

Participation d'une flotte de véhicule à l'équilibre offre-demande du système électrique

Paul CODANI^{1,2}, Marc PETIT², Yannick PEREZ², Igor DEMAY¹

¹PSA Peugeot Citroën, Direction des Programmes des Véhicules Électriques

²SUPELEC, département Energie, 91190 Gif-sur-Yvette

RESUME – Les véhicules électriques (VE) commencent à s'imposer comme une alternative crédible aux véhicules thermiques, qui présentent des limites en termes de contraintes environnementales. Cependant, le coût élevé des VE et les perturbations qu'ils pourraient engendrer sur le réseau électrique sont deux obstacles majeurs à un développement massif. Un contrôle intelligent de la recharge des véhicules électriques pourrait être une solution pour faire face à ces deux barrières : en participant à des services réseaux, l'utilisateur final du VE pourrait voir sa facture globale diminuée, et la sollicitation du réseau serait allégée. Ce papier analyse la possible contribution des VE au réglage primaire de fréquence en France. Plusieurs stratégies de participation sont comparées. Les spécificités du réseau français sont prises en compte, et la flotte modélisée correspond aux usages français.

MOTS-CLES – Système électrique, réglage de fréquence, véhicules rechargeables, agrégateur.

1. Introduction

Les objectifs de réduction des émissions de CO₂ ainsi que l'augmentation du coût du pétrole, ont permis de donner un nouvel élan à la filière des véhicules rechargeables (électriques et hybrides). D'un point de vue énergétique, cela déplace la question de l'approvisionnement énergétique du pétrole vers le secteur électrique. Face à cette demande électrique supplémentaire, la question qui émerge est alors de savoir si le système électrique européen sera en mesure d'accepter dans le futur – tant à l'échelle locale que globale – la charge supplémentaire de plusieurs millions de véhicules électriques se connectant pour se recharger.

Pour sécuriser le fonctionnement du système électrique, il est important de respecter un principe fondamental : l'équilibre instantané entre les puissances injectées et soutirées. Par ailleurs, les ouvrages doivent être exploités sans surcharge longues, et la tension délivrée doit respecter les limites U_{\min} et U_{\max} .

2. Les véhicules rechargeables et le système électrique

2.1 Impact sur le système

La recharge des véhicules va certes augmenter la demande d'énergie électrique, mais la problématique vient davantage d'une demande en puissance à des moments critiques. Considérons un million de véhicules qui se chargent simultanément avec une prise monophasée 230 V – 16 A (charge lente), cela représente une consommation supplémentaire d'environ 3000 MW. En termes d'énergie, ces mêmes véhicules qui parcourent en moyenne 25 km par jour (si on ne considère que ceux qui font au maximum 60 km par jour) pour une consommation de 0.2 kWh/km (soit 120 km avec une batterie de 24 kWh), représentent un besoin de 5 GWh par jour soit 1.5 TWh sur la base de 300 jours par an. Ainsi la demande supplémentaire est de 0.3 % par an alors que la pointe de puissance augmentera de 3 à 5% l'hiver.

L'impact sur le système peut se résumer en trois points :

- Une augmentation de la puissance appelée à la pointe, d'où un renchérissement des coûts de production.
- Une surcharge locale des réseaux de distribution (transformateurs, câbles)

- Des risques de chutes de tension trop importante liées à cet appel de puissance, surtout dans des zones ou quartiers à fort développement de VE

2.2 Contribution au système

Si une recharge simultanée d'un grand nombre de véhicules peut engendrer des difficultés pour les gestionnaires de réseaux de transport (en charge de l'équilibre offre-demande) et distribution (contraintes locales), les véhicules peuvent aussi être vus comme une opportunité pour contribuer au bon fonctionnement du système. En effet, le système électrique a besoin de capacité de stockage (aujourd'hui seules les stations de pompage-turbinage et les barrages les apportent) qui s'avèrent être disponibles via les batteries puisque les véhicules sont essentiellement en stationnement, surtout si on considère que la cible principale des VE est le trajet domicile-travail (la problématique est différente pour les véhicules d'auto-partage). Parmi les difficultés liées à l'exploitation de ces moyens de stockage : des petites unités distribuées, mobiles, une faible capacité disponible. Mais une grande réactivité via le convertisseur électronique utilisé pour la charge, et la possibilité d'augmenter le volume par un effet d'agrégation.

Comme le système électrique peut avoir besoin de puissance rapidement disponible pour des durées courtes, ce qui correspond assez bien aux caractéristiques des batteries [1-2].

La contribution au système électrique peut se définir comme :

- participation au contrôle de la fréquence (équilibre offre-demande),
- intégration des sources renouvelables intermittentes,
- maintien de la tension sur les réseaux de distribution.

3. Modélisation de la flotte

La flotte de véhicules électriques à modéliser dépend fortement du service système rendu par les véhicules. La valeur de la fréquence étant la même à tout instant sur l'ensemble du réseau, le réglage de fréquence s'effectue à l'échelle nationale et est organisé par le GRT (contrairement au réglage de tension ou à l'intégration des sources renouvelables, qui sont des actions locales).

En conséquence, la flotte considérée est une agrégation de véhicules particuliers répartis sur l'ensemble du territoire. Ces véhicules sont principalement utilisés pour les trajets quotidiens domicile-travail, que nous avons pu caractériser à partir de [3].

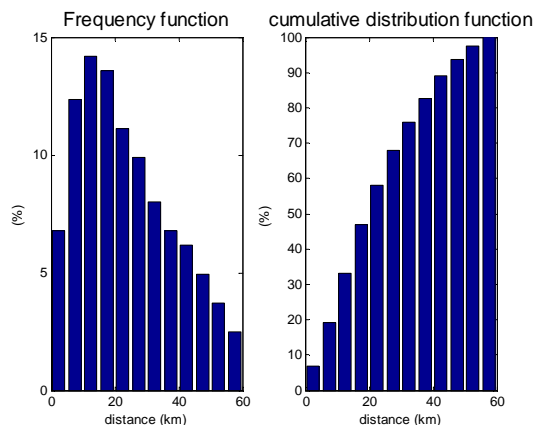


Figure 1 : flotte de véhicules électriques construite à partir de [3]

4. Participation au réglage de la fréquence

4.1 Organisation du réglage dans le système européen

Dans un système électrique en tension alternatif où l'énergie électrique est produite par des machines tournantes synchrones, la fréquence est l'image de l'équilibre offre-demande. C'est parce que nous avons besoin d'une fréquence stable que cet équilibre doit être garanti à chaque instant. L'analyse de la fréquence mesurée avec un pas de 1s montre qu'en situation normale la moyenne est de 50 Hz avec un écart de ± 40 mHz. En Europe, le réglage de fréquence est organisé en trois séquences :

- Réglage primaire : ce réglage est de type proportionnel, et les groupes participant doivent pouvoir varier leur production autour d'un point de fonctionnement (P_0, F_0) selon une loi $\Delta P = -K \times \Delta F$. Les groupes disposent d'une réserve ΔP_{prim} à la hausse ou à la baisse qui doit être activable en 15-30s. L'écart moyen de la fréquence

est nul, donc les groupes fournissent une réserve de puissance mais à énergie nulle. Ce réglage seul ne peut pas garantir un retour à 50 Hz en cas d'écart. Ce réglage est mutualisé à l'échelle du réseau européen. La réserve disponible est de 3000 MW pour le réseau européen dont 700 MW apporté par la France.

- Réglage secondaire : ce réglage est de type intégral. Il permet de ramener la fréquence à 50Hz après un écart, en modifiant le point de consigne P_0 des groupes sur un signal envoyé par le gestionnaire du réseau (RTE en France). Sa constante de temps d'action est de quelques minutes, et il permet de reconstituer la réserve primaire.
- Réglage tertiaire : Ce réglage est un réglage manuel, dont l'objectif principal est de reconstituer les réserves primaires et secondaires. Sa constante de temps est de l'ordre de 15 minutes.

4.2 Participation au réglage primaire de fréquence

En raison des caractéristiques techniques des batteries des véhicules électriques - rapport puissance/énergie relativement élevé, forte réactivité – il a été démontré que les marchés électriques les plus rentables pour une flotte de VE sont ceux qui demandent une faible réserve d'énergie mais une réponse rapide, et ceux dont la rémunération est fonction de la disponibilité (euro/MW-h) et non de l'utilisation (euro/MWh) [4].

Le réglage de fréquence primaire répond parfaitement aux deux critères précédents et nous nous sommes donc intéressés à la contribution potentielle d'une flotte de VE à ce réglage.

Plusieurs stratégies de participation à ce réglage sont comparées :

- Réglage à puissance constante (P_{max} ou $-P_{max}$) en fonction de la valeur de la fréquence, avec ou sans bande morte
- Réglage à puissance variable, proportionnel à l'écart de fréquence par rapport à sa valeur nominale
- Réglage analogue à celui d'un groupe traditionnel, i.e. réglage à puissance variable autour d'un point de fonctionnement (POP, cf figure 2), lui-même fonction de l'état de charge de la batterie. Ce type de réglage a déjà été formalisé pour les VE [5] et mis en place dans une expérimentation pour la participation au réglage secondaire [6]. Il s'agit donc d'adapter ces méthodes pour le réglage primaire, dans le cas Français.

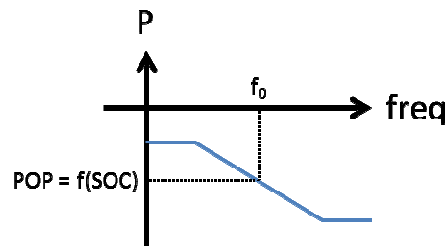


Figure 2 : Courbe puissance-fréquence pour un VE participant au réglage primaire de fréquence, avec contrôle du point de fonctionnement

5. Conclusion

Nous espérons que les résultats obtenus nous permettront de répondre à certaines questions qui restent en suspens :

- Quelle est la taille optimale de la flotte de véhicules électriques pour le réglage de fréquence primaire en France ? En effet, il y a une taille minimum de flotte pour que l'apport en réserve soit intéressant et que la technologie se développe avec un modèle d'affaire rentable, et une taille maximum pour ne pas exposer le système à une indisponibilité de réserve.
- Est-il possible, avec le contrôle du point de fonctionnement des véhicules, de participer efficacement au réglage primaire sans jamais réinjecter d'énergie dans le réseau ?

Il est également envisagé d'étendre les résultats au réglage secondaire de fréquence, et de reprendre les questions évoquées ci-dessus.

6. Références

- [1] W. Kempton and S. Letendre, "Electric Vehicles as a New Power Source for Electric Utilities" *Transpn Res.-D*, Vol. 2, No3, pp157-175 (1997)
- [2] W. Kempton and J. Tomic, "Vehicle to Grid Power Implementation: From Stabilizing the Grid to Supporting Large-scale Renewable Energy" *J. Power Sources* Vol. 144 (2005) 280-294
- [3] Commissariat général au développement durable "Les véhicules électriques en perspective, analyse coûts-bénéfices et demande potentielle", May 2011
- [4] W. Kempton and J. Tomić, "Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue," *Journal of Power Sources*, vol. 144, no. 1, pp. 268–279, Jun. 2005.
- [5] E. Sortomme and M. a. El-Sharkawi, "Optimal Scheduling of Vehicle-to-Grid Energy and Ancillary Services," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 351–359, Mar. 2012
- [6] *Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 351–359, Mar. 2012. S. Kamboj, W. Kempton, and K. S. Decker, "Deploying Power Grid- Integrated Electric Vehicles as a Multi-Agent System," 10th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Innovative Applications Track (AAMAS), no. Aamas, pp. 2–6, 2011.