

Le pilotage de la charge des véhicules électriques

Rapport Avril 2024

ENEDIS



Résumé

Le pilotage de la charge des véhicules électriques est un enjeu majeur pour le système électrique français. En raison de l'arrivée prochaine de dizaines de millions de véhicules électriques connectés au réseau, il est essentiel que leur recharge intervienne durant les périodes où l'électricité est la plus disponible.

Dans ce contexte, il est important que les solutions de pilotage de la charge des véhicules électriques (VE) soient mises en œuvre rapidement. Les modalités doivent être définies avec les acteurs des secteurs du transport et de l'énergie, afin de répondre à tous les cas d'usage et à toutes les configurations rencontrées chez les clients.

La recharge à domicile est un segment clé, en maison individuelle comme dans le résidentiel collectif. En effet, selon une enquête Enedis auprès d'utilisateurs de véhicules électriques menée en juin 2023, 83 % de la recharge des VE des particuliers s'effectue à domicile.

À domicile, il convient de systématiser le pilotage tarifaire, c'est-à-dire le placement de la recharge de son véhicule électrique durant les périodes creuses où l'électricité est la moins chère (heures creuses fixes ou périodes mobiles définies par le calendrier du fournisseur).

Dans le résidentiel collectif, Enedis expérimente une solution de pilotage des infrastructures de recharge au niveau de l'immeuble, pouvant être adaptée aux solutions des opérateurs privés ainsi qu'à la solution publique, nommée réseau électrique auto.

Relier systématiquement le système de charge au compteur électrique facilite le pilotage tarifaire à grande échelle (il y a par exemple 36 millions de compteurs Enedis déployés dans les logements et près de 500 000 dans les entreprises).

En complément, un système de charge connecté permet d'optimiser davantage le pilotage de la charge en activant des services complémentaires (pilotage dynamique, activation de flexibilité) et en prenant en compte les besoins spécifiques de l'utilisateur.

La position et les recommandations d'Enedis répondent à un besoin d'information sur l'existence de ces solutions de pilotage. Elles sont un moyen d'optimiser l'impact de l'arrivée de la mobilité électrique sur les réseaux de distribution d'électricité. L'enjeu étant que ces réseaux demeurent fiables et performants et répondent aux défis sociétaux et environnementaux actuels.

Enedis formule quatre recommandations dans ce rapport :

Recommandation 1

Systématiser le pilotage tarifaire et la connexion avec le compteur pour le résidentiel (individuel et collectif)

Recommandation 2

Inciter le pilotage tarifaire pour les infrastructures collectives de recharge

Recommandation 3

Informez le client sur les bénéfices du pilotage

Recommandation 4

Incitez les clients à l'optimisation de leur puissance de raccordement

Introduction

Depuis la précédente publication du rapport d'Enedis sur le pilotage de la charge des véhicules électriques, en décembre 2020, le contexte de la mobilité a connu une forte évolution : une nette augmentation du nombre de véhicules électriques en circulation, avec comme corolaire, une meilleure compréhension des usages et une maturité croissante des acteurs de l'écosystème.

En particulier, Enedis bénéficie des enseignements de diverses études et expérimentations sur le pilotage, menées depuis trois ans, dont le projet aVEnir¹ rassemblant 13 partenaires pour étudier les interactions entre le réseau, les bornes de recharge et les véhicules électriques et analyser l'apport d'un pilotage intelligent.

Fort de ces enseignements sur les enjeux et la valeur du pilotage en fonction des cas d'usage, ce rapport présente la vision et la position d'Enedis, en tant que gestionnaire du réseau public de distribution d'électricité (GRD) sur 95 % du territoire français. Il évoque les solutions à mettre en œuvre pour faciliter le déploiement massif d'une mobilité électrique pilotée et intégrée au réseau public de distribution d'électricité.

Dans un premier temps, le rapport présente une analyse des enjeux du pilotage dans l'écosystème de la mobilité électrique, les différentes solutions de pilotage, les acteurs, les gains possibles, ainsi qu'une déclinaison de problématiques et solutions par cas d'usage.

Nous présentons ensuite la position d'Enedis sur ces enjeux, le rôle du GRD pour faciliter et encourager les solutions de pilotage et terminons par quatre recommandations à destination de l'écosystème.

Nous avons fait le choix d'insérer la contribution d'acteurs de l'écosystème dont vous trouverez les témoignages au fil des pages. Il s'agit du GIMELEC, d'EDF, d'Octopus, de Stellantis et de Renault.

Nous vous en souhaitons une bonne lecture.

¹ Le projet aVEnir, piloté par Enedis et rassemblant 13 acteurs de la mobilité électrique en France, est détaillé en page 18.



Sommaire

La recharge de véhicules électriques, un usage facilement pilotable

5 Contexte sur la mobilité électrique

6 Le pilotage de la charge des véhicules électriques

- 6 Les types de recharge
- 7 Qu'est-ce que le pilotage de la charge ?
- 8 Les acteurs du pilotage de la charge
- 9 Les systèmes de pilotage
- 10 Les motivations et la valeur du pilotage
- 14 Quel pilotage pour quel cas d'usage ?

Enedis, maillon indispensable du pilotage de la charge

16 Le pilotage au service de l'écosystème

- 16 Encourager la mise en œuvre du pilotage
- 17 Adapter le réseau à la mobilité électrique
- 17 Mettre en place une flexibilité au niveau local
- 18 Se préparer aux futures formes de pilotage

19 Des solutions pour faciliter le pilotage de la charge via le compteur

- 19 Pilotage tarifaire en résidentiel
- 20 Pilotage centralisé

22 Les quatre recommandations d'Enedis sur le pilotage de la charge

- 22 **Recommandation 1**
Systématiser le pilotage tarifaire et la connexion avec le compteur pour le résidentiel (individuel et collectif)
- 24 **Recommandation 2**
Inciter le pilotage tarifaire pour les infrastructures collectives de recharge
- 25 **Recommandation 3**
Informier le client sur les bénéfices du pilotage
- 26 **Recommandation 4**
Inciter les clients à l'optimisation de leur puissance de raccordement

La recharge de véhicules électriques, un usage facilement pilotable

Contexte sur la mobilité électrique

Pour répondre à l'enjeu de la neutralité carbone 2050, le secteur de l'énergie nécessite une transition de grande ampleur. Les leviers principaux nécessaires à la transition énergétique (énergies renouvelables, électrification des usages de la mobilité, chauffage et industrie) représentent des volumes d'électricité qui auront un impact significatif à la fois sur l'équilibre offre-demande (géré par RTE) et sur le réseau de distribution.

La décarbonation des transports (un tiers des émissions de CO₂ en France) est un levier indispensable à cette neutralité carbone. En 2035, Enedis prévoit un scénario médian de 18 millions de véhicules électriques ou hybrides rechargeables. La France a atteint 1,6 million fin 2023 avec une part de marché des ventes de véhicules neufs sur les derniers mois de l'ordre de 25 %.

Dans le cadre de ce scénario en 2035, la consommation annuelle de ces véhicules est estimée à 33 TWh. Cela représenterait un pic d'appel de puissance compris entre 12,5 et 18 GW si la situation reste identique à la situation actuelle en termes de pilotage (environ ¼ des recharges seraient pilotées). A contrario, si on généralise le pilotage et notamment que l'on déplace le maximum de recharges pilotables en dehors du pic quotidien, l'appel de puissance résiduel pourrait être maîtrisé entre 2,5 et 6 GW. Donc un écart de puissance d'environ 10 GW entre les deux situations, soit l'équivalent de 10 tranches nucléaires.

Pour assurer la sécurité d'approvisionnement à l'horizon 2030 et optimiser le fonctionnement du système électrique, RTE considère que développer le pilotage de la demande constitue un axe prioritaire.

La mobilité électrique est un usage particulièrement flexible car le déplacement de la charge peut être rendu favorable à l'économie du système électrique dans son ensemble (équilibre entre l'offre et la demande, réseau de transport et de distribution) sans impact majeur sur le confort et les besoins de mobilité.

À l'instar des solutions électriques de l'eau chaude sanitaire, la mobilité électrique est donc une opportunité pour l'équilibre du système électrique, avec une ampleur nettement supérieure (un point de charge peut représenter 3 ballons d'eau chaude en puissance). Elle l'est aussi pour le réseau de distribution, dont la principale cause de transformation après l'introduction des énergies renouvelables est la recharge des véhicules électriques.



Le pilotage de la charge est un levier valorisable pour de nombreux acteurs de l'écosystème et pour les utilisateurs. Même si la valeur exacte pour chaque acteur apportée par ce pilotage en fonction du cas d'usage reste encore largement à évaluer, le pilotage tarifaire (la modulation de la charge en fonction du tarif de l'électricité) fait consensus pour une majorité des acteurs de l'écosystème. C'est la forme de pilotage la plus rapide à mettre en œuvre. Elle permettra un premier niveau de flexibilité de la consommation dégageant de la valeur, aussi bien pour le client, le système électrique et le réseau. Elle gagnerait donc à être généralisée dès aujourd'hui, c'est pourquoi ce type de pilotage sera largement détaillé dans ce rapport.

Le pilotage de la charge des véhicules électriques

Les types de recharge

On distingue plusieurs niveaux de recharge :

Recharge haute puissance (charge ultra rapide type HPC et superchargeurs) (150kW ou plus, en courant continu) : par exemple des bornes de recharge sur autoroutes ou en dépôt de poids lourds ;

Recharge rapide (typiquement 50 kW ou 100kW en courant continu) : par exemple des bornes de recharge rapide sur les parkings de centres commerciaux, dans les hubs de recharge, ou des bornes de recharge de bus ou de poids lourds en dépôt ;

Recharge accélérée (typiquement 11kW ou 22kW en courant alternatif) : par exemple des bornes de recharge en voirie ou en entreprise ;

Recharge normale (typiquement 7,4kW en courant alternatif) : par exemple des bornes de recharge à domicile ou en entreprise ;

Recharge lente (typiquement 2,3kW ou 3,7kW en courant alternatif) : prise électrique classique ou prise renforcée, par exemple pour la recharge en résidentiel individuel ou collectif.



Le développement des flexibilités, en faisant correspondre au mieux consommation et production d'électricité décarbonée, dégage des économies et contribue à réduire les émissions [...].
Le gain économique en résultant pour l'optimisation de l'équilibre offre-demande 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. Dans le même temps, les coûts associés pourraient rester relativement limités.
Le scénario A-référence du B.P. 2023 prévoit 70 % des recharges VE pilotées à l'horizon 2030."

Extrait du BP 2023.



Temps de charge par type de charge (ordre de grandeur)



Type de recharge



Puissance de recharge



Où se situent les points de charge ?



Temps de recharge 100 km



Temps de recharge 300 km

Type de recharge	Puissance de recharge	Où se situent les points de charge ?	Temps de recharge 100 km	Temps de recharge 300 km
Recharge lente P ≤ 3,7 kW	2,3 kW Prise classique	Domicile	8 h	25 h
	3,7 kW Prise renforcée		4 h	12 h
Recharge normale P ≤ 7,4 kW	7,4 kW Borne mono	Domicile ou Voirie Parkings entreprises	2 h	6 h
Recharge accélérée P ≤ 22 kW	22 kW Borne tri	Voirie Parkings entreprises	40 min	2 h
Recharge rapide P < 150 kW	50 kW Borne DC	Stations-services Parkings commerces	20 min	1 h
	100 kW Borne DC		10 min	30 min
Recharge haute puissance P ≥ 150 kW	150 kW HPC	Stations autoroutes	6 min	20 min

Qu'est-ce que le pilotage de la charge ?

On parle de **recharge naturelle** pour désigner le cas où l'utilisateur du véhicule électrique branche son véhicule sur une IRVE² avec démarrage immédiat de la recharge, sans considération d'éléments externes tels que le prix de l'électricité, les usages du bâtiment ou de la maison, la recharge d'autres véhicules et encore moins les besoins réseaux ou système électrique. Dans certains cas, il se peut que l'état de charge de la batterie et le prochain déplacement prévu ne justifient pas cette recharge.

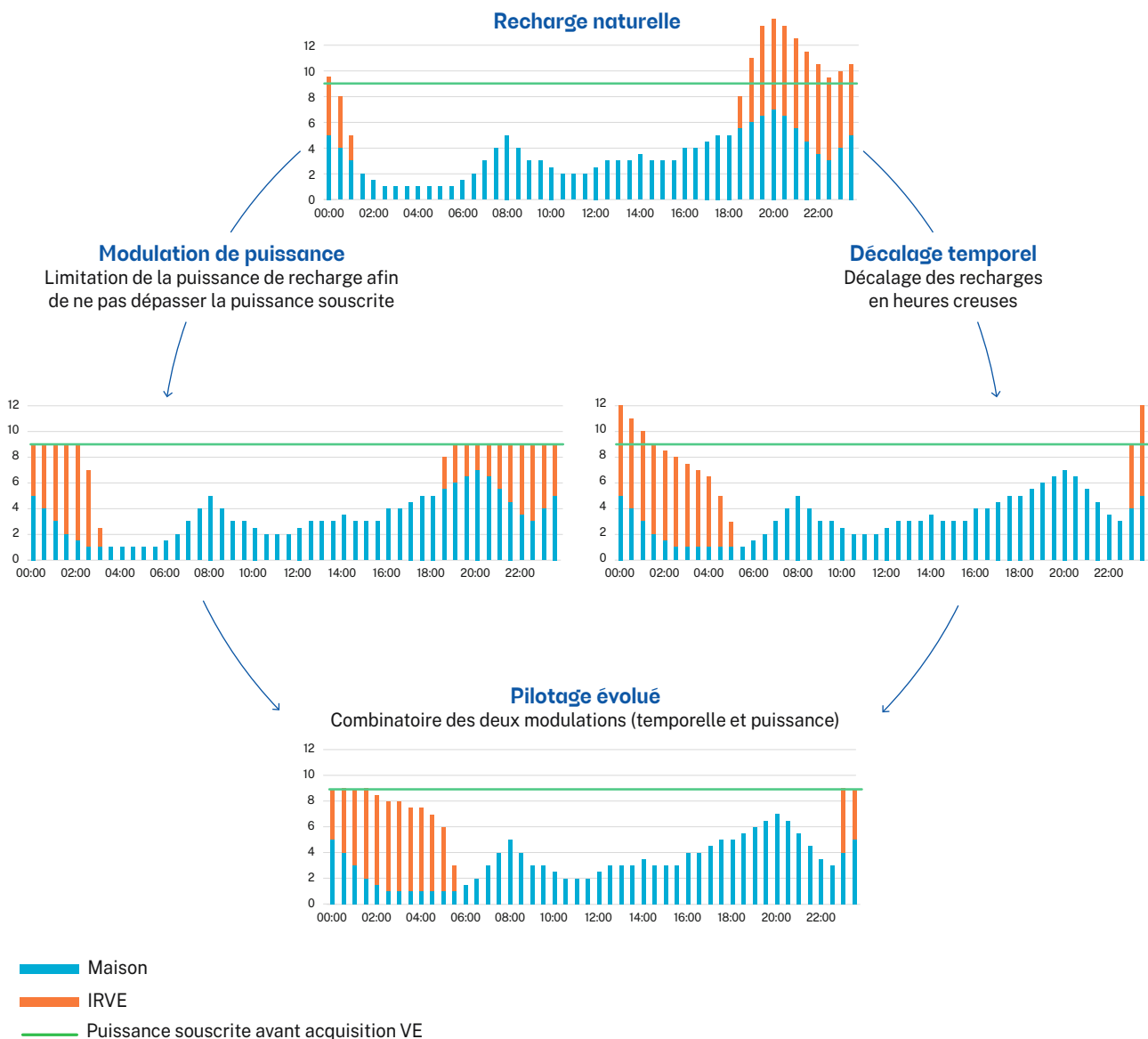
On parle de **pilotage de la charge** dès qu'un système réalise un choix en puissance et/ou en temps pour programmer la recharge de ce véhicule électrique, en prenant

en compte tout ou partie des éléments précités. Ainsi, si le besoin de mobilité le permet, la recharge peut être décalée pour démarrer en heures creuses par exemple, ou modulée pendant la recharge pour respecter une puissance maximale préalablement définie.

On intègre également, derrière la notion de pilotage de la charge, la capacité de certains systèmes (borne et véhicule) à restituer de l'énergie stockée, c'est-à-dire injecter de l'énergie dans le bâtiment ou sur le réseau en provenance de la batterie du véhicule. Ces opérations sont désignées par les sigles **V2G** (Vehicle to Grid), **V2H** (Vehicle to Home), **V2B** (Vehicle to Building), **V2X** (l'un des cas précédents).

² Infrastructure de Recharge pour Véhicules Électriques

Modalité de pilotage IRVE : modulation de puissance et décalage temporel



Les acteurs du pilotage de la charge

Le pilotage de la charge ne se fera que s'il est bénéfique à l'utilisateur, automatisé et répond à son besoin de mobilité. Sauf situation exceptionnelle, c'est le client final qui est à l'origine du pilotage de la charge de son véhicule, et il peut systématiquement y déroger si besoin. En revanche, l'activation de ce pilotage peut passer par différents acteurs de l'écosystème. La gestion de la consommation d'énergie est une activité concurrentielle qui forme un marché multi-acteurs en croissance.

À l'échelle d'une borne donnée :

Les **clients** peuvent piloter directement leur charge, en paramétrant leur voiture ou leur borne, ou via une application constructeur par exemple. Ce pilotage au quotidien suit généralement une logique d'optimisation de la facture énergétique (dans 70 % des cas d'après l'enquête Enedis 2023). Le pilotage, s'il est prévu et garanti dès la phase de raccordement du client, peut aussi permettre de réduire le coût de raccordement ou de modification de son tableau électrique. Enfin, il peut permettre au client de synchroniser sa recharge avec sa production photovoltaïque (autoconsommation). Les **constructeurs de bornes** et les **constructeurs de VE** ont un rôle à jouer dans le pilotage de la charge par le développement de produits pilotables.

Ce peut être le **fournisseur** d'électricité du client qui pilote la charge du véhicule électrique à la demande du client et

grâce à un contrat de fourniture adapté. Ceci permet au fournisseur de proposer à ses clients des conditions avantageuses pour un usage VE et d'optimiser. En 2023, ce sont 26 % des particuliers possesseurs d'un véhicule électrique qui déclarent piloter la charge de leur véhicule d'après une enquête menée par Enedis.

À l'échelle d'une infrastructure de recharge de véhicules électriques (IRVE, ensemble de bornes situées au même endroit géographique) :

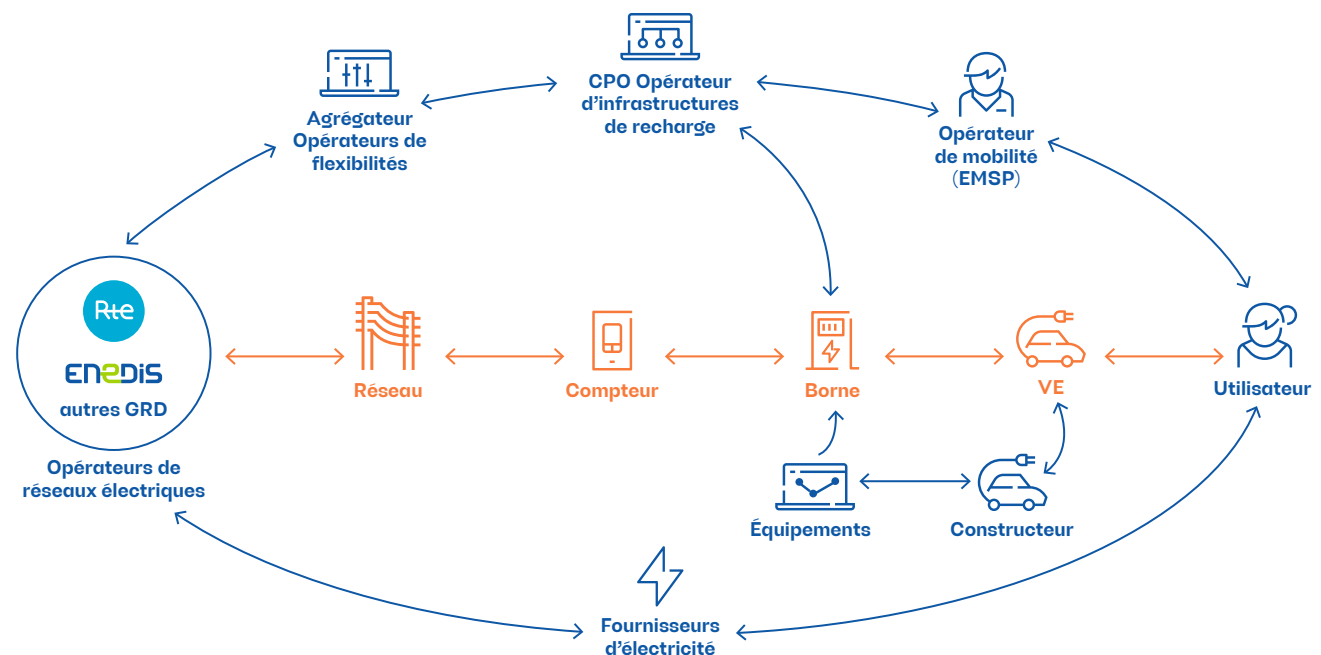
Le pilotage peut être réalisé par un opérateur de bornes (CPO³), qui propose un service de gestion de recharge pour des parkings (tertiaires, publics, parkings d'entreprises, résidentiels équipés d'une solution privée), adossé à un pilotage accepté par le client qui permet d'optimiser la facture énergétique voire les coûts de raccordement.

À l'échelle d'un ensemble d'IRVE réparties sur le territoire :

Le pilotage peut être réalisé par un **agrégateur** qui propose de rémunérer des clients qui acceptent de moduler leur consommation afin de proposer des offres d'équilibrage au système électrique ou, à la marge, aux **gestionnaires des réseaux électriques grâce à une agrégation locale pour résoudre des contraintes locales du réseau**.

Sur tous les cas qui précèdent, des acteurs peuvent inciter voire enjoindre au pilotage pour un intérêt collectif. Par exemple : RTE via le signal Ecowatt (aujourd'hui déployé).

L'écosystème du pilotage de la charge des véhicules électriques



³ EV Charge Point Operator : opérateur de point de charge de véhicule électrique.



Les systèmes de pilotage

Plusieurs systèmes de pilotage existent et répondent à des intérêts différents. Ils peuvent être classés selon :

Les types de pilotage

On peut distinguer le pilotage statique du pilotage dynamique :

Le système de **pilotage statique** se base sur un référentiel fixe et prévisible, par exemple :

- L'asservissement de la charge du VE à une grille tarifaire heures pleines / heures creuses (HP/HC) via le compteur, permettant au client de réduire les coûts de sa facture d'énergie. Cette incitation est également bénéfique au système électrique car elle permet de modérer – pour le parc de production comme pour les réseaux – les appels de puissance durant les périodes de forte consommation. À l'avenir, cette modalité permettra aussi d'encourager la recharge pendant les périodes favorables à la production EnR, (cloche solaire).
- Une programmation de la charge par l'utilisateur depuis le VE, la borne ou une application dédiée.
- La modulation de puissance pour respecter la puissance souscrite du contrat d'électricité.

Ce type de pilotage est déjà partiellement mis en œuvre, et industrialisable dès aujourd'hui, à faible coût.

Le système de **pilotage dynamique** prend en compte des données dynamiques en provenance des différentes sources externes (besoin de mobilité du client, tarif dynamique, synchronisation avec de la production photovoltaïque locale, ...) afin :

- D'optimiser la facture énergétique : consommer lorsque l'énergie est moins chère, voire injecter lorsqu'elle est plus chère ;

- De synchroniser la recharge avec une énergie ENR de proximité ;
- De répondre à un besoin de flexibilité du système électrique ou du réseau.

On parle de V1G lorsque le pilotage se fait par modulation de puissance ou décalage temporel uniquement, et de V2G lorsque le véhicule peut réinjecter de l'électricité depuis sa batterie vers le bâtiment ou le réseau de distribution. Le pilotage dynamique n'a pas la même maturité que le pilotage statique, mais des solutions et des acteurs se développent. Le coût du système de pilotage est plus élevé mais il peut apporter une valeur supplémentaire au client, au système et au réseau.

Le cas d'usage le plus mature correspond aux périodes mobiles activées ponctuellement par les fournisseurs d'électricité pour inciter leur client à décaler leurs consommations.

L'emplacement du système de pilotage

Le système de pilotage de la charge peut être situé dans le véhicule lui-même, dans la borne de recharge, dans le compteur électrique, dans un équipement installé sur place en plus des bornes de recharge (par exemple un gestionnaire d'énergie) ou dans un système d'information externe en interaction avec le véhicule ou avec l'IRVE.

Enedis encourage des systèmes de pilotage simples pour l'utilisateur et prédictifs, et à ce titre, privilégie les solutions basées sur des équipements fixes du bâtiment, déjà déployés et qui couvrent la chaîne de valeur (client, système électrique et réseau). Un pilotage qui s'appuie sur les informations transmises par le compteur du GRD connecté à l'IRVE répond bien à cet objectif.

Les motivations et la valeur du pilotage

Le pilotage de la charge est un axe majeur de réduction du coût de la mobilité électrique pour le client, le système électrique et le réseau. En limitant les investissements et en déplaçant la consommation d'énergie au meilleur moment, il permet aussi de réduire leurs émissions de CO₂.

Distingo entre valeur pour le client, valeur pour le système électrique et valeur pour le réseau

Le pilotage de la charge des VE comporte une valeur certaine, pour le client et pour la collectivité.

Valeur pour le **client** :

- **Optimisation de la facture d'énergie** : en décalant sa charge en heures creuses ou en synchronisant sa recharge et sa production, le client paie son électricité moins cher. En modulant la puissance de charge de son véhicule électrique pour ne pas dépasser une puissance souscrite, il évite d'augmenter son abonnement (part fixe de son contrat).
- **Gain sur les travaux à réaliser** : en modulant sa puissance de charge pour limiter sa puissance de raccordement au réseau, le client évite, dans certains cas, des travaux supplémentaires, des coûts et délais associés.
- **Valorisation de la flexibilité** : certains clients pourront valoriser leur flexibilité (capacité à effacer leur recharge ou à injecter sur le réseau) sur les mécanismes de marché par l'intermédiaire d'un acteur de marché.
- **Démarche écologique et sociétale** :
 - En soutien au système électrique ou aux réseaux en cas de tensions ou de crise.

- Lorsque la recharge est synchronisée avec la production locale d'énergie renouvelable (solaire ou éolien) ou plus globalement quand elle est placée au moment de la journée où la production d'électricité est la moins « carbonée ».

Valeur pour le **système électrique** :

Dans un mix énergétique de plus en plus intermittent du fait du développement des énergies renouvelables, le système électrique aura besoin de flexibilités pour équilibrer à tout instant production et consommation au niveau national. Selon RTE (Rapport futurs énergétiques 2050) qui a en charge cet équilibre, le pilotage de la charge des véhicules électrique aura un rôle à jouer pour l'équilibre du système à partir de 2030.

- **Flexibilité structurelle** : déplacement de masse de la charge sur des heures plus favorables (heures creuses) ;
- **Flexibilité dynamique** : couverture de l'écart entre programme de production et consommation prévues via une option tarifaire dynamique (ex : période mobile) ;
- **Flexibilité d'équilibre** : couverture d'écart constaté en infrajournalier via l'activation de mécanismes d'ajustement ;
- **Flexibilité de sauvegarde** : en cas de tension sur l'équilibre offre-demande national, la puissance du logement ou de recharge des VE est limitée par les gestionnaires de réseau, à la demande des pouvoirs publics.

Les différents modes de pilotage des VE par priorité de mise en œuvre

Priorité de mise en œuvre		Exemple de cas d'usage
Flexibilités structurelles	Pilotage tarifaire statique	Recharge en heures creuses
	Modulation de puissance	Respect de la puissance souscrite
Flexibilités dynamiques	Pilotage tarifaire dynamique (y compris V2G)	Tarifification dynamique ou à période mobile (type Tempo)
	Appel d'offre au service du réseau ou du système	Effacement de la charge à l'appel d'un agrégateur de flexibilité
	Synchronisation production	Déclenchement de la charge durant les périodes d'autoconsommations
Flexibilités d'équilibrage	Mécanismes d'équilibrage	Services système fréquence et/ou mécanisme d'ajustement
Flexibilités de sauvegarde	Plan de sauvegarde	Modulation de la charge à réception d'un signal relayé par le GRD

Valeur pour le réseau :

- **Réduire les besoins de travaux délibérés suite à l'évolution naturelle des charges** liée à l'accueil des véhicules électriques sur les réseaux : piloter la charge pour répondre à une incitation du gestionnaire de réseau (type heures creuses) permet d'éviter des travaux réseau et donc *in fine* de réduire le coût d'utilisation du réseau.
- **Fournir un service à la demande du réseau pour lever une contrainte**: une fois raccordées, les IRVE sont susceptibles de fournir un service demandé par le distributeur (par exemple via un agrégateur de flexibilités avec potentielle rémunération) pour limiter les besoins de renforcement sur une zone ou le recours à des moyens de réalimentation mobiles lors de travaux de maintenance ou d'incidents.

Notons que la valeur apportée pour la collectivité (système électrique et réseaux) profite au client, en termes économiques (économies des moyens de production répercutés via les offres de fourniture, dimensionnement réseau au coût optimal répercuté via le tarif d'utilisation des réseaux, rémunération potentielle par l'agrégateur de flexibilités...), ainsi qu'en termes d'émissions de CO₂ évitées.

Le pilotage tarifaire statique asservi au signal des heures creuses : un comportement à systématiser

Le signal heures pleines / heures creuses (HP/HC) est une spécificité historique de la France, dont la mise en place à grande échelle s'est réalisée en accompagnement de transferts importants d'usage d'autres énergies vers l'électricité comme le développement du chauffage électrique et de la production pilotable d'eau chaude sanitaire. C'est une flexibilité avant l'heure, et qui capte d'ores et déjà des gains que nos voisins européens n'ont pas encore collectés.

Les fournisseurs définissent un contrat incluant des heures creuses durant lesquelles l'énergie est moins chère (8 heures par jour à date), ils programment dans le compteur du GRD un calendrier dans lequel ils définissent pour chaque période l'activation ou non des usages. Ainsi, les usages du client asservis sur le contact sec du compteur (ballon d'eau chaude) se déclenchent durant la période creuse.

Afin que ces périodes avantageuses pour le client le soient pour le système électrique et pour le réseau, c'est le distributeur qui choisit les horaires, en les plaçant dans les creux de la courbe de charge nationale, et en fonction des contraintes locales du réseau, en répartissant uniformément les clients sur différentes périodes et en introduisant une dispersion de l'heure de démarrage (+/-10 minutes). Le déclenchement des usages est adossé à la plage du fournisseur, qui peut choisir ou non de la caler sur celle du distributeur.

Le pilotage tarifaire asservi sur le signal heures creuses présente un intérêt primordial pour l'insertion des VE dans le système électrique : sa valeur est indéniable, estimée par Enedis à environ 10 GW à l'horizon 2035 : à cet horizon de temps, la consommation annuelle des véhicules électriques légers est estimée à 33 TWh, ce qui correspondrait à un pic d'appel de puissance compris entre 12,5 et 17 GW si la situation reste identique à la situation actuelle en



Pour être adopté, le pilotage de la charge doit être simple et rentable. Nous devons miser sur des technologies bon marché et non-invasives, par exemple, une simple application smartphone pour piloter le véhicule électrique ou le contact sec ou la TIC⁴ du Linky pour la borne. Il faut aussi développer des offres lisibles, sécurisantes, où les risques liés à l'équilibrage du réseau ne pèsent pas sur les clients. Pour ne pas créer de déséquilibre réseau en utilisant un signal prix statique, Enedis et les fournisseurs doivent renforcer leur collaboration pour proposer d'autres signaux, viables pour le réseau et les acteurs."



octopus energy

termes de pilotage et entre 2,5 et 6 GW si on généralise le pilotage tarifaire. Il est simple à mettre en place, car la technologie est déjà maîtrisée, les compteurs sont en place chez les clients et la chaîne communicante a fait la preuve de sa robustesse. Le principe est similaire à l'asservissement des ballons d'eau chaude domestiques sur la grille tarifaire des fournisseurs.

Pour les clients disposant de plusieurs usages asservis (exemple un ballon d'eau chaude et un système de recharge de véhicule électriques), il peut être intéressant de décaler les deux usages ou de moduler leur puissance l'un par rapport à l'autre. Cela peut permettre au client par exemple de ne pas augmenter sa puissance souscrite après l'installation d'une borne de recharge.

Le gain sur les investissements réseau sera significatif : Enedis estime pour 15 millions de VE se rechargeant sur le réseau de distribution un gain de 150 M€ (€ 2020) avec un déclenchement de la recharge VE en début de plages d'heures creuses, et de 600 M€ avec un déclenchement décalé par rapport au ballon d'eau chaude (gain estimatif sur une dizaine d'années).

Les plages d'heures creuses seront amenées à évoluer afin de garantir dans le temps une utilisation optimale de celles-ci par lissage de la charge et pour prendre en compte la saisonnalité de la production des énergies renouvelables notamment. **Le pilotage tarifaire concentre la grande majorité de la valeur apportée par le pilotage de la charge des véhicules électriques.**

⁴ La TIC (télé-information client) est une interface client présente sur les compteurs électriques (pas uniquement Linky) ainsi que les équipements récepteurs de cette TIC. Elle envoie en continu des informations fines de consommation à ces équipements : la tension, l'intensité, la puissance instantanée, la puissance souscrite, la période tarifaire fournisseur en cours, l'état des contacts secs et virtuels, les préavis de pointe mobile...

Le pilotage dynamique : un complément de valeur à aller chercher en fonction des opportunités

Le V1G : prolongation naturelle du pilotage tarifaire pour compléter la valeur pour le client

Le pilotage dynamique permet d'adapter la charge de manière dynamique en suivant de multiples signaux de court terme. De nombreuses innovations se développent sur ce marché en croissance.

Des offres dynamiques permettent au client de moduler sa puissance en fonction de signaux dynamiques qui peuvent provenir d'un fournisseur d'électricité (tarification dynamique) ou d'un agrégateur de flexibilités (contrat d'effacement).

Le pilotage dynamique présente, à maille locale, à la fois une opportunité et un risque pour le **réseau** :

– Une opportunité :

- Les IRVE peuvent offrir un service de levée de contrainte au distributeur au moment du raccordement par la mise en place d'une ORA (Offre de Raccordement Alternative), proposant une solution technique de raccordement au client à coût et/ou délais réduits, en contrepartie d'une garantie pérenne d'être en capacité de limiter sa consommation à la demande du GRD. Cette possibilité est à ce stade au niveau d'étude et de l'expérimentation.
- Une fois raccordées, les IRVE (via un agrégateur) offrent

une flexibilité au réseau de distribution dans le cadre d'appels d'offres. La valeur de cette flexibilité dépend de la situation locale. Aujourd'hui et ainsi qu'indiqué dans le Plan de Développement de Réseau, les opportunités de recours à la flexibilité sur la basse tension sont faibles.




- **Un risque** de resynchronisation des consommations suivant des règles de décisions externes aux critères réseau, peut conduire à un appel de puissance au niveau local supérieur à celui prévu lors du dimensionnement des infrastructures, qui lui tient compte d'un foisonnement naturel. Aussi, le développement du pilotage dynamique s'accompagnera d'une évolution des méthodes de dimensionnement et probablement de l'expression de contraintes par le gestionnaire de réseau dont devront tenir compte les acteurs de ce pilotage.

Le pilotage centralisé à la maille d'un parking résidentiel collectif

En résidentiel collectif, deux solutions coexistent⁵, et le pilotage qui en résulte sera différent :

La solution de l'opérateur privé qui peut proposer un service de pilotage des bornes qu'il alimente, pour optimiser sa puissance souscrite, son achat d'énergie et sa puissance de raccordement sur le parking, indépendamment du reste de l'immeuble. Ce pilotage devrait être idéalement

Les modes de pilotage de la charge des VE et leurs valeurs

	Pilotage tarifaire	Modulation de puissance	Flexibilités dynamiques	Flexibilité d'équilibrage	Flexibilité de sauvegarde
 Client	Réduire sa facture, part énergie	●		●	
	Réduire sa facture, part puissance		●		
	Éviter d'augmenter sa puissance de raccordement (dans certains cas)	●	●		
	Valoriser sa flexibilité			●	
	Réduire ses émissions de CO ₂	●	●	●	
 Système électrique	Limiter les investissements* dans des moyens de production à la pointe	●	●	●	
	Réduire les coûts d'équilibrage* (imports, flexibilités sur des moyens industriels)			●	
	Éviter le coût et l'impact de black-out ou délestages tournants				●
 Réseau	Réduire les investissements réseaux* (raccordements et renforcements)	●	●	●	
	Optimiser les coûts d'exploitation* (réalimentation en cas d'incident et pertes techniques)	●		●	

* En plus de réduire le coût final de la facture des consommateurs, ces mesures réduisent l'empreinte carbone du système électrique français

⁵ Enedis accompagne toutes les solutions collectives d'IRVE en RC en les raccordant au réseau :

- Les solutions des opérateurs privés : à la demande de l'opérateur, Enedis installe un point de livraison pour alimenter la recharge. L'opérateur se charge du reste de l'installation, de sa maintenance et de la gestion du service de recharge.
- La solution publique, nommée réseau électrique auto par Enedis : à la demande du gestionnaire de l'immeuble, Enedis installe le réseau public de distribution. Les résidents voulant équiper leur place pour la recharge font ensuite une demande de raccordement à Enedis, puis font installer un point de recharge. Ils souscrivent enfin un contrat de fourniture d'électricité auprès du fournisseur de leur choix.

adossé à un pilotage tarifaire permettant d'éviter que le bandeau de puissance ainsi créé s'ajoute à la pointe de consommation de l'immeuble, par exemple en début de soirée. Cela pourrait nécessiter des mesures incitatives (pour partie définies de manière réglementaire), sous forme de primes ou de tarifs adaptés.

La solution publique « réseau électrique auto » dans laquelle chaque client particulier bénéficie d'un compteur individuel desservant son point de charge. Un pilotage tarifaire systématique pour chaque point de livraison peut être facilement mis en œuvre via ce compteur. De plus, piloter la recharge globalement à l'échelle du parking en fonction de la courbe de charge de l'ensemble des logements de l'immeuble pourrait être une alternative au renforcement des réseaux. Des signaux issus de mesures réalisées à la maille du parking seul ou bien du parking et de l'immeuble pourraient être envoyés aux points de charge afin de respecter une puissance maximale et ainsi limiter le besoin de renforcement. Enedis teste des solutions de pilotage centralisé (cf paragraphe « Pilotage Centralisé » page 20).

La synchronisation VE/EnR : une nécessité au plan national, une attente sociétale au plan local

Pour le client : il s'agit d'une attente sociétale forte. Ceci sera possible dans le cadre d'un pilotage dynamique prenant en compte un signal provenant du niveau de production locale instantanée d'énergie renouvelable. La réponse à cette aspiration individuelle ne répond pas nécessairement, à chaque instant, à un intérêt collectif global.

Pour le système : le système n'a pas un intérêt particulier à une synchronisation locale entre la production d'énergie renouvelable et la consommation. C'est la synchronisation nationale entre consommation et production qui est essentielle au niveau de l'équilibre offre-demande national. Cela se fera par du pilotage statique en premier lieu et du pilotage dynamique en second lieu.

Pour le réseau : une resynchronisation locale entre production EnR et IRVE réduit les flux qui transitent vers l'amont, et, sur le principe, on pourrait penser que les investissements réseau pourraient, à cette maille, s'en trouver réduits. Cependant, pour le réseau de distribution, les expérimentations n'ont pas démontré la valeur de ce type de pilotage aujourd'hui. Cela s'explique par le fait que ces synchronisations ne sont que temporaires. Il y a besoin de recharger les VE même les jours nuageux et il y a besoin d'évacuer la production EnR même sans VE à recharger.

Le V2G : des opportunités à évaluer à plus long terme

Il reste un potentiel important à exploiter par le V2G : à plus long terme, le V2G viendra compenser le pic des autres consommations (usages moins flexibles que le VE). Il coûte plus cher à mettre en œuvre, du fait de la complexité du système de pilotage, du surcoût de la borne et des VE capables de proposer ce service et de l'impact potentiel sur l'usure de la batterie, il demande une adaptation de l'installation client et sera en concurrence avec d'autres mécanismes de flexibilité, mais constitue à moyen et long terme une réserve à explorer. Le déploiement se fera progressivement à partir de 2025 et ne devrait pas être fortement répandu avant 2030.

“ En 2030 la gamme Stellantis sera 100 % VE en Europe, 50 % aux USA. Le Groupe met également en place des solutions de recharge d'énergie pour permettre une expérience utilisateur au meilleur niveau : simple et compétitive. Dans ce contexte de transformation du parc automobile l'adaptation des réseaux et systèmes énergétiques est un enjeu crucial. Les VE vont constituer un actif de stockage énergétique conséquent. Intégré dans des solutions de recharges pilotées, bidirectionnelles – symbiose VE et bâtiment – il générera une valeur pour les acteurs de l'écosystème énergétique et les clients finaux. ”

STELLANTIS

La valeur principale sera destinée aux clients et à l'équilibre offre/demande du système électrique plus qu'au réseau : on pourra estimer compter sur 'n' véhicules activables à un instant 't' au niveau national, mais hors cas très particulier (flottes) il sera difficile de pouvoir compter sur un nombre donné de véhicules activables à une maille réseau fine.

Pour le client : recharger son véhicule en heures creuses et injecter l'énergie du véhicule sur le réseau durant les périodes de forte demande permet au client de bénéficier d'un tarif élevé de revente de l'électricité.

Pour le système : l'agrégation de nombreux sites pour participer à l'équilibre du système à la hausse aura une valeur notable pour le système puisque cela évitera d'activer d'autres moyens de flexibilité qui nécessitent plus d'investissements (batteries stationnaires) et de planification (moyens de production pilotables). Cette forme de pilotage a toutefois un espace économique restreint : les sites entreront en concurrence à mesure que le nombre de véhicules électriques activables et autres leviers de flexibilités progresseront.

Les solutions d'injection sur le réseau depuis les batteries des véhicules (V2X) en sont aujourd'hui au stade expérimental. Des premières commercialisations sont annoncées pour fin 2024. Les batteries des véhicules électriques représenteront une capacité de plus de 600 GWh dès 2035 (et près du double en 2040). Les batteries des véhicules électriques représenteront une capacité de plus de 600 GWh dès 2035 (et près du double en 2040) dont une partie pourrait être disponible pour injecter sur le réseau.

Quel pilotage pour quel cas d'usage ?

La pertinence d'un pilotage de la charge des véhicules électriques dépend du cas d'usage considéré :

Impact de la rapidité de recharge :

- La recharge haute puissance sur autoroute ou la recharge accélérée en centre commercial ne sont par exemple pas adaptées au pilotage de la charge a priori. Certains dispositifs de stockage stationnaire permettent de réduire la sollicitation du réseau sans impact pour l'utilisateur (exemple de batteries sur autoroute associées à de la production photovoltaïque locale).
- En revanche, la recharge en dépôt de camions, dépôt de bus, les recharges normales et lentes sur parking d'entreprise ou en voirie, à domicile en résidentiel collectif ou en maison individuelle sont de bonnes candidates au pilotage. D'autant que cette recharge se positionne naturellement sur les pics quotidiens de consommation (matinée et début de soirée) si aucun pilotage n'est mis en œuvre.

Impact du temps de stationnement : un temps de stationnement prolongé est par nature plus favorable à la mise en place d'une solution de pilotage (résidentiels, parkings d'entreprises...).

Impact de l'emplacement du système de pilotage :

- Un pilotage effectué depuis le véhicule, mobile par définition, sera a priori plutôt valorisé sur l'équilibre offre-demande au niveau national.
- En revanche, un grand nombre de bornes pilotables situées au même endroit (par exemple un dépôt de bus, un site d'entreprise...) pourra jouer un rôle pour le réseau si le besoin (temporaire ou pérenne) était identifié localement.



Face aux enjeux liés à la mobilité électrique, Renault Group

a décidé de faire du pilotage de la recharge une priorité avec la création de sa marque Mobilize. L'objectif est de réduire l'empreinte carbone des véhicules électriques ainsi que le coût de leur recharge, sans compromettre la mobilité des utilisateurs. Dès 2024, avec la future Renault 5 électrique, Renault Group proposera la recharge bidirectionnelle grâce au service Mobilize V2G. Celui-ci s'appuie sur une borne de recharge AC et un contrat de fourniture d'énergie verte. Le déploiement massif des services de ce type nécessite une collaboration étroite entre tous les acteurs de l'écosystème et un partage des signaux dynamiques de la part des gestionnaires de réseau et des fournisseurs d'énergie. ”









Renault Group

Probabilité de mise en place du pilotage de la charge des VE par cas d'usage



Activation du pilotage : acteurs et canaux

Le pilotage de la charge des VE peut être activé par différents acteurs qui utilisent des canaux dépendant du cas d'usage.

	Résidentiel	Parkings d'entreprises	Dépôts et flottes d'entreprises
Le client (particulier ou gestionnaire du site)	<p>Optimiser sa facture énergétique (puissance souscrite et/ ou fourniture) ou sa puissance de raccordement, dimension sociétale</p> 		
Le fournisseur	<ul style="list-style-type: none"> • Optimiser la facture du client • Assurer la fourniture d'énergie en optimisant ses coûts d'approvisionnement 		
L'agrégateur	<p>Activer des gisements de flexibilité marché à la hausse/baisse selon les besoins (EOD exprimés par RTE ou réseaux par Enedis)</p> 		
L'opérateur de recharge			
Le GRD (Gestionnaire du Réseau de Distribution)	<p>Limiter temporairement la puissance appelée sur le réseau local pour éviter une contrainte</p> 		

Légende : via quel canal ?



Manuel : action physique sur la prise ou la borne



Compteur Linky ou autre compteur communiquant



Système centralisé (SI)



À distance : via une application



Système propriétaire communicant avec le VE/la borne



Par programmation du VE ou de la borne



Système présent sur site



Enedis, maillon indispensable du pilotage de la charge

Réussir le défi du développement massif de la mobilité électrique par son engagement proactif au service de la transition écologique, telle est l'ambition d'Enedis. Enedis prend position afin de faire bénéficier à tous de la valeur du pilotage et anticipe l'impact sur ses méthodes de planification et conduite du réseau.

Le pilotage au service de l'écosystème

Encourager la mise en œuvre du pilotage

Enedis propose des solutions de comptage et de SI compatibles avec la mise en place de systèmes de pilotage, en proposant des marquages d'opérabilité avec les équipements réseau (LinkyReady), en assumant pleinement le rôle de tiers de confiance pour mettre à disposition les données de comptage pour le suivi des besoins du site et le contrôle du réalisé.

Enedis facilite l'intégration des données de consommation par les dispositifs de pilotage afin de permettre l'insertion de la recharge des VE dans les creux de consommation des bâtiments (tertiaires notamment). Ceci bénéficiera au client (gain sur les coûts d'énergie, sur la puissance souscrite et sur les coûts de raccordement) ainsi qu'au réseau en limitant les besoins de renforcements.

Enedis étudie comment mieux accompagner ses clients entreprises gérant des flottes de véhicules électriques afin de leur faire bénéficier de son expertise notamment acquise dans la gestion de sa propre flotte, deuxième plus importante en France. Encouragées par les obligations réglementaires de la loi LOM, les flottes d'entreprise constitueront à l'horizon 2035 entre 20 et 30 % du nombre total de véhicules électriques circulant en France. Du fait également que sur un site donné, il y a un volume plus important de véhicules électriques, avec des usages répétitifs et donc prédictibles, les flottes de véhicules représentent un gisement significatif d'optimisation de la recharge. C'est dans ce contexte qu'Enedis étudie comment mieux accompagner ses clients gestionnaires de flottes en valorisant l'apport du pilotage de la recharge sur leur alimentation et leur consommation électrique. Les apports du pilotage de la charge dépendront de la configuration du site et de l'usage fait des véhicules électriques.

Enfin, Enedis :

- encourage la mise en oeuvre des solutions de pilotage déjà existantes sur le marché et qui vont dans le sens de la valeur pour le client, le système et le réseau,
- développe avec certains industriels de l'écosystème des solutions qui n'existent pas encore pour permettre l'accès au pilotage pour tous,
- travaille avec les acteurs pour comprendre leurs besoins et leur proposer des solutions à moindre coût (fournisseurs, constructeurs automobiles voire équipementiers), notamment via des partenariats industriels et la participation à des GT (Avere, Think Smartgrids, eDSO...), agit sur les normes afin de favoriser l'interopérabilité, communique et fait de la pédagogie, au sein de l'écosystème et auprès du grand public.

Adapter le réseau à la mobilité électrique

Enedis adapte son expertise des réseaux pour assurer la même qualité de service public dans un monde où la transition énergétique change le paradigme de la distribution d'électricité. Le pilotage de la recharge vient en effet modifier les habitudes et comportements de consommation : intégrer ces changements représente un défi majeur pour le Gestionnaire du Réseau de Distribution en vue de préparer le service public de demain.

Comprendre pour s'adapter : de nombreux usages seront pilotés. Bien connaître les solutions de pilotage, leur localisation sur le réseau électrique et les conséquences sur les appels de puissance et les pics de consommation permet de mieux modéliser les consommations potentielles. Cela contribue au dimensionnement à l'optimum des infrastructures du réseau électrique, mais aussi à leur meilleure exploitation au quotidien. L'enjeu est de taille pour Enedis puisqu'il s'agit de maintenir sa performance en raccordant les clients de manière efficace et économique, ainsi qu'en maîtrisant l'impact sur la collectivité des solutions présentes sur le marché.

Comprendre pour alerter et réguler : le pilotage réalisé par des tiers peut également représenter un risque pour la collectivité, notamment celui de réaliser des investissements

surdimensionnés (les coûts engendrés surpassent les gains) ou sous-dimensionnés (impact sur la qualité de fourniture), en concentrant par exemple la recharge sur un temps très court ou en resynchronisant la recharge d'une population qui suit un même algorithme. Cela pourrait générer un pic mal placé pour le réseau local. Enedis se doit de suivre ces initiatives afin de s'assurer que le risque est maîtrisé et que le bénéfice est bien au service de la collectivité, voire de transmettre des signaux traduisant les enjeux du réseau.

Mettre en place une flexibilité au niveau local

Le besoin en flexibilité au niveau du réseau local (réseau de distribution au périmètre d'Enedis) peut se faire sentir à différentes temporalités :

Au moment du raccordement : il peut arriver dans certains cas qu'une solution de raccordement classique (appelée Offre de Raccordement de Référence – ORR) demande des coûts et/ou délais trop importants au vu de l'enjeu du client et qu'une Offre de Raccordement Alternative (ORA) soit possible et proposée au client. Il s'agit de manière pérenne ou temporaire de proposer au client la puissance qu'il demande sauf durant quelques périodes où il devra limiter son appel de puissance sur le réseau. Cette solution occasionnelle inclut donc un dispositif de pilotage pour réduire les flux en cas de congestion constatée sur le réseau local. Le gain de cette offre est à comparer aux coûts de la solution de pilotage. L'ORA en Basse Tension (BT) est aujourd'hui peu mature car rarement nécessaire, et fait l'objet d'expérimentations.

Au moment de décider de renforcements ou de renouvellement de réseau : les flexibilités peuvent selon les situations, apporter un meilleur rapport coût/efficacité pour la conception et l'exploitation du réseau que les solutions de référence. Enedis adapte ses outils et son organisation par exemple dans les cas suivants :

- Des contraintes dues à l'évolution des consommations apparaissent sur le réseau. Grâce aux flexibilités, on peut éviter des travaux de renforcement : c'est le principe du report de la date d'investissement. La flexibilité est alors rémunérée avec une part fixe (versée mensuellement pour rémunérer l'engagement à rendre le service quand elle sera appelée) et une part variable (versée lors des activations).
- En cas d'incident ou de travaux programmés, un ou plusieurs équipements du réseau deviennent temporairement indisponibles. L'électricité est alors acheminée par les ouvrages restant en service ; dans certaines situations, ceux-ci peuvent être insuffisants pour reprendre toute la consommation des clients du réseau. Plutôt que couper des clients ou faire appel à des moyens mobiles de réalimentation, les flexibilités pourraient contribuer à maintenir la continuité d'alimentation des clients.

Dans ces deux cas, la mobilité électrique peut contribuer à cette flexibilité. Il faut pour cela suffisamment de véhicules en charge disposés à activer une flexibilité au même moment dans une même zone.

L'appel à ces flexibilités n'est mis en place que lorsqu'il est démontré que la flexibilité est technico-économiquement plus efficace qu'un investissement ou le recours à des moyens d'exploitation supplémentaires sur le réseau⁶. Le Plan de développement de réseau – document préliminaire publié par Enedis en 2023 – détaille au chapitre 6 les méthodes de comparaison économiques entre investissement et flexibilité.

Se préparer aux futures formes de pilotage

L'essentiel de la valeur du pilotage unidirectionnel sera apporté par un déplacement de la recharge au moment des creux de consommation résiduelle grâce à un pilotage statique. Le pilotage dynamique précis permettra quant à lui de résoudre certains cas particuliers et pourra apporter un complément de revenu au client. Il pourra permettre de placer la charge des véhicules électriques au moment des pics de production des énergies non pilotables (solaire et éolien).

Les solutions de pilotage bidirectionnelles (V2G, V2X) permettant de réinjecter de l'énergie depuis les véhicules vers le bâtiment ou le réseau de distribution apporteront quant à elles une valeur supplémentaire significative par rapport au pilotage unidirectionnel. Ces solutions ne sont cependant pas disponibles de manière industrielle à date. Pour se préparer et accompagner l'arrivée de ces futures solutions, Enedis participe à des expérimentations (sur site, en laboratoire), développe des partenariats avec des industriels, participe à des projets français (aVEnir, Flexitanie) et européens (Scale, Evve), mène des études et benchmarks, participe à des comités de normalisation, etc.

Le projet aVEnir a permis, pour la première fois en France, au Gestionnaire du Réseau de Distribution d'envoyer avec succès un signal à un agrégateur ou un opérateur de bornes pour activer le pilotage de la recharge sur des véhicules électriques, en condition réelle et avec des utilisateurs. Différents cas d'usage ont été mis en œuvre avec succès, comme la modulation de puissance, le décalage temporel de la recharge, le V2G et la synchronisation de la charge avec une production photovoltaïque.



L'objectif du projet démonstrateur aVEnir, piloté par Enedis et rassemblant 13 acteurs de la mobilité électrique en France, est de démontrer l'existence et la faisabilité de solutions de pilotage intelligent de la recharge pour accompagner le développement à grande échelle de la mobilité électrique, en facilitant l'intégration des véhicules électriques sur le réseau.

Le projet s'est décliné autour de six expérimentations : quatre cas d'usage du pilotage qui ont fait l'objet d'expérimentations sur sites, en conditions réelles, et deux cas d'usage basés sur des travaux autour de la data. ”



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité



PARTENAIRES



⁶ Le choix de la solution la plus efficace se fait par une analyse coût bénéfice (ACB), qui compare l'ensemble des coûts et gains de plusieurs solutions entre elles. La flexibilité permet dans certains cas d'éviter un investissement, mais l'investissement permet de réduire le coût des pertes et de l'énergie non distribuée. La flexibilité n'a de valeur pour la collectivité que lorsque son efficacité économique dépasse celle de l'investissement.



Des solutions pour faciliter le pilotage de la charge via le compteur

Les clients, le système et le réseau électrique gagneraient à ce que 100 % de la charge à domicile soit pilotée. Enedis propose des solutions, en complément de ce qui existe sur le marché, pour encourager le pilotage pour tous les véhicules électriques qui se rechargent à domicile, grâce à la connexion entre le compteur Linky de chaque client résidentiel (en résidence individuelle ou collective) et le système de charge de son véhicule électrique.

Un projet interne au sein d'Enedis a été lancé en juin 2023 avec pour objectif d'expérimenter en 2024 et d'industrialiser à partir de 2025 des solutions de pilotage en résidentiel :

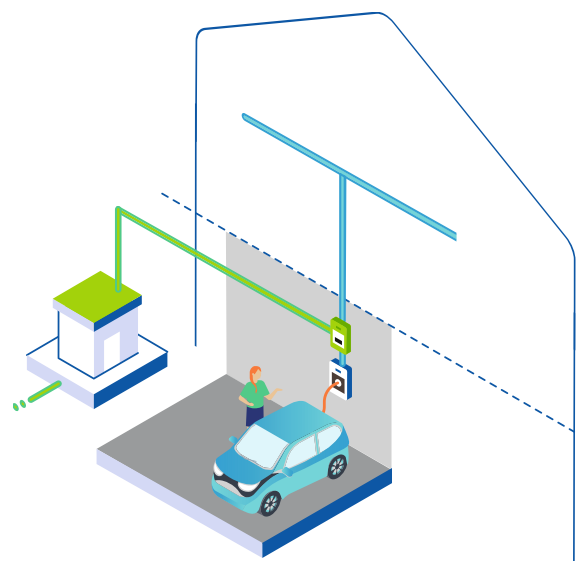
- Pilotage tarifaire en résidentiel (individuel et collectif),
- Pilotage centralisé en résidentiel collectif.

Pilotage tarifaire en résidentiel

Le pilotage tarifaire est proposé par les fournisseurs d'électricité à leurs clients résidentiels.

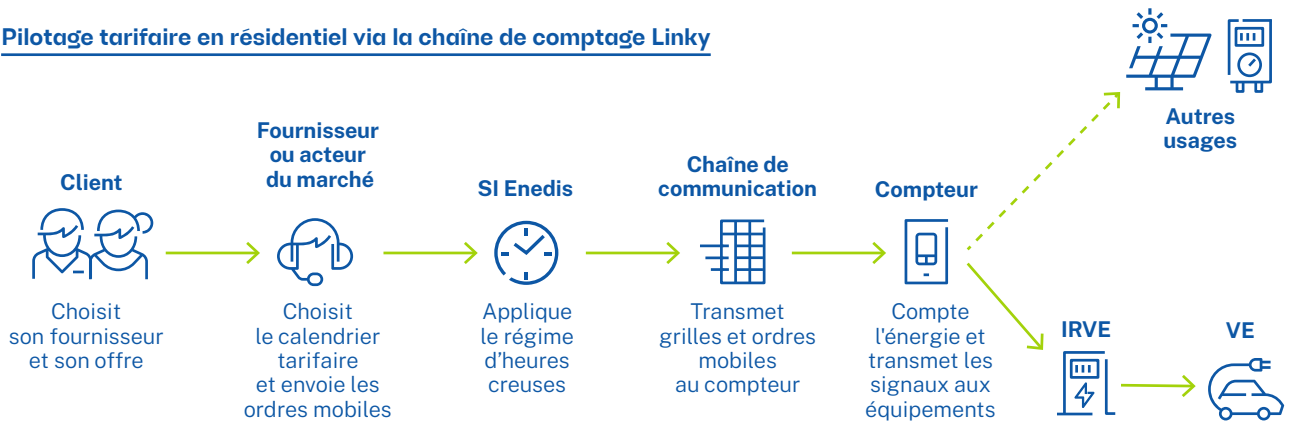
Enedis met en œuvre une solution basée sur le compteur Linky pour permettre aux particuliers (résidentiel individuel ou collectif) de piloter la charge de leur véhicule électrique en lien avec leur contrat de fourniture d'électricité (déclenchement de la charge en fonction du calendrier fournisseur, grille tarifaire propre au fournisseur, adossée ou non à la grille tarifaire du distributeur) dans toutes configurations : le client peut se recharger sur une prise simple ou renforcée, une borne simple ou évoluée. Il peut avoir un ballon d'eau chaude déjà asservi à son compteur ou non, et peut souhaiter décaler l'enclenchement de sa charge par rapport à son ballon d'eau chaude par exemple, afin de maîtriser sa puissance souscrite. Enedis cherche à proposer des solutions simples à déployer pour un coût marginal faible (voire nul).

Système de recharge en maison individuelle



— Réseau public
— Installation électrique privée

Pilotage tarifaire en résidentiel via la chaîne de comptage Linky



L'objectif d'Enedis est que la connexion entre le compteur et le système de charge puisse être assurée pour toutes les configurations clients :

- La connexion filaire apparaît bien adaptée pour réseau électrique auto⁷. Dans cette configuration, chaque place de parking correspond à un point de livraison dédié avec un compteur Linky : la TIC et le contact sec ne sont pas utilisés. D'autre part, la distance entre le compteur, le tableau électrique et le système de charge (borne ou prise) est faible.
 - En maison individuelle, les configurations sont plus variées : si le système de charge est une prise, un lien contact sec entre le compteur et le tableau électrique est recommandé. Si le client dispose déjà d'un ballon d'eau chaude asservi au compteur, il faudra ajouter un dédoubleur de contact sec avec potentiellement une temporisation pour décaler la charge par rapport à la chauffe du ballon.
- En maison individuelle, quand de nombreux usages doivent être pilotés de manière coordonnée (chauffage et/ou ballons électriques, pompes à chaleur et/ou climatisation, autoconsommation PV...), l'installation d'un gestionnaire d'énergie connecté à la TIC du compteur est sans doute la meilleure solution.
- En maison individuelle, si la borne est installée loin du compteur et du tableau, une connexion sur la TIC en mode radio permet généralement de répondre au besoin, via l'ajout d'un petit équipement sur le compteur qui permet la communication avec la borne de recharge.

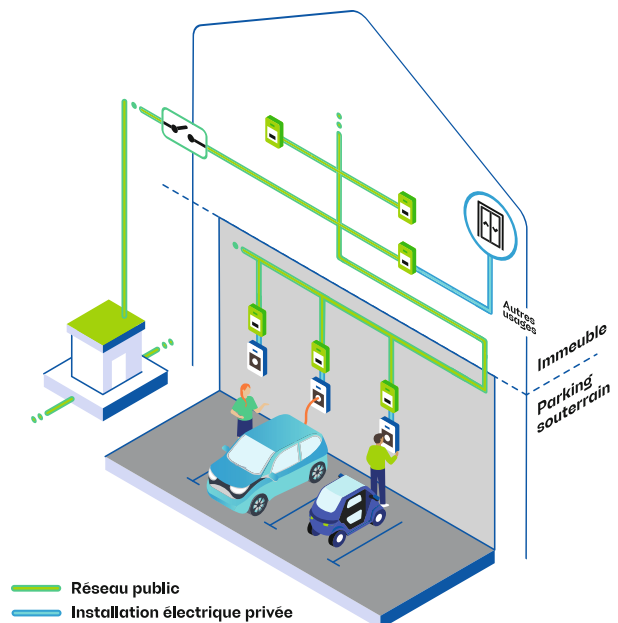
Pilotage centralisé

Enedis expérimente une solution basée sur le compteur Linky pour permettre aux copropriétés de piloter la charge des véhicules électriques en parking afin de respecter un seuil maximum de puissance appelée par le bâtiment (cumul des consommations des logements et des véhicules). Cette solution fonctionnerait pour des parkings équipés de solutions intégrées gérées par un opérateur IRVE ou des parkings équipés d'un réseau électrique auto. L'objectif est

de limiter l'appel de puissance simultané des véhicules en fonction des autres usages du bâtiment afin, dans certains cas, de décaler voire d'éviter des travaux sur le réseau.

À différentes configurations correspondent différentes solutions de pilotage. Le point de mesure de l'appel de puissance sera localisé en fonction de la contrainte détectée : infrastructure du parking, liaison réseau de l'immeuble ou réseau local. Cette mesure permettra d'adapter la puissance de recharge des véhicules électriques grâce à une communication avec le dispositif centralisé de pilotage dans le cas d'une solution opérée par un opérateur IRVE ou avec chaque point de charge dans le cas d'une solution réseau électrique auto.

Système de recharge en immeuble avec solution réseau électrique auto

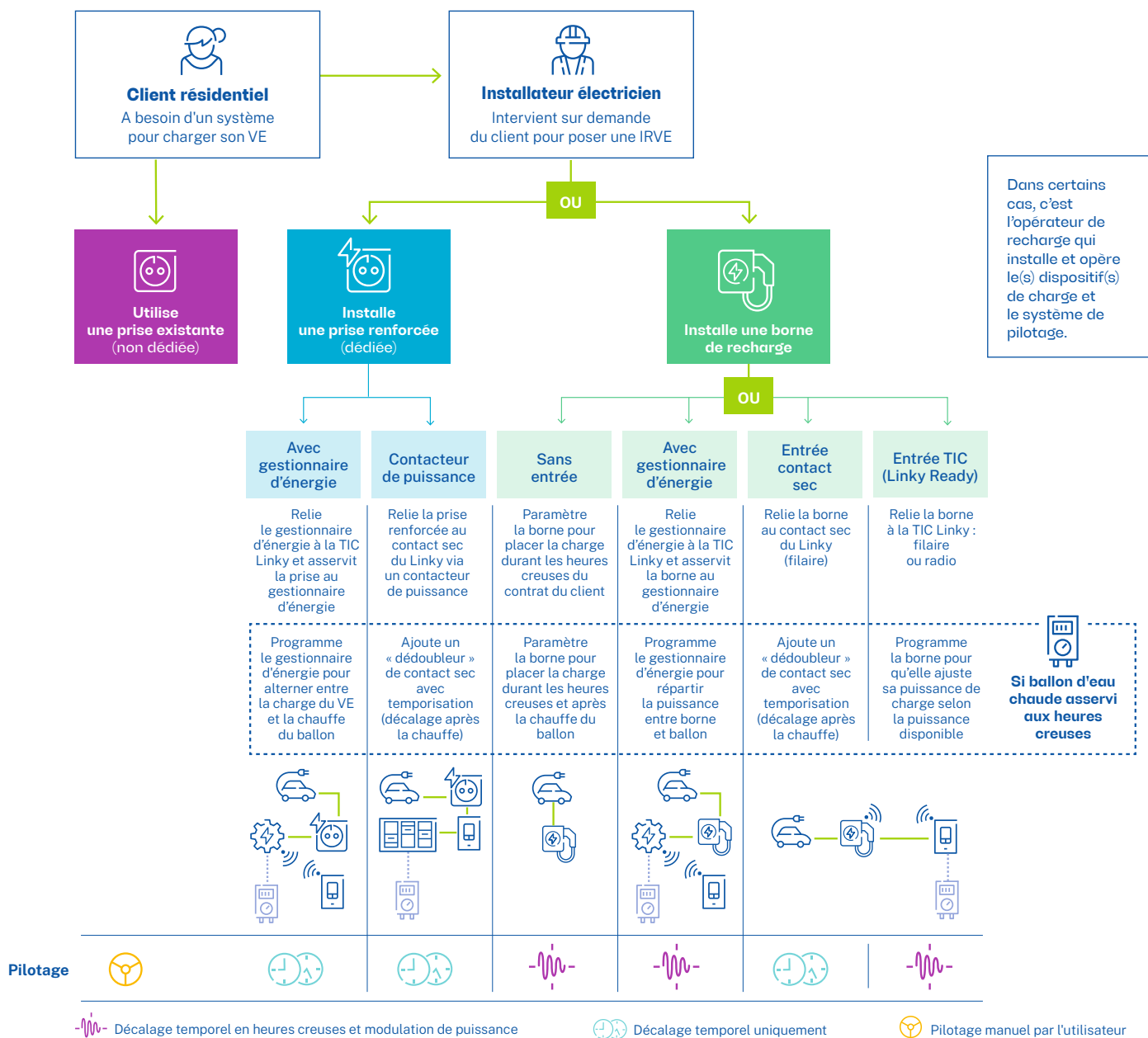


⁷ Enedis accompagne toutes les solutions collectives pour l'installation d'infrastructures de recharge de véhicules électriques (IRVE) en résidentiel collectif en les raccordant au réseau public de distribution d'électricité. Aujourd'hui, 2 solutions collectives existent pour les parkings en immeubles d'habitation :
- Les solutions des opérateurs de recharge consistent à offrir un service de recharge « clé en main » aux (co)propriétaires, en confiant l'ensemble de la prestation d'installation, de gestion, de maintenance de l'IRVE, et de recharge à un acteur unique. Le propriétaire ou la copropriété et l'ensemble des résidents sont engagés contractuellement avec l'opérateur de recharge sur la durée du contrat. Enedis accompagne l'opérateur en créant un point de livraison (PDL) électrique pour alimenter son installation.
- La solution publique, nommée réseau électrique auto par Enedis : l'installation de recharge de chaque client est connectée au réseau public de distribution d'électricité installé dans le parking. Cette solution permet à chaque utilisateur d'une IRVE d'être autonome et indépendant : il équipe sa place de parking pour recharger son véhicule quand il le souhaite, puis choisit un contrat de fourniture d'électricité auprès du fournisseur d'énergie de son choix. Il paie ensuite son abonnement et sa consommation.

“ Le pilotage tarifaire généralisé est indispensable d’un point de vue système. Celui-ci pourrait se faire par une connexion au compteur électrique ou par paramétrage du gestionnaire d’énergie du bâtiment via une API Enedis. La modulation de puissance apporte une valeur importante aux utilisateurs en prévenant la disjonction de son installation et en permettant de maîtriser la puissance de raccordement en collectif. En résidentiel collectif comme en tertiaire, le pilotage centralisé des points de recharge permet une gestion intégrée des charges du bâtiment préparant d’éventuelles évolutions vers un couplage avec le solaire. ”



Configurations possibles en résidentiel



Les quatre recommandations d'Enedis sur le pilotage de la charge

Recommandation 1

Systematiser le pilotage tarifaire et la connexion avec le compteur pour le résidentiel (individuel et collectif)

Le placement de la charge durant les heures les plus favorables au système électrique (flexibilité structurelle de type heures creuses) est absolument indispensable pour l'intégration de la mobilité électrique dans le système électrique. Enedis recommande de mettre en œuvre en priorité les solutions simples et éprouvées permettant ce pilotage en heures creuses.

Compte tenu du fait que plus de 80 % de la recharge des particuliers possesseurs de véhicules électriques se fait à domicile, le segment des clients résidentiels (individuel et collectif) est particulièrement clé.

C'est maintenant, au moment où les ménages s'équipent, qu'il convient de déployer les solutions simples de pilotage permettant un décalage de la charge durant les heures creuses.

Est défini comme pilotable un système de charge qui :

- A la capacité de recevoir et interpréter directement les signaux tarifaires des fournisseurs d'électricité et les signaux des gestionnaires du réseau de distribution.
- Est effectivement et directement connecté à un dispositif de comptage mis en œuvre par les gestionnaires du réseau de distribution. À défaut, le système de charge peut être connecté à un équipement fixe, lui-même connecté au dispositif de comptage et qui transmet au système de charge un signal de modulation de puissance.
- Est connectable à Internet.

Le système de charge pilotable permet d'assurer les fonctionnalités suivantes :

- **Pilotage tarifaire :** positionner automatiquement la charge des véhicules électriques durant les périodes les plus attractives économiquement selon les offres tarifaires du fournisseur, et en dehors des points mobiles. Le système doit permettre à l'utilisateur de pouvoir déroger localement à la consigne automatique.
- **Pilotage de la puissance :** durant les périodes de charge, ajuster automatiquement la puissance de manière à ce que la charge du véhicule électrique soit coupée, maintenue ou modulée afin que la puissance soutirée totale du logement ne dépasse pas la puissance disponible (puissance de coupure).
- **Autre pilotage dynamique :** capacité à interpréter des signaux externes, comme par exemple le signal EcoWatt de RTE, un signal local du bâtiment, ou des signaux dynamiques provenant de fournisseurs d'électricité.



La CRE considère que les nouveaux dispositifs de recharge individuels en résidentiel (borne ou prise renforcée) devraient avoir systématiquement accès à un premier niveau de pilotage simple selon les signaux tarifaires HP/HC. La mise en œuvre de ce pilotage reste à la main de l'utilisateur qui a le choix de souscrire un contrat de fourniture proposant des heures creuses. Il garde dans tous les cas la possibilité de « forcer » la recharge en dehors des heures creuses si nécessaire. De multiples solutions sont disponibles pour le pilotage des bornes de recharge individuelles sur la base des signaux tarifaires. Compte tenu du déploiement actuel du compteur Linky et de ses fonctionnalités de transmission du signal HP/HC, la CRE considère que, dans le cas général, la solution par défaut consistera en une connexion au compteur. »



Source : Rapport CRE du 13 décembre 2023 : www.cre.fr/actualites/la-cre-publie-ses-recommandations-pour-accompagner-le-deploiement-de-la-mobilite-electrique

Le compteur du GRD, essentiellement Linky pour le marché résidentiel, dispose d'informations permettant la réalisation de ces pilotages :

- Les plages horaires de la grille de fourniture du client (programmée dans le compteur), avec un mécanisme de dispersion de quelques minutes pour les plages d'heures creuses permettant d'éviter les appels de puissance resynchronisés. L'affectation de ces plages pourra être réinterrogée à l'avenir en fonction de l'évolution des comportements et de l'utilisation du système électrique dans son ensemble.
- Les puissances instantanées soutirées, souscrites et de coupure (cette dernière pouvant être modifiée dans certains cas par rapport à la puissance souscrite, c'est son dépassement qui déclenche le *breaker*⁸ du compteur).
- Le comptage des énergies qui transitent.
- Des ordres provenant des fournisseurs ou du distributeur permettant au système d'être averti d'une future modification ou tension sur le système électrique ou sur le réseau.

⁸ Les compteurs Linky sont dotés d'un organe de coupure (*breaker*) permettant de mettre l'installation du client sous tension et hors tension.



La connexion entre le compteur et le système de charge peut être directe (filaire ou radio) ou indirecte (via un équipement ou un gestionnaire d'énergie). Différentes connexions existent, principalement : TIC ou contact sec.

Le **contact sec** permet une interprétation simple et universelle par l'équipement, mais il ne communique pas suffisamment d'informations pour permettre la modulation de puissance. Il ne fonctionne que si le calendrier paramétré dans le compteur du client par son fournisseur prévoit la fermeture du contact durant certaines périodes (c'est le cas par exemple d'un client disposant d'un contrat avec des heures pleines et des heures creuses, mais ce n'est pas le cas si le client a un contrat base).

La **TIC** permet de nombreuses fonctionnalités, notamment la modulation de puissance qui évite à l'installation du client de disjoncter. Elle nécessite un équipement (borne de recharge ou contacteur dans le tableau électrique) qui soit compatible, c'est-à-dire qui sache lire les informations envoyées par le compteur et sache les interpréter pour déclencher d'éventuelles actions. Tous les équipements commercialisés actuellement en France ne sont pas encore compatibles.

On ne considère pas ici les grappes de bornes qui sont traitées à la recommandation suivante.

Le rôle du compteur et les responsabilités dans l'asservissement ne sont pas les mêmes selon le système de charge :

- Borne de recharge : le compteur transmet des données à la borne de recharge, celle-ci doit disposer d'une entrée (contact sec ou TIC). En fonction des informations reçues et de son paramétrage, la borne va choisir le bon moment et le bon niveau de puissance pour charger le véhicule.
- Prise dédiée : pour qu'elle soit pilotable, il est nécessaire d'ajouter un équipement électrique au tableau appelé contacteur de puissance, celui-ci alimente la prise (et donc le recharge) quand le contact sec du Linky est fermé et ne l'alimente plus quand le contact est ouvert. Elle peut aussi être pilotée à partir d'un gestionnaire d'énergie, lui-même relié au compteur Linky.
- Prise simple : le dispositif ne permet a priori pas de pilotage, mais le faible niveau de puissance ne le nécessite pas.

Enedis recommande donc d'inciter et de réglementer, dans le résidentiel individuel comme le collectif, l'installation de systèmes de charge pilotables, et de rendre systématique la connexion de l'IRVE au compteur du GRD, via le contact sec ou la TIC.

En complément du pilotage tarifaire et du lien au compteur, des systèmes de pilotage plus évolués, nécessitant une connexion à Internet, offrent des fonctionnalités supplémentaires de pilotage.

Recommandation 2

Inciter le pilotage tarifaire pour les infrastructures collectives de recharge

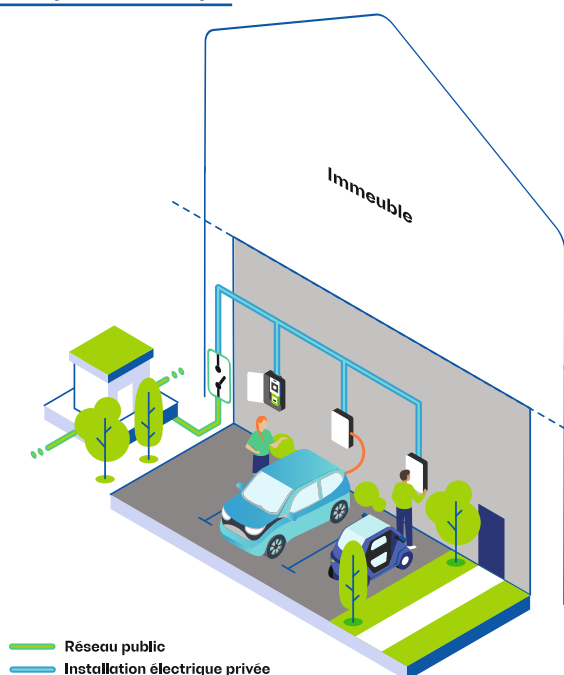
On adresse ici, et on distingue deux types d'IRVE collectives :

- Celles équipant les parkings des immeubles tertiaires (commerces et centres commerciaux, immeubles de bureau, écoles et administration) ainsi que les parkings d'entreprises industrielles (notamment les flottes d'entreprises)
- Celles équipant les parkings des résidences collectives quand elles sont gérées par un opérateur unique.

Dans le **tertiaire** et en **entreprise**, au vu des puissances plus importantes, des systèmes de pilotage se développent naturellement. Ces systèmes visent à réduire les coûts de l'énergie et de raccordement, de sorte qu'ils pilotent en énergie (déplacement aux heures les moins chères) et en puissance (pilotage dynamique pour limiter la puissance totale à tout instant). Ils couvrent pour la plupart en globalité la gestion du bâtiment. Ces systèmes de pilotage ont des fonctionnements divers selon les stratégies des utilisateurs et les acteurs qui les mettront en place. C'est pourquoi la généralisation et la standardisation des systèmes pour intégrer les données des gestionnaires de réseau sont plus délicates que pour les IRVE individuelles.

Dans le **résidentiel collectif opéré par un opérateur unique**, le plus souvent le système ne pilote que la charge des véhicules électriques car n'ayant pas accès aux consommations instantanées des logements. Si le pilotage en puissance est relativement fréquent, il conviendra de vérifier si le pilotage tarifaire est systématique et si l'incitation financière en la matière doit être renforcée.

Système de recharge en immeuble avec solution d'un opérateur unique



Le pilotage de la recharge des véhicules est l'un des trois piliers stratégiques du Plan Mobilité Électrique d'EDF, lancé en 2018. C'est un levier majeur pour réduire la facture énergétique des Français, accélérer la décarbonation des transports et optimiser le fonctionnement du système électrique. Le pilotage tarifaire doit être le comportement par défaut des électromobilistes à domicile, comme c'est déjà le cas au Royaume-Uni. Ce premier niveau de pilotage doit être adopté massivement. Parallèlement, EDF souhaite le développement de modes de pilotage plus évolués (V1G notamment) si l'utilisateur le souhaite. Quel que soit le mode de pilotage, la recharge doit correspondre aux besoins de l'utilisateur qui peut, si nécessaire, reprendre la main sur sa charge.



Enedis recommande donc de renforcer les incitations (réglementation, aides, tarifs, financements) pour encourager davantage les opérateurs d'IRVE collectives (en tertiaire, en entreprise et en résidentiel collectif) à généraliser les systèmes de pilotage (en puissance et en énergie) et à prendre en compte, pour ce pilotage, les données système, réseau et marché fournis par les compteurs d'électricité du GRD.

Des mesures incitatives pourraient concerner par exemple :

- Les primes Advenir,
- Les appels d'offre des administrations publiques,
- Etc.

Pour un client, le pilotage tarifaire est d'autant plus intéressant que l'écart entre les heures pleines et les heures creuses est important.

De même que pour le résidentiel, les solutions techniques existantes permettent de répondre aux mêmes besoins pour le client et la collectivité, notamment le pilotage tarifaire. Par rapport aux clients C5 (puissance de raccordement inférieure à 36 kVA), les clients C4 (point de connexion raccordé en basse tension > 36 kVA et auquel est associé un contrat unique, segment qui concernera la plupart des sites tertiaires), disposent de la possibilité de souscrire des puissances différentes selon leurs plages tarifaires (heures pleines ou heures creuses).

Les compteurs en place dans ces bâtiments fournissent les données de consommations globales de l'installation (y compris du bâtiment quand celui-ci et l'IRVE sont raccordés au même point de livraison) ainsi que différents signaux tarifaires, y compris, demain, en situation de tension sur le système électrique ou de crise sur le réseau.

Recommandation 3

Informer le client sur les bénéfices du pilotage

Tarif

Quelles que soient la situation et la nature des équipements d'un foyer, un client résidentiel en offre de fourniture au Tarif Réglementé de Vente (TRV) ou en offre de marché indexée sur les TRV et qui possède un véhicule électrique a presque toujours intérêt à disposer d'un tarif de type Heures Pleines / Heures Creuses (ou Tempo) plutôt qu'un tarif Base. Un client en offre régulée a donc intérêt à appeler son fournisseur pour vérifier que son contrat est toujours adapté, suite à l'acquisition de son véhicule électrique.

Un client dont la consommation du logement (hors recharge de VE) est proche de sa puissance souscrite a intérêt financièrement de placer sa recharge en heures creuses pour éviter d'augmenter sa puissance souscrite.

Un client dont la consommation du logement (hors recharge de VE) est proche de sa puissance de raccordement y a également intérêt pour éviter de payer les travaux nécessaires pour augmenter cette puissance. En particulier un client dont la puissance est proche de la limite admise sur une phase, devra également, s'il passe en triphasé, refaire une partie de son installation électrique intérieure, ce qui représente un coût significatif supplémentaire.

Aujourd'hui, moins d'un quart des utilisateurs de véhicules électriques pilotent leur recharge et bénéficient de ces économies.

Installation

Un client résidentiel dispose de plusieurs solutions pour recharger son véhicule (prise simple ou renforcée, borne de recharge mono ou triphasée).

Une borne de recharge présente un coût d'investissement sensiblement plus élevé, mais permet de faire des économies sur la facture d'énergie à deux titres :

- Grâce à des fonctionnalités de pilotage avancées, elle permet de réduire la part puissance et la part énergie de sa facture ;
- En chargeant le véhicule plus rapidement et à puissance plus élevée (et donc plus proche du point de fonctionnement optimal pour le véhicule), elle permet de réduire les pertes électriques à chaque recharge par rapport à une recharge sur prise simple.

Un autre point important de l'installation est qu'elle permette une automatisation du pilotage de la charge. En effet, on peut programmer l'heure de démarrage de la charge depuis son véhicule, ou aller le brancher, à une heure où peu d'autres équipements sont utilisés et où l'électricité est moins chère. Mais comme le montre l'enquête menée pour Enedis auprès de 1 000 possesseurs de véhicules électriques en juin 2023, ce comportement n'est pas suffisamment répandu : seuls 26 % d'entre eux déclarent piloter leur recharge. Pour garantir un pilotage tarifaire systématique dans la durée, il est donc indispensable d'installer un



système de charge pilotable automatiquement (avec possibilité de forcer la charge si besoin), connecté au compteur, qui placera les recharges du véhicule de façon à réduire au maximum la facture énergétique (puissance et énergie). Aujourd'hui, la majorité des utilisateurs de véhicules électriques ne s'équipe pas avec le mode de charge le plus adapté à leur situation et surtout le plus économique pour eux (en euros comme en énergie).

Clients entreprises

Le cas des clients entreprises est peu différent de celui des clients résidentiels. Dans tous les cas, une étude de l'installation et du contrat permettra de choisir la solution la plus adaptée. Une solution de pilotage tarifaire s'avère quasiment systématiquement rentable. Enedis peut en témoigner notamment au titre de son année d'expérience avec à mi 2023 environ 500 sites équipés d'IRVE et 5 000 véhicules électriques utilisés chaque jour.

Aujourd'hui, les clients se préoccupent d'abord de leur véhicule, puis réfléchissent au système de charge et seulement après, dans le meilleur des cas, se soucient de leur abonnement. Or c'est un ensemble qu'il faut considérer, et notamment pour installer un système de charge qui sera compatible avec l'offre énergétique qui sera retenue *in fine* car plus avantageuse pour le client.

Enedis recommande donc que des actions de communication soient menées auprès des clients utilisateurs de véhicules électriques, par différents canaux et différents acteurs (pouvoirs publics, constructeurs, fournisseurs d'énergie...), afin de les informer de l'intérêt qu'ils auraient à choisir un contrat de fourniture adapté à leurs usages ainsi qu'un équipement et une installation qui leur permettent de piloter la charge de leur véhicule.



Recommandation 4

Inciter les clients à l'optimisation de leur puissance de raccordement

Lors d'une demande de raccordement au réseau public de distribution en vue d'installer un nouvel usage véhicule électrique dans son logement, son entreprise ou un bâtiment, il est fréquent que le client exprime une demande de dimensionnement de son installation en considérant la puissance maximum atteinte par ce nouvel équipement.

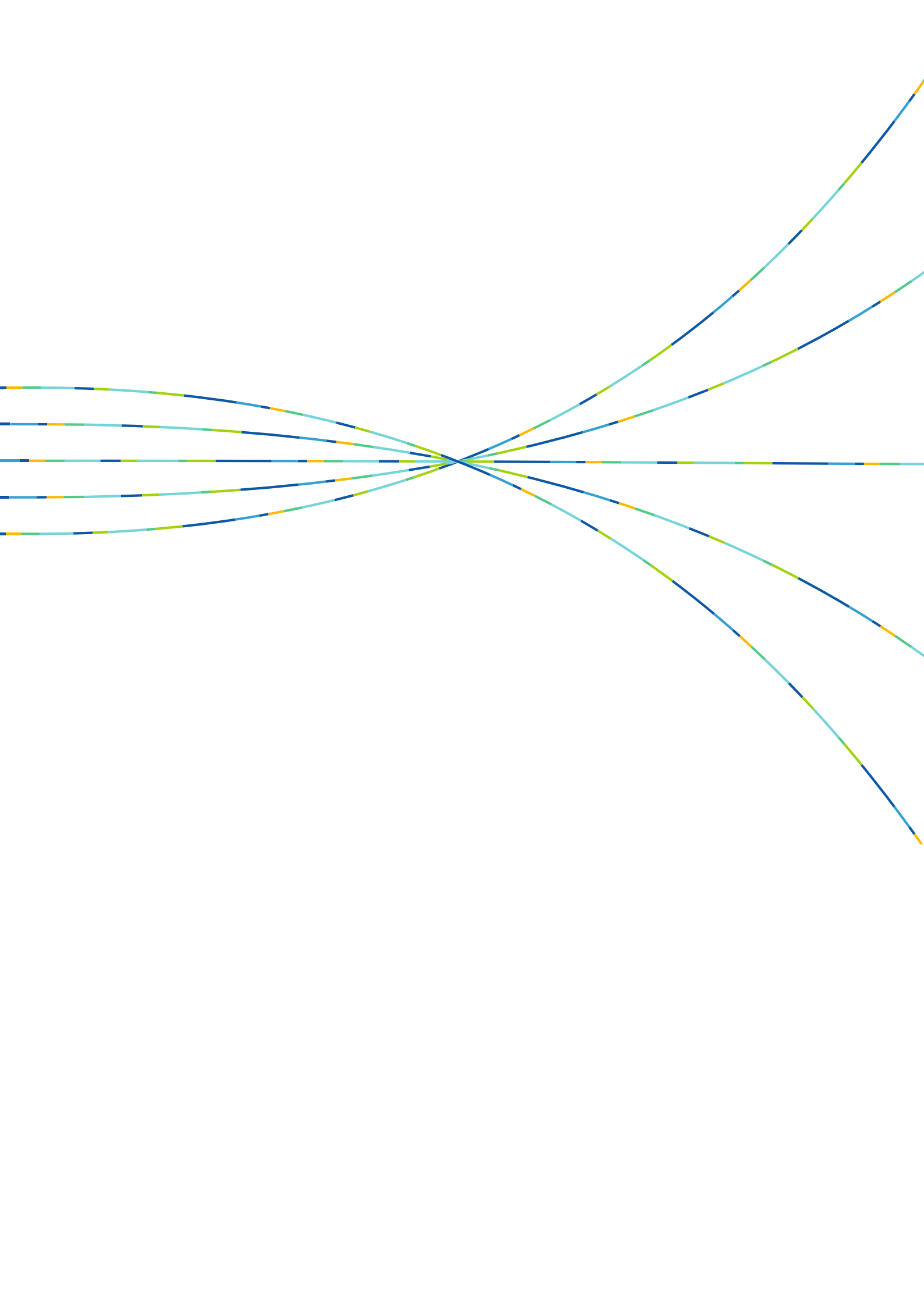
À l'heure de la sobriété énergétique et alors que le nombre de raccordements qui devront être réalisés dans les prochaines années est significatif, il est opportun de s'interroger sur la juste puissance nécessaire pour répondre à son besoin actuel et futur.

La juste puissance est celle qui intègre un foisonnement naturel (le fait que toutes les bornes de recharge ne seront peut-être jamais utilisées en même temps au même niveau de puissance) et un système de pilotage qui permet de gérer la puissance maximum affectée à la recharge des véhicules à tout moment.

De même pour un client déjà raccordé qui installe une IRVE, le pilotage de la recharge va permettre d'optimiser conjointement la puissance appelée pour la recharge et pour les autres usages, et ainsi de maîtriser la puissance totale appelée par l'utilisateur.

Sur ce point également, Enedis peut apporter un témoignage de l'importance des économies réalisables par une entreprise ou une collectivité disposant d'une flotte de véhicules électriques ou un gestionnaire de site disposant d'un parking important. Par exemple, Enedis a expérimenté en 2023 avec la ville de Reims et la communauté urbaine du Grand Reims l'impact positif du pilotage de la recharge sur le coût et le délai global du projet d'électrification de la flotte (en termes de travaux et de raccordement au réseau électrique), sur le coût de la recharge et sur son bilan carbone. Ainsi, grâce au pilotage de la recharge, la centaine de points de charge envisagée à terme pourrait être installée sans modification du raccordement électrique et sans impact sur les usages prévus. Dans ce cas, on peut considérer le pilotage de la recharge comme un vecteur d'accélération du passage au véhicule électrique, avec des coûts optimisés pour les clients et pour Enedis.

Enedis recommande donc qu'une information juste et appropriée soit donnée aux clients qui souhaitent raccorder une IRVE ou renforcer un raccordement en vue d'intégrer une IRVE sur un site existant. Enedis pourrait ainsi informer le client sur l'intérêt d'ajuster la puissance de son raccordement en considérant les bénéfices d'un pilotage notamment lorsque la puissance demandée apparaît élevée au regard du projet. On peut noter que certains acteurs (par exemple des bureaux d'études) proposent à leurs clients des prestations de conseil permettant un dimensionnement plus précis.



Enedis est une entreprise de service public, gestionnaire du réseau de distribution d'électricité qui emploie 39 000 personnes. Au service de 37,5 millions de clients, elle développe, exploite, modernise 1,4 million de kilomètres de réseau électrique basse et moyenne tension (380 et 20 000 volts) et gère les données associées. Enedis réalise les raccordements des clients, le dépannage 24h/24, 7J/7, le relevé des compteurs et toutes les interventions techniques. Intervenant pour le compte des collectivités locales, propriétaires des réseaux, elle est indépendante des fournisseurs d'énergie qui sont chargés de la vente et de la gestion du contrat de fourniture d'électricité.

 [enedis.official](https://www.facebook.com/enedis.official)

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

 [enedis.official](https://www.youtube.com/enedis.official)

ENEDIS

Enedis - Tour Enedis
34 place des Corolles
92079 Paris La Défense Cedex
[enedis.fr](https://www.enedis.fr)

SA à directoire et à conseil de surveillance
Capital de 270 037 000 €
R.C.S. de Nanterre 444 608 442
© Enedis