

Les fabriques de la Connaissance

LRE2EV

Déploiement des solutions de couplage énergies renouvelables et mobilité électrique dans une démarche de cohérence territoriale

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

Rapport de fin d'études Polytech Matériaux - AMU

Thomas Bachour, Août 2019

Partenariat Partenariat Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Etablissements d'Enseignement Supérieur et de Recherche

Département Matériaux – Campus de Luminy
163 avenue de Luminy, case 925
13288 Marseille Cedex 09, France

Rapport de stage de fin d'études

stage effectué du 15/02/2019 au 15/08/2019



Déploiement des solutions de couplage énergies renouvelables et mobilité électrique dans une démarche de cohérence territoriale (LRE2EV)

Thomas BACHOUR

Elève-Ingénieur Matériaux
Promotion 2019

Région SUD
Hôtel de Région, 27 place Jules Guesde
13481 Marseille Cedex 20

Tuteur Entreprise : Jocelyn ESPERON
Tuteur Ecole : Philippe DUMAS

Confidentialité

Les informations contenues dans ce rapport sont confidentielles et ne doivent être en aucun cas diffusées sans l'accord exprès de l'entreprise.

Préface

Ce rapport présente le travail effectué au cours d'un stage en entreprise durant 6 mois. Le cursus de formation d'ingénieur POLYTECH / Matériaux, demande aux élèves-ingénieurs de 5^{ème} année, d'effectuer un stage en entreprise de six mois. Le travail a été effectué sous la direction d'un maître de stage et la tutelle d'un enseignant de l'école.

Le stage, objet du présent rapport consistait à utiliser et mettre en œuvre les connaissances et les savoir-faire acquis lors des dernières années en école d'ingénieur afin de mener à bien la mission que le stagiaire se voyait confier. Ce rapport présente ainsi les résultats et ressentis obtenus par l'élève.

Résumé

La mission qui m'a été confiée durant ce stage consistait à étudier la faisabilité technique, économique et sociétale d'un développement à grande échelle du véhicule électrique dans une démarche de couplage à des énergies renouvelables en région SUD. Le but final étant de rendre un rapport à la région qui permettrait de faciliter les prises de décisions faisant suite à la loi NOTRe et à la loi d'Orientation des Mobilités (LOM) et qui sera inclut dans le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires.

Quel est la pertinence d'un couplage énergies renouvelables et mobilité électrique ? Est-ce réalisable ? Est-ce viable économiquement ? Quelle serait la demande d'apport en énergie du déploiement du véhicule électrique en région SUD ? en puissance ? La localité est-elle un facteur important ? Quel est le modèle économique ?

Pour mener à bien cette mission et répondre à ces questions, une étude des projets européens portant sur le sujet fut réalisées aboutissant à un benchmarking. Ensuite, une enquête numérique a été lancée en parallèle des recherches d'autres enquêtes nationales et régionales sur la mobilité et l'énergie. Dans le même temps, nous avons mis en place des interviews d'usagers de véhicules électriques. Enfin, nous avons interrogés des acteurs de la région ainsi que des porteurs de projets.

Remerciements

Je remercie tout d'abord POLYTECH Marseille et principalement les acteurs de la filière MATERIAUX pour les efforts mis en place au fil des années pour améliorer notre formation amenant un poids à notre diplôme, dont ce stage formateur.

Je tiens à remercier par la suite M.Esperon et M.Coussy, pour m'avoir encadré le long de cette étude, et pour m'avoir permis de développer mes connaissances dans un domaine que j'apprécie.

Je remercie M.Dumas pour avoir été présent tout le long de ce stage, grâce à qui j'ai énormément appris, et qui m'a donné de nombreuses opportunités pour développer mes diverses connaissances et compétences mais également mon réseau professionnel.

Un grand merci également à M.Teule, avec qui nous avons eu des discussions très passionnantes.

Merci à M.Rychen pour son co-encadrement.

Merci à Ana, pour avoir partagé avec moi ce stage et pour tous nos bons comme moins bons moments.

Enfin je remercie tous les doctorants de la faculté économie gestion pour leur accueil, leur aide et tous nos bons souvenirs.

Je remercie enfin ma famille et mon ami Brice pour leur soutien.

Liste des Abréviations

ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)

Avere (Association nationale pour le développement de la mobilité électrique)

EnR : Energie Renouvelable

VAC = Volt Alternative Courant

CSPE : Contribution au Service Public de l'Electricité

TICGN : Taxe intérieure de consommation sur le gaz naturel

TCFE: Taxe sur la consommation finale d'électricité

TURPE: Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Électricité

SRADDETs : Schémas Régionaux d'Aménagement, du Développement Durable et de l'Egalité des Territoires

TIPP : Taxe Intérieure sur les Produits Pétroliers

TICPE : Taxe Intérieure sur la consommation des Produits Energétiques

Table des figures et des tableaux.....	7
I. Partie 1 : Rapport de l'étude LRE2EV pour la région SUD.....	8
1. Etat des lieux, cadrage, enjeux, méthodologie.....	8
2. Ordres de grandeur et dimensionnements techniques	12
3. Ordres de grandeur et modèles économiques	21
4. Stockage ou autres alternatives.....	27
5. Résumé des recommandations	27
II. Partie 2 : retour sur l'enquête et les interviews usagers V.E	29
1. Enquête « Mobilité&Energie »	29
2. Interviews usagers V.E.....	30
Bibliographie	32
ANNEXE : Qu'est-ce qu'on appelle « véhicule électrique » ?	33
ANNEXE : Segmentation du marché automobile	34
ANNEXE : CAMION : V.E vs. VT [13].....	36
ANNEXE : Etude des ressources Cobalt, Lithium, Terres rares, Silicium	38
ANNEXE : Prix de l'électricité et part des taxes, en Europe, Allemagne et en France	40
• Ce que représentent les taxes dans le prix du kWh.....	41
ANNEXE : Auto-évaluation	Erreur ! Le signet n'est pas défini.

Table des figures et des tableaux

Figure 1 - Distance annuelles moyennes parcourues par véhicule en France (source : ENTD 2008).....	13
Figure 2 - cartographie des surfaces de parkings potentiellement disponible pour une production photovoltaïque en région SUD.....	16
Figure 3 - Histogramme de l'utilisation des bornes par heure sur le réseau e-born (source : SyME05)	18
Figure 4 - Photo d'une borne de recharge électrique	19
Figure 5 - Profil de mobilité moyen des véhicules légers en France selon le jour de la semaine (source : RTE, Electromobilité 2019).....	19
Tableau 1 - Tableau du rendement photovoltaïque en fonction de l'inclinaison et de l'orientation du panneau.....	17

I. Partie 1 : Rapport de l'étude LRE2EV¹ pour la région SUD

1. Etat des lieux, cadrage, enjeux, méthodologie

Cette étude fut réalisée dans le cadre du schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) institué par la loi NOTRe en 2016. Ont participé à cette étude trois académiciens (un physicien, un économiste et un sociologue) et deux étudiants en Master (un élève-ingénieur et une élève-économiste) en collaboration avec le service transition énergétique de la région SUD.

Dans cette étude, l'hypothèse du développement massif du véhicule électrique est annoncée et il est demandé de réfléchir à un couplage des véhicules électriques, plus particulièrement de la charge de ces véhicules avec des énergies renouvelables.

Dans quelles conditions est-il pertinent d'utiliser les EnR² pour la recharge des véhicules électriques sur la région Sud ?

Quels sont les différents enjeux socioéconomiques et techniques de ces couplages ?

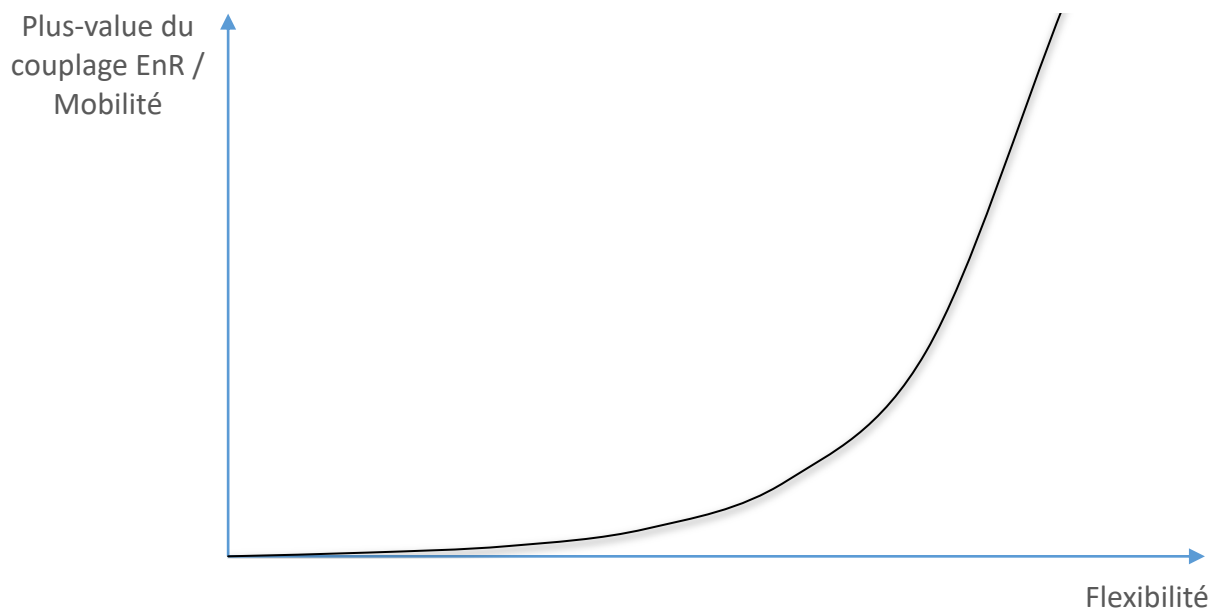
Mais également, comment, à quelle heure, à quel coût environnemental, avec quel modèle économique charge-t-on ?

Pour répondre à cela, une analyse des projets européens fut réalisée, des visites et entretiens eurent lieu avec certains acteurs porteur de projet dans la région SUD (SyME05, SAPLabs, TheCamp, démonstrateur Enedis), une enquête numérique a été mise en place, des entretiens avec des usagers de véhicules électriques ont été effectués, plusieurs études nationales liées aux véhicules électriques et/ou à la mobilité ont été étudiées, de nombreuses conférences ont apporté des informations très utiles pour l'étude (E4SM, SmartPortDay, INES : le solaire, moteur de la mobilité, journée européenne des batteries), et enfin des ateliers de débats seront mis en place en vue de la restitution de cette étude fin 2019.

¹ Local Renewable Energies to Electric Vehicles

² Energie Renouvelable

1.1 Synthèse des notions clés retenues au cours de l'étude



A travers ce graphique, nous cherchons à représenter la pertinence du couplage des EnR avec la mobilité électrique en fonction de différents usages pour le véhicule particulier. La taille des bulles vise à représenter la part majoritaire des usages en nombre, bien que certains usages de mobilité quotidienne peuvent ne pas avoir de flexibilité par exemple et donc se retrouver sur la partie gauche du graphique.

Nous avons noté qu'avec une moyenne de 29 à 40 km par jour (selon les enquêtes) et une recharge principalement effectuée à la maison ou au travail (86% du temps, source : enquête bfcme³), nous avons ainsi quotidiennement une grande flexibilité. Le couplage se retrouverait ainsi pertinent pour 80 à 90% du temps, soit 310/365 jours. Ceci serait valable en France⁴ comme en région SUD⁵.

De plus, 80% des français font moins de 50km par jour en moyenne [1].

Selon notre enquête Mobilité&Energie, 84,6% de nos sondées font moins de 40km par jour.

Ensuite, nous avons les usages quotidiens professionnels dont la distance parcourue par jour est plus grande (entre 50 et 500km environ) et dont la flexibilité en devient diminuée. Si celle-ci est présente, cela serait principalement la nuit, et aiderait à la stabilisation de la production nucléaire, une flexibilité à valeur différente de celle pour les énergies renouvelables. Cependant, la flotte (véhicule de fonction type B ou C et utilitaires principalement) représentant ces usages est très inférieure à celle représentant la mobilité quotidienne.

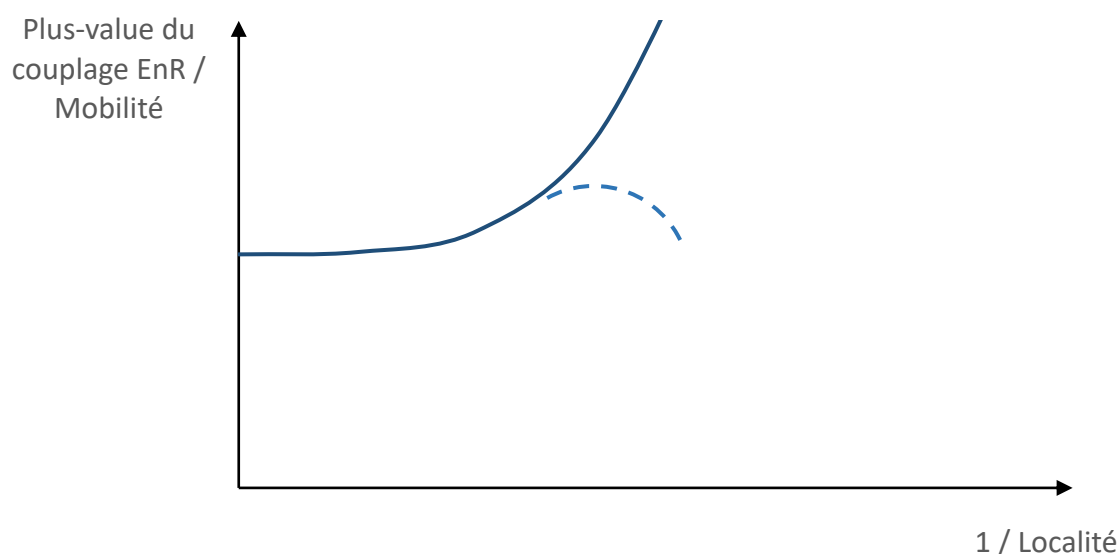
Enfin, les périodes de vacances ne représentant que peu de temps sur l'année mais dont le kilométrage est plus élevé, se retrouve être la période la moins flexible et où le couplage EnR/mobilité électrique semble le moins favorable.

³ <http://www.bfcme-asso.fr/Article?news=174&id=532>

⁴ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/la-mobilite-des-francais-panorama-issu-de-lenquete-nationale-transports-et-deplacements-2008>, 2008

⁵ <http://www.agam.org/fr/dossiers-agam/archives-dossiers/deplacements.html>, CETE 2009

En moyenne, sur les 12 000 km roulés par an pour un français, 1000 à 1500 km sont relatifs aux vacances (et week-end hors-domicile).

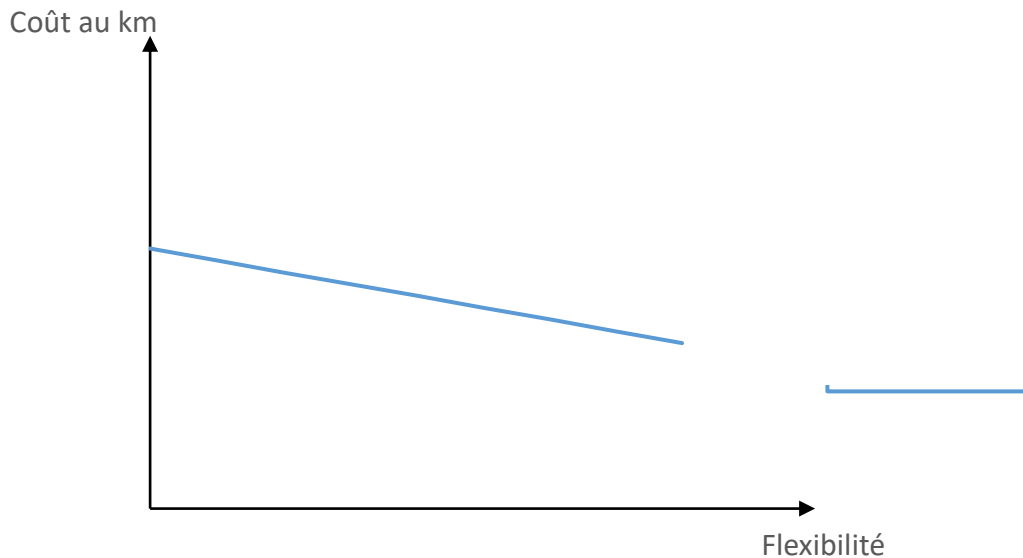


Le graphique numéro 2 a pour objectif de représenter la plus-value du couplage EnR/mobilité électrique en fonction de la localité de la production de ces EnR. L'axe « Localité » des abscisses est décroissant, c'est-à-dire qu'on va du moins local au plus local.

Ainsi, le couplage devient de plus en plus intéressant que l'énergie n'est pas à transportée ou distribuée car directement consommée et donc moins d'investissement de réseau à effectuer par exemple. Suite à notre visite du démonstrateur Enedis, il nous a été présenté comment cet acteur pourrait utiliser les véhicules électriques pour absorber l'énergie EnR produite localement afin de ne pas contrebalancer le réseau.

Cependant, concernant l'autoconsommation chez un particulier, si toute l'énergie produite n'est pas autoconsommée, elle peut être réinjectée sur le réseau et devra être gérée par le distributeur pouvant imposer parfois une contrainte. Cette trajectoire n'est pour autant pas encore généralisable car l'autoconsommation reste très peu développée⁶ en France.

⁶ https://tecsol.blogs.com/mon_weblog/2019/07/tribunelautoconsommation-un-concept-id%C3%A9al-rejet%C3%A9-par-les-fran%C3%A7ais-par-julien-tchernia-pr%C3%A9sident-dekw.html



Sur ce graphique, représentant le coût au km du carburant (pétrole ou électricité) en fonction de la flexibilité, nous avons cherché à déterminer la valeur de cette flexibilité.

En terme d'énergie, un litre d'essence équivaut à environ 10 kWh. Pour une consommation française moyenne d'environ 6 L/100 km⁷, le véhicule particulier parcourt donc environ 17km pour 10 kWh d'énergie « primaire ». Ceci est dû au rendement du moteur thermique d'environ 33%.

Avec le véhicule électrique, consommant en moyenne 200Wh/km, et avec un rendement moteur d'environ 90%, nous n'avons besoin « que » de 3,4 kWh pour parcourir 17 km. Ceci doit ainsi se refléter sur le prix à la borne, mais en incluant le facteur de flexibilité.

Prenons 1,50 €/litre d'essence et 0,25 cts/kWh renouvelable payé en borne aujourd'hui.

Le trait en pointillé horizontal représente la moyenne du coût du litre d'essence (celui-ci fluctue mais nous le représenterons ainsi pour simplifier la représentation)

On pourrait ainsi penser que lorsqu'un usager souhaite se charger sans flexibilité, il paierait un surcoût, dû en partie aux investissements sur le développement des EnR et sur les IRVE⁸ et aux taxes.

Cependant, pour l'utilisateur plus flexible qui rendrait service au réseau, celui-ci paierait une taxe inférieure à celle incluse dans le prix de l'essence aujourd'hui.

Mise en situation :

On pourrait fixer à titre d'exemple un tarif de 0.25 cts/€ pour l'utilisateur qui se branche en lieu public la nuit ou en période de besoin de flexibilité et à faible puissance (3kW) (entre 12h et 14h pour le PV un jour de soleil par exemple).

Un tarif très légèrement inférieur, fixons entre 0,23 et 0,25 cts€/kWh pour l'utilisateur qui se charge la nuit ou en période de besoin de flexibilité, à faible puissance (3kW) et qui a accès à une borne dans son garage, afin de ne pas l'inciter à se brancher en lieu public.

Ensuite, un tarif plus élevé pour les bornes plus puissantes avec une certaine flexibilité où le prix pourrait être de 1€/kWh.

Enfin, pour une recharge à très forte puissance et sans flexibilité qui contraindrait le réseau, un prix de 1,50€/kWh voire supérieure.

⁷ <https://fr.statista.com/statistiques/486554/consommation-de-carburant-moyenne-voiture-france/>

⁸ Infrastructure de Recharge de Véhicule Electrique

Aujourd'hui, lorsque l'on fait le plein d'une voiture thermique, un peu plus de 2/3 du prix final⁹ correspond aux différentes taxes, coût de raffinage et coût de distribution.

Nous avons repris ce facteur 3 pour fixer le prix de 0,75cts€/kWh comme valeur de croisement des deux droites du graphiques.

2. Ordres de grandeur et dimensionnements techniques

2.1 Estimation des besoins

2.1.1 selon les usages plutôt que selon la flotte ?

Le parc automobile français pour les véhicules particuliers était composé en 2016 de 33 millions de véhicules. Les véhicules commerciaux légers (jusqu'à 3,5 tonnes) étaient au nombre de 6 millions. [2]

La RTE a publié un rapport [3] dans lequel sont envisagés plusieurs scénarios de déploiements, à horizon 2035, dont le scénario « Crescendo haut », qui se rapproche du scénario AMPERE 2017 [4].

Dans ce scénario, 15,6 millions de véhicules électriques légers sont déployés dont 22% de véhicules hybrides rechargeables.

Ainsi, avec une estimation de 22% des batteries de 10 kWh (véhicules hybrides), 45% de 40kWh (citadines) et 33% de 80 kWh (SUV et berlines) on obtient une consommation de : $34 * 10^6 * \text{kWh} + 280 * 10^6 * \text{kWh} + 411 * 10^6 * \text{kWh} = 725 \text{ GWh}$

Si on estime un équivalent de charge complète chaque semaine, on obtient : $725 * 52 = 37 \text{ TWh}$ (il est prévu dans le rapport RTE 40 TWh)

La quantité d'énergie nécessaire pour la moitié du parc automobile français s'il est électrique est environ 40TWh.

Lors de notre entretien avec le SyME05, il nous a été déclaré que sur 80 000 charges au sein de leur réseau e-born, les usagers récupèrent en moyenne 10kWh. C'est une donnée intéressante mais que nous n'avons pas eu le temps d'approfondir si cela est dû à un besoin de l'utilisateur, un souhait ou tout simplement déterminer par le fait que l'utilisateur se branche le temps de faire ses courses ou son activité et que celles-ci durent en moyenne 1h (d'où 10 kWh en charge à 10kW) ou plutôt 30 minutes (en charge à 22kW).

Le rapport RTE [3](page 11) sur les « enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique », permet de révéler plusieurs caractéristiques marquantes de la mobilité, je cite :

- « Chaque jour ouvré, seulement 30 % des véhicules sont utilisés pour réaliser des trajets domicile-travail et 7 % des véhicules sont utilisés pour des trajets professionnels.

Les autres véhicules ne sont utilisés que pour d'autres types de déplacements locaux (33 %), pour des déplacements longue distance (2 %) ou ne se déplacent pas du tout (28 %).

- Parmi les véhicules qui sont utilisés pour des trajets domicile-travail, une partie significative (15 %) rentrent à leur domicile pour la pause méridienne.

⁹ https://www.francetvinfo.fr/economie/automobile/essence/infographie-que-payez-vous-vraiment-en-faisant-le-plein-de-carburant_3004947.html

- Seulement 15 % des distances parcourues annuellement par un véhicule correspondent à des trajets de plus de 250 km, susceptibles de dépasser l'autonomie typique d'un véhicule électrique actuel.
- La distance moyenne parcourue chaque jour par un véhicule utilisé pour la mobilité locale est d'environ 35 à 40 km, ce qui signifie que l'autonomie typique d'un véhicule électrique actuel permet de réaliser l'équivalent d'une semaine de déplacements moyens »

Notre enquête Mobilité&Energie nous donne la même fourchette de distance journalière (~ 40 km).

Cependant, selon l'enquête de la CETE en 2009, « en moyenne, un résident de l'aire d'enquête [i.e région SUD] parcourt, un jour moyen de semaine, une distance de 23 km. »

Il serait intéressant de voir l'évolution avec l'enquête de la CETE 2019 à venir (courant 2020). D'une manière étrange, l'étude « **Parc Auto 2018 – Volume Général** » de KANTAR TNS® annoncerait 35km par trajet (aller) et donc 70 km (diapo 49).

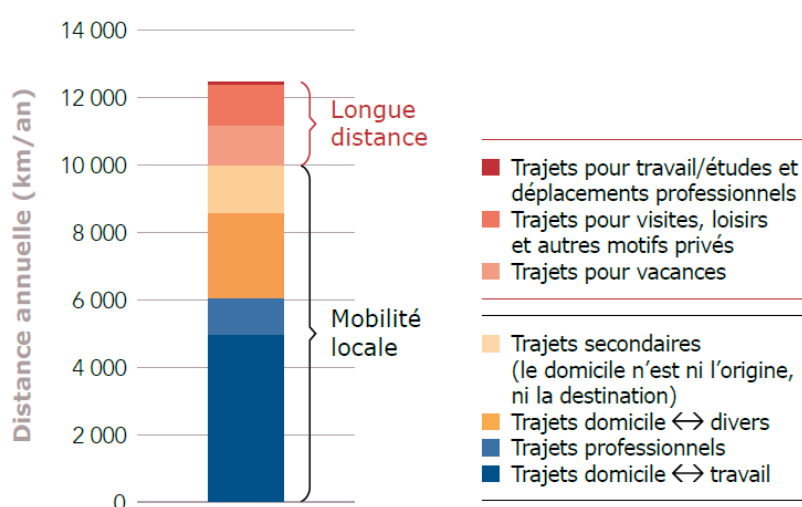


Figure 1 - Distance annuelles moyennes parcourues par véhicule en France (source : ENT2D 2008)

Selon le graphique ci-dessus, la moitié des kms parcourus d'une voiture ne sont « que » journaliers, domicile-travail, et correspondent à plusieurs dizaines de kms par jours.

Or, seuls 13 % des Français¹⁰ disent imaginer pouvoir acheter une voiture dont l'autonomie serait inférieure à 300 kilomètres – ce qui peut sembler paradoxal puisqu'ils ne parcourent guère plus de 50 km par jour en moyenne –, et moins encore pour les citadins. La voiture électrique demeure donc très largement perçue comme une voiture réservée à la circulation en ville. Il s'agirait d'une « seconde voiture », ce qui suppose d'avoir un train de vie suffisant pour posséder deux véhicules.

Selon une étude Ipsos pour l'Avere-France et Mobivia, réalisée à l'occasion de la semaine européenne de la mobilité en 2018, 57 % des Français se disent prêts à passer à l'électrique à condition de disposer d'une possibilité de recharge facile, chez eux ou à proximité. À l'heure actuelle, la France compte 26 390 points de recharge – soit une borne pour 5,7 véhicules, largement au-dessus du standard d'une borne pour dix véhicules fixé par l'Europe ; mais loin de l'objectif des pouvoirs publics et de la filière automobile de porter leur nombre total à 100 000 d'ici à 2022.

¹⁰ <https://www.vie-publique.fr/actualite/dossier/rub2133/voiture-electrique-encore-peine.html>

2.2 Perspectives de développements des EnR (ADEME, SRADDET,...)

L'association des EnR pour la recharge des véhicules électriques n'est pas qu'une question à visée vertueuse.

En effet, les technologies sont complémentaires : les technologies éoliennes (au profil journalier plus plat en moyenne) assurent globalement de la production toute l'année, et notamment l'hiver, tandis que la production solaire permet de fournir de l'énergie à bas coût (la forte production aux heures méridiennes pouvant être compensée par le pilotage de la demande et les capacités de stockage nécessaires pour assurer l'équilibre offre-demande lors de l'ultra-pointe). Les technologies éoliennes produisent même plutôt la nuit, là où le solaire flanche.

- Panorama sur la production française d'énergie renouvelable mi-2019:

France [5]	Région SUD [6]
24 GW de puissance installée renouvelable (éolien, solaire) + 25,5 GW hydraulique + 2GW bioénergies	1223 MW de PV + 48 MW d'éolien
9080 MW de PV + 15 075MW d'éolien	

- Perspectives de développement de Demain :

Selon le rapport [7] de l'ADEME, le potentiel PV maximum en France serait de 400TWh sur les toits de toute la France.

Donc ,en théorie, couvrir 10% des toits français, répondrait à une demande de 40TWh pour les véhicules électriques. Bien entendu cela dépend de la méthode de calcul, de l'orientation des toitures, etc.

Selon ce même rapport [7] (page 12), les gisements nationaux d'éoliens et de photovoltaïques sont respectivement de 240GW et 411 GW. Cela correspondrait à environ 465 TWh d'énergie produite pour le solaire (au sol + en toiture), et 643 TWh d'énergie pour l'éolien (terrestre, en mer et en mer flottant).

Nous rappelons que selon un rapport RTE [8], la consommation annuelle française est de 474 TWh.

- Ainsi, avec une consommation estimée de 40TWh pour 50% du parc automobile français, le VE permettra de mieux intégrer les EnR mais pas d'absorber toute la production.

En région SUD, le gisement éolien serait de 16 GW, tandis que le gisement solaire serait lui de 26 GW. Également, la région SUD serait la région où le LCOE¹¹ est le plus faible pour le solaire (sol et toiture) ainsi que pour l'éolien, avec des coûts en moyenne à 55€/MWh pour le solaire et en moyenne à 50€/MWh pour l'éolien. Des coûts estimés encore plus bas aujourd'hui par la CRE car selon leur étude suite aux appels à projets, « la moyenne des coûts de production des 30 % de projets photovoltaïques les plus rentables se situe autour de 48 €/MWh ».

¹¹ Levelized-cost of energy

Cependant, les informations du fichier SRADDET montrent des objectifs supérieurs. A l'horizon 2023 et d'ici 2030, la région souhaiterait voir développer sur son territoire 11 TWh de photovoltaïque et environ 1 TWh d'éolien terrestre.
Pour rappel, la région SUD consomme 37 TWh par an. [6]

2.3 La production EnR dépassera la demande en recharge

2.3.1 en énergie, nationalement et localement

Selon le site de RTE¹², on produit en moyenne 100 TWh/an d'énergie renouvelable répartie entre l'hydraulique majoritairement, l'éolien (30TWh/an) et le solaire (10TWh/an).

Selon le fichier SRADDET de la région SUD:

- 73 Millions de m² de toitures « particuliers » seraient potentiellement disponibles.

On peut estimer que seul 10% des toitures ont une orientation correcte pour le photovoltaïque, soit 7 Millions de m² vraiment disponibles.

$73 * 10^6 / 6 * 10 = 1,2 \text{ GWc}$, équivalent en région SUD à environ $1,2 * 4 * 0,8 = 3,8 \text{ GWh/J}$

Ainsi, $3,8 * 365 = 1,4 \text{ TWh/an}$

- 275 Millions de m² de « grandes toitures » seraient potentiellement disponibles.

De même, on peut estimer que seul 10% des « grandes toitures » sont bien orientées, soit 27,5 Millions de m².

Soit $275 * 10^6 / 6 * 10 = 4,5 \text{ GWc}$, équivalent en région SUD à environ $4,5 * 4 * 0,8 = 14,4 \text{ GWh/J}$

Ainsi, $14,4 * 365 = 5,2 \text{ TWh/an}$

- 245 Millions de m² de « centrales au sol » seraient potentiellement disponibles.

On peut estimer que seul 20% ont une orientation SUD, soit 49 Millions de m².

Soit $245 * 10^6 / 6 * 5 = 8 \text{ GWc}$, équivalent en région SUD à environ $8 * 4 * 0,8 = 25,6 \text{ GWh/J}$

Ainsi, $128 * 365 = 9,3 \text{ TWh/an}$

Il serait donc possible de produire, rien qu'en région SUD, à minima et en moyenne, 15,4 TWh/an soit plus de 1/3 de la demande énergétique de 15,6 millions de véhicules selon la RTE (40 TWh).

Avec 5 millions d'habitants¹³ en région Sud, et une moyenne de 0,5 voiture par habitant (soit 2.5 millions de véhicules), et en estimant des flux étrangers à la région Sud¹⁴ (+6%), l'énergie nécessaire pour le flux automobile en région Sud serait de 7 TWh.

Voici à titre d'exemple, un calcul effectué selon les chiffres de déploiement de la RTE :

En transposant le scénario RTE déjà présenté au 3.1, avec une estimation de 22% des batteries de 10 kWh (véhicules hybrides), 45% de 40kWh (citadines) et 33% de 80 kWh (SUV et berlines) on obtient une consommation de :

$5,5 * 10^6 \text{ kWh} + 45 * 10^6 \text{ kWh} + 66 * 10^6 \text{ kWh} = 117 \text{ GWh}$

¹² <https://rte-france.com/fr/eco2mix/eco2mix-mix-energetique>

¹³ https://fr.wikipedia.org/wiki/Provence-Alpes-C%C3%B4te_d%27Azur

¹⁴ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3279753#titre-bloc-1>

Si on estime un équivalent de charge complète chaque semaine, on obtient :

$$117 \times 52 = 6 \text{ TWh}$$

On ajoute l'augmentation de la fréquentation de 6%, soit 150 000 véhicules supplémentaires à 80 kWh de capacité (car grosse autonomie estimée) sur 10 semaines, soit 0.1 TWh.

On a donc un besoin total en région Sud de 6.1 TWh.

Voici un exemple de déploiement concret, sur les surfaces de parkings de la région (surfaces comprises dans le fichier SRADDET dans « centrales au sol ») :

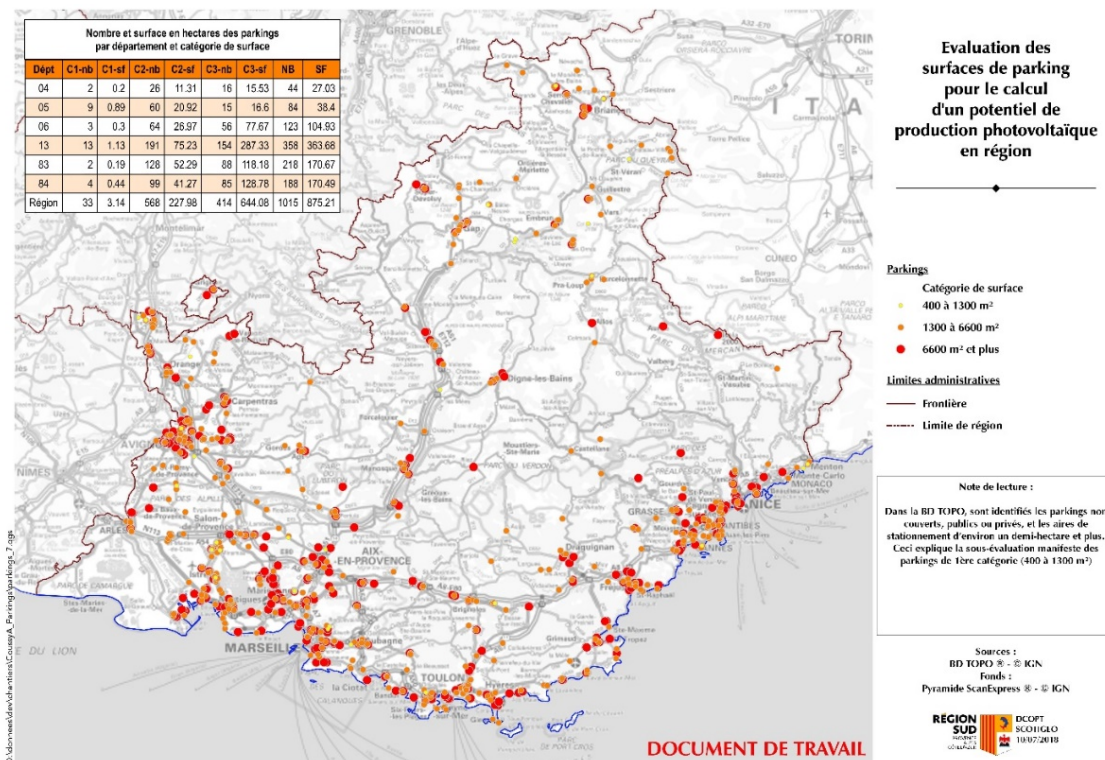


Figure 2 - cartographie des surfaces de parkings potentiellement disponible pour une production photovoltaïque en région SUD

Selon la carte ci-dessus, 875 hectares seraient disponibles sur les « parkings non couverts, publics ou privés, et les aires de stationnement de plus d'un demi-hectare et plus ».

Si l'on estime que seul 10% de cette surface est orientée convenablement et sans ombre, on obtient un ordre de grandeur de 9 hectares disponibles.

$$9 \text{ ha} \rightarrow 90\,000 \text{ m}^2$$

Une surface de 6m² de panneaux photovoltaïques correspond à 1 kWc.

En région SUD, 1kWc produit en moyenne sur l'année 4 kWh / jour.

$$D'où 90\,000/6 = 15\,000 \text{ kWc soit } 15 \text{ MWc}$$

$$15 \times 4 = 60 \text{ MWh/j}$$

$$60 \times 365 = 22 \text{ GWh /an}$$

Cela répondrait aux besoins annuelles d'environ 10 500 véhicules. (avec une batterie de 40kWh et effectuant une recharge par semaine)

Plus de détails, notamment quant à ce que représente un déploiement plus concret, sont dans le résumé du rapport scénario négawatt [9] de la région SUD.

Tableau 1 - Tableau du rendement photovoltaïque en fonction de l'inclinaison et de l'orientation du panneau¹⁵

© www.ef4.be		inclinaison par rapport à l'horizontale (°)						
		0	15	25	35	50	70	90
orientation	est	88%	87%	85%	83%	77%	65%	50%
	sud-est	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	sud	88%	96%	99%	max 100%	98%	87%	68%
	sud-ouest	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	ouest	88%	87%	85%	82%	76%	65%	50%

2.3.2 Cohérence des EnR avec la recharge des VE

Enfin, selon les données du réseau publique e-born du SyME05, la plupart de leur recharge commence à 7h et se termine à 00h.

Si l'on compare l'histogramme des recharges ci-dessous récupéré sur le site¹⁶ des données partagées du réseau e-born, avec une courbe de production photovoltaïque on remarque que les heures de production PV et de consommation pour la recharge sont quasi-superposables excepté le pic de 8h et les recharges de fin de journée après 19h.

¹⁵ <https://www.guide-panneaux-solaires.be/orientation-et-linclinaison-des-panneaux-solaires-photovoltaïques/>

¹⁶ <http://84.39.36.156/PUBLIC/UC2-PUBLIC/>

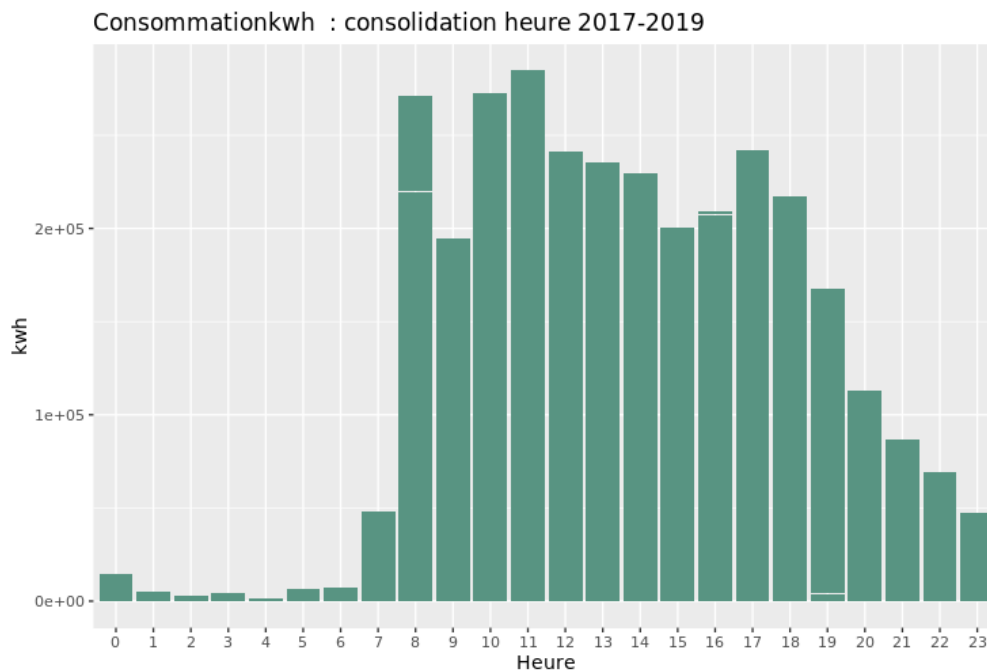


Figure 3 - Histogramme de l'utilisation des bornes par heure sur le réseau e-born (source : SyME05)

2.3.3 Note sur les garanties d'origine (énergie/puissance)

Aujourd'hui, il est possible de voir sur des bornes de recharge la mention « l'électricité qui alimente cette borne est à 100% d'origine renouvelable » (c.f figure 4). C'est vrai en énergie mais pas en puissance.

En effet, on appelle aujourd'hui « garantie d'origine¹⁷ » un document électronique certifiant l'origine de l'électricité fournie par une unité de production renouvelable ou de cogénération. Les garanties d'origine tracent l'énergie verte du producteur au consommateur final, assurant la transparence de la provenance de l'électricité aux consommateurs finaux.

Ce document indique donc que la quantité d'énergie a bien été produite. Cependant, ce n'est finalement peut-être pas celle qui se retrouve dans le véhicule car cette énergie a pu être produite 10 heures plus tôt. Ce système permet tout de même de tirer la filière vers le haut car toute augmentation de la demande d'EnR se reflètera par une augmentation de la production.

Afin de pouvoir garantir que l'énergie consommée à l'instant t est renouvelable, une garantie d'origine en puissance pourrait être utilisée car en tout instant t, une puissance peut être délivrée.

¹⁷ <https://www.powernext.com/fr/garanties-dorigine>



Figure 4 - Photo d'une borne de recharge électrique

2.3.4 en puissance

Comme cité en 3.2, la puissance installée aujourd'hui en France est de 26 GW renouvelable (éolien, solaire plus bioénergies) et de 25,5 GW hydraulique.

En région SUD mi-2019, ~1200MW de PV et ~48 MW d'éolien sont raccordés.

2.3.4.1 L'importance de la flexibilité

La flexibilité est un facteur très important qui peut servir à absorber la production d'énergie renouvelable et intermittente afin de ne pas surcharger le réseau. Ainsi cela permettrait d'éviter d'effectuer des raccordements et ainsi empêcher des coûts non nécessaires.

Le graphique ci-dessous montre le nombre moyen de véhicules légers inactifs selon le jour de la semaine.

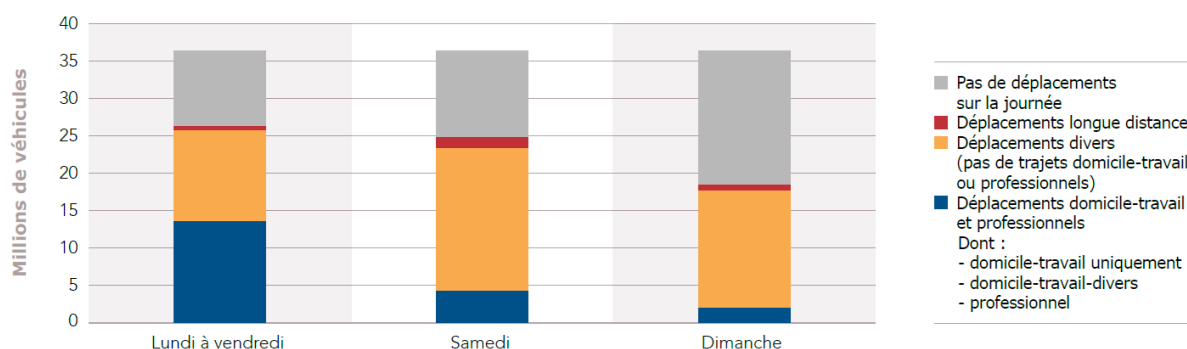


Figure 5 - Profil de mobilité moyen des véhicules légers en France selon le jour de la semaine (source : RTE, Electromobilité 2019)

En outre, il y aurait 10 à 17 millions de véhicules inactifs par jour, soit 400 GWh à 680 GWh de capacité potentiellement pilotable (sur la base de batteries de 40 kWh).

Cela correspond à un peu moins de la moitié de la consommation moyenne française par jour (1,3 TWh).

La flexibilité de recharge est également très importante et contraignante, en puissance. Il n'est pas certain aujourd'hui (bien qu'annoncé par RTE, mais plus étudié en 2.3.4.2), que les infrastructures réseaux actuelles puissent supporter la charge de plusieurs millions de véhicules, en même temps, et d'autant plus à grande puissance de bornes. Etaler les charges, de par une flexibilité de recharge des usagers (demande via une application comme sur certains projets, « Demand Response », « SolarCamp ») semble nécessaire.

2.3.4.2 attention aux pics bison futé

- 1L d'essence c'est environ 10 kWh (9,68).

Un plein d'essence se fait en environ 3 minutes pour 45L de capacité de réservoir¹⁸.

15L/min soit 150 « kWh » /min

Une pompe de station-service est donc une borne qui délivre environ $150 * 60 = 9$ MWh.

- En moyenne sur l'année, 140 millions de litres sont écoulés chaque jour¹⁹.

5 millions de français vont à la pompe chaque jour.

En moyenne le plein d'un français est de 28 Litres.

En énergie, cela signifie que 1,4TWh d'énergie sous forme de pétrole est délivrée par jour.

Ainsi en comparaison pour le même nombre de kilomètre parcouru, il faudrait délivrer par jour, pour 5 millions de véhicules électriques, 467 GWh d'électricité.

Avec des chargeurs de 150 kW, cela correspondrait à 3,1 millions de chargeurs.

Pour limiter la puissance à 30GW, il faudrait un maximum de 200 000 charges de 150kW sur tout le territoire en même temps.

Soit 400 000 véhicules chargés par heure, il faut donc 12 heures et demi pour charger 5 millions de véhicules.

Il faut aujourd'hui un peu moins de 3 heures pour remplir 5 millions de véhicules et 1,3 milliards de kilomètres.

➔ Donc cela a un sens de dire qu'il faut se brancher dès qu'on se gare !

- En moyenne, la consommation d'un VP est de 6 à 6,5 L/100km²⁰.

Pour 1000 km parcourus (lors des vacances), on obtient 60 L consommés par véhicule soit 10 Millions de véhicules sur les routes.

Environ 600 Millions de litres soit $600 * 10^6 * 10 \text{ kWh} = 6 \text{ TWh}$ d'énergie sous forme de pétrole.

Le véhicule thermique consomme ~600 Wh/km.

Le véhicule électrique, consomme ~200 Wh/km. J'ai donc besoin de 2 TWh.

On obtient aussi 200 kWh / véhicule.

¹⁸ Capacité de réservoir de Clio IV(et 3 autres voitures du top 5), voiture la plus vendue en France en 2017, https://www.challenges.fr/automobile/le-top-20-des-voitures-les-plus-vendues-en-france_451599

¹⁹ <https://www.caradisiac.com/caradrier-de-l-avent-combien-de-litres-d-essence-sont-vendus-chaque-jour-en-france-164992.htm>

²⁰ <https://fr.statista.com/statistiques/499561/volume-consommation-gazole-essence-traffic-france/>

Avec un véhicule d'une batterie de 80 kWh, et une recharge en 30 minutes, j'ai besoin d'un chargeur d'une puissance de 160 kW.
Pour la suite des calculs, prenons 150 kW. J'ai donc besoin de 2 charges et demi pour mon trajet de 1000 km.

Ainsi pour 10 millions de véhicules qui font une charge de 150 kW en même temps, j'obtiens une puissance nécessaire de 1,5 TW.

- Soit 11 000 stations-services²¹ en France en 2018.

8 véhicules peuvent être remplis en même temps par 8 pistolets disponibles en moyenne.
On a ainsi 88 000 pistolets. Chaque pompe délivre 9 MWh, donc $88\,000 * 9 * 10^6 = 800$ GWh d'énergie sous forme de pétrole délivrée par les pompes.

En terme de bornes et pour le même nombre de kilomètre final parcouru, cela correspondrait à 267 GWh délivré par 88 000 chargeurs. (on rappelle qu'il faut 3 fois moins d'énergie environ pour un véhicule électrique pour parcourir la même distance qu'un véhicule thermique)
Les recharges étant effectuées aujourd'hui en 30 minutes, cela correspond à 534 GW (chargeur de 150kW).

3MWh délivré par une borne → 2 pistolets de 3000 kW chacun...

- $88\,000 * 150 = 13$ GW

Si on copie le système d'aujourd'hui, avec 88 000 chargeurs de 150 kW, je peux charger 325 000 véhicules de 80 kWh de batterie (400 km d'autonomie) en une heure (soit aussi 130 millions de km).

Or aujourd'hui avec 88 000 pistolets de 9MWh d'énergie sous forme de pétrole, je charge 1 760 000 véhicules (45L soit 750 km d'autonomie) en une heure. Soit 1,3 milliard de km, soit 10 fois plus de km.

3. Ordres de grandeur et modèles économiques

3.1 le prix des EnR se rapproche de la parité réseau

3.1.1 Le coût de l'énergie ²²

Afin que les EnR pénètrent dans le paysage énergétique français, le prix de leur développement/déploiement doit être compétitif face au prix annoncé du nucléaire.
Aujourd'hui, les EnR deviennent compétitives. Le tableau ci-dessous présente les prix du MWh d'électricité en fonction du type de production.

²¹ <http://www.lefigaro.fr/conso/2018/08/10/20010-20180810ARTFIG00030-la-france-ne-compte-plus-que-11000-stations-service.php>

²² A noter que selon les sources, les prix peuvent extrêmement varier. Ainsi, nous donnerons pour la suite des fourchettes assez larges.

Type de production	Prix	Sources
PV au sol	48 à 100 € / MWh	²³ https://www.fournisseurs-electricite.com/edf/oa-solaire/tarif-rachat-photovoltaique
PV toiture	Entre 60 et 190 € / MWh	²⁴ https://www.fournisseurs-electricite.com/edf/oa-solaire/tarif-rachat-photovoltaique
Nucléaire	45 € / MWh	https://prix-elec.com/energie/production https://www.capital.fr/entreprises-marches/votre-electricite-bientot-hors-de-prix-a-cause-du-nucleaire-1125816
Eolien	Entre 57 et 90 € / MWh	https://prix-elec.com/energie/production https://selectra.info/energie/guides/environnement/rachat-electricite-gaz-edf
Hydraulique	Entre 60 et 130€ / MWh	https://prix-elec.com/energie/production https://selectra.info/energie/guides/environnement/rachat-electricite-gaz-edf

Prix des énergies :

PV sol → 6.5 cts€/kWh (→ ne serait pas rentable, devrait être 8 ou 9 selon un interviewé du domaine)

PV toiture 14 cts€/kWh (autoconsommation à Prémian :

https://conseils.xpair.com/actualite_experts/autoconsommation-collective-itinerare-legislatif.htm) coût total d'installation 60k€ pour 28 kWc)

Nucléaire → 4,5 cts€ / kWh ; mais est-ce bien cela ? le prix de la centrale d'Hinkley Point²⁵ est annoncé à 105€/MWh soit 10,5cts€/kWh → que ce prix comprend-il vraiment ? transport et retraitement des déchets en France ?

Ceci expliquerait que les prix du PV qu'on cherche à aligner sur le nucléaire ne soient pas légitimes et ainsi provoquent l'abandon des projets lauréats de la CRE car les projets ne sont finalement pas rentables.

A noter que le niveau faible du prix du marché de l'électricité (entre 35 et 40 €/MWh) empêche actuellement tout investissement dans des nouveaux moyens de production, qu'ils soient renouvelables ou conventionnels, car il ne permet pas de couvrir les coûts fixes. Aussi, afin d'atteindre les objectifs ambitieux fixés par l'Etat, le soutien public (via les tarifs d'achat ou le complément de rémunération) reste indispensable pour susciter l'investissement et pour valoriser les externalités positives de ces moyens de production par rapport aux moyens conventionnels (pas d'émission de CO₂, contribution à l'indépendance énergétique, contribution à l'économie nationale et locale, etc.).²⁶

La Commission de régulation de l'énergie a publié le 28 février dernier une étude [10] sur les coûts et la rentabilité du grand photovoltaïque (entre 100 kWc et 30 MWc) en France. De cette étude ont pu être tirées les observations suivantes :

²³ https://conseils.xpair.com/actualite_experts/autoconsommation-collective-itinerare-legislatif.htm) coût total d'installation 60k€ pour 28 kWc

²⁴ <https://selectra.info/energie/guides/environnement/rachat-electricite-gaz-edf>

²⁵ https://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_nucl%C3%A9aire_de_Hinkley_Point

²⁶ <http://www.journal-eolien.org/tout-sur-l-eolien/cout-de-production-de-l-electricite-eolienne-terrestre/>

- la réduction des coûts se poursuit à un rythme élevé : les coûts liés aux investissements et à l'exploitation ont ainsi diminué respectivement de 31 et 27 % au cours des trois dernières années ;
- les dépenses en matière d'investissement comptent pour près de 80 % des coûts totaux d'une installation photovoltaïque de grande taille ;
- la moyenne des coûts de production des 30 % de projets photovoltaïques les plus rentables se situe autour de 48 €/MWh – c'est à peu près l'équivalent des coûts observés en Allemagne (valeur de référence moyenne observée dans le cadre de l'appel d'offres de février 2019 de l'ordre de 48 €/MWh) et aux États-Unis (entre 35 € et 40 €/MWh) ;

70 % de l'ensemble des projets sélectionnés dans le cadre de l'appel d'offres « centrales au sol » se trouve actuellement dans quatre régions du sud de la France : Occitanie, Nouvelle-Aquitaine, Rhône-Alpes Auvergne et Provence-Alpes-Côtes d'Azur. Ces régions disposent d'un ensoleillement en moyenne supérieur de l'ordre de 17 % aux autres régions françaises.

3.1.2 Des fluctuations entre les régions

A noter cependant que les coûts des capacités d'échanges énergétiques entre l'éolien et le PV restent inférieurs aux différences de coûts liées aux différences de rendement EnR entre les régions. Par exemple, sur la ligne Auvergne-Centre : 13 TWh sont exportés du Centre vers l'Auvergne, pour une capacité de 5.3 GW, ce qui permet de reconstituer un coût de transport du MWh exporté (sur cette ligne) à 7 €/MWh ; ce coût est inférieur à la différence de LCOE du PV au sol en Auvergne et en Centre (64 €/MWh en Auvergne, 76 €/MW en Centre), ce qui justifie que le PV soit installé en Auvergne plutôt qu'en Centre, avec en plus une interconnexion entre les deux régions.

Du point de vue économique, ceci peut ainsi rentrer en concurrence avec le principe de production locale.

3.2 Les avantages de la charge de VE

3.2.1 délocalisée, comme partiellement la production d'EnR

La production d'EnR est assez décentralisée, un avantage car la charge des véhicules électriques est elle aussi assez décentralisée. Ainsi ces deux technologies peuvent se développer conjointement l'une mettant en valeur les atouts plus contestés de l'autre.

Cela permet également d'étaler sur tout le territoire la production avec la consommation ce qui diminue les pertes liées au transport mais également pourrait diminuer les coûts car moins de distance parcourues par l'électricité (bien que le système de taxes actuel ne semble pas tenir compte de la distance, ne favorisant pas à ce niveau-là, une consommation locale).

Une ombrière en autoconsommation permettrait ainsi de produire de l'énergie puis de charger un véhicule sur le même site de manière transparente, sans surcharger le réseau.

3.2.2 gisement de flexibilité (usage du VE $\Leftrightarrow$ charge, stockage intégré)

Comme présenté en 2.3, la flexibilité est un paramètre très important dont le véhicule électrique sait se vanter. Il peut permettre d'accumuler et stocker l'énergie produite en surplus la nuit (heures creuses) par les centrales nucléaires par exemple, car celles-ci produisent trop d'énergie en heures creuses par rapport à la demande car elles ne peuvent pas s'arrêter ni réduire leur production dynamiquement (phénomène d'empoisonnement du combustible). Les moyens de stockage d'énergie en masse (STEP) étant encore limités en France, une bonne partie de l'énergie produite la nuit est perdue, lorsqu'elle n'est pas revendue à bas prix à nos

pays voisins. Consommer l'électricité la nuit permet donc d'éviter de gâcher l'énergie produite en surplus par les centrales.

Le véhicule électrique peut également servir à stocker les EnR lorsque celles-ci produisent en surplus notamment le PV entre 12h et 14h.

Ensuite, toute cette énergie accumulée, si elle n'est pas consommée, pourra être injectée sur le réseau pour réduire les pics de consommation le matin (8 – 9h) et le soir (19-20h).

3.2.3 potentiel de V2X

C'est là que le concept de V2X entre en jeu.

Lorsque le fonctionnement actuel est de brancher son véhicule permettant à l'électricité de passer « de la prise » au véhicule pour charger la batterie, le V2X permettrait à l'électricité de passer de la batterie vers la prise et donc le réseau et ainsi de servir de générateur. Ce fameux X peut signifier :

- G pour « grid », le réseau
- H pour « home », la maison
- B pour « building », le bâtiment
- V pour « vehicle », une autre voiture
- voire une autre application future...

Plusieurs projets sont en cours testant ce principe aux Pays-bas (à Utrecht, « We drive Solar »), au Portugal (Renault-Nissan), au Japon, aux Etats-Unis etc.

Cet usage, permettant de soulager le réseau, a donc une valeur et pourrait même être rémunérer de 10 à 1200€ par an selon les témoignages. (tout le monde ne semble pas clair/prêt sur le sujet)

3.3 Au moins deux inconnues

3.3.1 La future TIPP²⁷ (étant devenue(incluse dans) la TICPE²⁸)

C'est déclaré, la vente de véhicule thermique serait interdite en France à partir de 2040. La consommation de produits pétroliers parmi gazole, sp95 et sp98 devrait donc diminuer.

Il est ainsi légitime de se poser la question : que va devenir la TICPE, cette taxe sur les produits pétroliers (gazole, sp95, sp98 mais également les hydrocarbures pour le chauffage etc.) ?

Cette taxe représenterait 5% des recettes de l'Etat, soit 17 Milliards d'euros par an.

Il semblerait bien qu'une taxe sur l'électricité soit en discussion à l'heure où ces mots sont écrits...

3.3.2 Le TURPE²⁹ (notamment si la charge est géographiquement proche de la production d'EnR)

Le TURPE s'applique dès que l'on utilise le réseau. Ce taux à une partie fixe et une partie variable en fonction de l'électricité consommée.

Aujourd'hui avec la décentralisation de la production, on pourrait imaginer que ce taux varie en fonction du kilométrage parcouru et ainsi privilégier l'autoconsommation plutôt locale, ce qui permettrait de soulager les lignes les plus contraintes voire de ne pas avoir à faire de raccordements supplémentaires dans certains cas.

²⁷ Taxe Intérieure sur les Produits Pétroliers

²⁸ Taxe Intérieure de consommation sur les Produits énergétiques

²⁹ Taux d'Utilisation du Réseau Public d'Electricité

3.4 Coûts

3.4.1 kWh-électrique : à domicile 0,17€/kWh, lors des charges 0,25€/kWh

Aujourd'hui, dans les configurations actuelles, on peut lire dans de nombreux articles que le coût moyen annuel d'utilisation d'un véhicule électrique est inférieur au coût d'utilisation d'un véhicule thermique.

En effet, vous trouverez dans ce tableau le calcul pour 10 000km/an du coût d'un VE vs VT :

Véhicule électrique		Véhicule thermique
200 Wh/km		6L/100km
2000kWh		600 litres
Recharge à domicile : 0,15€/kWh	Recharge publique : 0,25€/kWh	1,5€/litre
300€	500€	900€

A noter qu'il faut ajouter dans le prix de la recharge publique, le coût de l'abonnement ou des abonnements.

Également, le gain d'entretien + assurance du véhicule électrique est estimé à 1 600€/an par rapport à un véhicule thermique [11](page 29, tableau 19 et 40).

- Estimation du coût de déploiement de bornes

Afin d'augmenter la flexibilité, le véhicule électrique doit être branchée le plus souvent possible. Afin de réduire la puissance demandée sur le réseau dont la grandeur nous semble non négligeable, nous allons calculer le coût d'un scénario de déploiement de prises de 3kW. En effet, un français moyen parcourt 30 à 50km par jour. Ainsi, avec une consommation de 200Wh/km, je rechargerai un véhicule en 2 ou 3 heures. Scénario pour 15 millions de véhicules.

Les valeurs calculées ci-après sont sans subvention ADVENIR (réductions coûts d'installation) ni CITE (30%).

- Prix d'une prise connectée³⁰ : 20€

Amélioration V2G + sécurité : 100€

Hardware autre (borne parcmètre ?, qui permettrait de gérer le flux électrique des prises sur chaque place de stationnement) : 100€

Installation : 300€ ?

Pas de raccordement nécessaire

Total : 500€

500 * 15 M de prises = 7,5 Milliards d'€

Prise renforcée Legrand 3kW + installation à domicile proxiserve³¹ = 330€

330 * 15 M = 5 Milliards €

Le chargeur permettant de charger un véhicule électrique (type ZOE) sur une prise domestique coûte 590 € TTC³². Mais si cela devient la norme, cela devrait être inclut dans le prix du véhicule.

³⁰ https://www.manomano.fr/p/prise-wifi-8822259?categorySlug=programmeur&product_id=9124152

³¹ <https://www.proxiserve.fr/moninstallateurdeborne/prise-renforcee-green-up-access-3-kw.html>

³² <http://www.avem.fr/actualite-la-renault-zoe-desormais-rechargeable-sur-prise-domestique-avec-le-flexi-charger-4801.html>

- 2^{ème} scénario avec des bornes de 22kW :

EVlink box (22kW) + installation à domicile³³ = 2100€

On estime que la recharge étant 7 fois plus rapide, nous n'avons pas besoin d'une prise pour chaque véhicule, bien que cela diminue potentiellement la flexibilité disponible pour le réseau.
Soit $2100 * 10 \text{ M} = 21 \text{ Milliards } \text{€}$

- Je pense qu'on peut facilement estimer 30 Milliards d'euros pour 1 Millions de bornes rapides 120kW. (les données, notamment de raccordement de ces bornes de hautes puissances sont difficiles à recueillir)
- A titre d'information, concernant l'installation chez un particulier, Renault ® annonce les prix suivants :
 - prise Green'Up Access (3,2kVA) incluse dans le prix de Renault ZOE, hors pose
 - Wallbox intérieure 3 KW à 490 € TTC, de marque Schneider Electric, hors pose
 - Wallbox intérieure 7 KW à 690 € TTC, de marque Schneider Electric, hors pose
 - Wallbox extérieure 3 KW ou 7 KW à 690 € TTC, de marque Hager, hors pose.

Concernant l'installation, Renault a conclu un accord avec la société Proxiserve et annonce un tarif débutant à partir de 300 € selon la configuration du domicile et l'installation électrique du client.

3.4.2 kWh-thermique : 1,5€/10kWh dont TIPP

64% de la consommation électrique d'un foyer est destinée au chauffage. En effet, un ménage de 4 personnes dans une maison de 100m² consomme 10 000kWh/an³⁴ (sur un total de 15 600kWh/an).

Cela représente un coût de 1 500€/an uniquement pour le chauffage.

Lorsque 37% des français se chauffe à l'électricité³⁵ (soit 24,8 millions de français), et si la surface moyenne d'un français³⁶ est de 91m², on peut estimer une consommation électrique uniquement pour le chauffage d'environ 93 TWh.

Ainsi, produire de l'électricité à partir de sources renouvelables dont les panneaux photovoltaïques, c'est bien mais ne s'avère peut-être pas suffisant si l'on veut réduire notre consommation d'électricité de manière nationale. Outre les mesures d'isolation (entre autres) faites pour améliorer les consommations mais également diminuer la pollution dans le secteur du bâtiment, il existe de meilleure méthode de production de chaleur, plus efficaces. On peut citer la cogénération mais également, toujours dans le renouvelable, le solaire thermique. Celui-ci, bien plus efficace que le solaire photovoltaïque (rendement aux alentours de 80%, contre 5 à 24% pour le PV selon la technologie sur le marché du particulier) permet de subvenir largement aux besoins d'une famille en eau chaude et chauffage (si radiateur à eau).

³³ <https://www.proxiserve.fr/moninstallateurdeborne/borne-de-recharge-schneider-evlink-wallbox-3-a-22-kw-m3t2s-m2te.html>

³⁴ <https://selectra.info/energie/guides/conso/consommation-moyenne-electricite/maison>

³⁵ https://immobilier.lefigaro.fr/article/les-francais-et-le-chauffage-ces-cinq-chiffres-a-retenir_a1df9d1a-d3e2-11e6-89bf-777adb27c0b/

³⁶ <https://www.20minutes.fr/societe/1596367-20150428-cinq-choses-savoir-conditions-logement-francais>

4. Stockage ou autres alternatives

Afin que la production d'énergie renouvelables intermittentes (type éolien ou PV) soit compétitive globalement face aux énergies plus permanentes, les coûts du stockage doivent diminuer et de nouvelles technologies émergent.

En effet, le coût de stockage pour une batterie Lithium en seconde vie est d'environ 1000€/kWh, soit 40 000€ pour 40kWh, un coût encore bien trop important (mieux vaut acheter une ZOE).

Cependant, le coût des batteries a baissé de 60 % en quelques années seulement, et les prévisions semblent annoncer qu'il continuera dans cette lancée (divisé par deux d'ici 2025)³⁷. Sur le marché allemand, mais aussi en Suisse, en Autriche, aux Pays-Bas, en Italie, ..., les prix de vente de l'électricité par le réseau sont suffisamment élevés pour qu'un stockage d'électricité domestique soit rentable.

D'autres technologies voient le jour également dont le Power-to-X³⁸.

L'Ademe qualifie de « Power to X » (ou « P2X ») la transformation d'électricité en un autre vecteur énergétique. Ce vecteur « X » peut être de la chaleur (dans le cas du « Power to Heat ») qui satisfait par exemple des besoins industriels ou alimente des réseaux de chaleur. Il peut également être un gaz de synthèse (« Power to Gas ») : de l'hydrogène, pour des usages de mobilité, ou du méthane (après méthanation) qui peut lui-même être injecté dans le réseau gazier pour des besoins industriels, de chauffage ou de mobilité.

5. Résumé des recommandations

5.1 De très nombreuses prises (pilotables, bidirectionnelles), partout

Au terme de ces 6 mois de réflexion, de recherche d'informations, d'écoute et de partage avec les différents acteurs mais aussi des usagers, il semblerait que du point de vue technique, économique et sociétal, un accès pour tous à une prise « simple » (de type E, domestique) semble une bonne initiative et présente déjà de nombreux atouts (grande flexibilité, recharge accessible partout³⁹, coût faible, etc.).

Quant aux axes autoroutiers, afin de garder un flux assez actif, des bornes de haute puissance permettant de recharger au maximum en une heure un véhicule semble être une bonne solution aujourd'hui.

L'inconnu sur la puissance réellement nécessaire lors de gros flux autoroutiers (départ en vacances par exemple) nous laisse penser qu'un nouveau système de départ doit être mis en place et qui permettrait de diluer le flux de voyageurs et ainsi la puissance nécessaire avec des incitations pour les usagers.

5.2 Une vigilance sur les bornes

Nous tenons à focaliser également une certaine vigilance au sujet des bornes. Les interviews que nous avons effectués avec des usagers mais également au travers des différentes enquêtes que nous avons lues, le sujet des bornes est le sujet qui fâche.

³⁷ https://www.bloomberg.com/amp/opinion/articles/2019-04-12/electric-vehicle-battery-shrinks-and-so-does-the-total-cost?__twitter_impression=true

³⁸ <https://www.connaissancedesenergies.org/power-x-une-piste-pour-reduire-les-emissions-de-co2-171010>

³⁹ Nous avons noté de nombreuses plaintes quant à la sensation de manque de bornes de la part des usagers

« Manque d'interopérabilité », « elles sont souvent en panne », « on passe vingt minutes à trouver la borne », etc.⁴⁰

Si le déploiement du véhicule électrique doit se faire massivement, il faut que les bornes soient fiables. Or, aujourd'hui, cela ne semble pas être le cas. Bien qu'il y ait des sites du type Chargemap⁴¹ qui répertorie les bornes, les usagers peuvent parfois tomber sur de mauvaises surprises (i.e borne en panne). Même cette article⁴², faisant les louanges de Chargemap, nous laisse penser qu'ils sont dépassés par les événements tant le nombre de problèmes relatifs aux bornes semble être important.

Seuls les utilisateurs de Tesla®, se chargeant sur les « Superchargeurs » de la marque ne semble pas avoir de problèmes.

Un gros travail de vérification et de suivi semble être nécessaire à ce sujet si l'on ne souhaite pas rebuter dès le départ les jeunes « adopters » du véhicule électrique.

5.3 Un coût du kWh de charge dégressif avec la flexibilité (tous les réseaux en profitent)

La flexibilité est un facteur non négligeable lorsque l'on parle véhicules électriques à grande échelle. Comme décrit précédemment, de grands services peuvent être rendus à tous les réseaux et tous les acteurs pour qu'au final, tout le monde soit gagnant. C'est pourquoi un tarif dégressif pourrait être instaurer en fonction du degré de flexibilité de l'utilisateur se rechargeant, permettant de faire des économies à tous.

5.4 Changement de comportement ? Autopartage à grande échelle ?

L'ANSES⁴³, dans son rapport 2019 [12], a étudié l'impact des technologies et de la composition du parc de véhicules automobiles circulant en France sur la pollution atmosphérique. Malgré les progrès technologiques réalisés et réalisables, nous avons atteint un niveau de confort que l'environnement ne serait supporter (ni nos poumons). Voici un extrait du résumé de ce rapport :

« Ainsi, en complément des évolutions technologiques des véhicules, l'Anses insiste sur la nécessité de promouvoir des technologies alternatives réduisant drastiquement l'émission de polluants (dont l'électromobilité) et surtout la réduction du trafic, dans le cadre de politiques relatives à l'air. La réduction du trafic peut, entre autres, être encouragée par le renforcement des transports en communs, de l'intermodalité (différents moyens de transports lors d'un même trajet tels que l'automobile, transports en commun, modes de transport actifs, ...) et de modes actifs de transport (marche à pied, vélo, ...). »

ANSES, «Impact sur la pollution atmosphérique des technologies et de la composition du parc de véhicules automobiles circulant en France », page 192

⁴⁰ Plus de détails en Partie 2

⁴¹ <https://fr.chargemap.com/>

⁴² <https://www.automobile-propre.com/chargemap-face-cachee-iceberg/>

⁴³ Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

II. Partie 2 : retour sur l'enquête et les interviews usagers V.E

1. Enquête « Mobilité&Energie »

Durant nos recherches et veilles, nous avons trouvé plusieurs enquêtes sur les déplacements et sur le véhicule électrique en France comme dans certaines régions particulièrement. Nous avons décidé de réaliser une enquête numérique en ligne afin de répondre à trois objectifs : cerner les déplacements de la population, mesurer le degré de connaissances sur les véhicules électriques, et mesurer leur souhait d'envisager le véhicule électrique.

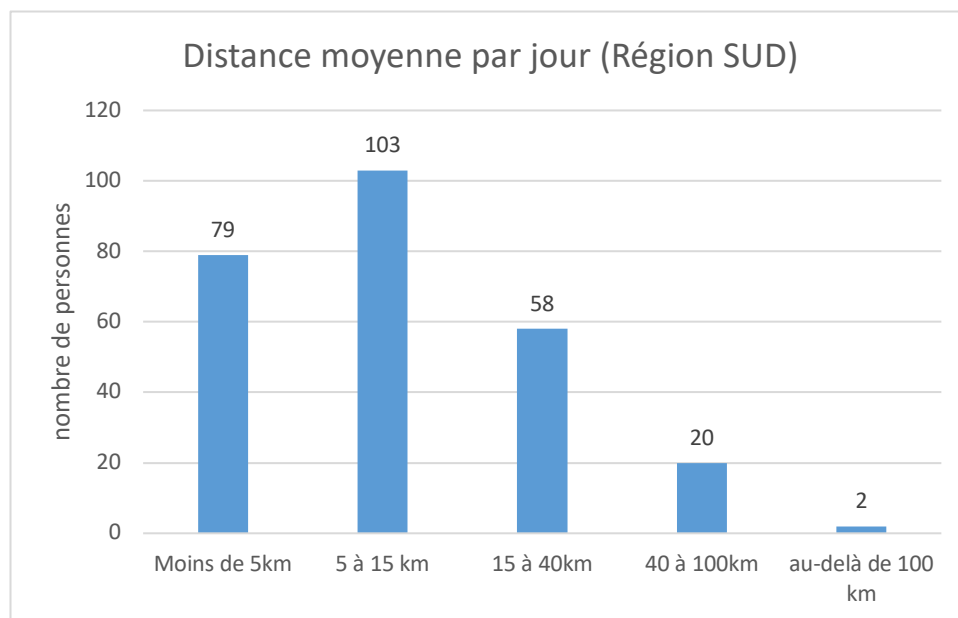
Notre questionnaire a été réalisé à partir de l'outil « google form » et les questions furent réfléchies avec une supervision technique, économique et sociale de la part des trois académiciens.

L'enquête s'adresse à tous publics, de tout âge, de toute région, et principalement aux individus non possesseurs de véhicules électriques. Elle fut partagée via le réseau Polytech, le réseau de CAPENERGIES en interne, au sein du réseau de la région SUD via le service transition énergétique, les réseaux sociaux (Facebook, LinkedIn), enfin via les contacts personnels de chaque membre de l'équipe de l'étude. Elle comporte au 28 juillet 2019, 457 réponses.

D'après une étude réalisée par IPSOS, 80% des français font moins de 50km par jour en moyenne [1].

Selon notre enquête Mobilité&Energie, 84,6% de nos sondées font moins de 40km par jour. Nous estimons ainsi que notre population sondée semble assez représentative.

Voici quelques tendances intéressantes du sondage :



Parmi notre enquête, 242 sondés résident dans le département des Bouches-du-Rhône. Ainsi 91% de ces personnes effectuent moins de 40km par jour sur un trajet Domicile-Travail/Etudes.

57% de ces sondés sont des étudiants.

Premières conclusions de l'étude :

- La population sondée ne semble pas avoir une connaissance importante du véhicule électrique, notamment sur la situation mondiale du VE. Certains commentaires affirment même que le citoyen n'est pas assez informé.
- La population sondée effectue en moyenne 40 km par jour. Le véhicule thermique reste le moyen de transport le plus utilisé tous motifs de déplacement confondus.
- Tous motifs confondus, les sondées se sentent prêts à bouger électrique.
- La pollution liée au véhicule électrique et à la batterie interroge fortement les sondées.
- Le podium des freins quant à l'acquisition d'un véhicule électrique est dans l'ordre : l'impact environnemental de la batterie, puis le prix d'achat puis l'accessibilité des bornes.
- Les sondées s'intéressent tout de même au V.E

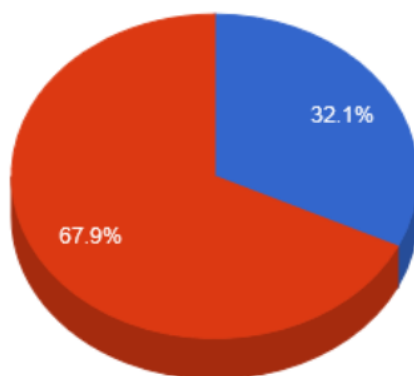
2. Interviews usagers V.E

En parallèle de notre enquête, nous avons décidé de recueillir des avis directs d'usagers de véhicules électriques. Nous avons ainsi interrogé un conducteur de bus électrique RTM, une utilisatrice des camionnettes électriques de la poste ainsi que quatre chercheurs du CINaM. Enfin nous pouvons croiser les ressentis de ces usagers avec les enquêtes réalisées par Bourgogne Franche Comté Mobilité Electrique⁴⁴ et Club Alsace VE⁴⁵ (avec ChargeMap). Voici les constats principaux que nous pouvons tirer :

Un usager interviewé : « Les bornes ne fonctionnent pas, il semblerait que cela dépende du lieu car sur deux bornes que j'ai testées d'un même opérateur situées à deux endroits différents, l'une fonctionne et l'autre non. »

14) Les bornes de recharges publiques vous donnent-elles satisfaction ?

● Oui
● Non



Source : bfcme

Le résultat de cette question posée lors de l'enquête de Bourgogne-Franche-Comté Mobilité Electrique vient appuyer les retours que nous avons eu auprès des personnes que nous avons interviewées en région SUD. A noter que sur l'enquête du bfcme, seul 20% des sondés résident en Bourgogne-Franche-Comté.

⁴⁴ <http://www.bfcme-asso.fr/Article?news=174&id=532>, 2019

⁴⁵ <https://www.automobile-propre.com/enquete-recharge-voitures-electriques-les-resultats/>, 2014

Les principales raisons sont les suivantes :

- souvent en panne
- trop de cartes/badges différent(e)s
- pas assez de bornes
- place de stationnement occupée par des voitures thermiques

On retrouve souvent l'idée qu'il est « impossible de payer par carte bancaire comme à la pompe, ou même avec une application smartphone ».

84,4% des sondés de l'enquête bfcme souhaiteraient pouvoir payer en carte bancaire ou via smartphone.

Également, 45 % des sondés bfcme se charge sur une prise « classique » à la maison. La quasi-totalité des charges se font à la maison.

La fin de cette étude LRE2EV sera établie par l'organisation d'un débat/restitution prévu fin 2019.

Bibliographie

- [1] F. V. & A. Tetaz, «Le baromètre de la mobilité électrique, Vague 4,» IPSOS Public Affairs, Septembre 2018.
- [2] ACEA, «ACEA Report Vehicles in use Europe 2018,» 2018 .
- [3] RTE, «Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique,» mai 2019.
- [4] RTE , «Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France,» Edition 2017.
- [5] RTE, «Panorama de l'électricité renouvelable au 31 mars 2019,» 2019.
- [6] ORECA Provence-Alpes-Côte d'Azur, «ORECA Edition 2018,» 2018.
- [7] ADEME, «Un mix électrique 100% renouvelable ? Analyses et optimisations,» 2015.
- [8] RTE, «Bilan électrique 2018,» 2018.
- [9] Négawatt, «Vers un système énergétique "100% renouvelable",» 2012.
- [10] CRE, «Coûts et rentabilités du grand photovoltaïque en métropole continentale,» février 2019.
- [11] THEMA, «Analyse coûts bénéfiques des véhicules électriques,» juillet 2017.
- [12] ANSES, «Particules de l'air ambiant extérieur,» juillet 2019.
- [13] V. Viswanathan, «Performance Metrics Required of Next-Generation Batteries to Make a Practical Electric Semi Truck,» ACS Energy Letters, Carnegie Mellon University, June 2017, DOI : 10.1021.
- [14] ADEME, «Elaboration selon les principes des ACV des bilans énergétiques, des émissions de gaz à effet de serres et des autres impacts environnementaux induits par l'ensemble des filières de véhicules électriques et des véhicules thermiques, VP de segment B (citadine polyvalente) et VUL à l'horizon 2012 et 2020», 2013
- [15] Carbone 4, «Le véhicule électrique dans la transition écologique en France», 2017
- [16] Guillaume Albasini, «Lithium, cobalt et nickel : les métaux de la transition énergétique», 10th multi-year expert meeting on commodities and development, 25-26 April 2018, Geneva
- [17] Ecole des ponts ParisTech et RENAULT «MOOC : Mobilités et véhicules électriques», chapitre 2, automne 2017
- [18] EASE, «Energy storage : a key enabler for the decarbonisation of the transport sector», février 2019
- [19] Linda Ager-Wick Ellingsen & al, «The size and range effect : lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles», IOP Publishing, NUST, Norway, 6 mai 2016, DOI : 10.1088
- [20] CETE, «Enquête globale de déplacements des Bouches-Du-Rhône 2017//2010», 2011
- [21] Artelys, «Etude sur le potentiel du stockage d'énergies», 2013
- [22] JRC, «Smart grid projects outlook 2017», 2017
- [23] Commissariat général du développement durable, «La Revue du CGDD, La mobilité des français», 2010
- [24] AGAM, «Résultats de l'enquête Ménage-Déplacement 2009», 2010
- [25] Kantar TNS, «Parc Auto 2018 -b Volume général», 1^{er} janvier 2018

Les sites suivants ont été reconsulté le 29/08/2019 :

<http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/part-enr-a9916.html>
<https://cigale.atmosud.org/visualisation.php#>
<http://oreca.maregionsud.fr/production-denergie-regionale/donnees-locales.html#.XSdAvnHgpPY>
<http://oreca.maregionsud.fr/consommation-energetique-regionale.html#.XSdaFXHgpPY>
http://www.avere-france.org/Site/Article/?article_id=7421
http://www.avere-france.org/Site/Article/?article_id=6917&from_espace_adherent=0
<https://www.lesechos.fr/2014/08/la-chute-du-prix-des-batteries-relance-les-chances-de-la-voiture-electrique-308060>
<https://www.automobile-propre.com/chargemap-face-cachee-iceberg/>
<https://ecolozen.com/fr/astuces/consommer-l-electricite-la-nuit/>
<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?oldid=80985>

ANNEXE : Qu'est-ce qu'on appelle « véhicule électrique » ? ⁴⁶

Le terme « véhicule électrique » est de plus en plus utilisé et entendu aujourd'hui, mais que signifie-t-il ?

En réalité, ce terme, qui désigne l'ensemble des véhicules dont la propulsion se fait tout ou partie grâce à un moteur électrique, renvoie à plusieurs technologies. Elles se différencient principalement par leur niveau d'autonomie et leur taux de rejet de CO₂.

Tout d'abord, il y a le véhicule hybride. On classe les véhicules hybrides en fonction de l'importance de la partie électrique et de la façon dont elle est combinée avec le moteur thermique.

- *Le mild hybrid*

Niveau d'hybridation minimal dans lequel, sauf à l'arrêt, le moteur thermique tourne en permanence. Le moteur électrique récupère l'énergie cinétique (pendant un freinage ou une descente) et recharge la batterie. C'est un stop and start aux fonctionnalités élargies.

- *Le full hybrid*

Hybridation complète, dans laquelle la voiture peut être entraînée par chaque moteur séparément ou par les deux moteurs ensemble. Une gestion de la transmission complexe permet toutes les combinaisons. Le pourcentage d'utilisation du moteur électrique dépend de la capacité de la batterie, dont la charge a lieu en roulage, par le moteur thermique, ainsi que lors des ralentissements, par la récupération de l'énergie cinétique.

- L'hybride rechargeable, que l'on peut catégoriser en véhicule électrique.

On distingue actuellement trois types de voitures électriques sur le marché :

- les voitures hybrides rechargeables (en anglais PHEV pour Plug-in Hybrid Electric Vehicle). Elles sont propulsées sur route par un moteur thermique (principalement à essence), auquel elles substituent, pour la circulation en ville (en dessous d'une certaine vitesse), un moteur électrique. Celui-ci est alimenté par des batteries rechargeables en route par l'alternateur couplé au moteur thermique et/ou à l'arrêt sur le secteur ;
- les voitures à prolongateur d'autonomie (EREV pour Extended Range Electric Vehicle). La propulsion du véhicule se fait par un moteur électrique alimenté par des batteries de grande capacité maintenues chargées par un petit bloc alternateur/moteur thermique. Celui-ci, grâce à un régime stabilisé autour de sa vitesse de rotation optimale (1 500 tr/mn), permet des consommations sur route inférieures à 2 litres d'essence (ou diesel) aux 100 kilomètres et de grandes autonomies ;
- les voitures tout-électrique (BEV pour Battery Electric Vehicle) à batterie et moteur électriques. Leur batterie à grande capacité doit être rechargée à l'arrêt sur prise fixe.

Par ailleurs, les voitures équipées de piles à hydrogène sont également souvent qualifiées de véhicules électriques. Elles fonctionnent bien en électrique mais l'électricité est produite

⁴⁶ https://fr.wikipedia.org/wiki/Automobile_hybride_%C3%A9lectrique

directement à bord grâce à la Pile à Combustible utilisant comme vecteur énergétique de l'hydrogène.

(<https://www.vie-publique.fr/actualite/dossier/rub2133/voiture-electrique-encore-peine.html>)

ANNEXE : Segmentation du marché automobile

Rapport : fiche_pedagogique_les_emissions_de_co2_du_vehicule_electrique

La segmentation du marché automobile

En Europe, les segments du marché automobile sont identifiés par des lettres.

On distingue alors les segments :

- B0 des micro-urbaines comme la Smart
- A ou B1 des urbaines ou petites citadines comme la Renault Twingo ou la Toyota Aygo
- B ou B2 des citadines/polyvalentes comme la Peugeot 208 ou la Renault ZOE et des monospaces citadins comme la Fiat 500L
- C des compactes comme l'Audi A3 ou la Nissan LEAF. Ce segment comprend aussi les monospaces compacts comme le Volkswagen Touran
- D des berlines familiales comme l'Alfa Romeo Giulia ou la Volvo S60
- E des familiales intermédiaires comme l'Opel Insignia ou la Tesla Model 3
- F et F-Luxe comme la Mercedes Classe S ou la Lexus LS
- Monospaces comme le Renault Espace
- SUV comme le Jeep Cherokee, les SUV étant répartis en 5 classes de taille
- Pick-up comme le Dodge Dakota
- Sportive comme la Nissan GTR.

Average CO₂ emissions by market and segment (Volume weighted) Europe-23

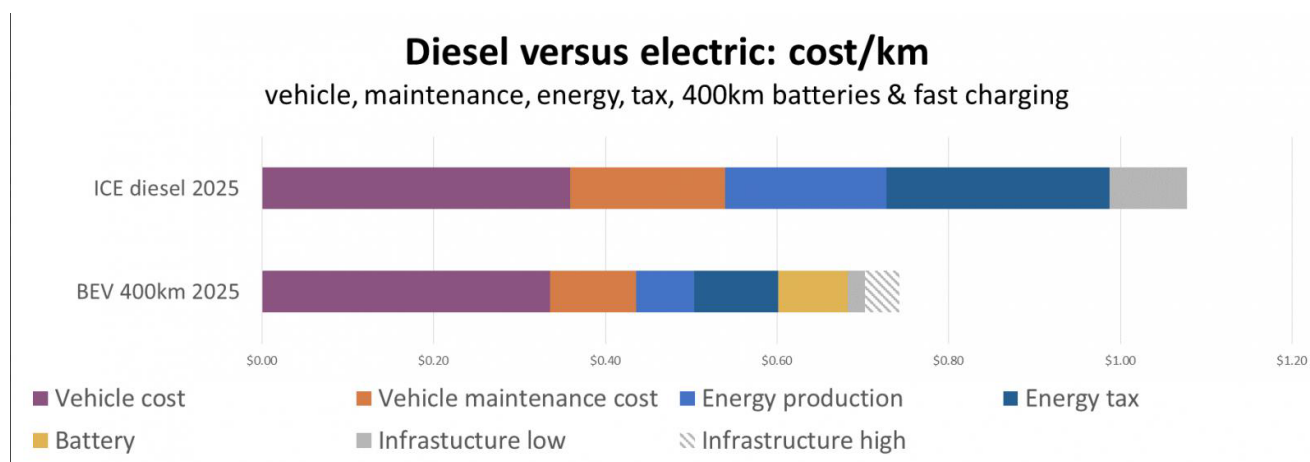


Segment	Av. CO ₂ 2017 (g/km)	Av. CO ₂ 2016 (g/km)	Δ (g/km)
A (City-cars)	103.7	104.0	-0.3
B (Subcompacts)	105.0	105.9	-0.9
C (Compacts)	110.8	110.5	+0.3
D (Midsize)	120.1	117.9	+2.2
E1 (Executive)	122.5	126.1	-3.6
E2 (Luxury)	160.6	169.7	-9.1
Mini-MPV	120.9	119.9	+1.0
Medium/Large MPV	133.0	130.8	+2.2
SUV	133.0	134.9	-1.9
Sports	153.0	153.0	0.0

Market	Av. CO ₂ 2017 (g/km)	Av. CO ₂ 2016 (g/km)	Δ (g/km)
1 Norway	83.6	93.7	-10.1
2 Portugal	104.2	104.5	-0.3
3 Denmark	108.0	106.8	+1.1
4 Greece	108.6	105.7	+2.8
5 Netherlands	109.0	105.7	+3.4
6 France	110.7	110.2	+0.5
7 Ireland	111.8	112.1	-0.2
8 Croatia	112.0	111.1	+0.9
9 Italy	112.5	112.5	0.0
10 Spain	114.9	114.1	+0.8
11 Belgium	115.4	115.7	-0.3
12 Slovenia	118.4	117.9	+0.5
13 Romania	118.8	120.7	-1.9
14 Finland	119.0	121.1	-2.1
15 Austria	120.3	120.1	+0.3
16 Great Britain	120.8	119.9	+0.9
17 Sweden	121.6	122.9	-1.3
18 Hungary	124.2	124.7	-0.5
19 Czech Republic	124.8	123.0	+1.8
20 Slovakia	125.3	124.4	+0.9
21 Germany	126.2	125.6	+0.5
22 Poland	126.4	126.3	+0.0
23 Switzerland	133.2	132.8	+0.4
Total	118.1	117.8	+0.3

ANNEXE : CAMION : V.E vs. VT [13]

De nombreux constructeurs ont annoncé des camions électriques (Mercedes, Tesla, MAN, Volvo trucks, Nikola) pouvant aller jusqu'à 800km d'autonomie. Transport&Environnement a ainsi étudié l'impact de camions électriques (16t) par rapport aux camions thermiques.



Le graphique nous montre que pour un camion électrique à batteries de 400km, le coût par km est inférieur de 0.3\$ soit 0.26€ (11 juillet 2019, boursorama). Pour 400km, cela représente donc une économie de 104€.

Table 1: Annual road freight transport, by distance class, in 2016 Distance travelled VKM= km-véhicule

	Year 2016 (VKM)	% of total VKM
Less than 50 km	11,193	8%
From 50 to 149 km	26,519	18%
From 150 to 299 km	32,867	22%
From 300 to 499 km	25,626	17%
From 500 to 999 km	28,830	19%
From 1 000 to 1 999 km	17,614	12%
From 2 000 to 5 999 km	5,312	4%
6 000 km or over	35	0%

En conclusion, un camion électrique à batteries avec une autonomie de 300km pourrait couvrir 48% des trajets. Si nous considérons une autonomie de 500km, 65% des trajets seraient électriques.

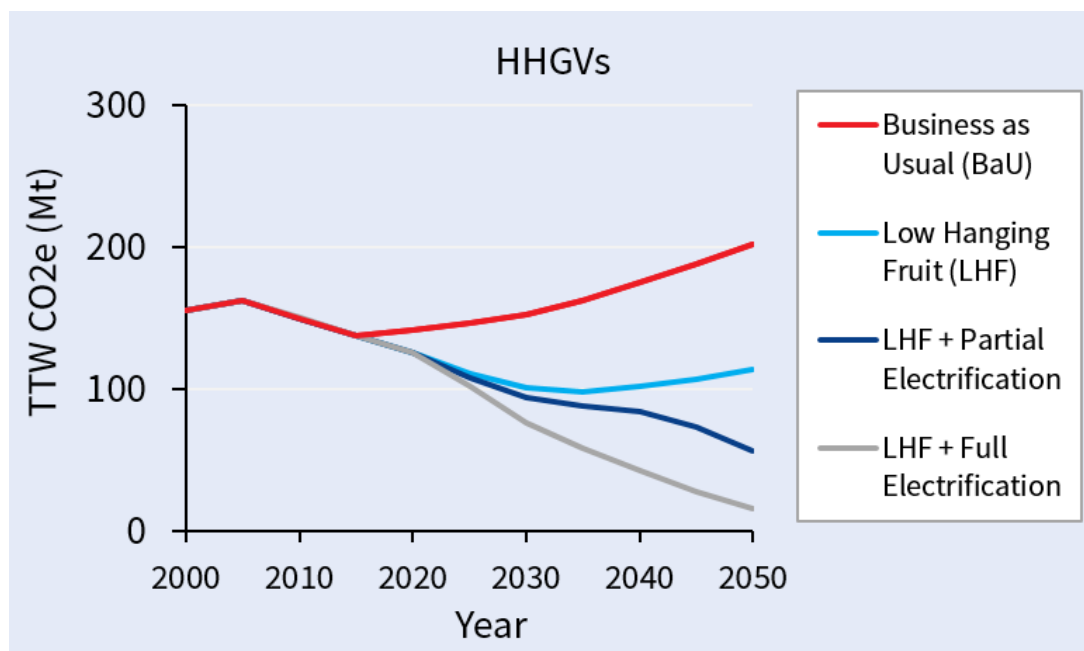
Les données Eurostat ci-dessus couvrent aussi les camions d'une capacité inférieure à 16t et les fourgons, ainsi tous les trajets compris ci-dessus ne sont pas uniquement effectués par des camions de 16t.

Il a été considéré que plusieurs véhicules agiraient avec flexibilité. Pour cette raison, le potentiel d'électrification pourrait couvrir 40% des trajets d'ici 2035.

Le pourcentage du nombre de véhicules calculé pouvant répondre à ces résultats serait de 1% des nouvelles ventes en 2020, soit 3500 unités. (données EUTRM)

Table 2: new shares of electric HHGVs between 2020 and 2050, including vkm covered

	2015	2020	2025	2030	2035	2050
Sales of new vehicles	0.0%	1.0%	20.0%	40.0%	60.0%	100%
Travel activity (% VKM)	0.0%	0.3%	6.7%	21.0%	38.2%	85.5%



New additional renewable electricity would be needed to run the system. New Battery electric HHGVs, in combination or not with catenary lines, would require approximately 0.23×10^6 GWh of additional renewable electricity in 2050, or approximately 25% of 2015 renewable production.

Les capacités des batteries pourraient ne pas être aussi grande que 700 kWh si des caténaires sont développées sur les autoroutes.

Questions : Norme de longueur camion europe vs. Amérique du Nord (USA, tesla) ?

Quel poids cela ferait ? (22kWh batterie ZOE = 290 kg, donc 1 000 kWh d'un camion → 13 t ?) Poids restant transportable disponible ?

Je renvoie les lecteurs intéressés à l'article scientifique [13] qui présente en quoi la prochaine génération de batterie Lithium pourra aider au déploiement du FRET électrique. Cette étude est réalisée pour les Etats-Unis, des contraintes différentes peuvent se poser en Europe en fonction de la législation.

ANNEXE : Etude des ressources Cobalt, Lithium, Terres rares, Silicium

Réserves mondiales connues de Lithium estimées à 15 millions de tonnes. (ces chiffres ne tiennent pas compte des 0,17g/m³ de Lithium présent dans la mer, soit environ 240 000 milliards de tonnes)

Consommation mondiale entre 250 et 300 000 tonnes par an.

Cela devrait monter à 1 million de tonnes d'ici 8 ans.

<http://carfree.fr/parc-automobile-mondial-temps-reel.html>

1.9 Mds de véhicules dans le monde (voitures particulières et utilitaires)

3 M véhicules électriques dans le monde (2019) → négligeable

Lithium :

37% de la conso mondiale uniquement pour batteries

Conso mondiale (2017) 33 kt

Réserves selon USGS en 2017 : 14 Mt Li soit 400 ans au rythme de 2016

1Mt de réserves seraient en France métropolitaine

Pour 1kWh de capacité de stockage de batterie, il faut 113 grammes de Lithium.

113×40 (ZOE) = 4,4 kg de lithium dans 1 batterie de 40 kWh

$15 \times 10^9 \times 0.37 \times 4.4 = 1.3$ Mds de ZOE, si on utilise toutes les réserves de Lithium uniquement pour les véhicules électriques.

<https://www.lelementarium.fr/element-fiche/lithium/>

<https://www.automobile-propre.com/le-lithium-pour-les-nuls/>

<https://www.green-innovation.fr/2018/12/13/nouveau-procede-pour-extraire-le-lithium-de-leau-de-mer/>

Des recherches visent à extraire le lithium de l'eau de mer, de manière plus écologique tout en dessalant l'eau de mer. Des progrès sont à venir donc...

Cobalt :

50% de la consommation est pour les batteries

Consommation mondiale 2016 : 93 kt

Réserves estimées en 2017 : 10 Mt

Recyclage : 68%

5,5 kg de Cobalt dans une batterie de 40kWh (Tesla model 3, 4.5 kg) (<https://www.automobile-propre.com/voiture-electrique-la-question-du-cobalt-au-coeur-dun-rapport-europeen/>)

5Mt « destinés » aux batteries

50 kt pour les batteries

$5\,000\,000\,000 / 4.5 = 1.1$ Mds de véhicules (Tesla Model 3) productibles.. Pas assez pour remplacer tout le parc mondial de 1.9 Mds

<https://www.lelementarium.fr/element-fiche/cobalt/>

Exemple : Tesla et le Cobalt

De son tout premier roadster en 2008 à la Model 3 dix ans plus tard, Tesla a réduit de 59% la masse de cobalt par véhicule, a calculé l'expert des métaux pour batteries lithium-ion Benchmark Minerals. La première Model S, en 2013, contenait 11 kg de cobalt. À batterie équivalente, la Model 3 n'en inclut plus que 4,5 kg. "Nous pensons pouvoir réduire la part de cobalt à près de zéro", précisait Elon Musk, le 3 mai.

Bonne nouvelle pour les producteurs de véhicules électriques, cette rare confiance du fondateur de Tesla sur la composition de ses batteries pourrait suffire à calmer l'envolée des prix du métal critique, qui ont battu un record décennal en passant les 90 000 dollars la tonne. Fidèle à son partenaire Panasonic, Tesla s'en tient à son choix technologique de batteries NCA (nickel-cobalt-aluminium) plutôt que NCM (nickel-cobalt-manganèse), qui conserveraient pourtant 70% du marché d'ici à 2026, selon Benchmark Minerals. La batterie NCA a également été adoptée par Toyota, qui produit avec Panasonic des accumulateurs prismatiques, moins coûteux à assembler que les cellules cylindriques de Tesla.

Plus gourmandes en cobalt que les NCA, les NCM réduisent peu à peu leur part de cobalt d'un tiers à un dixième. Est-ce la fin du cobalt ? Non, répond sans hésitation Benchmark Minerals, qui rappelle que la croissance du marché des batteries lithium-ion va largement effacer leur plus grande sobriété en cobalt par unité.

(<https://www.usinenouvelle.com/article/tesla-se-sevre-peu-a-peu-du-cobalt.N692844>)

TERRES RARES

(<https://www.lelementarium.fr/product/terres-rares/>)

<https://www.auto-moto.com/green/de-lelectricite-lair-153725.html> (Bon résumé ACV !! VE vs VT)

ACV panneaux PV

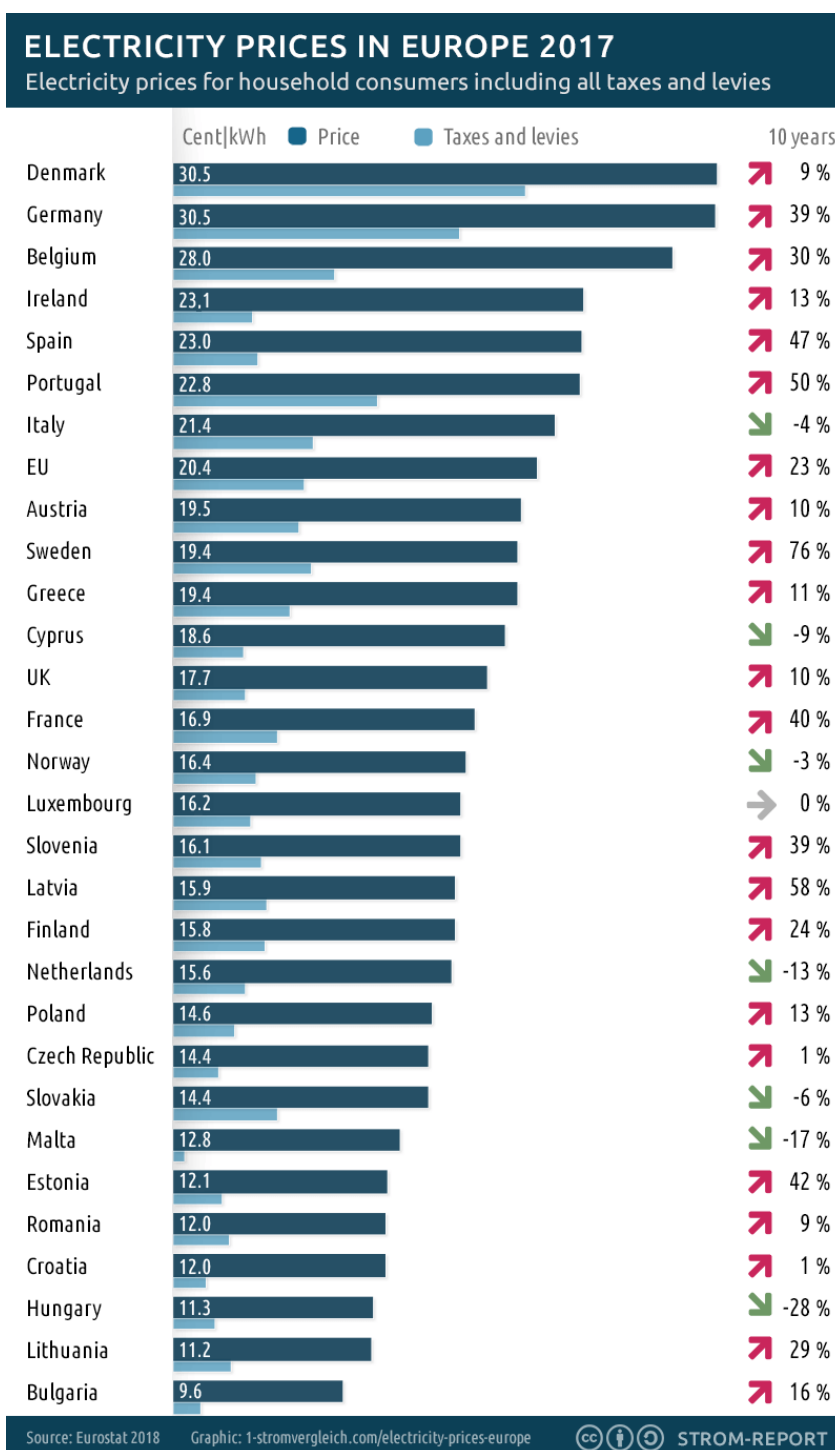
L'IEA (International Energy Agency) a publié, en octobre 2011, un rapport ACV des systèmes photovoltaïques.

Elle annonce 1.5 kg de silicium dans la cellule même. Puis, il y a le silicium contenu dans le verre. Un panneau de 210Wc contiendrait 16.1kg de verre. Le verre est composé de 60 à 80% de silice, dont 50% d'oxygène et 50% de silicium. Il y a ainsi 5 à 6.5kg de silicium dans le verre.

Au total donc, on peut estimer pour 1kWc (6 m²), 40 kg de silicium.

Cela ne représente cependant aucun problème de ressources puisque la croûte terrestre est composée de 10% de silice, c'est ainsi un des composants les plus abondants de la planète. De plus, les cellules sont recyclables.

ANNEXE : Prix de l'électricité et part des taxes, en Europe, Allemagne et en France



<https://1-stromvergleich.com/download/electricity-prices-europe-2017/>

<https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

En France :

<https://www.jechange.fr/energie/electricite/guides/prix-electricite-kwh-2435>

Pour faire simple, le prix de l'électricité est composé en trois grandes masses :

- la fourniture : il s'agit de la production et de l'achat de l'électricité par les fournisseurs d'énergie ;
 - les coûts d'acheminement : il s'agit du transport sur de longues distances et de la distribution, sur de courtes distances, de l'électricité,
 - les taxes et de contributions : elles sont au nombre de quatre : CSPE, TCFE (taxes locales), CTA et TVA.
- Ce que représentent les taxes dans le prix du kWh

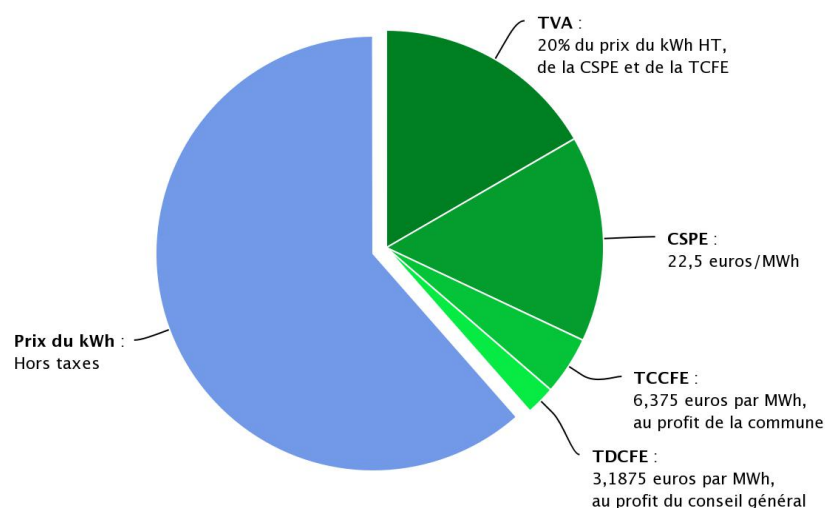
À strictement parler, un fournisseur proposant une offre d'électricité à prix de marché ne fixe que pour partie le prix du kWh dont le client final devra s'acquitter. En effet, **le poids des taxes sur l'électricité représente environ un tiers du montant final** de votre facture TTC. Sachez aussi que les taxes représentent 54% du montant hors taxes de votre facture.

- la CSPE : contribution permettant de dédommager les opérateurs des surcoûts engendrés par les obligations qui leur sont imposées par la loi sur le service public de l'électricité ;
- les TCFE : taxes basées sur la quantité d'électricité consommée, collectées par votre fournisseur puis reversées aux collectivités territoriales ;
- une TVA à 20 % : taxe à taux usuel qui s'applique sur le montant de votre consommation d'électricité (exprimée en kWh pour une période donnée) ainsi que sur les taxes présentées ci-avant (CSPE et TCFE).

Le mode de calcul de ces taxes demeure identique quel que soit votre fournisseur, au contraire du kWh.

Attention, le montant de ces taxes est soumis à des variations.

<https://www.kelwatt.fr/guide/prix-du-kwh>



Highcharts.com

Prix du kWh et taxes pour un compteur de 6 kVA résidentiel en option base au tarif bleu au 01/01/2018. TCFE maximale.

ANNEXE : Auto-évaluation

Compé- tence (CTI)		Niveau débutant	Niveau intermédiaire	Niveau de maîtrise	Niveau d'expertise
	Aspects scientifiques et techniques :				
C2	Capacité à choisir, mettre en oeuvre ses connaissances (outils et méthodes). Utiliser ses savoirs et ses capacités d'analyse.	Même avec de l'aide, l'apprenant n'est pas encore capable de mettre en oeuvre des outils et méthodes.	Avec de l'aide, l'apprenant met en oeuvre des outils et méthodes, sans s'interroger sur leur pertinence.	L'apprenant propose des outils et méthodes adaptés. En autonomie : il les met en oeuvre.	L'apprenant choisit, adapte et met en oeuvre des méthodes et outils en justifiant ses choix.
				X	
	Ex: Analyse et critique des résultats RTE, page 20 et 21 du rapport.				
C3	Capacité à identifier et analyser les besoins et contraintes, formaliser le cadre de l'étude.	L'apprenant n'est pas encore capable d'identifier les besoins et les contraintes.	L'apprenant identifie les besoins et les contraintes, mais avec des oublis majeurs.	L'apprenant analyse les besoins et les contraintes sans oublier majeur.	L'apprenant formalise sans oublier majeur les besoins et contraintes dans un cahier des charges.
					X
C6	Capacité à trouver l'information pertinente et à l'exploiter. Recherche d'information (externe ou interne de l'entreprise).	L'apprenant ne sait pas encore chercher des informations pertinentes.	Avec de l'aide, l'apprenant trouve des informations pertinentes et les exploite.	En autonomie, l'apprenant trouve des informations pertinentes. Avec de l'aide, il les exploite.	En autonomie, l'apprenant trouve des informations pertinentes et les exploite.
					X
	Adaptation aux exigences de l'entreprise et de la société :				
	Dimension personnelle, organisationnelle et culturelle :				
C11.1	Capacité à mettre oeuvre une démarche de gestion de projet.	L'apprenant n'est pas encore capable de mettre en oeuvre une démarche de gestion de projet.	L'apprenant met partiellement en oeuvre une démarche de gestion de projet.	Avec de l'aide, l'apprenant met en oeuvre une démarche de gestion de projet.	En autonomie, l'apprenant met en oeuvre une démarche de gestion de projet.
					X
	Ex: Mise en place d'un calendrier et d'une matrice RACI. Organisation des réunions.				
C11.2	Capacité à communiquer/interagir avec différents interlocuteurs dans sa mission.	L'apprenant n'est pas encore capable de communiquer et interagir avec différents interlocuteurs de son service.	L'apprenant communique/interagit de manière adaptée dans son service uniquement.	L'apprenant communique/ interagit de manière adaptée dans son entreprise uniquement.	L'apprenant communique/ interagit de manière adaptée dans son entreprise et à l'extérieur de l'entreprise.
					X
	Ex: Interventions aux réunions, participation et discussions lors d'évènements et de forums.				
C11.3	Capacité à respecter les règles de la vie professionnelle, dans une organisation (Tenue adaptée, Ponctualité, Assiduité, Comportement et Politesse).	L'apprenant ne respecte pas encore les règles et les codes (horaires, présentation...).	L'apprenant se contente de respecter a minima des règles et codes (horaires, présentation...).	L'apprenant s'implique dans la dynamique de son service.	L'apprenant participe par son action à la diffusion de la culture d'entreprise.
					X
C11.4	Capacité à animer, faire évoluer une équipe et faire preuve de leadership.	L'apprenant n'est pas encore capable de participer à l'animation d'une équipe.	Par son action l'apprenant est capable de contribuer de façon constructive à l'animation d'une équipe.	L'apprenant est capable d'animer une équipe.	L'apprenant est capable d'animer une équipe, de la dynamiser et de la faire progresser.
				X/2	X/2

C14	Capacité à se connaître, s'autoévaluer (Analyse SWOT) et définir son projet professionnel.	L'apprenant n'analyse pas ses forces et faiblesses pour construire son projet professionnel.	L'apprenant commence à identifier ses compétences ('soft skills') sans les lier à un projet professionnel.	L'apprenant a un projet professionnel consolidé par une analyse type SWOT mais pas de plan d'action pour le réaliser.	L'apprenant a un projet professionnel consolidé par une analyse type SWOT et un plan d'action pour le réaliser.
					X

Rapport de stage de fin d'études

stage effectué du 15/02/2019 au 15/08/2019

Déploiement des solutions de couplage énergies renouvelables et mobilité électrique dans une démarche de cohérence territoriale (LRE2EV)

Thomas BACHOUR

Elève-Ingénieur Matériaux
Promotion 2019

Région SUD

Hôtel de Région, 27 place Jules Guesde
13481 Marseille Cedex 20

Tuteur Entreprise : Jocelyn ESPERON

Tuteur Ecole : Philippe DUMAS

Résumé

La mission qui m'a été confiée durant ce stage consistait à étudier la faisabilité technique, économique et sociétale d'un développement à grande échelle du véhicule électrique dans une démarche de couplage à des énergies renouvelables en région SUD. Le but final étant de rendre un rapport à la région qui permettrait de faciliter les prises de décisions faisant suite à la loi NOTRe et à la loi d'Orientation des Mobilités (LOM) et qui sera inclut dans le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires. Quel est la pertinence d'un couplage énergies renouvelables et mobilité électrique ? Est-ce réalisable ? Est-ce viable économiquement ? Quelle serait la demande d'apport en énergie du déploiement du véhicule électrique en région SUD ? en puissance ? La localité est-elle un facteur important ? Quel est le modèle économique ?

Pour mener à bien cette mission et répondre à ces questions, une étude des projets européens portant sur le sujet fut réalisées aboutissant à un benchmarking. Ensuite, une enquête numérique a été lancée en parallèle des recherches d'autres enquêtes nationales et régionales sur la mobilité et l'énergie. Dans le même temps, nous avons mis en place des interviews d'usagers de véhicules électriques. Enfin, nous avons interrogés des acteurs de la région ainsi que des porteurs de projets.

Confidentialité

Les informations contenues dans ce rapport sont confidentielles et ne doivent être en aucun cas diffusées sans l'accord exprès de l'entreprise.

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)

