

Les fabriques de la Connaissance

LRE2EV

Couplage d'énergies renouvelables et
recharge de véhicules électriques

Quelles conditions sont nécessaires et
pour quelle efficacité ?

dans le cadre de l'action 6 de l'axe 2:

Mémoire professionnel, M2 EERN, AMU

Ana Maria SANDOVAL MORALES, octobre 2019

Partenariat Partenariat Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Etablissements d'Enseignement Supérieur et de Recherche

Mémoire professionnel
Année Universitaire 2018-2019

Couplage d'énergies renouvelables et recharge de véhicules électriques

Quelles conditions sont nécessaires et pour
quelle efficacité?

Présenté par : SANDOVAL MORALES Ana Maria

Responsable universitaire : M. Rychen Frédéric
Responsable professionnel : M. Coussy Arthur

Couplage d'énergies renouvelables et recharge de véhicules électriques

Quelles conditions sont nécessaires et pour quelle efficacité ?

Mémoire professionnel

Année universitaire 2018-2019

Septembre, 2019

Ana María SANDOVAL MORALES, amsandovalm1@gmail.com

AMSE, Région SUD

Master 2 Économie appliquée

Spécialité Économie de l'énergie et des ressources naturelles

Faculté d'économie et de gestion

5-9, bd Maurice Bourdet, 13001 Marseille

<https://feg.univ-amu.fr/node/1293>

Avertissement

Les propos tenus dans ce mémoire professionnel de fin d'études n'engagent que l'auteur.

Résumé

Le réchauffement climatique nécessite de déployer massivement de nouveaux modes de vies et des solutions techniques permettant d'atténuer l'impact de l'homme. Le véhicule électrique et les énergies renouvelables apparaissent comme une solution pour réduire l'impact sur l'environnement. Cependant, l'intermittence des énergies et leur difficulté de stockage rendent difficile leur intégration dans les réseaux.

Le couplage des énergies renouvelables et de la recharge du véhicule électrique, permet de réduire l'impact sur les réseaux, car le véhicule peut être considéré comme une source de consommation et de stockage flexible, il peut donc absorber la production d'énergies renouvelables à des moments de production intense de manière naturelle selon des modalités de couplage local ou non local.

Pour améliorer la synchronisation de la production avec la demande de charge des véhicules électriques, le couplage doit s'appuyer sur des mécanismes de flexibilité, notamment par le pilotage de la charge en fonction de différents éléments de contexte et de prévision (smart charging). Des services avancés peuvent aussi être envisagés par le développement de nouvelles technologies telles que V2G. L'intérêt majeur du couplage réside dans la recherche du synchronisme optimal de la production des énergies renouvelables et de la recharge des véhicules électriques qui permet un double bénéfice : Les énergies renouvelables trouvent une demande mobilisable à la maille locale et les véhicules électriques voient la part des énergies renouvelables présentes dans les charges s'accroître. Plus généralement, le couplage doit être recherché car il limite les contraintes sur le réseau liées à l'injection d'énergies renouvelables intermittentes et celles liées à l'accroissement de la demande d'électricité favorisant à la fois l'insertion d'une part plus grande des énergies renouvelables distribuées dans le mix énergétique et le déploiement à grande échelle du véhicule électrique.

Remerciements

Je remercie d'abord à l'AMSE et la Région SUD pour m'accueillir et de m'avoir donné l'occasion de faire partie de cette innovante expérience.

A monsieur Frédéric Rychen, pour encadrer ce rapport et élargir son contenu, à monsieur Philippe Dumas pour apporter une optique technique.

A ma famille et amies plus spécifiquement à Andres Avellaneda, Paola Sandoval et Yasmine El Alami, pour me soutenir dans tout moment. Et à tous ceux qui lisent ce document afin qu'il puisse être utile pour des recherches futures.

Table des matières

INTRODUCTION	7
1. LE COUPLAGE DES ENERGIES RENOUVELABLES ET LE VEHICULE ELECTRIQUE COMME UN TANDEM NECESSAIRE POUR LE DEPLOIEMENT DE LA MOBILITE ELECTRIQUE	10
1.1. Le véhicule électrique et la mobilité électrique dans le développement durable et l'introduction dans les modèles de transport actuelles	11
1.1.1. L'électromobilité comme contributeur de la mobilité durable	11
1.1.2. La valeur écologique du véhicule électrique. Fabrication et vie utile de véhicule électrique par rapport au véhicule thermique Résultat d'une analyse ACV	13
1.1.3. Les problématiques d'adoption du VE et du déploiement des bornes de charge	20
1.1.4. Intérêt de modèle de partage du véhicule individuelle électrique	33
1.2. Le déploiement des énergies renouvelables	34
1.2.1. Augmentation de la partie des énergies renouvelables, régulation de l'offre et la demande (stockage)	36
1.2.2. Autoproduction et autoconsommation, déploiement local des énergies renouvelables enjeux et freins.	39
1.3. Enjeux du Couplage des EnR et VE	42
1.3.1. Arguments et défis du couplage des énergies renouvelables et de la recharge des véhicules électriques	42
1.3.2. Le VE comme régulateur de l'insertion massive d'EnR avec notamment la Flexibilité de charge et le V2G.	45
1.3.3. Le couplage local et non local des VE aux EnR enjeux et défis	50
2. LE COUPLAGE DES ENR ET LE VE DANS LA REGION SUD, PERSPECTIF ET POTENTIELLE TERRITORIAL	56
2.1. Enjeux du couplage des EnR et VE sur la région à travers une comparaison d'expérimentations européennes et françaises	56
2.1.1. Corrélations des critères de couplage d'EnR et VE selon les expériences européennes et françaises (benchmark), scénarios de modalités de couplage.	56
2.1.2. Perspective de couplage du VE et EnR dans la région SUD, résultat des enquêtes	61
2.2. Quelle est l'intérêt de coupler les EnR et la recharge du VE sur la région SUD et quelle est le potentiel territorial	71
2.2.1. L'introduction du smart charging comme élément d'optimisation des EnR sur la région SUD.	71
2.2.2. Enjeux de couplage avec une production EnR local ou non local, les différentes configurations du couplage sur la région. Opportunités et potentiel territorial.	80
CONCLUSION	85

BIBLIOGRAPHIE	87
GLOSSAIRE	93
ANNEXE 1	94
ANNEXE 2	95
ANNEXE 3	110

Introduction

Le réchauffement climatique est une préoccupation majeure. Le secteur des transports est l'un des secteurs qui génère le plus d'impact sur le réchauffement climatique en raison des émissions de CO₂ résultant de l'utilisation de combustibles fossiles tels que le pétrole. Pour résoudre ce problème, différentes solutions permettant d'atténuer les effets de la mobilité sont apparus. De plus, elles répondent de manière adéquate aux besoins des personnes en déplacement. Parmi ces solutions, le véhicule électrique (VE¹) apparaît comme un moyen plausible de voyager avec une production minimale de CO₂.

Malgré l'augmentation du nombre de véhicules électriques, de nouveaux problèmes se posent. D'une part, alors que pour la fabrication de sa batterie le VE consomme très peu de matériaux, il produit plus d'émissions dans son processus de fabrication général que les véhicules à combustion. Cependant, une analyse complète du cycle de vie (ACV) du VE permet d'identifier que pendant toute la durée de vie du véhicule, il est possible de compenser l'impact généré lors de son processus de production.

D'autre part, l'augmentation du parc de véhicules électriques implique une augmentation de la capacité de production d'électricité pour répondre à la demande de recharge de véhicules. En effet, une étude réalisée par le RTE indique qu'en 2030, la consommation électrique pour la recharge du VE sera de 10% par rapport à la consommation totale de la France, ce qui équivaut à 48 TWh (RTE, 2019). Afin de répondre à la demande en électricité, il faudra envisager d'augmenter la puissance installée et de renforcer les réseaux électriques pour pouvoir la transporter.

Dans un contexte de réchauffement climatique, les énergies renouvelables (EnR)² ont été proposées comme mécanisme de remplacement des combustibles fossiles. L'objectif étant que les gouvernements s'alignent pour augmenter leur capacité en énergies renouvelables dans le cadre de la transition énergétique. Cependant, l'insertion d'EnR dans les réseaux locaux génère différents inconvénients, car ceux-ci sont intermittents et dépendent en grande partie des conditions climatiques et géographiques. Il est donc difficile d'en estimer la production.

De la même manière, l'insertion d'EnR génère des conflits dans l'équilibre entre l'offre et la demande en électricité, la production n'étant pas synchronisée avec les besoins de consommation. La production d'énergie est très variable et nécessite donc un système de pilotage permettant son intégration de manière adéquate.

Simultanément, l'augmentation de la puissance EnR nécessite un renforcement des réseaux de production et de distribution locaux, afin de soutenir la capacité de production à tout moment. L'introduction des EnR dans le réseau électrique nécessite la génération de nouvelles technologies permettant la synchronisation entre la demande et l'offre.

¹ L'acronyme VE sera utilisé pour désigner le véhicule électrique.

² L'acronyme EnR sera utilisé pour désigner Energies Renouvelables.

De cette manière, le couplage de la charge des VE avec la production des EnR permet de résoudre par un même dispositif technique deux problèmes différents.

Etant donné que l'énergie solaire est produite pendant la journée à travers les panneaux solaires, le véhicule peut être chargé pendant la journée de travail. En effet, les véhicules électriques stationnent régulièrement sur les lieux de travail pendant la journée et près des habitations pendant la nuit. En exploitant les temps de stationnement des VE tout au long de la journée le VE peut devenir un élément stabilisant et récepteur de la production d'EnR.

Le couplage EnR et VE permet de réduire les contraintes sur les réseaux électriques ainsi que les pertes d'énergie dérivées du transport et de la distribution, générant un impact positif sur l'environnement.

L'intégration de l'EnR et du VE est un processus complexe qui englobe différents domaines, tels que le développement de nouvelles technologies comme la technologie véhicule-réseau (V2G) et des concepts tels que la tarification intelligente. Le couplage dépend en grande partie de la flexibilité du chargement qui dépend des opportunités techniques de pilotages mais surtout des contraintes de mobilité des usagers.

Les modalités de couplage EnR et VE dépendent de phénomènes socioéconomiques qui renvoient à des contextes territoriaux complexes liant les aménagements, les équipements du réseau, les conditions de réalisation des mobilités et de production ainsi que de distribution des EnR. Le VE apporte une diversification des services de transport actuels tels que l'autopartage et suggère différentes configurations en fonction des emplacements de chargement et du potentiel de production d'EnR.

Selon les problématiques exposées, ce travail est structuré autour de la problématique suivante : quel est l'intérêt du couplage des énergies renouvelables et la recharge du véhicule électrique ? Et, quelles conditions sont nécessaires et pour quelle efficacité ?

Afin de répondre à cette problématique le rapport comprend deux parties. La première partie porte sur les arguments en faveur de l'utilisation du VE comme moyen de transport. Plus particulièrement, nous nous focalisons sur son potentiel à réduire les émissions polluantes, à travers une analyse cycle de vie du véhicule électrique (1.1.1.). Les problématiques d'adoption du VE (1.1.2.) et son insertion dans les modèles de transport actuels (1.1.3.) sont détaillées.

Nous présentons une analyse des conditions de déploiement des EnR (1.2.) et leurs enjeux pour le système énergétique. Ceci permet dans un troisième temps d'analyser le potentiel et l'intérêt général du couplage des EnR et du VE selon des configurations locales et non locales (1.3.).

La deuxième partie illustre la problématique pour le cas de la région SUD. Une analyse comparatives de différentes expériences européennes est menée afin de déterminer les grandes caractéristiques d'un dispositif de couplage des charges du VE avec de production d'EnR et de déterminer comment le *smart charging* peut être un élément stabilisateur de l'offre et la demande (2.1). Sur cette base et en fonction du potentiel connu de la Région Sud en termes de production et de mobilité nous identifions des

configurations territoriales de couplage à court et à long terme qui pourraient servir de guide au déploiement d'une politique régionale de développement des EnR et de la mobilité électrique.

1. Le couplage des énergies renouvelables et le véhicule électrique comme un tandem nécessaire pour le déploiement de la mobilité électrique

Le réchauffement climatique a déclenché une série de solutions afin de répondre aux objectifs de l'accord de Paris. Le transport est un des principaux émetteurs de CO₂, avec 39% des émissions totales de GES (gaz à effet de serre) en France (ADEME, 2018)

Le véhicule électrique apparaît comme une solution plausible à cette problématique, car il permet de réduire les émissions de CO₂ par rapport aux véhicules thermiques, et ainsi, à atteindre les objectifs de l'Accords de Paris.

Au cours des dernières années, le parc de véhicules électriques a augmenté. En effet, les gouvernements commencent à encourager le fait que le VE devienne la voiture du futur, à travers des aides publiques et le déploiement d'infrastructures dédiés.

Cependant, l'augmentation des véhicules électriques génère également des inconvénients. La construction du véhicule implique l'utilisation de ressources rares situées dans des endroits spécifiques de la planète. La fabrication de véhicules électriques produit plus d'émissions que les véhicules à moteur thermiques, environ 70% de plus (Ecole des Ponts, 2017), ce qui a suscité un débat sur sa véritable valeur écologique et sa contribution à l'environnement. Toutefois, les problèmes de fabrication sont plus ou moins fortement compensés par la durée de vie du véhicule car ils produisent peu d'émissions en phase d'utilisation en fonction des mix énergétiques utilisés pour produire l'électricité.

L'augmentation du parc de véhicules nécessite également une augmentation de la capacité énergétique pour alimenter les batteries. Les énergies renouvelables constituent un allié stratégique pour la recharge des véhicules, car les émissions de CO₂ des véhicules dépendent largement du mix énergétique utilisé pour la recharge. (Ecole des Ponts, 2017)

Afin de rendre moins polluante la production énergétique, les gouvernements ont adopté des stratégies de transition énergétique vers une production soutenable d'EnR. Cette augmentation des énergies renouvelables exige un surdimensionnement des réseaux pour pouvoir transporter l'énergie vers les lieux de consommation.

Le couplage ENR et VE permet de réduire l'impact de l'introduction d'énergies renouvelables dans les réseaux locaux et de couvrir en partie la recharge des véhicules électriques avec des énergies propres.

Ce chapitre aborde trois thèmes : le premier est structuré autour du véhicule électrique et la mobilité durable, ses impacts et ses coûts; le deuxième volet est consacré au déploiement des énergies renouvelables, ainsi qu'aux aspects de la régulation de l'offre, la demande et le stockage de l'énergie; enfin, une troisième partie est consacrée à l'analyse des effets du couplage à travers de nouveaux concepts tels que la recharge intelligente et les enjeux du couplage local et non local.

1.1. Le véhicule électrique et la mobilité électrique dans le développement durable et l'introduction dans les modèles de transport actuelles

Il existe une relation directe entre mobilité durable et développement territorial durable (Avila, 2012), le transport est un moyen d'inclusion sociale qui s'adapte aux besoins des personnes. Les sociétés modernes exigent un système de transport assez dense afin de relier tous les secteurs économiques et d'assurer la circulation des personnes et des biens.

Les réseaux de transport en commun conventionnels, soutenus par différents moyens de transport, ne suffisent pas aujourd'hui pour garantir une couverture totale des territoires. Au niveau urbain, une expansion territoriale est générée accompagnée d'un processus de dissociation de la coexistence sociale selon les différents niveaux socio-économiques et culturels. Ce phénomène encourage la création de centres périphériques qui, selon certaines théories urbaines telles que la théorie de Burgess ou de Hoyt, s'étendent vers l'extérieur. Cet étalement urbain relâche les contraintes liées à la concentration des personnes et des activités mais exige des d'articulations complexes des réseaux de transport qui ne se limitent pas aux seuls corridors routiers qui traversent le territoire (Gutierrez, 2010 ; Allemand, 2005).

La densité de la population conditionne majoritairement la couverture des différentes zones par les moyens de transport en commun traditionnels, créant des vides dans les zones moins denses. Le transport individuel est alors une solution à ce problème non seulement pour répondre aux besoins de déplacement mais aussi pour s'adapter aux besoins de confort et d'indépendance des personnes. Cette étalement urbain croissant et l'utilisation croissante de véhicules individuels ont engendré une dépendance à l'égard de l'automobile, qui est principalement responsable de la pollution et des embouteillages (Gutierrez, 2010).

Les besoins de déplacement pourront être couverts à travers le véhicule électrique, qui répond de manière effective aux problèmes environnementaux. Cependant, le VE doit relever plusieurs obstacles qui limitent son déploiement à grande échelle, l'un d'eux est lié au processus de fabrication du véhicule et à la nécessité d'améliorer la technologie pour rendre le véhicule plus efficace et concurrentiel sur le marché. De même, la valeur écologique du VE dépend en grande partie de la carbonisation du mix énergétique utilisé pour produire l'électricité nécessaire à son fonctionnement. Il est donc nécessaire de prendre en compte l'intégration des énergies renouvelables. Dans les sections suivantes on abordera plus en détail ces arguments.

1.1.1. L'électromobilité comme contributeur de la mobilité durable

L'augmentation du parc de véhicules entraîne une dégradation de la qualité de vie et de la productivité. Différents pays ont examiné de plus près ce problème en prévoyant les effets du changement climatique, et ont créé de nouveaux services pour accompagner

la transition des métropoles avec des solutions complémentaires au système actuel. Une solution envisage la mobilité électrique comme mécanisme de déplacement plus durable qui répond de façon directe aux besoins de déplacement des citoyens.

« La mobilité est un droit des personnes qui transcende l'efficacité de se déplacer d'un lieu à un autre dans les délais les plus courts et au coût le plus bas possible, et il leur incombe de profiter de l'expérience du déplacement » (Allemand, 2005).

Dans ce scénario actuel, la mobilité durable apparaît comme une solution qui aborde le problème du point de vue de l'environnement tout en répondant aux besoins des personnes et en imposant de nouveaux modèles de mobilité tels que le transport partagé ou la micro-mobilité (Angot, 2014).

La mobilité durable peut être comprise comme un ensemble d'actions conçues de manière globale pour améliorer la circulation des personnes, avec des actions telles que la promotion des transports en commun et la réduction de l'utilisation des combustibles fossiles, afin de réduire l'impact sur l'environnement (Onat, 2019).

Ce nouveau paradigme de mobilité implique la mobilisation de différents facteurs et ressources ainsi que l'engagement des citoyens. Cela implique également l'aménagement du territoire, l'élaboration de politiques publiques en faveur d'autres modes de transport, l'amélioration des tarifs de transport en commun, la planification du trafic, l'incitation à l'électrification de la flotte de transport ou à l'utilisation de biocarburants et, dans une large mesure, la promotion de la conscience sociale (Angot, 2014).

L'électromobilité rentre dans la logique de la mobilité durable et permet d'atteindre les objectifs proposés dans l'accord de Paris. La mobilité électrique est un concept introduit déjà il y a quelques années qui a gagné de plus en plus en puissance grâce à la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique.

Ce concept assez complexe englobe différents aspects de la société et propose une révolution des moyens de transport connus. Le véhicule électrique introduit de nouveaux types de déplacement et pourrait être envisagé comme un mécanisme de cohésion sociale considéré du point de vue de l'intégration locale pour une mobilité partagée telle que l'autopartage ou le covoiturage.

La mobilité électrique peut être définie comme le mécanisme de déplacement de personnes et des biens au travers d'un véhicule qui utilise l'électricité. Ce déplacement peut être fait en différents moyens de transport selon la distance parcourue et les préférences personnelles (Angot, 2014). De cette façon on peut tenir compte de l'utilisation de différents véhicules de transports tels que le vélo électrique, le scooter, la trottinette et tous véhicules à deux roues, ainsi que les voitures individuelles ou utilitaires de grande ou de petite taille.

La mobilité électrique rencontre plusieurs obstacles principalement relatifs à l'autonomie et au rendement des véhicules, cependant ces aspects techniques progressent rapidement. Pourquoi la mobilité électrique aurait un potentiel intéressant dans le cadre de la transition énergétique et environnementale ?

La mobilité électrique présente des enjeux à différents niveaux :

- **Environnemental** : le véhicule électrique n'est pas totalement vert. Pendant la phase de construction et la fin de cycle de vie, le véhicule produit plus de pollutions que le véhicule thermique (RTE, 2019). Cependant, si on compare la production des émissions des GES, le véhicule électrique produit beaucoup moins que le véhicule thermique pendant le temps de vie utile du véhicule.
- **Le véhicule électrique encourage la production des énergies renouvelables : le véhicule électrique** et les énergies renouvelables sont le *tandem perfectum* pour réduire les effets du changement climatique (Automobile propre, 2018). Même si les émissions de CO2 du véhicule électrique sont au minimum pendant sa durée d'utilisation, il est nécessaire considérer la source de production d'électricité, car sa production à partir de charbon ou à partir de panneaux photovoltaïques émet différentes quantités des CO2. C'est pour cette raison et afin que le véhicule électrique soit une réponse accord au changement climatique, qu'il est nécessaire que la recharge se fasse avec un mix énergétique le plus vertueux possible au regard du CO2 et des polluants attachés à l'utilisation des différentes sources d'énergie possibles.
- **Économique** : Les améliorations techniques permettent de réduire les coûts de production des véhicules électriques. Selon les résultats d'une étude faite pour la compagnie Bloomberg NEF et publiée par l'AVERE, le prix du véhicule électrique pourrait devenir à un prix similaire du véhicule thermique en 2022.

Il existe diverses raisons qui font penser que le véhicule électrique pourrait être une des solutions qui permettra de garantir l'accès à une mobilité durable de manière plus accessible.

1.1.2. La valeur écologique du véhicule électrique. Fabrication et vie utile de véhicule électrique par rapport au véhicule thermique **Résultat d'une analyse ACV**

La notion de mobilité durable est née des préoccupations environnementales liées au réchauffement climatique. Le secteur transport est le principal émetteur de CO2, avec 39% des émissions totales de GES (ADEME, 2018) en France. Ce secteur consomme 33% de l'énergie finale. Si on regarde de près le transport routier en France on s'aperçoit que les voitures de particuliers occupent la plupart du transport routier créé par les véhicules utilitaires légers et les camions, respectivement.

Dans ce contexte, en plus des externalités générées par les accidents mortels de la route, le secteur des transports représente 39% des émissions de CO2 en France et consomme également un tiers de l'énergie finale produite.

La pénétration de l'utilisation du véhicule électrique est déjà sensible dans des pays comme la Norvège, environ 30% du parc de véhicules est électrique, alors qu'en France, environ 3 200 véhicules électriques légers ont été immatriculés en 2018 (figure 1).

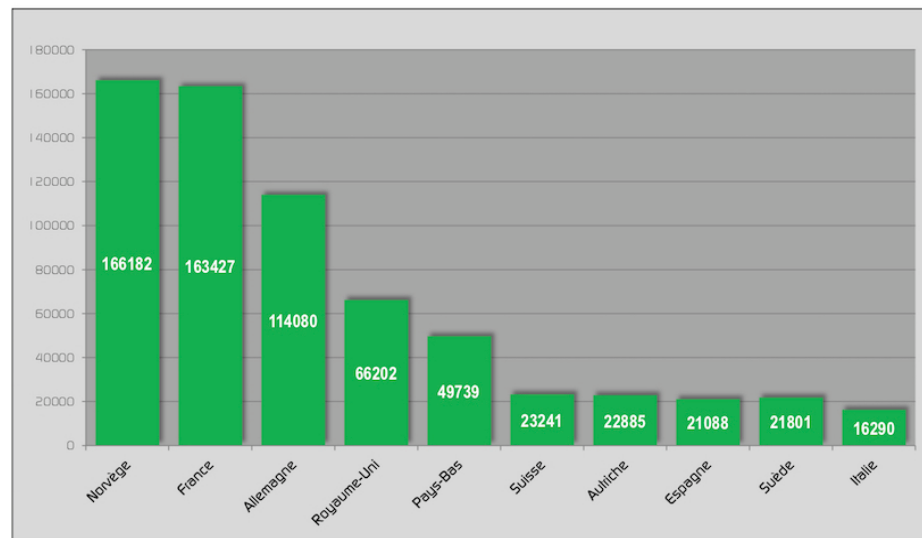


Figure 1 : Parc des véhicules électrique immatriculés en Europe depuis 2010, situation au 31 décembre 2018 (AVERE, 2019)

Cette croissance des véhicules électriques a généré différentes questions et soulevé différents problèmes principalement en termes d'utilisation de ressources minérales rares.

Si nous nous concentrons sur les externalités générées par les véhicules à combustion, nous pouvons faire une classification dans les trois axes du développement durable :

Impacts économiques :

- Coûts économiques : l'utilisation d'un véhicule privé implique des coûts tels que le prix du carburant, le paiement des taxes, l'entretien du véhicule, les péages et le stationnement, entre autres (Mitropoulos, 2017).
- Embouteillages : selon le dernier rapport d'INRIX, les parisiens ont passé 237 heures dans les embouteillages en 2018, suivis de Marseille avec 140 heures. Le coût marginal est mesuré en fonction du coût du temps perdu dans le trafic généré par un utilisateur supplémentaire.
- Dépendance énergétique : la couverture actuelle des besoins énergétiques des véhicules à combustion génère une forte dépendance aux combustibles fossiles. On estime que les réserves actuelles peuvent durer seulement quelques années. Cela suppose une grande volatilité du prix des carburants dans les prochaines années.
- Occupation de l'espace public : l'augmentation du nombre de voitures dans le monde a généré un problème d'espace dans certaines villes, l'occupation du stationnement sur la voie publique génère un problème de dégradation visuelle en plus des embouteillages.

Impacts environnementaux

- Celles-ci tournent autour de la pollution atmosphérique mesurée en termes d'impact sur la santé, tels que la mortalité et la morbidité, les émissions de CO2 qui contribuent au réchauffement planétaire, le bruit, ainsi que d'autres facteurs tels que l'utilisation des sols (Fernandez, 2002).

Impacts sociaux

- Accidentel : inhérent au risque d'accident corporel matériel ou personnel ou à un tiers (Fernandez, 2002).
- Inégalité : toutes les personnes n'ont pas accès à un véhicule personnel, le pouvoir d'achat des personnes joue un rôle prépondérant lors de l'acquisition d'un véhicule.

Selon les impacts mentionnés antérieurement, le véhicule électrique pourrait atténuer les effets des :

Impacts économiques :

- Le véhicule électrique permet de réduire la dépendance des ressources fossiles, en réduisant les risques dérivés de la variabilité de prix de pétrole. Toutefois, cet effet est lié à une augmentation de la production d'électricité à partir de sources renouvelables.

Impacts environnementaux :

- Le véhicule électrique peut contribuer en grande mesure à réduire les émissions de CO2, et amortir plus rapidement les émissions produites lors du processus de fabrication grâce aux trajets parcourus, à condition de considérer la source d'énergie qui alimente le véhicule.

Selon l'argument environnemental qui justifie l'utilisation du VE, il est nécessaire considérer que l'un des principaux obstacles au développement de la mobilité électrique est la fabrication de la batterie et de l'énergie grise utilisée pour la conception de ce type de véhicule. Une analyse du cycle ACV de vie permet de démontrer l'impact réel du véhicule électrique par rapport au véhicule thermique conventionnel.

Pour mieux comprendre, les figures 2 et 3 correspondent à la structure et composants d'un véhicule électrique et un véhicule à carburant fossile. Les composants varient considérablement entre les deux modèles, d'une part le véhicule électrique remplace le réservoir de combustible par un pack de batteries rechargeables, d'autre part les motorisations changent car les véhicules fonctionnent avec un moteur électrique et un moteur à combustion respectivement. Le véhicule électrique doit aussi disposer de systèmes de contrôle électrique et de convertisseur du courant alternatif AC et continu DC. La fabrication des véhicules diffère largement ainsi que leurs impacts.

All-Electric Vehicle

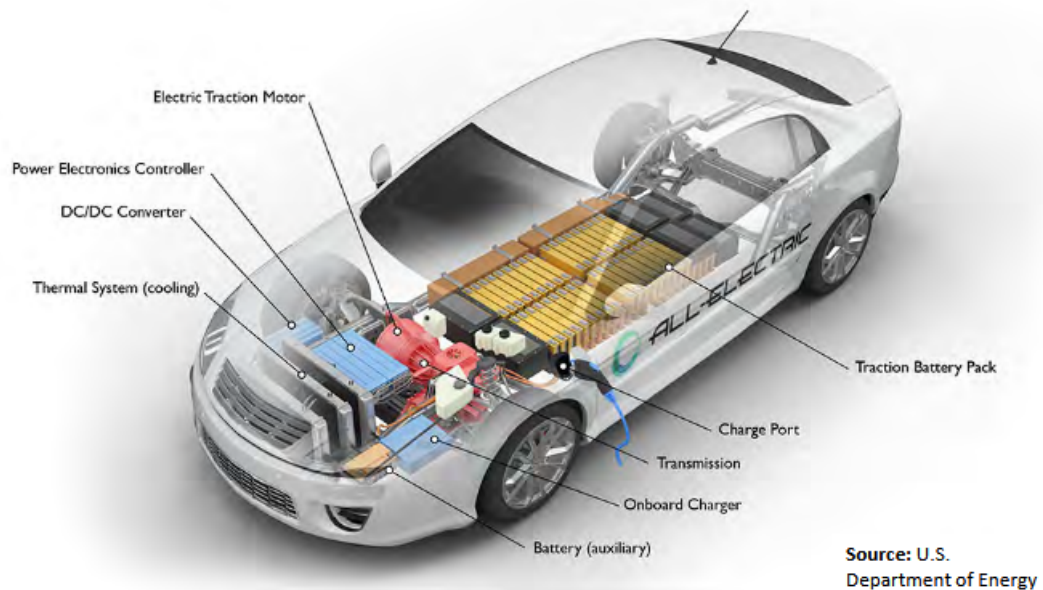


Figure 2, composant du véhicule électrique (CIE AUTOMOTIVE, 2017)

Gasoline Vehicle

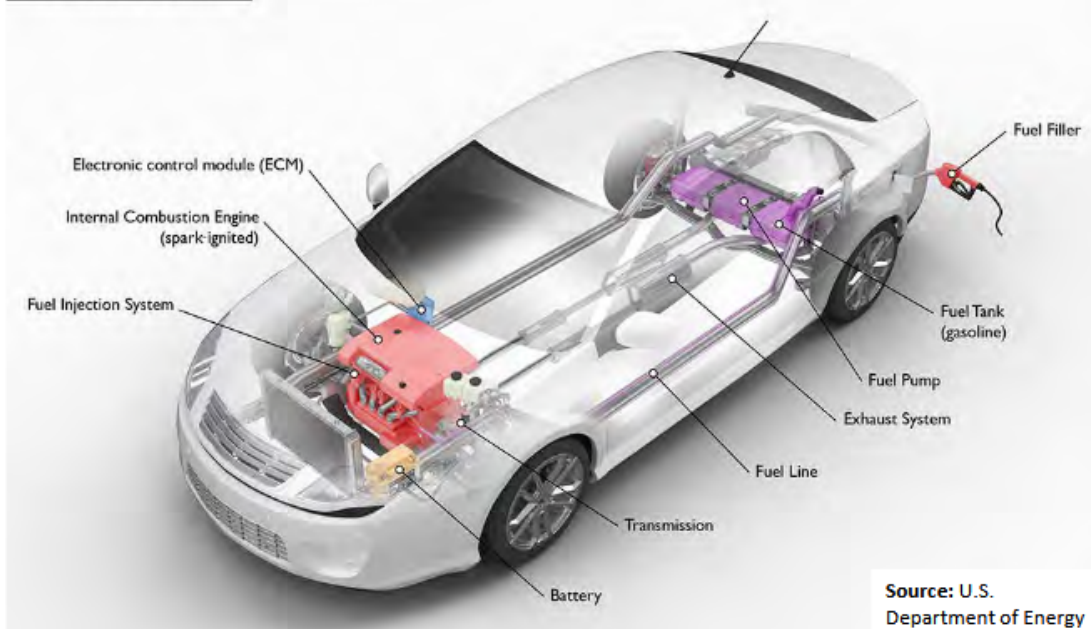


Figure 3, composant du véhicule thermique à combustion (CIE AUTOMOTIVE, 2017)

Une ACV réalisé par Ginkgo21 et PE INTERNATIONAL en 2012 commandé par l'ADEME sera pris en référence pour analyser la contribution du VE au changement climatique en relation au véhicule thermique. L'étude a été réalisée conformément aux normes ISO 14040 et 14044.

Les critères d'analyse ont été définis comme suit :

- Véhicules pour des trajets inférieurs à 80 km par jour sur une durée de vie de 150000km
- Véhicule léger ou utilitaire.
- Horizon temporel 2012 et 2020.
- Charge de véhicule lent
- Les frontières de l'étude couvrent l'ensemble du cycle de vie, de l'extraction des matières premières à la fin de vie du véhicule, en passant par les combustibles et l'énergie utilisée.

A travers la figure 4, nous pouvons constater que dans la phase de fabrication du véhicule électrique, y compris la fabrication de la batterie et l'assemblage des pièces, le véhicule électrique contribue dans une plus large mesure au réchauffement climatique à hauteur de 70% par rapport au véhicule thermique dont la fabrication ne contribue qu'à hauteur de 15% des impacts totaux. Néanmoins, le bilan s'inverse car durant la phase d'utilisation du véhicule thermique qui contribue à 72% des impacts. Ce phénomène correspond au fait que le véhicule thermique utilise des ressources fossiles pour son fonctionnement, alors que l'utilisation du véhicule électrique peut être conditionnée à des sources d'énergie plus vertueuses.

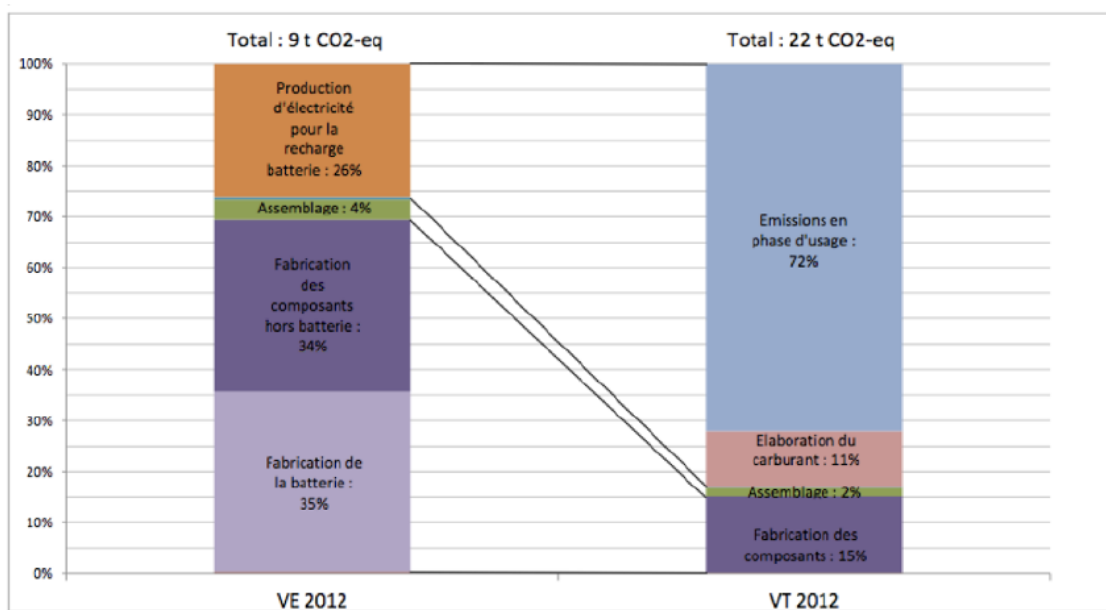


Figure 4. Contributions au potentiel de changement climatique du Véhicule Electrique et du Véhicule Thermique en 2012 (Ecole des Ponts, 2017)

Lors de l'analyse du cycle de vie complet du véhicule, on constate que les deux types véhicules consomment une quantité d'énergie totale similaire. Cependant, lors de l'analyse de la contribution aux émissions de GES, le véhicule électrique représente sans aucun doute un avantage du fait qu'il diminue approximativement sa contribution 65% par rapport au véhicule thermique (figure 5), selon le mix énergétique du pays, car bien que le véhicule électrique n'émette pas de GES lors de son utilisation, il est nécessaire

de prendre en compte la source d'énergie utilisée pour produire l'électricité qui sert à recharger le véhicule.

Une des premières conclusions de l'étude souligne que le mix énergétique du pays influence forcément l'émission de CO₂ du VE et son intérêt environnemental. Si la production d'électricité provient de sources polluantes telles que le charbon, le VE impactera de manière négative l'environnement. Dans le cas contraire, si la source d'énergie est d'origine verte, le VE pourrait satisfaire les besoins au niveau environnemental et contribuer à diminuer les effets du changement climatique.

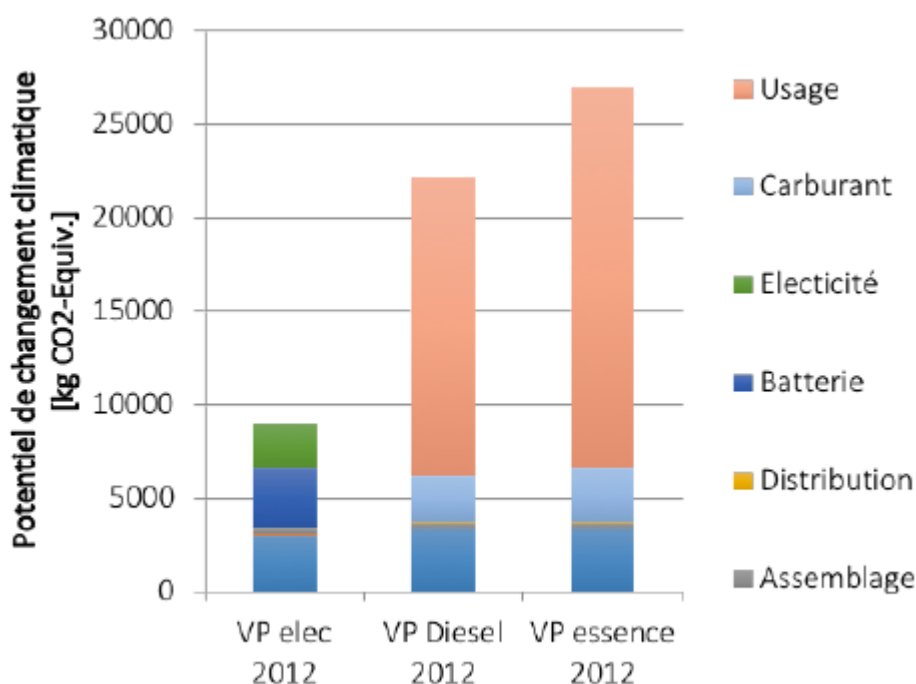


Figure 5. Potentiel de changement climatique (Ecole des Ponts, 2017)

L'analyse des résultats au niveau général de l'ACV nous amène à penser que l'utilisation du VE peut avoir un impact positif sur les émissions de GES et permettrait d'agir positivement à la lutte contre le changement climatique si cet usage est combiné avec une décarbonation du mix énergétique. Et ce, malgré les améliorations techniques nécessaires à sa fabrication pour réduire son impact négatif, notamment celui de la batterie du véhicule.

La figure 6 contient un résumé des variables évaluées en fonction des éléments favorables ou défavorables des véhicules électriques et les véhicules thermiques ou diesel. Dans l'ensemble des variables analysées, on peut identifier que le véhicule électrique est plus favorable que sont analogue le véhicule thermique.

Le véhicule thermique et le véhicule électrique, consomment une proportion similaire d'énergie primaire au cours de son cycle de vie. Toutefois la variable d'impact énergétique est en faveur du véhicule thermique dans les conditions d'utilisation où moins 100 000 kilomètres sont parcourus. Ces résultats sont dus au fait que la phase de

fabrication du véhicule électrique nécessite encore une grande quantité d'énergie primaire. Ce résultat montre que la réduction des impacts de la fabrication des VE est donc nécessaire ainsi qu'un verdissement du mix énergétique et un allongement de l'utilisation moyenne du véhicule.

France 2012	Impact énergétique	Potentiel de contribution globale à l'effet de serre	Potentiel d'épuisement des ressources fossiles	Potentiel d'acidification atmosphérique	Potentiel d'eutrophisation de l'eau	Potentiel d'ozone photochimique
Véhicule électrique vs. Véhicule thermique	Quasi-équivalent, plutôt favorable au VT en dessous de 100 000 km	Plutôt favorable au VE à partir de 50 000 km	Plutôt favorable au VE à partir de 30 000 km	Défavorable au VE	Plutôt favorable au VE à partir de 80 000 km vs. Diesel Plutôt favorable au VT en dessous de 190 000 km vs Essence	Plutôt favorable au VE à partir de 60 000 km



Favorable
au VT



Plutôt favorable
au VT



Equivalent



Plutôt favorable
Au VE



Favorable
Au VE

Figure 6 Domaines de pertinence environnementale du véhicule électrique en France comparés aux véhicules thermiques essence et diesel pour les six impacts potentiels retenus en 2012 (Ecole des Ponts, 2017).

La variable potentiel de contribution globale à l'effet de serre est en fonction des kilomètres parcourus. Comme nous l'avons vu, le véhicule électrique pollue principalement dans sa phase de fabrication, alors que lors de son utilisation, il n'émet pas de GES. Un moyen de compenser l'impact de la fabrication est d'augmenter l'utilisation du véhicule, le véhicule électrique est donc favorable avec un minimum de 50 000 km.

L'impact du VE électrique dans l'environnement dépend beaucoup de la décarbonation du mix énergétique du pays. Dans le cas de la France la plupart de l'électricité est produite à partir de l'énergie nucléaire ce qui rend le véhicule électrique beaucoup moins impactant. Ainsi, si nous observons la figure 7, le potentiel du changement climatique est beaucoup plus favorable avec le mix énergétique en France qu'avec le mix énergétique en Allemagne.

Enfin, la variable d'acidification atmosphérique est plutôt favorable au véhicule thermique. Cette variable est liée au traitement des batteries de véhicules électriques et des progrès techniques restent nécessaires pour améliorer les performances du véhicule électrique. Afin de réduire les effets de l'acidification atmosphérique, il est nécessaire d'améliorer et d'organiser efficacement des processus de recyclage des batteries qui est un domaine immature qui nécessite plus de développement.

Même s'il reste des zones d'amélioration sensible de son impact total sur l'environnement, le VE est un choix logique pour la mobilité durable. Nous aborderons dans ce qui suit les aspects qui génèrent des freins pour l'adoption du véhicule électrique.

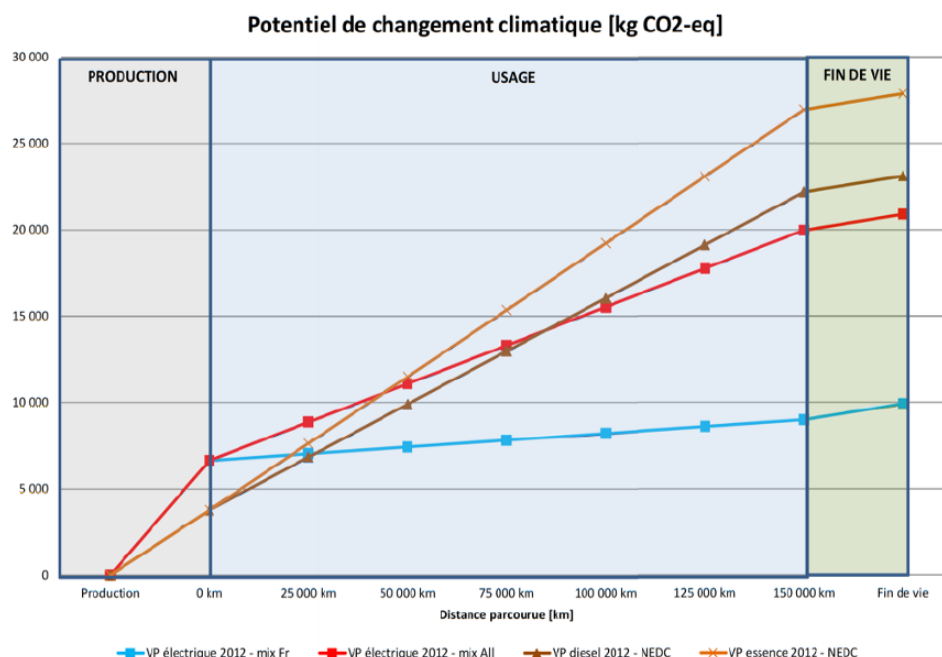


Figure 7 Potentiel de changement climatique pour les véhicules électriques français et allemand et les véhicules thermiques essence et diesel en 2012 (Ecole des Ponts, 2017).

1.1.3. Les problématiques d'adoption du VE et du déploiement des bornes de charge

Nous avons vu comment le véhicule électrique peut être une solution pour réduire les émissions de GES au niveau mondial et peut attaquer différents problèmes liés au changement climatique. Cependant l'adoption du VE englobe différentes enjeux et défis qui freinent son déploiement. Ces défis sont dus à des aspects techniques, économiques et sociaux, nous aborderons ensuite les obstacles à l'adoption du véhicule électrique (Haddadian, 2015 ; She, 2017 ; Morganti, 2018) :

Défis de nature technique

Le système technique associé au véhicule électrique n'est pas encore mature, ce qui soulève des problèmes qui freinent son essor.

- **Réseau de charge restreint**

Les stations de recharge sont conçues pour offrir une couverture plus grande, réduire l'insécurité des consommateurs et réduire les écarts d'accessibilité pour le public en général. Les points de charge sont liés influencent directement déploiement du véhicule électrique.

L'installation de points de charge nécessite une infrastructure de réseau complète pour supporter son fonctionnement. En fonction du lieu de charge, les coûts de connexion varient selon les éléments nécessaires pour assurer la distribution de l'énergie, tels que le câblage, les lignes de distribution, les transformateurs, entre autres.

Le lieu de charge détermine aussi la façon dont les gens créent leurs habitudes de recharge, cela dépend des logiques de mobilité et des déplacements quotidiens effectués par les personnes. Les stations de recharge assurent la performance du véhicule électrique et permettent réduire l'incertitude en relation à l'autonomie du véhicule (*range anxiety*) selon sa capacité et sa rapidité de charge.

Aujourd'hui, le réseau de stations de charge n'est pas assez développé pour garantir la couverture dans un scénario de massification du VE. Pour augmenter l'infrastructure, il est nécessaire de mieux comprendre les profils de charge des usagers afin de construire un réseau plus intelligent et installer les points de charge dans les lieux où ils répondent le mieux aux besoins des personnes.

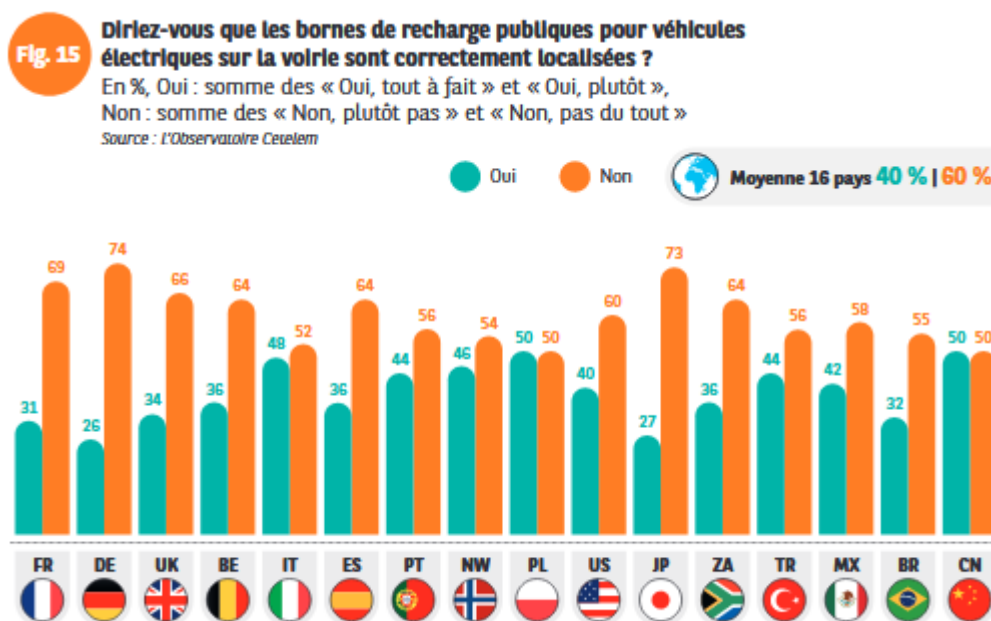


Figure 8. Perception de l'utilisateur en fonction de l'emplacement des stations de charge (L'observatoire Cetelem, 2019)

Sur la figure 8, on peut constater qu'à un niveau général, les personnes considèrent que les stations de charge ne sont pas situées dans des endroits idéaux. Dans le cas de la France, 69% des personnes ne sont pas d'accord avec la localisation de bornes.

Les zones où il y a une plus grande pénétration des véhicules électriques sont les points critiques à aborder. Étant donné que le véhicule électrique impose une pression plus élevée sur les réseaux électriques actuels dans un espace résidentiel, professionnel ou un espace public, il est nécessaire de renforcer les réseaux électriques.

L'emplacement de la station de charge détermine le type de charge du véhicule (lente, accélérée ou rapide) selon la flexibilité de charge des personnes et génère aussi la possibilité d'une connexion locale avec les énergies renouvelables et des opportunités de réduction des coûts de renforcement des réseaux du fait d'une satisfaction locale des besoins de recharge.

- **Manque de normalisation de système de charge :**

Les systèmes de charge sont un enjeu de rivalité entre les constructeurs automobiles pour conquérir une part de marché. Sur le marché, il existe différents types de bornes qui sont conditionnées à la puissance de charge de chaque véhicule, ce qui complexifie une démarche de standardisation.

Les figures 9 et 10 montrent les types de prises du côté du véhicule électrique et d'infrastructure de charge. Actuellement on rencontre 4 types de prise de charge : type 1, type 2 pour AC, type 4 ou CHAdeMO qui permet une charge rapide provient du standard japonais et le combo 2 qui fonctionne en AC et DC permettant une charge rapide et lente.

	Courant AC		Courant DC	AC	DC
	de 3 à 43kVA		50kVA	43kVA	50kVA
Véhicule	Type-1	Type-2	Type 4	Combo	
Phase	Monophasée	Mono Tri	DC	Mono Tri	
Courant maxi.	32 A	70A 63A	125 A	70A 63A	125A
Tension maxi.	250 V AC	500 V AC	500 V DC	500V	500V
Nbre broches	5	7	10	7	2
Prises					

Figure 9. Les types de prise du cotée véhicule (sigma tec)

Actuellement en France, l'infrastructure de recharge est réglementée par le décret : Décret n°2017-26 du 12 janvier 2017 relatif aux infrastructures de recharge pour véhicules électriques et portant diverses mesures de transposition de la directive 2014/94/UE du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs. Le décret retient le connecteur type 2 en courant alternatif et Combo2 en courant continu pour répondre aux besoins des propriétaires de véhicules.

Le manque de standardisation des systèmes de charge constitue un frein pour le déploiement du VE. L'harmonisation des systèmes de charge peut faciliter la gestion des opérateurs et améliorer l'expérience des consommateurs de véhicules électriques.

La normalisation demande un travail public et privé. À cet effet, l'investissement public dans les stations de charge peut générer un effet de transformation soutenu par une réglementation claire.

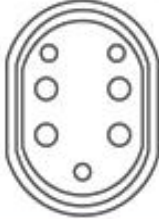
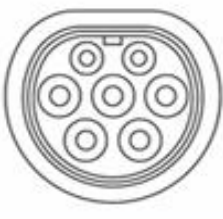
	Courant AC		
	de 3 à 22kVA	de 3 à 43kVA	2kVA
Borne	Type-3	Type-2	Type-E
Phase	Mono Tri	Mono Tri	Mono
Courant maxi.	32 A 32 A	70A 63A	8A
Tension maxi.	500 V AC	500 V AC	250 V AC
Nbre broches	7	7	3
Prises			

Figure 10. Les types de prises cotées Infrastructure (sigma tec)

Les différences des prises de charge des producteurs de véhicules et des opérateurs de charge sont évidentes, cela entrave l'interopérabilité des stations de recharge, génère une augmentation des coûts de production des bornes et rend plus difficile le processus d'adaptation de l'utilisateur.

- **La technologie dans le processus de fabrication de batteries pour véhicules électriques**

La batterie du véhicule constitue un des éléments les plus chers du véhicule. En termes de conception c'est l'un des éléments les plus discutables du véhicule électrique puisqu'il occupe plus de place qu'un réservoir de carburant, sans compter la durée de vie utile de la batterie, l'autonomie, le temps de charge, entre autres facteurs.

Par exemple, selon une information commerciale de Renault.fr un véhicule comme la Renault Zoe 2019 a une autonomie de 390km environ et une capacité totale de batterie de 52kWh avec un prix sur le marché de 23 200 € hors location de la batterie. En intégrant la batterie, le prix s'élève à 32 100 €, soit environ un tiers du prix du véhicule. L'impact de la batterie sur le prix du véhicule est considérable, dû au fait que le processus de fabrication est aujourd'hui très complexe et nécessite une assurance de qualité afin que la batterie fonctionne correctement.

La figure 11, montre une tendance à la baisse du prix de la batterie de dollar par kWh. On estime que le coût par kWh continuera à baisser et atteindra un prix plus accessible pour l'année 2030.

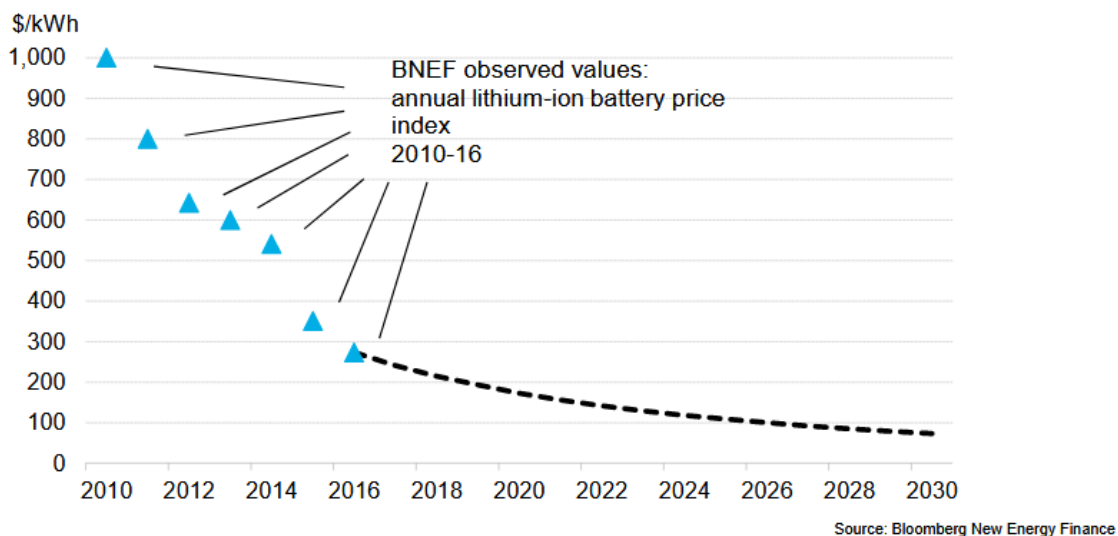


Figure 11, Prix prévu pour les batteries lithium-ion par kWh (BloombergNEF, 2017)

La technologie des batteries progresse rapidement. Cependant, des problèmes liés à l'autonomie et le temps de charge nécessaire pour obtenir une autonomie suffisante pour le déplacement, reste un problème à résoudre également par le biais de la sensibilisation et de l'éducation.

L'avenir des batteries dépend dans une large mesure de l'incitation des gouvernements à soutenir la recherche et le développement, cette tâche conjointe entre le secteur privé et le secteur public est essentielle pour que la fabrication de la batterie parvienne à un prix plus compétitif.

Sans aucun doute, l'avenir du véhicule électrique dépend en grande partie de l'évolution technique de la batterie. Avec l'installation de *gigafactories*, comme dans le cas de Tesla, le marché pourrait prendre se modifier et rendre le véhicule électrique plus accessible à tous. Les incitations gouvernementales, telles que les bonus écologiques, constituent une incitation à l'achat du véhicule électrique. Il faudrait investir davantage dans la recherche et le développement pour parvenir à accroître les économies d'échelle dans la production des batteries afin d'offrir un produit comparable à celui du véhicule thermique conventionnel.

- **Absence de réseau de recharge intelligent**

La recharge intelligente est conçue comme l'échange d'informations entre le VE et le réseau afin de moduler la recharge en fonction de la puissance et de la disponibilité de charge sur le réseau global ou local.

Le développement d'un système de recharge intelligente requiert la collecte et le transfert de données pour supporter déploiement massif de la mobilité électrique, non seulement parce qu'ils permettent d'estimer l'impact des véhicules au sein du réseau électrique local, mais aussi parce que sera un facteur clé pour le développement d'une infrastructure de recharge intelligente basée sur le nombre de véhicules et la disponibilité de l'énergie.

La flexibilité joue un rôle important dans les systèmes de recharge intelligents. Elle demande des aptitudes des consommateurs pour s'adapter de manière temporaire aux signaux externes du réseau afin de répondre aux besoins du système électrique (CRE). La flexibilité est liée normalement aux incitations de type tarifaire.

L'échange d'informations et la flexibilité permettent au système électrique de fonctionner plus efficacement, en répondant à la fois aux intérêts des consommateurs et aux besoins du réseau.

L'infrastructure de charge est également déterminée par la pénétration du véhicule électrique. Les besoins de charge ne sont pas identiques dans tous les scénarios. Un endroit où la pénétration des véhicules électriques est supérieure peut permettre une charge plus flexible. Par exemple, si un véhicule passe un temps considérable garé dans un parking d'une entreprise, un système de charge intelligent permet d'alterner les charges du véhicule en fonction de la disponibilité du réseau et du besoin de charge pendant le temps que le véhicule reste stationné.

Un réseau de recharge intelligent permet également de distinguer les différents scénarios en fonction d'une charge publique ou privée. Recueillir des informations sur les habitudes de charge et la cartographie des déplacements est essentielle pour estimer les ressources nécessaires pour le déploiement de l'infrastructure de charge du véhicule électrique.

Une infrastructure de charge intelligente semble nécessaire car elle permet d'adapter les configurations de recharge au niveau rural ou urbain en fonction des besoins des utilisateurs, du réseau et de la disponibilité des énergies.

Défis de nature économique

Les défis économiques ne correspondent pas seulement au prix du véhicule électrique, ils obéissent également à des facteurs d'assurance et de volonté politique.

- **Perception du Coût total de propriété (Total Cost Ownership, TCO) du véhicule électrique par rapport au véhicule thermique**

Le coût de propriété comprend les coûts directs et indirects, tels que les taxes, l'électricité, l'amortissement, l'assurance, la maintenance, entre autres du véhicule.

Selon une étude (P. Weldon, 2018) à long terme sur le TCO des véhicules électriques et du véhicule à combustion, il a été identifié que les véhicules électriques sont plus économiquement attractifs que les véhicules thermiques, en grande partie parce que les véhicules thermiques sont beaucoup plus sensibles au prix des carburants que le véhicule électrique au prix de l'électricité. Cet attrait économique est conditionné au temps de conduite du véhicule et aux kilomètres parcourus. Plus le temps de conduite est grand, plus la rentabilité du véhicule augmente.

Fait intéressant, il a été démontré que les véhicules électriques de luxe dont le prix d'achat est plus élevé, sont plus rentables à long terme, car ils atteignent leur période

d'amortissement plus rapidement que les véhicules électriques standards achetés à un prix inférieur.

La batterie devient un élément clé du coût total de propriété. Sans développement technologique de la batterie, il est nécessaire de continuer à subventionner l'acquisition du véhicule électrique à court et moyen terme (P. Weldon, 2018).

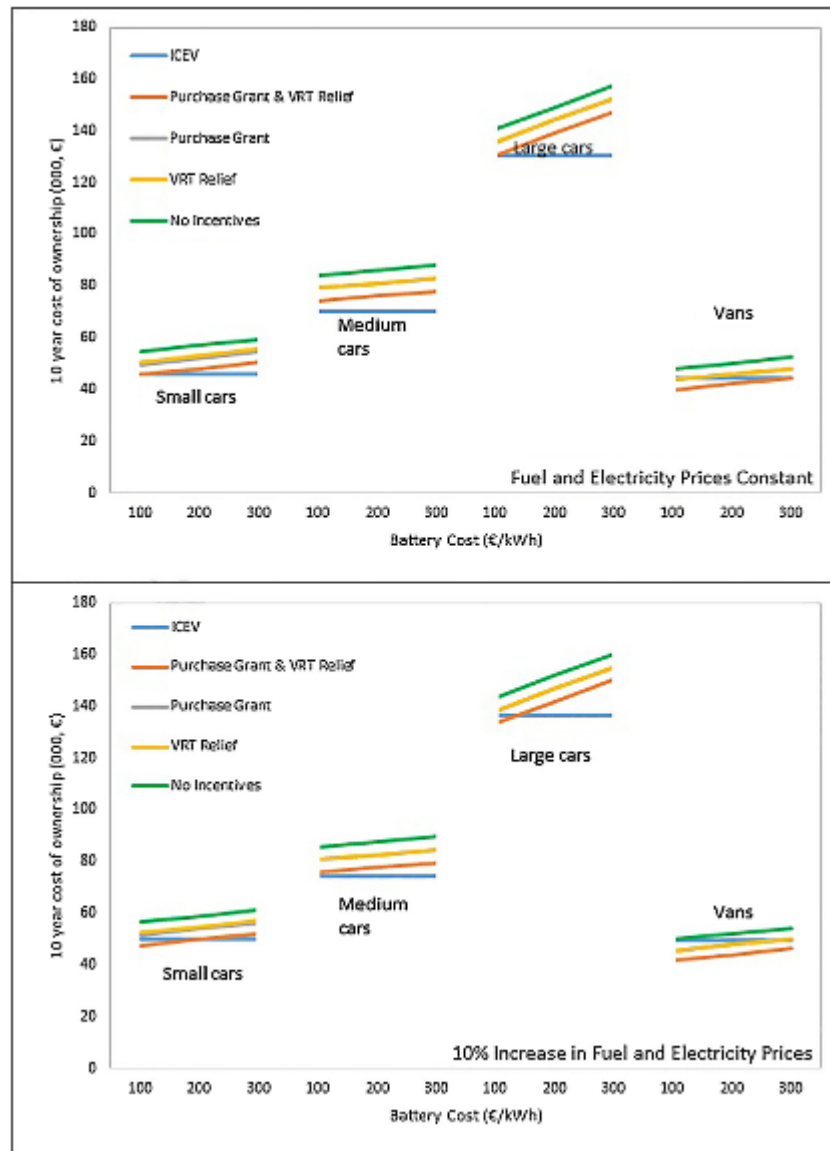


Figure 12, Coût de possession sur 10 ans des VE et véhicule thermique, intégrant le coût de remplacement de la batterie (P. Weldon, 2018)

La figure 12 nous permet de montrer que les véhicules électriques utilitaires tels que les fourgonnettes, sont plus intéressants sur le plan économique car leur prix est plus comparable à celui des véhicules thermiques et leur amortissement est plus rapide que celui des autres véhicules électriques de tailles différentes. Aussi, le remplacement de la batterie a un impact général sur le TCO du véhicule électrique, évidemment soumis aux kilomètres parcourus par le véhicule.

Actuellement, les constructeurs de véhicules électriques ont adopté des stratégies d'acquisition de clients par le biais de services de location de batteries, ce qui réduit le prix d'achat initial du véhicule, ces stratégies font que le véhicule électrique est commercialisé à un prix plus comparable avec ses homologues thermiques, mais aussi permet d'assurer la capacité et la performance de la batterie sur toute la durée de vie du véhicule, indépendamment de la durée de vie de la batterie. Toutefois, ce modèle génère des coûts fixes supplémentaires pendant la vie utile du véhicule.

Tous les effets du coût total de propriété du véhicule électrique, montrent qu'il existe un écart dans la perception des utilisateurs par rapport au véhicule thermique. De manière générale, le véhicule électrique devient plus attractif sur le plan économique dans des conditions d'allongement du kilométrage parcouru et du fait des aides publiques à l'achat.

- **Manque d'intégration des mécanismes de financement publics et privés.**

La massification du VE dépend des différents acteurs impliqués dans le processus, des producteurs de véhicules aux utilisateurs. Les incitations pour le déploiement peuvent varier selon les stratégies adoptées dans chaque pays (figure 13). Ces actions en faveur de l'adoption peuvent être présentées sous forme d'aides financières ou de restrictions d'utilisation du véhicule thermique ([France stratégie, 2018](#)).

La matérialisation de la mobilité électrique dépend des mécanismes de financement du véhicule électrique qui stimulent l'achat, mais ils ne suffisent pas pour couvrir tous les besoins des utilisateurs.

Country	2015 vs. 2016 policy developments		2015 vs. 2016 sales growth		2016 sales	
	BEV	PHEV	BEV	PHEV	BEV	PHEV
China	~		75%	30%	257 000	79 000
United States	~		22%	70%	86 731	72 885
Norway	~	↗	6%	164%	29 520	20 660
United Kingdom	~		4%	42%	10 509	27 403
France	~		26%	36%	21 758	7 749
Japan	~		48%	-34%	15 461	9 390
Germany	~		-6%	20%	11 322	13 290
Netherlands	~	↘	47%	-50%	3 737	20 740
Sweden	~	↘	0%	86%	2 951	10 464
Canada	~		19%	147%	5 220	6 360
Denmark	↘		-71%	-49%	1 218	182
Korea	~		75%	-40%	5 099	164

Figure 13, développement d'incitations de VE et véhicule hybride dans certains pays, (automobile-propre, 2017)

Les incitations gouvernementales permettent de couvrir une partie du surcoût de la batterie, mais il faut également une incitation de la part des constructeurs de véhicules, comme des stratégies de marketing permettant une acquisition à un prix abordable.

Dans le cas de la France, une des stratégies de financement est attachée au bonus écologique, d'environ 27% du coût total d'acquisition ([Service-public.fr, 2019](#)). Cependant derrière les véhicules électriques, il y a toute une infrastructure pour son

fonctionnement. Le débat a soulevé la question de savoir qui devrait assurer les coûts de ces infrastructures et de leur fonctionnement.

Il n'y a pas de doute qu'il s'agit d'un effort commun et qu'il est nécessaire d'avoir le soutien du secteur public à la recherche et au développement de batteries ainsi que l'engagement du secteur privé à rendre le VE plus compétitif sur le marché (Haddadian, 2015). La création d'une infrastructure de charge pour assurer la confiance des usagers du VE est aussi une tâche qui doit être partagée. Dans le cas de la massification du véhicule électrique dans les économies émergentes où les mécanismes de financement ne sont pas aussi puissants, des stratégies plus créatives sont nécessaires pour identifier d'autres options de financement. La proposition de nouveaux modèles commerciaux, tels que les véhicules partagés ou la location de batteries, est essentielle pour encourager les investissements privés et publics dans l'infrastructure de charge du véhicule.

Défis de nature sociale

Le changement n'est pas possible sans l'engagement des principaux acteurs que sont les consommateurs. De nombreux progrès sont encore nécessaires au niveau de la sensibilisation des usagers. De manière générale, les gens ne sont pas bien informés sur le véhicule électrique et c'est un défi qui montre la nécessité d'aborder le déploiement du VE aussi sous l'angle de l'éducation.

- ***Range anxiety* et manque d'information sur le véhicule électrique**

Le véhicule électrique présente de nombreux défis du point de vue des consommateurs, de la perception de la sécurité et de l'autonomie. Ces éléments montrent qu'il est toujours nécessaire de mieux connaître et comprendre le véhicule électrique.

Il existe un énorme fossé entre les besoins de conduite et les attentes d'autonomie du VE. Un véhicule comme la Renault Zoe atteint déjà 300 km d'autonomie. Cependant, pour un déplacement quotidien, il s'agit en moyenne de déplacements de 50 km de maximum. Un véhicule électrique présentant les caractéristiques peut donc assez facilement respecter cette contrainte de mobilité sans nécessiter de disposer d'une charge à 100% de la batterie.

L'éducation joue un rôle fondamental dans l'élimination de cette perception négative de l'autonomie de la voiture et permettrait également de penser à un marché de la mobilité électrique urbaine pour les déplacements quotidiens sans augmenter la capacité des batteries (Haddadian, 2015).

Le *Range anxiety*, défini comme état l'anxiété psychologique ressentie par un consommateur en réponse à l'autonomie limitée d'un véhicule électrique, continue d'être qualifiée et présentée comme l'un des obstacles les plus importants pour le déploiement du VE (Lance Noel, 2019). Selon les études lancées par le même auteur le développement des infrastructures ne suffit pas pour éliminer l'effet du *range anxiety*. Cette perception n'est pas seulement liée à des aspects techniques, les individus réagissent à des éléments techniques, psychologiques et rhétoriques (figure 14). Les politiques devraient être orientées dans ce sens car cette combinaison de concepts peut aider à améliorer la diffusion du VE, en particulier s'occupant plus de la façon dont les

consommateurs perçoivent les innovations et en comprenant mieux les motivations des consommateurs à résister à l'adoption ([Lance Noel, 2019](#)).

Three academic perspectives on range anxiety.

Range Anxiety Construction	Proposed Definition	Example	Policy Response
Technical	When range demand is substantially higher than the EV's existing range	Traveling salesman who travels > 300 km's each day, or consumers who regularly go on road trips and only own one car	Increase investment in public charging infrastructure, increase range in batteries
Psychological	Range demand below or around EV's existing range, but consumers irrationally worried about going below certain battery percentage or unwilling to adapt behavior (i.e., stop and charge)	A typical driver becoming nervous as battery continues to get lower (despite trips well within an EV's existing range)	Education and experience, possibly investing in public charging infrastructure (for safety net, not for actual use)
Rhetorical	Range anxiety is a rhetoric reaction that "masks" a deeper identity issues related to EVs in general	No direct connection to range, disinterested consumers use range anxiety as excuse to rationalize lack of consideration of EVs (can't purchase an EV due to fear of being stuck in mountains)	Response should be counterintuitively not focused on range, instead focus on other issues (like price or other benefits such as free parking)

Figure 14. Trois perspectives académiques du Range anxiety ([Lance Noel, 2019](#)).

Par ailleurs, avec la massification du véhicule électrique, de nombreuses questions se posent, telles que le recyclage des batteries, le prix de la recharge électrique, ainsi que le type de mobilité à développer. La mobilité partagée semble être une caractéristique qui permettrait de renforcer le déploiement et l'intérêt des véhicules électriques. Le véhicule partagé offre aux citoyens la possibilité d'interagir avec les voitures électriques et permet d'alléger les charges financières tout en augmentant les kilomètres parcourus ce qui continue à un meilleur amortissement du coût de production de la voiture du fait de l'augmentation de la période d'utilisation du véhicule où les émissions sont très réduites ([Haddadian, 2015](#)).

Dans la figure 15, on peut observer que la plupart des personnes n'ont pas suffisamment d'information concernant au véhicule électrique, et que la situation de la France n'est pas bonne au regard de celle des autres pays.

Le problème principal des voitures électriques est la désinformation qui existe à cet égard. La sensibilisation est essentielle pour familiariser les consommateurs avec les nouvelles technologies et les différentes gammes de véhicules électriques actuellement sur le marché. L'émergence de la mobilité électrique devrait se faire de manière créative et proposer des services attractifs aux utilisateurs.

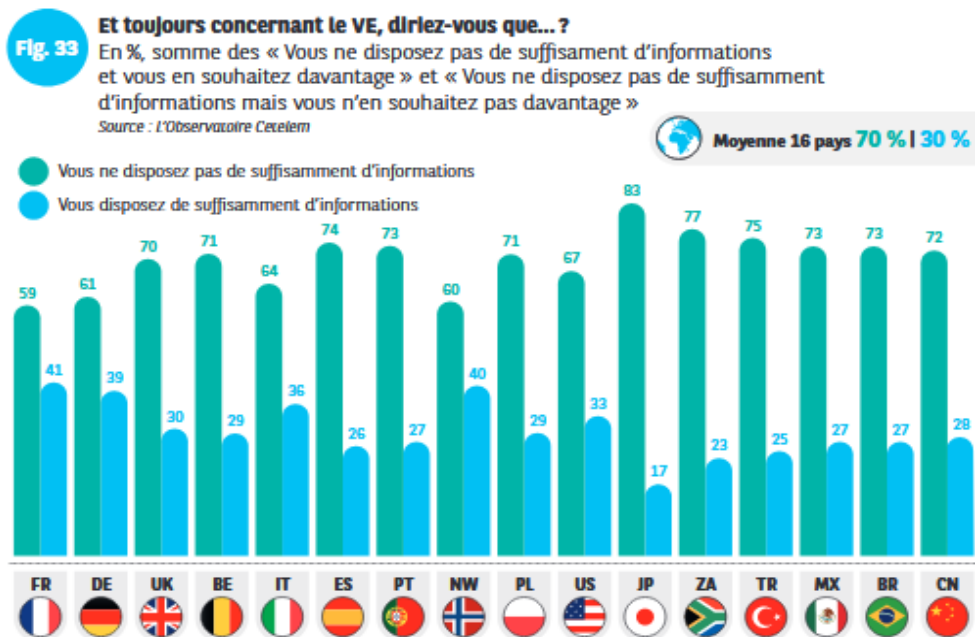


Figure 15. Perception des personnes de disposition d'information du véhicule électrique (L'observatoire Cetelem, 2019).

- Introduction de la mobilité électrique dans les systèmes de transport et les décisions du consommateur

La mobilité électrique a certainement un impact sur la dynamique de la mobilité rurale ou urbaine. La mobilité est une décision individuelle (JRC, 2014). Dans les systèmes de transport actuels, il ne faut pas ignorer le fait que la mobilité individuelle est nécessaire pour répondre aux besoins de tous les utilisateurs. Étant un choix personnel, il est également difficile d'offrir des options personnalisées. C'est de là que naît le concept de micro-mobilité.

La micro-mobilité (rtbe.be, 2019) est un terme utilisé pour décrire le moyen de transport utilisé pour parcourir de courtes distances, généralement le premier ou le dernier kilomètre d'un itinéraire. La figure 16 montre les préférences des moyens de transport dans la région SUD en fonction de la distance routière entre les principales villes des communes de résidence et de travail. La figure montre que les trajets de moins de 5 km se font principalement en voiture.

Figure 2 – La marche préférée au vélo pour les trajets courts

Part du mode de transport utilisé par les actifs en emploi pour se rendre à leur travail selon la distance parcourue en km en 2015 en Provence-Alpes-Côte d'Azur

en %

	Vélo	Marche à pied	Deux-roues motorisés	Transports en commun	Voiture, camion, fourgonnette
de 1 à 5 km	2,3	15,1	4,8	12,5	65,3
6 km ou plus	0,5	0,7	3,3	9,0	86,5

Note : la distance domicile-travail est la distance routière entre les chefs-lieux des communes de résidence et de travail

Champ : actifs de Paca en emploi âgés de 15 à 74 ans ayant déclaré des distances domicile-travail

Source : Insee, enquête annuelle de recensement 2015, distancier Metric

Figure 16. Moyen de transport préféré par distance (INSEE, 2017)

Seulement 2,3% des actifs se rendent au travail à vélo et 65,3% préfèrent se rendre à leur travail en voiture, la marche à pied n'est pas négligeable, ce qui correspond à 15,1%. Les petits chemins peuvent être couverts par la mobilité électrique.

Une étude menée par l'INSEE montre que la distance périurbaine augmente, mais qu'environ 50% des salariés travaillent à environ 8 km de leur domicile.

Si la mobilité de tous les jours est l'un des facteurs ayant le plus grand impact sur l'environnement, il est cohérent de générer des stratégies pour atténuer ces impacts, le véhicule électrique apparaît alors comme un allié des grandes villes où il n'est pas nécessaire de faire de grands trajets. Ces zones urbaines denses sont aussi couvertes généralement par un réseau de transports en commun. Les moyens de transport durables ne sont pas concentrés uniquement sur la voiture, mais également sur l'utilisation du vélo ou des véhicules à deux roues, entre autres.

Les véhicules électriques porteront sans aucun doute un changement dans l'organisation territoriale des transports, non seulement pour définir les points de charge des véhicules, mais également pour encourager l'utilisation de vélos, tels que les pistes cyclables et les parkings. La mobilité électrique doit également être intégrée aux systèmes de transport actuels; Il existe déjà des expériences allemandes dans lesquelles une intégration du véhicule électrique partagé a été réalisée pour couvrir les trajets courts et les transports en commun, via le même abonnement au système de transport public.

La figure 17 illustre les décisions de voyage et les hypothèses sous-jacentes aux modèles de demande de trajets. Ce graphique montre comment le véhicule électrique peut influencer les décisions des utilisateurs sur le choix du mode de transport à utiliser.

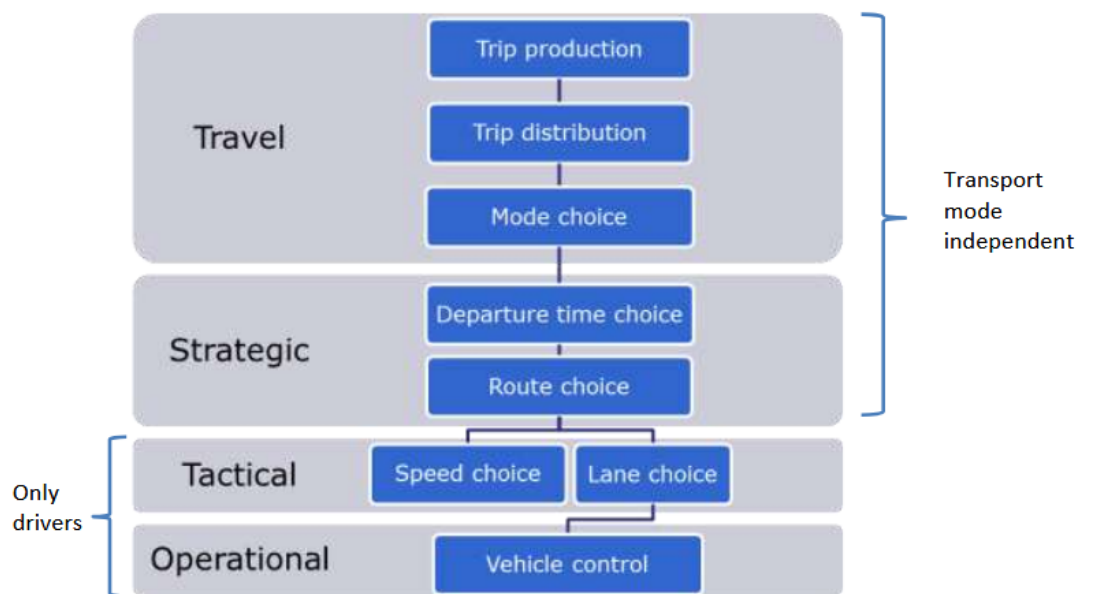


Figure 17. Niveaux de décision pour la prise de décision du modèle de transport (JRC, 2014)

Le processus de décision de mobilité est individuel. Le premier niveau de la figure 17 est relatif au type de trajet à effectuer (JRC, 2014) (fréquence, destination et type de véhicule à utiliser) ; le second niveau inclut la stratégie pour effectuer ce trajet, choisir l'itinéraire et l'heure de départ et le troisième niveau est dû à la tactique adoptée par chaque personne, comme un déplacement rapide ou lent, et enfin du contrôle opérationnel du véhicule comme la vitesse. Les deux derniers niveaux sont des décisions qui sont prises presque immédiatement et qui obéissent aux conducteurs de véhicules. Les décisions des utilisateurs de transport sont prises dans une certaine mesure en suivant cette logique de manière individuelle.

L'introduction du véhicule électrique affecte la prise de décision et influence le processus, pour plusieurs niveaux de la figure 17. (JRC, 2014):

- Le VE peut affecter le premier niveau de l'arbre de décision correspondant au type de trajet, c'est-à-dire que si la destination et l'autonomie du véhicule ne correspondent pas aux besoins, la personne peut choisir de changer de destination ou de changer le moyen de transport.
- Les décisions stratégiques peuvent également changer en fonction du lieu de recharge. Par exemple, changer d'itinéraire pour charger le véhicule avant d'arriver à la destination, charger le véhicule à la maison avant de partir ou dans une espace publique. Ces scénarios diffèrent et ces décisions sont liées aux activités quotidiennes.
- Sur les plans tactique et opérationnel, le temps de chargement du véhicule est nécessairement influencé par le fait que même avec des chargeurs à courant continu, le temps de chargement minimum peut être d'environ 30 minutes pour avoir une charge complète, selon le véhicule. Cela peut interférer également dans les décisions tactiques de conduire à une vitesse inférieure pour améliorer les performances de la batterie du véhicule.

L'intégration de la mobilité électrique devra donc avoir une grande composante de sensibilisation et de familiarisation des usagers avec les caractéristiques spécifiques des véhicules électriques. Les emplacements de charge et la flexibilité de l'utilisateur jouent un rôle important dans la facilitation des comportements d'adoption du véhicule électrique.

1.1.4. Intérêt de modèle de partage du véhicule individuelle électrique

Les modèles économiques actuels ne répondent pas correctement à l'introduction du véhicule électrique sur le marché. Nous parlons d'une époque où la perception du véhicule individuelle est modifiée par le véhicule électrique partagé, afin de réduire les dépenses et d'amortir les coûts de production rapidement.

L'autopartage est défini comme « *la mise en commun d'un véhicule ou d'une flotte de véhicules de transport terrestre à moteur au profit d'utilisateurs abonnés ou habilités par l'organisme ou la personne gestionnaire des véhicules. Chaque abonné ou utilisateur habilité peut accéder à un véhicule sans conducteur pour le trajet de son choix et pour une durée limitée.* » (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2017).

Les besoins d'infrastructures et de développement pour le déploiement du véhicule électrique ne semblent pas avoir progressé sur le marché classique et la mobilité électrique nécessite l'intervention d'acteurs publics et privés. Les usagers exigent des services innovants qui leur permettent également de répondre à leurs besoins, ce qui nous permet d'entrer dans un modèle d'économie de fonctionnalité et de la coopération. Ce modèle économique ne repose pas sur la propriété des produits, mais sur la rémunération d'utilisation ou services offerts. Ce concept englobe des aspects du développement durable, encourage la réutilisation et le recyclage et favorise la durabilité des produits.

Dans ce contexte, nous trouvons également le concept de systèmes de services de produits. « *L'idée sous-jacente fondamentale est que c'est une combinaison de produits et de services qui permet de satisfaire les besoins du client, et que la satisfaction de ces besoins ne passe pas nécessairement par l'accès à la propriété du produit* » (Peillon, 2017).

L'autopartage, né sous le concept de l'économie fonctionnelle en offrant des services complémentaires qui répondent de manière adéquate aux besoins des utilisateurs. Cela semble également être un modèle économique attractif qui permet d'intégrer correctement le VE et de réduire l'impact financier à travers un partage de coûts.

Proposons, **CT** comme coût social du véhicule thermique, **ct** comme coût social du véhicule thermique par kilomètre pendant sa phase d'utilisation et **DT** celui du démantèlement du véhicule thermique. Maintenant **CE** comme coût social du véhicule électrique **ce** comme coût social véhicule électrique par kilomètre pendant sa phase d'utilisation et **DE** celui du démantèlement du véhicule électrique. L'impact par kilomètre **Ik**, impact du véhicule électrique par kilomètres **Ike** et **Ikt** impact du véhicule thermique par kilomètres, soit :

$$IkT = (CT+DT)/km + ct$$

$$IkE = (CE+DE)/km + ce$$

Si nous supposons que $CT < CE$, $ce < ct$, et que $DT < DE$ nous pouvons représenter l'évolution de l'impact de chaque véhicule par kilomètre selon la figure suivante :

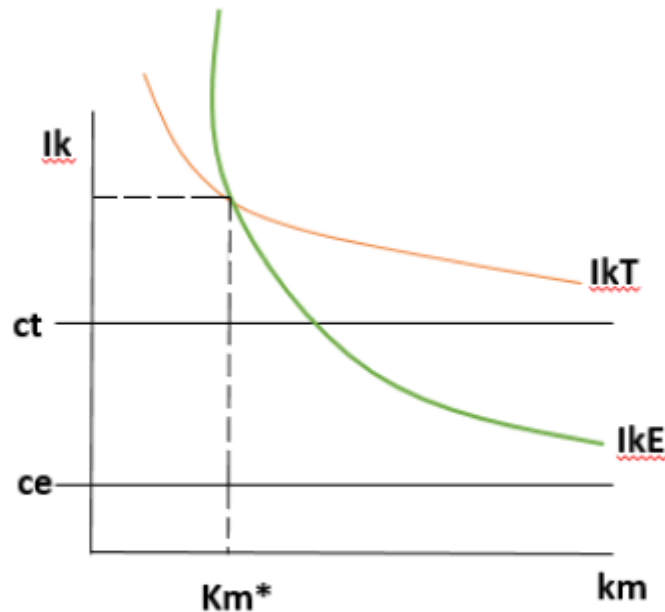


Figure 18, modèle économique de l'autopartage, (auteur, 2019)

Avec ce graphique nous pouvons voir qu'un modèle d'autopartage, qui va permettre au véhicule d'être utilisé par plusieurs personnes et par conséquent conduit à un nombre de kilomètres parcouru plus important en moyenne, donnera un impact total qui sera d'autant plus favorable que le partage et le nombre de kilomètres sera fort. Ainsi, le modèle d'autopartage renforce le poids de la partie utilisation du véhicule et diminue relativement les émissions de GES des VE par rapport aux véhicules thermiques. Au-delà d'un certain seuil km^* l'usage du véhicule électrique devient plus intéressant du point de vue de son impact total sur la société (figure 18). Le modèle d'auto-partage de véhicules individuels est donc plus vertueux avec des véhicules électriques. Plus généralement, le VE est plus intéressant dans des usages intensifs de véhicules.

1.2. Le déploiement des énergies renouvelables

L'introduction du véhicule électrique pose la question de la puissance installée et de la capacité de charger des véhicules dans un scénario de massification. Les énergies renouvelables, apparaissent comme un élément clé pour recharger les véhicules électriques par une source d'énergie décarbonisée.

D'un côté, le déploiement des énergies renouvelables n'est pas possible sans un système énergétique pilotable qui lui permette de répondre à la demande réelle d'électricité. L'introduction des énergies renouvelables crée des problèmes d'équilibre entre l'offre et la demande en raison de son intermittence. Il est difficile d'estimer leur courbe de production, ce qui peut générer des pressions sur les réseaux d'électricité pendant les périodes de surproduction ou de faible demande. Ce problème est directement lié au fait que les énergies renouvelables ne peuvent pas être pilotées et les systèmes de stockage actuels impliquent l'utilisation de batteries, dont nous avons déjà constaté les prix élevés sur le marché et le manque du développement technologique.

D'un autre côté, pour que le véhicule électrique puisse réellement agir contre les émissions de GES, il est nécessaire de prendre en compte l'origine de l'énergie qui alimente le véhicule car les émissions de gaz lors dans la période opérationnelle du véhicule dépendent du mix énergétique du pays qui est mobilisé pour la charge.

La figure 19, montre le niveau des émissions de CO₂ par pays en fonction du mix énergétique. Le mix énergétique de la France utilisé pour recharger les véhicules électriques est celui qui produit le moins d'émissions de CO₂, car une grande partie de l'électricité produite en France est d'origine nucléaire. Il faut toutefois garder à l'esprit qu'il faudrait intégrer la gestion et le stockage des déchets radioactifs.

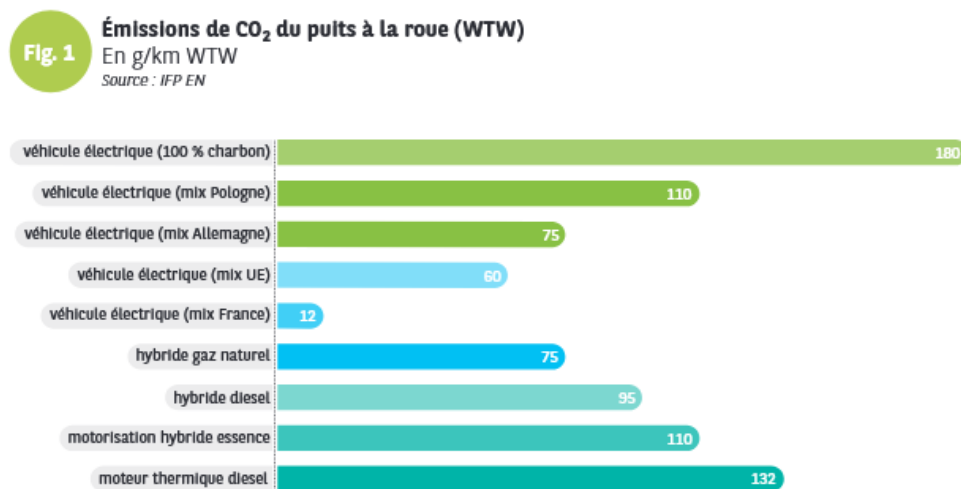


Figure 19. Émissions de CO₂ selon le mix énergétique (L'observatoire Cetelem, 2019)

Le véhicule électrique ne peut atteindre ces objectifs s'il n'est pas rechargé avec une source d'énergie durable. En fait, certains pays ont enregistré une augmentation des émissions de CO₂ provenant de l'utilisation de véhicules électriques ([l'observatoire cetelem, 2019](#)). La figure 20 montre que la Chine est l'un des plus gros émetteurs, suivie par les États-Unis et l'Inde, tandis que la Norvège et la France ont contribué de manière significative à la réduction des émissions de CO₂.

Fig. 2 Impact sur le climat des voitures électriques par pays en 2015
En milliers de tCO₂e
Source : Agence internationale de l'Énergie

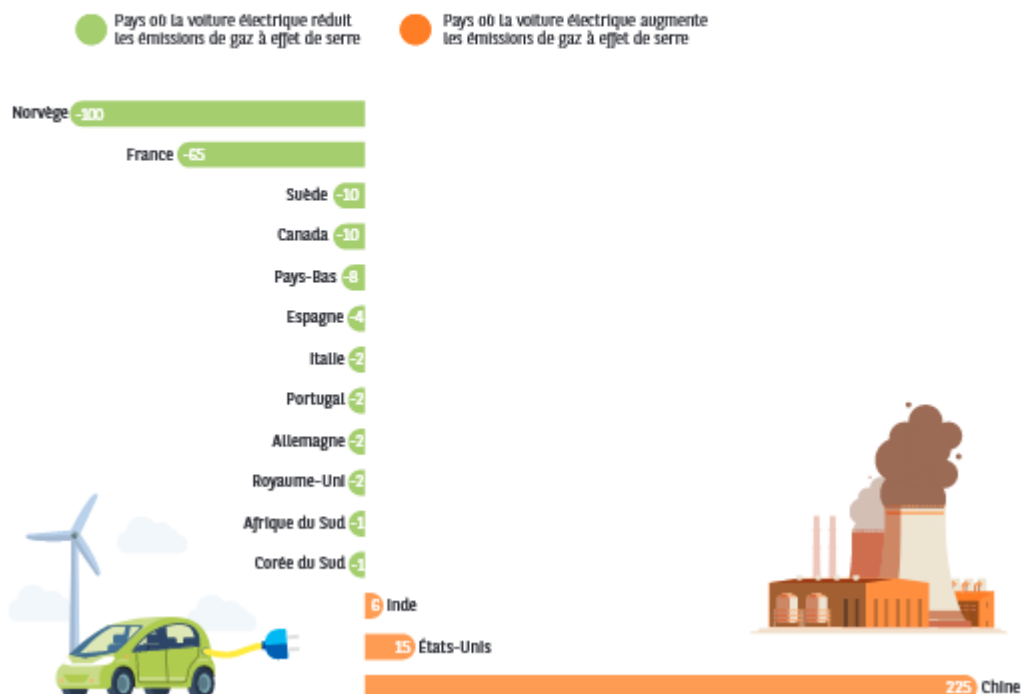


Figure 20. Impact des véhicules électriques sur le changement climatique (L'observatoire Cetelem, 2019)

Voyons maintenant comment l'utilisation du véhicule électrique peut encourager la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables.

1.2.1. Augmentation de la partie des énergies renouvelables, régulation de l'offre et la demande (stockage)

Le Cadre pour le climat et l'énergie à l'horizon 2030, proposé par la Commission européenne en 2014, fixe comme objectifs de porter la part des énergies renouvelables à au moins 27 % (Commission européenne, août 2019).

En concordance avec les cadres européens, la France à travers de La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (Loi n° 2015-992 du 17 août 2015) a fixé comme objectif, de porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % en 2030. Simultanément, la part du nucléaire dans la production d'électricité sera portée à 50 % à l'horizon 2025. Cette loi a été créée afin de faire face aux effets du changement climatique et a pour objectif principal de réduire la dépendance aux ressources fossiles, et de favoriser la production d'énergie décentralisée. (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016)

Afin de réduire les émissions CO2, la France envisage aussi l'interdiction de la vente de véhicules à combustibles fossiles en 2040. Ainsi la loi d'orientation des mobilités, envisage une augmentation importante du parc de véhicules électriques, qui suppose d'ajuster les réseaux électriques pour fournir de l'énergie nécessaire pour répondre aux besoins de mobilité.

Dans ce contexte, l'augmentation du parc de véhicules qui viendra s'ajouter à la demande générale d'énergie nécessitera une augmentation de la capacité de production électrique, ce qui peut être compensé par l'intégration des énergies renouvelables.

L'augmentation de la production d'énergies renouvelables génère plusieurs impacts sur les réseaux électriques, d'une part, l'augmentation de puissance impliquera le renforcement des réseaux électriques pour supporter la fréquence et la puissance de l'électricité transférée à travers les réseaux. D'autre part, la production d'énergies renouvelables est difficilement prévisible, principalement dans le cas de l'énergie éolienne, (Peças Lopes, 2009) c'est pourquoi, en période de surproduction, elle peut générer des déséquilibres dans l'offre et la demande d'énergie et, par conséquent, générer une surcharge dans les réseaux électriques.

Les énergies renouvelables telles que les énergies solaire et éolienne sont difficiles à piloter en raison de leur intermittence, en plus la production des EnR est déconnectée de la consommation réelle. Afin de capturer la production générée pendant les périodes de moindre consommation et d'assurer son intégration dans la demande réelle, un système de stockage est nécessaire, ou renforcer l'autoconsommation pour consommer cette énergie sur le même lieu de production.

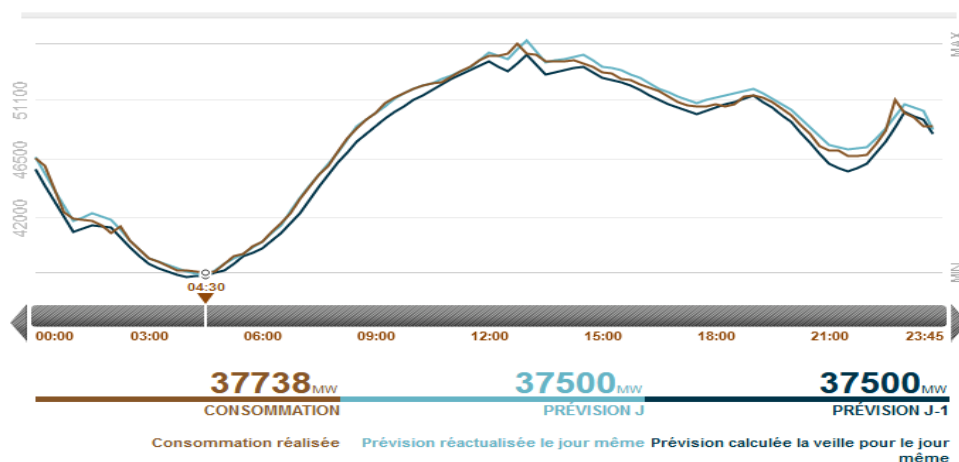


Figure 21. Courbe de consommation d'électricité du 16 juillet 2019 (RTE, Juillet 2019)

À titre d'exemple, si nous prenons la consommation d'électricité un jour d'été au hasard, quand la production solaire est plus grande nous voyons que la consommation minimale se situe entre 4 et 5 heures, ainsi, on peut constater qu'après 13 heures, la consommation commence à diminuer jusqu'à 22 heures, moment où la demande commence à augmenter légèrement. (Figure 21)

Maintenant, si nous analysons la production d'électricité par filière et prenons en compte l'énergie solaire et l'énergie éolienne, nous constatons que la production d'énergie solaire est présentée vers 13 heures environ, lorsque la consommation commence à diminuer. Il est également possible d'identifier que la production d'énergie solaire se produit entre 7 heures et environ 21 heures (Figure 22).

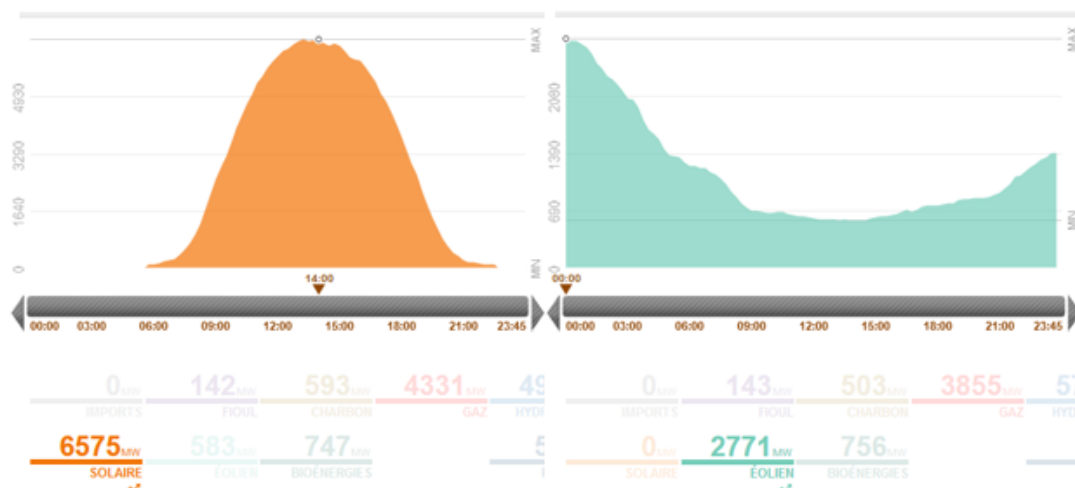


Figure 22 productions d'électricité par filière solaire et éolienne du 16 juillet 2019 (RTE, Juillet 2019)

Du côté de la filière éolienne, nous pouvons identifier que la production la plus importante a été générée la nuit, lorsque la consommation est moindre entre 00 heures et environ 6 heures quand elle commence à diminuer, et à 21 heures jusqu'à 00 se pensent une nouvelle augmentation de la production.

De cette manière, nous pouvons observer qu'il existe un décalage entre la production d'énergie renouvelable et la consommation réelle d'énergie. Pour éviter d'endommager les réseaux électriques, il est nécessaire que la production soit en équilibre avec la demande d'électricité. Les EnR ne sont pas entièrement pilotables, ils sont intermittents et il est donc nécessaire d'adapter le réseau à la production.

Il existe différents moyens de gérer ces impacts. Les systèmes de stockage d'énergie à travers de batteries constituent une alternative plausible. D'autre part, la décentralisation de la production destinée à promouvoir l'autoproduction et l'autoconsommation permettrait ainsi de garantir que l'énergie produite est injectée directement dans les maisons, les bâtiments ou les réseaux locaux et finalement la mobilité électrique.

Les lacunes peuvent bien devenir des opportunités, l'objectif est fixé et la transition énergétique étant un fait, il est nécessaire de proposer des solutions innovantes. Le smart grid ou le réseau intelligent sont des réseaux intégrant des fonctionnalités des technologies de l'information et de la communication, afin de d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande avec un approvisionnement plus durable (CRE, août 2019). Ces technologies peuvent être mobilisées pour améliorer l'efficacité de l'intégration des renouvelables et leur mobilisation pour des usages synchrones.

1.2.2. Autoproduction et autoconsommation, déploiement local des énergies renouvelables enjeux et freins.

Une grande partie de l'énergie produite dans le monde entier est produite dans des systèmes centralisés, ce qui implique une infrastructure de transport et de distribution étendue de quelques sites de production à forte capacité jusqu'à un nombre important et diffus de points de consommation.

Les processus de production, de distribution et de conversion d'énergie génèrent des pertes d'énergie tout au long du réseau (U.S. Department of Energy, 2004). Afin de compenser les pertes et de répondre à la demande réelle, il est nécessaire de générer plus d'énergie à injecter dans le réseau. La décentralisation de la production peut sans aucun doute résoudre une partie du problème et réduire les pertes d'énergie dues à l'acheminement et la distribution et proposer un système plus rentable au niveau local. Le développement technologique est nécessaire à cet effet, afin d'améliorer la performance des aérogénérateurs ou le rendement panneaux solaires.

Dans ce contexte nous pouvons le concept d'autoproduction et d'autoconsommation totale ou partielle d'énergie est un moyen de réduire la chaîne d'acheminement et de distribution et limiter les pertes afférentes. *« L'autoconsommation peut se définir comme le fait de consommer sa propre production d'électricité. Avec la baisse des coûts de production des installations d'électricité à partir de sources renouvelables et la hausse concomitante du prix de détail de l'électricité, Elle est associée à la notion d'autoproduction, qui est le fait de produire sa propre consommation »* (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016)

Le concept d'autoconsommation s'applique plus facilement à la production d'énergie solaire, due à sa facilité d'installation dans différents endroits et de la réduction des coûts d'installation et de technologie. Actuellement, le pourcentage d'autoconsommation est d'environ 20%, il est donc nécessaire de faire un appel au réseau local. (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2014)

La figure 23 suivante montre la production d'énergie de manière centralisée et décentralisée et l'autoconsommation individuelle et collective dans les réseaux basse tension.

L'autoproduction et l'autoconsommation présentent des avantages différents : premièrement, cela permet de réduire la puissance maximale injectée ou retirée des réseaux électriques, ce qui aboutit à un dimensionnement adéquat du réseau ; deuxièmement, cela réduit la nécessité de renforcer le réseau pour introduire la production des EnR puisque l'énergie est consommée localement. Troisièmement, cela améliore les profils de consommation et de production basés sur une consommation intelligente. (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2014)

Quelles répercussions peut-il avoir ? En premier lieu, il y aura un changement dans les habitudes de consommation des utilisateurs, afin de consommer dans les moments de

plus grande production s'il n'y a pas de système de stockage d'énergie. Le système doit être pilotable, cela implique une adaptation technologique permettant de capturer les informations nécessaires pour prévoir la production maximale d'énergie locale par rapport aux besoins de consommation réels. L'autoconsommation réduit facture d'électricité, mais crée simultanément un transfert de charges vers d'autres utilisateurs pour l'entretien du réseau électrique existant (ADEME, 2018).

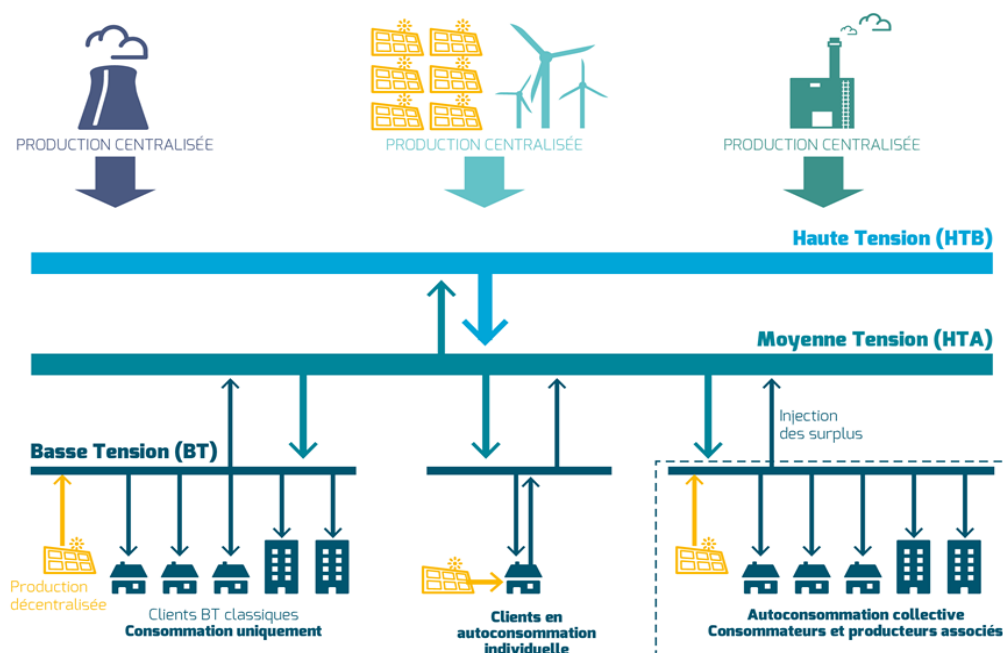


Figure 23. Autoconsommation individuelle et collective sur les réseaux (CRE, 2018)

En analysant l'impact de l'autoconsommation sur les réseaux BT, on pourrait affirmer que même en cas de production locale, la réduction de la demande en heures de pointe n'aura aucun effet si le système n'est pas contrôlable ou dispose d'un système de stockage de l'énergie sous forme de batterie (CRE, 2018), car la production solaire est générée pendant la journée et, comme mentionné précédemment, la production d'énergie renouvelable est déconnectée de la consommation réelle.

En France, on distingue deux types d'autoconsommation : l'autoconsommation individuelle et l'autoconsommation collective, la première dont une définition a déjà été fournie inclut un producteur et un consommateur, tandis que l'autoconsommation collective est définie comme suit:

« Le nouveau cadre réglementaire de 2017 définit le modèle d'autoconsommation collective comme une opération regroupant un ou plusieurs producteurs d'origine renouvelable (généralement PV) et un ou plusieurs consommateurs finaux, au sein d'une personne morale. Ces derniers doivent avoir leurs points de soutirage et d'injection situés en aval d'un même poste public de transformation d'électricité de moyenne en basse tension (poste HTA/BT). Cela concerne par exemple, un bâtiment regroupant plusieurs logements, un quartier résidentiel ou un centre commercial utilisant sa toiture pour alimenter plusieurs boutiques. » (ADEME, 2018)

L'autoconsommation permet de véritablement garantir l'origine de l'énergie consommée en générant l'apparition de nouveaux postes de consommation tels que les bornes de recharge pour véhicules électriques. L'augmentation de l'autoconsommation va sans aucun doute imposer une réflexion sur la tarification, principalement pour la maintenance du réseau existant. (ADEME, 2018)

Un autre argument important pour promouvoir l'autoconsommation d'énergie renouvelable, principalement solaire, est la tendance à la réduction des coûts de production et d'installation de panneaux solaires. La figure 24 montre l'évolution du coût en kWh de la production photovoltaïque dans la région du Nord-Pas-de-Calais et PACA.

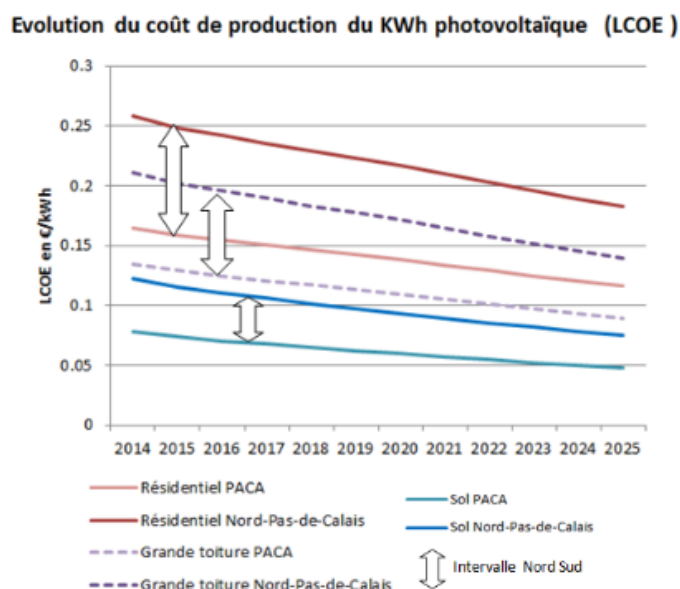


Figure 24, évolution du coût de la production photovoltaïque en kWh (ADEME, 2016)

Comme on peut le voir sur la figure 24, la production a tendance à baisser, les régions comparées se situant aux extrémités nord et sud de la France, on peut constater que la comparaison est faite dans des zones résidentielles, sur le toit et au sol. Dans les trois scénarios, le coût est moins élevé dans la région PACA, la différence est beaucoup plus significative dans le résidentiel entre les deux régions.

Par ailleurs, l'autoconsommation exige un système de stockage permettant de consommer de l'énergie aux moments nécessaires. Dans un scénario d'autoconsommation, il peut y avoir des pertes d'énergie s'il n'y a pas de consommation locale, un exemple clair est la production d'énergie en heures de travail lorsqu'il n'y a pas de consommation ou une consommation minimale dans les maisons résidentielles. Ce problème pourrait être une opportunité pour le véhicule électrique comme nous le verrons dans le point suivant.

L'autoproduction et l'autoconsommation ont sans aucun doute certains avantages, d'une part, elles permettent de réduire le stress sur les réseaux locaux, de garantir l'origine de l'énergie consommée, de réduire la facture d'électricité et de réduire les pertes de transport. Il répond également positivement à l'introduction du véhicule électrique traitant certains critères d'optimisation technique comme le smart charging.

1.3. Enjeux du Couplage des EnR et VE

Nous avons vu des arguments qui justifient l'augmentation du parc de véhicules électriques et l'insertion d'énergies renouvelables. Au cours du processus, nous avons identifié certaines limites qui peuvent être compensées par le couplage des EnR et du VE.

Le couplage des énergies renouvelables et la recharge du véhicule électrique consistent en l'intégration locale ou non locale de la production d'énergie renouvelable plus notamment solaire ou éolienne pour l'alimentation d'un point de charge du véhicule. Ce couplage n'est pas un processus simple, il englobe en fait des aspects directs qui doivent être gérés pour atteindre les objectifs proposés.

Le couplage des EnR et la recharge du véhicule électrique ont pour objectif d'assurer la protection du réseau électrique et de ne pas augmenter la demande maximale dans le réseau actuellement dimensionné ([CRE, 2018](#) et [CRE, août 2019](#)). Pour y parvenir, il est nécessaire que la recharge puisse être pilotable, flexible et accompagnée de systèmes numériques pour optimiser son fonctionnement.

La production d'énergie solaire et éolienne varie en fonction des conditions météorologiques, l'intégration du VE, doit donc s'accompagner de la création de services complémentaires tels que la recharge intelligente, la flexibilité et la technologie V2G

Ensuite, nous discuterons en détail des arguments qui justifient le couplage des énergies renouvelables et de la recharge du véhicule électrique.

1.3.1. Arguments et défis du couplage des énergies renouvelables et de la recharge des véhicules électriques

Selon un scénario prospectif d'haute insertion de VE proposé par la RTE, à l'horizon 2035 il y aura 15,6 millions de VE légers et 156 000 VE lourds. Pour charger une telle flotte de véhicules il sera nécessaire de disposer d'une puissance de 40TWh. Dans cette configuration le coût complet moyen de production de l'électricité utilisée pour la recharge du véhicule est estimé à 35 €/MWh ([RTE, 2019](#)).

Dans ce scénario d'augmentation du parc de véhicules électriques, il est nécessaire d'augmenter la production d'énergies renouvelables pour faire face aux demandes supplémentaires. Dans un tel contexte, le couplage a pour principal intérêt de favoriser le déploiement du véhicule électrique ainsi que la plus grande part des énergies renouvelables.

- **Le véhicule électrique permet d'augmenter l'autoconsommation et la part des EnR**

Lorsque le véhicule électrique est introduit en tant que mécanisme de stockage (V2G vehicle to grid) ou de consommation (unidirectionnel, V1G), il peut être démontré que le véhicule électrique augmente l'autoconsommation de l'énergie photovoltaïque dans les habitations individuelles (**Munkhammar, 2013**). Cependant, cette augmentation est limitée car les profils de charge peuvent être différents selon les utilisateurs (**Munkhammar, 2013**). Par exemple, l'impact de la charge du véhicule ne sera pas le même si celui-ci est chargé en début de soirée lorsque la consommation électrique est beaucoup plus importante, ou s'il est rechargé tôt le matin lorsque la consommation d'énergie est minimale.

La figure 25 montre le niveau de couplage de la production PV et de la charge des VE dans deux scénarios de recherche proposés, un individuellement et le deuxième qui comprend un total de 1000 ménages.

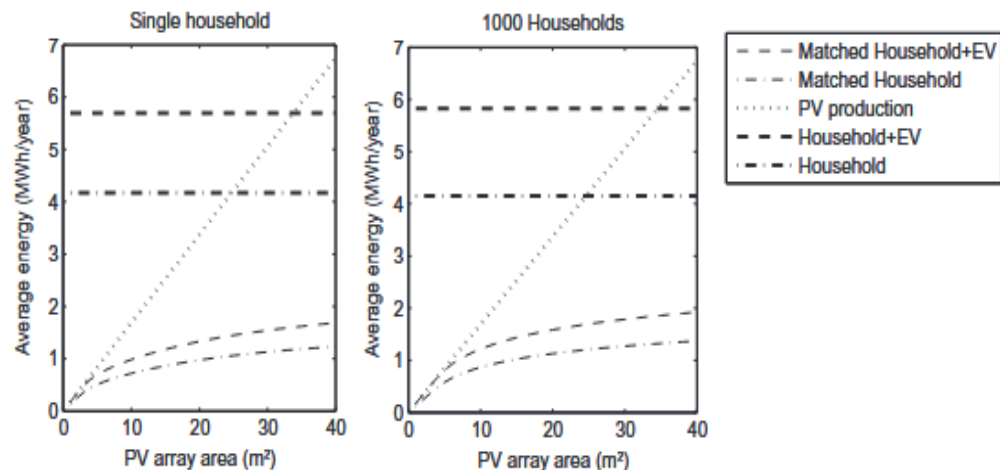


Figure 25. Quantité de couplage de PV (Photovoltaïque) et PEV (plug-in electric Vehicle) dans une maison simple et dans un ensemble d'un total de 1000 maisons. (Munkhammar, 2013)

De manière générale, l'introduction du VE peut améliorer la capacité d'autoconsommation, en environ 37%, sans système de pilotage de charge. Cette amélioration est limitée, selon les profils de mobilité, de charge et flexibilité.

Toutefois, charger le véhicule sans système de charge pilotable entraîne des coûts énergétiques élevés et un possible surcharge des réseaux locaux (**Pournaras, 2019**). Avec l'introduction d'une batterie de stockage fixe ou d'un système de contrôle de la charge (smart charging) et V2G, il est possible d'augmenter l'autoconsommation en fonction de la production d'EnR.

La variation du rayonnement solaire ou de la vitesse du vent dépend en grande partie des conditions météorologiques, avec des caractéristiques intermittentes et fluctuantes, limitant ainsi la performance d'EnR (**Colmenar-Santos, 2019**). Le VE comme système hybride stabilisateur de la production d'énergie renouvelable peut être une solution

plus efficace, qui permet de consommer l'énergie dans les périodes de grande production ou de stocker cette production pour réduire les pertes et réinjecter celle-ci dans le réseau local lorsque la demande est plus forte.

Par exemple, si nous prenons en compte les trajets de mobilité quotidiens domicile-travail, nous constatons que les salariés utilisent principalement leur voiture, dans une proportion de sept salariés sur dix (INSEE, 2019). Ces résultats nous permettent de penser que le véhicule passe une longue partie du temps garé sur les lieux de travail, qu'il s'agisse d'un parking d'entreprise, d'un immeuble tertiaire ou autre.

Le véhicule électrique peut devenir un consommateur d'énergie renouvelable pendant les périodes de forte production de PV, lorsqu'il est garé sur le lieu de travail, et encore, servir de mécanisme de stockage pour injecteur dans les réseaux électriques pendant les heures où la consommation est plus forte via le V2G.

- **Le véhicule électrique réduit l'impact des EnR sur les réseaux**

Pour soutenir la production d'énergies renouvelables et l'intégrer dans les réseaux électriques, l'infrastructure doit être adaptée pour supporter la puissance et assurer la sécurité. La production d'énergie renouvelable est principalement réalisée de manière décentralisée. Par conséquent, les lieux de productions sont plus facilement proches des lieux de consommation (CRE, août 2019).

Afin de réduire les impacts de l'accroissement de puissance sur le réseau, le véhicule rentre comme un système modulateur de la puissance dans une production locale d'EnR, puisque il peut absorber la production directement, réduire l'utilisation des réseaux et éviter la surcharge de l'équipement et de l'infrastructure.

Cette possibilité crée une distinction entre le couplage local et non local, du fait d'un recours plus ou moins important des réseaux de transport et de distribution. La source d'énergie est également déterminante pour l'établissement d'un couplage d'une production d'énergie locale ou non locale en fonction des besoins des utilisateurs.

Par exemple, l'installation de panneaux solaires est plus adaptable à plusieurs types d'environnement (en fonction du potentiel de production) tel que les toits des bâtiments, tandis que l'énergie éolienne n'est pas propice à un couplage local dans les grandes villes en raison d'obstacles qui réduise la force du vent et les périmètres de sureté nécessaires.

L'un des intérêts du couplage des EnR avec les véhicules électriques est qu'il peut non seulement absorber cette production d'énergie aux moments de surproduction, mais aussi servir de système de stockage à injecter dans le réseau aux moments de majeur demande (VEHICULE TO GRID), il y a une opportunité de tirer parti de la transition et d'obtenir des avantages économiques grâce à une consommation intelligente d'électricité.

De cette manière, le véhicule peut capter l'énergie produite de façon locale même dans les moments de surproduction, en évitant le déséquilibre et l'endommagement des réseaux.

- **Le rôle clé des technologies de l'information et de la communication dans le couplage : le smart charging**

Comme nous avons mentionné précédemment, les réseaux intelligents permettent de créer un système de communication pour gérer correctement les réseaux. Pour eux, la collecte et l'analyse d'informations est essentielle.

Pour établir un modèle de flexibilité de charge adaptable à un territoire, il est nécessaire de connaître les profils de charge des utilisateurs comme la disponibilité des EnR. Le smart charging permet de recharger le véhicule lorsque la production des EnR est optimal a un prix du kWh compétitif, ([Jian, 2018](#)).

Selon une expérience réalisée à Amsterdam, le profil de charge de l'utilisateur peut varier en fonction du point de charge. Dans ce cas, l'analyse réalisée révèle que les comportements de chargement étaient différents en fonction de la catégorisation du quartier, soit résidentiel ou commercial. Selon ces profils de charge, les pics de consommation des véhicules électriques varient selon les tranches horaires de la journée, et par conséquent, il est possible d'estimer les besoins en charge en fonction de la production d'énergie. L'étude révèle que l'introduction d'une charge statique intelligente peut générer une augmentation de la consommation d'énergie photovoltaïque et éolienne en réduisant l'impact sur le réseau. Dans le cas de l'énergie éolienne, comme sa production est moins prévisible, ce modèle de flexibilité avec une charge statique intelligente semble plus efficace pour augmenter la partie d'énergie éolienne ([Visser, 2017](#)).

L'objectif de cet exemple est de montrer comment l'intégration de l'information peut générer des solutions adéquates pour la recharge du VE en augmentant la consommation d'énergies renouvelables sans générer d'impact sur les réseaux lors des pics de consommation d'énergie.

Nous avons vu les arguments qui justifient le couplage des EnR à la recharge du VE. Ensuite on abordera des critiques inhérentes à ce couplage qui permet d'améliorer la performance du point de vue technique en introduisant le concept de flexibilité et V2G.

1.3.2. Le VE comme régulateur de l'insertion massive d'EnR avec notamment la Flexibilité de charge et le V2G.

Le couplage des énergies renouvelables et la recharge du véhicule électrique fait apparaître différents concepts et technologies permettant l'optimisation et la régulation des réseaux électriques. Certains concepts comme, le vehicle to grid fait intervenir le VE dans un mécanisme de stockage d'électricité pour rendre un service au réseau. Cette énergie peut aussi être réinjectée dans les moments des pics de demande. La flexibilité du côté de l'utilisateur et les incitations des personnes à adopter un comportement de charge adapté sont déterminantes pour l'efficacité du couplage. Ainsi cette offre de services intelligents regroupée sous l'appellation de smart charging peut améliorer les

bénéfices des usagers de VE, des producteurs d'EnR et réduire les contraintes des gestionnaires de réseau.

FLEXIBILITE DE CHARGE ET RECHARGE INTELLIGENTE

La consommation et la production d'électricité doivent être équilibrées pour éviter les variations de fréquence et de tension et pour ne pas endommager l'infrastructure du réseau. Un système de pilotage central rend possible maintien de cet équilibre notamment avec l'aide d'un plus grand foisonnement. Avec l'introduction de la production d'énergie décentralisée, le maintien de cet équilibre devient plus complexe car la courbe de charge de la demande devient de plus en plus variable.

Les installations d'énergie renouvelable sont conçues pour produire le maximum d'énergie possible afin de rentabiliser les systèmes et d'amortir l'investissement sur une période donnée. C'est pourquoi il est difficile d'effacer leur production, du fait de leur nature fluctuante. Garantir l'équilibre dans le réseau devient encore plus difficile car il y a plus postes de production qui doivent être exploités à tout moment pour valoriser les investissements et contribuer à la consommation d'énergie verte. ([Hungerford, 2019](#))

Dans ce scénario, il existe différentes manières de faire face à l'augmentation de puissance et d'éliminer les pertes d'énergie lorsque la demande est faible. L'une d'entre elles est de renforcer les réseaux existants pour soutenir la production d'énergie renouvelable ([Actu-Environnement.com, 2018](#)). Le renforcement étant coûteux, d'autres opportunités peuvent être trouvées dans la flexibilité et le chargement intelligent du véhicule ([Jian, 2018](#)).

Le véhicule électrique peut résoudre le problème grâce à une flexibilité des charges accompagnée d'une sensibilisation du public et d'incitations financières à la recharge intelligente ([Will, 2016](#)). Le Smart charging optimise le système énergétique et assure des fonctions de réserve de régulation à travers le véhicule électrique.

La recharge intelligente peut avoir des effets positifs sur le réseau. Tout d'abord, la recharge intelligente permet de réduire les pertes d'énergie : la perte d'énergie lors de la recharge des véhicules électriques est inférieure à celle des véhicules thermiques. L'intégration locale du véhicule électrique peut également améliorer le réseau de distribution grâce à la flexibilité de charge. ([Amjad, 2018](#)).

Les VE aident aussi à la régulation de fréquence et de tension ([Amjad, 2018](#)) : les véhicules électriques aident à réguler la fréquence grâce à sa capacité V2G. L'augmentation du nombre de véhicules électriques, demande d'augmenter la puissance pour répondre à la demande énergétique du véhicule, cependant grâce à la technologie V2G le VE devient maintenant un régulateur de réseaux en capturant la production lorsque la consommation diminue et la production des EnR est forte.

Finalement la recharge intelligente et la flexibilité permettent de limiter les coûts des émissions car l'utilisation du véhicule électrique permet de réduire l'impact sur l'environnement du fait de l'utilisation plus importante des énergies renouvelables. L'optimisation de la charge cherche à adapter la recharge du véhicule avec les énergies renouvelables ([Jin, 2014](#)).

Ces aspects montrent que le couplage EnR et VE a besoin de la flexibilité pour générer des services intelligents qui rendent l'intégration plus attrayante pour les utilisateurs. L'acceptation de la flexibilité n'est pas seulement d'ordre économique, il y a quelques facteurs qui déterminent la position des individus pour accepter ou non pour être flexible. Plusieurs facteurs de flexibilité peuvent permettre une meilleure adoption et une meilleure efficacité de la recharge intelligente (Will, 2016).

- Les Incitations monétaires : (Amjad, 2018) (Will, 2016) Une recharge intelligente permet d'établir des tarifs qui rend attractif le service de flexibilité. La compensation peut consister en une réduction du tarif par kWh ou une réduction du prix de base mensuel. Les tarifs peuvent être proposés en fonction de la disponibilité d'énergie renouvelable et de la gamme de flexibilité que l'utilisateur est prêt à accepter.
- Effets du couplage des EnR : l'intégration des EnR permet l'amélioration de la stabilité du réseau dans les pics de production. Cet avantage génère un impact positif dans la perception des utilisateurs, parce qu'il y a le sentiment de sécurité d'approvisionnement avec une source d'énergie inépuisable et un respect de l'environnement. (Will, 2016).
- La confidentialité des données : la confidentialité est sans aucun doute un facteur d'acceptation ou de rejet de la recharge intelligente. Accepter une tarification intelligente implique la collecte d'information telles que les déplacements, le temps de chargement et information concernant aux habitudes de déplacement. Afin de contrôler cette variable, une sensibilisation est nécessaire et fournir plus informations sur le véhicule électrique aux utilisateurs. (Will, 2016).
- Les attitudes générales des personnes (Will, 2016): l'acceptation de la recharge intelligente est également liée à la perception des utilisateurs devant le véhicule électrique. Des attitudes telles que l'adoption d'un mode de vie durable, le comportement de early adopters font partie des critères d'adoption d'une recharge intelligente.

Nous avons vu à quel point la recharge intelligente et la flexibilité peuvent avoir un impact positif sur le réseau, nous avons aussi identifié que la flexibilité implique la génération des services innovants et attractifs pour les utilisateurs afin qu'ils adoptent une recharge intelligente. Ces stimuli ne sont pas seulement de nature économique, mais aussi répondent à des enjeux sociaux tels que la disposition des personnes à partager ses données et avoir un engagement avec l'environnement.

Les stratégies de marketing seront essentielles pour attirer l'attention de différents types de consommateurs, accompagnées d'un processus de sensibilisation.

VEHICLE TO GRID (V2G)

Actuellement, le véhicule électrique est plutôt considéré comme un consommateur d'énergie pour effectuer les déplacements, le V1G ou technologie unidirectionnelle comprend le passage de l'énergie du réseau au véhicule. La flexibilité peut être fournie de manière unidirectionnelle (V1G), en utilisant le véhicule en tant que consommateur d'énergie renouvelable dans les moments de grande production et en réduisant l'impact sur les réseaux dans le moment de pic de consommation. Cependant, ce scénario est en train de changer, grâce à l'introduction des énergies renouvelables, le véhicule électrique est devenu une précieuse source de stockage pour les années à venir, en générant le développement de nouvelles technologies telles que le V2G.

Le V2G fait référence au pilotage du flux d'énergie dans le sens opposé, c'est-à-dire en injection sur le réseau (Parsons, 2014). Le concept découle du fait que la plupart des véhicules passent la plupart du temps garé (environ 90% du temps) (Colmenar-Santos, 2019) dans le lieu de travail ou la maison. Par conséquent, la batterie du véhicule peut être utilisée comme mécanisme de stockage distribué permettant d'alimenter le réseau aux heures de pointe (Habib, 2014).

En plus de son utilisation en tant qu'objet bidirectionnel pour l'injection et le stockage d'énergie, le V2G ajoute d'autres applications auxiliaires décrites ci-dessous (Habib, 2014): voir l'annexe 1 pour plus détail sur la stratégie de charge et de décharge de manière contrôlé et non contrôlé ainsi ses impacts.

Le V2G en tant que régulateur de tension et de puissance : la régulation de fréquence permet d'équilibrer alimentation et demande, les batteries VE permettent différentes vitesses de charge lente ou rapide, les voitures régulent rapidement les signaux en fonction sa capacité, tandis que le chargeur de batterie est utilisé pour contrôler la tension. Les véhicules peuvent se charger lorsque la tension est élevée ou s'arrêter lorsque la tension est basse, ce qui leur permet de maintenir une fréquence stable.

Il est important de noter que le véhicule, même dans une fonction unidirectionnelle, remplit également la fonction de régulation de la tension grâce à la recharge du véhicule en période de moindre demande (Mwasilu, 2014).

D'autre part le V2G permet une meilleure optimisation de la gestion de la charge et de l'équilibrage, étant donné que le VE peut être chargé en période de faible demande et déchargé en période de forte demande. Une gestion et une coordination de la charge permettraient à la courbe de charge de se déplacer afin de réduire l'impact sur le réseau. Cette gestion de charge permet également de contrôler la puissance maximale.

Finalement, nous pouvons concevoir le V2G comme que potentialisateur des EnR, les véhicules électriques permettent le stockage de l'énergie excédentaire ou produite à partir de sources renouvelables, en tirant parti du fait qu'il s'agit de sources de production intermittentes. Ainsi le véhicule offre une plus grande flexibilité pour absorber ces énergies lorsque la production augmente.

Cependant, le V2G pose des questions sur l'impact de la décharge de la batterie, ou l'impact sur les réseaux locaux. En fonction des résultats de plusieurs études, nous pouvons voir que :

La dégradation de la batterie dépend de la fréquence du cycle de charge. Il est difficile d'estimer la dégradation de la batterie puisqu'elle dépend en grande partie de la quantité et de la vitesse à laquelle le véhicule est chargé et déchargé.

Les résultats montrent que deux cycles par jour de V2G accélèrent la perte de capacité de la batterie de 75%, tandis que le passage de V2G une fois par jour accélère la perte de capacité de 33% (Figure 26). Selon les tests effectués, la mise en œuvre du V2G pourrait réduire la durée de vie des batteries à moins de 5 ans. (Dubarry, 2017)

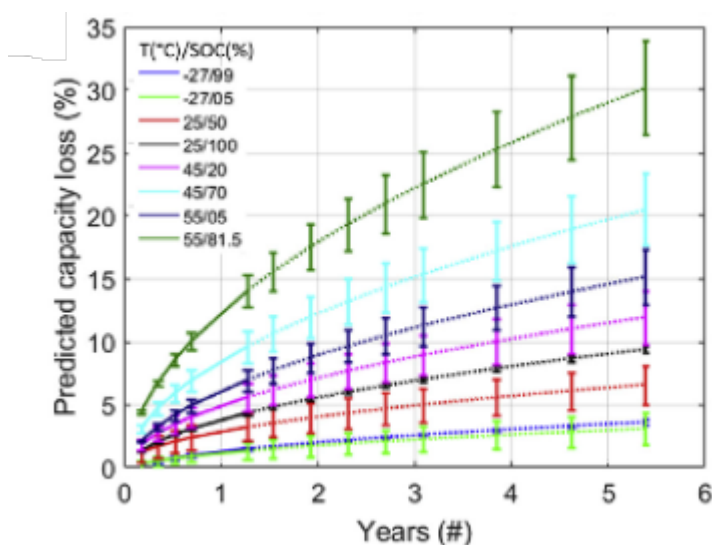


Figure 26. Prédiction de la perte de capacité en fonction du temps (Dubarry, 2017)

Un autre aspect à gérer est le profil de charge des véhicules pour éviter les effets négatifs sur les réseaux locaux. Il faut anticiper la charge, et des données précises de chaque véhicule sont nécessaires pour estimer la demande en électricité, ce qui implique de connaître les temps de charge, la capacité de charge nécessaire et la puissance, ces informations sont essentielles pour déterminer les impacts sur les réseaux locaux tels que l'installation de transformateurs, la perte d'énergie, la capacité d'autoconsommation, entre autres facteurs (Habib, 2014).

Les véhicules fonctionnent comme récepteurs ou générateurs de charge. Dans un scénario V1G, le véhicule consomme de l'énergie et permet également d'absorber la production d'EnR. La différence avec le V2G c'est que dans un scénario bidirectionnel, le véhicule peut aussi injecter l'énergie sur le réseau en offrant un service additionnel et en réduisant les tarifs pour l'utilisateur.

La charge peut être affectée par la localisation géographique des EnR, les niveaux de courant et la tension de charge. Une charge intelligente est nécessaire pour planifier la recharge et le déchargement du véhicule en période de consommation réduite ou de forte demande, en fonction des besoins. Cette recharge intelligente nécessite des informations et une infrastructure technologique pour pouvoir répondre à l'optimisation de l'intégration du véhicule dans le réseau, (Habib, 2014).

Le couplage diffère selon la source d'alimentation. La production d'énergie à partir de panneaux solaires présente un grand potentiel d'intégration avec la recharge des véhicules électriques. Dans différentes parties du monde, des projets d'installation photovoltaïque sur les toits des parkings, des logements et des entreprises se réalisent. Le couplage avec l'installation de PV peut être amorti en moins de temps avec l'autoconsommation d'énergie et avec l'utilisation du véhicule électrique en offrant des services supplémentaires tels que V2G comme source de stockage ([Mwasilu, 2014](#)).

Dans le cas de l'énergie éolienne, certaines études indiquent que les véhicules électriques utilisant les services V2G permettent la hausse de la pénétration de l'énergie éolienne de 41% à 59% dans un réseau isolé. Dans un scénario où la production est intermittente et le VE agit comme intermédiaire, les technologies d'information et de communications intelligentes sont inévitables pour l'intégration des véhicules électriques et un usage plus important de l'énergie éolienne ([Lopes, 2009](#)).

Il est clair qu'il reste encore un long processus pour définir le modèle éco-économique à des coûts abordables. Des expériences dans les pays nordiques ont montré que 15% de la population interrogée considère que l'absence de modèle économique est un obstacle au déploiement de la technologie V2G ([Noel, 2019](#)). De façon analogie, le couplage des énergies renouvelables et des véhicules électriques n'a pas de modèle commercial suffisamment clair pour la massification.

Le déploiement de la technologie V2G se traduira par l'intégration de tous les acteurs. D'une part les constructeurs automobiles doivent adapter le véhicule à une fonction bidirectionnelle. D'autre part les stations de recharge doivent accepter cette fonctionnalité et l'adapter les systèmes pour le passage d'énergie vers réseau. En outre, les consommateurs jouent un rôle important car ils doivent accepter la flexibilité des charges et ajuster les comportements de mobilité en fonction de l'intérêt des services rendus au réseau.

Il reste encore des aspects à explorer pour intégrer efficacement le V2G en tant que mécanisme de stockage d'énergie. Le V2G a une faible pénétration au niveau des infrastructures et au niveau des constructeurs d'automobiles ([Mwasilu, 2014](#)). Le déploiement du véhicule électrique dépend aussi largement des réseaux intelligents, de l'insertion de technologies de l'information et communication.

La recharge intelligente et le V2G, peuvent influencer positivement le réseau, ces technologies cherchent à mieux piloter la recharge du véhicule dans les moments où la production d'EnR est plus importante et à un prix inférieur et avec une faible empreinte de carbone.

1.3.3. Le couplage local et non local des VE aux EnR enjeux et défis

L'augmentation de la production d'énergies renouvelables telles que l'énergie solaire et l'énergie éolienne a eu un impact sur le système de contrôle d'équilibre du réseau

(Longo, 2018). D'autre part, l'utilisation croissante des véhicules électriques exige une plus grande capacité de charge pour les charger.

Ces différents problèmes trouvent une solution commune avec l'intégration de la production d'énergie renouvelable visant à recharger le véhicule électrique. Ce lien soulève plusieurs questions en fonction des configurations territoriales.

Le couplage des EnR et VE est complexe, il est nécessaire de considérer que le couplage local et non local dépend en grande partie des conditions géographiques, techniques et de la dynamique du déplacement des citoyens.

Le couplage local (figure 27), peut être compris dans un scénario de production d'énergie renouvelable dans le même lieu de charge. Selon différentes expériences internationales, ce couplage peut être réalisé avec l'installation de l'énergie photovoltaïque dans les parkings d'entreprises, sur les toits d'immeubles tertiaires ou dans des lieux résidentiels, avec des bornes de recharge pour véhicules électriques, favorisant ainsi l'autoproduction et l'autoconsommation dans le même endroit.

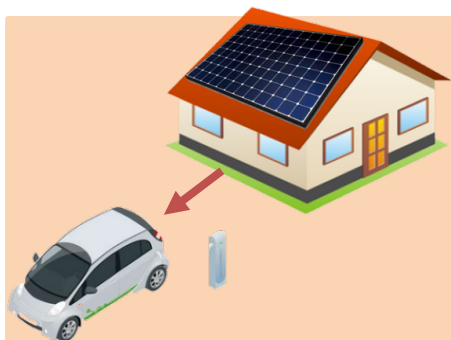


Figure 27, production local d'EnR et recharge du VE (auteur, 2019)

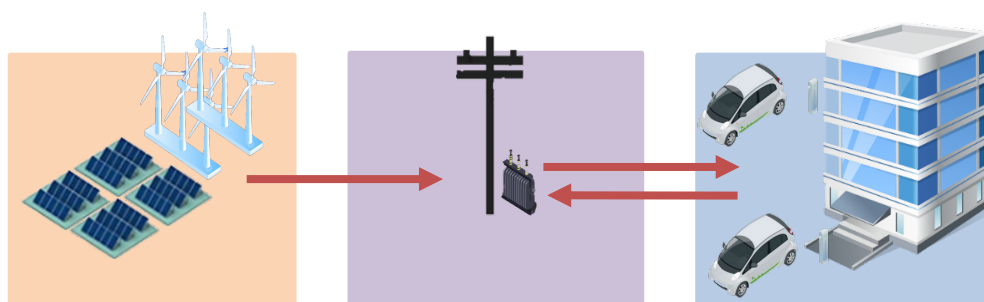


Figure 28, production non local d'EnR et recharge du VE (auteur, 2019)

D'autre part, le couplage non local comprend un réseau de distribution d'énergie qui permet d'alimenter les stations de recharge en énergies renouvelables. Ce type de couplage est principalement destiné à l'énergie éolienne en fonction de la réglementation de chaque pays. Dans le cas français, il est réglementé sous les stipulations suivantes :

« Sauf disposition spécifique du plan local d'urbanisme (PLU) ou du règlement municipal de constructions, la règle générale des constructions s'applique à l'implantation d'une éolienne de moins de 50 m : elle doit respecter une distance par rapport à la limite séparative du voisinage, égale à la moitié de sa hauteur, avec un minimum de 3 m.

Par exemple, « une éolienne de 30 m de hauteur, pales comprises, doit être distante de 15 m de la limite parcellaire du terrain sur lequel elle est installée. » (Service-public.fr, 2019)

Le couplage est conditionné au potentiel de production d'énergie renouvelable. Les conditions de performance de production d'énergie renouvelable dépendent d'aspects géographiques et climatiques, tels que l'exposition au soleil pour les panneaux solaires ou un espace libre d'obstacles pour l'installation des aérogénérateurs qui profitent de l'énergie éolienne.

La production d'énergie renouvelable implique le raccordement de la source de production au réseau de distribution pour qu'il puisse être consommé. L'impact sur le réseau se crée lorsque la production n'est pas en accord avec la consommation. Ces énergies intermittentes demandent d'avoir une gestion de réseaux afin de pouvoir intervenir pour avoir un équilibre entre la production et la consommation ([CRE, août 2019](#)).

Le couplage contribue à réduire les émissions, les coûts de l'énergie et participe à une meilleure intégration des EnR dans le réseau à différentes échelles. À court terme le couplage contribue plutôt à abaisser le TCO sur le cycle de vie du VE et à faciliter sa pénétration sur le marché en améliorant sa compétitivité par rapport aux solutions thermiques. Le couplage permet aussi de limiter les charges supplémentaires sur le réseau. C'est particulièrement le cas pour le couplage diurne avec le PV pour des flottes de véhicules sur des parkings pour des entreprises ou plus marginalement des zones commerciales. À long terme et conditionné au développement du V2G c'est le VE qui serait en mesure de favoriser une insertion plus importante des EnR en permettant d'absorber leur surproduction et de la restituer aux périodes de forte demande tout en augmentant les services réseaux liés à la mobilisation de ce stockage distribué et mobile ([Yong, 2015](#)).

Le couplage local et non local soulève la question de savoir s'il est préférable de transférer l'énergie aux points de charge ou de déplacer les points de charge vers les lieux présentant le plus grand potentiel de production d'énergie, deux scénarios qui influent sur la dynamique de charge des personnes. De cette façon le couplage local ou non local ont différents impacts qui conditionnent les décisions d'intervention.

ENJEUX ET IMPACTS DU COUPLAGE LOCAL D'ÉNERGIES RENOUVELABLES ET VÉHICULE ÉLECTRIQUE

Le couplage local est plus accessible grâce au PV, ce couplage semble plus indiqué dans les endroits où le véhicule reste garé la plupart du temps, dans les résidences et les lieux de travail, puisque le véhicule disposerait d'un grand créneau horaire pour absorber l'énergie produite pendant la journée.

Dans le cas des résidences, il sera donc nécessaire de réfléchir à un système de stockage ou d'intégrer la technologie V2G, puisque le véhicule est généralement garé la nuit, et donc ne peut pas absorber la production locale générée dans la propriété.

Les différentes configurations de couplage local génèrent des impacts de caractère économique, technique et social.

- **Impacts économiques**

Le couplage local, génère un intérêt d'une part parce qu'il permet d'augmenter la puissance nécessaire pour la recharge du véhicule électrique sans besoin d'intervenir sur les réseaux de distribution local. De cette façon, le couplage local, permet d'éviter les coûts produits pour le renforcement du réseau à cause de l'injection de production des énergies renouvelables.

Un autre argument c'est que le couplage local permet réduire les pertes lors l'acheminement de l'énergie, les pertes dépendent de la puissance transportée, de la distance de transport et des conditions météorologique du réseau (RTE, 2017). L'intégration local des EnR et la recharge du véhicule permettent une consommation directe en réduisant les pertes.

- **Impacts techniques :**

Le couplage local permet de créer un synchronisme entre la production intermittente des EnR et la recharge du véhicule électrique, selon le lieu de charge. Par exemple, nous avons vu que les véhicules électriques passent la plus part du temps garés soit dans le lieu de travail ou à la maison. La production d'origine PV est générée pendant la journée lorsque le soleil est présent et le véhicule est garé dans le parking de l'entreprise. Cette production solaire pourra être récupère directement par le véhicule électrique. Le véhicule agit comme un acteur de la modularisation de la tension et la puissance en réduisant les contraintes du réseau.

- **Impacts sociaux :**

Le couplage local pourrait être une incitation positive dans les comportements des personnes. Lors des enquêtes menées on a rencontré que la plupart des personnes sont prête à rouler avec un mix énergétique issu d'énergies renouvelables plus qu'un mix issu majoritairement d'une production nucléaire. Les détails de l'enquête seront abordés dans la section 2.1.3 de ce dossier. Le fait de disposer de la source de production dans le même lieu de charge garantit l'origine de l'énergie et peut encourager les utilisateurs à consommer davantage conformément à un engagement environnemental et à un comportement souhaité.

Le couplage local peut avoir une incidence sur les profils de charge des individus et sur la consommation d'électricité en modifiant les attitudes à l'égard de la façon dont les gens chargent leur véhicule, en s'adaptant à la disponibilité d'énergie.

Pour avoir un couplage local, il est nécessaire de mobiliser différents acteurs à s'engager dans une production locale. Des aides publiques sont nécessaires afin de promouvoir la démocratisation de l'énergie (Thompson, 2013) et de réduire l'écart entre les personnes

qui ont accès à une opportunité d'abord d'avoir un véhicule électrique et d'autre part de pouvoir accéder à un système de production local.

ENJEUX ET IMPACTS DU COUPLAGE NON LOCAL D'ÉNERGIES RENOUVELABLES ET VÉHICULE ÉLECTRIQUE

La configuration du couplage non local peut être plus diversifiée car elle intègre les postes de distribution publics, c'est-à-dire que la borne de charge peut être installée dans tous les espaces où la densité des véhicules électriques le requiert.

Le couplage non local a un plus grand potentiel d'intégration de l'énergie éolienne et aussi comme le couplage local génère des impacts de différentes ordres que soit la configuration.

- **Impacts économiques**

Le couplage non local génère un impact sur les réseaux électriques. Il est nécessaire de renforcer le réseau pour soutenir la production d'énergies renouvelables. Il génère un impact plus important sur l'investissement dans le renforcement du réseau et des capacités de production du fait du transport de l'énergie jusqu'au lieu de charge.

La production non locale nécessite l'intégration de systèmes intelligents pour améliorer l'insertion des EnR. Les améliorations techniques augmentent les investissements mais peuvent également améliorer les performances du système pour le rendre économiquement viable afin d'amortir l'investissement.

- **Impacts techniques**

Le couplage non local dépend fortement des configurations territoriales. La production d'énergie décentralisée à petite ou grande échelle permet d'accroître la couverture électrique dans les endroits où les réseaux ne peuvent pas accéder.

Le couplage non local, cherche une meilleure performance de production d'énergies renouvelables vu qu'il pourrait être installé dans les espaces où les conditions climatiques et géographiques montrent une haute opportunité de production.

Le développement de technologies pour améliorer l'introduction des EnR dans le réseau est un point clé. Les smart grids et les technologies V2G sont compatibles avec le couplage non local, vu que le véhicule électrique peut fonctionner en tant que consommateur d'énergie mais aussi producteur dans un système bidirectionnel (CRE, août 2019) et peuvent rendre plus efficace le système de production et de transport.

- **Impacts sociaux**

Le couplage non local peut toucher une partie plus grande de la population, il peut impacter plus de véhicules. La production non locale permet d'alimenter différents lieux de charge comme les parkings sur les voies publiques où un couplage local pourrait être non efficace du fait des configurations géographiques particulières.

Les arguments précédent font penser qu'il est nécessaire de développer un couplage local et non local selon les configurations territoriale. Le couplage dépend aussi des profils des charges des usagers et des configurations de mobilités selon les dominantes urbaines ou rurales des territoires.

2. Le couplage des EnR et le VE dans la région SUD, perspective et potentielle territorial

Tout au long de ce document, nous avons vu différents arguments justifiant le couplage des énergies renouvelables et la recharge du véhicule électrique, nous avons identifié des impacts économiques, techniques et sociaux en fonction de la configuration locale ou non locale.

Nous aborderons maintenant le problème sous l'angle territorial en prenant comme référence la région SUD. Dans ce cadre, la problématique posée à la région est la suivante : Quelle est la contribution des projets couplant mobilité électrique et production d'énergie renouvelable à la transition énergétique sur région ?

Afin de répondre à cette question, une analyse comparative des projets a été faite. Les projets analysés ont été extraits des bases de données du Centre commun de recherche (JRC, Joint Research Centre) en plus des projets identifiés de manière externe, afin de mener une analyse et d'extraire les éléments clés reproductibles dans la région.

Dans ce chapitre on abordera les résultats les plus significatifs identifiés au cours du benchmarking, ainsi que les résultats d'une enquête menée tout au long de cette expérience de travail, la deuxième partie de ce chapitre comprend les éléments de construction des modalités de couplage les plus adaptées pour la région selon le potentiel régional.

2.1. Enjeux du couplage des EnR et VE sur la région à travers une comparaison d'expérimentations européennes et françaises

Pour établir un point de référence et l'état de lieu de la région, il est nécessaire d'avoir un point de comparaison. De cette façon, une analyse de type benchmarking permet de répondre à ce besoin. En complément, l'analyse des résultats de l'enquête réalisée, permet d'aborder différentes perceptions du potentiel social territorial pour aborder la thématique du couplage.

2.1.1. Corrélations des critères de couplage d'EnR et VE selon les expériences européennes et françaises (benchmark), scenarios de modalités de couplage.

Comme nous l'avons vu, le couplage des énergies renouvelables et la recharge du véhicule électrique dépendent des configurations territoriales. Chaque territoire a des conditions géographiques, sociales, économiques et techniques différentes et, par conséquent, la modalité de couplage est difficilement reproductible dans tous les cas. De la même façon, les logiques de déplacement changent en fonction du degré de couverture des systèmes de transport en commun et des préférences de la population.

Selon ces logiques, il est nécessaire de proposer différents scénarios de couplage, en tenant compte le lieu de charge du véhicule électrique et de l'opportunité de couplage local ou non local.

Afin de construire tous les scénarios de couplage possibles et après avoir analysé les projets identifiés dans la base de données de référence, 14 points de chargement possibles ont été identifiés :

- Parking de surfaces commerciales
- Bâtiments tertiaires
- Parking d'entreprise
- Entrepôts
- Maison individuelle
- Copropriétés
- Habitat collectif (mono propriétaire)
- Dépôt de transport en commun (bus)
- Parking Aéroport
- Parking de gares
- Parking Relais
- Parking aire d'autoroute ou station de service
- Station-service en ville
- Parking public (de rue)

Ces scénarios ont été choisis de manière stratégique, en prenant en compte, la couverture de charge dans les espaces publics et privés et en privilégiant différents secteurs économiques où l'insertion de véhicules électriques peut être plus importante.

Le deuxième problème à analyser était le type de véhicule qui pourraient être chargé dans le lieu de charge établis. Pour cela, la taille du véhicule a été prise en compte, car la demande d'énergie varie en fonction de la capacité et des conditions techniques du véhicule, c'est-à-dire que la puissance nécessaire pour charger un véhicule à deux roues est minime par rapport à recharger un camion.

De même, le type de véhicule a été considéré en fonction des activités commerciales auxquelles il répond, comme dans le cas des véhicules utilitaires et des camions, à continuation une liste de types de véhicules choisir pour l'analyses :

- Véhicules de 2 roues : Véhicules de 2 roues comme le vélo électrique, la moto, le scooter entre autres véhicules avec un moteur électrique.
- Flotte de véhicules VP : Flote de véhicules personnel comprend le parc de véhicules appartenant à l'entreprise mis à la disposition des employés à des fins personnelles ou professionnelles.
- Flotte de véhicules utilitaires : Voiture commerciale, camionnette, fourgonnette ou fourgon destinés au transport des marchandises ou des personnes.
- Véhicule individuel : véhicule particulier destine à un usage généralement personnel.
- Véhicule de transport en commun : Véhicule de transport destine à transporter plusieurs personés ensembles sur un même trajet.

- Flotte de camions : Véhicule de grande taille destiné au transport de marchandises.

Une fois les lieux de charge et le type de véhicule ont été identifiés, différents critères d'analyse ont été établis en fonction du sujet du couplage des EnR et du VE. À cet égard, 4 axes d'analyse ont été pris en compte :

- L'énergie : Le premier axe comprend le type d'énergie renouvelable utilisé pour le couplage, cet item contient les options suivantes, énergie photovoltaïque, énergie éolienne, énergie hydraulique et un mix d'énergies renouvelables lorsque la source d'énergie n'est pas clairement définie.
- Smart charging : Cet axe comprend tous les éléments nécessaires pour envisager une recharge intelligente du véhicule. Il existe des aspects tels que le stockage d'énergie avec une batterie fixe, le couplage local ou non local, l'intégration de la technologie vehicle to grid V2G, une centrale virtuelle pour gérer les agrégation d'énergie et évidemment le pilotage ou le smart charging.
- Type d'usage : comprend les différents types d'usage qui peut avoir le véhicule selon le lieu de charge et le type de véhicule, dans cet axe nous considérons, le covoiturage, l'autopartage, l'usage individuel, l'usage collectif, la location, l'usage professionnel.
- Aspects techniques des charges et types de véhicule : Cet axe contient les aspects de vitesse de charge, le type de station de charge, la taille du véhicule en fonction de la taille de sa batterie et du type de véhicule hybride ou rechargeable.

Les critères d'analyse définis sont regroupés dans la figure 29, le graphique contient les trois axes d'analyse, le premier correspondant aux lieux de charge ; le second axe correspond au type de véhicule, et enfin à l'axe vertical qui regroupe les aspects liés aux couplages EnR et VE, que nous avons déjà abordés.

La figure contient la somme des 38 projets analysés, qui répondent à un ou plusieurs critères de couplage en fonction du lieu de chargement et du type de véhicule. ([Annexe 2 pour plus de détail](#))

D'après cela, nous pouvons construire différents scénarios de couplage en fonction de l'incidence des projets sur les mêmes critères :

- **Modalité de couplage 1**

Selon l'analyse de projet, la première modalité de couplage, correspond à un couplage local dans une maison individuelle. La source d'énergie utilisée est l'énergie solaire photovoltaïque puisqu'elle s'adapte plus facilement à différents lieux. Ce type de couplage favorise l'utilisation du véhicule individuel. Les conditions techniques pour des performances supérieures incluent un système de stockage sous la forme d'une batterie, comme on a déjà vu, afin de capter le plus d'énergie possible. Le véhicule doit être sur le lieu de production, et comme les véhicules passent beaucoup de temps sur le lieu de travail, une batterie fixe est nécessaire pour tirer parti de l'énergie produite à la maison. D'autre part, l'intégration d'un système de recharge intelligent est nécessaire, non

seulement pour recharger le véhicule, mais également pour optimiser l'ensemble du système énergétique de la maison, en tenant en compte l'autoconsommation. La possibilité de V2G n'était pas suffisamment explorée.

Projets potentiels à explorer de la base de données : **Well2Wheel (voir annexe 2)**: Ce projet fonctionne avec une centrale virtuelle couplée à un système de recharge intelligent, comme un feu de signalisation qui donne le feu vert à la charge du véhicule au moment où il y a une plus grande production de PV et éolienne. Le projet a montré que les utilisateurs préfèrent de conditions de mobilité plus facile à adopter, un soutien financier public est nécessaire pour la mise en place d'un central virtuel : « *est défini comme une agrégation de différents types de ressources distribuées pouvant être dispersées en différents points d'un réseau de distribution de moyenne tension* » (Saboori, 2011). Un système de tarification basé sur les phases rouge-vert, comme un système de bonus, semble être utile pour les utilisateurs résidents d'une maison individuel.

- **Modalité de couplage 2**

La deuxième modalité de couplage correspond aux Parkings d'entreprises, via un couplage local avec l'énergie PV. Dans ce scénario, une charge intelligente est requise pour améliorer les performances du système et alterner la charge entre tous les employés de l'entreprise. Dans ce couplage, le véhicule individuel et la flotte de véhicules VP sont privilégiés, avec une particularité d'usage de autopartage. Même si le sujet n'est pas relevant pour le couplage, le V2G offre d'énormes possibilités dans ce scénario car il permettra à la société de disposer d'une capacité de stockage d'énergie grâce à la flotte de véhicules VP.

D'autre part, comme une flotte de véhicules VP appartient à l'entreprise, le modèle économique est attractif car le véhicule sera amorti plus rapidement du fait des km parcourus, et que les coûts d'usage du véhicule sont partagés avec les employés. La tarification intelligente peut être contrôlée dans une flotte de VP car elle dispose d'un système de réservation et de gestion du véhicule qui permet de capturer les données.

Projets potentiels à explorer de la base de données : **EMiLippe. (Correspondre aux modalités 2 et 3)** Ce projet comprend l'union de la production locale PV, et la recharge d'une flotte de véhicules appartient à différentes entreprises, en intégrant un système de gestion de la mobilité permettant de contrôler les réservations de véhicules, les trajets et le statut des véhicules. Le projet favorise les structures de coopération dans la région. Le modèle de partage et le système de gestion de la mobilité permettent estimer les besoins de charge du VE et utiliser l'énergie disponible pour charger dans tous les entreprises qui coopèrent dans le projet, selon la localisation du véhicule.

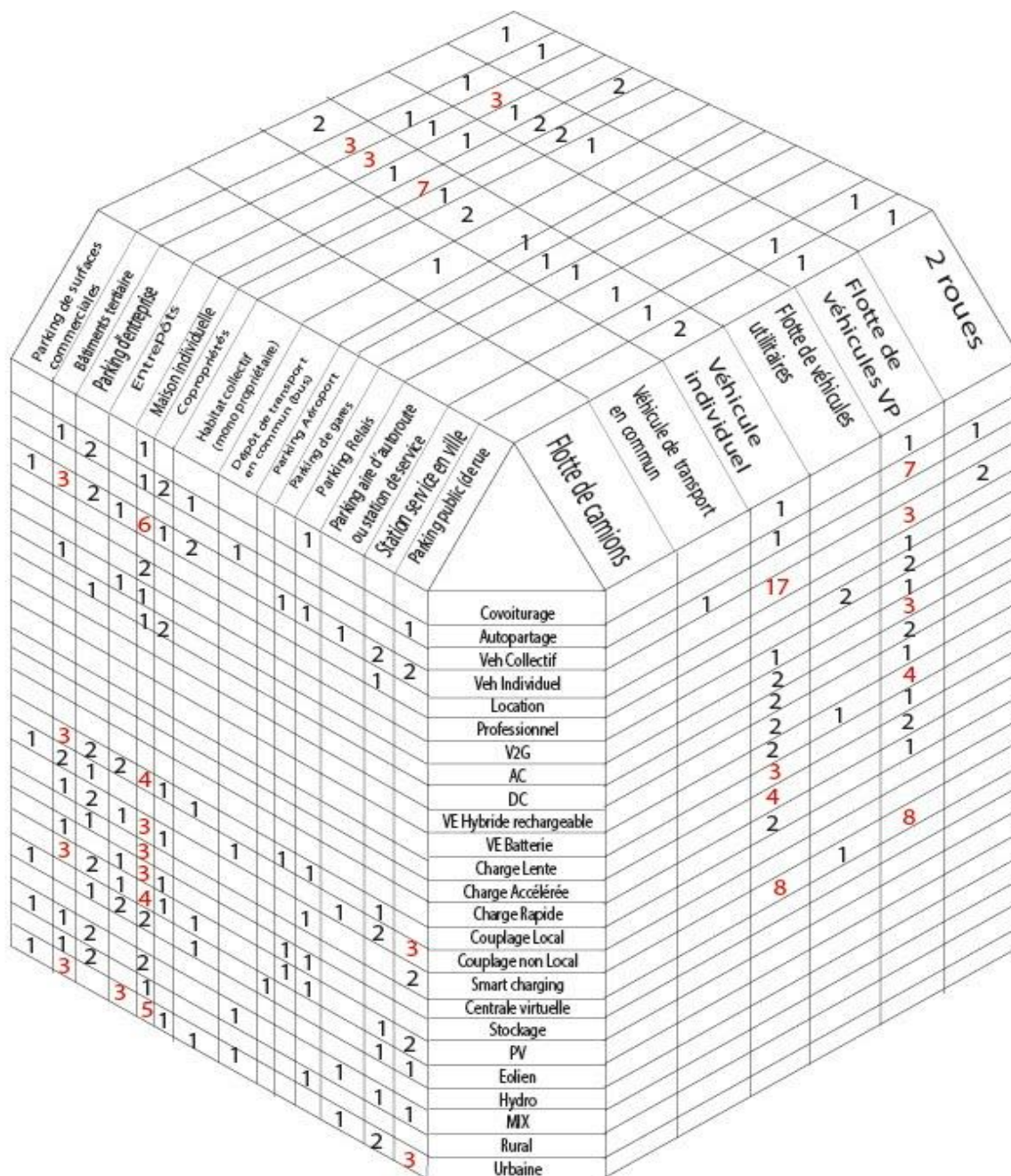


Figure 29. Liste des critères de couplage des énergies renouvelables, du véhicule électrique et du lieu de charge, résumé des expériences indiquées dans l'analyse comparative (auteur, 2019)

● Modalité de couplage 3

Le troisième scénario de charge correspond aux bâtiments tertiaires, par couplage local, en utilisant des panneaux solaires. Dans ce scénario, l'utilisation du véhicule individuel est privilégiée, car elle correspond également à un lieu accueillant des clients, employés et visiteurs en général. La charge intelligente n'est pas un élément suffisamment développé dans ce scénario, l'utilisation d'une batterie de stockage fixe n'est pas

envisagée non plus, car il existe une plus grande possibilité d'autoconsommation de la production photovoltaïque pendant les heures de travail.

- **Modalité de couplage 4**

Dans un scénario de recharge publique, plus précisément un parking en voie publique. Le couplage est principalement non local. Dans ce cas, il y a une plus grande intégration de l'énergie éolienne sans négliger la production photovoltaïque. Ce type de couplage nécessite un système de recharge intelligent afin de ne pas surcharger les réseaux électriques locaux. Dans ce scénario, l'utilisation individuelle du véhicule est plus fréquente en raison de la nature du lieu de charge. Le couplage étant un couplage non local, il ne nécessite pas de batterie de stockage car l'énergie est distribuée dans les différents points de consommation.

Projets potentiels à explorer de la base de données : **SEEV4**, ce projet comprend l'introduction d'un modèle de recharge statique en fonction des prévisions énergétiques et des profils de charge des usagers. Les profils de charge sont réalisés selon une analyse sectorisée pour identifier les moments de chargement du véhicule dans différents quartiers de la ville.

Grâce aux prévisions, il a conçu un système de charge intelligent statique qui consiste à affecter les charges dans un créneau horaire en fonction des prévisions de production EnR. Au niveau général, l'introduction d'un système de recharge intelligent statique permet augmenter la partie d'énergie renouvelable PV.

- **Modalité de couplage 5**

Enfin le dernier scénario proposé reprend les caractéristiques du scénario précédent, avec un lieu de charge dans une station-service en ville. Il favorise un couplage non local en intégrant de l'énergie éolienne et PV. Ce scénario ne nécessite pas de recharge intelligente. Ce lieu de charge est moins flexible que les précédents, ce scénario tend à reproduire le service de chargement d'une station-service pour les véhicules à combustion et par conséquent, il doit offrir des services adaptables aux besoins des utilisateurs en fonction de la flexibilité réduite de leur charge.

Nous avons vu différents scénarios de couplage en fonction des résultats de la base de données. Chaque scénario est lui-même différent et possède ses propres caractéristiques de couplage selon le lieu de charge.

2.1.2. Perspective de couplage du VE et EnR dans la région SUD, résultat des enquêtes

Au cours de l'expérience de travail, une enquête sur les aspects de la mobilité des énergies renouvelables et de couplage avec le VE a été réalisée. Au total, 467 réponses ont été obtenues, dont 247 provenant de personnes résidant dans la région PACA. L'enquête a été menée de manière aléatoire et diffusée via réseaux sociaux et mail.

Environ 93% des réponses sont de personnes qui habitent dans le département de Bouches-du-Rhône, en prenant en compte seulement les personnes qu'habitent dans la région SUD, le 7% restants correspondent aux réponses les autres départements. Par conséquent, selon les pourcentages les réponses sont biaisées pour être généralisées dans toute la région.

Les Bouches-du-Rhône, concentrent la plus part de la population du département ([INSEE, 2017](#)). Leur population, se caractérise par être une population jeune, par rapport à la moyenne générale de la région.

Le questionnaire complet se trouve sur [l'Annexe 3](#) de ce document.

Les résultats présentés à la suite ne prennent en compte que les habitants de la région SUD. Les questions portaient sur les aspects démographiques, la mobilité quotidienne, les véhicules électriques, le couplage des énergies renouvelables et la mobilité partagée.

Tout d'abord, nous aborderons la description démographique des personnes qui ont répondu à l'enquête. La figure 30, montre que 45% des répondants correspondent à des femmes, et 55% restants sont des hommes. La majorité de la population rentre dans une tranche d'âge entre 18 et 25 ans, suivie de 46 à 65 ans (figure 31).

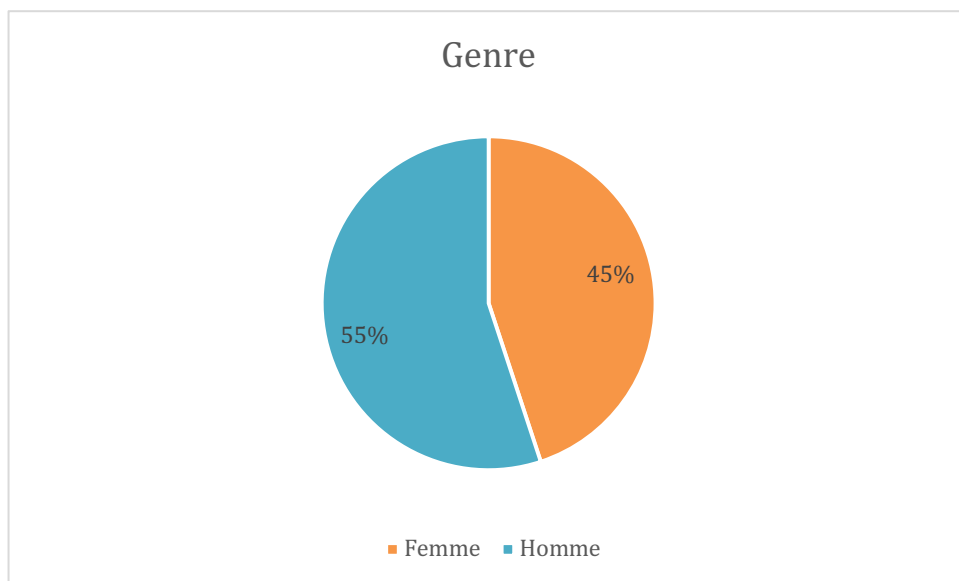


Figure 30. Description de la population, variable Genre (auteur, 2019)

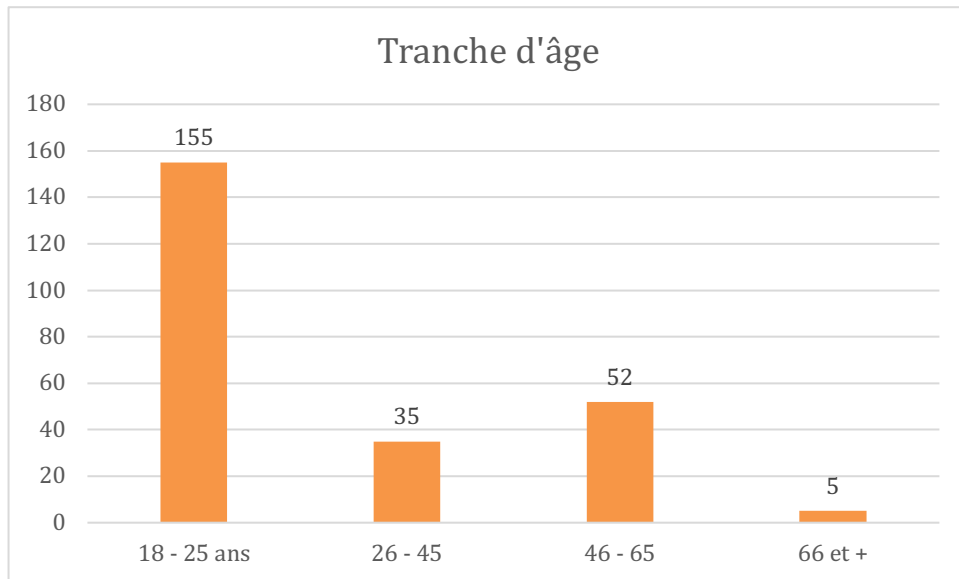


Figure 31. Description de la population, variable âge (auteur, 2019)

La tranche d'âge, est cohérente avec les professions. La majorité des personnes qui ont répondu l'enquête sont étudiantes, suivie par les professions supérieures liées à l'information et aux médias, aux arts et aux spectacles et des professions intellectuelles supérieures, avec 151, 28 et 25 réponses respectivement.

De manière générale, les gens ont tendance à utiliser des moyens de transport différents pour leurs trajets quotidiens domicile travail/études (Figure 32)

Lorsque nous examinons le moyen de transport, le véhicule thermique est le moyen plus utilisé pour un trajet quotidien domicile-travail-études, suivi par le transport en commun et la marche à pied qui occupe la troisième place, mais cet effet est dû à la distance parcouru en kilomètres (la figure 33). Nous pouvons voir que la plupart des trajets sont entre 5 et 15 km suivis par un trajet de moins de 5 km. Seulement 4% de la population fait un déplacement de plus de 40 km

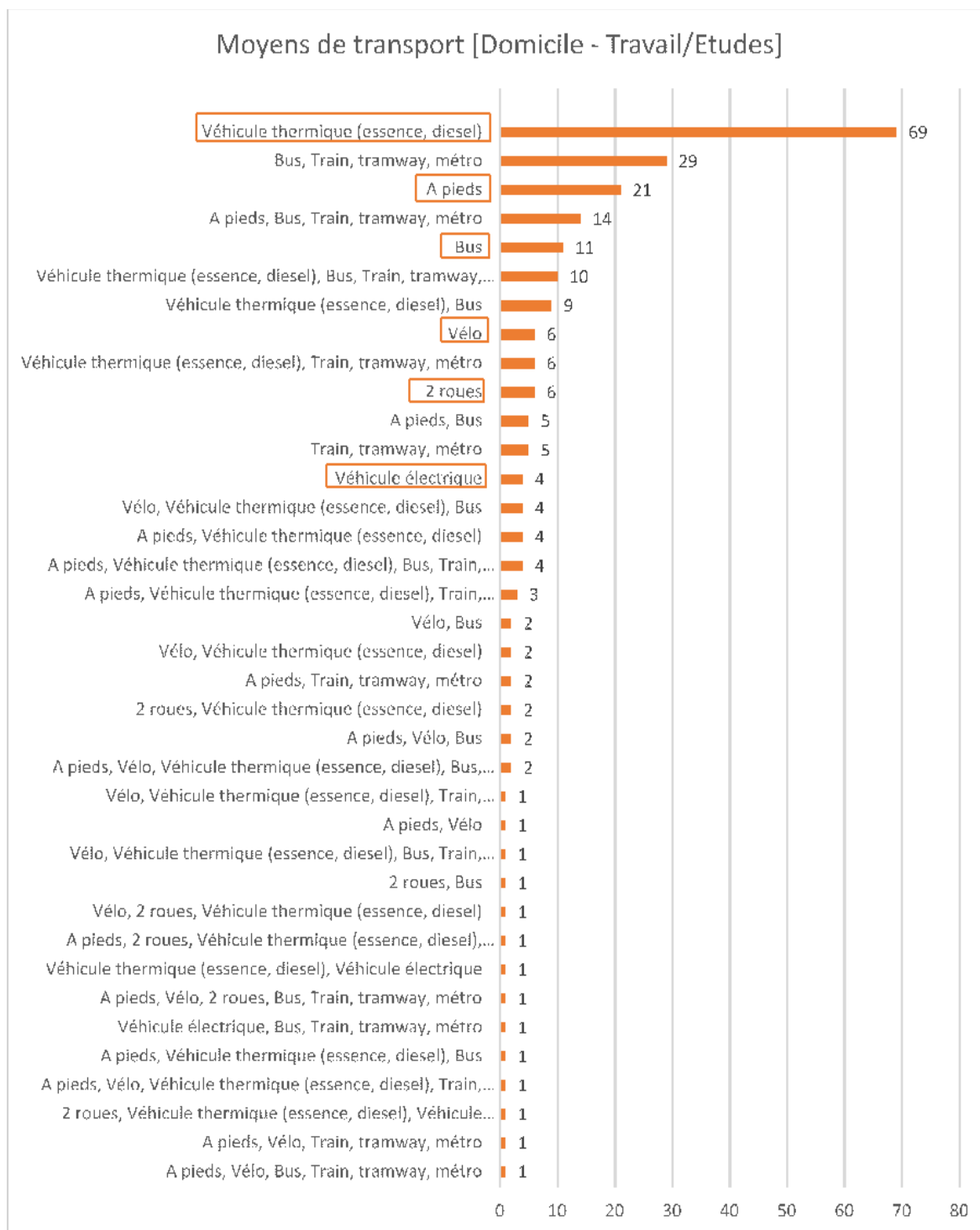


Figure 32. Moyen de transport domicile travail/études (Auteur, 2019)

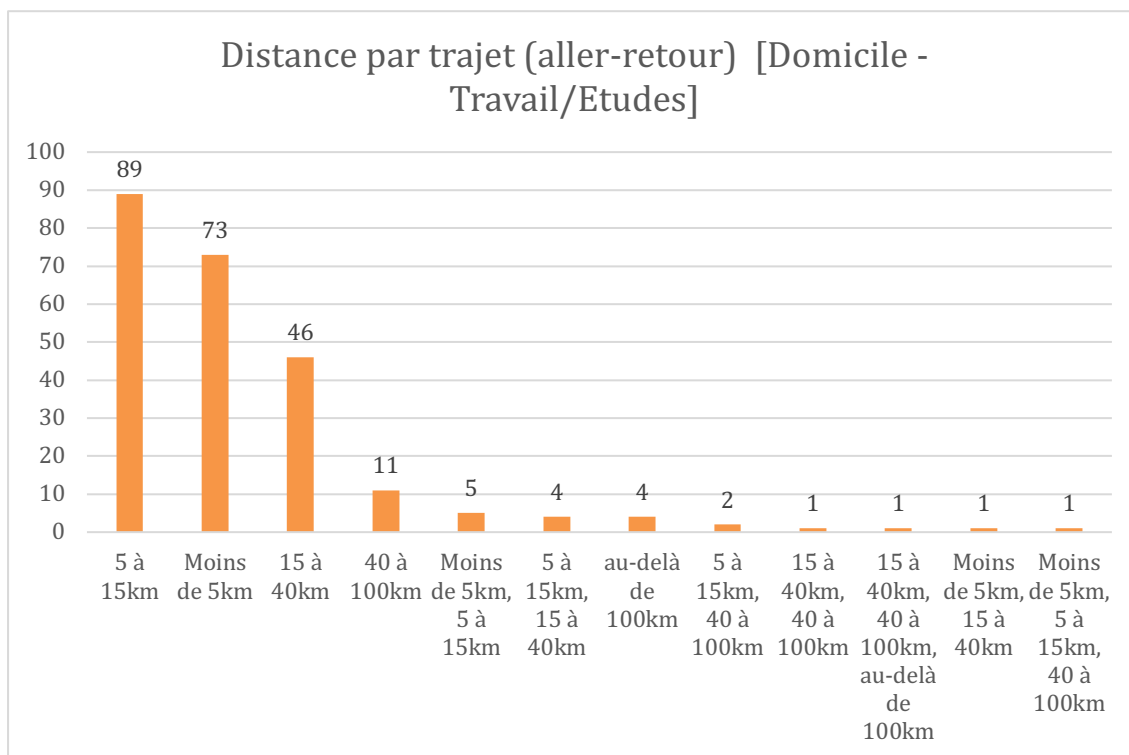


Figure 33. Distance par trajet domicile – travail/études (Auteur, 2019)

Si nous regardons le type de véhicule et la fréquence d'utilisation, nous voyons que le véhicule thermique a une utilisation récurrente par rapport aux autres types de véhicules, sans tenir compte l'utilisation de plusieurs moyens de transport (Figure 34).

Le véhicule électrique et même les véhicules à deux roues sont peu utilisés et leur fréquence d'utilisation est minimale comparée à celle du véhicule thermique.

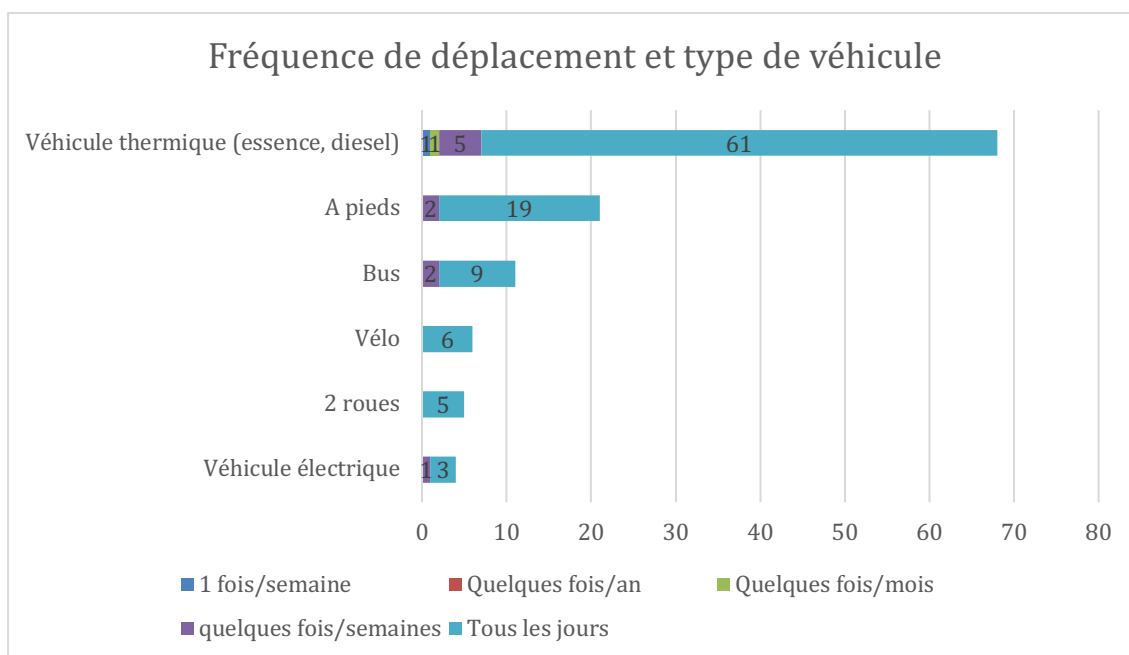


Figure 34. Fréquence de déplacement et type de véhicule (Auteur, 2019)

Lorsque nous introduisons la variable véhicule électrique, nous constatons que le 45% des personnes interrogées se disent prêtes à bouger en électrique, le 16% manifestent ne pas être prêt à rouler en électrique. Seulement un 7% de la population interrogée ont déjà roulé en électrique.

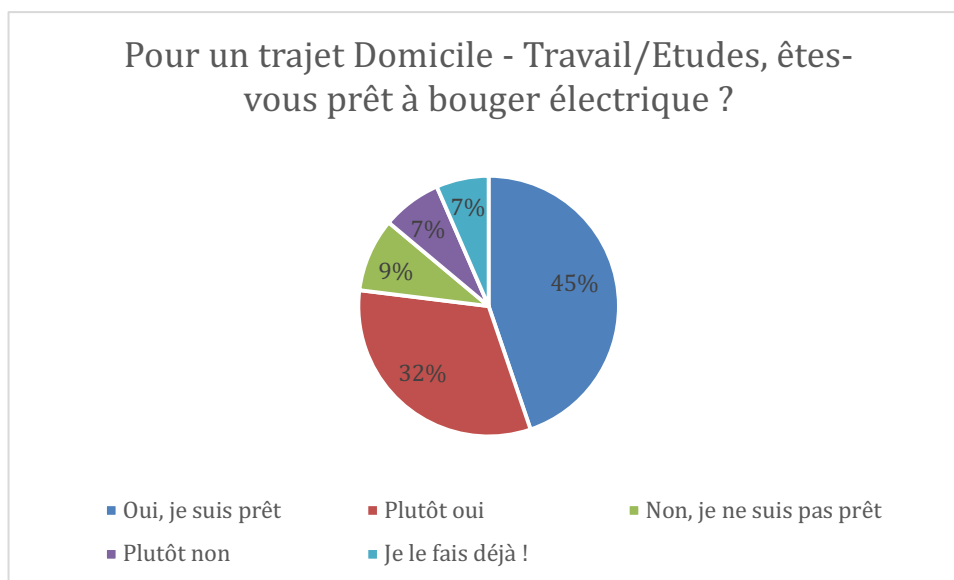


Figure 35. Trajet Domicile - Travail/Etudes, déplacement en électrique (Auteur, 2019)

Environ le 54% de la population n'ont pas utilisé une véhicule électrique, suivi de 33% qui l'utilise occasionnellement, et dans la même proportion ce qui ont utilisé une fois (figure 36).

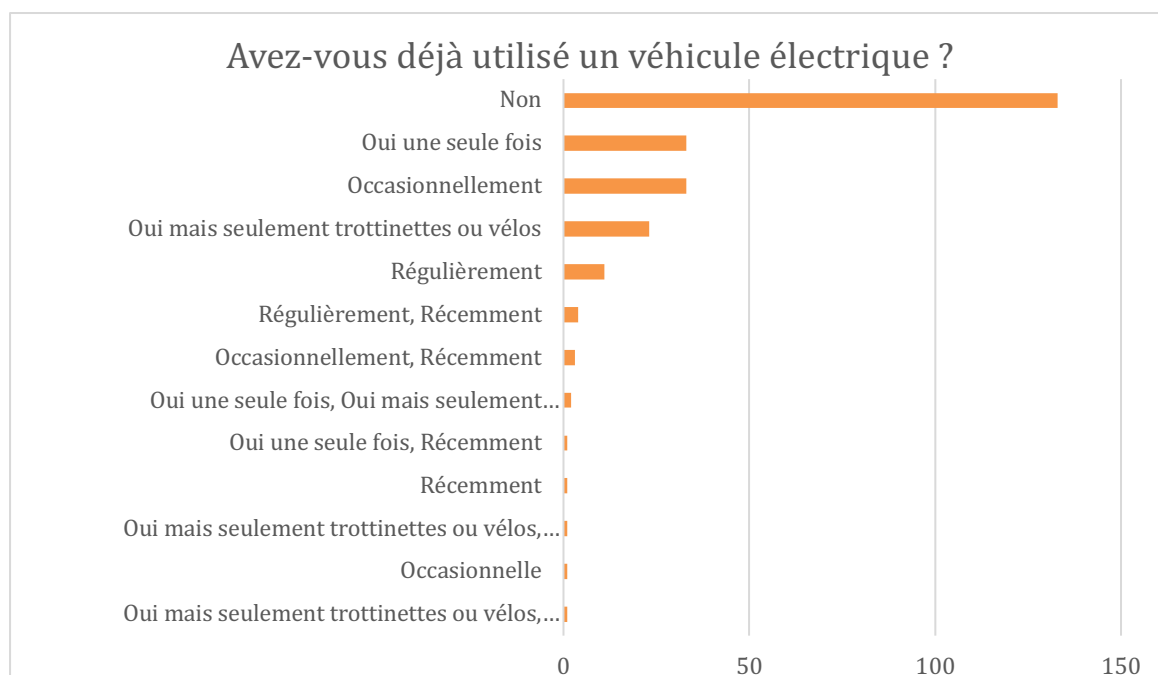


Figure 36. Utilisation du véhicule électrique (Auteur, 2019)

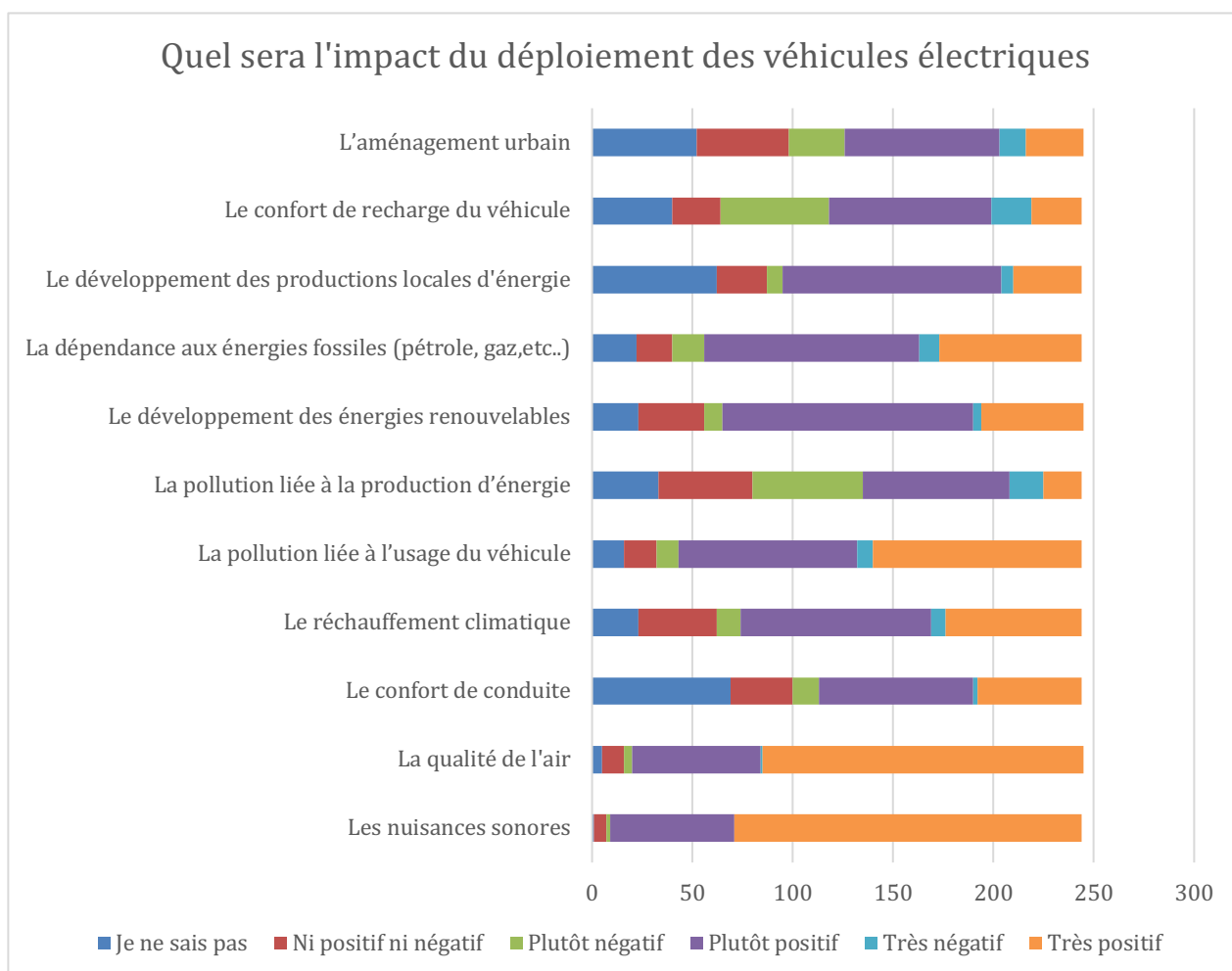


Figure 37. Impacts du déploiement des véhicules électriques (Auteur, 2019)

Lorsque nous interrogeons les personnes sur l'impact des véhicules, nous constatons que les citoyens ont une perception négative du véhicule électrique sur la pollution liée à la production d'énergie, environ le 29% des personnes affirme que le véhicule aura un impact négatif. La deuxième variable où le véhicule aura un impact négatif sera le confort de recharge du véhicule, avec un ressenti de 30% des personnes.

Le cas contraire sont les variables de qualité de l'air et les nuisances sonores, où ils affirment que le véhicule aura un impact positif. 91% des personnes affirment que le véhicule aura un impact positif sur la qualité de l'air, et 96% pour les nuisances sonores.

Lorsque nous enquêtons sur l'impact sur le développement des énergies renouvelables, nous constatons qu'environ 71% des personnes considèrent que le véhicule électrique aura un impact positif.

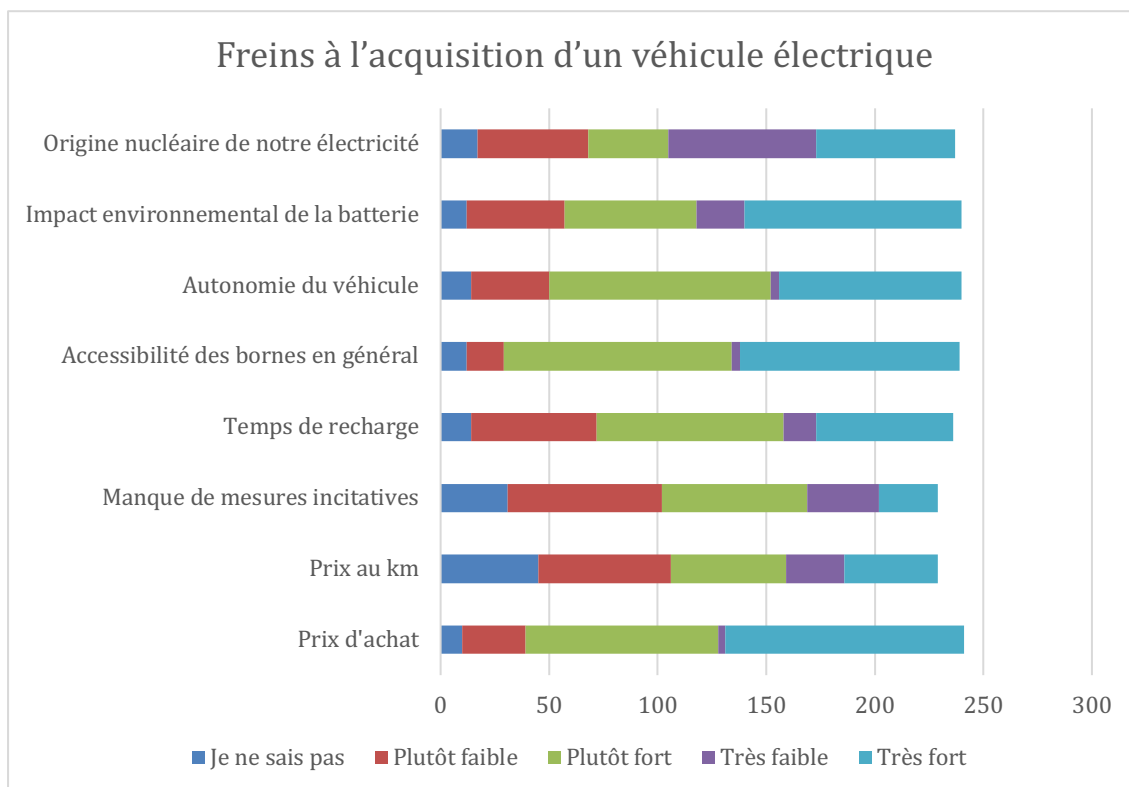


Figure 38. Freins à l'acquisition d'un véhicule électrique (Auteur, 2019)

Si nous analysons les freins pour l'acquisition d'un véhicule électrique (figure 38), nous constatons que le premier frein est l'accessibilité aux bornes en général avec 86% des personnes qui considèrent que c'est un frein très fort et plutôt fort.

Le deuxième frein est le prix d'achat. 82% des personnes interrogées considèrent que le prix d'achat est un obstacle à l'acquisition d'un VE. L'autonomie du véhicule occupe la troisième place avec 77%.

D'autre part, le fait que l'énergie soit d'origine nucléaire est une variable qui ne génère pas un frein considérable lors de la décision d'acquérir un véhicule, en fait le 50% considère que l'impact est plutôt faible ou trop faible.

Maintenant, en analysant la question des préférences de lieu de charge du véhicule électrique (figure 39), Nous pouvons voir que les gens souhaitent, d'une manière générale, pouvoir se recharger dans tous les scénarios proposés, qu'il s'agisse d'un espace privé tel que la maison et le lieu de travail ou d'un espace public tel que les autoroutes.

Cependant, il est clair que le point principal où les gens veulent charger leur véhicule est à la maison, suivi des lieux de travail, en proportion de 89% et 79% respectivement.

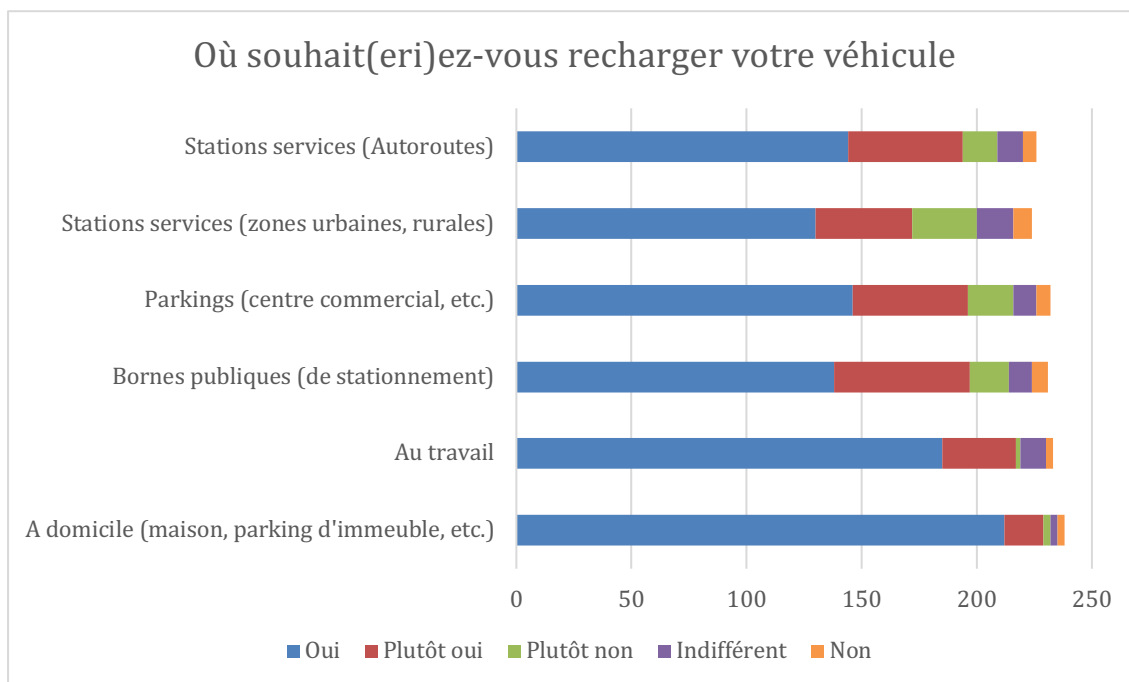


Figure 39. Préférence de lieu de charge (Auteur, 2019)

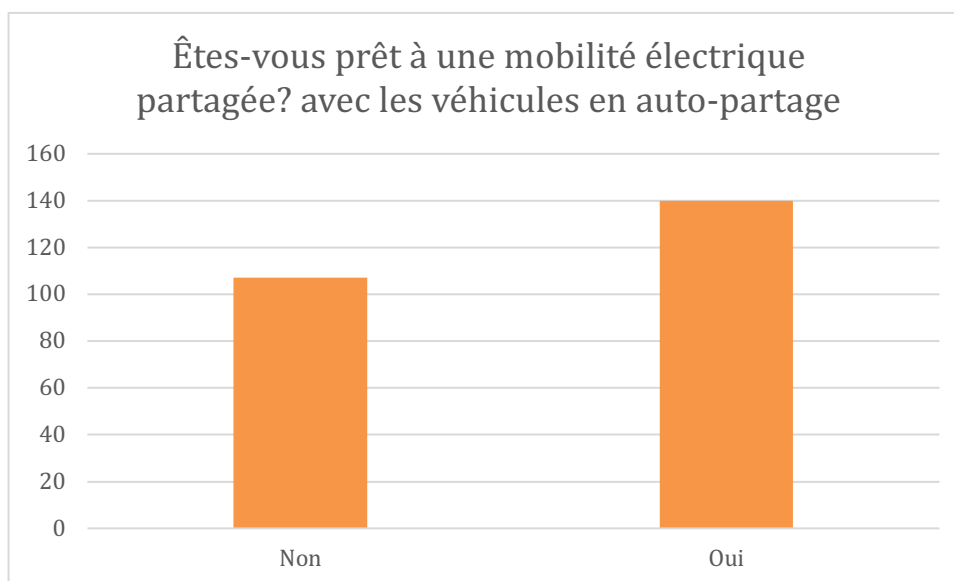


Figure 40. Mobilité électrique partagée Avec les véhicules en auto-partage (Auteur, 2019)

Si nous considérons la question de la mobilité partagée avec des véhicules en autopartage (figure 40), nous pouvons voir que 57% sont disposés à accepter la mobilité partagée contre les 43% restant, le pourcentage est beaucoup plus considérable si nous considérons le partage de borne selon la localité (figure 41) comme les quartiers ou communautés, ou 85% des personnes sont prêtes à partager la borne.

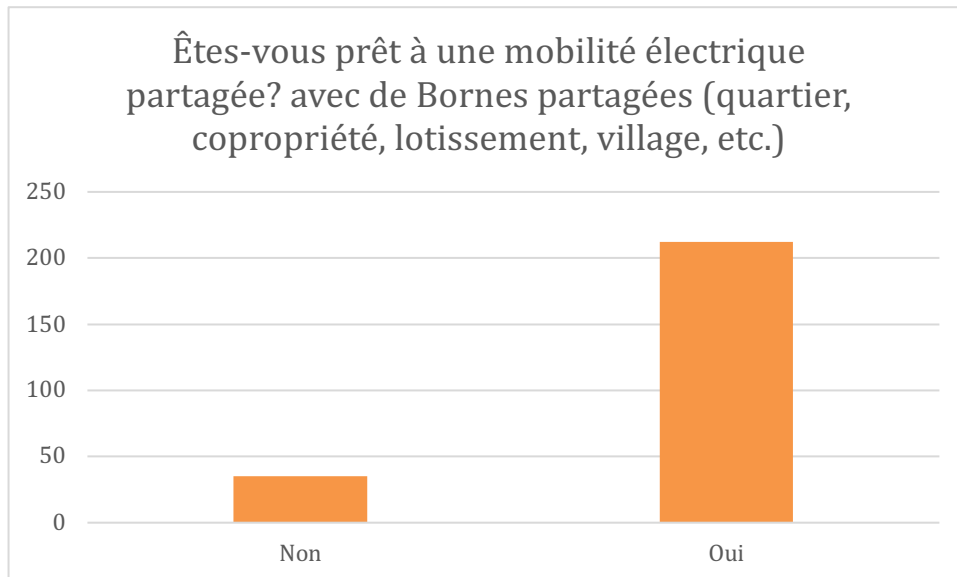


Figure 41. Mobilité électrique partagée, avec de Bornes partagées (quartier, copropriété, lotissement, village, etc.) (Auteur, 2019)

Enfin, en abordant le couplage des EnR et le VE (figure 42) les personnes envisagent de privilégier une recharge dans un endroit où il y a une production solaire locale pour 77%, seulement 23% des personnes ne sont pas sensibles à une production local de EnR pour la recharge du VE.

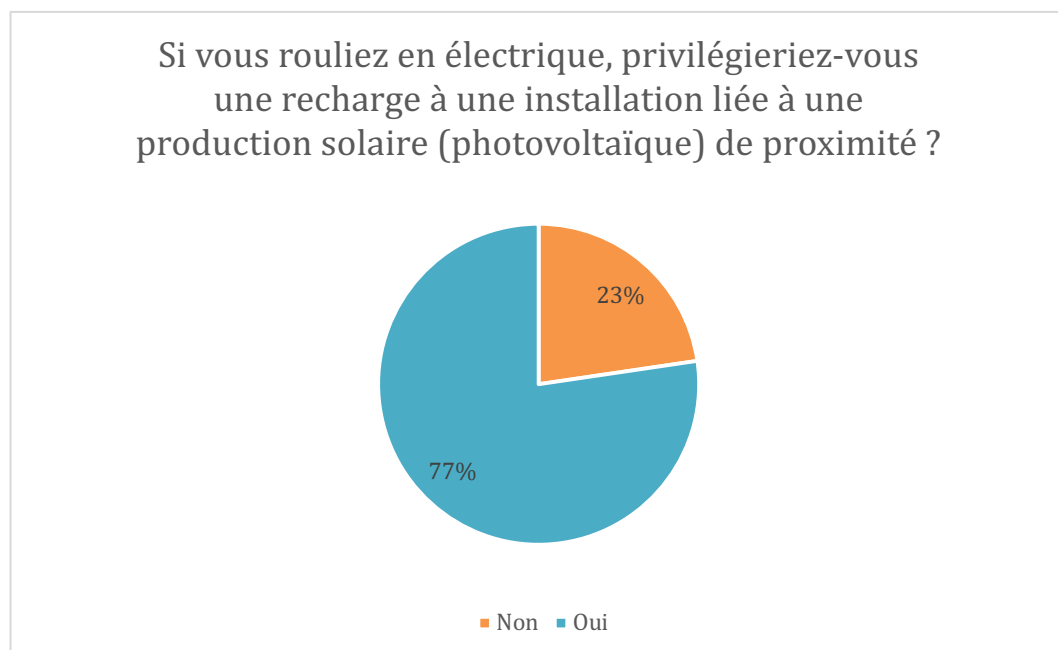


Figure 42. Recharge du VE et production local EnR (Auteur, 2019)

Des résultats précédents, nous pouvons indiquer qu'il existe un intérêt pour la mobilité électrique en tant que mécanisme permettant de réduire certains impacts environnementaux. Étant donné que la population correspond en grande partie à des jeunes avec une tranche d'âge de 18 à 25 ans, il est donc intuitif de penser qu'il existe

un sens de l'engagement environnemental et certaines attitudes à l'égard du changement.

La perception de l'infrastructure de charge est un aspect qui influe sur la décision d'acquisition du véhicule électrique. Il existe une perception négative du développement des infrastructures de charge, c'est la raison pour laquelle les gens considèrent cette variable comme un frein à la mobilité électrique.

Selon la distance de déplacement, la plupart de trajets fait moins de 5 km ou entre 5 et 15km. Ce sont des trajets qui peuvent être couverts par une mobilité douce, selon les dynamiques de déplacement de la région, la solution peut ou non être dans véhicule électrique.

Lorsqu'on observe les commentaires tirés de cette enquête, ils mettent en évidence des aspects liés à l'autonomie du véhicule électrique et à l'installation des bornes comme limitantes pour le déploiement du VE. Au niveau de l'autonomie, les performances des véhicules ont considérablement augmenté, jusqu'à avoir des véhicules avec une autonomie qui dépasse largement les 200 km comme certains modèles Tesla. Cette perception peut être liée au niveau d'informations dont ils disposent sur le véhicule électrique.

Il est aussi important de préciser que l'enquête a été réalisée en privilégiant le véhicule électrique par rapport à d'autres solutions de mobilité durable, comme le véhicule à hydrogène ou les biocarburants. Les autres moyens de transport n'étaient pas privilégiés, comme les moyens de transport en commun.

2.2. Quelle est l'intérêt de coupler les EnR et la recharge du VE sur la région SUD et quelle est le potentiel territorial

La région présente sans aucun doute un potentiel de production d'énergie renouvelable considérable, principalement à partir de l'énergie solaire. La région occupe le troisième lieu de production en France et présente des conditions géographiques propices pour augmenter encore sa production. De la même manière, la région a une densité de population grande. PACA abrite la deuxième ville la plus peuplée de France, Marseille. C'est aussi la troisième région avec le plus grand nombre d'immatriculations de véhicules électriques avec 1285 en 2015 (automobile-propre, 2019).

Dans ce scénario, nous analyserons les opportunités de couplage dans la région et les modalités possibles de ce couplage. On proposera un scénario de couplage qui correspond plus au potentiel régional.

2.2.1. L'introduction du smart charging comme élément d'optimisation des EnR sur la région SUD.

Le couplage de EnR et VE, demande une synchronisation des périodes de charge et de la génération des EnR, (Codani, 2016).

Si nous analysons la production d'énergie renouvelable dans la région, nous voyons qu'en comparaison avec les autres régions de la France, la Région SUD occupe la troisième place dans la production d'énergie solaire, avec 1209 MW de puissance raccordée (figure 43, et 44 et 45), pendant que la filière éolienne est beaucoup plus faible avec 50MW, même moins de puissance raccordée qu'Île-de-France.

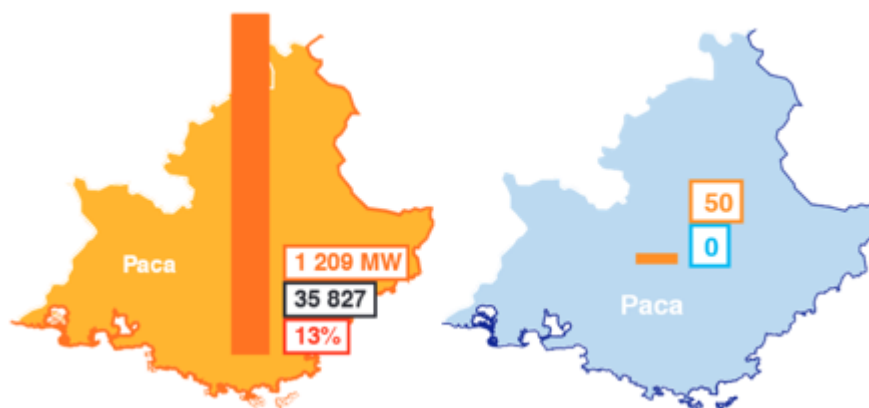


Figure 43. Filière photovoltaïque et filière éolienne en PACA (ADEME, 2018)

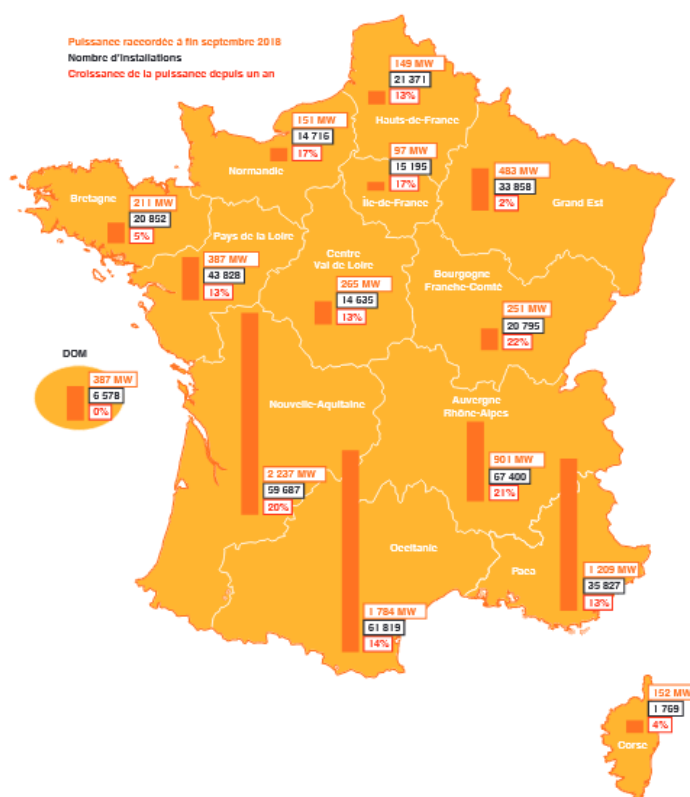


Figure 44. Carte filière photovoltaïque en France septembre 2018, (ADEME, 2018)

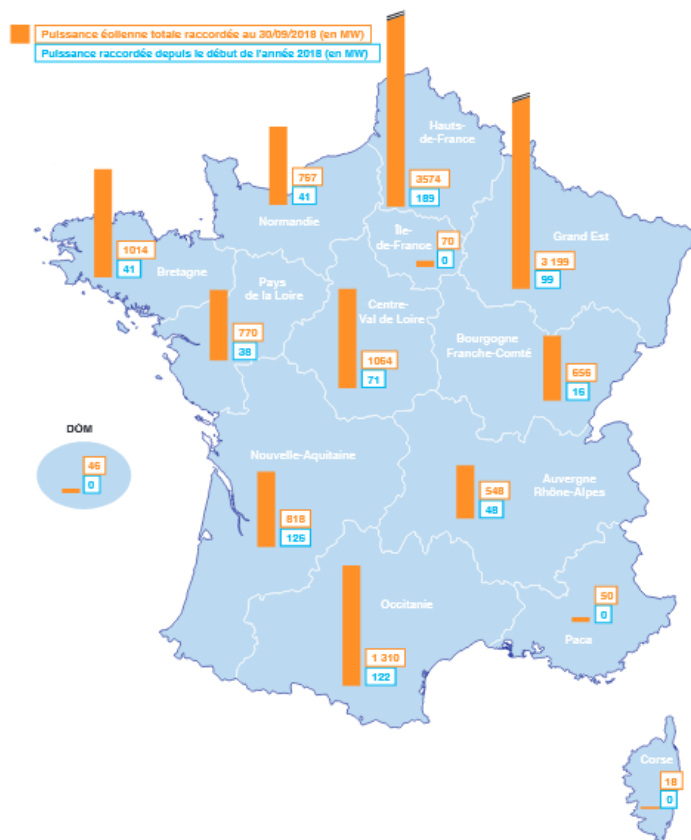


Figure 45. Carte de la filière éolienne en France, (ADEME, 2018)

Cette information nous permet de faire une première approche et d'envisager le couplage principalement vers l'énergie photovoltaïque, considérant que celui-ci a un potentiel plus important dans la région et qu'il est également mieux adapté à un couplage local ou non local, sans sous-estimer évidemment le potentiel de l'énergie éolienne comme source d'énergie pour la recharge du véhicule.

Selon le cadre théorique décrit dans le premier chapitre, la recharge intelligente nécessite une collecte d'informations pour estimer les possibilités de couplage, selon le potentiel de production d'EnR, les profils de charge et les logiques de déplacement dans la région.

Selon la figure 46 (carte à gauche), nous pouvons voir la puissance installée dans la région par MWc, nous voyons que les départements des Bouches-du-Rhône, du Var et du Vaucluse, ont la plus grande capacité de PV installée dans toute la région, principalement dans les Bouches-du-Rhône.

Le résultat est logique puisque le potentiel de production solaire est beaucoup plus fort dans les Bouches-du-Rhône et le Vaucluse (figure 46, carte à droite)

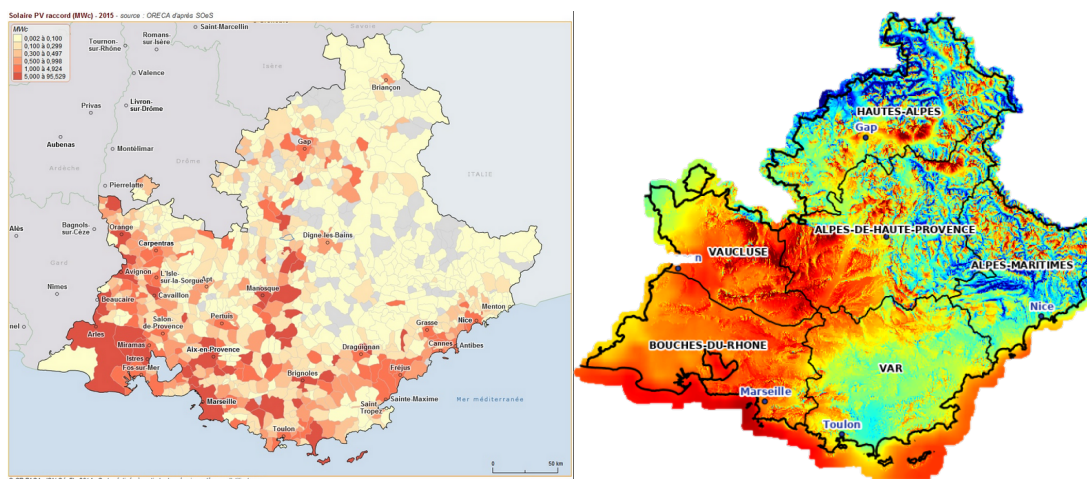


Figure 46, puissance photovoltaïque en MWc dans la région PACA. (ORECA, 2016) et Potentiel solaire en PACA (rayonnement direct) (geoportail.gouv.fr- 2010)

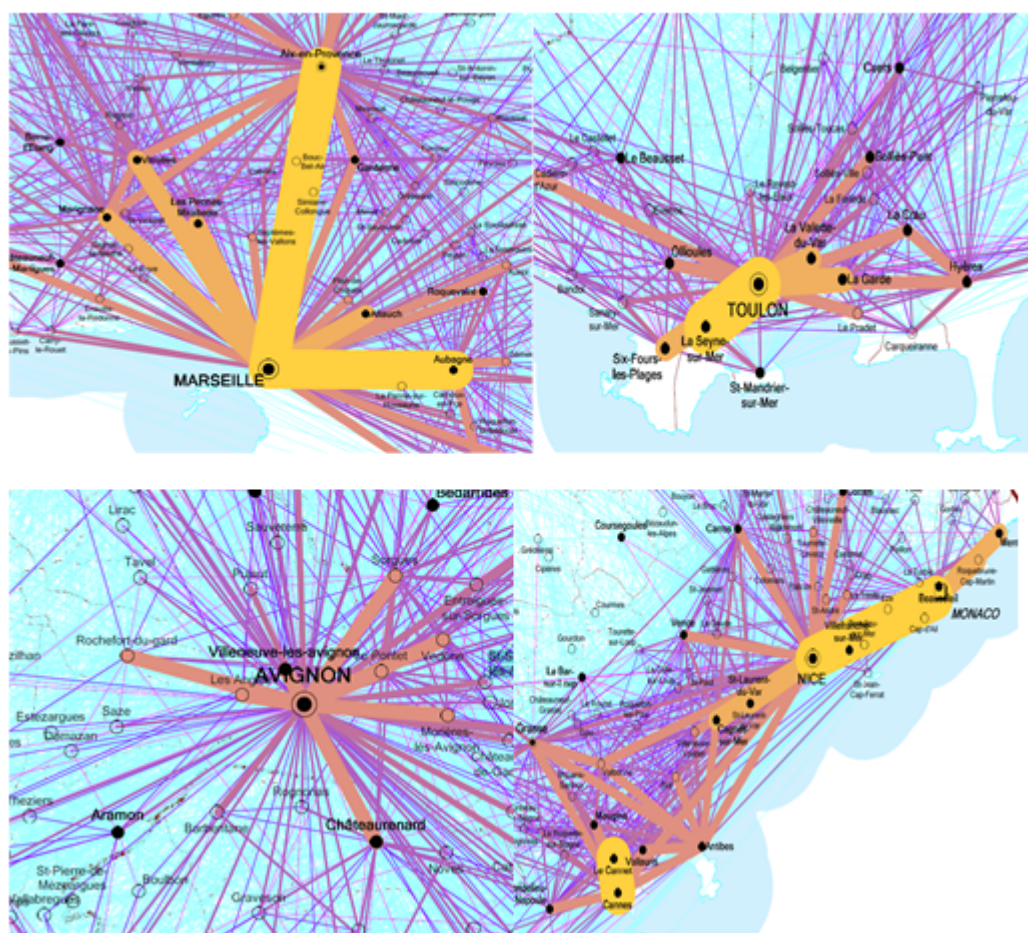


Figure 47, déplacement domicile travail région SUD. (Région SUD, 2013)

Comme nous avons vu, la synchronisation des énergies renouvelables et la recharge du véhicule électrique dépendent en grande partie du lieu de chargement du véhicule. Il existe des configurations de couplage où la synchronisation se produit naturellement en fonction des conditions techniques du lieu de charge. Dans le cas de la région considérée, il existe des endroits où le potentiel solaire est plus important et où ces endroits coïncident également avec la concentration de la population, comme le cas du département des Bouches-du-Rhône.

Cependant, il ne suffit pas de prendre en compte les conditions géographiques, il est également nécessaire de comprendre la logique sociale et économique du territoire. Nous avons vu que l'intérêt du véhicule électrique réside dans les kilomètres parcourus par véhicule, il est donc nécessaire de comprendre les déplacements dans la région.

Sur la figure 47 on s'aperçoit que les trajets quotidiens sortent de grandes villes de la région comme Marseille, Toulon et Nice. Les trajets domicile travail les plus fréquents sont Marseille - Aix en Provence, suivi pour Marseille - Aubagne, Toulon – Seyne sur Mer, Nice – Monaco. Il y a aussi des déplacements dans les régions périphériques mais en plus faible intensité comme dans le cas d'Avignon, situé dans le département de Vaucluse.



Figure 48, zones emploi région PACA (Observatoire des territoires, 2011)

Ces déplacements sont cohérents avec les zones d'emploi de la région (figure 48), où se déroulent évidemment de grandes activités commerciales, ce qui entraîne une augmentation de la densité de population et une augmentation des périphéries où le système de transport en commun risque de ne pas donner une couverture totale couvert.

Avec cette description de la région, du potentiel territorial et des secteurs d'activité, nous pouvons identifier au niveau territorial les lieux les plus intéressants pour intégrer les énergies renouvelables et le véhicule électrique, en fonction du nombre de véhicules susceptibles d'être impactés dans la région, et la densité de la population.

Étant donné que le département des Bouches-du-Rhône compte une grande partie de la population et concentre plusieurs des zones d'emploi de la région, il peut être un département potentiel pour traiter différentes expériences de couplage. Bouches-du-Rhône concentre environ 40% de la population totale de la région (INSEE, 2017) et représente la majorité du nombre des immatriculations de VE dans les Bouches du Rhône avec 1082 VE (Automobile-propre, 2019).

Une fois que certains aspects géographiques ont été abordés, il est nécessaire de vérifier les profils de charge des utilisateurs, un aspect essentiel pour améliorer le pilotage des charges et la synchronisation des énergies renouvelables et la recharge via la recharge intelligente. Selon une étude réalisée par Atiane Energy, Hewlett Packard il a été possible créer trois courbes de charge au cours de différentes saisons de l'année. Les résultats soulignent que le véhicule électrique sera un élément déterminant en tant que récepteur de la capacité photovoltaïque installée sur la région.

L'étude a été réalisée selon une prévision estimée à 2030, en été (Figure 50), le pic de production de PV se produit à midi. Cependant, le pic de consommation est compris entre 19h00 et 20h00. Pour compenser ce déséquilibre, le V2G pourrait être intégré pour absorber la plus grande quantité d'énergie de la production et après être injectée dans les réseaux aux heures de plus grande demande.

Avec une forte production de PV pendant l'été, il est nécessaire d'estimer l'impact à moyen et à long terme des opportunités offerts par la technologie V2G, car, comme nous avons mentionné, le véhicule est un mécanisme flexible de consommation et d'injection, avec un ajustement tarifaire attractif le véhicule électrique peut fournir un service supplémentaire au réseau local et aux propriétaires.

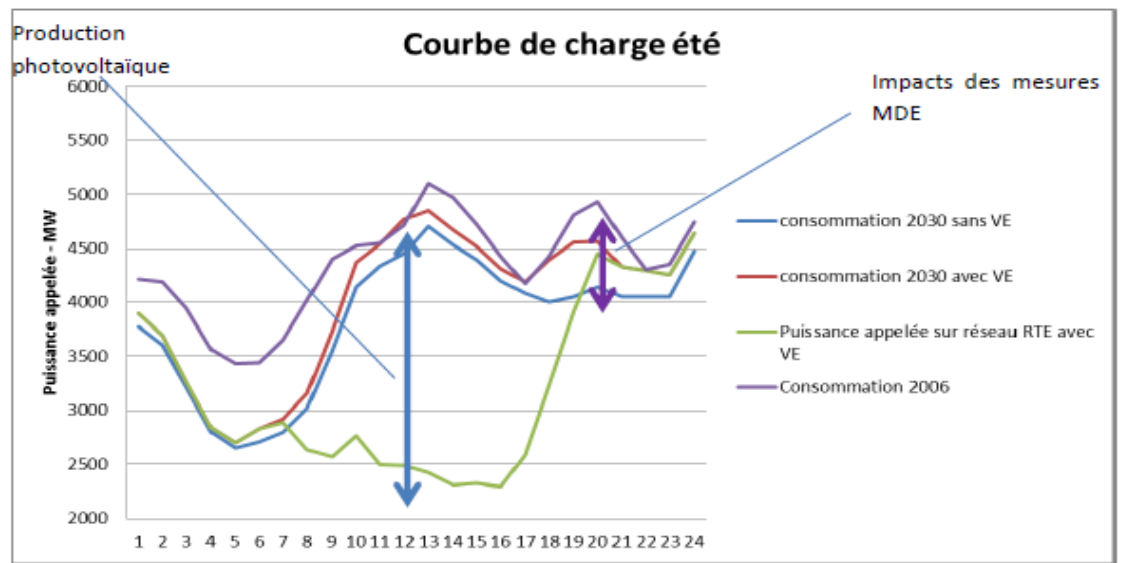


Figure 49, Courbe de charge été Région SUD. (Atiane Energy, Hewlett Packard. 2014)

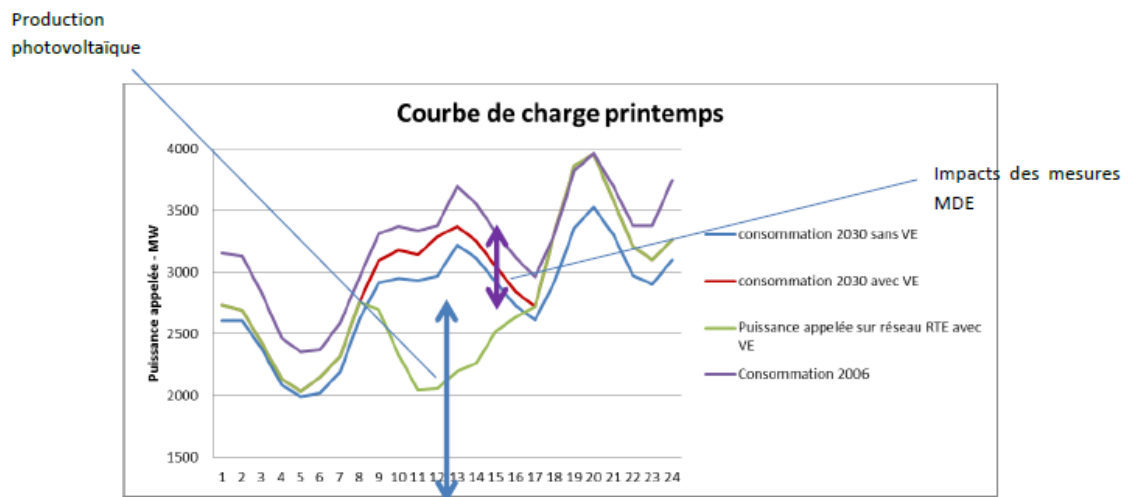


Figure 50, Courbe de charge printemps Région SUD. (Atiane Energy, Hewlett Packard., 2014)

Le V2G est une option alternative aux batteries de stockage stationnaires, il permet de réduire les coûts du système et d'optimiser la consommation, principalement pendant l'été et le printemps, lorsque la production photovoltaïque de la région est plus élevée.

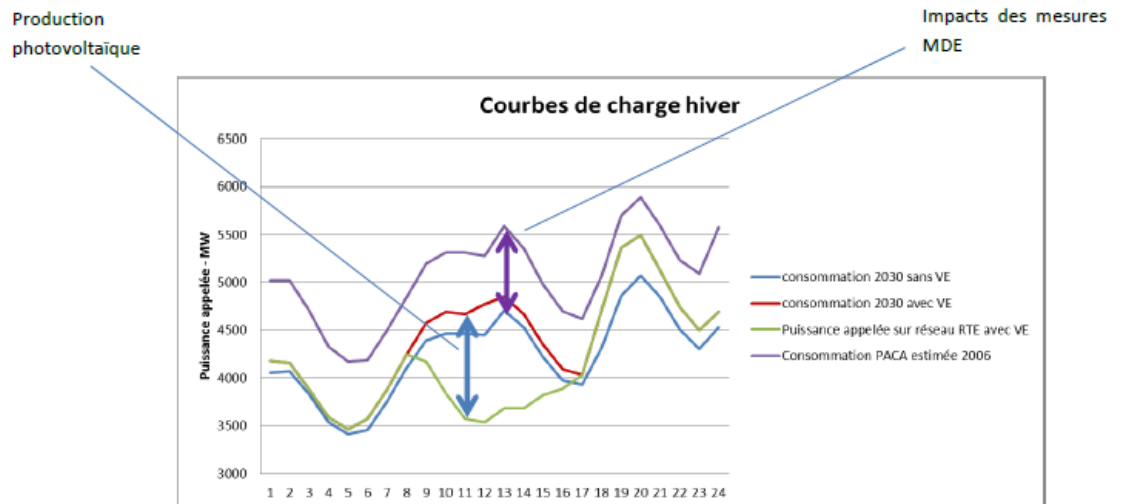


Figure 51, Courbe de charge hiver Région SUD. (Atiane Energy, Hewlett Packard, 2014)

En hiver, la production photovoltaïque est inférieure. De cette façon toute la production pourrait être absorbée par les véhicules électriques pendant la période de production, sans effet de compensation aux heures de pointe.

Dans tous les cas, la production PV vise à réduire la puissance appelée via le réseau. Le comportement des courbes de charge indique le potentiel pour adopter V2G principalement en été où il existe une forte production d'énergie solaire.

Au cours de l'été, l'introduction du VE peut réduire considérablement la puissance requise pour le RTE grâce à la production de panneaux photovoltaïques dans la région. En hiver et au printemps, la production photovoltaïque est inférieure, dont la recharge intelligente joue un rôle clé dans la réduction de l'impact des véhicules électriques en fonctionnement et la synchronisation des énergies renouvelables et de la recharge du véhicule devient plus pertinente.

Si nous introduisons le concept de charge intelligente, nous constatons de meilleures performances dans les scénarios de charge contrôlée. Sachant que PACA est une région qui est extrêmement sensible à la radiation solaire, la production énergie renouvelable dans les différentes saisons de l'année varient. C'est un argument pour introduire une recharge intelligente qui permet d'améliorer le couplage en fonction de la disponibilité en énergie (Codani, 2016).

Les figures 52 et 53 correspondent aux modèles de chargement contrôlé et non contrôlé, prenant en compte deux scénarios (Codani, 2016):

- Scénario A : la pénétration de l'EVSE (équipement d'alimentation primaire de véhicules électriques) secondaire est de 0% (aucun propriétaire de VE peut charger au travail)
- Scénario B : la pénétration de l'EVSE secondaire est de 100% (tous les propriétaires d'EV peuvent charger au travail).

Region	Scenario	Green charging ratio (%)			
		Jan-Mar	Apr-Jun	Jul-Sep	Oct-Dec
IDF	A	7.7	23.0	24.5	13.0
	B	14.4	36.2	35.2	16.8
CA	A	98.8	99.8	99.9	98.8
	B	99.5	99.9	99.9	99.3
PACA	A	56.4	82.5	77.4	53.3
	B	80.1	91.3	87.8	76.4
MP	A	93.9	99.1	98.5	95.6
	B	97.8	99.7	99.2	98.0

Figure 52. Rapport de charge vert avec une stratégie de charge non-contrôlée (Codani, 2016).

Sur la figure 52, on peut constater que, dans le cas d'une charge non contrôlée et dans un scénario où la possibilité de charge sur le lieu de travail est nulle, le pourcentage d'absorption d'énergie renouvelable est en moyenne de 67%. Dans le même cas de charge non contrôlée, avec la possibilité de charge sur le lieu de travail, le pourcentage d'absorption d'énergie renouvelable augmente à 83.9% en moyenne.

Region	Scenario	Green charging ratio (%)			
		Jan-Mar	Apr-Jun	Jul-Sep	Oct-Dec
IDF	A	30.4	58.3	59.5	41.3
	B	39.3	82.0	83.6	45.3
CA	A	100	100	100	100
	B	100	100	100	100
PACA	A	98.9	99.2	98.4	95.5
	B	100	100	100	100
MP	A	100	100	100	100
	B	100	100	100	100

Figure 53. Rapport de charge vert avec une stratégie de charge contrôlée (Codani, 2016).

Dans le scénario A où il n'y a aucune possibilité de chargement sur le lieu de travail le pourcentage de pénétration des EnR est de 98%. En introduisant une charge contrôlée,

le pourcentage d'insertion d'énergies renouvelables augmente à 100% avec une infrastructure de charge sur le lieu de travail.

Les informations précédentes montrent que l'introduction de la recharge intelligente permet d'améliorer l'insertion d'énergies renouvelables principalement sur les lieux de travail, avec un couplage de 100% sur toutes les périodes de l'année.

D'autre part, les courbes de charge nous permettent de voir les prévisions pour les années à venir et de proposer des modèles de flexibilité qui correspondent à la production locale estimée. Pour rendre ces services plus attractifs, il est nécessaire de réfléchir à l'intégration de V2G, afin de compenser les pics de consommation, vu que pendant la journée surtout le midi, il pourrait avoir une surproduction selon la saison.

Une recharge intelligente sera nécessaire pour penser à un couplage massif des énergies renouvelables et de la recharge des véhicules dans la région. La recharge intelligente vous permettra de mieux piloter le couplage avec une synchronisation à 100% de la production et de la consommation.

2.2.2. Enjeux de couplage avec une production EnR local ou non local, les différentes configurations du couplage sur la région. Opportunités et potentiel territorial.

Selon les données de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la Région PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR, PACA produit 1223 MW, qui correspondent à 14% de la puissance installée dans le pays. Grâce à sa position géographique, la région a un facteur de charge solaire de 15,6%, l'objectif étant d'atteindre une capacité installée de 8316 MW en 2023. (DREAL PACA, septembre 2019)

L'engagement en matière de production photovoltaïque dans la région est considérable. D'ici à 2023, les installations photovoltaïques devront plus que tripler la production actuelle. Cette stratégie priorise principalement l'installation de panneaux sur les toitures et ombrières de parking.

Sachant que la Région SUD est la troisième région avec plus immatriculations de véhicules électriques et que le schéma régional ambitionne une augmentation de la production solaire, nous pouvons construire un scénario de couplage pour la région.

Le scénario de couplage proposé correspond à un couplage local (figure 54), évidemment alimenté pour l'énergie solaire produit à travers de panneaux photovoltaïque. Ce couplage à court terme est plus attractif dans les lieux de travail, plus particulièrement dans les parkings des entreprises et les bâtiments tertiaires.

Le choix du lieu de charge correspond au fait que le couplage des EnR et VE est mieux synchronisé dans les espaces où le véhicule passe la plupart de temps garé. Cette synchronisation permet au véhicule de consommer de l'énergie solaire dans les pics de production puisque les heures de stationnement et de production ont une plus grande coïncidence. Vu que les véhicules des employés passent la plupart du temps garés dans les parkings des entreprises ou les parkings des bâtiments quel que soit le cas, il aura

une plus grande opportunité d'absorber 100% de la production solaire, en augmentant ainsi la part des énergies renouvelables dans la recharge du véhicule électrique. Ce couplage permet d'évacuer plus rapidement toute la production photovoltaïque en réduisant les pertes.



Figure 54. Modalité de couplage dandy les entreprises et bâtiment tertiaires.

Le couplage EnR et VE est synonyme de synchronisme, dans ce scénario proposé, la synchronisation est réalisée de manière naturelle en raison de la haute disponibilité de VE, dans les horaires où la production solaire est la plus grande, ce scénario dépend de l'augmentation du parc de VE dans les années à venir.

Ce couplage présente un avantage puisque la production d'énergie solaire est générée entre 7h00 et 21h00 ou entre 8h00 et 18h00 en fonction de la saison, le véhicule se gare au parking de l'entreprises pendant cette tranche horaire. Il est donc possible de mettre en place un modèle de charge beaucoup plus flexible pour le temps de disponibilité du véhicule dans le parking.

D'autre part, le couplage dans les entreprises réduit la nécessité d'utiliser une batterie fixe, car tout excédent de production éventuel est absorbé directement par le réseau du bâtiment ou de l'entreprise, ce qui réduit les pertes et évite un impact sur le réseau.

En plus, les entreprises ou les bâtiments tertiaires en tant que personnes juridiques ont une plus grande capacité d'investissement et de décision, ce qui peut rendre le processus d'installation de l'infrastructure de charge et de la production d'énergie plus efficace. Ce scénario de couplage offre plus de synchronisation, du fait que la production peut être récupérée de façon directe et permet d'économiser certains coûts notamment sur le stockage statique éventuel.

Dans le court terme, le couplage dans les zones résidentielles peut être soumis à davantage de restrictions, car il doit garantir la disponibilité d'un véhicule pendant la journée pour récupérer l'énergie produite, ou il doit disposer d'un système de stockage permettant de stocker la production. Cependant, nous avons vu que même si le prix des batteries est faible, le stockage à travers de batteries reste un système coûteux.

La configuration du couplage à court terme dans les espaces résidentiels dépend en grande partie des profils de charge. Ces profils varient en fonction du type de population et des logiques de déplacements. Si la charge est effectuée dans une large mesure la nuit, il est nécessaire de prendre en compte d'autres sources d'énergie, telles que l'énergie hydraulique pilotable, l'énergie éolienne selon les prévisions, ou l'énergie solaire doté d'un système de stockage. Au contraire, si la recharge dans les zones résidentielles est effectuée pendant la journée, nous nous adressons à une population présentant des caractéristiques différentes, par exemple une population inactive telle que les retraités ou les familles urbaines ayant plusieurs véhicules ou bénéficiant d'offre de transport en commun.

La modalité de couplage à court terme pour la région doit garantir certaines conditions techniques pour l'efficacité du système. D'une part, la recharge intelligente, comme nous l'avons vu, améliorera la synchronisation de la production et de la consommation, en raison de la plus grande flexibilité de chargement du véhicule.

La flotte de véhicules personnels semble offrir un modèle modulable de mobilité partagée dans les entreprises, ainsi qu'un modèle économiquement attractif pour l'organisation afin d'amortir les coûts et de partager les charges avec les employés.

D'autre part, le couplage dans les entreprises augmentera l'autoconsommation du bâtiment grâce aux technologies de l'information et de la communication suite à l'introduction du véhicule électrique. Les systèmes de recharge intelligents nécessitent un échange d'informations continu pour estimer la production en fonction des besoins du véhicule. Toute surproduction peut être absorbée de manière naturelle par l'entreprise.

La technologie V2G est immature, cependant, à long terme, il pourrait représenter une grande opportunité pour les entreprises, principalement pour les propriétaires d'un parc de véhicules, car il constituera une excellente source de stockage pilotable, réduisant l'impact de l'EnR sur le réseau.

A long terme, la logique change, il est bon de penser à un scénario moins flexible en raison d'une forte insertion de véhicules électriques sur le marché. Plus la production d'EnR et le nombre d'EV sont élevés, moins le couplage suscitera d'intérêt, car la synchronisation sera plus naturelle et la proportion des énergies renouvelables dans le véhicule augmentera.

La recharge intelligente améliorera la synchronisation en fonction de la flexibilité, mais elle permettra également d'estimer l'impact des réseaux locaux dans les cas où il n'y a pas de couplage local.

L'infrastructure de chargement doit être compatible avec tous les types de recharge, de sorte qu'il est possible de penser à deux types de recharge, une charge lente pour des utilisateurs flexibles et une recharge rapide pour des utilisateurs peu flexibles. L'offre de

services de flexibilité sera plus complexe et nécessitera une stratégie commerciale pour rendre les services plus attrayants pour les utilisateurs. À long terme, il est nécessaire de considérer les stations de recharge rapide pour évacuer les besoins des utilisateurs en fonction du degré de flexibilité qu'ils peuvent accepter.

Dans cette logique, le V2G devient une technologie plus attractive qui permettra de fournir un service au réseau, agissant en tant que catalyseur des énergies renouvelables mais également en tant que source de stockage pour supporter les heures de pointe de consommation.

La modalité de couplage à long terme (figure 55), correspondre à l'insertion de la technologie V2G dans les résidences. Nous avons mentionné que plus l'insertion d'énergies renouvelables est importante, plus le couplage sera généré naturellement dans différents lieux de charge. Le véhicule commencera à fournir une fonction bidirectionnelle réduisant l'impact de l'insertion d'EnR dans les réseaux de distribution.

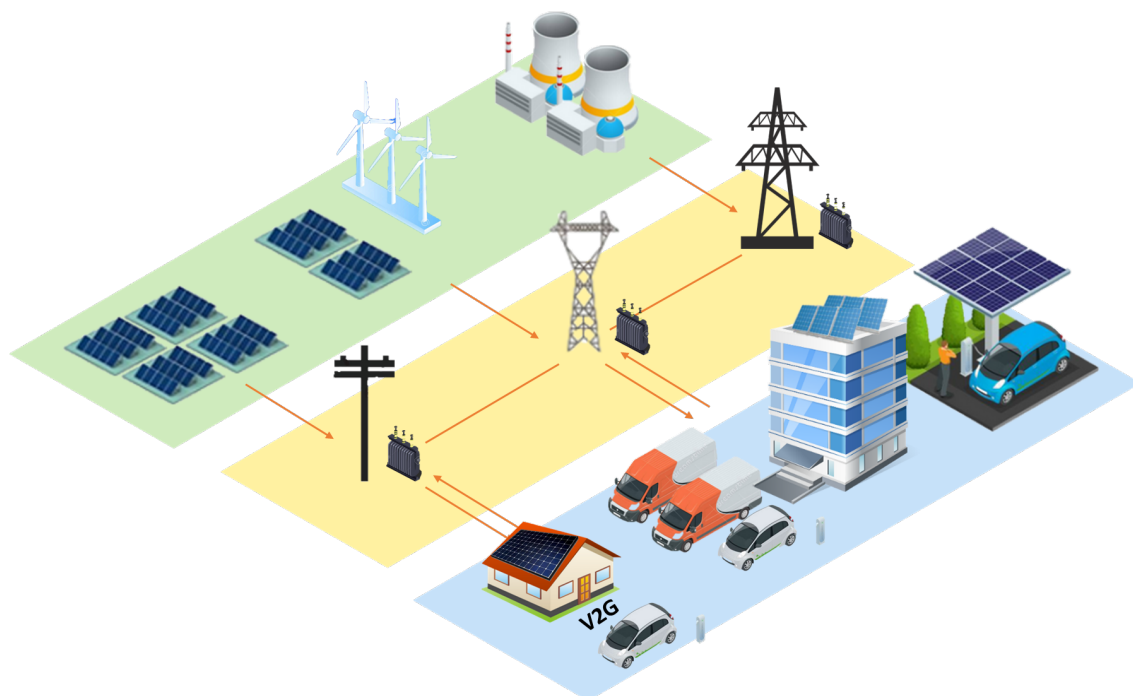


Figure 55. Modalité de couplage scénario a long terme

Dans un scénario où l'on suppose une augmentation du prix de l'électricité, le V2G peut être un stabilisateur de la production et de la consommation, générant des avantages pour les ménages qui consomment principalement pendant la nuit.

L'augmentation du véhicule électrique nécessitera une plus grande puissance pour supporter les charges. L'augmentation des énergies renouvelables peut répondre à cette réalité, mais générera un impact sur les réseaux locaux pour supporter l'augmentation de la capacité. Le système de couplage optimal dans un scénario de massification à long terme, accordant la priorité à la production photovoltaïque en fonction de la stratégie de la région, consiste en un couplage local dans les lieux de travail, les maisons ou les espaces publics, en encourageant la technologie de V2G pour la consommation des ménages, afin de ne pas impacter le réseau local.

Grâce au cadre de référence théorique, il est possible de savoir dans quelles conditions techniques le couplage des énergies renouvelables et la recharge du véhicule électrique peuvent être efficaces, nous abordons des sujets tels que la flexibilité de la charge, la recharge intelligente et l'introduction de nouvelles technologies qui rendent plus efficace le système.

En abordant ce cadre théorique au niveau territorial, nous constatons que la région a un grand potentiel pour établir ce couplage en raison de ses conditions géographiques. Il existe une relation cohérente entre la production solaire et la concentration de la population principalement dans le département de Bouches-du-Rhône.

Les déplacements quotidiens peuvent être largement approvisionnés par le biais du transport électrique. Cependant, il existe encore différents obstacles techniques et socio-économiques qui rendent le déploiement difficile.

La massification du véhicule électrique et l'augmentation des énergies renouvelables dépendent en grande partie de l'engagement d'acteurs publics et privés, il est nécessaire de promouvoir le véhicule électrique sous différents angles: augmenter l'offre de véhicules des producteurs, améliorer l'infrastructure de charge des opérateurs de bornes, sensibiliser le public à la transition énergétique et à l'importance du véhicule électrique pour l'avenir à travers du secteur public. Le couplage est une responsabilité partagée qui appliquée correctement peut générer des avantages pour toutes les parties prenantes.

Conclusion

Le couplage des énergies renouvelables et la recharge du véhicule électrique, permettent, dans le cadre d'un système de communication et d'information, d'accroître l'insertion des énergies renouvelables en réduisant l'impact sur les réseaux électriques en cas de production locale.

Ce couplage correspond à un tandem approprié puisque dans un contexte d'augmentation des EnR, le VE permet de réguler l'offre et la demande dans les périodes de forte production d'EnR, en tant que consommateur flexible dans les pics de production.

Sous ce couplage, différents aspects rendent le système plus efficace, tels que la charge intelligente, la flexibilité de charge et la technologie V2G. Pour que la synchronisation d'EnR et de VE soit optimale, il est nécessaire de penser à un système pilotable qui intègre l'échange d'informations pour améliorer leur performance.

Un scénario de couplage local permet de générer une synchronisation naturelle où le véhicule consomme directement de la production d'énergie, ce type de couplage est plus économique et peut garantir l'intégration totale des énergies renouvelables dans la recharge du véhicule.

D'autre part, dans un scénario où la synchronisation de la production d'EnR et la recharge des VE est moins synchronisée, il est nécessaire de générer des modèles de flexibilité pour augmenter les possibilités d'intégration d'EnR dans la recharge du véhicule, ce qui pourrait être le scénario qui favoriserait la production de énergie éolienne moins prévisible.

Dans les endroits où la production et la recharge du véhicule ne sont pas synchronisées, il est nécessaire d'intégrer un système de stockage d'énergie pour capturer la production d'EnR. Les cas dans lesquels le véhicule n'est pas disponible pour consommer de l'énergie au moment de la production, sont les véhicules utilitaires qui roulent pendant la journée où il y a une plus grande production PV.

Au niveau territorial, la configuration varie en fonction du potentiel territorial et des profils de charge, Plus la flexibilité est grande, plus la possibilité d'accouplement dans une base puissance est grande, ce qui peut augmenter la couverture des véhicules à recharger, mais il est nécessaire de prendre en compte la charge rapide car tous les utilisateurs ne sont pas disposés à accepter une charge flexible.

L'intégration à long terme de V2G crée une opportunité d'intégration du véhicule en tant que consommateur et stockage d'énergie en fournissant un service supplémentaire aux réseaux.

Le couplage des énergies renouvelables et la recharge du véhicule électrique impliquent différents aspects d'ordre technique, économique et social. Ainsi le couplage est différent au niveau territorial, toutefois sont développement et son adaptation aux différentes configurations des territoires propose de nouvelles logiques de

consommation et des opportunités pour la production d'énergies renouvelables au niveau local.

Bibliographie

ADEME, 09/04/2018 Chiffres clés, <https://www.ademe.fr/expertises/mobilite-transport/chiffres-cles-observations/chiffres-cles>

ADEME, 2018, Le baromètre 2018 des énergies renouvelables électriques en France

ADEME, 2018, L'autoconsommation d'électricité d'origine photovoltaïque.

ADEME, 2016, Le solaire photovoltaïque, https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/avis_ademe_solairepv_201602.pdf

Ávila, Francisco, Agamez Arias, Anny, 2012, La infraestructura de movilidad y su relación con el desarrollo económico y la competitividad: Revisión conceptual, Panorama Económico, pg 147-168.

AVERE, 2019, Suivez la progression du marché du véhicule électrique [!http://www.aver-france.org/Site/Article/?article_id=6562&from_espace_adherent=0](http://www.aver-france.org/Site/Article/?article_id=6562&from_espace_adherent=0)

Automobile-propre, 2018, Voiture électrique : avantages et inconvénients <https://www.automobile-propre.com/dossiers/voiture-electrique-avantages-et-inconvenients/>

Automobile-propre, 2019, Chiffres de vente & immatriculations de voitures électriques en France, <https://www.automobile-propre.com/dossiers/chiffres-vente-immatriculations-france/>

Allemand, François Ascher, J. Levy, 2005, Les sens du mouvement. Modernité et mobilités dans les sociétés urbaines contemporaines.

Automobile-propre, 2017, Les véhicules électriques toujours dépendants des aides publiques, <https://www.automobile-propre.com/vehicules-electriques-toujours-dependants-aides-publiques/>

Amjada. Muhammad, Ayaz Ahmadb, Mubashir Husain Rehmanic, Tariq Umerd, 2018, A review of EVs charging: From the perspective of energy optimization, optimization approaches, and charging techniques, p 386-417

Angot Laureline, 2014, La mobilité électrique dans les systèmes de transport et de mobilité urbains : constats et perspectives. Comment développer une nouvelle offre de mobilité durable par le biais de l'électromobilité dans la métropole toulousaine?

Atiane Energy, Hewlett Packard, ORECA, 2014, Etude relative à l'impact du véhicule électrique et de la production photovoltaïque sur les réseaux de distribution d'électricité, Etude du cas Provence Alpes- Côte d'Azur

Bloomberg New Energy Finance, 2017, Lithium-ion Battery Costs and Market
<https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>

CRE, 2018, Document de réflexion et de proposition, Les réseaux électriques au service des véhicules électriques

CRE, août 2019, L'intégration des EnR : un défi pour les gestionnaires de réseaux,
<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=integrationenr-defi-gestionnaires-reseaux>

CRE, août 2019, Les étapes de l'intégration des EnR aux réseaux électriques,
<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=etapes-integration-enr>

CRE, août 2019, L'importance de la flexibilité de la demande pour la gestion du système électrique,
<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=flexibilite-demande-systeme-electrique>

CRE, 2018, Autoconsommation, <https://www.cre.fr/Transition-energetique-et-innovation-technologique/Autoconsommation>

CRE, août 2019, Ce qu'il faut savoir pour comprendre l'autoconsommation,
<http://autoconsommation.cre.fr/ce-qu-il-faut-savoir.html>

CIE AUTOMOTIVE, 2017, Evolution in the Automotive sector,
https://www.cieautomotive.com/documents/125060/491803/Ingenier%C3%ADa+Analyst+Day_reduced.pdf/d7c52ce6-c2f0-4501-8654-7c14b0fc3ece

CRE, août 2019, Comprendre les Smart grids, <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=comprendre-les-smart-grids>

Commission européenne, août 2019, Cadre pour le climat et l'énergie à l'horizon 2030,
https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_fr

Colmenar, Antonio -Santosa, Antonio-Miguel Muñoz-Gomez, Enrique Rosales-Asensiob, Africa Lopez-Rey, 2019, Electric vehicle charging strategy to support renewable energy sources in Europe 2050 low-carbon scenario p 61-74

Codani, Paul, Pierre-Louis Le Portz, Pierre Claverie, Marc Petit, Yannick Perez, 2017 Coupling local renewable energy production with electric vehicle charging: a survey of the French case.

DREAL PACA, septembre 2019, Le solaire photovoltaïque,
<http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/le-solaire-photovoltaïque-r1609.html>

DREAL PACA, 2019, Cadre régional pour le développement des projets photovoltaïques en Provence-Alpes-Côte d'Azur, http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/plaquette_cadre_regional_pv_dreal_paca_web.pdf

Daina. Nicolò, Aruna Sivakumar, John W. Polak, 2017, Electric vehicle charging choices: Modelling and implications for smart charging services, p 36-56

Matthieu Dubarry, Arnaud Devie, Katherine McKenzie, 2017, Durability and reliability of electric vehicle batteries under electric utility grid operations: Bidirectional charging impact analysis, p39-49

Ecole des Ponts, ParisTech, Groupe Renault, 2017, MOOC Mobilités et véhicules électriques,

France stratégie, Dominique Auverlot, Nicolas Meilhan, Bérengère Mesqui et Aude Pommeret, 2018, Les politiques publiques en faveur des véhicules à très faibles émissions

Fernández Yolanda, Olmedillas Blanca, 2002, Transporte externalidades y coste social, p 45-67

Gutiérrez, Andrea, 2010, Movilidad, transporte y acceso: una renovación aplicada al ordenamiento territorial, <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-331/sn-331-86.htm>.

Geoportail.gouv.fr, 2010, Potentiel solaire en PACA (rayonnement direct), <https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/potentiel-solaire-en-paca-rayonnement-direct>

Haddadian, Ghazale, Mohammad Khodayar, Mohammad Shahidehpour, 2015, Accelerating the Global Adoption of Electric Vehicles: Barriers and Drivers.

Hungerford. Zoe, Anna Bruce, and Iain MacGill, 2019, The Value of Flexible Load in Power Systems with High Renewable Energy Penetration

Habib. Salman, Muhammad Kamran, Umar Rashid, 2015, Impact analysis of vehicle-to-grid technology and charging strategies of electric vehicles on distribution networks e A review, p 205-214

INSEE, 2017 Aller travailler en vélo est peu fréquent en Provence-Alpes-Côte d'Azur, https://insee.fr/fr/statistiques/2553852#graphique-Figure_2

INSEE, 2017, Provence-Alpes-Côte d'Azur - Forte concentration de la population dans les principales communes, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2540580>

INSEE, 2019, Sept salariés sur dix vont travailler en voiture, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3714237>

Jin, C. X. Sheng and P. Ghosh, "Optimized Electric Vehicle Charging With Intermittent Renewable Energy Sources," in *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 8, no. 6, pp. 1063-1072, Dec. 2014.

JRC, Vincenzo Punzo, 2014, Transport and traffic models for studying electric mobility

J. A. Peças Lopes, P. M. Rocha Almeida, 2019, Using Vehicle-to-Grid to Maximize the Integration of Intermittent Renewable Energy Resources in Islanded Electric Grids

Jiana. Liu, Zhao Yongqianga, Kim Hyoungmib Keinera, Dominik, Manish Ramb, Larissa De Souza Noel Simas Barbosac, Dmitrii Bogdanovb, 2018, The potential and economics of EV smart charging: A case study in Shanghai, p 206-214

Breyer. Christian, 2019, Cost optimal self-consumption of PV prosumers with stationary batteries, heat pumps, thermal energy storage and electric vehicles across the world up to 2050, p 406–423

Longo Michela, Federica Foiadelli and Wahiba Yaïci, 2018, Electric Vehicles Integrated with Renewable Energy Sources for Sustainable Mobility

L'observatoire Cetelem, 2019, Le mystère de la voiture électrique, [http://observatoirecetelem.com/wp-content/themes/obs-cetelem V3/publications/2019/OBSERVATOIRE_AUTO_2019_MD.pdf](http://observatoirecetelem.com/wp-content/themes/obs-cetelem/V3/publications/2019/OBSERVATOIRE_AUTO_2019_MD.pdf)

Luthander. Rasmus, Joakim Widén a, Daniel Nilsson b, Jenny Palm, 2015, Photovoltaic self-consumption in buildings: A review, p 80-94

Mougenot Benoît, 2015, Automobile et nouveaux modèles économiques de la mobilité électrique, au cœur d'une diversité institutionnelle, p. 71-88, <https://www.cairn.info/revue-innovations-2015-1-page-71.htm>

Ministère de la transition écologique et solidaire, 2017, Autopartage en France, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/autopartage-en-france>

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2014, Rapport sur l'autoconsommation et l'autoproduction de l'électricité renouvelable.

Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016, Loi de transition énergétique pour la croissance verte, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/loi-transition-energetique-croissance-verte>

Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016, Systèmes d'autoconsommation, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/systemes-dautoconsommation>

Morganti, Eleonora, Michael Browne, 2018, Technical and operational obstacles to the adoption of electric vans in France and the UK: An operator perspective, pg 90-97

Mitropoulos, Lambros K., Panos D. Prevedouros, Pantelis Kopelias (2017) « Total cost of ownership and externalities of conventional, hybrid and electric vehicle pg. 267-274.

Munkhammar, Joakim, Pia Grahn, Joakim Widen, 2013 Quantifying self-consumption of on-site photovoltaic power generation in households with electric vehicle home charging, P 208-216

Mwasilu. Francis, Jackson John Justo, Eun-Kyung Kim, Ton Duc Do, Jin-WooJung, 2014, Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration, p 501-516

Noel, Lance, Gerardo Zarazua de Rubensa, Benjamin K. Sovacoola, Johannes Kester, 2019 Fear and loathing of electric vehicles: The reactionary rhetoric of range anxiety, pg 96-107

Noel, Lance, Gerardo Zarazua de Rubensa, Johannes Kestera, Benjamin K. Sovacoola, 2018, Beyond emissions and economics: Rethinking the co-benefits of electric vehicles (EVs) and vehicle-to-grid (V2G), p 130-137

Noel, Lance Gerardo Zarazua de Rubensa, Johannes Kestera, Benjamin K. Sovacoola, 2019, Navigating expert skepticism and consumer distrust: Rethinking the barriers to vehicle-to-grid (V2G) in the Nordic region, p 67-77

Onata, Nuri Cihat, Murat Kucukvarb, Nour N.M. Aboushaqraha, Rateb Jabbara, 2019, How sustainable is electric mobility? A comprehensive sustainability assessment approach for the case of Qatar, pg, 461-477

Observatoire des territoires, 2011, Carte des zones d'emploi 2010, https://www.observatoire-des-territoires.gouv.fr/observatoire-des-territoires/sites/default/files/Carte_ZE_2010.pdf

Peillon Sophie, 2017, Les systèmes produit-service conduisent-ils à des business models plus durables ? <https://www.strategie-aims.com/events/conferences/28-xxvieme-conference-de-l-aims/communications/4706-les-systemes-produit-service-conduisent-ils-a-des-business-models-plus-durables/download>

Pournaras. Evangelos, Seoho Jung, Srivatsan Yadhunathan, Huiting Zhang, Xingliang Fang, 2019 Socio-technical smart grid optimization via decentralized charge control of electric vehicles.

Philipsen. Ralf, Teresa Brell, Waldemar Brost, Teresa Eickels, Martina Ziefle, 2018, Running on empty – Users' charging behavior of electric vehicles versus traditional refueling, p 475-492

RTBF, 2019, Déplacements : l'avenir est dans la micro-mobilité, https://www.rtbef.be/lapremiere/article/detail_deplacements-l-avenir-est-dans-la-micro-mobilite?id=9816018

RTE, 2019 Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique, https://www.rte-france.com/sites/default/files/electromobilite_synthese_9.pdf

RTE, 2017, Le taux de pertes en 2017 est stable, <https://bilan-electrique-2017.rte-france.com/reseau-de-transport/63-le-taux-de-pertes/#>

RTE, Juillet 2019, Production d'électricité par filière, <https://www.rte-france.com/fr/eco2mix/eco2mix-mix-energetique>

RTE, Juillet 2019, Consommation d'électricité, <https://www.rte-france.com/fr/eco2mix/eco2mix-consommation>

Service-public.fr, 2019, Installation d'une éolienne domestique ou agricole, <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F33368>

SIGMA TEC, Bornes de recharge pour véhicules électriques, <http://www.sigma-tec.fr/elec/informations-techniques-calculs-bornes-recharge-vehicule-electrique.html>

Service-public.fr, 2019 Bonus écologique pour un véhicule électrique (voiture, scooter, moto, vélo, ...), <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F34014>

Saboori. H, M. Mohammadi, R. Taghe, 2011, Virtual Power Plant (VPP), Definition, Concept, Components and Types

Thompson, Griffin, Morgan Bazilian, 2013, Democratization, Energy Poverty, and the Pursuit of Symmetry

Tulpule. Pinak J, Vincenzo Marano, Stephen Yurkovich, Giorgio Rizzoni, 2013, Economic and environmental impacts of a PV powered workplace parking garage charging station, p 323-332

U.S. Department of Energy, 2004, Energy Use, Loss and Opportunities Analysis: U.S. Manufacturing & Mining.

Visser Lennard, 2017, Towards emission free traffic in Amsterdam, An assessment of electric vehicle charging with renewable energy.

Venugopal Prasanth, Aditya Shekhar, Erwin Visser, Natalia Scheele, Gautham Ram Chandra Mouli, Pavol Bauer, Sacha Silvester, 2018, Roadway to self-healing highways with integrated wireless electric vehicle charging and sustainable energy harvesting technologies, pg 1226-1239

Weldon Peter, Patrick Morrissey, Margaret O'Mahony, 2018, Long-term cost of ownership comparative analysis between electric vehicles and internal combustion engine vehicles.

Will. Christian, Alexander Schuller, 2016, Understanding user acceptance factors of electric vehicle smart charging, p 198-214

Zhen-Yu Shea, Qing Suna, Jia-Jun Maa, Bai-Chen Xiea, 2017, What are the barriers to widespread adoption of battery electric vehicles? A survey of public perception in Tianjin, China, pg 29-40

Zhenga. Yanchong, Songyan Niua, Yitong Shanga, Ziyun Shaoc, Linni Jiana, 2019, Integrating plug-in electric vehicles into power grids: A comprehensive review on power interaction mode, scheduling methodology and mathematical foundation, p 424-439

Glossaire

Énergie grise : L'Énergie Grise correspond à la dépense énergétique totale pour l'élaboration d'un matériau, tout au long de son cycle de vie, de son extraction à son recyclage en passant par sa transformation, une énergie évaluée en kWh/tonne

Puissance maximale injectée sur le réseau : lorsque la production excède la consommation)

Puissance maximale soutirée du réseau: lorsque la production ne permet pas de couvrir la consommation

Annexe 1

Comparaison d'une stratégie de charge coordonnée et non coordonnée

Table 5
Comparison of uncoordinated and coordinated strategy of charging.

Strategy	Power level	Time for Charging/ Discharging	Approaches	Requirements	Impacts on distribution network
Uncoordinated Strategy of Charging/ Discharging	Mostly at Level 1	> Charge the EV whenever possible. > Disconnected at any time.	> Charging starts as EVs are parked i.e. charging is done irrespective of the peak hours and price. > Off-peak uncoordinated charging can be done at night when demand is low and there is base load generation.	> No Particular requirements > Starting cost is lesser for charging	> Overloaded domestic transformers > Overloaded conductors/ cables > Voltage deviations > Increase in power losses > Lesser system stability > Reduction in system efficiency and reliability > Affect power quality > Increase in load at peak time > Reduce load factor > Monthly electricity bill increases
Coordinated Strategy of Charging/ Discharging	Mostly at Level 2 and 3	> Charging done at off peak hours i.e. at time of low demand. > Discharge when there is peak daily load.	> There are formulated objective functions. > Involvement of quadratic, dynamic, linear programming to find solution optimally [104]. > Methodology involving demand side management [82]. > Optimize algorithms involving computational intelligence and valley-filling approach. > Management based on real time control. > Strategies having local and global energy control. > Algorithms having real time price of electricity.	> Intelligent communication and control in terms of smart metering and sensor > Two way power flow i.e. unidirectional and bidirectional > Communication between the EVs, and an independent system operator, > Communication should be bidirectional so to check battery condition and receiving of different instructions.	> Time and power demand optimization. > Lesser impact on peak capacity. > Load shifting and peak avoidance. > Maximize load factor. > Minimize voltage deviations, line currents, power losses and load surges in transformer. > Balance load and voltage profile. > Reduction in electricity cost. > Maximum use of renewable resources. > Increase in system stability, power quality, and reliability. > Higher operating efficiency.

Annexe 2

Liste de projets d'analyses de la base de données benchmarking.

Project acronym	Full name	Start	End	Localisation	Lieu de charge prioritaire	Description du projet
3E MFH	3E-Mehrfamilienhaus Eigenerzeugung, Eigenverbrauch, Elektromobilität in einem Mehrfamilienhaus	2014	2017	Allemand, Hambourg	Copropriétés	Projet qui consiste à l'intégration de l'énergie solaire et la production de chaleur pour la recharge du véhicule électrique et l'autoconsommation dans les logements. le projet a été testé dans 13 appartements en copropriété. Le projet comprend un modèle d'autopartage qui a travers une système de gestion permet avoir une échéance d'information des réservations du véhicule et du fonctionnement du véhicule, comme la durée de charge, afin d'optimiser le temps de recharge.
Ashton Hayes Smart Village	Ashton Hayes Smart Village	2011	2013	Royaume-Uni, Ashton Hayes	Bâtiments tertiaire	Ashton Hayes a lancé son projet Going Carbon Neutral il y a environ 7 ans. Cette communauté rurale de 1 000 habitants a déclaré son objectif ambitieux de devenir le premier village neutre en carbone de l'Angleterre. De cette manière, a été réalisée l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux de basse tension. La recharge du véhicule électrique comprend la production d'électricité grâce à des panneaux solaires installés sur le toit du pavillon de sports de la ville, associés à un système de cogénération. Le point de charge est destiné à des véhicules individuels.

BeMobility 2.0	Electromobility Model Region Berlin/Potsdam	2011	2015	Allemand, Berlin	Station service en ville	Le projet comprend deux phases, BeMobility 1.0 et BeMobility 2.0, il vise à promouvoir le véhicule électrique en location dans le système de transport en commun à Berlin. cherche également à intégrer les sources d'énergie locales telles que l'énergie éolienne et solaire à travers un micro réseau intelligent pour la recharge d'un Flotte de véhicules. La flotte de véhicules, entre autres, est intégrée aux transports en commun via un ticket combiné. Dans certains quartiers sélectionnés, une offre de voitures partagées pour les résidents a été installée, la flotte est composée également de vélos électriques, de scooters électriques, ainsi que des voitures électriques.
BESIC	Batterie-Elektrische Schwerlastfahrzeuge im Intelligenten Containerterminalbetrieb	2012	2016	Allemand, Hambourg	Entrepôts	Bešić est présenté comme un projet pilote visant à étudier la mobilité électrique dans les systèmes de transport fermés pour la logistique et la production dans les locaux. L'idée de base de ce projet de développer davantage la mobilité électrique dans l'environnement commercial et d'accroître les synergies d'interactions gérables du secteur des transports et de l'énergie en particulier. Le projet consiste à étudier l'utilisation de batteries interchangeables dans un train électrique dédié à la logistique dans le port de Hambourg. Cette étude inclut également l'intégration de l'énergie éolienne en raison

						de son potentiel dans les zones portuaires.
BienVEnu	Gestion optimisée de recharge des véhicules électriques dans le résidentiel collectif	2015	2018	France, Ile de France	Copropriétés	BienVEnu est un projet qui propose l'installation d'une infrastructure de recharge de véhicules électriques en autopartage dans l'habitat collectif. C'est donc également une initiative qui contribue à l'essor de l'écomobilité et à l'application du droit à la prise. Le projet étudiera également comment tirer parti des sources d'énergie renouvelables pour recharger les véhicules électriques. Les résidents disposent de deux véhicules en autopartage sur le parking de la copropriété pour assurer la disponibilité aux résidents.
Charge stands	Charge stands	2010	2011	Danemark		Globalement, il s'agit de créer une possibilité d'augmentation de bornes de charge dans le système électrique afin d'utiliser de manière optimale la production d'énergie renouvelable. L'objectif est, en 2010, d'établir un minimum de 70 stands d'alimentation, permettant de recharger des véhicules électriques sur une tarification selon l'horaire et de la production de EnR, afin générer plus avantages financiers et environnementaux pour l'utilisateur.

ColognE-mobil	Elektromobilität in Köln	2012	2015	Allemand, Cologne	Maison individuelle	Le projet comprend l'utilisation de véhicules utilitaires pour les services municipaux de la ville, les différents partenaires ont contribué chacun à la création d'une infrastructure de charge et à l'analyse d'impacts de l'utilisation de véhicules électriques dans la ville. Quatre ombrières équipés de panneaux solaires ont été installés avec un système de stockage d'énergie destiné à recharger de véhicule électrique.
Demand Response	Demand Response, Das Auto als aktiver Speicher und virtuelles Kraftwerk	2013	2015	Allemand	Maison individuelle	Le projet cherche à faire du véhicule électrique la mémoire active qui contrôle le comportement de l'utilisateur afin que la mobilité électrique puisse contribuer de manière significative à la stabilisation du système d'alimentation électrique. Le projet vise à intégrer l'offre et la demande par le biais d'un test technique de 10 véhicules électriques sur le marché de l'énergie modéré par une centrale virtuelle ou CarConnectBox . Le projet est basé sur l'analyse du comportement initial de l'utilisateur, l'acceptation d'une charge contrôlée et la détection météorologique des charges.

DER-IREC 22@Micro grid	DER-IREC 22@Microgrid	2009	2011	Espagne	Maison individuelle	DER - IREC 22 @ MICROGRID est un projet de recherche axé sur la création de produits et services autour des EnR et des véhicules électriques. L'objectif principal est de construire une plate-forme où les recherches pourraient être menées afin d'intégrer tous ces composants dans un nouveau système d'approvisionnement en énergie. Cette plate-forme intégrera dans un micro-réseau un ensemble de EnR existants: technologies de micro-génération conventionnelles (moteurs diesel ou à gaz naturel). technologies émergentes (micro-turbines et dispositifs de stockage d'énergie). technologies renouvelables (petites éoliennes ou générateurs solaires).
Dutch Smart Charging	Dutch Smart Charging	2010	2011	Pays Bas	Station service en ville	Le projet étudie les facteurs qui influencent le comportement du consommateur, tels que le prix, la vitesse de la facturation et la disponibilité d'énergie renouvelable. Chaque VE est équipé d'un module de communication qui indique le SOC de charger de la batterie, Une fois que la batterie d'un VE est connectée à un point de charge (géré par l'opérateur du réseau), le module veille à que le point de charge reconnaisse le VE lui-même, et puisse générer des réponses en fonction de l'état du véhicule.

eAutarke Zukunft	eAutarke Zukunft – Lösungen im Arealnetz	2013	2015	Allemand	Maison individuelle	Projet composé de 5 projet qui cherchent à tester et optimiser la mobilité électrique en matière de produits et de services dans différents contextes de vie et de travail dans le cadre d'une fourniture décentralisée d'énergies renouvelables. En particulier, la mobilité électrique sera testée dans le contexte d'une maison Energy Plus et d'un ensemble résidentiel autosuffisant avec une structure de réseau intelligent, Le second scénario concerne les zones industrielles disposant de leur propre flotte de véhicules et une production local pour la recharge.
e-carPark	e-carPark Sindelfingen	2013	2015	Allemand, Sindelfingen	Entrepôts	L'approche du projet correspond à un lien décisif entre la production d'énergie dans les zones commerciales et les besoins en énergie de la zone, en établissant des schémas de mobilité. La recherche s'est concentrée sur le comportement de charge du véhicule et la capacité de stockage des batteries du véhicule. Ce projet était lié à la création d'une zone d'activités en Allemagne.
Electric vehicles and renewable energy in the transport sector - consequences including the interaction with the power and	Electric vehicles and renewable energy in the transport sector - consequences including the interaction with the power and CHP system. (Main focus: Electric and	1998	2000	Danemark		Le projet vise à analyser les conséquences énergétiques, environnementales et économiques d'une utilisation accrue des véhicules électriques. Le projet se concentrera principalement sur les véhicules électriques à base de batteries ou de piles à combustible à hydrogène

CHP system	hydrogen vehicles)					
EMiLippe	Merging of electromobility and renewable energy for intelligent traffic management in rural areas through information and communication technologies	2013	2016	Allemand, Lippe	Parking d'entreprise	Le projet EMiLippe consiste à promouvoir la mobilité électrique dans la logistique d'entreprise grâce à l'utilisation d'énergies renouvelables générées localement. Les acteurs du projet sont des entreprises et des instituts situés dans l'est de Westphali Lippe. Ces entreprises disposent d'un parc de véhicules électriques qui sont utilisés mutuellement par les employés de différentes endroits de la région grâce à un modèle de mobilité partagée. Il y a un système d'itinérance afin de garantir la disponibilité géographique et temporaire. L'énergie nécessaire provient des micro-réseaux de l'entreprise (production local) ou des services publics régionaux.
Evergreen	Intelligent opladning af elektriske biler	2010	2013	Danemark	Maison individuelle	L'objectif du projet est de mettre en place un système de recharge intelligent pour les voitures électrique qui peut être utilisé dans le monde entier. La charge intelligente permet une charge automatique en dehors des heures de pointe, ce qui permet d'augmenter la production d'électricité neutre en CO2 comme l'énergie éolienne. Le projet consiste à intégrer dans la borne de charge un système de communication permettant à l'utilisateur de connaître le prix et l'impact environnemental de la recharge afin de faire évoluer son comportement vers une

						consommation plus respectueuse avec l'environnement
GeoGreen	Optimizing green energy and grid load by geographical steering of energy consumption	2011	2014	Belgique		Le projet explore des stratégies de contrôle optimales et des algorithmes de planification pour les véhicules électriques, les applications de réseau à réseau (V2G) et l'analyse du stockage d'énergie dans les applications mobiles.
GL V2.0	Steigerung der Effektivität und Effizienz der Applikationen Wind-to-Vehicle (W2V) sowie Vehicle-to-Grid (V2G) inklusive Ladeinfrastruktur - Gesteuertes Laden V2.0	2010	2011	Allemand		Sous le titre "Charge contrôlée (irrigation et drainage)", le projet développe des solutions hardware y software permettant d'utiliser les batteries de véhicules électriques comme accumulateurs d'énergie et comme centrales virtuelles.
Greening European Transportation Infrastructure for Electric Vehicles	Greening European Transportation Infrastructure for Electric Vehicles	2010	2012	Danemark		Le projet fait l'analyse et le déploiement d'un réseau multimodal de transport utilisant les infrastructures routières et ferroviaires actuelles, associé à un réseau de recharge de voitures électriques composé de stations de commutation, de batteries et de bornes de recharge alimentées par des énergies renouvelables. Le projet sert comme feuille de route technologique pour la création d'un réseau européen de voitures électriques. Le projet est conçu pour aider à réduire les émissions de carbone dans le réseau et c'est une initiative politique essentielle de l'Union européenne

iGIVE	Intelligent Grid Interfaced Vehicle Eco-charging	2013	2016	Royaume-Uni	Dans le cadre d'une coopération internationale entre le Royaume-Uni et la Chine, un système de recharge écologique intelligent (iGIVE) avec interface réseau intelligente est étudié et mis au point afin d'obtenir des solutions intelligentes plus fiables, plus flexibles, plus efficaces et plus respectueuses de l'environnement, pour une intégration parfaite de la production d'énergie intermittente et du grand nombre de véhicules électriques. Le projet comprend différentes phases, un cadre d'information sur les flux d'informations multicouches pour optimiser la surveillance et le contrôle de la charge des véhicules électriques, tout en minimisant le volume d'informations transmises aux centres de contrôle des services publics, deuxième, l'analyse d'une unité de charge de batterie du VE au niveau bidirectionnelle, de chargement et de déchargement de VE. Enfin une plate-forme qui collecte des informations pour la prise de décision.
DA-Li	Distribution Automation Light	2015	2016	Pays Bas	DALI est un projet axé sur l'observation des réseaux à moyenne et basse tension afin d'améliorer la flexibilité du réseau. Son objectif est de réduire le nombre de minutes de clients perdus grâce à la commutation à distance. Le projet permet d'obtenir rapidement des données de chaque transformateur pour évaluer les besoins du réseau.

INTELLAN	Intelligent charging infrastructure with Network Integration	2012	2014	Allemand		Le projet INTELLAN vise à développer une infrastructure de charge intelligente, qui peut être installée à n'importe quel endroit et facilement exploitable. Ces infrastructures de charge en réseau permettent d'éviter la surcharge du réseau et facilitent l'intégration des énergies renouvelables grâce à une gestion intelligente de la charge locale.
Isernia	Isernia	2011	2014	Italie		L'objectif du projet est la mise en œuvre de solutions innovantes dans des conditions de fonctionnement réelles visant à réguler de manière optimale le flux d'énergie bidirectionnel sur les réseaux de distribution MT, tout en intégrant les ENR et en garantissant une sécurité maximale du système. Un système de communication à large bande reliant une sous-station principale, des sous-stations secondaires des ENR est mis en œuvre.
iZEUS	iZEUS – Smart Grid and Smart Traffic Services for Electric Mobility	2012	2014	Allemand	Maison individuelle	Le projet de recherche développe des concepts et des applications exemplaires pour l'intégration de la mobilité électrique dans le trafic privé ainsi que dans le trafic commercial urbain. Un système de compatibilité des flottes de véhicules est établi, ainsi qu'une gestion de facturation décentralisée, en utilisant des systèmes de stockage d'énergie
Large-scale demonstration of charging of electric vehicles	Large-scale demonstration of charging of electric vehicles	2011	2013	Danemark		Développement d'un outil pour la charge et la communication intelligentes des voitures électriques. Pas d'information disponible

Mini E-Berlin powered by Vattenfall	Vehicle 2 Grid - Intelligent charging and discharging of distributed energy storage	2008	2010	Allemand, Berlin		Le projet cherche à offrir les applications de charge intelligentes, telles que du hardware pour recharger à partir de l'électricité produit par EnR dans des environnements publics et privés, afin de conserver l'intégralité du projet neutre en CO2
Novel E-MObility Grid Model	Novel E-MObility Grid Model	2012	2015	Allemand		Le projet comprend le développement un outil appelé NEMO, un outil de planification des réseaux électriques dans lequel les énergies renouvelables sont intégrées de manière optimale et sont considérées comme consommateurs et une source de stockage contrôlables. Pour développer le logiciel, des scénarios extrêmes ont été pris en compte. NEMO est basé sur des modèles de simulation techniques et économiques existants
SEM	Smart Electric Mobility	2009	2011	Autriche		L'utilisation et l'intégration de systèmes d'énergies renouvelables et durables impliquent des défis centraux pour l'approvisionnement en énergie électrique - déjà aujourd'hui, mais surtout à l'avenir. Des systèmes globaux efficaces et intelligents, ainsi que des systèmes de stockage, pourraient être la solution. L'objectif de ce projet est de se concentrer sur ces deux thèmes afin de développer des solutions pour la mobilité électrique avec intégration d'énergie renouvelable pouvoir contribuer à la stabilité du système énergétique en utilisant du VE.

Smart Grid in Balans	Smart Grid in Balance	2014	2015	Pays Bas	Maison individuelle	Le projet Smart Grid in Balans cherche à associer des sources d'énergie durables décentralisées et une demande d'énergie durable pour les véhicules électriques en intégrant des bornes de charge intelligentes permettant de réduire la surcharge sur le réseau tout en rechargeant la voiture avec énergie renouvelable. Ce projet est testé dans les maisons individuelles, avec l'insertion d'un mix d'énergies renouvelables
SMARTWAVE	Power quality in coastal smart grids	2015	2017	France		Le projet de recherche «SmartWave» a comme objectif porter la recherche sur les réseaux intelligents côtiers à un niveau supérieur en abordant les défis urgents du réseau, fait une approche réaliste et intégrée, sur l'impact combiné sur la qualité de du réseau avec l'intégration des différentes sources d'énergie renouvelables comme le solaire ou l'éolienne et les véhicules électriques. Il étudie également les différentes options pour atténuer cet impact sous la forme de scénarios de charge intelligents pour les véhicules électriques.
Well2Wheel	Well2Wheel	2013	2017	Allemand	Maison individuelle	Le projet est axé sur la création d'une centrale virtuelle afin d'optimiser la consommation d'énergie dans les résidences. Le projet a intégré une flotte de véhicules VP, pour tester un feu de signalisation indiquant en rouge et vert les moments pour arrêter ou recharger le véhicule, afin d'induire le

						comportement de charge des individus.
SMAC	SMAC	2019		France, Champagne-Ardenne		L'objectif du projet est d'optimiser la recharge des véhicules électriques en période de forte production éolienne grâce à une solution de contrôle de l'énergie des stations de recharge et à un système de pilotage.
Lyon Smart Community	Lyon Smart Community	2012	2013	France, Lyon	Parking public (de rue)	Le projet comprend l'intégration de la production d'énergie renouvelable pour l'alimentation d'une flotte de véhicules en mode d'autopartage, 30 chargeurs de faible puissance de 3 kWh et trois stations de charge rapide ont été installés. La charge des véhicules est gérée par un système de pilotage qui permet d'estimer l'état du véhicule.
WE DRIVE SOLAR	WE DRIVE SOLAR	2018		Pays Bas	Bâtiments tertiaire	Le projet comprend l'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque dans des bâtiments tertiaires pour alimenter une flotte de véhicules VP. Pour cela, un système de réservation de véhicules a été créé sur la base d'un paiement mensuel. Dans ce projet, l'intégration de V2G est explorée au niveau commercial.
SEEV4	SEEV4	2017	2017	Pays Bas	Parking public (de rue)	Le projet contient une analyse qui permet améliorer l'intégration des énergies renouvelables en fonction des profils de charge définis dans différents secteurs de la ville (quartiers). Après analyse, une recharge statique intelligente a été établie selon le modèle de consommation de charge sectorisé, avec un modèle de recharge statique, il est possible d'augmenter

						l'insertion d'énergie renouvelable dans la recharge du véhicule dans certaines tranches horaires.
L'OMBRIERE PHOTOVOLTAÏQUE DE BARATIER	L'OMBRIERE PHOTOVOLTAÏQUE DE BARATIER	2014		France	Parking Relais	Le projet comprend l'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque dans une parking relais "Aire de covoiturage", ce projet à un système de stockage d'énergie à travers des batteries de deuxième génération et une puissance installée de 93,6 kWc. Ils ont 3 types de prises : Type 2, ChaDemo et CCS combo, le prix de charge est 24 cts€ le kWh.
SAP Laps	SAP Laps	2014		France	Parking d'entreprise	La société a installé sur le toit des panneaux solaires alimentant 26 stations de recharge situées dans le parking, 2 borne de recharges rapides et les autres bornes charge lent et accéléré. L'énergie est également consommée dans le bâtiment. La société a mis en place un système d'incitation à l'achat de véhicules électriques. Le parc de véhicules compte actuellement 160 véhicules électriques, principalement des véhicules à grande capacité de batterie pour une plus grande autonomie.
TGV Aix en provence	TGV Aix en provence	2017		France	Parking de gares	Le projet comprend le couplage photovoltaïque, avec la recharge du véhicule dans le parking du gare, il y a 4 bornes en V1G à 3.6kW avec une charge gratuite, la place de recharge est utilisé à plus de 80% du temps, la priorité est donnée à la autoconsommation d'énergie dans le bâtiment. Acteurs

						publics et privés sont impliqués dans le projet.
Solar camp	Solar camp	2017		France	Bâtiments tertiaire	Solar Camp dispose d'une installation photovoltaïque de 7,8 kWc, destinée à l'autoconsommation et à la recharge des véhicules à 2 roues et des voitures. Le projet se concentre principalement sur le développement d'un réseau intelligent autonome, L'ambition à moyen terme est d'intégrer la technologie V2G dans le système.

Annexe 3

Questionnaire de mobilité électrique

1. Le saviez-vous ?

Marca solo un óvalo por fila.

	Oui	Non
La voiture électrique serait née en France dans la deuxième moitié du XIX ^e siècle.	☐	☐
Elle fut fabriquée par un français, Gustave Trouvé.	☐	☐

2. Selon votre motif de déplacement... quels moyens de transport utilisez-vous ? (Plusieurs réponses possibles par ligne, ne pas cocher si non concerné)

Selecciona todas las opciones que correspondan.

	A pieds	Vélo	2 roues	Véhicule thermique (essence, diesel)	Véhicule électrique	Bus	Train, tramway, métro
Domicile - Travail/Etudes	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Activité professionnelle	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Achats / Shopping	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Courses alimentaires	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Visites, accompagnements, écoles	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Loisirs (Sport, ...)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Autres motifs	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

3. Si vous avez répondu "Autres motifs", merci de bien vouloir préciser :

4. Où faites-vous vos courses alimentaires ? *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

☐ Supermarché péri-urbain
☐ Supermarché urbain
☐ Commerce de proximité
☐ Marché
☐ Producteurs locaux
☐ Otros: _____

5. Selon votre motif de déplacement... à quelle fréquence vous déplacez-vous ? (Plusieurs réponses possibles par ligne, ne pas cocher si non concerné)

Selecciona todas las opciones que correspondan.

	Tous les jours	Quelques fois/semaines	1 fois/semaine	Quelques fois/mois	Seulement les Week- ends	Quelques fois/an
Domicile - Travail/Etudes	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Activité professionnelle	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Achats / Shopping	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Courses alimentaires	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Visites, accompagnements, écoles	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Loisirs (Sport, ...)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Autres motifs	☐	☐	☐	☐	☐	☐

6. Selon votre motif de déplacement... sur quelle distance par trajet (aller-retour) vous déplacez-vous ? (Plusieurs réponses possibles par ligne, ne pas cocher si non concerné)

Selecciona todas las opciones que correspondan.

	Moins de 5km	5 à 15km	15 à 40km	40 à 100km	au-delà de 100km
Domicile - Travail/Etudes	☐	☐	☐	☐	☐
Activité professionnelle	☐	☐	☐	☐	☐
Achats / Shopping	☐	☐	☐	☐	☐
Courses alimentaires	☐	☐	☐	☐	☐
Visites, accompagnements, écoles	☐	☐	☐	☐	☐
Loisirs (Sport, ...)	☐	☐	☐	☐	☐
Autres motifs	☐	☐	☐	☐	☐

7. Selon votre motif de déplacement... et le cas échéant, êtes-vous prêt à bouger électrique ?

Marca solo un óvalo por fila.

	Je le fais déjà !	Oui, je suis prêt	Plutôt oui	Plutôt non	Non, je ne suis pas prêt
Domicile - Travail/Etudes	☐	☐	☐	☐	☐
Activité professionnelle	☐	☐	☐	☐	☐
Achats / Shopping	☐	☐	☐	☐	☐
Courses alimentaires	☐	☐	☐	☐	☐
Visites, accompagnements, écoles	☐	☐	☐	☐	☐
Loisirs (Sports, ...)	☐	☐	☐	☐	☐
Autres motifs	☐	☐	☐	☐	☐

8. Combien de voitures/scooters/motos possède votre ménage ? (plusieurs réponses possibles) *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- ☐ Aucune
- ☐ 1 voiture
- ☐ 1 scooter/moto
- ☐ 2 voitures et +
- ☐ 2 scooters/motos et +

9. Avez-vous déjà utilisé un véhicule électrique ? (conducteur ou passager) *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- ☐ Non
- ☐ Oui une seule fois
- ☐ Oui mais seulement trottinettes ou vélos
- ☐ Occasionnellement
- ☐ Régulièrement
- ☐ Récemment

10. Le saviez-vous ?

Marca solo un óvalo por fila.

	Oui	Non
En Norvège, en 2018, 30% des ventes de voiture étaient des véhicules électriques(à batteries uniquement), contre 2% en France.	☐	☐
Avec la baisse du coût des batteries attendue, le prix d'achat des voitures à Diesel/essence et électriques serait similaire dès 2022.	☐	☐

11. Selon vous, quel sera l'impact du déploiement des véhicules électriques sur :

Marca solo un óvalo por fila.

	Très positif	Plutôt positif	Plutôt négatif	Très négatif	Ni positif ni négatif	Je ne sais pas
Les nuisances sonores	☐	☐	☐	☐	☐	☐
La qualité de l'air	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Le confort de conduite	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Le réchauffement climatique	☐	☐	☐	☐	☐	☐
La pollution liée à l'usage du véhicule	☐	☐	☐	☐	☐	☐
La pollution liée à la production d'énergie	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Le développement des énergies renouvelables	☐	☐	☐	☐	☐	☐
La dépendance aux énergies fossiles (pétrole, gaz, etc...)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Le développement des productions locales d'énergie	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Le confort de recharge du véhicule	☐	☐	☐	☐	☐	☐
L'aménagement urbain	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Autre ...	☐	☐	☐	☐	☐	☐

12. Voulez-vous commenter votre réponse ?

13. Quels pourraient être vos freins à l'acquisition d'un véhicule électrique ?

Marca solo un óvalo por fila.

	Très fort	Plutôt fort	Plutôt faible	Très faible	Je ne sais pas
Prix d'achat	☐	☐	☐	☐	☐
Prix au km	☐	☐	☐	☐	☐
Manque de mesures incitatives	☐	☐	☐	☐	☐
Temps de recharge	☐	☐	☐	☐	☐
Accessibilité des bornes en général	☐	☐	☐	☐	☐
Accessibilité des bornes dans les habitats collectifs (immeubles)	☐	☐	☐	☐	☐
Autonomie du véhicule	☐	☐	☐	☐	☐
Durée de vie des batteries	☐	☐	☐	☐	☐
Impact environnemental de la batterie	☐	☐	☐	☐	☐
Origine nucléaire de notre électricité	☐	☐	☐	☐	☐
Autre ...	☐	☐	☐	☐	☐

14. Si vous avez répondu "Autre ...", nous saurons apprécier une petite précision de votre part :

15. A prix de revient comparable aux véhicules thermiques (essence, diesel, ...), je suis prêt à bouger électrique : *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- ☐ Oui, en véhicule personnel
- ☐ Oui, en véhicule partagé
- ☐ Oui, en véhicule professionnel
- ☐ Non

16. Si vous avez ou aviez un véhicule électrique, où souhait(eri)ez-vous le recharger ?

Marca solo un óvalo por fila.

	Oui	Plutôt oui	Plutôt non	Non	Indifférent
A domicile (maison, parking d'immeuble, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐
Au travail	☐	☐	☐	☐	☐
Bornes publiques (de stationnement)	☐	☐	☐	☐	☐
Parkings (centre commercial, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐
Stations services (zones urbaines, rurales)	☐	☐	☐	☐	☐
Stations services (Autoroutes)	☐	☐	☐	☐	☐
Autre :	☐	☐	☐	☐	☐

17. Vous pouvez réagir aux réponses proposées :

18. Si vous aviez (avez) un véhicule électrique, qu'attendriez (attendez) vous de la recharge : (classer par ordre d'importance de 1 à 3) *

Marca solo un óvalo por fila.

	1 (plus important)	2	3 (moins important)
Autonomie récupérée en km	☐	☐	☐
Temps de la recharge	☐	☐	☐
Coût	☐	☐	☐

19. Le saviez-vous ? *

Marca solo un óvalo por fila.

	Oui	Non
La batterie peut servir à autre chose que pour faire rouler votre véhicule tels que fournir de l'énergie en support ou secours à d'autres véhicules, votre maison, résidence ou au réseau électrique.	☐	☐
La batterie peut servir au développement des énergies renouvelables.	☐	☐
Ces deux services rendus précédents ont une valeur et vous pouvez en attendre un retour économique.	☐	☐

20. Êtes-vous prêt à une mobilité électrique partagée ? *

Marca solo un óvalo por fila.

	Oui	Non
Véhicules en auto-partage	☐	☐
Bornes partagées (quartier, copropriété, lotissement, village, etc.)	☐	☐

21. Seriez-vous disposé à rouler avec une électricité : *

Marca solo un óvalo por fila.

	Oui	Non
Très polluée (CO2) issue de centrale à charbon, pétrole ou gaz	☐	☐
Peu polluée (CO2) majoritairement produite dans des centrales nucléaires	☐	☐
Peu polluée (CO2) issue des énergies renouvelables	☐	☐
Produite plutôt localement	☐	☐

22. Si vous rouliez en électrique, privilégieriez-vous une recharge à une installation liée à une production solaire (photovoltaïque) de proximité ? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Oui
- ☐ Non

Les fabriques de la Connaissance

Le Partenariat entre la Région et les Etablissements d'Enseignement Supérieur et de Recherche

La région dispose d'un socle de recherche et de formation en sciences humaines et sociales solides et de qualité susceptible d'alimenter la réflexion des différents acteurs de la région, de contribuer à la mise en débat de ses problématiques socio-économiques et de constituer une aide à la décision publique.

Convaincu que la présence de ces formations et laboratoires en sciences humaines et sociales constitue un important potentiel de connaissance du territoire régional, la Région a souhaité mobiliser ce milieu d'expertise au service des politiques régionales pour promouvoir un développement régional fondé sur l'innovation la formation de haut niveau et l'interdisciplinarité des savoirs.

C'est l'objet du partenariat des « Fabriques de la connaissance » que la Région met en œuvre depuis 2015 avec les cinq Universités de la Région et Sciences Po Aix .

Mentions de droit

Ce rapport est publié sous licence Creative Commons CC BY-NC-SA

(Attribution - Pas d'utilisation commerciale - Partage dans les mêmes conditions)

