

Gestion d'énergie d'un véhicule électrique rechargeable intégrant les fonctionnalités d'achat (*grid/home-to-vehicle*) et de revente (*home/grid-to-vehicle*) de l'énergie

Florence BERTHOLD^{1,2}, Benjamin BLUNIER¹, David BOUQUAIN¹, Sheldon WILLIAMSON², Abdellatif MIRAOU¹

¹ Système et Transport (SeT)

Université Technologique de Belfort Montbéliard, France

Emails: (florence.berthold, benjamin.blunier, david.bouquain, abdellatif.miraoui)@utbm.fr

² Power Electronics and Energy Research (PEER) group

Department of Electrical and Computer Engineering

1455 de Maisonneuve Blvd.W

Montréal, Québec H3G 1M8, Canada

Email: sheldon@ece.concordia.

RESUME – Les véhicules conventionnels représentent une large contribution des émissions de gaz à effet de serre et de polluants de type aérosols. De ce fait l'une des solutions pour diminuer ces émissions serait d'intégrer des véhicules hybrides, hybrides rechargeables ou tout électriques dans le parc automobile actuel. Cependant, la connexion de véhicules électriques sur le réseau de distribution est synonyme de nouveaux besoins en électricités mais également de l'augmentation des pics de puissance en soirée. En effet à l'heure actuelle nous produisons ce que nous consommons à « l'instant t ». Sachant que le pic de production atteint déjà des sommets il est nécessaire de trouver une nouvelle manière d'utiliser nos ressources énergétiques.

Dans cet article, l'utilisation d'une nouvelle stratégie de gestion d'énergie permettant de prendre en compte les contraintes du réseau sera décrite. En effet, les batteries des futures voitures hybrides rechargeables seront utilisées comme moyen de stockage d'énergie autant pour faire fonctionner les consommateurs d'énergie de la maison que pour alimenter le moteur électrique de la voiture. Ainsi, il ne faut pas uniquement travailler sur le contrôle de l'énergie de la batterie de la voiture mais d'une manière plus générale sur le réseau énergétique complet : maison + voiture.

ABSTRACT – Conventional vehicles contribute the most towards greenhouse gases and air pollution. In fact, one of the solutions to decrease these emissions would be to integrate plug-in hybrid electric vehicles or all-electric vehicles in the automotive industry. However, electric vehicle connected on the grid is synonymous of new load, especially during evening peak power. Nowadays, electricity companies produce what users consume at each instant. Knowing that the evening peak power attains a large value, it is necessary to find a new mode to use energy resources.

In this article, a new control strategy of energy management allows taking account of grid constraints. Future plug-in hybrid electric vehicle battery will be used as energy storage to both propel the vehicle as well as supply home loads for few time slots. Therefore, the entire system (home + vehicle) is considered to manage the energy.

MOTS-CLES – Smart-Grid, Véhicule hybride rechargeable, Management de l'énergie, V2G, G2V

1. Introduction

Le 1^{er} janvier 2010 le parc automobile français comptait 37 438 000 véhicules [1] soit une augmentation de 78 % depuis 1980. Le parc automobile devrait continuer d'augmenter. En effet la part des ménages français motorisés est passée de 70,8 % en 1980 [2] à 83,3 % [2] en 2009 et ce taux va continuer à croître. De plus, la population française va, d'après les prévisions du programme des Nation Unies pour le développement, passer de 62,6 millions d'habitant en 2010 à 66,5 millions en 2030 [3].

L'une des principales sources de pollution atmosphérique est le transport routier, celle-ci représente 31 % [4] des émissions de CO₂ en 2008. Une solution pour contrer ce problème serait de remplacer les voitures à moteur thermique par des voitures électriques rechargeables. Mais cette solution va engendrer une plus grande consommation d'énergie électrique. Alors même que la consommation française ne cesse déjà d'augmenter, nous sommes passés de 441 TWh [5] en 2000 à 513,3 TWh [6] en 2010 pour nos activités quotidiennes. Si chaque ménage recharge sa voiture durant le pic d'énergie du soir, entre 18 h et 20 h [7], la demande va exploser ce qui veut dire que dans le schéma actuel, il faudra augmenter le nombre de centrales nucléaires ou de centrales à charbon. De plus, entre 21 h et 6 h [8], la plupart des véhicules seront connectés à la maison mais le chargement aura déjà été effectué alors qu'à cette période de la journée la consommation d'énergie française est au plus bas, c'est pour cela qu'il faut répartir correctement la recharge de la batterie durant la journée.

Cet article décrit une nouvelle façon d'utiliser la batterie de la voiture hybride ou électrique. En effet l'utilisation de la batterie de la voiture servira d'une part à faire avancer le véhicule le plus économiquement possible et d'autre part de fournir de l'énergie domestique. Dès lors que la voiture est connectée à la maison elle est réceptrice d'énergie pour se recharger idéalement avec des énergies renouvelables (solaire et éolien) qui sont implantées sur le terrain de la maison et dans le pire des cas avec le réseau, ce mode est appelé « *Home to Vehicle* » (H2V). Mais elle peut également fournir de l'énergie à la maison lorsqu'il y a pas ou très peu d'énergies renouvelables : « *Vehicle to Home* » (V2H) [9], [10] et que la batterie est suffisamment chargée pour subvenir aux besoins.

2. Description du système

Le système contient deux contrôleurs, l'un est placé dans la voiture et le deuxième est installé dans la maison. Ces contrôleurs ont pour but d'utiliser l'énergie qui permettra d'utiliser les énergies les moins chères sur une journée complète, que ce soit pour alimenter les consommateurs de la maison ou pour propulser le véhicule. En effet pour alimenter la maison nous avons à disposition les énergies renouvelables tel que le solaire et l'éolien, le réseau et la batterie de la voiture si celle-ci est branchée. Lorsque le véhicule roule, seules deux sources d'énergie sont disponibles : la batterie qui a été rechargée préalablement à partir de sources si possible renouvelable et l'essence.

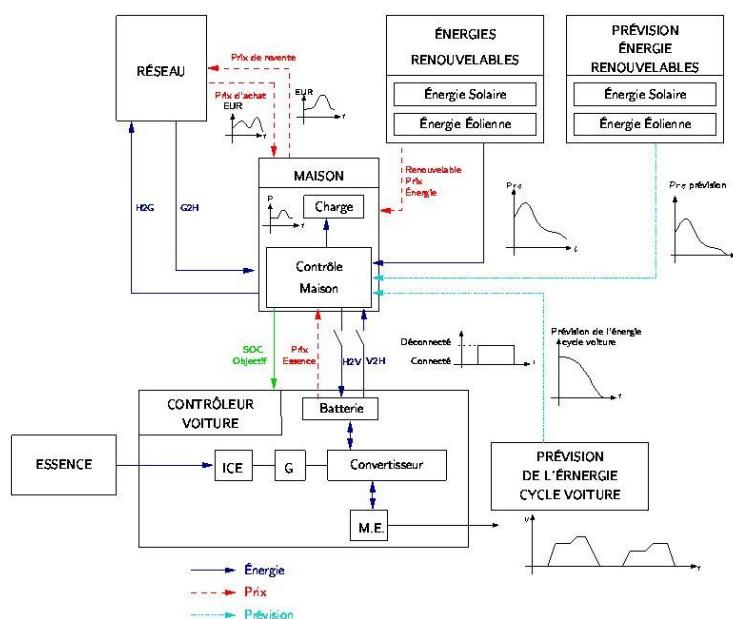


Figure 1 : Synoptique : stratégie de contrôle de l'énergie de la maison et de la voiture permettant d'utiliser les énergies les moins chères

2.1 Contrôleur maison

Tout d'abord le contrôleur de la maison décide quelle énergie la maison va utiliser, il privilégiera l'utilisation des énergies renouvelables. Si ces énergies sont insuffisantes il devra comparer le prix de l'énergie que contient la batterie avec celle du réseau. Il devra également prévoir ce que les énergies renouvelables produiront et ce que la maison consommera dans un intervalle de 8 h. Les prévisions de production des énergies renouvelables seront réalisées grâce à deux relevés : l'ensoleillement et la vitesse du vent.

Ensuite, le contrôleur de la maison doit également calculer et envoyer au véhicule l'état de charge de la batterie avec lequel celui-ci doit rentrer afin de préparer la batterie à fournir ou à recevoir de l'énergie suivant les conditions météorologiques et du réseau et afin d'utiliser les énergies les moins chers.

Finalement, le contrôleur de la maison doit garantir la charge du véhicule hybride pour que le propriétaire de la voiture puisse se rendre en voiture à son travail en utilisant au maximum la batterie. Pour cela il devra au préalable dire à quelle heure au plus tôt il prendra sa voiture.

2.2 Contrôleur voiture

La première mission du contrôleur de la voiture est d'utiliser l'énergie la moins chère pour faire avancer le véhicule, pour cela le contrôleur a le choix entre l'essence et la batterie. La deuxième mission du contrôleur est de calculer le prix de l'énergie contenu dans la batterie sachant que le prix des énergies renouvelables est considéré comme nul (ce prix permet de favoriser au maximum l'utilisation des énergies renouvelables), le prix du réseau dépend de l'heure d'utilisation. En effet il existe deux zones de fonctionnement : les heures creuses entre 2h et 5h et entre 13h et 16h au prix de 0,0864 €/kWh, le reste du temps le compteur réseau est en mode heure pleine à 0,1275 €/kWh. Il est également possible d'envisager un scénario pour lesquels les tarifs varient dynamiquement dans la journée en fonction de l'offre et de la demande sur le réseau. Pour la dernière énergie disponible le prix du carburant est fixé à 1,5 €/l. Le coût de la batterie est calculé à partir de la formule suivante :

(1)

Avec V_c le volume du carburant en litre, C_c le prix du carburant en €/l, E_r l'énergie du réseau en Wh, C_r le coût du réseau en €/Wh, C_{bat} le coût de la batterie, E_{bat_max} l'énergie maximale de la batterie en Wh et SOC l'état de charge de la batterie en %.

Comme l'indique cette formule, le coût de l'énergie contenue dans la batterie dépend de la quantité d'énergie fournie par les énergies renouvelables, le moteur à combustion interne et le réseau. Plus le contenu énergétique de la batterie sera d'origine renouvelable, moins le prix de l'énergie sera élevé. Inversement, si la batterie a été complètement chargée à partir du moteur à combustion interne (scénario très peu probable), le coût de la batterie sera maximal.

La troisième mission du contrôleur de la voiture est de calculer l'énergie nécessaire pour rentrer à la maison afin de prédire si le mode tout électrique lui permet de réaliser le trajet en arrivant avec l'état de charge fixé par le contrôleur de la maison. Pour cela, la voiture est dotée d'un GPS qui permettra de connaître le parcours que la voiture prendra pour rentrer au domicile que ce soit en mode départ-arrivé ou arrivé-départ. Une fois le parcours connu il est facile de connaître l'énergie nécessaire au véhicule pour rentrer à la maison.

La modélisation du véhicule hybride série a été modélisée grâce au logiciel CRUISE de la compagnie AVL [11].

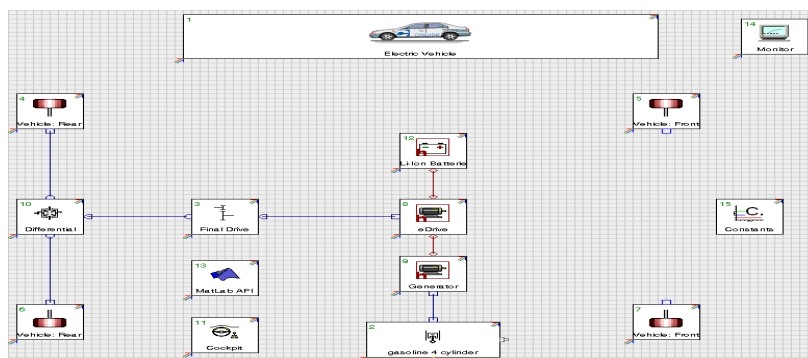


Figure 2: Structure de la voiture hybride

La stratégie de contrôle du véhicule est relativement simple. Lorsque le véhicule part de la maison il utilise la batterie jusqu'à ce que l'état de charge de la batterie arrive à l'objectif calculé par la maison. Ce mode est appelé « *charge depleting* » ou mode tout électrique [12], [13]. Pour le reste du parcours le véhicule utilisera le moteur thermique qui travaillera à son meilleur rendement en utilisant la batterie comme tampon. Ce dernier mode est appelé « *charge sustaining* » ou maintien de l'état de charge.

Une fois que le véhicule est en « *charge sustaining* » il n'est pas obligatoire qu'il y reste pour le reste du parcours. En effet, il est probable que le contrôleur voiture décide de retourner en « *charge depleting* », si la prévision des énergies renouvelables est plus grande que celle de la consommation (Figure 3).

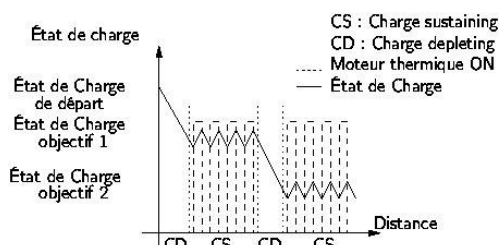


Figure 3 : Stratégie de contrôle du véhicule hybride

3. Résultats

La simulation a lieu sur une journée complète de type travail. Le propriétaire aura programmé son heure de départ au travail à 8 h mais il utilisera sa voiture uniquement à 8 h30. Pour se rendre à son travail il utilisera le cycle japonais urbain (Figure 6). Il retournera chez lui pour 18 h en utilisant le même chemin.

Les courbes de puissance consommation et des énergies renouvelables (Figure 5) ont été relevées grâce aux mesures des consommateurs d'énergie dans une maison, l'ensoleillement et de la vitesse du vent. Les panneaux solaires ont une surface de 3,3 m² et la surface balayée par les pales de l'éolienne est de 28,3 m².

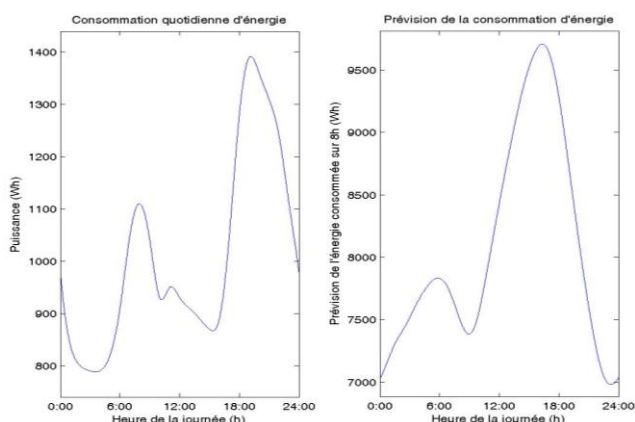


Figure 4 : Consommation quotidienne et Prévision sur 8h de la consommation énergétique

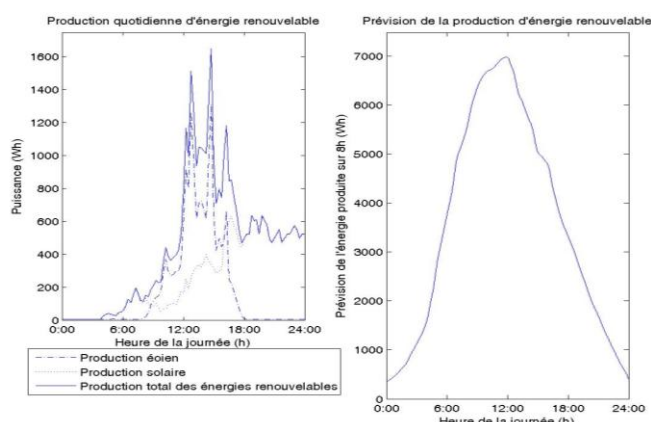


Figure 5 : Production et Prévision de la production des énergies renouvelables (éolien et solaire)

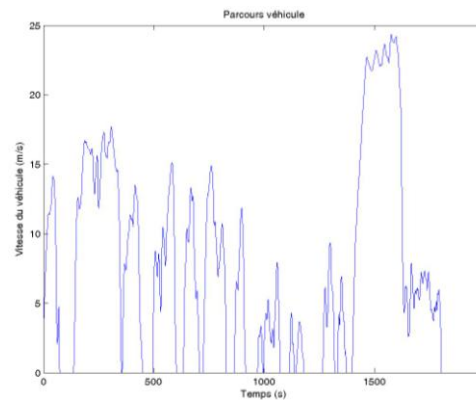


Figure 6 : Cycle routier maison-travail du véhicule (cycle japonais)

La Figure 7, montre l'état de charge de la batterie durant toute la journée. La simulation commence avec un état de charge de 60%, la batterie se décharge jusqu'à son état de charge minimum, ensuite la batterie se recharge pour préparer le trajet maison-travail. L'automobiliste aura rentré au préalable l'heure de départ au plus tôt. L'automobiliste prend sa voiture uniquement à 8h30, durant la durée entre l'heure où la voiture doit être chargée et le moment où l'automobiliste part au travail, la voiture alimente les consommateurs d'énergie de la maison. A 8h30 la batterie est utilisée pour propulser la voiture. Une fois le trajet terminé, la batterie ne fournit et ne reçoit plus d'énergie jusqu'à ce qu'elle retourne à la maison. Une fois la voiture branchée à la maison, la batterie alimente à nouveau les appareils électriques de la maison jusqu'à atteindre l'état de charge minimum de la batterie.

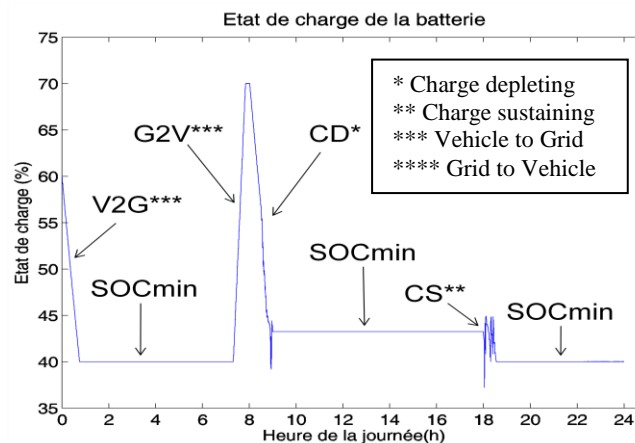


Figure 7 : Etat de charge de la batterie durant une journée

La figure suivante montre les proportions de chaque source d'énergie qui alimente la batterie à savoir les énergies renouvelables, l'énergie provenant du réseau, l'énergie récupérée au freinage et l'énergie que le moteur thermique transmet à la batterie. On considère que la batterie est préalablement chargée avec les énergies renouvelables.

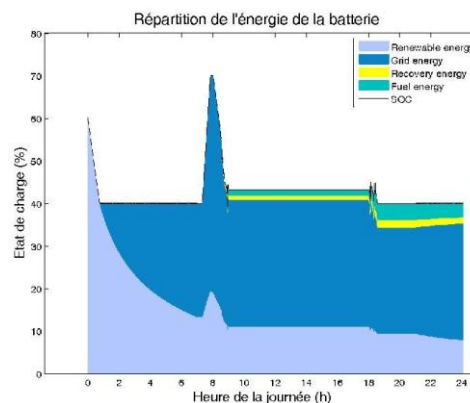


Figure 8 : Répartition de l'énergie de la batterie

4. Conclusion

La simulation montre bien l'importance de prendre en considération le réseau énergétique au complet (maison + voiture) et non pas de travailler d'une part sur la gestion des énergies de la maison et de l'autre part sur la gestion d'énergie de la voiture hybride rechargeable.

L'interaction entre le contrôleur de la maison et le contrôleur de la voiture au travers du calcul de l'état de charge de la batterie du véhicule que celui-ci doit avoir lorsqu'il rentre à la maison, permet de minimiser le coût total de l'énergie durant une journée complète en prenant en compte la consommation énergétique de la maison (équipements électriques), la production réalisée par la maison (éolien et solaire) ainsi que la consommation énergétique du déplacement du véhicule.

Références

- [1] CCFA (Comité des Constructeurs Français d'Automobiles), « Parc automobile au 1er janvier ». .
- [2] CCFA (Comité des Constructeurs Français d'Automobiles), « Déplacement des ménages ». .
- [3] Programme des Nations Unies pour le développement, « Rapport sur le développement humain 2010, Edition du 20e anniversaire du RDH ». .
- [4] CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique), « EMISSIONS DANS L'AIR EN FRANCE Métropole Substances relatives à l'accroissement de l'effet de serre ». 2010.
- [5] Réseau de transport d'électricité, « Energie Electrique en France en 2000 ». 2000.
- [6] Réseau de transport d'électricité, « L'énergie électrique en France en 2010 ». 2010.
- [7] Réseau de transport d'électricité, « Courbe de consommation d'électricité journalière en France ». [Online]. Available: <http://www.audeladeslignes.com/hiver-consommation-electricite-pointe-19heures-1290>. [Accessed: 11-mai-2011].
- [8] « Clement-Nyns et al. - 2010 - The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Veh.pdf ». .
- [9] W. Kempton et J. Tomic, « Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue », *Journal of Power Sources*, vol. 144, n°. 1, p. 268–279, 2005.
- [10] I. Cvetkovic et al., « Future home uninterruptible renewable energy system with vehicle-to-grid technology », in *Energy Conversion Congress and Exposition, 2009. ECCE 2009. IEEE*, 2009, p. 2675-2681.
- [11] AVL, « Description du logiciel Cruise ». [Online]. Available: <https://www.avl.com/cruise1>. [Accessed: 28-juill-2011].
- [12] C. Desai, F. Berthold, et S. Williamson, « Plug-in Hybrid Electric Transit Bus Parameters Sizing Using Multi-Objective Genetic Algorithm », 2010. .
- [13] B. Zhang, C. C. Mi, et M. Zhang, « Charge-Depleting Control Strategies and Fuel Optimization of Blended-Mode Plug-In Hybrid Electric Vehicles », *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 60, n°. 4, p. 1516-1525, 2011.