



Villes solaires et mobilité électrique individuelle : Une étude de cas sur Paris, Lyon et Marseille.

Adewale Arowolo¹ & Yannick Perez²
CentraleSupélec, Université Paris-Saclay

21 septembre 2021

Résumé de l'étude

Les villes sont devenues le centre des efforts mondiaux d'atténuation du changement climatique car elles sont responsables de 60 à 70 % des émissions de CO₂ liées à l'énergie. Alors que le monde est de plus en plus urbanisé, il est crucial d'identifier des voies rentables pour décarboner et améliorer la résilience des villes afin d'assurer le bien-être de ses habitants (Kobashi et al., 2021).

Dans ce rapport de recherches, nous avons exploré le concept de « villes solaires avec mobilité électrique individuelle ». Il comprend donc des systèmes intégrés de panneaux solaires photovoltaïques sur les toits des villes (PV solaire) et des véhicules électriques individuels (VE) capables de fournir de l'électricité aux citoyens en plus du service de mobilité. L'augmentation des énergies renouvelables et la pénétration des véhicules électriques créent de nouvelles opportunités pour décarboner conjointement les systèmes énergétiques et la mobilité individuelle.

Ainsi lorsqu'il est couplé au solaire PV, le VE peut être chargé avec de l'électricité sans CO₂. En outre, les véhicules électriques peuvent être utilisés pour le stockage de l'électricité solaire photovoltaïque qui deviendra utilisable dans un appartement résidentiel et/ou pourra être revendue aux réseaux électriques avec des modèles « *Vehicle to Grid* ».

Le modèle

Nous avons réalisé une **étude sur les trois plus grandes villes de France, Paris, Lyon Marseille.**

1. Nous avons estimé la surface disponible sur les toits des trois villes pour 2030.
2. Nous avons **modélisé 6 scénarios différents**, « PV uniquement » en 2019, « PV uniquement en 2030 » et « PV+EV en 2030 » (avec et sans cas tarif d'achat garanti). Pour ce faire nous avons utilisé le modèle de simulation « *System Advisor* » version 2020.11 .29 du US National

¹ adewale.arowolo@centralesupelec.fr

² Yannick PEREZ, Laboratoire de Génie Industriel – CentraleSupélec – Université Paris-Saclay. 9 ter Rue Joliot Curie, 91192 Gif sur Yvette Yannick.perez@centralesupelec.fr

Renewable Energy Laboratory. Les variables d'entrée de notre modèle comprennent les données météorologiques, les spécifications du système électrique local, les pertes du système, les coûts, les modes de financement et les incitations économiques. Les variables de sortie sont les demandes annuelles en énergies, mensuelles et horaires, Le cout Moyen Pondéré de la production Électrique (LCOE), la Valeur Actualisée Nette des investissements (VAN), les temps de retour sur investissement, etc.

3. Nous avons calculé l'économie de CO2.
4. Enfin le modèle étant en Open source et les données utilisées publiques, nous espérons que ce premier travail pourra être généralisé sur d'autres métropoles.

Principaux résultats

Notre modèle montre que **si en 2030 : 70% des toits des villes³ sont équipés de PV, 50% des voitures individuelles sont des VE**, et que les VE utilisent 26 kWh de leur capacité couplée au PV celui induit pour Marseille :

- Une économie de **1,2 million de tonnes d'émissions d'équivalent CO2 (56 %) par an**.
- Une **production de 11,2 TWh des 13,9 TWh demandés annuellement à Marseille (80 % de couverture des besoins)**.
- Un **investissement avec une période de retour de 2,2 ans**, un LCOE de 0,029 €/kWh et une VAN de 15,4 milliards d'euros sans tarif de rachat.

Pour Lyon :

- Une économie de **878 400 tonnes d'émissions d'équivalent CO2 (50 %) par an**.
- Une **production de 4,6 TWh sur les 8,6 TWh demandés annuellement à Lyon (53 %)**.
- Un **investissement avec une période de retour de 2,2 ans**, un LCOE de 0,029 €/kWh et une VAN de 6.3 milliards d'euros sans tarif de rachat.

Pour Paris :

- Une économie de **2,8 millions de tonnes d'émissions d'équivalent CO2 (48 %) par an**.
- Une **production de 14,9 TWh sur les 31,1 TWh de la demande annuelle à Paris (39 % de couverture des besoins)**.
- Un **investissement avec une période de retour de 2,3 ans**, un LCOE de 0,030 €/kWh et une VAN de 20 milliards d'euros sans tarif de rachat.

Défis/limites de notre étude

Nous avons dû pour des raisons de faisabilité de poser des hypothèses réductrices concernant un certain nombre de points qui ne sont pas modélisables dans le cadre de notre étude. Ces limites illustrent du coup les défis à surmonter pour mettre en œuvre ces solutions :

- **Des défis comportementaux** (l'acceptation par l'utilisateur ; la conformité du comportement réel de l'utilisateur (modèles de conduite et de charge) ;
- **Des défis technologiques** (quel sera l'impact d'autres technologies émergentes dans les réseaux de distribution électriques (pompes à chaleur / stockage stationnaire / développement de la climatisation...) ;
- **Des défis stratégiques** (comment mettre en place une coopération entre les différents acteurs de la synergie PV+EV ?; comment accompagner l'effet du couplage PV+EV dans un réseau de distribution sur la demande d'énergie résiduelle et l'impact sur les revenus des services publics ? Quels tarifs réseaux pour faciliter le synergie EV-PV ?) ;
- **Des défis de standardisation** (l'absence d'une interface bâtiment-VE normalisée ; le manque de sensibilisation/connaissance des solutions V2H ; gestion de data...) ;

³ Sans les parkings

- et enfin des **contraintes légales et réglementaires** à simplifier pour permettre la diffusion des EVs et du PV dans les villes.

Implications politiques

- **Des politiques combinées pour aider à la diffusion des PV+EV seraient souhaitables.**
- **Les politiques de pénétration des VE à Paris, Marseille et Lyon devraient être renforcées et accompagnées.** Une planification au niveau des métropoles devrait être mise en œuvre pour accompagner le couplage PV+EV et installer des bornes de recharges publiques complémentaires lorsque ces solutions ne seront pas possibles.
- L'expansion PV+EV entraînera une évolution de la demande pour les services publics d'électricité et une réflexion sur la tarification prenant en compte cette situation doit être étudiée.