



Avere

FRANCE

Livre blanc
**Pilotage de la recharge et
Vehicle-to-Everything**



Novembre 2023

Table des matières

Liminaire.....	4
Synthèse	5
Etat des lieux	5
Introduction.....	10
Potentiel technico-économique du Smart charging et V2X.....	10
Calendrier général du déploiement du V1G/V2X	26
Objectifs du livre blanc.....	27
Méthodologie d'élaboration	27
Analyse de potentiel de valorisation des services énergétiques rendus par la re(dé)charge des batteries du véhicule électrique	28
Principaux cas d'études : à domicile, au travail et sur la voirie	28
Exemples réels de projets V1G et V2X	43
Protocoles de communication pour garantir l'interopérabilité bout à bout.....	48
Analyse des marchés et mécanismes de valorisation ciblés pour les véhicules électriques	50
Propositions concernant la réglementation et les	62
Liste des préconisations aux pouvoirs publics	62
Préconisations d'évolution, de précision ou de révision du cadre réglementaire	70
Termes et abréviations.....	73

Liminaire

Ce document a été élaboré sur la base des réflexions du groupe de travail « Smart charging et V2X » de l'Avere-France, sur l'année 2022 et le premier semestre 2023. Il constitue une version à jour de la Note de position smart charging et V2X publiée en 2019 et une synthèse des positions consensuelles sur les sujets du smart charging et du V2X.

L'Avere-France souhaite remercier pour l'engagement dans la rédaction de cette note et dans la participation du groupe de travail, notamment : Columbus Consulting, CRE, DREEV, EDF, ENEDIS, ENGIE, Institut Védécom, Mobilize, Renault Groupe, RTE, Stellantis, Wavestone, Zeplug.



Synthèse

Pour atteindre les objectifs français et européens de réduction des émissions de gaz à effet de serre, une transition énergétique ambitieuse est nécessaire dans le secteur des transports, responsable de près de 30% des émissions. Filière d'excellence et axe majeur de la reconquête de la souveraineté technologique industrielle française, **la mobilité électrique est incontournable pour répondre aux enjeux économiques et écologiques actuels.**

Etat des lieux

L'arrivée massive du véhicule électrique sur les routes françaises est un fait établi avec près de 1,5 million de véhicules électriques et hybrides rechargeable en circulation en France et 110 000 points de recharge ouverts au public¹. Le parc automobile français pourrait atteindre **5,3 millions de véhicules particuliers en 2028** (selon l'étude ICCT (2021)²) et **8,5 millions pour 2030** (selon l'étude de RTE (2023)³). Selon les scénarios de RTE⁴, à l'horizon 2050, la trajectoire de référence indique une électrification de 95 % du parc des véhicules légers français, soit près de **36 millions de véhicules électriques.**

La question souvent amenée concerne la capacité du système électrique à **absorber le développement de ce nouvel usage** et **l'adéquation entre production et consommation**, notamment pendant les heures pleines. **Sans pilotage de la recharge**, la puissance appelée par les véhicules électriques à la pointe sera significative et se traduirait par une sollicitation **de moyens de production de pointe** (centrale à gaz en France ou chez nos voisins par

¹ « Baromètre des immatriculations » (Avere-France, novembre 2023) et « Baromètre national des infrastructures de recharge ouvertes au public » (Avere-France - Ministère de la Transition énergétique - Gireve, novembre 2023)

² « Infrastructure de recharge au service de la transition vers la mobilité électrique en France » (ICCT, 2021)

³ « Bilan Prévisionnel 2023 : point d'étape » (RTE, 2023)

⁴ « Bilan Prévisionnel 2050 » (RTE, 2022)

exemple) d'où résultent conjointement des prix plus élevés et une augmentation des émissions de CO₂. Les marges du système électrique (puissance appelée à la pointe de l'ordre de 700 MW pour 1 million de véhicules électriques) seront donc réduites. Actuellement, **65%⁵ des particuliers utilisateurs de véhicules électriques n'opèrent aucun pilotage de leur recharge (90% en entreprise)** : ils branchent leur véhicule, généralement en période de pointe électrique (soirée) et la recharge démarre immédiatement. **RTE estime ainsi que 70 à 85% du volume énergétique des recharges est susceptible d'être piloté**, c'est-à-dire placé au meilleur moment pour le système électrique et sans impact pour l'utilisateur.

Parallèlement à la croissance des ventes de véhicules électriques, la **production d'énergie renouvelable** est également **en accélération**. Le **pilotage de la consommation électrique** doit donc être **largement développé** pour permettre au système électrique d'intégrer cette production, par nature variable, notamment en fonction des conditions météorologiques. L'enjeu est de synchroniser la consommation électrique avec la production, pour que cette électricité peu carbonée ne soit pas perdue.

Le véhicule électrique est le levier de pilotage le plus efficace au sein de cette consommation :

- Il représente un potentiel de déplacement d'appel de puissance à la pointe du soir **2 fois plus important que le ballon d'eau chaude** (4 GW) dès l'horizon 2030 ;
- Il permet **un pilotage réparti sur la semaine** (dans la grande majorité des cas, le véhicule électrique n'a pas besoin d'être rechargé tous les jours) ;
- Il permet de **réinjecter pour alimenter une maison, un bâtiment ou le réseau**, à condition qu'il soit compatible avec la recharge bidirectionnelle.

On distingue trois grandes familles de pilotage de la recharge :

- Le **pilotage statique** : la charge est effectuée pendant des heures fixées au préalable ;
- Le **pilotage dynamique** : la charge s'adapte aux signaux du système électrique en temps réel : effacement, prix de l'électricité en J-1, production solaire, etc.) ;
- La **charge bidirectionnelle** (V2X : *Vehicle-to-Everything*, réinjection dans une maison (*Vehicle-to-Home* - V2H), un bâtiment (*Vehicle-to-Building* - V2B) ou le réseau (*Vehicle-to-Grid* - V2G)).

Le pilotage de la recharge du véhicule électrique nécessite la prise en compte des besoins de mobilité de l'utilisateur (niveau de recharge souhaité à l'heure de départ prévue) afin de prioriser la recharge selon l'usage du véhicule. L'arbitrage entre les critères de pilotage est un élément clé pour garantir la disponibilité du véhicule pour son usage principal : la mobilité.

⁵ « Étude Enedis – BVA » (Enedis, 2022)

L'Avere-France préconise la mise en place immédiate d'une feuille de route volontariste pour inciter au pilotage de la recharge et au Vehicle-to-X.

Le Fit-for-55 impose une accélération de la décarbonation d'ici 2030. Le pilotage de la recharge et le Vehicle-to-Everything n'en sont qu'à leurs débuts mais pourraient être un moyen très pertinent d'atteindre les objectifs d'effacement. Accélérer le déploiement du pilotage de la charge permet d'apporter des marges au système électrique et d'activer d'autres leviers d'électrifications. **Dans ce contexte, le véhicule électrique est une formidable opportunité pour le système électrique et le consommateur. Il présente l'usage électrique le mieux placé pour répondre à ces besoins futurs de flexibilité. De ce fait, le rôle des solutions de stockage et des solutions de flexibilité de la demande sera de plus en plus crucial. Tous les scénarios RTE accordent une place significative au pilotage de la recharge pour 2050 (entre 45 % et 68 % des électromobilistes devront recourir aux différents modes de pilotage unidirectionnelle de la recharge et entre 2% et 20% des électromobilistes devront recourir à la recharge bidirectionnelle V2X).**

Ces dernières années, dans un contexte d'émergence du véhicule électrique, l'action publique a légitimement priorisé l'installation massive de bornes ouvertes au public pour accompagner son développement. Désormais, le taux de pénétration significatif du véhicule électrique en France et la nouvelle donne énergétique à l'échelle européenne appellent de nouvelles mesures en faveur de l'intégration équilibrée de la recharge de ces véhicules dans le système électrique.

Liste des préconisations aux pouvoirs publics

L'Avere-France préconise la mise en place immédiate d'une feuille de route pour inciter au pilotage de la recharge dans le cadre de la loi de programmation sur l'énergie et le climat :

Appel à actions

- 1. Faire du pilotage tarifaire de la charge le comportement par défaut des électromobilistes, en intégrant une communication ad hoc par les pouvoirs publics, et tous les acteurs de l'écosystème** (les constructeurs automobiles, les énergéticiens, les opérateurs de recharge, etc.). **Encourager tout type de pilotage, depuis le pilotage statique jusqu'au pilotage dynamique et la recharge bidirectionnelle** (pilotage par la borne ou pilotage par le véhicule, etc.).
- 2. Développer l'incitation fiscale sur l'installation de points de charge pilotés, notamment permettant le pilotage dynamique ou bidirectionnel, et connectés.**

3. **La mise en application des règles de taxation liées à la consommation finale de l'électricité** : l'énergie soutirée puis réinjectée sur le réseau par un véhicule électrique (ou tout type de batterie) ne constitue pas une consommation finale d'électricité et doit être exemptée de taxation pour les professionnels et les particuliers.
4. **Lancer en France un dispositif *Vehicle-to-Grid* à grande échelle permettant de lancer une filière française**, qui intègre les spécificités du marché français.

Recommandations

1. **Mise en place de subventions dédiées, et d'appels à projets (AAP), aux bornes de recharge bidirectionnelles et pilotées par un opérateur de services.**
2. **Promouvoir l'achat de véhicules électriques compatible avec la recharge bidirectionnelle, en alternatif ou en continu, grâce à des systèmes d'incitation additionnelle.**
3. **Inciter pour tout type de pilotage, les comportements contracycliques qui présentent un bénéfice pour le réseau de transport et de distribution y compris le réseau de raccordement électrique BT, notamment :**
 - a. **Affiner les plages temporelles pour refléter plus fidèlement les pointes dimensionnantes des réseaux**, par une augmentation de la différenciation temporelle du prix au kWh (HP/HC) et une augmentation de la puissance souscrite en heures creuses ;
 - b. **Réfléchir, dans le cadre de la consultation TURPE 7, à une évolution des règles** qui reflète mieux l'impact du V2G sur les besoins d'investissement sur le réseau de transport et de distribution, notamment la création d'un tarif différencié selon les tranches horaires.
4. **Accélérer la collaboration entre les différents membres de l'écosystème** au niveau national et Européen (énergéticiens, constructeurs automobiles, opérateurs de recharge, etc.) afin de définir et d'harmoniser les différents cas d'usage (pilotage tarifaire, effacement, autoconsommation, Vehicle-to-X, etc.), construire un langage commun (modèle de données, protocoles, etc.), pour garantir une **interopérabilité de bout en bout**.
5. **Permettre la mise à disposition non-discriminatoire de données dynamiques issues des véhicules** (notamment des données relatives aux batteries), **des réseaux électriques, des fournisseurs d'électricité, des bâtiments, des bornes auprès de tiers** (fournisseurs de services de flexibilité, gestionnaires d'énergie, etc.), **sous-réserve d'engager des initiatives de standardisation, et du respect des règles en matière de protection des données - RGPD - (notamment d'accord du client) et des dispositions des règlements européens.**

Ce cadre standardisé, à préciser, facilitera le partage des « données » de la recharge. Cela supposera de traiter, dans ce cadre, de l'accès aux données mais également de leur format et des modalités de transfert de celles-ci.

6. **Réfléchir, dans le cadre de la Commission d'Accès aux Marchés (CAM), à faciliter l'insertion du véhicule électrique dans les règles de participation aux mécanismes de services système et d'ajustement** et la simplification des procédures d'agrégation de petites sources de production et notamment disposer d'une définition dans ces règles du V1G et V2G, ainsi que de possibilités d'agrégation des véhicules électriques sur le réseau public de transport d'électricité (RPT) et le réseau public de distribution d'électricité (RPD):
 - a. Envisager la réduction de la taille de participation minimale (> 1MW), la granularité de 1MW et la disponibilité pour 4 heures pour participer à ces mécanismes ;
 - b. Envisager la réduction des entités d'ajustement (EDA) à 10 MW qui est très contraignante et rend difficile l'agrégation, nécessitant d'agréger des véhicules avec d'autres assets ;
 - c. Envisager des règles de contrôle du réalisé adaptées à l'usage VE dans le respect des exigences du fonctionnement du système électrique.

7. **Lever les freins à l'utilisation des batteries véhicules, en V2G, dans le cadre des dispositifs de soutien aux énergies renouvelables** posés par l'arrêté tarifaire du 6 octobre 2021.

8. **Conserver la limite de 6 kW de puissance maximale d'injection en monophasé et permettre l'installation d'équipements jusqu'à 18 kW de capacité d'injection avec un système de pilotage qui garantisse la puissance maximale d'injection.**

9. **Formaliser (et simplifier) le processus pour les déclarations administratives liées au V2G ainsi que l'homologation et la certification des véhicules et bornes V2G.** Cette simplification permettrait, pour les installateurs, d'automatiser les démarches qui seront faites sur mandat du client final et, pour l'utilisateur, de remplacer son véhicule ou borne sans devoir refaire des démarches administratives.



Introduction

Potentiel technico-économique du Smart charging et V2X

L'évolution de l'électrification du secteur routier

L'arrivée massive du véhicule électrique sur les routes françaises est désormais un fait établi

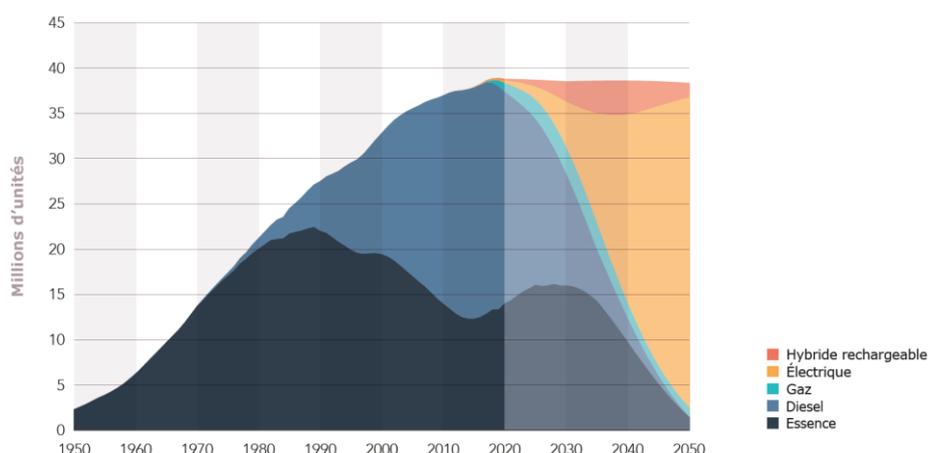
L'arrivée massive des véhicules électriques rechargeables (véhicules électriques à batterie (VEB) et hybrides rechargeables (VHR)) est maintenant une certitude avec une croissance sans précédent des ventes de ces véhicules depuis l'année 2020, au niveau français et européen. En France, le nombre de véhicules électriques à batterie et hybrides rechargeables se rapproche des 1,5 millions, avec plus de 25% de part des nouvelles immatriculations fin septembre 2023⁶. La croissance globale du marché a été largement alimentée par le règlement européen CO₂, définissant la norme CAFE (*Corporate Average Fuel Economy*), qui impose, à partir du 1^{er} janvier 2020, aux différents constructeurs automobiles une certaine cible d'émissions moyennes de CO₂ dans leurs ventes de véhicules légers dans les États membres (cible autour de 95gCO₂/km en 2020, déclinée selon les constructeurs et baissant de 15% en 2025). **Le non-respect de cette norme engagerait des pénalités de 95€ par gCO₂/km en écart par véhicule vendu.** Les constructeurs automobiles ont donc adopté une stratégie d'augmenter la disponibilité de leurs véhicules électriques en volume et en modèles sur tous les marchés et ont poussé fortement les ventes de ces motorisations auprès des clients depuis 2020, afin d'atteindre ces niveaux d'émissions. Parallèlement, **le déploiement des infrastructures de recharge des véhicules électriques s'accroît** pour accompagner la conversion des propriétaires des véhicules thermiques en véhicules électriques (entre 330 000

⁶ « Baromètre des immatriculations des véhicules électriques et hybrides rechargeables », Avere-France, novembre 2023

et 480 000 de points de recharge ouverts au public en 2030⁷). De plus, l'électrification du marché automobile s'accompagne d'une chute du coût des batteries Lithium-Ion avec des prévisions d'atteindre 58 \$/kWh en 2030 au niveau mondial^{8,9} et l'augmentation de leur performance grâce au progrès technologique. En outre, **la mise en place des zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m)**, à destination des collectivités pour réduire la pollution atmosphérique, présente un outil pour limiter la circulation des véhicules les plus polluants et pourrait accélérer les nouvelles immatriculations des véhicules électriques. Enfin, en 2022, **le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne ont voté l'interdiction de la vente de voitures neuves à moteur thermique dans l'Union européenne à partir de 2035**. Cette décision historique aura un impact positif sur l'intensification du parc des véhicules électriques.

Si le nombre de véhicules électriques en circulation à 2028 est prévu à 4,8 millions de véhicules selon les programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE), l'étude ICCT (2021)¹⁰ prévoit plus de 5,3 millions de véhicules en 2028. Dans l'ensemble, pour 2030, les deux scénarios extrêmes d'adoption de véhicules électriques s'élèvent à 5,3 millions selon l'étude Coda (2019)¹¹ et 7,4 millions selon ICCT (2021). Les études de RTE prévoit un parc de 8,5 millions de véhicules électriques en 2030¹². À l'horizon 2035, plus de 40 % du parc automobile léger et plus de 80 % des immatriculations neuves seront composées de véhicules électriques ou hybrides rechargeables¹³. **À l'horizon 2050, la trajectoire de référence indique une électrification de 95 % du parc des véhicules légers français, soit près de 36 millions véhicules électriques. L'arrivée massive du véhicule électrique sur les routes françaises est donc désormais un fait établi.**

Evolution de la structure du parc de véhicules légers entre 1950 et 2050
Bilan prévisionnel RTE 2050 (RTE, 2022)



⁷ « Le développement de la recharge en France pour les véhicules légers », Avere-France, 2022

⁸ « Li-ion battery pack costs dropped to some 137 U.S. », Statista, 2023

⁹ La batterie représentant environ 40% du coût d'un véhicule électrique.

¹⁰ « Infrastructure de recharge au service de la transition vers la mobilité électrique en France », ICCT, 2022

¹¹ « L'impact des mutations technologiques et de la digitalisation sur le modèle économique du commerce de gros », Direction générale des entreprises, 2019

¹² « Bilan Prévisionnel 2023 : Point d'étape », RTE, 2023

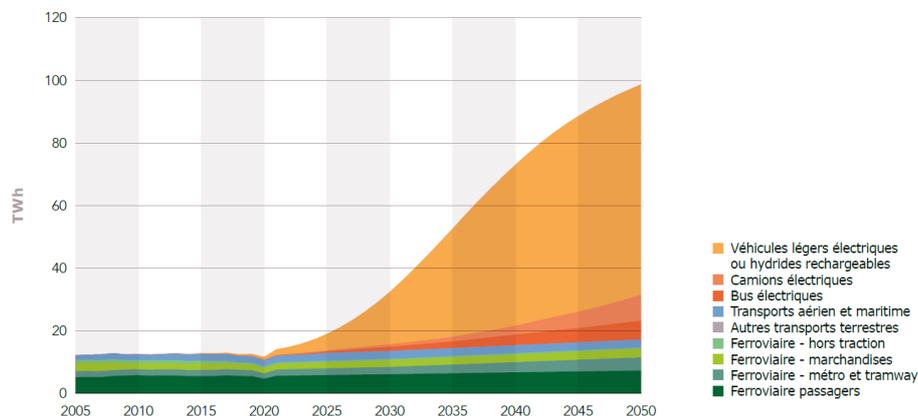
¹³ La date retenue relative à l'interdiction des ventes de voitures et véhicules utilitaires légers neufs utilisant des énergies fossiles est fixée à 2040 (Le jalon retenue par la France avant l'accord européen).

La consommation des véhicules électriques en 2050 représentera entre 10 et 15% de la consommation totale d'électricité

Selon les études de RTE, la consommation du secteur de transport routier sera d'environ **13 TWh en 2030 et 60 TWh en 2050**¹⁴. La consommation des véhicules électriques devrait représenter **entre 10 et 15% de la consommation totale** d'électricité à horizon 2050. En parallèle, les prévisions de RTE qui se rapproche de la stratégie actuelle du gouvernement français, indique que **la production renouvelable sera autour de 300 TWh en 2035**¹⁵. Bien que la part de la consommation du secteur du transport routier augmente pour le moyen et le long terme, cette hausse de consommation électrique est **compensée en partie par des gains liés à l'efficacité énergétique des bâtiments. Il est donc important de mettre en place, dès à présent, des moyens de pilotage de la recharge afin de garantir la recharge la moins intensive en émissions de CO₂ possible.**

Consommation électrique du secteur des transports

Trajectoire de consommation de référence - Bilan prévisionnel RTE 2050 (RTE, 2022)



Il faut noter que le véhicule électrique consomme peu d'électricité et possède une efficacité énergétique bien supérieure au moteur thermique (rendement du moteur électrique de 90% contre 35 à 40% pour le thermique). En effet, le véhicule hybride rechargeable et le véhicule 100% électrique représentent en ordres de grandeur respectivement la consommation d'un petit / gros ballon d'eau chaude sanitaire, soit 1,5 à 3 MWh/an pour un kilométrage annuel moyen autour des 13 000 km¹⁶. La part de plus en plus importante de production renouvelable, économique, peu émettrice de CO₂ mais intermittente, nécessite pour autant une adéquation heure par heure de cette production avec la consommation, pour maximiser son potentiel. Très concrètement, il s'agit de synchroniser autant que possible la consommation avec les heures d'ensoleillement ou de production maximale éolienne. **C'est dans ce contexte que le pilotage de la recharge des véhicules électriques trouve son potentiel.**

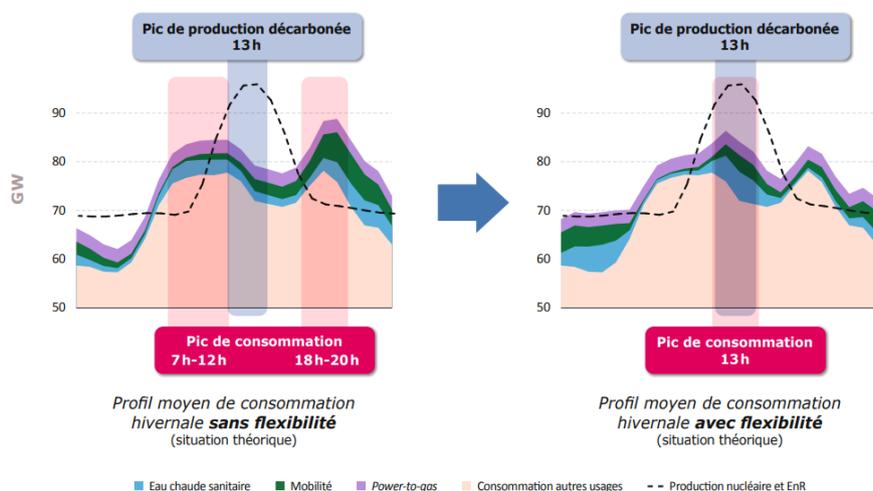
¹⁴ La consommation reliée au secteur du transport routier est d'environ 45 TWh en 2035 selon le point d'étape du Bilan prévisionnel 2023 de RTE, RTE, 2023

¹⁵ « Bilan Prévisionnel 2023 : Point d'étape », RTE, 2023

¹⁶ Estimations réalisées en 2019 dans le cadre d'une note de position de l'Avere-France sur le smart charging et le V2X publié en 2019.

Illustration de l'effet des flexibilités sur le placement de la consommation lors des pics de production décarbonée

Bilan prévisionnel Édition 2023 (RTE, 2023)



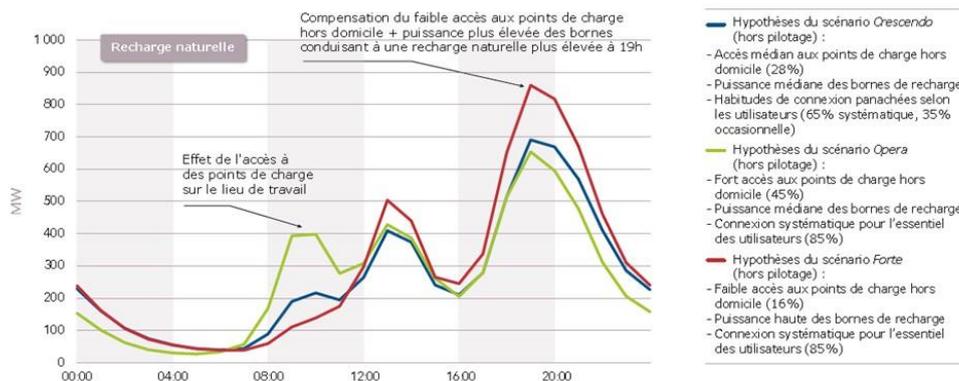
Le système électrique passe d'un fonctionnement où l'on adaptait la production à la consommation à un fonctionnement où la consommation doit également s'adapter aux variations de production, pour maximiser le potentiel des énergies renouvelables. Dans ce contexte, le véhicule électrique est l'usage électrique le mieux placé pour répondre à ce besoin de flexibilité. En effet, le véhicule électrique présente une opportunité au système électrique : 70 à 80 % du volume de recharge s'effectue en temps non contraint, le volume énergétique par véhicule est plus important en comparaison à un ballon d'eau chaude sanitaire et la fenêtre d'optimisation qui varie entre l'intra journalier à l'intra hebdomadaire.

Le pilotage de la recharge et son effet à différents horizons

L'intérêt du pilotage de la recharge pour limiter l'augmentation des pics de consommation

La question souvent amenée par cette projection de croissance est alors la capacité du système électrique à absorber le développement de ce nouvel usage et l'adéquation à chaque instant entre production et consommation. La recharge non pilotée (ou recharge naturelle), modélisée par les travaux de RTE, vient **augmenter les pointes** de consommation entre **650 et 900 MW** à la pointe du soir par million de véhicules. Cela correspond à la puissance combinée de **deux centrales à gaz (CCG)**. En 2021, la **puissance moyenne** appelée pour la consommation intérieure française était de **53 GW**. Théoriquement, en 2030, **avec 8,5 millions de véhicules électriques non pilotés**, les travaux de RTE sous-entendent que l'on pourrait observer une pointe électrique liée **uniquement aux véhicules légers de 5,5 à 7,5 GW**. L'augmentation de la puissance appelée à la pointe **sans pilotage de la recharge** est donc **extrêmement significative**, et nécessiterait l'installation de nouvelles capacités de productions de pointe (aujourd'hui assurées par du gaz à faible rendement (OCGT/TAC)).

Courbe de charge type pour un jour ouvré moyen pour un million de véhicules électriques Selon différentes variantes¹⁷ (RTE, 2019)



Selon les études de RTE, **70 à 85% du volume énergétique des recharges est susceptible d'être piloté**, c'est-à-dire placé au meilleur moment pour le système électrique et sans impact pour l'utilisateur : il s'agit en particulier des recharges à domicile et au travail. Aujourd'hui, selon une estimation d'EDF, **80% des chauffe-eau électriques sont asservis au signal des heures-creuses**. Ce pilotage permet depuis de nombreuses années d'éviter des appels de puissance sur la pointe du soir **de l'ordre de 2 GW** en moyenne selon les précisions RTE : dès les années 2030, les véhicules électriques stationnés à domicile représenteront un potentiel d'appel de puissance déplaçable plus supérieure, soit environ 6,5 GW¹⁸.

Le véhicule électrique permettrait d'une façon simultanée et/ou complémentaire :

1. Un **pilotage statique**, qui se résume à fixer une limite de puissance électrique à ne pas dépasser pendant des heures fixées en avance, notamment les heures creuses et les heures de faible appel à consommation nationale.
2. Un **pilotage dynamique**, aussi appelé V1G¹⁹, les consignes s'adaptant aux besoins du système électrique en temps réel et de l'utilisateur. Ce pilotage plus fin, plus proche du temps réel, est l'un des moyens de pilotage connectables à internet.
3. Le **Vehicle-to-X (V2X - du véhicule vers une source indéfinie)** qui permet de puiser et de redistribuer l'énergie stockée dans la batterie d'un véhicule électrique vers une source indéfinie. Autrement dit, cette technologie permet de charger ou décharger la batterie d'une voiture électrique selon les besoins, la demande et la capacité de la source destinataire. Le V2X comprend ainsi le V2H (**Vehicle-to-Home**, ou du véhicule vers le domicile), le V2B (**Vehicle-to-Building**, ou du véhicule vers un bâtiment), et le V2G (**Vehicle-to-Grid**, ou du véhicule vers le réseau électrique)²⁰.

¹⁷ « Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique », RTE et Avere-France, 2019

¹⁸ En considérant 8,5 millions de véhicules électriques en maison en 2030 dont 70% des recharges des véhicules électriques pilotées .

¹⁹ L'abréviation V1G est une référence apparue en même temps que le V2G : il désigne un pilotage du véhicule (V), dans un seul sens (1) depuis le réseau (G : en anglais « grid »).

²⁰ Autres solutions V2X existent : V2V (Vehicle-to-Vehicle), V2I (Vehicle-to-Infrastructure), V2N (Vehicle-to-Network) et V2P (Vehicle-to-Pedestrian). Ces solutions ne seront pas étudiées dans ce livre blanc.

Les différents modes de pilotage pourront être réalisés par des bornes de recharges intelligentes et connectées, des gestionnaires d'énergie connectés ou en local, les applications proposées par les constructeurs automobiles ou le véhicule lui-même. Dans tous les cas, les compteurs intelligents déployés en Europe (Linky en France pour les clients résidentiels), pourront jouer un rôle quand ils sont connectés au système de pilotage. Ces dernières années, dans un contexte d'émergence du véhicule électrique, l'action publique a légitimement priorisé l'installation massive de bornes ouvertes au public pour accompagner son développement. Désormais, le taux de pénétration significatif du véhicule électrique en France et la nouvelle donne énergétique à l'échelle européenne appellent à une implémentation de l'action publique, par des mesures en faveur de l'intégration équilibrée de la recharge de ces véhicules dans le système électrique.

De plus, le pilotage de la recharge permet de placer la consommation des véhicules électriques pendant des périodes favorables pour le système électrique, par exemple la production des énergies renouvelables intermittentes et les prix négatifs d'électricité dus à la production renouvelable en milieu de journée, permettant d'éviter des écrêtements de cette production ou de la modulation du système électrique nucléaire.

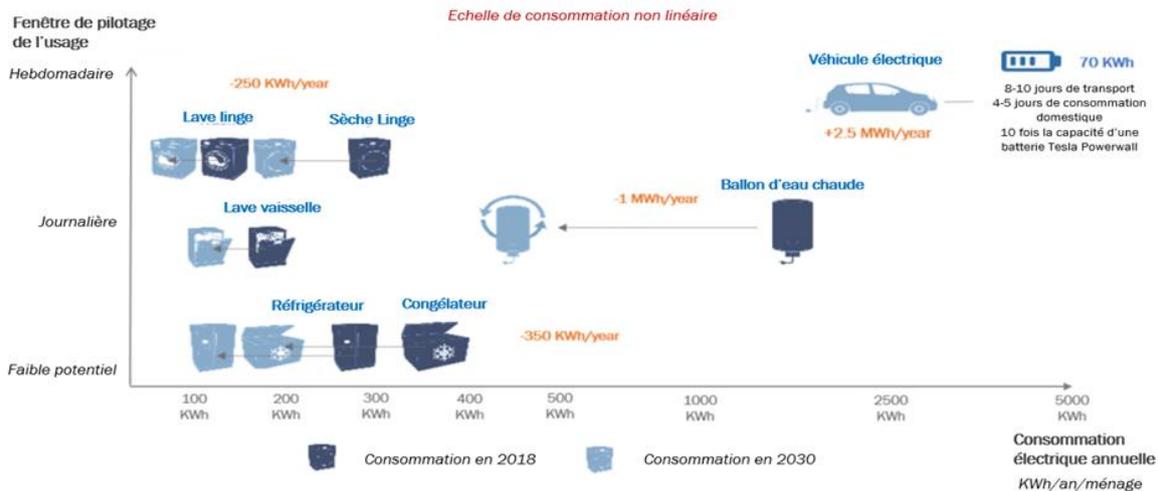
Le livrable présentera trois principaux cas d'études : la recharge à domicile, au travail et sur la voirie (courte durée ou longue durée de stationnement).

Le véhicule électrique est une formidable opportunité pour le système électrique et le consommateur

Le véhicule électrique n'est pas vu comme une menace par les énergéticiens mais plutôt comme une formidable opportunité en termes de flexibilité. Tout comme le déplacement de la charge du ballon d'eau chaude a permis de « lisser » la consommation pour optimiser le parc de production à partir des années 70, le véhicule électrique pourrait être un atout considérable pour **gérer la variabilité des autres postes de consommation aujourd'hui moins flexibles (par ex. le chauffage) et pour gérer la variabilité introduite par la croissance des énergies renouvelables.** Le parc de production électrique étant de moins en moins pilotable à mesure de l'insertion des énergies renouvelables intermittentes et de la fermeture des moyens de production fossile, la gestion de l'équilibre offre-demande devra basculer en partie sur le pilotage de la demande. Si le potentiel de déplacement d'énergie des usages conventionnels dans le résidentiel devrait diminuer du fait de l'efficacité énergétique, **le véhicule électrique pourrait s'y ajouter et jouer un vrai rôle de « super ballon d'eau chaude ».**

Potentiel de flexibilité des usages à la maison aujourd'hui et demain

Valable pour une maison individuelle moyenne en France (chiffres EDF)



Pourquoi un « super ballon d'eau chaude » ? En premier lieu, le véhicule électrique possède une quantité d'énergie à déplacer plus importante que le ballon d'eau chaude. De plus, la taille des batteries et l'autonomie des véhicules électriques augmentant très rapidement, **un modèle de VE standard autour des 50 kWh en 2023 (Nouvelle Renault Zoé, Peugeot e-208) n'aura besoin d'être rechargé qu'une fois par semaine, pour un usage typique²¹**. Ainsi, contrairement à un ballon d'eau chaude dont la charge ne peut être optimisée qu'à une maille journalière, **la charge du véhicule électrique pourra être optimisée à une maille hebdomadaire**, par exemple pour profiter de tarifs avantageux durant le weekend, autoconsommer des excédents de production photovoltaïque au milieu de la journée du dimanche ou bien attendre le milieu de nuit du mardi quand il y aura trop de production éolienne. Les véhicules électriques se rechargeant majoritairement en charge lente (3,7 à 7,4 kW) pendant de longues périodes de stationnement, **la majeure partie de leur consommation annuelle sera pertinente pour du déplacement de charge**. RTE estime qu'en 2035 plus de **85% de la consommation des véhicules électriques sera pertinente pour du pilotage à long terme du fait de l'accroissement des trajets longue distance impliquant une plus forte proportion de la charge rapide sur autoroute (cas de charge non pertinent pour du pilotage)**. Ces charges correspondent, à l'horizon 2025 et par ordre d'importance en consommation, à **la charge des véhicules particuliers au domicile** (majoritairement de nuit et en très large majorité en maison individuelle), **des véhicules professionnels en entreprise** (majoritairement de nuit) et **des véhicules salariés en entreprise** (majoritairement en journée). **Concernant le pilotage de la charge, plusieurs logiques existent** à la maille du véhicule, du bâtiment, du réseau de distribution ou du réseau de transport d'électricité.

Un véhicule électrique, vu d'un énergéticien, est une batterie de plusieurs dizaines de kWh (la capacité moyenne sera autour de 75 kWh en 2030, correspondant à plus de 400 km d'autonomie réelle que souhaite la moyenne des usagers) stationnée environ 95% de son

²¹ Pour un trajet hebdomadaire de 250 km, soit 13 000 km par an (en moyenne).

temps. Un particulier pourrait alimenter sa maison pendant plusieurs jours avec son véhicule. En agrégeant toutes ces batteries, on obtiendrait rapidement dans les années à venir un stockage virtuel de capacité supérieur aux STEP (avec environ 16 millions de VE, en 2035 selon le scénario haut considéré par RTE (2019) et les prévisions d'ICCT (2021) et en termes de gisement, la capacité de stockage serait plus de 10 fois celle des STEP actuelles), **faut-il encore que les véhicules aient la possibilité de réinjecter l'énergie sur le réseau.** Utiliser le véhicule comme capacité de stockage pouvant réinjecter de l'énergie est en général désigné par le terme « V2X ». Renault a annoncé l'arrivée sur le marché du V2X en 2024 avec le lancement de la Renault 5 électrique. Le constructeur a précisé que la future Renault 5 électrique sera la première voiture d'une longue série à être dotée du nouveau chargeur bidirectionnel.

En 2022, RTE a certifié pour la première fois la participation de batteries de véhicules électriques de flottes d'entreprises à l'équilibre temps-réel du système électrique²². Ceci est rendu possible grâce à la technologie « Vehicle-to-Grid » mise en œuvre par DREEV, co-entreprise créée entre EDF et NUVVE. Ainsi, en activant en quelques secondes la charge et la décharge des batteries d'un grand nombre de véhicules électriques répartis sur le territoire national, DREEV peut contribuer à ajuster l'équilibre production-consommation, essentiel au bon fonctionnement du système électrique français et européen.

Le pilotage est possible via différents moyens techniques au travers du véhicule, de la borne, de dispositifs de gestion d'énergie dans les bâtiments et de comptage communicants²³ par exemple : un pilotage est d'ores et déjà possible via le véhicule électrique lui-même ou via une application mise à disposition par les constructeurs automobiles. L'installation d'un équipement de gestion active de l'énergie (Home Energy Management System – HEMS) qui pourra être relié au compteur Linky ou fonctionner indépendamment (dans l'infrastructure de recharge ou hors de l'infrastructure de recharge) permet aussi de piloter la recharge à distance.

Si en volume d'énergie et en fenêtre d'optimisation, le véhicule représente un gisement physique de flexibilité bien plus grand que tous les autres usages électriques, le coût de l'utilisation de cette flexibilité devrait également être compétitif par rapport aux autres usages.

Le surcoût d'un pilotage avancé pour l'utilisateur, afin d'effectuer une optimisation proche du temps réel ou pour participer aux marchés de l'électricité (ce qui aura de plus en plus de valeur notamment du fait de l'intégration des énergies renouvelables), devrait être raisonnable pour plusieurs raisons :

²² « Première en France : des véhicules électriques pourront participer à l'équilibrage en temps-réel du système électrique », Communiqué de presse, RTE, 2022

²³ « Véhicules électriques : optimiser les recharges grâce aux normes volontaires », AFNOR, 2017

- **L'arrivée du véhicule électrique arrive de manière concomitante avec le véhicule connecté** (pour différents services à l'utilisateur). Le coût complémentaire de communication pour le pilotage du véhicule est alors faible, inclus dans le prix du véhicule vu que tous les véhicules sont actuellement connectés, voire inexistant. La première offre de pilotage de ce type est commercialisée en France par la start-up néerlandaise Jedlix depuis décembre 2019 avec les véhicules Tesla. Les véhicules électriques sont pilotés à distance par Jedlix qui s'est associée avec différents fournisseurs d'électricité pour l'occasion ;
- **Le déploiement d'un parc de bornes de recharge nativement communicant** (via le Wi-Fi, GPRS, etc...). Par exemple, plusieurs pays européens (Belgique, Allemagne, Pays-Bas et encore Royaume-Uni) où les bornes de recharge 7-11 kW sont déjà généralisées dans le résidentiel, beaucoup de bornes sont communicantes et on estime qu'environ la moitié est effectivement connectée par les particuliers aux plateformes cloud des opérateurs de charge. Le protocole « ISO-15118 » permettra aux bornes d'échanger les données techniques nécessaires à l'optimisation avec les véhicules pour qu'un pilotage efficace puisse se faire entre le véhicule et l'infrastructure de charge. Si les plafonds de ces crédits d'impôt dans ces pays sont plus élevés, ceux-ci sont conditionnées à des caractéristiques techniques plus évoluées comme l'intégration du pilotage de la recharge. Cependant, en France, l'installation de borne n'est pas conditionnée à son pilotage ou sa connectabilité à internet.

A ces raisons s'ajoutent :

- **Le déploiement de dispositifs de gestion active de l'énergie de plus en plus courant.** Ces dispositifs permettent de mesurer l'ensemble des flux d'énergie à la maille du bâtiment et d'optimiser le fonctionnement, aussi bien des sources d'énergie (production photovoltaïque, électricité venant du réseau, etc.), que des récepteurs électriques (chauffe-eau, véhicule électrique, appareils électrodomestiques, etc.) et des systèmes de stockage. L'optimisation est le plus souvent réalisée par des algorithmes situés dans le « cloud » ou localement et qui utilisent des données externes (tarification de l'électricité, quantité de CO₂ dans le mix énergétique, prévisions météorologiques, contraintes des utilisateurs du bâtiment, etc.) ;
- **L'équipement des véhicules électriques avec un tableau de bord et/ou une application** permettant le pilotage de la recharge selon les besoins des utilisateurs des véhicules électriques ;
- Le déploiement pour la quasi-totalité des foyers français résidentiels du **compteur communicant Linky** (36 millions de compteurs fin 2022), qui contribue à assurer le pilotage en énergie et en puissance en temps réel. Il permet d'envoyer les informations nécessaires au pilotage du véhicule électrique en mode filaire ou en mode radio via un équipement

spécifique ajouté sur le compteur (ERL - Emetteur Radio Linky) par un déclenchement aux heures creuses du tarif d'électricité programmé dans le compteur (via la lecture de la TIC - Télé Information Client ou contact sec). Outre la transmission de signaux de changement tarifaire des fournisseurs, le compteur Linky est connecté au réseau public de distribution, permettant ainsi, de manière prospective, de contribuer au développement de flexibilités et d'échanges possibles entre les systèmes de charge des véhicules électriques situés en aval des compteurs Linky et le réseau public de distribution. Également, le compteur Linky mesure la consommation électrique du logement à une granularité fine, permettant la mise en œuvre de tarif d'électricité flexibles et ainsi contribuer à apporter une plus grande valeur économique du pilotage de la recharge pour l'utilisateur et le fournisseur.

- Le développement depuis 2022 de l'**application EcoWatt**, la météo de l'électricité, par RTE, avec le soutien de l'ADEME, en raison de la crise énergétique, visant à informer en temps réel de la consommation en électricité en France. Le dispositif vise à guider les particuliers, entreprises ou collectivités pour adopter les gestes permettant de limiter la consommation d'électricité lors des périodes de tension. Ce dispositif d'alerte indique les jours et les heures où les Français sont appelés à réduire et/ou décaler leur consommation d'électricité pour éviter les coupures ou en réduire leur durée.

L'acceptabilité de l'utilisateur des services réseaux a évolué mais la majorité des utilisateurs ne pilote pas leurs recharges

A partir d'une enquête comportementale réalisée auprès de plus de 1 000 utilisateurs de véhicules électriques, Enedis estime que la population globale privilégie la recharge à domicile à 83 %²⁴. En 2019, EDF et Enedis estiment que seulement 30-40% des particuliers possédant un véhicule électrique (à batterie et hybride rechargeable) décalaient régulièrement leur charge en heures creuses, même si les utilisateurs se disent sensibles aux économies de facture et à l'impact environnemental de la recharge. Cela peut avoir différentes explications possibles, par exemple la non-connaissance de son offre de fourniture d'électricité, les gains économiques limités, un moyen de pilotage non identifié ou bien un temps d'adaptation nécessaire après l'acquisition du VE. Comparativement au décalage du ballon d'eau chaude qui présente moins d'intérêt économique et qui est pourtant largement piloté, la recharge du VE n'a aujourd'hui rien d'automatique et pourrait être pilotée par le consommateur localement comme à distance.

Les sondages montrent que la pratique du pilotage de la recharge s'établit à 26 %. La proportion de personnes prêtes à décaler leur recharge pour rendre service au réseau est de 55 %. La raison majoritaire du décalage de la charge reste fondée sur l'envie de réduire la facture d'électricité grâce au dispositif d'Heures pleines / Heures creuses (70% des électromobilistes qui pilotent leurs recharges). La programmation horaire dans le véhicule

²⁴ « Enquête comportementale auprès des possesseurs de véhicules électriques », Enedis, 2023

reste majoritaire à 46 %, mais en baisse comparé avec l'enquête 2020. Le pilotage via l'application smartphone du constructeur automobile est en forte hausse, passant à 34 %.

Les solutions pour le pilotage ne sont pas encore unifiées : environ la moitié des utilisateurs qui décale leur charge le fait par l'environnement du véhicule (tableau de bord, application) et l'autre moitié par l'infrastructure de charge (via borne, prise, tableau électrique). A noter que la solution utilisant le signal de Linky pour piloter une borne de recharge est quasiment inexistante aujourd'hui.

Si l'offre de solutions devait s'enrichir dans les mois et années à venir, une action d'amorçage des pouvoirs publics pourrait être nécessaire afin d'augmenter l'incitation économique du pilotage de la charge sur place ou à distance, tel que l'évolution du crédit d'impôt borne de charge (CIBRE) pour l'installation d'une borne de recharge pilotée (statique et dynamique) et connectée, l'autorisation l'accès non discriminatoire aux données permettant de rassurer le pilotage (charge des véhicules, consommation du foyer, contrat d'électricité, etc.) par des acteurs tiers avec le consentement de l'utilisateur et le financement de projets d'innovation de pilotage dynamique et bidirectionnel, pour structurer la filière.

Quant aux professionnels, EDF estime toutefois que la part de véhicules non pilotés en entreprise est d'environ 90%. Dans les entreprises où se produit une grande partie des charges actuellement (flottes et salariés), les besoins concernent surtout le foisonnement à l'échelle du ou des parkings, la maîtrise de la puissance souscrite ou les raccordements à l'installation des infrastructures de charge. **Cependant les charges ne sont quasiment pas décalées**, ce qui peut potentiellement générer une pointe de consommation le matin du fait des véhicules de salariés et en soirée du fait des véhicules de flotte. Les réflexions autour de la maîtrise de la facture énergétique viennent en général dans un second temps.

Développement de la filière Vehicle-to-X

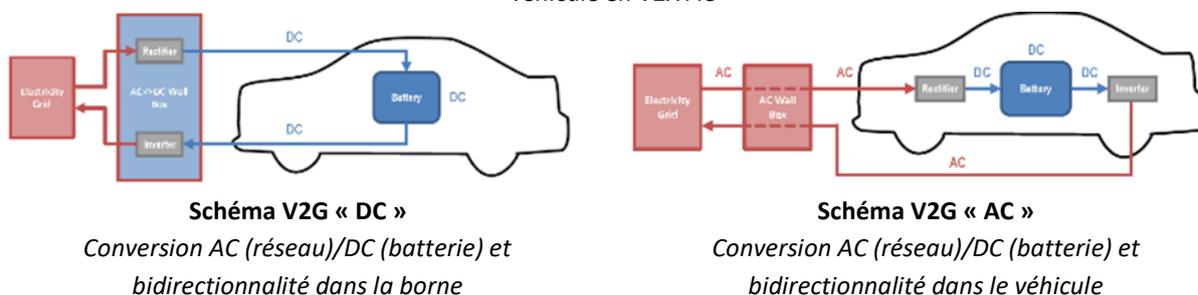
Concernant le Vehicle-to-Everything (V2X), aujourd'hui **les véhicules électriques dotés du standard de charge japonais « CHAdeMO », premier sur le marché (Nissan, Mitsubishi, etc...) et bientôt pour le standard de recharge « COMBO » permettent de réinjecter sur le réseau tout en échangeant les données pertinentes pour une optimisation énergétique**. Ces véhicules sont nativement compatibles en utilisant une borne de charge DC (conversion AC/DC dans la borne, normalement prévu pour les charges rapides) rendue bidirectionnelle, mais il faut prévoir un surcoût dans le véhicule qui peut être de plusieurs centaines d'euros pour être compatible V2X. L'inconvénient est qu'une borne DC présente un coût plus important qu'une borne de charge lente AC classique sans même considérer la fonction bidirectionnelle. **Les coûts ont néanmoins un potentiel de baisse rapide avec des effets volumes et les applications économiquement pertinentes existent déjà. Cependant, l'interopérabilité du V2G en CCS (en AC ou DC) n'est pas encore possible à cause du manque de maturité des normes et des standards.**

Le schéma V2X « AC »²⁵, disponible chez Renault à partir de 2024 par exemple, est d'assurer la bidirectionnalité directement dans le chargeur embarqué du véhicule (cas de la charge lente où la conversion AC/DC est effectuée dans le véhicule). Le surcoût matériel pour rendre une borne AC et un véhicule électriques bidirectionnels est alors bien moindre que celui pour une borne DC (un facteur 2 pourrait exister entre ces deux solutions techniques), mais **un constructeur automobile devra dans tous les cas arriver à un modèle économique viable, et la décision d'intégrer ces technologies sera difficile sans une vision plus claire de la réglementation associée**. Dans le cas V2G en AC, le surcoût de la bidirectionnalité est principalement dans le véhicule, ce qui engendre une augmentation du coût d'investissement du véhicule. Cependant, dans le cas du V2G en DC, le surcoût est principalement lié à la borne DC.

Cette technologie industrialisée permettrait ainsi d'accéder, avec une borne proche des standards actuels mais qui intègre aussi les éléments de la réversibilité, à un stockage à un coût relativement faible. **Vu du réseau électrique, les deux solutions AC et DC sont identiques : ces deux technologies ne sont pas à opposer** (Des spécificités techniques peuvent varier entre les deux technologies, notamment en temps de réponse). La question de la dégradation de la batterie est également souvent posée pour le V2X : la bidirectionnalité n'a pas d'impact spécifique sur le vieillissement des batteries autre que l'augmentation potentielle du nombre de cycles de charge (i.e. le nombre de kilomètres virtuellement parcourus). Les constructeurs travaillent à y répondre en définissant des plages d'optimisation possibles pour les agrégateurs (limitation des états de charge, températures, cyclages complémentaires, etc...). En s'assurant que la capacité de la batterie, qui est garantie par le constructeur, soit impactée de manière contrôlée par des services de V2X, et ce, tant que l'opérateur reste dans la plage définie.

Schémas des deux configurations techniques V2X possibles

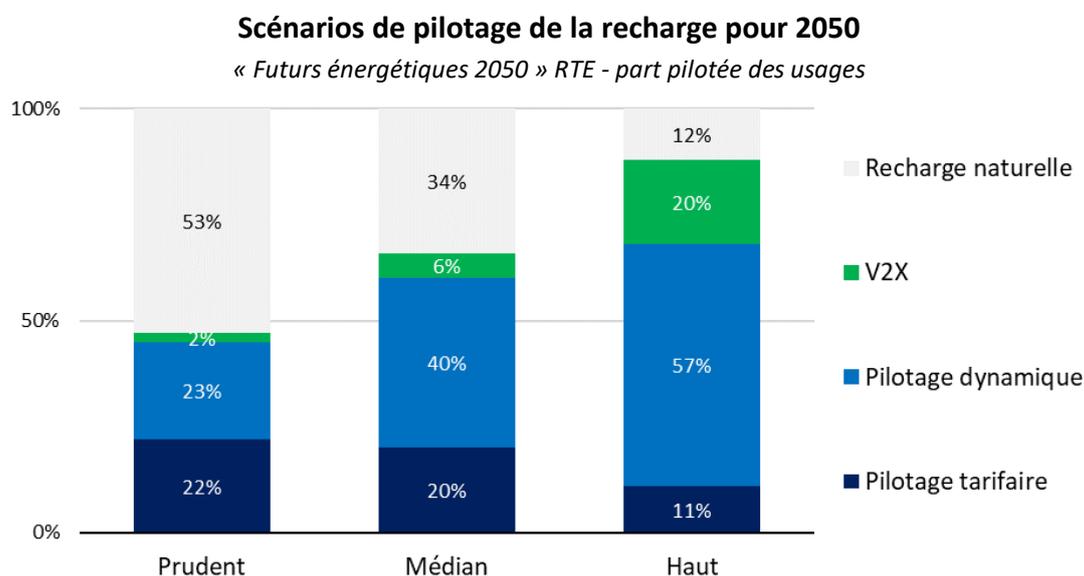
A gauche, le V2X DC avec conversion AC/DC bidirectionnelle dans la borne, à droite conversion AC/DC dans le véhicule en V2X AC



²⁵ Le schéma bidirectionnel « AC » est commercialisé par Hyundai et Kia, par le Vehicle-to-Load (V2L). Cette appellation est celle utilisée pour leur système qui se base sur l'énergie de la voiture pour recharger des objets que l'on branche dessus.

Une place significative pour le pilotage de la recharge dans les futurs scénarios 2050 de RTE

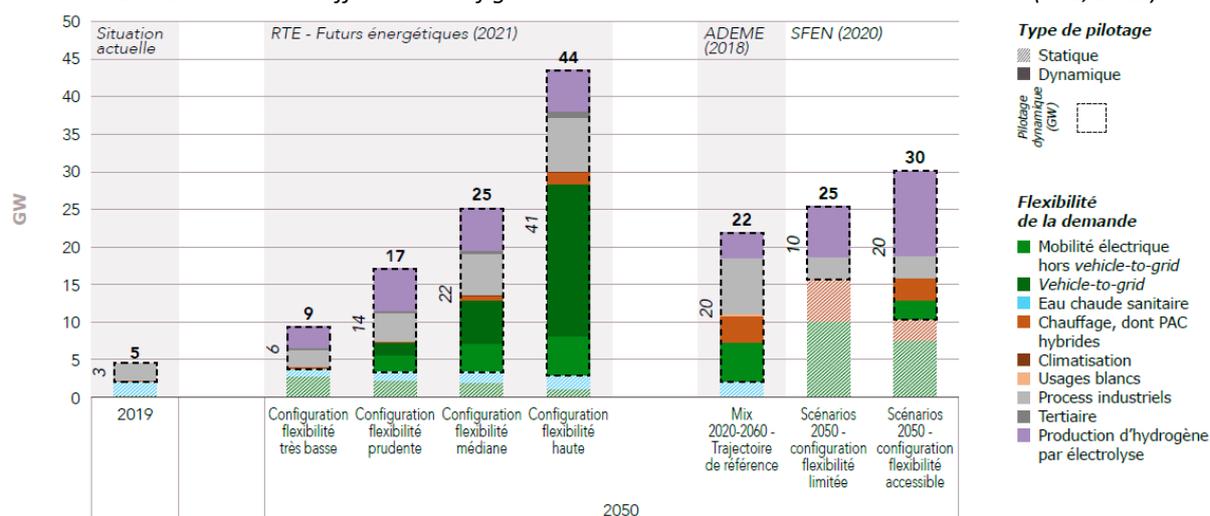
Le pilotage de la recharge (statique, dynamique et le Vehicle-to-X) n'en est qu'à son début mais pourrait par exemple **être un moyen très compétitif d'atteindre l'objectif PPE ambitieux des 7 GW effacements en 2028 et peuvent atteindre 25 GW en 2050 via le pilotage statique, V1G et V2G**. La filière du V2G se développe au niveau européen, dont la France, avec le lancement du projet EVVE, qui prévoit un déploiement de 800 bornes de recharge bidirectionnelles jusqu'en 2024.



Tous les scénarios RTE, dans le cadre de l'étude Futurs Énergétiques 2050, accordent une **place significative au pilotage de la recharge**. Les différents moyens du pilotage de la recharge seront développés ultérieurement dans ce rapport. Le **scénario prudent** consiste en une **adoption du pilotage basée sur des études comportementales réalisées avant 2019** (étude CREDOC) : il est donc considéré dans ce scénario que les utilisateurs de véhicules électriques auront la même appétence pour une recharge pilotée en 2050 qu'avant 2019. Le **scénario médian** présente une implémentation plus volontariste du pilotage dynamique, avec des **changements comportementaux** liés à l'arrivée du VE et d'une meilleure compréhension de la recharge des véhicules et de leur intégration dans le système électrique, qui facilitent l'adoption du pilotage de la recharge.

Puissances moyennes effaçables de la demande d'électricité et nature du pilotage (statique ou dynamique)

À l'horizon 2050 dans les différentes configurations considérées et dans les études externes (RTE, 2021)



Le **pilotage tarifaire²⁶** est la solution de base du pilotage qui assure un premier niveau de pilotage et permet l'adoption de solutions plus fines comme le pilotage dynamique.

Le **pilotage tarifaire et le pilotage dynamique²⁷** sont amenés à se massifier largement : ces modes de pilotage sont pertinents dans la quasi-totalité des usages de recharge en temps non contraint. Le **V2X²⁸** représentera un nombre de véhicules plus restreint, dans des **cas d'usages plus spécifiques**, mais avec une **grande valeur ajoutée** pour le système électrique qui pourrait atteindre environ 20 GW en 2050.

Le **pilotage dynamique est une brique indispensable** dans le fonctionnement du système électrique de demain : les variations de production liées aux énergies renouvelables nécessiteront de pouvoir adapter une partie de la consommation de façon dynamique. **Il est donc important de déployer massivement tout type de pilotage (statique, dynamique et la recharge bidirectionnelle) afin d'éviter les pointes de consommation nationales, s'adapter aux variations de production des énergies renouvelables et participer aux services systèmes.** Pour autant, il restera une part non négligeable de la population qui restera durablement attachée à des solutions simples : pour ces utilisateurs, le pilotage tarifaire est un bon compromis entre la recharge naturelle (dont l'impact est négatif pour le système électrique) et le pilotage dynamique.

²⁶ Voir définition page 20.

²⁷ Voir définition page 23.

²⁸ Voir définition du V2H, V2B page 26 et du V2G page 32.

Dans le cas de la recharge publique (**en voirie²⁹ et sur les autoroutes**), deux cas d'étude se présentent :

- **Le pilotage de la recharge est possible pour les stationnements de longue durée, notamment la recharge à destination ;**
- **Le pilotage de la recharge est difficilement applicable pour les stationnements de courte durée, parce que la charge doit dans la majorité des cas s'effectuer le plus rapidement possible.** Cette part de cas d'usages restera de la « recharge naturelle », avec au plus un pilotage local de l'énergie.

Même si le V2X représente une part bien moins importante des véhicules que le pilotage tarifaire et le pilotage dynamique, sa contribution pour le système électrique peut être significative.

Les enjeux de réglementations (notamment pour l'injection dans le réseau de distribution) et de market design sont déterminants pour le succès de cette filière où les acteurs français et européens pourraient se démarquer par rapport à la concurrence étrangère en raison de la solidité et de l'intégration du réseau électrique européen.

Les effets des modes de pilotage à long terme

A long terme, le choix des modes de pilotage des véhicules électriques **aura un impact certain en termes économique et environnemental sur le mix de production**, résumé dans le graphique ci-après présentant l'impact sur les bilans de production d'électricité du pilotage généralisé de la charge.

Ces écarts de bilan de production, liés au déplacement de la charge, montrent que le pilotage de la recharge des véhicules électriques en France permet³⁰ :

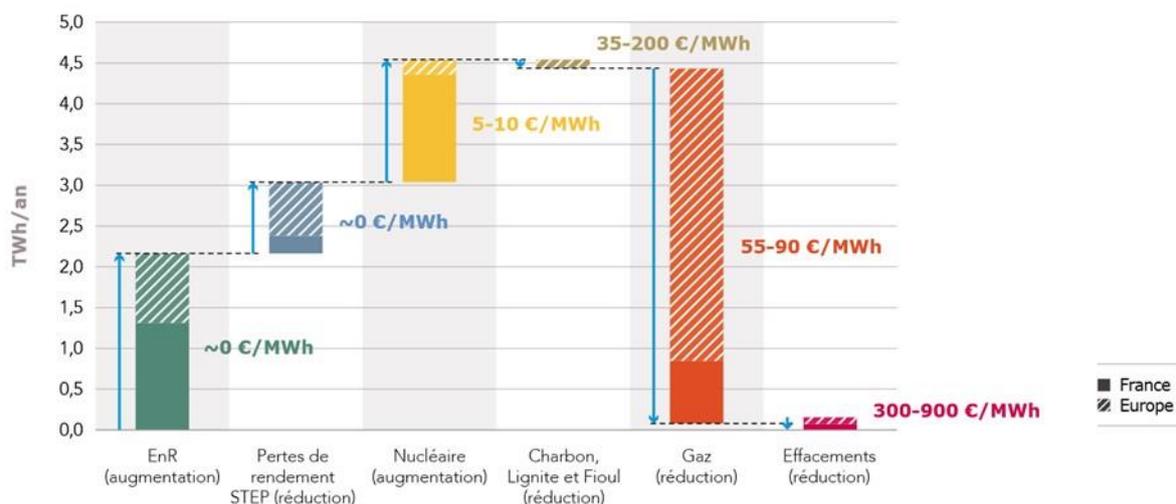
- **D'éviter l'utilisation de centrales fossiles** en France et en Europe (via l'effet sur imports/exports) **diminuant les émissions de CO₂ et le coût de production élevé de ces centrales ;**
- **De consommer les excédents d'énergie lors des périodes de demande résiduelle faible** (permettant d'éviter l'écêtement d'ENR ou bien de la modulation nucléaire à coût marginal faible et dont le contenu carbone est nul) ;
- **De réduire le besoin de modulation des centrales nucléaires.**

²⁹ L'ensemble des biens du domaine public selon l'article L. 111-1 du code de la voirie routière.

³⁰ Bilan prévisionnel Édition 2023, RTE, 2023

Effets sur les bilans énergétiques du pilotage de la recharge des véhicules électriques à l'horizon 2035

Selon différentes variantes – Comparé à une situation sans pilotage (RTE, 2019)



Tous ces résultats restent valables et sont fortement accentués dans le cas du V2X qui permet de déstocker de l'énergie pendant les moments de pointe pour stocker d'éventuels excédents d'énergie fatale durant les heures de faible consommation. Sur le plan économique, **le gain économique en résultant est évalué entre quelques centaines de millions et de l'ordre d'un milliard d'euros par an à l'échelle du système électrique, en fonction du bouquet de flexibilité considéré en France et en Europe.** Sur le plan environnemental, la gestion de la charge du VE est considérée comme **un levier puissant pour diminuer son empreinte carbone** à côté d'autres paramètres comme le pays de production ou la taille des batteries. La meilleure intégration économique des énergies renouvelables permettra dans le cadre de la PPE à 2035 de **limiter leurs subventions ce qui présentera des économies la facture énergétique des consommateurs.**

La flexibilité des véhicules électriques permettra de pallier la forte variabilité de la demande résiduelle à la maille journalière et hebdomadaire (et bien entendu toutes les fluctuations proches du temps réel) mais ne répond en aucun cas **aux variabilités du système électrique à la maille pluri-hebdomadaire** (variabilité qui va être de plus en plus importante notamment du fait de l'éolien qui peut avoir une production forte pendant 15 jours puis ne plus rien produire pendant une semaine) **ou bien annuelle.**

L'utilisation de la flexibilité des véhicules électriques est donc très pertinente pour optimiser les ressources ENR dans le cadre du mix français projeté à l'horizon 2035 au profit du consommateur et de la transition énergétique, au détriment des moyens de production les plus polluants et onéreux en France et en Europe.

Calendrier général du déploiement du V1G/V2X

Au cours des dernières années, l'émergence du véhicule électrique a conduit à une action publique axée sur l'installation massive de bornes ouvertes au public pour soutenir son développement pour le court, moyen et long terme. Cependant, compte tenu du taux de pénétration significatif du véhicule électrique en France et de la nouvelle situation énergétique à l'échelle européenne, **l'Avere-France considère qu'il est désormais nécessaire que l'action publique se concentre sur des mesures visant à intégrer de manière équilibrée la recharge de ces véhicules dans le système électrique.**

Cette action est d'autant plus nécessaire que le marché du véhicule électrique est dans sa phase de démarrage : si les incitations au pilotage de la recharge sont impactantes dès à présent, les investissements à réaliser à l'avenir en seront réduits d'autant – tant pour les particuliers (pas d'équipement supplémentaire à installer dans les années à venir) que globalement pour le système électrique (économie estimée de 400 à 700 M€ /an³¹). Une action a posteriori en faveur du pilotage de la recharge générerait au contraire des investissements majorés et un enjeu d'acceptabilité pour les particuliers.

Le **plan de sobriété énergétique** du gouvernement met en avant plusieurs priorités pour une utilisation raisonnée de l'électricité, auxquelles le pilotage de la recharge, et notamment le pilotage tarifaire, répond :

1. Le pilotage de la charge ne permet pas directement de **consommer moins d'énergie**. Il permet toutefois de moins solliciter les moyens de pointe, donc de **consommer moins d'énergies fossiles** ;
2. Le pilotage de la recharge permet surtout de **consommer régulièrement aux meilleurs moments**, comme le démontre l'ensemble de ce document. Il permet de disposer d'un **levier majeur de pilotage de la consommation** ;
3. Le **pilotage dynamique** (permis et amplifié avec le pilotage tarifaire) permettrait de disposer de marges de manœuvres conséquentes de **sauvegarde pour le système électrique** en cas de tension. Il permet d'absorber la production d'énergie renouvelable et profiter des prix négatifs de l'électricité. Le **V2X** est également par définition un levier important de cette résilience.

³¹ « Les enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique », Avere-France et RTE, 2019. Ces chiffres seront actualisés dans le Bilan Prévisionnel de RTE fin 2023.

Objectifs du livre blanc

Cette note de position issue du groupe de travail « Smart charging et V2X » de l'Avere-France reflète la vision consensuelle de ses membres sur **les services énergétiques que peut rendre la mobilité électrique (véhicules et IRVE) à ses utilisateurs et au système électrique**. Ce document vise en particulier les services de *smart charging*, *Vehicle-to-Grid (V2G)*, *Vehicle-to-Building (V2B)* à l'échelle d'un bâtiment ou *Vehicle-to-Home (V2H)* à l'échelle d'un logement et plus généralement *Vehicle-to-anything (V2X)*, voir chapitre 2. Il traite des conditions à réaliser ainsi que des mesures à prendre pour favoriser leur essor.

Il abordera en priorité les sujets de réglementation (évolutions nécessaires), voir chapitre 3, et de conditions d'attractivité économique pour les acteurs participant à la réalisation de ces services (clients, opérateurs, gestionnaire de réseaux...). Il évoquera aussi l'attractivité client pour de tels services et des retours d'expériences des différents cas déjà implémentés en France et en Europe.

Ce document n'a pas vocation à traiter des conditions techniques (communications, interopérabilité) nécessaires pour permettre ces services ni de discuter des offres de marché existantes.

Méthodologie d'élaboration

Les positions prises dans ce document ont été élaborées via la **recherche d'un consensus sur les barrières et complexités réglementaires existantes ainsi que les freins à l'attractivité économique qui peuvent en découler. L'attractivité économique ainsi que la faisabilité et la maturité technique qui l'impactent ont aussi été étudiées.**

Le groupe de travail a mené une analyse croisée entre les mécanismes de valorisation potentiellement utilisables pour des services énergétiques reposant sur la batterie des véhicules électriques selon différents cas d'usage de recharge. Pour chaque mécanisme, la pertinence d'utiliser des services de smart charging de V2G ou de V2H/V2B a été analysée.

La pertinence des modèles de valorisation énergétique des batteries du véhicule électrique selon différents cas d'usage a été analysée selon trois critères : faisabilité technique actuelle, faisabilité réglementaire actuelle et attractivité économique.



Analyse de potentiel de valorisation des services énergétiques rendus par la re(dé)charge des batteries du véhicule électrique

Principaux cas d'études : à domicile, au travail et sur la voirie

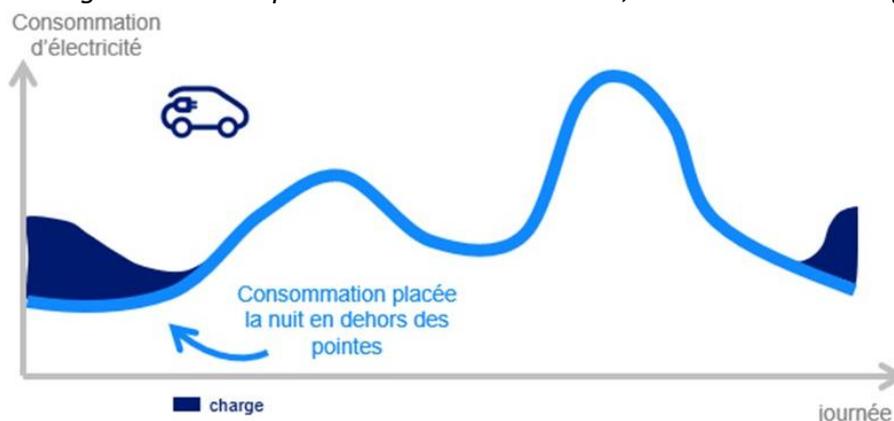
Le cas de la recharge en résidentiel (à domicile ou en habitat collectif)

Le pilotage statique présente le premier niveau du pilotage de la recharge du véhicule électrique à adopter massivement à court terme

Le pilotage statique, ou le pilotage statique tarifaire, présente le premier niveau du pilotage de la recharge et consiste à **décaler la recharge** du véhicule électrique **pendant les heures creuses** de son tarif d'électricité. Ce mode de recharge conduit à **éviter les pointes de consommation du soir** liées au véhicule électrique, et place aux heures où le système électrique est en général le moins contraint : la nuit ou en milieu de la journée. Cette période est également celle durant laquelle les particuliers n'utilisent généralement pas leur véhicule, et est la plupart du temps suffisante pour assurer la recharge.

Schéma simplifié du pilotage tarifaire

La recharge du véhicule pendant les heures creuses, notamment la nuit (EDF)



Pour une majorité d'utilisateurs de véhicules électriques, il est souhaitable que cette solution de recharge à **domicile** « décalée » soit la **solution de base**, mise en œuvre **par défaut**, que ce soit en maison individuelle ou en habitat collectif. Cette solution est très similaire à ce qui est réalisé actuellement pour les ballons d'eau chaude. On estime que 80% des ballons d'eau chaude sont asservis au signal des heures creuses, ce qui d'après RTE³² permet d'éviter des appels de puissance sur la pointe du soir de l'ordre de 2 GW en moyenne. **En 2030, on prévoit que les véhicules rechargeant à domicile représenteront un potentiel d'appel de puissance déplaçable deux fois supérieur aux ballons d'eau chaude pilotés³³.**

Afin de limiter l'augmentation de la pointe électrique liée aux déclenchements des ballons d'eau chaude et de la recharge des véhicules, parfois simultanés, une réflexion sur le cadre technique de déclenchement des heures creuses pourrait être engagée : sans changer la grille tarifaire ou les heures creuses, **il s'agirait de décaler le déclenchement du ballon d'eau chaude et de la recharge du véhicule**. Cette réflexion tendrait à aborder tant les impacts et moyens techniques que l'expérience utilisateur.

D'un point de vue technique, le pilotage statique tarifaire est simple à mettre en œuvre. Ce mode de pilotage peut être réalisé par plusieurs solutions : avec le compteur Linky (avec ou sans TIC, avec ou sans internet), par la liaison télématique du véhicule électrique (application mobile ou directement sur le tableau de bord), les logiciels embarqués du véhicule électrique et sans aucune connectivité, un gestionnaire local d'énergie (Home Energy Management System – HEMS), etc. Ces différents modes de pilotage permettront le déclenchement de la recharge en heures creuses par défaut. **Cependant, le pilotage statique tarifaire est aujourd'hui très peu mis en œuvre. D'après l'enquête d'Enedis³⁴, en France, seulement 35% des utilisateurs pilotent la recharge de leurs véhicules suivant le pilotage statique.** En comparaison, au Royaume-Uni, toutes les bornes installées à domicile doivent être programmées par défaut³⁵ pour de la recharge de nuit depuis juillet 2022, et doivent par ailleurs être communicantes (via internet) pour pouvoir réaliser un pilotage dynamique si l'utilisateur le souhaite.

En France, le cadre réglementaire et/ou les aides à l'installation pourraient de façon similaire inciter à l'installation de bornes disposant d'un moyen de pilotage de la recharge du véhicule électrique. Le décalage de la recharge est déjà réalisable aujourd'hui de différentes manières (application du véhicule, borne programmable, tableau de bord du véhicule, gestionnaire d'énergie local, etc.), mais très peu mis en œuvre. Il serait important d'assurer une adoption massive du pilotage statique tarifaire.

³² « Futurs énergétiques 2050 », RTE, 2021

³³ En considérant 5 millions de véhicules électriques en maison en 2030, avec une puissance de 800 MW appelée à la pointe par million de VE non pilotés. L'allègement de puissance soutirée à la pointe serait alors de 4 GW.

³⁴ « Enquête France sur l'utilisation des systèmes de pilotage de la recharge », Enedis, Octobre 2022

³⁵ « Electric Vehicle Smart Charging Action Plan », BEIS & OFGEM, Janvier 2023

D'un point de vue utilisateur, la charge décalée de nuit se réalise sans impact dans la grande majorité des cas. Pour autant, il est essentiel de prévoir une **option « charge forcée »** sur la borne qui permettra à l'utilisateur de déroger au fonctionnement par défaut en cas de besoin – comme pour les ballons d'eau chaude. Le pilotage de la recharge dépendra également de l'offre de fourniture d'électricité.

- **Le contrat Tarif Réglementé de Vente (TRV)**

Le contrat Tarif Réglementé de Vente (TRV) « option base » se base sur un même tarif de l'électricité durant toute la journée. **Les contrats aux TRV représentent aujourd'hui une immense majorité des contrats d'électricité, et constitueront très probablement une part significative à l'avenir.** A fin 2022, plus de 21 millions de foyers disposaient d'un contrat TRV. En 2022, 35% des clients au TRV avec un véhicule électrique qui se recharge à domicile disposent d'un tarif « base » (sans heures pleines et heures creuses), et 73% d'entre eux n'ont même pas envisagé la possibilité de passer à un contrat « heures pleines / heures creuses » après l'acquisition du véhicule³⁶. **Sans heures creuses, ils n'ont alors pas d'incitation tarifaire à décaler les recharges la nuit, ni de pédagogie en ce sens.** Parmi les électromobilistes disposant d'heures creuses, 45% ont une recharge naturelle qui débute au branchement du véhicule, sans décalage. **Au total, selon une estimation d'EDF, c'est donc 65% des clients au TRV qui n'ont pas de pilotage de leur recharge.**

Aujourd'hui, **il n'existe pas d'incitation claire pour les clients aux TRV possédant un véhicule électrique à passer à un tarif avec des heures creuses ou à décaler la recharge de leur véhicule automatiquement lorsqu'ils disposent déjà de ce tarif.** Il est donc nécessaire d'engager des actions de communication auprès des clients au TRV pour les inciter au pilotage de leur recharge. **Ces actions pourraient être relayées par les campagnes de communication initiées par les pouvoirs publics autour du plan « Sobriété », ce pilotage présentant un véritable intérêt pour l'ensemble de la collectivité, afin d'éviter les pointes de consommation nationales.** Il est à noter que **pour les clients qui sont déjà aux TRV, EDF peut également promouvoir des options HP/HC et Tempo.**

- **L'option heures pleines / heures creuses (HP/HC) et l'option Tempo**

L'option heures pleines / heures creuses (HP/HC) se base sur un tarif variant selon le moment de la journée (16 h d'Heures Pleines et 8 h d'Heures Creuses) et **l'option Tempo** se base sur une variation du tarif varie selon trois types de journée correspondant aux éventuelles périodes de tension sur le réseau (jour bleu, blanc et rouge). Le pilotage statique tarifaire est à mettre en place en fonction des tarifs de la journée. **Une communication active par l'ensemble des fournisseurs d'électricité sur l'intérêt des tarifs intégrant une différenciation horaire ou journalière pour les utilisateurs de véhicules électriques est donc nécessaire pour favoriser le premier pilier du pilotage de la recharge.**

³⁶ « Enquête BVA et EDF R&D », 2022

Le pilotage tarifaire est le **niveau de base du pilotage de la recharge, déployable rapidement et à grande échelle**. D'autres modes de pilotage plus fins existent : le pilotage dynamique via une borne connectée ou via la télématique du véhicule, voire les deux à la fois. Ceux-ci permettent de réaliser une optimisation plus fine, de prendre en compte davantage de signaux, et de réaliser des services plus évolués pour le système électrique, une adaptation dynamique à l'équilibre du système électrique ou la production solaire locale si elle existe, au niveau local et national. Le pilotage tarifaire n'a pas pour vocation d'aller aussi loin dans l'optimisation, il **assure un premier niveau de pilotage**, indispensable pour a minima décaler la recharge du véhicule de la pointe de consommation du soir. Il doit pour autant permettre les modes de pilotage plus fins, à l'instar de ce qui est réalisé au Royaume-Uni : le pilotage tarifaire **permet techniquement** les modes de recharge dynamique, si l'utilisateur le souhaite. D'un point de vue technique, cela signifie que **les bornes installées dans le cadre du pilotage tarifaire doivent être connectables à internet sans ajout d'équipement supplémentaire**, par exemple des boîtiers externes qui assurent la connectivité entre la borne et le réseau internet, c'est-à-dire prêtes à échanger dans un protocole ouvert avec une plateforme d'optimisation de la charge si l'utilisateur le souhaite. En incitant au pilotage tarifaire, les utilisateurs seront mieux sensibilisés, orientés et conseillés sur l'intérêt du décalage de la recharge : ce mode de pilotage sera adopté massivement. Sur la base du pilotage tarifaire, l'adoption de solutions de pilotages plus fins en sera facilitée sur les plans techniques et comportementaux.

Le pilotage statique tarifaire, le premier niveau du pilotage de la recharge du véhicule électrique, est une solution de base à faire adopter massivement et à court terme pour la recharge à domicile. L'incitation au pilotage tarifaire via des bornes pilotables est ainsi une option sans regret, qui permet et facilite les modes de recharge plus évolués, tout en assurant le minimum de pilotage nécessaire pour le système électrique.

Le pilotage dynamique, permettant de répondre à des signaux en temps réel, à adopter en second temps

En parallèle de la gestion des pointes de consommation, le système électrique doit également de plus en plus **s'adapter aux variations de production** liées aux énergies renouvelables intermittentes : solaires et éoliennes. Pour **capter ce surplus d'énergie décarbonée, c'est le pilotage dynamique** qui va jouer. Ce type de pilotage peut couvrir une dénomination très large. Dans ce document, le **pilotage dynamique** (aussi appelé V1G) pouvant réagir à des **signaux du système électrique** (prix de l'électricité en temps réel, signal d'effacement, signal Ecowatt de RTE, etc.). Pour optimiser efficacement la recharge, tout en garantissant une **expérience utilisateur optimale**, ce type de solution doit prendre en compte les **besoins de mobilité de l'utilisateur** : par exemple, la recharge sera pilotée en s'assurant que le véhicule soit toujours chargé à 80% tous les matins. De cette manière, la recharge peut être placée aux heures où l'électricité est la plus abondante sur le réseau, tout en **garantissant au conducteur que son véhicule sera prêt à l'heure dite** : contrairement au pilotage tarifaire qui va placer la recharge aux mêmes heures tous les jours, le pilotage dynamique va pouvoir la placer aux

meilleures heures de chaque jour et chaque nuit. Il permet d'adapter, en temps réel, la puissance appelée à la puissance disponible pour des recharges seules ou simultanées, en fonction de plusieurs paramètres et en utilisant plusieurs moyens :

i. Avec une borne connectée

D'un **point de vue technique**, il est courant que le pilotage dynamique fasse intervenir :

- Une **borne connectée**, qui puisse interagir avec une plateforme d'optimisation, local et/ou via cloud, faisant l'interface entre les différentes sources de données. La borne connectée, **en lien avec le compteur Linky**, permet de prendre en compte la puissance disponible au compteur de la maison et par ce biais les autres usages de la maison. En particulier, cela permet de pouvoir déclencher la recharge en cas de **surplus de production d'énergie solaire** si elle existe, **afin de maximiser le taux d'autoconsommation**. Par ailleurs, c'est également grâce au compteur Linky que le fournisseur d'énergie peut relever la modification horaire de la consommation du client (effacement, déplacement temporel de la charge), et donc **le rémunérer pour le pilotage effectué**.
- Une **interface utilisateur** par le biais d'une **application** ou d'un **site web** est souvent associée à l'infrastructure de recharge. Cette interface permet de renseigner l'utilisateur sur l'impact du véhicule sur sa facture d'électricité, de suivre les charges réalisées et de renseigner les informations nécessaires au pilotage de la recharge. En particulier, l'utilisateur peut y indiquer ses besoins de mobilité de l'utilisateur : « le véhicule doit être chargé à 80% à 7h du matin tous les jours » par exemple.
- Une **plateforme d'optimisation**, qui a pour avantage de pouvoir **agrèger une grande quantité d'informations** : besoins utilisateurs, signaux économiques et CO₂ en temps réel, signaux RTE, GRD, contraintes de puissances locales, production locale, optimisation de la durée de vie batterie, etc. **Cette vision globale permet de réaliser les charges les plus bénéfiques pour l'ensemble des parties prenantes** : le système électrique voit sa résilience augmenter grâce au potentiel de flexibilité de la consommation, l'électromobiliste dispose d'une recharge plus économique sans impact sur son utilisation, et les émissions de CO₂ de la recharge baissent par rapport à une recharge non pilotée.

Comme pour chaque mode de pilotage de la recharge, un mode « charge forcée » doit être disponible.

L'un des principaux freins au développement de ce mode de pilotage réside dans l'actuelle difficulté de partage de données. Pour améliorer le pilotage de la recharge, il faudrait que tous les objets, et donc les acteurs, se partagent les données pertinentes en utilisant des protocoles ouverts et standardisés sans aucun coût. Cela s'applique à tous les équipements utilisés qui participent au pilotage de la recharge : le véhicule, la borne, le HEMS, les informations du contrat d'énergie, etc. A titre d'exemple, la donnée du niveau de charge du

véhicule au niveau des bornes installées à domicile présente une donnée importante pour le pilotage de la recharge du véhicule³⁷. A date, ces données doivent être récupérées au niveau de la plateforme d'optimisation directement auprès des constructeurs (en passant par la télématique des véhicules), ou auprès d'agrégateurs de données. Il en résulte alors un coût, qui limite l'intérêt de ce type de pilotage pour l'utilisateur aujourd'hui.

ii. Via la télématique du véhicule

Le pilotage dynamique peut également être effectué sans borne connectée, **directement via la télématique du véhicule**. Selon les constructeurs automobiles réunis au sein de l'Avere-France, les véhicules vendus actuellement disposent quasi-intégralement d'une connectivité. Les constructeurs automobiles permettent à leurs utilisateurs de contrôler une partie des paramètres de leur véhicule via l'application qu'ils fournissent.

Le pilotage dynamique proposé est alors très proche du cas d'usage ci-dessus, à la différence que la borne connectée n'intervient pas. Il en résulte que la charge du véhicule ne pourra pas être optimisée avec la prise en compte d'éventuels surplus de production d'énergie renouvelable locale. **En garantissant la mise à disposition non discriminatoire de toutes les données issues de tous les équipements nécessaires au pilotage de la recharge** (le véhicule et/ou la borne et/ou le compteur d'énergie et/ou le fournisseur d'énergie et/ou l'HEMS et/ou le système de production local PV) **via l'utilisation de protocoles ouverts, le véhicule électrique, à travers la télématique, pourrait réaliser une optimisation en ayant une vue d'ensemble de tout le couplage.**

iii. Par un gestionnaire local de l'énergie

Dans le cadre du pilotage local de l'énergie, des données sont partagées parfois en temps réel et qui sont ouvertes localement. Ceci est le cas de la TIC avec un signal toutes les deux secondes. Ces données ne sont pas accessibles à distance. **Cependant, les données du véhicule, notamment l'état de charge de la batterie (SoC) n'est pas encore possible, notamment en AC chez les particuliers.** La mise à disposition non discriminatoire de toutes les données en temps réel permettra donc une optimisation fine de la charge et présente un enjeu de diffusion de la technologie V1G de première importance.

iv. Avec offre de fourniture associée

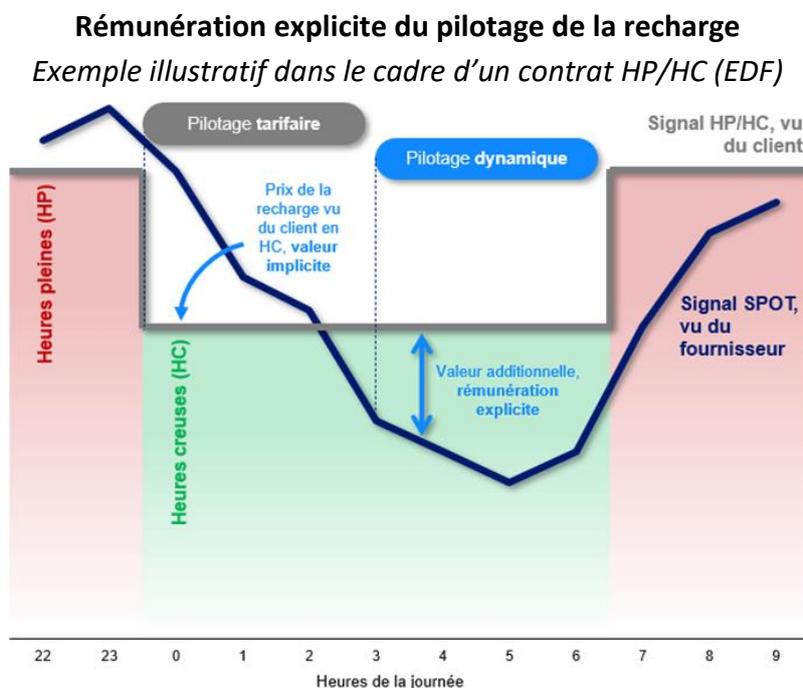
Les deux modes de pilotage dynamiques précédemment décrits ont une **compatibilité naturelle avec des offres de fourniture d'électricité « dédiées » à l'usage « véhicule électrique »**. Ces offres de fourniture peuvent avoir plusieurs formes, mais ont pour **but commun de restituer à l'électromobiliste une partie de la valeur du pilotage de la recharge pour le système électrique.**

³⁷ Le niveau de charge n'est communiqué qu'aux bornes chargeant en courant continu, c'est-à-dire dans la majorité des cas les bornes publiques rechargeant à forte puissance. Les bornes en courant alternatif, représentant la quasi-totalité des bornes à domicile, ne disposent aujourd'hui pas de cette information.

On distingue deux façons pour que l'utilisateur obtienne la valeur économique du pilotage de son véhicule : la **rémunération explicite et implicite**. Dans une **rémunération implicite**, l'utilisateur aura un contrat d'électricité moins cher (heures « super creuses ») voire dynamique : la valeur du pilotage est directement intégrée et anticipée dans le contrat d'électricité, et le client n'a plus qu'à charger aux heures les moins chères de son contrat pour en bénéficier. Dans le cas d'une **rémunération explicite**, l'utilisateur dispose d'un tarif « classique » (heures-creuses statiques) : son fournisseur lui restitue alors la valeur du pilotage « après-coup », selon ce qui a été réalisé, par exemple sous la forme d'une cagnotte. Le mode de rémunération explicite est rendu possible grâce au relevé au pas horaire de la consommation électrique permis par le compteur Linky.

Par exemple, une offre de fourniture dédiée au pilotage dynamique pourrait avoir la forme d'un tarif heures creuses standard où la recharge du véhicule est placée aux meilleures heures (parmi les heures creuses) selon les prix SPOT de l'électricité. Cette optimisation de la recharge permet au fournisseur d'énergie de mieux acheter l'électricité sur les marchés. L'utilisateur final dispose alors d'une rémunération pour ce comportement vertueux : une part implicite (la recharge est effectuée en heures creuses) et une part explicite (la part « gagnée » sur les marchés par le fournisseur d'électricité).

Cette offre de fourniture évoluée, ajoutée aux autres bénéfices du pilotage dynamique (garantie de recharge à l'heure dite, autoconsommation), constitue une **motivation forte au pilotage de la recharge** : elle permet à l'utilisateur du véhicule de réduire les coûts d'utilisation de sa voiture, tout en ayant un comportement vertueux pour le système électrique tant d'un point de vue économique qu'écologique.



Pour une meilleure insertion des énergies décarbonées et répondre aux signaux externes, le pilotage dynamique se présente comme l'une des solutions à adopter massivement pour le moyen terme, notamment dans le cadre de la recharge à domicile. L'adoption du pilotage statique et la mise en place des données d'une façon non discriminatoire de tous les objets connectés présentent cependant des prérequis.

Vehicle-to-Home (V2H) ou Vehicle-to-Building (V2B) dans le cadre résidentiel pour une optimisation de la facture énergétique

Le **Vehicle-to-Home (V2H)** est très similaire au pilotage dynamique avec borne connectée, en faisant intervenir toutefois un **véhicule compatible** et une **borne bidirectionnelle** : l'énergie du véhicule peut être réinjectée dans la maison. **Le cas d'usage qui sera le plus fréquent dans le résidentiel est l'utilisation de pair avec de la production solaire, mais cela n'est pas un prérequis pour y trouver un intérêt économique et/ou environnemental.**

Parce qu'elle peut réinjecter de l'énergie du véhicule, l'infrastructure de recharge permet d'accroître significativement la valeur ajoutée du pilotage de la recharge pour le système électrique par rapport au pilotage dynamique. Une borne bidirectionnelle permet en effet de placer au mieux la recharge dans la journée comme le pilotage dynamique, mais surtout de réinjecter l'énergie de la batterie aux heures les plus chères de la journée. Ce mode de recharge peut ainsi être **utile au réseau (RTE notamment, potentiellement Enedis dans le futur)** : contribution au réglage de fréquence, effacements, etc. La valeur économique pour le client est alors multipliée.

Le Vehicle-to-Home se distingue du Vehicle-to-Grid : le véhicule ne réinjectera pas sur le réseau directement, mais effacera au maximum la consommation de la maison. La puissance de réinjection sera limitée par le talon de consommation de la maison, ce qui limite la portée des optimisations et des services rendus au système électrique. Dans le cas du V2H, il est probable que l'optimisation de production locale d'électricité renforce l'attractivité de cette solution pour l'utilisateur.

Par ailleurs, le développement du V2H est aujourd'hui freiné par plusieurs barrières :

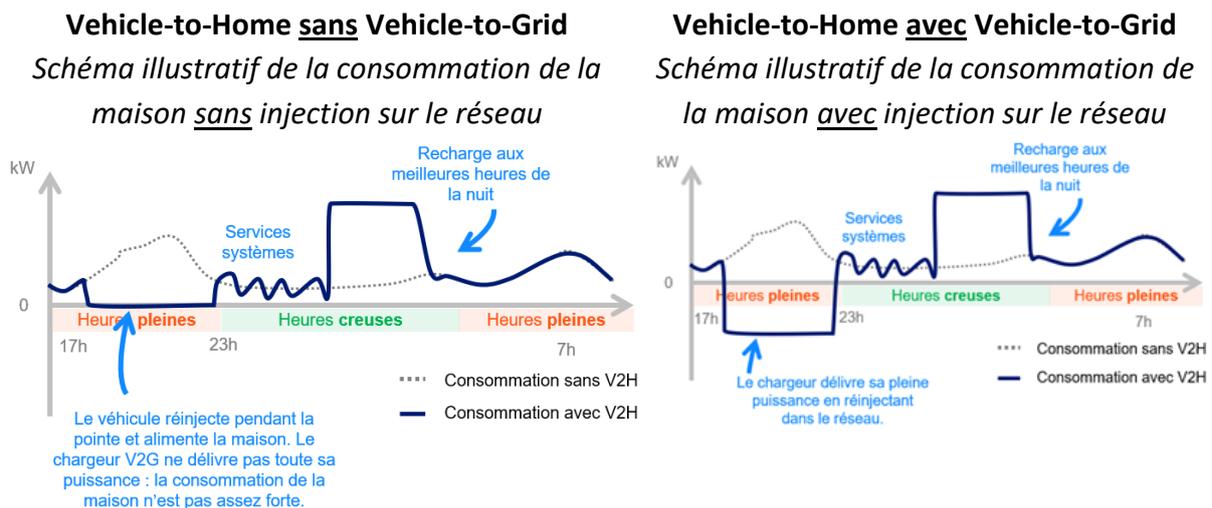
- **L'investissement nécessaire** pour l'installation d'une borne bidirectionnelle qui est supérieure à une borne unidirectionnelle et une prise renforcée ;
- Le manque de maturité de **l'interopérabilité entre les bornes et les véhicules**, qui est en cours de développement ;
- Le manque de **maturité des protocoles de communication** entre les différents composants/acteurs, notamment le protocole ISO 15118-20 entre la borne et le véhicule qui permet le V2X. Les différents acteurs regroupent : la borne, le véhicule, le fournisseur d'électricité (pour la tarification), la source de production solaire, le HEMS, etc. ;

- Le **couplage entre une borne de recharge et une source de production d'énergie solaire reliées au même point de livraison** : Il est à noter qu'il est important de trouver des solutions harmonieuses et simples entre les sources de production solaire et le Vehicle-to-Home dans le cadre de ce couplage.

L'arrivée en 2024 sur le marché de véhicules compatibles et de bornes bidirectionnelles va permettre l'émergence du V2H chez les particuliers qui disposent d'une production locale et ainsi augmenter leurs taux d'autoconsommation et répondre à d'autres services comme le V2G.

Dans le cadre des résidences collectives, le **Vehicle-to-Building** est très similaire au **Vehicle-to-Home**. Il est souvent difficile de réaliser du **Vehicle-to-Building** à cause de la connexion directe des bornes de recharges au réseau dédié de distribution.

Le **Vehicle-to-Home** et le **Vehicle-to-Grid** (développés ultérieurement dans ce livrable) sont **complémentaires** et pourront servir à optimiser la facture énergétique de la maison, favoriser l'autoconsommation et injecter de l'énergie au réseau. La comparaison des deux cas d'usage est illustrée dans la figure ci-dessous.



Préconisations d'évolutions de politiques publiques en lien avec le cas d'usage à domicile

Avec le développement de l'installation des infrastructures de recharge dans les copropriétés, et l'accélération de l'adoption de la mobilité électrique auprès des particuliers, **l'Avere-France propose une liste de préconisations d'évolutions de politiques publiques en lien avec le cas d'usage à domicile** :

- **Faire du pilotage tarifaire de la charge le comportement par défaut des électromobilistes, en intégrant une communication ad hoc par les pouvoirs publics, et tous les acteurs de l'écosystème** (les constructeurs automobiles, les énergéticiens, les opérateurs de recharge, etc.).
- **Encourager tout type de pilotage, depuis le pilotage statique jusqu'au pilotage dynamique et la recharge bidirectionnelle** (pilotage par la borne ou pilotage par le véhicule, etc.) ;
- **Développer l'incitation fiscale sur l'installation de points de charge pilotés**, notamment permettant le pilotage dynamique ou bidirectionnel, **et connectés** ;
- **Initier une réflexion sur l'évolution du cadre technique du déclenchement en heures creuses**, permettant un déclenchement spécifique pour les véhicules électriques au sein des heures creuses existantes. Ce nouveau déclenchement permettrait d'éviter la création d'une nouvelle pointe électrique nocturne, en favorisant massivement la recharge en heures creuses, notamment pendant les heures de production des énergies renouvelables, et son décalage par rapport au déclenchement des ballons d'eau chaude. Cette réflexion devrait être compatible avec la totalité des solutions mises en place pour le pilotage de la recharge ;
- **Permettre la mise à disposition non-discriminatoire des données** de tous les objets connectés à des acteurs tiers pour assurer le pilotage de la recharge en utilisant des protocoles ouverts : les données du véhicule, des réseaux électriques et des bâtiments auprès de tiers (fournisseurs de services de flexibilité, gestionnaires d'énergie, contrat d'électricité, etc.), le système PV et l'HEMS, etc. sous-réserve d'engager des initiatives de standardisation, et du respect des règles en matière de protection des données et des dispositions du futur règlement européen sur les batteries ;
- **Trouver des solutions pour une cohabitation harmonieuse et simple entre la source de production d'énergie photovoltaïque locale et le Vehicle-to-Home**, dans le cadre d'un couplage entre une borne de recharge, une source de production d'énergie solaire et/ou batterie de stockage stationnaire reliées au même point de livraison ;
- **Elaborer un soutien de la filière** afin de lui permettre une visibilité pour le moyen et long terme : appels à projets et soutien financier permettant d'augmenter les volumes et générer des économies d'échelles ;
- **Réfléchir à une évolution de la tarification de l'utilisation du réseau** permettant de ne pas pénaliser économiquement les acteurs et promouvoir le cas d'usage Vehicle-to-Grid dans le cadre résidentiel ;
- **Accélérer la collaboration entre les différents membres de l'écosystème** afin d'explorer les différents cas d'usage et garantir une **interopérabilité de bout en bout**.

Le cas de la recharge en entreprise

Le pilotage statique pourrait facilement être adoptée par la majorité des flottes d'entreprise

Sauf pour quelques cas d'usages précis, le pilotage tarifaire statique présente la règle de base des flottes de véhicules en entreprise ayant un **planning d'utilisation très stable**. Pour les flottes de véhicules qui circulent pendant la journée, la recharge pendant les heures creuses, notamment la nuit, est la norme. En revanche, pour les flottes de véhicules qui circulent pendant la nuit, les véhicules se rechargent pendant les heures de la journée. Il est donc essentiel de favoriser la recharge pendant les heures creuses de la journée afin d'éviter les pointes de consommation.

Le pilotage dynamique, qui assure une recharge plus économique encore et surtout des combinaisons de services plus variés, présentera plus d'avantages pour être déployé dans le cadre des bâtiments d'entreprise, comparé au pilotage tarifaire statique, et sera probablement le mode de recharge le plus fréquent de ce segment d'utilisateurs.

Le pilotage dynamique est une opportunité appropriée dans le cadre des entreprises

i. Véhicules de flotte

En entreprise, le pilotage dynamique est particulièrement pertinent. L'utilité du pilotage dynamique est notamment importante pour des flottes de véhicules ayant un **planning d'utilisation très stable**, avec suffisamment de temps pour placer la recharge : c'est le cas pour les logisticiens, les bus ou encore les véhicules de tournées qui stationnent au sein des locaux de l'entreprise chaque soir.

Le pilotage dynamique va alors permettre à l'entreprise de baisser significativement le coût de la recharge de ces véhicules électriques en fonction du contrat de fourniture associé, tout en respectant la puissance souscrite voire en l'optimisant. Cette baisse du coût de la recharge peut être implicite ou explicite sur sa facture (à l'instar de ce qui a été décrit pour le résidentiel).

Le pilotage dynamique, intégrant les besoins de mobilité et habitudes de déplacements, permet de concilier un gain économique avec des garanties sur la continuité de service : les véhicules sont prêts à l'heure dite.

Pour les véhicules de flotte, le pilotage de la recharge se base sur une coordination entre les bornes connectées, et parfois un gestionnaire d'énergie local (HEMS) qui répartira intelligemment la puissance entre les véhicules en recharge.

ii. Véhicules de salariés

Le pilotage dynamique est également pertinent pour les véhicules de salariés, souvent stationnés pendant les horaires fixes d'une journée de travail. Ce cas d'usage présente une compatibilité naturelle avec une optimisation prenant en compte une production solaire locale ou nationale et les prix négatifs d'électricité dus à la production renouvelable en milieu de journée. La possibilité de placer de la consommation des véhicules électriques sur ces heures permettra d'éviter des écrêtements des sources d'énergie renouvelable ou de la modulation nucléaire. **Il n'existe pas de données publiques sur le pilotage de la recharge au travail** : à domicile, 65% des utilisateurs ne pilotent pas la recharge³⁸, et il est très probable que la proportion soit encore plus significative en entreprise. Il est à noter que différents cas d'études sont à considérer dans le cadre de la recharge en entreprise, qui dépend de plusieurs paramètres : la mise à disposition de bornes de recharge pour les salariés en termes de bornes de recharge, le type de contrat d'électricité souscrit par l'entreprise, l'activité de l'entreprise, etc.

Vehicle-to-Building (V2B) dans le cadre tertiaire pour une optimisation de la facture énergétique

Ce cas d'usage est très similaire au Vehicle-to-Home, à la différence près que le talon de consommation d'un bâtiment d'entreprise est souvent bien plus élevé qu'un domicile français moyen. La « profondeur d'optimisation » est alors plus grande en entreprise qu'à domicile, ce qui laisse penser que ce cas d'usage sera plus fréquent que le Vehicle-to-Home. A court moyen terme, le retour d'investissement sur l'installation d'une borne bidirectionnelle en V2B utilisée à son plein potentiel sera plus rapide que sur une borne V2H limitée par le talon de consommation de la maison. Il est essentiel de noter que le Vehicle-to-Building et le Vehicle-to-Grid pourront être complémentaires, en injectant au bâtiment et au réseau électrique.

L'arrivée en 2024 sur le marché de véhicules compatibles et de bornes bidirectionnelles va permettre l'émergence du V2B chez les entreprises qui disposent d'une production locale afin d'augmenter leurs taux d'autoconsommation et répondre à d'autres services comme le V2G.

De la même manière que pour le résidentiel, le pilotage de la recharge en entreprise est particulièrement freiné par :

- Le manque de maturité des produits sur le marché et le faible niveau de compétence pour paramétrer de tels produits et garantir **l'interopérabilité entre les bornes et les véhicules**, en cours de développement ;
- Le réel manque de **standardisation dans des protocoles de communication** entre les différents composants/acteurs : le véhicule, la borne (notamment le protocole 15-118), le

³⁸ « Enquête France sur l'utilisation des systèmes de pilotage de la recharge », Enedis, Octobre 2022

fournisseur d'électricité (pour la tarification), la source de production solaire, le HEMS, les batteries de stockage stationnaire, etc ;

- **La difficulté actuelle de partage de données entre les objets, et donc les acteurs, en utilisant des protocoles ouverts et standardisés sans aucun coût.** Cela s'applique à tous les équipements utilisés qui participent au pilotage de la recharge : le véhicule, la borne, le HEMS, les informations du contrat d'énergie, etc.

Préconisations d'évolutions de politiques publiques en lien avec le cas d'usage en entreprise

Avec l'accélération de l'électrification des flottes des entreprises, **l'Avere-France propose une liste de recommandations de politiques publiques en lien avec le cas d'usage en entreprise, identique à celle élaborée dans la partie précédente 'à domicile'.**

Le cas de la recharge en voirie

Plusieurs cas d'usage sont identifiés dans le cadre de la recharge ouverte au public, en fonction de la durée de recharge du véhicule.

La recharge de nuit en voirie, comme dans le *Smart Charging Action Plan* au Royaume Uni, le décalage de la charge en voirie est un cas d'usage intéressant qui profite aux usagers qui ne disposent pas d'un emplacement de recharge privatif à leur domicile. Un décalage de la recharge aux meilleures heures de la nuit pourrait être envisagé. Le pilotage de la recharge longue la nuit permettrait aux usagers **de bénéficier également des avantages du smart charging sur le prix de leur recharge**. Dès lors, les bénéfices de la charge intelligente ne seraient pas réservés aux seuls détenteurs d'une place de parking privée. Ce cas d'usage de pilotage n'est toutefois pas attendu à court ou moyen terme. Il sera développé avec l'adoption des véhicules électriques par des usagers qui ne possèdent pas un parking privatif et seront obligés de se charger sur la voirie.

Concernant **la recharge d'appoint sur les autoroutes et sur la voirie**, le sujet de la charge rapide des « chassés-croisés » l'été, mais surtout lors des périodes de vacances scolaires de Noël, d'hiver, de printemps voire les week-ends prolongés a été aussi étudié et concerté entre les différents acteurs. **Le pilotage de la recharge et la recharge bidirectionnelle ne présentent pas un intérêt significatif dans ce cas d'étude précis.** Les utilisateurs souhaitent recharger leurs véhicules le plus rapidement possible pour poursuivre leurs trajets et la puissance de recharge est rapide voire très rapide. Le pilotage utilisé est au maximum un pilotage local, qui va chercher à ne pas dépasser la puissance de l'installation et foisonner la puissance entre les bornes sollicitées.

Avec plus de 110 000 points de recharge ouverts au public³⁹ et l'accélération de l'électrification du secteur du transport routier français, **l'Avere-France formule des préconisations d'évolutions de politiques publiques en lien avec le cas d'usage en voirie :**

- **Accélérer la collaboration entre les différents membres de l'écosystème** afin d'explorer les différents cas d'usage dans le cadre de la recharge en voirie ;
- Trouver **un compromis sur la recharge du véhicule de l'utilisateur** (durée plus longue et moins d'énergie sur des recharges lentes) permettant d'appuyer les réseaux et les valoriser économiquement ;
- Encourager **la recharge intelligente pour les concessions publiques**, à l'instar de ce qu'ont fait certaines villes aux Pays-Bas.

Focus particulier sur le Vehicle-to-Grid (V2G)

Le *Vehicle-to-Grid* (V2G) est une interaction bidirectionnelle entre un véhicule et un réseau d'énergie électrique, permettant de rendre des services en utilisant les capacités de du système énergétique du véhicule, comme celle de son stockage et de son électronique de puissance, en réinjectant de l'électricité sur le réseau public.

Les services de flexibilité du véhicule au réseau (V2G) font référence à la capacité d'utiliser des batteries de véhicules électriques pour appuyer le réseau au niveau local de distribution et au niveau du système électrique, avec et sans le recours à un agrégateur. **Dans l'ensemble, les services de flexibilité V2G sont un complément au V1G permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre en bénéficiant au maximum de sources d'énergie renouvelables.** Adopter le V2B et V2G en complément au V2H permet de répondre au mieux aux mécanismes de valorisation détaillés ultérieurement et d'augmenter les économies réalisées.

Bien que cette technologie offre de nombreux avantages pour le consommateur et le réseau électrique, la mise en place d'infrastructures pilotées et V2G nécessite des investissements considérables, tant pour les entreprises que pour les consommateurs. Les coûts de mise à niveau des véhicules et des infrastructures sont également importants, ainsi que les frais des CPO, ce qui rend le V2G peu attractif pour de nombreux consommateurs. Il est important de mettre en place des subventions dédiées aux bornes de recharge pilotées et V2G (ayant un raccordement au réseau électrique certifié pour l'injection) et de partager équitablement la valeur avec le client qui sera l'investisseur principal.

³⁹ « Baromètre national des infrastructures de recharge ouvertes au public », Baromètre Ministère de la Transition énergétique - Avere-France, élaboré par Gireve, novembre 2023.

Corpus administratif de l'installation des bornes de recharges bidirectionnelles sur un site de production

Les démarches administratives pour le déploiement des points de recharge bidirectionnelles se résument en trois étapes, assurées par l'installateur sur le site d'Enedis :

- Demande de raccordement ;
- Déclaration du producteur ;
- Attestation de conformité.

Peu de freins ont été identifiés dans le corpus administratif, à l'exception de la complexité de la démarche et le coût associé. En effet, il serait nécessaire de formaliser et simplifier le processus pour les déclarations administratives liées au V2G ; afin de permettre aux installateurs d'automatiser les démarches qui seront faites sur mandat du client final, notamment grâce à des liens entre les systèmes informatiques.

Des freins d'acceptabilité sociale et économiques sont à traiter : l'utilisateur doit pouvoir déclarer de façon simple ses besoins de mobilité et de comprendre la répartition des gains entre lui et les autres acteurs de cette filière.

Tableau récapitulatif des cas d'études V1G et V2X

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif de la pertinence d'appliquer le pilotage de la recharge (statique, dynamique et V2X) dans les différents cas d'études (domicile, copropriété, entreprise, voirie et autoroute).

	Pilotage statique	Pilotage dynamique	V2H/V2B	V2G
Maison	Vert	Vert	Vert	Vert
Copropriété	Vert	Vert	Orange	Orange
Entreprise	Vert	Vert	Vert	Vert
Charge publique en temps contraint (notamment charge rapide sur autoroute)	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Charge publique de longue durée (notamment nocturne)	Vert	Vert	Rouge	Orange

Vert (pertinent), orange (moyennement pertinent – difficile à appliquer), rouge (non pertinent)

Exemples réels de projets V1G et V2X

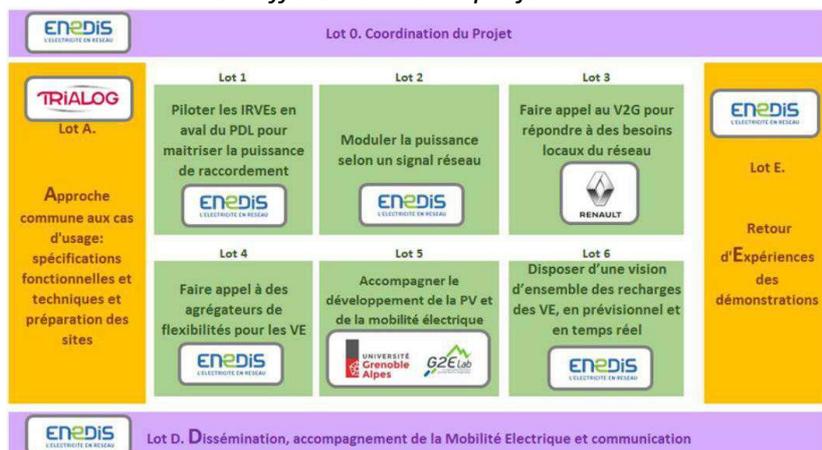
Plusieurs projets sont lancés en France et en Europe pour valoriser le V1G et le V2X afin d'explorer de nouvelles opportunités et applications pour les véhicules électriques. Ces initiatives visent à étudier les avantages potentiels de l'intégration des véhicules électriques dans le réseau électrique, les freins ainsi que les retours d'expérience.

Projet aVEnir

Piloté par Enedis, **le projet aVEnir a pour enjeu d'accompagner le développement à grande échelle de la mobilité électrique en expérimentant les interactions entre le réseau public de distribution d'électricité, les bornes de recharges et les véhicules électriques.** Cette expérimentation couvre les aspects technologiques, économiques, sociologiques et règlementaires. Lancé en 2019, douze partenaires industriels et académiques se sont unis pour travailler ensemble autour du projet : Enedis, Trialog, Renault Group, Stellantis, Gireve, IZIVIA, DREEV, TotalEnergies, Schneider Electric, Electric 55 Charging et les universités Aix-Marseille et Grenoble Alpes.

Les objectifs du projet aVEnir sont multiples. Il vise d'abord à expérimenter en conditions réelles différentes situations de pilotage des bornes de recharge de véhicules électriques et à étudier leurs interactions avec le réseau public de distribution. Ensuite, le projet se concentre sur le test de solutions de recharge intelligente qui facilitent l'intégration des véhicules électriques sur le réseau, en mettant notamment l'accent sur les techniques de Vehicle-to-Grid (V2G) et de synchronisation entre la recharge et la production solaire. Enfin, le projet a également pour objectif d'évaluer les opportunités offertes par les véhicules électriques pour la gestion des flexibilités locales sur le réseau électrique. Ce projet de 3 ans est localisé sur deux territoires complémentaires : la Métropole de Lyon (urbain dense) et une partie de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (péri-urbain et rural), et est soutenu dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir (PIA) opéré par l'ADEME. Le projet est organisé sous différents lots avec un objectif distinct pour chaque lot.

L'organisation du projet aVEnir Les différents lots du projet aVEnir



A titre d'exemple, le lot 3 a pour objectif d'expérimenter le V2G localement à l'échelle d'un poste HTA/BT, avec un potentiel de flexibilités locales de plus de 100 kW. Ce lot a pour but de démontrer la faisabilité technique des opérations de flexibilités bidirectionnelles au niveau local via la chaîne de comptage Linky ou via un contrôle en SI à SI. Cinq véhicules à Aix-en-Provence, utilisés par des « vrais » conducteurs, agrégés localement et cinq bornes V2G participent à la réalisation du lot 3. Plusieurs niveaux de demandes de flexibilité sont étudiés : flexibilités anticipées en réponses à des besoins prévisibles du réseau de distribution et flexibilités non anticipées en réponse à des besoins ponctuels du réseau. Cette expérimentation permet l'étude des interactions entre les utilisateurs et leur besoin de mobilité et les services de mobilités, ainsi que le contrôle du réalisé et la collecte des données liées aux recharges et aux flexibilités.

Plusieurs conclusions majeures ont été déduites de ce projet. Il est apparu que la synchronisation temporelle entre les systèmes (SI, gestionnaire local, borne) est cruciale. Il a également été constaté qu'il est nécessaire de maintenir la session de recharge même une fois que le besoin de mobilité cible est atteint. De plus, le déploiement de matériels "prototypes" pour le V2G AC a rencontré des difficultés dues aux fortes chaleurs estivales à Aix-en-Provence. Les nombreuses interfaces entre les systèmes ont également généré des besoins de mise au point et de déverminage après le déploiement. Enfin, des compromis ont dû être faits dans les scénarios en raison des capacités limitées des batteries des véhicules utilisés, afin d'assurer une expérience satisfaisante pour les utilisateurs.

Déploiement du V2G à Aix en Provence

3 Peugeot ION en charge DC et 2 Renault ZOE en charge AC participent à l'expérimentation



Projet Flexitanie

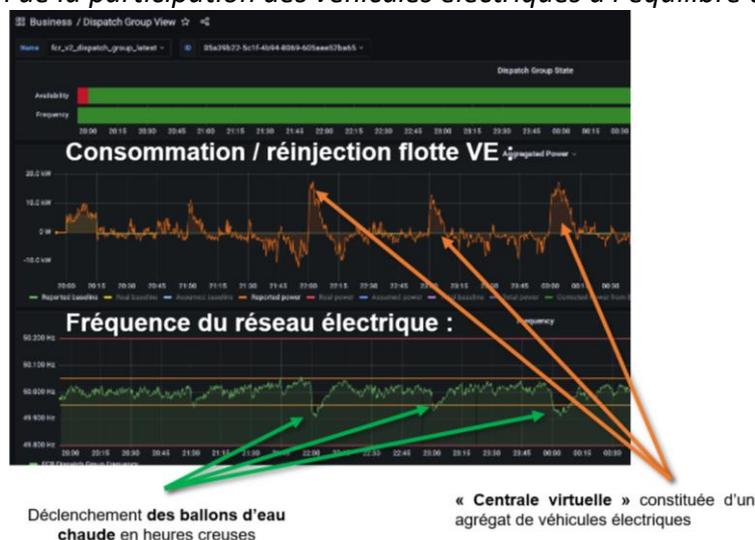
Le projet Flexitanie associe EDF, la région Occitanie, AD'OCC et l'agence de la transition écologique (Ademe) autour du test à grande échelle du pilotage de la recharge. Le projet prévoit l'installation de 50 bornes de recharge bidirectionnelles (V2G) et 100 bornes de charge intelligentes V1G. Ces bornes sont installées pour la recharge privée d'entreprises ou de collectivités. Elles sont installées par Izivia, et opérées par Dreev, co-entreprise entre EDF et

la start-up californienne NUVVE. Le projet vise à recueillir les attentes et les perceptions des utilisateurs, et analyser les synergies potentielles avec la production d'énergie renouvelable. Une étude prospective sur l'impact du pilotage de la charge sur l'économie du système électrique a également été réalisée dans le cadre du projet.

Le projet a été lancé en juillet 2020, en pleine pandémie Covid-19. Il a donc fallu attendre février 2021 pour voir l'installation de la première borne V2G dans le cadre du projet. Un an plus tard, en février 2022, un **succès marquant et concret est remporté**, grâce à Flexitanie : Dreev est **certifié par RTE pour la participation à la réserve primaire de fréquence**⁴⁰. Il s'agit d'une première pour les véhicules électriques et la technologie V2G, et une preuve technique d'envergure : ce service système est parmi les plus exigeants techniquement, puisqu'il impose de pouvoir réagir rapidement aux écarts de fréquence. Les bornes installées dans le cadre du projet Flexitanie ont activement participé à la réussite de cette certification.

Capture d'écran de la plateforme DREEV

Illustration de la participation des véhicules électriques à l'équilibre du système

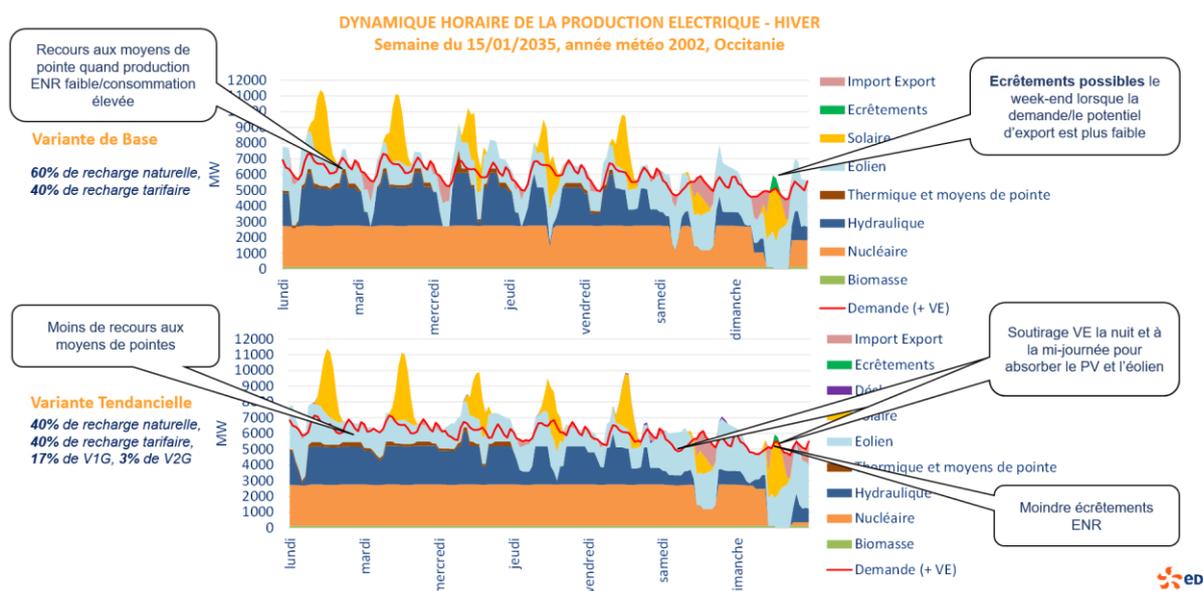


L'étude prospective réalisée dans le cadre de Flexitanie, pilotée par la R&D d'EDF et avec le soutien de l'Ademe, souligne l'intérêt du smart charging pour le système électrique, à la manière des études RTE sur le même sujet. **L'étude met en avant, dès 2035, l'impact des véhicules électriques pilotés sur la moindre sollicitation de moyens de pointes, sur la réduction des écarts ENR et la moindre modulation nucléaire.**

En août 2022, une quarantaine de bornes V2G étaient installées ou en voie d'installation dans le cadre du projet, sur plus d'une dizaine de sites différents.

⁴⁰ <https://www.rte-france.com/actualites/vehicules-electriques-equilibrage-systeme-electrique>

Exemple de résultat de l'étude prospective Flexitanie



Projet KALUZA

Au Royaume-Uni, le projet Kaluza V2G est le fruit d'une collaboration entre Kaluza, OVO Energy, Nissan, CENEX et INDRA, dans le but de développer et de tester la technologie V2G dans des scénarios réels pendant 3 ans. Le projet vise à démontrer les avantages de la technologie V2G pour les propriétaires de VE, le réseau électrique et l'environnement.

Dans le cadre du projet, OVO fournit un chargeur V2G qui permet aux propriétaires de véhicules électriques Nissan de connecter leurs véhicules au réseau électrique et d'être rémunérés par suite de la participation aux services réseaux pendant les périodes de forte demande. UK Power Networks est responsable de la gestion de la connexion au réseau et de la sécurité et de la fiabilité du système V2G. Le projet est testé avec une flotte de 300 véhicules électriques Nissan LEAF, branchés sur le chargeur V2G pendant la période de pointe du soir au Royaume-Uni (entre 17h00 et 21h00), et utilisés dans une variété d'applications, notamment comme taxis, voitures de location et véhicules privés. Le projet vise à démontrer le potentiel de la technologie V2G pour fournir un moyen rentable et durable d'intégrer des sources d'énergie renouvelables dans le réseau électrique.

Ce système peut être aussi très utile dans les zones où l'électricité est très demandée dans certaines périodes exclusivement, comme l'été en cas de chaleur extrême. Le document prend l'exemple de la Californie et du Texas, qui rencontrent des difficultés à satisfaire la demande d'électricité dans ces cas de figure^{41,42}. Par exemple, un cas typique de chaleur particulièrement importante en été a créé un pic de 1,2 GW de demande. Ce pic peut être

⁴¹ Why Everyone Is Talking About Texas Electric Grid, Forbes, July 2022

⁴² The new EV charging tech bolstering the Californian grid, October 2022

soutenu par le démarrage de **3 centrales thermoélectriques** additionnelles, ou par **1 million de VE en V2G**.

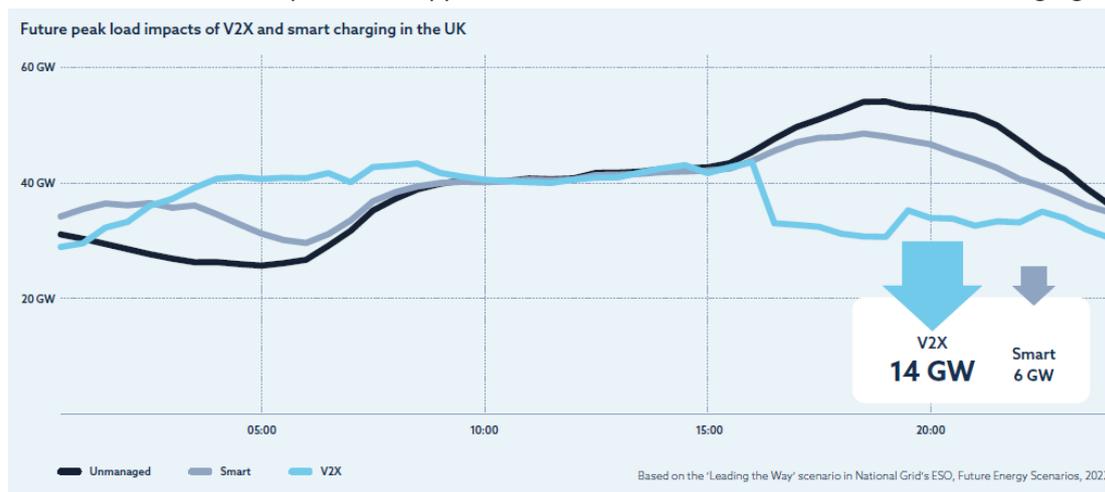
Plusieurs apprentissages et retours d'expérience majeurs ont été déduits de ce projet. Au cours d'une journée moyenne, environ 61 % du portefeuille V2G était disponible entre les heures de branchement et de débranchement. OVO, le fournisseur de services énergétiques, a mis en place une proposition innovante créditant les conducteurs V2G avec 0,30 £/kWh exporté vers le réseau, ce qui a permis aux clients de bénéficier de récompenses mensuelles d'environ 35 £ en moyenne, réduisant ainsi leur facture énergétique mensuelle de 40 %. Le ratio moyen d'import/export par véhicule électrique était de 60 %, avec une moyenne de 11,36 kWh/jour importés et 6,77 kWh/jour exportés. Les inquiétudes des utilisateurs concernant la santé de la batterie et les économies de coûts liées à l'utilisation du V2G ont diminué au fil du projet. La fonctionnalité de chemin de charge a permis aux participants de visualiser la charge de leur véhicule à venir, renforçant ainsi leur confiance dans l'optimisation logicielle. Le projet a également permis d'estimer des économies de CO₂ de 46,8 tonnes et des économies de 10 % au niveau des travaux du réseau de distribution.

Déployer le V2X à grande échelle n'est pas une tâche facile. Il s'agit de créer un nouvel écosystème énergétique dans lequel les équipementiers automobiles, les acteurs du matériel de recharge, les services publics, les fournisseurs de logiciels et les régulateurs s'unissent pour résoudre la complexité de bout en bout, faire évoluer les opérations du marché de l'énergie et se concentrer sur les besoins des clients. La réussite de cette démarche ne profitera pas seulement aux clients, qui bénéficieront de revenus supplémentaires, de factures d'énergie domestique moins élevées et d'une empreinte carbone plus faible, mais elle permettra également une transition énergétique plus abordable et plus résiliente.

La façon dont les secteurs de l'automobile et de l'énergie convergeront au cours des prochaines années aura le pouvoir de faire ou de défaire la capacité à développer le V2X sur les marchés mondiaux. Une collaboration étroite tout au long de la chaîne de valeur est essentielle pour mieux faire connaître la technologie et faire pression pour que les changements nécessaires soient apportés afin d'en exploiter toute la valeur.

L'impact du smart charging et du V2X sur la courbe de consommation

Une diminution de la puissance appelée de 14 GW en V2X et de 6 GW en smart charging



Protocoles de communication pour garantir l'interopérabilité bout à bout

L'interopérabilité est la capacité que possède un produit ou un système, dont les interfaces sont intégralement connues, à fonctionner avec d'autres produits ou systèmes existants ou futurs et ce sans restriction d'accès ou de mise en œuvre. **Afin d'assurer l'interopérabilité de bout-en-bout, il faut garantir que tous les équipements utilisés soient interopérables, supervisés, pilotés et que les modèles présentent des normes et protocoles communs. La normalisation présente donc la base pour garantir cette interopérabilité.**

Un protocole de communication est une spécification de plusieurs règles pour un type de communication particulier et qui permet de communiquer sur une même couche d'abstraction entre deux machines différentes et entre deux couches sur une même machine (par exemple, au niveau de la borne ou du véhicule et entre les deux). Dans le cas des services réseaux, les différents protocoles de communication permettent de faciliter l'interaction entre les membres de l'écosystème de la mobilité électrique : la borne de recharge, le véhicule, l'opérateur d'infrastructure de recharge, l'opérateur de mobilité, les opérateurs de réseaux électriques, l'opérateur d'itinérance, les opérateurs de flexibilité énergétique, etc. Une normalisation des échanges entre les membres est importante afin de **définir des protocoles, éviter la divergence, assurer le respect d'exigences techniques et garantir l'interopérabilité.** Au-delà de faciliter la communication, la normalisation des protocoles d'échange est également essentielle pour **diminuer le coût des infrastructures de recharge et améliorer l'expérience de l'utilisateur.** La normalisation de la mobilité électrique permet également **l'intégration des services réseau offerts par le véhicule électrique (Smart charging et V2X) en harmonie avec le réseau électrique.** Les protocoles de communication doivent donc être conformes afin de garantir des environnements uniques de test de référence. **Les normes internationales IEC et ISO sont élaborées dans le cadre d'un processus qui accorde**

de la valeur au principe d'inclusion et qui a la faculté de s'adapter aux nouvelles dynamiques. En Europe, la Commission européenne participe à l'élaboration de ces protocoles de communication via le projet Mobena (Institut Vedecom) et PnC Europe (CharIn) et à travers les associations promouvant la mobilité électrique (CharIn et Open Charge Alliance). Différents protocoles sont développés dans le cas de la mobilité électrique pour normaliser les échanges entre les acteurs. **Des travaux sont en cours afin de développer les normes IEC et constituer des positions communes pour anticiper les évolutions de l'environnement et pour garantir l'intégration du V2X dans les protocoles de communication.**

Les protocoles nécessaires pour le pilotage de la recharge (IEC 63110 vs OCPP, ISO 15118, IEC 61851), souvent en maille locale, sont développés et sont en cours de réalisation. En effet, les rôles énergétiques ne sont pas représentés directement : le smart charging est basé sur des limitations de puissance, en considérant les tarifs et les besoins de recharge.

La maturité technique est en cours d'acquisition. Il est nécessaire d'accélérer la collaboration entre les différents membres de l'écosystème afin d'explorer les différents cas d'usage et garantir une interopérabilité bout-en-bout. La publication des protocoles de communication IEC 61851, IEC 63110, IEC 63119 et ISO 15118 ainsi que leurs mises à jour présentent une étape indispensable pour garantir l'interopérabilité end-to-end et intégrer le smart charging et le V2X.

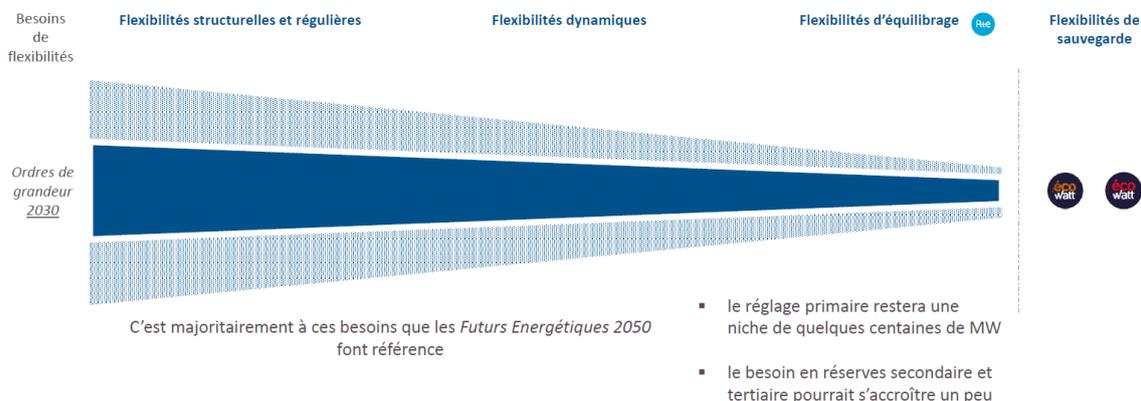
De plus, des risques liés à la cybersécurité existent : la connectivité entre les véhicules et le réseau électrique peut présenter des risques de sécurité. Des efforts supplémentaires doivent être faits pour garantir que les véhicules et les infrastructures V2G sont sécurisés contre les attaques informatiques.

Analyse des marchés et mécanismes de valorisation ciblés pour les véhicules électriques

Les différents modes de pilotage de la recharge (pilotage statique tarifaire et pilotage dynamique, V1G) et le Vehicle-to-Everything (Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Building et Vehicle-to-Grid) permettent d'effectuer des services pour le système électrique, en adoptant un seul mode de pilotage de la recharge ou une combinaison de ces moyens. Cette section décrit les mécanismes de valorisation. Certains peuvent être combinés partiellement/totalement (ex : autoconsommation et limitation de la puissance souscrite). **Il faut noter que pour les cas d'usage « en voirie » et notamment sur autoroute et voies rapides : il n'y a pas de valeur économique évidente à retarder une charge à forte valeur économique, conduisant à une expérience client dégradée, pour rechercher une optimisation du coût de l'énergie.**

Les différents marchés et mécanismes régissant le système électrique

A horizon 2050, les besoins du système électrique augmenteront, principalement en amont de la fenêtre d'équilibrage (RTE, 2023)



Marchés de l'énergie

Arbitrage sur les marchés

Ce mécanisme repose sur l'achat et la revente de blocs d'énergie sur les marchés correspondant au soutirage et à la réinjection d'énergie sur le réseau électrique depuis la batterie de véhicules électriques. Il permet de définir l'offre de fourniture d'électricité entre le fournisseur et le consommateur. Ce mécanisme est applicable à l'ensemble des cas d'usage (résidentiel, tertiaire et voirie, à l'exception des autoroutes) et utilise les services V1G et V2G. **Les types de pilotage les plus adaptés dans ce cas sont le pilotage statique, le V1G et/ou le V2G.** En définissant l'offre de fourniture d'électricité, prévue largement en avance, **la règle des utilisateurs des véhicules électriques doit être de placer les événements de la recharge en heures creuses de manière régulière.** De plus, **le pilotage bidirectionnel statique, notamment en Vehicle-to-Home et Vehicle-to-Building, est en mesure de répondre à ce type de flexibilité en déchargeant les véhicules électriques pendant des plages de pointe fixes et régulières déjà identifiées à l'avance, pour limiter la consommation d'électricité de la maison ou du bâtiment.**

Pour les cas d'usage en voirie, le pilotage statique tarifaire est presque la règle notamment avec la recharge pendant plusieurs heures la nuit, qui sont par défaut des heures creuses. Il faut trouver une valeur économique à rendre au client pour le convaincre d'accepter une optimisation et donc un compromis sur sa recharge (plus longue, moins d'énergie); les prix de marchés actuels ne le permettent pas.

Concernant le cas des autoroutes, il n'est pas possible de participer à ce dispositif de flexibilité vu la nécessité de recharger la batterie du véhicule pendant une durée limitée. Il n'existe pas de valeur économique évidente à retarder une charge à forte valeur économique pour l'opérateur.

Minimisation du coût des écarts (responsable d'équilibre)

Ce mécanisme repose sur la minimisation du coût des écarts (positif ou négatif) et/ou le coût de sourcing du responsable d'équilibre. Ce mécanisme peut utiliser à la fois des services énergétiques d'effacement (V1G) ou de production (V2G).

Il est applicable à l'ensemble des cas d'usage à l'exception des cas sur autoroute et en voirie. **Il n'y a pas de freins réglementaires identifiés** à la valorisation sur les marchés de l'électricité d'une énergie non consommée pour la charge ou d'une énergie réinjectée.

NEBEF

Ce dispositif permet aux acteurs de valoriser des effacements directement sur les marchés journaliers et infra-journaliers de l'énergie, en notifiant à RTE les effacements qu'ils activeront le lendemain. Il permettrait de valoriser des effacements V1G de recharge.

Il n'y a pas de frein réglementaire identifié à la valorisation d'une énergie non consommée pour la charge (effacement en V1G), mais les **règles à suivre sont complexes** pour le véhicule :

- L'établissement de la courbe de référence via la méthode complexe de « rectangle à double référence corrigée »⁴³ (la seule qui permet aux agrégats de VE derrière des points de livraison (PDL) profilés à effectuer de l'effacement sur NEBEF) ;
- Le contrôle du réalisé (les contraintes de rectangle à double référence avec obligation de charger avant et après) ;
- Le comptage (au niveau point de livraison du domicile qui inclut le « bruit » des autres charges du domicile). Les règles MA et NEBEF, développées ultérieurement, permettent l'utilisation de données à la maille de l'usage dans certains cas.

Le cas des charges rapides est quant à lui incompatible avec de l'effacement. Un contrôle par différence de panels, utilisé par RTE pour les effacements EIF, pourrait être envisagé dans le cadre des véhicules électriques.

⁴³ La méthode est élaborée dans la partie 7.2.2. du document « Règles pour la valorisation des effacements de consommation sur les marchés de l'énergie NEBEF 3.3 », 2021, RTE

La non-uniformité des règles entre NEBEF et MA présente un frein (en termes de règles d'éligibilité minimale ou de foisonnement entre production et soutirage notamment). **Il faut donc disposer de règles de contrôle du réalisé adaptées à l'usage véhicules électriques pour les effacements (marché de notification de blocs d'effacement NEBEF).**

Services système et mécanismes liés à la gestion directe du réseau

Flexibilités dynamiques, prévisibles de quelques jours jusqu'à 1 heure à l'avance
Ce dispositif de flexibilité assure les besoins ponctuels face aux fluctuations moins régulières de la consommation résiduelle (par exemple, lors de vagues de froid ou pendant une production éolienne faible) et comprend l'effacement implicite via l'offre de fourniture (ex. l'option TEMPO) et l'effacement explicite via l'offre de fourniture NEBEF par un agrégateur.

Ce dispositif permet aux acteurs de valoriser des effacements directement sur les marchés journaliers et infra-journaliers de l'énergie, en notifiant à RTE les effacements qu'ils activeront le lendemain. **Ce mécanisme repose sur le pilotage dynamique V1G en appliquant l'effacement de la recharge des véhicules électriques en fonction d'un signal prix. Il est encore possible de décharger les véhicules électriques pour limiter la facture d'électricité du bâtiment si les prix sont élevés.** Il est applicable à l'ensemble des cas d'usage à l'exception des cas sur autoroute et en voirie.

Ce dispositif de flexibilité assure les besoins pour pallier les aléas et les incertitudes en temps réel (ex. pannes, incidents, variations rapides) et comprend les services systèmes fréquence (réserve primaire et réserve secondaire) et le mécanisme de capacité.

RTE assure en temps réel l'équilibre de la fréquence du réseau en prenant en compte les aléas de consommation et de production (météo, disponibilité du parc de production, etc.). Pour maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande, RTE doit disposer de réserves de puissance mobilisables, à la hausse comme à la baisse, provenant de capacités basées en France ou dans le reste de l'Europe. **Il existe trois types de réserves qui peuvent être sollicités successivement : la réserve primaire, la réserve secondaire et la réserve tertiaire (Mécanisme d'ajustement)⁴⁴.**

La réserve primaire (FCR - Frequency Containment Reserve), et la réserve secondaire (aFRR - Automatic Frequency Restoration Reserve), sont des mécanismes activés automatiquement pour respectivement contenir la déviation de fréquence (FCR), rétablir la fréquence à 50 Hz et ramener à leur valeur prévue les échanges d'énergie aux frontières (aFRR).

⁴⁴ Pour plus d'informations sur les flexibilités : <https://www.services-rte.com/fr/decouvrez-nos-offres-de-services/fournir-des-services-systeme-frequence.html>

La **réserve primaire** est activée de manière décentralisée au niveau de chaque groupe de production et intervient en 15 à 30 secondes. Elle est constituée en France par un appel d'offres quotidien en J-1 pour des produits 4 heures, mené conjointement par RTE et ses homologues allemand, autrichien, belge, néerlandais et suisse. La réserve primaire s'élève à 500 MW en France. Les producteurs raccordés au Réseau Public de Transport (RPT) doivent garder une partie de leur puissance disponible et la soumettre à l'appel d'offre de la FCR. S'ils ne sont pas retenus à l'AO, ils ne sont pas obligés de faire des Services Système fréquence (SSYf). La rémunération est fixée au prix marginal.

La **réserve secondaire** intervient en 400 secondes⁴⁵ (300 secondes à partir de décembre 2024). Elle est comprise entre 500 MW et 1 000 MW en France. La prescription journalière aux acteurs obligés ou participation via marché secondaire est obligatoire ainsi que la modulation automatique du processus en fonction d'un signal envoyé par RTE (niveau N) aux participants. La rémunération est fixée au prix forfaitaire de capacité pour les producteurs obligés (20,5 €/MW/h en 2022) ou prix de l'offre (marché secondaire).

La **réserve tertiaire** est activée par RTE grâce au **mécanisme d'ajustement** (MA) en sollicitant les producteurs et les consommateurs connectés au réseau pour qu'ils mettent en œuvre les offres d'ajustement de leur production ou de leur consommation, à la hausse ou à la baisse, qu'ils auront déposées auprès de RTE au préalable. Tout acteur qui dépose une offre sur le mécanisme d'ajustement a le libre choix du prix d'activation de l'offre.

Le véhicule électrique est techniquement adapté à ces mécanismes car en capacité de mobiliser sa puissance rapidement, par une modulation de sa recharge/décharge (pour la FCR et aFFR) et par l'effacement de la recharge/décharge sur envoi d'un ordre d'ajustement à la hausse de RTE (pour le MA). Dans les trois cas d'usage, le dispositif technique à mettre en place pour ces mécanismes reste complexe mais la technologie existe et est en cours d'expérimentation (aux Pays-Bas sur le réseau TenneT). La fréquence peut être mesurée partout sur le réseau, la recharge pourra être pilotée partout où les besoins de flexibilité sont identifiés, qu'il s'agisse d'une maille locale, régionale ou nationale.

Ces mécanismes nécessitent le pilotage dynamique en V1G et V2H/V2B pour la réserve primaire car les services asymétriques n'y sont pas autorisés actuellement⁴⁶. La réserve secondaire et le mécanisme d'ajustement sont accessibles techniquement au V1G. Cependant, le marché secondaire est actuellement fermé à la concurrence.

⁴⁵ <https://www.cre.fr/Electricite/Reseaux-d-electricite/services-systeme-et-mecanisme-d-ajustement>

⁴⁶ Il est possible de faire du dissymétrie sur un site. Cependant, il faut proposer un service symétrique : Il est possible de compléter un site modulé à la baisse avec un site modulé à la hausse.

La **méthode de contrôle du réalisé dite du « rectangle à double référence »**⁴⁷ implique d’avoir une référence de consommation avant et après un effacement. Dans le cas du smart charging, cela impose que le véhicule se charge 1h à 2h avant de réaliser un effacement. Pour un véhicule se branchant à 18h, et décalant sa charge à 20h, ce comportement ne permet pourtant pas de rémunération au titre du mécanisme de capacité sur la plage 18h-20h. Par ailleurs, pour pouvoir utiliser cette méthode de contrôle du réalisé pour le smart charging, cela implique de déplacer de la charge avant et après l’effacement, à des moments où les véhicules n’avaient pas forcément prévu de consommer. Pour la **méthode par historique**⁴⁸, étant donné que le comptage se fait au niveau du PDL, le comportement thermosensible des foyers rend la méthode de contrôle du réalisé par historique inapplicable pour des applications de smart charging. Pour la **méthode par prévision de consommation**⁴⁹, on remarque le même problème de thermo-sensibilité constaté pour la méthode par historique. Le modèle de prévision étant envoyé en S-1, l’incertitude sur le prévisionnel de température rend la méthode de contrôle biaisée pour des applications de smart charging.

Besoins de flexibilité du système électrique

Vision cible des services de mobilité électrique pour répondre aux besoins de flexibilité du système électrique (RTE)

Types de besoins de flexibilités		Réguliers et structurels	Dynamiques prévisibles de quelques jours jusqu'à 1h à l'avance	Equilibrage dans la Fenêtre Opérationnelle de RTE entre 1h à l'avance et le temps réel		Sauvegarde
Acteurs concernés & moyens de valoriser le service de flexibilité		Offre de fourniture d'électricité entre le consommateur et son fournisseur	<ul style="list-style-type: none"> Effacement implicite via l'offre de fourniture (par ex. tarif TEMPO) Effacement explicite NEBEF via un agrégateur 	Mécanisme d'Ajustement (MA)	Services Système fréquence (SSyF) Réserve secondaire (aFFR) / Réserve primaire (FCR)	En réaction à une alerte 
Type de services de recharge	V1G Action sur la recharge uniquement	Pilotage statique Placer la recharge en heures creuses, de manière régulière, prévue à l'avance	Pilotage dynamique Effacement de la recharge en fonction d'un signal prix	Pilotage dynamique Effacement de la recharge sur envoi d'un ordre d'ajustement à la hausse de RTE	Pilotage dynamique Modulation de la recharge sur envoi d'un signal de RTE	Pas de recharge pendant les heures d'alerte EcoWatt
	V2x Action sur la recharge et la décharge	Pilotage statique Possibilité de décharger le VE pendant des plages de pointe fixe pour limiter la consommation et la facture d'électricité du bâtiment	Pilotage dynamique Possibilité de décharger le VE pour limiter la facture d'électricité du bâtiment si les prix sont élevés (en général : 7h-10h et 18h-20h l'hiver)	Pilotage dynamique Décharge ou effacement de la recharge du VE, sur envoi d'un ordre d'ajustement à la hausse de RTE	Pilotage dynamique Modulation de la décharge ou de la recharge du VE, sur envoi d'un signal de RTE	Pas de recharge et possibilité de décharger le VE pendant les heures d'alerte EcoWatt
	V2G	Mêmes types de services que pour le V2H/V2B, avec une plus grande complexité de mise en œuvre et une moindre maturité technique (complexité contractuelle, contrats spécifiques avec les gestionnaires de réseaux) <i>Vu du réseau : effacement d'une partie de la consommation du bâtiment ou injection au point de raccordement</i>				

⁴⁷ La méthode est élaborée dans la partie 7.2.2. du document « Règles pour la valorisation des effacements de consommation sur les marchés de l'énergie NEBEF 3.3 », 2021, RTE

⁴⁸ La méthode est élaborée dans la partie 7.2.5. du document « Règles pour la valorisation des effacements de consommation sur les marchés de l'énergie NEBEF 3.3 », 2021, RTE

⁴⁹ La méthode est élaborée dans la partie 7.2.4. du document « Règles pour la valorisation des effacements de consommation sur les marchés de l'énergie NEBEF 3.3 », 2021, RTE

Plusieurs freins sont présentés dans le cadre de la participation du VE dans les services systèmes :

- Les conditions d'éligibilité pour la participation aux mécanismes

Les conditions actuelles d'éligibilité à ces mécanismes pour des ressources distribuées, tels que les VE, sont jugées trop contraignantes :

- La question de la granularité de 1 MW et disponibilité pour 4 heures pour participer à ces mécanismes de marché reste posée ;
- L'absence de cadre légal pour l'octroi de permis (conditions et durée) de la part du gestionnaire de réseau de distribution.

- Les modèles économiques associés

A cela s'ajoute des contraintes qui compromettent donc les modèles économiques afférents tels que des grid codes locaux, des définitions dans les règles de marché du V1G et V2G inexistantes, l'absence de définition du stockage mobile, et des mécanismes de comptage et contrôle du réalisé non adaptés.

- Enjeux techniques

De plus, des enjeux techniques existent pour la réalisation de services au réseau :

- L'agrégation et pilotage de sources de production distribuées (complexité de la gestion d'un agrégat : disponibilité de la réserve, gestion de l'état de charge, dynamique de réponse...) ;
- Le contrôle de la disponibilité et de la performance du service ;
- La fiabilité dans la fourniture du service au regard des enjeux de sécurité du système électrique (notamment pour la cybersécurité).

Pour les cas d'usage « bâtiments tertiaires avec flotte de service », le modèle captif de la flotte de service rend la ressource moins distribuée et est donc plus facilement utilisable sur ce type de mécanisme, à condition que la flotte soit de taille suffisante.

Mécanisme de capacité

Le mécanisme de capacité relève d'une logique assurantielle et repose sur l'obligation faite aux fournisseurs de disposer d'un montant de garanties de capacité permettant de couvrir leur consommation électrique ou celle de leurs clients pendant les périodes de forte consommation. Ces garanties peuvent être acquises auprès des producteurs et des opérateurs d'effacement, qui auront fait certifier par le gestionnaire du réseau public de transport d'électricité RTE leurs capacités d'effacement ou de production. Les véhicules électriques peuvent, au travers de leur charge, proposer et valoriser ce type de garanties au travers de services énergétiques d'effacement (V1G) ou de production (V2G). Il n'y a pas de frein réglementaire identifié à la valorisation d'une énergie non consommée pour la charge

(effacement en V1G), mais **les règles à suivre sont complexes pour le véhicule, notamment la méthode du contrôle du réalisé.**

Services de flexibilité locale et d'amélioration de la qualité de l'énergie

Ce mécanisme repose sur la valorisation V1G ou V2G de la recharge au travers d'un service de flexibilité locale qui a pour objet d'optimiser localement la gestion des flux d'électricité entre un ensemble de producteurs et un ensemble de consommateurs raccordés au réseau public de distribution d'électricité. Ce mécanisme vise à réduire les besoins d'investissements ou les coûts de gestion du réseau public de distribution de l'électricité concerné tout en assurant un bénéfice pour le système électrique.

Les règles à suivre concernant la valorisation d'une énergie non consommée pour de la charge (effacement V1G) ou la valorisation de capacité de production (réinjection V2G) sont complexes pour le véhicule et présentent des freins variés :

- La méthode de contrôle du réalisé est un frein réglementaire lié à la valorisation d'une énergie non consommée pour de la charge (effacement V1G) ;
- L'agrégation des petites sources de production (comme les VE) est complexe pour la mettre en place ;
- Les mécanismes de comptage et les méthodes de contrôle du réalisé ne sont pas adaptés avec l'usage du véhicule électrique pour les effacements ;
- Les définitions du V1G et du V2G dans les règles de marché permettant de contrôler la disponibilité effective du service de capacité sont inexistantes ;
- La mise à disposition non discriminatoire des données issues de tous les acteurs participant au pilotage ;
- Le stockage mobile n'est pas défini d'une façon claire.

Il est a priori applicable à l'ensemble des cas d'usage en V1G et en V2G, mais ne dispose pas encore d'un cadre réglementaire fixé ou d'un marché pour ces services pour le GRD (seulement un cadre d'expérimentation). La question de l'addition des mécanismes « locaux » et « systèmes » et du besoin de coordination qui en découle doit être travaillée, ainsi que les exigences techniques qui en découlent (comptage, contrôle du réalisé, localisation sur le réseau de distribution...).

Des règles de participation à des marchés locaux de flexibilités seront à définir tout comme des adaptations du TURPE. Il est donc important de considérer, dans le cadre de la consultation TURPE 7, une structure tarifaire qui reflète l'impact du V2G sur les besoins d'investissement sur le réseau de transport et de distribution (y compris aux points de raccordement électrique en BT).

Flexibilités en sauvegarde

Ce dispositif de flexibilité est mis en place pour faire face aux situations exceptionnelles, notamment par des signaux d'alerte EcoWatt. Les véhicules électriques arrêtent leurs processus de recharge de leurs batteries en fonction du signal reçu. Aussi, il serait possible d'alimenter la maison, le bâtiment et le réseau électrique par la décharge de la batterie du véhicule électrique pendant les heures d'alerte EcoWatt.

Offres de pilotage énergétique lié au marché de détail

Optimisation tarifaire de la puissance souscrite (part fixe de la facture d'électricité)

Ce mécanisme repose sur l'optimisation de la puissance nécessaire à la consommation électrique en lissant (décalage et/ou modulation) la charge du véhicule ou en réinjectant de l'énergie au réseau par l'écrêtage des pics de consommation. L'écrêtage est une stratégie utilisée pour réduire la demande de pointe sur le réseau électrique pendant les périodes de forte consommation d'électricité, au niveau local d'une maison ou d'un bâtiment. Cela se fait généralement en déplaçant une partie de la consommation d'énergie des périodes de demande de pointe vers les heures de faibles consommations (par un pilotage statique tarifaire vers les heures creuses par exemple) et/ou en déchargeant le véhicule pendant ces heures de forte consommation. Il est applicable à l'ensemble des cas d'usage.

Pour les cas d'usage « à domicile » : le développement des chargeurs 7 et 11 kVA pour la recharge à domicile devrait encourager à accroître ce taux d'optimisation des puissances souscrites. Ce cas d'usage est fortement lié au développement de chargeurs plus puissants (7kW en monophasé, 11, 22 kW en triphasé) – car il permet de limiter l'augmentation de puissance souscrite.

Pour les cas d'usage « bâtiment tertiaire » : il existe un potentiel économique d'optimisation de la puissance souscrite. La structure du TURPE et la disponibilité de bornes smart charging sont des leviers d'accroissement de la valeur économique de ce mécanisme.

De même, en ce qui concerne le raccordement, une optimisation est possible pour en limiter les coûts, avec des offres similaires aux « offres de raccordement intelligent » disponibles pour les EnR.

Optimisation tarifaire de la part variable de la facture d'électricité

Ce mécanisme repose sur l'optimisation du coût du kWh consommé pour la recharge en décalant et/ou modulant la charge. Il est applicable à l'ensemble des cas d'usage (bâtiment résidentiel, bâtiment tertiaire, en voirie). Ce mécanisme utilise principalement le service V1G.

Pour les charges plus lentes en voirie et parking publics : la valeur économique à rendre au client pour le convaincre d'accepter une optimisation et donc un compromis sur sa recharge (plus longue, moins d'énergie...) doit être importante.

La participation à l'intégration de la production des énergies renouvelables et l'optimisation de la production locale

Les différents moyens de pilotage de la recharge permettent de faciliter l'intégration des sources d'énergies renouvelables intermittentes, telles que l'énergie solaire et éolienne. Ce mécanisme consiste à **optimiser l'arbitrage entre électricité produite localement et celle du réseau en maximisant l'utilisation de l'énergie produite sur le site (ex. PV, cogénération) pour minimiser l'injection d'énergie produite localement sur le réseau de distribution**. Pour ce faire, le mécanisme implique un pilotage de la recharge du véhicule électrique (part locale de l'énergie injectée dans le véhicule électrique). Dans ce cas, il faut noter que le bénéficiaire n'est pas forcément un bénéficiaire pour la collectivité, et la méthode d'optimisation dépendra de l'objectif final. Les objectifs d'optimisation de la production locale pourraient prendre comme objectif, par exemple : **minimiser les contraintes du réseau public de distribution** en réduisant la congestion sur le réseau électrique et en gérant les contraintes de capacité dans les zones locales, **minimiser le financement du réseau électrique** en limitant les travaux de renforcement du réseau ainsi que **minimiser la fiscalité**. On peut aussi chercher à **maximiser la revente (réinjection) de l'énergie produite sur le site en utilisant le véhicule électrique** pour stocker de l'énergie produite localement, qui sinon aurait été écartée, pour la réinjecter plus tard.

Ce mécanisme est applicable uniquement aux cas d'usage bénéficiant d'une production locale. Il peut être utilisé avec du V1G (chargé préférentiellement avec sa production locale) ou en V2X (stocker de la production locale pour la réinjecter ensuite, localement ou au réseau). Si la réinjection était limitée par le Réseau Public de Distribution (RPD) à un instant donné, on peut ainsi décaler cette réinjection pour bénéficier du tarif de rachat.

Ce type de services peut engendrer plus de trafic sur le réseau RPD et générer des congestions locales pour répondre à un business de marché de l'électricité.

Peu de freins réglementaires ont été identifiés dans l'utilisation de ce mécanisme et cela quel que soit le cas d'usage de recharge, à l'exception de l'arrêté du 6 octobre 2021 qui limite l'utilisation des batteries mobiles ou stationnaires. Dans ce cas, la batterie ne peut « communiquer » qu'avec les panneaux PV et non avec le réseau, limitant la participation du véhicule électrique aux services réseaux. En V2G, il existe un frein économique liée au calcul des taxes associées à l'énergie soutirée même quand elle est restituée partiellement au réseau plus tard. Il faut donc proposer des solutions pour permettre la cohabitation harmonieuse entre le V2G et le photovoltaïque et veiller à l'évolution des règles de sortie des contrats PV historiques (non compatibles avec le V2X).

Une analyse fiscale est à réaliser pour identifier si des freins ou des désoptimisations existent dans l'utilisation de l'autoconsommation d'un bâtiment pour recharger une flotte de véhicules (de service, de fonction ou privée) qui y est connectée.

L'autoconsommation n'est pas limitée au cas d'usage en aval du point de livraison et prend en compte l'utilisation de batteries dans le cadre des dispositifs ENR ou dans les communautés d'énergie citoyenne. Ceci reste à expliciter et clarifier. Les textes français devront être conformes aux directives européennes⁵⁰ qui doivent être transposées en droit national⁵¹. Le cas des échanges d'énergie pair à pair n'est pas considéré dans ce document.

Il existe en revanche une inadéquation entre les besoins de recharge d'un utilisateur sur voie rapide, voire en voirie (recharger vite et donc à forte puissance) et la recherche d'une optimisation d'une production locale non continue. D'une manière plus générale, le pilotage intelligent de l'énergie accumulée dans la batterie (qu'elle soit unidirectionnelle ou bidirectionnelle, adossée à la gestion locale ou non) est peu adapté à des infrastructures de recharge rapide car la durée de connexion des véhicules est réduite et l'exploitation très contrainte par les besoins de mobilité de l'utilisateur (se recharger le plus vite possible donc à puissance maximale).

Autres mécanismes de valorisation

Optimisation sur signal CO₂ avec ou sans valorisation financière

Ce mécanisme repose sur l'optimisation de l'empreinte carbone de la consommation d'énergie pour la recharge en utilisant des signaux sur la composante CO₂ du mix électrique pendant la recharge. Il peut être envisagé de valoriser la diminution de l'empreinte carbone

⁵⁰ Directive 2019/944 [5] concernant des règles communes pour le marché intérieur de l'électricité et modifiant la directive 2012/27/UE (voir en particulier les articles 7 ; 13 ; 15 ; 16 ; 17 23 ; 31 ; 32) et la Directive 2018/2001 du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (voir notamment article 22)

⁵¹ Potentiellement par voie d'ordonnance, voir Loi n°2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat (article 39).

de la consommation énergétique sur les marchés carbone sous la forme d'un effacement CO₂. Ce mécanisme utilise le pilotage dynamique en V1G.

Il est applicable à l'ensemble des cas d'usage à l'exception des cas sur autoroute et en voirie, où il n'y a pas de valeur évidente à retarder une charge et à contraindre l'expérience client.

En métropole, **il n'existe actuellement pas de cadre réglementaire** pour ce type de services et de marchés, et la valorisation économique du CO₂ est indirectement prise en compte par le prix du CO₂ de l'EU ETS. Dans ce sens, nous avons intérêt à avoir le prix le plus haut possible pour que l'optimisation économique corresponde bien à une optimisation CO₂. Des contraintes réglementaires existent pour encourager ce mécanisme en ZNI⁵² / Zone insulaire.

Valorisation en source de remplacement

Le véhicule électrique dans le cadre d'un service de V2X peut offrir une alimentation de secours qui présente une solution temporaire de remplacement d'alimentation électrique principale, complémentaire ou en remplacement de tout ou partie d'une source existante en cas de discontinuité ou de non-qualité de la fourniture d'électricité. Ce mécanisme utilise le service V2H, notamment dans les maisons.

Il est applicable aux cas d'usage « à domicile » ou « au travail » et moins sur les cas en voirie où une source de remplacement n'est pas forcément attendue. Il nécessite de disposer d'une installation électrique en aval PDL permettant l'utilisation d'une source de remplacement. **Ce mécanisme est particulièrement intéressant en ZNI ou en zone "mal desservie".**

Il faut noter que la protection de découplage limitera ce cas d'usage. Le client devra s'équiper d'une seconde borne associée à un inverseur de source, et de disposer d'un véhicule V2G générant un signal 50 Hz de façon autonome sans référence de tension du réseau amont. **L'utilisateur d'un tel système devra être vigilant sur le plan de protection de son habitat ou de son bâtiment.**

Valorisation pour l'amélioration de la qualité de l'énergie en aval compteur

Ce mécanisme valorise un service de V2B/V2G pour **améliorer la qualité de l'électricité en aval d'un PDL dégradée par des installations industrielles ou l'énergie réactive réinjectée sur le RPD par des installations industrielles.**

Par exemple, le TURPE comprend une composante d'énergie réactive (uniquement pour les clients en abonnement > 36 kVA). La tarification prévoit de facturer l'énergie réactive soutirée pendant les mois de novembre à mars, de 6 h à 22 h, du lundi au samedi, les jours ouvrables, pour la partie qui dépasse 40 % de l'énergie active consommée pendant la même période. Par exception, la facturation s'applique aux heures de pointe et aux heures pleines de novembre à mars pour les tarifs à différenciation temporelle. A titre d'illustration sur le mois de

⁵² Zone Non Interconnectée : Réseau électrique de distribution isolé et non connecté à un réseau « continental », par exemple réseau insulaire.

décembre 2019, sur un département français, une vingtaine de clients (gros consommateurs) ont payé un montant de ~20 k€ (1,94 c d'€ /kvar.h injectés ou soutirés).

Ce mécanisme s'applique aux cas d'usage « au travail » dans un contexte particulier de présence d'installations industrielles ayant un impact fort sur la qualité locale de l'électricité. Des infrastructures de recharge spécifiques devront aussi être envisagées.



Propositions concernant la réglementation et les politiques publiques

Le groupe de travail a listé collaborativement les grands points suivants qui doivent faire l'objet d'une précision, d'une évolution ou d'une révision réglementaire qui sera détaillée dans ce chapitre.

Liste des préconisations aux pouvoirs publics

Appels à actions

1. **Faire du pilotage tarifaire de la charge le comportement par défaut des électromobilistes, en intégrant une communication ad hoc par les pouvoirs publics, et tous les acteurs de l'écosystème** (les constructeurs automobiles, les énergéticiens, les opérateurs de recharge, etc.). **Encourager tout type de pilotage, depuis le pilotage statique jusqu'au pilotage dynamique et la recharge bidirectionnelle** (pilotage par la borne ou pilotage par le véhicule, etc.).

Parties prenantes : Etat, collectivités et membres de l'écosystème

Leviers : actions de communication et accompagnement du changement

Textes : LPEC, décret IRVE, LOM, la directive sur la performance énergétique des bâtiments

L'Avere-France souligne l'importance de **promouvoir les mesures d'efficacité électrique** tels que le pilotage de la recharge et le Vehicle-to-X (V2X) et **les intégrer à la stratégie nationale**. Il est donc important de **communiquer activement sur l'intérêt du pilotage tarifaire**, dans le cadre des campagnes de communication proposées par tous les membres de l'écosystème de la mobilité électrique et d'**encourager tout type de pilotage**, allant du pilotage basique statique au pilotage dynamique plus sophistiqué répondant à des signaux en temps réel et la recharge bidirectionnelle, auprès de tous les profils d'utilisateurs de véhicules électriques.

2. Développer l'incitation fiscale sur l'installation de points de charge pilotés, notamment permettant le pilotage dynamique ou bidirectionnel, et connectés.

Partie prenante : Etat

Leviers : modification(s) législative(s) et réglementaire(s)

Textes : PLF, Code général des impôts

L'Avere-France propose la mise en œuvre d'un projet global de soutien de la filière dans le cadre de la loi de finances (PLF) : bonification des subventions pour les bornes de recharge pilotés et connectées, permettant de réaliser le pilotage dynamique et/ou bidirectionnel. **Ceci permet d'augmenter les volumes et générer des économies d'échelle.**

3. La mise en application des règles de taxation liées à la consommation finale de l'électricité : l'énergie soutirée puis réinjectée sur le réseau par un véhicule électrique (ou tout type de batterie) ne constitue pas une consommation finale d'électricité et doit être exemptée de taxation pour les professionnels et les particuliers.

Partie prenante : Etat

Leviers : modification(s) législative(s), réglementaire(s) et administrative(s)

Textes : la proposition de la Commission européenne de révision de directive sur la taxation de l'énergie (2003/96/EC), documents administratifs divers

L'Avere-France rappelle que les services réalisés par le véhicule électrique à partir du V1G et le V2X présentent des gains pour le réseau de distribution. Il est nécessaire de réfléchir à une évolution de la tarification de l'utilisation du réseau permettant de ne pas pénaliser économiquement les différents cas d'usage.

La double taxation de la consommation finale d'électricité (CSPE) présente un facteur limitant la rentabilité de ce mécanisme car pénalisant le stockage destiné à la revente. Il est nécessaire de mettre en application des règles de taxation liées à la consommation finale de l'électricité : **l'énergie soutirée puis réinjectée sur le réseau par un véhicule électrique doit être exceptée de taxation pour les professionnels et les particuliers.**

4. Lancer en France un dispositif *Vehicle-to-Grid* à grande échelle permettant de lancer une filière française, qui intègre les spécificités du marché français.

Parties prenantes : Etat et tous les membres de l'écosystème

Leviers : décision politique, modification(s) législative(s)

Texte : PLF

Le succès de la technologie *Vehicle-to-X* repose sur la mobilisation d'un écosystème complet comprenant les énergéticiens, opérateurs de bornes de charge, constructeurs automobiles et fournisseurs de matériels. **L'Avere-France propose, au vu des bénéfices prometteurs de cette**

technologie sur le plan technico-économique, d'imiter la démarche réalisée en 2018 par le Royaume-Uni et les retours satisfaisants de 2022, en créant en France un dispositif *Vehicle-to-Grid* à grande échelle permettant de lancer une filière nationale qui considère les spécificités du marché français (grid codes, réglementation, etc.). Une volumétrie de 5 000 véhicules et bornes paraît pertinente pour amorcer une première baisse de coût des technologies et avoir la taille suffisante pour participer aux différents mécanismes de marchés.

La démarche aurait plusieurs objectifs :

- Rassembler et faire travailler ensemble **les acteurs de la filière sur cette technologie** (constructeurs automobiles, énergéticiens, opérateurs de charge, fabricants de matériels) pour apprendre et **construire ensemble une expertise française** sur le sujet ;
- Démontrer **la pertinence technico-économique de la solution** et la capacité du V2X à répondre aux besoins des différents marchés de l'énergie à un coût compétitif, par la participation à des marchés déjà accessibles ou à travers la mise en place d'expérimentations sur des mécanismes pour le moment difficile d'accès (réserves de fréquence etc.) ;
- Identifier plus finement **les différentes barrières à la technologie dans la pratique** et travailler sur l'évolution de la réglementation nécessaire à la juste valorisation et intégration de cette technologie dans le système électrique et les différents marchés de l'énergie ;
- Amorcer **une baisse de coût**, notamment des infrastructures de recharge bidirectionnelles, qui dépendent au premier ordre du volume de production, comme tout produit électronique ;
- **Accompagner et valider l'acceptabilité de cette technologie par les différentes typologies de clients.**

Ces 5 000 bornes et véhicules bidirectionnels, représentant entre 35 et 55 MW de réinjection possible (en V2H/V2B) pourront participer à différents mécanismes de marché et notamment à l'appel d'offre effacements à un coût compétitif tout en procurant des bénéfices financiers à des utilisateurs de véhicules électriques ayant une démarche vertueuse pour le système électrique.

Par ailleurs, en 2019, l'Avere-France proposait de définir le stockage mobile en lien avec la transposition des dispositions prévues par le Clean Energy Package européen, cette recommandation a été bien prise en compte. En revanche, l'enjeu est aujourd'hui de préciser les règles s'appliquant au stockage mobile dans différents cadres : **les codes de réseau raccordement** et **les règles du marché**. L'Avere-France propose de formaliser et simplifier le

déploiement des réseau raccordement qui présente une étape primordiale pour l'intégration du véhicule électrique dans le réseau électrique.

Recommandations

1. Mise en place de subventions dédiées, et d'appels à projets (AAP), aux bornes de recharge bidirectionnelles et pilotées par un opérateur de services.

Parties prenantes : Etat et les collectivités

Leviers : modification(s) législative(s) et réglementaire(s), soutien aux investissements

Texte : PLF

L'Avere-France rappelle que, pour développer la filière V2X, la mise en place d'aides financières (subventions dédiées et appels à projets) présentent une étape primordiale pour permettre un déploiement massif de bornes de recharge bidirectionnelle et pilotée par un opérateur de services.

2. Promouvoir l'achat de véhicules électriques compatibles avec la recharge bidirectionnelle, en alternatif ou en continu, grâce à des systèmes d'incitation additionnelle.

Parties prenantes : Etat et les collectivités

Leviers : modification(s) réglementaire(s)

Textes : PLF, Code de l'énergie

Il est indispensable de mettre en place des systèmes d'incitation additionnelles afin de promouvoir l'achat des véhicules électriques compatibles avec la recharge bidirectionnelle. Ceci présente une étape importante pour préparer l'avenir de la recharge bidirectionnelle (V2H, V2B, V2G) et une adoption massive de cette technologie.

3. Inciter pour tout type de pilotage, les comportements contracycliques qui présentent un bénéfice pour le réseau de transport et de distribution, y compris le réseau de raccordement électrique BT, notamment :

- a. **Affiner les plages temporelles pour refléter plus fidèlement les pointes dimensionnantes des réseaux**, par une augmentation de la différenciation temporelle du prix au kWh (HP/HC) et une augmentation de la puissance souscrite en heures creuses ;
- b. **Réfléchir, dans le cadre de la consultation TURPE 7, à une évolution des règles** qui reflète mieux l'impact du V2G sur les besoins d'investissement sur le réseau de transport et de distribution, notamment la création d'un tarif différencié selon les tranches horaires.

Parties prenantes : Etat, GRD et CRE

Leviers : modification(s) réglementaire(s)

Textes : documents divers

L’Avere-France souligne que les services réalisés par le véhicule électrique à partir du V1G et le V2X présentent des gains pour le réseau de distribution. Il est nécessaire de réévaluer la différenciation temporelle du prix du kWh en HP/HC et la structuration du TURPE afin de lever les freins économiques et de réfléchir à une évolution de la tarification de l’utilisation du réseau permettant de ne pas pénaliser économiquement les différents cas d’usage.

4. Accélérer la collaboration entre les différents membres de l’écosystème au niveau national et européen (énergéticiens, constructeurs automobiles, opérateurs de recharge, etc.) afin de définir et d’harmoniser les différents cas d’usage (pilotage tarifaire, effacement, autoconsommation, Vehicle-to-X, etc.) et construire un langage commun (modèle de données, protocoles, etc.) pour garantir une **interopérabilité de bout en bout**.

Parties prenantes : Tous les membres de l’écosystème

Leviers : Décision politique, expérimentations à conduire

L’Avere-France propose d’accélérer l’acquisition de la maturité technique par la collaboration entre les différents membres de l’écosystème afin d’explorer les différents cas d’usage et garantir une interopérabilité de bout en bout. La publication des protocoles de communication IEC 61851, IEC 63110, IEC 63119 et ISO 15118 ainsi que leurs mises à jour présentent une étape indispensable pour garantir l’interopérabilité end-to-end et intégrer le pilotage de la recharge et le V2X. Des efforts supplémentaires doivent être faits pour garantir que les véhicules et les infrastructures V2G soient sécurisés contre les attaques informatiques.

5. Permettre la mise à disposition non-discriminatoire de données dynamiques issues des véhicules (notamment des données relatives aux batteries), **des réseaux électriques, des fournisseurs d’électricité, des bâtiments, des bornes auprès de tiers** (fournisseurs de services de flexibilité, gestionnaires d’énergie, etc.), **sous-réserve d’engager des initiatives de standardisation, et du respect des règles en matière de protection des données - RGPD - (notamment d’accord du client) et des dispositions des règlements européens.**

Ce cadre standardisé, à préciser, facilitera le partage des « données » de la recharge. Cela supposera de traiter, dans ce cadre, de l’accès aux données mais également de leur format et des modalités de transfert de celles-ci.

Parties prenantes : Etat et tous les membres de l’écosystème

Leviers : modification(s) législative(s)

Texte : LOM, règlement européen sur les batteries

L’Avere-France souligne que les services V1G et V2G nécessitent une mise en place non discriminatoire des données issues de tous les objets connectés participants au pilotage de la recharge. Les acteurs concernés par la recharge intelligente et le V2X sont favorables à la mise à disposition non-discriminatoire de données dynamiques issues des véhicules (et notamment des données relatives aux batteries), des réseaux électriques et des bâtiments auprès de tiers (fournisseurs de services de flexibilité, gestionnaires d’énergie, etc.), **sous**

réserve du respect de la réglementation en matière de données personnelles et des spécificités propres à chaque acteur. En effet, les traitements de ces données impliquant des transferts de données personnelles, ceux-ci doivent être conformes aux réglementations applicables.

L'Avere-France soutient également la nécessité **d'engager ces acteurs dans une démarche de mise en place d'initiatives de standardisation lorsque cela est pertinent.** Ces standards pourraient faciliter le partage des « données » de la recharge. Cela supposerait de traiter, dans ce cadre, de l'accès aux données mais également de leur format et des modalités de transfert de celles-ci.

Pour l'Avere-France, **des données pertinentes pour les services V1G et V2X pourraient inclure** : l'état de charge dynamique de la batterie (%), les caractéristiques batterie (capacité en kWh, P_{\max} et P_{\min} en soutirage et en injection), le statut dynamique de la connexion électrique du véhicule (sans précision de la nature de la connexion : prise, prise renforcée, borne, ...), le statut dynamique du véhicule (en charge ou non), l'identifiant du véhicule. D'autres données complémentaires permettront de rendre tous types de services V1G, V2X dans de nombreuses configurations : la P_{\max} et la P_{\min} dynamique en soutirage et en injection, ainsi que la localisation dynamique permettant d'identifier un point de raccordement.

Par ailleurs, **d'autres données issues du bâtiment et du fournisseur d'électricité assureront le pilotage de la recharge**, notamment dynamique et bidirectionnelle : la puissance du bâtiment, le tarif de l'électricité par plage horaire, ainsi que la disponibilité du service pour le bâtiment, les réseaux, l'infrastructure et le véhicule.

Les moyens de mise à disposition de données pour les services de V1G / V2X ne se limitent pas aux configurations pour lesquelles la norme ISO 15118 (protocole VE-Borne) est requise, d'autres modalités et technologies d'accès aux données du véhicules peuvent être étudiées plus avant par les acteurs impliqués dans cette mise à disposition.

- 6. Réfléchir, dans le cadre de la Commission d'Accès aux Marchés (CAM), à faciliter l'insertion du véhicule électrique dans les règles de participation aux mécanismes de services système et d'ajustement** et la simplification des procédures d'agrégation de petites sources de production et notamment disposer d'une définition dans ces règles du V1G et V2G, ainsi que de possibilités d'agrégation des véhicules électriques sur le réseau public de transport d'électricité (RPT) et le réseau public de distribution d'électricité (RPD):
- a. Envisager la réduction de la taille de participation minimale (> 1MW), la granularité de 1MW et la disponibilité pour 4 heures pour participer à ces mécanismes ;
 - b. Envisager la réduction des entités d'ajustement (EDA) à 10 MW qui est contraignante et complexifie l'agrégation, nécessitant d'agréger des véhicules avec d'autres assets ;

- c. Envisager des règles de contrôle du réalisé adaptées à l'usage VE dans le respect des exigences du fonctionnement du système électrique.

Parties prenantes : GRD, GRT, CRE

Leviers : décision politique, expérimentations à conduire, modification(s) réglementaire(s)

Textes : documents divers

Les critères des appels d'offres (périmètre géographique, seuil de participation) **doivent pouvoir s'adapter à la participation des véhicules électriques. Les mécanismes nécessitent le service V2G pour la réserve primaire car les services asymétriques n'y sont actuellement pas autorisés.** La réserve secondaire et le mécanisme d'ajustement sont accessibles au V1G. Le marché secondaire est actuellement fermé à la concurrence. Il existe aujourd'hui plusieurs freins à la participation des véhicules électriques dans les services système :

- Les conditions actuelles d'éligibilité à ces mécanismes pour des ressources distribuées, tels que les VE, sont contraignantes, tel que la granularité de 1 MW, la disponibilité pour 4 heures, ainsi que la taille de l'entité d'ajustement (>10 MW) ;
- Des problématiques techniques existent pour la réalisation de services au réseau, tels que l'agrégation et pilotage de sources de production distribuées, le contrôle de la disponibilité et de la performance du service et la fiabilité dans la fourniture du service au regard des enjeux de sécurité du système électrique (notamment pour la cybersécurité).
- La disposition des règles de contrôle du réalisé adaptées à l'usage véhicules électriques pour les effacements (marché de notification de blocs d'effacement NEBEF), en termes de règles d'éligibilité minimale ou de foisonnement entre production et soutirage notamment.

Il faudra réfléchir, dans le cadre de la Commission d'Accès aux Marchés (CAM), à faciliter l'insertion du véhicule électrique dans les règles de participation aux mécanismes de services système et d'ajustement.

7. Lever les freins à l'utilisation des batteries véhicules, en V2G, dans le cadre des dispositifs de soutien aux énergies renouvelables posés par l'arrêté tarifaire du 6 octobre 2021.

Partie prenante : Etat

Leviers : modification(s) réglementaire(s)

Texte : arrêté tarifaire du 6 octobre 2021

L'article 6 de l'arrêté tarifaire du 6 octobre 2021 dispose que le dispositif de stockage ne peut être chargé que, par exemple, par une installation photovoltaïque : aucune puissance soutirée du réseau ne doit servir à charger la batterie. Dans ce schéma, le stockage par batteries n'existe pas vu du réseau et ne sert qu'à gérer la consommation de l'auto-producteur. **Cette condition constitue une limite à l'utilisation des batteries couplées à des panneaux photovoltaïques, des dispositifs de cogénération ou d'autres sources d'énergie.**

L’Avere-France estime nécessaire d’ouvrir le marché de l’optimisation de la gestion de la flexibilité des clients auto-consommateurs résidentiels individuels, et donc de faire évoluer cet arrêté pour le mettre en cohérence avec la transposition des directives sur le stockage afin de permettre à une batterie d’être exploitée au mieux de son potentiel. Pour cela, les conditions d’accès au tarif à injection partielle (« vente en surplus ») doivent être modifiées pour permettre à une batterie d’être chargée à partir du réseau et de réinjecter de l’énergie valorisée aux prix de marché – hors tarifs de rachat photovoltaïque.

Cette disposition augmentera tant les bénéfices de cette solution pour les gestionnaires de réseau que son intérêt économique pour les utilisateurs, en leur offrant la possibilité d’optimiser leur portefeuille de flexibilité (et notamment leur soutirage heures pleines/heures creuses).

- 8. Conserver la limite de 6 kW de puissance maximale d’injection en monophasé et permettre l’installation d’équipements jusqu’à 18 kW de capacité d’injection avec un système de pilotage qui garantisse la puissance maximale d’injection.**

Partie prenante : GRD

Leviers : modification(s) administrative(s), expérimentations à conduire

Texte : Enedis-PRO-RES_78

- 9. Formaliser (et simplifier) le processus pour les déclarations administratives liées au V2G ainsi que l’homologation et la certification des véhicules et bornes V2G.** Cette simplification permettrait, pour les installateurs, d’automatiser les démarches qui seront faites sur mandat du client final et, pour l’utilisateur, de remplacer son véhicule ou borne sans devoir refaire des démarches administratives.

Parties prenantes : Etat, GRD

Leviers : modification(s) administrative(s)

Textes : documents divers (demande de raccordement, déclaration du producteur, attestation de conformité, etc.)

Préconisations d'évolution, de précision ou de révision du cadre réglementaire

1. Article 200 quater C du code général des impôts

Ajouter à un alinéa 5 bis « Le montant maximal mentionné au 5 est porté à 900 € sous condition que le système de charge soit connecté et garantisse une modulation temporaire de la puissance électrique appellable sur réception et interprétation de signaux externes transmis à partir d'un protocole standard de communication ouvert. »

2. Article 12 de la directive sur la performance énergétique des bâtiments

Art. 12 (extrait) : « Les États membres veillent à ce que les points de recharge visés aux paragraphes 1, 2 et 4 du présent article permettent la recharge intelligente et, ~~le cas échéant,~~ la recharge bidirectionnelle et à ce qu'ils soient exploités sur la base de normes et de protocoles de communication non propriétaires et non discriminatoires, de manière interopérable et conformément aux normes et protocoles légaux définis dans les actes délégués adoptés en application de l'article 19, paragraphes 6 et 7, du règlement (UE) .../... [AFIR] »

3. Articles 3 et 8 du décret IRVE 2017

Art. 3 (extrait) : « Par dérogation au premier alinéa, les exigences requises pour la configuration de points de recharge normale bidirectionnelle en courant continu sont définies par arrêté des ministres chargés de l'énergie et des transports. »

Art. 8 : « Les modalités de restitution au réseau électrique d'une partie de l'énergie stockée dans un véhicule électrique ou hybride rechargeable par l'intermédiaire d'un point de recharge bidirectionnel, ainsi que les conditions dans lesquelles les véhicules électriques ou hybrides rechargeables permettent cette restitution, sont définies par arrêté des ministres chargés de l'énergie et des transports. »

Les deux arrêtés mentionnés n'ont jamais été publiés.

4. Article 2 du décret IRVE 2017

Ajout d'alinéa à l'Article 2

Après l'alinéa 21 de l'Article 2 du décret IRVE, insérer l'alinéa suivant :

«22° 'Recharge intelligente' : une charge de véhicule électrique contrôlée par une communication afin de répondre aux besoins des utilisateurs en optimisant les contraintes et les coûts des réseaux et de la production d'énergie au regard des limitations du système et de la fiabilité de l'alimentation électrique ; »

5. **Article 22 de la proposition de la Commission européenne de révision de directive sur la taxation de l'énergie (2003/96/EC)**

Ajout à l'Article 22.4:

*...Aux fins du premier alinéa, les installations de stockage d'électricité et les transformateurs d'électricité peuvent être considérés comme des redistributeurs lorsqu'ils fournissent de l'électricité. **Les clients actifs (tels que définis dans la directive (UE) 2019/944 art. 2, paragraphe 8), y compris les propriétaires de véhicules électriques ou de batteries participant à des systèmes de charge bidirectionnelle et les autres clients fournissant des services de flexibilité au réseau, doivent être exonérés de la taxation sur l'énergie inutilisée qu'ils réinjectent dans le réseau.***

6. **Arrêté du 6 octobre 2021 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations implantées sur bâtiment, hangar ou ombrière utilisant l'énergie solaire photovoltaïque, d'une puissance crête installée inférieure ou égale à 500 kilowatts telles que visées au 3° de l'article D. 314-15 du code de l'énergie et situées en métropole continentale**

Supprimer cet extrait de l'Article 6 : « ~~pour les installations équipées d'un dispositif de stockage de l'électricité, la mise en place d'un dispositif technique permettant de garantir que l'énergie stockée provient exclusivement de l'installation de production.~~ »

7. **Articles 25 et 32 de la loi d'orientation des mobilités**

Ajout à cet extrait de l'Article 25 : « 7° Les données relatives aux points de recharge publics pour véhicules électriques ou hybrides rechargeables incluent leur localisation, leur puissance, leur tarification, leurs modalités de paiement, leur accessibilité aux personnes handicapées ou à mobilité réduite, leur disponibilité, les éventuelles restrictions d'accès liées au gabarit du véhicule **et le statut du point de recharge (unidirectionnel ou bidirectionnel)** ; » (article 1115 -1 du code des transports)

Ajout à cet extrait de l'Article 32 : « I. – Dans les conditions prévues à l'article 38 de la Constitution, le Gouvernement est autorisé à prendre par voie d'ordonnance, dans un délai de douze mois à compter de la promulgation de la présente loi, toute mesure relevant du domaine de la loi afin de :

6° Permettre un accès non discriminatoire aux données pertinentes des véhicules pour le développement des services liés au véhicule de réparation, de maintenance et de contrôle technique automobiles, d'assurance et d'expertise automobiles, des services s'appuyant sur la gestion de flottes, des services de distribution de carburants alternatifs tels que définis par la directive 2014/94/UE du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs et des services innovants de mobilité attachée au véhicule ;

Les données relatives aux véhicules électriques ou hybrides rechargeables incluent l'état dynamique de charge de la batterie (%), les caractéristiques batterie (capacité en kWh, P_{max})

et P_{min} en soutirage et en injection), le statut dynamique de la connexion électrique du véhicule (sans précision de la nature de la connexion : prise, prise renforcée, borne, ...), le statut dynamique du véhicule (en charge ou non) dynamiquement, l'identifiant du véhicule, ainsi que la localisation dynamique permettant d'identifier un point de raccordement.

Termes et abréviations

AC – *Alternative Current*
AO – Appel d’Offre
aFRR – *Automatic Frequency Restoration Reserve*
BT – Basse Tension
CAFE – *Corporate Average Fuel Economy*
CEP – *Clean Energy Package*
CRE – Commission de Régulation de l’Energie
CPO – *Charging Point Operator*
DC – *Direct Current*
ENR – Energies Renouvelables
FCR – *Frequency Containment Reserve*
GRD – Gestionnaire de Réseau de Distribution
GRT – Gestionnaire de Réseau de Transport
GT – Groupe de Travail
HP / HC – Heures Pleines / Heures Creuses
HEMS – *Home Energy Management System*
HTA – Haute Tension A
IRVE – Infrastructure de Recharge de Véhicules Electriques
MA – Mécanisme d’Ajustement
NEBEF – Notification de Bloc d’Effacement
PDL – Point de Livraison
PPE – Politique Pluriannuelle de l’Energie
PV – PhotoVoltaïque
RPD – Réseau Public de Distribution
RPT – Réseau Public de Transport
SI – Système d’Information
SoC – State of Charge
SSyf – Services SYstèmes fréquence
STEP – Solution de Transfert d’Energie par Pompage
TIC – Télé Information Client
TRV – Tarif Réglementé de Vente
TURPE – Tarif d’Utilisation des Réseaux Publics d’Electricité
VE – Véhicules Electriques
VEB – Véhicules Electriques à Batterie
VHR – Véhicule Hybride Rechargeable
VP – Véhicule Particulier
VUL – Véhicule Utilitaire Léger
V1G – *Smart Charging*
V2B – *Vehicle-to-Building*
V2G – *Vehicle-to-Grid*
V2H – *Vehicle-to-Home*
V2X – *Vehicle-to-anything*
ZFE-m – Zones à Faibles Emissions mobilité
ZNI – Zone Non Interconnectée

Contacts pour le présent rapport

Bassem Haidar

Responsable des études et de la prospective

bassem.haidar@avere-france.org

M : +33 (0)7 55 53 63 51

Aubin Bernard

Responsable des relations institutionnelles

aubin.bernard@avere-france.org

M : +33 (0)6 71 67 00 99

Paul Danielzik

Responsable de la communication

paul.danielzik@avere-france.org

M : +33 (0)6 23 06 68 74

A propos de l'Avere-France

Depuis 1978, l'Avere-France fédère l'ensemble des acteurs de l'écosystème de la mobilité électrique dans les domaines industriel, commercial, institutionnel et associatif. Elle adresse ainsi la mobilité électrique utilisant des véhicules à batterie, hybrides rechargeables ou pile à combustible, des deux-roues, véhicules légers ainsi que les poids lourds et bus.

La présence, parmi nos 270 adhérents, de constructeurs, d'énergéticiens, d'utilisateurs mais aussi de collectivités territoriales nous permet de disposer d'une expertise sur tous les axes de la chaîne de valeur de l'écosystème, des types d'énergie, et des moyens de mobilité. L'Avere-France est également depuis 2016 le pilote d'Advenir, un programme de financement de points de recharge, de formation et de sensibilisation du grand public.



