

Le véhicule électrique : un nouvel équipement des BEPOS pour valoriser le PV et favoriser la mutualisation énergétique

Daniel Quenard*¹, Matthieu Cosnier¹, Frédéric Bougrain²

¹ CSTB DEE/EMI

24 rue Joseph Fourier, 38400 Saint Martin d'Hères

² CSTB DESH/LSPI

Pst Descartes – Bâtiment « Le Bienvenue » Plot A – 5ème étage 14 Boulevard Isaac Newton 77420 Champs sur Marne

*daniel.quenard@cstb.fr

RESUME. Le chauffage (locaux et ECS) et la mobilité individuelle (voiture particulière) sont les deux charges principales du fardeau énergétique d'un ménage et de la France. Pour réduire le poids du bâtiment, la RT2012 impose déjà une réduction drastique des consommations et le BEPOS est l'objectif pour 2020. Quant au poids de la localisation avec les déplacements contraints il pèse de plus en plus lourd: une réduction de 80 kWh/m²/an dans un bâtiment est annulée par 20 km parcourus en voiture chaque jour, pendant un an. Pour diminuer le poids énergétique des équipements électriques et des déplacements, cette étude explore les potentialités du véhicule électrique couplé à une production PV à la maison et au travail. La batterie du véhicule est aussi utilisée comme source d'alimentation afin d'effacer les pics de consommation d'électricité. Des simulations avec le logiciel TRNSYS ont été réalisées. Trois scénarios de charges, deux climats et deux types de distance ont été étudiés. Les déplacements du week-end et l'influence de la diminution du rendement des cellules PV ont aussi été intégrés.

MOTS-CLÉS : convergence Bâtiment/Transport, véhicule électrique, bilan énergétique

ABSTRACT. Building and Transportation are the main energy consumers and GHG emitters of households and France. Many efforts are made to improve energy performance of buildings, but the location of these buildings may erase these benefits: 80 kWh/m²/yr of energy savings in a building is wiped off by travelling 20 km by car every day, for a year. The present study aims to assess the energy balance of electric vehicle coupled with BIPV. TRNSYS software was used to assess the source of energy (PV, Grid, EV battery) involved when an electric vehicle is used for commuting. The VE battery is used as a power source to minimize the energy needs from the power grid during peaks of electricity demand. Twelve scenarios have been examined in order to integrate assumptions on plug-in, climate and commuting distance. Finally, the influence of efficiency reduction due to aging of PV cells has been evaluated on a case.

KEYWORDS : building, electrical Vehicle, vehicle to home concept, energy balance.

1. INTRODUCTION

En France, les secteurs du Bâtiment et des Transports sont les deux plus gros consommateurs d'énergie et les plus gros émetteurs de gaz à effet de serre (DGEC 2012). Afin de réduire ces émissions, l'Etat français a mis en place les lois dites « Grenelle » avec entre autres deux actions stratégiques : le Plan Bâtiment Durable » et le développement de la mobilité électrique. Le premier vise à généraliser la construction de bâtiments positifs en énergie d'ici 2020, le second inscrit dans ses

textes le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables avec un objectif de commercialisation de 2 millions de véhicules électriques et hybrides rechargeables en 2020 (30% des ventes de véhicules en 2020).

Au regard de ces enjeux, le développement de la mobilité solaire pour les particuliers prend toute son importance : les bâtiments positifs en énergie seront des sites de production d'énergie (PV) et deviendront des lieux de recharge des véhicules hybrides rechargeables ou électriques. De plus, puisque dans le modèle d'usage actuel, les véhicules sont en moyenne 95% du temps à l'arrêt et que le temps de recharge est suffisamment long (quelques heures), il semble judicieux de vouloir profiter des longues périodes de stationnement, soit auprès de bâtiments producteurs d'énergie (garage d'une maison ou parking d'un bureau positif en énergie), soit sur des parkings relais équipés de panneaux photovoltaïques (Quenard 2008). Cette convergence Bâtiment-Transport pourrait même être accentuée si les batteries des véhicules étaient utilisées comme moyen de stockage d'énergie et permettaient de répondre aux intermittences de production et de consommation (concept Vehicle-to-Building – V2B).

Ce papier résume une partie d'un travail effectué dans le cadre du projet POLINOTEN cofinancé par l'ADEME dont le but est de définir les politiques d'innovations à mettre en place pour promouvoir la mobilité solaire.

L'étude proposée a pour but d'évaluer l'impact du concept véhicule électrique couplé à une production photovoltaïque intégrée au bâtiment sur la consommation électrique du réseau. Outre l'énergie consommée lors des déplacements, la batterie du véhicule électrique est également utilisée comme source d'électricité pour minimiser le recours au réseau lors des pics de consommations électriques. Divers scénarios de recharge, climat et distance domicile-travail sont comparés. L'influence de la baisse du rendement suite au vieillissement des cellules photovoltaïques a été évaluée sur un cas.

2. METHODE

L'étude de cas consiste à analyser le bilan électrique associé au mode de vie d'une famille française (2 adultes et 2 enfants) vivant dans une maison individuelle positive en énergie située en zone périurbaine. Un des adultes se rend au travail en journée avec un véhicule électrique rechargé prioritairement par de l'électricité photovoltaïque et à défaut, par le réseau au domicile et/ou au travail

2.1. MODALITES DE CHARGE DU VEHICULE

Différents cas de figures, représentés sur la figure 1, ont été étudiés selon la disponibilité des panneaux solaires et des prises de recharge pour le véhicule.

2.2. CLIMATS

Deux climats français sont étudiés afin de mesurer l'influence de l'ensoleillement sur le dispositif : Trappes ou Carpentras. La productivité solaire annuelle pour une orientation optimale de panneau PV est respectivement de 973 kWh/kWc et 1320 kWh/kWc (Meteotest 2003).

2.3. DISTANCE DOMICILE-TRAVAIL

Deux types de trajets quotidien en semaine sont examinés : un trajet «long» de 50 km aller-retour (A/R) et un trajet «court» de 16 km A/R qui sont, respectivement, proches des distances moyenne et

médiane «domicile/travail» pour les salariés français (Baccaïni et al. 2007). Ce paramètre est très important du point de vue du bilan global puisqu'une réduction de 80 kWh/m²/an dans l'habitat est annulée par 20 km parcourus en véhicule chaque jour pendant un an (Quenard 2011).

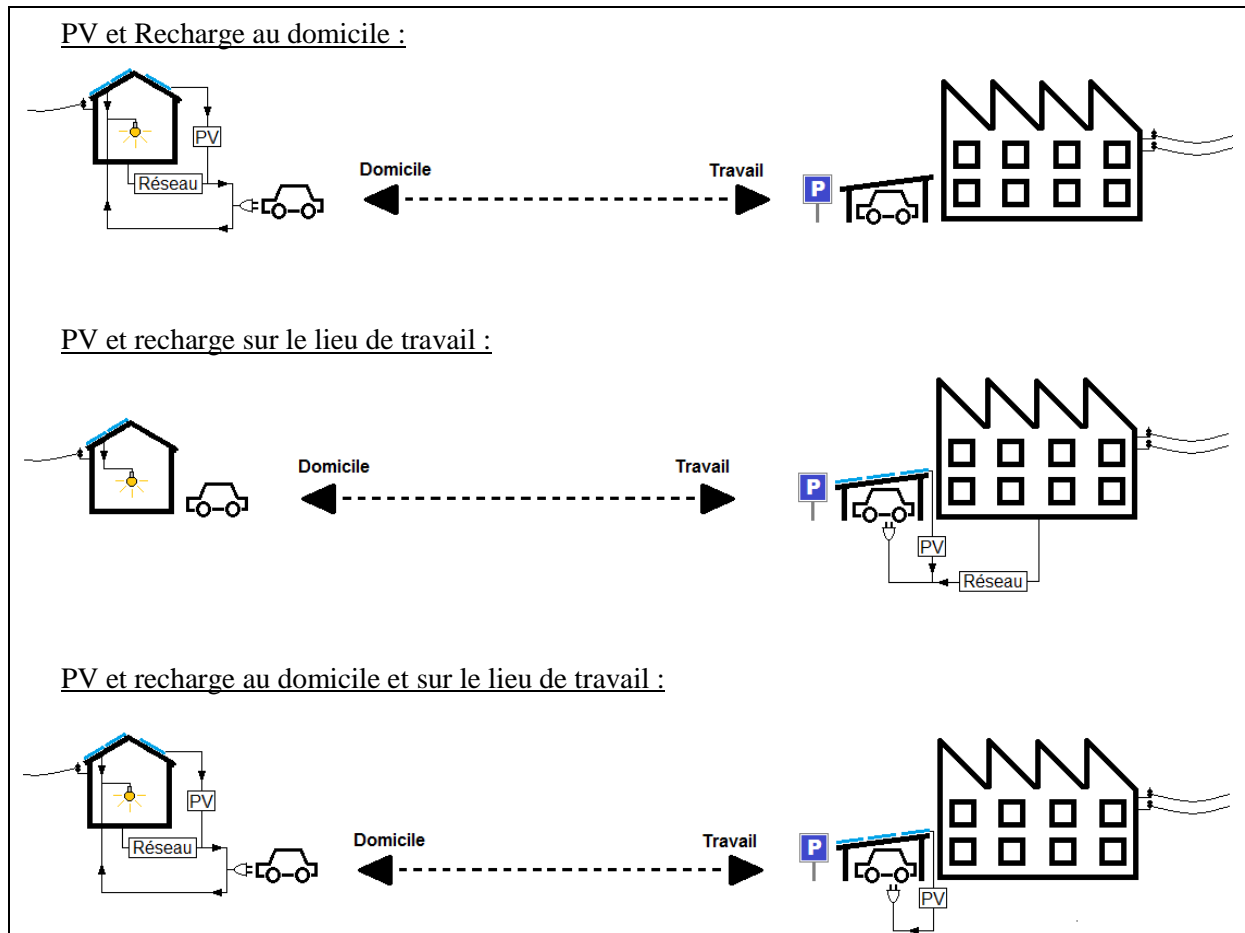


Figure 1 : Modalités de recharge

Les puissances électriques mises en jeu sont calculées à partir d'une simulation dynamique annuelle conçue avec le logiciel TRNSYS au pas de temps de 5 minutes. Les hypothèses prises pour chaque élément de la simulation sont présentées par la suite.

3. HYPOTHESE

Nous nous basons sur les fourchettes hautes des performances actuelles, ce qui nous place dans une optique relativement pessimiste pour 2030 étant donnés les progrès technologiques que l'on peut attendre. C'est une manière de limiter le risque de promouvoir un concept qui se révélerait non viable a posteriori.

3.1. PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE (PV)

Le modèle de capteur photovoltaïque utilisé dans TRNSYS est de type cristallin (Type 194a) de 140 Wc/m² de puissance. Le rendement entre la sortie en courant continu des modules PV et le point en courant alternatif d'injection réseau a été fixé à 86%. Il prend en compte le rendement de l'onduleur, les pertes dans les câbles et les déconnexions intempêtes dues à la qualité du réseau.

Le dimensionnement des modules PV à domicile est prévu de manière à ce que la maison soit positive en énergie sur l'année : pour les équipements domestique et la mobilité dans les cas où la charge à domicile est possible et uniquement pour les équipements dans le cas contraire. Les panneaux photovoltaïques destinés à la recharge de la batterie sur le lieu de travail, couvrent 13 m² de l'ombrière solaire au-dessus de la place de parking. Un appoint réseau est envisageable sur le lieu de travail pour le véhicule uniquement quand celui-ci ne peut être rechargé à domicile.

3.2. BATIMENT ET USAGES

La maison considérée en 2030 est celle qui sera la norme à cette échéance, i.e. une maison positive en énergie (BEPOS). Ici, nous ne considérons pas les consommations énergétiques réglementaires liées au chauffage, à la climatisation et à l'eau chaude sanitaire. Seule la consommation des équipements électriques de la maison et ceux liés à la mobilité sont pris en compte. Une étude plus complète prenant en compte l'ensemble des consommations est donc nécessaire pour compléter cette étude préliminaire.

Les habitudes de consommations électriques sont fixées pour les équipements de la maison. A défaut d'une projection en 2030, nous nous sommes basés sur les profils de consommation issus des travaux de l'AIE pour la période 2002 et 2005 (Knight et al. 2007). Selon les relevés effectués avec un pas de temps de 5 minutes, la consommation électrique de la famille est proche de 3028 kWh/an.

Sur le lieu de travail, la consommation électrique n'est pas prise en compte faute de données. Cette hypothèse forte devient réaliste dès lors que l'on considère l'alternative du parking relais, déconnecté du lieu de travail, comme endroit de recharge du véhicule.

3.3. VEHICULE ELECTRIQUE

Le véhicule électrique est considéré comme une batterie se déchargeant lors de ses déplacements. Le modèle de batterie utilisé dans TRNSYS est de type batterie au Plomb (Type 47a) dans lequel l'état de charge (SOC) varie linéairement pour une puissance de charge et décharge constante. La batterie a une capacité de 25 kWh, une profondeur de décharge (DOD) de 90%, un rendement de charge de 95%, un rendement de décharge à 90% et une consommation estimée à 0,2 kWh/km.

Nous supposons que le véhicule électrique est utilisé uniquement pour satisfaire les déplacements domicile-travail (départ à 8h et retour à 17h30) compte tenu de son autonomie limitée. La famille utilise un autre moyen de déplacement que le véhicule électrique lors de ses déplacements du week-end. La durée effective du trajet n'est pas prise en compte, chaque déplacement se fait en ½ heure (1h par jour) et la batterie du véhicule se décharge plus ou moins rapidement selon le trajet effectué.

3.4. RESEAU

Le réseau est modélisé par une puissance électrique constante de 3,7 kW, avec une tension de 230 V et une intensité de 16 A.

3.5. REGLES D'USAGES

Des règles d'usages, modélisées sous TRNSYS par des équations de type booléen ont été établies (figure 2).

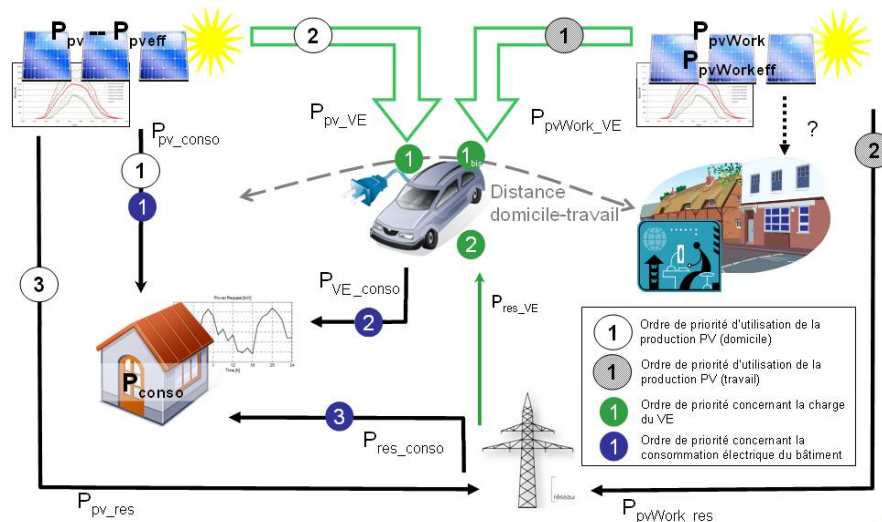


Figure 2: Flux électriques et priorités d'usage

En 2030, la parité réseau étant supposée atteinte, l'autoconsommation est privilégiée en attribuant la production photovoltaïque en priorité aux équipements de la maison, puis à la recharge du véhicule (s'il existe une borne) et enfin à la revente sur le réseau électrique.

A la maison comme au travail, le véhicule électrique est rechargé en priorité par les panneaux photovoltaïques. La recharge par le réseau électrique ne se fait que si l'état de charge de la batterie est insuffisant pour effectuer une fois et demie le trajet quotidien et en respectant des plages horaires strictes : à domicile entre 22h et 8h et sur le lieu de travail entre 10h et 12h ou entre 14h et 17h30 pour éviter les heures de pointes.

Entre 18h et 22 h, avant de faire appel au réseau électrique, les équipements électriques de la maison sont prioritairement alimentés par la batterie du véhicule, si son état de charge le permet. Sur le lieu de travail, cette possibilité n'est pas offerte.

4. RESULTATS

Parmi les données obtenues, une attention particulière est portée à l'usage de la production photovoltaïque et aux consommations des équipements et du véhicule. Par ailleurs, des profils de consommation d'électricité du réseau à un pas de temps de 15 minutes, compatibles avec les données RTE de profil de contenu CO_2 de l'électricité du réseau, sont disponibles. Ces données ont permis de quantifier l'impact environnemental du concept dans une autre étude en parallèle (Taverdet-Popiolek et al. 2013), étude qui n'est pas discutée ici.

La figure suivante présente pour chaque scénarios trois indicateurs majeurs : le taux de couverture solaire du véhicule (pourcentage d'énergie d'origine solaire consommée par le véhicule par rapport à sa consommation totale), l'autonomie du Bâtiment (pourcentage de temps où le bâtiment n'a pas recours au réseau sur l'année), et enfin l'effacement apporté par le véhicule électrique (pourcentage d'énergie fournie par le VE pour subvenir aux consommations des équipements lors des périodes de pointe (concept V2H) par rapport l'énergie totale consommée durant cette période).

Pour chacun des scénarios étudiés, l'énergie annuelle produite par le PV est supérieure à la consommation des équipements et du véhicule mais cette production est déphasée de la

consommation. C'est pourquoi, quel que soit le scénario, pendant 70 à 50% du temps le recours au réseau pour subvenir aux besoins des équipements du bâtiment est nécessaire.

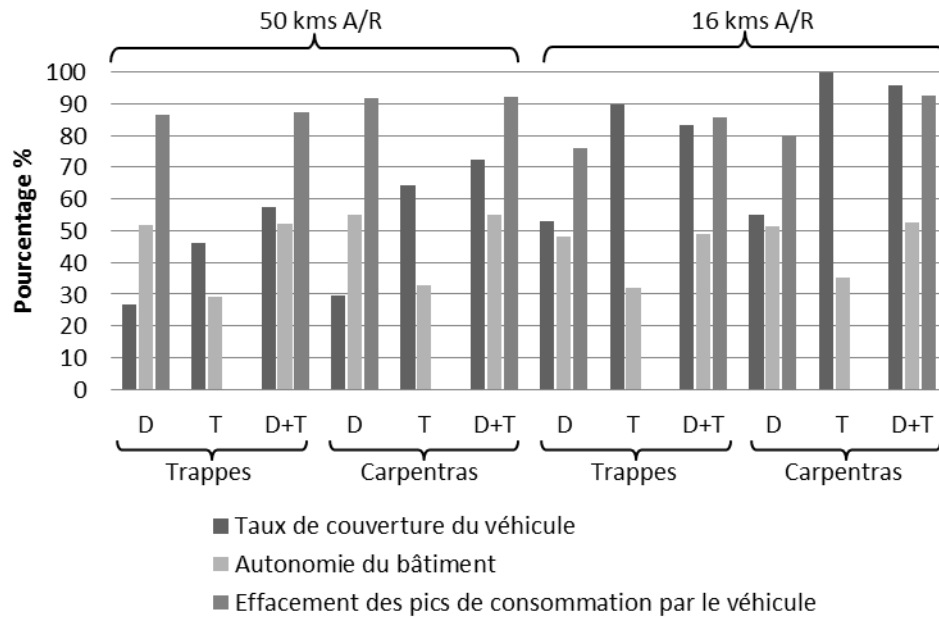


Figure 3: Taux de couverture solaire du VE, autonomie du bâtiment et effacement des pics de consommation par le véhicule pour 3 mode de recharges – D (Domicile), T (Travail) et D+T (Domicile et Travail), 2 climats (Carpentras et Trappes), 2 trajets (16 kms et 50 kms)

Le taux de couverture solaire du véhicule électrique varie entre 28 et 100% selon les scénarios. La possibilité de recharge sur le lieu de travail permet de réduire de façon drastique l'appel au réseau pour les consommations liées à la mobilité. Dans un des cas étudiés (déplacements courts et climat ensoleillé) cet appel au réseau s'avère même nul. L'autonomie du domicile apparaît plus grande quand la distance parcourue est plus grande car les puissances crêtes installées sont adaptées aux besoins.

Enfin, le fait de bénéficier d'une borne de recharge au domicile, s'avère particulièrement efficace pour lisser le pic de consommation du réseau. Lorsque la batterie du véhicule agit comme une source d'électricité complémentaire lors des heures de pointe, elle couvre entre 80 et 95% de l'énergie consommée par les équipements de la maison durant cette période, et diminue d'autant le recours au réseau.

La figure 4 présente pour chaque scénario l'origine de l'énergie consommée pour subvenir aux consommations des équipements et à la mobilité.

La solution qui combine recharge au domicile et au travail est celle qui permet de réduire le plus l'appel au réseau, c'est aussi celle pour laquelle le dimensionnement des capteurs solaires est le plus grand. Une étude complémentaire, traitant des aspects économiques et environnementaux est alors indispensable pour pouvoir conclure (Taverdet-Popiolek et al. 2013).

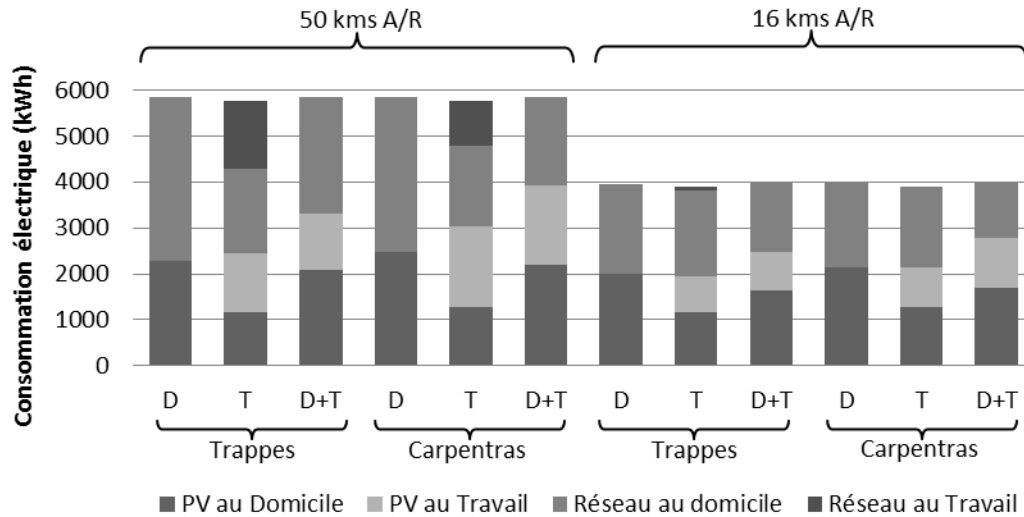


Figure 4: Origine de l'électricité consommée par les équipements de la maison et le véhicule électrique pour 3 mode de recharges – D (Domicile), T (Travail) et D+T (Domicile et Travail), 2 climats (Carpentras et Trappes), 2 trajets (16 kms et 50 kms)

Les résultats précédents sont valables pour un rendement initial des capteurs photovoltaïques. Or les performances des capteurs PV se dégradent avec le temps. Nous avons donc cherché à évaluer l'impact d'une baisse de 20% du rendement des capteurs sur un des cas présenté : celui pour un trajet de 50 km A/R, le climat de la ville de Trappes et la recharge combinée à la maison et au travail. La figure 5 compare la répartition de l'énergie solaire produite et l'origine de l'énergie consommée par les équipements et le véhicule.

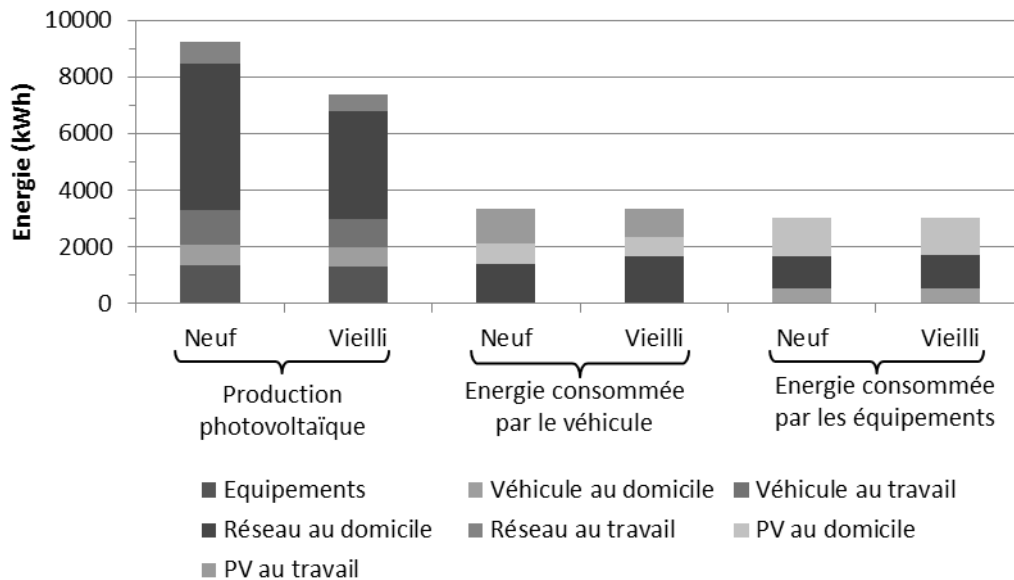


Figure 5: Distribution de la production solaire et de l'énergie consommée par le véhicule et les équipements pour deux types de panneaux PV : neuf et vieilli

Lorsque l'énergie produite diminue de 20%, c'est l'énergie revendue au réseau qui est la plus impactée avec une baisse de l'ordre de 26%. En complément, l'appel au réseau pour la recharge du véhicule augmente également de manière conséquente d'environ 17%, le taux de couverture solaire du véhicule passant de 57 à 50%. Pour les équipements, la baisse de rendement du PV ne modifie que très

peu l'appel au réseau d'environ 5%, la surface de PV installée au domicile assurant une production annuelle très supérieure à la charge.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude a consisté à faire le bilan énergétique du concept de convergence Bâtiment Transport sur des cas distingués selon leur emplacement, la longueur du trajet domicile travail et le mode de recharge.

Les résultats présentés ici montrent que malgré une production photovoltaïque excédentaire, le recours au réseau pour les équipements de la maison comme pour la mobilité est toujours nécessaire. Pour minimiser cet appel, le mode combiné de charge/décharge au domicile et sur le lieu de travail est satisfaisant. En journée sur le lieu de travail le véhicule peut être rechargé tandis qu'au domicile la batterie du véhicule permet de subvenir aux besoins lors des périodes de pointes de demande électrique.

Cette étude énergétique a été le point de départ d'une étude plus approfondie sur la viabilité économique et environnementale de la mobilité solaire et sur les politiques à mettre en œuvre pour développer ce concept.

6. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ADEME pour leur soutien dans le cadre du programme "Mettre l'innovation sur la trajectoire du facteur 4".

7. BIBLIOGRAPHIE

- DGEC (Direction générale de l'énergie et du climat). 2012. Chiffres clés de l'énergie, Service de l'observation et des statistiques. Paris.
- Quenard, Daniel. 2008. « Vers l'autonomie énergétique ». *La Recherche* 415 :76-79.
- Meteotest. 2003. *Meteonorm handbook, Parts I, II and III*. Meteotest. Bern.
- Baccaïni, Brigitte, François Sémécurbe et Gwenaëlle Thomas. 2007. « Les déplacements domicile-travail amplifiés par la périurbanisation ». *INSEE Première* 1129, 2007.
- Quenard, Daniel. 2011. « Se loger, se déplacer: peut-on se libérer de l'addiction aux énergies fossiles ? ». *La chimie et l'habitat* : 151-171. Les Ulis: EDP Sciences.
- Knight, Ian Paul, Nico Kreutzer, Marianne Manning, Mike Swinton et Hajo Ribberink. 2007. « European and Canadian non-HVAC electric and DHW load profiles for use in stimulating the performance of residential cogeneration systems ». Rapport de l'Annexe 42 de Agence Internationale de l'Energie – Energy Conservation in Buildings and Community Systems Program.
- Taverdet-Popiolek, Nathalie, Daniel Quenard, Françoise Thais, Simon Vinot et Olivier Wiss. 2013. « Mettre l'innovation sur la trajectoire du facteur 4: la mobilité solaire en 2030 ». *La revue de l'Energie* 611 : 23-40.