

Le véhicule électrique : un atout pour un mix «optimal» bas carbone ?

Quentin Maitre*

@ 10274

Les prochaines années devraient voir arriver des millions de véhicules électriques sur nos routes et dans nos garages. Le développement du VE/VHR (véhicule électrique et hybride rechargeable) a parfois été présenté comme un risque pour le réseau, aujourd’hui l’étude plus fine des enjeux de leur intégration montre que leur flexibilité, potentiellement accessible à coût marginal faible, pourrait être un atout d’une grande valeur pour le système électrique, en particulier dans un contexte du développement des énergies renouvelables partiellement pilotables. Le véhicule électrique peut en effet fournir au système électrique une gamme de services du temps réel jusqu’à la maille hebdomadaire particulièrement intéressant en présence de ces types d’EnR. Il ne constitue pas pour autant une solution «magique» qui garantirait la faisabilité d’un système 100 % EnR.

1. L’arrivée massive du véhicule électrique

Après plus de 150 ans d’histoire et plusieurs revers, l’arrivée massive des véhicules électriques rechargeables, sauf «accident», est maintenant une certitude avec 2020 comme année charnière pour le marché européen.

Au niveau mondial, la chute vertigineuse du coût des batteries Lithium Ion et l’augmentation de leur performance sont à l’origine du regain d’intérêt pour le véhicule électrique depuis quelques années (la batterie représentant jusqu’il y a peu environ 40 % du coût d’un véhicule électrique).

En Europe le marché va s’accélérer à partir du 1^{er} janvier 2020 du fait de la norme CAFE (*Corporate Average Fuel Economy*) qui impose aux différents constructeurs automobiles une cible d’émissions moyennes de CO₂ dans leurs ventes de véhicules légers dans l’UE. Ces

cibles sont modulées selon les constructeurs autour des 95 gCO₂/km en 2020 et baisseront de 15 % en 2025.

Le non-respect de cette norme se traduira par des pénalités de 95 € par gramme en écart et par véhicule vendu. Vu les volumes vendus, l’enjeu financier pour les constructeurs pourrait rapidement se compter en centaines de millions voire en milliards d’euros. À titre d’illustration, Volkswagen, premier constructeur européen, vend 3,6 millions de véhicules en Europe, ce qui représenterait donc 350 millions d’euros de pénalités par gramme d’écart en moyenne par rapport à leur cible en 2020.

Pour atteindre ces niveaux d’émissions limites, il est indispensable de vendre suffisamment de véhicules électriques rechargeables (véhicules 100 % électriques et hybrides rechargeables), les constructeurs ont donc étendu leurs gammes avec des motorisations électriques et pousseront fortement les ventes de ces motorisations auprès des clients à partir de 2020. L’étude *Electric Surge : Carmarkers’*

* EDF (cf. biographies p. 56).

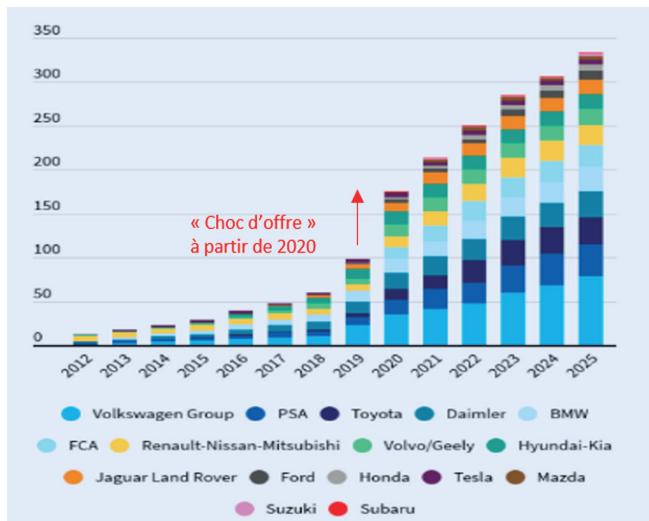


Figure 1. Modèles de véhicules électriques disponibles sur le marché européen par constructeur

Source : Transport & Environment via données IHS juillet 2019

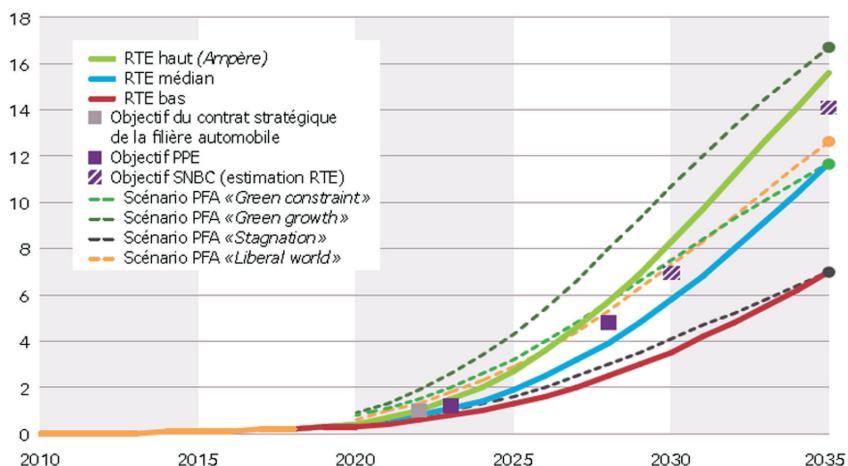


Figure 2. Scénarios d'évolution du parc de véhicules électriques en France

Source : Scénarios RTE et externes – RTE 2019 (PFA : Plateforme Filière Automobile)

electric car plans across Europe 2019-2025 [Transport & Environment; 2019] prévoit que les véhicules électriques rechargeables atteindront sous cette contrainte 7 % de la production européenne de véhicules passagers en 2020 (soit une multiplication par plus de 2 des ventes par rapport à 2019) et 23 % en 2025.

Cette trajectoire devrait, en France, conduire à des volumes de vente cohérents avec le contrat de la filière automobile 2018 (viser une multiplication par cinq d'ici fin 2022 des ventes de véhicules 100 % électriques), la PPE 2023 (1,2 million de véhicules électriques en circulation en 2023) et mettre le pays en bonne voie pour atteindre les objectifs de la

Le véhicule électrique : un atout pour un mix « optimal » bas carbone ?

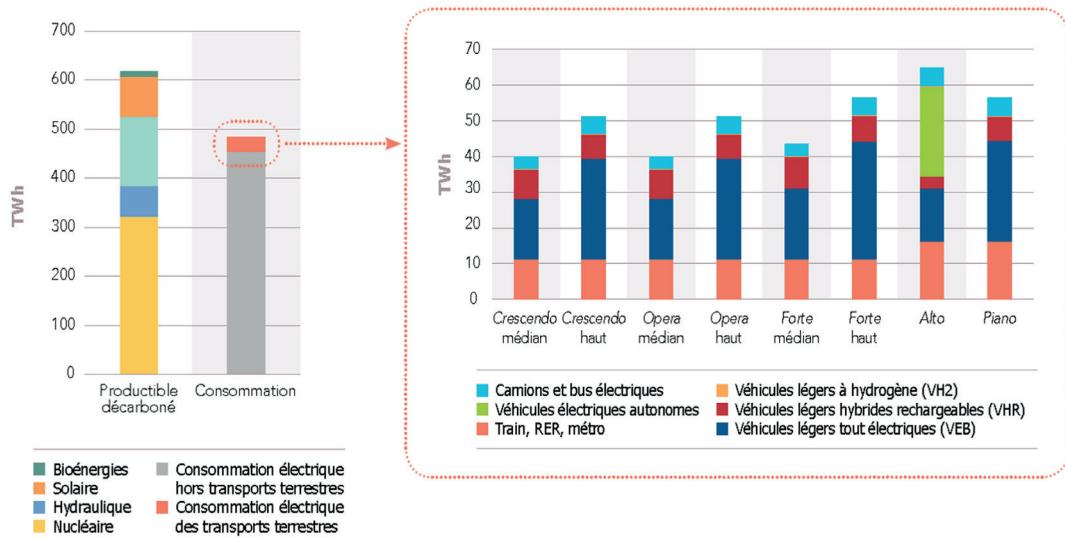


Figure 3. Consommation électrique annuelle et productible du parc électrique décarboné français à l'horizon 2035

Source : Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique RTE 2019 – selon orientation PPE

PPE 2028 (4,8 millions de véhicules électriques en circulation en 2028).

Si le nombre de véhicules électriques à 2035 est encore incertain, les scénarios de RTE proposent une fourchette entre 7 et 16 millions de véhicules électriques en circulation à cet horizon, il n'y a maintenant plus de scénarios où les VE/VHR ne représentent pas une part significative du parc français pour un parc automobile composé de 39 millions de véhicules passagers et utilitaires légers en 2018.

2. Le véhicule électrique n'est pas une menace pour l'équilibre du système électrique au moins pour les 15 prochaines années

Cette perspective de développement rapide suscite parfois des interrogations voire des craintes sur la capacité du réseau et du système électriques à absorber le développement de ce nouvel usage. Les études d'EDF, RTE et ENEDIS sont formelles et concordent sur le fait qu'il n'y

a pas de menaces pour le système électrique au moins dans les 15 prochaines années.

La première raison est liée à l'efficacité énergétique du moteur électrique. Son rendement dépasse les 90 % alors que le moteur thermique atteint difficilement les 35-40 % « à l'arbre » et les 30 % à la roue. En conséquence, le véhicule électrique consomme peu d'électricité.

Ainsi, un véhicule hybride rechargeable ou 100 % électrique représente en ordre de grandeur respectivement la consommation d'un petit ou d'un gros ballon d'eau chaude sanitaire, soit 1,5 à 3 MWh/an pour un kilométrage annuel moyen autour des 15 000 km.

Ainsi, dans les différents scénarios de RTE à 2035, la consommation additionnelle amenée par les véhicules électriques atteint au maximum 40 TWh (50 TWh en incluant le transport électrique lourd et une forte pénétration des véhicules autonomes plus consommateurs).

Selon RTE, cette consommation additionnelle sera compensée en partie par les gains

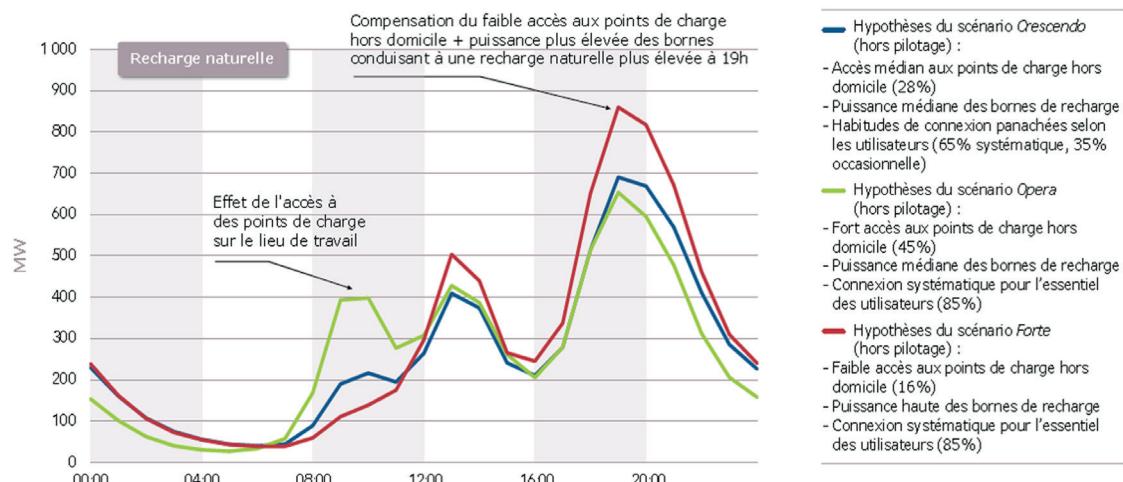


Figure 4. Courbe de charge type pour un jour ouvré moyen pour un million de véhicules électriques

Source : Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique RTE 2019 – selon différentes variantes

d'efficacité énergétique dans les bâtiments (rénovation et pompes à chaleur) et dans les usages domestiques, notamment les usages « blancs » (réfrigérateur, congélateur, lave-linge, sèche-linge, lave-vaisselle).

Dans le même temps, le développement des installations de production solaire et éolienne prévu dans la Programmation pluriannuelle de l'énergie devrait apporter une production renouvelable additionnelle de plus de 150 TWh. En production annuelle donc, il y aura largement assez d'énergie bas carbone pour alimenter toutes nos voitures électriques (voire plus si l'électrification du transport lourd se concrétise également!).

L'enjeu ne réside donc pas dans la capacité à fournir l'énergie nécessaire mais plus à garantir l'adéquation à chaque instant entre production et consommation. Sur ce point, le véhicule électrique présente comme la production d'eau chaude un avantage intéressant, la recharge peut être en partie découpée de l'usage. Si on peut difficilement déplacer le moment où l'usage est consommé, en revanche on peut dans une certaine mesure placer la recharge à un moment propice.

De ce point de vue, c'est la recharge quotidienne ou hebdomadaire pour les besoins de mobilité locale, donc principalement à la maison, au travail, dans les centres commerciaux, qu'il convient de maîtriser en premier lieu, en s'assurant de la placer aux meilleurs moments.

La charge rapide, parce qu'en temps contraint, sur des trajets longs lors des départs/retours en vacances, se fait naturellement dans des périodes de faible charge (vacances et week-end). Son traitement pose d'abord la question du développement coordonné du réseau de distribution et des implantations de borne ainsi que des enjeux d'équilibre offre-demande national.

Les simulations de RTE basées sur des modélisations des déplacements des véhicules associés à différentes hypothèses de comportement, d'accessibilité de la charge et de puissances de points de charge sont rassurantes. Dans le « pire » des cas, c'est-à-dire sans aucun pilotage de la charge, la contribution du véhicule électrique à la pointe de consommation hivernale pourrait être autour de 1 GW pour 1 million de véhicules électriques.

Le véhicule électrique : un atout pour un mix « optimal » bas carbone ?

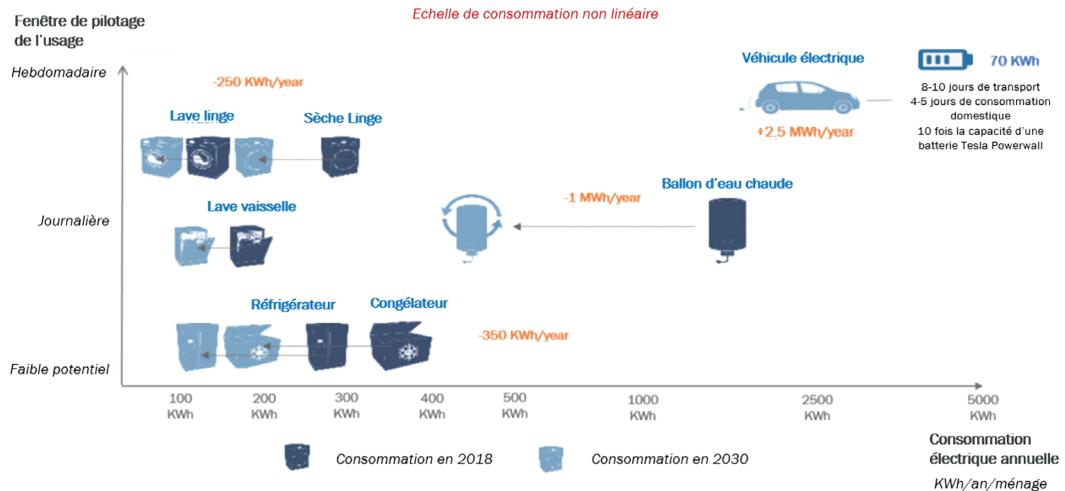


Figure 5. Potentiel de flexibilité des usages à la maison aujourd’hui et demain, disponible pour une maison individuelle moyenne en France

Source : EDF

Les estimations d'EDF, qui utilisent une autre méthodologie basée sur des données empiriques et extrapolées à long terme aux fréquences de charge et puissances des points de charge, aboutissent à des ordres de grandeur similaires dans le cas pessimiste où il n'y aurait aucun pilotage de la charge. En retentant le mix prévu par la PPE, les marges du système électrique à l'horizon 2035 permettraient largement d'insérer des millions de véhicules qui ne seraient pas pilotés.

Cependant, cette situation n'est ni souhaitable, car il y aurait pour la collectivité une perte importante de surplus, ni même probable si on considère qu'aujourd'hui environ 80 % des ballons d'eau chaude sont asservis en heures creuses. Compte tenu notamment des opportunités qu'offrent aujourd'hui les technologies de l'information, il semble raisonnable de viser au moins ce résultat.

3. Le véhicule électrique est en fait une opportunité concrète pour le système électrique

Le véhicule électrique est plutôt vu par les énergéticiens comme une opportunité en termes de flexibilité. Tout comme le déplacement de la charge du ballon d'eau chaude a permis de « lisser » la consommation pour optimiser le parc de production à partir des années 1970, le véhicule électrique pourrait participer à l'optimisation de la gestion de l'équilibre offre demande, cette opportunité ayant une résonnance particulière lorsqu'il s'agit de gérer la variabilité induite par la croissance des énergies renouvelables dites intermittentes.

En effet, la part croissante des énergies renouvelables intermittentes et la réduction de moyens de production conventionnels vont donner plus de valeur économique au pilotage de la demande pour gérer l'équilibre offre demande. Comme le gisement en énergie des usages pilotables dans le résidentiel va baisser du fait des gains d'efficacité énergétique

(exemple : un chauffe-eau thermodynamique appelle une puissance trois fois moindre qu'un chauffe-eau joule pour le même service rendu), le véhicule électrique est un bon candidat pour prendre le relai et jouer le rôle du «super ballon d'eau chaude».

Pourquoi «super» ballon d'eau chaude? En premier lieu, la taille des batteries et l'autonomie des véhicules électriques augmentant très rapidement, un modèle de VE standard de 50 KWh en 2020 (Nouvelle Renault Zoé, Peugeot e 208) n'aura besoin d'être rechargeé qu'une fois par semaine. Ainsi, contrairement à un ballon d'eau chaude dont la charge ne peut être optimisée qu'à une maille journalière, la charge du véhicule électrique pourra être optimisée à une maille hebdomadaire, pour profiter de tarifs avantageux durant le week-end, autoconsommer des excédents de production PV au milieu de la journée du dimanche ou bien attendre le milieu de nuit du mardi quand il y aura un excédent de production éolienne.

Comme les véhicules électriques se rechargent majoritairement en charge lente (3 à 7 KW) pendant de longues périodes de stationnement, la majeure partie de leur consommation annuelle sera éligible pour du déplacement de charge. EDF estime qu'en 2025 plus de 90 % de la consommation des véhicules électriques sera pertinente pour du pilotage, selon RTE ce chiffre descendrait à 85 % à long terme du fait de l'accroissement des trajets longue distance impliquant une plus forte proportion de la charge rapide sur autoroute.

Ces 90 % en énergie correspondent, à l'horizon 2025 et par ordre d'importance en consommation, à la charge des véhicules particuliers au domicile (majoritairement de nuit), des véhicules professionnels en entreprise (majoritairement de nuit) et des véhicules salariés en entreprise (majoritairement en journée).

Le pilotage de la charge des véhicules est en général désigné par le terme «*smartcharging*» ou «V1G», on le distingue du V2G qui concerne les situations où le véhicule a la possibilité de

réinjecter tout ou partie de l'énergie qu'il soutire sur le réseau soit intérieur du bâtiment soit sur le réseau public.

Si on envisage cette possibilité de réinjection, alors le véhicule électrique doit être vu comme une batterie de plusieurs dizaines de KWh (on estime à long terme que la capacité moyenne d'un véhicule électrique sera autour de 70 KWh, correspondant à 400 km d'autonomie réelle que souhaite la moyenne des usagers) stationnée environ 95 % de son temps. Dans ces conditions, un particulier pourrait alimenter sa consommation domestique pendant plusieurs jours avec son véhicule. En agrégeant toutes ces batteries, on obtiendrait rapidement dans les années à venir un stockage virtuel de capacité supérieure aux STEP, faut-il encore que les véhicules aient la possibilité de réinjecter l'énergie sur le réseau. Utiliser le véhicule en stockage pouvant réinjecter de l'énergie en général est désigné par le terme «V2X», décliné en V2H (*Home*) ou V2B (*Building*) dans le cas de la réinjection en aval compteur dans une maison ou un bâtiment et V2G (*Grid*) dans le cas de la réinjection sur le réseau.

Si en volume d'énergie et en fenêtre d'optimisation, le véhicule représente un gisement physique de flexibilité bien plus grand que tous les autres usages électriques, le coût de l'utilisation de cette flexibilité devrait également être compétitif par rapport aux autres usages.

S'il ne surprendra personne que le pilotage simple de la charge de type poste tarifaire horo-saisonnier statique est accessible à des coûts équivalents ou inférieurs à ceux des chauffe-eaux, en revanche l'élément nouveau est que le coût d'un pilotage proche du «temps réel» nécessaire pour participer aux marchés de l'électricité pourrait également être très faible pour 2 raisons :

- Le véhicule électrique est un véhicule connecté pour différents services à l'utilisateur. Le coût de communication et de pilotage du véhicule (dans les cas où le véhicule n'est pas dans une «zone blanche» ou dans un

Le véhicule électrique : un atout pour un mix « optimal » bas carbone ?

parking souterrain) est alors très faible. Certes, le véhicule ne voit pas la tarification et les contraintes/opportunités énergétiques (puissance souscrite, production PV...) du lieu de charge mais peut l'obtenir en communiquant avec un énergéticien. L'énergéticien peut de son côté remonter les données nécessaires pour l'optimisation : taille et état de charge de la batterie, température, etc... et le coût de communication d'un pilotage à des pas de temps très proche du temps réel est alors très faible. La première offre de pilotage de cette manière vient de sortir en France en décembre 2019 avec les véhicules Tesla, pilotés à distance par la start-up néerlandaise Jedlix qui s'est associée avec différents fournisseurs d'électricité pour l'occasion.

- Une grande partie du parc de bornes de recharge en Europe est nativement communicante (via le Wifi, GRPS, etc.). Aux Pays-Bas ou au Royaume-Uni où les bornes de recharge 7-11 KW sont déjà généralisées dans le résidentiel, les bornes sont quasiment toutes communicantes et environ la moitié est effectivement connectée par les particuliers aux plateformes *cloud* des opérateurs de charge. La France est un cas à part avec un secteur résidentiel aujourd'hui principalement équipé de prises renforcées à 3,7 KW mais devrait rapidement passer à la borne de charge 7 KW avec l'augmentation de l'autonomie des véhicules. Cependant, cela n'assure pas la capacité

à communiquer sur des pas de temps très courts (quelques minutes). En revanche, les futures bornes devraient être à minima communicantes avec Linky en local. Dans les entreprises en revanche, les bornes sont reliées aux *clouds* des opérateurs pour assurer les services de gestion de l'infrastructure, rendant encore une fois le pilotage énergétique des véhicules peu onéreux. Demain, le protocole «ISO 15118» permettra aux bornes d'échanger les données techniques nécessaires à l'optimisation avec les véhicules pour qu'un pilotage efficace puisse se faire uniquement via l'infrastructure de charge.

Concernant le V2X, deux schémas technologiques sont en compétition :

- Les véhicules électriques dotés du standard de charge japonais «ChaDeMo» (Nissan, Mitsubishi, etc.) peuvent dès aujourd'hui réinjecter sur le réseau tout en échangeant les données pertinentes pour de l'optimisation énergétique. Ces véhicules sont nativement compatibles en utilisant une borne de charge DC (conversion AC/DC dans la borne, normalement prévue pour les charges rapides) rendue bidirectionnelle. L'inconvénient est qu'une borne DC présente un coût plus important qu'une borne de charge lente AC classique sans même considérer la fonction bidirectionnelle. Les coûts ont néanmoins un potentiel de baisse rapide avec des effets volumes et

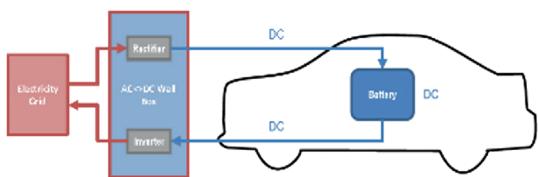


Schéma Nissan, commercial

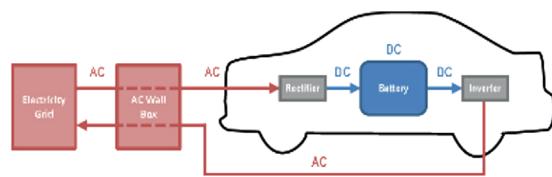


Schéma Renault, prototype (annoncé 2021/2022)

Figure 6. Schémas des deux configurations techniques V2X possibles

À gauche, le V2X DC avec conversion AC/DC bidirectionnelle dans la borne, à droite conversion AC/DC dans le véhicule en V2X AC.

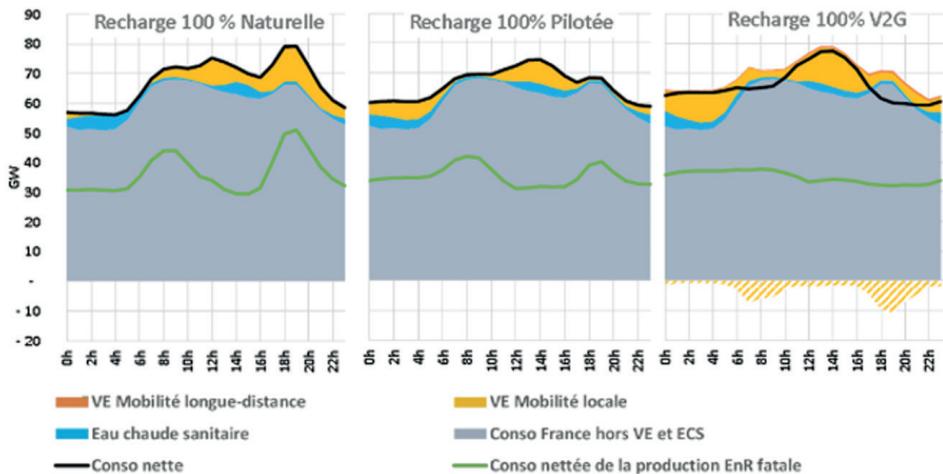


Figure 7. Consommation totale France et demande résiduelle selon mode de pilotage des VE
Jour ouvré moyen d'hiver – Illustratif pour 11,7 millions de VE/VHR en 2035

Source : RTE 2019

les applications économiquement pertinentes existent déjà.

- L'autre schéma possible, en test aujourd'hui chez Renault par exemple, est d'assurer la bidirectionnalité directement dans le chargeur embarqué du véhicule (cas de la charge lente où la conversion AC/DC est effectuée dans le véhicule). Le surcoût matériel est alors très faible (on parle de quelques composants à quelques dizaines d'euros prix matériel pour assurer la bidirectionnalité), mais un constructeur automobile ne prendra pas la décision d'ajout de ces composants sans une vision claire sur son marché et la réglementation liée. Cette technologie industrialisée permettrait ainsi d'accéder avec une borne quasiment standard à du stockage à un coût extrêmement faible.

La question du risque de dégradation de la batterie et de son coût est fréquemment soulevée. Ce paramètre est à la main des constructeurs automobiles : certains ont fait des choix dans les chimies de leurs batteries peu pertinents pour du cyclage additionnel (Tesla par exemple), d'autres qui veulent développer ces services définissent des plages d'optimisation possibles de la batterie pour les agrégateurs, ce qui réduit le «stock d'énergie utile», mais

permet de garantir la batterie pour du V2X. On peut également considérer au premier ordre qu'il y a peu de questions de durée de vie de batterie pour les services de marchés «capacitaires» qui valorisent le kW potentiellement activable (en général, quelques kW valorisés en charge faible puissance pour une batterie de plusieurs dizaines de kWh) plutôt que les kWh et où les véhicules sont donc peu sollicités en énergie (réserve primaire de fréquence, effacements/capacité, pointes mobiles, etc.).

Le *Vehicle-to-X* fonctionne techniquement aujourd'hui, mais n'en est qu'à sa phase pré-industrielle en Europe. Il pourrait par exemple être un moyen compétitif pour atteindre l'objectif ambitieux des 7 GW effacements de la PPE 2028 via du *Vehicle-to-Home* ou *Vehicle-to-Building*. Son succès dépendra au premier ordre, en plus des choix des constructeurs automobiles on l'a vu, de l'évolution de la réglementation et des règles de participation aux mécanismes de marché qui n'ont pas été prévus pour ce type d'actif.

4. Les effets des modes de pilotage à long terme

À long terme, le choix des modes de pilotages des véhicules électriques aura un impact important en termes économique et environnemental sur le mix de production. Le pilotage le plus simple permet d'éviter d'augmenter la demande à des moments où elle est déjà forte. Avec un peu d'intelligence supplémentaire, on peut la placer à des moments qui soulagent l'équilibre offre demande, notamment si la production EnR est forte par rapport à la demande, et avec le V2X, on peut aller encore plus loin en utilisant la charge résiduelle des batteries pour diminuer la demande si nécessaire.

Ce « lissage » induit par le pilotage de la charge (et a fortiori le V2X) a pour conséquences :

- d'éviter l'utilisation de centrales fossiles dont l'électricité est importée en France lors des périodes de forte charge, ce qui diminue les émissions de CO₂ à la maille Europe et réduit l'utilisation d'une électricité à coût en général élevé;
- de reporter de la consommation lors des périodes de demande résiduelle faible, permettant d'éviter l'écrêttement d'EnR fatales ou bien de la modulation nucléaire à coût marginal zéro et dont le contenu carbone est nul. Cet effet est particulièrement utile dans le mix de la PPE à 2035 où la quantité importante d'énergies renouvelables fatales engendrera des excédents de production récurrents, provoquant à la fois des baisses imposées à la production nucléaire et des écrêtements de production EnR.

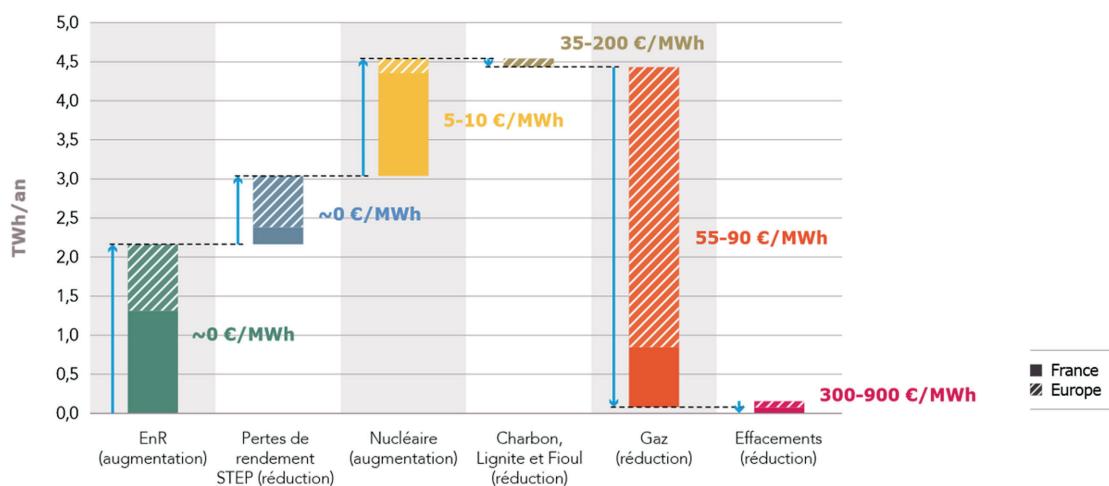


Figure 8. Effets sur les bilans énergétiques du pilotage de la recharge des véhicules électriques à l'horizon 2035

Source : Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique RTE 2019 – selon différentes variantes – comparé à une situation sans pilotage

Le pilotage de la charge des véhicules électriques français en 2035 permet de diminuer la production électrique à partir de centrales gaz à coût variable élevé généralement importée de nos voisins en période de pointe (barre rouge hachurée) et de recréer des débouchés pour de la production EnR fatale ou nucléaire qui aurait été écrêtée ou modulée autrement (barres vertes et jaunes).

Il y a donc un double gain économique et environnemental illustré dans le graphique de RTE (Figure 8).

Tous ces résultats restent valables et sont fortement accentués dans le cas du V2X qui permet de déstocker de l'énergie pendant les moments de pointe pour stocker d'éventuels excédents d'énergie fatale durant les heures de faible consommation. Un scénario où le V2X serait poussé aboutirait même à un mix français quasiment sans besoin de centrales gaz en 2035 pour assurer les pointes de consommation.

Sur le plan économique, l'enjeu de ces modes de pilotage pour le système électrique français à 2035 est estimé à environ 1,5 Mds €/an. Sur le plan environnemental, la gestion de la charge du VE est considérée comme le principal levier pour diminuer son empreinte carbone (comparativement à d'autres paramètres comme le pays de production ou la taille des batteries).

La meilleure intégration économique des énergies renouvelables permettra dans le cadre de la PPE à 2035 de limiter le coût du soutien à iso capacité installée (ou d'augmenter

les capacités à iso soutien), ce qui aura un impact direct sur la facture des consommateurs. En effet, à capacité EnR fixée, le pilotage de la charge du véhicule électrique permettra de limiter l'effet d'autocannibalisation sur les marchés des moyens de production solaire et éolien, qui dans la PPE engendre des besoins de subventions durables même avec un coût des technologies en baisse. Dans ses calculs, RTE estime qu'avec un scénario PPE avec 80 % de pilotage des véhicules électriques à 2035 dont 20 % de V2G, le montant de subventions pour le PV au sol est réduit à quasiment zéro pour cette technologie grâce à la réduction de cet effet de cannibalisation des revenus de production. Dans le même scénario sans véhicules électriques, les revenus marchés de cette même technologie courirraient à peine la moitié de leur coût complet.

Il ne faut cependant pas voir le véhicule électrique comme la solution d'un mix «100 % EnR». Sa flexibilité permettra de contribuer à la gestion d'une partie de la variabilité de la demande résiduelle à la maille journalière et hebdomadaire (et bien entendu toutes les fluctuations proches du temps réel), mais ne répond en aucun cas aux variabilités du système



Figure 9. Premières bornes V2G de France opérées par DREEV dans une entreprise bordelaise

Source : Entreprise Hotravail – EDF 2019

DREEV est la filiale d'EDF fondée en *Joint-Venture* avec la société californienne Nuvve pour agréger les flexibilités des véhicules électriques.

Le véhicule électrique : un atout pour un mix « optimal » bas carbone ?

électrique à la maille plurihebdomadaire (variabilité qui va être de plus en plus importante notamment du fait de l'éolien qui peut avoir une production forte pendant 15 jours puis ne plus rien produire pendant une semaine) ou bien annuelle. L'utilisation de sa flexibilité est donc très pertinente pour optimiser les ressources EnR dans le cadre d'un mix analogue au mix français possédant une base nucléaire décarbonée solide, en limitant fortement le recours à des moyens émetteurs et onéreux en France ou en Europe.

En conclusion, le véhicule électrique arrive, c'est un bon point pour décarboner les transports, ce qui constituait a priori un défi difficile.

Par ailleurs, son déploiement n'aura non seulement pas de contreparties douloureuses pour le système, mais au contraire, permettra de mieux lisser les courbes de charges journalières et hebdomadaires, grâce à des solutions simples (offres tarifaires types heures pleines/heures creuses + week-end).

Avec un pilotage plus avancé, proche du temps réel ou incorporant la possibilité de réinjecter, le véhicule électrique aidera à absorber une partie de la variabilité des énergies renouvelables et limiter le coût de leur intégration dans le système électrique.

La proportion future des différents modes de charge est encore très incertaine et variera probablement suivant les différentes catégories d'utilisateurs : entreprises, particuliers, autoconsommateurs...

Dans tous les cas, il doit maintenant être vu comme un atout important permettant d'optimiser les coûts de la trajectoire énergétique envisagée par la France en apportant, en complément des autres moyens existants (hydraulique, effacements industriels, etc.), la flexibilité nécessaire à un mix décarboné nucléaire + EnR.

RÉFÉRENCES

RTE, *Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique*, 2019.

Transport & Environment, *Electric Surge : Carmarkers' electric car plans across Europe 2019-2025*, 2019.