



Syndicat des
professionnels
de l'énergie
solaire



Convergences entre photovoltaïque et mobilité électrique



LE RENDEZ-VOUS SOLAIRE DE LA RENTRÉE

2^e UNIVERSITÉ D'ÉTÉ
de l'autoconsommation
PHOTOVOLTAÏQUE



Avant-propos

La décarbonisation du secteur des transports passe notamment par son électrification. C'est un défi important que relève l'industrie automobile, avec des investissements gigantesques pour transformer leur outil de production et faire émerger des champions européens de la batterie.

Pour le secteur électrique et les collectivités locales, c'est aussi un grand défi de déployer de façon accélérée des infrastructures de recharge et de maîtriser leur impact sur le réseau.

L'électricité solaire est hautement concernée par cette « e-transformation » du secteur des transports. Si l'on voit apparaître des véhicules qui embarquent directement le générateur solaire dans leur design, en termes de puissance PV déployée, c'est la recharge de véhicules par la production solaire locale qui est la plus prometteuse. L'on profite ainsi de la concomitance production/recharge afin d'alimenter de façon intelligente les batteries sur roues que sont les véhicules électriques, quand la production solaire coïncide avec leur stationnement, sans stress pour le réseau. Un autre point d'intérêt stratégique entre solaire et électromobilité, c'est l'amélioration de la compétitivité du stockage qu'induit l'industrie automobile, avec par ailleurs une seconde vie de ces batteries mobiles qui permettra une diffusion massive du stockage stationnaire au service du réseau intelligent, qui intégrera toujours plus d'électricité et de flexibilité.

Ce premier rapport dresse un état des lieux des convergences à l'œuvre entre solaire et électromobilité. C'est le fruit de la collaboration entre ENERPLAN et Solar Power Europe qui va se poursuivre. Il montre des solutions innovantes où le solaire et la mobilité électrique se marient fructueusement, ce qui devrait susciter maintes initiatives des acteurs politiques et économiques en faveur des synergies entre nos deux filières. Les acteurs avertis n'auront aucun mal à travailler de concert à une large diffusion de ces solutions, au service de la transition des mobilités vers un approvisionnement renouvelable.

Les solutions innovantes nécessitent une réglementation innovante. Alors que l'Union européenne vient de se doter d'un nouveau cadre sur l'autoconsommation au sein du Paquet Energie propre, il est nécessaire que la France, et avec elle les Etats européens, se dotent d'un cadre réglementaire moderne permettant le développement l'autoconsommation individuelle et collective, et de la mobilité renouvelable.

En France, nous n'avons pas de pétrole, mais des idées et du soleil ! La filière photovoltaïque est mobilisée pour accompagner le développement de l'électromobilité, afin que l'électricité solaire produite et consommée localement soit tant une source de valeur pour les territoires qu'une source d'autonomie pour les bénéficiaires.

Daniel BOUR,
Enerplan (Président)

A blue ink signature of Daniel Bour, consisting of a stylized 'D' followed by a series of loops and a long horizontal stroke.

Walburga HEMETSBERGER
Solar Power Europe (C.E.O.)

A black ink signature of Walburga Hemetsberger, featuring a large, elegant 'W' followed by a series of loops and a long horizontal stroke.

Introduction

Sur un an, 1 kWc de panneaux photovoltaïques installés sur une toiture en France métropolitaine produit l'électricité nécessaire à alimenter une voiture électrique sur une distance de plus de 10 000 kilomètres. Ce chiffre montre à lui seul les synergies entre l'électricité solaire et les véhicules électriques qui remplaceront progressivement les véhicules thermiques ces prochaines années.

Avec plus de 5 millions d'automobiles électriques dans le monde en 2019¹, la mobilité électrique est une révolution amorcée pour le secteur des transports. Les véhicules électriques ont atteint un niveau de maturité suffisant, montrant qu'ils sont une réelle alternative fiable pour décarboner ce secteur.



Le secteur automobile est au cœur de cette tendance. L'AVERE France (association nationale pour le développement de la mobilité électrique) et RTE estiment que dès 2025, 20% à 40% des voitures roulant en France seront électriques, hybrides rechargeables ou à hydrogène, représentant entre 7 et 16 millions de véhicules. Le cadre législatif se montre de plus en plus incitatif vis-à-vis de cette décarbonisation du transport, comme le montre la discussion dans le cadre de la loi d'orientation des mobilités de l'interdiction de vente des véhicules à énergie fossile à partir de 2040.

Cette forte dynamique impose une excellence environnementale allant jusqu'à la teneur en gaz à effet de serre de l'électricité qui vient alimenter la mobilité électrique. Si un véhicule électrique en France émet en moyenne 3 à 4 fois moins que son équivalent thermique, la marge d'amélioration en couplant avec de l'électricité 100%

¹ Source : Bloomberg New Energy Finance

verte est bien sûr intéressante. La question du couplage entre mobilité électrique et production d'énergie renouvelable, en premier lieu photovoltaïque se pose donc. Le développement important de véhicules électriques plus légers, du vélo au petit utilitaire en passant par la trottinette et les transports publics renforce la pertinence de celui-ci.

L'une des logiques essentielles de la mobilité électrique étant un gain environnemental net tant en décarbonant les déplacements qu'en contribuant à améliorer la qualité de l'air, charger les véhicules en électrons verts répond à une demande implicite de leurs utilisateurs. Aujourd'hui, les accords de gré-à-gré et les systèmes de garanties d'origine permettent de charger les véhicules électriques en s'assurant qu'une production renouvelable a bien lieu, plus ou moins éloignée du point de charge. On voit apparaître des offres de recharge solaire de VE, avec ombrières solaires combinées à des bornes de recharges, ou encore des bornes alimentées par les toitures solaires aux alentours. La pose de panneaux solaires sur des infrastructures nécessaires à la mobilité (les gares ferroviaires par exemple) est également une solution de plus en plus exploitée. Toutes ces solutions sont au cœur des préoccupations d'Enerplan et de Solar Power Europe.

Enerplan a lancé au début de l'année 2019 avec l'AVERE France un partenariat pour explorer les synergies entre l'autoconsommation solaire et la mobilité électrique en France. Au niveau européen, Solar Power Europe a initié un travail de cartographie des synergies entre renouvelables et mobilité propre, et publiera en novembre 2019 un rapport sur les modèles de mobilité solaire. La coopération entre Enerplan et Solar Power Europe initiée par ce livrable conjoint, permettra de structurer les échanges entre l'industrie de la mobilité électrique et photovoltaïque européenne et française.

L'autoconsommation photovoltaïque (PV + borne de recharge avec ou sans stockage stationnaire) est une des voies qui va naturellement s'imposer. En permettant aux utilisateurs de charger leurs véhicules électriques directement avec des électrons solaires, elle répond le plus précisément possible à leur demande d'approvisionnement vert et local. En limitant les besoins de soutirage, l'autoconsommation rend également service au réseau électrique, moins contraint par la demande des véhicules et par la production solaire variable. Enfin, plusieurs modèles innovants de véhicules électriques équipés de modules solaires émergent, afin de recharger leurs batteries. Les électrons produits peuvent alimenter les batteries pour gagner plusieurs kilomètres d'autonomie ou alimenter des services annexes à la mobilité.

Une production sur site alimentant les batteries des véhicules électriques

Une manière simple et efficace de charger des véhicules électriques en électrons solaires est de recharger les véhicules à l'endroit où les électrons solaires sont produits. See You Sun, une entreprise française, a fait le pari de séparer les modèles économiques des structures de recharge et de production, tout en les réunissant géographiquement. Ce modèle est triplement bénéfique : les ombrières apportent plus de confort aux utilisateurs de véhicules garés dessous, permettent une production électrique vendue et injectée sur le réseau au bénéfice du propriétaire de l'installation, et fournit aux bornes de recharge branchées près du point d'injection des électrons verts et locaux aux moments où elles produisent.



Une consommation d'électrons solaires à distance est également rendue possible par l'essor de la blockchain. En France, Tecsol et sa spin-off Sunchain sont à l'initiative du projet MOBELSOL, qui vise à maximiser la part solaire de la recharge des véhicules électriques grâce aux excédents d'installations de production photovoltaïque plus ou moins lointaines du lieu de la recharge. La gestion intelligente de la recharge permettra d'optimiser la consommation pour la superposer aux heures d'ensoleillement en tenant compte des contraintes réseau. Le recours à la blockchain assurera les électromobilistes de l'origine géographique et technologique des kilowattheures verts chargés dans leurs batteries.

Des modèles en autoconsommation existent également. Les bornes de recharge de véhicules électriques peuvent être directement alimentées par des panneaux photovoltaïques, permettant une autoconsommation des électrons solaires

et limitant le soutirage sur le réseau. Un système de pilotage de la recharge peut permettre de maximiser le taux d'autoconsommation. L'entreprise de logiciels de gestion SAP autoconsomme ainsi les électrons solaires produits sur le toit de son site de Mougins dans les Alpes Maritimes. Chaque mois, leur installation permet à la flotte de véhicules électriques de l'entreprise de parcourir plus de 60 000 kilomètres.



Ce modèle d'autoconsommation direct peut être optimisé en couplant l'installation photovoltaïque à un système de stockage stationnaire. La batterie peut stocker la production solaire en excès et alimenter la borne de recharge hors des périodes d'ensoleillement et de présence du véhicule, permettant d'optimiser le taux d'autoconsommation et de 'recharge solaire'. Plusieurs solutions de ce type sont déjà déployées en France, comme FlexiMob-Île à Belle-Île-en-mer où une optimisation de la production solaire est faite en redirigeant les consommations en fonction des usages : par exemple, une école alimentée par des panneaux solaires les jours de semaine redirigera l'énergie produite durant les week-ends et les vacances vers les bornes de recharge pour voitures électriques. De même, les batteries de seconde vie utilisées pour pour FlexiMob-Île permettent de faire du stockage stationnaire de l'électricité photovoltaïque en journée et la restituer la nuit pour les usages nocturnes des bâtiments. En Corse, la société Driveco a quant à elle relié au réseau de distribution plusieurs bornes de recharge solarisées couplées à des batteries stationnaires sur l'île, permettant de répondre au mieux à la demande de chaque site.



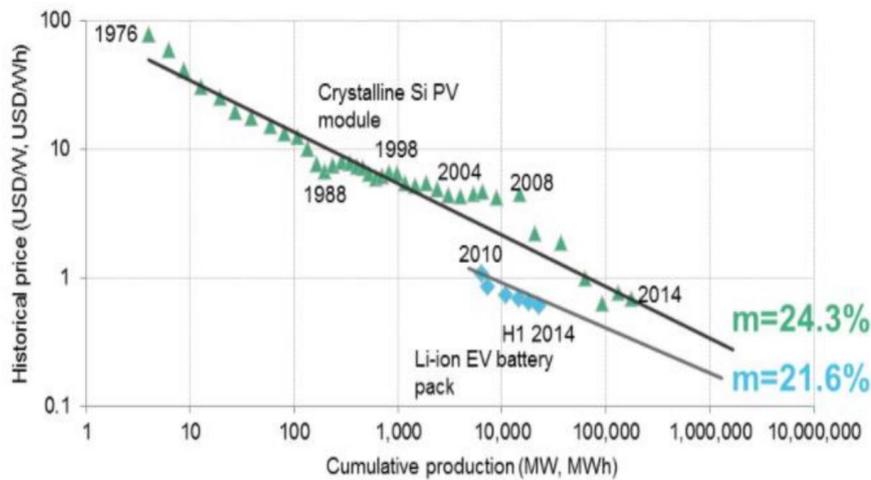
L'autoconsommation solaire n'est pas intéressante uniquement pour les voitures ou autres véhicules légers électriques. Elle peut aussi permettre d'alimenter des réseaux de transport en commun à grande échelle. Toulouse, pour son nouveau téléphérique urbain Téléo, prévoit d'implanter à proximité d'une des stations une centrale solaire de 15 MW pour alimenter les cabines en électricité. Selon le maître d'ouvrage du projet, la centrale injectera sur le réseau jusqu'à 21 GWh par an alors que le téléphérique en soutirera à proximité immédiate moins de 8.

Le boom des VE créateur d'opportunités pour la production solaire

Le stockage, qu'il soit stationnaire ou prenne la forme de batteries de véhicules électriques, est un outil très pertinent pour optimiser l'autoconsommation photovoltaïque. Il permet de pouvoir consommer les électrons produits en dehors des périodes d'ensoleillement. En France, contrairement à ce qui s'observe dans d'autres pays européens comme l'Allemagne, les projets alliant autoconsommation et batteries sont restés rares jusqu'à aujourd'hui. Le coût des batteries résidentielles et celui des véhicules électriques constituait souvent un frein trop important à leur intégration par les développeurs à des projets d'autoconsommation.

Toutefois, la compétitivité des batteries s'améliore du fait de l'essor des véhicules électriques. Leur demande en modules de stockage a fait exploser ce marché, et la croissance de l'offre couplée à la surcapacité a fait drastiquement baisser leur prix. En huit ans seulement, le prix des modules lithium-ion a été divisé par 6 ! Les prix bas des batteries ont favorisé les investissements dans une meilleure autonomie, les faisant gagner en rentabilité et en efficacité. De plus, si la baisse du prix des

batteries se poursuit, le stockage stationnaire pourrait devenir de plus en plus populaire vis-à-vis des porteurs d'opérations d'autoconsommation photovoltaïques.



La recharge de véhicules électriques en électrons solaires décuple leurs bénéfices environnementaux et économiques, réduisant la dépendance nationale vis-à-vis des combustibles fossiles importés tout en soutenant la transition énergétique et la décarbonisation du secteur électrique.

Les batteries utilisées dans la majorité des véhicules électriques ont la particularité de ne pas avoir des performances uniformes sur l'ensemble de leur durée de vie. Les batteries peuvent être remplacées par les utilisateurs à la suite de la baisse de leurs performances, mais peuvent toujours être utilisées avec un rendement satisfaisant pour le stockage stationnaire. Un marché de seconde vie des batteries de véhicules électriques voit ainsi progressivement le jour, réaffectant les ex-batteries de véhicules électriques à un stockage stationnaire. Cette capacité de stockage peut alors être utilisée par des agrégateurs remplissant leurs batteries aux moments où le prix est faible et en faisant bénéficier à leurs clients aux moments où le prix augmente, ainsi que pour rendre des services aux opérateurs de réseaux.

La capacité de stockage disponible sous la forme de batteries de véhicules électriques en seconde vie est appelée à croître de manière significative. Selon le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, le marché des véhicules électriques représentera 163 GWh de capacité de stockage sur roues en 2024. 8 à 10 ans après leur commercialisation, les batteries des VE ne seront plus adaptées aux véhicules et pourront donc servir de stockage stationnaire. A ce stockage stationnaire viendra s'ajouter celui des véhicules eux-mêmes : à horizon 2035, la capacité de stockage cumulée des véhicules électriques devrait représenter entre 6 et 11 fois celle des stockages hydrauliques actuels.

Plusieurs constructeurs de véhicules mènent ainsi des projets pilotes afin d'anticiper les futurs volumes de batteries en fin de première vie. L'alliance Renault-Nissan s'est ainsi associée à Eaton pour recycler 148 batteries de Nissan Leaf après leur première vie, pour stocker la production solaire du toit de l'Amsterdam Arena en vue d'une autoconsommation ultérieure, contribuer à stabiliser le réseau électrique, ou encore servir d'approvisionnement de secours pour le stade. Derrière ce projet pilote

se cache une volonté de travail à long terme sur les opportunités offertes par la seconde vie des batteries, dont l'autoconsommation photovoltaïque.

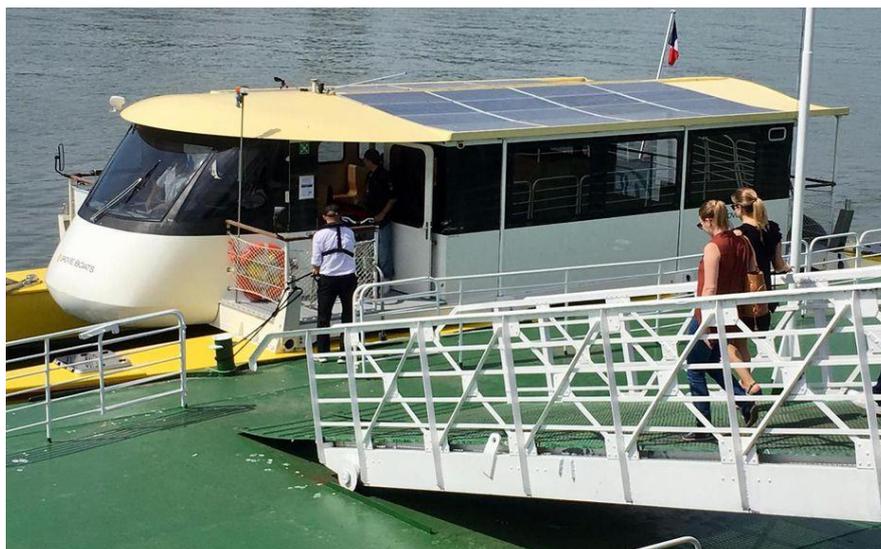


Des véhicules solarisés gagnant en autonomie

L'idée d'intégrer des panneaux photovoltaïques à des véhicules ne date pas d'hier. Dans le passé, seuls de petits panneaux étaient proposés en option sur le toit de certains modèles de voitures électriques. D'autres véhicules solaires existent également : camions, bus, carrioles de livraison à vélo peuvent être solarisés.

Les bateaux solaires ont développé une avance considérable sur ces autres modes de transport. Tant pour des croisières de plaisance que comme transports en commun, les bateaux électriques solaires sont une solution décarbonée et propre de transport maritime et fluvial, tranchant avec l'image habituelle de ce mode de transport. La solarisation augmente l'autonomie des embarcations, tout en réduisant les besoins en recharge de leurs batteries. Leur durée de vie est d'ailleurs prolongée par une solarisation directe.

En France, de nombreuses villes côtières et fluviales intègrent des bateaux à leur réseau de transports en commun, et réduisent ainsi leur impact environnemental à travers la solarisation. Rouen a par exemple accueilli cet été une navette fluviale solaire reliant les deux rives de la Seine, permettant la traversée tant des touristes que des habitants. Un branchement au secteur est possible lorsque les électrons solaires ne suffisent pas à faire tourner les moteurs. Un dispositif similaire en eaux maritimes est en place à La Rochelle, permettant de traverser le chenal du Vieux Port.



Pour les camions, le solaire est intégré au toit du véhicule ou de sa remorque. Les électrons solaires alimentent en électricité des services auxiliaires à la mobilité (géolocalisation, hayon monte-charge, réfrigération de la remorque...). L'électricité fournie à ce type de véhicule reste une source d'énergie marginale ne pouvant pour l'heure pas remplacer les carburants conventionnels.

2019 pourrait être un tournant important en matière de voitures solaires grâce à deux start-ups européennes (Sono Motors et Lightyear), qui ont récemment dévoilé leurs modèles de voitures solaires. Plusieurs constructeurs historiques franchissent également le pas :

- Le modèle Sion de Sono Motors (Allemagne) : voiture familiale avec 1.2 kW PV sur le toit, ajoutant 34 km d'autonomie en moyenne.
- La Lightyear One, de Lightyear (Pays-Bas) : voiture haut de gamme avec des panneaux PV sur le toit allongeant l'autonomie de 12 kilomètres par heure d'ensoleillement.
- Toyota Prius (Japon) : intégration de panneaux solaires sur le toit d'un modèle déjà existant.
- Hyundai Sonata (Corée du Sud) : toit solaire permettant en moyenne 1300 km d'autonomie supplémentaire par an.

Wello, fabriqué en France, fait partie des initiatives plus atypiques émergeant sur le marché de la mobilité solaire verte. Ce petit véhicule à trois roues peut transporter deux personnes ou un conducteur et une charge utilitaire allant jusqu'à 80 kilos. Le conducteur pédale pour avancer, assisté d'un moteur lui permettant d'atteindre 40 km/h sur un terrain plat. Ce moteur est relié à une batterie alimentée par des panneaux solaires situés sur le toit du véhicule, lui donnant jusqu'à 100 km d'autonomie quotidienne. Cette solution est particulièrement adaptée au transport citadin et présente un excellent bilan carbone comparé à d'autres véhicules aux utilisations équivalentes.



Enfin, le transport aérien n'est pas mis à l'écart de la solarisation des transports. Bertrand Piccard s'est montré pionnier en la matière, en réalisant entre mars 2015 et juillet 2016 un tour du monde aux commandes de Solar Impulse, un avion solaire expérimental. Dans un contexte plus opérationnel, le constructeur toulousain Sunbirds a récemment mis au point un drone solarisé. Si sa batterie lui confère une autonomie de 8 heures de vol, ses panneaux photovoltaïques pourraient lui permettre dans les meilleures conditions d'ensoleillement de revenir d'un vol avec sa batterie plus chargée qu'à son envol ! Testé en Australie, ce modèle pourrait trouver sur l'île-continent un débouché intéressant dans la supervision par le survol des domaines agricoles gigantesques qu'on y trouve. Ce drone intéresse également les gestionnaires d'infrastructures étendues (RTE, SNCF, etc...).

Contacts



Syndicat des
professionnels
de l'énergie
solaire

Enerplan

Aime.boscq@enerplan.asso.fr



SolarPower Europe

n.chevillard@solarpowereurope.org