

# BatteryMove

Impacts **technico-économiques** du **pilotage de la recharge** sur les **batteries** de véhicules électriques et le **système électrique**

Janvier 2026

*Opération réalisée avec le soutien financier de l'ADEME*





# Contexte

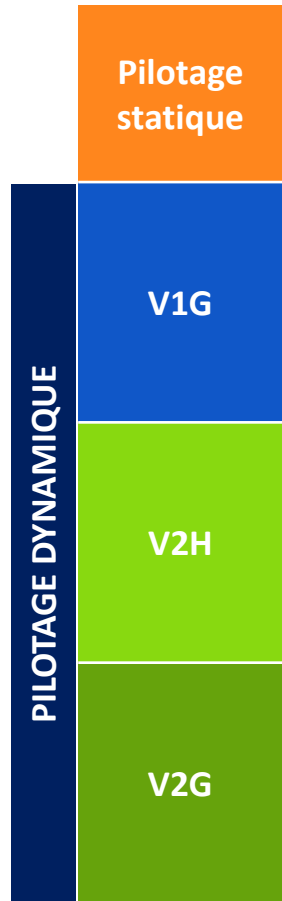
Les batteries sont des composants essentiels des véhicules électriques. Conçues pour être fiables et robustes, elles subissent des tests exigeants (températures, vibrations, chocs, cycles de charge/décharge) avant d'être certifiées. Les constructeurs automobiles offrent un **socle minimal de garantie batterie de 8 ans et 160 000 km**, et ils sont de plus en plus nombreux à proposer des **extensions de garanties jusqu'à 240 000 km**.

Aujourd'hui, les électromobilistes peuvent **rouler en électrique en toute sérénité**. Pour autant, **les performances des batteries peuvent diminuer de manière légère et progressive avec le temps**, ce qui entraîne une réduction limitée de l'autonomie du véhicule. Ce phénomène commun à toutes les technologies de batteries électrochimiques est connu de longue date, et les systèmes intégrés de gestion de la batterie (BMS) permettent de le gérer.

Ce rapport a pour objectif d'illustrer ce phénomène à partir de cas concrets et d'expliquer **comment les modes de pilotages intelligents de la recharge peuvent limiter le vieillissement de la batterie**. Ces modes de pilotage permettent la conception de **nouveaux usages dont la fourniture de services pour le système électrique via la réinjection d'énergie, tout en maîtrisant l'impact sur les performances de la batterie**.

Les solutions de pilotage associées à un branchement régulier apportent **des bénéfices concrets pour l'électromobiliste**. La promesse ? **Simplicité et transparence**. L'utilisateur renseigne ses besoins de mobilité via une application. Il dispose en temps réel de l'ensemble des informations et **réalise des économies sur sa facture d'électricité**. De plus, **il conserve son autonomie au plus proche de celle d'origine**. Ainsi, le **coût complet d'utilisation du véhicule diminue** tandis que la **valeur résiduelle du véhicule augmente**. Cela permet d'utiliser son véhicule plus longtemps, ou de le revendre au meilleur prix.

# Qu'est ce que le pilotage de la recharge ?



**Charge naturelle**

La charge du véhicule commence aussitôt que le véhicule est branché à la borne.

Il s'agit du comportement majoritaire pour les électromobilistes aujourd'hui : **65% des électromobilistes à domicile<sup>1</sup>**

**Pilotage statique**

La charge du véhicule est effectuée **durant les heures creuses** de son tarif d'électricité, comme pour le ballon d'eau chaude.

Le futur **comportement par défaut**. Rapide et simple à implémenter, il présente une solution basique et sans regret.

**V1G**

La charge du véhicule est optimisée de **façon dynamique** selon de **nombreux critères**  
*Ex : système électrique, besoins utilisateurs, production ENR locale*

Solution qui permet une **vision utilisateur globale**, intégrant notamment ses besoins pour un résultat gagnant-gagnant entre l'utilisateur et le système électrique.

**V2H**

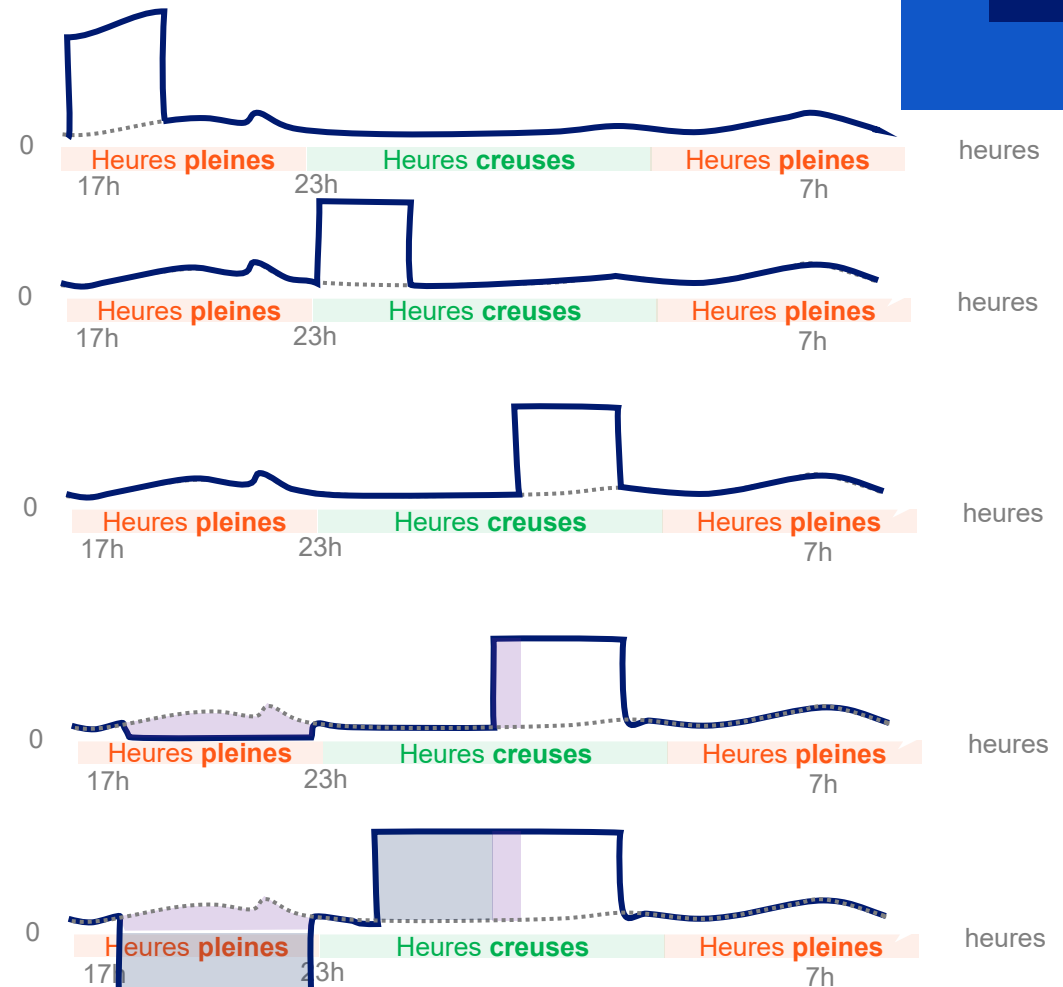
La charge du véhicule est bidirectionnelle. Le véhicule **réinjecte dans le bâtiment ou la maison mais pas dans le réseau**. Au plus, il s'agit d'effacer le talon de consommation locale.

Solution implémentée dans **les cas d'usages favorables**, avec forte valeur ajoutée pour l'utilisateur et le système électrique.

**V2G**

La charge du véhicule est bidirectionnelle **avec réinjection du surplus dans le réseau**.

**soutirage**



**injection**

..... Consommation logement sans véhicule électrique  
 — Consommation avec véhicule électrique

<sup>1</sup>Etude ENEDIS, 2025

# Sommaire



1.

## Etat de santé des batteries

Le pilotage de la recharge permet de **préserver l'autonomie** du véhicule au quotidien et **d'augmenter la durée de vie** de la batterie.

2.

## Valeur économique du pilotage

En 2026

V1G

Entre **150€** et **200€** par véhicule par an

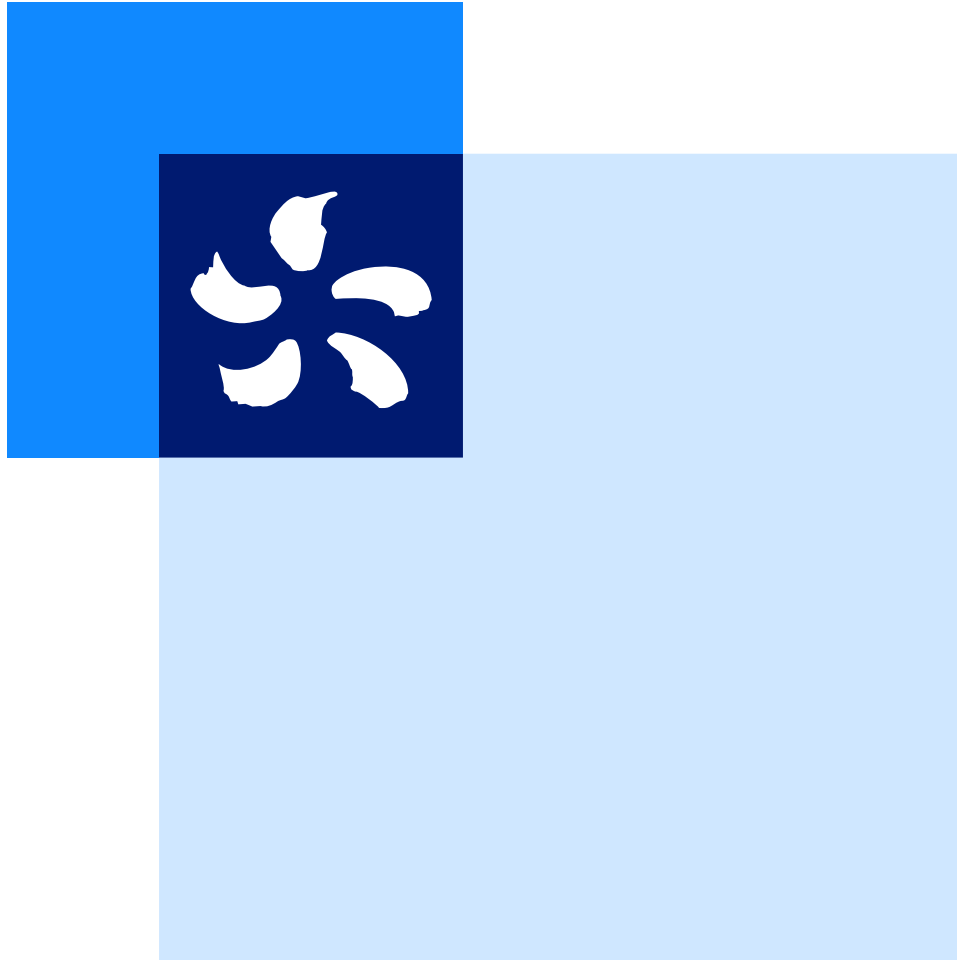
V2G

Entre **350€** et **450€** par véhicule par an

3.

## Bénéfices pour le système électrique

Des **besoins de flexibilité en croissance** auxquels les véhicules électriques répondent **durablement**.



## Etat de santé des batteries

Bénéfices du pilotage dynamique de la recharge des véhicules électriques sur l'état de santé des batteries



# Pourquoi et comment les batteries vieillissent ?

Le vieillissement se caractérise en fonction de l'**état de charge** (State-of-Charge, SOC), l'**intensité du courant de recharge** et la **température des cellules**.

Ce vieillissement est modélisé par une **composante de vieillissement calendaire** (ou temporelle) et une **composante de vieillissement cyclique**.

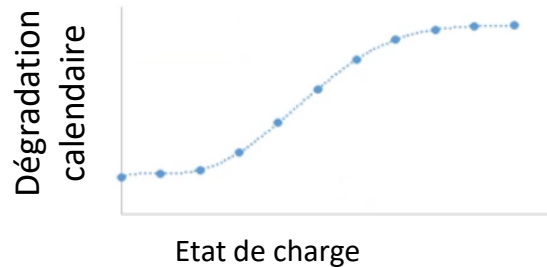
Le **vieillissement calendaire est le paramètre prépondérant** dans la dégradation de l'état de santé de la batterie : il compte pour environ **2/3 de la dégradation totale de la batterie !**

Dans les deux cas, des températures trop élevées accélèrent le vieillissement. Le système de contrôle des batteries (Battery Management System, BMS) permet de limiter ce phénomène.



## Vieillissement calendaire

Il se produit **tout le temps**, que la cellule soit active ou non  
Il dépend avant tout de l'**état de charge moyen** de la cellule.

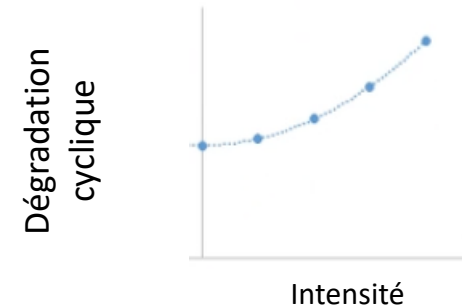


Au repos, laisser la batterie à un **état de charge élevé accélère le vieillissement**.  
Il est préférable de limiter la charge à 80% SOC lorsque cela est possible.  
Si un SOC de 100% est nécessaire, il est préférable de le faire juste avant le départ.



## Vieillissement cyclique

Il se produit **uniquement lorsque la batterie est sollicitée**  
en recharge ou en décharge (roulage, V2X).



Des **recharges rapides systématiques (>150kW)** peuvent **accélérer le vieillissement** car les courants de charge sont très importants.

# Des gains importants sur la durée de vie des batteries

Des essais de vieillissement en laboratoire ont permis de **qualifier le vieillissement** d'une cellule de batterie de véhicule électrique de manière accélérée **selon différents profils de recharge** : recharge naturelle, recharge dynamique (V1G), recharge bidirectionnelle (V2G) avec différents volumes annuels réinjectés tout en rendant des services pour le système (SSY).

Pour accélérer le vieillissement, les cellules testées sur une **durée de 6 mois** ont été conditionnées à **45°C**, et le **nombre de cycles effectués par jour a été triplé** par rapport à un usage normal.

Les résultats de test ont permis de **calibrer un modèle de vieillissement** afin de **simuler** l'état de santé de la batterie du véhicule après 10 ans d'utilisation moyenne. Les cellules testées sont de type **NMC** (nickel-manganèse-cobalt), mais les résultats **se généralisent à d'autres chimies de batterie** comme les LFP (lithium-fer-phosphate).



## En pilotage unidirectionnel V1G

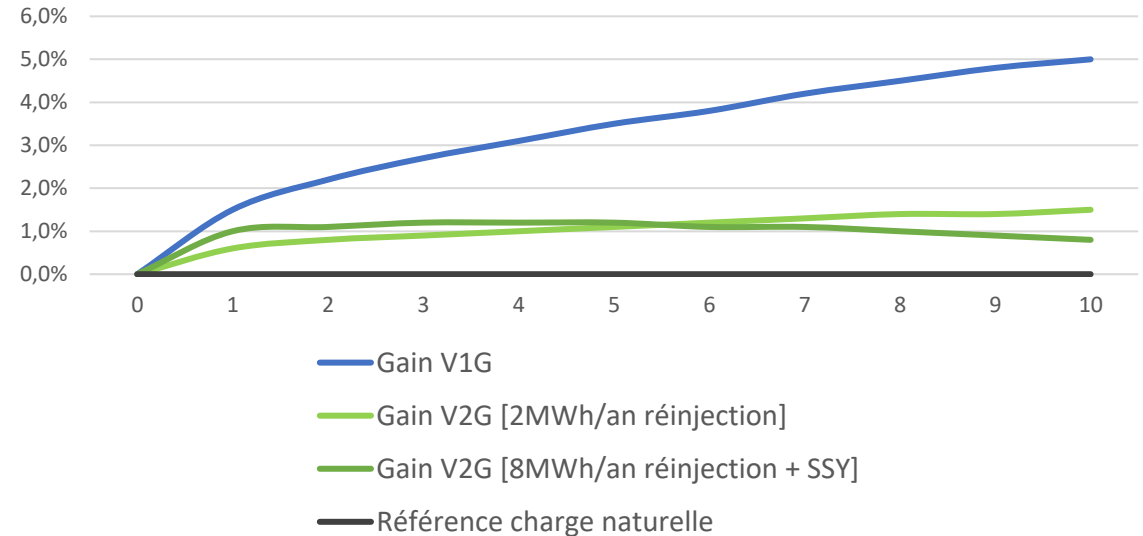
- > Le vieillissement des batteries des véhicules électriques est **systématiquement réduit** par rapport à une recharge naturelle.
- > Un **gain équivalent sur le vieillissement batterie pouvant aller jusqu'à 4 ans** sur une durée d'opération de 12 ans\*.



## En pilotage bidirectionnel V2G

- > Pour un même besoin de mobilité, **l'impact du V2G sur la batterie reste moins important que celui d'une recharge naturelle**, malgré une sollicitation bien plus importante (jusqu'à 8MWh/an et en réalisant des services système).

Gain en durée de vie de la batterie du véhicule électrique selon différents profils par rapport à la recharge naturelle sur 10 ans





# A retenir !



Sans impact sur les besoins de mobilité, le pilotage de la charge permet :

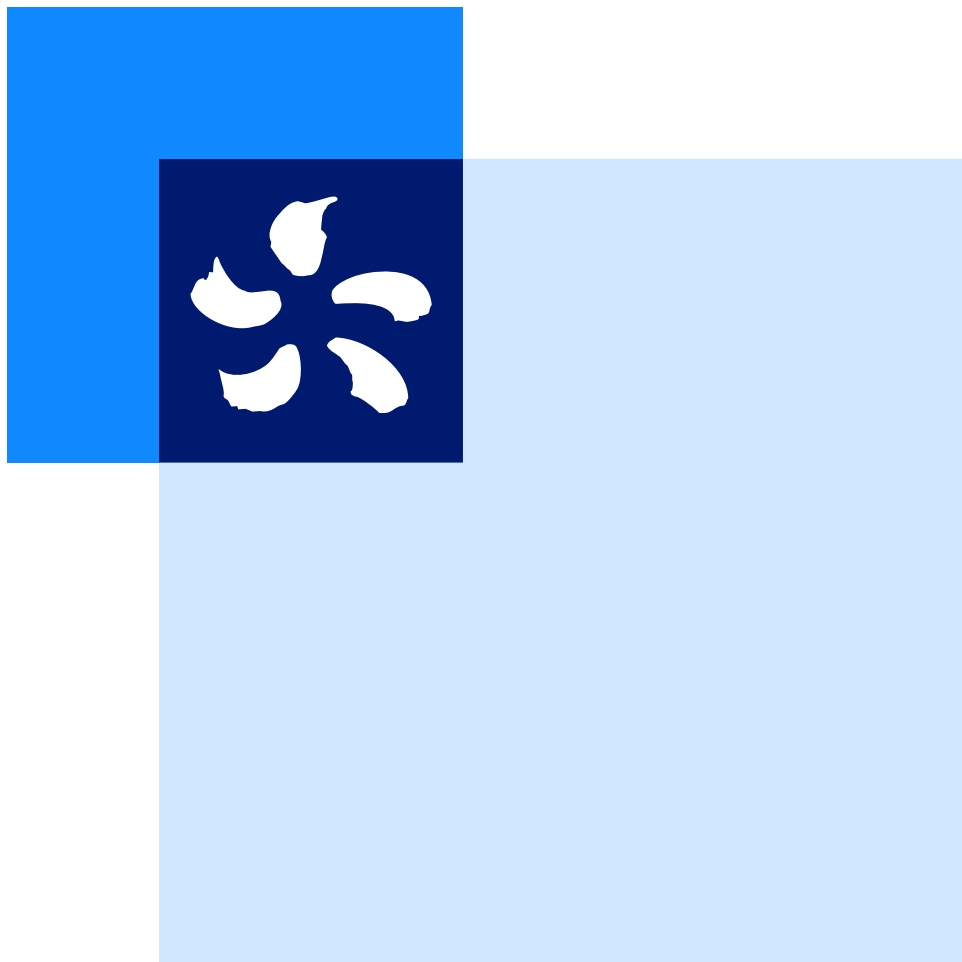
- De préserver l'autonomie du véhicule au quotidien
- D'augmenter la durée de vie de sa batterie

La batterie d'un véhicule laissé au garage pendant une semaine avec un état de charge de 100% vieillira plus vite que la même batterie du même véhicule avec un état de charge de 50%.

Quel que soit le mode de recharge, si vos besoins de mobilité vous permettent de prendre la route avec une voiture chargée à 80%, **plafonner la recharge de la batterie du véhicule à 80% permet de préserver la durée de vie de la batterie**. S'il est nécessaire de repartir avec 100% d'état de charge, **le pilotage V1G permet de retarder la fin de charge pour préserver la durée de vie de la batterie**.

Le pilotage dynamique **V1G apporte une solution simple et transparente** à l'utilisateur pour limiter sensiblement le vieillissement des batteries. La **valeur de revente du véhicule est préservée**. Le **confort d'utilisation augmente car le véhicule conserve son autonomie au plus proche de celle initiale**.

En plus des besoins de mobilité, il est possible de **réinjecter de l'énergie pour les besoins du système électrique (V2G) sans dégradation supplémentaire** de la batterie par rapport à une charge naturelle.

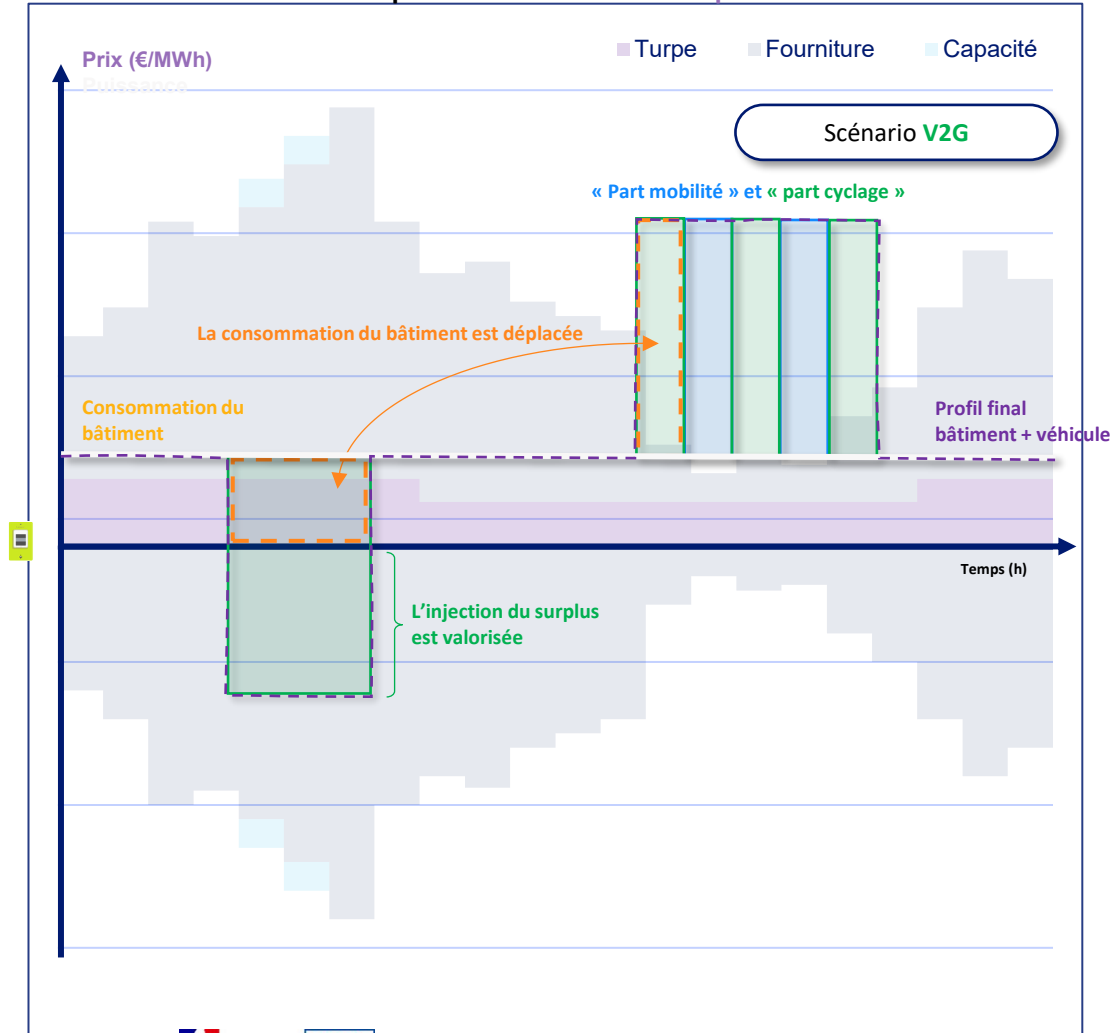


# Valeur économique

du pilotage de la recharge des  
véhicules électriques en **2026**

# L'équation économique à optimiser en V2G

Visualisation schématique des variables économiques et de consommation



Le V2G permet à la fois :

- **d'effacer la consommation de la maison en décalant dans le temps l'énergie soutirée.** On économise ainsi sur le soutirage (composantes fourniture, tarif d'utilisation du réseau TURPE et capacité) en **concentrant l'énergie soutirée aux heures les moins chères**.
- **d'injecter le surplus d'énergie dans le réseau.** La part d'énergie réinjectée dans le réseau est alors valorisée (composantes fourniture et capacité).

Dans les deux cas, les volumes d'énergie (ainsi que les pertes de conversion) réinjectés localement et/ou dans le réseau devront être rechargés ultérieurement.

## La quantité d'énergie « V2G » déchargée du véhicule dépend :

- > Des **variables économiques** : il y a des sessions de charge où la volatilité des marchés ne rend pas économique la réinjection.
- > Du **niveau de consommation de la maison** : plus elle est élevée, plus le problème revient à minimiser la facture de soutirage. Si le talon de consommation est trop faible et que les variables économiques ne permettent pas de réinjecter dans le réseau, on peut s'interdire également d'effacer la consommation du bâtiment à cause des pertes à basse puissance.
- > Du **plafond énergétique annuel de réinjection** : pour limiter le vieillissement de la batterie, on se limite à une quantité d'énergie maximale à réinjecter sur l'année.

# Valeur économique en 2026 du point de vue du véhicule électrique

V1G

Entre 150€ et 200€  
par véhicule par an

V2G

Entre 350€ et 450€  
par véhicule par an

Ces **bénéfices bruts** sont représentatifs de ce qu'un **fournisseur est susceptible de générer par client\*** sur les marchés de gros (au pas 15 minutes), les marchés intra-journaliers, la capacité et l'optimisation de la composante tarifaire d'acheminement.

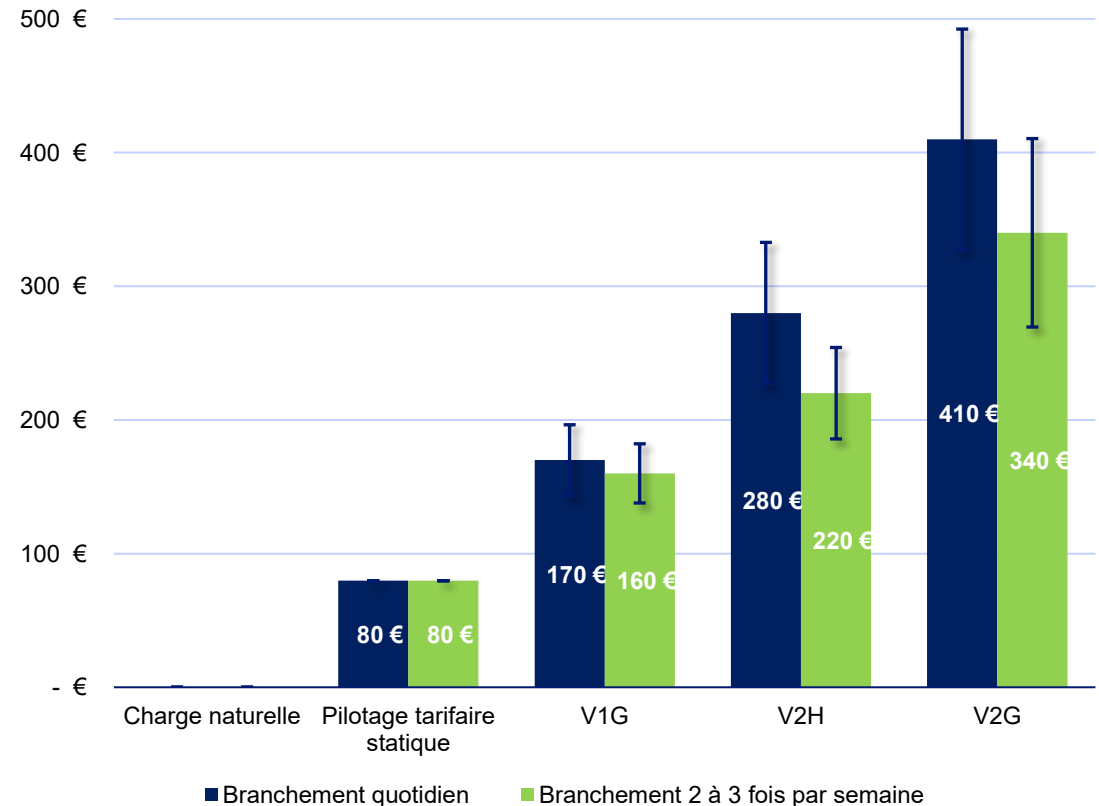
Ces valeurs sont estimées sur la base de **signaux de prix des marchés, et n'intègrent pas les coûts d'opération** (système d'information, cybersécurité, prévision, connectivité, trading, gestion relation client, etc.).

On estime que le **bénéfice net** (hors coûts d'opération) qui pourra être reversé à l'électromobiliste se situe entre **70% et 80% du bénéfice brut**.

Par rapport à une borne connectée standard, le **surcoût de la technologie V2G en courant alternatif est estimé à quelques centaines d'euros** par rapport à une borne V1G. L'ordre de grandeur de gains permet dès lors d'anticiper un **retour sur investissement rapide** selon les cas d'usages.

Les valeurs obtenues prennent en compte les stratégies de recharge (état de charge entre 20 et 80%, volume de réinjection limité à 4MWh/an) afin de **limiter le vieillissement de la batterie dans les conditions détaillées dans le reste de l'étude**.

Gains bruts en €/an selon la stratégie de charge



Marge d'erreur : borne haute = optimisation J-1 15min et intra-journalier, borne basse = optimisation J-1 1h



# D'où provient la valeur économique ?

La valeur économique est générée via un **empilement optimal de différentes briques de services compatibles réalisé par un agrégateur au bénéfice de l'utilisateur**, tout en répondant entièrement aux besoins de mobilité.

## Marchés de l'énergie

Arbitrage journalier (marché spot)

Arbitrage infra-journalier

## Equilibre Production Consommation

Réduction des écarts du périmètre d'équilibre

Services système : réserves primaire (FCR) et secondaire (aFRR)

Marché d'effacements (court terme)

Mécanisme d'ajustement

## Sécurité d'approvisionnement

Mécanisme de capacité

## Services pour la gestion du réseau de distribution

Appels d'offres Flexibilités locales

*L'approvisionnement de l'énergie est optimisé : un même volume d'énergie peut être revendu et racheté plusieurs fois jusqu'à sa consommation, en fonction des prix des marchés.*

*La modulation de la recharge des véhicules électriques permet d'éviter des écarts entre la consommation prévue et la consommation réelle au sein d'un portefeuille.*

*Dans certaines conditions, les véhicules électriques peuvent participer à des mécanismes spécifiques de valorisation de l'effacement.*

*Pour les besoins du système électrique, des agrégats de véhicules électriques peuvent participer sous conditions à différents services système.*

*Sur le long terme, la capacité d'effacement des véhicules électriques peut être valorisée sur le mécanisme de capacité.*

*Pour des besoins locaux et ciblés, les véhicules électriques peuvent participer aux appels d'offres Flexibilités locales d'Enedis.*

# Les hypothèses de l'équation économique

## Hypothèses sur le kilométrage et la consommation du véhicule électrique

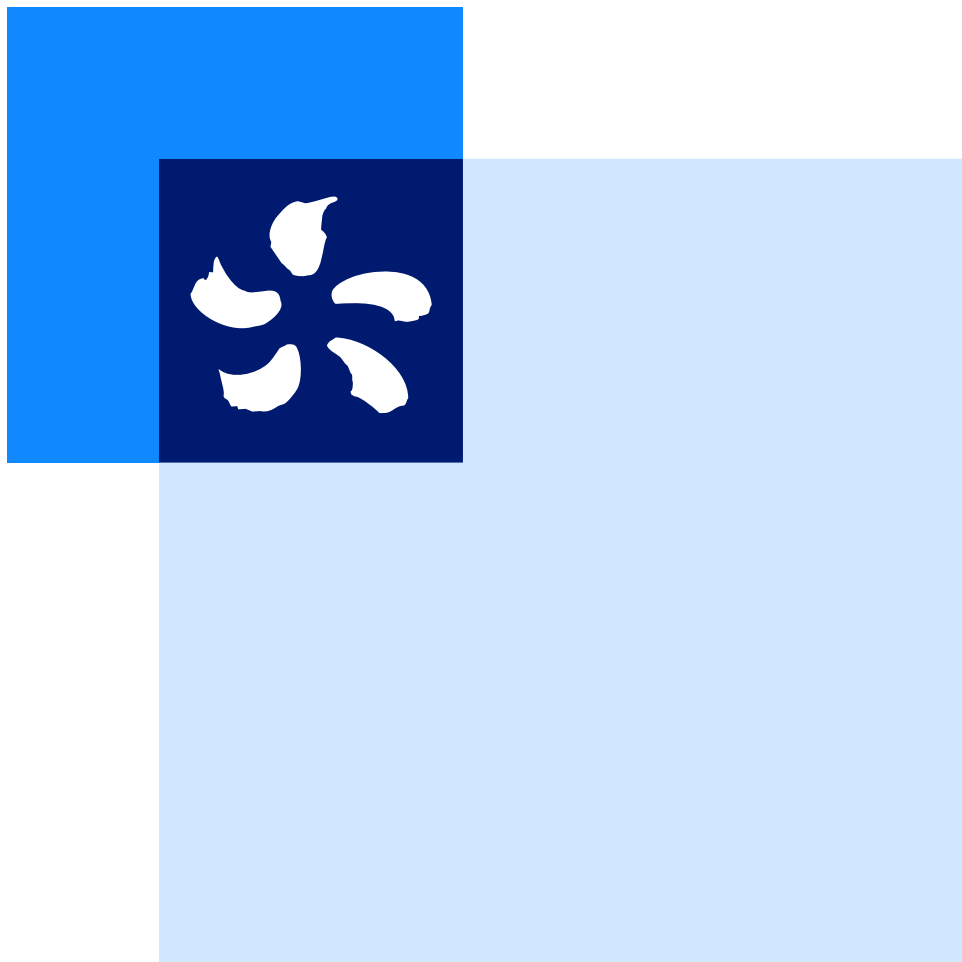
Kilométrage annuel	Rouleur moyen : 12 500 km/an (~2MWh/an avec consommation au roulage de 16,5 kWh/100km)
Description du comportement de branchement	Branchement quotidien : tous les soirs de 18h à 7h le lendemain, le weekend à partir du vendredi à 18h
Capacité nominale de la batterie du véhicule électrique	60 kWh
Puissance du chargeur	7 kW
Rendement de charge (unidirectionnel, symétrique)	92%

## Hypothèses sur les aspects énergie et économiques de l'étude

Consommation à domicile (hors véhicule électrique)	Courbe de charge (hors VE) d'un client en maison individuelle (~10 MWh/an)
TURPE	TURPE 6 BT <36kVA MU 4 postes
Taxes énergie	Accise à 22,5 €/2024/MWh
Prix de soutirage	<b>Energie*</b> + TURPE énergie + Taxes consommation finale d'énergie (accise) + <b>capacité*</b>
Prix injection (pour le V2G)	<b>Energie*</b> + Remboursement accise à la réinjection + <b>capacité*</b>

\* Ces données diffèrent entre l'étude 2026 et 2035.

Hypothèses spécifiques	Etude 2026	Etude 2035
Signaux économiques	L'optimisation est effectuée sur des <b>signaux de marché historiques</b> .  Il s'agit pour la composante <b>Energie</b> du signal marché journalier (Spot) 2024 en France, dont la moyenne a été ramenée à 65€/MWh (valeur du CAL-26).	L'optimisation est effectuée avec comme composante <b>Energie des coûts marginaux prospectifs</b> .  Les coûts marginaux correspondent au coût variable de production du moyen le plus cher appelé pour boucler le plan de production horaire.  Des <b>prix prospectifs</b> sont également utilisés pour les <b>services système (FCR, aFRR)</b> .
Prix de la capacité	10€/kW/an**	-
Pas de temps de l'optimisation énergie	Marché journalier [15min] + infra-journalier	Coûts marginaux [1h]



## Valeur économique

du pilotage de la recharge des  
véhicules électriques en **2035**

# Projection de la valeur économique en 2035 du point de vue du véhicule électrique



A l'horizon 2035, il est possible d'estimer les gains du pilotage de la recharge associés sur la base des coûts marginaux de production d'électricité. Ces coûts marginaux correspondent au **coût variable de production du moyen le plus cher appelé** pour boucler le plan de production horaire.

Pour le **V2G uniquement**, on considère aussi les **gains associés aux services système** (FCR, aFRR). Le reste des gains (dont ceux provenant du marché énergie intrajournalier) n'a pas été évalué en 2035.

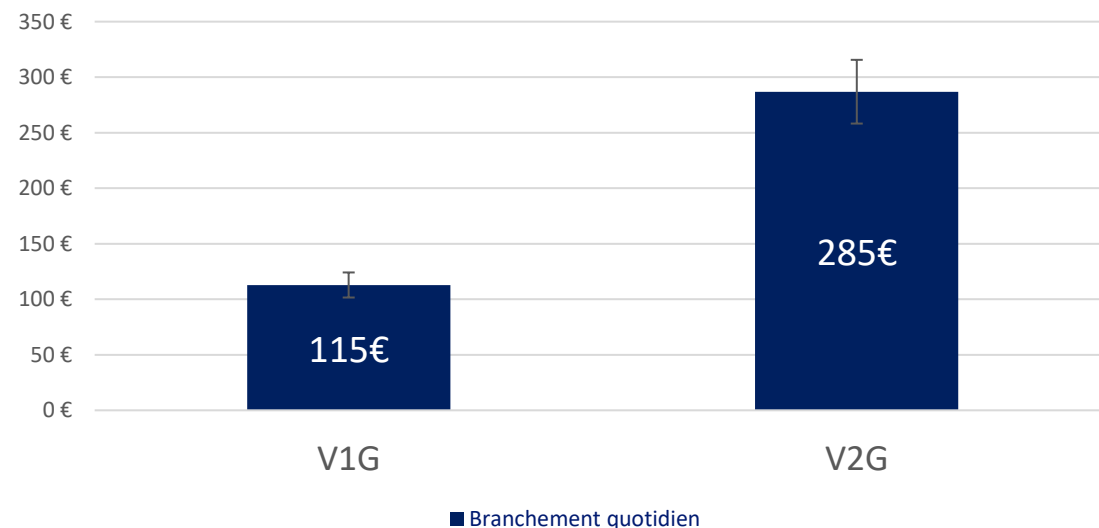


En **V1G**, la part des gains s'élèvent environ à **115€** par véhicule et par an.

En **V2G**, ils sont d'environ **285€** par véhicule et par an.

Comme en 2026, les gains ci-contre **n'intègrent pas les coûts d'opération** (SI, cybersécurité, prévision, connectivité, trading, gestion relation client, etc.).

Gains bruts en €/an selon la stratégie de charge  
Part Energie [1H] & Services système uniquement

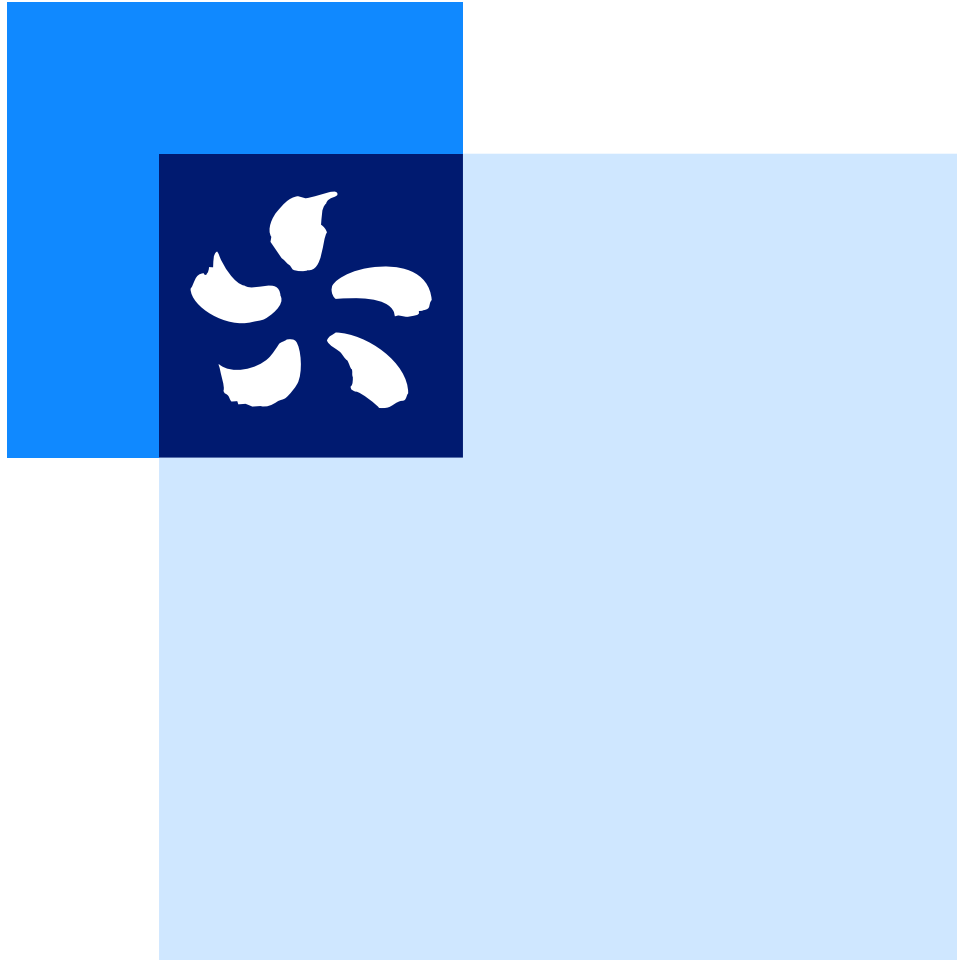


### Marchés de l'énergie

Arbitrage journalier (marché spot)  
pas de temps 1h

### Equilibre Production Consommation

Services système : réserves primaire  
(FCR) et secondaire (aFRR)



# Systeme électrique

Impact du pilotage de la recharge sur le systeme électrique à horizon **2035**



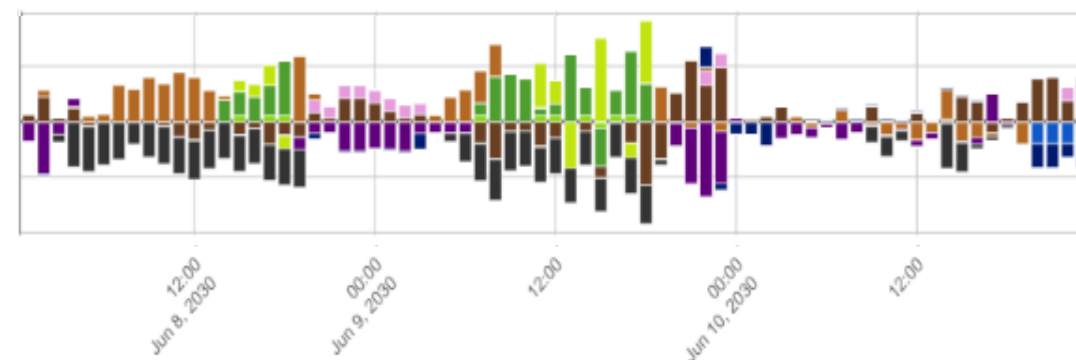
# Impacts sur le système électrique français en 2035

## Des bénéfices concrets pour le système électrique\*

- > **Diminuer** le recours à des **productions thermiques**
- > **Diminuer** légèrement la **modulation nucléaire** pour manque de débouchés
- > **Augmenter** la **balance commerciale** française
- > **Réduire l'écrêtement** de la production renouvelable
- > **Diminuer les émissions** annuelles de CO2 d'environ 4% sur la plaque européenne



En été, la possibilité de placer une recharge V1G et V2G sur plusieurs heures lors de deux journées de mai et de juin permet d'éviter un écrêtement de production **éolienne** et **solaire**.

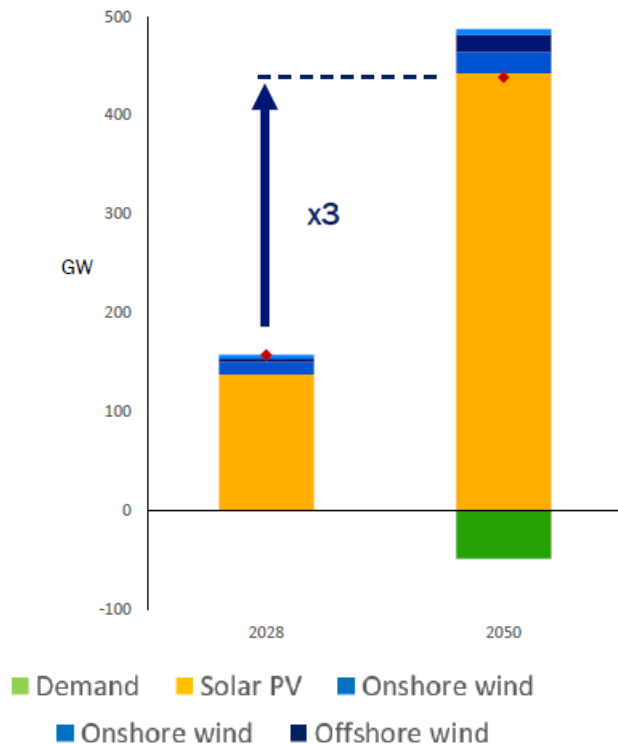


\*bénéfices observés en convertissant 25% des véhicules électriques du parc français en pilotage dynamique (en remplacement d'un pilotage statique)

# Des besoins de flexibilités croissants auxquels les véhicules électriques répondent



Evolution des besoins de flexibilité journalière en Europe entre 2028 et 2050\*



Entre 2028 et 2050, de profondes transformations des systèmes électriques européens sont attendues.

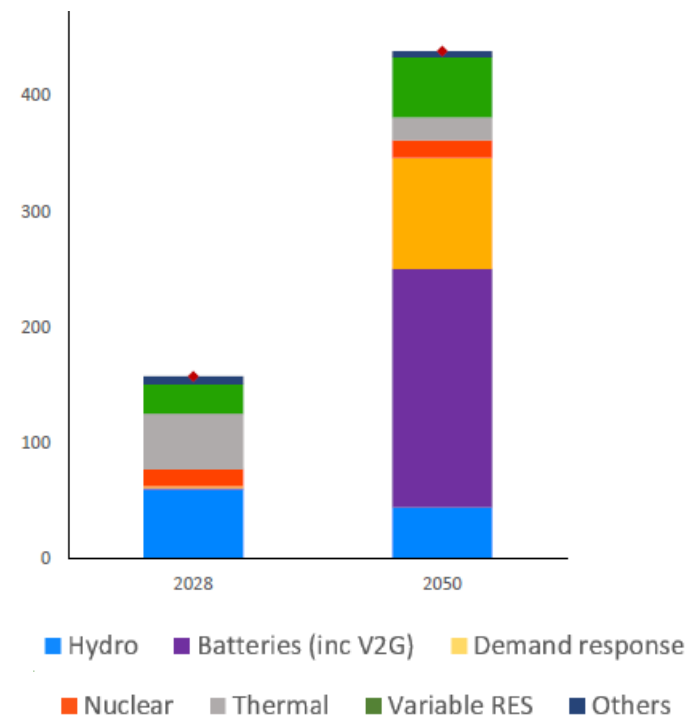
Soutenus par l'insertion massive d'énergies renouvelables, et notamment le photovoltaïque, les besoins de flexibilité journalière en Europe devraient être multipliés par 3.

La flexibilité de la demande portée par la mobilité électrique (V1G, V2G) jouera un rôle essentiel.

Le gisement de flexibilité est profond, de sorte que les gains du pilotage de la recharge sont assurés pour tous les électromobilistes, anciens comme nouveaux.

Face à cette tendance de fond en France comme en Europe, la généralisation du pilotage dynamique de la recharge des véhicules électriques (V1G, V2G) à plusieurs millions de véhicules électriques est autant une opportunité qu'une nécessité.

Place du pilotage dynamique de la recharge des véhicules électriques sur la flexibilité journalière en Europe\*



\*scénario [EDF Net Zero](#)

A l'échelle européenne, les besoins de flexibilité journalière seront principalement couverts par la flexibilité de la demande (ex: pilotage dynamique de la recharge des VE) et les actifs de stockage journaliers (ex : batteries stationnaires).



# Merci

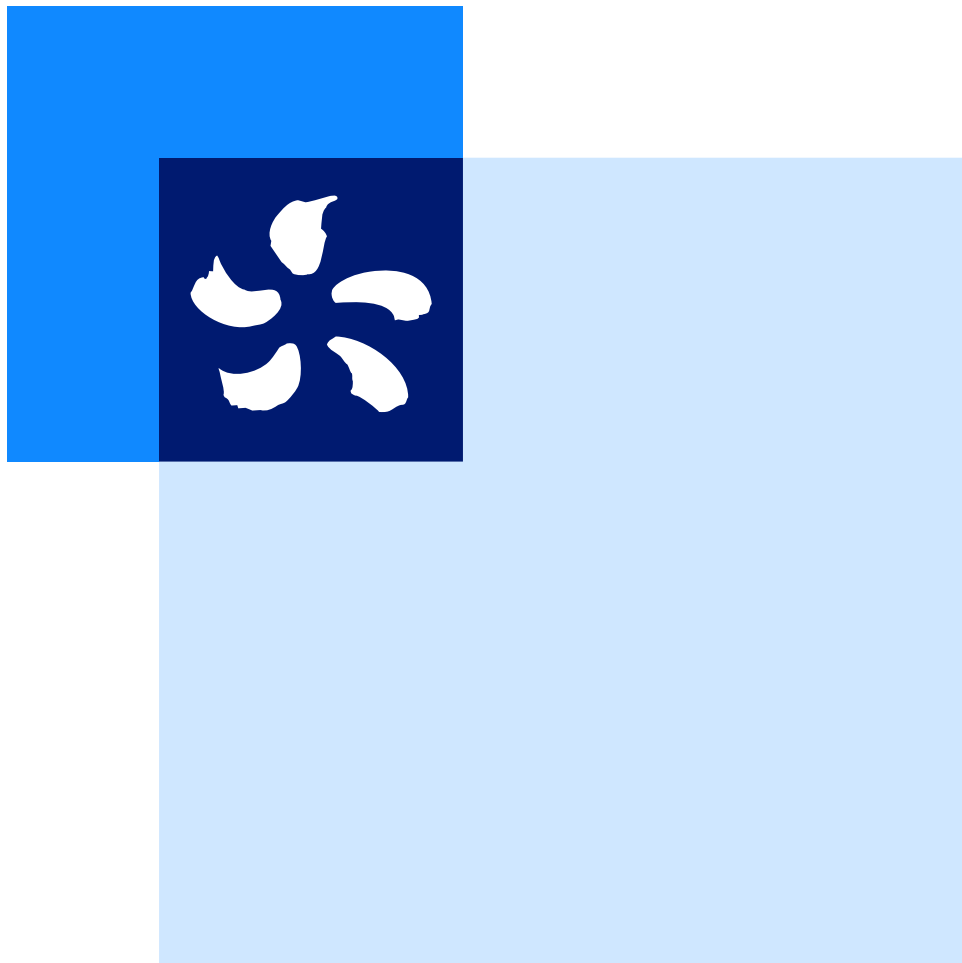
## Contacts

**Eli RAKOTOMISA**  
**Responsable Smartcharging & Flexibilités**  
Direction Stratégie et Développement  
[eli.rakotomisa@edf.fr](mailto:eli.rakotomisa@edf.fr)

**Lilia AMARANTO**  
**Chef de projet R&D**  
Direction Recherche et Développement  
[lilia.amaranto@edf.fr](mailto:lilia.amaranto@edf.fr)

**Alexis PALFRAY DE JAURIAS**  
**Responsable des offres**  
Dreev  
[alexis.dejaurias@dreev.com](mailto:alexis.dejaurias@dreev.com)

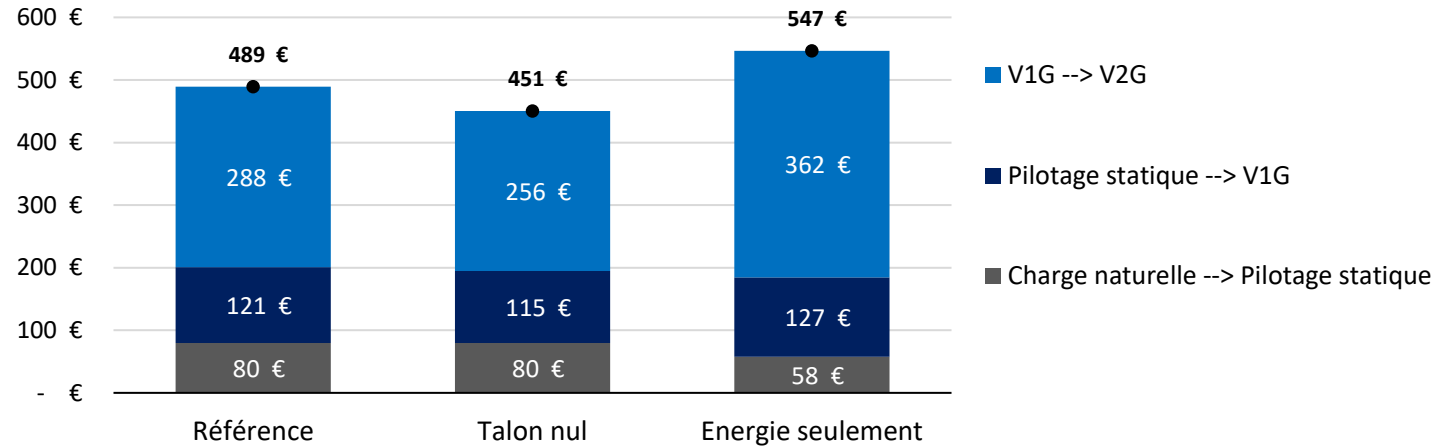
**Axel NICOLAS LE MEIGNEN**  
**Directeur Mobilité Electrique**  
Direction Stratégie et Développement  
[axel.nicolas-le-meignen@edf.fr](mailto:axel.nicolas-le-meignen@edf.fr)



# Annexes

## Les gains 2026 dépendent de la consommation de la maison (1/2)

Gains annuels avec branchement quotidien, optimisation day-ahead [15min] et infra-journalier



Le graphe ci-dessus compare les gains annuels dans **trois scénarios** :

- le scénario de **référence**,
- le **scénario « talon nul »** où le véhicule est considéré comme l'unique consommation électrique du logement,
- le **scénario « Energie seulement »** qui permet de quantifier les gains dans un scénario où seuls les signaux des marchés en « énergie » (marchés de gros) ainsi que la capacité sont considérés. Ce dernier scénario permet de mesurer la valeur économique sous-jacente à l'optimisation de l'équilibre offre-demande. Le TURPE est à payer en sus.

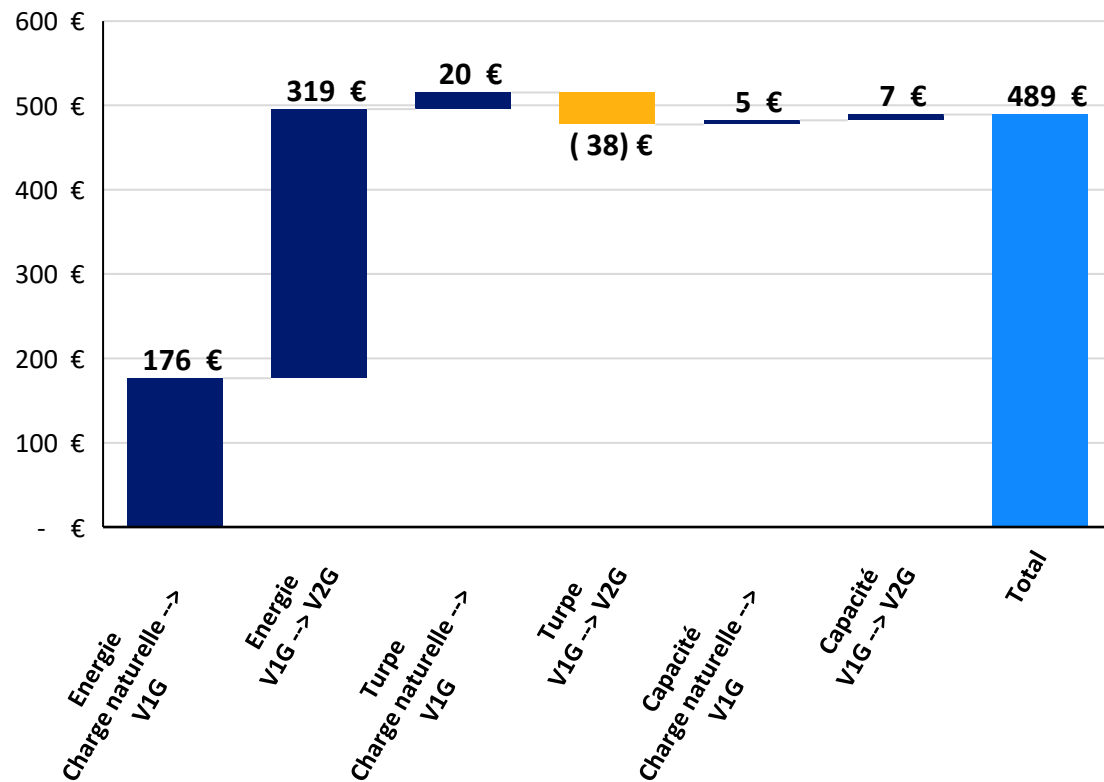
Pour chaque scénario, on distingue les gains réalisés en V2G par rapport à une charge dynamique pour les besoins de mobilité (V1G), ceux réalisés en V1G en comparaison du pilotage statique, et enfin la valeur du pilotage statique par rapport à la charge naturelle (charge au plus tôt, à l'arrivée du véhicule).

**Si les gains « V1G » sont ici si élevés, c'est parce que le branchement quotidien permet de placer systématiquement une petite quantité d'énergie exactement à la meilleure heure de la nuit** : on observe que les utilisateurs V2G se branchent au moins 2 fois plus fréquemment que les utilisateurs « classiques », ce qui conduit à augmenter les gains V1G (il y a moins d'énergie à optimiser à chaque session de charge). Par ailleurs, ces résultats intègrent les gains liés au pas 15 min et aux arbitrages infra-journalier.

## Les gains 2026 dépendent de la consommation de la maison (2/2)

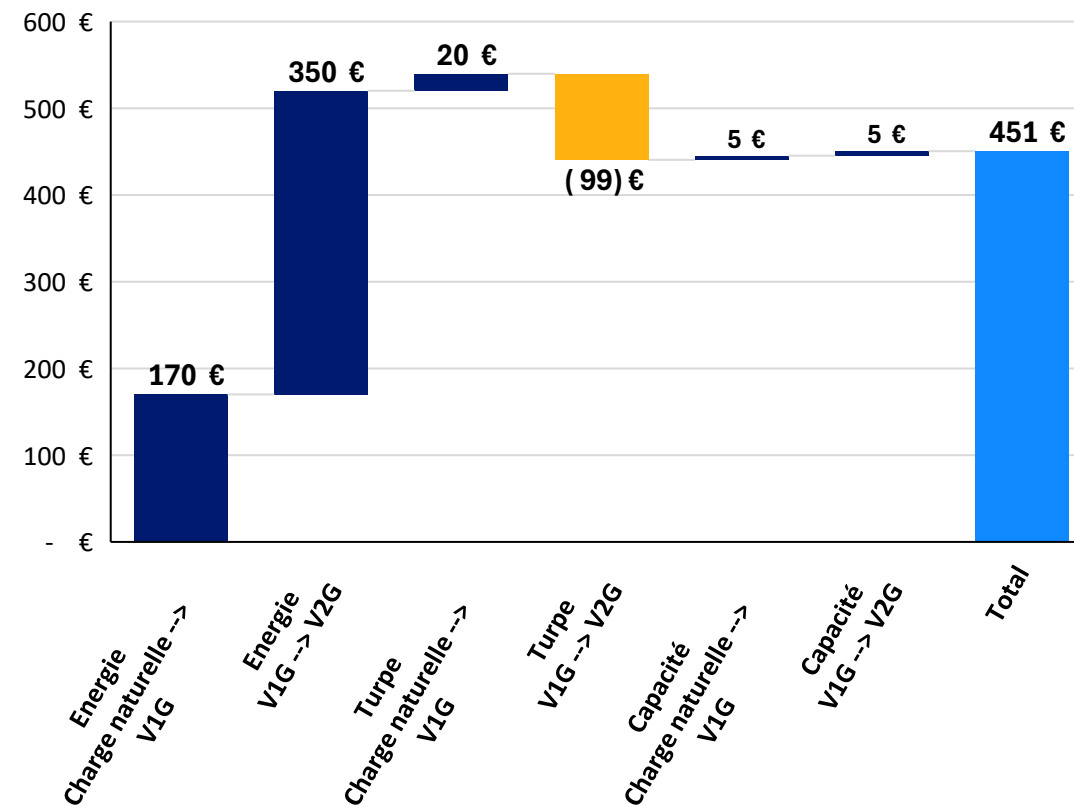
### Scénario de référence

Décomposition des gains sur les parts Energie, acheminement et capacité



### Sensibilité talon nul

Décomposition des gains sur les parts Energie et acheminement



Dans le scénario « talon nul », l'absence de talon de consommation de la maison implique que toute l'énergie réinjectée doit faire l'objet d'une recharge ultérieure soumise au TURPE. Comparativement, dans le scénario de référence, une partie de l'énergie réinjectée efface la consommation du bâtiment : la recharge ultérieure est donc, aux pertes près, uniquement un déplacement de la consommation de la maison. Ce déplacement de l'énergie de la maison aboutit même à une réduction de la facture TURPE pour le bloc d'énergie déplacé (en général des heures pleines aux heures creuses). **Dès lors, cette analyse de sensibilité donne la valeur susceptible d'être générée en V2G dans le « pire scénario » pour la consommation de la maison** : les gains sur la part énergie sont légèrement supérieurs à ceux du scénario de référence (520 vs 495€), mais la part acheminement est singulièrement dégradée. Au total, les gains sont 40€ inférieurs à ceux du scénario de référence.