

Le Véhicule Electrique : un Nouvel Equipement de la Maison

Yves MARCOUX, Daniel QUENARD*, David CHUPIN

CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

24, Rue Joseph Fourier – 38400 Saint Martin d'Hères

* (auteur correspondant : daniel.quenard@cstb.fr)

Résumé - Cette communication présente la première version d'un outil de simulation, développé dans l'environnement TRNSYS, pour simuler l'utilisation d'un véhicule électrique (VE) comme banque mobile d'énergie dans l'environnement bâti. Cet outils permet d'analyser l'impact des distances parcourues, de la production locale d'énergie (au domicile et/ou sur le lieu de travail) ainsi que celui d'un stockage stationnaire associé au domicile. L'utilisation astucieuse du VE apparaît comme un moyen d'alléger la charge sur le réseau, en effaçant les pics, et de favoriser le développement des ENR.

Nomenclature

MI Maison Individuelle

ECS Eau Chaude Sanitaire

VE Véhicule Electrique

VHR Véhicule Hybride Rechargeable

PV Photovoltaïque

SOC State Of Charge [0,1]

DOD Depth Of Discharge [0,1]

P puissance, *W*

GES Gaz à Effet de Serre

ENR Energies Renouvelables

MI Maison Individuelle

BEPOS Bâtiment Energie Positive

Indices et exposants

pv_res du PV vers le réseau

res_conco du réseau vers la consommation

pveff puissance PV fournie après l'onduleur

1. Introduction

En France, les 30 millions de logements et les 30 millions de véhicules particuliers représentent près de la moitié des émissions de GES et leur évolution depuis 1990 est préoccupante : elles ont augmenté de 22% dans le bâtiment et de 23% dans les transports alors qu'elles ont diminué dans tous les autres secteurs. En termes de consommation énergétique, le chauffage (les chaudières) et la voiture particulière (les moteurs) restent les deux principaux postes et représentent, en valeur cumulée encore près de 70% de la consommation énergétique totale de la France et plus de 80 % pour une famille. Une étude récente réalisée par la Communauté Urbaine de Lille-Métropole (LMCU) confirme clairement que les consommations énergétiques et les rejets de CO₂ imputables aux ménages pour le logement et les déplacements sont du même ordre de grandeur [1]. Il n'est donc pas possible d'affirmer qu'il faut se concentrer sur l'une ou l'autre de ces composantes.

2. Description du modèle.

L'objectif de cette étude préliminaire a été de développer, dans l'environnement TRNSYS (figure 1), la première version d'un outil de simulation des consommations électriques d'un écosystème intégrant bâtiments et déplacements induits (dans l'hypothèse de l'utilisation d'un VE), dans une approche globale [2,3,4,5,6,7,8,9]. La première version de ce modèle considère donc un écosystème composé d'un domicile et d'un lieu de travail, tous deux associés à un

VE pour les déplacements. Suivant les scénarii, le domicile peut être considéré comme un site de consommation (équipements électrodomestiques et VE), de production (PV) et de stockage (batteries stationnaires). Quant au lieu de travail, seule la production du parking-solaire est considérée.

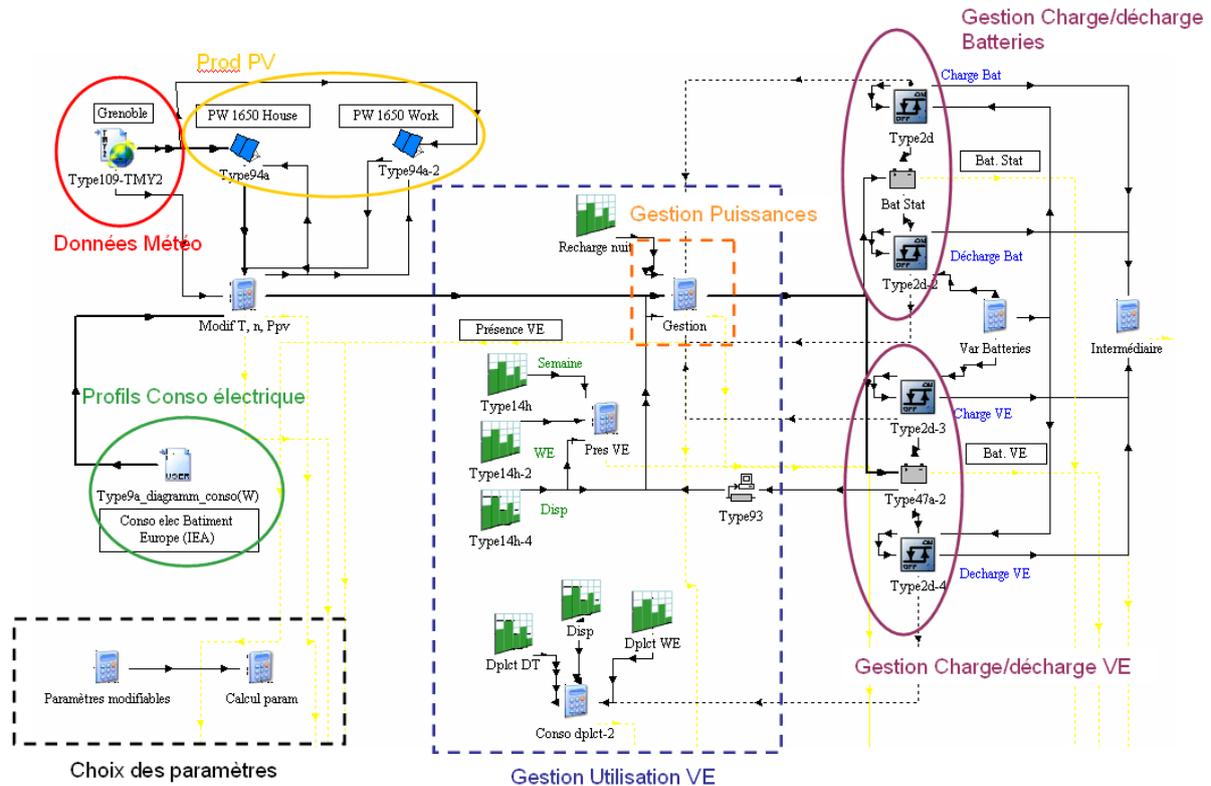


Figure 1 : Représentation du système sous l'environnement graphique de TRNSYS

2.1. Les profils de consommation électrique au domicile

Les profils de consommation électrique du domicile (figure 2) sont décrits par les relevés réalisés dans le cadre de l'Annexe 42 de l'IEA¹⁰, pour un foyer type, censé être représentatif de la population européenne. La figure 2 illustre un profil de charge, mesuré avec un pas de temps de 5 min pendant une journée du mois de mai caractéristique (pic de consommation le matin, vers midi, et le soir). Selon ces relevés, la consommation annuelle électrique de l'ensemble du bâtiment est d'environ 45 kWh/m².an. Les profils de consommation relevés avec un pas de 5 minutes diffèrent fortement des profils calculés à partir des consommations moyennes globales qui ont pour effet de lisser ces profils en effaçant les pic qui dépassent parfois quelques kW, voire dans certain cas approchent ou dépassent légèrement les 10kW.

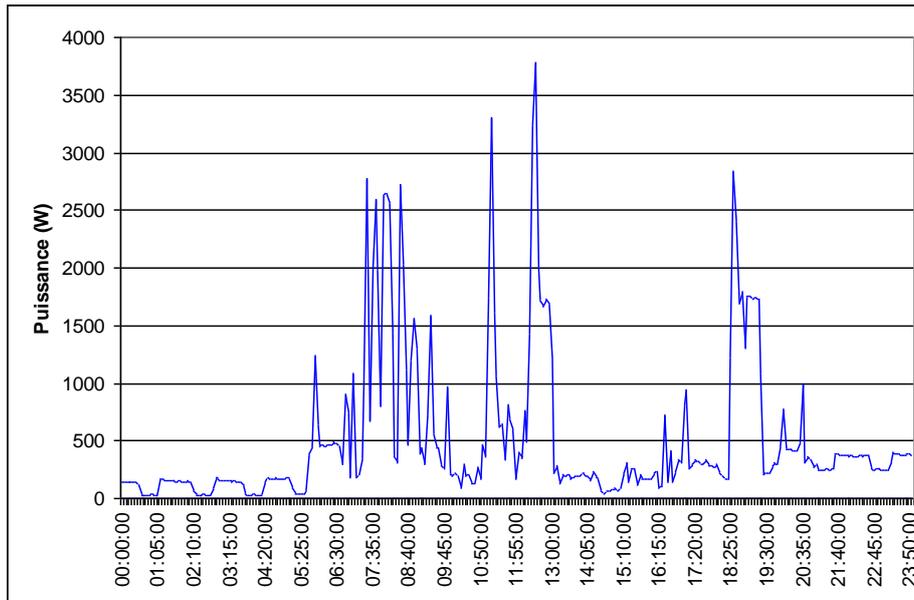


Figure 2 : Relevé des consommations électriques du bâtiment considéré (jour du mois de mai) – source Annexe 42, IEA

2.2. La production PV

Les modules photovoltaïques sont décrits par le Type 194a sous TRNSYS (figure 2). Les données météorologiques pour Grenoble sont calculées avec le logiciel METEONORM. La productivité annuelle d'une centrale photovoltaïque de 1 kWc à Grenoble est de 1100 kWh/kWc.an. La surface maximale de la centrale PV au domicile est de 30 m² (~3.8 kWc), au travail elle n'est que de 8 m² (~1 kWc). Dans le cas d'une production au domicile et sur le lieu de travail, la somme des deux surfaces ne dépasse pas 30 m². Le rendement des onduleurs est fixé à 0,9.

2.3. Les batteries du VE et les batteries stationnaires au domicile.

Dans le modèle étudié, le VE est considéré comme un stockage stationnaire qui est déconnecté de la maison pendant les déplacements pour se reconnecter au retour avec un état de charge (SOC) différent suivant le trajet considéré. Dans les deux cas (batteries stationnaires et batteries du VE), on utilise le Type47a (TRNSYS) qui est un modèle de batterie au Plomb. Le SOC des batteries reste compris entre 10% et 80% lors de la recharge et à puissance constante, le SOC de la batterie évolue linéairement. Ce modèle très simplifié ne prend pas en compte tous les phénomènes physiques entrant en jeu lors de la charge/décharge d'une batterie (autodécharge, durée de vie,...). Pour différencier les batteries stationnaires et les batteries « nouvelle génération » des VE, on choisit une profondeur de décharge autorisée plus élevée pour les VE (90%) que pour les batteries stationnaires (50%). Les caractéristiques Energie/Puissance des batteries stationnaires sont les suivantes : 40 Wh/kg et 400 W/kg, avec un rendement de 0,8 et une DOD autorisé à 0,5. Pour le VE, on a retenu une énergie embarquée de 30 kWh, une consommation de 150Wh/km avec un DOD limité à 0,9. La recharge du VE par le réseau se fait à puissance constante en considérant une recharge sur prise classique, c'est-à-dire à : $P_{res_VE} = 230 \text{ V} * 16 \text{ A} = 3.7 \text{ kW}$.

L'écosystème étudié n'est pas isolé du réseau électrique. Pour les équipements de la maison (hors VE), le réseau est sollicité dès que nécessaire, soit pour apporter un complément à la production photovoltaïque et lorsque la batterie est vide ; soit pour réinjecter la surproduction PV. En revanche, la recharge du VE par le réseau électrique n'est pas automatique et va dépendre de la relation entre l'état de charge à l'instant donné du VE et la capacité minimum demandée pour effectuer les trajets quotidiens du lendemain (en conservant la marge limitant la profondeur de décharge à 0.9).

2.4. Déplacements en VE considérés

Dans cette étude préliminaire, nous considérons uniquement les déplacements domicile-travail. Pour rappel, la moitié des français habitent à moins de 8 km de leur lieu de travail et que la distance moyenne parcourue par jour est de 26 km¹¹. Il a cependant été considéré deux scénarii différents : un scénario « semaine » où le VE est utilisé pour ses déplacements domicile – travail (départ à 8h et retour à 17h30) et un scénario « week-end » où le VE est utilisé pour des loisirs (25 km/WE et 50 km/WE, de 14h à 17h). Chaque déplacement dure ½ heure (1h par jour) et la batterie du véhicule se décharge plus ou moins rapidement selon le trajet effectué.

2.5. Les priorités dans les flux : Production-Consommation-Stockage

Le système disposant de plusieurs sources d'énergie (réseau, PV et dans une moindre mesure batteries) et de plusieurs postes de consommation (VE, équipements de la maison et également batteries), il a fallu définir des ordres de priorités tout d'abord concernant l'usage de la production photovoltaïque et enfin concernant l'alimentation globale des équipements électriques de la maison et du VE.

Ainsi, la production photovoltaïque au domicile alimente en priorité les équipements électrodomestiques. Le deuxième poste de consommation sera le VE, ensuite les batteries, et en dernier lieu la surproduction est réinjectée sur le réseau électrique. En ce qui concerne l'alimentation de la maison, l'appoint est fait tout d'abord par les batteries et ensuite par le réseau électrique. Enfin, l'alimentation du VE, dans le cas où la production PV n'a pas suffisamment permis de le recharger, est complétée par le réseau électrique, en heures creuses. De plus, il est possible de forcer la charge du véhicule, à une heure donnée et en fonction de son état de charge.

3. Un exemple de scénario

Au cours de l'étude, treize scénarii ont été simulés ; d'une part pour illustrer les résultats qui peuvent être obtenus à partir du modèle, et d'autre part afin de mettre en avant les principaux facteurs du modèle.

Scenario 1 et 2 : PV au domicile (30m²) - Influence de la distance parcourue : 16 et 52 km

Scenario 3 à 6 : PV au domicile - Influence du stockage stationnaire (2 jours et 4h)

Scenario 7 à 10 : Intérêt de la recharge sur le lieu de travail couplé avec recharge sur le lieu de domicile et un stockage stationnaire

Scenario 11 et 12 : Intérêt de la recharge sur le lieu de travail seul (8 m²)

Scenario 13 : Utilisation des batteries pour l'écrêtage du pic de fin de journée.

Chaque simulation a été faite sur une durée de 1 an, avec un pas de temps de 5 minutes. Les données récupérées concernent à la fois des informations sur les échanges de puissance (figure 1) et d'énergie entre les différents postes de consommation/production, l'état de charge en temps réel des batteries stationnaires et du VE, et un certain nombre d'indicateurs permettant de connaître par exemple le nombre d'heure où le réseau a été sollicité, ou encore le nombre d'heure où les batteries étaient pleines. On s'intéresse plus particulièrement à l'usage de la production photovoltaïque, à la répartition de la consommation globale du système par type de production et au nombre d'heure où le bâtiment est passif, voire producteur d'énergie.

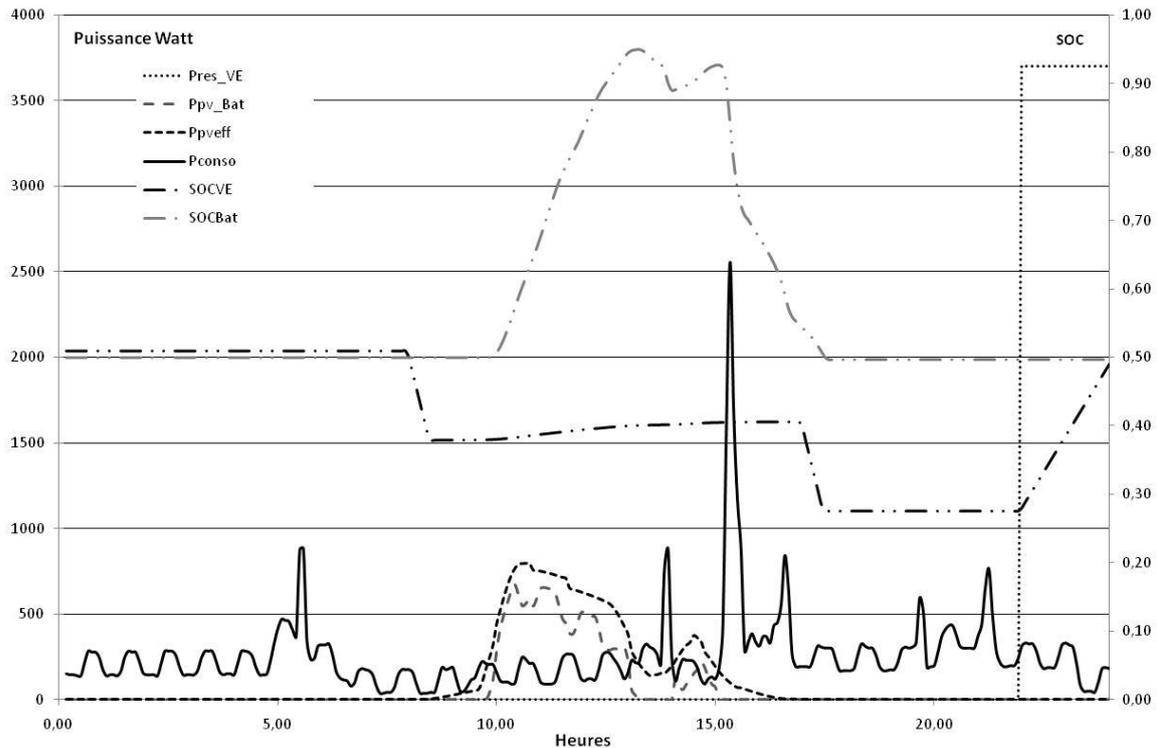


Figure 3 : Un exemple de résultat fourni par le logiciel

(Les échanges de puissance pendant une journée : PV au domicile et au travail)

Dans le scénario 10, dont une journée caractéristique est présentée sur la figure 3, la production PV est répartie entre le domicile (22 m²) et le travail (8m²). Le VE parcourt une distance moyenne de 52 km. Le stockage stationnaire au domicile est de 3 kWh, soit environ 4h de consommation. Le VE est rechargé au domicile en « heures creuses » après 22h. Si nécessaire, le surplus de production de la centrale PV sur le lieu de travail est réinjecté sur le réseau électrique.

Bien sûr, la réduction de la puissance de la centrale PV au domicile diminue la part de la production PV pour répondre aux besoins du domicile mais son couplage avec une production PV sur le lieu de travail permet de recharger le VE à près de 50%. Avec un déplacement de 52 km/jour, la recharge du VE sur le lieu de travail est très intéressante du point de vue de la valorisation de la production PV. La recharge sur le lieu de travail apparaît donc comme un complément intéressant à un stockage stationnaire au domicile de faible capacité (3 kWh). Vu du réseau l'ensemble « Bâtiment+VE » est considéré comme un élément passif, voire producteur d'énergie, la moitié du temps.

De plus, l'utilisation des batteries stationnaires, voire celles du VE pour l'effacement des pics lorsque la demande au niveau du réseau est supérieure à une puissance donnée, par

exemple 3 kW, pourrait avoir un intérêt très important pour les consommateurs (souscription moins chère), les gestionnaires d'énergie (moins de risque de dépassement et rupture du réseau) et la société en générale (moins de centrale en fonctionnement ...)

4. Conclusions et Prospectives

A l'issue de ce travail, nous disposons d'un premier outils de simulation qui permet d'évaluer l'intérêt de la convergence BEPOS-VE en fournissant des données de dimensionnement pour des installations PV, au domicile et au travail, couplées à du stockage stationnaire et mobile (VE). Cette exploitation du bâtiment comme site de production et du VE comme banque mobile d'énergie pourrait permettre à l'avenir de mieux valoriser les ENR et de lisser la demande ; par conséquent limiter le recours aux centrales thermiques. L'outil pourrait aussi être utilisé pour adapter nos modes de consommation et de déplacements par rapport aux disponibilités en énergie et à leur coûts.

Références

-
- 1 : GES émis par l'habitation et les déplacements des ménages - http://www.lillemetropole.fr/index.php?p=1279&art_id=
 - 2 : http://www.solartoday.org/2006/nov_dec06/near_zero.htm
 - 3 : Toyota Dream House <http://tronweb.super-nova.co.jp/toyotadreamhousepapi.html>
 - 4 : Université du Delaware – V2G - <http://www.udel.edu/V2G>
 - 5 : Buildings Technology In the Vanguard of Eco-efficiency, Ernst Ulrich von Weizsäcker, MP, SB05, Tokyo, 2005
 - 6 : Université du Delaware – V2G - <http://www.udel.edu/V2G>
 - 7 : Vers l'autonomie énergétique : D. Quenard - Supplément La Recherche – Janvier 2008 – N°415
 - 8 : Université du Delaware – V2G - <http://www.udel.edu/V2G>
 - 9 : Gareth Haines et al. , The simulation of Vehicle-To-Home Systems – Using Electric Vehicle Battery to Smooth Domestic Electricity Demand, EVER Monaco, 26-29 mars 2009.
 - 10 : IEA – ECBCS – Annexe 42 : www.ecbcs.org – www.cogen-sim.net
 - 11 : INSEE, Les déplacements domicile-travail amplifiés par la périurbanisation, n°1129 - mars 2007