



**HAL**  
open science

## Infrastructure de recharge pour véhicules électriques : quels défis pour les territoires ?

Marc-Olivier Metais, Yannick Perez

### ► To cite this version:

Marc-Olivier Metais, Yannick Perez. Infrastructure de recharge pour véhicules électriques : quels défis pour les territoires ?. 2021. hal-03131324

**HAL Id: hal-03131324**

**<https://hal.science/hal-03131324>**

Preprint submitted on 4 Feb 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# ***Infrastructure de recharge pour véhicules électriques : quels défis pour les territoires ?***

Marc-Olivier Metais<sup>1</sup> et Yannick Perez<sup>2</sup>

## Chapeau :

L'urgence climatique impose une réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre de tous nos secteurs d'activité, dont celui des transports. La transition vers une mobilité électrique permettrait de réduire considérablement les émissions de ce secteur. Pour permettre cette transition, une infrastructure de recharge adaptée aux besoins des utilisateurs est nécessaire. Elle doit donc être déployée selon une méthodologie précise et en fonction des ressources disponibles. Les territoires ont un rôle important à jouer dans le développement de cette infrastructure, afin qu'elle leur apporte un réel bénéfice.

## Article :

Le secteur des transports est responsable d'une part de plus en plus importante des émissions de gaz à effet de serre, notamment en France où il représente environ 30% des émissions [1]. Une transition vers une mobilité avec un impact carbone réduit est donc un des objectifs majeurs fixés lors des différents sommets internationaux sur l'environnement. La tendance est à un basculement vers les véhicules électriques, avec des batteries pour la mobilité individuelle, sur les technologies biogaz et hydrogène pour remplacer les autres mobilités thermiques. La mobilité électrique individuelle, si elle est approvisionnée par un système de production d'électricité décarboné, permet de diminuer drastiquement les émissions de gaz à effet de serre associée au transport de personnes, en plus de générer très peu de pollution locale (pas de gaz d'échappement, moins d'émissions de particules fines, pollution sonore réduite...).

Malgré tous ces avantages, l'adoption d'une mobilité électrique est plutôt lente. En cause, deux principales barrières [2].

La première barrière concerne le prix des véhicules électriques (VE) associé au manque d'offres alternatives pour tous les usages : aujourd'hui un véhicule électrique coûte encore 30% de plus que leur équivalent thermique. Mais des aides publiques existent déjà pour l'achat de véhicules électriques, et leur prix est amené à baisser dans les prochaines

---

<sup>1</sup> Doctorant en Sciences de l'Ingénieur, *Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, Laboratoire de Génie Industriel 91190, Gif-sur-Yvette, France et Institut Vedecom, 78000 Versailles*

<sup>2</sup> Titulaire de la Chaire Armand Peugeot. Professeur des Universités en Sciences Economiques, *Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, Laboratoire de Génie Industriel 91190, Gif-sur-Yvette, France*

années pour converger vers celui des véhicules thermiques d'ici 2025, alors même qu'aujourd'hui les économies de carburants et d'entretien les rendent en coût complets moins onéreux sur une durée d'utilisation de 4 ans [3]. De plus, si les options de VE connectés à leurs environnements en mode bidirectionnel se développent aux niveaux des réseaux de transport d'électricité [4,5], des réseaux de distribution [6], des maisons individuelles et des bâtiments [7], alors les coûts d'usages de ces VE devraient encore baisser [8], effaçant de fait ce frein à l'électrification des véhicules.

La seconde barrière concerne la « peur de la panne » ou plus spécifiquement la *range anxiety* [3]. Cette notion fait référence à la peur des conducteurs de ne pas pouvoir voyager en électrique comme ils le feraient avec un véhicule thermique, du fait de leur autonomie moindre et de la difficulté à trouver une solution de recharge.

Dans cet article, nous nous intéressons donc principalement à ce problème de *range anxiety*, ainsi qu'aux solutions identifiées pour le résoudre. Pour ce faire, nous verrons successivement les principaux déterminants économiques du développement des infrastructures de recharge, puis les solutions identifiées ainsi que le rôle que les pouvoirs publics y ont à jouer.

### 1) Plus de stock de batteries par voiture ou plus de points de recharge ?

La première dimension à prendre en compte dans le déploiement d'une infrastructure de recharge est de bien comprendre qu'il y a deux solutions différentes qui sont à l'œuvre pour adresser la question de la peur de la panne : La première solution est d'augmenter l'autonomie de chaque voiture par un accroissement de la capacité de stockage de la batterie... ce qui ne fait que déplacer le problème de quelques kilomètres, puisque la crainte de ne pas pouvoir se charger en cas de besoin reste présente. De plus, augmenter l'autonomie des véhicules, qui est déjà suffisante pour l'essentiel des trajets du quotidien, accroît le prix de vente de ces véhicules inutilement.

La seconde solution envisageable est d'augmenter l'offre de point de recharge. Si les conducteurs de VE sont assurés de pouvoir trouver des solutions de recharge correspondant à leurs besoins, au moment où ils en ont besoin, la *range anxiety* s'en trouvera fortement diminuée sans accroître la taille de leur batterie.

Un compromis est à trouver entre capacité des batteries par VE et investissement dans l'infrastructure [9], mais quoi qu'il en soit, la démocratisation des VE passera nécessairement par le déploiement d'un réseau de bornes de recharges adapté aux besoins des utilisateurs qui n'ont pas tous accès à une place de parking électrifiée [10]. Reste donc à présent à définir plus précisément ce que l'on entend par une infrastructure de recharge adaptée aux besoins des usagers...

Une infrastructure de bornes de recharge pour VE est un bouquet cohérent de solutions de recharge qui permettent de garantir une recharge efficace des véhicules électriques présents, ou utilisant, les routes du territoire concernée.

Ce bouquet de solutions comprend donc un assortiment de bornes de recharge pouvant être classées en trois catégories : lentes, intermédiaires ou rapides. Les bornes lentes, d'une puissance de 1,5 à 7 kW, chargent complètement un véhicule en environ une dizaine d'heures<sup>3</sup> ; les intermédiaires, souvent d'une puissance de 22kW à 50 kW, réalisent cela en 3h environs ; Enfin les bornes rapides, d'une puissance allant de 150 à 350 kW, sont capables de charger une batterie en une quelques minutes, ce qui peut sembler très intéressant pour les usages urgents.

Cependant, le prix d'installation d'une borne rapide peut être plus de 100 fois supérieur à celui d'une borne lente [11]. En cause, le prix de la borne elle-même, mais également tous les coûts liés à l'environnement électrique, informatique et la sécurité opérationnelle du point de charge<sup>3</sup>. Pour illustration, l'installation d'une borne requérant 350 kW - qui correspond à la puissance consommée par 20 maisons – nécessite de prendre plus de précautions et de d'investissement en terme de sécurité des usagers, qu'une borne de 3 kW (environ la puissance d'un lave-linge) sachant que l'on installe généralement plutôt 4-10 bornes qu'une seule !

## 2) Une infrastructure centrée sur l'utilisateur... Mais pas que !

Une infrastructure de recharge doit répondre à une triple contrainte : technique, économique et comportementale. La première contrainte est technique, puisque les technologies utilisées doivent être choisies judicieusement en tenant compte des limites de l'environnement dans lequel elles sont déployées (le réseau électrique ou les risques d'incendie par exemple). Économique ensuite, puisque la couverture d'un territoire représente un engagement financier important, qui doit assurer un retour sur investissement pour les installateurs et opérateurs de recharge. Enfin, la prise en compte du comportement de l'utilisateur est aussi importante que les deux premières dimensions. Le but de l'infrastructure est de faire en sorte que les usagers puissent disposer d'une infrastructure adaptée à leurs besoins, afin de dissiper leurs craintes et leur garantir un confort d'utilisation proche de celui du véhicule thermique<sup>4</sup>.

Il est donc primordial, pour les utilisateurs comme pour les investisseurs, d'avoir une infrastructure dont la logique est centrée sur les besoins des utilisateurs en termes de puissance de borne et de lieu d'implantation.

---

<sup>3</sup> Il faut aussi noter que les bornes plus puissantes sont une source d'usure plus rapide pour les batteries des véhicules électriques. Dans une optique de prolonger la durée de vie des véhicules, il est donc parfois intéressant pour les utilisateurs de pouvoir se charger plus lentement. Le choix des bornes à installer n'est donc pas anodin.

<sup>4</sup> De plus, la rentabilité de l'infrastructure dépend grandement de la qualité de service qu'elle offre : plus le réseau de recharge sera adapté aux besoins des usagers, plus il leur permettra d'être suffisamment en confiance pour utiliser un véhicule électrique, et plus ils utiliseront l'infrastructure.

Il faut donc choisir la bonne borne de recharge (puissance), pour le bon usage au bon endroit. Mais aussi, il convient de définir un bon timing de déploiement. En effet, il y a peu de chances qu'une infrastructure répondant pleinement aux besoins des utilisateurs soit déployée en quelques semaines, et ce, même en considérant un faible nombre de véhicules électriques. Les investissements nécessaires restent importants pour couvrir les besoins de ces véhicules : quel que soit ce nombre, une bonne stratégie de maillage du territoire à couvrir est indispensable si l'on veut que les véhicules électriques puissent s'y déplacer efficacement. Mais quelle logique de développement faut-il adopter pour atteindre ce déploiement territorial efficace ?

### 3) Quelles logiques de développement adopter ?

Pour répondre à cette question, la littérature technico-économique propose plusieurs méthodes et logiques possibles pour choisir les emplacements des bornes sur un territoire donné. Nous allons les présenter successivement de la plus simple à la plus efficace.

#### *a) Une logique de couverture de territoire : Pour les charges lentes*

Une première stratégie possible, la plus simple, est une approche par nœud : considérant qu'une station couvre les besoins de charge dans un certain périmètre autour d'elle, il faut placer les stations de manière à ce qu'elles englobent tous les points de demande. Le dimensionnement des stations vient ensuite en fonction de l'importance de la demande aux emplacements choisis.

Cette stratégie est assez simple à mettre en place car elle requiert assez peu de données. Elle s'adapte bien dans le cas où l'on souhaite placer des stations destinées à des recharges pendant la nuit, lorsque les utilisateurs se garent à proximité de leur domicile. Dans ce cas, on a à faire à une demande assez statique, relativement stable et prévisible, puisque directement liée à la densité de population possédant un véhicule électrique. Cette approche résout efficacement le problème des trajets du quotidien et lève la contrainte de la possession individuelle d'une borne de recharge privée au domicile. En revanche, cette approche ne parvient pas à capter la demande émergeant des flux de véhicules transitant dans le territoire [12].

#### *b) Une logique de captation des flux de véhicule : pour les charges rapides*

Prenons un exemple simple : vous êtes au volant de votre véhicule électrique et votre autonomie n'est pas suffisante pour finir votre trajet. Il faut trouver une station sur votre chemin sans ajouter un détour de 50 km ! C'est le but de cette approche : mesurer les flux de véhicules, et placer des stations sur les itinéraires les plus empruntés.

Cette solution requiert un peu plus de données que la précédente, puisqu'il faut mesurer les flux de voitures sur le territoire étudié. Elle est très efficace pour répondre à la problématique de la recharge en route, notamment pour les grands trajets qui excèdent l'autonomie des véhicules et nécessitent une - ou plusieurs - recharge en route... ou les cas d'urgences comme dans notre exemple.

Cependant, son principal défaut est qu'elle ne tient pas compte d'un des avantages du véhicule électrique par rapport au véhicule thermique : le VE ne requiert pas la présence de l'utilisateur pendant la phase de charge qui peut se faire pendant les temps morts de stationnement. Au contraire, la stratégie par captation de flux aura tendance à privilégier des stations "sur la route" pour lesquelles il faudra faire un arrêt spécifique pour se charger. Ceci peut être acceptable pour les stations de charge rapides pour lesquelles la charge dure seulement quelques minutes à la manière des stations-services, mais elle ne convient pas pour les recharges longues et lentes qui peuvent mettre plusieurs heures à charger un véhicule sans stress pour les réseaux de fourniture d'électricité [13].

### *c) Une logique de développement en fonction des usagers*

Pour dépasser les limites des deux premières approches, une dernière a été mise en place. L'objectif de cette approche est d'avoir une infrastructure qui s'adapte au quotidien de l'utilisateur. Le principe est assez intuitif : il s'agit de placer des bornes là où un maximum d'utilisateurs auront le temps de se charger sans que cela ne représente de contrainte supplémentaire pour eux. Elle repose donc sur l'identification et la captation d'événements pouvant constituer une opportunité de charge sur un territoire donné.

Par exemple, il peut être intéressant de placer des bornes dans une zone commerciale, à proximité d'un cinéma, d'un théâtre, d'une piscine, d'une bibliothèque... autant de lieux où les usagers peuvent ainsi brancher leurs voitures pendant qu'ils font leurs diverses activités, et récupérer leur véhicule chargé quand ils ont fini, le tout sans perdre de temps. Cette méthode est idéale mais son point faible réside dans l'accès aux données relatives aux comportements des usagers...

Pour planifier une infrastructure qui colle à ce point aux habitudes des usagers, il faut énormément de données sur leurs comportements de mobilité : combien de kilomètres ils parcourent, où est-ce qu'ils s'arrêtent, pour combien de temps... L'accès direct à de telles données, mêmes anonymisées, est très compliqué, voire impossible, pour des raisons évidentes et légitimes de respect de la vie privée. Il nous faut donc reconstituer ces données à partir d'autres sources, indirectes, ce qui est un travail long et fastidieux de data management.

## 5) Quel financement ?

La constitution de bouquets de borne de recharge est assurée actuellement par trois types d'investisseurs qui ne se coordonnent pas, ou pas assez : Les premières sont les bornes privées, à savoir celles qu'il y a chez les particuliers. Les bornes semi-publiques peuvent se trouver par exemple sur les parkings de centres commerciaux. Ce sont des bornes dans un espace privé mais accessible à tout le monde, et qui peuvent être de l'initiative du propriétaire du lieu, ou d'un autre acteur souhaitant développer une infrastructure, avec l'accord du propriétaire bien entendu. Enfin, les bornes publiques se situent dans des espaces publics, et peuvent être possédées par un acteur public ou privé dans le cadre d'une délégation de service public.

Dans la plupart des cas, un opérateur décidant de déployer une infrastructure de recharge sur un territoire ne sera pas en situation de monopole sur celui-ci, ne serait-ce que parce que certains particuliers peuvent avoir des bornes de recharge chez eux, souvent moins gourmandes en termes de coût d'installation. Si les bornes privées échappent à tout contrôle et recensement, puisque les particuliers ont parfaitement le droit de posséder une borne chez eux sans la signaler, il reste important de coordonner les bornes publiques et semi-publiques entre les différents acteurs, et ce pour plusieurs raisons.

1. Le nombre de zones non couvertes par l'infrastructure doit être réduit au maximum. En l'absence de coordination, le risque est très important d'avoir une concentration des bornes dans les endroits les plus fréquentés. Or la création de « zones blanches » n'est absolument pas soutenable sur le long terme car les usagers n'auront pas confiance en la capacité des véhicules électriques pour assurer tous leurs déplacements, et privilégieront donc soit les véhicules thermiques, soit les territoires équipés en infrastructures de qualité.
2. Une mauvaise coordination des développeurs d'infrastructures peut également conduire à un risque d'une mauvaise allocation des ressources : sans coordination, les zones les plus fréquentées seront suréquipées par une accumulation d'investissements portés par différents acteurs publics et privés non coordonnés. Cette situation crée deux problèmes : le risque de ne plus avoir de capacité d'investissement pour le reste du territoire et le risque d'avoir des bornes sous-utilisées dans les zones les plus fréquentées du fait de leur trop grande concentration<sup>5</sup>.
3. Sans un pilotage et une coordination des investissements, le risque encouru est le développement anarchique des stations de recharge. Au vu de l'autonomie des véhicules électriques et des comportements des utilisateurs, qui naviguent entre les différentes communes pour se rendre sur leurs lieux de travail ou de loisir, la coordination doit se faire au minimum à l'échelle de communautés de communes, ou au-delà, en fonction des routines de mobilité des administrés<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> dit également effet de cannibalisation

<sup>6</sup> En assumant que les infrastructures des axes routiers nationaux soient gérées au niveau national

4. Cette coordination doit s'opérer dans le temps car la taille du problème est appelée à prendre de l'ampleur : En 2020, le stock de véhicules thermiques possédé par la population française est légèrement supérieur à 40 millions d'unités, contre moins d'un million de VE. Pour 2035, les experts du Réseau de Transport d'Electricité de France - peu sujets aux biais trop optimistes concernant les technologies décentralisées - prévoient entre 5 et 17 millions de Véhicules Électriques en circulation sur le territoire national [14]. Il conviendra donc de déployer des services d'accompagnement de ce phénomène aux niveaux des territoires pour accompagner les différentes phases de ce développement : l'installation initiale, le développement en fonction des besoins, la maintenance dans le temps, le remplacement dans une dizaine d'années...

#### 6) Quels rôles pour les territoires ?

Ainsi, le besoin de planification locale est essentiel. Il serait trop risqué pour un investisseur - public ou privé- de déployer un vaste bouquet de points de recharge en une fois, sans garantie de retour sur investissement. De même, s'il n'y a pas de mise en place d'une infrastructure de recharge minimale, les utilisateurs seront réticents à passer au VE. Les territoires doivent s'engager à définir une stratégie d'investissement et leur positionnement par rapport à l'infrastructure existante et future.

Plusieurs choix s'offrent à eux [14].

1. La première solution est de rester passif et laisser les acteurs privés se développer, au risque de voir apparaître les problèmes relatifs au manque de cohésion de ces acteurs.
2. Les pouvoirs publics locaux peuvent se poser en chef d'orchestre, coordonnant les différents opérateurs souhaitant installer et exploiter des bornes, et subventionnant éventuellement des installations pour compléter l'infrastructure dans les zones les moins intéressantes pour les acteurs privés. Cette stratégie présente l'avantage de ne pas nécessiter de compétences techniques particulières de la part des acteurs publics, puisque l'entretien de l'infrastructure serait du ressort des acteurs privés. En revanche, une stratégie basée sur les subventions peut s'avérer moins intéressante à long terme, les opérateurs privés pouvant délaissé leurs installations les moins rentables une fois les subventions coupées, dégradant l'utilité globale de l'infrastructure de recharge.
3. Les pouvoirs publics locaux peuvent enfin investir eux-mêmes dans les éléments clés d'une infrastructure, qui appartiendrait alors au domaine public et permettrait d'encourager l'adoption de véhicules électriques, quitte à céder les installations en concession à un acteur privé a posteriori. Bien qu'il faille alors assurer la gestion de l'infrastructure au moins dans un premier temps, une telle stratégie d'investissement a pour avantage d'assurer que le développement de



l'infrastructure se fera dans l'intérêt des administrés, en plus d'assurer un certain retour sur investissement aux administrations.

Nous avons montré que le développement de l'infrastructure de recharge doit donc accompagner l'augmentation du nombre de véhicules électriques. Cela permettrait d'enclencher un cercle vertueux où une amélioration de l'infrastructure entraîne une augmentation du nombre de véhicules électriques, qui entraîne elle-même des investissements supplémentaires pour développer l'infrastructure un cran plus loin, et ainsi de suite. L'infrastructure de recharge doit donc être déployée selon une configuration géographique pertinente de manière à couvrir le territoire, mais également selon un agenda précis, afin d'entretenir cette spirale positive capable de surmonter le phénomène de *range anxiety* qui constitue la principale barrière au déploiement des VE.

### Bibliographie :

- [1] Commissariat général au développement durable, Ministère de la transition écologique et solidaire, *Chiffres clés du climat*, 2019
- [2] Nigel Berkeley, David Jarvis, Andrew Jones, *Analysing the take up of battery electric vehicles: An investigation of barriers amongst drivers in the UK*, 2018
- [3] Nadine Rauh, Thomas Franke, and Josef F. Krems, *Understanding the Impact of Electric Vehicle Driving Experience on Range Anxiety*, 2015
- [3] Nikolas Soulopoulos, *When Will Electric Vehicles be Cheaper than Conventional Vehicles?* Bloomberg New Energy Finance, 2017
- [4] Paul Codani, *Integration des véhicules électriques dans les réseaux électriques : Modèles d'affaire et contraintes techniques pour constructeurs automobiles*, 2016
- [5] Olivier Borne, *Vehicle-to-grid and flexibility for electricity systems: from technical solutions to design of business models*, 2019
- [6] F. Gonzalez Venegas, M. Petit, Y. Perez, *Electric vehicles as flexibility providers for distribution systems. a techno-economic review*, 2019
- [7] Icaro Silvestre Freitas Gomes, Yannick Perez, Emilia Suomalainen *Coupling small batteries and PV generation: A review*, 2020
- [8] Andrew Thompson and Yannick Perez, *Vehicle-to-Anything (V2X) Energy Services, Value Streams, and Regulatory Policy Implications*, 2020
- [9] Bassem Haidar, Pascal da Costa, Jan Lepoutre, Fabrice Vidal, *Which combination of battery capacity and charging power for battery electric vehicles: urban versus rural French case studies*, 2020
- [10] France Stratégie. *Panorama des politiques publiques en faveur des véhicules à très faibles émissions - Note de synthèse*
- [11] Michael Nicholas. *Estimating electric vehicle charging infrastructure costs across major U.S. metropolitan areas*. ICCT, 2019.
- [12] M. John Hodgson. *A Flow-Capturing Location-Allocation Model*. *Geographical Analysis*, 22(3):270–279, 1990.
- [13] Zhuo Sun, Wei Gao, Bin Li, Longlong Wang *Locating charging stations for electric vehicles* *Transportation Policy*, 2018
- [14] *Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique – Principaux résultats*, Rapport RTE, 2019
- [14] Alfred Wiederer, Ronald Philip, *Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities*, 2010