

SOLUTIONS DE CHARGE POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES SANS BORNES PRIVÉES À L'HORIZON 2030

Rapport établi pour :
Office fédéral des routes (OFROU)
CH-3003 Berne

19 décembre 2022

SOMMAIRE

1.	Introduction	9
1.1	L'électromobilité : situation actuelle et perspectives 2030	9
1.2	Problématiques et questions de recherche	10
1.3	Aspects méthodologiques et limites de l'étude	11
2.	Données de base	13
2.1	Données générales à propos de l'électromobilité individuelle	13
2.2	Coûts de possession annualisés d'un véhicule électrique	13
2.3	Utilisation des infrastructures de recharge	15
2.4	Données de mobilité	16
2.5	Coûts de la recharge pour l'utilisateur final	17
2.6	Communes étudiées	20
2.7	Accès à une infrastructure de recharge	22
3.	Estimation du nombre de véhicules sans accès à un point de charge privé	24
3.1	Méthodologie	24
3.2	Synthèses des entretiens avec les acteurs de l'immobilier	24
3.3	Scénarios d'accès à un point de charge à domicile	26
3.4	Estimation de la probabilité de la recharge à domicile	27
3.5	Estimation des besoins de recharge en dehors du domicile	31
4.	Caractérisation des possibilités et habitudes de stationnement	33
4.1	Aspects méthodologiques	33
4.2	Données de stationnement récoltées auprès des communes	34
4.3	Evaluation du potentiel de recharge de véhicules électriques	35
4.4	Synthèse et mise en perspective	38
5.	Analyse économique	40
5.1	Méthodologie	40
5.2	Données et calcul des coûts	42
5.3	Estimation des investissements nécessaires au déploiement d'une IRVE	45
5.4	Impact de la recharge sur le coût total de possession	51
5.5	Synthèse	53
6.	Impacts sur le système d'approvisionnement électrique	54
6.1	Impacts au niveau national	54
6.2	Impacts au niveau local	55
6.3	Synthèse	58
7.	Perspectives	59
7.1	Photovoltaïque et opportunités d'autoproduction	59

7.2	Les opportunités offertes par le « <i>vehicle-to-grid</i> ».....	62
7.3	Synthèse	65
8.	Mesures d'encouragement	66
8.1	Favorisation de la recharge au domicile ou au travail	66
8.2	Développement d'une infrastructure de recharge publiquement accessible	69
8.3	Réduction des impacts sur le système électrique - perspectives	71
9.	Conclusions et récapitulatif des principaux résultats	72
9.1	Estimation de la part de ménages sans accès à la recharge privée à l'horizon 2030 72	
9.2	Identification des lieux de stationnement offrant le plus grand potentiel pour le déploiement d'infrastructures de recharge publiquement accessibles	72
9.3	Estimation des investissements nécessaires au déploiement des infrastructures de recharge sur les différents lieux identifiés.....	73
9.4	Estimation de l'impact des coûts de la recharge sur les coûts totaux de possession 73	
9.5	Estimations des impacts sur le système électrique suisse	73
9.6	Propositions de mesures de favorisation de l'accès à la recharge	74
10.	Abréviations	75
11.	Bibliographie	76

Version N°	Date	Auteurs	Relecteur	Distribution à
02	19.12.2022	Geoffrey Orlando	Lionel Perret Laurent De Block	Office fédéral des routes
		Christian Rod <i>jusqu'en octobre</i> 2022		

Résumé

La transition de la mobilité individuelle motorisée des véhicules thermiques vers des véhicules électriques est un pilier important de la stratégie de la Confédération pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Néanmoins, le cadre de cette transition dépasse largement le simple remplacement des moteurs à explosion par des moteurs électriques. En effet, le changement de vecteur entraîne un changement complet de paradigme en ce qui concerne l'approvisionnement en énergie des véhicules : possibilités de recharge, coûts de l'électricité, impacts sur le système énergétique sont autant d'aspects devant être étudiés avec attention.

La présente étude se concentre sur la question de l'accès à la recharge à l'horizon 2030 pour les détenteurs de véhicules électriques. Cette problématique est d'abord abordée sous l'angle de l'estimation des besoins en infrastructures de recharge publiquement accessibles afin de pouvoir répondre à la demande. L'estimation de ces besoins est basée sur des scénarios d'accès à la recharge au travail et à domicile selon le type de logement occupé par les ménages. Selon le scénario moyen retenu et les milieux d'habitation considérés (urbain, périurbain ou rural), il est estimé qu'à l'horizon 2030, la part des ménages sans accès à la recharge facilitée à domicile ou au travail se situera entre 55% et 75%. Ces ménages devront donc assurer la recharge de leurs véhicules électriques sur des infrastructures publiquement accessibles.

L'estimation de ces besoins en infrastructures de recharge publiquement accessibles à l'horizon 2030 est également différenciée selon le milieu d'habitation considéré. En effet, du point de vue de la mobilité motorisée individuelle, ceux-ci se distinguent à la fois par le nombre de véhicules par habitant et par la distance moyenne parcourue par ces véhicules. Ainsi, les besoins estimés pour le milieu rural (242 kWh/an/hab.) sont deux fois plus importants que ceux estimés pour le milieu urbain (118 kWh/an/hab.), ceci malgré une proportion moindre de ménages sans accès à la recharge facilitée au domicile.

La question de la capacité des différents milieux d'habitation à répondre à ces besoins est ensuite étudiée. Cette analyse est réalisée sur la base de la composition des possibilités de stationnement, catégorisées selon le type de parking et les durées de stationnement. Ce dernier aspect est recoupé avec les statistiques d'utilisation des points de charge dont la puissance correspond aux durées de stationnement considérées afin d'établir le potentiel théorique de recharge pour chacun des trois milieux d'habitation considérés. Pour les milieux urbain et périurbain, une part importante de ce potentiel se situe sur des places de stationnement de courte durée situées sur la voie publique (zones bleues). De plus, la comparaison des estimations du potentiel théorique et des besoins laisse présager une situation de tension à l'horizon 2030 avec des utilisateurs de véhicules électrique qui n'auront pas accès à la recharge facilitée au domicile.

Les différentes catégories de stationnement considérées pour l'estimation du potentiel de recharge (temps de stationnement et type de parking) se différencient également par leurs coûts spécifiques. Ceux-ci ont été évalués pour chacune des catégories selon l'angle des investissements et des coûts de revient de l'énergie distribuée. Cette analyse montre que les investissements nécessaires au déploiement d'un point de charge sur la voie publique peuvent être jusqu'à neuf fois plus importants que dans le cas d'une installation dans un parking en ouvrage. Cette différence importante s'explique notamment par l'importance des coûts de génie civil et de raccordement électrique. Ainsi, la catégorie de stationnement constituant la part la plus importante du potentiel de recharge est également celle nécessitant les investissements les plus importants. L'impact des coûts de recharge sur le coût de possession total d'un véhicule électrique est également évalué selon le mode de recharge considéré. Cette analyse montre que, pour le détenteur d'un véhicule électrique, la recharge à domicile sur une infrastructure privée présente un important potentiel d'économie en comparaison d'un véhicule thermique (entre 40% et 50%). A l'autre bout du spectre, les coûts associés à la recharge rapide sont estimés équivalents à ceux liés au carburant d'un

véhicule thermique. Cette analyse montre que les économies de coûts de recharge comparés aux coûts de carburant peuvent constituer une incitation importante à la transition vers la mobilité électrique.

Néanmoins, une telle transition soulève la question des impacts sur le système de distribution de l'électrique. Pour une part de 30% de véhicules électriques dans le parc automobile suisse à l'horizon 2030, les besoins supplémentaires en électricité sont estimés entre 2.9 TWh et 3.9 TWh. Ces chiffres correspondent respectivement à 5% et 7% de la consommation actuelle et constituent donc un défi majeur du point de vue de l'approvisionnement. En effet, une telle augmentation de consommation correspond à la production de quelques 680 éoliennes ou à 7 ans d'augmentation de la production photovoltaïque selon les chiffres 2020. Néanmoins, les impacts sur le système électrique suisse ne se limitent pas à la production de l'électricité nécessaire à la recharge. Celle-ci doit également être acheminée à travers le réseau, soulevant un certain nombre de problématiques. Dans ce contexte, le déploiement conjoint d'installations photovoltaïques et d'infrastructures offre des perspectives intéressantes en rapprochant la production et la consommation d'énergie. Des impacts positifs au niveau financier sont également possibles grâce à la mutualisation d'une partie des coûts.

Afin d'assurer des possibilités de recharge à l'horizon 2030 et d'éviter qu'un éventuel manque puisse freiner le développement de la mobilité électrique, des mesures doivent être prises par les autorités publiques. Ces mesures sont regroupées selon deux axes principaux : l'amélioration de l'accès à la recharge facilitée au domicile, au travail et le déploiement suffisant d'une infrastructure de recharge publiquement accessible. Les mesures proposées sont différenciées selon les niveaux de compétence des pouvoirs publics (fédéral, cantonal et communal) et comprennent notamment l'intégration directe au programme bâtiment de subventions pour l'électrification des parkings collectifs ainsi que l'encouragement de la réalisation conjointe d'infrastructures de recharge et d'installations photovoltaïques.

Zusammenfassung

Der Übergang der motorisierten individuellen Mobilität von Verbrennungsmotoren zu Elektrofahrzeugen ist ein wichtiger Pfeiler der Strategie des Bundes zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Dennoch geht der Rahmen für diesen Übergang weit über den blossen Ersatz von Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren hinaus. Tatsächlich bringt der Wechsel des Energieträgers einen kompletten Paradigmenwechsel in Bezug auf die Energieversorgung der Fahrzeuge mit sich: Lademöglichkeiten, Stromkosten und Auswirkungen auf das Energiesystem sind allesamt Aspekte, die sorgfältig untersucht werden müssen.

Die vorliegende Studie konzentriert sich auf die Frage des Zugangs zu Lademöglichkeiten im Jahr 2030 für Halter von Elektrofahrzeugen. Diese Problematik wird zunächst unter dem Gesichtspunkt der Schätzung des Bedarfs an öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur behandelt, um die Nachfrage decken zu können. Die Schätzung dieses Bedarfs basiert auf Szenarien für den Zugang zum Aufladen am Arbeitsplatz und zu Hause, differenziert nach Wohnsituation. Je nachdem, welches durchschnittliche Szenario zugrunde gelegt wird und welche Wohnumgebungen betrachtet werden (städtisch, vorstädtisch oder ländlich), wird geschätzt, dass bis 2030 der Anteil der Haushalte ohne Zugang zum erleichterten Aufladen zu Hause oder am Arbeitsplatz, zwischen 55% und 75% liegen wird. Diese Haushalte müssen daher das Aufladen ihrer Elektrofahrzeuge an öffentlich zugänglichen Infrastrukturen sicherstellen.

Die Schätzung dieses Bedarfs an öffentlich zugänglichen Ladeinfrastrukturen bis 2030 wird auch nach dem betrachteten Wohnumfeld differenziert. In Bezug auf die individuelle motorisierte Mobilität unterscheiden sich diese sowohl in der Anzahl der Fahrzeuge pro Einwohner als auch in

der durchschnittlichen Entfernung, die diese Fahrzeuge zurücklegen. So ist der geschätzte Bedarf für den ländlichen Raum (242 kWh/Jahr/Einw.) doppelt so hoch wie der für den städtischen Raum (118 kWh/Jahr/Einw.), obwohl der Anteil der Haushalte, die keinen Zugang zu Lademöglichkeiten haben, geringer ist.

Anschließend wird die Frage untersucht, inwieweit die verschiedenen Wohnumfelder in der Lage sind, diesen Bedarf zu decken. Diese Analyse erfolgt auf der Grundlage der Zusammensetzung der Parkmöglichkeiten, die nach Art des Parkplatzes und der Parkdauer kategorisiert werden. Dieser letzte Aspekt wird mit den Statistiken über die Nutzung von Ladepunkten, deren Leistung den betrachteten Parkzeiten entspricht, abgeglichen, um das theoretische Ladepotenzial für jedes der drei betrachteten Wohnumfelder zu ermitteln. Für die städtischen und vorstädtischen Milieus befindet sich ein grosser Teil dieses Potenzials auf Kurzzeitparkplätzen auf öffentlichen Strassen (blaue Zonen). Darüber hinaus deutet der Vergleich der Schätzungen des theoretischen Potenzials und des Bedarfs auf eine angespannte Situation im Jahr 2030 hin.

Die verschiedenen Parkkategorien, die bei der Schätzung des Ladepotenzials berücksichtigt wurden (Parkzeit und Art des Parkplatzes), unterscheiden sich auch durch ihre spezifischen Kosten. Diese wurden für jede der Kategorien aus dem Blickwinkel der Investitionen und der Gestehungskosten der abgegebenen Energie bewertet. Diese Analyse zeigt, dass die Investitionen für die Einrichtung eines Ladepunkts auf einer öffentlichen Straße bis zu neunmal höher sein können als bei der Installation in einem Parkhaus. Dieser grosse Unterschied erklärt sich vor allem durch die hohen Kosten für Bauarbeiten und den Stromanschluss. Somit ist die Parkplatzkategorie, die den größten Anteil des Ladepotenzials ausmacht, auch diejenige, die die höchsten Investitionen erfordert. Die Auswirkungen der Ladekosten auf die Gesamtbetriebskosten eines Elektrofahrzeugs werden ebenfalls nach der betrachteten Lademethode bewertet. Diese Analyse zeigt, dass für den Halter eines Elektrofahrzeugs das Aufladen zu Hause an einer privaten Infrastruktur im Vergleich zu einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor ein großes Einsparpotenzial bietet (zwischen 40% und 50%). Am anderen Ende des Spektrums werden die mit dem Schnellladen verbundenen Kosten als gleichwertig mit den Kraftstoffkosten eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor eingeschätzt. Diese Analyse zeigt, dass die Kosten für das Aufladen einen wichtigen Anreiz für den Übergang zur Elektromobilität darstellen können.

Dennoch wirft ein solcher Übergang die Frage nach den Auswirkungen auf das Stromverteilungssystem auf. Bei einem Anteil von 30% Elektrofahrzeugen an der Schweizer Fahrzeugflotte bis 2030 wird der zusätzliche Strombedarf auf 2.9 TWh bis 3.9 TWh geschätzt. Diese Zahlen entsprechen 5% bzw. 7% des heutigen Verbrauchs und stellen daher aus Versorgungssicht eine grosse Herausforderung dar. Tatsächlich entspricht ein solcher Verbrauchsanstieg der Produktion von rund 680 Windkraftanlagen oder 7 Zuwächsen bei der Photovoltaikproduktion gemäss den Zahlen für 2020. Dennoch beschränken sich die Auswirkungen auf das Schweizer Stromsystem nicht auf die Produktion des Stroms, der zum Aufladen benötigt wird. Der Strom muss auch durch das Netz transportiert werden, was eine Reihe von Problemen aufwirft. In diesem Zusammenhang bietet der gemeinsame Einsatz von Photovoltaikanlagen und Infrastruktur interessante Perspektiven, da die Energieerzeugung und der Energieverbrauch näher zusammengebracht werden können. Auch auf finanzieller Ebene sind positive Auswirkungen möglich, da ein Teil der Kosten gepoolt wird.

Um bis 2030 Lademöglichkeiten zu gewährleisten und zu verhindern, dass ein möglicher Mangel an Lademöglichkeit die Entwicklung der Elektromobilität bremsen könnte, müssen von den öffentlichen Behörden Massnahmen ergriffen werden. Diese Massnahmen sind in zwei Hauptbereiche gegliedert: Verbesserung des Zugangs zu erleichtertem Aufladen zu Hause oder am

Arbeitsplatz und ausreichender Aufbau einer öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur. Die vorgeschlagenen Massnahmen sind nach den Zuständigkeitsebenen der öffentlichen Hand (Bund, Kantone und Gemeinden) differenziert und umfassen insbesondere die direkte Aufnahme von Subventionen für die Elektrifizierung von Gemeinschaftsparkplätzen in das Gebäudeprogramm sowie die Förderung der gemeinsamen Realisierung von Ladeinfrastruktur und Photovoltaikanlagen.

Summary

The transition of individual motorized mobility from combustion engines to electric vehicles is an important pillar of the federal government's strategy for reducing greenhouse gas emissions. However, the framework of this transition goes far beyond the simple replacement of internal combustion engines by electric motors. Indeed, the change of vector entails a complete paradigm shift with regard to the energy supply of vehicles: recharging possibilities, electricity costs, impacts on the energy system are all aspects that need to be carefully studied.

This study focuses on the issue of access to recharging by 2030 for electric vehicle owners. This issue is first addressed from the perspective of estimating the need for publicly accessible charging infrastructure in order to meet the demand. The estimation of these needs is based on scenarios of access to charging infrastructures, at work and/or at home, according to the type of housing occupied by households. Depending on the average scenario adopted and the housing environments considered (urban, peri-urban or rural), it is estimated that by 2030, the proportion of households without access to facilitated charging at home or at work will be between 55% and 75%. These households would therefore have to ensure the charging of their electric vehicles, if they will own any, on publicly accessible infrastructures.

The estimation of the need for publicly accessible charging infrastructure by 2030 is also differentiated according to the living environment considered. Indeed, from the point of view of individual motorized mobility, these differ both in terms of the number of vehicles per inhabitant and the average distance travelled by these vehicles. Thus, the estimated needs for rural areas (242 kWh/year/inhabitant) are twice as high as those estimated for urban areas (118 kWh/year/inhabitant), despite the fact that a smaller proportion of households do not have access to easy charging.

The question of the capacity of the different housing environments to meet these needs is then examined. This analysis is carried out on the basis of the composition of parking possibilities, categorized according to the type of parking and parking times. This last aspect is cross-checked with the usage statistics of the charge points whose power corresponds to the parking times considered in order to establish the theoretical charging potential for each of the three housing environments considered. For the urban and suburban environments, a significant part of this potential is located on short term parking spaces located on the public highway (blue zones). Moreover, a comparison of the estimates of theoretical potential and needs suggests a situation of tension by 2030.

The different parking categories considered for the estimation of the recharging potential (parking time and type of parking) are also differentiated by their specific costs. These have been evaluated for each of the categories from the point of view of investments and the cost of the energy distributed. This analysis shows that the investments required to deploy a charge point on the public highway can be up to nine times higher than in the case of an installation in a multi-storey car park. This significant difference can be explained in particular by the importance of civil engineering and electrical connection costs. Thus, the parking category with the largest share of charging potential is also the one requiring the largest investments. The impact of charging costs on the total cost of ownership of an electric vehicle is also assessed according to the charging mode

considered. This analysis shows that, for the owner of an electric vehicle, charging at home on a private infrastructure offers a significant potential saving compared to a thermal vehicle (between 40% and 50%). At the other end of the spectrum, the costs associated with fast charging are estimated to be equivalent to the fuel costs of a combustion vehicle. This analysis shows that charging costs can be an important incentive for the transition to electric mobility.

Nevertheless, such a transition raises the question of the impacts on the electric distribution system. For a 30% share of electric vehicles in the Swiss car fleet by 2030, the additional electricity needs are estimated at between 2.9 TWh and 3.9 TWh. These figures correspond respectively to 5% and 7% of current consumption and therefore represent a major challenge from a supply point of view. Indeed, such an increase in consumption corresponds to the production of some 680 wind turbines or to an increase of 7 in photovoltaic production according to the 2020 figures. However, the impact on the Swiss electricity system is not limited to the production of the electricity needed for recharging. It also has to be routed through the grid, raising a number of issues. In this context, the joint deployment of photovoltaic installations and infrastructure offers interesting prospects by bringing energy production and consumption closer together. Positive financial impacts are also possible thanks to the mutualization of part of the costs.

In order to ensure the availability of recharging facilities by 2030 and to prevent a possible shortage from slowing down the development of electric mobility, measures must be taken by the public authorities. These measures are grouped under two main headings: improving access to easy charging at home or at work and sufficient deployment of a publicly accessible charging infrastructure. The proposed measures are differentiated according to the levels of competence of the public authorities (federal, cantonal and communal) and include in particular the direct integration into the building program of subsidies for the electrification of public car parks as well as the encouragement of the joint construction of recharging infrastructures and photovoltaic installations.

1. Introduction

1.1 L'électromobilité : situation actuelle et perspectives 2030

En septembre 2021, la Suisse comptait un total de plus de 6.3 millions de véhicules [1], un chiffre en augmentation de 38% par rapport au début du siècle. Les voitures de tourisme représentaient près des trois quarts de ces véhicules, soit quelques 4.7 millions de voitures. Parmi ces dernières, seules 70'000 d'entre elles étaient propulsées par des moteurs électriques, soit un peu moins de 1.5% [2].

Si cette pénétration de la mobilité électrique dans le domaine de la mobilité individuelle peut paraître faible à première vue, elle s'inscrit dans une dynamique de très forte progression ces dernières années, comme le montre la Figure 1 ci-dessous.

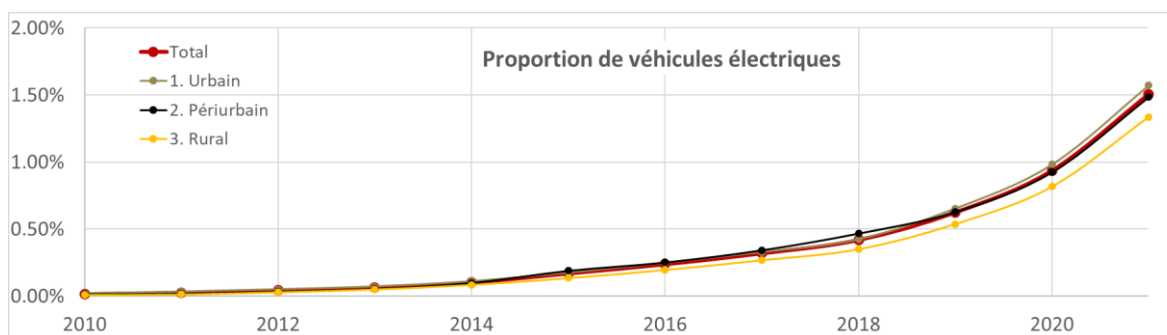


Figure 1: évolution de la part des véhicules 100% électriques par zone géographique (OFS)

Compilée à partir des données historiques fournies par l'OFS et l'OFROU [3], cette figure montre une évolution en très forte croissance ces dernières années. Cette évolution dépasse même les objectifs de la feuille de route de la Confédération pour l'électromobilité. Celle-ci se fixait comme objectif une part de 15% de véhicules électriques (VE) et véhicules hybrides rechargeables (VHR) parmi les nouvelles immatriculations en 2022. Or, ce chiffre a été dépassé en 2021 déjà, puisque ces deux catégories de véhicules ont représenté plus de 22% des nouvelles immatriculations cette année-là, dont plus de 13% pour les seuls véhicules électriques (Figure 2). Forte de ce succès, la feuille de route table désormais sur une proportion de 50% parmi les nouvelles immatriculations à l'horizon 2025.

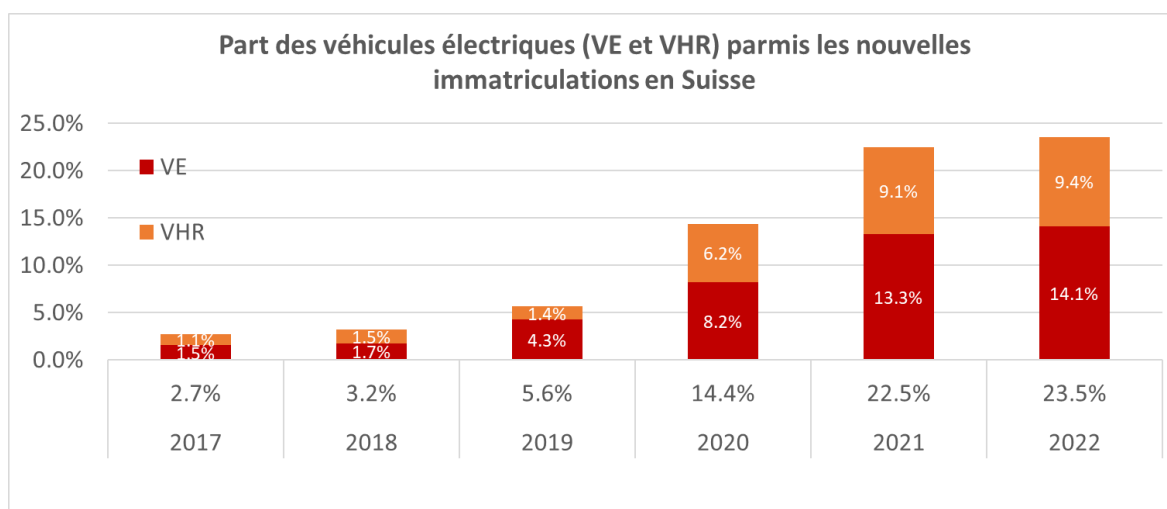


Figure 2: évolution de la part des véhicules électriques et hybrides rechargeables parmi les nouvelles immatriculations (OFS)

À ce rythme-là, la branche table sur une proportion de voitures électriques (hors hybrides rechargeables) de l'ordre de 30% du parc automobile à l'horizon 2030 [4].

Le nombre de voitures de tourisme immatriculées en Suisse est en constante augmentation, comme le montre la Figure 3 basée sur des données de l'OFS [1]. La projection linéaire de l'évolution des 5 dernières années jusqu'en 2030 permet d'articuler un nombre de voitures de tourisme avoisinant les 5 millions à cet horizon temporel. En y intégrant une pénétration de la mobilité électrique de 30%, cela représente 1,5 million de voitures électriques sillonnant les routes suisses d'ici 8 ans.

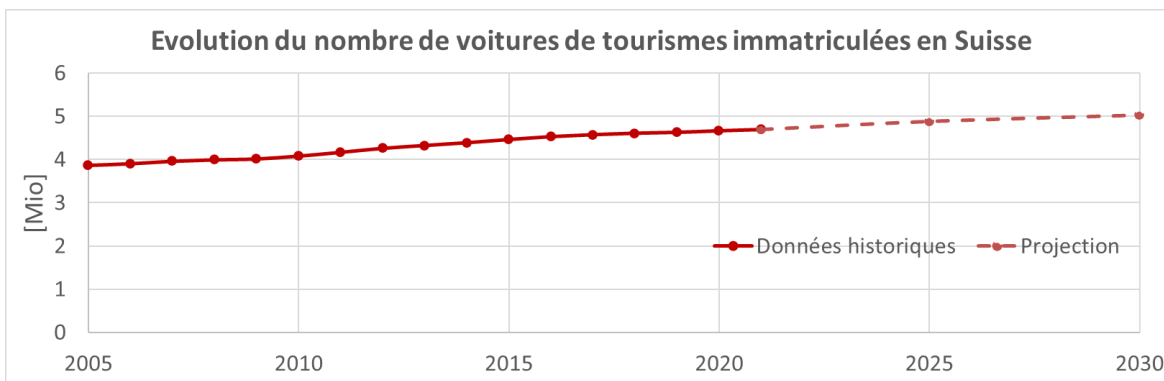


Figure 3: évolution et projection du parc de voitures de tourisme en Suisse

1.2 Problématiques et questions de recherche

Néanmoins, une telle transition présente des conséquences qui dépassent le simple remplacement des moteurs thermiques par des moteurs électriques. En particulier, l'alimentation en énergie des véhicules électriques diffère significativement de celui des véhicules thermiques et soulève ainsi de nombreuses questions. Parmi celles-ci, l'accès à des infrastructures de recharge pour tous les possesseurs de véhicules électriques ainsi que le coût de la recharge sont des aspects centraux.

Au vu de la rapidité de la progression de la mobilité électrique en Suisse et des enjeux environnementaux et techniques que cette transition représente, il est nécessaire d'apporter rapidement des réponses à ces questions afin de prévenir d'éventuels problèmes et d'éviter que la problématique de la recharge ne devienne un obstacle à la transition vers la mobilité électrique.

Commandée par l'Office fédéral des routes (OFROU), cette étude a pour but d'apporter des réponses à plusieurs des interrogations soulevées par l'évolution de la mobilité électrique. Plus particulièrement, cette étude s'attarde sur les questions de recherche suivantes :

- A l'horizon 2030, quelle est la part de véhicules électriques qui n'auront pas un accès facilité à un point de charge (PdC) fixe à domicile ?
- Sur quel type de lieux de parcage ces véhicules sans accès à des PdC fixes pourront-ils se charger ?
- Quels sont les investissements nécessaires au déploiement d'une infrastructure de recharge pour véhicules électriques (IRVE) sur ces lieux de parcage ?
- Quel sera l'impact de la recharge sur le coût total de possession (CTP) pour les possesseurs de véhicules électriques ?
- Quels peuvent être les impacts de l'évolution de la mobilité électrique sur le système électrique suisse ?
- Quelles sont les solutions de recharge à privilégier pour faciliter le déploiement de la mobilité électrique et quels sont les leviers en main des pouvoirs publics ?

1.3 Aspects méthodologiques et limites de l'étude

1.3.1 HYPOTHÈSES

L'évolution de la mobilité électrique en Suisse s'inscrit dans un contexte bien plus large qu'il n'est possible de couvrir entièrement dans une seule étude. Afin de réaliser la présente étude, l'utilisation d'hypothèses permettant d'en restreindre le périmètre est nécessaire. Celles-ci sont présentées ci-dessous.

Cette étude se focalise sur la situation en Suisse à l'horizon 2030 et ne considère aucun aspect de la mobilité électrique au-delà de cet horizon temporel. Au vu de l'évolution récente de la mobilité électrique, celui-ci est suffisamment éloigné pour que la part de véhicules électriques dans le parc automobile suisse soit significative. Cependant, cet horizon temporel est également suffisamment proche pour que d'autres changements importants, notamment ce qui concerne les conditions-cadre, puissent ne pas être considérés.

La transition vers la mobilité électrique considérée ici ne concerne que la motorisation des voitures de tourisme, et non pas l'utilisation des voitures elles-mêmes. Ainsi, même si leur bilan carbone est moindre en comparaison des véhicules thermiques, les véhicules électriques présentent les mêmes inconvénients en ce qui concerne le trafic ou encore l'occupation du territoire par les infrastructures nécessaires (routes, parkings, etc...). Pour cette raison, des politiques d'encouragement au transfert modal, visant à réduire la part de la mobilité individuelle et à augmenter celle des transports en commun, sont mises en place par certaines autorités publiques. L'impact de ces politiques sur la mobilité électrique n'est pas pris en compte et aucun transfert modal des transports individuels motorisés aux transports collectifs n'est considéré.

Cette étude se focalise sur les seuls véhicules électriques à batterie. Les autres motorisations émergentes, telles que les véhicules à hydrogène, ne sont pas considérées. Cette hypothèse se justifie par la très faible pénétration actuelle de ces motorisations dans le parc automobile suisse (moins de 400 véhicules en 2021 [2]) et par l'horizon temporel considéré, trop proche pour envisager un développement massif, notamment en raison de l'absence d'infrastructure dédiée.

De plus, seules les voitures de tourisme 100% électriques sont considérées. Ainsi, lorsque le terme « véhicules électriques » est employé dans la suite de ce document, celui-ci exclut les vélos, trottinettes, camions ou tout autre type de véhicules. De plus, les véhicules hybrides rechargeables sont également exclus du périmètre de cette étude. En effet, ce type de motorisation représente essentiellement une technologie de transition amenée à disparaître [4]. De plus, ceux-ci restent très majoritairement dépendants des carburants fossiles et sont moins concernés par la problématique de la recharge que les véhicules 100% électriques.

En raison de la proximité de l'horizon temporel considéré, la majorité des données utilisées, notamment ce qui concerne les coûts, sont des données significatives au moment de la réalisation de cette étude, soit entre le 3^{ème} trimestre 2021 et le 2^{ème} trimestre 2022. Sans mention explicite du contraire, aucune hypothèse sur une évolution temporelle des données présentées dans le chapitre 2 ne sera utilisée.

1.3.2 GROUPE D'ACCOMPAGNEMENT

Afin d'ancrer cette étude au plus près de la réalité du terrain, un groupe d'accompagnement composé de différents acteurs de la branche et/ou impactés par la transition vers la mobilité électrique a été constitué.

Ce groupe d'accompagnement avait pour missions principales de fournir des données significatives issues de la pratique quotidienne de leur activité ainsi que de fournir un regard critique sur la méthodologie utilisée et les résultats obtenus. L'objectif sous-jacent était d'assurer une pertinence maximale grâce à des données aussi à jour et précises que possible.

Ce groupe d'accompagnement était composé des membres suivants :

- **Move Mobility SA**, en tant qu'opérateur de réseau d'IRVE ;
- **Agrola SA**, en tant qu'opérateur d'infrastructures centralisées de recharge rapide ;
- **La Fondation des Parkings**, en tant que gérant de parkings intégrant des IRVE ;
- **Romande Energie**, en tant que gestionnaire de réseau impacté par la mobilité électrique ;
- **L'Office fédéral de l'énergie**, afin d'apporter la vision de la Confédération ;
- **Les communes de Bienne (BE), Echallens (VD) et Val-de-Travers (NE)**, en tant que pouvoirs publics concernés par les questions de stationnement.

Au cours de cette étude, trois réunions plénières réunissant l'ensemble des membres du groupe d'accompagnement ont été organisées, permettant de favoriser les échanges et de mettre en perspective les différents éléments de l'étude. En plus de ces réunions plénières, des échanges bilatéraux ont également eu lieu.

1.3.3 DIFFÉRENCIATION GÉOGRAPHIQUE

Les enjeux liés à la mobilité en général diffèrent significativement selon le type de zone géographique considéré. En ce sens, la mobilité électrique ne fait pas exception. En effet, la pénétration des véhicules électriques, leur usage quotidien, l'accès à un point de charge privé, les possibilités de parcage ou encore la typologie du réseau électrique permettant d'acheminer l'énergie jusqu'aux IRVE présentent des variations importantes lorsque l'on compare un milieu urbain à un milieu rural.

Pour cette raison, une différenciation géographique est introduite dans cette étude, lorsque cela est pertinent. Trois types de zone géographique sont considérées : milieu urbain, milieu rural et milieu intermédiaire périurbain. Cette catégorisation reprend celle utilisée par la Confédération [5].

Chacune de ces catégories géographiques est représentée par une commune du groupe d'accompagnement : la commune de Bienne représente le milieu urbain, la commune d'Echallens le milieu périurbain et la commune du Val-de-Travers le milieu rural. Il est important de mentionner ici que la commune de Val-de-Travers est officiellement catégorisée comme une commune périurbaine (catégorie 2), au même titre qu'Echallens. Néanmoins, elle est sous-catégorisée comme une commune de « centre rural » (sous-catégorie 31) au contraire d'Echallens qui est considérée comme une commune « périurbaine de forte densité » (sous-catégorie 22).

2. Données de base

Les différents résultats présentés dans les chapitres 3 et suivants s'appuient sur des données de base collectées tout au long de l'étude. Celles-ci proviennent de la littérature, ont été fournies par les membres du groupe d'accompagnement ou sont issues des usages courants de la branche.

Les mêmes données étant utilisées pour la détermination de différents résultats de cette étude, le choix a été fait de ne pas les présenter conjointement aux éléments auxquels elles se rapportent, mais d'y consacrer un chapitre dédié.

Il est important de mentionner ici que, pour certaines données obtenues auprès des acteurs de la branche, qu'ils soient ou non membres du groupe d'accompagnement, certains détails à disposition des auteurs sont volontairement omis dans ce document en raison de leur nature sensible et des accords de confidentialité passés.

2.1 Données générales à propos de l'électromobilité individuelle

Le Tableau 1 ci-dessous résume les données générales relatives à la mobilité électrique utilisées tout au long de cette étude. Pour la plupart d'entre elles, elles correspondent aux valeurs communément admises dans la branche.

Tableau 1 : résumé des données générales concernant la mobilité électrique

Grandeurs	Valeurs	Remarques/sources
Consommation des véhicules électriques	0.18 kWh/km*	Valeur usuelle
Coûts de l'électricité pour les ménages	21 cts/kWh**	Médiane nationale (ElCom)
Nombre de véhicules électriques en 2030	1.5 millions	Voir section 1.1

*La valeur de consommation des véhicules électriques à 0.18 kWh/km est une projection à l'horizon 2030, en considérant une meilleure efficacité des véhicules électriques qu'aujourd'hui. En 2022, cette valeur serait en moyenne de 0.20 kWh/km.

**La valeur du coût de l'électricité pour les ménages à prendre en compte en 2023 est de l'ordre de 27 cts/kWh.

2.2 Coûts de possession annualisés d'un véhicule électrique

Les coûts annualisés représentatifs de possession d'un véhicule électrique ont été caractérisés à partir des données présentées par le Touring Club Suisse sur leur site internet [6] ainsi que des données d'importations d'auto-suisse [7].

Selon ces statistiques, en 2021, les trois premières places du palmarès des véhicules électriques les plus vendus sont occupées respectivement par la Tesla Model 3, la Volkswagen ID3 et la Skoda Enyaq iV (Figure 4). Il est à noter que pour le cas de la Tesla Model 3, ce modèle occupe même la première place des ventes de voitures neuves en Suisse, toutes motorisations confondues.

1: Tesla Model 3 (5'064)



2: VW ID.3 (2'419)



3: Skoda Enyaq iV (2'184)



Figure 4: meilleures ventes de véhicules électriques en Suisse en 2021

Pour chacun de ces 3 modèles, les coûts de possession annualisés disponibles sur la plateforme du TCS ont été relevés selon la décomposition en coûts fixes, indépendants de l'utilisation du véhicule, et les coûts variables, directement liés au kilométrage annuel. Pour chacun de ces modèles considérés ici, une finition intermédiaire a été considérée. Les données de coûts ont été relevées en janvier 2022 pour le canton de Vaud et pour plusieurs valeurs de kilométrage annuel afin de mettre en évidence l'influence de ce paramètre.

Elles sont résumées dans le Tableau 2 pour le cas de la Tesla Model 3 « Long Range », le modèle le plus vendu, mais également le plus cher des modèles considérés. Les coûts liés à l'approvisionnement en énergie (infrastructure de recharge et électricité) ont été volontairement écartés, l'évaluation de ceux-ci faisant partie du champ de cette étude.

Tableau 2: récapitulatif et composition des coûts de possession d'une Tesla Model 3 (hors énergie)

Kilométrage annuel considéré	5'000	10'000	15'000	20'000	25'000
Marque	Tesla				
Modèle	Modèle 3				
Version/Finition	Long Range				
Prix neuf [CHF]	50'990				
Coûts annuels (hors énergie)	8 198 CHF	9 108 CHF	10 019 CHF	10 929 CHF	11 840 CHF
Coûts fixes (hors énergie)	7 287 CHF				
Amortissement	4 079 CHF				
Garage	1 560 CHF				
Assurance RC	468 CHF				
Assurance Casco	682 CHF				
Impôts/taxes	25 CHF				
Intérêts	25 CHF				
Entretien	150 CHF				
Dépenses accessoires	298 CHF				
Coûts variables (hors énergie)	911 CHF	1 821 CHF	2 732 CHF	3 642 CHF	4 553 CHF
Services	212 CHF	423 CHF	635 CHF	846 CHF	1 058 CHF
Pneus	189 CHF	378 CHF	567 CHF	756 CHF	945 CHF
Dépréciation	510 CHF	1 020 CHF	1 530 CHF	2 040 CHF	2 550 CHF

La répétition de cet exercice suivie d'une interpolation linéaire ont permis d'établir un estimatif des coûts annualisés de possession moyens d'un véhicule électrique en 2021. Ceux-ci sont résumés par le Tableau 3 ci-dessous. Afin de mettre les données en perspective, il intègre également les valeurs relatives à la Skoda Octavia, la voiture thermique la plus importée en 2021 selon les statistiques d'auto-suisse.

Tableau 3 : récapitulatif des coûts de possession annualisés (hors énergie)

Modèle	Coûts fixes annuels	Coûts variables
Tesla Model 3 « Long Range »	7'287 CHF	18.2 cts/km
VW ID.3 « Pro »	5'925 CHF	14.3 cts/km
Skoda Enyaq iV « 60 Lodge »	6'720 CHF	15.7 cts/km
Moyen	6'643 CHF	16.0 cts/km
Skoda Octavia 1.4 PHEV style	6'333 CHF	16.0 cts/km

2.3 Utilisation des infrastructures de recharge

Les chiffres-clés de l'utilisation actuelle des infrastructures de recharge publiquement accessibles sont tirés des données fournies par les entreprises MOVE SA et Agrola SA, toutes deux membres du groupe d'accompagnement.

Selon ces données, résumées dans le Tableau 4, il n'y a pas de variations significatives entre des points de charge de différentes puissances en ce qui concerne l'énergie délivrée. Une moyenne d'environ 20 kWh par session de charge est ainsi retenue dans cette étude. Ce chiffre se situe environ entre le tiers et la moitié de la capacité de stockage des voitures électriques actuelles, montrant que les utilisateurs de ces véhicules effectuent des recharges même lorsque les véhicules ne sont pas totalement déchargés.

Tableau 4 : données d'utilisation typique de points de charge sur des parkings ouverts au public selon données de MOVE SA et Agrola SA

Puissance du point de charge	Energie délivrée lors d'une session de charge	Durée d'une session charge	Facteur de charge moyen durant la session de charge
11 kW	Environ 20 kWh	8h30	21%
22 kW		6h20	14.5%
50 kW		40min	60%
150 kW (75 kW)		30min	26% (52%)

En revanche, la durée des sessions dépend très fortement de la puissance des points de charge, même si un lien direct ne peut être établi. En effet, la durée des sessions de charge n'est pas directement inversement proportionnelle à la puissance disponible. On distingue ainsi deux types d'utilisation : l'une, de longue durée, pour laquelle le stationnement est le point central, et l'autre, de courte durée, où la recharge elle-même semble être à l'origine de l'arrêt. Cette hypothèse est renforcée par l'analyse des facteurs de charge moyens, plus importants pour des infrastructures de forte puissance. Il est à noter que dans le cas d'IRVE de 150 kW, cette puissance est potentiellement divisée par 2 en cas de connexion simultanée de 2 voitures.

La Fondation des Parkings, également membre du groupe d'accompagnement, gère plusieurs P+R dans la région de Genève. Ces parkings sont équipés d'infrastructures composées de points de charge caractérisés par des puissances nominales de 3.7 kW. Si cette puissance peut paraître faible au premier abord, l'étude des statistiques d'utilisation des places électrifiées montre qu'elle dépasse en moyenne déjà largement les besoins des utilisateurs. En effet, si ces places ont un taux d'occupation proche de 50% en moyenne sur la journée, voire de 80% à 100% durant les horaires de bureau en semaine, les véhicules qui y sont stationnés ne se chargent que pendant une durée

comprise entre le quart et le tiers de leurs temps de stationnement. Ces chiffres confirment le constat que dans le cas de l'utilisation d'infrastructures de recharge lente, l'usage principal est le stationnement, et non la recharge. Ce constat est pris en compte dans les prochains chapitres.

À l'autre bout du spectre de puissance, la société Agrola AG, membre du groupe d'accompagnement et opératrice de stations centralisées de charge rapide, a accepté de fournir des statistiques détaillées de l'utilisation de 12 de ses infrastructures sur une période d'une année. Chacune de ses infrastructures fonctionnant en courant continu présente une puissance de 150 kW, éventuellement divisée entre 2 points de charge en cas de charge simultanée de 2 véhicules électriques.

La Figure 5 montre la très forte augmentation du nombre de sessions de charge réalisées sur ce parc de 12 IRVE, le nombre de charges réalisées ayant presque triplé en l'espace de seulement 12 mois. Ainsi, en mars 2022, une moyenne de 5.8 sessions par jour était observable. En considérant une durée moyenne de 30 minutes, ces infrastructures sont utilisées moins de 3 heures par jour, montrant ainsi clairement une réserve de potentiel d'utilisation importante.

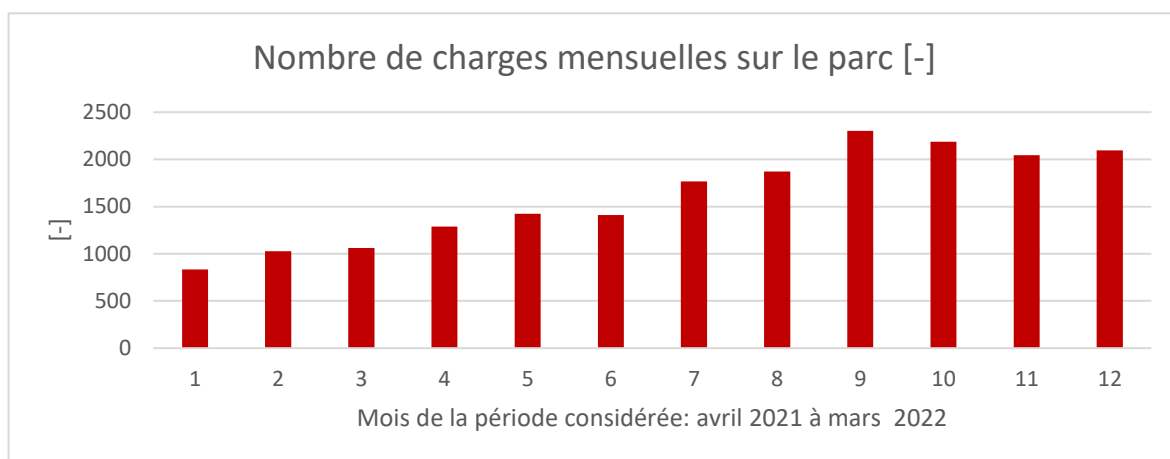


Figure 5: évolution temporelle du nombre de sessions de charge par mois sur un parc de 12 IRVE

En revanche, sur la même période, aucune différence significative d'utilisation n'est observée en ce qui concerne la durée des sessions de charge ou la quantité d'énergie délivrée par session alors que le nombre de véhicules fréquentant les bornes a augmenté.

2.4 Données de mobilité

2.4.1 DISTANCES MOYENNES JOURNALIÈRES

Les données de mobilité utilisées dans le cadre de cette étude sont extraites du microrecensement sur la mobilité et les transports de 2015 (MRMT15) [8]. Les résultats de cette enquête sont publiés dans le document intitulé « Comportement de la population en matière de transports ».

En moyenne, la distance parcourue quotidiennement en Suisse par les habitants du pays est de 36.8 km. Cette distance diffère significativement en fonction du lieu d'habitation, comme le montre le Tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5: résumé des données de mobilité par milieu d'habitation (2015)

Milieu d'habitation	Distance moyenne journalière	Distance moyenne journalière en transport motorisé individuel
Urbain	34.0 km	20.6 km
Périurbain	40.8 km	30.0 km
Rural	42.7 km	31.7 km
Suisse	36.8 km	24.4 km

Les personnes habitant en milieu rural se déplacent non seulement sur des distances plus longues que les personnes habitant en milieu urbain (+25%), mais elles utilisent également plus fortement les véhicules motorisés individuels pour réaliser ces déplacements. Ces distances sont essentiellement parcourues en voiture (97.5%) selon le microrecensement sur la mobilité et les transports de 2015 (MRMT15) [8]. Par conséquent, dans ce contexte, la distinction entre véhicules motorisés individuels et voitures de tourisme est abandonnée dans la suite de ce document.

Ainsi, la distance annuelle moyenne parcourue par les habitants de zones urbaines, périurbaines et rurales en véhicules motorisés individuels est respectivement d'environ 7'500 km, 11'000 km et 11'600 km. Cela représente une différence de près de 55% entre les deux extrêmes.

2.4.2 PRESTATIONS KILOMÉTRIQUES TOTALES

L'OFS met également à disposition des données concernant les prestations kilométriques et le mouvement des véhicules dans le cadre du transport des personnes [9]. Selon ces données, les voitures de tourisme immatriculées en Suisse ont effectué un total de 50.7 milliards de kilomètres en 2019, contre « seulement » 42.38 milliards de kilomètres en 2020, ceci en raison de la pandémie de Covid-19. Ainsi, en 2019, les voitures de tourisme ont parcouru sur une année une moyenne d'environ 11'000 km.

2.5 Coûts de la recharge pour l'utilisateur final

2.5.1 RECHARGE À DOMICILE

En 2022, un nombre important de détenteurs de véhicules électriques possèdent également un point de charge individuel à leur domicile, facilitant ainsi l'approvisionnement en énergie de leur(s) véhicule(s).

Les coûts de ce mode de recharge sont composés des coûts de l'énergie elle-même, estimés à 21 cts/kWh (27 cts/kWh), (voir Tableau 1), ainsi que les coûts liés à l'infrastructure de recharge elle-même. Les infrastructures domestiques sont majoritairement composées de points de charge présentant une puissance maximale de 11 kW et fonctionnant en courant alternatif. Lorsqu'aucune augmentation de l'ampérage de l'introduction du bâtiment n'est nécessaire, l'investissement nécessaire à l'installation d'une solution individuelle est estimé à 2500 CHF.

Il est pertinent de mentionner ici que des solutions de *contracting* sont également disponibles pour l'équipement de parkings partagés (immeubles locatifs, PPE, etc...). Dans ce contexte, des intermédiaires prennent en charge la grande majorité de l'investissement initial et facturent ensuite l'utilisation de l'infrastructure. L'approvisionnement en énergie reste assuré par le distributeur local au tarif sélectionné. Si ces solutions permettent de résoudre notamment les problèmes de disponibilité du capital, elles sont en général plus onéreuses sur le long terme en raison de la marge financière dégagée par l'investisseur et renchérissent le coût de la recharge.

Le Tableau 6 ci-dessous résume les coûts moyens de la recharge à domicile en considérant les données de base du Tableau 1 pour un véhicule parcourant 11'000 km par année (voir 2.4.2) et couvrant l'entier de ses besoins par ce type de recharge. Les coûts indiqués pour le *contracting* correspondent à différents produits proposés en Suisse romande. Les chiffres présentés ne prennent pas en compte l'actualisation des flux financiers.

Tableau 6: estimatif du coût moyen de la recharge à domicile

Solution	Investissement initial pour l'IRVE	Coûts annuels de l'IRVE (hors énergie)	Coûts totalisés moyens de l'énergie
Investissement propre	2'500 CHF	0 CHF	0.34 CHF/kWh
<i>Contracting</i>	400 CHF	600 CHF	0.50 CHF/kWh

2.5.2 RECHARGE SUR DES RÉSEAUX PUBLICS

Il est également possible d'assurer la recharge des véhicules sur des infrastructures publiquement accessibles. Pour cette raison, le terme de « réseaux publics » est utilisé dans la suite de ce document, bien que ces infrastructures appartiennent et/ou soient opérées par des acteurs privés.

Ces acteurs proposent divers types de produits, différenciés notamment par la puissance du point de charge utilisé ainsi que par la répartition entre les coûts fixes et les coûts variables. Ainsi, certains produits sont caractérisés par des coûts d'abonnements annuels plus élevés permettant un prix moindre en ce qui concerne l'énergie soutirée. Ces produits sont destinés aux utilisateurs réguliers au contraire de ceux destinés aux utilisateurs occasionnels et proposant des coûts d'abonnements faibles ou gratuits, mais des prix plus élevés pour l'énergie.

Il existe une disparité importante dans la structure de la tarification parmi les divers produits des différents fournisseurs actifs sur ce marché, plus précisément en ce qui concerne les coûts variables. Si quasi tous les fournisseurs incluent une part de tarification liée à l'énergie soutirée, certains intègrent également des composantes liées notamment à la durée de connexion au point de charge. De plus, tous les fournisseurs ne catégorisent pas leurs produits en fonction de la puissance du point de charge selon les mêmes limites.

Ces disparités compliquent la comparaison et la consolidation des différents produits et des différents fournisseurs. Néanmoins, le Tableau 7 ci-dessous résume l'estimation faite des coûts fixes et variables de la recharge sur les réseaux publics. Ces chiffres s'appuient sur les tarifs de différents fournisseurs actifs en Suisse.

Tableau 7: estimatif du coût moyen de la recharge sur les réseaux publics

Type d'utilisation	Type de recharge	Coûts fixes annuels	Coûts variables
Occasionnelle	Lente (< 22 kW)	-	54 cts/kWh
	Accélérée (22-60 kW)	-	73 cts/kWh
	Rapide (> 60 kW)	-	73 cts/kWh
Fréquente	Lente (< 22 kW)	60 CHF/an	42 cts/kWh
	Accélérée (22-60 kW)	60 CHF/an	63 cts/kWh
	Rapide (> 60 kW)	60 CHF/an	65 cts/kWh

L'intégration des coûts fixes dans un coût moyen totalisé de l'énergie n'a de sens que pour les produits destinés aux utilisateurs fréquents, la probabilité que les utilisateurs occasionnels disposent d'une solution à domicile étant élevée. Or, les fournisseurs n'incluent pas de coûts fixes dans leurs produits destinés aux utilisateurs fréquents. Par conséquent, le coût moyen totalisé de

l'énergie de la dernière colonne du Tableau 6 est à comparer aux coûts variables présentés dans le Tableau 7.

La comparaison de ces deux tableaux montre l'intérêt économique de la recharge à domicile pour les possesseurs de véhicules électriques.

2.6 Communes étudiées

2.6.1 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Comme mentionné précédemment, les trois types de zone d'habitation (urbaine, périurbaine et rurale) sont considérés par l'intermédiaire de trois communes jugées représentatives et dont des représentants ont participé au groupe d'accompagnement. La Figure 6 ci-dessous présente la situation géographique de ces trois communes.

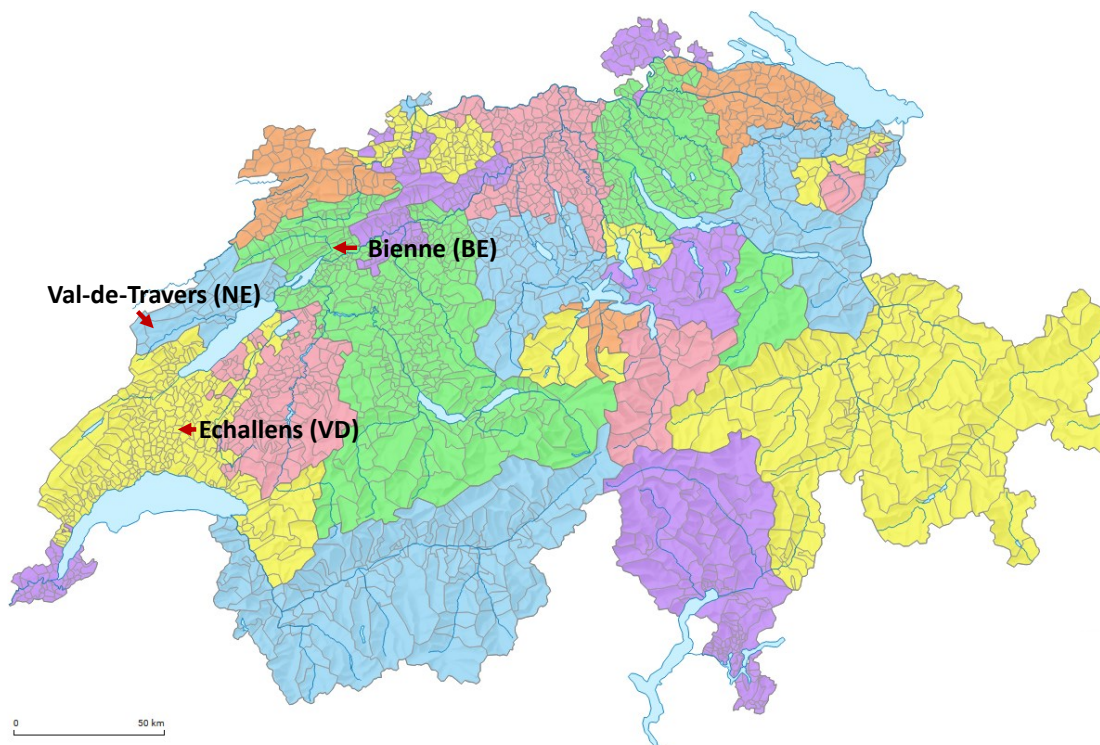


Figure 6: situation géographique des communes considérées

Le Tableau 8 ci-dessous résume les données démographiques des communes considérées. Bien que deux fois plus peuplée qu'Echallens, la commune du Val-de-Travers représente ici les communes rurales.

Tableau 8: données démographiques des communes considérées

Commune	Milieu représenté	Typologie	Population (2020)	Superficie (km ²)	Densité [hab/km ²]
Bienne	Urbain	Commune urbaine d'une agglomération moyenne	55'206	21	2'600
Echallens	Périurbain	Commune périurbaine de forte densité	5'729	7	860
Val-de-Travers	Rural	Commune d'un centre rural	10'579	125	85

2.6.2 DONNÉES LIÉES À LA MOBILITÉ (ÉLECTRIQUE)

L'OFS met à disposition à travers son site internet des données concernant le parc de véhicules en Suisse et intégrant divers aspects, notamment la commune d'immatriculation ainsi que la motorisation [2]. Celles-ci sont disponibles dans la base de données intitulée « Parc de véhicules routiers par commune, depuis 2010 ». La combinaison de cette base de données avec celle comportant la catégorisation des communes [10] rend possible la mise en perspective de la situation des communes considérées avec le milieu d'habitation qu'elles représentent.

Tableau 9: parc de voitures de tourisme par zone géographique

Zone	Population [hab]	Nbr voit. de tour.	Dont élec.	Part élec	Voit. pr 1000 hab.	Voit. élec pr 1000 hab.
1. Urbain	5 459 900	2 615 236	41 137	1.57%	479	7.53
2. Périurbain	1 892 600	1 094 211	16 252	1.49%	578	8.59
3. Rural	1 317 800	856 887	11 436	1.33%	650	8.68
Inconnue	-	121 901	1 398	1.15%	-	-
Total	8 670 300	4 688 235	70 233	1.50%	541	8.10

Tableau 10: parc de voitures de tourisme par commune du groupe d'accompagnement

Commune	Population [hab]	Nbr voit. de tour.	Dont élec.	Part élec.	Voit. pr 1000 hab.	Voit. élec pr 1000 hab.
Bienne	55 206	21 111	190	0.90%	382	3.44
Echallens	5 729	3 231	42	1.30%	564	7.33
Val-de-Travers	10 579	6 400	64	1.00%	605	6.05

En ce qui concerne le nombre de voitures immatriculées, une même tendance peut être observée sur les communes considérées et sur l'ensemble de la Suisse. En général, le nombre de voitures pour mille habitants augmente avec la décentralisation du milieu d'habitation. Néanmoins, dans les communes, ce chiffre est inférieur aux chiffres consolidés au niveau national avec une différence plus marquée pour le milieu urbain représenté par la ville de Bienne.

En ce qui concerne la pénétration des véhicules électriques au niveau national, c'est dans les milieux urbains qu'elle est la plus importante. En revanche, parmi les communes considérées, la ville de Bienne présente la proportion la plus faible de véhicules électriques. De plus, les taux de pénétration sont significativement inférieurs sur le territoire des communes considérées en comparaison des chiffres nationaux.

En raison de ces différences et en ce qui concerne la pénétration actuelle de la mobilité électrique, les chiffres nationaux ont été privilégiés dans cette étude, du moins lorsque cela était pertinent.

2.7 Accès à une infrastructure de recharge

2.7.1 AU DOMICILE

Le micro recensement sur la mobilité et les transports de 2015 [8] recèle également des données relatives à la disponibilité des places de stationnement. La Figure 7 dont elle est extraite montre que la plupart des ménages (77%) disposent d'au moins une place de parc à leur domicile. De plus, la majorité des ménages (89%) disposent d'au moins une place de parc par voiture.

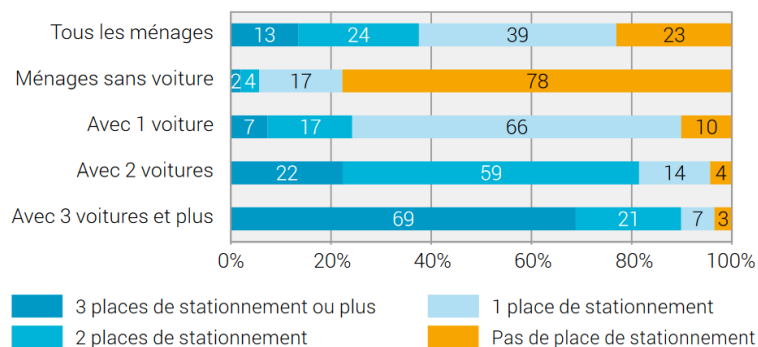


Figure 7: disponibilité de places de stationnement au domicile selon le nombre de voitures dans le ménage, en 2015 [8]

En ce qui concerne les possibilités de stationnement sur le lieu de travail, là encore, la majorité des actifs (75%) disposent d'une place de parc. Celle-ci est même gratuite pour 54% d'entre eux.

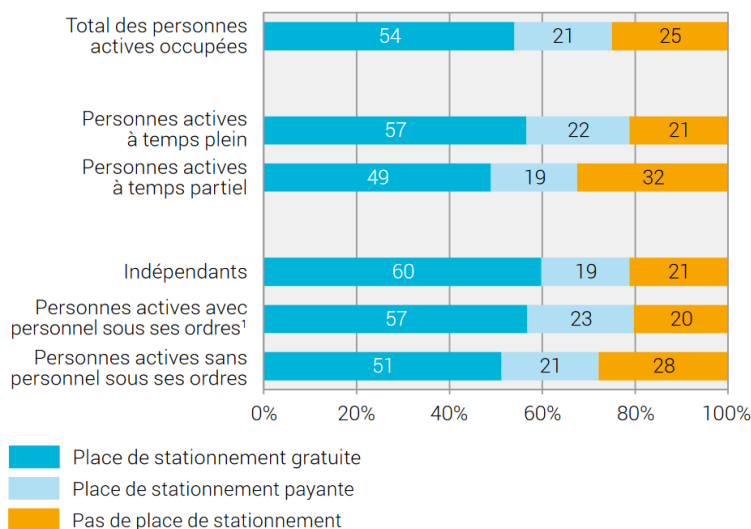


Figure 8: disponibilité de places de stationnement au lieu de travail selon le taux d'occupation et la situation professionnelle, en 2015 [8]

2.7.2 SUR L'ESPACE PUBLIC

Les réseaux publics de recharge sont intégrés à des parkings existants (P+R, parkings publics, centres commerciaux, etc...). La Fondation des Parkings, membre du groupe d'accompagnement de cette étude, opère un nombre important de ces parkings sur le canton de Genève et a accepté de fournir des chiffres permettant d'évaluer les possibilités d'accès à des points de charge. Ces chiffres concernent des parkings de plusieurs centaines de places.

Sur les quelques 11'000 places réparties sur les 27 parkings considérés, une proportion d'environ 3% est actuellement électrifiée et équipée de points de charge de faible puissance (3.7 kW). Cette proportion est deux fois supérieure à celle de la pénétration des véhicules électriques dans le parc automobile suisse, ce qui laisse présager une disponibilité amplement suffisante.

Néanmoins, l'étude des statistiques d'occupation de ces places électrifiées nuance fortement cette conclusion. Car même si ces places sont fortement sous-utilisées (voir 2.3) en ce qui concerne la recharge des véhicules, tous les parkings étudiés montrent des taux d'occupation élevés de ces places, entre 80% et 100%, durant les horaires de bureau des jours de semaine. Pour certains parkings situés à proximité directe d'infrastructure de loisirs, ce constat est également valable pour les jours de week-end.

Ainsi, s'il est tout à fait possible, l'accès à un point de charge sur le domaine public ne semble pas actuellement garanti en tout temps aux possesseurs de véhicules électriques.

En ce qui concerne la disponibilité des infrastructures de recharge publiquement accessibles sur le territoire des communes considérées, elle a été évaluée grâce à la plateforme map.geo.admin.ch. Celle-ci permet de visualiser de nombreuses données différentes, dont les infrastructures de recharge installées, ainsi que leurs caractéristiques. Des APIs vers les différentes couches permettent d'accéder directement à ces données afin de les analyser. Le Tableau 11 ci-dessous résume la situation des communes considérées dans cette étude en ce qui concerne la disponibilité d'IRVE publiquement accessibles.

Tableau 11: IRVE publiquement accessibles sur le territoire des communes du groupe d'accompagnement

Communes	Nombre de PdC AC (VE/PdC)	Nombre de PdC DC (VE/PdC)
Bienne	16 (11.9)	6 (31.7)
Echallens	3 (14)	1 (42)
Val-de-Travers	5 (12.8)	0 (N.A.)

Avec un total de 22 points de charge publiquement accessibles pour 190 véhicules électriques immatriculés, soit 1 point de charge pour 8.6 véhicules, la ville de Bienne présente l'infrastructure la plus dense. Ce constat est le même si l'on ne considère que les points de charge rapide en courant continu (DC). A l'autre bout du spectre, la commune du Val-de-Travers ne présente que 5 points de charge pour 64 véhicules électriques, soit une densité d'1 point de charge pour 12.8 voitures électriques. Au sein des communes considérées dans cette étude, la densité de l'infrastructure de recharge décroît avec la densité du milieu d'habitation. Il est intéressant de noter ici que cette tendance diffère de celle concernant la densité de voitures électriques.

3. Estimation du nombre de véhicules sans accès à un point de charge privé

Le nombre de véhicules électriques ne pouvant avoir accès à un point de charge privé à l'horizon 2030 est un point central de la caractérisation de l'infrastructure de recharge à déployer. L'estimation de la proportion de ces véhicules sur la flotte totale est d'ailleurs la première question de recherche figurant dans l'introduction de ce document.

3.1 Méthodologie

Un véhicule, peu importe son type, est lié à un point de stationnement fixe par son propriétaire. Dans ce contexte, il est important de distinguer les voitures appartenant à des entreprises des voitures détenues par des particuliers.

En ce qui concerne les premières, leur proportion est estimée aux alentours de 15% de toutes les voitures de tourisme [11]. Cette catégorie de véhicules peut être divisée en deux sous-catégories : les voitures de service et les voitures de fonction. Les véhicules de service sont réservés aux usages strictement professionnels et sont rattachés à la localisation des entreprises les détenant. Il est fait l'hypothèse ici que ces véhicules ont accès à un point de charge privé. En effet, le temps nécessaire à la recharge ailleurs que sur le site de l'entreprise semble constituer un obstacle trop important pour être surmonté.

Pour ce qui est des voitures de fonction, leur utilisation étant étendue aux usages privés des employés qui en bénéficient, elles peuvent être assimilées à des voitures détenues par des particuliers en ce qui concerne l'accès à la recharge. En effet, ces voitures de fonction sont majoritairement rattachées au domicile de leurs bénéficiaires.

Ainsi, pour une partie des véhicules d'entreprise comme pour les voitures détenues par des particuliers, le domicile du conducteur principal constitue le point d'attache du véhicule. La disponibilité d'un point de charge privé au domicile est donc l'élément particulièrement déterminant. Or, celle-ci est fortement influencée par la typologie du logement (catégorie de bâtiment et régime de propriété du logement).

Afin d'évaluer ces aspects, des entretiens ont été menés avec plusieurs régies immobilières, gérant des immeubles d'habitation et des places de stationnement pour leur propre compte ou pour des propriétaires tiers. Des questions concernant l'état actuel et l'évolution envisagée de l'électrification des places de parc sous leur gestion, leur perception de l'électromobilité ainsi que les principales barrières perçues leur ont été posées. Les réponses récoltées lors de ces différents entretiens ont ensuite été regroupées et consolidées afin de dégager des tendances à court et moyen terme concernant l'électrification des places de stationnement en habitats collectifs.

La typologie des logements des trois communes étudiées (Bienne, Echallens et le Val-de-Travers) a ensuite été analysée puis recoupée avec les tendances dégagées précédemment.

3.2 Synthèses des entretiens avec les acteurs de l'immobilier

3.2.1 SITUATION ACTUELLE

Pour ce qui est de la situation actuelle, toutes les régies immobilières interrogées nous ont indiqué que l'électrification des places de parc placées sous leur gestion était marginale, voire inexistante. Un taux d'électrification de l'ordre de 1% a été articulé, mais ce chiffre est incertain, car aucune des régies interrogées ne disposait d'un registre dédié. L'une des régies a indiqué que la politique adoptée lors d'une demande d'électrification adressée par un locataire était la non-entrée en matière et une invitation à reformuler la demande à partir de 2023, un laps de temps devant

permettre la mise en place de solutions. Néanmoins, toutes ont indiqué que ces demandes étaient en augmentation. Ces entretiens ont donc confirmé qu'il est, au moment de la rédaction de ce document, encore très difficile pour les locataires de logement en immeubles d'habitation d'avoir accès à un point de charge privé à leur domicile. Dans une certaine mesure, ce constat peut être étendu aux propriétaires de logement par étage. En effet, un nombre important d'immeubles en propriété par étage ne sont pas directement gérés par les copropriétaires et sont confiés à des régies, freinant ainsi l'installation d'infrastructure de recharge. Cette analyse a été confirmée lors d'entretiens avec le groupe d'accompagnement, et notamment avec le représentant de la Fondation des Parkings.

3.2.2 EVOLUTION DE LA SITUATION

En ce qui concerne les freins à une évolution positive de cette situation, les régies ont confirmé que l'électrification d'une place de parc n'était pas, du moins actuellement, un élément permettant de louer plus facilement le logement associé, ceci en raison de la forte tension du marché immobilier. De plus, toutes ont mentionné des réticences à investir dans l'électrification des parkings en raison d'un manque de vision claire sur l'évolution à moyen terme de la mobilité électrique. En effet, des discours sur de probables pénuries d'électricité ou l'avènement de la voiture à hydrogène créent des incertitudes quant à la pérennité de cette technologie. De plus, toutes ont évoqué la difficulté à intégrer des infrastructures de recharge dans des immeubles existants, et parfois âgés, et les dépenses importantes nécessaires à l'augmentation de la puissance de l'introduction électrique des bâtiments comme des freins importants. Ainsi, les acteurs de l'immobilier interrogés perçoivent en partie l'électrification des parkings comme une nouvelle contrainte qui leur est imposée de l'extérieur.

Néanmoins, une partie d'entre eux ont indiqué également percevoir les opportunités que pourrait leur offrir la mobilité électrique. Tous les acteurs interrogés ont mentionné les possibilités d'améliorer l'attractivité de leur logement et d'offrir de nouveaux services associés à la mobilité électrique. Cependant, comme mentionné précédemment, l'attractivité des biens mis en location n'est pas encore significativement impactée par l'électrification des parkings. De plus, pour ce qui relève des nouveaux services, tous n'ont pas une attitude proactive à ce sujet et certains se disent prêts à suivre une évolution, mais ne souhaitent pas en être le moteur.

Un élément laissant également entrevoir l'arrivée d'un changement est la prise en considération de l'électromobilité dans la construction de nouveaux parkings au travers du pré-équipement d'une partie des places, un ordre de grandeur de 20% semble être actuellement la norme. Il s'agit cependant de pré-équipement et non d'équipement avec la mise à disposition de points de charge. De plus, les personnes interrogées n'étaient pas en mesure de définir le niveau de pré-équipement. Il est ainsi probable que seules des gaines techniques permettant le passage de futurs câbles aient été prévues, mais que l'électrification réelle des parkings ne soit pas encore réalisée.

3.2.3 PRINCIPALES BARRIÈRES

La difficulté d'intégrer une infrastructure de recharge dans des immeubles existants a été mentionnée par la majorité des acteurs interrogés. Les installations électriques de ces bâtiments n'ayant pas été conçues pour cet usage, ces difficultés techniques engendrent des coûts perçus comme rédhibitoires. Les coûts liés à l'augmentation de l'ampérage de l'introduction électrique, soit la taxe de raccordement ou même la participation aux coûts de raccordement, ont été identifiés comme une barrière particulièrement importante. En effet, ceux-ci constituent des investissements conséquents devant être réalisés immédiatement en prévision d'une utilisation encore incertaine et distante de quelques années.

3.3 Scénarios d'accès à un point de charge à domicile

3.3.1 DIFFÉRENCIATION SELON LE TYPE DE LOGEMENT ET LE RÉGIME DE PROPRIÉTÉ

Sur la base des considérations présentées ci-dessus, des scénarios d'accès à un point de charge privé à domicile à l'horizon 2030 ont été établis. La quantification des éléments essentiellement qualitatifs recueillis lors des entretiens avec les acteurs de l'immobilier et les membres du groupe d'accompagnement étant par nature sujette à une importante incertitude, le scénario « moyen » est complété d'un scénario « pessimiste » et d'un scénario « optimiste » permettant de caractériser la sensibilité des résultats à ces hypothèses. Ces scénarios s'articulent autour du type de logement et du régime de propriété.

En ce qui concerne les maisons individuelles, aucun obstacle significatif à la disponibilité de la recharge à domicile n'a été identifié. En effet, les villas disposent dans leur écrasante majorité d'une ou plusieurs places de stationnement. De plus, elles sont structurellement occupées par une frange financièrement aisée de la population pour qui les coûts associés à l'installation d'une borne de recharge ne constituent pas un problème. Pour cette raison, la probabilité d'accès à un point de charge privé est considérée comme quasi-certaine pour les occupants de ce type de logement, indépendamment du régime de propriété. Des réserves estimées de 5% pour le scénario « moyen » et de 10% pour le scénario « pessimiste » sont néanmoins intégrées pour tenir compte des cas particuliers (Tableau 13).

Au contraire, pour ce qui touche les logements collectifs, le régime de propriété prend une importance accrue. Au vu des éléments présentés à la section précédente et des interviews avec des gérances immobilières, il semble très peu probable qu'une part importante des locataires ait un accès facilité à la recharge à leur domicile à l'horizon 2030. Néanmoins, il serait excessivement pessimiste de considérer que cette part sera encore quasi nulle dans 8 ans. En effet, l'arrivée sur le marché de contracteurs à même d'aider les propriétaires et gérants d'immeubles dans leurs démarches et la prise en compte de l'électrification des parkings dans les nouvelles constructions montrent clairement le début d'une évolution. Dans son règlement d'exécution de sa loi sur l'énergie, le canton de Neuchâtel contraint ainsi les nouvelles constructions à intégrer un pré-équipement de 80% des places de stationnement. De plus, la Confédération intègre des acteurs de l'immobilier à sa feuille de route pour la mobilité électrique et cherche activement à accélérer l'électrification du stationnement à domicile. Ainsi, la part de l'accès à un point de charge privé à domicile pour les locataires de logements collectifs en Suisse a été estimée entre 5% et 20%, avec une valeur de 10% pour le scénario moyen.

En ce qui concerne les PPE, la nécessité de réaliser des investissements communs afin d'électrifier des parkings collectifs peut provoquer des blocages lors des assemblées. Ce frein potentiel a déjà été identifié et certains cantons, comme le canton de Vaud, ont mis en place des aides financières spécifiquement destinées à ce type de parkings collectifs. De plus, la présence sur le marché de contracteurs susceptibles de réaliser ces investissements en lieu et place des copropriétaires atténue encore ce problème. Ainsi, il est fait l'hypothèse qu'à l'horizon 2030, une part significative des propriétaires de logement par étage auront un accès facilité à la recharge à leur domicile. Cette part est estimée entre 33% et 75% avec une valeur « moyenne » de 50%. Ceci est une estimation basée sur des discussions avec les experts du groupe d'accompagnement et les interviews de gérances.

Tableau 12: scénarios d'accès à la recharge facilitée à domicile (pessimiste-moyen-optimiste)

	Locataires	Propriétaires
Logements individuels	90% - 95% -100%	90% - 95% -100%
Logements collectifs	5% - 10% - 20%	33% - 50% - 75%

3.3.2 MISE EN PERSPECTIVE

Dans le cadre de la présente étude, l'institut Gfs.bern a mis à disposition les données brutes de l'enquête réalisée dans le cadre du « Baromètre de l'électromobilité 2021 » [12] pour le TCS. Cet accès privilégié a permis le croisement de critères ne figurant pas dans la publication finale et de mettre en perspective les scénarios définis ci-dessus.

Ainsi, les personnes interrogées par l'institut de sondage étaient invitées à se prononcer sur le principal élément s'opposant, à leurs yeux, à l'acquisition d'un véhicule électrique. Parmi les propositions figurait l'impossibilité de recharger le véhicule au domicile ou au travail. Elles étaient également invitées à renseigner le type de logement occupé.

Parmi les répondants vivants en logement individuel (villa ou maison mitoyenne), seulement 4.4% des personnes ont indiqué l'impossibilité d'accès à un point de charge comme étant l'obstacle principal à l'achat d'un véhicule électrique. En revanche, cette proportion est de 15% pour les personnes vivant en logement collectif. Cette comparaison montre que l'accès à un point de charge privé est, comme décrit sous 3.2, un problème plus marqué pour les personnes vivants en appartement.

Tableau 13: importance relative de l'accès à un PdC fixe selon le type de logement occupé

	Logements individuels	Logements collectifs
Impossibilité d'accès à un PdC	4.4%	15.0%
Autres raisons	95.6%	85%
Taux de réponse	62.9%	64.5%

Il est néanmoins important de mentionner ici qu'il s'agit d'une évaluation de l'importance de l'accès à un point de charge privé et non de l'accès lui-même.

3.4 Estimation de la probabilité de la recharge à domicile

3.4.1 RÉGIME DE PROPRIÉTÉ PAR TYPE DE BÂTIMENT

L'Office fédéral de la statistique (OFS) met à disposition à travers une plateforme web [13] des données détaillées à propos des logements en Suisse. Cette base de données intègre notamment le régime de propriété ainsi que le type de bâtiment dans lequel est situé le logement. Le Tableau 14 ci-dessous résume le croisement de ces deux critères au niveau national.

Tableau 14: régime de propriété des logements selon le type de bâtiment

	Bâtiments à usage partiel d'habitation	Bâtiments d'habitation avec usage secondaire	Immeubles d'habitation	Maisons individuelles
Ménage locataire du logement	75%	75.8%	80.6%	14.5%
Ménage propriétaire du logement	25%	24.2%	19.4%	85.5%

Les trois premières catégories, soit les « bâtiments à usage partiel d'habitation », les « bâtiments d'habitation avec usage secondaire » et les « immeubles d'habitation », sont considérées ici comme des logements collectifs, selon la classification introduite à la section 3.3.

L'observation de ce tableau montre clairement la différence significative entre logements collectifs et logements individuels en ce qui concerne le régime de priorité. En effet, les logements individuels sont majoritairement occupés par leurs propriétaires alors que la proportion s'inverse pour les logements collectifs.

3.4.2 COMPOSITION DU PARC IMMOBILIER DES COMMUNES REPRÉSENTATIVES

Des données concernant la composition du parc immobilier sont également mises à disposition par l'Office fédéral de la statistique à travers le registre fédéral des bâtiments et des logements [14]. Celles-ci sont différenciées non seulement selon les communes, mais également selon le type de bâtiment.

Le Tableau 15 ci-dessous résume la composition du parc de bâtiments d'habitation sur le territoire des communes considérées. Seuls les bâtiments existants sont considérés. En ce qui concerne la catégorie des maisons individuelles, celle-ci intègre également les villas mitoyennes. La différence entre les communes urbaines et rurales en ce qui concerne la proportion de logements individuels apparaît clairement.

Tableau 15: répartition des bâtiments d'habitation par type sur les communes représentatives

	Bâtiments à usage partiel d'habitation	Bâtiments d'habitation avec usage secondaire	Immeubles d'habitation	Maisons individuelles
Bienne (urbain)	6.9%	12.2%	42.7%	38.2%
Echallens (péri-urbain)	4.3%	6.3%	12.6%	76.8%
Val-de-Travers (rural)	8.4%	4.8%	20.8%	66.0%

La répartition des bâtiments par type ne reflète cependant pas directement la répartition des ménages. En effet, il est nécessaire de pondérer les proportions du Tableau 15 par le nombre de ménages par type de bâtiment.

Cette occupation est considérée identique dans les trois milieux d'habitation (urbain, périurbain et rural) et résumée ci-dessous. Les valeurs du Tableau 16 sont extraites d'une analyse des données du registre fédéral des bâtiments et logements, restreinte au canton de Vaud¹.

¹ Les données au niveau national sont trop volumineuses pour être traitées.

Tableau 16: répartition des ménages par type de bâtiment [14]

	Bâtiments à usage partiel d'habitation	Bâtiments d'habitation avec usage secondaire	Immeubles d'habitation	Maisons individuelles
Nombre de ménages par bâtiment	2.05	10.85	8.86	1.17

Le croisement des tableaux 14, 15 et 16 permet ainsi d'estimer la distribution des ménages sur chacune des communes considérées selon le régime de propriété et le type de bâtiment occupé. Cette distribution est donnée par le Tableau 17 ci-dessous.

L'observation de ce tableau relève clairement qu'en milieu urbain, l'immense majorité des ménages (plus de 92%) occupent un logement collectif. En milieu périurbain, en revanche, près d'un ménage sur trois occupe un logement individuel.

Tableau 17: répartition des ménages par type de bâtiment et régime de propriété

		Bâtiments à usage partiel d'habitation	Bâtiments d'habitation avec usage secondaire	Immeubles d'habitation	Maisons individuelles
Bienne (urbain)	Répartition des ménages	2.50%	23.30%	66.36%	7.84%
	Ménages locataires	1.87%	17.65%	53.49%	1.14%
	Ménages propriétaires	0.63%	5.65%	12.87%	6.70%
Echallens (périurbain)	Répartition des ménages	3.16%	24.53%	40.06%	32.25%
	Ménages locataires	2.37%	18.58%	32.29%	4.67%
	Ménages propriétaires	0.79%	5.95%	7.77%	27.57%
Val-de-Travers (rural)	Répartition des ménages	5.20%	15.72%	55.77%	23.31%
	Ménages locataires	3.90%	11.91%	44.96%	3.38%
	Ménages propriétaires	1.30%	3.81%	10.82%	19.93%

3.4.3 ESTIMATION DE LA PROPORTION DES MÉNAGES SANS ACCÈS À UN POINT DE CHARGE PRIVÉ À DOMICILE

La part des ménages ne pouvant avoir accès à un point de charge privé à domicile à l'horizon 2030 est estimée au travers du croisement des scénarios du Tableau 12 et du Tableau 17.

Cette estimation est présentée pour chacun des trois scénarios définis sous 3.3 dans le Tableau 18 ci-dessous. Les proportions y sont arrondies en raison de l'incertitude significative introduite par les hypothèses d'accès à un point de charge à domicile.

Tableau 18: estimation de la part des ménages sans accès à un PdC fixe à domicile à l'horizon 2030

	Scénario « pessimiste »	Scénario « moyen »	Scénario « optimiste »
Bienne (urbain)	83%	76%	63%
Echallens (péri-urbain)	64%	57%	46%
Val-de-Travers (rural)	71%	64%	53%

De manière générale, un ordre de grandeur de 65 à 75% de ménages sans accès à la recharge à domicile à l'horizon 2030 semble être une proportion plausible, même si d'importantes disparités entre les milieux ruraux et les milieux urbains sont à prévoir. En effet, la proportion de logements individuels occupés par leurs propriétaires joue un rôle prépondérant dans cette estimation.

La comparaison des scénarios « pessimiste », « moyen » et « optimiste » montre également la grande sensibilité de ce résultat à la probabilité d'accès à la charge à domicile. Plus qu'un chiffre unique, il est ainsi plus judicieux de considérer une fourchette comprise entre 50% et 80% selon le milieu d'habitation et l'évolution de l'accès à la charge à domicile pour les habitants de logements collectifs.

3.4.4 MISE EN PERSPECTIVE

L'analyse des données d'enquête fournies par Gfs.bern [12] permet également de mettre ces résultats en perspective.

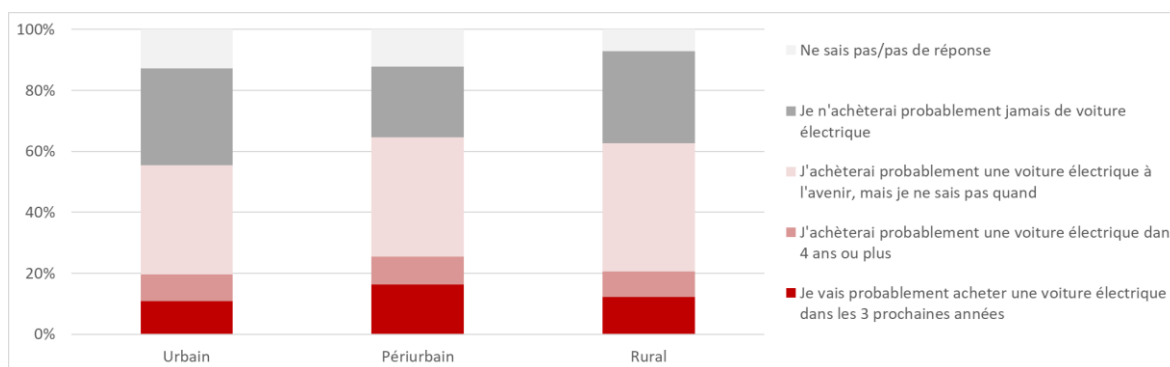


Figure 9: probabilité d'achat selon le milieu d'habitation (enquête Gfs.bern)

Comme le montre la Figure 9 ci-dessus, la population la plus encline à l'achat à court terme (3 ans) d'un véhicule électrique est celle du milieu périurbain (16%). C'est également dans ce milieu d'habitation que la proportion de ménages sans accès à un point de charge privé est estimée la plus basse selon la méthodologie présentée sous 3.4.3.

En revanche, il n'y a pas de différence significative entre les milieux urbains et ruraux en ce qui concerne la probabilité d'achat d'un véhicule électrique, que ce soit à court ou moyen terme. Or, comme le montre le Tableau 18, il existe une différence claire entre ces milieux en ce qui concerne l'accès estimé à un point de charge privé en 2030.

Cette apparente similitude peut être, du moins partiellement, expliquée par la probabilité d'achat d'un véhicule individuel, indépendamment de sa motorisation. En effet, celle-ci est réduite en

milieu urbain, en raison de la proximité des centres d'intérêt et de la disponibilité des transports publics.

Finalement, il est particulièrement important de rappeler ici que cette estimation est faite à l'horizon 2030. Elle n'est donc pas représentative d'une situation stable à long terme et reflète plus un point temporel faisant partie d'un régime transitoire. En effet, à terme, il est très probable que la recharge à domicile devienne fortement majoritaire. À ce moment, les ménages n'ayant pas accès à un point de charge privé seront essentiellement représentés par ceux ne possédant pas de place de stationnement à leur logement (ex : macaron pour les centres historiques piétons). Cette frange de la population est bien moindre que celle estimée dans ce chapitre (voir Figure 7).

3.5 Estimation des besoins de recharge en dehors du domicile

Cette proportion de ménages sans accès à la recharge à domicile est utilisée afin d'estimer les besoins en infrastructures de recharge publiquement accessibles. Ceux-ci sont évalués par le croisement des données du Tableau 18 avec celles présentées au chapitre 2, et plus précisément le nombre de véhicules immatriculés dans chacune des communes (Tableau 10) ainsi que les données de déplacement par milieu d'habitation (Tableau 5). Une pénétration de la mobilité électrique de 30%, uniforme selon les milieux d'habitation, est considérée ici. De manière plus détaillée, ces besoins sont estimés de la manière suivante :

- Le nombre de véhicules électriques immatriculés sur la commune est estimé par la multiplication du nombre de véhicules immatriculés actuellement et le taux de pénétration de la mobilité électrique.
- Ce nombre est multiplié par la proportion de ménages sans accès à la charge fixe selon le scénario moyen, différencié par milieu d'habitation.
- Finalement, ce chiffre est ramené au nombre d'habitants des communes considérées.

Tableau 19: estimation du nombre de véhicules électriques sans accès à un PdC à domicile à l'horizon 2030 pour 1000 habitants

	Scénario « pessimiste »	Scénario « moyen »	Scénario « optimiste »
Bienne (urbain)	95	87	72
Echallens (péri-urbain)	108	96	78
Val-de-Travers (rural)	129	116	96

Le Tableau 19 ci-dessus résume ainsi l'estimation du nombre de véhicules électriques sans accès à un point de charge privé à domicile à l'horizon 2030, ceci pour les 3 scénarios décrits plus haut et pour chacun des milieux d'habitation considérés. Les chiffres sont rapportés à une population de 1000 habitants afin de mettre en évidence les différences entre les milieux d'habitation.

Ainsi, malgré une proportion plus élevée de ménages sans accès à un point de charge privé, le milieu urbain présente un nombre inférieur de véhicules sans accès à un point de charge privé par habitant que le milieu rural. Cette différence s'explique par le nombre inférieur de véhicules par habitant caractérisant le milieu urbain.

Cette différence se renforce encore lorsque l'on considère les besoins en infrastructures de recharge, exprimés en MWh annuels. Evalués à partir de la consommation moyenne des véhicules électriques (0.18 kWh/km) et des déplacements journaliers en transports individuels motorisés, ceux-ci sont résumés dans le Tableau 20.

Tableau 20 : estimation des besoins en infrastructures de recharge publiquement accessibles à l'horizon 2030 pour 1000 habitants

	Scénario « pessimiste »	Scénario « moyen »	Scénario « optimiste »
Bienne (urbain)	129 MWh/an	118 MWh/an	98 MWh/an
Echallens (péri-urbain)	213 MWh/an	190 MWh/an	153 MWh/an
Val-de-Travers (rural)	268 MWh/an	242 MWh/an	200 MWh/an

Ainsi, les besoins en recharge de manière relative varient presque du simple au double entre les milieux urbains et ruraux. Le plus grand nombre de véhicules et des distances parcourues en voiture plus longues ont une influence plus importante sur les besoins en infrastructures de recharge que la part de ménages n'ayant pas accès à un point de charge à domicile.

Néanmoins, l'influence de la part de ménages sans accès à la recharge à domicile n'est pas nulle. La comparaison des besoins entre les scénarios montre en effet un écart de l'ordre de $\pm 15\%$, caractérisant ainsi la sensibilité de l'estimation des besoins en infrastructures de recharge publiquement accessibles aux hypothèses faites à la section 3.3.

Afin de ne pas entraver le déploiement de la mobilité électrique, ces besoins doivent être couverts par une infrastructure remplissant deux critères essentiels. En effet, celle-ci doit non seulement s'intégrer dans les possibilités et les habitudes de stationnement des automobilistes, mais également être économiquement raisonnable. Ces points font respectivement l'objet des deux chapitres suivants.

4. Caractérisation des possibilités et habitudes de stationnement

Afin de mettre en balance les besoins en recharge, les possibilités de recharge en dehors du domicile et du lieu de travail ainsi que les habitudes de stationnement, les données de stationnement des communes considérées ont été recueillies et analysées. Cette analyse fait l'objet du présent chapitre.

4.1 Aspects méthodologiques

Dans le but d'identifier les possibilités de stationnement dans chacune des communes représentatives considérées dans cette étude, la structure de celles-ci a été établie selon deux axes de catégorisation influençant le type et les coûts des infrastructures de recharges pouvant y être installées. Seuls les parkings publiquement accessibles ont été considérés. Les stationnements en « zone jaune » ou les parkings privés (entreprises, résidentiels, etc...) ont été exclus des données considérées.

Le premier axe est lié au temps de stationnement maximal. Les places de stationnement y sont réparties en trois catégories selon le Tableau 21. Cette catégorisation des places de stationnement s'appuie sur l'utilisation diurne des emplacements considérés. Elle ne prend pas en compte l'absence de limitation du temps de stationnement durant la nuit mise en place dans un grand nombre de communes. Une place de stationnement en « zone bleue » est donc considérée comme une place de stationnement de courte durée, même s'il est possible de s'y garer plusieurs heures durant la nuit.

Tableau 21: catégorisation des possibilités de stationnement selon la durée maximale

Catégorie	Temps de stationnement maximal
Courte	Jusqu'à 1h30
Longue	Jusqu'à 12h
Très longue	Plus de 12h

Le second axe de catégorisation a trait à la typologie du stationnement, définie par le Tableau 22 ci-dessous. Les parkings « en voirie » représentent principalement les places situées directement en bordure des voies de circulation, typiquement selon une disposition « latérale » ou « en épis ». Ces lieux de stationnement regroupent généralement un petit nombre de places de parc, typiquement de quelques unités.

Tableau 22: catégorisation selon le type de parking

Catégorie	Type de parking considéré
Voirie	Places en bordure des voies de circulation, regroupées par petit nombre
Parkings extérieurs	Parkings extérieurs regroupant un grand nombre de places et physiquement séparés des voies de circulation
Parkings intérieurs	Parkings intérieurs regroupant un grand nombre de places

Les « parkings extérieurs » représentent des lieux de stationnement clairement séparés des voies de circulation, possédant un accès dédié et regroupant un grand nombre de places de parc, de quelques dizaines à plusieurs centaines.

Les « parkings intérieurs » représentent les grands parkings en ouvrage, également équipés d'un accès dédié et regroupant un grand nombre de places de parc. Une distinction est faite avec les parkings extérieurs en raison des impacts sur les coûts d'installation d'infrastructures de recharge, comme décrits au chapitre suivant.

4.2 Données de stationnement récoltées auprès des communes

Les données concernant les possibilités de stationnement sur le territoire des communes considérées ont été transmises directement par les administrations concernées, selon leur disponibilité et sous diverses formes. La catégorisation de ces possibilités selon la méthodologie décrite à la section précédente est résumée pour les trois communes selon les tableaux ci-dessous. Afin de prendre en compte la différence de taille entre les communes considérées, le nombre de places de stationnement associé à chaque catégorie est rapporté au nombre de voitures de tourisme immatriculées sur le territoire communal ainsi qu'au nombre d'habitants.

Tableau 23: structure des possibilités de stationnement sur le territoire de la commune de Bienne

		Courte (< 1.5h)	Longue (< 12h)	Très longue (>12h)
Voirie (< 20places)	Pour 1000 voit.	212	103	N.A.
	Pour 1000 hab.	81	39	N.A.
	Total	4465	2171	0
Parkings extérieurs	Pour 1000 voit.	5	23	36
	Pour 1000 hab.	1.9	8.9	13.9
	Total	104	494	770
Parkings couverts	Pour 1000 voit.	15	171	4
	Pour 1000 hab.	5.9	65.5	1.5
	Total	325	3618	82

En ce qui concerne la commune de Bienne, aucune place de stationnement de très longue durée n'est située en voirie, les places en « zone blanche » ayant été considérées comme des places de stationnement de longue durée (jusqu'à 12 heures). Les places de stationnement situées dans des parkings couverts n'indiquant pas de temps de stationnement ont également été considérées comme des places de stationnement de longue durée. En effet, l'absence de limite de durée de stationnement ne signifie pas nécessairement que les véhicules y restent stationnés plus de 12 heures.

Tableau 24: structure des possibilités de stationnement sur le territoire de la commune d'Echallens

		Courte (< 1.5h)	Longue (< 12h)	Très longue (>12h)
Voirie (< 20places)	Pour 1000 voit.	65	28	44
	Pour 1000 hab.	37	36	25
	Total	211	208	141
Parkings extérieurs	Pour 1000 voit.	16	28	109
	Pour 1000 hab.	9	16	61
	Total	53	90	352
Parkings couverts	Pour 1000 voit.	0	33	0
	Pour 1000 hab.	0.0	19	0.0
	Total	0	107	0

Les données concernant la commune du Val-de-Travers ne sont malheureusement pas aussi détaillées, l'administration ne possédant pas de registre détaillant la durée de stationnement ou le type de parking. Les données du Tableau 25 concernent les places de stationnement situées en zone « bleue » ou « blanche » sur des parcelles publiques.

Tableau 25: structure des possibilités de stationnement sur le territoire de la commune du Val-de-Travers

	Courte ou longue (Zone bleue ou zone blanche)
Pour 1000 voit.	305
Pour 1000 hab.	185
Total	1954

4.3 Evaluation du potentiel de recharge de véhicules électriques

4.3.1 ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES

Dans le but d'identifier les catégories de stationnement présentant le plus grand potentiel de réponse aux besoins de recharge et de situer ce potentiel vis-à-vis de ces besoins estimés à la section 3.5, les possibilités de stationnement résumées ci-dessus pour chacune des trois communes ont été croisées avec les données d'utilisation des infrastructures de recharge, ceci en deux temps.

Dans un premier, la puissance typique des points de charge pouvant être installée sur les places a été déterminée selon la correspondance prônée par Protoscar [15]. Pour les stationnements de longue durée (entre 1h30 et 12h) et de très longue durée (plus de 12h), des puissances de charge de respectivement 11 kW et 3.7 kW ont été retenues afin de refléter la différence entre ces comportements de stationnement, malgré la recommandation par Protoscar de la même fourchette de puissance.

Tableau 26: correspondance entre la catégorie de durée de stationnement et la puissance des points de charge

	Catégorie	Puissance des PdC [kW]
Courte (< 1.5h)	<i>Coffee & charge</i>	22
Longue (<12h)	<i>Shop & charge</i>	11
	<i>Work & charge</i>	
Très longue (>12h)	<i>Sleep & charge</i>	3.7

La puissance des points de charge a ensuite été utilisée pour estimer l'énergie potentiellement délivrable. Cette estimation se base sur les statistiques d'utilisation fournies par les membres du groupe d'accompagnement et résumées dans le Tableau 27. En ce qui concerne les points de charge d'une puissance nominale de 22 kW, aucune différenciation entre une charge en courant continu et une charge en courant alternatif n'est considérée en ce qui concerne l'énergie distribuée. Il est cependant pertinent de mentionner ici qu'un nombre limité de modèles de véhicule électrique sont capables de charger à 22 kW en courant alternatif, la limite standard tendant vers 11 kW, soit 16 A triphasé.

Tableau 27: utilisation moyenne des points de charge par catégorie de puissance selon les statistiques fournies par les membres du groupe d'accompagnement

Type de points de charge	Nombre de charges mensuelles	Energie distribuée annuellement
3.7 kW (AC)	9	3'240 kWh
11 kW (AC)	30	7'200 kWh
22 kW (AC ou DC)	60	14'400 kWh

Il est important de mentionner que le potentiel d'énergie distribuable obtenu par le croisement de ces données est un potentiel théorique. En considérant la potentielle électrification de tous les emplacements de stationnement, il ne reflète évidemment pas une vision réaliste ou économiquement viable. Néanmoins, il permet de comparer entre elles les différentes catégories de stationnement considérées ici et de situer l'importance des besoins estimés au chapitre précédent. Finalement, cette évaluation se base sur les statistiques actuelles d'utilisation des points de charge.

4.3.2 COMMUNE DE BIENNE – (MILIEU URBAIN)

Le Tableau 28 résume le potentiel de recharge estimé pour la commune de Bienne, selon les catégories de durée de stationnement et les types de parking en considérant que 100% des places de parc soient équipées en bornes de recharge. Les valeurs reflètent l'énergie distribuable par année, exprimée en MWh, et ceci pour 1000 habitants.

Tableau 28: potentiel maximal théorique de recharge annuelle pour 1000 habitants - commune de Bienne

	Voirie	Parkings extérieurs	Parkings couverts	Totaux
Courte (< 1.5h)	1 165 MWh	27 MWh	85 MWh	1 277 MWh
Longue (< 12h)	283 MWh	64 MWh	472 MWh	819 MWh
Très longue (> 12h)	-	45 MWh	5 MWh	50 MWh

Totaux	1 448 MWh	137 MWh	561 MWh	2 146 MWh
---------------	-----------	---------	---------	------------------

Selon la méthodologie présentée ci-dessus, le potentiel théorique total est évalué à environ 2'150 MWh annuels pour 1000 habitants. Ce chiffre est près de 18 fois supérieur aux besoins estimés (118 MWh annuels pour 1000 habitants, voir Tableau 20). Si ce rapport peut paraître important au premier regard, il signifie qu'en moyenne, une place de stationnement publiquement accessible sur 18 devrait être électrifiée d'ici 8 ans afin de répondre aux besoins estimés au chapitre précédent.

Plus de la moitié de ce potentiel est issu des places de stationnement de courte durée situées en voirie. Ce résultat s'explique non seulement par leur plus grand nombre, mais également par le fait qu'un point de recharge de 11kW permet d'effectuer plus de charges sur une même période.

Les parkings couverts de longue durée constituent également une part importante du potentiel théorique.

4.3.3 COMMUNE D'ECHALLENS – (MILIEU PÉRIURBAIN)

Le Tableau 29 ci-dessous montre le résultat du même exercice réalisé sur les données de la commune d'Echallens, représentative du milieu péri-urbain.

Tableau 29: potentiel de recharge annuelle pour 1000 habitants - commune d'Echallens

	Voirie	Parkings extérieurs	Parkings couverts	Totaux
Courte (< 1.5h)	530 MWh	133 MWh	-	664 MWh
Longue (< 12h)	261 MWh	113 MWh	134 MWh	509 MWh
Très longue (> 12h)	80 MWh	199 MWh	-	279 MWh
Totaux	872 MWh	445 MWh	134 MWh	1 451 MWh

La comparaison avec le milieu urbain représenté par Bienne montre un potentiel théorique rapporté à 1000 habitants significativement moins grand (-33%), ceci alors même que les besoins estimés sont supérieurs (190 MWh pour 1000 habitants contre 118 MWh en milieu urbain, soit 60% de plus). Ainsi, le rapport entre le potentiel théorique et les besoins estimés n'est que de 7.6 dans le cas de la commune d'Echallens. Ce faible rapport laisse présager une situation de fortes tensions.

Dans ce cas aussi, la plus grosse part du potentiel théorique est constituée des places de stationnement de courte de durée situées en voirie. Les parkings extérieurs de longue et de très longue durée présentent également un potentiel non négligeable.

4.3.4 COMMUNE DE VAL-DE-TRAVERS – (MILIEU RURAL)

En raison de l'absence de données détaillées, il n'a pas été possible de réaliser la même estimation du potentiel pour la commune du Val-de-Travers.

Néanmoins, un ordre de grandeur peut être dégagé en répartissant les 1954 places de stationnement sur le domaine public entre les stationnements de courte et longue durée et les parkings « en voirie » et « extérieurs » de manière similaire à la répartition observée sur la commune d'Echallens.

Tableau 30: estimation du potentiel de recharge annuelle pour 1000 habitants - commune de Val-de-Travers

	Voirie	Parkings extérieurs	Parkings couverts	Totaux
Courte (< 1.5h)	999 MWh	250 MWh	-	1250 MWh
Longue (< 12h)	492 MWh	213 MWh	-	705 MWh
Très longue (> 12h)	-	-	-	-

Totaux	1 491 MWh	463 MWh	-	1 955 MWh
---------------	-----------	---------	---	------------------

Le potentiel total de 1'955 MWh annuels pour 1000 habitants est près de 8 fois supérieur aux besoins estimés au chapitre précédent. Ce rapport est sous-estimé, car il ne prend en compte que les places de parc situées sur des parcelles publiques et exclut donc les places de stationnement publiquement accessibles situées sur le domaine privé, telles que les parkings de centres commerciaux. En effet, ces données n'étaient pas disponibles dans le cas de la commune de Val-de-Travers, contrairement à celles d'Echallens et de Bienne.

Comme pour les autres communes considérées, le gros du potentiel théorique est constitué par les places de stationnement de courte durée, majoritairement situées en voirie.

4.4 Synthèse et mise en perspective

4.4.1 RISQUES DE MANQUE D'INFRASTRUCTURES DE RECHARGE

L'estimation du potentiel théorique d'infrastructures de recharge et sa comparaison aux besoins estimés à l'horizon 2030 engendrera une situation potentiellement problématique en ce qui concerne l'accès à la recharge.

En effet, même si les potentiels théoriques estimés sont supérieurs aux besoins, la couverture de ces derniers nécessiterait l'électrification d'une part importante des places de stationnement ouvertes au public. En se basant sur une utilisation des infrastructures similaire à celle d'aujourd'hui, la proportion de places de parc à équiper serait comprise entre une et 3 places sur 18.

Si d'un côté ces ratios sont susceptibles d'être réduits par une augmentation de l'utilisation des infrastructures de recharge ouvertes au public (actuellement sous-utilisées), d'un autre côté, l'écart entre les points de recharge actuels et ceux projetés pour 2030 nécessite une forte augmentation des installations.

Si les chiffres présentés dans ce chapitre et le précédent montrent que le déploiement de la recharge sur le domaine public doit être significativement accéléré pour répondre aux besoins dans les prochaines années, il est également nécessaire de prendre garde à ne pas surdimensionner l'infrastructure. En effet, l'estimation de l'accès à la recharge fixe à domicile présentée dans le chapitre 3 reflète un régime transitoire.

En effet, la recharge à domicile se développera fortement et finira par couvrir la grande majorité des besoins, mais dans un horizon plus lointain que 2030. Ainsi, à terme, seuls les besoins des ménages ne possédant pas une place de stationnement au domicile devront être couverts par l'infrastructure ouverte au public. Comme le montre la Figure 7, ceux-ci sont fortement minoritaires avec une proportion inférieure à 10% (voir Figure 7).

Dimensionner une infrastructure selon les besoins estimés pour 2030 pourrait constituer ainsi à plus long terme un surdimensionnement important (d'un facteur 5 à 7), comme l'illustre la Figure 10. Ceci nous prévient que d'éventuelles infrastructures de recharge publique surdimensionnées aujourd'hui risquent de subir le « syndrome de de la cabine téléphonique » après 2030. En effet, lorsque la recharge à domicile se sera démocratisée, l'utilisation des bornes publiques qui sont plus chères et moins pratiques pour les utilisateurs risque de fortement diminuer, impactant ainsi le retour sur amortissement de ces infrastructures (notamment concernant les coûts de génie civil).

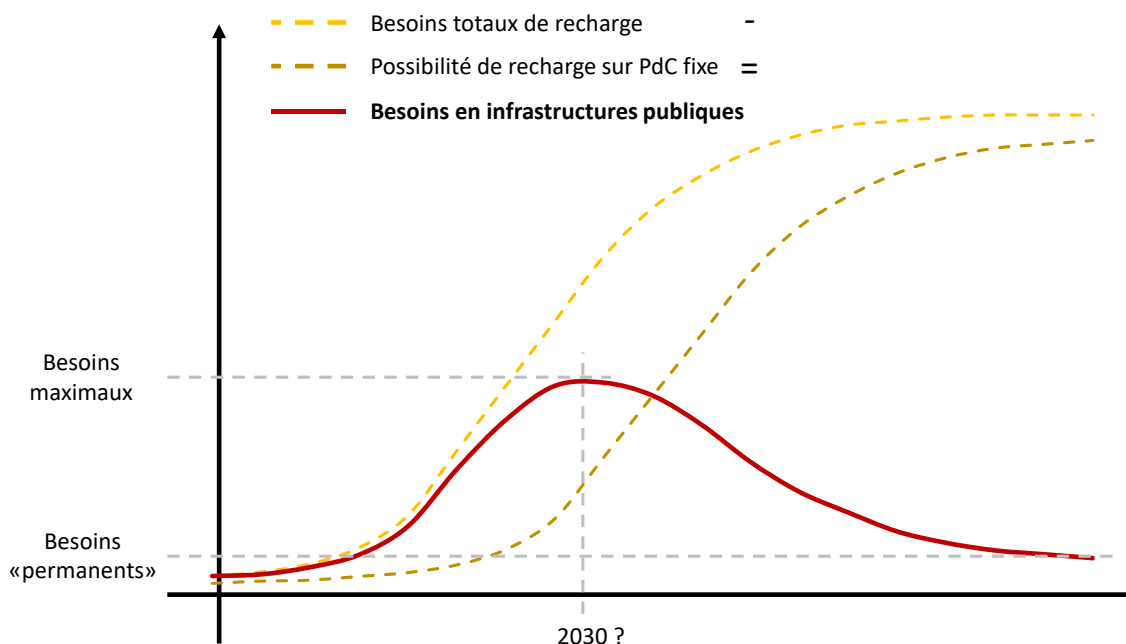


Figure 10: illustration du risque lié au décalage temporel de l'évolution des besoins en recharge et de la recharge sur PdC fixe – représentation schématique estimée de l'allure du décalage

Des discussions menées avec les services techniques de la ville d'Yverdon-les-Bains ont d'ailleurs montré que le dimensionnement de l'infrastructure de recharge publiquement accessible a été fait sur la base des besoins permanents. Ceux-ci ont été calculés à partir de la part des ménages ne pouvant stationner leur véhicule que sur la voie publique. Si cette politique est suivie par la majorité des porteurs de projets d'infrastructures de recharge, il existe un risque important que les besoins ne puissent être couverts par des solutions de « park & charge » durant la période transitoire créée par le décalage temporel entre l'évolution de la mobilité électrique et le développement de la charge à domicile ou sur le lieu de travail. La recharge rapide centralisée, sur le modèle des stations-service, serait alors la seule alternative. Or, cette solution se révèle significativement plus coûteuse pour l'utilisateur (voir section 5.4).

Comme illustré à la Figure 10, l'écart entre les besoins « permanents » et les besoins « maximaux » est directement lié au décalage temporel entre le développement de la mobilité électrique et celui de l'accès à la recharge privée. Afin de limiter les risques de surinvestissements et/ou de manque d'infrastructures de recharge, le développement de l'accès à la recharge privée semble ainsi être un axe d'action prioritaire (voir sous-section 8.1).

4.4.2 ADÉQUATION AVEC LES HABITUDES DE DÉPLACEMENT

L'estimation du potentiel théorique sur le territoire des différentes communes montre également que celui-ci est majoritairement constitué de places de stationnement de courte durée, essentiellement situées en voirie. Un projet pilote à Bâle [16] tente d'exploiter ce potentiel depuis 2020. Des points de charge de 22 kW sont installés en zone bleue et permettent d'adresser deux types de besoins. En journée, le stationnement y est limité à 2 heures et l'infrastructure de recharge répond principalement aux besoins des visiteurs. Durant la nuit, aucune limitation de durée de stationnement n'est appliquée, ce qui permet aux résidents ne disposant pas de places de parc électrifiées à domicile de recharger leurs véhicules sur l'espace public.

Comme le montre le Tableau 31 ci-dessous, les loisirs et les achats sont les principaux motifs de déplacement au niveau suisse. Les places de stationnement de courte durée situées en voirie ne correspondent pas nécessairement à ces habitudes de déplacement.

Tableau 31: habitudes de déplacement selon le motif [8]

Motif de déplacement	Nbr de déplacements quotidiens	Distance quotidienne	Part de la distance parcourue en voiture
Travail	0.71	8.85	22%
Formation	0.25	1.91	2%
Achats	0.75	4.77	15%
Loisirs	1.3	16.3	44%
Activités prof.	0.12	2.55	8%
Services	0.21	1.85	7%
Autres	0.03	0.65	2%

Finalement, la question de la rationalité économique se pose. Pour que la recharge sur l'espace public ne soit pas un frein à l'électromobilité, il est non seulement nécessaire que l'offre de recharge corresponde aux habitudes de stationnement, mais également que son coût reste raisonnable. Ce point particulièrement important est abordé au chapitre suivant.

5. Analyse économique

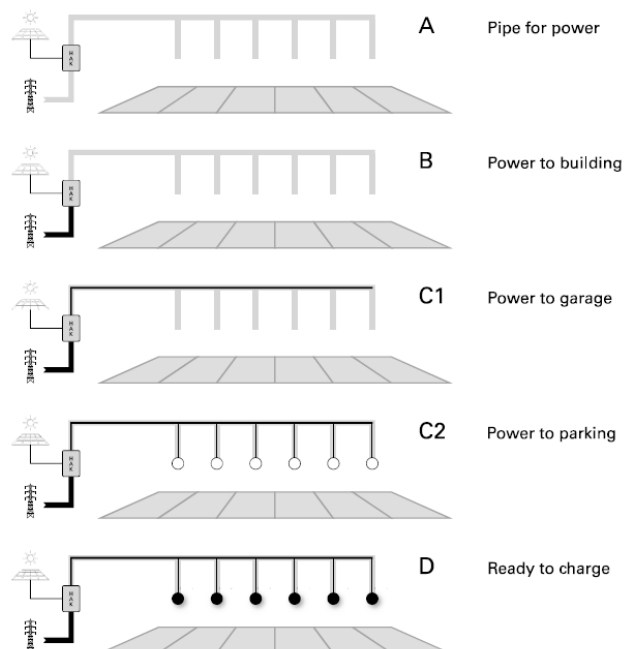
Comme mentionné au chapitre précédent, il est nécessaire de développer une infrastructure de recharge publiquement accessible qui réponde aux besoins tout en correspondant aux habitudes de stationnement. Mais il est également particulièrement important que les coûts de cette infrastructure, reportés sur les utilisateurs, restent acceptables et ne constituent pas un frein à l'adoption de la mobilité électrique.

5.1 Méthodologie

Afin d'évaluer les investissements nécessaires au déploiement d'une infrastructure de recharge, leurs répercussions sur les coûts de l'énergie distribuée aux utilisateurs ainsi que leur impact sur le coût total de possession, une méthodologie d'estimation a été développée.

Les investissements nécessaires au déploiement d'une infrastructure de recharge sont calculés selon des postes de coûts dont la structure reprend les niveaux d'équipement du cahier technique SIA 2060 « Infrastructure de recharge dans les bâtiments » (du niveau A « *pipe for power* » au niveau D « *ready to charge* ») et comporte également un élément lié aux frais d'utilisation.

Figure 11 : niveaux d'équipement selon SIA 2060



Les données de coûts utilisées ont été consolidées à partir d'indications fournies par un panel de fournisseurs de solutions de recharge, d'éléments provenant des membres du groupe d'accompagnement ainsi que sur la base de l'expérience acquise par le bureau Planair lors de la réalisation de différents projets liés à la mobilité électrique tels que des études de faisabilité et planification d'infrastructures de recharge pour différents types de parkings et d'utilisateurs.

La méthode développée pour l'estimation des coûts permet de refléter les différents types de lieux de stationnement décrits au chapitre précédent. Elle permet ainsi de différencier les parkings intérieurs des parkings extérieurs. Pour ces derniers, elle différencie également les places de stationnement en voirie de celles situées sur un parking extérieur de plus grande capacité.

La sélection de puissance nominale des points de charge selon le type d'utilisateur (habitants, employés, visiteurs) et la durée de stationnement a été réalisée en fonction des recommandations du cahier technique SIA 2060. Le cahier technique a permis également de fournir des bases de calcul du dimensionnement des infrastructures de recharge étudiées, notamment les facteurs de foisonnement et méthodes de calcul des puissances des infrastructures de recharge.

La puissance nominale des points de charge considérés est prise en compte sur l'ensemble de l'infrastructure. En effet, celle-ci impacte non seulement les coûts liés au niveau D (« *ready to charge* »), mais également ceux liés aux niveaux C (« *power to parking* ») et B (« *power to building* »). Finalement, les estimations de coûts prennent également en considération les caractéristiques électriques du parking considéré (existence préalable d'un raccordement et limite de puissance) ainsi que les coûts de financement.

Trois métriques de coûts sont utilisées. La première est le coût d'investissement total de l'infrastructure de recharge considérée. La seconde métrique est la répartition de ce coût d'investissement sur les points de charge effectivement équipés. La dernière métrique est le coût de revient de l'énergie distribuée par les points de charge. Cette dernière métrique prend en

compte non seulement l'amortissement des coûts d'investissement, mais également les coûts d'opération ainsi que les coûts d'approvisionnement en énergie.

5.2 Données et calcul des coûts

Les données de coûts utilisées ont été consolidées à partir d'indications fournies par un panel de fournisseurs de solutions de recharge, d'éléments provenant des membres du groupe d'accompagnement ainsi que sur la base de l'expérience acquise par le bureau Planair lors de la réalisation de différents projets de planification et de réalisation. Ces données sont détaillées dans les paragraphes suivants.

5.2.1 NIVEAU A – « PIPE FOR POWER »

Les coûts du niveau A correspondent aux travaux de génie civil liés notamment aux fouilles nécessaires aux différents raccordements électriques en extérieur. Le Tableau 32 ci-dessous résume les valeurs utilisées pour le coût linéaire des fouilles sur différents types de terrain. Ces valeurs sont issues de l'expérience acquise par Planair lors de différents mandats de planification électrique.

Tableau 32: niveau A - coûts des fouilles

Type de terrain	Coûts des fouilles
Milieu urbain	1000 CHF/m
Route/terrain goudronné	300 CHF/m
Terrain privé	50 CHF/m

Le terme de « milieu urbain » est utilisé ici pour désigner des emplacements sur lesquels des travaux seraient particulièrement complexes et donc coûteux, tels que des rues situées à l'intérieur des localités et dont le sous-sol comporte déjà potentiellement des conduites. En ce sens, ce type de fouilles est typiquement considéré ici pour les places de stationnement situées en voirie prenant en compte la gestion de la circulation en milieu urbain, ce qui est un poste de coût significatif. Par opposition, les coûts de fouilles effectuées « sur route » ou « terrain goudronné » reflètent des travaux typiquement effectués sur des parkings extérieurs.

Deux types de fouilles sont considérés : les fouilles externes et les fouilles internes au parking étudié. Les premières concernent l'éventuelle liaison du point de raccordement du parking au réseau électrique de distribution alors que les secondes sont liées à la liaison des places de stationnement électrifiées au point de raccordement du parking.

En ce qui concerne l'annualisation des investissements liés au niveau A, et donc leur report sur l'énergie distribuée, une période d'amortissement de 50 ans est considérée.

5.2.2 NIVEAU B – « POWER TO BUILDING »

Les coûts associés au niveau B reflètent ceux des infrastructures électriques en amont de l'infrastructure de recharge, tels que les travaux de modification ou de création d'un tableau électrique (TGBT), ainsi que la taxe de raccordement et la contribution aux coûts de raccordement dans le cas de la création d'une ligne d'alimentation du parking ou l'augmentation de l'ampérage de celle-ci si nécessaire.

Le Tableau 33 ci-dessous résume les données utilisées pour l'estimation des coûts liés aux travaux sur le tableau électrique. Ceux-ci sont rapportés à l'ampérage nominal de l'installation électrique et sont également issus de l'expérience du bureau Planair. Ils englobent aussi bien la main-d'œuvre que le matériel.

Tableau 33: niveau B - coûts du TGBT

Catégorie de puissance de l'IRVE	Coûts unitaires pour le TGBT
Jusqu'à 22 kW	110 CHF/A
De 22 kW à 69 kW	75 CHF/A
Plus de 69 kW	55 CHF/A

L'ampérage de l'installation électrique est déterminé par le nombre et la puissance des points de charge considérés ainsi que le facteur de foisonnement de l'infrastructure de charge. Ce facteur est déterminé par le cahier technique SIA 2060 selon la puissance nominale des points de charge.

En ce qui concerne les coûts liés à la taxe de raccordement et à la contribution aux coûts de raccordements, ceux-ci ont été respectivement estimés à 162 CHF/A et 300 CHF/m.

L'annualisation des coûts associés au niveau B est réalisée avec une période d'amortissement de 25 ans.

5.2.3 NIVEAU C – « POWER TO PARKING »

Les coûts relatifs au niveau C correspondent à la ligne d'alimentation horizontale (fixée sur mur ou enfouie) vers les points de charge à chaque place de parc pré-équipée. Ils englobent le matériel et la main-d'œuvre et sont également déterminés par la puissance de l'infrastructure de recharge, mais sont rapportés à la longueur des liaisons électriques.

Tableau 34: niveau C - coûts des liaisons électriques

Catégorie de puissance de l'IRVE	Coûts unitaires pour le niveau C
Jusqu'à 22 kW	45 CHF/m
De 22 kW à 44 kW	115 CHF/m
De 44 kW à 69 kW	135 CHF/m
Plus de 69 kW	155 CHF/m

Pour les installations de niveau C, une période d'amortissement de 25 ans est également considérée.

5.2.4 NIVEAU D – « READY TO CHARGE »

Les coûts associés au niveau D sont principalement liés aux coûts des points de charge eux-mêmes. Ceux-ci sont résumés dans le Tableau 35 ci-dessous. Ils intègrent non seulement les bornes de recharge, mais également leur installation, leur raccordement et leur configuration. Les valeurs présentées dans ce tableau sont issues d'une consolidation par moyenne d'offres et de données de coûts reçues de la part de plusieurs fournisseurs.

Les coûts associés aux points de charge de basse puissance (jusqu'à 22 kW en courant alternatif) sont identiques. En effet, la plupart des modèles de bornes de recharges fonctionnant en courant alternatif peuvent être configurés pour délivrer jusqu'à 22 kW. Dans ce cas, la limitation de la puissance à 11 kW, voire 3.7 kW, est liée à l'installation électrique amont.

Pour les points de charge installés en extérieur, une majoration de 500 CHF est comptée afin de tenir compte du coût du support.

Tableau 35: niveau D - coûts des points de charge

Puissance et type de points de charge	Coûts unitaires (par PdC)
3.7 kW AC	2500 CHF
11 kW AC	2500 CHF
22 kW AC	2500 CHF
150 kW DC	94'200 CHF

En plus des coûts liés aux points de charge eux-mêmes, un coût supplémentaire de 2200 CHF est compatibilisé pour le système de répartition de la puissance. Ce montant englobe le matériel et la main-d'œuvre. Il est comptabilisé une seule fois, indépendamment du nombre de points de charge constituant l'infrastructure complète.

L'annualisation des coûts associés au niveau D est réalisée sur la base d'une période d'amortissement de 7 ans.

5.2.5 UTILISATION ET FRAIS ANNUELS

Le dernier poste de coûts n'est pas lié aux investissements, mais aux coûts d'opération. Il regroupe les frais d'utilisation (identification, comptage, facturation, contrats de maintenance, etc.) et l'achat d'énergie. Les coûts de financement y sont également comptabilisés. En ce qui concerne les coûts d'approvisionnement en énergie, ceux-ci prennent en compte aussi bien l'énergie elle-même que le pic de puissance avec laquelle celle-ci est soutirée du réseau. Des coûts de 13 cts/kWh et 8 CHF/kW/mois ont été retenus. Ceux-ci sont tirés de tarifs pratiqués par Romande Energie, membre du groupe d'accompagnement, pour des clients professionnels raccordés en basse tension.

Tableau 36: frais d'utilisation annuels des points de charge

Puissance et type de points de charge	Frais annuels (par PdC)
3.7 kW AC	200 CHF
11 kW AC	360 CHF
22 kW AC	970 CHF
150 kW DC	4'000 CHF

Afin de déterminer le coût de revient au kWh de différents types d'infrastructure de recharge, les coûts d'investissements annualisés et les frais d'utilisation sont rapportés à l'énergie distribuée annuellement. Le Tableau 37 ci-dessous résume cette valeur pour les différents types de points de charge considérés.

Tableau 37: utilisation moyenne des points de charge

Puissance et type de points de charge	Énergie distribuée mensuellement (par PdC)
3.7 kW AC	270 kWh/mois
11 kW AC	600 kWh/mois
22 kW AC	1'200 kWh/mois
150 kW DC	4'500 kWh/mois

Ces valeurs sont issues de statistiques fournies par les membres du groupe d'accompagnement. Il est à noter que celles-ci restent encore aujourd'hui relativement faibles. La quantité moyenne d'énergie distribuée par session de charge étant actuellement de 20 kWh (voir Tableau 4), un point de charge d'une puissance de 11 kW est utilisé en moyenne pour une session de charge par jour. Si ce chiffre peut paraître très faible, il est important de rappeler que les infrastructures de recharge de faible puissance sont parfois situées sur des places de stationnement et restent occupées pendant un temps bien supérieur à celui nécessaire à la charge.

5.3 Estimation des investissements nécessaires au déploiement d'une IRVE

La méthode d'évaluation des coûts décrite ci-dessus a été appliquée aux différents types de stationnements (durée et typologie de parkings). Afin de permettre une comparaison aussi pertinente que possible, ces différentes évaluations s'appuient sur une paramétrisation similaire. L'infrastructure de recharge considérée comporte 10 points de charge, placés côte à côte. Aucune place de stationnement n'est pré-équipée sans être équipée d'un point de charge. Une distance moyenne de 200 mètres est considérée pour le raccordement du parking au réseau de distribution lorsqu'un tel raccordement est nécessaire (coûts de fouilles relatifs au niveau A). Il s'agit d'une hypothèse moyenne pouvant s'avérer pessimiste dans certains cas. Finalement, un coût de financement de 5% est pris en compte. Les résultats relatifs à trois des neuf cas étudiés sont présentés en détail ci-dessous.

5.3.1 STATIONNEMENTS COURTS EN VOIRIE

La structure de coûts d'une infrastructure de recharge en voirie, rapportée à un point de charge, est présentée sur la Figure 12 ci-dessous. L'investissement total par point de charge est estimé à près de 35'000 CHF. L'observation de la Figure 12 montre que ce montant est principalement constitué des coûts de génie civil relatifs au niveau A (65%), soit les fouilles permettant de relier l'infrastructure de recharge au réseau de distribution ainsi que celles permettant de relier chaque point de charge au tableau électrique de l'infrastructure. Ces coûts particulièrement élevés sont liés aux difficultés des travaux réalisés dans les milieux urbains ainsi qu'à la longueur des fouilles considérées. Dans le cas d'une infrastructure de recharge située à proximité immédiate (quelques dizaines de mètres) d'un raccordement au réseau électrique, le montant de cet investissement serait estimé aux alentours de 18'000 CHF.

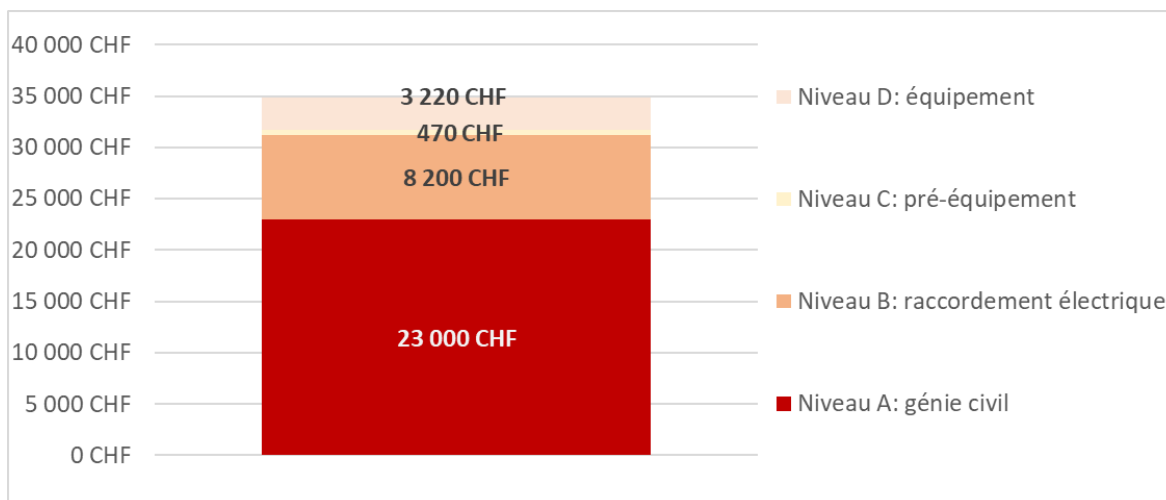


Figure 12: structure des investissements estimée pour un point de charge de 22 kW situé en voirie

Néanmoins, une fois rapportés à l'énergie distribuée, les coûts de réalisation perdent de leur importance. En effet, le coût de revient de l'énergie distribuée est constitué à plus de 75% par les coûts d'opération. Ainsi, sur un total de près de 40 cts/kWh, les frais de gestion et de comptage représentent 6.75 cts/kWh (près de 17%), mais le principal poste de coût reste l'achat de l'énergie avec une contribution de 17.7 cts/kWh, soit près de 45% du coût total.

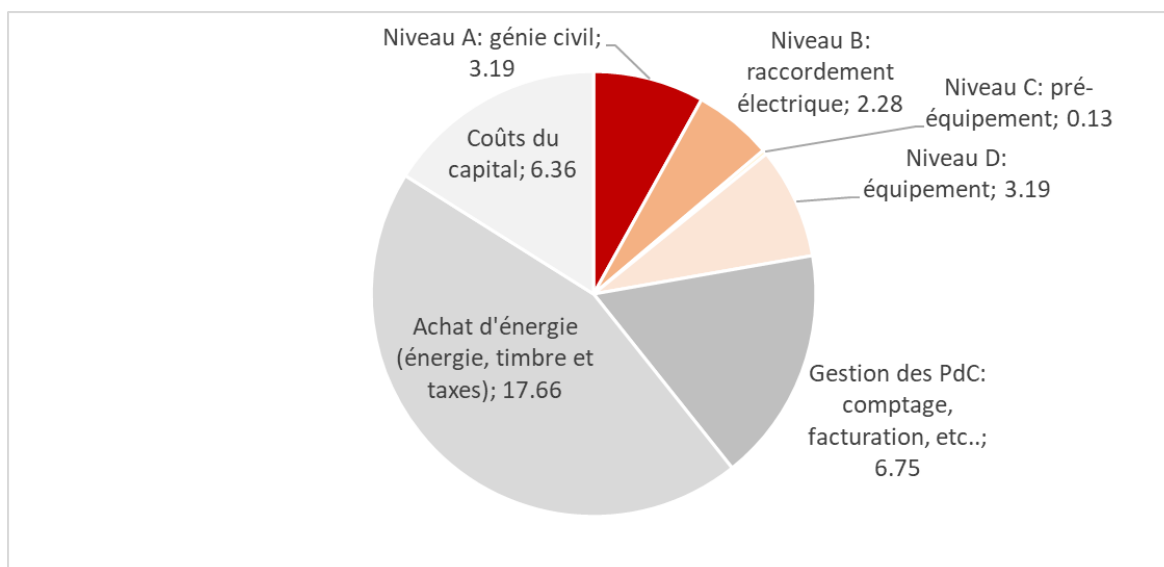


Figure 13: structure de coûts estimée de l'énergie distribuée par un point de charge de 22 kW situé en voirie

5.3.2 STATIONNEMENTS LONGS EN PARKINGS EXTÉRIEURS

La Figure 14 illustre la structure des investissements pour un point de charge de 11 kW situé dans un parking extérieur. La comparaison avec la Figure 12 montre l'importante réduction des coûts de génie civil relatifs au niveau A, ceci en raison de travaux effectués sur « un terrain goudronné » en lieu et place du « milieu urbain ». La réduction de la puissance nominale des points de charge de 22 kW à 11 kW conduit également à une légère réduction des coûts relatifs aux niveaux B et C.

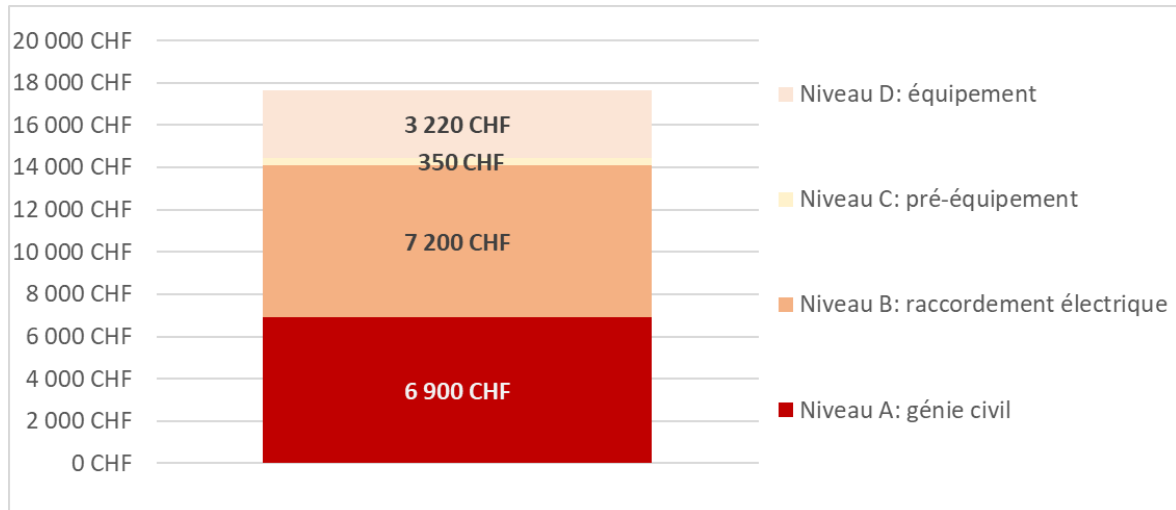


Figure 14: structure des investissements estimée pour un point de charge de 11 kW situé sur un parking extérieur

Dans ce cas, les coûts relatifs au raccordement électrique (niveau B) représentent une part aussi importante que ceux liés au génie civil. Ceux-ci sont principalement dus à l'absence de raccordement électrique existant, engendrant le paiement de la taxe de raccordement et la contribution aux coûts de raccordement. Favoriser des lieux déjà électrifiés pour l'installation d'infrastructures de recharge présente ainsi un potentiel économique important. Cependant, même si en comparaison avec le cas décrit sous 5.3.1, l'investissement nécessaire est réduit de moitié (environ 17'000 CHF contre 35'000 CHF), cette réduction ne se retrouve pas dans le coût de revient de l'énergie, comme le montre la comparaison de la Figure 13 et de la Figure 15.

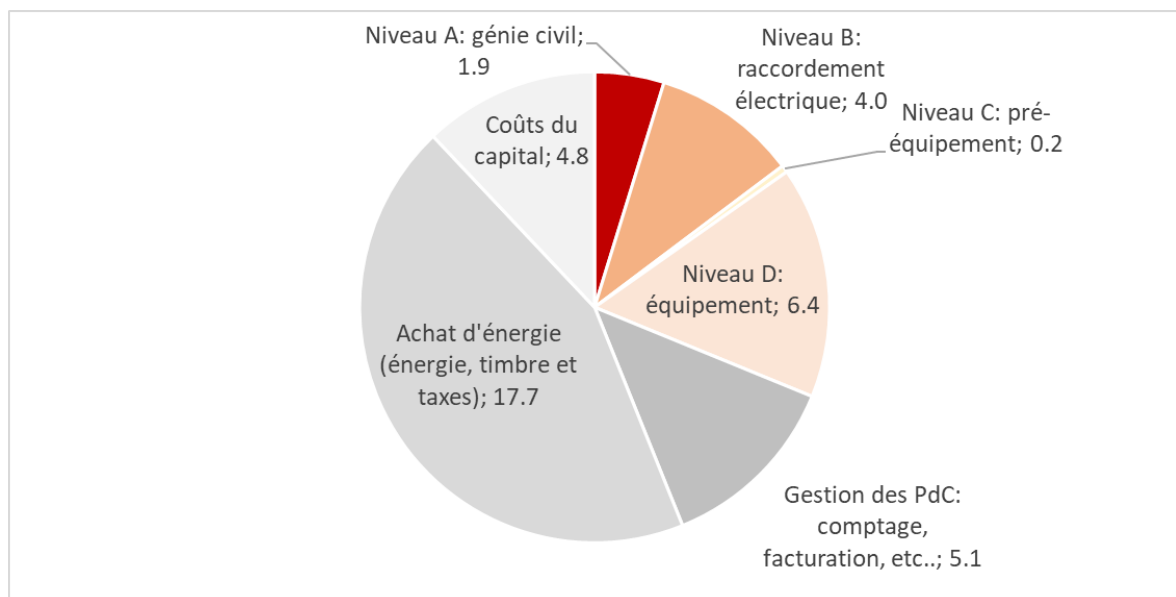


Figure 15: Structure de coûts estimée de l'énergie distribuée par un point de charge 11 kW situé en parking extérieur

Dans le cas d'une infrastructure de recharge destinée au stationnement court et située en voirie, la part des coûts d'équipement sur le coût de revient de l'énergie distribuée reste faible. De plus, ces coûts sont reportés sur une quantité d'énergie distribuée plus faible (voir Tableau 37).

5.3.3 STATIONNEMENT TRÈS LONG EN PARKINGS INTÉRIEURS

Les discussions menées au sein du groupe d'accompagnement avec le représentant de la Fondation des Parkings ont laissé apparaître que les infrastructures de recharge réalisées étaient dimensionnées de manière à ne pas nécessiter une augmentation de l'ampérage de l'introduction électrique, permettant ainsi l'économie de la majorité des coûts liés au niveau B.

En effet, les efforts d'efficacité énergétique consentis ces dernières années, notamment en ce qui concerne la ventilation et l'éclairage des parkings en ouvrage, ont permis de réduire significativement l'énergie consommée, et donc la puissance soutirée, créant ainsi une marge pour l'accueil de la mobilité électrique dans ces parkings.

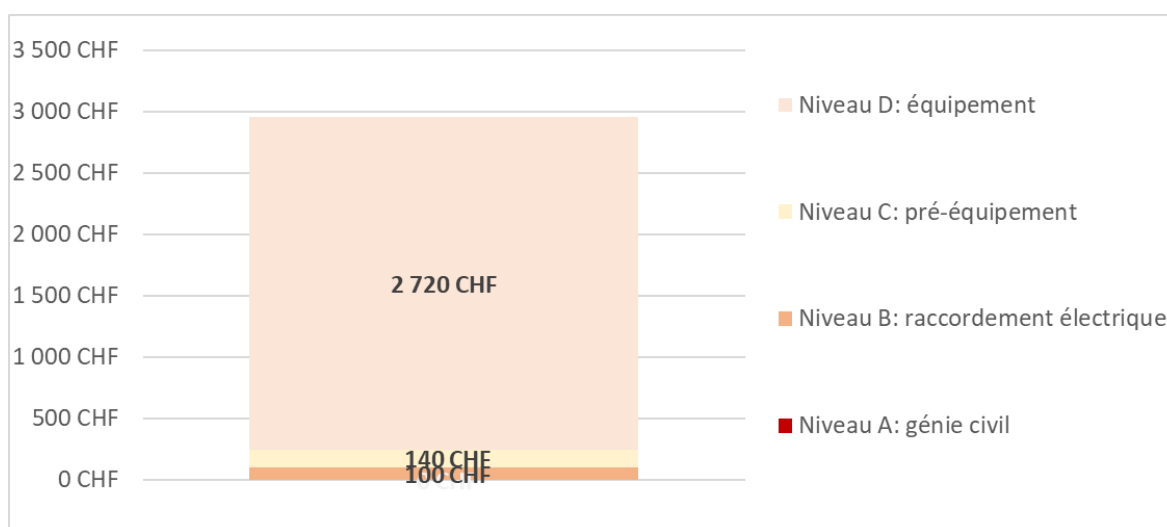


Figure 16: structure de coûts estimée pour un point de charge de 3.7 kW situé en parking intérieur

Ainsi, la structure de coûts illustrée par la Figure 16 montre que, dans le cas d'un tel parking intérieur, l'écrasante majorité des coûts est constituée des coûts d'équipement eux-mêmes (niveau D). En effet, en plus de l'économie des coûts de raccordement électrique, l'installation d'infrastructures de recharge dans des parkings en ouvrage permet également de réduire massivement les coûts de pré-équipement. Dans un tel cas de figure, l'acheminement de l'électricité jusqu'aux points de charge ne nécessite pas de fouilles.

Cependant, comme évoqué, la faible utilisation de ce type de point de charge annule l'impact de la réduction des coûts d'équipement en raison d'un report sur une quantité moindre d'énergie distribuée. Ainsi, les coûts d'équipement (niveaux A à D) ont une importance similaire (30%) dans ce cas et dans celui décrit au paragraphe précédent (voir Figure 17 ci-dessous).

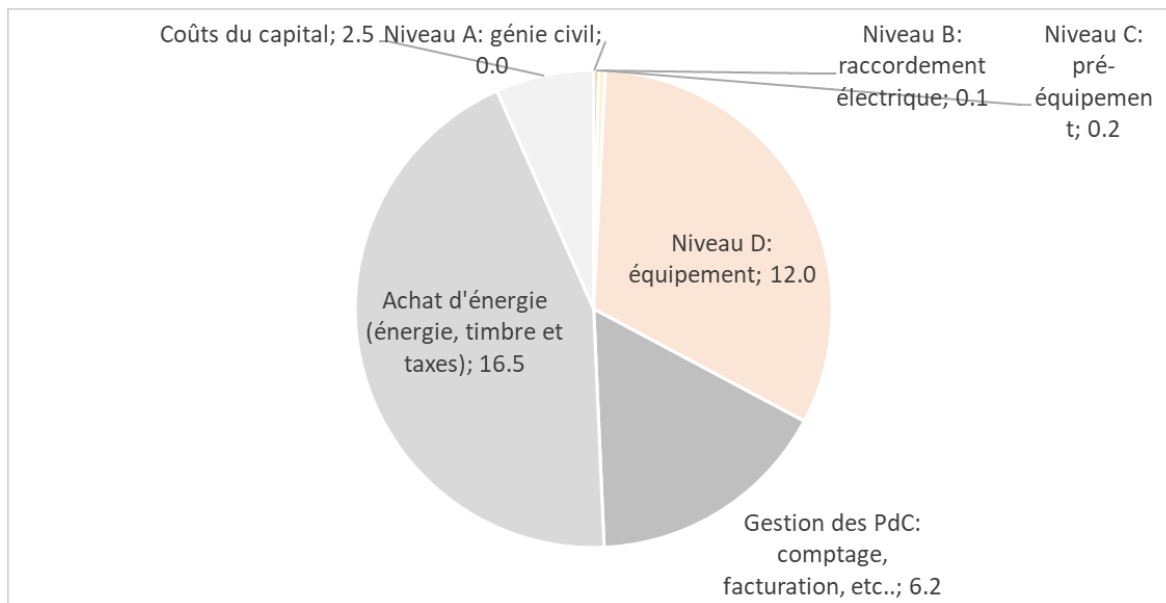


Figure 17: structure de coûts estimée de l'énergie distribuée par un point de charge 3.7 kW situé en parking intérieur

5.3.4 RECHARGE RAPIDE

Les trois cas présentés ci-dessus concernent des utilisations de type « *park & charge* ». Néanmoins, la recharge rapide est un autre modèle de recharge qu'il est également intéressant de considérer, ceci afin de mettre en perspectives les résultats précédents.

La Figure 18 ci-dessous illustre la structure des investissements estimés, toujours rapportée à un seul point de charge, pour une infrastructure de 5 points de charge. Le lieu considéré est assimilé, en ce qui concerne les travaux de fouilles nécessaires, ainsi que le raccordement électrique, à un parking extérieur. L'infrastructure de recharge considérée est constituée de 5 points de charge.

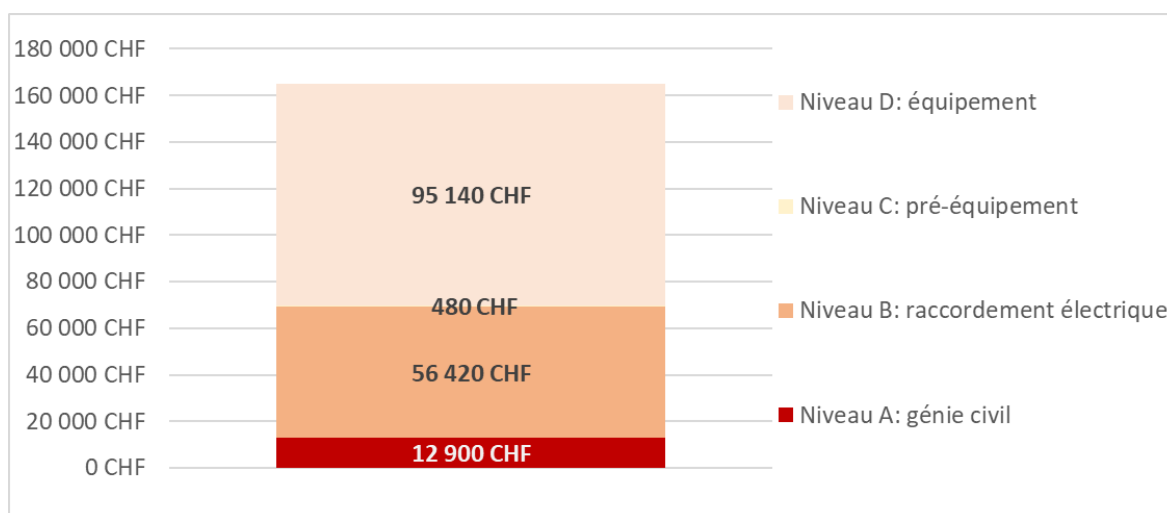


Figure 18: structure de coûts estimée pour un point de charge de 150 kW situé en parking extérieur

Contrairement aux infrastructures de recharge lente (de 3.7 kW à 11 kW) et accélérée (22 kW) décrites précédemment, le poste de coûts dominant est très largement celui de l'équipement. Les coûts de raccordement électrique représentent un peu plus du tiers du total.

Il est également intéressant de noter que l'investissement nécessaire à l'installation d'un point de charge de 150 kW est près de 9 fois supérieur à celui à consentir pour un point de charge de 11 kW.

Bien qu'un point de charge de 150 kW permette de distribuer en moyenne une quantité d'énergie bien plus importante, le coût de revient au kWh estimé dans le cas d'une station de recharge rapide est environ 2 fois plus élevé que dans le cas d'une place de stationnement en voirie équipée d'une borne de 22 kW (Figure 19)

Cette différence est non seulement due aux coûts d'équipement (niveaux A à D), mais également aux coûts d'approvisionnement en énergie. En effet, les coûts de l'énergie sont significativement plus élevés lorsque celle-ci est soutirée à forte puissance.

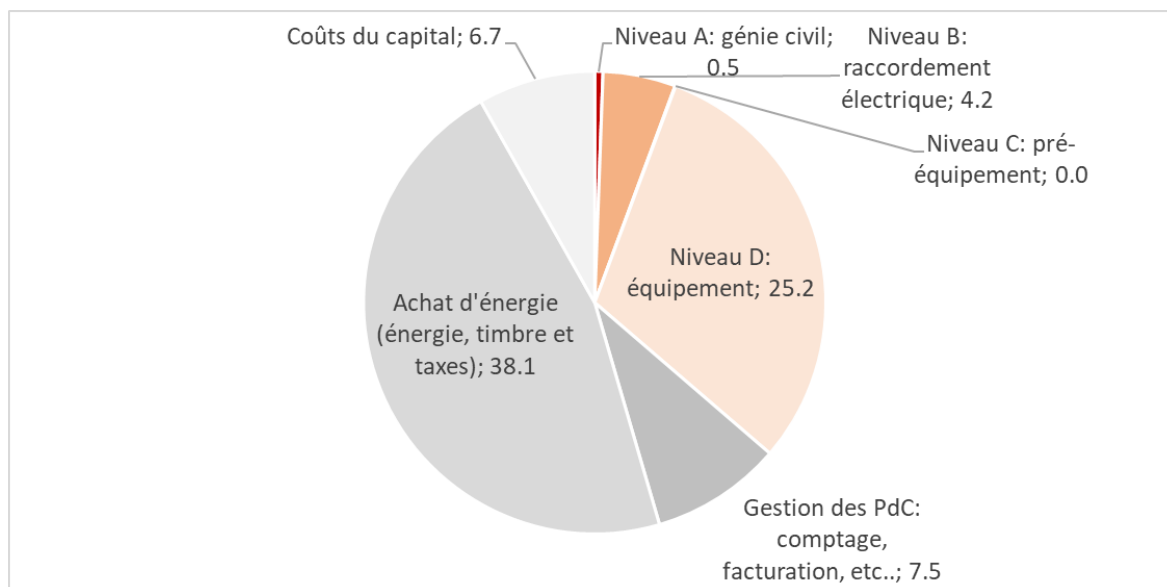


Figure 19: structure de coûts estimée de l'énergie distribuée par un point de charge 150 kW situé en parking extérieur

5.3.5 SYNTHÈSE

Le Tableau 38 ci-dessous résume les évaluations de coûts réalisées sur les 9 situations considérées dans le chapitre précédent ainsi que pour le cas de la recharge rapide.

Tableau 38 : récapitulatif de l'estimation des coûts des différentes IRVE

		Voirie	Parkings extérieurs	Parkings intérieurs
Courte (< 1.5h, 22 kW)	Point de charge	34 890 CHF	18 790 CHF	3 750 CHF
	Energie distribuée	40 cts/kWh	33 cts/kWh	28 cts/kWh
Longue (< 12h, 11 kW)	Point de charge	33 770 CHF	17 670 CHF	3 450 CHF
	Energie distribuée	52 cts/kWh	40 cts/kWh	30 cts/kWh
Très longue (>12h, 3.7 kW)	Point de charge	32 740 CHF	16 640 CHF	2 960 CHF
	Energie distribuée	87 cts/kWh	60 cts/kWh	38 cts/kWh
Recharge rapide (150 kW)	Point de charge	N.A.	148 000 CHF	N.A.
	Energie distribuée	N.A.	78 cts/kWh	N.A.

Il est important de mentionner ici que, plus que de fournir des valeurs absolues, l'objectif de ces estimations est avant tout de permettre l'analyse relative des différentes situations. Les modèles de coûts utilisés, basés sur des valeurs moyennes, ne peuvent intégrer toute la complexité de la réalisation d'une infrastructure de recharge.

L'observation des coûts d'investissement montre que l'installation d'infrastructure de recharge sur des places de stationnement situées en voirie est l'option nécessitant les investissements les plus importants.

L'utilisation de parkings en ouvrage permet à contrario de réduire significativement les coûts grâce à l'économie des coûts de génie civil et de raccordement, sous réserve que l'installation de l'infrastructure de recharge n'engendre pas une augmentation de l'ampérage de l'introduction électrique. Ce type de stationnement présente un potentiel non négligeable en milieu urbain, mais beaucoup plus limité dans les autres zones d'habitation.

La comparaison de l'estimation des coûts de revient de l'énergie distribuée avec les tarifs actuellement pratiqués par les opérateurs d'infrastructure de recharge (Tableau 7) montre des différences significatives. En effet, dans un grand nombre de cas, les coûts de revient estimés sont supérieurs aux tarifs pratiqués, laissant présager des infrastructures non rentables. Ces différences peuvent néanmoins s'expliquer par la faible utilisation moyenne des infrastructures de recharge actuelles. Celle-ci provient de la très grande disparité d'utilisation entre plusieurs infrastructures de même type. En effet, des entretiens menés avec les membres du groupe d'accompagnement ont montré que certains points de charge très peu utilisés ont été installés sans but lucratif. Parmi ces infrastructures, on peut par exemple compter les points de charge devant des bâtiments administratifs et financés par des collectivités publiques. Ceux-ci sont opérés par le même acteur que les points de charge les plus utilisés situés par exemple à proximité des gares et leur faible utilisation réduit significativement les valeurs moyennes d'énergie distribuée sur l'ensemble du parc. Ainsi, l'utilisation de ces valeurs moyennes tenant compte d'infrastructures non rentables pour le calcul des coûts de revient de l'énergie distribuée conduit à une estimation pouvant dépasser le tarif de vente.

L'influence de ce biais potentiel peut être quantifiée en répétant l'estimation sous 5.3.2, mais en considérant une énergie distribuée double (2 sessions de charge de 20 kWh au lieu d'une seule). Dans ce cas, les coûts de revient estimés sont de 29 cts/kWh au lieu de 40 cts/kWh, soit une baisse de plus de 27% et une valeur laissant une marge confortable vis-à-vis du tarif de revente.

Au vu de l'importance des coûts de génie civil, notamment sur les parkings extérieurs, la mutualisation de ces travaux avec le déploiement d'autres infrastructures représente un grand potentiel d'économie. Dans le cas de grands parkings extérieurs, l'exemple de l'installation conjointe d'ombrières photovoltaïques illustre particulièrement bien les complémentarités possibles. En effet, cette solution permet de mutualiser une partie des coûts des travaux tout en permettant une réduction des coûts d'approvisionnement en énergie grâce à la consommation propre de la production photovoltaïque. Cette idée est développée sous 7.1.

Finalement, il est également intéressant de constater que, dans tous les cas de figure étudiés, les coûts du capital représentent une part non négligeable du coût de revient, de l'ordre de 7%.

5.4 Impact de la recharge sur le coût total de possession

De manière similaire aux véhicules thermiques, l'approvisionnement en énergie des voitures électriques peut représenter une part importante du coût total de possession (CTP). Afin d'évaluer l'impact de la recharge sur le CTP, les coûts relatifs à ce centre de coûts ont été évalués pour les différents types de recharge (utilisation fréquente), dont les coûts sont détaillés à la section 2.5 (utilisation fréquente), et les différents milieux d'habitation. Ces derniers sont différenciés par le kilométrage moyen annuel considéré (voir 2.4.1).

Les coûts associés à la recharge ont ensuite été comparés aux coûts de possession moyens annualisés estimés à la section 2.2. Afin de mettre les résultats liés à l'électromobilité en

perspective, un exercice similaire a été réalisé pour les véhicules thermiques. Une consommation moyenne de 6 l/100² km et un prix de l'essence de 2 CHF/litre³ ont été utilisés.

Les coûts de la recharge ont été calculés à partir des tarifs de vente pratiqués et non des coûts estimés dans ce chapitre. En effet, ces derniers sont des estimations de coûts de revient et non des tarifs de vente. Comme le montre la comparaison du Tableau 7 et du Tableau 38, il est possible de tirer des parallèles entre les coûts de revient estimés et les tarifs de vente utilisés pour l'analyse de l'impact sur le CTP. En effet, les coûts de revient de l'ordre de 40 cts/kWh correspondent aux tarifs pratiqués pour la recharge lente alors que des coûts de revient avoisinant les 60 cts/kWh s'apparentent aux tarifs pratiqués pour la recharge rapide.

Tableau 39: estimation du coût annuel de l'approvisionnement en énergie selon le milieu d'habitation, pourcentage correspondant au TCO annuel

Milieu d'habitation Distance quotidienne	Urbain 20.6 km	Périurbain 30 km	Rural 31.7 km
Recharge lente	628 CHF 7.40%	888 CHF 9.60%	935 CHF 9.90%
Recharge accélérée	913 CHF 10.40%	1 302 CHF 13.40%	1372 CHF 13.90%
Recharge rapide	940 CHF 10.70%	1 341 CHF 13.80%	1 414 CHF 14.30%
Recharge individuelle (lente)	521 CHF 6.20%	644 CHF 7.10%	667 CHF 7.30%
Essence	902 CHF 10.70%	1 314 CHF 14%	1 388 CHF 14.50%

Le Tableau 39 ci-dessus résume ces coûts d'approvisionnement annuels pour les différentes configurations considérées. Les coûts d'approvisionnement en énergie ainsi que la part représentative de ce centre de coûts rapportée au coût total de possession annualisé (valeurs grisées) y figurent.

La comparaison des coûts d'approvisionnement en énergie des solutions électriques avec ceux liés à un véhicule à essence montre les gains potentiels que peut permettre l'électromobilité. En effet, les coûts de recharge d'un véhicule électrique ne se chargeant que sur des infrastructures rapides sont du même ordre de grandeur que les coûts de carburant d'un véhicule thermique. La recharge à domicile permet des économies de l'ordre de 40% à 45% en comparaison de la recharge rapide. Ces économies sont réduites à environ 33% lorsque l'on compare la recharge lente à la recharge rapide.

La part de la recharge vis-à-vis du coût total de possession est comprise entre 7% et 14%. Celle-ci est supérieure en milieu rural qu'en milieu urbain en raison du kilométrage quotidien moyen plus important. Ces proportions sont les mêmes dans le cas des véhicules à essence.

² Consommation moyenne des voitures neuves immatriculées en Suisse en 2018 selon l'OFS

³ Prix moyen 2022 de la SP95 selon les statistiques d'avril d'avenergy

5.5 Synthèse

En ce qui concerne les coûts d'approvisionnement en énergie, l'utilisation de la recharge rapide ne constitue pas un frein à la transition vers l'électromobilité puisqu'elle ne génère pas de surcoûts sur le TCO du véhicule en comparaison de ceux engendrés par une solution à essence. En revanche, ce type de recharge ne constitue pas non plus une incitation, au contraire de la recharge lente. Le potentiel d'économie de cette dernière est particulièrement important, d'autant si elle est réalisée à domicile.

L'analyse de l'estimation des investissements nécessaires à l'installation des différents types d'infrastructures de recharge montre que les coûts de celles installées en voirie sont significativement plus élevés. La multiplication de telles infrastructures de recharge pourrait conduire à une augmentation des tarifs de charge et ainsi réduire les incitations financières à la transition vers la mobilité électrique. Au contraire, les infrastructures situées dans des parkings en ouvrage permettent de réduire significativement les investissements. Du point de vue financier et sans considérer une éventuelle différence du coût de stationnement, celles-ci sont donc à privilégier. Néanmoins, le potentiel de ce type de stationnement diffère de manière importante dépendamment de la zone d'habitation considérée. En effet, ces parkings sont proportionnellement bien plus nombreux en zones urbaines qu'en zones périurbaines ou rurales.

En raison de l'uniformité des bornes de recharge elles-mêmes (niveau D) dans la gamme de puissance concernée, les investissements diffèrent entre les infrastructures situées sur des lieux de stationnement de courte durée (22 kW) et de longue, voire très longue durée (11 kW à 22 kW). Dans de tels cas, seuls les coûts de pré-équipement sont impactés par la puissance nominale des points de charge. Néanmoins, les impacts sur le réseau de distribution doivent être pris en compte. Ces aspects font l'objet du chapitre suivant.

6. Impacts sur le système d'approvisionnement électrique

La transition de la mobilité individuelle d'une motorisation thermique vers une motorisation électrique représente un changement majeur non seulement du point de vue des automobilistes, mais également de celui du système d'approvisionnement électrique.

Si l'étude complète de cette problématique dépasse largement le cadre du présent document, ce chapitre a pour objectif de mettre en perspective les impacts de l'électromobilité sur la production et la distribution d'électricité en Suisse à l'horizon 2030.

6.1 Impacts au niveau national

Dans ses scénarios de pénétration du marché pour les véhicules branchés (électriques ou hybrides rechargeables) en Suisse [4], l'association faîtière Swiss eMobility table sur une augmentation de la consommation électrique en relation avec l'électrification du parc automobile comprise entre 2.9 TWh et 3.9 TWh en 2030. Au niveau national, il s'agit d'une augmentation massive de la consommation d'électricité. En effet, ces chiffres correspondent à une part se situant entre 5.2% et 7% de la consommation actuelle d'électricité, soit 55.7 TWh en 2020 [17].

La transition vers la mobilité électrique n'ayant un sens écologique que dans le cas où l'électricité est produite à partir d'énergie renouvelable, il est intéressant de mettre ces chiffres en perspective avec la situation de ce type de production en Suisse. Celle-ci s'élevait à environ 3.5 TWh en 2020, hors production hydraulique, selon les chiffres de l'Office fédéral de l'énergie [17]. Néanmoins, cette énergie est déjà consommée et il sera nécessaire d'augmenter la production électrique afin de répondre à ce nouveau besoin.

En comptant un productible moyen de 1000 kWh/kW en ce qui concerne le photovoltaïque, une augmentation moyenne de 3.4 TWh de la consommation correspond à l'installation de capacités de production pour un total de 3.4 GW. Or, au cours de l'année 2022 en Suisse, l'augmentation des capacités de production photovoltaïque devrait s'élever à 1 TWh [18]. Si ce rythme de progression de l'électricité solaire se maintient, la quasi-totalité de l'électricité ainsi produite sera absorbée par le développement de l'électromobilité.

En ce qui concerne l'énergie éolienne, une machine telle que celle de Martigny, d'une puissance de 2 MW, produit annuellement environ 5 GWh. Ainsi, l'augmentation de la consommation électrique articulée par Swiss eMobility correspond à la production de 580 à 780 éoliennes similaires. En rapportant ces chiffres aux quelques 43 éoliennes installées en Suisse au moment de la rédaction de ce document, l'ampleur du défi apparaît de manière flagrante.

Néanmoins, s'il est indéniable qu'une telle augmentation de la consommation d'électricité est un défi majeur, il est important de rappeler ici qu'il ne s'agit pas d'une augmentation de la consommation totale d'énergie. En effet, la mobilité électrique présente même le potentiel de réduire la consommation totale d'énergie, ceci en raison d'une plus grande efficacité. Ainsi, les quelques 6 litres d'essence consommés par une voiture thermique pour parcourir 100 km correspondent à une quantité d'énergie d'un peu plus de 53 kWh, soit près du triple de la consommation typique d'une voiture électrique (0.18 kWh/km).

Ainsi, l'augmentation de la consommation électrique de 2.9 TWh à 3.9 TWh à l'horizon 2030 doit être mise en balance avec une réduction importante de l'utilisation de carburant fossile. En se basant sur cette consommation typique de 0.06 l/km et une conversion de 30% à l'électromobilité, celle-ci peut être estimée à environ 930 millions de litres d'essence par année, soit 14.65 TWh.

6.2 Impacts au niveau local

6.2.1 COURBES DE CHARGE

Afin d'évaluer les impacts potentiels du déploiement d'infrastructures de recharge au niveau local, une étude de cas a été réalisée. Celle-ci s'intéresse au parking souterrain du bâtiment de l'administration de la commune d'Echallens. Ce parking, disposant de 44 places, a été retenu non seulement pour son caractère représentatif, mais également pour la facilité d'accès aux données relatives à son étude.

Une courbe de soutirage représentative, illustrée par la Figure 20 ci-dessous, a été déterminée sur la base de différentes données fournies par les membres du groupe d'accompagnement. Couvrant une journée avec une résolution horaire, celle-ci reflète le profil de soutirage observé sur d'autres parkings souterrains dont l'utilisation est majoritairement diurne. Un pic de charge est observé à l'arrivée des véhicules, entre 6h et 9h du matin. En fin de matinée puis durant l'après-midi, la puissance soutirée est fortement réduite.

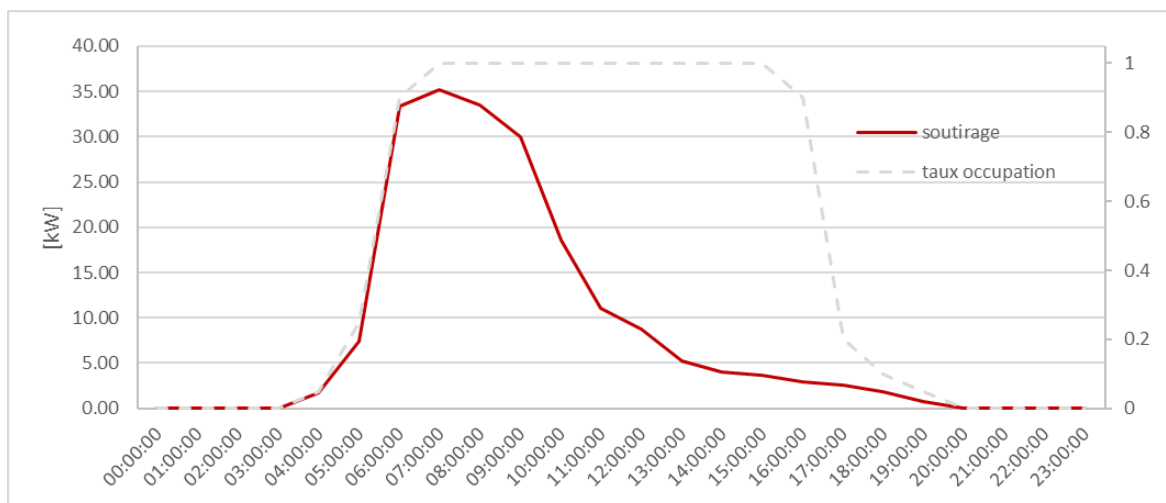


Figure 20: courbe de charge d'une IRVE de 10 PdC de 11 kW - sans répartition temporelle de la charge

Ce profil de soutirage représente celui d'une infrastructure de 10 points de charge de 11 kW. L'énergie soutirée correspond à 10 sessions de charge de 20 kWh, conformément aux données d'utilisation introduites sous 5.2.5. La valeur du pic de puissance est ajustée au facteur de foisonnement recommandé par le cahier technique de la SIA 2060 pour le dimensionnement de ce type d'infrastructure.

Dans le but de mettre en perspective les potentiels impacts positifs de systèmes de répartition temporelle de la charge, un second profil de soutirage a été déterminé. Celui-ci est illustré par la Figure 21. Ce second profil de soutirage implique une quantité similaire d'énergie (200 kWh), mais suppose une répartition temporelle parfaite de la puissance distribuée, proportionnelle au taux d'occupation du parking, représenté en gris. La comparaison avec la Figure 20 montre une réduction du pic de puissance de l'ordre de 50%.

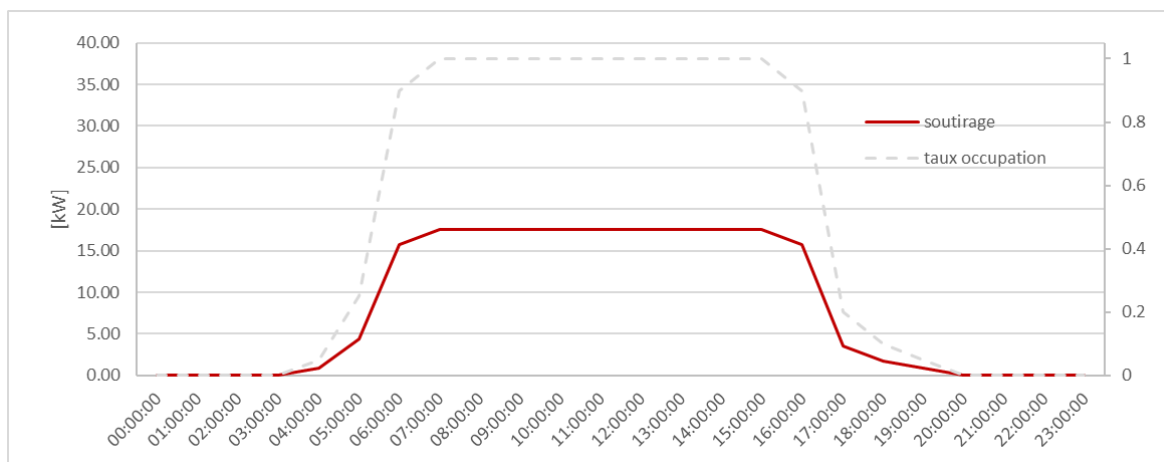


Figure 21: courbe de charge d'une IRVE de 10 PdC de 11 kW - avec répartition temporelle de la charge

6.2.2 IMPACTS SUR LE RÉSEAU

La Figure 22 ci-dessous illustre la modification de la courbe de soutirage dans le cas d'une infrastructure de recharge sans répartition temporelle de la charge. L'aire grisée représente la consommation du bâtiment en excluant celle de l'infrastructure de recharge, représentée par l'aire orangée. L'addition de ces deux courbes de consommation permet d'aboutir à la consommation totale représentée en traitillés gris. La courbe rouge représente le soutirage effectif depuis le réseau, la différence avec la consommation totale étant due à la consommation propre de la production photovoltaïque.

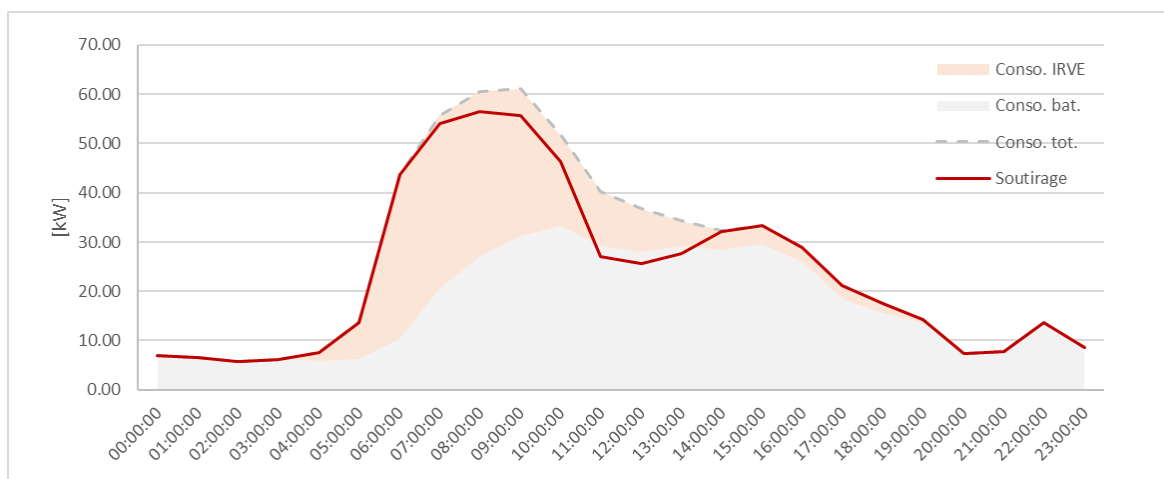


Figure 22: courbe de soutirage sans répartition temporelle de la charge

La comparaison des valeurs maximales de la puissance soutirée en cas de présence ou d'absence de l'infrastructure de recharge permet d'évaluer les impacts de cette dernière sur le réseau.

L'observation de la Figure 22 montre un certain synchronisme entre le pic de consommation du bâtiment et celui de l'infrastructure de recharge. Ainsi, la valeur maximale de la puissance soutirée du réseau passe, dans le cas d'une infrastructure de recharge sans répartition temporelle de la charge, de 29.6 kW à 56.5 kW, soit une augmentation de 91%.

Le cas d'une infrastructure avec répartition temporelle de la charge est illustré par la Figure 23. Dans ce cas de figure, l'augmentation du pic de soutirage n'est que de 59% (47.1 kW au lieu 29.6 kW)

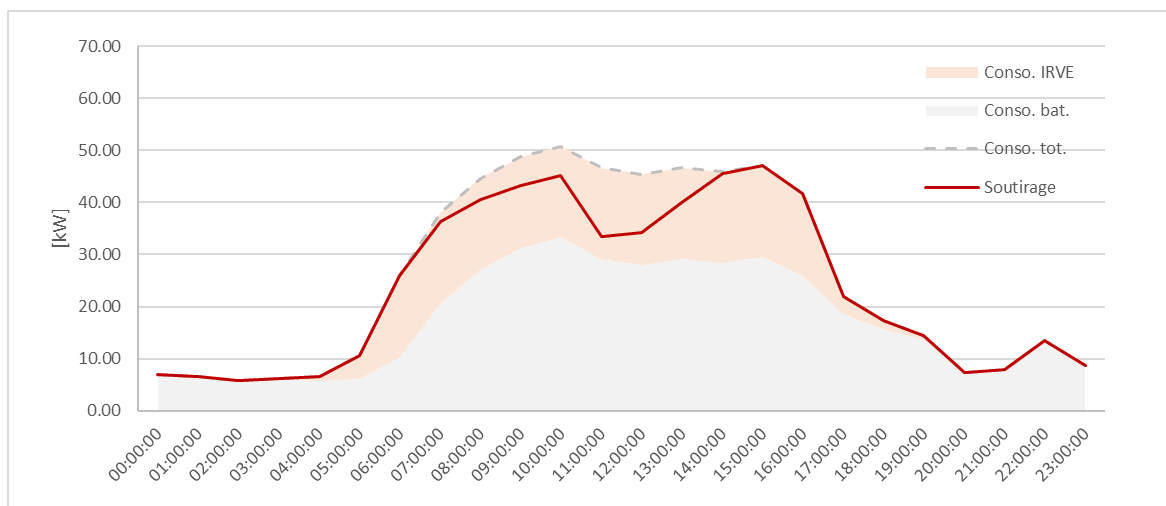


Figure 23: courbe de soutirage avec répartition temporelle de la charge

La comparaison avec le cas illustré par la Figure 22 montre clairement les bénéfices que peuvent apporter, du point de vue des impacts sur le réseau, des systèmes de gestion intelligente de la recharge. Néanmoins, même fortement réduite, l'augmentation du pic de soutirage reste significative. Il est ainsi important d'analyser l'impact de ces augmentations sur le réseau de distribution.

Ces impacts ont été évalués selon deux critères. Le premier est lié au niveau de charge des éléments du réseau. L'ampérage maximal de l'introduction électrique du bâtiment ainsi que celui de la ligne le desservant ont été pris en compte. Dans le cas du bâtiment considéré, ces valeurs sont respectivement de 160A et 310A. Le second critère est lié à la chute de tension sur la ligne et au respect des valeurs tolérables. Celles-ci sont définies à plus ou moins $\pm 10\%$ de la valeur nominale (230V en Suisse) par la norme européenne EN 50160.

En ce qui concerne le niveau de charge des éléments les plus en aval du réseau de distribution (l'introduction du bâtiment et la ligne de desserte), une marge confortable reste observable, et ceci malgré l'augmentation significative du pic de soutirage. En effet, en comptant un facteur de puissance de 0.9, un pic de soutirage de 56.5 kW correspond à un courant triphasé de 91 A. Bien que conséquente, cette valeur reste très en dessous de la limite de l'introduction du bâtiment (160A, 57%). La marge est encore plus grande dans le cas du niveau de charge de la ligne de desserte puisque cette valeur de 91% ne représente que 29% de la capacité.

La Figure 24 illustre la courbe de puissance active soutirée du départ moyenne tension auquel le bâtiment de l'administration communale est raccordé. Cette courbe correspond à la journée de pic hivernal considérée dans ce chapitre. La capacité de ce départ est de 11 MVA. Une marge appréciable vis-à-vis du pic de consommation observé (2.26 MW) est donc observable. Néanmoins, et comme le montre la Figure 24, le maximum de consommation est situé dans la matinée, au même moment que celui de la courbe prévisionnelle de soutirage illustrée par la Figure 22.

La Figure 24 illustre la courbe de puissance active soutirée du départ moyenne tension auquel le bâtiment de l'administration communale est raccordé. Cette courbe correspond à la journée de pic hivernal considérée dans ce chapitre. La capacité de ce départ est de 11 MVA. Une marge appréciable vis-à-vis du pic de consommation observé (2.26 MW) est donc observable.

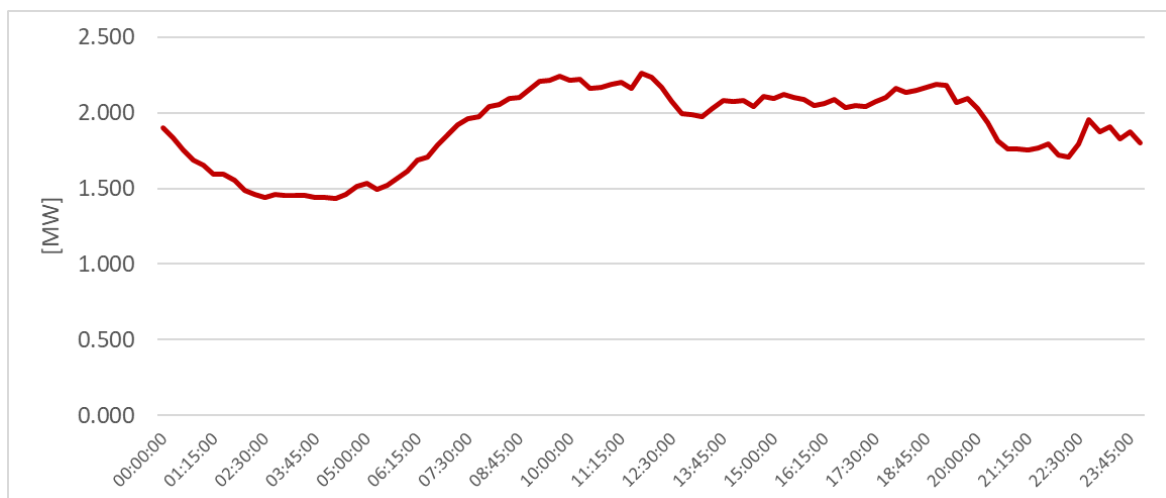


Figure 24: courbe de charge du départ moyenne tension

Ces marges importantes laissent penser que le réseau est largement capable d'accueillir de nombreuses infrastructures de recharge. Néanmoins, et comme le montre la Figure 24, le maximum de consommation est situé dans la matinée, au même moment que celui de la courbe prévisionnelle de soutirage illustrée par la Figure 22. Ainsi, sans mesures prises concernant la temporalité des sessions de recharge, le cumul de l'installation d'infrastructures de recharge pourrait créer à moyen terme des problèmes de congestion.

De plus, la conclusion que le réseau est capable d'accueillir une grande infrastructure de recharge en raison d'une marge importante sur la charge des éléments du réseau est également fortement nuancée en analysant la situation selon le second critère, celui de l'impact sur le niveau de tension. Cet impact a été quantifié sur la base des caractéristiques techniques d'un câble basse tension⁴ d'une capacité similaire à celui de la ligne qui dessert le bâtiment de l'administration communale d'Echallens. Ce câble présente une impédance linéique nominale de 0.159 Ohm/km.

Dans le cas de l'infrastructure de recharge sans répartition temporelle de la recharge, le soutirage d'un courant maximal de 91 A représente donc une chute de tension de 14.5 V/km, soit 6.3% de la tension nominale. Ces valeurs descendent respectivement à 7.5 V/km et 3.3% de la tension nominale. La tolérance sur l'amplitude de la tension étant de $\pm 10\%$ comme mentionné précédemment, ces chiffres indiquent que le critère lié à la stabilité de la tension est bien plus problématique que celui de l'ampérage limite en ce qui concerne le déploiement d'infrastructures de recharge.

6.3 Synthèse

Comme le montrent les éléments présentés ci-dessus, l'intégration de nombreuses infrastructures de recharge dans le réseau de distribution soulèvera des questions, notamment en ce qui concerne la stabilité de la tension. Mais ce critère n'est pas le seul à devoir être pris en compte. Lors de discussions menées dans le cadre du groupe d'accompagnement, les opérateurs de réseau de distribution ont indiqué que, les défis que présentera l'intégration de nombreuses infrastructures de recharge seront liés à la conjonction de plusieurs critères, comprenant non seulement la stabilité de la tension et le niveau de charge des lignes, mais également les niveaux de courant de court-circuit. Néanmoins, des solutions existent pour atténuer les impacts des pics de soutirage.

⁴ [Nexans 10152839](#)

Premièrement, les systèmes de répartition de la charge permettent d'atténuer fortement ces pics de soutirage. Or, l'installation de tels systèmes est actuellement entièrement laissée au libre choix des porteurs de projets, du moins du point de vue légal. En effet, dans la version 2021 de leurs prescriptions [19], les distributeurs d'électricité ne mentionnent que l'obligation de respecter une puissance de soutirage conforme à la valeur souscrite. Il s'agit néanmoins d'une incitation indirecte au travers de la facturation de la taxe de raccordement et de la contribution aux coûts de renforcement en cas d'augmentation de la puissance souscrite. Les distributeurs ont pourtant la marge de manœuvre pour formuler des exigences qui concernent les installations techniques à l'intérieur du bâtiment, bien que celles-ci ne dépendent pas directement de leur responsabilité. En effet, dans les mêmes prescriptions, des exigences concernant par exemple les systèmes de protection des personnes sont spécifiées. D'autres incitations indirectes à l'installation de systèmes de répartition de la charge sont également mises en place par d'autres acteurs, tels que les collectivités publiques. Ainsi, le canton de Vaud n'accorde de subventions pour l'installation d'infrastructures de recharge dans des parkings collectifs qu'à la condition qu'un système de gestion de la recharge soit installé conjointement.

Les impacts sur le réseau des pics de soutirage peuvent également être atténués en agissant directement sur celui-ci. Réduire l'impédance des lignes en remplaçant les câbles existants par des câbles de diamètre supérieur est bien sûr une solution techniquement applicable. Néanmoins, une telle stratégie de renforcement engendre des coûts très importants, d'autant plus que, comme le montre l'exemple étudié dans ce chapitre, la capacité des éléments existants est amplement suffisante concernant l'ampérage admissible. De plus, cette stratégie de pur renforcement doit être mise en perspective avec la disponibilité d'autres solutions que les opérateurs de réseau de distribution ont l'obligation de considérer [20].

Des installations photovoltaïques proches des infrastructures offrent ainsi plusieurs perspectives. En produisant localement une partie de l'énergie utilisée pour recharger les véhicules électriques, ces installations réduisent l'énergie transitant par le réseau et ainsi les impacts sur celui-ci. La part de l'énergie de recharge provenant d'installations photovoltaïques peut être augmentée grâce à l'utilisation de systèmes de pilotage. De tels systèmes renforcent également la rentabilité des installations photovoltaïques en augmentant la part de consommation propre.

Mais les contributions potentielles des installations photovoltaïques à la réduction des impacts sur le réseau ne s'arrêtent pas à la production décentralisée. En effet, de nombreux modèles d'onduleurs peuvent être commandés pour ajuster non seulement leur production de puissance active, mais également celle de puissance réactive [21]. Or, le contrôle de la puissance réactive peut être utilisé pour compenser les variations d'amplitude de tension. Cette approche est utilisée par SwissGrid sur le réseau de transport [22]. Elle pourrait également être appliquée au réseau de distribution, même si celui-ci s'y prête moins bien en raison de lignes plus résistives que réactives.

Au niveau national, l'augmentation de la consommation d'électricité qu'entraînera la transition vers la mobilité électrique est un défi majeur. En effet, le rythme actuel du développement des énergies renouvelables ne permettra pas d'assurer l'alimentation d'une flotte composée de 30% de véhicules électriques en 2030. Il est ainsi primordial d'aborder la transition vers la mobilité électrique non seulement du point de vue de l'infrastructure de recharge, mais également en assurant une production suffisante d'électricité. Sans un effort important de ce côté, le décalage entre le développement de la mobilité électrique et celui des capacités de production entraînera des situations de blocage importantes.

7. Perspectives

7.1 Photovoltaïque et opportunités d'autoproduction

Dans le contexte des infrastructures de recharge pour véhicules électriques, le photovoltaïque présente de nombreux avantages. Parmi ces avantages figurent en bonne place sa facilité

d'intégration dans l'environnement bâti ainsi que des dimensions physiques et une gamme de puissance proche de celle des infrastructures de recharge, s'étendant de quelques kW à plusieurs centaines de kW.

Cette complémentarité potentielle est particulièrement bien illustrée par l'installation photovoltaïque en ombrières réalisée pour un parking de la zone commerciale d'Aigle (Figure 25). D'une puissance proche de 1.6 MW, cette installation produit annuellement 1800 MWh, soit l'équivalent de la consommation annuelle d'environ 900 véhicules électriques. Selon une étude récemment publiée par Energie Zukunft Schweiz [23], en Suisse, le potentiel solaire théorique de tels parkings est estimé entre 6 et 10 GW.



Figure 25: ombrières photovoltaïques dans la zone commerciale d'Aigle (Romande Energie)

Dans le cas de l'installation illustrée ci-dessus, la majorité de la production est directement consommée sur le site de production, assurant une rentabilité accrue par le mécanisme de la consommation propre. Cependant, une telle consommation n'est pas toujours présente à proximité immédiate des parkings. De plus, toujours selon Energie Zukunft Schweiz [23], les installations solaires en ombrières sont caractérisées par des coûts significativement supérieurs. Ceux-ci sont compris entre 2000 CHF/kW et 3500 CHF/kW contre environ 1100 CHF/kW pour des installations en toiture de moyenne puissance (de 100 kWp à 300 kWp). Cette différence de coûts s'explique notamment par les coûts importants des travaux de génie civil nécessaires à la pose des fondations. Dans ce contexte, l'installation conjointe d'une infrastructure de recharge pour véhicules électriques comporte plusieurs opportunités.

Premièrement, la réalisation simultanée des travaux permet la mutualisation des coûts, notamment en ce qui concerne le raccordement électrique et le génie civil. En ce qui concerne ce dernier poste de coûts, l'installation conjointe d'ombrières permet d'éviter le creusement de tranchées pour raccorder les points de charge à l'introduction électrique, la structure de l'ombrière pouvant servir à la fixation en hauteur des câbles. Les fouilles liées au raccordement au réseau de distribution restent nécessaires. Cependant, celles-ci permettent de raccorder à la fois

l'infrastructure de recharge et l'installation photovoltaïque. Les coûts relatifs peuvent donc être mutualisés entre les deux infrastructures. Finalement, les points de charge peuvent également être fixés directement sur la structure de l'ombrière, permettant l'économie des supports.

S'il est difficile d'évaluer les possibilités de mutualisation sans une planification précise des travaux, il est possible d'articuler des ordres de grandeur. La Figure 26 ci-dessous représente le parking de la Place Longereuse, à Fleurier, sur le territoire de la commune de Val-de-Travers. Celui-ci occupe une surface d'environ 3000 m², ce qui correspond à une installation photovoltaïque d'une puissance d'environ 600 kW.



Figure 26: périmètre d'une potentielle ombrière sur le parking de la Place Longereuse, Val-de-Travers

Pour l'installation d'une infrastructure de recharge d'une dizaine de points de charge d'une puissance nominale de 11 kW (voir paragraphe 5.3.2), les économies potentielles liées à une réalisation conjointe sont estimées à environ 70'000 CHF. Une attribution de celles-ci pour moitié à l'infrastructure de recharge et pour moitié à l'installation photovoltaïque en ombrière, conduirait à une réduction des coûts par point de charge de l'ordre 20%.

En revanche, ces économies sont négligeables à l'échelle de l'installation photovoltaïque. En effet, une puissance de 600 kW correspond à la fourchette haute de coûts mentionnée précédemment, de l'ordre de 3500 CHF/kW, et à des coûts totaux avoisinant 2 millions de francs.

La seconde opportunité est liée à la consommation propre. En produisant localement, entièrement ou partiellement l'énergie nécessaire à la recharge du véhicule, il est en principe possible de bénéficier notamment de l'exemption du timbre pour bénéficier d'une énergie à un coût proche du coût de revient. Cependant, dans le cas des ombrières, ce potentiel d'économie est limité par les coûts unitaires importants. Pour des installations d'une puissance de l'ordre de la centaine de kW, les coûts de revient de l'énergie produite sont estimés selon Energie Zukunft Schweiz [23] entre 17 cts/kWh et 19.5 cts/kWh. Même en comptant une réduction de l'ordre d'une dizaine de pourcent grâce à la rétribution unique (270 CHF/kW [24]) et aux économies permises par la mutualisation des travaux, le potentiel d'économie reste limité. De plus, les tarifs de reprise de l'énergie solaire

étant inférieurs à ces coûts de revient, la viabilité économique de telles installations photovoltaïques n'est possible qu'avec un taux de consommation propre proche des 100%.

Le regroupement sur le même site de la production et de la consommation d'énergie permet de réduire les flux transitant par le réseau, dans un sens comme dans l'autre, et de réduire ainsi les impacts liés à la fois au développement du photovoltaïque et à celui de la mobilité électrique.

7.2 Les opportunités offertes par le « *vehicle-to-grid* »

7.2.1 ETAT DE LA TECHNOLOGIE

La technologie dite du « *vehicle-to-grid* », aussi appelée charge bidirectionnelle, désigne les infrastructures permettant non seulement de recharger le véhicule électrique, mais également d'en extraire de l'énergie. Celle-ci peut être réinjectée dans le réseau, mais également utilisée directement dans le bâtiment où est installée l'infrastructure. Dans ce cas, on parlera plutôt de « *vehicle-to-building* ». Le « *vehicle-to-load* » désigne quant à lui la possibilité d'un véhicule électrique de charger un appareil électrique directement, le terme de « *vehicle-to-X* » est alors souvent utilisé pour regrouper ces différentes fonctions.

Ce principe est étudié depuis plusieurs années dans les milieux de la recherche et fait actuellement son entrée sur le marché. En effet, la grande majorité des véhicules électriques disponibles sur le marché n'intègrent pas cette technologie. Ainsi, les 3 modèles électriques les plus vendus en 2021 (voir Figure 4) ne permettent pas la recharge bidirectionnelle. Néanmoins, les constructeurs européens, et plus seulement japonais où le « *vehicle-to-home* » est la norme, intègrent cette technologie dans leurs plans à court terme. Le groupe Volkswagen, qui regroupe les marques VW, Audi, Seat et Skoda, a ainsi annoncé être sur le point de lancer la technologie « *vehicle-to-grid* » et que dans un avenir proche, tous les modèles ID. dotés de la plus grosse batterie auront cette capacité [25].

Néanmoins, la possibilité de la recharge bidirectionnelle n'est pas liée qu'aux véhicules. L'infrastructure de recharge, et notamment les bornes, doivent également être compatibles. Des modèles de bornes bidirectionnelles intégrant cette technologie sont déjà disponibles sur le marché. Cependant, à puissance nominale comparable, leur prix est significativement plus élevé. Les données de coûts récoltées auprès des fournisseurs montrent ainsi que les bornes bidirectionnelles sont environ 6 fois plus chères que les bornes unidirectionnelles pour des puissances nominales comprises entre 10 kW et 22 kW. Une telle différence se répercute bien évidemment sur les coûts des infrastructures de recharge. Ainsi, pour le cas d'une infrastructure de 10 points de charge de 22 kW (voir paragraphe 5.3.1), l'utilisation de bornes bidirectionnelles au lieu de bornes unidirectionnelles entraîne une augmentation des investissements nécessaires de plus de 40%, selon la méthode d'estimation décrite au chapitre 5.

Néanmoins, la possibilité d'extraire de l'énergie des véhicules présente également des opportunités de gains financiers. Celles-ci sont développées dans les deux paragraphes suivants.

7.2.2 CONSOMMATION PROPRE – OPPORTUNITÉS ET LIMITATIONS

Comme décrit sous 7.1, la construction conjointe d'installations photovoltaïques et d'infrastructures de recharge permet d'améliorer les rendements économiques des deux installations grâce à la consommation propre.

L'intégration de la charge bidirectionnelle permet d'augmenter encore la part de consommation propre en utilisant les véhicules électriques comme des batteries stationnaires. En ce sens, ils permettraient de stocker momentanément un surplus de production photovoltaïque, au lieu de l'injecter dans le réseau, pour l'utiliser plus tard. Ce mode de fonctionnement réduit ainsi à la fois les impacts sur le réseau liés au photovoltaïque et ceux liés aux infrastructures de recharge.

Cependant, ce principe n'est valide que sous certaines conditions :

- La présence sur le site considéré non seulement d'une production d'électricité, mais également d'une consommation autre que celle de l'infrastructure de recharge.
- La présence quasi continue de véhicules électriques. Ceux-ci doivent en effet être présents non seulement lors des périodes de surproduction, afin de pouvoir stocker les excédents, mais également lorsque la consommation dépasse la production locale, ceci afin de pouvoir restituer l'énergie stockée précédemment.
- Les excédents de production vis-à-vis de l'énergie nécessaire à la recharge des véhicules doivent être significatifs. Dans le cas inverse, l'augmentation du taux de consommation propre ne sera que marginale et ne compensera pas les coûts excédentaires.

Le cumul de ces conditions peut réduire l'intérêt de la charge bidirectionnelle sur plusieurs types de sites. Une infrastructure de recharge située sur un parking d'entreprise, caractérisé par une présence des véhicules pendant les heures de bureau, présentera ainsi un intérêt limité pour la technologie « V2G ». Si les périodes de présence des véhicules coïncident avec celles de production excédentaire, les véhicules emportent l'énergie stockée avec eux en quittant le site en fin de journée. A l'inverse, dans le cas de bâtiments d'habitation, la majorité des véhicules sont absents durant la journée et ne peuvent donc absorber les surplus de production solaire. Ils ne pourront ainsi pas les restituer durant la soirée et la nuit, lorsqu'ils sont majoritairement présents.

Si les opportunités qu'offre la combinaison du photovoltaïque et de la charge bidirectionnelle sont bien réelles, il est néanmoins important de les étudier attentivement au cas par cas, du moins en ce qui concerne la consommation propre.

7.2.3 AGRÉGATION DE FLEXIBILITÉ

Si la charge bidirectionnelle offre des flexibilités au niveau local grâce notamment au lissage de pointe de consommation à l'échelle d'un bâtiment ou encore à l'optimisation de l'autoconsommation à l'échelle d'un microréseau, elle peut également offrir sa flexibilité à l'échelle plus globale grâce aux services système.

La Suisse occupe une place centrale dans le système électrique, elle s'approvisionne et vend son électricité sur le marché européen. Cependant, la Suisse et ses partenaires européens se confrontent à des freins limitant les échanges dus à des congestions structurelles, à des capacités physiques limitées des postes de transformation transfrontaliers et à des conditions politiques. Les échanges en énergie sont donc limités entre la Suisse et les pays frontaliers. De plus, les difficultés d'approvisionnement en énergie fossile rencontrées en 2022 dues à la situation géopolitique en Ukraine, rendent plus incertaines ces capacités d'échange et notamment la possibilité d'importer de l'énergie pour la Suisse en période de tension sur le réseau.

Le gestionnaire de réseau de transport national, Swissgrid, vend ces capacités transfrontalières disponibles par le biais de ventes aux enchères. L'énergie est négociée sur différents marchés européens de l'électricité ainsi que, bilatéralement, via des plateformes de courtage. De nombreux et différents produits y sont échangés, des produits à long terme (contrats annuels), ainsi que des produits à court terme (« *day-ahead* » et « *intra-day* »).

Dans le cadre de ces échanges, il est important que l'équilibre du système électrique soit toujours maintenu. Cet équilibre est en partie assuré avec l'énergie de réglage. Swissgrid peut solliciter les producteurs ou consommateurs flexibles d'électricité afin qu'ils puissent fournir ou « effacer » leur consommation, c'est le cas des véhicules électriques et notamment du « *vehicle-to-grid* ». Cependant, les puissances minimales élevées (minimum 1 MW) font que les véhicules électriques ne peuvent fournir une telle capacité de production ou d'effacement de consommation à eux seuls. Il est alors possible d'agréger la flexibilité de plusieurs « *vehicle-to-grid* » grâce à un agrégateur de flexibilité qui additionne les capacités de chaque véhicule en une capacité agrégée et la vend à

Swissgrid formant ainsi un pool de réglage. Ce marché est accessible par trois types de services de réglage :

- Primaire : permet de rééquilibrer le système en l'espace de quelques secondes en cas d'oscillation. Le temps de réaction est entre 0 et 30 secondes et la puissance minimale à fournir est de 1 MW.
- Secondaire : Si le réglage primaire ne suffit pas au rééquilibrage du réseau, le réglage secondaire prend le relais. Le temps de réaction est de quelques minutes et la puissance minimale est de 5 MW en continu pendant une semaine. Les capacités sont promises par les acteurs à Swissgrid une fois par semaine le mardi.
- Tertiaire : Si les deux premiers services de réglage ne suffisent pas à rééquilibrer le système au bout de 15 minutes, le réglage tertiaire est enclenché. Il faut être capable de produire ou d'effacer une consommation d'au moins 5 MW en 15 minutes. Les capacités peuvent être promises à la semaine ou à la journée.

Un agrégateur de flexibilité peut vendre également les flexibilités de ses clients à d'autres acteurs :

- Les GRD (gestionnaires de réseau de distribution) : s'assurent de l'équilibre du système de distribution. Les GRD achètent des flexibilités pour également diminuer les pics de puissance au poste de transformation avec les autres GRD fournisseurs.
- Les RGB (responsables du groupe-bilan) : Swissgrid et tout fournisseur d'énergie peuvent être des RGB. Les RGB vendent et achètent de l'énergie selon leurs besoins. Toutes les 15 minutes, Swissgrid consulte la balance de chaque responsable de groupe bilan (BRP) dont le solde doit être nul (des pénalités sont appliquées dans le cas contraire).

Le « *vehicle-to-grid* » est une source très intéressante de flexibilité pour la participation aux services système. Doté d'une batterie comprise en moyenne entre 50 et 70 kWh, il est capable d'offrir sa capacité lorsqu'il est branché. Un véhicule étant à l'arrêt environ 95% du temps, lorsqu'un « *vehicle-to-grid* » est branché, sa batterie s'apparente à une batterie stationnaire que l'on peut charger et décharger sur le réseau en respectant certaines conditions d'utilisation. En agréant les flexibilités de plusieurs « *vehicle-to-grid* », il est alors possible de participer à ces services système. Cette possibilité a été étudiée dans l'étude théorique du projet RegEnergy [26] dans le cadre du projet européen RegEnergy, dont Planair était en charge du projet suisse. Ce projet visait à étudier la synergie entre la production solaire et la mobilité électrique dont le « *vehicle-to-grid* » à l'échelle du parc technologique Y-PARC à Yverdon-les-Bains.

D'après cette étude, en prenant l'hypothèse que les véhicules peuvent injecter maximum 10 kW de puissance sur le réseau, il faut 100 véhicules pour obtenir une capacité d'un mégawatt. Il est donc possible de proposer cette capacité pour participer aux services système, si ce nombre minimum de véhicules est toujours disponible. Sur Y-PARC, selon les situations étudiées avec 500 véhicules d'entreprise et 1000 véhicules privés, la participation aux services système peut représenter un gain entre 50 et 400 CHF/an et par véhicule. Il est à noter que ce gain est à partager entre différents acteurs : le propriétaire du véhicule, le gestionnaire des bornes, l'éventuel gestionnaire du microréseau et l'agrégateur de flexibilité. C'est d'ailleurs le sujet du projet pilote et de démonstration SunnYparc en cours à Yverdon⁵.

Le « *vehicle-to-grid* » est pour l'instant une technologie étudiée principalement dans des projets de recherche et des projets appliqués. Les politiques s'intéressent néanmoins de près aux opportunités qu'offrirait le « *vehicle-to-grid* » pour équilibrer le réseau. C'est le cas d'Adèle Thorens Goumaz, conseillère aux Etats verte vaudoise qui s'exprimait dans les colonnes du Temps en juin 2022 : « En effet, la Suisse devrait compter, à partir de 2030, plus d'un million de voitures électriques. Le potentiel théorique de ces véhicules mis ensemble correspond, pendant une période

⁵ <https://sunnyparc.ch/>

certes limitée, à une puissance comparable à ce que fournissent les centrales nucléaires suisses » [27].

7.3 Synthèse

Du point de vue technique, le regroupement d'infrastructures de recharge pour véhicules électriques et d'installations photovoltaïques possède de nombreux atouts. Premièrement, il permet de réduire les flux d'énergie sur le réseau de distribution et de diminuer les besoins de renforcement en comparaison d'installations réalisées sur des sites différents. Néanmoins, pour que ce bénéfice technique se reflète sur les aspects économiques, il est nécessaire de considérer une réalisation conjointe comme une seule et même nouvelle installation. Or, actuellement, les prescriptions des distributeurs d'électricité (PDIE, [19]) ne font pas explicitement mention de la possibilité d'un traitement conjoint. Des discussions en ce sens sont néanmoins menées au sein de groupes de travail.

De plus, l'installation conjointe d'infrastructures de recharge et d'installations de production photovoltaïque présente également des avantages en ce qui concerne les aspects spatiaux. En dédoublant l'usage d'un même site, de tels regroupements s'inscrivent dans une logique de réduction de la consommation du territoire.

Néanmoins, malgré ces intérêts techniques, et comme mentionné précédemment, la viabilité économique de tels regroupements n'est actuellement pas toujours assurée. Si les coûts du photovoltaïque en toiture sont compatibles avec la recharge de véhicules électriques, il n'en est pas de même pour des structures en ombrière sur des parkings extérieurs. Des aides spécifiques, telles que celles mises en place dans les pays voisins [23], pourraient être envisagées afin de favoriser les synergies entre la mobilité électrique et la production photovoltaïque.

Les opportunités offertes par le « *vehicle-to-grid* » sont multiples. Il est possible de bénéficier de la flexibilité offerte par la bidirectionnalité au niveau local grâce notamment à l'optimisation de l'autoconsommation, mais aussi à un niveau plus global en participant aux services système. Cependant, l'investissement initial pour l'installation d'une IRVE bidirectionnelle est plus coûteuse qu'une infrastructure composée de bornes simples. Il est à noter qu'encore peu de véhicules électriques aujourd'hui sont bidirectionnels, des améliorations dans ce domaine devraient apparaître ces prochaines années et ainsi rendre plus mature la technologie du « *vehicle-to-grid* » et son marché. La pénétration du « *vehicle-to-grid* » dans le marché de la mobilité électrique reste pour l'instant toutefois assez incertaine.

8. Mesures d'encouragement

Les résultats présentés tout au long des chapitres précédents mettent en avant certains risques et situations pouvant nécessiter l'intervention des pouvoirs publics. Le présent chapitre est dédié aux mesures pouvant être prises par ces derniers afin d'influer sur l'évolution de la situation. Les mesures proposées sont organisées selon 3 axes. Le premier vise à favoriser le développement des infrastructures au domicile et au travail alors que le second est dédié aux infrastructures de substitution sur la voie publique. Le dernier axe est consacré à la réduction des impacts sur le système. Il est néanmoins abordé de manière plus succincte, car cette problématique ne se situe pas au cœur de cette étude.

Pour chacun des 3 axes, les mesures sont séparées selon le niveau de gouvernance considéré : fédéral, cantonal et communal. Elles sont présentées sous forme de tableaux récapitulatifs et désignées par un code à 3 chiffres. Celui-ci est repris lorsque certaines mesures sont abordées de manière plus approfondie à la suite des tableaux.

Les différentes mesures présentées ci-après sont notamment issues des discussions menées au sein du groupe d'accompagnement. Il est à noter que certaines d'entre elles sont déjà mises en application par des entités publiques (communes, cantons ou Confédération) et ne constituent pas des éléments nouveaux apportés par cette étude.

8.1 Favorisation de la recharge au domicile ou au travail

Les infrastructures de recharge au domicile ou sur le lieu de travail présentent clairement le potentiel le plus élevé en ce qui concerne la réponse aux besoins de recharge à l'horizon 2030. En effet, selon le micro recensement sur la mobilité et les transports de 2015 [8], 77% des ménages disposent d'au moins une place de parc à leur domicile et 75% des actifs disposent d'une place sur leur lieu de travail.

De plus, comme illustré par la Figure 10, il est important que la courbe de déploiement des infrastructures de recharge au domicile et sur le lieu de travail suive au plus près celle du développement de l'électromobilité, ceci afin de réduire les risques de surdimensionnement des infrastructures de substitution.

Cette thématique présente ainsi un degré de priorité important en ce qui concerne la mise en place de mesures dédiées.

Tableau 40: mesures de favorisation du développement de la recharge facilitée au domicile ou au travail

Niveau de compétence	Type de mesures	Désignation	Description
Fédéral	Communication	1.1.1	Mise en place d'un standard, sur le modèle du Certificat énergétique cantonal des bâtiments (CECB), dédié à l'électrification des parkings collectifs facilitant le conseil.
		1.1.2	Réalisation et publication d'un guide pour la réalisation d'infrastructures de recharge dans des parkings collectifs (enjeux, étapes des travaux, références, etc.) destiné aux acteurs de l'immobilier et/ou aux entreprises.

		1.1.3	Déploiement d'infrastructures de recharge destinées aux employés de l'administration à des fins d'exemplarité.
	Législation	1.1.4	Adaptation du cadre légal concernant la participation aux coûts du réseau permettant de réduire l'impact de la taxe de raccordement.
Cantonal	Communication	1.2.1	Intégration au programme bâtiment de soutiens financiers pour la réalisation d'infrastructures de recharge dans des parkings collectifs.
		1.2.2	Déploiement d'infrastructures de recharge destinées aux employés de l'administration à des fins d'exemplarité.
	Subvention	1.2.3	Soutien financier pour la réalisation d'études de faisabilité liées à l'électrification des parkings collectifs (immeubles locatifs, PPE, entreprises).
		1.2.4	Soutien financier pour la réalisation d'infrastructures de recharge dans des parkings collectifs (immeubles locatifs, PPE, entreprises).
	Législation	1.2.5	Intégration de l'obligation d'intégrer des infrastructures de recharge, au niveau pré-équipement, lors de la construction ou la rénovation majeure de bâtiments possédant des parkings collectifs (habitations et entreprises).
Communal	Communication	1.3.1	Déploiement d'infrastructures de recharge destinées aux employés de l'administration à des fins d'exemplarité.
		1.3.2	Organisation d'appels d'offres groupés à l'échelle communale pour la réalisation d'infrastructures de recharge dans des parkings collectifs (habitations).
	Subvention	1.3.3	Soutien financier pour la réalisation d'études de faisabilité liées à l'électrification des parkings collectifs (immeubles locatifs, PPE, entreprises).
		1.3.4	Soutien financier pour la réalisation d'infrastructures de recharge dans des parkings collectifs (immeubles locatifs, PPE, entreprises).
	Législation	1.3.5	Intégration de l'obligation d'intégrer des infrastructures de recharge, au niveau pré-équipement, lors de la construction ou la rénovation majeure de bâtiments possédant des parkings collectifs (habitations et entreprises).

Les échanges menés avec les acteurs de l'immobilier dans le cadre de cette étude ont montré que ceux-ci sont nombreux à disposer d'informations fragmentées et/ou erronées à propos de la mobilité électrique. Pour cette raison, ils peinent à appréhender cette problématique dans son ensemble et, par conséquent, à mettre en place des actions concrètes. Dans ce contexte, la mise en place d'une documentation unifiée (1.1.2) pouvant servir de point d'entrée et de référence sur ce sujet pourrait être accueillie favorablement dans le milieu de l'immobilier. De plus, les problématiques rencontrées par les acteurs de ce milieu étant similaires sur l'ensemble du territoire, cette mesure pourrait être mise en place au niveau fédéral afin d'optimiser l'utilisation des ressources.

Toujours selon les discussions menées avec les propriétaires immobiliers et les gestionnaires de parkings publics, les coûts engendrés par l'ampérage des introductions électriques sont perçus comme un frein important au déploiement d'infrastructures de recharge. En lieu et place d'une imputation complète au moment des travaux, ces coûts pourraient être lissés dans le temps et/ou répartis sur tous les utilisateurs du réseau en étant intégrés dans le timbre (1.1.4). Cela permettrait de réduire les investissements nécessaires et, par conséquent, le risque pris par les promoteurs lors de la construction et/ou la rénovation de parkings collectifs.

L'efficacité énergétique des bâtiments relève de la compétence cantonale. Pour cette raison, le programme bâtiment, même si financé en partie par des fonds fédéraux, est géré par les cantons. Néanmoins, certains cantons encouragent également, en parallèle et en dehors du programme bâtiment, la réalisation d'infrastructures de recharge. Cette multiplication des procédures complique aussi bien le travail des administrations que l'accès aux subventions pour les bénéficiaires potentiels. L'intégration de la problématique des infrastructures de recharge dans celle de l'efficacité des bâtiments (1.2.1) permettrait ainsi d'améliorer la visibilité des encouragements et de faciliter le traitement des demandes.

Les encouragements financiers accordés par les cantons (1.2.4 et 1.3.3) pour la réalisation d'infrastructures de recharge dans des parkings collectifs (habitations ou entreprises) sont un outil efficace pour abattre les barrières s'opposant à de tels projets. Dans le contexte des parkings d'habitations, il pourrait être judicieux de concentrer ces subventions sur les coûts de pré-équipement. Cela permettrait de réduire fortement les investissements supportés de manière collective et d'ainsi augmenter l'acceptation de ce type de travaux. La majorité des investissements seraient alors assumés par les utilisateurs effectifs de l'infrastructure.

Le cadre légal pourrait également être adapté de manière à intégrer des obligations de prendre en compte des éléments de pré-équipement lors de la construction ou la rénovation majeure de parkings collectifs. Cette mesure pourrait être mise en place aussi bien au niveau cantonal (1.2.5) que communal (1.3.5). Certains cantons, tel que Neuchâtel, intègrent déjà de tels éléments dans leur cadre législatif (Loi cantonale sur l'énergie).

Un autre outil en mains communales pourrait être l'organisation d'appels d'offres groupés (1.3.2), sur le modèle de ce qui se fait déjà dans le contexte du photovoltaïque. Cette mesure permet de regrouper les potentiels porteurs de projets afin de leur mettre à disposition des éléments d'information factuels et d'augmenter les volumes de commandes afin de réduire les coûts. Une différenciation selon le public cible (habitations ou entreprises) pourrait également être mise en place afin d'améliorer l'efficacité de cette mesure. Cette mesure permet d'avoir un impact efficace sur le développement d'infrastructures de recharge au niveau local.

8.2 Développement d'une infrastructure de recharge publiquement accessible

Comme le montre le calcul de l'impact de la recharge sur le coût total de possession (voir section 5.4), la recharge à domicile est l'option la moins coûteuse pour l'utilisateur. Elle sera donc favorisée lorsque disponible et les infrastructures sur la voie publique peuvent être considérées comme des infrastructures de substitution. Celles-ci sont néanmoins indispensables pour répondre aux besoins des utilisateurs ne pouvant se charger à domicile ou sur leur lieu de travail.

Tableau 41: mesures de favorisation du développement d'une infrastructure de recharge publiquement accessible

Niveau de compétence	Type de mesures	Désignation	Description
Fédéral	Communication	2.1.1	Développement de supports de communication et/ou de guides à l'intention de différents publics cibles.
		2.1.2	Développement d'outils digitaux (plateformes web, applications, etc...) favorisant la diffusion d'une information ciblée.
	Subvention	2.1.3	Soutien financier aux cantons et/ou aux communes pour la réalisation d'études stratégiques ou de planification de déploiement d'infrastructures de recharge.
	Législation	2.1.4	Mise en place de normes contraignantes, et pas seulement de recommandations techniques, concernant l'électrification des parkings et ouverture de ces normes aux parkings publics.
Cantonal	Communication	2.2.1	Elaboration d'un plan stratégique clarifiant le cadre et débouchant sur un plan d'action concret.
	Subvention	2.2.2	Soutien financier au déploiement d'infrastructures de recharge d'utilité publique, mais à rentabilité limitée.
		2.2.3	Soutien financier à l'achat d'un véhicule électrique.
		2.2.4	Soutien financier aux communes pour la réalisation d'études stratégiques ou de planification de déploiement d'infrastructures de recharge.
	Législation	2.2.5	Etablissement d'une loi cantonale définissant des obligations de pré-équipement pour les parkings publiquement accessibles.
		2.3.1	Mise à disposition, avec ou sans contreparties financières, d'emplacements pour le déploiement d'infrastructures de recharge publiquement accessibles.

		2.3.2	Informier et sensibiliser les propriétaires et/ou les opérateurs de parkings sur le territoire communal.
	Subvention	2.3.3	Soutien financier au déploiement d'infrastructures de recharges d'utilité publique, mais à rentabilité limitée.
	Législation	2.3.4	Lier l'attribution de permis de construire et/ou de droits de superficie au déploiement d'infrastructures de recharge publiquement accessibles (niveau pré-équipement ou équipement)

La mesure 2.1.1 vise à faciliter la compréhension des enjeux liés aux infrastructures de recharge par différents acteurs susceptibles de les déployer. Ceux-ci peuvent inclure notamment les centres commerciaux, les communes ou encore les propriétaires et/ou exploitants de parkings publics. Les discussions menées au sein du groupe d'accompagnement ont montré que ces entités éprouvaient parfois de la difficulté à appréhender les enjeux et à mettre en place des actions, principalement par manque d'information. En effet, toutes ces entités ne disposent pas des ressources humaines et/ou financières leur permettant de comprendre facilement la problématique des infrastructures de recharge. Une communication unifiée et structurée, potentiellement différenciée selon les publics cibles, pourrait leur permettre de mettre en place plus rapidement des actions concrètes.

La mesure 2.1.3 s'inscrit dans le même contexte de communication ciblée, mais à destination des utilisateurs finaux. Il peut parfois être difficile pour les possesseurs de véhicules thermiques d'obtenir des informations complètes et fiables sur les différents aspects de la transition vers la mobilité électrique. Le site du Touring Club Suisse [6] donne des éléments concernant l'empreinte carbone et les différents postes de coûts. Néanmoins, l'estimation des coûts de l'approvisionnement en énergie est extrêmement simplifiée. En effet, elle se concentre essentiellement sur les aspects liés aux véhicules et ne prend aucunement en compte les différentes possibilités concernant la recharge. Une plateforme mettant à disposition des informations couvrant l'entier du domaine (véhicule et recharge) et pouvant éventuellement regrouper des recommandations selon des informations fournies par l'utilisateur pourrait ainsi s'avérer être un point de départ solide dans le processus de transition vers la mobilité électrique. L'impact de cette plateforme serait d'autant plus grand si celle-ci était mise à disposition par une entité publique telle que la Confédération, neutre et libre de considérations commerciales.

Des soutiens financiers pourraient également être accordés pour le déploiement d'infrastructures de recharge qui présenteraient un intérêt public, mais dont la rentabilité ne pourrait être assurée. Ce type de soutien peut être mis en place au niveau cantonal (2.2.3) ou communal (2.3.4) et permettrait d'éviter la concentration des infrastructures de substitution dans les zones denses portées par des entités privées à but lucratif, et l'apparition de zones dépourvues d'infrastructures par manque de potentiel commercial.

8.3 Réduction des impacts sur le système électrique - perspectives

A l'échelle locale, la réduction des impacts de la recharge des véhicules électriques sur le système électrique peut être réalisée en rapprochant la production d'énergie des infrastructures de recharge. Comme mentionné à la section 7.1, la production photovoltaïque offre des perspectives intéressantes dans ce contexte.

L'installation de systèmes photovoltaïques est une mesure subventionnée par de nombreux cantons au travers du programme bâtiment. Néanmoins, si l'installation d'infrastructures de recharge pour véhicules électriques est également subventionnée par certains cantons, cet encouragement se fait en dehors du cadre du programme bâtiment. L'intégration directe des subventions pour l'électrification des parkings au programme bâtiment permettrait non seulement la simplification des démarches pour les bénéficiaires, mais également la mise en place d'encouragements supplémentaires en cas de réalisation conjointe avec une installation photovoltaïque. La gestion du programme bâtiment, et notamment la définition de la nature et des montants des mesures d'encouragement, étant du ressort des cantons, ceux-ci pourraient être sensibilisés et encouragés par l'administration fédérale à l'intégration d'encouragements conjoints dans ce programme.

Toujours à l'échelle locale, le conditionnement des encouragements à la mise en place de systèmes de répartition de la puissance et de la limitation des pics de soutirage permettrait également de réduire les impacts sur le réseau électrique. Il est à noter que cette restriction aux subventions est déjà appliquée par certains cantons. Également dans le contexte de l'encouragement conjoint du déploiement d'infrastructures de recharge et d'installations photovoltaïques, la possibilité de tenir compte de la réduction de la puissance apparente⁶ pour le calcul de l'ampérage de l'introduction électrique permettrait de réduire les coûts liés à la taxe de raccordement.

Finalement, à l'échelle nationale, il est nécessaire de favoriser le développement de nouvelles capacités de production électrique afin de pouvoir répondre à l'augmentation de la consommation engendrée par la transition vers la mobilité électrique. Comme mentionné précédemment, il est indispensable que ces nouvelles installations de production soient basées sur des énergies renouvelables afin de concrétiser le potentiel de réduction des émissions que présente la mobilité électrique. Il est également important de mentionner qu'il est possible de répondre aux besoins supplémentaires en énergie liés au développement de l'électromobilité en réduisant la consommation d'autres secteurs, notamment au travers de mesures d'efficacité énergétique.

⁶ Dans ce contexte, le concept de puissance apparente est à comprendre comme la différence entre les puissances nominales de l'infrastructure de recharge et de l'installation photovoltaïque.

9. Conclusions et récapitulatif des principaux résultats

Ce dernier chapitre, servant à la fois de récapitulatif des principaux résultats et de conclusion, est structuré selon les questions de recherche posées en introduction.

9.1 Estimation de la part de ménages sans accès à la recharge privée à l'horizon 2030

Selon les estimations réalisées dans le chapitre 3, la part des ménages ne pouvant avoir accès à la recharge privée, principalement au domicile, mais également sur le lieu de travail, sera comprise entre 60% et 75% à l'horizon 2030. Il est important de rappeler encore une fois ici que ces chiffres ne sous-entendent pas que ces ménages seront nécessairement possesseurs d'un véhicule électrique, mais simplement que, s'ils l'étaient, la recharge du véhicule devrait être assurée sur une infrastructure publiquement accessible.

Il semble également exister une différence marquée entre les milieux d'habitation. La part de ménages sans accès à la recharge privée est ainsi plus forte dans les milieux urbains que dans les milieux périurbains. Cette différence s'explique principalement par la structure du parc de logements. Celui-ci est fortement composé de logements collectifs en location dans les centres urbains. A l'opposé, les milieux périurbains comportent une part importante de logements individuels appartenant aux ménages qui les occupent, une situation plus favorable à l'installation d'infrastructures de recharge privée.

Il est à noter que les besoins en infrastructures de recharge ne peuvent être directement déduits de la part de ménages sans accès à la recharge fixe. D'autres facteurs doivent être pris en compte, tels que le nombre moyen de véhicules par ménage ainsi que le kilométrage moyen de ces véhicules, différents selon les milieux d'habitation.

Ainsi, les estimations faites au chapitre 3 montrent que, même si la part de ménages sans accès à la recharge privée est la plus forte en milieu urbain, ce milieu présente les besoins les plus faibles. A l'opposé, les milieux ruraux, marqués par un plus grand nombre de véhicules par habitant et des prestations kilométriques plus importantes, présentent les besoins les plus élevés.

9.2 Identification des lieux de stationnement offrant le plus grand potentiel pour le déploiement d'infrastructures de recharge publiquement accessibles

Une part importante du potentiel de recharge sur la voie publique est concentrée sur les places de stationnement de courte durée, situées en voirie. Ce résultat est non seulement la conséquence du fait que ces places sont plus nombreuses, mais également celle de la plus grande quantité d'énergie que peuvent délivrer des points de charge installés là.

En milieu urbain, les parkings couverts de longue durée présentent également un potentiel important pour le déploiement d'infrastructures de recharge de substitution. En milieu périurbain, ce sont les parkings extérieurs de longue et très longue durée qui pourraient jouer un rôle similaire. En raison de l'absence de données suffisamment détaillées, il n'a malheureusement pas été possible d'effectuer une analyse similaire sur le territoire de la commune de Val-de-Travers, représentant le milieu rural.

Malgré tout, ces disparités montrent la nécessité d'une approche différenciée selon les milieux d'habitation considérés. Cette constatation est renforcée par le calcul du potentiel théorique (voir sous-section 4.4.1) qui montre une disparité marquée en ce qui concerne le rapport entre les besoins estimés et les possibilités d'y répondre. Sous l'hypothèse d'une pénétration uniforme de la mobilité électrique, indépendante de la situation du logement et/ou de l'accès à une borne privée, les besoins en recharge peineront à être couverts par les infrastructures de recharge publiquement

accessibles. La situation sera d'autant plus tendue dans les milieux ruraux, caractérisés par des possibilités de stationnement moindres que dans les milieux urbains.

9.3 Estimation des investissements nécessaires au déploiement des infrastructures de recharge sur les différents lieux identifiés

Selon les analyses de coûts réalisées dans cette étude, les places de stationnement présentant le plus grand potentiel sont également celles sur lesquelles les investissements à consentir sont les plus importants. L'investissement nécessaire au déploiement d'un point de charge sur une place de courte durée en voirie est estimé à plus de 30'000 CHF. Il est néanmoins important de mentionner que cette estimation se trouve dans la fourchette haute, notamment en raison d'une hypothèse pessimiste concernant la distance à un point de raccordement au réseau électrique. En cas d'installation à proximité directe du réseau, ces coûts sont plus proches de 15'000 CHF.

9.4 Estimation de l'impact des coûts de la recharge sur les coûts totaux de possession

Basée sur les tarifs pratiqués par les opérateurs d'infrastructures de recharge au moment de la réalisation de cette étude, l'estimation de l'impact des coûts de recharge sur le coût total de possession des véhicules électriques montre que celui-ci est, dans le pire des cas, équivalent à celui du carburant pour un véhicule thermique. Cet impact est estimé entre 10% et 14% selon le milieu d'habitation considéré. Dans le cas d'une recharge à domicile, l'option la plus avantageuse en ce qui concerne les coûts, l'impact des coûts de recharge peut être jusqu'à moitié moindre en comparaison de la solution thermique de référence. Les coûts liés à la recharge des véhicules électriques ne constituent donc pas un frein au déploiement de la mobilité électrique, mais plutôt un encouragement.

Il est important de nuancer quelque peu cette conclusion à la lumière de l'augmentation des coûts de l'électricité annoncée pour le début de l'année 2023. Si les chiffres sont disponibles pour les ménages et qu'une augmentation moyenne de l'ordre de 30% est prévue pour ce segment, les opérateurs d'infrastructures de recharge n'ont pas encore communiqué leurs adaptations tarifaires. Celles-ci pourraient être plus importantes selon l'exposition de ces acteurs au marché libre.

Dans ce contexte, le développement d'infrastructures privées à domicile, ou sur le lieu de travail, revêt une importance d'autant plus grande.

9.5 Estimations des impacts sur le système électrique suisse

À des niveaux de pénétration tels que ceux envisagés à l'horizon 2030, l'électromobilité exercera une pression importante sur le système électrique suisse. Cette pression se retrouve au niveau national, avec une augmentation importante, estimée entre 2.9 TWh et 3.9 TWh, de la consommation devant être couverte par une augmentation de la production. Ces chiffres représentent la production de plusieurs centaines d'éoliennes ou de l'équivalent de plusieurs années d'installations photovoltaïques. Pour qu'une telle quantité d'énergie soit disponible d'ici 2030, des actions coordonnées et concrètes doivent être très rapidement menées à bien. Les pouvoirs publics ont ici un rôle central à jouer afin d'éviter le renforcement de la situation de pénurie.

Cette pression se retrouve également au niveau local avec une modification importante des profils de soutirage pouvant renforcer les pics de puissance. Des solutions techniques de répartition de la charge peuvent atténuer ces effets. De plus, la production de l'énergie nécessaire à la charge directement sur le site de sa consommation, notamment grâce au photovoltaïque, présente de

nombreuses opportunités. En effet, le développement conjoint d'infrastructures de recharge et d'infrastructures photovoltaïques permet non seulement d'augmenter la production d'énergie au niveau national, mais également d'éviter son transit par le réseau, limitant d'autant les impacts. De plus, la mutualisation de certains coûts ouvre également des perspectives économiques.

9.6 Propositions de mesures de favorisation de l'accès à la recharge

Selon le baromètre de l'électromobilité [12], la peur de manquer de solutions de recharge est l'élément le plus souvent évoqué pour justifier l'absence de passage à la mobilité électrique. Afin que ce manque de possibilités de recharge ne devienne un frein effectif au développement de l'électromobilité, il apparaît primordial de favoriser le développement des infrastructures de recharge, en priorité au domicile et sur le lieu de travail puis sur la voie publique. Ces deux axes de développement sont ainsi repris dans les mesures proposées. Celles-ci peuvent prendre la forme d'encouragements financiers ou de mesures de facilitation à travers d'actions de communication ou d'exemplarité.

En raison de coûts plus faibles, principalement grâce à la réduction du nombre d'intermédiaires, la recharge privée à domicile est, et restera, privilégiée par les utilisateurs. Le développement de ce type d'infrastructure semble donc prioritaire. Cette conclusion est renforcée par le risque de surdimensionnement potentiel des infrastructures de recharge sur la voie publique (voir sous-section 4.4.1) en cas d'un trop grand décalage temporel entre le développement de la mobilité électrique et celui des infrastructures de recharge privée.

Cette problématique doit être adressée de manière d'autant plus importante par les communes urbaines. Celles-ci sont en effet caractérisées par un plus grand nombre de places de stationnement publiques sur lesquelles peuvent être installées des infrastructures de recharge et un parc immobilier principalement constitué de logements collectifs en location dans lesquels l'installation d'un point de charge implique des processus plus longs. Néanmoins, ces communes ne sont pas dépourvues de moyens d'action et peuvent ainsi agir aussi bien sur le plan législatif en adaptant les règlements communaux pour la construction de nouveaux immeubles qu'en intervenant directement auprès des entreprises et des acteurs de l'immobilier. En complément ou à défaut, ces communes urbaines peuvent accentuer leurs efforts sur le déploiement d'infrastructures situées dans des parkings couverts de longue durée, cette option étant celle conduisant aux investissements les plus faibles.

La problématique est quelque peu différente pour les communes périurbaines, au sein desquelles le déploiement d'infrastructures privées est facilité par la structure du parc immobilier composée en plus grande proportion de logements individuels. De plus, ces communes présentent un nombre réduit de parkings en ouvrage et sont donc plus susceptibles de concentrer leurs efforts sur les grands parkings extérieurs.

Auteurs :

Christian Rod
Chargé de projets stratégiques
Jusqu'en octobre 2022

Geoffrey Orlando
Responsable du pôle « Mobilité électrique »

PLANAIR SA; CRD/GOO/gce ; Yverdon-les-Bains, 19 décembre 2022

10. Abréviations

Abréviations	Signification
PdC	Point de charge
IRVE	Infrastructure de recharge pour véhicules électriques
CTP	Coût total de possession
RCP	Regroupements pour la consommation propre
TGBT	Tableau général basse tension

11. Bibliographie

- [1] Office Fédéral de la Statistique (OFS), « Véhicules ». <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge.html> (consulté le 20 avril 2022).
- [2] Office Fédéral de la Statistique (OFS), « Véhicules routiers – parc, taux de motorisation ». <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge/strassenfahrzeuge-bestand-motorisierungsgrad.html> (consulté le 20 avril 2022).
- [3] Office Fédéral de la Statistique (OFS), « Parc de véhicules routiers par commune, depuis 2010 », *Office fédéral de la statistique*, 31 janvier 2022. <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/20904758> (consulté le 20 avril 2022).
- [4] swiss e-mobility et Protoscar SA, « 2035: scénario de pénétration du marché pour les véhicules à prise (PEV) en Suisse ». juillet 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.swiss-emobility.ch/de-wAssets/docs/SuisseMobility_Szenario_2035_quer_interaktiv_e6.pdf
- [5] Office Fédéral de la Statistique (OFS), « Niveaux géographiques ». <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen.html> (consulté le 20 avril 2022).
- [6] Touring Club Suisse (TCS), « Recherche auto : calculez l'empreinte carbone ». <https://www.tcs.ch/fr/tests-conseils/conseils/achat-vente-vehicule/recherche-auto-comparaison.php> (consulté le 20 avril 2022).
- [7] Auto-Schweiz, « Statistiques », *auto-schweiz*. <https://www.auto.swiss/fr/> (consulté le 20 avril 2022).
- [8] Office fédéral de la statistique (OFS), « Microrecensement mobilité et transports 2015 », 2015. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/erhebungen/mzmv.html> (consulté le 20 avril 2022).
- [9] O. fédéral de la statistique, « Transport de personnes: prestations kilométriques et mouvements des véhicules - 1950-2020 | Tableau », *Office fédéral de la statistique*, 14 décembre 2021. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/tableaux.assetdetail.19904691.html> (consulté le 21 janvier 2022).
- [10] Office Fédéral de la Statistique (OFS), « Typologie des communes 2012 en 9 catégories (Communes) | Carte », *Office fédéral de la statistique*, 9 mai 2017. <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/2543283> (consulté le 20 avril 2022).
- [11] e-cube, « Planification stratégique de l'infrastructure de recharge publique vaudoise ». 2019.
- [12] TCS, « Baromètre de l'électromobilité 2021 ». 2022.
- [13] Office Fédéral de la Statistique (OFS), « Logements selon Canton, Nombre de pièces, Mode d'utilisation du logement, Statut d'occupation, Type de bâtiment et Type de propriétaire », *PX-Web*. http://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/fr/px-x-0903020000_102/-/px-x-0903020000_102.px/ (consulté le 30 mai 2022).
- [14] « RegBL | Registre fédéral des bâtiments et des logements ». <https://www.housing-stat.ch/fr/madd/public.html> (consulté le 8 juillet 2022).
- [15] Protoscar, « Guide d'installation de systèmes de recharge pour véhicules électriques 2021 ». 2021.
- [16] « Le plein d'énergie verte dans la zone bleue ». <https://www.bulletin.ch/fr/news-detail/le-plein-denergie-verte-dans-la-zone-bleue.html> (consulté le 21 juin 2022).
- [17] OFEN, « Statistique de l'électricité 2020 », juin 2021. Consulté le: 14 juillet 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/approvisionnement/statistiques-et-geodonnees/statistiques-de-lenergie/statistique-de-l-electricite.html>
- [18] Swissolar, « Le marché suisse du photovoltaïque », décembre 2022. Consulté le : 16 décembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.swissolar.ch/fr/lenergie-solaire/faits-et-chiffres/graphiques/#:~:text=Le%20march%C3%A9%20suisse%20du%20photovolta%C3%AFque,march%C3%A9%20%C3%A9tait%20m%C3%Aame%20de%2046%25>.

- [19] AES VSE, « Prescriptions des distributeurs d'électricité - PDIE CH 2021 ». AES VSE, 2021.
- [20] ElCom, « Directive 1/2019 de l'ElCom - Renforcements de réseau ». 2019.
- [21] Marine Cauz, Florent Jacqmin, et Lionel Perret, « Compensation d'énergie réactive de l'usine Camille Bloch avec des onduleurs PV ». Planair, 2019.
- [22] Swiss Grid, « Fiche d'information - maintien de la tension ». 2022.
- [23] Energie Zukunft Schweiz, « Solarstrom auf Parkplatzüberdachungen ». 2022.
- [24] OFEN, *Ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables*. 2021. Consulté le: 25 novembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/sammlungen/beilage-medienmitteilung-bundesrat-setzt-revidierte-verordnungen-im-energiebereich-in-kraft#kw-107326>
- [25] « Communiqué de presse Press release Volkswagen V2G VW 2021 ».
- [26] L. Deschaintre, « RegEnergy étude théorique 2020 ».
- [27] A. T. Goumaz, « Vehicle to Grid (V2X): utiliser les batteries des voitures électriques pour équilibrer le réseau », *Une lecture verte de l'actualité politique*, 17 juin 2022. <https://blogs.letemps.ch/adele-thorens/2022/06/17/vehicule-to-grid-v2x-utiliser-les-batteries-des-voitures-electriques-pour-equilibrer-le-reseau/> (consulté le 13 septembre 2022).