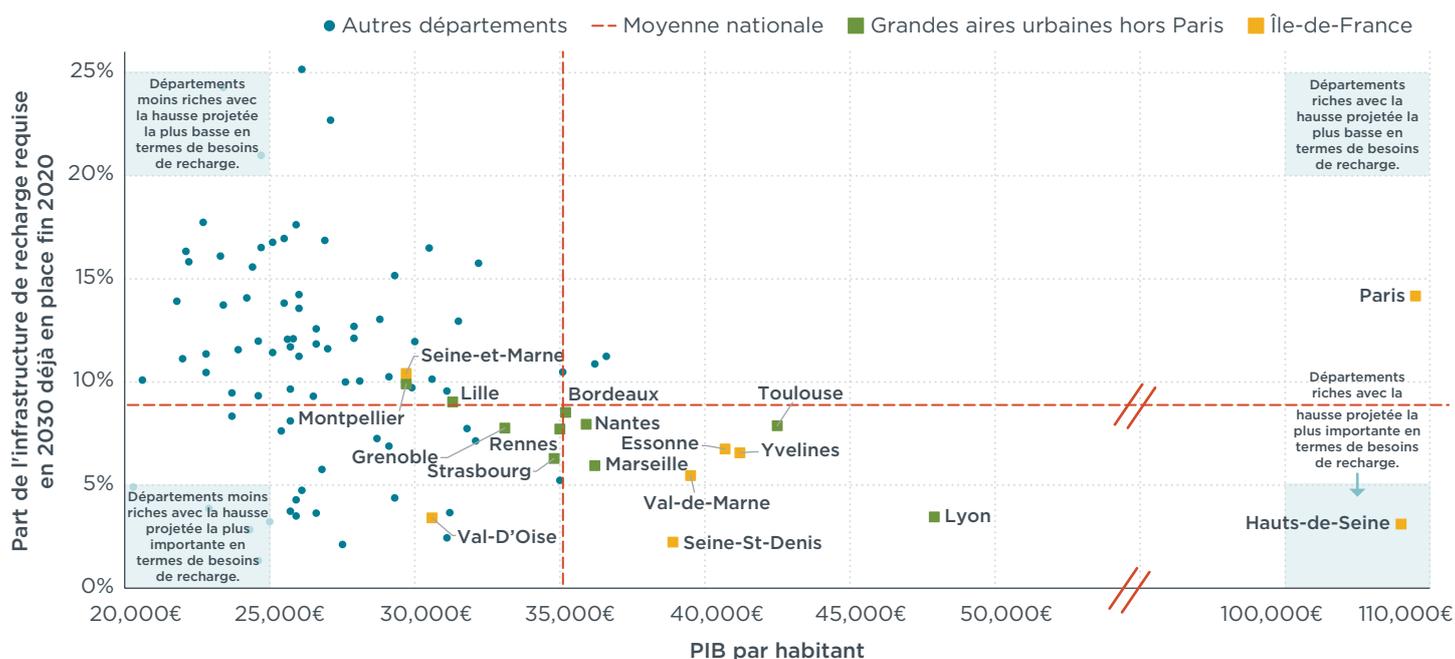


Figure 12. Infrastructure de recharge nécessaire comparée au PIB par habitant.

La quantification de la croissance de la recharge et des VE relative en fonction de la prospérité relative des départements peut aider à identifier les manques d'investissements potentiels pour les besoins futurs d'infrastructure de recharge à l'échelon local. À la lumière de ce rapport, il est clair qu'un niveau élevé de déploiement d'infrastructure de recharge est nécessaire dans chaque département pour atteindre les objectifs de VE nationaux, régionaux et municipaux et il est important de ne pas oublier les départements les moins riches. En effet, pour augmenter significativement l'adoption du VE sur les marchés moins avancés, le développement d'un réseau de recharge publique visible est essentiel pour susciter la confiance. Nous relevons également que les départements d'outre-mer ne sont pas inclus dans cette étude du fait du manque de données. Cependant, il est important selon la perspective de l'équité de ne pas les laisser de côté car ils figurent parmi les départements les moins riches. La continuité de l'affinement et du suivi de ces variables pourrait contribuer à optimiser le déploiement d'une infrastructure de recharge additionnelle avec le temps.

RECOMMANDATIONS DE POLITIQUES PUBLIQUES

Sur la base des estimations précédentes de quantité, de localisation et de type des chargeurs nécessaires, nombre de mesures politiques seront nécessaires pour faire face au besoin croissant d'infrastructure de recharge. Cette section expose plusieurs recommandations politiques pour le développement efficient du réseau de recharge français, priorisant des actions relevant du Gouvernement national. D'autres rapports ont déjà avancé des recommandations et des bonnes pratiques pour les autorités locales dans leur rôle de facilitation du déploiement de l'infrastructure de recharge (Rajon Bernard & Hall, 2021; Hall & Lutsey, 2020). Les politiques relatives à l'importance d'un réseau interopérable et bénéficiant d'une maintenance adéquate avec une structure tarifaire claire ne sont pas discutées en détails ici mais elles ont déjà été émises par Afirev (Afirev, 2018) et pourraient être renforcées par l'Union Européenne lors de la révision de sa directive relative à l'infrastructure des carburants alternatifs (AFID) en juillet 2021.

La Table 6 synthétise nos recommandations politiques pour faciliter un déploiement accru des chargeurs en phase avec un rythme accéléré d'adoption des VE en France. Pour les politiques visant les autorités locales, le Gouvernement national peut leur adresser des orientations similaires à celles diffusées après la publication de la Loi d'orientation des Mobilités en 2019 (Ministère de la Transition écologique, 2019). Le Gouvernement national joue aussi un rôle critique en matière d'assistance fiscale pour combler les lacunes de l'infrastructure de recharge. En outre, une orientation nationale peut soutenir des activités destinées à améliorer l'expérience de recharge des propriétaires de véhicules électriques.

Table 6. Synthèse des recommandations de politiques publiques

Catégorie	Politique publique / Type de mesure	Parties prenantes (en plus du Gouvernement)	Description
Orientation et soutien des autorités locales	Adoption d'objectifs de déploiement d'infrastructure de recharge	Départements et régions	Adoption d'objectifs à l'échelon départemental ou régional en termes de nombre de chargeurs publics pour différents horizons temporels.
	Création de processus rationalisés de délivrance de permis et de déploiement des chargeurs	Municipalités, propriétaires de VE, opérateurs de réseau de distribution d'électricité, exploitants de points de recharge	Déverrouillage de l'adoption du VE en masse et encouragement du secteur privé à assumer le déploiement des chargeurs grâce à la mise en œuvre d'un processus d'installation de chargeur rationalisé et coordonné reposant sur la demande des conducteurs avec une orientation additionnelle pour assurer un accès équitable à la recharge.
	Développement d'une plateforme de connaissances sur l'infrastructure de recharge des véhicules électriques	Décisionnaires politiques locaux et nationaux, associations en faveur du développement de la mobilité électrique, opérateurs de réseau électrique et de points de recharge	Développement d'une plateforme destinée à l'information et à la connexion des parties prenantes de l'infrastructure de recharge. L'objectif est d'aider les parties prenantes à apprendre mutuellement et à développer des partenariats innovants intersectoriels.
	Développement de stations de recharge dans les parcs de stationnement public	Propriétaires et gestionnaires de parc de stationnement et experts en sécurité	Mise à jour des directives de sécurité relatives aux stations de recharge dans les parcs de stationnement ou régulation et subvention destinées aux améliorations de la sécurité des parcs de stationnement.
Soutien fiscal	Financement direct, partage des coûts, crédits d'impôts pour le déploiement d'infrastructure de recharge	Municipalités, prestataires de recharge, propriétaires de site	Sur la base du déficit de recharge identifié au niveau local, un soutien national ciblé peut aider à partager les coûts d'infrastructure de recharge et d'améliorations des installations. Des crédits d'impôts peuvent partiellement défrayer les coûts initiaux et promouvoir un accès équitable aux véhicules électrique.
Amélioration de l'expérience de recharge du propriétaire de VE	Adoption d'étiquettes normalisées relatives aux véhicules et chargeurs	Vendeurs de véhicules électriques (constructeurs et revendeurs)	Pour la plupart, les propriétaires de VE ignorent la vitesse de recharge de leur voiture et des chargeurs qu'ils emploient. Un autocollant sur la voiture indiquant les chargeurs compatibles et offrant des conseils de recharge lors de l'achat d'un VE pourrait résoudre de nombreux problèmes.
	Développement d'un label national « Accueil VE »	Entreprises privées	Comme pour le label national « Accueil Vélo », un label national « Accueil VE » permettrait aux conducteurs de VE de trouver un lieu de recharge en toute sécurité lorsqu'ils partent en vacances.

ORIENTATION ET SOUTIEN DES AUTORITÉS LOCALES

Depuis le 1er janvier 2021, chaque groupement d'autorités locales compte une équipe chargée de la mobilité locale. Bien que les autorités locales soient bien positionnées pour adapter les stratégies afin de s'ajuster au contexte local, des orientations nationales détaillées peuvent aider à partager les bonnes pratiques, à éviter les efforts en doublon et à encourager la normalisation et la compatibilité des programmes dans tous les pays. Un dialogue direct entre le Gouvernement national et les autorités locales—sans passer par des parties intermédiaires comme l'Avere—a aussi été cité par les décideurs politiques locaux comme essentiel pour une coordination efficiente.

Définition d'objectifs d'adoption des chargeurs. Le Gouvernement national pourrait amplifier son objectif de 100 000 chargeurs publics pour la fin 2021 en définissant un objectif par département ou région, selon différents horizons de temps. Cette mesure pourrait inclure des objectifs distincts pour les chargeurs normaux et rapides mais aussi un taux de substitution approximatif entre les chargeurs rapides et normaux (ex. en 2025, un chargeur urbain rapide peut substituer 8 chargeurs normaux, un taux porté à 10 pour 2030). La Figure A3 en Annexe indique l'estimation du nombre de chargeurs rapides et normaux publics par département qui placerait la France en bonne voie pour son objectif de 100% de ventes de VEB en 2040. La Figure A4 offre une ventilation par région des mêmes résultats. La définition d'objectifs départementaux et régionaux pourrait contribuer à une planification efficiente des autorités locales.

À l'échelon supérieur, la France pourrait soutenir la mise en œuvre d'objectifs nationaux contraignants pour les chargeurs sur autoroute et urbains de la part de l'Union Européenne. Comme mentionné auparavant, l'Union Européenne va réviser sa directive relative à l'infrastructure des carburants alternatifs en juillet 2021. La définition d'objectifs nationaux contraignants pour les chargeurs va aider le Gouvernement et le secteur à planifier efficacement le déploiement de la recharge de sorte que les chargeurs ne constituent pas un frein à l'adoption du véhicule électrique.

Création de processus rationalisés de délivrance de permis et de mise en œuvre des chargeurs. Bien que une couverture uniforme de la recharge sur l'ensemble du territoire soit importante pour susciter la confiance lors des étapes initiales du développement du marché du VE, cela ne suffit pas pour combler les attentes des conducteurs, ni pour débloquer les investissements des prestataires de chargeurs, à mesure de la croissance du marché. Des mesures de soutien additionnelles pourraient inclure la mise en œuvre d'un processus rationalisé et coordonné d'installation de chargeurs dans les régions où la demande des conducteurs est élevée tout en assurant un accès équitable à la recharge (Rajon Bernard & Hall, 2021). Pour équilibrer une demande élevée, ce qui est l'intérêt des opérateurs de recharge privés, et un accès équitable, les autorités peuvent proposer une approche qui équilibre les risques. Il s'agit ici d'associer, dans les processus d'appel d'offres, les engagements du prestataire de couverture des localisations à utilisation faible et forte avec des subventions gouvernementales pour les chargeurs installés dans des zones de faible demande afin de compenser leur rentabilité basse et d'assurer l'intégrité du réseau, l'accessibilité aux chargeurs et la rentabilité pour les résidents. Pour cette approche, les villes pourraient aussi aider à identifier des sites encourageant une diversité d'usages de différentes flottes pour augmenter l'utilisation.

Une combinaison de ces deux approches a été couronnée de succès à Saint-Étienne pour des chargeurs de 22 kW et 50 kW (Métropole de Saint-Étienne, 2020). Ce programme pourrait être amplifié en autorisant les seuls conducteurs de VE dépourvus d'accès à la recharge sur le lieu de travail ou au domicile à demander un chargeur de 7,4 kW près de chez eux. Cela est essentiel pour stimuler une adoption équitable du VE pour le marché conventionnel étant donné que quelque 35% des propriétaires de VE n'auront probablement pas accès à la recharge à domicile en 2030. Bien qu'il

revienne in fine aux autorités locales de développer les stratégies de recharge locales, le Gouvernement national pourrait offrir des orientations, des recommandations et un modèle à suivre.

Développement d'une plateforme de connaissances au sujet de l'infrastructure de recharge des véhicules électriques. La France pourrait prendre la suite des Pays-Bas en développant une « Plateforme de connaissances pour l'infrastructure de recharge » (NKL, 2014). Cette plateforme est destinée à l'information et à la mise en relation des parties prenantes du déploiement des infrastructures de recharge pour l'expansion rapide d'un réseau de recharge rentable et évolutif pour les véhicules électriques. Chaque partie prenante—décisionnaires politiques locaux et nationaux, associations en faveur du développement de la mobilité électrique et opérateurs de réseau électrique et de point de recharge—pourrait partager ses projets au sujet du déploiement d'infrastructure de recharge et les leçons apprises. L'intérêt envers les VE serait ainsi accéléré en permettant aux utilisateurs d'apprendre mutuellement et en connectant les parties prenantes afin de développer des partenariats innovants intersectoriels. Sur cette plateforme, le Gouvernement et les autorités locales pourraient aussi établir une liste de tous les appels d'offres et des programmes d'incitation concernant l'infrastructure de recharge et proposer une méthode rationalisée pour leur application. Comme ce domaine présente une évolution rapide en termes de législation, exigences, directives et décrets nouveaux publiés régulièrement, le fait de disposer d'un site Web formant un guichet unique pour que toutes les parties prenantes restent informées serait particulièrement utile.

La plateforme pourrait aussi inclure une liste consultable et régulièrement mise à jour de toutes les subventions disponibles et un calculateur de délais et de coûts. Un tel outil pourrait minorer les incertitudes ou les confusions des conducteurs de VE et des responsables de site sur les coûts auxquels ils seraient confrontés (après déduction des subventions), les délais inhérents aux permis et à l'installation des chargeurs, la réglementation pertinente et les processus de rationalisation déjà en place.

Développement de stations de recharge dans les parcs de stationnement public. Les parcs de stationnement public offrent un lieu potentiel important pour les chargeurs, susceptibles de combler les besoins de recharge de nuit pour les résidents et de recharge de jour pour les recharges à destination et lieux de travail proches, particulièrement dans les zones métropolitaines denses. La priorisation des parcs de stationnement pourrait aussi réduire la concurrence avec d'autres infrastructures de trottoir et promouvoir les objectifs citadins de centre-ville sans voiture. Cependant, les coûts élevés et les difficultés relatives aux permis et aux normes ont eu un effet dissuasif sur les déploiements de la recharge dans les parcs de stationnement en France dû aux normes de sécurité incendie qui présentent un défi important.

Avere-France a déterminé qu'un « véhicule électrique en phase de recharge ne présente aucun risque de sécurité incendie particulier » (Avere France, 2017), une conclusion validée par d'autres études (Brandt & Glansberg, 2020). Cependant, un guide de 2018 de la Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (2018) a publié des consignes non contraignantes indiquant que les chargeurs devaient être installés uniquement au rez-de-chaussée ou sur les niveaux immédiatement supérieur et inférieur, que la puissance devrait être limitée à 150 kVA (kW) par emplacement et que chaque emplacement devait compter un maximum de 20 chargeurs. Ces recommandations ne s'appliquent pas si le garage est équipé de sprinklers (ou autre installation d'extinction automatique à eau) et des exceptions sont prévues en cas de ventilation élevée des lieux. Les compagnies d'assurance sont hésitantes à assurer des installations qui ne respectent pas ces recommandations et l'installation de sprinklers est un processus long et coûteux. Dès lors, les sociétés de

stationnement ont pour la plupart installé des chargeurs uniquement sur les niveaux proches du rez-de-chaussée et limité la puissance totale de recharge disponible.

En tenant compte des conclusions de cette étude que l'accès à la recharge de nuit est crucial pour la transition vers la mobilité électrique de la France, le Gouvernement national a un rôle à jouer pour le soutien de l'infrastructure de recharge dans les parcs de stationnement. Le Gouvernement national pourrait à nouveau évaluer la sécurité de la recharge dans ces endroits en employant les données les plus récentes et publier des orientations claires en conséquence pour les autorités locales, les groupes sectoriels et les assureurs, notamment des dispositions pour les chargeurs rapides CC et normaux et les parkings de surface et en sous-sol. Selon les conclusions et les recommandations de sécurité en résultant, il peut être approprié de soutenir financièrement les modifications nécessaires, ex. l'installation de sprinklers.

SOUTIEN FISCAL

Le soutien fiscal peut revêtir maintes formes afin de couvrir les besoins d'infrastructure de recharge pour véhicule électrique les plus pressants. Un financement national pourrait cibler des zones présentant des besoins élevés sur la base d'appréciations régulières, ventilées par région et par application (ex. chargeurs rapides sur autoroute, logements collectifs privés, lieu de travail, etc.). Il pourrait s'agir de s'appuyer sur l'approche du Plan France Relance qui, par exemple, offrait 100 millions € pour la recharge rapide sur autoroute. Les estimations des besoins de recharge de ce rapport offrent des valeurs initiales qui peuvent être mises à jour et affinées à intervalles réguliers. L'analyse d'équité, en particulier, pourrait aider à diriger et à préciser le financement par le Gouvernement. Le Gouvernement national peut aussi proposer un financement ciblé pour les localités afin de les aider à développer des objectifs et des stratégies en termes de nombre et de types de recharge nécessaire pour respecter les objectifs de véhicule électrique à très court et long terme. En relation avec la sous-section précédente, un financement spécifique pourrait être offert pour les améliorations des bâtiments, notamment les parcs de stationnement et les immeubles d'appartements.

Sur la base des données des besoins de recharge, un financement national peut être prévu avec des contingences renforçant les recommandations d'orientation précédentes. Par exemple, un financement public peut être proposé avec un partage des coûts du secteur privé uniquement dans les départements où les autorités locales ont des objectifs et des politiques clairs de rationalisation du déploiement de la recharge. Le financement peut être doté de dispositions imposant aux bénéficiaires de partager les données prévisionnelles et réelles d'usage des chargeurs et de respect par ces chargeurs d'exigences d'interopérabilité et d'accès au public. Le soutien fiscal des entreprises, des lieux de travail et des responsables immobiliers peut aussi inclure des crédits d'impôts—comme c'est déjà le cas pour les chargeurs à domicile et en logement collectif—à déduire des impôts des sociétés et à défrayer partiellement des coûts en capital initiaux de déploiement de l'infrastructure de recharge. Ces crédits d'impôts sont attrayants car ils reposent sur des abandons de fiscalité plutôt que de nouvelles dépenses publiques et ils incitent les investissements tout en assurant que la société de recharge et les propriétaires immobiliers demeurent impliqués dans le succès et l'usage élevé des stations.

AMÉLIORATION DE L'EXPÉRIENCE DE RECHARGE DU PROPRIÉTAIRE DE VE

Adoption d'étiquettes normalisées relatives aux véhicules et chargeurs. Selon l'étude Enedis déjà évoquée, 26% des propriétaires de VE disposant de la recharge à domicile ignorent la puissance de leur chargeur et 60% ne connaissent pas la vitesse de recharge de leur voiture. Cet aspect risque non seulement d'entraîner une sous-utilisation des chargeurs publics si, par exemple, un conducteur de VE

avec une voiture se chargeant à 11kW occupe un chargeur pouvant délivrer 22kW, mais aussi de provoquer une insatisfaction des clients et leur incompréhension des délais et tarifs de recharge. Afin de faire face à cela, le Gouvernement pourrait créer une étiquette normalisée pour chaque véhicule indiquant la puissance de recharge CA et CC acceptable maximum ainsi que la taille de la batterie (en kWh) et soutenir la normalisation de cette pratique à l'échelle de l'Europe. Le système pourrait être similaire à celui de l'autocollant « Crit'Air » d'usage commun en France (Ministère de la Transition écologique, n.d.). Un autocollant normalisé semblable indiquant la puissance maximum délivrée pourrait être apposé sur chaque chargeur. Afin de compléter la résolution de cette question, un programme de certification pourrait être créé afin de former les revendeurs sur les bonnes pratiques à adopter et les outils d'information disponibles pour les acheteurs de VE.

Développement d'un label national « Accueil VE ». Certains conducteurs sont réticents à l'idée d'utiliser un véhicule électrique pour les longs trajets car ils craignent de ne pas avoir accès à la recharge durant leur trajet ou une fois à destination. Nous suggérons un label national et site web « Accueil VE », similaire au label national « Accueil Vélo » (France vélo tourisme, n.d.) accordé à des logements, restaurants, offices de tourisme, destinations touristiques et autres établissements proches des routes de cyclisme et garant de services de qualité. Le label national « Accueil VE » pourrait proposer une carte et une liste d'emplacements précédemment mentionnés offrant des chargeurs de VE en des lieux sécurisés. Des informations comme la puissance du chargeur, les moyens de paiement et les tarifs devraient être incluses.

CONCLUSIONS

Le Gouvernement français a mis en œuvre une diversité de politiques de croissance du marché du véhicule électrique, notamment un programme de 8 milliards d'euros afin de financer la transition vers la mobilité électrique. Des politiques locales en faveur des véhicules électriques ont aussi été instaurées, notamment des avantages d'accessibilité dans nombre de villes dans des zones d'émissions faibles, un stationnement gratuit ou à moindre coût dans plusieurs zones urbaines denses et un accès prioritaire à des voies spécifiques pour éviter les embouteillages.

Cette analyse montre que la France a besoin d'une expansion significative de son réseau d'infrastructure de recharge pour assurer la croissance du marché du véhicule électrique jusqu'en 2035. À l'aide d'une évaluation détaillée, nous avons quantifié l'infrastructure de recharge nécessaire pour assurer les objectifs de la France en terme d'adoption des véhicules électriques jusqu'en 2035. Par contraste avec d'autres études, cette analyse détaille les besoins en recharge et en énergie pour les chargeurs au domicile privé, au dépôt et sur le lieu de travail et les chargeurs publics normaux CA, urbains rapides et rapides sur autoroute de même que pour les voitures de tourisme, les véhicules utilitaires légers, les taxis et les VTC au niveau départemental, autorisant des politiques davantage ciblées pour assurer le respect des besoins de recharge publique. Sur la base de l'analyse, nous tirons les conclusions suivantes :

La croissance du marché français du véhicule électrique exige une expansion conséquente du réseau d'infrastructure de recharge. À mesure de la croissance de 470 000 véhicules électriques en 2020 à quelque 8,5 millions sur les routes de France en 2030 (incluant 1,1 million de véhicules utilitaires légers électriques), les chargeurs publics vont devoir porter leurs effectifs de 31 000 à près de 350 000 unités. Cela représente un taux de croissance annuelle de 28%. En incluant les infrastructures publique et privée, 5,7 millions de chargeurs sont nécessaires pour 2030, pointant un besoin de chargeurs inférieur de 19% à l'objectif initial de la France de 2015, soit 7 millions de chargeurs pour 2030. Néanmoins, dans un scénario alternatif où l'ensemble des ventes de véhicules neufs serait électrique dès 2035, 7,3 millions de chargeurs seraient nécessaires en 2030, incluant 430,000 chargeurs publics. L'accomplissement de l'objectif de 7 millions de chargeurs en 2030 pourrait donc mettre la France sur le chemin de l'électrification totale des ventes neuves dès 2035, cinq ans avant l'échéance actuelle. L'amélioration de l'accès à la recharge à domicile sera essentielle pour la gestion des besoins de recharge publique et une utilisation accrue des chargeurs publics ainsi qu'une meilleure rentabilité pour la recharge rapide sont attendues à l'avenir. Nous estimons que le nombre de VE par chargeur public augmente d'un objectif de 10 unités en 2020 à 24 en 2030 au niveau national.

Les aires urbaines, ayant tendance à mener le bal de l'essor du véhicule électrique, affichent la hausse la plus élevée des besoins de recharge mais un soutien de l'infrastructure de recharge majeur est aussi nécessaire dans les zones rurales françaises. Les zones urbaines plus denses et riches, comme Paris et Marseille, affichent le niveau d'adoption le plus élevé des véhicules électriques en 2020. Ces espaces urbains manifestent le besoin le plus important en terme d'expansion de l'infrastructure de recharge publique d'ici 2030, partiellement en raison de la disponibilité inférieure de la recharge à domicile dans ces centres urbains densifiés. Afin que la France décarbone son secteur des transports et répartisse équitablement les avantages des véhicules électriques, l'adoption du véhicule électrique et l'infrastructure de recharge dans son ensemble (publique et privée) vont devoir augmenter plus rapidement dans les zones plus rurales et moins prospères.

La croissance projetée de la demande énergétique pour les véhicules électriques est gérable. Pour soutenir la croissance du véhicule électrique (VE), la demande annuelle d'énergie de recharge va croître de 1,0 terawatt-heure (TWh) en 2020 à 16 TWh en

2030, soit une hausse annuelle moyenne de 32%. La demande d'électricité des VE projetée pour 2035 s'élève à seulement 7% des 439 TWh de demande d'électricité de la France en 2020 tous secteurs confondus. La demande énergétique pour les véhicules électriques serait compensée, jusqu'en 2026, par les économies d'électricité annuelles de 7 TWh mobilisées par la Loi Énergie-Climat. Tous les impacts réseau de la demande énergétique des véhicules électriques sont estimés gérables lors des mises à niveau générales du réseau.

Différents résultats d'infrastructure de recharge sont possibles pour 2035, selon les priorités nationales et l'accès à la recharge à domicile. Selon notre analyse de sensibilité, le nombre total de chargeurs publics nécessaires pourrait augmenter de 23% en 2030 comparé à notre scénario de base si l'objectif national de disparition des moteurs thermiques était avancé à 2035 et pourrait baisser de 14% si les politiques nationales et locales encourageaient une baisse de la dépendance envers la voiture. En outre, les scénarios sont sensibles aux politiques d'encouragement d'un type de recharge par rapport à un autre et une hausse d'un type de recharge entraîne une baisse du besoin d'un autre type. Nous estimons que la hausse de l'accès à la recharge à domicile a un effet proportionnel sur la baisse du besoin de chargeurs publics. La hausse de 4,5 points (de 64,5% à 69%) de l'accès à la recharge à domicile diminue le besoin de chargeurs publics (uniquement urbains rapides et CA normaux) d'environ 5%. Cela démontre l'importance d'un accès accru à la recharge de nuit, par exemple pour les résidents en appartement.

Une nouvelle stratégie de déploiement d'infrastructure de recharge coordonnée pourrait galvaniser les investissements. Bien qu'une couverture d'infrastructure de recharge de base soit importante pour susciter la confiance du marché à ses débuts, un déploiement ciblé des chargeurs est désormais nécessaire pour stimuler les investissements et assurer les besoins des conducteurs. Sur la base des développements en France et ailleurs, une approche prometteuse passerait par la mise en œuvre d'un processus d'installation de bornes de recharge coordonné sur la base de la demande de recharge identifiée auprès des conducteurs, des orientations claires pour assurer un accès équitable et des attributions de permis rationalisées. Ce faisant, les investissements pourraient être guidés, coordonnés et catalysés entre les différentes parties prenantes pour assurer la transition vers la mobilité électrique en France.

RÉFÉRENCES

- Afirev. (2018, Mai). *Quality of Service*. <https://www.afirev.fr/en/quality-of-services/>
- Apur. (2019, 28 mai). *Évolution du taux de motorisation entre 1999 et 2015*. Apur. <https://www.apur.org/fr/geo-data/evolution-taux-motorisation-entre-1999-2015>
- Avere France. (2017, 13 février). *Installation de bornes de recharge en parking ouvert au public: Les règles à connaître*. Avere-France. http://www.aver-france.org/Site/Article/?article_id=6865
- Avere France. (2017, 3 octobre). *Sortir les voitures essence de Paris dès 2030. Oui mais....* Avere-France. http://www.aver-france.org/Site/Article/?article_id=7094
- Avere-France. (2021, 8 janvier). *Baromètre des immatriculations - En décembre 2020, les véhicules électriques et hybrides rechargeables ont représenté plus de 16 % du marché français: Du jamais vu !* Avere-France. http://www.aver-france.org/Site/Article/?article_id=7950
- Avere/Ipsos (2020, septembre). *Consultation auprès des conducteurs de véhicules électriques et hybrides rechargeables*. https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/news/documents/2020-12/enquete_ipsos-aver_utilisateurs_ve.pdf
- Brandt, W., & Glansberg. (2020). *Charging of electric cars in parking garages*. RISE, Safety & Transport RISE Fire research. <https://risefr.com/media/publikasjon/upload/2020/report-2020-30-charging-of-electric-cars-in-parking-garages.pdf>
- Data.gouv.fr (2018). *Trafic moyen journalier annuel sur le réseau routier national*. <https://www.data.gouv.fr/en/datasets/trafic-moyen-journalier-annuel-sur-le-reseau-routier-national/>
- Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises. (2018). *Guide pratique relatif à la sécurité incendie dans les parcs de stationnement couverts ouverts au public*. https://www.sitesecurite.com/contenu/erpps/guide_2018_01_30_de_preconisations_ps.pdf
- Eco-movement. (2021). *Purchased dataset on charger locations. Data through December 31, 2020*.
- El Fadili S., Huitric C., & Moitry J., (2018, April). *À quoi les véhicules utilitaires légers rouleront-ils demain?* Enea. https://www.enea-consulting.com/static/21026031aff2bc305b214d71e4a7448/enea-a-quoi-les-vehicules-utilitaires-legers-rouleront-ils-demain.pdf?smd_process_download=1&download_id=8375
- Enedis (2021, février). *Utilisation et recharge: Enquête comportementale auprès des possesseurs de véhicules électriques*. <https://www.enedis.fr/sites/default/files/field/documents/enquete-comportementale-possesseurs-de-vehicules-electriques.pdf>
- Eurostat. (2021, 19 mai). *Gross domestic product (GDP) at current market prices by NUTS 3 regions*. https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nama_10r_3gdp&lang=en
- Forum vies mobiles. (2020, 3 mars). *Enquête nationale mobilité et modes de vie 2020: Un nouveau regard sur les modes de vie des Français et les vrais leviers pour la transition*. Forum Vies Mobiles. <https://fr.forumviesmobiles.org/meeting/2020/01/27/enquete-nationale-mobilite-et-modes-vie-2020-nouveau-regard-sur-modes-vie-des-francais-et-vrais-13185>
- France vélo tourisme. (n.d.). *Accueil Vélo*. Extraction du 11 mai 2021 depuis <https://en.francevelotourisme.com/tips-and-advice/services-for-cyclists/accueil-velo-cyclists-welcome>
- Hall, D., & Lutsey, N. (2020). *Electric vehicle charging guide for cities*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/city-EV-charging-guide>
- Hubert J.P., Pistre P., & Madre J.L., (2016). *L'utilisation de l'automobile par les ménages dans les territoires peu denses: analyse croisée par les enquêtes sur la mobilité et le recensement de la population*. Économie et statistiques n° 483-484-485
- Insee. (2017). *Recensement 2017: Résultats sur un territoire, bases de données et fichiers détail*. <https://www.insee.fr/fr/information/4467366>
- Insee. (2020, 21 octobre). *En France, neuf personnes sur dix vivent dans l'aire d'attraction d'une ville—Insee Focus—211*. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4806694>
- LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, 2015-992 (2015).
- LOI n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat (1), 2019-1147 (2019).
- Migette J.C., Petcu M., Delahaie H., & Debbah F. (2019, July) *Analyses Infrastructures de recharge pour véhicules électriques*. Étude économique, Coda Strategie, 2019, Ministère de la transition écologique et solidaire, DGE, ADEME. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2019-07-Rapport-IRVE.pdf>
- Ministère de l'Économie et des Finances. (2020, 15 décembre). *La transition écologique au cœur du plan de soutien à l'automobile*. <https://www.economie.gouv.fr/covid19-soutien-entreprises/mesures-plan-soutien-automobile>
- Ministère de l'Économie et des Finances. (2020, 13 février). *Infrastructures de recharge pour véhicule électrique*. <https://www.entreprises.gouv.fr/fr/infrastructures-de-recharge-pour-vehicule-electrique>

- Ministère de la Transition écologique. (n.d.). *Service de délivrance des certificats qualité de l'air*. <https://www.certificat-air.gouv.fr/>
- Ministère de la Transition écologique (2019, novembre). *Loi Mobilité, le Mémo collectivités*. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Mémo%20LOM.pdf>
- Ministère de la Transition écologique (2020, 23 avril). *Programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE)*. <https://www.ecologie.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>.
- Nicholas, M., & Wappelhorst, S. (2021). *Spain's electric vehicle infrastructure challenge: How many chargers will be required in 2030?* International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/spain-charging-infra-jan2021>
- NKL. (2014). *The Netherlands Knowledge Platform for Charging Infrastructure*. <https://www.nklnederland.com/about-us/>
- Rajon Bernard, M., & Hall, D. (2021). *Efficient planning and implementation of public chargers: Lessons learned from European cities*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/European-cities-charging-infra-feb2021>
- Rajon Bernard, M., & Hall, D. (2021). *Update on electric vehicle uptake in European cities*. International Council on Clean Transportation, prochainement.
- Métropole de Saint-Étienne. (2020, 18 novembre). *Voiture électrique: Demandez votre borne de recharge !* <https://www.saint-etienne-metropole.fr/actualites/developpement-durable/transport/developpement-durable/transport/voiture-electrique-demandez-votre-borne-de>
- SDES (2020, Septembre), *Chiffres clés de l'énergie - Édition 2020*. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-de-lenergie-edition-2020-0>.
- SDES. (2019, 30 avril). *Données sur le parc des véhicules au 1er janvier 2019. Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement et les transports*. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-sur-le-parc-des-vehicules-au-1er-janvier-2019>
- SDES. (2020, 30 janvier). *Les taxis et VTC en 2017-2018. Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement et les transports*. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-taxis-et-vtc-en-2017-2018-rapport-de-lobservatoire-national-des-transports-publics-particuliers>
- SDES. (2020, 12 octobre). *6 millions de véhicules utilitaires légers en circulation au 1er janvier 2020. Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports*. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/6-millions-de-vehicules-utilitaires-legers-en-circulation-au-1er-janvier-2020>
- Sia Partners (2017, février). *Coûts et bénéfices d'un plan de rénovation des passoires énergétiques à l'horizon 2025*. <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-28489-scenario-renovons-2017.pdf>
- Transport & Environment (janvier 2020). *Recharge EU: how many recharge points will Europe and its Member States need in the 2020s*. Transport & Environment. <https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/01%202020%20Draft%20TE%20Infrastructure%20Report%20Final.pdf>

ANNEXE

Cette Annexe offre des détails additionnels relatifs aux hypothèses et entrées de données pour le modèle intégral (Table A1), pour les véhicules utilitaires légers (Table A2) et pour les taxis et VTC (Table A3). De plus :

- » La Figure A1 est une carte de la France métropolitaine avec les numéros de département superposés.
- » La Figure A2 présente la demande énergétique totale des régions de France métropolitaine en 2025, 2030 et 2035. Le reste des figures présentent les données de recharge publique de différentes manières.
- » La Figure A3 présente le nombre de chargeurs rapides et normaux publics par département nécessaires en 2030.
- » La Figure A4 présente le nombre de chargeurs publics nécessaires par contexte (CA normal, urbain rapide, rapide sur autoroute) pour chaque région de France métropolitaine en 2025, 2030 et 2035.
- » La Figure A5 présente le nombre de chargeurs rapides et normaux pour les conducteurs de taxis et VTC dans les plus grandes zones urbaines en 2025 et 2030.
- » La Table A4 présente le nombre total de chargeurs par région et par catégorie pour 2025, 2030 et 2035.
- » La Table A5 présente la ventilation des chargeurs autoroutiers rapides par autoroute en 2025, 2030 et 2035.

Table A1. Résumé des hypothèses et entrées de données pour le modèle d'infrastructure de recharge (certaines entrées évoluent avec le temps entre la fin 2020 et 2035 alors que d'autres restent constantes).

		2020	2025	2030	2035
Véhicules électriques en circulation*	Voitures de tourisme	388 851	2 663 486	7 273 739	13 315 542
	Véhicules utilitaires légers	50 922	298 599	1 053 703	2 452 193
	Taxis et VTC	22 632	60 560	127 147	127 147
Part de marché des nouvelles immatriculations de véhicule électrique (moyenne nationale)		10%	28%	55%	79%
Rapport de VEB et VHR parmi les VE pour les nouvelles immatriculations de voiture (moyenne nationale)	VEB	60%	75%	86%	92%
	VHR	40%	25%	14%	8%
Part des propriétaires de véhicules électriques de tourisme avec recharge à domicile (moyenne nationale)		76%	69%	65%	60%
Part des VE utilisés pour aller au travail (moyenne nationale)		57%	54%	54%	56%**
Taux d'acceptation de recharge moyen des VEB et VHR (kW)	VEB	8,1	8,6	9	9,5
	VHR	3,4	4,0	4,6	5,3
	Taux d'acceptation de recharge rapide (kW)	40	60	80	90
Effizienz moyenne des véhicules de tourisme neufs (kWh par km)	VEB	0,160	0,156	0,152	0,149
	VHR	0,229	0,223	0,218	0,213
Moyenne de kilomètres annuels par véhicule de tourisme (moyenne nationale)	VE utilisés pour aller au travail	13 691	13 019	12 773	12 569
	VE non utilisés pour aller au travail	7 829	7 346	7 274	7 282
Utilisation quotidienne de recharge en heures (moyenne nationale)	Lieu de travail	5 heures par jour ouvrable			
	CA publique	1,6	2,9	3,6	4,0
	Rapide publique	1,6	2,8	3,6	4,0

* Le total 2020 n'aboutit pas à 470 295 car ce chiffre représente le cumul des immatriculations de VE depuis 2010 alors que les valeurs de cette rangée concernent le nombre de VE en circulation en France selon le modèle de rotation du parc.

** La part des VE utilisés par aller au travail augmente à nouveau après 2030 du fait de l'adoption en masse du véhicule électrique dans les zones rurales où les foyers ont moins tendance à télétravailler et dépendent davantage de leur véhicule pour se rendre au travail.

Table A2. Allocation des besoins énergétiques par catégorie de conducteur pour les véhicules utilitaires légers.

Type de véhicule	Type d'usage	Emplacement de stationnement	Recharge à domicile	% kilomètres électriques	% domicile privé	% dépôt privé	% normale publique	% urbaine rapide	% rapide sur autoroute	Part de catégorie VEB et VHR	Kilomètres journaliers (par jour ouvrable pour les voitures de société)	
VEB	Services	Domicile	Oui	100%	75%	0%	10%	10%	5%	8%	123,0	
			Non		0%	0%	60%	30%	10%	1%		
		Dépôt	S/O		0%	75%	10%	10%	5%	10%		
	Transport de marchandises	Domicile	Oui		85%	0%	5%	5%	5%	5%	13%	80,0
			Non		0%	0%	65%	30%	5%	2%		
		Dépôt	S/O		0%	85%	5%	5%	5%	18%		
	Autres camions légers de société	Domicile	Oui		85%	0%	5%	5%	5%	5%	3%	72,9
			Non		0%	0%	65%	30%	5%	0%		
		Dépôt	S/O		0%	80%	5%	10%	5%	5%		
	VUL privé	Domicile	Oui		85%	0%	5%	5%	5%	5%	33%	27,4
Non			0%	0%	55%	40%	5%	8%				
VHR	Services	Domicile	Oui	50%	85%	0%	15%	0%	0%	8%	123,0	
			Non		0%	0%	100%	0%	0%	1%		
		Dépôt	S/O		0%	85%	15%	0%	0%	10%		
	Transport de marchandises	Domicile	Oui		90%	0%	10%	0%	0%	0%	13%	80,0
			Non		0%	0%	100%	0%	0%	2%		
		Dépôt	S/O		0%	90%	10%	0%	0%	18%		
	Autres camions légers de société	Domicile	Oui		90%	0%	10%	0%	0%	0%	3%	72,9
			Non		0%	0%	100%	0%	0%	0%		
		Dépôt	S/O		0%	90%	10%	0%	0%	5%		
	VUL privé	Domicile	Oui		90%	0%	10%	0%	0%	0%	33%	27,4
			Non		0%	0%	100%	0%	0%	8%		

Table A3. Allocation des besoins énergétiques par catégorie de conducteur pour les taxis et VTC.

Type de véhicule	Stationnement hors rue ?	% km électriques	% domicile privé	% CA normale publique	% urbaine rapide publique	Part de catégorie	Nombre de kilomètres parcourus par jour en 2018
VHR	Non	50%	0%	95%	5%	67%	143
VEB	Non	100%	0%	50%	50%		
VHR	Oui	50%	95%	0%	5%	33%	
VEB	Oui	100%	80%	0%	20%		

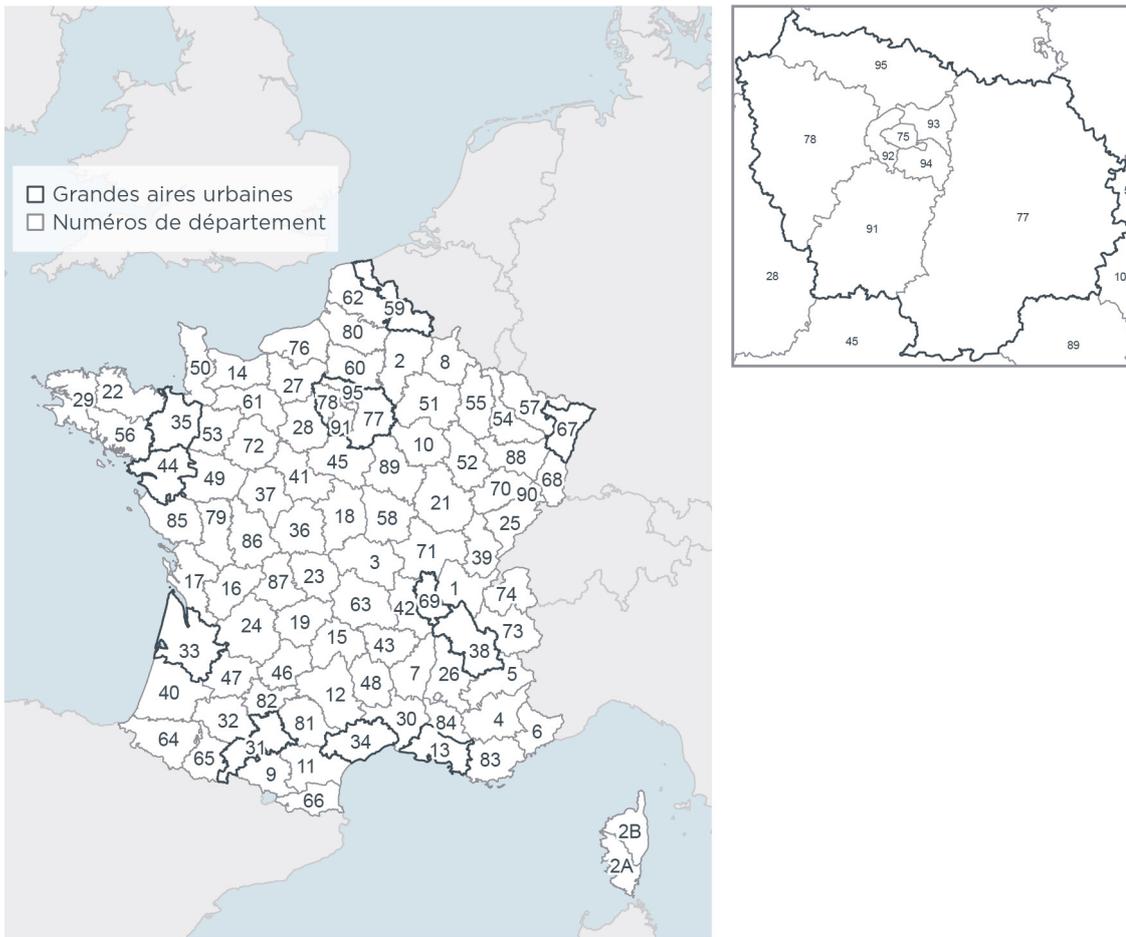


Figure A1. Numéros de département de France métropolitaine. Insert : Île-de-France

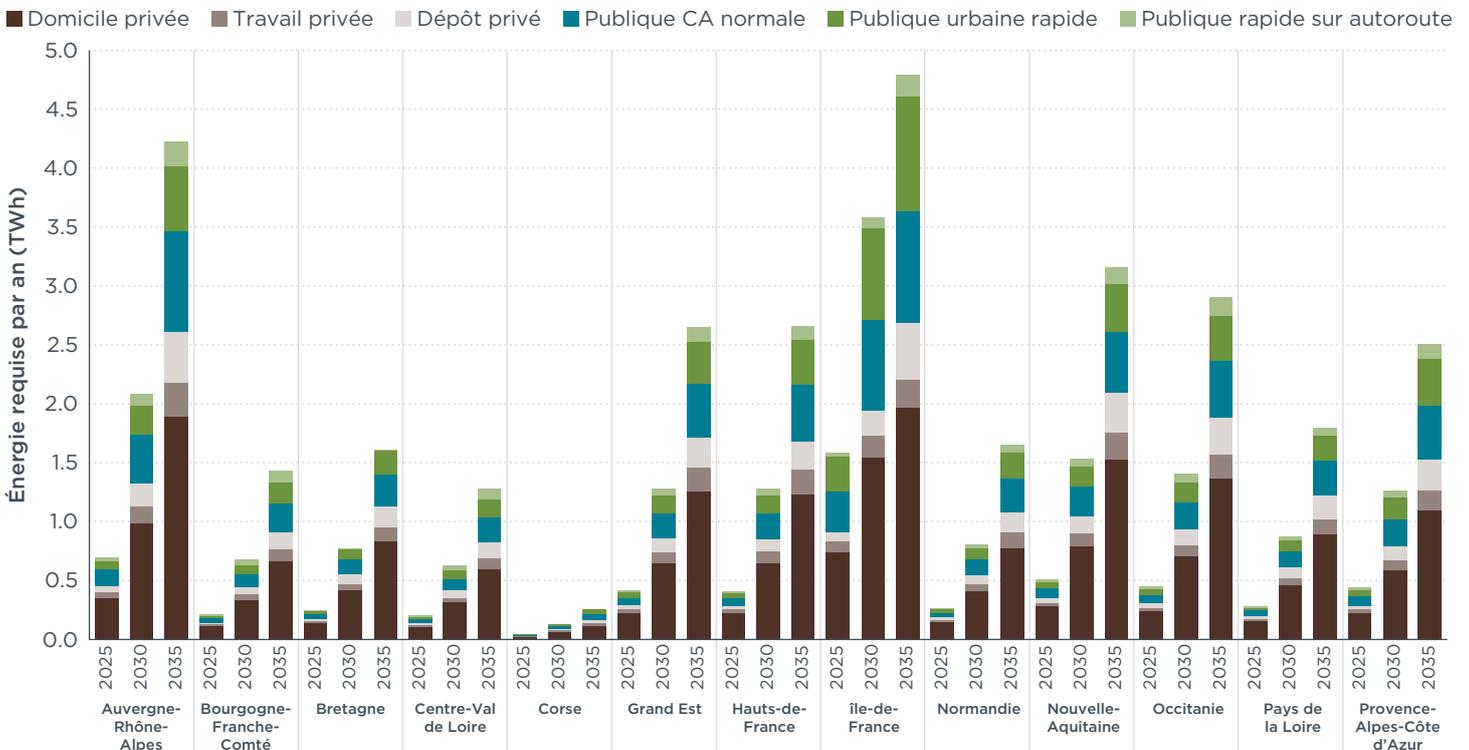


Figure A2. Demande énergétique contextualisée (en TWh) pour chaque région de France métropolitaine en 2025, 2030 et 2035.

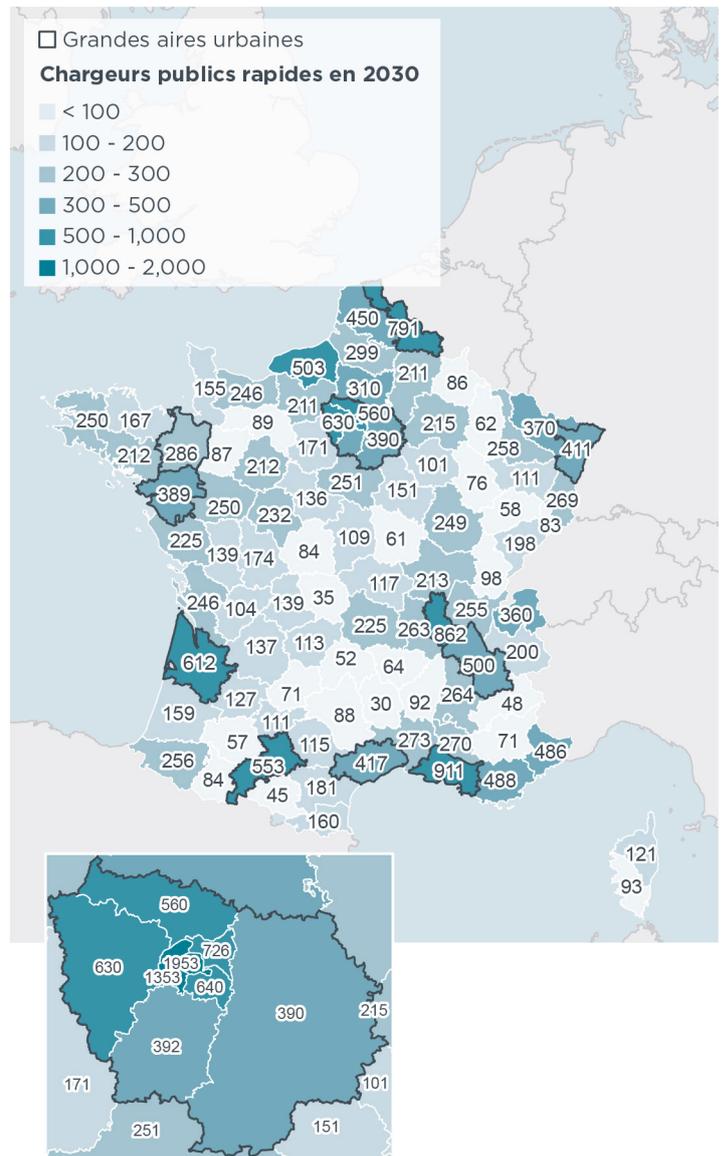
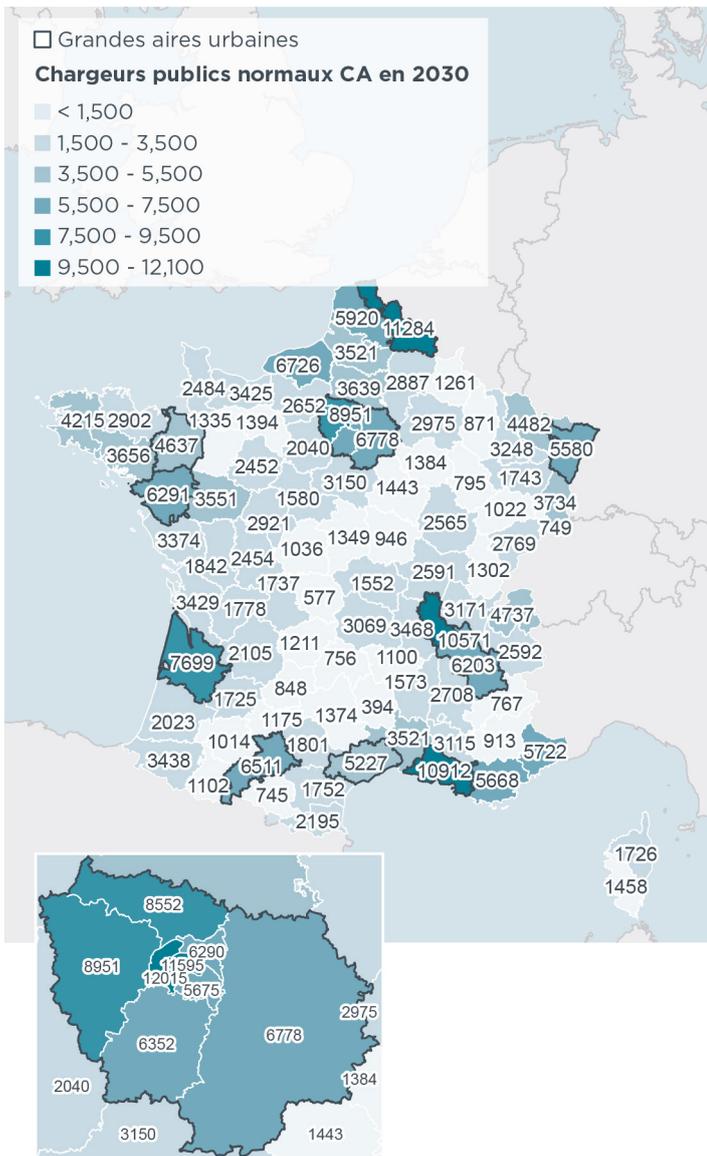


Figure A3. Chargeurs normaux (gauche) et rapides (droite) publics nécessaires pour 2030.

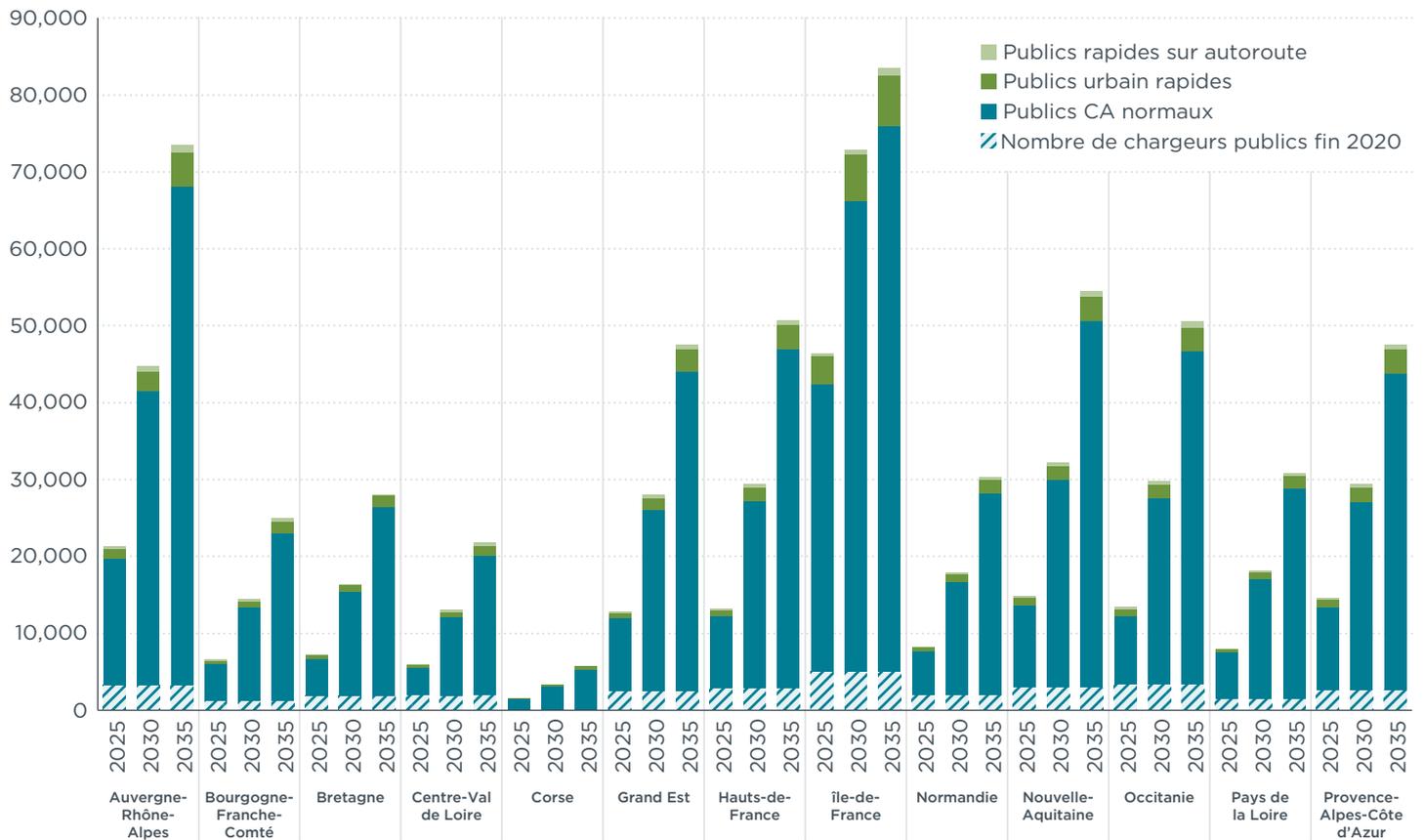


Figure A4. Nombre de chargeurs publics nécessaires pour 2030 pour chaque région de France métropolitaine.

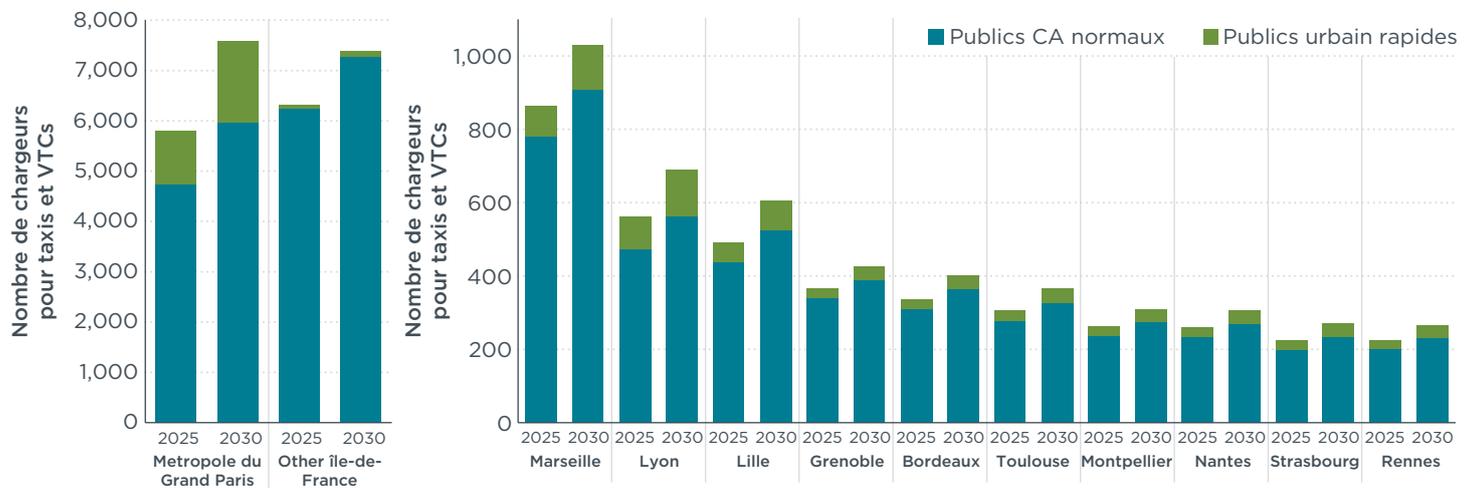


Figure A5. Nombre de chargeurs urbains rapides et CA normaux en 2025 et 2030 pour les taxis et VTC dans les départements des plus grandes zones urbaines (Île-de-France pour la figure de gauche et autres grandes zones urbaines à droite avec une échelle différente).

Table A4. Nombre total de chargeurs par région et par catégorie pour 2025, 2030 et 2035.

Region	Year	Normaux publics CA	Lieu de travail privé	Urbain rapide publics	Publics rapide sur autoroute	Domicile privé	Dépôt privé
Auvergne-Rhône-Alpes	2025	19,709	8,636	1,294	333	208,633	5,769
	2030	41,499	21,368	2,583	671	584,529	21,753
	2035	68,072	37,897	4,473	1,033	1,163,391	51,575
Bourgogne-Franche-Comté	2025	6,016	2,641	377	157	63,487	1,881
	2030	13,388	7,065	796	315	192,407	7,459
	2035	23,056	13,433	1,462	485	404,310	17,684
Bretagne	2025	6,730	3,075	422	9	78,310	2,231
	2030	15,409	8,356	896	19	238,063	9,136
	2035	26,402	15,691	1,615	29	496,108	21,660
Centre-Val de Loire	2025	5,555	2,505	346	135	63,015	1,828
	2030	12,075	6,486	712	272	182,473	6,910
	2035	20,113	11,677	1,254	419	364,959	16,383
Corse	2025	1,448	621	109	0	15,036	301
	2030	3,184	1,506	214	0	38,721	1,387
	2035	5,304	2,714	375	0	72,349	3,288
Grand Est	2025	11,912	5,544	759	195	133,508	3,378
	2030	26,072	14,326	1,567	391	386,684	12,874
	2035	44,084	26,273	2,823	603	785,818	30,523
Hauts-de-France	2025	12,232	5,385	798	187	139,810	3,061
	2030	27,251	14,553	1,685	376	403,717	12,114
	2035	46,990	27,673	3,103	578	801,921	28,721
Île-de-France	2025	42,429	14,692	3,681	295	599,927	8,546
	2030	66,208	26,333	6,049	594	1,241,264	23,995
	2035	75,958	28,735	6,651	914	1,522,299	56,890
Normandie	2025	7,631	3,387	494	100	85,375	2,311
	2030	16,681	8,910	1,002	202	242,713	8,813
	2035	28,233	16,363	1,801	311	479,976	20,894
Nouvelle-Aquitaine	2025	13,740	6,109	855	232	157,947	4,757
	2030	30,017	15,988	1,774	466	457,429	17,187
	2035	50,658	29,122	3,189	718	921,638	40,749
Occitanie	2025	12,304	5,483	801	250	142,904	3,789
	2030	27,657	14,315	1,683	502	417,540	15,708
	2035	46,723	26,251	3,015	773	843,483	37,242
Pays de la Loire	2025	7,540	3,662	451	104	89,863	2,576
	2030	17,003	9,625	955	209	264,674	10,059
	2035	28,761	17,501	1,720	321	535,724	23,849
Provence-Alpes-Côte d'Azur	2025	13,400	5,115	980	204	137,054	3,707
	2030	27,098	12,478	1,864	410	364,465	13,161
	2035	43,829	22,035	3,122	631	700,832	31,203

Table A5. Nombre de chargeurs rapides sur autoroute par autoroute en 2025, 2030 et 2035.

	2025	2030	2035		2025	2030	2035		2025	2030	2035		2025	2030	2035
A1	16	32	49	A36	37	75	115	A85	18	36	56	A411	1	1	2
A2	4	7	10	A38	4	7	11	A86	29	58	89	A430	2	4	6
A3	16	32	49	A39	18	35	54	A87	13	25	39	A432	5	11	16
A4	107	215	330	A40	35	70	108	A88	2	4	6	A450	3	6	10
A5	25	50	77	A41	31	61	94	A89	47	94	145	A466	1	1	1
A6	131	264	406	A42	16	32	50	A103	1	2	3	A500	1	1	2
A7	119	239	368	A43	40	80	124	A104	7	14	21	A501	1	1	2
A8	91	183	282	A46	15	30	46	A105	4	7	10	A520	1	1	2
A9	82	164	252	A48	15	31	47	A115	6	11	17	A620	16	31	48
A10	145	292	449	A49	11	21	33	A126	1	3	4	A621	3	6	9
A11	67	135	207	A50	23	46	71	A131	8	16	24	A623	1	1	1
A12	7	13	19	A51	20	40	61	A132	1	1	2	A624	4	7	11
A13	82	165	254	A52	9	17	26	A139	1	2	3	A630	23	46	70
A14	5	10	16	A54	9	17	26	A140	1	2	3	A645	1	1	1
A15	21	42	65	A57	11	22	33	A150	4	7	10	A660	2	4	6
A16	44	87	134	A61	45	90	138	A151	3	5	7	A714	1	2	3
A19	9	17	26	A62	54	107	165	A154	2	3	5	A719	1	2	3
A20	59	118	181	A63	39	78	119	A211	1	2	2	A811	2	3	4
A21	9	18	28	A64	45	89	137	A216	1	1	1	A813	1	1	1
A23	13	26	39	A65	8	15	23	A311	1	2	2	A837	3	6	9
A25	6	12	18	A66	4	7	10	A314	1	1	1				
A26	39	79	121	A68	10	21	31	A315	1	2	2				
A27	1	2	3	A71	50	100	154	A320	3	6	9				
A28	25	50	76	A72	15	30	46	A330	4	7	11				
A29	21	42	65	A75	28	55	84	A344	3	5	7				
A30	5	9	14	A77	10	19	30	A351	2	4	6				
A31	70	141	217	A81	14	28	42	A391	1	1	1				
A33	9	17	27	A82	1	1	2	A404	2	4	5				
A34	6	12	18	A83	22	45	68	A406	1	1	2				
A35	25	50	77	A84	27	54	82	A410	5	9	14				

* Lorsque le nombre de chargeurs est inférieur à l'unité, il est arrondi à 1.