



# Vehicle-to-Grid pour la décarbonation

**Le rôle des données et de l'échange sécurisé de données** | Les véhicules électriques peuvent fournir de précieux services au travers d'applications Vehicle-to-Grid. Cependant, il est nécessaire de disposer de données pour pouvoir fournir ces services réseau. Quelles sont les conditions requises pour surmonter les défis liés à l'accès, à l'utilisation et à l'échange des données des véhicules et des conducteurs ?

BENJAMIN BOWLER, SEVERIN NOWAK, ANTONIOS PAPAEMMANOUIL

**L'**électrification du secteur des transports augmente les besoins en électricité et représente un défi pour les réseaux. Une étude du cas suisse montre que le réseau peut gérer une pénétration de 16% de véhicules électriques (VE, ou electric vehicles, EV) sans coordination, mais qu'avec une pénétration de plus de 50%, les sous-stations seraient surchargées, et ce, même avec une recharge optimale et coordonnée [1].

Mais les véhicules électriques représentent également une opportunité pour

le réseau électrique. Le Réseau européen des gestionnaires de réseau de transport d'électricité (Entso-E) les a positionnés en tant que ressource importante en matière de flexibilité pour le système électrique. Ceci peut être réalisé par la mise en œuvre de la technologie « Vehicle-to-Grid » (V2G) [2], dans laquelle les véhicules sont rechargés de manière bidirectionnelle. Des recherches récentes ont montré les remarquables avantages économiques et opérationnels du V2G, tels que la fourniture de services de flexibilité et de

stockage décentralisé pour les gestionnaires de réseau de distribution (GRD), ainsi que la participation aux marchés des services réseau pour les gestionnaires de réseau de transport (GRT) [3]. Ces avantages peuvent être utilisés pour retarder le renforcement du réseau ainsi que pour maximiser l'injection d'énergies renouvelables dans le réseau [4].

Lors de la mise en œuvre du V2G, il ne faut pas seulement tenir compte des aspects électriques de la recharge et de la décharge, mais aussi des aspects liés aux données, tels que l'interopérabilité des

données entre les appareils et les acteurs, le respect de la protection des données et la sécurité des données spécifiques au client. La complexité des données doit également être gérée, par exemple pour les prévisions qui doivent tenir compte de la variabilité de l'emplacement et de l'état de charge (SoC) des véhicules. De plus, le marché V2G en est encore à un stade de développement précoce et est donc très fragmenté en termes de protocoles de données. Tous ces éléments constituent des défis pour la mise en œuvre du V2G dans la pratique.

Plusieurs projets de recherche sont en cours en Suisse et au niveau international afin d'augmenter la praticabilité et la rentabilité du V2G. L'un d'eux est le projet « EVFlex – Netzdienliche Flexibilitätsaggregation von Elektrofahrzeugen », soutenu par l'OFEN, qui développe la gestion des données, la base algorithmique et les outils de simulation pour l'agrégation à grande échelle de véhicules électriques pour le V2G, afin que les véhicules électriques puissent offrir des services réseau aux exploitants de réseau via des agrégateurs de flexibilité. EVFlex se concentre sur l'accès, l'échange, le traitement et l'utilisation des données entre plusieurs acteurs du marché dans le cadre du V2G, ainsi que sur la modélisation de l'efficacité des véhicules de flotte en ce qui concerne la fourniture de services réseau. EVFlex vise à fournir une base pour la participation future des véhicules électriques aux marchés des services réseau, notamment pour les réglages primaire et secondaire (au niveau du réseau de transport) et la gestion des congestions du réseau (au niveau du réseau de distribution).

Dans cet article, les applications V2G sont présentées du point de vue de l'accès aux données et de leur utilisation, en suivant les travaux réalisés dans le cadre du projet EVFlex. Les exigences relatives aux données pour la fourniture de cette fonctionnalité sont expliquées, les défis pratiques liés à l'utilisation des données pour le V2G sont examinés, et la manière dont ces aspects pourraient évoluer à l'avenir est présentée.

### Le véhicule électrique, partie intégrante de la solution

Les gestionnaires de réseau sont responsables de l'exploitation stable, fiable et efficace des réseaux conformés

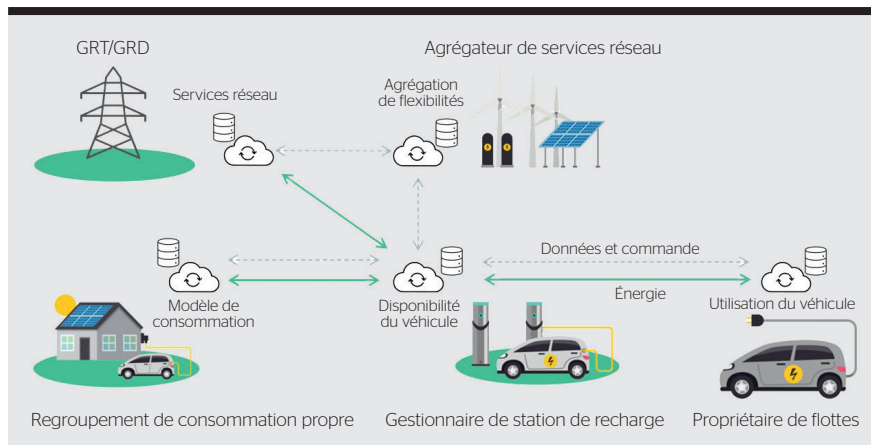


Figure 1 Aperçu des acteurs et des interfaces possibles pour des cas d'application du V2G.

ment aux prescriptions en matière de qualité de l'électricité. L'une des principales tâches consiste à assurer l'équilibre entre la production et la consommation. Pour ce faire, les gestionnaires de réseau dépendent des services réseau, des ressources auxquelles ils peuvent avoir recours en cas de besoin.

En ce qui concerne le réseau de transport, il existe des marchés établis pour l'acquisition de services réseau. Au niveau du réseau de distribution, de tels marchés de flexibilité sont en cours de développement. L'optimisation locale des ressources énergétiques (par exemple derrière le compteur) a également le potentiel de soutenir le fonctionnement fiable et efficace du système, parallèlement aux marchés coordonnés de services réseau.

On s'attend à ce que le V2G devienne la technologie la plus précieuse pour les services réseau dans le réseau intelligent [5]. Des études ont montré que le V2G présente certains avantages par rapport aux autres technologies de stockage à court terme, tels que de faibles coûts de stockage, une réponse rapide et une efficacité élevée du système. Cependant, contrairement aux systèmes de stockage statiques, la disponibilité des systèmes V2G dépend des propriétaires de véhicules et de leur comportement de conduite. Cela complique le déploiement et nécessite de nouvelles approches pour exploiter pleinement le potentiel de flexibilité des véhicules électriques.

La fonctionnalité V2G est assurée par des bornes de recharge bidirectionnelles capables de recharger et de décharger les batteries des VE, généralement via une connexion en courant

continu entre le VE et la borne. De telles bornes de recharge permettent de recharger et de décharger les batteries des véhicules à distance. En revanche, la recharge intelligente (smart charging, V1G) permet une recharge télécommandée dans une seule direction, c'est-à-dire uniquement une commande active de la charge. Le V2G et le V1G peuvent tous deux minimaliser l'impact de la recharge des véhicules électriques sur le réseau et fournir des services de flexibilité. Le potentiel de flexibilité du V2G étant plus important, il est examiné plus en détail dans cet article.

### La coopération est essentielle

Pour que les flottes de VE puissent être incluses dans des pools de flexibilité, des données doivent être échangées entre les parties prenantes avant, pendant et après l'activation de la flexibilité. La figure 1 montre les interfaces dans un scénario V2G et une organisation possible des flux de données entre les parties prenantes. Selon le cas d'application, il peut y avoir des différences par rapport à cette configuration.

Dans le projet EVFlex, les acteurs principaux sont le gestionnaire du réseau électrique (GRD ou GRT), l'agrégateur de services réseau (Grid Services Aggregator, GSA), l'exploitant de flottes de VE (Fleet Operator, FO), l'opérateur de points de charge (Charge Point Operator, CPO) et le VE. Le CPO gère le processus de recharge des véhicules électriques. Les clients du CPO peuvent inclure des prestataires de services de mobilité électrique tels que des FO, qui gèrent à leur tour les relations avec les conducteurs de véhicules élec-

Données	Origine typique des données	Propriétaire des données	Utilité pour les services réseau
Statut du véhicule électrique	Station de recharge pour véhicules électriques	Gestionnaire de station de recharge (CPO)	Indique si un véhicule électrique est connecté
État de charge	Véhicule électrique (VE)	Constructeur ou propriétaire du véhicule	Puissance et énergie disponibles pour l'utilisation dans des services réseau
Type de véhicule électrique	VE (par ex. à l'aide du numéro d'identification du véhicule)	Constructeur ou propriétaire du véhicule	Peut déterminer la capacité de la batterie et la réponse attendue à une commande
Prévision de la disponibilité des VE	Divers, par ex. profils d'utilisation historiques, données de réservation, prévisions	Divers, mais principalement propriétaire du véhicule ou CPO	Indique la future possibilité pour les VE de fournir des services
Valeurs de consigne actuelles et futures	Station de recharge pour VE	Gestionnaire de station de recharge (CPO)	Fourniture de services réseau
Mesure en temps réel du flux de puissance	Station de recharge pour VE	Gestionnaire de station de recharge (CPO)	Temps de réaction du VE aux commandes, respect des critères pour les services réseau
Mesure historique du flux de puissance	Station de recharge pour VE	Gestionnaire de station de recharge (CPO)	Vérification et facturation
Situation géographique de la station de recharge	Station de recharge pour VE	Gestionnaire de station de recharge (CPO)	Soutien des réseaux locaux, notamment pour les cas d'application GRD

**Tableau 1** Éléments de données importants dans le V2G pour les cas d'application de la commande primaire et secondaire.

triques. Pour les applications V2G, le CPO et le FO s'appuient sur un GSA pour participer aux marchés de services réseau, qui sont à leur tour gérés par le gestionnaire de réseau. Le GSA est rémunéré pour la fourniture des ressources liées aux VE mises à disposition par le CPO et le FO pour les marchés de services réseau. Le GSA coordonne l'activation et la rémunération des ressources VE en réponse aux signaux du gestionnaire de réseau. Lorsque de petites ressources, telles que des véhicules électriques, sont utilisées pour les services réseau, le GSA les agrège dans une centrale électrique virtuelle: les centrales électriques virtuelles peuvent être constituées d'une combinaison d'unités de consommation et de production telles que des pompes à chaleur, des petites centrales électriques de secours, des systèmes de stockage, des systèmes V2G, etc. avec plusieurs nœuds d'entrée et de sortie au niveau de réseau 5 ou 7.

### Des données, partout des données

Les principaux éléments de données sont présentés dans le **tableau 1**. L'exigence minimale pour l'utilisation de véhicules électriques dans un pool de flexibilité consiste à savoir s'ils sont actuellement disponibles pour des services de flexibilité et quelle sera leur disponibilité à l'avenir.

L'état actuel de la connexion permet de déterminer quels véhicules peuvent être mis à disposition. L'état futur de la connexion des VE est nécessaire dans certains cas d'application, par exemple pour pouvoir participer aux marchés des services réseau des GRT, ou pour

garantir simultanément le respect des exigences techniques des services réseau et un niveau de charge suffisant au départ du VE.

En tant qu'exploitant d'une centrale électrique virtuelle (Virtual Power Plant, VPP), le CPO joue un rôle essentiel, car il met à la disposition de l'agrégateur (GSA) des véhicules électriques en tant que « batterie virtuelle » pour les services réseau. Pour ce faire, le CPO doit effectuer des analyses et des prévisions de données en tenant compte des profils de charge et du comportement de conduite des utilisateurs de VE, et ce, afin d'optimiser les flux d'énergie et les besoins de charge des voitures et de réagir aux demandes de mise à disposition de services réseau.

Grâce à une analyse moderne des données, le CPO et l'agrégateur peuvent tous deux planifier et améliorer la gestion opérationnelle d'une flotte de véhicules électriques afin d'optimiser les avantages pour les propriétaires de véhicules et les autres acteurs du marché.

La réalisation des services V2G nécessite le transfert de valeurs de consigne entre le réseau et le véhicule électrique. Les réglages primaire et secondaire nécessitent la transmission d'une commande, par exemple le réglage d'une puissance de charge positive/négative ou d'un courant de recharge positif ainsi que la consultation périodique de l'état de la borne de recharge et du véhicule électrique.

Des mesures en temps réel du flux de courant du véhicule électrique vers le réseau (ou inversement) doivent être mises à la disposition du GSA et des gestionnaires de réseau afin qu'ils puissent

surveiller les installations et réaffecter les véhicules si nécessaire. Ces points de données doivent être envoyés de la borne de recharge à l'agrégateur, soit via le CPO, soit directement. Les mesures sont également utilisées pour rémunérer les flexibilités réservées et fournies.

### Défis liés au traitement des données

Pour agréger les véhicules électriques et fournir des services réseau, des aspects importants des données doivent être pris en compte. Il s'agit notamment de protéger les données personnelles des clients, de gérer la complexité des prévisions impliquant plusieurs parties et de gérer les volumes de transfert de données, notamment en ce qui concerne la grande variabilité de l'emplacement et de l'état de charge (State of Charge, SoC) des ressources VE.

### Protection des données

Le règlement général sur la protection des données (RGPD) s'applique à toutes les entreprises qui utilisent des données personnelles de citoyens européens. En 2022, de nouvelles prescriptions suisses sont entrées en vigueur, qui reprennent un grand nombre des principes du RGPD. Les réglementations suisses et européennes sont pertinentes pour le V2G.

Les données nécessaires au V2G peuvent être personnelles ou non personnelles. Le noyau du mécanisme de dispatching nécessite des données sur l'état des VE. En outre, à des fins d'appel d'offres, un fournisseur de flexibilité ou un agrégateur doit prévoir la disponibilité de véhicules électriques,

dont les données peuvent être considérées comme personnelles en fonction de l'étroitesse de leur lien avec une activité personnelle spécifique. Les données relatives à la consommation d'énergie sont clairement catégorisées comme des données personnelles et sensibles. La localisation du VE pourrait également être utilisée pour entraîner des algorithmes à prédire les itinéraires, et donc l'énergie consommée. Ces informations sensibles doivent être traitées avec précaution pour éviter toute violation de la protection des données.

### Sécurité des données

Le RGPD exige des entreprises qu'elles disposent de processus leur permettant de réagir en cas de violation de la protection des données. Les aspects de sécurité s'étendent toutefois bien au-delà du RGPD. Une analyse complète des risques de sécurité potentiels et des mesures d'atténuation dépasserait le cadre de cet article, mais les aspects suivants sont néanmoins recommandés pour la future mise en œuvre du V2G [6]:

- cryptage et anonymisation des données sensibles;
- protection des appareils accessibles au public afin de contrôler l'accès physique et de réduire le risque d'attaques à distance;
- contrôles, garantie, tests de conformité et certifications en matière de sécurité;
- et, enfin, intégration de redondances pour permettre de futures mises à jour, par exemple en fournissant une marge de stockage pour tenir compte des protocoles de sécurité plus gourmands en ressources.

Comme le réseau électrique fait partie des infrastructures critiques qui doivent être protégées contre les attaques, ces recommandations sont importantes.

### Complexité des prévisions

Les prévisions peuvent être effectuées par plusieurs parties prenantes. Du point de vue de la protection des données, le plus simple est que l'exploitant de la flotte exécute l'algorithme, car c'est lui qui rassemble la plupart des données nécessaires, évitant ainsi le stockage de données dans d'autres clouds. Pour ce faire, il serait judicieux d'anonymiser tous les identifiants des

clients afin de pouvoir entraîner les algorithmes de prévision avec des ensembles de données anonymisés. D'autres parties prenantes pourraient alors également effectuer des prévisions sans enfreindre les directives de protection des données.

La complexité des prévisions augmente avec le besoin croissant de prévisions plus précises. Un algorithme de prévision avancé peut prédire la disponibilité et l'état de charge d'un véhicule électrique donné en utilisant un modèle de prévision qui apprend à partir des réservations passées, de l'état de charge, de la distance parcourue et de l'identification du client. De plus, l'utilisation individuelle du véhicule par certains utilisateurs peut être prise en compte. Cela peut toutefois entraîner des problèmes en matière de protection et de volume des données.

### Traitement des données pendant le dispatching

Lors de la planification et de la mise en œuvre du V2G, il y a un compromis entre la fréquence à laquelle les données sont partagées et l'efficacité du dispatching effectué par le GSA/CPO. Si toutes les données sont transmises au GSA/CPO en cas de changement (par exemple, lorsqu'une nouvelle réservation est reçue par le gestionnaire de la flotte), le GSA/CPO peut gérer les véhicules électriques en cas de besoin avec une forte probabilité de succès. Cependant, si le GSA/CPO doit essayer de contrôler les véhicules électriques sans avoir d'informations précises sur leur disponibilité et que ceux-ci ne réagissent la plupart du temps pas comme prévu, ou si l'état de charge de certains véhicules électriques n'est pas connu, le risque pour le GSA/CPO augmente. Ce risque est particulièrement important dans le cas de la régulation primaire, où les exigences en matière de temps de réaction sont prédéfinies et où les contrats de service sont contraignants dès lors qu'un service a été convenu par contrat. Des travaux de recherche ont recommandé que les données relatives à l'utilisation des flottes soient collectées en continu et que les agrégateurs conservent ces données pendant au moins un an afin de pouvoir fournir efficacement les services réseau et d'être à même de le prouver par la suite [7].

Selon le type de connexion pour le transfert des données à la borne de recharge, il peut être nécessaire de trouver un compromis entre les avantages financiers de l'offre de services réseau et les coûts de communication. Par exemple, Greenflux a signalé que, selon ses propres calculs, un volume de données supérieur à 6 MB par mois aurait une influence négative sur le modèle commercial pour le cas d'utilisation de la recharge intelligente [8]. La latence de la communication des données et la capacité à répondre aux demandes de dispatching sont également essentielles – les protocoles actuels sont adaptés en conséquence.

### EVFlex: évaluation de l'interopérabilité

Divers protocoles V2G ont été analysés dans le cadre du projet EVFlex. Plusieurs combinaisons conviennent pour le transfert de données et de signaux de commande entre les systèmes impliqués. Les implémentations dans les projets pilotes et de démonstration varient considérablement, et des logiciels propriétaires sont souvent utilisés pour convertir les commandes entre les protocoles. Selon les analyses effectuées dans le cadre du projet EVFlex, il n'a pas été possible de déterminer un protocole qui puisse être utilisé dans l'ensemble du système. Actuellement, il semble nécessaire d'utiliser des interfaces sur lesquelles des logiciels personnalisés sont exécutés pour recevoir des messages avec un protocole, les interpréter, prendre des décisions si nécessaire et les envoyer au participant suivant avec un autre protocole.

Néanmoins, certaines combinaisons de protocoles se profilent, qui pourraient devenir une architecture de facto standard pour le V2G. EEBUS, OCPP, OCPI, OSCP et OpenADR ont été utilisés dans le back-end, ISO 15118-20 et Chademo dans le front-end. OCPP 2.x et ISO 15118-20 en particulier sont en train de devenir la norme. IEEE 2030.5 a été principalement utilisé en Californie et offre des fonctions back-end et quelques fonctions front-end pour les véhicules électriques qui le supportent.

Tous les protocoles étudiés prennent en charge certains mécanismes de sécurité des données, de cryptage ou d'authentification. Les protocoles à la

pointe de la technique IEEE 2030.5, IEC 63110, OpenADR, OCPP et EEBUS utilisent le cryptage TLS et offrent donc une cybersécurité élevée.

En ce qui concerne les aspects liés à la protection des données, les données nécessaires à l'agrégation des flottes de véhicules électriques en tant que ressources de flexibilité dépendent principalement de données non personnelles. Par conséquent, on estime que le noyau du dispatching ne pose pas de problèmes majeurs en ce qui concerne le RGPD.

## Conclusion

Dans cet article, les applications V2G sont présentées du point de vue de l'accès aux données et de leur utilisation. Les analyses sont basées sur les travaux réalisés dans le cadre du projet de recherche EVFlex en cours, financé par l'OFEN. Certaines exigences en matière de données et certains défis pratiques liés aux applications V2G sont expliqués, et la manière dont ces aspects pourraient évoluer à l'avenir est examinée.

Le reste du travail sera consacré à l'achèvement de la cartographie des données et de la modélisation, ce qui permettra d'implémenter et de tester des pipelines de données en utilisant de nouveaux protocoles tels que OCPP 2.1 et IEC 15118-20. L'outil de simulation de flotte de la Haute école de Lucerne HSLU démontre l'efficacité des flottes de VE dans la mise en œuvre des cas d'utilisation. L'infrastructure de test aide à définir la meilleure approche pour la gestion du flux de données dans le V2G, et à s'assurer que les véhicules électriques peuvent jouer leur rôle dans le soutien de la transition énergétique vers le zéro net en Suisse ainsi qu'à l'échelle mondiale.

## Références

- [1] F. Salah et al., « Impact of electric vehicles on distribution substations: A Swiss case study », Applied Energy, vol. 137, p. 88-96, janvier 2015. doi: 10.1016/j.apenergy.2014.09.091
- [2] Entso-E, « Electric Vehicle Integration into Power Grids », 2 avril 2021. www.entsoe.eu/2021/04/02/electric-vehicle-integration-into-power-grids
- [3] B. K. Sovacool et al., « Actors, business models, and innovation activity systems for vehicle-to-grid (V2G) technology: A comprehensive review », Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 131, p. 109963, octobre 2020. doi: 10.1016/j.rser.2020.109963
- [4] L. Noel et al., « The Potential Benefits of V2G », in Vehicle-to-Grid, Springer, p. 33-64, 2019.
- [5] L. Noel et al., Vehicle-to-Grid - A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility, Springer, 2019.
- [6] R. Metere et al., Securing the Electric Vehicle Charging Infrastructure, 2021.
- [7] F. Grée et al., « Cloud-based big data platform for vehicle-to-grid (V2G) », World Electric Vehicle Journal, vol. 11, n° 2, juin 2020. doi: 10.3390/WEVJ11020030
- [8] « Open Communication Protocols for Smart Charging: real world demonstrators - Greenflux & Carbon Co-op - YouTube ». www.youtube.com/watch?v=ldejIVxffAY

## Auteurs

**Benjamin Bowler** est collaborateur scientifique senior au sein du centre de compétences Digital Energy & Electric Power de la HSLU.  
→ HSLU, 6048 Horw  
→ benjamin.bowler@hslu.ch

D<sup>r</sup> **Severin Nowak** est collaborateur scientifique au sein du centre de compétences Digital Energy & Electric Power de la HSLU.  
→ severin.nowak@hslu.ch

D<sup>r</sup> **António Papaemmanouil** dirige depuis 2019 l'Institut d'électrotechnique ainsi que le centre de compétences Digital Energy & Electric Power de la HSLU.  
→ antonio.papaemmanouil@hslu.ch

Cette analyse a été élaborée dans le cadre du projet « EVFlex - Netzdienliche Flexibilitätsaggregation von Elektrofahrzeugen », soutenu par l'OFEN. Les auteurs remercient chaleureusement l'équipe EVFlex - Martin Friedli, Braulio Brahona Garzon, Nikolaos Katsoulakos et Alberto Calatroni -, les partenaires du projet ainsi que l'Office fédéral de l'énergie pour leur soutien et leur collaboration.



IEC 60870-5-104  
INTRUSION DETECTION  
DIGITALE SCHALTANLAGE  
IT-SECURITY  
IEC 61850  
CYBER SECURITY

## OT Security Tag für die Energieversorgung am 19.9.2023 bei CKW in Luzern

Der OT Cyber Security Tag bringt führende Expert:innen, Fachleute und Interessierte aus dem Bereich der Cybersicherheit in der Energieversorgung zusammen.

**Highlights der Veranstaltung:**

- > Austausch mit Expert:innen aus der OT Security
- > Praxis-Berichte aus der Energieversorgung
- > Führung durch die Energiewelt der CKW AG.

Wir freuen uns schon auf Ihre Teilnahme!  
Weitere Informationen zur Veranstaltung:  
<https://events.omicronenergy.com/OTsecurity>

**OMICRON**